สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การหมักตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลัง



นางสาวจิตรลดา ดำรงสุกิจ
นางสาวดวงกมล ทองราษฎร์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังปีการศึกษา
2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 40056
วัน, เดือน, ปี 24 ก.ค. 2544

b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Composting of Sludge from Tapioca Industry Wastewater Treatment System

MISS CHITLADA DUMRONGSUKIT

MISS DUANGKAMON THONGRAD

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the

Requirement for the Degree of bachelor of Science.

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut ' s Institute of Technology Ladkrabang

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การหมักตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลัง

โดย นางสาว จิตรลดา ดำรงสุกิจ

นางสาวดวงกมล ทองราษฎร์

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

(ผศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย) หัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการโครงงานพิเศษ

(ผศ.คณิตา ตังคณานุรักษ์) ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์) กรรมการ

(ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์) กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การหมักตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลัง
นักศึกษา	นางสาว จิตรลดา ดำรงสุกิจ นางสาว ดวงกมล ทองราษฎร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์
ระดับการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2543

บทคัดย่อ

ในการทดลองนี้ ศึกษาการทำตะกอนหมักจากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) โดยหมักร่วมกับวัสดุอื่นๆ ได้แก่ มูลวัว, มูลไก่, มูลนกพิราบ, รำละเอียด, ยูเรีย และเชื้อจุลินทรีย์ F-60 ได้ทำการแปรผันอัตราส่วนของวัสดุต่างๆ ดังกล่าวจนได้ทั้งสิ้น 19 สูตร การทดลองนี้ทำการหมักตะกอน 3 ครั้ง การหมักครั้งที่ 1 ใช้ปริมาณรำละเอียดเท่ากับตะกอน การหมักครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ลดปริมาณรำละเอียดลงเหลือครึ่งหนึ่งของการหมักครั้งแรกและทำการเติมยูเรียในการหมักครั้งที่ 3 จากการศึกษา พบว่า ปริมาณรำละเอียดที่ลดลงไม่มีผลต่อการหมัก การเติมยูเรียทำให้การหมักเสร็จเร็วขึ้น ปริมาณธาตุอาหารพืชในตะกอนหมักทั้ง 19 สูตรมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ไนโตรเจนทั้งหมด 1.0-2.0 % ซึ่งมีมากที่สุดในตะกอนหมักจากมูลวัว, ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 0.3-0.4 % ซึ่งมีมากที่สุดในตะกอนหมักจากมูลไก่ และโพแทสเซียม 3.0 % มีเท่ากันในทุกสูตร ราคาต้นทุนในการผลิตตะกอนหมักทั้ง 19 สูตรมีราคาใกล้เคียงกันคือ 2.0-4.0 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์ตามท้องตลาด พบว่า ตะกอนหมักที่ได้มีปริมาณธาตุอาหารพืชใกล้เคียงกับปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งเป็นปริมาณเพียงพอที่จะปลูกพืชได้ดีและมีราคาต้นทุนในการผลิตต่ำกว่า ดังนั้น สามารถนำตะกอนไปหมักเพื่อขายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	The Composting of Sludge from Tapioca Industry Wastewater Treatment System
Name	Miss Chitlada Dumrongsukit Miss Duangkamon Thongrad
Special Project Advisor	Dr.Chompoonut Chaiyaraksa
Department	Environmental Resource Chemistry
Academic	2000

ABSTRACT

In this experiment, the composting of activated sludge was studied by combining with other materials which were cow manure, chicken manure, pegian manure, rice bran, urea and microorganism F-60. By varying the ratio of those materials, 19 formulars was set. The composting could be set into 3 period. In the first period, the amount of rice bran and sludge was used equally. In the second and the third period, the amount of rice bran was reduced to half from the first period. In the third period, urea was also added. From the experiments , it was found that rice bran was important compost for composting. But the reduction of rice bran gave no effect to the composting. Addition of urea resulted the quicker composting. The amount of plant nutrient of the compost from 19 formulars were similar. The total nitrogen in the compost from cow manure was found 1-2 % which considered to be the most. The available phosphorus in the compost of chicken manure was found 0.3-0.4 %. The exchangeable potassium was found equal in all formulars which was 3 %. The cost of all formular was equal which was about 2-4 bath/Kg. The compost for experients yield plant nutrient. The amount of plant nutrient of the compost for experients was comparable to the compost in market. But the production cost was lower than the market price thus this could be made for selling.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษได้รับความอนุเคราะห์ จึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงงานพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.คณิตา ตังคณานุรักษ์ อาจารย์กลิ่นสุดนธ์ สุวรรณรัตน์ อาจารย์ยุพา ตันทวี และ อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาในระหว่างการดำเนินโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ และ เจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงงานพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

นอกเหนือจากบุคคลที่ได้กล่าวมาแล้วยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ และให้กำลังใจตลอดโครงงานพิเศษนี้ ทางผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

จิตรลดา ดำรงสุกิจ
ดวงกมล ทองราษฎร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
คำย่อและสัญลักษณ์ที่ใช้	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 มันสำปะหลัง	4
2.2 ขบวนการผลิตของบริษัท สำปะหลังพัฒนา จำกัด	4
2.3 ขบวนการบำบัดน้ำเสียของบริษัท สำปะหลังพัฒนา จำกัด	5
2.4 ความหมายและลักษณะทั่วไปของตะกอน	6
2.5 การนำตะกอนน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์	7
- ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์	7
- ข้อดีของการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์	7
- วิธีการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์	7
การผลิตก๊าซชีวภาพ	7
การผลิตสาหร่าย	8
การทำอาหารเลี้ยงปลา	8
การปรับปรุงพื้นที่	9
การหมัก	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 การทำปุ๋ยหมัก 10
- ข้อดีของการนำตะกอนมาทำปุ๋ยหมัก 10
- ข้อจำกัดของการทำปุ๋ยหมัก 10
- ปฏิกิริยาทางชีวเคมี 12
- สภาพแวดล้อมที่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ 14
- รูปแบบของการหมัก 18
  การหมักที่แหล่งกำเนิดของเสีย 18
  การหมักนอกแหล่งกำเนิดของเสีย 21
- มาตรฐานปุ๋ยหมัก 26
- ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก 26

2.7 การย่อยสลายของปุ๋ยอินทรีย์และการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช 27

2.8 การนำปุ๋ยหมักไปใช้งาน 29

2.9 ปัจจัยควบคุมการเจริญเติบโตของพืช 30

2.10 ธาตุอาหารพืช 31
- ธาตุอาหารหลัก 32
- ธาตุอาหารรอง 34
- ธาตุอาหารเสริม 35

2.11 ปุ๋ย 36
- การจำแนกประเภทของปุ๋ย 39

2.12 ผลกระทบจากโลหะหนักต่อการเจริญเติบโตของพืช 41

2.13 อัตราการนำตะกอนน้ำเสียไปผสมลงในดิน 42

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 44

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 44

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 44

3.1 แหล่งที่มาของตะกอน 45

3.2 การเตรียมตัวอย่างตะกอน 45

3.3 การทดสอบคุณสมบัติของตะกอน 46

3.4 การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุอื่นๆ 46

3.5 การทำตะกอนหมัก 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6 วิธีการดำเนินการหมัก 48

3.7 การทดสอบคุณสมบัติของตะกอนหมัก 49

3.8 ศึกษาคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์อื่นๆ 49

3.9 เปรียบเทียบคุณสมบัติของตะกอนหมักกับปุ๋ยอินทรีย์ในท้องตลาด 49

3.10 ศึกษาค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการหมัก 50

3.11 ศึกษาราคาปุ๋ยอินทรีย์ตามท้องตลาด 50

3.12 เปรียบเทียบราคาของปุ๋ยอินทรีย์อื่นๆ กับตะกอนหมัก 50

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ 57

4.1 คุณสมบัติของตะกอน 57

4.2 ผลการวิเคราะห์วัสดุอื่นที่ใช้ในการหมัก 60

4.3 ผลการวิเคราะห์ตะกอนหมัก 62

- หมักครั้งที่ 1 62
- หมักครั้งที่ 2 64
- หมักครั้งที่ 3 66

4.4 ผลการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์อื่นๆ 75

4.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติของตะกอนหมักกับปุ๋ยหมักอื่นๆ 75

4.6 เปรียบเทียบราคาตะกอนหมักกับปุ๋ยอินทรีย์ในท้องตลาด 77

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 80

5.1 สรุปผลการวิจัย 80

5.2 ข้อเสนอแนะ 81

บรรณานุกรม 82

ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ 84

ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์วัสดุอื่นที่ใช้ทำตะกอนหมัก 92

ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ตะกอนหมัก 95

ภาคผนวก ง การศึกษาราคาต้นทุนการผลิต 108

ภาคผนวก จ การคำนวณค่า C/N ratio 110

ภาคผนวก ฉ ค่ามาตรฐานโลหะหนักในตะกอนที่ยอมให้มีได้ในประเทศต่าง 111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 การทดสอบคุณสมบัติตะกอน 46
ตารางที่ 3.2 สัดส่วนการทำตะกอนหมัก 47
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย 59
ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณของโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในตะกอนของประเทศ 60
ตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาวัสดุอื่นที่ใช้ในการหมัก 61
ตารางที่ 4.4 แสดงเปอร์เซนต์ของธาตุปุ๋ยในมูลสัตว์ 62
ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ตะกอนหมัก 73
ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่นๆ 76
ตารางที่ 4.7 เปอร์เซนต์ธาตุปุ๋ยในปุ๋ยเทศบาล (ผลิตจากขยะสด) 76
ตารางที่ 4.8 เปอร์เซนต์ธาตุปุ๋ยในปุ๋ยหมัก 77
ตารางที่ 4.9 ผลการศึกษาราคาปุ๋ยอินทรีย์ในท้องตลาด 78
คารางที่ 4.10 ศึกษาราคาต้นทุนในการผลิตตะกอนหมัก 79
ตาราง ข-1 ผลการวิเคราะห์ค่า pH 92
ตาราง ข-2 ผลการวิเคราะห์ความชื้น 92
ตาราง ข-3 ผลการวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุ 92
ตาราง ข-4 ผลการวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอน 93
ตาราง ข-5 ผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด 93
ตาราง ข-6 ผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัส 93
ตาราง ข-7 ผลการวิเคราะห์โพแทสเซียม 94
ตาราง ค-1 ผลการวิเคราะห์ค่า pH 95
ตาราง ค-2 ผลการวิเคราะห์ความชื้น 96
ตาราง ค-3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในตะกอนหมักครั้งที่ 1 97
ตาราง ค-4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในตะกอนหมักครั้งที่ 2 98
ตาราง ค-5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในตะกอนหมักครั้งที่ 3 100
ตาราง ค-6 ผลการวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุ 102
ตาราง ค-7 ผลการวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอน 103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตาราง ค-8 ผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด 104
ตาราง ค-9 ผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 105
ตาราง ค-10 ผลการวิเคราะห์โพแทสเซียม 106
ตาราง ค-11 ผลการวิเคราะห์ซัลเฟต 107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกองหมักที่เวลาต่างๆ 12

รูปที่ 2.2 การหมักแบบ multrum 17

รูปที่ 2.3 การหมักแบบ Pit latrins 18

รูปที่ 2.4 การหมักแบบ Vietnamese toilet 19

รูปที่ 2.5 การหมักแบบ Chinese Pile 20

รูปที่ 2.6 การหมักแบบ Beltsvill aerated rapid composting (BARC) 22

รูปที่ 2.7 การหมักแบบ Dano system 23

รูปที่ 2.8 การหมักแบบ Jersey system 24

รูปที่ 3.1 การเก็บตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการรีดน้ำแล้ว 51

รูปที่ 3.2 เชื้อจุลินทรีย์ F-60 ที่ใช้ในการหมัก 51

รูปที่ 3.3 การละลายเชื้อจุลินทรีย์ F-60 52

รูปที่ 3.4 รำละเอียด 52

รูปที่ 3.5 การเทเชื้อจุลินทรีย์ F-60 ลงบนรำละเอียด 53

รูปที่ 3.6 รำละเอียดที่เคล้ากับเชื้อจุลินทรีย์ F-60 แล้ว 53

รูปที่ 3.7 การคลุมรำละเอียดด้วยกระสอบป่าน 54

รูปที่ 3.8 รำละเอียดที่หมักเสร็จแล้ว ใช้เป็นหัวเชื้อในการหมัก 54

รูปที่ 3.9 การเทตะกอนและมูลสัตว์ลงบนรำละเอียดหมัก 55

รูปที่ 3.10 การคลุกเคล้าตะกอน, มูลสัตว์ และรำละเอียดหมักให้เข้ากัน 55

รูปที่ 3.11 การคลุมตะกอนที่เคล้าแล้วด้วยกระสอบป่าน 56

รูปที่ 3.12 ตะกอนที่หมักเสร็จแล้ว สามารถนำไปใช้งานได้ 56

รูปที่ 4.1 อุณหภูมิของตะกอนหมักครั้งที่ 1 69

รูปที่ 4.2 อุณหภูมิของตะกอนหมักครั้งที่ 2 69

รูปที่ 4.3 อุณหภูมิของตะกอนหมักครั้งที่ 2 (ต่อ) 70

รูปที่ 4.4 อุณหภูมิของตะกอนหมักครั้งที่ 3 71

รูปที่ 4.5 อุณหภูมิของตะกอนหมักครั้งที่ 3 (ต่อ) 72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์ที่ใช้

Total N	=	ไนโตรเจนทั้งหมด
Available P	=	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์
Exchangeable K	=	โพแทสเซียม
CEC	=	ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก
N	=	นอร์มัล
M	=	โมลาริตี้
g.	=	กรัม
mg.	=	มิลลิกรัม
ml.	=	มิลลิลิตร
ppm.	=	ส่วนในล้านส่วน
%	=	เปอร์เซ็นต์
^{0}C	=	องศาเซลเซียส
wt	=	น้ำหนัก
C/N	=	อัตราส่วนไนโตรเจนต่อคาร์บอน
O.C.	=	อินทรีย์คาร์บอน
O.M.	=	อินทรีย์คาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในประเทศไทยมีการผลิตผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลังเป็นจำนวนมาก ของเสียที่เกิดขึ้นมีทั้งมาจากกระบวนการผลิต เช่น การปอกเปลือก และการ Rasping or pulping และกากตะกอนที่มาจากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนการใช้จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศในการย่อยสลาย ในปัจจุบันทางเลือกที่จะนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ที่มีอยู่ คือ ทำการรวมไปใช้ในการหมุนเวียนโดยธรรมชาติ คือ การนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรกรรม การขยายพื้นที่ การป่าไม้ เป็นต้น หรือโดยการแยกออกจากวัฏจักรทางธรรมชาติคือ การถมที่

การนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเป็นทางเลือกที่ดีทางหนึ่ง เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมทำการเพาะปลูกมาเป็นเวลานาน ทำให้เกิดปัญหาดินที่ใช้ทำการเพาะปลูกขาดความอุดมสมบูรณ์ คุณสมบัติทางกายภาพของดินเสื่อม ดังนั้นจึงต้องปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิต ปุ๋ยที่เกษตรกรนิยมใช้กันมาก คือ ปุ๋ยเคมี เห็นได้จากปริมาณการใช้ปุ๋ยเพิ่มขึ้นทุกปี และในอนาคตความต้องการปุ๋ยเคมียังคงต้องการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ประกอบกับประเทศของเรายังไม่มีโรงงานที่สามารถผลิตปุ๋ยได้จำนวนมาก จนปุ๋ยไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงทำให้ปุ๋ยมีราคาแพงขึ้น เกษตรกรจึงหันมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของดิน โดยใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี นอกจากทำให้ลดการใช้ปุ๋ยลงแล้ว ปุ๋ยอินทรีย์ยังทำให้คุณสมบัติของดินดีขึ้นด้วย นอกจากนี้สภาพแวดล้อมของประเทศไทยยังเอื้อต่อการที่นำตะกอนน้ำเสียมาหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากเป็นสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูงมีแดดจัดตลอดปี ปุ๋ยจะแห้งได้ง่าย ซึ่งจะช่วยลดปัญหาเรื่องค่าใช้จ่ายในการหมักลง

สิ่งสำคัญในการนำตะกอนหมักมาใช้ประโยชน์คือ ตะกอนนั้นต้องไม่มีปริมาณโลหะหนักที่เป็นพิษหรือมีในปริมาณที่น้อย เนื่องจากโลหะหนักบางตัวแม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย ก็อาจเกิดพิษรุนแรงได้ ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบที่แน่นอนก่อน แต่โลหะหนักบางตัวแม้มีปริมาณมากแต่ก็นำมาใช้ประโยชน์ได้ โลหะหนักบางตัวอยู่ในรูปที่ไม่สามารถดูดซับได้หรือดูดซับได้ไม่ดี การนำตะกอนที่มีปริมาณโลหะหนักอยู่ในขั้นปลอดภัยมาใช้ประโยชน์โดยการหมักปุ๋ย จะเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหามลภาวะที่จะติดตามมาในอนาคต สำหรับเมืองที่มีการขยายตัวด้านอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ทดสอบคุณสมบัติของตะกอนน้ำเสียที่เป็นประโยชน์และโทษทางการเกษตร
2. ศึกษาธาตุอาหารที่มีอยู่ในวัสดุอินทรีย์อื่นๆ
3. ปรับปรุงคุณสมบัติตะกอนให้มีธาตุอาหารเพียงพอที่จะปลูกพืชได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทดสอบคุณสมบัติของตะกอนหมัก
5. เปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์อื่นๆ กับตะกอนหมัก
6. เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายกับปุ๋ยอินทรีย์ตามท้องตลาด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตะกอนน้ำเสียก่อนทำการหมัก
   - คุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ เปอร์เซนต์ความชื้น, ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้, เปอร์เซนต์เถ้า, ลักษณะทั่วไป
   - คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ Total N, Available P, Exchangeable K , SO_4^{2-}, pH, Cation Exchange Capacity, C/N ratio, Organic Carbon, Organic Matter, โลหะหนัก (Pb, Cd, Zn, Fe, Mn, Ni, Hg และ Cu)
2. ศึกษาปริมาณความชื้น, Total N, Available P, Exchangeable K, Organic Carbon, Organic Matter และ pH ที่มีอยู่ในมูลวัว มูลไก่ มูลนกพิราบ รำละเอียด และยูเรีย
3. ทำการหมักตะกอนร่วมกับวัสดุอินทรีย์โดยแปรผันเปอร์เซนต์ตะกอน, มูล, รำละเอียด, ยูเรีย ออกเป็นสูตรต่างๆ รวมทั้งสิ้น 19 สูตร
4. ศึกษาคุณสมบัติของตะกอนน้ำเสียหลังทำการหมัก
   - คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ เปอร์เซนต์ความชื้น และลักษณะทั่วไป
   - คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ Total N, Available P, Exchangeble K, Organic Carbon, Organic Matter, C/N ratio, SO_4^{2-} และ pH
   - คุณสมบัติทางชีวภาพ ได้แก่ สิ่งมีชีวิตต่างๆ
5. ศึกษาปริมาณธาตุอาหาร Total N, Available P, Exchangeable K ในปุ๋ยอินทรีย์อื่นๆ ได้แก่ ปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์, ปุ๋ยหมักจากขยะเทศบาล และปุ๋ยหมักจากพืชสด
6. ศึกษาค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการหมักตะกอน โดยคิดราคารำละเอียด, มูลสัตว์, และยูเรียเป็นหลัก
7. ศึกษาราคาปุ๋ยอินทรีย์ตามท้องตลาด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความเป็นไปได้และความคุ้มค่าที่นำตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลังไปใช้ประโยชน์ในการเกษตร
2. เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มคุณค่าตะกอนให้เป็นประโยชน์ทางการค้าโดยการนำไปผลิตปุ๋ยหมัก
3. เพื่อลดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อม เป็นการตอบสนองนโยบายของรัฐบาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. โรงงานสามารถจัดการกับของเสียที่เกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสมและประหยัดซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการยื่นขอคำรับรองมาตรฐานระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม (ISO 14000)

1.5 หน่วยงานนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. โรงงานอุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลัง
2. เกษตรกร
3. โรงงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่ใช้ระบบน้ำเสียแบบ Activated Sludge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 มันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่ทนต่อความแห้งแล้งได้ดีมาก สามารถขึ้นได้ดีในดินทุกประเภท ไม่ว่าจะเป็นดินเหนียวจัดหรือดินทรายจัด อีกทั้งมันสำปะหลังยังเป็นพืชที่ปลูกง่าย มีศัตรูรบกวนน้อย ไม่จำกัดเวลาปลูก และเวลาเก็บเกี่ยวไม่มากนัก ให้ผลผลิตสูง เมื่อเทียบกับพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น ๆ และราคาของผลผลิตก็จัดอยู่ในเกณฑ์ดี มันสำปะหลังสามารถแปรรูปไปเป็นมันสำปะหลังอัดเม็ด (หรือมันสำปะหลังแท่ง), มันสำปะหลังแห้ง (หรือมันสำประหลังเส้น), มันสำปะหลังป่น กากมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังจัดอยู่ตระกูล Euphorbiaceae และจัดอยู่ในสกุล Manihot ส่วนมากเป็นพืชยืนต้นขนาดเล็ก มียาง ใบมีแฉกลึก เป็นพืชที่มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในช่อดอกเดียวกัน มันสำปะหลังมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า M. escutenta และชื่อสามัญคือ cassava, yuca mandioca, madioe, หรือ tapioca เป็นมันสำปะหลังมีแหล่งกำเนิด 2 แหล่ง คือ แถบประเทศเม็กซิโก และกัวเตมาลา ซึ่งมันสำปะหลังมีทั้งชนิดหวานและขม แต่ที่มาในประเทศไทยรุ่นแรกๆ เป็นชนิดหวาน

ประโยชน์ของมันสำปะหลัง

ส่วนของต้นของมันสำปะหลังที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ลำต้น ใบ และราก

1. ลำต้นที่ตัดก่อนการขุดหัวมันสำปะหลัง จะนำมาทำเป็นท่อนพันธุ์ใช้ปลูกต่อไป
2. ลำต้นส่วนยอดที่ยังอ่อนอยู่อาจนำมาตากแห้ง ใช้ทำเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ได้
3. ใบมันสำปะหลังนำมาทำเป็นอาหารสัตว์ ในรูปของใบ, หมัก, ใบตากแห้งป่น
4. หัวมันสำปะหลัง (รากสะสม) นำไปใช้ประกอบอาหาร ส่วนมากจะเข้าโรงงานอุตสาหกรรมทำมันเส้น โรงงานอุตสาหกรรมทำมันป่น โรงงานมันอัดเม็ด หรือมันแท่ง โรงงานทำแป้งมัน

2.2 ขบวนการผลิตของบริษัท สำปะหลังพัฒนา จำกัด

1. การโม่มันสำปะหลัง

รถขนมันสำปะหลังจะส่งมันที่ลานและจะมีสายพานเคลื่อนย้ายมันสำปะหลังไปเพื่อทำการปอกมัน จากนั้นจะทำการล้างมันสำปะหลังและนำเข้าสู่ระบบการโม่มัน ซึ่งใน 1 วันจะมีการโม่มันสำปะหลังประมาณ 2,500 คิว ซึ่งจะได้แป้งประมาณ 400 ตัน ขั้นตอนการโม่มันสำปะหลังเกิดของเสียดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เปลือกที่เกิดจากการปอกมัน
- น้ำล้างมันสำปะหลังจะส่งไปยังระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

2. การเปลี่ยนมันเป็นแป้ง (Modified strach)

จากการโม่มันสำปะหลังจะได้แป้งที่มีความเข้มข้นประมาณ 20-22 โบลเม่ จะเข้าสู่การ Modified strach ดังนี้

1. ถังปฏิกรณ์ (reactor) : น้ำแป้งที่ข้นจะเข้าสู่ถัง reactor มีการอุ่นน้ำแป้งโดยใช้ Heat exchanger จากนั้นมีการเติมสารเคมีและกำหนดระยะเวลาที่ให้น้ำแป้ง อยู่ในถัง reactor เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ที่ได้จะนำได้จะนำไปกรอง ขั้นตอนนี้เกิดของเสีย คือ

- กากอ่อนที่ได้จากการกรอง จะทำการอัดเม็ดใช้เป็นอาหารสัตว์
- น้ำล้าง สารเคมีและหางน้ำแป้งจะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบเติมอากาศ

2. Hydrocyclone : การทำให้น้ำแป้งข้นขึ้นอีกครั้ง ซึ่งน้ำที่เกิดขึ้นจะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบเติมอากาศ ส่วนน้ำแป้งที่ข้นและสะอาด จะถูกปั๊มไปยัง feed tank

3. Feed Tank : เมื่อน้ำแป้งเข้าสู่ Magnetic Separator เพื่อทำการแยกเศษโลหะออกจากนั้นแป้งจะเข้าสู่เครื่องบดละเอียด และเข้าสู่ตู้แป้งเพื่อทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh แป้งที่ไม่ผ่านตะแกรงจะเป็นแป้งหยาบ ต้องผ่านเครื่องเป่าลม ส่วนแป้งที่ผ่านการร่อนแล้วจะผ่านการบรรจุให้ลูกค้า

2.3 ขบวนบำบัดน้ำเสียของบริษัทสำปะหลังพัฒนา จำกัด

น้ำเสียที่ได้ทั้งหมดจะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโดยแบ่งเป็น

1. น้ำเสียจากกระบวนการโม่แป้ง จะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic)
2. น้ำเสียจากกระบวนการ Modified strach จะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบใช้อากาศ (Aerobic) เนื่องจากน้ำเสียมีสารเคมีสูง ถ้านำเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic) อาจทำให้เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ย่อยตายได้

ระบบบำบัดน้ำเสีย

1. ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic) เป็นระบบปิด มีลักษณะเป็นโดม ทำด้วยไฟเบอร์ชนิดพิเศษที่ทนต่อความร้อนเป็นระบบปิด โดยน้ำเสียก่อนเข้าระบบนี้จะทำการ pre treat เพื่อปล่อยให้ตกตะกอนก่อนแล้วจึงปล่อยเข้าสู่บ่อหมัก

1.1 High Load : น้ำเสียที่เข้ามาจะมี BOD 12,000-18,000 mg/L เริ่มต้นจะใช้ acid bacterial ทำการย่อยน้ำเสียก่อนซึ่งทำให้เกิดสภาวะกรด ผลพลอยได้ของผลิตภัณฑ์จะเป็นอาหารของ methane bacterial ใน Low Load ส่วน gas ที่เกิดขึ้นจะเป็น biogas คือ มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยจ่ายไปในระบบ Modified strach ใช้ให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการอบแป้ง น้ำเสียที่ออกจากระบบนี้จะมี BOD ประมาณ 10,000 mg/L กรณีที่ค่าพีเอชของระบบต่ำมากต้องมีการ return sludge จาก activated sludge ที่มีค่าพีเอช 7-8 มาช่วยปรับพีเอชให้เหมาะสม แต่มีการ return sludge นี้น้อยมาก เนื่องจากถ้าใช้จำนวนมากจะมีพิษต่อเชื้อจุลินทรีย์เพราะจุลินทรีย์ที่ใช้เป็น acid bacteria

1.2 Low Load : ทำการปรับน้ำเสียจาก high load ให้เป็นกลางโดยใช้โซดาไฟ จากนั้นจะปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบ aerobic

2. ระบบบำบัดแบบใช้อากาศ (Aerobic) น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ จะมีน้ำเสียจากกระบวนการ Modified strach และน้ำเสียจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ระบบนี้จะมีการเติมอากาศใต้น้ำด้วย blower หัวจ่ายอากาศจะทำให้เกิดฟองอากาศขึ้น ทำให้มีการแลกเปลี่ยนที่ดี มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบทั่วไป เมื่อผ่านจากบ่อเติมอากาศ เพื่อให้จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ แล้วจะเข้าสู่ถังตกตะกอน หลังจากตกตะกอนแล้ว น้ำที่ออกจากระบบจะปล่อยออกสู่ทะเล ซึ่งมี BOD ต่ำกว่า 20 mg/L, พีเอช 8-9, ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ประมาณ 50 mg/L และของแข็งที่ละลายน้ำได้ (DS) ประมาณ 2,800 mg/L ซึ่งอยู่ในมาตรฐานการปล่อยน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม ส่วนตะกอนที่ได้จะเข้าสู่บ่อพักตะกอน เพื่อนำบางส่วนเติมลงระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ เพื่อปรับพีเอช ส่วนที่เหลือจะเข้าสู่การรีดตะกอน โดยมีการเติมสารโพลิเมอร์เพื่อให้ตะกอนรวมตัวกันและสามารถรีดตะกอนออกมาเป็นแผ่นได้ ปริมาณตะกอนที่รีดได้ประมาณ 20-30 ตันต่อวัน

อุปสรรคของระบบนี้ คือ น้ำเสียของโรงงานแป้งมันสำปะหลังจะมีเกลือซัลเฟตมาก ซึ่งไม่สามารถนำตะกอนมาทำการ return sludge ไปยังระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศได้เนื่องจากถ้าเติมลงไป จะทำให้เป็นพิษต่อเชื้อจุลินทรีย์จึงทำให้เกิดตะกอนสะสมปริมาณมาก

2.4 ความหมายและลักษณะทั่วไปของตะกอน

ตะกอน (sludge) คือ ของแข็งหรือกึ่งของแข็งที่ถูกแยกจากน้ำตะกอนเหล่านี้ อาจเกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำและน้ำเสียทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ

ตะกอนจากระบบเลี้ยงตะกอน มีลักษณะทั่วไปคือ เป็นตะกอนสีน้ำตาลเข้ม อาจจับตัวกันเป็นก้อน (floc) ถ้าอยู่ในสภาพไร้อากาศ จะมีกลิ่นเหม็นมากและมีสีดำคล้ำ ตะกอนจากระบบตะกอนเร่งอาจนำไปบำบัดแยกต่างหาก หรืออาจบำบัดร่วมกับตะกอนจากถังตกตะกอนขั้นต้นก็ได้

ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน มีลักษณะทั่วไปคือ มีสีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลเข้ม อาจจับตัวกันเป็นก้อน (floc) ตะกอนชนิดนี้สามารถแยกน้ำออกได้ง่าย

ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีลักษณะทั่วไปคือ มีสีน้ำตาลเข้มถึงสีดำ มีก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลาย แบบไม่ใช้ออกซิเจนปะปนอยู่ในตะกอนชนิดนี้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะกอนที่ผ่านการทำปุ๋ยหมักมาแล้ว มีลักษณะทั่วไปคือ มีสีน้ำตาลเข้มถึงสีดำ ไม่มีกลิ่นเหม็นรุนแรง นิยมนำไปใช้เป็นตัวปรับสภาพดิน

2.5 การนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์

1. ความเป็นไปได้ทางเทคนิค หมายถึง ในการนำเทคนิคใดมาใช้การนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์นั้น ต้องคำนึงถึงความพร้อมในเรื่องของเทคโนโลยี ความรู้ความสามารถของผู้นำเทคโนโลยีมาใช้และความยากง่ายในการใช้ด้วย

2. ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ วิธีการทางเทคนิคบางวิธีต้องใช้เงินลงทุนสูงมาก ๆ อาจมากกว่าค่ากำจัดหลายเท่า สารที่อยู่ในของเสียอาจไม่เข้มข้นพอ หรืออาจมีสารอื่นเจือปนอยู่มากเกินไปทำให้ไม่เหมาะสมต่อการนำกลับมาใช้ประโยชน์หรือ มีขั้นตอนในการบำบัดหลายขั้นตอนเกินไป และทำให้ต้นทุนสูง

3. ทัศนคติ (attitude) ต่อการใช้สินค้าหรือผลผลิตที่ได้จากของเสีย

ข้อดีของการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ (waste recycling)

- ช่วยลดค่ากำจัดของเสีย ซึ่งเป็นการควบคุมมลพิษอย่างหนึ่ง
- ลดวัตถุดิบ ทำให้ลดความสิ้นเปลืองในการทรัพยากรและใช้ทรัพยากรและใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่ามากขึ้น
- มีรายได้จากการขายของเสีย

วิธีการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์

การผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Production)

ก๊าซชีวภาพ (Biogas หรือ Mashgas) ได้รับความสนใจมากในช่วงปี ค.ศ. 1980 ซึ่งเกิดวิกฤตการณ์พลังงาน วัตถุดิบที่ใช้ผลิตก๊าซชีวภาพเป็นพวกของเสียได้แก่ สิ่งขับถ่ายจากมนุษย์และสัตว์ ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียและเศษพืชผัก ถ้านำวัสดุเหล่านี้มาผลิตก๊าซชีวภาพจะได้ประโยชน์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ยังใช้เป็นปุ๋ยได้ องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจะไม่คงที่ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ทำก๊าซชีวภาพ องค์ประกอบคร่าว ๆ มีดังนี้

- มีเทน (CH_4) 55-65 %
- คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 35-45%
- ไนโตรเจน (N_2) 0-3 %
- ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) 0-1 % (มีกลิ่นเหม็น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซที่ได้ต้องการให้มีก๊าซมีเทนมากที่สุด เพราะว่าเป็นก๊าซที่มีความร้อนสูง (High calorific value) ถึงประมาณ 9,000 Kcal/m^3 โดยทั่วไปค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพประมาณ 4,500-6,300 Kcal/m^3 ขึ้นกับปริมาณก๊าซอื่น ๆ ที่ปนอยู่กับมีเทน

การผลิตสาหร่าย (Algae Production)

สาหร่าย คือ กลุ่มสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กสามารถดึงพลังงานจากแสงอาทิตย์มาสร้างเซลล์ได้ ในที่ที่มีสารอาหารเหมาะสม จัดเป็นผู้ผลิตขั้นที่ 1 ในระบบนิเวศแหล่งน้ำ มีขนาดตั้งแต่เซลล์เดียวซึ่งเล็กมาก ต้องส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์จนถึงขนาดใหญ่มีหลายเซลล์ การผลิตสาหร่ายในบ่อบำบัดน้ำเสีย จะทำให้ได้โปรตีนที่มีอยู่ในเซลล์สาหร่าย ซึ่งมีศักยภาพในการเป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์ สาหร่ายมีสมบัติที่เหมาะสมในการเป็น single cell protein ดังนี้

- อัตราการเจริญเติบโตสูง
- ต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้ดี
- คุณค่าทางอาหารสูง
- ปริมาณโปรตีนสูง
- มีความสามารถในการเติบโตในน้ำเสียได้ดี การผลิตสาหร่ายจากน้ำเสียจึงเป็นการเปลี่ยนของเสียให้อยู่ในรูปโปรตีนที่มีประโยชน์

การทำอาหารเลี้ยงปลา (Fish Production)

สาหร่ายที่เจริญเติบโตในบ่อบำบัดน้ำเสียจัดเป็น phytoplankton ใช้เป็นอาหารให้กับปลากินพืช (Herbivore Fish) สาหร่ายไม่เหมาะสมเป็นอาหารสัตว์ยกเว้น spirulina เพราะมีผนังเซลล์แข็งทำให้ย่อยยาก การใช้ organic waste ในการเพาะเลี้ยงสัตว์ มี 3 รูปแบบ

- เลี้ยงปลาในบ่อด้วยสิ่งขับถ่ายของมนุษย์และสัตว์
- ปล่อยน้ำจากบ่อบำบัดน้ำเสียลงในบ่อปลา
- เพาะเลี้ยงปลาโดยตรงในบ่อบำบัดน้ำเสีย (wase stabilization pond)

จากรายงานของ world bank หลายประเทศในแถบเอเชียโดยเฉพาะจีน มีการใช้สิ่งขับถ่ายจากมนุษย์และสัตว์เลี้ยงปลาในบ่อโดยตรง ในเมือง Guang Dong ทางใต้ของจีนมีการแขวนส้วมเหนือบ่อปลา ในไต้หวันมีบ่อปลาน้ำกร่อยโดยในฤดูหนาวจะโปรยสิ่งขับถ่ายไว้ก้นบ่อทั้งที่ยังไม่มีการเพาะเลี้ยงแล้วจึงปล่อยน้ำเข้า ส่วนในบ่อปลาน้ำจืดจะมีการให้สิ่งขับถ่ายจากมนุษย์เป็นระยะ ๆ 4-6 ครั้งในฤดูการเจริญเติบโตของปลาเสริมด้วยเมล็ดพืชและผลพลอยได้ทางการเกษตรอื่น ๆ เช่น รำข้าว ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงพื้นที่จากตะกอนน้ำเสีย (Land Treatment of Sludge)

การปรับปรุงพื้นที่จากตะกอนน้ำเสีย เป็นการนำตะกอนน้ำเสียมาใช้ทั้งในรูปตะกอนที่ยังเป็นของเหลวและตะกอนที่แยกน้ำออกแล้ว นำมาใช้เป็นสารอาหารในดิน โดยการโปรยลงไปในพื้นที่ เช่น เหมืองร้าง พื้นที่ถูกกัดเซาะ ของหน้าดินและทำการไถกลบ สิ่งที่สำคัญคือ ตะกอนจะต้องไม่มีสารพิษ และเชื้อโรคปะปนในระดับที่อาจเกิดอันตรายได้ และวิธีนี้อาจก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่น และการฟุ้งกระจาย เพิ่มขึ้น

การหมัก (Composting)

กระบวนการหมัก คือกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพและทำให้ได้สารอินทรีย์ที่คงตัว ซึ่งสามารถนำไปใช้กับพื้นดินโดยไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม (Haug, 1980) โดยทั่วไปการทำปุ๋ยหมักนิยมทำกับสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งและกึ่งของแข็ง เช่น อุจจาระที่หมักจากส้วม (Nightsoil), ตะกอนจากระบบบำบัด (Sludge), สิ่งขับถ่ายจากสัตว์ (animal Manure), สิ่งที่เหลือจากการเกษตร (agricultural residues) และขยะเทศบาล (municipal refuse)

กระบวนการหมักแบ่งได้เป็น 2 กระบวนการ

การหมักแบบใช้อากาศ (Aerobic Composting) คือการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่มีอากาศ ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจากกระบวนการ metabolism ของจุลินทรีย์คือ CO_2, NH_3, H_2O และความร้อน

ดังสมการ

(C H O N)+ aerobic bacteria → CO_2+ NH_3+ other end-product + energy organic matter

การหมักแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Composting) คือการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีอากาศ ได้ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย คือ CH_4, CO_2, NH_3,Trace amounts of other gases และ low molecular weight organic acid แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์ต่อเป็นไนเตรต โดย Nitrifying bacteria ระหว่างเก็บไว้

ดังสมการ

(C H O N)+ anaerobic bacteria → CO_2+ NH_3+ CH_4 + other end-product + energy organic matter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการใช้ออกซิเจนจะปล่อยพลังงานความร้อนมากกว่า ทำให้อัตราการย่อยสลายเร็ว นิยมใช้กับขยะอินทรีย์ปริมาณมาก ๆ

กระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน เกิดขึ้นช้าและมีกลิ่นเหม็นของพวกเมอแคบแทนและซัลไฟด์

เนื่องจากวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมักจะมีลักษณะ heterogeneous และ bulky ทำให้กองปุ๋ยหมัก มีกระบวนการเกิดขึ้น 2 กระบวนการในเวลาเดียวกัน ขึ้นกับ การควบคุมสภาวะในการหมัก แต่อัตราการเกิดจะไม่เท่ากันใน 2 กระบวนการ

2.6 การทำปุ๋ยหมัก (Composting)

ข้อดีของการนำตะกอนมาทำปุ๋ยหมัก

การทำให้ตะกอนคงตัว (Waste stabilization) : ปฏิกิริยาทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่เริ่มเน่าเปื่อยให้เป็นสารอินทรีย์ที่คงตัว ซึ่งจะทำให้เกิดมลพิษน้อยกว่าการทิ้งลงไปในพื้นดินหรือในน้ำ

ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรค (Pathogen inactivation) : ระหว่างการหมักจะมีความร้อนเกิดขึ้นอาจมีอุณหภูมิถึง 60°C ซึ่งพอจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรค ที่ทำให้เกิดโรค เช่น เชื้อโรค แบคทีเรีย ไวรัส และไข่พยาธิ ถ้าคงอุณหภูมิไว้อย่างน้อย 1 วัน จะทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้นำไปใช้ได้อย่างปลอดภัย

ธาตุอาการพืชและการปรับปรุงบำรุงดิน (Nutrient and Land reclamation) : ธาตุ N, P, K ที่มีอยู่ในของเสียส่วนมากจะอยู่ในรูปสารอินทรีย์เชิงซ้อน ยากที่พืชจะนำไปใช้ หลังจากหมักทำปุ๋ยแล้วจะอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ เช่น ไนเตรต ฟอสเฟต ซึ่งพืชนำไปใช้ได้ง่าย และช่วยลดการสูญเสีย สารอาหารพวกนี้ เนื่องจากถูกชะล้างได้ง่าย ใช้ปรับปรุงแก้ไข ดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ได้

การทำให้แห้ง (Sludge Drying) สิ่งขับถ่ายจากมนุษย์ สัตว์ และ sludge จะมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 80-95% ทำให้สิ้นเปลืองค่าจัดเก็บ ขนส่ง และกำจัด การหมักเป็นทางเลือกหนึ่ง ความร้อนที่ผลิตขึ้น ระหว่างการหมักจะทำให้น้ำระเหยไป

ข้อจำกัดของการทำปุ๋ยหมัก

ผลของการหมักที่มีต่อสุขภาพอนามัย

การทำปุ๋ยหมักจากสิ่งขับถ่ายของมนุษย์และสัตว์อาจทำเกิดโรคดังนี้

1. โรคที่เกิดจากเชื้อโรคโดยทั่วไปที่มาจากวัตถุดิบ เรียกว่า Primary pathogen เช่น แบคทีเรีย ไวรัส โปรโตซัว และ helminthf จะมีผลต่อสุขภาพ

2. โรคที่เกิดจากเชื้อราและ actinomycetes ที่เจริญเติบโตระหว่างการหมัก เรียกว่า Secondary pathogen เชื้อโรคชนิดนี้จะสามารถแพร่มาสู่มนุษย์ได้โดยทำให้ภูมิคุ้มกันอ่อนแอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำให้ primary pathogens ตาย

เวลาและอุณหภูมิ ทั้ง 2 อย่างเป็นปัจจัยสำคัญต่อการตายของ pathogen ระหว่างการหมัก นั่นคือ เวลาต้องนานพอและอุณหภูมิต้องสูงพอ ในการหมักหากต้องการหยุดยั้งการทำงานอย่างสมบูรณ์ของเชื้อโรคจะเป็นไปได้ยากเนื่องจาก

1. วัตถุดิบที่ใช้หมักแตกต่างกันไปในการหมักแต่ละครั้ง ซึ่งอาจหมายถึงกลุ่มของเชื้อโรคแตกต่างกันด้วย การหมักอาจทำให้เชื้อโรคตายเพียงบางกลุ่มเท่านั้น แนวทางการแก้ไขคือ พยายามหมักให้อุณหภูมิสูงขึ้นถึงระดับ 50-60°C

2. การกระจายของอุณหภูมิที่ไม่แน่นอนในกองปุ๋ย ด้านนอกของกองปุ๋ยมักมีอุณหภูมิต่ำกว่าด้านใน ทำให้กองปุ๋ยด้านนอกมีประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อโรคต่ำกว่าด้านใน

3. การหมักทำได้เพียงหยุดยั้งการทำงานบางขณะของเชื้อโรคบางชนิดเท่านั้น เชื้อโรคบางชนิดเช่น แบคทีเรีย ปรสิต พยาธิ จะสามารถสร้างสปอร์ได้ จึงหยุดยั้งการทำงานเฉพาะในช่วงการหมักเท่านั้น และจะเจริญใหม่อีกครั้งเมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม เช่น ในแหล่งเพาะปลูกเมื่อมีความชื้นพอเหมาะ

ความเสี่ยงต่อสุขภาพจาก secondary pathgen

การหายใจเอาสปอร์ของ secondary pathogen เข้าไปปริมาณมากจะมีอันตรายต่อสุขภาพของคนงานที่ทำปุ๋ยหมักและผู้ใช้ การศึกษาโรคระบาดของคนงานในโรงหมักปุ๋ย 9 แห่งใน U.S.A. (Clark et al., 1984) พบว่า จมูกและลำคอของคนงานพบ Aspergillus fumigatus มาก ซึ่งเชื้อดังกล่าวเป็นสาเหตุการติดเชื้อปอดและเนื้อเยื่ออื่นๆ ของมนุษย์ ซึ่งอาจเกิดจากการได้รับสปอร์ เข้าไป การเจริญเติบโตของ Aspergillus fumigatus ในการหมัก อาจควบคุมได้โดยการควบคุมความดัน (Finstein et al., 1980) ในการหมักแบบ BARC และ chinese ground-surface เป็นการหมักแบบใช้อากาศจะช่วยลดอันตรายต่อสุขภาพ

ปริมาณสารอาหาร โดยทั่วไปปุ๋ยหมักมีปริมาณธาตุปุ๋ยต่ำมาก ดังนั้นถ้าต้องการปริมาณของธาตุปุ๋ยให้เพียงพอต่อความต้องการของพืชโดยการใช้ปุ๋ยหมัก จึงต้องใช้ปริมาณสูงมากเป็นจำนวนนับล้านต้น / ไร่ ในทางปฏิบัติปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารเสริมเพียงพอ และทำหน้าที่ปรับปรุงบำรุงสมบัติทางกายภาพของดิน นอกจากนี้ยังเป็นการสิ้นเปลืองแรงงานและค่าใช้จ่ายในการขนย้ายสูง สิ้นเปลืองเนื้อที่ในการเก็บรักษา

ปัญหาด้านกลิ่น ในช่วงระหว่างการหมัก จะมีกลิ่นเหม็นของมูลสัตว์ ถ้ากองปุ๋ยหมัก มีความชื้นสูงเกินไปจะมีกลิ่นเหม็น และถ้าปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดกลิ่นเหม็นของพวก mercaptans และซัลไฟด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาด้านคุณภาพ คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์จากสถานที่ต่างกัน ต่างระยะเวลาอาจมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ และในบางโอกาสอาจหายากหรือหามาได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งบางครั้งอาจทำให้มีราคาแพงเกินไปที่จะนำมาใช้ประโยชน์

ปฏิกิริยาทางชีวเคมี

การสลายพันธะเคมีเป็นสิ่งซับซ้อนมากมีกระบวนการย่อย ๆ เกิดขึ้นหลายขั้นตอน เช่น

Protein → peptide → amino acid → amonium compounds → bacterial protoplasm and atmospheric nitrogen or ammonia Carbohydrate → Simple sugars → organic acids → CO_2 and bacterial protoplasm

ปฏิกิริยาการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ ในสภาพการหมักแบบใช้อากาศ

ถ้าพิจารณาถึงการสลายตัวของสารประกอบที่มีธาตุอาหารที่สำคัญ ๆ เป็นองค์ประกอบ เช่น C, N, S, P แสดงดังนี้

$$\text{Organic - C} \xrightarrow{\text{Enzyme}} CO_2$$

$$\text{Organic - N} \xrightarrow{\text{Enzyme}} NO_3^-$$

$$\text{Organic - S} \xrightarrow{\text{Enzyme}} SO_4^{2-}$$

$$\text{Organic - P} \xrightarrow{\text{Enzyme}} PO_4^{3-},\ H_2PO_4^-,\ HPO_4^{2-}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในสภาพการหมัก แบบไม่ใช้อากาศ สารประกอบที่มี C, N, S, P เป็นองค์ประกอบก็จะแสดงการสลายตัวได้ดังนี้

Enzyme

Organic - C ⟶ CO_2 , CH_4 , Organic acid (lactic, acetic, butyric acid, etc.)

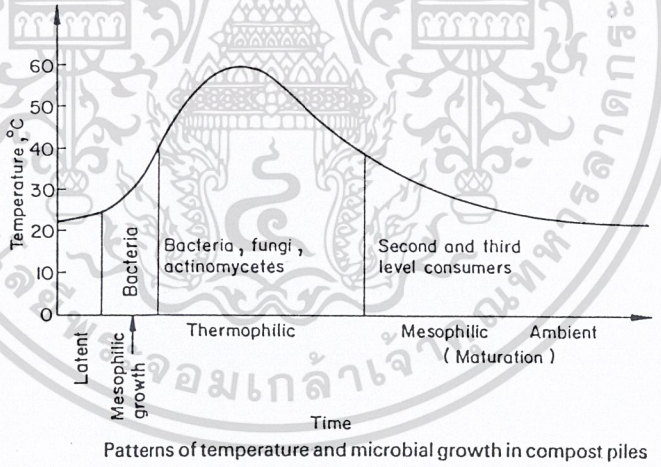
Enzyme

Organic - N ⟶ NH_3 gas, N_2 gas

Enzyme

Organic - S ⟶ H_2S , S^{2-} , CH_3SH (methyl mercaptan)

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกองหมักที่เวลาต่าง ๆ แสดงดังรูป



Patterns of temperature and microbial growth in compost piles

รูปที่ 2.1

1. Latent phase : ช่วงระยะเวลาที่จุลินทรีย์ใช้ในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมในกองหมักช่วงนี้อุณหภูมิต่ำที่สุด

2. Growth phase : เป็นช่วงที่จุลินทรีย์เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิอยู่ในช่วง mesophilic level

3. Thermophilic phase : อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นสูงสุด ทำให้ของเสียในกองหมัก เกิดการคงตัวและสามารถกำจัดเชื้อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Maturation phase : อุณหภูมิจะลดลงไปอยู่ในช่วง mesophilic และจะลดลงเป็นอุณหภูมิปกติ ในที่สุดการหมักโดยจุลินทรีย์ชนิดที่ 2 และ 3 เกิดขึ้นแทนที่อย่างช้า ๆ และมีกลิ่น humification ที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปร่างของสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนไปเป็นคอลลอยด์กับแร่ธาตุ (เหล็ก, แคลเซียม, ไนโตรเจน เป็นต้น) และในที่สุดก็ฮิวมัส

การทำปุ๋ยโดยผ่านกระบวนการ aerobic จะได้แอมโมเนียเกิดขึ้น และถูกออกซิไดซ์ต่อ ดังสมการ

$$NH_4^- + 1.5\ O_2 \xrightarrow[\text{bacteria}]{\text{Enzyme}} NO_2^- + 2H^+ + N_2O$$

$$NO_2^- + 0.5\ O_2 \xrightarrow[\text{bacteria}]{\text{Enzyme}} NO_3^-$$

$$NH_4^- + 2\ O_2 \longrightarrow NO_3^- + 2H^+ + N_2O$$

นอกจากนี้ NH_4^+ ยังถูกนำไปใช้สังเคราะห์เซลล์จุลินทรีย์ ดังสมการ

$$NH_4^+ + 4\ CO_2 + HCO_3^- + H_2O \longrightarrow C_5H_7O_2N + 5O_2$$

$$22NH_4^+ + 37O_2 + 4CO_3^- + HCO_3^- \longrightarrow 21NO_3^- + C_5H_7O_2N + 20H_2O + 42H^+$$

ไนตริไฟอิงแบคทีเรียมี 2 พวก คือ Nitrosomonas และ Nitrobactor มีอัตราการเจริญเติบโตช้า และไม่ว่องไวที่อุณหภูมิสูงกว่า 40°C และจะว่องไวอีกครั้งหนึ่งเมื่อปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดสมบูรณ์ได้ NO_3^- การหมักให้ถึง Maturation phase เป็นสิ่งจำเป็นเพราะได้ NO_3^- ซึ่งจะอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ง่าย

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

การทำปุ๋ยหมักต้องมีปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมทั้งทางเคมีและฟิสิกส์ เพื่อให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ความสมดุลทางสารอาหาร : ตัวแปรที่สำคัญที่สุด คือ อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) รองลงมาเป็นฟอสฟอรัสและซัลเฟอร์ ส่วนแคลเซียม และธาตุอาหารที่ต้องการปริมาณน้อย อีกหลายชนิดที่เกี่ยวข้องในการทำงานของเซลล์จะเป็นปัจจัยถัดมา สำหรับ 20-40 % ของคาร์บอนเริ่มต้นในการหมักนั้น ท้ายที่สุดจะถูกดูดซึมเข้าในเซลล์ใหม่ของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก ส่วนคาร์บอนที่เหลือจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และพลังงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ส่วนประกอบของเซลล์จุลินทรีย์จะมีคาร์บอนประมาณ 50 % และไนโตรเจน 5 % ในน้ำหนักแห้งของเซลล์ ความต้องการของไนโตรเจนที่เหมาะสมที่ใช้เป็นอาหาร คือ 2-4 % ของคาร์บอนเริ่มต้น นั่นคือ อัตราส่วน C/N เท่ากับ 25 :1 ถ้าอัตราส่วน C/N เริ่มต้นมีค่ามากกว่านี้ จุลินทรีย์จะต้องผ่านวงจรของชีวิตหลายวงจรและเกิดการออกซิไดซ์มาก จนกระทั่งอัตราส่วน C/N เท่ากับ 10 : 1 (Alexander, 1961)

ถ้าอัตราส่วน C/N เท่ากับ 30 : 1 สามารถทำการหมักได้เร็วขึ้น (Gttaas, 1956)

การหมักที่ดีสุด จะมีอัตราส่วน C/N ใกล้เคียงกับ 30 : 1 แต่อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของ C/N ที่ปรากฏในช่วงระหว่าง 15 : 1 ถึง 100 : 1 (Braun, 1962)

University of California มีรายการว่า อัตราส่วน C/N ที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วง 26-35 (The American Public Work Association, 1966)

สำหรับการหมักโดยใช้ส่วนผสมของ nightsoil และน้ำที่มีกระบวนการหมักแบบใช้อากาศ อย่างต่อเนื่อง ค่าอัตราส่วน C/N ที่เหมาะสมคือ 30 : 1 (Polprasert et al, 1980)

2. ขนาดของอนุภาคและโครงสร้างของกองปุ๋ยหมัก : วัสดุที่นำมาหมัก เช่น ขยะชุมชน เศษพืชจากการเกษตร วัชพืช ฟางข้าว ควรมีขนาดของอนุภาคเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเติมอากาศและช่วยให้แบคทีเรียย่อยสลายง่าย จึงควรมีการตัดขยะออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ก่อนหมักทำปุ๋ยส่วนพวก nightsoil sludge และมูลสัตว์มีอนุภาคที่ละเอียดเหมาะสมต่อการย่อยสลายอยู่แล้ว แต่ก็ควรเติมวัสดุอื่นเข้าไปเพื่อเพิ่ม C/N ratio ช่วยพยุงโครงสร้างของกองปุ๋ยและเป็นการเพิ่มช่องว่างให้มีอากาศเพียงพอสำหรับ aerobic composting วัสดุที่เติมเข้าไปจะช่วยเพิ่มปริมาณ organic carbon ลด bulk weight และเพิ่ม air voids วัสดุดังกล่าวได้แก่ ขี้เลื่อย ต้นข้าวเปลือกถั่ว แกลบและขยะชุมชน การใช้ผักตบชวาแห้งและฟาง ฟางข้าวตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ยาว 2-3 cm. ก็เหมาะสม

3. การควบคุมความชื้น : ความชื้นจำเป็นต่อการหมักปุ๋ย น้ำช่วยละลายสารอาหารและเป็นส่วนประกอบของ cell protoplasm ปริมาณความชื้นเป็นปัจจัยจำกัดอย่างหนึ่ง เมื่อค่าความชื้นลดต่ำลงถึง 45 % หรือ 50 % อัตราส่วนของ composting fresh material ที่มีปริมาณความชื้น 20 % ถึง 25 % จะมีค่าน้อยกว่า อัตราส่วนความชื้นที่เหมาะสมคือ 15 % ดังนั้นถ้าความชื้นต่ำจะทำให้กระบวนการย่อยสลายถูกยับยั้งลงได้ ความชื้นที่มากเกินไป เช่น ในฤดูฝน จะพาสารอาหารและเชื้อโรคออกจากกองปุ๋ย และลดปริมาณสัดส่วนของอากาศ ทำให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (Gray et al., 1971) การหมักแบบใช้อากาศของขยะเทศบาลโดย University of California บ่งชี้ว่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่สุดคือ 40-60 % (The American Public Health Association,1966) ในการทดลองเพื่อหาช่วงที่เหมาะสมของปริมาณความชื้นเพื่อทำการหมักขยะ ซึ่งรายงานของ Wiley, Pearce, Snell และ Sphon บ่งบอกว่า ค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 55-69 % (Wiley and Pearce, 1955) และค่าที่เหมาะสมที่สุดรายงานโดย Sphon คือ 50 % ในทางปฏิบัติปริมาณความชื้นที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 50-70 % การหมักแบบที่มีการกวนและเติมอากาศจะสามารถหมักที่ความชื้นต่ำกว่าได้ ปริมาณความชื้นที่สามารถยอมให้มีได้มากที่สุดในของเสียชนิดต่าง ๆ เป็นดังนี้ ฟาง 75-85 %, ไม้ 75-90 % , กระดาษ 55-65 %, wet waste 50-55 %, ขยะชุมชน 55-65 %, ปุ๋ยคอก 55-65 % โดยทั่วไป nightsoil sludge และมูลสัตว์มีความชื้นมากกว่า 60 % การเติมเศษพืชจะช่วยลดความชื้นลง หรือในทางกลับกันเศษพืชมักมีความชื้นต่ำกว่า 60 % การเติม nightsoil จะช่วยเพิ่มความชื้น ความชื้นมีความสำคัญในการหมักแบบ batch ควรมีการกลับกองปุ๋ย 1-2 ครั้งต่อวัน สำหรับการหมักแบบต่อเนื่องจะมีการหมุนเวียนปุ๋ยหมักที่ได้เข้าระบบอีกครั้งเพื่อลดความชื้น

4. ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ (Aeration requirements) : ต้องมีการเติมอากาศที่เพียงพอที่จุลินทรีย์จะ stabilize สารอินทรีย์ มิฉะนั้นสภาวะ aerobic จะเกิดขึ้นเฉพาะด้านนอกกองปุ๋ยเท่านั้น ในขณะที่สภาวะ facultative หรือ anaerobic จะเกิดขึ้นภายในทำให้การหมักช้าและใช้เวลานาน การใช้เครื่องจักรกลช่วยจะทำให้เติมอากาศดีขึ้น แต่ถ้ามากเกินไปจะเกิดความสูญเปล่าและสูญเสียความร้อนจากกองปุ๋ยได้ ในทางปฏิบัติการให้อากาศกับปุ๋ยหมักต้องพิจารณาการย่อยสลายที่เกิดขึ้นด้วย เช่น จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิด thermophilic reaction ต้องการปริมาณอากาศมากกว่าจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิด mesophilic และ maturation reaction หลายชนิด และปริมาณอากาศที่เติมลงไป ต้องเติมเพื่อชดเชยการสูญเสียไปในบรรยากาศด้วยซึ่งอาจถึง 95-99 % สมการที่เกิดการออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์คือ

$$C_{10}H_{19}O_3N \longrightarrow 10CO_2 + 8H_2O + NH_3$$

$$C_5H_7O_2N + 5O_2 \longrightarrow 5CO_2 + 2H_2O + NH_3$$

ถ้า pH ในการหมักเท่ากับ 7 NH_3 ที่เกิดขึ้นจะระเหยไปในอากาศ และ NH_3 จะเปลี่ยนไปเป็นไนเตรตระหว่าง maturation ของการหมัก

5. พีเอช ในช่วง 2-3 วันแรก (mesophilic phase) ของการหมักจะเป็นกรดเล็กน้อย pH อยู่ในช่วง 5.0-5.5 เกิดจากสภาวะ anaerobic ทำให้ pH ลดลง เนื่องจากเกิด volatile fatty acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หลังจากนั้นในช่วง thermophilic จะเป็น alkaline pH อยู่ในช่วง 8.0-9.0โดยปกติแล้ว ในช่วง cooling ถึง maturing pH อยู่ในช่วง 7.0-8.0

6. อุณหภูมิ : การควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมมีความสำคัญ 2 ประการคือ

- เพื่อให้เกิดอัตราการย่อยสลายสูงที่สุด
- เพื่อทำให้เกิดปุ๋ยที่มีความปลอดภัยจากเชื้อโรค

ถ้าอุณหภูมิสูงเกิน 50-60°C จะลดอัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยลงได้ มีผู้รายงานว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการหมักจะต่ำกว่า 55°C และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำลายเชื้อโรค คือ 50°C ขึ้นไป ดังนั้น อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักควรอยู่ในช่วง 55°C ซึ่งทำได้โดยปรับการเติมอากาศ และความชื้นโดยใช้วัสดุปกคลุม

7. เวลาที่ใช้ : เวลาที่ใช้ในการหมักเพื่อให้ได้ลักษณะที่คงตัวขึ้นอยู่กับปัจจัยขั้นต้นคือ

- C/N ratio เริ่มต้น หากควบคุม C/N ratio ให้เหมาะสมจะลดเวลาในการหมักลงได้

C/N ratio เริ่มต้น	เวลาที่เหมาะสมในการหมัก (วัน)
20	12
30-50	14
78	21

- ขนาดของอนุภาค อนุภาคขนาดเล็กพื้นที่ผิวสัมผัสจะมาก ทำให้การย่อยสลายเป็นไปได้ง่ายกว่าอนุภาคขนาดใหญ่จึงใช้เวลาน้อยกว่า
- การดูแลระบบการย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจน การย่อยสลายแบบมีออกซิเจนจะเร็วกว่าแบบไม่มีออกซิเจน ดังนั้นการควบคุมสภาวะให้มีออกซิเจนเพียงพอ จะใช้เวลาเพียงไม่นาน
- ความชื้น หากควบคุมความชื้นให้เหมาะสม จุลินทรีย์ยังทำงานได้ดี ใช้เวลาในการย่อยสลายน้อย

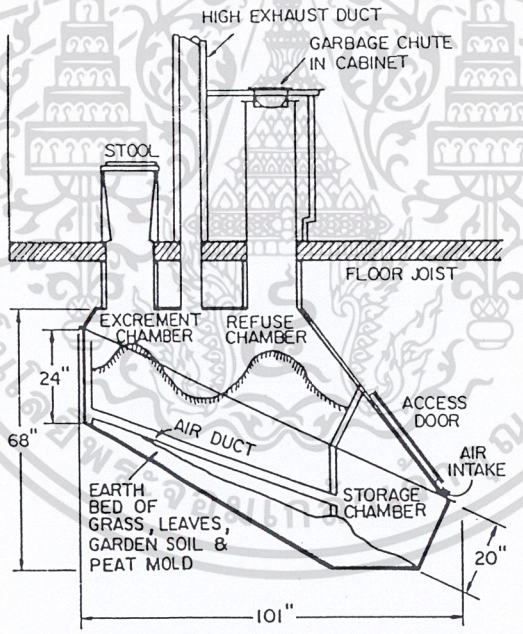
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40056

รูปแบบของการหมัก (Composting systems and Design Criteria)

วิธีการเดินระบบมีหลายวิธี คือ การเดินระบบแบบจบสิ้นไปเป็นครั้ง ๆ (batch operation) และ การเดินระบบแบบต่อเนื่อง (continuous operation) การทำปุ๋ยหมักอาจหมักที่แหล่งกำเนิดของเสีย เช่น บ้าน ห้องน้ำ เป็นต้น หรือหมักนอกแหล่งกำเนิด

การหมักที่แหล่งกำเนิดของเสีย (On-site composting toilets) : Lindstorm ได้ประดิษฐ์เทคโนโลยีการหมักดังรูปข้างล่างออกสู่ตลาดเมื่อหลาย 10 ปีมาแล้ว เรียกว่า multrum มีลักษณะดังรูปที่ 2.2

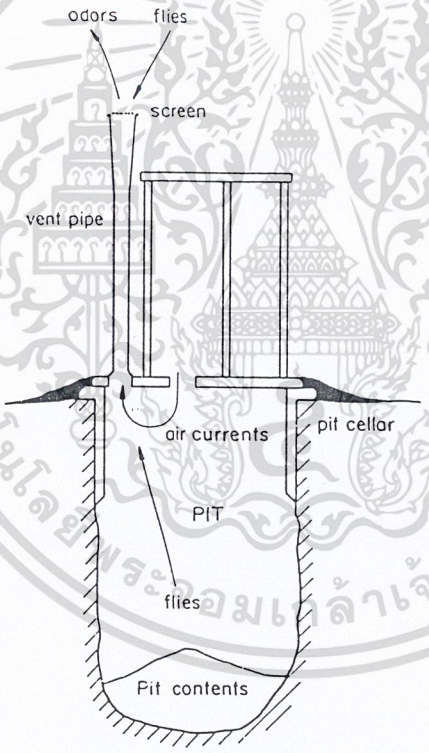


The Clivus Multrum (Rybczynski *et al.*, 1978 reproduced by permission of the International Development Research Centre, Canada)

รูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การหมักของเสียจากห้องน้ำโดยอาศัยกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic composting) : Pit latrines = เป็นการขุดหลุมใต้พื้นดินและทำการหมักของเสียจากห้องน้ำ ถือเป็นการหมักแบบไม่ใช้อากาศที่ง่ายที่สุด เมื่อของเสียเกือบเต็ม 2-3 ของหลุม ก็จะเติมเศษฝุ่นผงลงไป ใช้เวลาหมักประมาณ 2-3 ปี สารอินทรีย์จะคงตัวและเชื้อโรคจะหยุดทำงาน ปุ๋ยหมักจะมีคุณภาพเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นตัวปรับสภาพดิน เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดกลิ่นเหม็นควรพัฒนาให้มีช่องระบายอากาศ ดังรูปที่ 2.3 เทคโนโลยีนี้ใช้ในหลายแห่ง เช่น Zimbwe และ Botswana

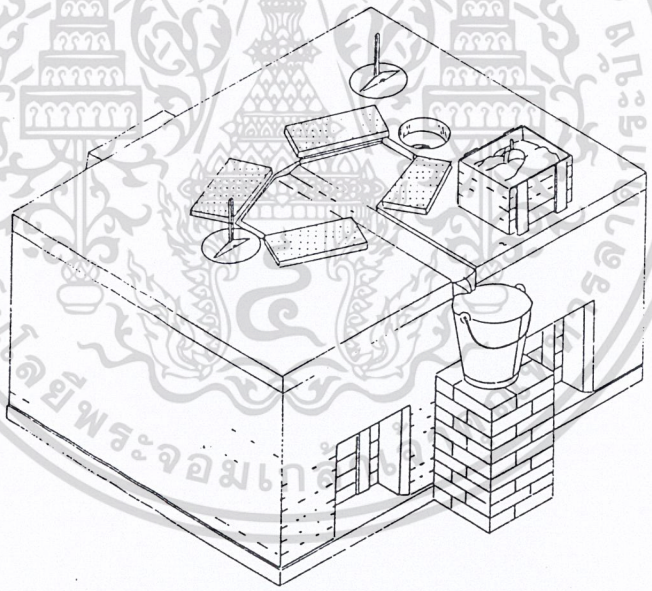


Schematic diagram of a ventilated improved pit latrine (Morgan and Mara, 1982; reproduced by permission of the World Bank)

รูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกแบบหนึ่ง คือ Vietnamese toilet ดังรูปที่ 2.4 อยู่ในแผนพัฒนาสาธารณสุขชนบทของประเทศเวียดนาม มีแท้งค์ 2 ใบรองรับของเสียและเชื่อมติดกัน หลังใช้แต่ละครั้ง จะเติมขี้เถ้าจากครัวลงไปเพื่อลดกลิ่นและเพิ่ม C/N ratio ปัสสาวะจะมีช่องไหลแยกออกมาภายนอก จะช่วยลดความชื้น แต่เพิ่ม C/N ratio ของอุจจาระในส้วม ซึ่งทำให้การหมักปุ๋ยดีขึ้น ด้านหลังมีที่เปิดสำหรับเก็บปุ๋ยหมักที่ได้ ส้วมจะตั้งไว้บนพื้นดิน น้ำฝนจะไม่ซึมเข้าไป เมื่อของเสียมีปริมาณได้ 2/3 ของส้วมเราจะเติมผงดินเพื่อรักษาสภาวะ anaerobic เป็นเวลา 2-3 ปี ระหว่างนี้ก็ใช้อีกแท้งค์ที่อยู่ติดกันสลับกันไป ปุ๋ยหมักที่ได้จะมีสารอาหารอยู่ปริมาณมากและปลอดภัยจากเชื้อโรค



The Vietnamese composting toilet (Rybczynski *et al.*, 1978; reproduced by permission of the International Development Research Centre, Canada)

รูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหมักนอกแหล่งกำเนิดของเสีย (Off-site composting) : เนื่องจากของเสียอินทรีย์มีปริมาณมากจึงต้องใช้ กระบวนการแบบใช้ออกซิเจน เพื่อให้เวลาการหมักสั้นลงและลดขนาดของโรงงานหมักปุ๋ย ซึ่งมีหลายแบบดังต่อไปนี้

- Chinese Composting Pile: ส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก เช่น อุจจาระ มูลสัตว์ เศษพืช จะถูกนำมากองมีขนาดราว ๆ 2 x 2 x 0.5 เมตร กองปุ๋ยจะมีไม้ไผ่แทงทะลุ เพื่อเติมอากาศและช่วยพยุงโครงสร้างของกองปุ๋ย นำต้นข้าวหรือโคลนมาปกคลุม เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนดังรูปที่ 2.5 กองปุ๋ยแบบนี้ทดลองที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย โดยใช้เวลา 60 วัน (Polprasert et al., 1980) จะได้ปุ๋ยหมักที่ใช้ปรับสภาพดินได้ ในประเทศจีนพบว่า วิธีนี้สามารถทำลายไข่พยาธิได้มากกว่า 90 % (McGarry and Stainforth, 1978)

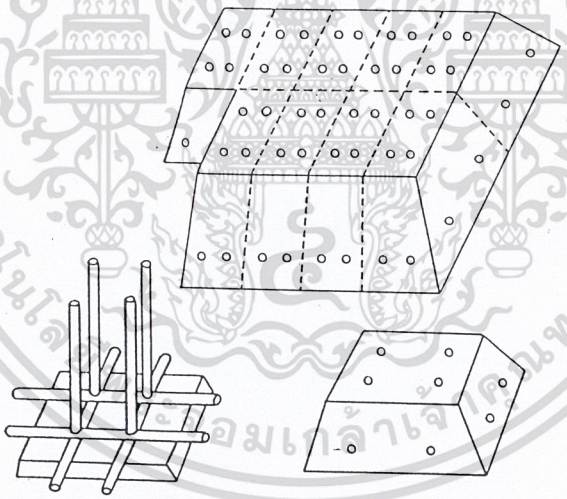


Figure Chinese ground-surface aerobic composting pile (McGarry and Stainforth, 1978; reproduced by permission of the International Development Research Centre, Canada)

รูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

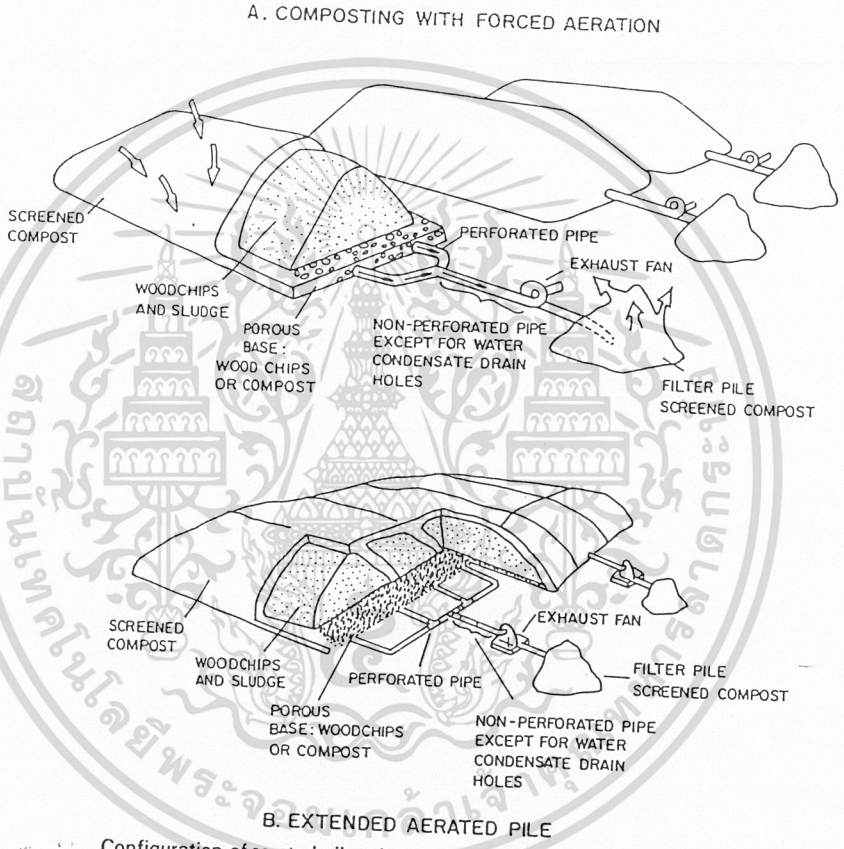
- Windrow Composting : ระบบนี้มีการกลับกองปุ๋ยเป็นช่วง ๆ ประมาณสัปดาห์ละครั้ง โดยไม่ใช้เครื่องจักร (manually) หรือกลับปุ๋ยวันละ 1 หรือมากกว่า 1 ครั้ง จะใช้เครื่องจักรเพื่อเติมอากาศและให้วัสดุผสมกันดี วิธีนี้จะเร็วกว่าแบบ Chinese Composting ขนาดของกองประมาณ 13 x 13 x 1.5 เมตร แต่อาจมีขนาดอื่นก็ได้ ช่วงเวลาที่ใช้หมักจะอยู่ระหว่าง 20-40 วัน ขึ้นกับการกลับกองปุ๋ยบ่อยเพียงใด อุณหภูมิตรงกลางกองปุ๋ยอาจสูงเกิน 65°C

- Forced- Air Aeration Composting : วิธีนี้จะมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบอื่น อุณหภูมิอยู่ในช่วงที่สูงกว่า thermophillic และทำลายเชื้อโรคดีขึ้น เรียกวิธีนี้ว่า Beltsvill aerated rapid composting (BARC) วิธีนี้ถูกพัฒนาโดย Ephtein et al. (1976) ทำได้โดยวางส่วนผสมของตะกอนและเศษไม้ บนที่รองที่มีท่อเติมอากาศมีขนาดกองคือ 12 x 62.5 เมตรและต่อกับcentrifuge blower ทำให้อากาศจากภายนอกเคลื่อนที่เข้ามาในกองปุ๋ยดังรูปที่ 2.6 อุณหภูมิจะสูงขึ้นถึง 60-80 °C อย่างรวดเร็ว ภายใน 3-5 วัน และยังคงต่อเนื่องไปจนถึง 10 วัน การกระจายของอุณหภูมิของกองปุ๋ยไม่เท่ากันตลอดกอง อุณหภูมิบริเวณกองปุ๋ยภายนอกจะไม่สูงนัก อาจมีผลต่อการทำลายเชื้อโรค หากใช้ระบบนี้ต้องหลีกเลี่ยงผลกระทบจากฝนตกหรืออุณหภูมิของอากาศต่ำเกินไป ในการหมักไม่ต้องกลับกองปุ๋ยเหมาะสำหรับ nightsoil ในเขตร้อน พื้นที่ที่ใช้แบบ BARC และ Windrow ประมาณ 1 hectare ต่อ 10-12 ตันน้ำหนักแห้งของ sewage sludge พื้นที่ดังกล่าวใช้สำหรับทำกิจกรรมดังนี้

- ผสมตะกอน หรือ nightsoil กับ bulking material
- เป็นที่สำหรับหมัก
- สำหรับเก็บและ curing piles
- สำหรับร่อนปุ๋ยและแยกเอาเศษไม้กลับมาใช้ใหม่
- สำหรับบำบัดน้ำชะ (lechate) ที่ระบายจากกองขยะ มักเป็นบ่อ stabilization pond
- สำหรับใช้เป็นพื้นที่อาคารอำนวยการ, work shop, ที่จอดรถและสถานที่จัดเก็บอุปกรณ์ซ่อมบำรุง (Shuval et al., 1981)

แบบ conventional windrow composting ของ Los Angeles, U.S.A. มีกำลังผลิต 450 tons/ วันของตะกอนเปียก ใช้พื้นที่ 20 ha ซึ่งรวมที่เก็บปุ๋ย, ตะกอน, อุปกรณ์ต่างๆ และส่วนวิจัย ในส่วนที่ทำการหมัก จะใช้พื้นที่ ประมาณ 15 ha หรือ 0.03 ha ต่อการหมักตะกอนเปียก 1 ตันต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

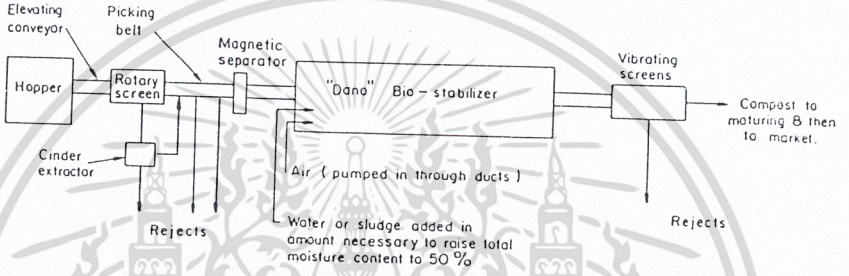


Configuration of aerated piles showing construction of pile and the arrangement of aeration pipe—the BARC system (Shuval *et al.*, 1981; reproduced by permission of the World Bank)

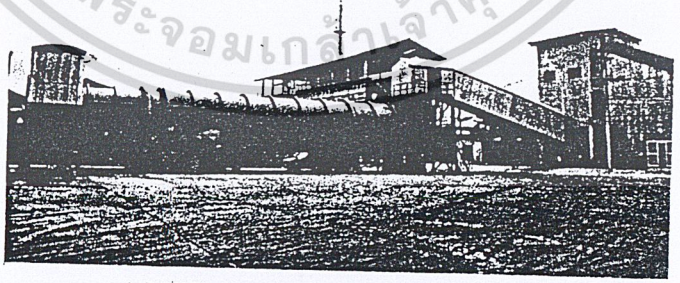
รูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- The Dano System : เป็นระบบที่ใช้ผลิตปุ๋ยหมักจากขยะ มีที่รวบรวมขยะ แยกชิ้น มีการแยกเศษเหล็กและวัสดุที่ไม่เหมาะสมออก นำวัสดุที่ได้ป้อนเข้าสู่ถังหมัก ซึ่ง Bio- stabilizer จะทำการคลุกเคล้าวัสดุให้เข้ากันมีการเติมอากาศและน้ำให้ขยะ เพื่อให้ความชื้นเหมาะสม ดังรูปที่ 2.7 ภายในจะมีอุณหภูมิสูงถึง 60°C ใช้เวลาประมาณ 2.5-5 วัน แบบนี้ใช้มากในประเทศเดนมาร์กและหลายประเทศทั่วโลก มีต้นทุนสูง และค่าเดินระบบสูงต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการดูแลระบบและเป็นแบบที่มีในกรุงเทพมหานคร



Typical DANO plant (after Flintoff and Millard, 1969)

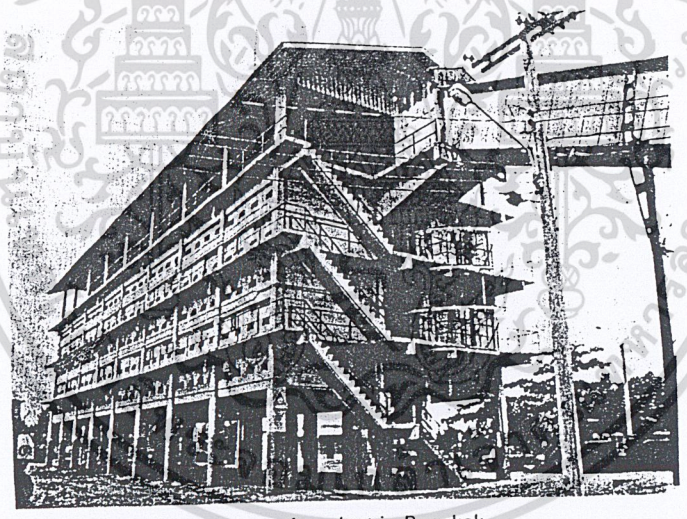


A DANO composting plant in Bangkok

รูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- The Jersey System : ระบบนี้ส่วนมากใช้กับขยะเทศบาลเป็นแบบที่ย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจน มีการเติมอากาศโดยการพลิกกลับของกะบะที่อยู่ชั้นบนลงมาชั้นล่างชั้นละ 1 วัน มีทั้งหมด 5 ชั้น ใช้เวลา 5 วันได้วัสดุที่นำไป crude โดยกองทิ้งไว้เป็นเวลา 30-60 วัน ก่อนใช้เป็นวัสดุปรับสภาพดิน มีค่าก่อสร้างและค่าเดินระบบแพง ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการเดินระบบดังรูปที่ 2.8



A Jersey composting plant in Bangkok

รูป 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานปุ๋ยหมัก (Thanyadee, 1984)

1. ต้องมีค่า C/N ratio ไม่สูงกว่า 20: 1
2. มี total nitrogen 1 %, P_2O_5 1 % และ K_2O 0.5 % หรือสูงกว่า
3. ความชื้นและสารที่ระเหยได้ไม่เกิน 35 % โดยน้ำหนัก
4. มีอินทรีย์วัตถุ 30-60 %
5. pH ควรอยู่ในช่วง 6-9
6. ไม่มีเชื้อโรคร้ายแรง ไม่มีกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนา และมีอุณหภูมิตามปกติ

ยงยุทธ (2528) กล่าวว่า ลักษณะของปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้ว (Well matured compost) หมายถึง ปุ๋ยหมักที่แสดงว่าเหมาะสำหรับการใช้งานในไร่นา สำหรับลักษณะที่ว่าปุ๋ยนั้นหมักได้ที่แล้วมี 2 แบบคือ ดูจากลักษณะภายนอกและสมบัติทางเคมี

ลักษณะภายนอก คือ ซากพืชสลายเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย เปื่อยยุ่ย และมีสีดำหรือสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งเป็นลักษณะที่ใช้ในการพิจารณาได้ดี และกสิกรทั้งหลายก็ใช้เกณฑ์เหล่านี้ทั้งสิ้น นอกจากนี้อาจดูจากกลิ่นเหม็นลดลง อุณหภูมิของกองปุ๋ยลดลง การเจริญของแมลงลดลง

ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก

1. ในด้านการปรับปรุงบำรุงดิน

1.1 ช่วยเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกดินทราย ดินที่หน้าดินถูกชะล้าง และดินชั้นล่างที่นำมาใช้ในการเพาะปลูก

1.2 ช่วยเพิ่มแร่ธาตุในอาหารพืชที่สำคัญ ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองและ ธาตุอาหารเสริม

1.3 ช่วยรักษาความสมบูรณ์ให้แก่ดินโดยที่ธาตุอาหารพืชชนิดต่าง ๆ ค่อย ๆ ละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืช ช่วยให้ดินมีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิต

1.4 ช่วยรักษาปฏิกิริยาของดินไม่ให้เปลี่ยนแปลงได้ง่าย โดยเฉพาะปุ๋ยหมักจะมีปฏิกิริยาเป็นกรดอ่อน ๆ ซึ่งพืชโดยทั่วไปต้องการ

1.5 ช่วยให้ดินเหนียวซึ่งแน่นทึบมีความร่วนซุย และดินทรายมีการจับตัวกันดีขึ้น

1.6 ช่วยให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดียิ่งขึ้น เพราะคุณสมบัติคล้ายกระดาษที่คอยซับน้ำ และธาตุอาหารไว้ให้พืชใช้

1.7 ช่วยป้องกันไม่ให้ดินสูญเสียน้ำหรือถูกน้ำชะล้างเอาแร่ธาตุไปได้ง่ายเพราะปุ๋ยหมักช่วยซับน้ำ และช่วยให้เม็ดดินเกาะกันดียิ่งขึ้น

1.8 ช่วยให้เกิดความสะดวกในการไถพรวน และเตรียมดินโดยทั่วไป

1.9 ช่วยเพิ่มกิจกรรมและปริมาณจุลินทรีย์ในดิน จึงทำให้ความสมบูรณ์ของดินมีเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในด้านการปรับสภาพสิ่งแวดล้อม

2.1 ช่วยกำจัดมูลฝอยโดยทั่วไป ทำให้เกิดความสะอาดถูกสุขลักษณะอนามัย

2.2 ช่วยลดอุบัติเหตุได้ ซึ่งมีตัวอย่างอยู่ทั่วไปที่การทำลายเศษพืชไม่ถูกวิธี โดยการนำไปเผา หรือเผาตอซังข้าว หรือเศษหญ้า เศษขยะข้างถนน ซึ่งเป็นวิธีไม่ถูกต้อง ทำให้เกิดรถชนจราจรติดขัด เกิดความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สิน และก่อให้เกิดอาการเป็นพิษ การนำเศษพืชเหล่านั้นมาทำเป็นปุ๋ยหมักก็ช่วยแก้ปัญหาได้

2.3 เป็นการกำจัดวัชพืชน้ำทั้งหลายให้หมดไป ทำให้สัตว์น้ำได้รับแสงแดดเต็มที่ สัตว์น้ำจึงเจริญเติบโตได้ดี

3. ในด้านเศรษฐกิจ

3.1 ช่วยประหยัดและลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีราคาแพง

3.2 ช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรให้กสิกรมีรายได้เพิ่มขึ้น

3.3 เป็นตัวสร้างอาหารปลาขึ้นมาอีกชนิดหนึ่ง

2.7 การย่อยสลายของปุ๋ยอินทรีย์และการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช

1. ขั้นตอนของการย่อยสลายปุ๋ยอินทรีย์ เมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงไปในดินและได้รับความชื้นและสภาวะอื่นๆ ที่เหมาะสม สารต่างๆ ที่ละลายน้ำได้ในปุ๋ยจะถูกปลดปล่อยออกมาและถูกนำไปใช้โดยจุลินทรีย์หรือรากพืช ในขณะเดียวกันอินทรีย์สารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและย่อยง่ายจะถูกทำให้ย่อยสลายโดยน้ำย่อยของจุลินทรีย์อย่างรวดเร็ว ส่วนสารที่มีลักษณะโมเลกุลที่ค่อนข้างซับซ้อนก็จะถูกย่อยสลายอย่างช้าๆ และบางส่วนของโมเลกุลที่ถูกย่อยสลายไปบ้างแล้วแต่ยังมีลักษณะ aromatic ring ที่ซับซ้อนอยู่ อาจรวมตัวกับอนุมูลต่างๆ เกิดเป็นสารฮิวมัสซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของอินทรีย์วัตถุในดินซึ่งคงทนต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มากขึ้น เนื่องจากสารเหล่านี้มักจะเข้าทำปฏิกิริยากับแร่ดินเหนียวเกิดเป็น humus-clay complex ส่วนสารประกอบอินทรีย์พวกอะลิฟาติกและพวกที่มีโซ่ตรงส่วนใหญ่จะค่อยๆ ถูกย่อยสลายกลายเป็น CO_2 เข้าสู่บรรยากาศในที่สุด

2. การปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยอินทรีย์ ในขณะที่อินทรีย์สารต่างๆ ในปุ๋ยอินทรีย์กำลังถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์นั้น สารประกอบอินทรีย์รูปต่างๆ ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะเปลี่ยนแปลงย่อยสลายไปตามลำดับ และในที่สุดจะไปเป็นรูป mineral N และ P เช่น NH_4^+, NO_3^-, $H_2PO_4^-$ และ HPO_4^{2-} ซึ่งจุลินทรีย์และรากพืชดูดไปใช้ได้ ส่วนโพแทสเซียมในปุ๋ยซึ่งมักจะอยู่ในรูปไอออนที่ละลายน้ำได้ดีจะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ทันที ส่วนโพแทสเซียมที่อยู่ในเนื้อเยื่อพืชและสัตว์ในปุ๋ยจะค่อยๆ ถูกปลดปล่อยออกมาในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน อย่างไรก็ตาม การปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีแล้วจะเป็นอัตราที่ช้าและสม่ำเสมอมากกว่า จึงทำให้ปุ๋ยมีประสิทธิภาพสูง พืชตอบสนองดี และไม่ค่อยเกิดการเป็นพิษต่อพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อสมบัติทางเคมีของดิน โดยเหตุที่ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้อยู่ต่ำ และสลายตัวให้ฮิวมัสซึ่งมีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุสูง จึงมักปรากฏผลต่อคุณสมบัติทางเคมีของดินในลักษณะเอื้ออำนวยการเจริญเติบโตของพืชดีขึ้น เนื่องจากในปุ๋ยมีอินทรีย์สารที่มีตำแหน่งของการแลกเปลี่ยนประจุในปริมาณสูงมาก จึงช่วยเจือจางความเข้มข้นของไอออนที่อยู่บริเวณรอบๆ และควบคุมปฏิกิริยาทางเคมีในดินให้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงไปมาอย่างฉับพลัน จึงช่วยให้พืชเจริญเติบโตสม่ำเสมอดีขึ้น แต่บางกรณีปุ๋ยอินทรีย์บางชนิดอาจมีปริมาณธาตุอาหารบางธาตุสูงมากและมี C/N ต่ำจึงสลายง่าย ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในดินอย่างฉับพลัน ในลักษณะเช่นนี้จะทำให้เกิดอันตรายต่อพืชโดยความร้อนที่เกิดจากการสลายตัวอย่างรวดเร็ว และสำหรับปุ๋ยอินทรีย์ที่มี C/N สูง เมื่อใส่ลงไปในดินจะทำให้เกิดการขาดไนโตรเจนอย่างรุนแรงในระหว่างการสลายตัว ปุ๋ยอินทรีย์จากซากพืชบางอย่างอาจมีสารฝาด (Tannin) และสารอื่นๆ เป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณสูง อาจเป็นพิษกับพืชได้ถ้าปุ๋ยนั้นยังย่อยสลายไม่ดีพอ อย่างไรก็ตาม โดยทั่วๆ ไปจะไม่พบว่าผลตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ปรากฏผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช

4. ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อสมบัติทางกายภาพของดิน เนื่องจากอินทรีย์สารในปุ๋ยมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง และมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคที่พอเหมาะ จึงปรากฏว่าเมื่อใส่ไปในดินจะทำให้ดินอุ้มน้ำดีขึ้น และปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ได้สูงขึ้น ทำให้อนุภาคหยาบๆ เกาะตัวกันดีขึ้นแต่จะลดการเกาะตัวกันของอนุภาคขนาดเล็ก จึงทำให้ดินทรายจับตัวกันดีขึ้น ส่วนดินเหนียวจะร่วนขึ้น โปร่งขึ้น มีการระบายน้ำและอากาศดีขึ้น ความหนาแน่นลดลง ไม่แข็งจัดเมื่อแห้ง และไม่จับติดเครื่องมือไถพรวนเมื่อมีความชื้นสูง อย่างไรก็ดี ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อสมบัติทางกายภาพของดินจะไม่เป็นที่ยั่งยืนถาวร จะขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ ความถี่ในการใส่และอัตราการสลายตัวขององค์ประกอบของปุ๋ย พวกที่มีองค์ประกอบของ Humic type อยู่สูงจะช่วยรักษาสภาพทางกายภาพของดินได้ดีอยู่ได้นาน ซึ่งพวกนี้มักได้มาจากสารที่มีสารประกอบอะโรมาติกเป็นองค์ประกอบอยู่จำนวนมาก อย่างไรก็ตาม อินทรีย์สารจากบางแหล่ง เช่น ใบของพืชพวกกะเพรา สะระแหน่ (mints), พวกสน (pines) และยูคาลิปตัส และอาจมีสารประกอบประเภทไขมันและขี้ผึ้ง และสาร nonpolar hydrophobic อื่นๆ อยู่มาก เมื่อใบของพืชเหล่านี้ร่วงหล่นลงสู่ดิน ถูกสัตว์ต่างๆ ในดินและจุลินทรีย์ย่อยสลายลง สาร nonpolar hydrophobic เหล่านี้เป็นสารที่ค่อนข้างคงทนจึงมิได้ถูกย่อยสลายไปโดยง่าย และเมื่อดินได้รับแสงแดด อุณหภูมิสูง สารเหล่านี้จะหลอมตัวเคลือบอนุภาคของดินบางส่วนไว้ ทำให้อนุภาคของดินเหล่านั้นไม่เปียกน้ำโดยง่ายและไม่อุ้มน้ำ ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชได้ อย่างไรก็ตาม ผลเสียนี้ก็เกิดขึ้นในระยะเวลาไม่ยาวนานนัก เมื่อสารเหล่านี้ถูกย่อยสลายไปโดยจุลินทรีย์ คุณสมบัติดั้งเดิมของดินก็จะกลับคืนมาเป็นปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อสมบัติทางชีวภาพดิน ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าสารอินทรีย์ในปุ๋ยอินทรีย์นั้น อยู่ในระหว่างขั้นตอนของการสลายตัวจึงยังมีสารให้พลังงานเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อใส่ลงไปในดินจุลินทรีย์จะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เชื้อราต่างๆ จะแทง mycelium ลงไปในดินอย่างหนาแน่น สัตว์เล็กๆ จะมาใช้เป็นอาหารและชอนไชไปรอบบริเวณ ซึ่งกิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์เหล่านี้ล้วนมีผลโดยตรงและโดยทางอ้อมต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน ซึ่งในขณะนั้นจะทำให้มีการหมุนเวียนของธาตุอาหารในรูปต่างๆ ถ่ายทอดและถ่ายเทจากสิ่งมีชีวิตหนึ่งไปยังสิ่งมีชีวิตอื่นๆ จึงเท่ากับเป็นการสงวนธาตุอาหารพืชต่างๆ ไว้ไม่ให้สูญหายไปในเวลาอันสั้น การปรากฏตัว และเพิ่มปริมาณของไส้เดือนและสัตว์เล็กสัตว์น้อยอื่นๆ ภายหลังการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ย่อมเป็นสัญลักษณ์ที่บ่งบอกให้ทราบถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินในระดับสูง

2.8 การนำปุ๋ยหมักไปใช้งาน

การใช้ปุ๋ยหมักโดยโรยบางๆ ที่ต้นพืช วิธีนี้จะใช้ปุ๋ยหมักแห้งโรยบางๆ หนาประมาณ 1 เซนติเมตรแล้วใช้จอบสับคลุกเคล้าเข้ากับดินกันเป็นอย่างดีก่อนปลูกพืช โดยจะใช้เป็นการเตรียมดินก่อนปลูกพืชหรือระหว่างการเจริญเติบโตของพืช เพื่อเป็นการเพิ่มธาตุอาหาร

การใช้ปุ๋ยหมักทำเป็นปุ๋ยน้ำชีวภาพ โดยการใช้ปุ๋ยหมักผสมน้ำแล้วใช้ไม้คนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 1 คืน ธาตุอาหารจะละลายอยู่ในน้ำซึ่งสามารถใช้น้ำนี้ไปรดต้นพืชได้ เมื่อใช้หมดแล้วให้เติมน้ำได้ 1 ครั้ง ใช้ไม้คนทิ้งไว้ 1 คืนเช่นกัน แล้วเอาน้ำไปรดต้นพืชได้ (เนื่องจากปุ๋ยหมักที่แช่น้ำจะค่อยๆ ละลายธาตุอาหารที่ยังมีเหลืออยู่ออกมาจึงสามารถใช้ได้อีก 1 ครั้ง) และเมื่อใช้ครั้งที่ 2 หมดแล้วให้เอาตะกอนที่เหลือไปใส่ในแปลงพืชผักได้เพื่อใช้ปรับปรุงดินได้อีก

การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี เนื่องจากปริมาณธาตุอาหาร N, P, K ที่อยู่ในปุ๋ยอินทรีย์โดยทั่วไปมักอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับระดับธาตุอาหารนี้ให้สูงขึ้นโดยการเติมปุ๋ยเคมีสูตรสมบูรณ์เข้าไปในปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งอาจเป็นสูตร 15-15-15 ซึ่งหาซื้อได้ทั่วไป หรืออาจเป็นปุ๋ยสูตรอื่นๆ ตามความเหมาะสม ตามปกติอาจเติมปุ๋ยเคมีนี้เข้าไป 1-5 % โดยน้ำหนักของปุ๋ยอินทรีย์ แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน หรืออาจละลายปุ๋ยลงในน้ำแล้วรดลงไปในปุ๋ยอินทรีย์แล้วคลุกเคล้าให้ทั่ว เสร็จแล้วให้นำไปใช้ทันที มิฉะนั้นไนโตรเจนในปุ๋ยจะสูญหายไปโดยเร็ว อีกวิธีหนึ่งซึ่งนิยมปฏิบัติกันในพืชยืนต้นก็คือ การขุดดินรอบโคนต้นไม้ให้เป็นร่องเล็กๆ แล้วใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ไปพร้อมกัน ส่วนในการปลูกผักอาจใช้ปุ๋ยอินทรีย์คลุกเคล้ากับดินเป็นการรองพื้นไว้ก่อนแล้วจึงใส่ปุ๋ยเคมีทีหลัง สำหรับไม้ผลที่รากว่องไวต่อการติดเชื้อก็ไม่ควรขุดหรือพรวนดิน แต่อาจใช้วิธีโรยปุ๋ยเคมีลงไปบนผิวดินแล้วคลุมทับด้วยปุ๋ยอินทรีย์ แล้วจึงคลุมทับด้วยวัสดุคลุมดินอีกชั้นหนึ่ง ปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีอาจคำนวณได้จากจำนวนต้นไม้ใน 1 ไร่

อนาคตของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ โดยข้อเท็จจริงแล้วเป็นที่ทราบกันว่ามีพืชเศรษฐกิจจำนวนไม่น้อยที่มีระบบรากไม่แข็งแรงนัก และมีความต้องการใช้ธาตุอาหารในปริมาณสูงและสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ปุ๋ยเคมีที่ควบคุมการละลายได้อาจเป็นทางออกทางหนึ่งที่ทำให้มีการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาให้พืชตามความต้องการได้ แต่ปุ๋ยประเภทนี้ต้องใช้เทคนิคในการผลิตจึงมักมีราคาแพงและการปลดปล่อยธาตุอาหารถูกควบคุมโดยความชื้นของดิน ดังนั้นจึงเป็นข้อสรุปได้ว่าปุ๋ยอินทรีย์ยังคงจะมีบทบาทสำคัญต่อพืชเหล่านี้อีกนาน ในพื้นที่ซึ่งเป็นดินทรายจัด ดินตื้น หรือมีปัญหาในด้านความเป็นกรด ด่างหรือเกลือ ปุ๋ยอินทรีย์ยังมีบทบาทที่จะช่วยบรรเทาปัญหาเหล่านั้นลงได้อย่างมาก ปัญหาในเรื่องนี้ก็คือ ปุ๋ยอินทรีย์ในปัจจุบันนั้นมักจะมุ่งให้มีการสลายตัวรวดเร็วซึ่งทำให้บทบาทของปุ๋ยอินทรีย์ในการช่วยบรรเทาปัญหาเหล่านี้อยู่ในระยะสั้นไปด้วย ฉะนั้น จึงเป็นความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาปุ๋ยอินทรีย์ที่มีส่วนผสมของอินทรีย์สารที่ยากต่อการสลายตัวมาใช้เพื่อช่วยแก้ปัญหาดินได้ในระยะยาวขึ้น

2.9 ปัจจัยควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

1. พันธุกรรม พันธุกรรมเป็นหน่วยขนาดเล็กมากที่สุดสำคัญที่สุดของสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย เป็นหน่วยที่สืบช่วงจากพ่อแม่ไปสู่ลูก ทำหน้าที่ควบคุมลักษณะต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตที่ปรากฏออกมาให้เห็นเช่น ควบคุมให้มีรูปร่าง (ความสูง ทรงใบ ทรงปล้อง ตา ฯลฯ) คุณภาพ (ความหวาน ความสามารถในการใช้ อาหารแร่ธาตุ ฯลฯ) แต่บางครั้งก็ไม่มีอำนาจมากพอที่จะบังคับให้แสดงลักษณะออกมาให้ปรากฏ แต่พันธุกรรมนี้จะยังแฝงอยู่ในสิ่งนั้นและสืบพันธุ์ช่วงต่อไปได้

2. แสงสว่าง เป็นแหล่งพลังงานซึ่งพืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างน้ำตาลและแป้ง พืชที่ได้รับแสงสว่างที่ความเข้มที่เหมาะสมย่อมจะสร้างน้ำตาลและแป้งได้มาก

3. อุณหภูมิ อุณหภูมิของดินและบรรยากาศควบคุมอุณหภูมิภายในต้นพืช กระบวนการต่าง ๆ ภายในพืช เช่น การสังเคราะห์แสง การหายใจ และเมแทบอลิซึมอื่นๆ ของพืชจะมีอัตราช้าหรือเร็วอย่างไรนั้น ส่วนหนึ่งขึ้นกับอุณหภูมิ กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิเหมาะสมก็จะดำเนินไปตามปกติ ซึ่งทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำหรือสูงเกินไปกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ดังกล่าวจะพลอยช้าไปด้วย

4. ความชื้น น้ำเป็นวัตถุดิบในกระบวนการสังเคราะห์แสง และทำหน้าที่ต่าง ๆ มากมายในพืช เช่น ทำให้เซลล์แตกตัว ช่วยให้โพรโทพลาสซึมอยู่ในสภาพแขวนลอย เป็นตัวกลางในการขนย้ายธาตุอาหารและอินทรีย์สาร พืชมีการคายน้ำเพื่อปรับอุณหภูมิภายในให้คงสภาพปกติ

5. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเป็นวัตถุดิบร่วมกับน้ำในขบวนการสังเคราะห์แสงโดยเกิดขึ้นที่ใบ เมื่อใบสร้างแป้งและน้ำตาลแล้วส่งต่อไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชตามที่พืชต้องการ

6. ก๊าซออกซิเจน สิ่งมีชีวิตส่วนมากจำเป็นต้องใช้ก๊าซออกซิเจนในการหายใจ สำหรับพืชโดยเฉพาะส่วนที่อยู่ในอากาศหรือในดินล้วนต้องการออกซิเจนในการหายใจทั้งนั้น ส่วนของพืชที่อยู่ในอากาศ ย่อมไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการขาดแคลนก๊าซออกซิเจนในการหายใจ เพราะใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศมีก๊าซออกซิเจนมากกว่า 20 % โดยปริมาตร แต่ส่วนของพืชที่อยู่ใต้ดิน โดยเฉพาะรากที่ยังมีชีวิตอยู่จำเป็นต้องมีก๊าซออกซิเจนสำหรับหายใจ ดังนั้นหากปริมาตรของก๊าซออกซิเจนจากอากาศในดินไม่เพียงพอ ย่อมกระทบกระเทือนต่อการเจริญเติบโตของราก เช่น หยุดชะงักการเจริญเติบโต เป็นต้น

7. อาหารแร่ธาตุของพืช ธาตุที่เป็นอาหารแร่ธาตุของพืชที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืช มี 16 ธาตุ คือ คาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน ได้จากน้ำและอากาศ นอกจากนั้นคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน โมลิบดินัม และ คลอรีน ส่วนมากได้มาจากดิน

8. ที่สำหรับหยั่งรากยึดให้พืชลำต้นตรงอยู่ได้ พืชที่ล้มเอียงไม่ตั้งตรงมีลักษณะของการแตกกิ่งก้าน และการเจริญเติบโตของส่วนยอดเลวกว่าพืชที่ตั้งตรงเสมอ เพราะการรับแสงไม่ทั่วถึง จึงกระทบถึงการสร้างแป้งและน้ำตาล การสะสมน้ำหนักแห้งและการกระจายของฮอร์โมนในพืช ดังนั้นการที่มีของบางอย่างให้พืชหยั่งรากและยึดพยุงให้ต้นพืชตั้งตรงย่อมมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช

9. ความปราศจากศัตรูรบกวน พืชที่ถูกศัตรู เช่น โรคแมลงหรือสัตว์อื่นทำลาย และวัชพืชแย่งแสง น้ำ อาหารและแร่ธาตุ พืชที่อยู่ในลักษณะเช่นนี้ย่อมมีการเจริญเติบโตที่ผิดปกติ ผลผลิต (อาจรวมถึงคุณภาพ เช่น ความหวาน) ลดลงได้ ปริมาณการสูญเสียของผลผลิตขึ้นอยู่กับความมากน้อยของการระบาด และ ความรุนแรงในการทำลายของศัตรูเหล่านี้ พืชที่ปราศจากศัตรูพืชรบกวนย่อมได้ผลผลิตตามที่ปัจจัยอื่น ๆ ควบคุมไว้

2.10 ธาตุอาหารพืช (Mineral plant nutrition)

ธาตุอาหารเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับที่เป็นพืชที่ต้องได้รับครบถ้วนในสัดส่วนที่เหมาะสมตามจังหวะ ความต้องการเพื่อการเจริญเติบโตของพืช ธาตุอาหารหลายธาตุได้มาจากดินและบางกรณีดินมีไม่เพียงพอ ต้องให้ในรูปของปุ๋ย การพิจารณาว่าธาตุใดเป็นธาตุอาหารของพืชได้นั้นต้องมีหลักเกณฑ์ดังนี้

- ธาตุนั้นจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ ถ้าขาดธาตุนั้นไปพืชไม่สามารถเจริญเติบโตจนครบวงจรชีพได้
- พืชต้องการธาตุนี้อย่างเฉพาะเจาะจง ธาตุอื่นทำหน้าที่แทนไม่ได้
- ธาตุนี้ต้องมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโต เช่น ทำหน้าที่เฉพาะในขบวนการเพื่อการเจริญเติบโต (ไม่ใช่ทำหน้าที่สนับสนุนการเจริญเติบโตทางอ้อม เช่น ปรับตัวแก้ความเป็นกรดในพืช หรือ ต่อต้านสารเป็นพิษในพืช)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธาตุอาหารแร่ธาตุของพืชมี 16 ชนิด แยกออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

1. ธาตุอาหารหลัก (primary nutrient elements) หรือ ธาตุปุ๋ย (fertilizer elements) คือ ธาตุอาหาร ที่พืชต้องการในปริมาณมากและสะสมในเนื้อเยื่อพืชในความเข้มข้นสูงกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พืชแห้ง) แบ่งออกเป็น

1.1 ธาตุอาหารที่มาจากอากาศและน้ำได้แก่

- คาร์บอน เข้าสู่พืช ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทางปากใบ (stomata)
- ออกซิเจน เข้าสู่พืชในรูปของก๊าซออกซิเจนทั้งทางปากใบและทางผิวของราก แม้ว่าในดินจะมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ แต่พืชก็ไม่ได้ใช้ออกซิเจนจากส่วนนี้
- ไฮโดรเจน พืชได้ไฮโดรเจนจากไฮโดรเจนอะตอมที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของน้ำ เมื่อน้ำเข้าร่วมในการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ธาตุทั้ง 2 ในโมเลกุล ของน้ำยังเข้าร่วมเป็นองค์ประกอบของอินทรีย์สารในกระบวนการแยกสลายด้วยน้ำ (hydrolysis)

1.2 ธาตุอาหารที่มาจากดิน ได้แก่

ก.)ไนโตรเจน (N) ส่วนใหญ่อยู่ในอินทรีย์วัตถุ แหล่งที่มาของไนโตรเจนในดินนั้นมีอยู่ 4 แหล่งใหญ่ คือ

1. มาจากการตรึงก๊าซไนโตรเจน (nitrogen fixation) จากอากาศโดยแบคทีเรียพวก Rhizobium ที่อาศัยอยู่ในปมที่รากของพืชตระกูลถั่ว แบคทีเรียพวกนี้สามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศมาใช้ เรียกวิธีนี้ว่า symbiotic nitrogen fixation ซึ่งเปลี่ยนมาอยู่ในรูปโปรตีนและ nitrogeneous compound อื่นๆ ในแบคทีเรียและพืชก็จะสะสมอยู่ในดิน
2. มาจากการตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศโดยพวกจุลินทรีย์ที่อยู่อย่างอิสระในดิน เรียกวิธีนี้ว่า non-symbiotic fixation จุลินทรีย์ชนิดนี้ ได้แก่ Acetobacter, Clostridium และพวกสาหร่าย (algae)
3. มากับฝน การเกิดฟ้าแลบฟ้าร้อง ก๊าซไนโตรเจนในอากาศจะถูกออกซิไดซ์ให้กลายเป็น nitrous oxide (N_2O) และ nitric oxide (NO) และจะละลายน้ำฝนตกลงมายังผิวดิน
4. มากับปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดิน

พืชดูดซึมไนโตรเจนจากดินได้ทางรากในรูปอนุมูลประจุลบ คือ ไนไตรต์ ไนเตรต ประจุบวก คือ แอมโมเนียม และเข้าทางปากใบในรูปของสารประกอบยูเรีย

- ไนโตรเจนมีหน้าที่เป็นองค์ประกอบที่จำเป็นของโปรตีน คลอโรฟิลล์ และสารอื่น ๆ โปรตีนจำเป็นสำหรับการแบ่งเซลล์ ขยายยอด ขยายกิ่งก้านสาขา คลอโรฟิลล์เป็นสารสีเขียวในใบที่รวมแสงสว่างมาใช้สังเคราะห์แป้ง-น้ำตาล ดังนั้น ไนโตรเจนจึงมีส่วนในการสร้างน้ำหนักแห้งหรือการเจริญทางกิ่งก้านสาขาแก่พืชทำให้พืชไม่ยอมแก่ติดดอกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ้าพืชขาดไนโตรเจน พืชแสดงอาการผิดปกติ ต้นจะผอมแกรน ใบโดยเฉพาะใบล่างจะเหลืองซีด ถ้าขาดมาก ๆ ทั้งใบบนใบล่างจะเหลืองซีด เพราะขาด คลอโรฟิลล์ ถ้าพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไป ต้นจะอวบอ้วน ใบสีเขียวจัด ใบใหญ่ ไม่ยอมแก่ ต้นอาจล้มได้ง่าย เพราะน้ำหนักมาก ปล้องเปราะ

ข.) ฟอสฟอรัส (P) ฟอสฟอรัสอยู่ในดินในรูปของออร์โธฟอสเฟต หรือพวกที่แปลงมาจากกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เกือบทั้งสิ้น ฟอสเฟตในดินแบ่งออกได้เป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ อินทรีย์ฟอสเฟตกับอนินทรีย์ฟอสเฟต ปัจจุบันยังไม่ทราบแน่ชัดว่า พืชสามารถนำไปใช้ในรูปใด โดยทั่วไปเข้าใจว่าพืชนำไปใช้ในรูปไอออนฟอสเฟตซึ่งส่วนใหญ่ควรจะเป็น monobasic orthophosphate ($H_2PO_4^-$) และ dibasic orthophosphate (HPO_4^{2-}) ส่วน tribasic orthophosphate (HPO_4^{3-})

- หน้าที่ของฟอสฟอรัส คือ เป็นส่วนสำคัญในส่วนที่มีชีวิตของพืชเป็นองค์ประกอบของโปรตีนที่สำคัญในพันธุกรรมของพืช และจุดชีวิตของเซลล์ นอกจากนี้ยังเป็นส่วนที่สำคัญของสารที่ให้พลังงานต่าง ๆ ในพืชและน้ำย่อย (enzyme) หลายชนิด สารเหล่านี้แม้ต้องมีอยู่ในปริมาณที่ไม่มากนัก (มีตามส่วนยอดของพืช หรือส่วนที่มีชีวิตที่กำลังเจริญงอกงาม) แต่จะขาดไม่ได้ พืชต้องมีฟอสฟอรัสจำนวนเล็กน้อยตลอดเวลา ถ้าไม่เป็นเช่นนั้นจะหยุดชะงักการเจริญเติบโตทันที โดยเฉพาะการสร้างเมล็ดหรือการติดดอกออกผลต้องการฟอสฟอรัสมากกว่าปกติ พลังงานในพืช เกิดจากสารเคมีที่พืชสังเคราะห์ขึ้นและสารเหล่านี้ต้องมีฟอสฟอรัสอยู่เสมอ พลังงานจำเป็นอย่างยิ่งในขบวนการดำรงชีวิตของพืช เช่น สังเคราะห์สารต่าง ๆ การขนส่ง การสะสม การขยายเซลล์และการสืบพันธุ์ ฯลฯ

- ถ้าพืชได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอ ต้นพืชจะแคระแกรน ใบเล็ก บางที่ใบอาจมี สีปกติบางชนิดมีสีม่วง บางชนิดสีเขียวด้าน ฯลฯ สีของใบไม่ค่อยแน่นอนต่างกันไปตามชนิดพืช ถ้าพืชได้รับฟอสฟอรัสมากเกินพอ ไม่เกิดปัญหาใด ๆ ต่อการเจริญเติบโตของพืช

ค.)โพแทสเซียม (K) โพแทสเซียมที่อยู่ในดินแบ่งออกเป็นโพแทสเซียมที่อยู่ใน soil solution และโพแทสเซียมที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวคอลลอยด์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป exchangeable เป็นองค์ประกอบของแร่ต่าง ๆ ในดินและประจุบวกโพแทสเซียมที่ถูกดูดจับตามผิวของเม็ดดินเหนียวและในซากพืช พืชนำโพแทสเซียมไปใช้ในรูปประจุบวก

- หน้าที่ของโพแทสเซียม คือ โพแทสเซียมไม่เป็นองค์ประกอบของสารใด ๆ ในพืช แต่ทำหน้าที่เป็นประจุบวกที่ไปกระตุ้นการทำงานของน้ำย่อยหลายชนิดโดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแป้ง น้ำตาลและโปรตีน การขนย้ายแป้ง น้ำตาลและทำหน้าที่ เช่นเดียวกับประจุบวกธาตุอื่นๆ ในการดึงน้ำมาสู่พืชมากยิ่งขึ้น และลดความเป็นกรดของกรดอินทรีย์ที่พืชผลิตขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ้าพืชขาดโพแทสเซียม ต้นพืชจะแคระแกรน แต่แตกกอหรือกิ่งก้านสาขามาก ต้นล้มง่าย ใบแก่มักมีสีน้ำตาลไหม้ หรือไหม้ตามขอบใบ ใบมักม้วนจากปลายใบหรือ ขอบใบก่อนโดยเฉพาะใบล่างถ้าพืชได้รับโพแทสเซียมมากเกินพอจะไม่เกิดอันตรายต่อผลผลิตหรือคุณภาพของพืช แต่เสียโพแทสเซียมไปโดยเปล่าประโยชน์เพราะติดออกไป กับส่วนของพืชที่นำออกไป

2. ธาตุอาหารรอง (secondary nutrient elements) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก แต่ไม่มีปัญหาขาดแคลนในดินทั่วๆ ไปเหมือนธาตุอาหารหลัก ได้แก่

ก.) แคลเซียม (Ca) มีอยู่ในดินในรูปแร่ต่าง ๆ เช่น พวกปูนชนิดต่าง ๆ และประจุบวกของแคลเซียม ที่ถูกดูดจับอยู่ตามผิวของแร่ดินเหนียวและในซากพืช พืชสามารถนำไปใช้ได้ในรูปของประจุบวกแคลเซียม

- หน้าที่ของแคลเซียม เป็นองค์ประกอบของสารเชื่อมยึดระหว่างเซลล์ และเป็นองค์ประกอบของน้ำย่อยชนิดที่เกี่ยวกับการสลายตัวของแป้งที่เป็นประจุบวกที่กระตุ้นน้ำย่อยหลายชนิดให้ทำงานทำหน้าควบคุมให้ของเหลวในเซลล์เลือกดูดซึมธาตุอาหารและเป็นธาตุที่ป้องกันการทำงานมากเกินกว่าที่ควรของสารกระตุ้น การยืดขยายของเซลล์ (ลดกิจกรรมของอินโดลอะซิติกแอซิด)

- ถ้าพืชขาดแคลเซียม ปลายยอดจะคดงอหรือถ้ารุนแรงมากยอดไม่เจริญเติบโต ต้นพืชจะหยุดการเจริญเติบโตทันที แต่ไม่ค่อยพบพืชขาดแคลเซียม เพราะปริมาณที่พืชต้องการมีจำนวนน้อยมากในดินทั่วไป แม้ในดินทรายก็มีมากเกินระดับความต้องการของพืช ถ้าพืชได้รับแคลเซียมมากเกินไปไม่มีอันตรายต่อการเจริญเติบโตของพืช

ข.) แมกนีเซียม (Mg) มีอยู่ในดินในรูปแร่ต่าง ๆ เช่น พวกปูนชนิดต่าง ๆ และประจุบวกของแมกนีเซียมที่ถูกดูดจับอยู่ตามผิวของแร่ดินเหนียวและในซากพืช พืชสามารถนำไปใช้ได้ในรูปของประจุบวกแมกนีเซียม

- แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นของคลอโรฟิลล์และทำหน้าที่กระตุ้นการเกิดสารพลังงานต่างๆ ในพืช เกี่ยวพันกับขบวนการสร้างแป้ง น้ำตาล ไขมันและวิตามินต่าง ๆ ตลอดจนการแบ่งเซลล์ของพืช

- ถ้าพืชขาดแมกนีเซียม ใบยอดจะมีสีเหลืองอ่อน ต่อไปจะมีเหลืองซีดทั้งต้น การเหลืองซีดของใบนี้จะเกิดตามขอบใบและอาจเป็นจุดหรือแถบสีเหลืองซีดโดยเฉพาะในพวกธัญพืชการแตกกอไม่สม่ำเสมอ และมีหน่อมาก ถ้าพืชได้รับแมกนีเซียมมากเกินไป ไม่มีอันตรายต่อพืช

ค.) กำมะถัน (S) ส่วนใหญ่อยู่ในดินในรูปของสารอินทรีย์ ในอินทรีย์วัตถุของดินและในซากพืช บางที่อยู่ในแร่ เช่น แร่แกลบแก้ว (ยิปซัม) พืชนำกำมะถันไปใช้ในรูปประจุลบซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กำมะถันมีหน้าที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนบางชนิดในพืช โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ของพืช เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของน้ำย่อยต่าง ๆ โดยเฉพาะที่เกี่ยวกับการย่อยสลายโปรตีนเกี่ยวพันทางอ้อมกับการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์

- เมื่อพืชขาดกำมะถัน ใบอ่อนรวมทั้งเส้นใบจะมีสีเหลืองซีด ถ้าขาดมาก ใบของทั้งต้นจะเหลืองซีด ในต้นจะมีพวกเส้นใยมากแต่ไม่ค่อยมีน้ำตาลสะสม การมีกำมะถันมากเกินไปไม่เป็นอันตรายต่อพืช

3. ธาตุอาหารเสริม (micronutrients หรือ trace elements หรือ minor elements) หมายถึง ธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อยและสะสมในเนื้อเยื่อพืชในความเข้มข้นต่ำกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พืชแห้ง)

ก.) เหล็ก (Fe) : พืชนำไปใช้ในรูปประจุบวก จะมีอยู่ในดินในรูปแร่ต่าง ๆ หลายชนิดและในซากพืช ทำหน้าที่ช่วยในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ เกี่ยวกับการทำงานของน้ำย่อย มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์แสงและเกี่ยวกับระบบหารหายใจของพืช อาการขาดธาตุ ใบอ่อนมีสีขาวซีด ในขณะที่ใบแก่ยังเขียวสด

ข.) แมงกานีส (Mn) : พืชนำไปใช้ในรูปประจุบวก จะมีอยู่ในดินในรูปแร่ต่าง ๆ หลายชนิดและในซากพืชทำหน้าที่ช่วยในการสังเคราะห์แสง ทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของน้ำย่อยเกี่ยวกับการย้ายฟอสเฟต ลดออกซิเจนของสารประกอบไนโตรเจน และเป็นองค์ประกอบของสารบางอย่างที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์แป้ง-น้ำตาล อาการขาดธาตุ ใบอ่อนมีสีเหลืองในขณะที่ เส้นใบยังเขียว ต่อมาใบที่มีอาการดังกล่าวจะเหี่ยวและร่วงหล่น

ค.) สังกะสี (Zn) : พืชนำไปใช้ในรูปประจุบวก จะมีอยู่ในดินในรูปแร่ต่าง ๆ หลายชนิดและในซากพืช ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของน้ำย่อยที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีนบางชนิดและการสังเคราะห์กรดคาร์บอนิก ช่วยในการสังเคราะห์ออกซิน (ฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่ง) คลอโรฟิลล์และแป้ง อาการขาดธาตุ ใบอ่อนมีสีเหลืองซีดและปรากฏสีขาว ๆ ประปรายตามใบ โดยเส้นใบยังเขียว รากสั้นไม่เจริญตามปกติ

ง.) ทองแดง (Cu) : พืชนำไปใช้ในรูปประจุบวก จะมีอยู่ในดินในรูปแร่ต่าง ๆ หลายชนิดและในซากพืช ทำหน้าที่ช่วยในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ การหายใจ การใช้โปรตีนและแป้ง กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวพันกับการเพิ่มออกซิเจนให้สารแอลกอฮอล์ในพืช อาการขาดธาตุ ตายอดชะงักการเจริญเติบโต และกลายเป็นสีดำ ใบเหลืองอ่อน พืชทั้งต้นชะงักการเจริญเติบโต

จ.) โบรอน (B) : พืชนำไปใช้ในรูปแบบประจุลบบอเรต อยู่ในดินในรูปของแร่และเกลือต่าง ๆ ทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของน้ำย่อยต่าง ๆ ที่จำเป็นในกระบวนการสลายแป้ง-น้ำตาล ช่วยในการออกดอกและผสมเกสร มีบทบาทสำคัญในการติดผลและเคลื่อนย้ายน้ำตาลมาสู่ผล การเคลื่อนย้ายของฮอร์โมน การใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนและการแบ่งเซลล์ อาการขาดธาตุ ตายอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตายแล้วเริ่มมีตาข้าง ตาข้างจะตายอีก ลำต้นไม่ค่อยยืดตัว กิ่งและใบจึงชิดกัน ใบเล็ก หนา โค้ง และเปราะ

ฉ.) โมลิบดินัม (Mo) : พืชนำไปใช้ในรูปประจุลบโมลิบเดต อยู่ในดินในรูปของแร่และเกลือต่าง ๆ ทำหน้าที่เกี่ยวกับระบบน้ำย่อยหลายชนิดที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนในพืช ช่วยให้พืชใช้ไนเตรตให้เป็นประโยชน์ การสังเคราะห์โปรตีน การย้ายฟอสเฟตจากสารหนึ่ง ไปยังอีกสารหนึ่ง อาการขาดธาตุ พืชมีอาการคล้ายขาดธาตไนโตรเจน ใบมีลักษณะโค้งคล้ายถ้วยปรากฏจุดเหลือง ๆ ตามแผ่นใบ

ญ.) คลอรีน (Cl) : พืชนำไปใช้ในรูปประจุลบคลอไรด์ อยู่ในดินในรูปของแร่และเกลือต่าง ๆ และในซากพืช มีบทบาทบางประการเกี่ยวกับฮอร์โมนในพืช เกี่ยวกับระบบน้ำย่อย ในขบวนการสังเคราะห์แป้ง-น้ำตาล อาการขาดธาตุ พืชเหี่ยวมาก ใบสีซีดและบางส่วนแห้งตาย

2.11 ปุ๋ย (fertilizer)

ความหมายของศัพท์บางคำที่เกี่ยวข้องกับปุ๋ย เพื่อให้ผู้ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องปุ๋ยได้มีความเข้าใจในความหมายของศัพท์เกี่ยวกับปุ๋ยบางคำ ซึ่งมีขอบเขตของความหมายค่อนข้างเฉพาะเจาะจง และเพื่อให้ได้เข้าใจเป็นที่สอดคล้องกันกับสากลนิยมตลอดจนใช้กันในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปุ๋ย พ.ศ. 2517 ของกระทรวงอุตสาหกรรมและในพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518

ปุ๋ย หมายถึง วัตถุหรือสารที่เราใส่ลงไปในดินโดยมีความประสงค์ที่จะให้ธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเพิ่มเติมแก่พืช เพื่อให้พืชได้มีธาตุอาหารดังกล่าว เป็นปริมาณที่เพียงพอและสมดุลกันตามที่พืชต้องการ และให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น ปุ๋ยตามความในพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ได้ให้คำจำกัดความไว้คือ เป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารแก่พืชได้ ไม่ว่าโดยวิธีใดหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ในดินเพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืช

ปุ๋ยเคมี (ปุ๋ยอนินทรีย์) หมายถึง ปุ๋ยที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นอนินทรีย์สังเคราะห์และตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ยังรวมถึงปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิงผสมและปุ๋ยเชิงประกอบตลอดจนถึง ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปุ๋ยเคมีผสมอยู่ด้วย แต่ไม่รวมถึงปูนขาว ดินมาร์ล ปูนปลาสเตอร์หรือยิปซัม

ปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง ปุ๋ยที่ได้มาจากอินทรีย์สารที่ผลิตขึ้นโดยกรรมวิธีต่าง ๆ และก่อนที่จะนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อพืช จะต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ทางชีวภาพเสียก่อน ปุ๋ยอินทรีย์ที่สำคัญ ได้แก่ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และปุ๋ยพืชสด สำหรับปุ๋ยอินทรีย์ ตามความในพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 นั้น เน้นความหมายหลักไปในลักษณะของปุ๋ยหมัก กล่าวคือ เป็นปุ๋ยที่ได้จากอินทรีย์วัตถุ ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธี ทำให้ชื้น สับ บด หมัก ร่อน หรือวิธีการอื่น ๆ

ธาตุปุ๋ย (fertilizer element) หมายถึง ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเท่านั้นซึ่งตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 เรียกว่า ธาตุอาหารหลัก และธาตุแมกนีเซียม แคลเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และกำมะถัน เรียกว่า ธาตุอาหารรอง ส่วนธาตุเหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน โมลิบดินัมคลอรีน เรียกว่า ธาตุอาหารเสริม (จุลธาตุอาหาร)

แม่ปุ๋ย (fertilizer material หรือ fertilizer carriaer) ได้แก่ สารประกอบสารหนึ่งสารใด ที่มีธาตุปุ๋ยหนึ่งธาตุหรือมากกว่าเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย อาทิ เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรต และปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟตเป็นต้น

ปุ๋ยผสม (mixed fertilizer) ปุ๋ยที่ได้จากการนำเอาแม่ปุ๋ยตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมกัน เพื่อให้เกิดเป็นปุ๋ยที่มีปริมาณและสัดส่วนของธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ตามที่ต้องการ การนำแม่ปุ๋ยมาผสมกันเพื่อให้เกิดเป็นปุ๋ยผสมที่มีปริมาณธาตุปุ๋ยหรือสูตร (grade) ต่าง ๆ กันนี้ อาจเป็นกรรมวิธีผสมโดยนำเอาแม่ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ มาคลุกเคล้าให้เข้ากันอย่างง่าย ๆ หรือ อาจจะนำเอามาผสม และบดจนละเอียดให้เข้ากันจนแลดูเหมือนเข้ากันเป็นเนื้อเดียวแล้วปั้นเป็นเม็ดกลม ๆ (granule) โดยกรรมวิธี ดังกล่าวจะทำให้ปุ๋ยแต่ละเม็ดมีโอกาสที่จะมีส่วนประกอบของธาตุอาหารหลักสม่ำเสมอกันมากที่สุด ปุ๋ยผสมที่ผ่านกรรมวิธีนี้มักเรียกว่า ปุ๋ยผสมชนิดเม็ด (granular fertilizer)

ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ได้ให้คำจำกัดความของคำว่า ปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิงผสม และปุ๋ยเชิงประกอบไว้ค่อนข้างเฉพาะเจาะจง และมีความหมายแตกต่างไปจากคำว่า แม่ปุ๋ยและปุ๋ยผสมที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ให้ความหมายของคำทั้ง 3 ไว้ดังนี้

ปุ๋ยเชิงเดี่ยว (straight fertilizer) เป็นปุ๋ยเคมีที่มีธาตุปุ๋ยเพียงธาตุเดียวได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส หรือโพแทสเซียม ยกตัวอย่างเช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตจัดว่าเป็นปุ๋ยเชิงเดี่ยวเพราะมีธาตุไนโตรเจน อยู่ธาตุเดียว

ปุ๋ยเชิงผสม (mixed fertilizer) เป็นปุ๋ยเคมีที่ได้จากการผสมปุ๋ยเคมีหรือประเภทต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ธาตุอาหารตามต้องการ

ปุ๋ยเชิงประกอบ (compound fertilizer) เป็นปุ๋ยเคมีที่ทำขึ้นด้วยกรรมวิธีทางเคมีและมีธาตุปุ๋ยอย่างน้อย 2 ธาตุขึ้นไป

ปุ๋ยเชิงผสม ตามคำจำกัดความในพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 นี้ จะครอบคลุมความหมายของคำว่า ปุ๋ยผสม (mixed fertilizer) และปุ๋ยเชิงประกอบ (compound fertilizer) ที่กล่าวมาแล้วไว้ทั้งหมด

ส่วนปุ๋ยเชิงประกอบนั้น ตามความหมายจะต้องเป็นปุ๋ยเคมีที่ผลิตขึ้นจากกระบวนการทางเคมีเพื่อให้ธาตุปุ๋ยตั้งแต่ 2 ธาตุขึ้นไปและอยู่รวมกันเป็นสารประกอบเคมีชนิดเดียวกัน เช่น สารประกอบหรือ แม่ปุ๋ยประเภทโพแทสเซียมไนเตรต (Kno_3) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต $[(NH_4)_2HPO_4]$ และ โพแทสเซียมเมตาฟอสเฟต (KPO_3) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรเกรดปุ๋ย (fertilizer grade) หมายถึง การบอกการรับประกันปริมาณธาตุปุ๋ยขั้นต่ำที่สุดที่มีอยู่ในปุ๋ยชนิดนั้นๆ จะบอกเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ปริมาณฟอสฟอริกแอซิด (P_2O_5) ที่เป็นประโยชน์ (available P_2O_5) และปริมาณโพแทช (K_2O)ที่ละลายน้ำได้ (water soluble potash) เช่น ปุ๋ยสูตร 16-20-5 เป็นปุ๋ยผสมที่มีปริมาณไนเตรตทั้งหมด 16 % ฟอสฟอริแอซิดที่เป็นประโยชน์ 20 % และโพแทชที่ละลายน้ำได้จำนวน 5 % ส่วน แม่ปุ๋ยนั้นก็มีการบอกปริมาณธาตุอาหารเป็นปุ๋ยที่เป็นองค์ประกอบหลักอยู่ในนั้นด้วยโดยหลักการเดียวกัน กล่าวคือ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 20 % N ก็หมายความว่าปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตนี้จะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 20 % หรือไดแอมโมเนียมฟอสเฟต 18-46-0 ก็หมายความว่า ปุ๋ยชนิดนี้มีไนโตรเจนทั้งหมด 18 % และฟอสฟอริกแอซิด ที่เป็นประโยชน์ 46 %

สำหรับพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 เรียกปริมาณขั้นต่ำของปุ๋ย (ธาตุอาหารหลัก) โดยคิดเป็นจำนวนร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสุทธิของปุ๋ยเคมีนี้ว่า ปริมาณธาตุอาหารรับรองยกตัวอย่างเช่น ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-5 มีปริมาณธาตุอาหารรับรองซึ่งกำหนดให้ระบุดังนี้

ไนโตรเจนทั้งหมด (N) 16 %

ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) 20 %

โพแทชที่ละลายน้ำ (K_2O) 5 %

เรโชปุ๋ย (fertilizer ratio) หมายถึง สัดส่วนอย่างต่ำซึ่งเป็นเลขลงตัวน้อย ๆ ระหว่างปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอริกแอซิดที่เป็นประโยชน์ และโพแทชที่ละลายน้ำได้ ซึ่งมีอยู่ในปุ๋ย อาทิเช่น ปุ๋ยสูตร 15-10-5 จะมีเรโชระหว่าง $N : P_2O_5 : K_2O$ เท่ากับ 3 : 2 : 1 หรือสูตร 15-15-15 ก็จะมีเรโชของ $N : P_2O_5 : K_2O$ เท่ากับ 1 : 1 : 1 และปุ๋ยที่มีเรโชเดียวกันนี้สามารถจะมีได้หลายสูตรหรือเกรด อาทิเช่น 10-10-10 และ 17-17-17 เป็นต้น

ปุ๋ยธาตุอาหารไม่ครบ (incomplete fertilizer) ได้แก่ ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารไม่ครบทั้ง 3 ธาตุ อาจมีธาตุไนโตรเจนกับฟอสฟอรัสหรือฟอสฟอรัสกับโพแทสเซียมหรือไนโตรเจนกับโพแทสเซียมเท่านั้น อาทิเช่น ปุ๋ยสูตร 16-20-0 ซึ่งเป็นปุ๋ยที่นิยมใช้กับข้าวและข้าวโพดที่ปลูกในดินที่มีระดับโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูง

ปุ๋ยธาตุอาหารครบ (complete fertilizer) ได้แก่ ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารครบทั้ง 3 ธาตุอาทิเช่น ปุ๋ยสูตร 12-24-12 และปุ๋ยสูตร 15-15-15

ปุ๋ยเป็นกรด (acid forming fertilizer) ได้แก่ ปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดินติดต่อกันเป็นระยะเวลานานจะทำให้ผลตกค้างของความเป็นกรดเกิดขึ้นกับดินนั้น พวกปุ๋ยนี้ ได้แก่ ปุ๋ยที่มีเกลือของแอมโมเนียมรูปต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ทั้งนี้เนื่องจากแอมโมเนียมเมื่ออยู่ในดินที่มีการถ่ายเทอากาศดีจะถูกออกซิไดซ์ (oxidize) ให้กลายเป็นไนเตรตโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ขณะที่เปลี่ยนเป็นไนเตรตก็จะปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ออกมาซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ๋ยเป็นด่าง (basic forming fertilizer) ได้แก่ ปุ๋ยที่ใส่ลงในดินติดต่อกันเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วมีผลทำให้ดินมีปฏิกิริยาเป็นด่างมากขึ้น เช่น ปุ๋ยโซเดียมไนเตรตและแคลเซียมไนเตรต เป็นต้น ธาตุโซเดียมและแคลเซียมในปุ๋ยเหล่านี้ เมื่ออยู่ในดินจะถูกไฮโดรไลส์ (hydrolyse) ได้และเมื่อเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจะปลดปล่อยไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) ออกมา ซึ่งมีผลทำให้ดินมีปฏิกิริยาเป็นด่างมากขึ้น

สารเติมน้ำหนัก (filler) ได้แก่ สารที่ใส่ลงไปในปุ๋ยผสมเพื่อปรับน้ำหนักของปุ๋ยผสม ให้ครบร้อยหน่วยน้ำหนักและทำให้ปุ๋ยผสมนั้นมีสูตรตามต้องการ วัตถุที่ใช้เป็นสารตัวเติมต้องเป็นสารเฉื่อยและไม่มีธาตุปุ๋ยเป็นองค์ประกอบ สารพวกนี้ได้แก่ ทราย ขี้เลื่อย ดินเบาและดินขาว ฯลฯ เป็นต้น

การจำแนกประเภทของปุ๋ย

ปุ๋ยที่ใช้กันอยู่ทั่วไปนั้นสามารถจำแนกออกไปได้หลายประเภททั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าจะยึดถือเอาอะไรเป็นหลักในการแยกประเภทของปุ๋ย ซึ่งจำแนกได้ดังนี้

การจำแนกประเภทของปุ๋ยโดยถือเอาสภาพของสารประกอบที่ใช้เป็นปุ๋ยเป็นหลัก

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. ปุ๋ยอินทรีย์ (organic fertilizer) ได้แก่ ปุ๋ยที่มีองค์ประกอบสำคัญในรูปสารประกอบอินทรีย์ และมีต้นกำเนิดมาจากอินทรีย์สารโดยตรง เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด คำว่า manure หมายถึงส่วนของอินทรีย์วัตถุที่กำลังเน่าเปื่อย ซึ่งส่วนใหญ่ ได้แก่มูลสัตว์ต่าง ๆ (animal excrement) เศษของพืชปลูก และวัชพืชที่เน่าเปื่อยรวมทั้งวัสดุที่ได้จากอุจจาระของคน สำหรับ manure ที่ได้จากมูลสัตว์นั้นเรียกว่า ปุ๋ยคอก (animal manure) ส่วน manure ที่ได้จากเศษของพืชปลูกและวัชพืชเรียกว่า ปุ๋ยหมัก (compost)

- **ปุ๋ยคอก (animal manure)** ส่วนประกอบของปุ๋ยคอกส่วนใหญ่ประกอบด้วย ยิวมัส แบคทีเรีย และสัดส่วนของอาหารสัตว์ที่ยังย่อยไม่หมด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกเซลลูโลสและลิกนินนอกจากนั้น ก็ยังเป็นพวกวิตามินและฮอร์โมน เช่น thiamine, biotin, pyridoxine และอื่น ๆ ธาตุอาหารพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมที่มีอยู่ในส่วนที่เป็นอุจจาระนั้นก่อนที่พืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ จำเป็นต้องรอให้จุลินทรีย์เข้าย่อยทำลายต่อไปจนถึงระยะหนึ่งก่อน สำหรับธาตุปุ๋ย N, P และ K ที่อยู่ในส่วนที่เป็นปัสสาวะนั้นพืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ทันที ยกตัวอย่าง เช่นไนโตรเจนที่ผสมในปัสสาวะส่วนใหญ่ จะเป็นสารประกอบยูเรียที่พืชใช้ได้โดยตรง การเก็บรักษาปุ๋ยเพื่อไม่ให้ธาตุอาหารพืชเกิดการสูญหายไปมักใช้เศษหญ้า เศษฟาง แกลบ หรือขี้เลื่อยผสมกับปุ๋ยคอก ทั้งนี้เพื่อให้ฟางหรือขี้เลื่อยดูดซับเอาส่วนของปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ไว้ไม่ให้ ไหลออกและสูญหายไป ควรเก็บไว้ในที่ที่มีอากาศน้อย เพื่อลดอัตรากิจกรรมของจุลินทรีย์ในปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ปุ๋ยหมัก (compost)** คำว่า compost มาจากคำในภาษาลาตินว่า componere ซึ่งหมายความถึง การนำสิ่งต่าง ๆ มารวมเข้าด้วยกัน หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากการนำเอาเศษอินทรีย์สารมากองรวมกัน

- **ปุ๋ยพืชสด (green manure)** หมายถึงพืชสด ๆ ที่ปลูกขึ้นในพื้นที่และหลังจากโตได้ขนาดก็ไถกลบลงดินโดยมีวัตถุประสงค์ที่จะเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน ชนิดพืชที่จะปลูกไถกลบนี้ ถ้าจะให้ได้ผลดีควรใช้พืชตระกูลถั่ว เพราะพืชประเภทนี้สามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศเอามาใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นเมื่อไถกลบพืชลงดินและเกิดการเน่าเปื่อย ไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในพืชก็จะถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปที่พืชหลักที่ปลูกติดตามมาสามารถนำเอาไปใช้ประโยชน์ได้ พืชที่นิยมปลูกเพื่อใช้เป็นปุ๋ยพืชสดในประเทศไทย ได้แก่ ปอเทือง ถั่วลาย ถั่วเขียว เมล็ดเล็ก โสนชนิดต่าง ๆ ถั่วกระด้าง ฯลฯ

2. **ปุ๋ยอนินทรีย์ (inorganic fertilizer)** ได้แก่ ปุ๋ยที่มีองค์ประกอบสำคัญในรูป สารประกอบอนินทรีย์ เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate), ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตชนิดธรรมดา (normal super phosphate), ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride) ฯลฯ เป็นต้น

การจำแนกประเภทของปุ๋ยโดยถือเอาชนิดธาตุปุ๋ยที่เป็นองค์ประกอบเป็นหลัก

สามารถแบ่งปุ๋ยออกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

1. **ปุ๋ยไนโตรเจน** (nitrogen carrier หรือ nitrogenous fertilizer) ได้แก่ ปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจนเป็นสำคัญ เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรต (ammonium nitrate), ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate), ปุ๋ยแอนไฮดรัสแอมโมเนีย (anhydrous ammonia), ปุ๋ยยูเรีย (urea) ฯลฯ เป็นต้น

2. **ปุ๋ยฟอสฟอรัส** (phosphorus carrier หรือ phosphatic fertilizer) ได้แก่ ปุ๋ยที่ให้ธาตุฟอสฟอรัส เป็นสำคัญ เช่น ปุ๋ยหินฟอสเฟต (rock phosphate), ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต (super phosphate) ฯลฯ

3. **ปุ๋ยโพแทสเซียม** (potassium carrier หรือ potassic fertilizer หรือ potash fertilizer) ได้แก่ปุ๋ยที่ให้ค่าโพแทสเซียมเป็นสำคัญ เช่น โพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride), ปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟต (sulfate of potash) ฯลฯ เป็นต้น

การจำแนกปุ๋ยโดยถือเอาที่มาหรือแหล่งกำเนิดเป็นหลัก

สามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ดังนี้

1. **ปุ๋ยธรรมชาติ** (natural fertilizer หรือ non-synthetic fertilizer) ได้แก่ ปุ๋ยที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น guano, chile saltpeter, rock phosphate, ปุ๋ยคอก, ปุ๋ยพืชสด ฯลฯ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปุ๋ยเคมี (chemical fertilizer) ได้แก่ ปุ๋ยที่สังเคราะห์ขึ้นโดยกระบวนการทางเคมี จากวัสดุที่เป็นอนินทรีย์สารชนิดต่างๆ เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulphate), ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต (superphosphate) ฯลฯ เป็นต้น

การจำแนกประเภทของปุ๋ยโดยถือเอาระดับของสูตรหรือเกรดของปุ๋ยเป็นหลัก

สามารถแบ่งปุ๋ยออกได้ดังนี้

1. ปุ๋ยสูตรต่ำ (low analysis fertilizer) ได้แก่ ปุ๋ยที่มีปริมาณไนโตรเจน, available phosphoric acid และ water soluble potash แต่ละอย่างรวมกันต่ำกว่า 15 %

2. ปุ๋ยสูตรกลาง (medium analysis fertilizer) ได้แก่ ปุ๋ยที่มีปริมาณไนโตรเจน, available phosphoric acid และ water soluble potash แต่ละอย่างรวมกันระหว่าง 15-25 %

3. ปุ๋ยสูตรสูง (high analysis fertilizer) ได้แก่ปุ๋ยที่มีปริมาณไนโตรเจน, available phosphoric acid และ water soluble potash แต่ละอย่างรวมกันระหว่าง 26-30 %

4. ปุ๋ยสูตรเข้มข้น (concentrated fertilizer) ได้แก่ ปุ๋ยที่มีปริมาณไนโตรเจน, available phosphoric acid และ water soluble potash แต่ละอย่างรวมกันมากกว่า 30 % ขึ้นไป ปุ๋ยเคมีที่นำสั่งเข้ามาจำหน่าย ในประเทศไทยในปัจจุบันเป็นปุ๋ยประเภทนี้แทบทั้งสิ้น อาทิเช่น ปุ๋ยนาสูตร 16-20-0 และ สูตร 20-20-0 ฯลฯ เป็นต้น

2.12 ผลกระทบจากโลหะหนักต่อการเจริญเติบโตของพืช

1. สังกะสี (Zn) จากการวิเคราะห์ดินที่มี Zn เป็นองค์ประกอบ พบว่า พืชจะดูดซึม Zn และย้ายไปอยู่บริเวณ aerial portion ของพืช อาการที่เกิดขึ้นคือ ใบเหลืองและโตช้า ผลกระทบของ Zn ต่อพืชอาจลดลงได้โดยใช้ปูนขาว และเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน

2. ทองแดง (Cu) ผลของ Cu ที่เป็นพิษได้รับอิทธิพลจาก ค่า pH ในดินและปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน พืชดูดซึม Cu ช้ากว่า Zn แต่สามารถมีความเข้มข้นสูงในราก พิษของ Cu จะจำกัดการเจริญเติบโตของธัญพืช ทำให้เกิดอาการบวมตามรากของต้นพืช

3. นิกเกิล (Ni) มีพิษมากเมื่อเทียบกับ Zn และ Cu ซึ่งมีผลให้ต้นข้าวโอ๊ตที่มีลายเส้นตามยาวเกิด chorosis เนื่องจากขาดธาตุเหล็ก พืชส่วนใหญ่ที่ได้รับผลกระทบจาก Ni มากเกินไป ได้แก่ ข้าวโอ๊ต หัวผักกาด หัวกะหล่ำ แต่พืชบางชนิดได้รับผลกระทบน้อย ได้แก่ ข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลี หญ้าไรและถั่ว

4. โครเมียม (Cr) ไม่มีผลกระทบต่อพืชถ้ามีปริมาณไม่มากจนเกินไป โดย Cr (VI) มีพิษสูงกว่า Cr (III) แต่ตะกอนของเสียหรือดินปนตะกอนมีเฉพาะ Cr(III) ซึ่งไม่มีพิษต่อพืชเพราะส่วนใหญ่ไม่ละลายในดิน นอกจากนี้การดูดซึม Cr (III) จะอยู่เพียงที่ราก และไม่เคลื่อนย้ายไปถึงใบ ถึงแม้ว่าจะมี Cr (III)ปนเปื้อนในดินสูงก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ธาตุอื่น ๆ เช่น Cd, Hg, Pb ไม่มีผลเสียต่อพืชเนื่องจากมีปริมาณน้อย ไม่เคลื่อนที่ในดิน และพืชไม่สามารถดูดซึมได้ แต่ความเข้มข้นของธาตุเหล่านี้ควรต้องมีการควบคุมเพราะจะมีการสะสม ทำให้เป็นพิษต่อคน ถ้ารับประทานเข้าไปเป็นเวลานานหรือในปริมาณสูง

แม้ว่าพืชจะดูดซึมโลหะทางรากและเคลื่อนย้ายไปที่ใบและลำต้นก็ตาม โลหะบางประเภทเคลื่อนย้ายได้ดีกว่าประเภทอื่น พืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการสะสมโลหะต่างกัน และโลหะบางประเภทมีการสะสมได้ไม่เท่ากันในพืชแต่ละชนิด เช่น มันฝรั่ง มะเขือเทศ ไม่ดูดซึมโลหะมากเท่ากับ red beet และต้น Leeks เป็นต้น ส่วน Pb และ Cu จะสะสมอยู่ที่ราก ขณะที่ธาตุอื่น ๆ เช่น Zn และ Cd จะสะสมอยู่ในใบผัก ผลกระทบของโลหะขึ้นกับการปลูก พืชที่ปลูกโดยใช้รากบางชนิดจะมีความไวต่อ Ni และ Zn มากกว่าธัญพืชและหญ้า

โดยทั่วไปเนื้อเยื่อของผักกินใบจะสะสมโลหะหนักเข้มข้นสูงกว่าธัญพืช พืชจะดูดซึม Zn, Cd และ Br ได้ดีกว่า Cu, Cr, Pb และ Hg โลหะส่วนใหญ่สะสมในพืช ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมองในระยะยาว 30-50 ปี ในการที่จะตัดสินใจความเป็นไปได้ในการใช้ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักบนพื้นดิน

2.13 อัตราการนำตะกอนน้ำเสียไปผสมลงในดิน

อัตราการนำตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ จะแปรผันกับปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการ, ลักษณะของ (เช่น การระบายน้ำ, ระดับธาตุอาหารและปริมาณโลหะหนัก), ลักษณะทั่วไป และลักษณะของตะกอนน้ำเสีย การนำตะกอนน้ำเสียไปใช้ในดิน จะต้องไม่ให้เกิดผลดังนี้ คือ

1. ปริมาณพืชที่ผลิตได้ลดลง
2. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ หรือ ปริมาณโลหะหนักในดินเพิ่มมากขึ้น
3. ธาตุอาหารและเกลือที่มากเกินไปถูกชะลงไปปนเปื้อนกับน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดิน
4. พืชที่ปลูกโดยตะกอนน้ำเสียมีเชื้อโรคปะปน

อัตราการนำไปใช้ประโยชน์โดยคำนึงถึงปริมาณไนโตรเจน ไนโตรเจนหากอยู่ในรูปสารอินทรีย์พืชจะไม่สามารถนำไปใช้ได้ ในตะกอนน้ำเสีย ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และ ไนเตรตในปริมาณที่น้อยมาก เมื่อนำตะกอนใส่ไปในดิน อินทรีย์ไนโตรเจนจะเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียหรือไนเตรตซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืช ที่สภาวะ pH สูง แอมโมเนีย-ไนโตรเจนบางส่วนจะระเหยไป ส่วนที่เหลือจะถูกดูดซับโดยดิน แต่ไนเตรตจะไม่ถูกดูดซับในดิน เพราะสามารถละลายน้ำได้ ซึ่งอาจถูกชะสู่น้ำใต้ดิน

อัตราการนำไปใช้ประโยชน์โดยคำนึงถึงความเข้มข้นของโลหะหนัก ความเข้มข้นของแคดเมียมเป็นตัวกำหนดความสามารถในการใส่ตะกอนน้ำเสียลงในดิน โดยกำหนดค่าสูงสุดของ lifetime ของแคดเมียมดังนี้

- 5 kg/ha สำหรับในดินที่มีค่า CEC น้อยกว่า 5 meq/100 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 10 kg/ha สำหรับในดินที่มีค่า CEC อยู่ระหว่าง 5-15 meq/100 g
- 20 kg/ha สำหรับในดินที่มีค่า CEC 15 meq/100g
- ถ้าแคดเมียมมากกว่า 25 kg/ha ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ครกกระเบื้องเคลือบ
2. เครื่องพีเอชมิเตอร์ (Denver Instrument Model 215)
3. เครื่องเขย่า (GALLENKANP)
4. เครื่องกรองแบบลดความดัน
5. ชุดอุปกรณ์การกลั่นและการย่อยพร้อมขวดเจดาลห์
6. เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (JENWAY รุ่น 6400 UV/Vis)
7. เครื่องปั่นเหวี่ยง (CENTAUR 2 MSE SANYO)
8. ตู้อบสารเคมี (MEMMERT)
9. เตาเผา
10. เครื่องชั่งแบบละเอียด (Precisa 250 A , Precisa 1620 C และรุ่น TR 6101)
11. เดซิเคเตอร์
12. ขวดพลาสติก
13. ขวดสีชา
14. อุปกรณ์เครื่องแก้ว
15. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer) SHIMAZU รุ่น 760
16. ไมโครเวฟ (MILESTONE รุ่น MLS 1200 mega)

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. แอมโมเนียมอะซิเตต เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
2. แอมโมเนียมฟลูออไรด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท FLUKA
3. แอมโมเนียมโมลิบเดต เกรดวิเคราะห์ บริษัท FLUKA
4. กรดแอสคอบิก เกรดวิเคราะห์ บริษัท UNI Laboratory
5. แบเรียมคลอไรด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
6. กรดบอริก เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
7. โบรโมคลีซอล กรีน เกรดวิเคราะห์ บริษัท FLUKA
8. แคลเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต เกรดวิเคราะห์ บริษัท FLUKA
9. คอปเปอร์ซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ไดฟีนิลามีน เกรดวิเคราะห์ บริษัท FLUKA
11. เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ บริษัท MERCK
12. แมกนีเซียมออกไซด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท FLUKA
13. เมทิลเรด เกรดวิเคราะห์ บริษัท FLUKA
14. โพแทสเซียมคลอไรด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
15. โพแทสเซียมฟอสเฟต เกรดวิเคราะห์ บริษัท FLUKA
16. โพแทสเซียมซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ บริษัท UNI Laboratory
17. โพแทสเซียมแอนติโมนีทาร์เทรต , เกรดวิเคราะห์ บริษัท FLUKA
18. โซเดียมคลอไรด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท BDH Laboratory
19. โซเดียมฟลูออไรด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท FLUKA
20. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดการค้า บริษัทไทยอาซาฮี เคมีภัณฑ์ จำกัด
21. โซเดียมซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ บริษัท FLUKA
22. ซีลีเนียม เกรดวิเคราะห์ บริษัท UNI Laboratory
23. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Chemical
24. กรดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
25. กรดไนตริกเข้มข้น เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
26. กรดฟอสฟอริกเข้มข้น เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
27. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab-Scan
28. ผงถ่าน เกรดวิเคราะห์ บริษัท FLUKA
29. สารละลายเอทานอล เกรดการค้า

3.1 แหล่งที่มาของตะกอน

ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ของบริษัท สำปะหลังพัฒนา จำกัด ซึ่งตั้งอยู่ที่ 77 หมู่ 6 ถนนสุขุมวิท อำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง ตะกอนดังกล่าวได้ผ่านการรีดน้ำจากเครื่องรีดตะกอนแล้ว ทำการระบุวันและเวลาของการเก็บตัวอย่างตะกอน แสดงดังรูปที่ 3.1

3.2 การเตรียมตัวอย่างตะกอน

1. นำตัวอย่างตะกอนเปียกมาทำการตากแดดเป็นเวลาอย่างน้อย 5 วัน
2. นำตัวอย่างตะกอนที่แห้งแล้ว มาทำการบดด้วยครกกระเบื้องเคลือบ
3. นำตัวอย่างตะกอนที่บดแล้วบางส่วนไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำตัวอย่างตะกอนที่บดแล้วบางส่วนไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร แล้วเก็บตะกอนไว้เพื่อทำการวิเคราะห์หาอินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)

หมายเหตุ : 1. ต้องทำการเก็บตัวอย่างตะกอนเปียกไว้บางส่วนเพื่อวิเคราะห์หาความชื้น

2. การที่ต้องใช้ตัวอย่างตะกอนที่บดละเอียดมาก ๆ ในการวิเคราะห์หาอินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนทั้งหมดเพื่อต้องการลดข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ เนื่องจากปริมาณที่ใช้ในการวิเคราะห์น้อยมาก

3.3 การทดสอบคุณสมบัติของตะกอน โดยทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดังตาราง

พารามิเตอร์	เครื่องมือและวิธีการวิเคราะห์
1. เปอร์เซนต์ความชื้น	Evaporation ที่ 103-105 °C
2. ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้	Furnace ที่ 550 ρ50°C
3. ปริมาณเถ้า	Furnace
4. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	Walkley – Black Titration
5. ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน	Walkley – Black Titration
6. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด	Kjeldahl Method
7. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	Spectrophotometric method
8. ปริมาณโพแทสเซียม	Atomic Absorption Spectrophotometry
9. ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	Centrifuge and Titration
10. โลหะหนัก	Atomic Absorption Spectrophotometry
11. ซัลเฟต	Turbidimetric method
12. พีเอช	pH meter
13. C/N ratio	Calculation

หมายเหตุ วิธีวิเคราะห์โดยละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก

3.4 การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุอื่นที่ใช้ในการหมัก อันได้แก่ มูลวัว มูลไก่ มูลนกพิราบ รำละเอียดและยูเรีย

พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา คือ

1. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus)

3. ปริมาณโพแทสเซียม (Exchangeable Potassium)

4. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter)

5. ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon)

6. เปอร์เซนต์ความชื้น

7. pH

3.5 การทำตะกอนหมัก สัดส่วนที่ทำการหมักมีดังนี้

ตะกอนหมัก	ตะกอน (kg dry wt)	มูลวัว (kg dry wt)	มูลไก่ (kg dry wt)	มูลนกพิราบ (kg dry wt)	รำละเอียด (kg dry wt)	เชื้อ F-60 (g.)
หมักครั้งที่1						
สูตร 1	0.6	2	-	-	2	1
สูตร 2	0.6	-	1	-	2	1
หมักครั้งที่2						
สูตร 3	1	0.60	0.50	0.60	1	1
สูตร 4	1	0.60	0.50	0.60	-	1
สูตร 5	1	0.85	-	0.80	1	1
สูตร 6	1	0.85	0.60	-	1	1
สูตร 7	1	-	-	1.60	1	1
สูตร 8	1	1.7	-	-	1	1
สูตร 9	1	-	1.2	-	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะกอนหมัก	ตะกอน (kg dry wt)	มูลวัว (kg dry wt)	มูลไก่ (kg dry wt)	มูลนกพิราบ (kg dry wt)	รำละเอียด (kg dry wt)	เชื้อ F-60 (g.)	ยูเรีย (g.)
หมักครั้งที่ 3							
สูตร 10	1	3.50	-	-	1.00	1	1
สูตร 11	1	-	-	2.00	1.00	1	1
สูตร 12	1	-	3.00	-	1.00	1	1
สูตร 13	1	1.00	2.00	-	1.00	1	1
สูตร 14	1	-	2.00	0.50	1.00	1	1
สูตร 15	1	3.50	-	-	1.00	1	-
สูตร 16	1	-	-	2.00	1.00	1	-
สูตร 17	1	-	3.00	-	1.00	1	-
สูตร 18	1	1.00	2.00	-	1.00	1	-
สูตร 19	1	-	2.00	0.50	1.00	1	-

3.6 วิธีการดำเนินการหมัก

1. เตรียมหัวเชื้อ โดยการนำเชื้อ F-60 ละลายน้ำ คนให้เข้ากันแล้วนำไปคลุกเคล้าให้เข้ากับรำละเอียด แล้วคลุมกองไว้ด้วยกระสอบป่านเป็นเวลา 3-5 วัน จึงนำมาใช้เป็นหัวเชื้อได้ แสดงดังรูปที่ 3.2-3.8

2 นำตะกอนและมูลผสมให้เข้ากัน สัดส่วนมูลเป็นไปตามข้อ 3.5 แสดงดังรูปที่ 3.9

3. นำหัวเชื้อที่เตรียมไว้ในข้อ 1 มาผสมกับตะกอนและมูลที่เตรียมได้จากข้อ 2 เกลี่ยกองดินที่ผสมแผ่บนพื้นโรยหัวเชื้อที่เตรียมไว้ให้ทั่วผิวหน้า จากนั้นใช้พลั่วหรือจอบช่วยผสมวัสดุให้เข้ากันดี ถ้าความชื้นไม่เหมาะควรพรมน้ำจนวัสดุมีความชื้นหมาด ๆ ทำกองและคลุมด้วยกระสอบป่าน หรือฟางเพื่อป้องกันมิให้กองปุ๋ยแห้ง แสดงดังรูปที่ 3.10 และ 3.11

4. ทำการหมักทิ้งไว้เป็นเวลา 1 เดือน แสดงดังรูปที่ 3.12

การดูแลรักษา

ดูแลรักษากองปุ๋ย โดยการกลับกองปุ๋ย 3 ครั้ง ดังนี้

ครั้งที่ 1 เมื่อครบสัปดาห์ที่ 1

ครั้งที่ 2 เมื่อครบสัปดาห์ที่ 2

ครั้งที่ 3 เมื่อครบสัปดาห์ที่ 3

จากนั้นหมักต่อไปจนครบสัปดาห์ที่ 4 หรือ 1 เดือน จึงนำตะกอนหมักไปใช้เพาะปลูกพืชได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสังเกต

1. อุณหภูมิจะค่อย ๆ สูงขึ้น หลังจากกองปุ๋ยแล้ว การกลับกองปุ๋ยจะช่วยลดอุณหภูมิในกองปุ๋ยและเพิ่มอากาศให้แก่กองปุ๋ย

2. อุณหภูมิกองปุ๋ยจะค่อย ๆ ลดลงในสัปดาห์ที่ 3 และสัปดาห์ที่ 4 จนเท่ากับอุณหภูมิปกติ ก็จะนำตะกอนหมักไปใช้ได้

3. ถ้ากองปุ๋ยมีความชื้นสูงเกินไปจะมีกลิ่นเหม็น เมื่อใช้หยิบวัสดุที่อยู่ภายในกองมาดมกลิ่นหรือได้กลิ่นในขณะกลับกอง ซึ่งจะต้องแก้ไขโดยแผ่กองปุ๋ยออกผึ่ง ให้ความชื้นลดลงแล้วทำกองใหม่

3.7 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ, ทางเคมี และทางชีวภาพของตะกอนหมัก

พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา คือ

1. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)
2. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus)
3 ปริมาณโพแทสเซียม (Exchangeable Potassium)
4. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter)
5. ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon)
6. เปอร์เซนต์ความชื้น
7. พีเอช
8. ปริมาณซัลเฟต
9. C/N ratio
10. สิ่งมีชีวิต

3.8 การศึกษาคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์อื่น ๆ อันได้แก่ ปุ๋ยคอกจากมูลวัว มูลไก่ มูลค้างคาว

พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา คือ

1. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)
2. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus)
3. ปริมาณโพแทสเซียม (Exchangeable Potassium)

3.9 เปรียบเทียบคุณสมบัติของตะกอนหมักกับปุ๋ยอินทรีย์ในท้องตลาด

พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา คือ

1. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)
2. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปริมาณโพแทสเซียม (Exchangeable Potassium)

3.10 ศึกษาค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการหมักโดยคิดราคารำละเอียด มูลสัตว์ และยูเรียเป็นหลัก

3.11 ศึกษาราคาปุ๋ยอินทรีย์ตามท้องตลาด

ปุ๋ยอินทรีย์ที่ทำการศึกษาราคา ได้แก่

1. ปุ๋ยคอก
2. ปุ๋ยหมักจากซากสัตว์
3. ปุ๋ยมูลค้างคาว
4. ปุ๋ยมูลวัว
5. ปุ๋ยมูลไก่
6. ปุ๋ยชีวภาพ

3.12 เปรียบเทียบราคาของปุ๋ยอินทรีย์อื่นๆ กับตะกอนหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 การเก็บตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการรีดน้ำออกแล้ว



รูปที่ 3.2 เชื้อจุลินทรีย์ F-60 ที่ใช้ในการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การละลายเชื้อจุลินทรีย์ F-60



รูปที่ 3.4 รำละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การเทเชื้อจุลินทรีย์ F-60 ลงบนรำละเอียด



รูปที่ 3.6 รำละเอียดที่คลุกเคล้ากับเชื้อจุลินทรีย์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

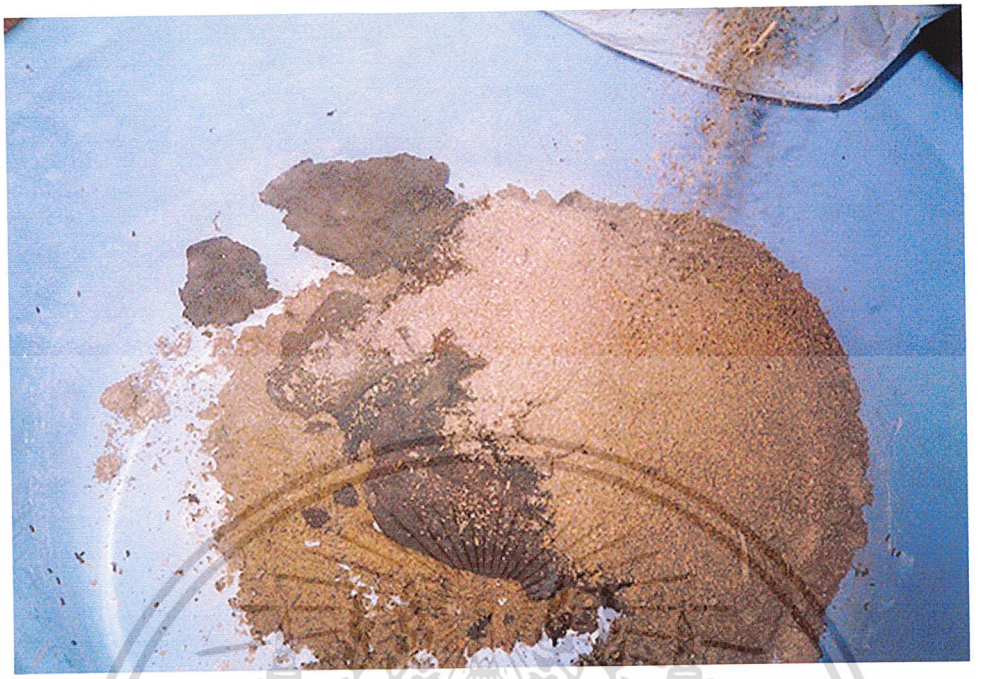


รปที่ 3.7 การคลุมรำละเอียดที่เคล้ากับเชื้อจุลินทรีย์แล้วด้วยกระสอบป่าน



รูปที่ 3.8 รำละเอียดที่หมักเสร็จแล้วใช้เป็นหัวเชื้อในการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 การเทตะกอนและมูลสัตว์ลงบนรำละเอียดหมัก



รูปที่ 3.10 การคลุกเคล้าตะกอน, มูลสัตว์ และรำละเอียดหมักให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รปที่ 3.11 การคลุมตะกอนที่เคล้าแล้วด้วยกระสอบป่าน



รูปที่ 3.12 ตะกอนที่หมักเสร็จแล้ว สามารถนำไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 คุณสมบัติของตะกอน

ตะกอนที่ใช้ในการวิเคราะห์ ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนจาก บริษัท สำปะหลังพัฒนา จำกัด 77 หมู่ 6 ถนน สุขุมวิท อำเภอบ้านฉาง จังหวัด ระยอง ตะกอนเหล่านี้ถูกผลิตขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) และนำมารีดน้ำออกแล้ว โดยเครื่องรีดตะกอนแล้ว ทำการเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 ในเดือนพฤษภาคม ปี 2543 ครั้งที่ 2 ในเดือนตุลาคม ปี 2543 และครั้งที่ 3 ในเดือนธันวาคม ปี 2543 สำหรับการวิเคราะห์ความชื้นควรทำทันทีในวันที่เก็บตะกอน ตะกอนอีกส่วนหนึ่งนำไปทำการตากแห้งเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ต่อไป

ลักษณะทางกายภาพของตะกอน คือ มีสีน้ำตาลเข้ม จับตัวเป็นก้อน มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง เนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง เมื่อนำตะกอนผสมลงในดิน อินทรีย์วัตถุเหล่านี้มักจะเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคของดิน ซึ่งช่องว่างเหล่านี้โดยปกติมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคของตะกอน ทำให้อนุภาคของเนื้อดินเกาะกันแน่นมากขึ้น จึงทำให้เป็นการเพิ่มความจุความชื้นให้กับดินซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืช

ลักษณะทางเคมีของตะกอน ตะกอนที่จะนำมาใช้ในการหมักได้จะต้องมีค่า pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช พบว่า ตะกอนมีค่า pH อยู่ในช่วง 7.5-7.6 ซึ่งมีค่าเป็นกลาง แสดงดังตาราง 4.1 ดังนั้นการนำตะกอนไปใช้ทำตะกอนหมักจะสามารถช่วยปรับสภาพของดินให้เป็นกลาง ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อพืช เนื่องจาก ระดับ pH มีความสำคัญต่อการปลดปล่อยธาตุอาหาร ถ้าระดับ pH ต่ำหรือสูงเกินไป ทำให้การปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชออกมาได้น้อยและสารพิษบางชนิดสามารถละลายได้ดีในช่วง pH ต่ำ ซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (Volatile solid) ของตะกอนที่จะนำมาหมักควรมีปริมาณมากกว่า 50 % (มัลลิกา ปัญญาคะโย, การบำบัดน้ำเสีย 2) จากตาราง 4.1 พบว่า ตะกอนมีปริมาณของแข็งที่ระเหยได้อยู่ในช่วง 35-50 % ซึ่งจะเห็นได้ว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นปริมาณที่แสดงถึงความสามารถในการย่อยสลายและในตะกอนมีปริมาณเถ้า 23.45-24.53 % แสดงถึงปริมาณของแข็งที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ ถ้าพบในปริมาณสูง ตะกอนก็ไม่สามารถนำไปหมักได้

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในตะกอนมีค่า 58.81-62.37 % แสดงดังตาราง 4.1 โดยทั่วๆ ไปแล้วอินทรีย์วัตถุจะมีอินทรีย์คาร์บอนอยู่ระหว่าง 48-58 % ดังนั้นในตะกอนจึงมีอินทรีย์คาร์บอน 24.11-36.18 % จัดว่ามีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง จึงเหมาะสมที่จะนำมาทำตะกอนหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตะกอนมีค่า 4.2 % ซึ่งมีค่า 11.45-13.80 % ของคาร์บอนเริ่มต้น เป็นค่าที่สูงเกินไปสำหรับการนำไปหมัก เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่จุลินทรีย์นำไปใช้ในการสร้างเซลล์ควรมีค่า 2-4 % ของคาร์บอนเริ่มต้น จึงจะทำให้การหมักใช้ระยะเวลาน้อย

อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ตะกอนที่จะนำมาหมักต้องเป็นตะกอนที่ถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ ซึ่งแสดงได้โดยค่า C/N ควรอยู่ในช่วง 25-35 (มัลลิกา ปัญญาคะโย, การบำบัดน้ำเสีย 2) ทั้งนี้เพราะว่าค่า C/N เป็นปัจจัยสำคัญในการหมัก ขบวนการย่อยสลายของอินทรีย์สารในปุ๋ยหมักจะเร็วขึ้นเมื่อค่า C/N ต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนเพียงพอต่อการสร้างเซลล์ใหม่ของจุลินทรีย์ เพื่อให้อัตราการย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น ถ้าค่า C/N มากกว่านี้ทำให้ระยะเวลาการหมักยาวนานขึ้น จากตาราง 4.1 พบว่า ตะกอนมีค่า C/N ประมาณ 8 จึงทำการเพิ่มค่า C/N โดยการเติมวัสดุอื่นๆ อันได้แก่ มูลวัว มูลไก่ และมูลนกพิราบ เพื่อให้ค่า C/N เหมาะสมต่อการหมักและเพื่อเป็นการลดความชื้นของการหมัก ซึ่งความชื้นในการหมักควรอยู่ในช่วง 40-60 % เพราะความชื้นจำเป็นต่อการหมักปุ๋ย น้ำช่วยละลายสารอาหารและเป็นส่วนประกอบของเซลล์ของจุลินทรีย์ ถ้าความชื้นต่ำกระบวนการย่อยสลายจะถูกยับยั้ง และถ้าความชื้นสูงเกินไปจะทำให้เกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ ทำให้ระยะเวลาในการหมักยาวนานขึ้น การเติมมูลสัตว์ในการหมักตะกอนทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์แก่พืชและยังเป็นการพยุงโครงสร้างของกองปุ๋ยและเป็นการเพิ่มช่องว่างให้มีอากาศเพียงพอสำหรับการหมักแบบใช้ออกซิเจน ปริมาณซัลเฟตที่มีอยู่ในตะกอนมีค่า 0.012-0.013 % ซึ่งมีปริมาณน้อยและพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) หมายถึง ปริมาณประจุบวกทั้งหมดที่ตะกอนสามารถจะดูดยึดไว้ได้ ซึ่งประจุบวกเหล่านี้เป็นธาตุอาหารรองของพืช ซึ่งสารเหล่านี้จะถูกยึดอยู่ที่ผิวดินโดยไม่ถูกชะล้างให้สูญหายไปจากดินได้ง่าย จากตาราง 4.1 มีค่า CEC 25.60-26.60 me./100 g. ซึ่งจัดว่ามีค่าต่ำ

ปริมาณฟอสฟอรัสในตะกอนมีค่า 0.28-0.30 % และปริมาณโพแทสเซียมในตะกอนมีค่า 0.12-0.14 % ซึ่งมีค่าน้อยไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นจึงต้องทำการหมักร่วมกับมูลเพื่อเป็นการเพิ่มธาตุอาหารพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

พารามิเตอร์	ตะกอนเก็บครั้งที่ 1	ตะกอนเก็บครั้งที่ 2	ตะกอนเก็บครั้งที่ 3
PH	7.50	7.60	7.50
Moisture (%)	88.25	87.34	90.15
Volatile solid (%)	37.79	46.34	40.76
Ash (%)	23.54	24.53	24.04
Organic Matter (%)	58.81	58.81	62.37
Organic Carbon (%)	34.11	34.11	36.18
Total N (%)	4.20	4.20	4.20
C/N ratio	8.12	8.12	8.61
SO_4^{2-} (%)	0.01	0.01	0.01
CEC (me./100 g.)	25.59	26.13	26.59
Available P (%)	0.30	0.28	0.30
Exchangeable K (%)	0.14	0.13	0.12
Fe (%)	1.09	0.96	0.85
Zn (%)	0.09	0.07	0.09
Mn (%)	0.19	0.12	0.18
Pb (%)	0.01	0.01	0.01
Ni (%)	0.01	0.01	0.11
Cd (%)	nd	nd	nd
Hg (%)	nd	nd	nd
Cu (%)	0.01	0.01	0.004

จากการวิเคราะห์โลหะหนักทั้ง 8 ชนิดคือ เหล็ก, สังกะสี, แมงกานีส และทองแดง เป็นธาตุอาหารเสริมซึ่งพืชต้องการในปริมาณน้อย แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปอาจเป็นพิษต่อพืชได้ โลหะหนักอีก 4 ชนิดคือ นิกเกิล, แคดเมียม, ตะกั่ว และปรอท โลหะหนักเหล่านี้อาจก่อให้เกิดปัญหาในการนำตะกอนไปใช้ประโยชน์ในรูปของปุ๋ย เนื่องจากมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชและมีการสะสมในพืช ถ้ารับประทานเข้าไปเป็นเวลานานหรือในปริมาณสูงทำให้เป็นพิษต่อคนได้ จากตาราง 4.2 พบว่าปริมาณโลหะหนักที่วิเคราะห์ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ พบว่า ปริมาณโลหะหนักอยู่ในค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ทั้งสิ้น จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำตะกอนไปใช้ประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางการเกษตรในรูปปุ๋ยหมัก การที่ต้องใช้มาตรฐานของต่างประเทศ (ยุโรป, อเมริกา และอื่นๆ) เนื่องจากประเทศไทยไม่ได้กำหนดมาตรฐานไว้

ตาราง 4.2 แสดงปริมาณของโลหะหนักที่วิเคราะห์ได้จากตะกอนและปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในตะกอนเพื่อใช้ในการเกษตรในประเทศต่างๆ

โลหะหนัก	ตะกอน	สหราชอนาจักร	สหรัฐอเมริกา	ฝรั่งเศส
Fe (mg/kg)	850-1090	2,480 - 108,812	-	-
Zn (mg/kg)	77-94	279 –27,600	2,800 - 7,500	3,000 – 6,000
Mn (mg/kg)	120-190	55 –13,902	-	-
Pb (mg/kg)	6-13	43 –2,644	300 – 840	800 – 1,600
Ni (mg/kg)	3-10	9 – 932	420	200 – 400
Cd (mg/kg)	nd	<2 – 152	39 – 85	20 – 40
Hg (mg/kg)	nd	<2 – 140	17 – 57	10 – 20
Cu (mg/kg)	4-10	69 – 6,140	1,500 – 4300	1,000 – 2,000

ที่มา Smith, S.R. Agricultural Recycling of Sewage Sludge and the Environment

4.2 ผลการวิเคราะห์วัสดุอื่นที่ใช้ในการหมัก

วัสดุอื่นที่ใช้ในการหมักมีดังนี้ คือ มูลวัว มูลไก่ มูลนกพิราบ และรำละเอียด โดยทำการเก็บตัวอย่างจาก จ.สุพรรณบุรี นำมาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ แสดงดังตาราง 4.3

จากตาราง 4.3 พบว่า มูลวัวมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด (Total Nitrogen) คือ 0.45 % รองลงมาคือ มูลนกพิราบและมูลไก่มีค่า 0.24 % และ 0.19 % ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) จะมีมากที่สุดในมูลไก่ คือ 0.59 % รองลงมาคือ มูลนกพิราบและมูลวัวมีค่า 0.41 % และ 0.37 % ตามลำดับ ปริมาณโพแทสเซียม (Exchangeable Potassium) จะมีในมูลไก่มากที่สุดคือ 3.76 % รองลงมาคือ มูลนกพิราบและมูลวัวมีค่า 2.58 % และ 1.34 % ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเปอร์เซนต์ของธาตุอาหารในมูลสัตว์ทั่วๆ ไปดังตาราง 4.4 พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของมูลวัวทั่วๆ ไปมีค่า 0.30-0.80 % เปรียบเทียบกับค่าที่วิเคราะห์ได้จากมูลวัวมีค่าปานกลาง, มูลไก่ทั่วๆ ไปมีค่า 1.80-2.90 % เปรียบเทียบกับค่าที่วิเคราะห์ได้จากมูลไก่มีค่าน้อยมาก และมูลค้างคาวทั่วๆ ไปมีค่า 1.0-6.0 % เปรียบเทียบกับค่าที่วิเคราะห์ได้จากมูลนกพิราบมีค่าต่ำกว่ามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) ของมูลวัวทั่วๆ ไปมีค่า 0.30–0.50 % เปรียบเทียบกับค่าที่วิเคราะห์ได้จากมูลวัวมีค่าปานกลาง, มูลไก่ทั่วๆ ไปมีค่า 2.90-4.80 % เปรียบเทียบกับค่าที่วิเคราะห์ได้จากมูลไก่มีค่าต่ำกว่ามาก และมูลค้างคาวทั่วๆไป มีค่า 5-10 % เปรียบเทียบกับค่าที่วิเคราะห์ได้จากมูลนกพิราบมีค่าต่ำกว่ามาก

ปริมาณโพแทสเซียม (Exchangeable Potassium) ของมูลวัวทั่วๆ ไป มีค่า 0.20-0.50 % เปรียบเทียบกับค่าที่วิเคราะห์ได้จากมูลวัวมีค่าสูงกว่ามาก, มูลไก่ทั่วๆ ไปมีค่า 0.80-1.40 % เปรียบเทียบกับค่าที่วิเคราะห์ได้จากมูลไก่มีค่าสูงกว่ามาก และมูลค้างคาวทั่วๆไปมีค่า 0.50-1.20 % เปรียบเทียบกับค่าที่วิเคราะห์ได้จากมูลนกพิราบมีค่าสูงกว่ามาก

ทั้งนี้ปริมาณธาตุอาหารมีความแตกต่างกันเนื่องมาจากสถานที่เก็บตัวอย่าง, การให้อาหาร และระยะเวลาการกักเก็บ

ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีมากที่สุดในมูลนกพิราบคือ 60.29 % รองลงมาคือ มูลวัวและมูลไก่มีค่า 50.29 % และ 49.16 % ตามลำดับ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีมากสุดในมูลนกพิราบคือ 34.97 % รองลงมาคือ มูลวัวและมูลไก่มีค่า 30.69 % และ 28.48 % ตามลำดับ ซึ่งจัดว่ามีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง ซึ่งสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ จึงเหมาะสมที่จะนำมาทำตะกอนหมัก

ค่า pH ในมูลวัวมีค่า 8.62, มูลไก่มีค่า 7.74 และมูลนกพิราบมีค่า 7.43 ซึ่งมีค่าเป็นกลาง ดังนั้นสามารถนำไปทำตะกอนหมักได้ เพราะไม่เป็นอันตรายต่อพืชและสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารแก่พืชได้ดี เพราะสามารถละลายน้ำได้

รำละเอียดมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.08 %, มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 53.89 % และมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 31.26 %

ในการทำตะกอนหมัก นำรำละเอียดมาหมักกับเชื้อ F-60 ซึ่งเชื้อนี้ได้มาจากสำนักงานเกษตรจังหวัดสุพรรณบุรี โดยทำการหมัก 3-5 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์ปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมในการหมัก

ตาราง 4.3 แสดงผลการศึกษาวัสดุอื่นๆ ที่ใช้ในการหมัก

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	Total N (%)	Available P (%)	Exchangeable K (%)	O.M. (%)	O.C. (%)	pH
มูลวัว	15.60	0.45	0.37	1.34	59.21	30.69	8.62
มูลไก่	41.05	0.19	0.59	3.76	49.16	28.48	7.74
มูลนกพิราบ	19.20	0.24	0.41	2.58	60.29	34.97	7.43
รำละเอียด	20.55	0.08	-	-	53.89	31.26	-
ยูเรีย	-	43.00	-	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.4 แสดงเปอร์เซนต์ของธาตุอาหารในมูลสัตว์, รำละเอียด และยูเรียโดยทั่วๆ ไป

ตัวอย่าง	Total N (%)	Available P (%)	Exchangeable K (%)
มูลไก่	1.8-2.9	2.9-4.8	0.8-1.4
มูลเป็ด	0.5-1.2	1.0-2.2	0.2-0.8
มูลม้า	0.5-1.0	0.3-0.7	0.2-0.7
มูลวัว	0.3-0.8	0.3-0.5	0.2-0.5
มูลควาย	0.8-1.2	0.5-1.0	0.5-1.0
มูลหมู	0.6-1.0	0.5-0.8	0.2-0.8
มูลค้างคาว	1.0-6.0	5.0-10.0	0.5-1.2
รำละเอียด		-	-
ยูเรีย	42-45	-	-

ที่มา ดร. ถวิล ครุฑกุล, เกษตรยั่งยืน การใช้ดินและปุ๋ย

4.3 ผลการวิเคราะห์ตะกอนหมัก

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติตะกอนและวัสดุอื่นที่ใช้ในการหมัก สามารถนำมาทำตะกอนหมักได้ โดยทำการแปรผันตะกอน, มูลสัตว์, รำละเอียด และยูเรีย ทำการหมักตะกอน 3 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 19 สูตร รายละเอียดของการหมักแต่ละครั้ง มีดังนี้

หมักครั้งที่ 1 ทำการหมัก 2 สูตร โดยทำการหมักตามวิธีดินหมักของ ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์ เพื่อศึกษาลักษณะรูปร่างของตะกอนหมักและวิธีการหมักว่าสามารถเป็นไปได้หรือไม่ สัดส่วนในการหมัก มีดังนี้

สูตร 1 ตะกอน : มูลวัว : รำละเอียด คือ 0.6 : 2 : 2 (kg. น้ำหนักแห้ง)

สูตร 2 ตะกอน : มูลไก่ : รำละเอียด คือ 0.6 : 1 : 2 (kg. น้ำหนักแห้ง)

ขั้นตอนการหมักอันดับแรก ต้องเตรียมหัวเชื้อโดยนำเชื้อจุลินทรีย์ F-60 คลุกเคล้าให้เข้ากับรำละเอียดโดยให้มีความชื้นพอเหมาะคลุมด้วยกระสอบป่าน เป็นเวลา 3-5 วัน รำที่หมักได้จะยุบตัวลง มีเชื้อราสีขาวเจริญเติบโตที่ผิวชั้นนอกของรำหมัก

ลักษณะทางกายภาพ

สัปดาห์แรกของตะกอนหมักทั้ง 2 สูตร มีลักษณะคล้ายคลึงกัน อุณหภูมิจะค่อยๆ สูงขึ้นจนถึงวันที่ 4 ของการหมักจะมีอุณหภูมิสูงที่สุดและตะกอนหมักสูตร 1 จะมีอุณหภูมิสูงกว่าสูตร 2 แสดงดัง รูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัปดาห์ที่ 2 ตะกอนหมักจะยุบตัวลงและแห้งมากขึ้น จึงทำการเติมน้ำและกลับกองปุ๋ย หลังจากกลับกองปุ๋ยอุณหภูมิจะลดลง จากนั้น 1-2 วันต่อมาอุณหภูมิจะสูงขึ้นเล็กน้อยและค่อยๆ ลดลงอีกครั้ง โดยที่อุณหภูมิไม่สูงขึ้นอีก ตะกอนหมักทั้ง 2 สูตรมีกลิ่นแรงขึ้น โดยเฉพาะสูตร 2 เป็นตะกอนหมักจากมูลไก่จะมีกลิ่นเหม็นมาก

สัปดาห์ที่ 3 ตะกอนหมักทั้ง 2 สูตร จะมีความร่วนซุยและมีลักษณะเหมือนดินมากขึ้น หลังจากกลับกองปุ๋ยอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลง ตะกอนหมักสูตร 1 มีกลิ่นเหม็นลดลง แต่ตะกอนหมักสูตร 2 ยังคงมีกลิ่นเหม็นรุนแรงอยู่

สัปดาห์ที่ 4 ตะกอนหมักมีลักษณะร่วนซุยมาก ไม่สารถแยกออกได้ว่าส่วนใดเป็นตะกอนหรือมูล อุณหภูมิของตะกอนหมักคงที่และไม่มีกลิ่นเหม็น แต่มีกลิ่นคล้ายดิน ซึ่งแสดงว่าตะกอนหมักสามารถนำไปใช้งานได้ สำหรับตะกอนหมักสูตร 2 ยังมีกลิ่นเหม็นอยู่บ้าง จึงใช้เวลาในการหมักนานกว่า คือ 45 วัน

ความชื้นหลังหมักของตะกอนหมักสูตร 1 มีค่า 60.68 % และสูตร 2 มีค่า 62.90 % ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยหมัก (Thanyadee, 1984) ที่กำหนดให้มีค่าเปอร์เซนต์ความชื้นไม่เกิน 35 % แสดงว่าตะกอนหมักที่ได้มีค่าความชื้นเกินมาตรฐานอยู่ประมาณ 25 % ดังนั้น ก่อนนำตะกอนหมักไปใช้งานจึงควรผึ่งให้แห้งในที่ร่ม

ลักษณะทางเคมี ทำการวิเคราะห์ตะกอนหมักหลังจากหมักเสร็จ พบว่า ค่า pH ของตะกอนหมักทั้ง 2 สูตรอยู่ในช่วง 7.5-8.5 มีค่าเป็นกลาง ซึ่งเหมาะกับการนำไปปลูกพืชเพราะสามารถละลายน้ำได้ดี การปลดปล่อยธาตุอาหารจะเป็นอัตราที่ช้าและสม่ำเสมอทำให้ตะกอนหมักที่ได้มีประสิทธิภาพสูง พืชตอบสนองได้ดีและไม่เป็นพิษต่อพืช ปริมาณอินทรีย์วัตถุในมาตรฐานปุ๋ยหมักควรอยู่ในช่วง 30-60 % ค่าที่วิเคราะห์ได้จากตารางที่ 4.5 พบว่า ตะกอนหมักทั้ง 2 สูตรมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 68.32 % และ 35.40 % ตามลำดับ ในตะกอนหมักสูตร 1 มีค่าเกินมาตรฐานเล็กน้อย แต่ในตะกอนหมักสูตร 2 มีค่าอยู่ในมาตรฐาน ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในมาตรฐานปุ๋ยหมักควรอยู่ในช่วง 17-34 % ค่าที่วิเคราะห์ได้จากตารางที่ 4.5 พบว่า ตะกอนหมักทั้ง 2 สูตรมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 39.63 % และ 20.53 % ตามลำดับ ในตะกอนหมักสูตร 1 มีค่าเกินมาตรฐานเล็กน้อย แต่ในตะกอนหมักสูตร 2 มีค่าอยู่ในมาตรฐาน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของมาตรฐานปุ๋ยหมักต้องมีค่าประมาณ 1 % จากตารางที่ 4.5 พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตะกอนหมักสูตร 1 มีค่า 1.60 % ซึ่งสูงกว่าสูตร 2 ที่มีค่า 0.81 % แสดงว่าตะกอนหมักสูตร 1 มีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนตะกอนสูตร 2 มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ค่า C/N ของมาตรฐานปุ๋ยหมักกำหนดให้ C/N ที่เหมาะสมหลังการหมักควรต่ำกว่า 20 จากตารางที่ 4.5 พบว่า ค่า C/N ลดลงจนเหลือประมาณ 25 เกินมาตรฐานอยู่ 5 แสดงว่าจะต้องใช้ระยะเวลาในการหมักยาวนานขึ้น ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของมาตรฐานปุ๋ยหมักกำหนดให้มีค่าประมาณ 1 % และปริมาณโพแทสเซียมของมาตรฐานปุ๋ยหมักกำหนดให้มีค่าประมาณ 0.5 % หรือสูงกว่า จากตารางที่ 4.5 พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 0.36 % ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐาน, ปริมาณโพแทสเซียมมีค่าประมาณ 2.80 % ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานมาก ซึ่งจากปริมาณธาตุอาหารดังกล่าว พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และปริมาณซัลเฟตมีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.0092 ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เพราะเป็นธาตุอาหารเสริม

ลักษณะทางชีวภาพ ในสัปดาห์แรกของการหมักจะพบสิ่งมีชีวิตจำพวกราสีขาวในตะกอนหมักทั้ง 2 สูตร ส่วนในสัปดาห์ที่ 2 จะพบสิ่งมีชีวิตจำพวกนีมาโทด เช่น หนอนตัวกลม ตัวด้วง เป็นต้น โดยเฉพาะในสูตร 2 จะพวกสิ่งมีชีวิตชนิดนี้มากกว่าสูตร 1 และพบแมลงจำพวกแมลงปีกแข็ง และสิ่งมีชีวิตจะตายลงเมื่อตะกอนหมักเสร็จ

หมักครั้งที่ 2 ทำการหมัก 7 สูตร โดยทำการลดปริมาณรำละเอียดลงครึ่งหนึ่งของการหมักครั้งที่ 1 และทำการแปรผันมูลเพื่อศึกษาว่ามูลชนิดใดเมื่อใช้หมักรวมกับตะกอนจะมีธาตุอาหารเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช สัดส่วนในการหมักมีดังนี้

สูตร 3	ตะกอน : มูลวัว : มูลไก่ : มูลนกพิราบ : รำละเอียด	คือ 1 : 0.60 : 0.5 : 0.6 : 1
สูตร 4	ตะกอน : มูลวัว : มูลไก่ : มูลนกพิราบ	คือ 1 : 0.60 : 0.5 : 0.6
สูตร 5	ตะกอน : มูลวัว : มูลนก : รำละเอียด	คือ 1 : 0.85 : 0.8 : 1
สูตร 6	ตะกอน : มูลวัว : มูลไก่ : รำละเอียด	คือ 1 : 0.85 : 0.6 : 1
สูตร 7	ตะกอน : มูลนก :รำละเอียด	คือ 1 : 1.60 : 1
สูตร 8	ตะกอน : มูลวัว :รำละเอียด	คือ 1 : 1.60 : 1
สูตร 9	ตะกอน : มูลไก่ :รำละเอียด	คือ 1 : 1.20 : 1

ทำการเตรียมหัวเชื้อเหมือนการหมักครั้งที่ 1 และนำหัวเชื้อที่ได้ไปหมักรวมกับตะกอนและมูลสัตว์ตามสัดส่วนข้างต้น ทำการเติมน้ำเพื่อให้ความชื้นเหมาะสม โดยเฉพาะสูตร 8 ต้องเติมน้ำมากกว่าสูตรอื่นๆ เพราะมูลวัวที่ใช้เป็นส่วนผสมในการหมักมีความชื้นน้อยมากคือ 15.60 % รองลงมาคือ สูตร 7 เพราะมูลนกมีความชื้น 19.20 % ทำการหมักเป็นเวลา 1 เดือน กลับกองปุ๋ยทุก 1 สัปดาห์ ส่วนสูตร 9 ซึ่งมีส่วนผสมของมูลไก่ต้องใช้เวลาในการหมักนานถึง 45 วัน เมื่อทำการหมักเสร็จ ทำการสุ่มตัวอย่างตะกอนหมักที่ได้มาวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์เป็นดังที่แสดงดังตารางที่ 4.5

ลักษณะทางกายภาพ

สัปดาห์ที่ 1 ตะกอนหมักทั้ง 7 สูตร มีรูปร่างลักษณะคล้ายคลึงกัน อุณหภูมิของการหมักจะค่อยๆ สูงขึ้นจนถึงวันที่ 4 ของการหมักจะมีอุณหภูมิสูงที่สุด แต่ไม่สูงเท่ากับการหมักครั้งที่ 1 เพราะเวลาที่ทำการหมักอยู่ในช่วงที่มีอากาศเย็น ส่วนตะกอนหมักสูตร 4 จะมีอุณหภูมิของตะกอนหมักลดลงเรื่อยๆ จนเท่ากับอุณหภูมิของอากาศภายนอก เนื่องจากไม่มีการหมักเกิดขึ้น เพราะไม่ได้นำหัวเชื้อหมักกับรำละเอียด ดังนั้นช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ไม่เหมาะสมต่อการหมักและปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ไม่เพียงพอ แสดงดังรูปที่ 4.2 และ รูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัปดาห์ที่ 2 ตะกอนหมักจะยุบตัวลงและแห้งมากขึ้น จึงทำการเติมน้ำและกลับกองปุ๋ย หลังจากกลับกองปุ๋ยอุณหภูมิจะลดลง จากนั้น 1-2 วันต่อมาอุณหภูมิจะสูงขึ้นเล็กน้อยและค่อยๆ ลดลงอีกครั้ง โดยที่อุณหภูมิไม่สูงขึ้นอีก สำหรับตะกอนหมักสูตร 4 อุณหภูมิจะลดลงอย่างรวดเร็วและไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น แต่ตะกอนหมักสูตร 9 มีส่วนผสมของมูลไก่ อุณหภูมิของตะกอนหมักจะลดลงช้ามากและมีกลิ่นเหม็นมาก และตะกอนหมักสูตรอื่นที่มีมูลไก่เป็นส่วนผสม ได้แก่ สูตร 3 และสูตร 6 ก็จะมีกลิ่นเหม็นเช่นกัน ส่วนตะกอนหมักที่มีส่วนผสมของมูลนกและมูลวัวจะมีกลิ่นเหม็นแต่ไม่เท่ากับตะกอนหมักที่มีส่วนผสมของมูลไก่

สัปดาห์ที่ 3 ตะกอนหมักทั้ง 6 สูตร จะมีความร่วนซุยและมีลักษณะเหมือนดินมากขึ้น หลังจากกลับกองปุ๋ยอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลง และยังคงมีกลิ่นเหม็นอยู่บ้าง แต่ตะกอนหมักที่มีส่วนผสมของมูลไก่ยังมีกลิ่นเหม็นรุนแรงอยู่ ส่วนตะกอนหมักสูตร 4 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น

สัปดาห์ที่ 4 ตะกอนหมักมีลักษณะร่วนมากไม่สามารถแยกออกได้ว่าส่วนใดเป็นตะกอนหรือมูล อุณหภูมิของตะกอนหมักคงที่และไม่มีกลิ่นเหม็น แต่มีกลิ่นคล้ายกลิ่นดิน ซึ่งแสดงว่าตะกอนหมักสามารถนำไปใช้งานได้ สำหรับตะกอนหมักสูตร 9 ใช้เวลาในการหมักนานกว่า คือ 45 วัน ยกเว้นสูตร 4 เพราะไม่เกิดการหมัก

ความชื้นหลังหมักของตะกอนหมักทั้ง 7 สูตรมีค่าอยู่ในช่วง 51.86 -63.57 % ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยหมัก (Thanyadee, 1984) ที่กำหนดให้มีค่าเปอร์เซนต์ความชื้นไม่เกิน 35 % แสดงว่าตะกอนหมักที่ได้มีค่าความชื้นเกินมาตรฐานอยู่ประมาณ 15-25 % ดังนั้น ก่อนนำตะกอนหมักไปใช้งานจึงควรผึ่งให้แห้งในที่ร่ม

ลักษณะทางเคมี ทำการวิเคราะห์ตะกอนหมักหลังจากหมักเสร็จ พบว่า ค่า pH ของตะกอนหมักทั้ง 7 สูตรอยู่ในช่วง 7.7-7.9 มีค่าเป็นกลาง ซึ่งเหมาะกับการนำไปปลูกพืชเพราะสามารถละลายน้ำได้ดี การปลดปล่อยธาตุอาหารจะเป็นอัตราที่ช้าและสม่ำเสมอทำให้ตะกอนหมักที่ได้มีประสิทธิภาพสูง พืชตอบสนองได้ดีและไม่เป็นพิษต่อพืช ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่วิเคราะห์ได้ แสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่า ตะกอนหมักทั้ง 6 สูตรมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง 30.26-56.72 % แสดงว่าตะกอนหมักทั้ง 6 สูตรมีค่าอยู่ในมาตรฐาน ยกเว้นสูตร 4 มีค่า 66.33 % ซึ่งเกินมาตรฐาน ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่วิเคราะห์ได้แสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่า ตะกอนหมักทั้ง 6 สูตรมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนอยู่ในช่วง 17.55-32.09 % ตะกอนหมักทั้ง 6 สูตรมีค่าอยู่ในมาตรฐาน ยกเว้นสูตร 4 มีค่า 38.49 % ซึ่งเกินมาตรฐาน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตะกอนหมักทั้ง 7 สูตรมีค่าอยู่ในช่วง 1.08-1.86 % ซึ่งแสดงว่าตะกอนหมักสูตร 7 สูตรมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่ามาตรฐาน ค่า C/N ลดลงต่ำกว่า 20 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นสูตร 4 มีค่า C/N 24.36 % ซึ่งลดลงจากค่า C/N เริ่มต้นประมาณ 2 % และมีค่า C/N หลังหมักสูงกว่ามาตรฐานเนื่องจากไม่เกิดการหมัก ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์, ปริมาณโพแทสเซียม และปริมาณซัลเฟตมีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.32-0.36 %,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.76-1.81 % และ 0.01 % ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 แสดงว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในตะกอนหมักทั้ง 7 สูตรมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน แต่ปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่ามาตรฐาน

ลักษณะทางชีวภาพ ในสัปดาห์แรกของการหมักจะพบสิ่งมีชีวิตจำพวกเชื้อราในตะกอนหมักทั้ง 6 สูตร ส่วนในสัปดาห์ที่ 2 จะพบสิ่งมีชีวิตจำพวกนีมาโทด เช่น หนอนตัวกลม ตัวด้วง เป็นต้น โดยเฉพาะในสูตร 9 จะพวกสิ่งมีชีวิตชนิดนี้ในปริมาณที่มากกว่าสูตรอื่น และพบแมลงจำพวกแมลงปีกแข็ง และสิ่งมีชีวิตจะตายลงเมื่อตะกอนหมักเสร็จ ส่วนในตะกอนหมักสูตร 4 ไม่พบสิ่งมีชีวิตใดๆ

หมักครั้งที่ 3 ทำการหมัก 10 สูตร โดยคำนวณค่า C/N เริ่มต้นเท่ากับ 30 และใช้ปริมาณรำเท่ากับการหมักครั้งที่ 2 และทำการแปรผันมูลโดยใช้มูลไก่เป็นพื้นฐาน เนื่องจากการวิเคราะห์ พบว่า มูลไก่มีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมากกว่ามูลชนิดอื่นๆ และทำการเปรียบเทียบการเติมยูเรียซึ่งเป็นตัวเร่ง สัดส่วนในการหมักมีดังนี้

สูตร 10	ตะกอน : มูลวัว : รำละเอียด	คือ 1 : 3.50 : 1
สูตร 11	ตะกอน : มูลนกพิราบ : รำละเอียด	คือ 1 : 2 : 1
สูตร 12	ตะกอน : มูลไก่ : รำละเอียด	คือ 1 : 3 : 1
สูตร 13	ตะกอน : มูลไก่ : มูลวัว : รำละเอียด	คือ 1 : 2 : 1 : 1
สูตร 14	ตะกอน : มูลไก่ : มูลนก :รำละเอียด	คือ 1 : 2 : 0.6 : 1
สูตร 15	ตะกอน : มูลวัว : รำละเอียด	คือ 1 : 3.50 : 1
สูตร 16	ตะกอน : มูลนกพิราบ : รำละเอียด	คือ 1 : 2 : 1
สูตร 17	ตะกอน : มูลไก่ : รำละเอียด	คือ 1 : 3 : 1
สูตร 18	ตะกอน : มูลไก่ : มูลวัว : รำละเอียด	คือ 1 : 2 : 1 : 1
สูตร 19	ตะกอน : มูลไก่ : มูลนก :รำละเอียด	คือ 1 : 2 : 0.6 : 1

หมายเหตุ สูตร 10-14 ทำการเติมยูเรีย 1 กรัม

ทำการเตรียมหัวเชื้อเหมือนการหมักครั้งที่ 1 และนำหัวเชื้อที่ได้ไปหมักรวมกับตะกอนและมูลสัตว์ตามสัดส่วนข้างตน ทำการหมักเป็นเวลา 1 เดือนและกลับกองปุ๋ยทุก 1 สัปดาห์ ส่วนสูตร 12 และสูตร 17 ซึ่งมีส่วนผสมของมูลไก่ตองใช้เวลาในการหมักนานถึง 45 วัน เมื่อทำการหมักเสร็จ ทำการสุ่มตัวอย่างตะกอนหมักที่ได้มาวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 4.5

ลักษณะทางกายภาพ

สัปดาห์ที่ 1 ตะกอนหมักทั้ง 10 สูตร มีรูปร่างลักษณะคล้ายคลึงกัน อุณหภูมิของการหมักจะค่อยๆ สูงขึ้น จนถึงวันที่ 4 ของการหมักจะมีอุณหภูมิสูงที่สุด แต่ไม่สูงเท่ากับการหมักครั้งที่ 1 เพราะเวลาที่ทำการหมักอยู่ในช่วงที่มีอากาศเย็น แสดงดังรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัปดาห์ที่ 2 ตะกอนหมักจะยุบตัวลงและแห้งมากขึ้น จึงทำการเติมน้ำและทำการกลับกองปุ๋ย หลังจากกลับกองปุ๋ยอุณหภูมิจะลดลง จากนั้น 1-2 วันต่อมาอุณหภูมิจะสูงขึ้นเล็กน้อยและค่อยๆ ลดลงอีกครั้ง โดยที่อุณหภูมิไม่สูงขึ้นอีก สำหรับตะกอนหมักสูตร 12 และสูตร 17 มีส่วนผสมของมูลไก่ อุณหภูมิของตะกอนหมักจะลดลงช้ามากและมีกลิ่นเหม็นมาก และตะกอนหมักสูตรอื่นที่มีมูลไก่เป็นส่วนผสม ได้แก่ สูตร 13, สูตร 14, สูตร 18 และสูตร 19 ก็จะมีกลิ่นเหม็นเช่นกัน ส่วนตะกอนหมักที่มีส่วนผสมของมูลนกและมูลวัวจะมีกลิ่นเหม็นแต่ไม่เท่ากับตะกอนหมักที่มีส่วนผสมของมูลไก่

สัปดาห์ที่ 3 ตะกอนหมักทั้ง 10 สูตร จะมีความร่วนซุยและมีลักษณะเหมือนดินมากขึ้น หลังจากกลับกองปุ๋ยอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลง และยังคงมีกลิ่นเหม็นอยู่บ้าง แต่ตะกอนหมักที่มีส่วนผสมของมูลไก่ยังมีกลิ่นเหม็นรุนแรงอยู่

สัปดาห์ที่ 4 ตะกอนหมักมีลักษณะร่วนซุยมากไม่สามารถแยกออกได้ว่าส่วนใดเป็นตะกอนหรือมูล อุณหภูมิของตะกอนหมักคงที่และไม่มีกลิ่นเหม็นแต่มีกลิ่นคล้ายกลิ่นดิน ซึ่งแสดงว่าตะกอนหมักสามารถนำไปใช้งานได้ สำหรับตะกอนหมักในสูตรที่มีส่วนผสมของมูลไก่ยังมีกลิ่นอยู่บ้างจึงใช้เวลาในการหมักยาวนานกว่า คือ 45 วัน

ความชื้นหลังหมักของตะกอนหมักทั้ง 10 สูตรมีค่าอยู่ในช่วง 45.08-54.92 % ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยหมัก พบว่าตะกอนหมักที่ได้มีค่าความชื้นเกินมาตรฐานอยู่ประมาณ 10-15 % ดังนั้น ก่อนนำตะกอนหมักไปใช้งานจึงควรผึ่งให้แห้งในที่ร่ม

ลักษณะทางเคมี ทำการวิเคราะห์ตะกอนหมักหลังจากหมักเสร็จ พบว่า ค่า pH ของตะกอนหมักทั้ง 10 สูตรอยู่ในช่วง 7.48-8.34 มีค่าเป็นกลาง ซึ่งเหมาะกับการนำไปปลูกพืชเพราะสามารถละลายน้ำได้ดี การปลดปล่อยธาตุอาหารจะเป็นอัตราที่ช้าและสม่ำเสมอทำให้ตะกอนหมักที่ได้มีประสิทธิภาพสูง พืชตอบสนองได้ดีและไม่เป็นพิษต่อพืช ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่วิเคราะห์ได้ แสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่า ตะกอนหมักทั้ง 8 สูตรมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง 35.41-51.22 % แสดงว่าตะกอนหมักทั้ง 8 สูตรมีค่าอยู่ในมาตรฐาน ยกเว้นสูตร 10 และสูตร 15 มีค่า 63.34 % และ 64.15 % ตามลำดับ ซึ่งเกินมาตรฐานอยู่เล็กน้อย ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่วิเคราะห์ได้แสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่า ตะกอนหมักทั้ง 8 สูตรมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อยู่ในช่วง 20.54-29.71 % ตะกอนหมักทั้ง 8 สูตรมีค่าอยู่ในมาตรฐาน ยกเว้นสูตร 10 และสูตร 15 มีค่า 36.74 % และ 37.21 % ตามลำดับ ซึ่งเกินมาตรฐาน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตะกอนหมักทั้ง 10 สูตรอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ตะกอนหมักสูตร 10-14 มีค่าไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าสูตร 15-19 เมื่อเปรียบเทียบกันตามลำดับ เพราะมีการเติมยูเรียและทำให้ระยะเวลาในการหมักสั้นลง โดยเฉพาะสูตร 10 และสูตร 15 ซึ่งเป็นตะกอนหมักที่มีจากมูลวัวมีค่าไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด คือ 2.10% และ 1.93 % ตามลำดับ และตะกอนหมักสูตรอื่นๆ มีค่าไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.10-1.83 % ค่า C/N ของตะกอนหมักทั้ง 8 สูตร เป็นไปตามมาตรฐานคือมีค่าลดลงจนเหลือ 13.85-20.02 % ส่วนตะกอนหมักสูตร 13 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร 18 มีค่า C/N หลังหมักลดลงจนเหลือ 25.61 % และ 26.07 % ตามลำดับ และพบว่าตะกอนหมักสูตร 10-13 มีค่า C/N หลังหมักต่ำกว่าสูตร 15-18 เมื่อเปรียบเทียบกันตามลำดับ ยกเว้นสูตร 14 มีค่า C/N หลังหมักสูงกว่าสูตร 19 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในตะกอนหมัก พบว่า สูตร 12, สูตร 17 และสูตร 18 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงคือ 0.42-0.48 % ซึ่งเป็นตะกอนหมักที่มีส่วนผสมของมูลไก่ ส่วนตะกอนหมักสูตรอื่นๆ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 0.37-0.39 % แต่เมื่อเปรียบเทียบตะกอนหมักทั้ง 10 สูตรกับมาตรฐานปุ๋ยหมัก พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของตะกอนหมักต่ำกว่ามาตรฐาน แต่ก็อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ปริมาณโพแทสเซียมทั้ง 10 สูตรมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 2.75-2.81 % แต่เมื่อเปรียบเทียบตะกอนหมักทั้ง 10 สูตรกับมาตรฐานปุ๋ยหมัก พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมของตะกอนหมักสูงกว่ามาตรฐานอยู่มาก ปริมาณซัลเฟตในตะกอนหมักทั้ง 10 สูตรมีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.01 % ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งมีปริมาณน้อยมากและพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เพราะเป็นธาตุอาหารเสริมของพืช

ลักษณะทางชีวภาพ ในสัปดาห์แรกของการหมักจะพบสิ่งมีชีวิตจำพวกเชื้อราในตะกอนหมักทั้ง 10 สูตร ส่วนในสัปดาห์ที่ 2 จะพบสิ่งมีชีวิตจำพวกนีมาโทด เช่น หนอนตัวกลม ตัวด้วง เป็นต้น และพบแมลงจำพวกแมลงปีกแข็ง ตะกอนหมักสูตร 10 และสูตร 15 เป็นตะกอนหมักที่มีส่วนผสมของมูลวัว จะพบไรฝุ่นเป็นจำนวนมาก แต่ในสูตร 12 และสูตร 17 เป็นตะกอนหมักที่มีส่วนผสมของมูลไก่จะพบหนอนตัวกลมเป็นจำนวนมาก และสิ่งมีชีวิตจะตายลงเมื่อตะกอนหมักเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ตะกอนหมัก

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	PH	SO_4^{2-} (%)
หมักครั้งที่ 1			
สูตร 1	60.68	8.24	0.009
สูตร 2	62.90	7.58	0.009
หมักครั้งที่ 2			
สูตร 3	56.97	7.65	0.010
สูตร 4	54.52	7.73	0.010
สูตร 5	57.76	7.82	0.009
สูตร 6	63.57	7.76	0.010
สูตร 7	51.86	7.68	0.010
สูตร 8	52.48	7.87	0.010
สูตร 9	58.05	7.66	0.010
หมักครั้งที่ 3			
สูตร 10	50.69	8.24	0.012
สูตร 11	54.03	7.48	0.013
สูตร 12	48.40	7.63	0.010
สูตร 13	45.08	7.59	0.010
สูตร 14	47.12	7.94	0.012
สูตร 15	54.89	8.15	0.011
สูตร 16	54.92	7.63	0.010
สูตร 17	45.65	7.68	0.012
สูตร 18	52.96	7.61	0.010
สูตร 19	51.89	7.87	0.012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

ตัวอย่าง	O.M. (%)	O.C. (%)	Total N (%)	C/N เริ่มต้น	C/N หลังหมัก	Available P (%)	Exchangeable K (%)
หมักครั้งที่1							
สูตร 1	68.32	39.63	1.60	35.96	24.77	0.37	2.82
สูตร 2	35.40	20.53	0.81	36.36	25.35	0.36	2.79
หมักครั้งที่2							
สูตร 3	54.65	31.70	1.57	25.78	20.19	0.33	2.78
สูตร 4	66.33	38.49	1.58	26.26	24.36	0.33	2.78
สูตร 5	43.12	25.01	1.30	26.19	19.64	0.34	2.81
สูตร 6	42.08	24.41	1.50	24.15	16.27	0.34	2.78
สูตร 7	48.65	28.22	1.40	27.92	20.16	0.36	2.76
สูตร 8	56.72	32.09	1.86	24.68	17.69	0.32	2.79
สูตร 9	30.26	17.55	1.08	24.14	16.25	0.34	2.79
หมักครั้งที่3							
สูตร 10	63.34	36.74	2.10	30.00	17.50	0.37	2.81
สูตร 11	35.83	20.78	1.50	30.00	13.85	0.38	2.79
สูตร 12	38.89	22.56	1.18	30.00	19.12	0.48	2.79
สูตร 13	51.22	29.71	1.16	30.00	25.61	0.37	2.77
สูตร 14	44.74	35.95	1.83	30.00	18.55	0.38	2.76
สูตร 15	64.15	37.21	1.93	30.00	19.28	0.38	2.75
สูตร 16	46.38	26.90	1.47	30.00	18.30	0.39	2.80
สูตร 17	37.96	22.02	1.10	30.00	20.02	0.42	2.81
สูตร 18	49.44	28.68	1.10	30.00	26.07	0.46	2.79
สูตร 19	35.41	20.54	1.23	30.00	16.70	0.37	2.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์อื่นๆ

ในการทดลองนี้ทำการวิเคราะห์ปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์ชนิดอื่นๆ ที่มีขายตามท้องตลาด ได้แก่ ปุ๋ยมูลวัว ปุ๋ยมูลไก่ และปุ๋ยมูลค้างคาว ได้ผลการทดลองดังนี้ ปุ๋ยมูลค้างคาวมีไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุด คือ 10.63 % รองลงมาคือ ปุ๋ยมูลไก่ และปุ๋ยมูลวัว มีไนโตรเจนทั้งหมดคือ 1.59 % และ 1.29% ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยมูลวัว ปุ๋ยมูลไก่ และปุ๋ยมูลค้างคาว มีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.46-0.50 % และมีปริมาณโพแทสเซียมใกล้เคียงกันคือ 2.72-2.79 % ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.7 แสดงเปอร์เซนต์ธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมักจากขยะเทศบาล และตารางที่ 4.8 แสดงเปอร์เซนต์ของธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมักจากพืชสด

4.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติของตะกอนหมักที่ได้กับปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์ ปุ๋ยหมักจากขยะเทศบาล และปุ๋ยหมักจากพืชสด

จากการวิเคราะห์ตะกอนหมัก เปอร์เซนต์ไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.81-2.10 % เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยตามท้องตลาด ปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์ที่วิเคราะห์ (ตารางที่ 4.6) และปุ๋ยหมักจากพืชสด (ตารางที่ 4.8) พบว่า มีปริมาณใกล้เคียงกันคือ 1.29-2.0 % แต่เมื่อเปรียบเทียบตะกอนหมักกับปุ๋ยหมักจากขยะเทศบาล (ตารางที่ 4.7) และปุ๋ยมูลค้างคาวจะพบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำกว่ามาก ซึ่งอาจเกิดจากการเพิ่มธาตุอาหารพืชโดยการเติมปุ๋ยเคมี ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่พบในตะกอนหมักอยู่ในช่วง 0.32-0.48 % ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์ (ตารางที่ 4.6) พบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกันคือ 0.46-0.50 % แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักจากขยะเทศบาล (ตารางที่4.7) และปุ๋ยหมักจากพืชสด (ตารางที่ 4.8) พบว่าตะกอนหมักมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่าปุ๋ยชนิดอื่นๆ แต่ก็ยังเป็นค่าที่อยู่ในช่วงมาตรฐานคือ 0.20-5.80 % ปริมาณโพแทสเซียมในตะกอนหมักอยู่ในช่วง 2.75-2.82 % ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์ (ตารางที่ 4.6) คือ 2.72-2.79 % แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักจากขยะเทศบาล (ตารางที่ 4.7) จะมีปริมาณสูงกว่าเกือบทุกสูตรคือ 0.40-2.80 % แต่ตะกอนหมักจะมีปริมาณโพแทสเซียมต่ำกว่าปุ๋ยอินทรีย์พิเศษเบอร์ 288 และ 344 คือ 7.40-7.80 % และ 4.30-4.60 % ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบปุ๋ยหมักจากพืชสด (ตารางที่ 4.8) พบว่า ตะกอนหมักมีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่ามากคือ 0.50-1.20 %

ดังนั้น ตะกอนหมักที่ได้มีปริมาณธาตุอาหารพืชใกล้เคียงกับปุ๋ยหมักตามท้องตลาด จึงสามารถนำตะกอนหมักไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ และสามารถพัฒนาการผลิตเพื่อการขายต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์

ชนิดของปุ๋ยหมัก	Total N (%)	Available P (%)	Exchangeable K (%)
ปุ๋ยมูลวัว	1.29	0.46	2.72
ปุ๋ยมูลไก่	1.59	0.50	2.76
ปุ๋ยมูลค้างคาว	10.63	0.47	2.79

ตารางที่ 4.7 แสดงเปอร์เซนต์ของธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมักจากขยะเทศบาล

ปุ๋ยหมัก	Total N (%)	Available P (%)	Exchangeable K (%)
เบอร์ 901	1.40-1.90	1.20-1.40	1.20-1.90
เบอร์ 902	1.30-2.00	1.90-3.50	0.90-1.50
เบอร์ 903	1.00-1.60	2.10-3.40	0.40-1.00
เบอร์ 904	2.00-2.40	3.00-3.40	1.20-1.40
พิเศษเบอร์ 288	5.00-5.40	3.00-3.40	7.40-7.80
พิเศษเบอร์ 344	3.40-3.60	5.20-5.60	4.30-4.60
พิเศษเบอร์ 352	4.10-4.40	5.50-5.80	1.00-1.20
พิเศษเบอร์ 425	3.80-4.20	2.60-3.00	2.50-2.80
พิเศษเบอร์ 442	5.80-7.20	5.00-5.40	2.00-2.40
พิเศษเบอร์ 531	6.80-7.20	3.60-4.00	1.20-1.40

ที่มา ดร.ถวิล ครุฑกุล. เกษตรยั่งยืน การใช้ดิน-ปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงเปอร์เซนต์ของธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมักจากพืชสด

ปุ๋ยหมัก	Total N (%)	Available P (%)	Exchangeable K (%)
ฟางข้าว	0.80-1.50	0.20-1.00	0.80-1.00
ฟางข้าวผสมมูลวัว	1.80	0.20	0.50
ฟางข้าวหลังเพาะเห็ด	1.20	0.40	1.20
ผักตบชวา	1.40	0.50	0.50
ผักตบชวาผสมมูลหมู	1.80	0.80	0.80
ตอซังข้าวโพดผสมมูลหมู	2.00	2.00	1.00
หญ้าขนผสมมูลไก่	2.00	2.50	1.50

ที่มา ดร.ถวิล ครุฑกุล. เกษตรยั่งยืน การใช้ดิน-ปุ๋ย

4.6 เปรียบเทียบราคาตะกอนหมักกับปุ๋ยอินทรีย์ตามท้องตลาด

จากการคำนวณราคาต้นทุนในการผลิตตะกอนหมัก โดยคิดราคารำละเอียด, มูลสัตว์ และยูเรีย เป็นหลัก พบว่า ตะกอนหมักที่มีส่วนผสมของมูลวัวคือ สูตร 1, สูตร 8, สูตร 10 และสูตร 15 จะมีราคาอยู่ในช่วง 1.85-2.56 บาท/กิโลกรัม ดังตารางที่ 4.9 (การคำนวณแสดงในภาคผนวก ง) เมื่อเปรียบเทียบราคาขายกับปุ๋ยมูลวัวตามท้องตลาดซึ่งขายในราคา 15 บาท/กิโลกรัม แสดงดังตารางที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าต้นทุนในการทำตะกอนหมักต่ำมาก

ตะกอนหมักที่มีส่วนผสมของมูลไก่ ได้แก่ สูตร 2, สูตร 9, สูตร 12 และสูตร 17 มีราคาอยู่ในช่วง 3.10-4.20 บาท/กิโลกรัม แสดงดังตารางที่ 4.9 ซึ่งเป็นราคาสูงสุดของการทำตะกอนหมัก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยมูลไก่ที่ขายตามท้องตลาดซึ่งขายในราคา 20 บาท/กิโลกรัม จะเห็นได้ว่าต้นทุนในการทำตะกอนหมักต่ำมาก

ตะกอนหมักที่มีส่วนผสมของมูลนกพิราบ ได้แก่ สูตร 7, สูตร 11 และสูตร 16 มีราคาต้นทุนในการผลิตอยู่ในช่วง 2.20-2.50 บาท/กิโลกรัม แสดงดังตารางที่ 4.9 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยมูลค้างคาวที่ขายตามท้องตลาดซึ่งขายในราคา 40 บาท/กิโลกรัม จะเห็นได้ว่าต้นทุนในการทำตะกอนหมักต่ำมาก

สำหรับตะกอนหมักที่มีส่วนผสมของมูลสัตว์หลายชนิด ได้แก่ สูตร 3, สูตร 5, สูตร 6, สูตร 13, สูตร 14, สูตร 18 และสูตร 19 มีราคาต้นทุนในการผลิตอยู่ในช่วง 2.30-2.70 บาท/กิโลกรัม แสดงดังตารางที่ 4.9 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยมูลสัตว์ที่ขายตามท้องตลาด จะเห็นได้ว่าต้นทุนในการทำตะกอนหมักต่ำมาก

เอกสารนี้มีไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้ สามารถนำตะกอนหมักไปผสมกับเศษวัสดุอื่นๆ เช่น ขี้เลื่อย, กาบมะพร้าว และขี้เถ้าแกลบ เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณของตะกอนหมักและลดต้นทุนการผลิต และยังเป็นการเพิ่มช่องว่างให้กับเนื้อดินมากขึ้น

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการศึกษาราคาต้นทุนของตะกอนหมัก

ผลิตภัณฑ์	ราคา (บาท/กิโลกรัม)
หมักครั้งที่1	
สูตร 1	2.56
สูตร 2	3.24
หมักครั้งที่2	
สูตร 3	2.54
สูตร 4	1.70
สูตร 5	2.30
สูตร 6	2.73
สูตร 7	2.20
สูตร 8	2.40
สูตร 9	3.11
หมักครั้งที่3	
สูตร 10	1.85
สูตร 11	2.25
สูตร 12	4.20
สูตร 13	2.70
สูตร 14	2.55
สูตร 15	1.85
สูตร 16	2.25
สูตร 17	4.20
สูตร 18	2.70
สูตร 19	2.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการศึกษาราคาปุ๋ยอินทรีย์ตามท้องตลาด

ผลิตภัณฑ์	ราคาขายปลีก (บาท/กิโลกรัม)	ราคาขายส่ง (บาท/กิโลกรัม)
ปุ๋ยคอก	15-30	10-14
ปุ๋ยหมักจากซากสัตว์	18-20	14-18
ปุ๋ยมูลค้างคาว	30-40	20
ปุ๋ยมูลวัว	15	10
ปุ๋ยมูลไก่	20	10-15
ปุ๋ยชีวภาพ	30	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักและองค์ประกอบของตะกอนหมักที่ใช้ได้แล้ว จะเห็นได้ว่า ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท สำปะหลังพัฒนา จำกัด เหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

โดยในการทดลองนี้ได้นำตะกอนมาหมักร่วมกับวัสดุอื่นๆ คือ มูลวัว, มูลไก่, มูลนกพิราบ, รำละเอียด และยูเรีย ได้ทำการแปรผันอัตราส่วนของวัสดุดังกล่าว จนได้ทั้งสิ้น 19 สูตร จากการหมักทั้ง 3 ครั้ง พบว่า รำละเอียดเป็นส่วนสำคัญในการหมัก และการลดปริมาณรำละเอียดลงครึ่งหนึ่งของการหมัก ในครั้งที่2 และครั้งที่ 3 ไม่มีผลต่อการหมัก และการเติมยูเรียในการหมักครั้งที่ 3 ทำให้ตะกอนหมักเสร็จเร็วขึ้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารพืชในการหมักทั้ง 3 ครั้ง พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีมากที่สุดในตะกอนหมักจากมูลวัว, ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีมากที่สุดในตะกอนหมักจากมูลไก่ และมีปริมาณโพแทสเซียมใกล้เคียงกันในทุกสูตร

เมื่อเปรียบเทียบถึงปริมาณธาตุอาหารพืชของตะกอนหมักกับปุ๋ยอินทรีย์ตามท้องตลาด จะเห็นได้ว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในตะกอนหมักกับปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ปริมาณฟอสฟอรัสในตะกอนหมักมีปริมาณต่ำกว่า แต่ก็ยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าฟอสฟอรัสที่มีในปุ๋ยอินทรีย์ที่วางขายเกิดจากการเติมปุ๋ยเคมีลงไปเพราะโดยทั่วไปในอินทรีย์สารมีฟอสฟอรัสในปริมาณที่ต่ำ และปริมาณโพแทสเซียมในตะกอนหมัก มีปริมาณสูงกว่าปุ๋ยอินทรีย์ต่าง ๆ มาก

เมื่อเปรียบเทียบด้านราคาต้นทุนการผลิต พบว่า ตะกอนหมักสูตร 10 และสูตร 15 เป็นตะกอนหมักจากมูลวัวมีราคาต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด และตะกอนหมักที่มีส่วนผสมของมูลไก่ ได้แก่ ตะกอนหมักสูตร12 และสูตร 17 จะมีราคาต้นทุนการผลิตสูงที่สุด แต่ตะกอนหมักทุกสูตรมีราคาต่ำกว่าปุ๋ยอินทรีย์ตามท้องตลาด

เมื่อเปรียบเทียบการหมักทั้ง 3 ครั้ง จะเห็นได้ว่า ตะกอนหมักที่มีส่วนผสมของมูลวัว ได้แก่ สูตร 10 และ สูตร 15 มีคุณภาพดีที่สุด เพราะมีปริมาณไนโตรเจนสูงสุด ระยะเวลาในการหมักสั้น ไม่มีกลิ่นเหม็น วัสดุหาได้ง่าย และมีราคาต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าการใช้มูลชนิดอื่นเป็นวัสดุในการหมัก และถ้ามีการเติมยูเรียจะทำให้การหมักเสร็จเร็วขึ้น แสดงว่าตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจากบริษัท สำปะหลังพัฒนา จำกัด สามารถนำมาทำตะกอนหมักได้ เหมาะสมสำหรับเกษตรกรที่จะนำตะกอนหมักไปใช้งานและสามารถทำการพัฒนาการผลิตเพื่อขายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. มูลชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการหมักควรทำให้มีขนาดเล็ก เพราะช่วยให้จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ง่ายขึ้น
2. ในการหมักควรคลุกเคล้าส่วนผสมของกองหมักให้เข้ากัน
3. ช่วงระยะเวลาการหมักควรควบคุมความชื้นให้เหมาะสม เพราะถ้ามีความชื้นมากเกินไป จะทำให้ระยะเวลาในการหมักนานขึ้นและมีกลิ่นเหม็นรุนแรง แต่ถ้ามีความชื้นน้อยเกินไป จะทำให้ตะกอนหมักแห้งและแข็งตัวซึ่งมีสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์
4. ขณะกลับกองปุ๋ยควรแต่งกายให้มิดชิดและรัดกุม เพื่อป้องกันเชื้อโรคและสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น ไรฝุ่นและแมลงต่างๆ เป็นต้น
5. ถ้าตะกอนหมักที่หมักเสร็จแล้วมีความชื้นสูงเกินไป ให้ผึ่งในที่ร่มจนแห้งและจึงเก็บใส่กระสอบที่มีการระบายอากาศได้ดี เพื่อให้เก็บไว้ใช้ได้นานๆ ควรเก็บในที่ร่มและมีการถ่ายเทอากาศดี
6. การนำปุ๋ยหมักไปใช้งานควรมีการเพิ่มธาตุอาหารโดยการเติมปุ๋ยเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร, 2537
2. ดร. ถวิล ครุฑกุล เกษตรยั่งยืน การใช้ดิน- ปุ๋ย กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์รั้วเขียว, 2540
3. คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535
4. ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์. ปุ๋ยหมัก ดินหมัก และปุ๋ยน้ำชีวภาพ เพื่อการปรับปรุงดิน โดยวิธีธรรมชาติ กรุงเทพฯ:โอเดียนสโตร์, 2542
5. ทัศนีย์ อัตตะนันท์ และ สุรเดช จินกานนท์, แบบฝึกหัดและคู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช, ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
6. นภดล เจียมสวัสดิ์, การศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง, วารสารวิจัยและพัฒนา สจธ, 1: 1-23, 2531
7. ปฏิบัติการเคมีเกษตร, ภาควิชาเคมีประยุกต์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ 3, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
8. ปรัชญา ธัญญาดี, การทำปุ๋ยหมักโดยคลุกเชื้อจุลินทรีย์ วารสารพัฒนาที่ดิน, 173: 1-24, 2522
9. ปรัชญา ธัญญาดี, การศึกษาการผลิตปุ๋ยหมัก คุณภาพทางเคมีของปุ๋ยหมัก, วารสารพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
10. ปรัชญา ธัญญาดี, ปุ๋ยหมัก วารสารพัฒนาที่ดิน, 166 : 11-12, 2522
11. พิชิต สกุลพรหมณ์ และคณะ, การผลิตก๊าซชีวภาพและปุ๋ยอินทรีย์โดยการหมักอินทรีย์วัตถุให้เกิดการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ไม่ต้องใช้อากาศ วารสารสำนักงานคณะกรรมการแห่งชาติ, 2 : 43-45, 2524
12. เพลินจิต ทมทิตชงค์, การเตรียมปุ๋ยหมักจากฟางข้าวและผักตบชวาโดยวิธีแปรผันเชื้อ Aspergillus oryzea Fujita วารสารวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 155-156, 2526
13. เพ็ญจนี ดุรงคเดช, อิทธิพลของอัตรการใช้อากาศในถังหมักมีผลต่อการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์เหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม, ปริญญานิพนธ์ ภาควิชา ปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537
14. รพีพร จรดร, การใช้ประโยชน์ของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มเพื่อเป็นปุ๋ยอินทรีย์, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยมหิดล
15. วิชิต ลีประเสริฐ, การทำปุ๋ยหมักด้วยกากชานอ้อยและของเสียจากโรงงานน้ำตาลสำหรับอ้อยในประเทศ บราซิล, วารสารน้ำตาล, 1: 1-10, 2527

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. สุมาลัย เดชะสุวรรณ, ทฤาฎีการวิเคราะห์ดินวารสารน้ำตาล, 14-32, 2511
17. Carter, M.R. Soil Sampling and Method of Analysis, Florida : Lewis Publishers, 1993
18. Polprasert, C. Organic Waste Recycling. West Sussex : John Willey and Sons Ltd., 1996
19. Rcrechcigl, J.E.Soil amendments and Environment Quality, Florida : Lewis Publishers, 1995
20. Smith, S.R. Agricuitural Recycling of Sewage Sludge and the Environment. Oxon : Cab International, 1996
21. Tisdale, S.L., Neilson, and Beaton, J.D. Soil Fertility and Fertilizers. New York : Nacmilian Publishing Company, 1985
22. Vesilind, P.A. Treatment and Disposal of Waste water Sludge. Michigan : Anm Arbor Science Publisher, Inc, 1979

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์

วิธีการวิเคราะห์อย่างละเอียด มีดังนี้

1. เปอร์เซนต์ความชื้น
    1. นำถ้วยระเหยไปอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 ^{0}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งหาน้ำหนัก
    2. ชั่งตัวอย่างตะกอนเปียกปริมาณ 2 g.
    3. นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 ^{0}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
    4. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างตะกอนที่ได้หลังจากการอบ
    5. ทำการคำนวณหาเปอร์เซนต์ความชื้นจากสูตร

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{A - B}{\text{น้ำหนักตะกอนเปียก}} \times 100$$

    6. ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

หมายเหตุ : กำหนดให้ A = น้ำหนักของถ้วยระเหยและตะกอนเปียก (g.)

B = น้ำหนักของระเหย (g.)

2. ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (Volatile solid)
    1. นำถ้วยระเหยที่ได้จากการหาเปอร์เซนต์ความชื้นไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 50 ^{0}C (โดยอุณหภูมิของเตาเผาต้องสูงถึง 550 ^{0}C ก่อนจึงใส่ตัวอย่างเข้าไป) เป็นเวลา 15-20 นาที
    2. นำถ้วยระเหยตั้งทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้วชั่งหาน้ำหนัก
    3. น้ำหนักที่หายไปในการเผาคือปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ทั้งหมด
    4. ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

3. เปอร์เซนต์เถ้า (% Ash)
    1. อบครูซิเบิลและเผาที่ 100 ^{0}C ในตู้อบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์และชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชั่งตัวอย่างใส่ในครูซิเบิลปริมาณ 2 g. อย่างละเอียด (อาจใช้ตัวอย่างที่หาความชื้นแล้วมาทำเถ้าต่อได้)
3. วางครูซิเบิลบน hot plate และเติม 0.2 cm^3 ของกรดไนตริกเข้มข้นภายในตู้ดูดควันและตั้งทิ้งไว้ 45 นาทีให้ฝาเปิดเผยอไว้เล็กน้อย
4. ย้ายไปใส่ในเตาเผาเป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 600 ^0C
5. ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์และชั่งหาน้ำหนัก
6. ทำการคำนวณหาเปอร์เซนต์เถ้าจากสูตร

$$\% \text{ เถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง}} \times 100$$

4. พีเอช (pH)
   1. ชั่งตัวอย่างตะกอนแห้ง 20 g. เติมน้ำกลั่น 20 ml.
   2. ใช้แท่งแก้วคนให้ตัวอย่างตะกอนและน้ำเข้ากัน
   3. ทำการวัด pH โดยใช้ pH meter
   4. ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

หมายเหตุ : ก่อนทำการวัด pH ต้องทำการเทียบมาตรฐาน pH meter ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.0 และ 7.0

5. อินทรีย์วัตถุ (Organic matter) และ อินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon)
   1. ชั่งตัวอย่างตะกอนแห้ง 0.01-0.5 g. ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml.
   2. เติมสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 1.0 N จำนวน 10 ml. และเติม H_2SO_4 เข้มข้นจำนวน 20 ml. เขย่าขวดรูปชมพู่อย่างแรงประมาณ 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที หรือจนกระทั่งตะกอนและสารละลายที่ผสมกันอยู่เย็นลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง
   3. เติมน้ำกลั่นลงไป 100 ml. แล้วเติม H_3PO_4 เข้มข้น 10 ml. และเติม NaF 0.2 g. จากนั้นหยดสารละลาย Diphenylamine ซึ่งเป็น redox indicator ลงไป 2-3 หยด เขย่าขวดรูปชมพู่จนสารละลายผสมเข้ากันดี จะได้สีม่วงปนน้ำเงินหรือสีม่วงปนแดง
   4. ปิเปตสารละลายที่ได้มา 10 ml. นำไปไทเทรตกับสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียม ซัลเฟต 0.5 N. จนเปลี่ยนจากสีม่วงปนน้ำเงินเป็นสีเขียวจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เติมสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 1.0 N จำนวน 0.5 ml. และทำการไทเทรตต่อกับสารละลาย FAS 0.5 N. จนเปลี่ยนจากสีม่วงน้ำเงินจนเป็นสีเขียวจัด
6. ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้งและทำแบลงค์ซึ่งไม่มีตัวอย่างดินควบคู่ไปด้วย
7. ทำการคำนวณหาปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) จากสูตร

$$\% \text{ O.M.} = \frac{(10 + 0.5x40)}{10} \frac{(B-S)}{B} \frac{(0.67)}{G}$$

8. ทำการคำนวณหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) จากสูตร

$$\% \text{ O.C.} = \frac{\% \text{ O.M.}}{1.724}$$

หมายเหตุ : กำหนดให้ B = ปริมาตรของสารละลาย FAS ที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์ (ml.)
S = ปริมาตรของสารละลาย FAS ที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างตะกอน (ml.)
G = น้ำหนักของตัวอย่างตะกอน (g.)

6. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)

6.1 การย่อย

1. ชั่งตัวอย่างตะกอนแห้ง 5.0 g. ใส่ใน Kjeldahl flask
2. เติมสารผสม catalyst 10 g. ลงใน flask และเติม H_2SO_4 เข้มข้น จำนวน 30 ml. เขย่าให้ผสมกัน
3. นำไปวางบนเตาเพื่อทำการย่อย ต้องหมุน flask ทุก 10 นาที เพื่อให้ผสมกันได้ดี
4. เมื่อสารละลายที่ย่อยได้มีสีใส ให้ทำการย่อยต่อประมาณ 20 นาทีแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
5. รินน้ำกลั่นลงใน flask จำนวน 200 ml. เขย่าให้เข้ากันและรอให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

6.2 การกลั่น

1. รินสารละลาย H_3BO_3 2% ประมาณ 50 ml. ลงในขวดรูปชมพู่แล้วนำไปวางที่ใต้ก้านของ condenser ของเครื่องกลั่น โดยให้ปลายของ condenser จุ่มอยู่ใต้ผิวของน้ำยา H_3BO_3
2. เติมสารละลาย NaOH เข้มข้น ประมาณ 150 ml. ลงใน Kjeldahl flask
3. ทำการกลั่นจนได้ปริมาตรของเหลวที่กลั่นได้ประมาณ 150 ml.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 การไทเทรต

ทำการไทเทรตของเหลวที่กลั่นได้ด้วยสารละลาย H_2SO_4 0.2 N จนสารละลายเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีชมพู

6.4 ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

6.5 ทำการคำนวณปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) จากสูตร

$$\% N = \frac{N \times (S-B) \times 1.4}{\text{น้ำหนักของตะกอน}}$$

หมายเหตุ : กำหนดให้

N = ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ไทเทรต (N)

S = ปริมาตรของกรดที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (ml.)

B = ปริมาตรของกรดที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์ (ml.)

Catalyst ที่ใช้คือ K_2SO_4 หรือ Na_2SO_4 : $CuSO_4$: Se ในอัตราส่วน 100 : 10 : 1

7. ปริมาตรฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus)

7.1 การสกัด

1. เตรียมน้ำยาสกัดโดยใช้สารผสมระหว่าง HCl 0.5 N จำนวน 200 ml. กับ NH_4F 1.0 N จำนวน 30 ml.
2. ทำการเตรียมตัวอย่างโดยใช้อัตราส่วนตัวอย่างตะกอนแห้ง : น้ำยาสกัด คือ 1 : 10
3. นำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปเขย่าเป็นเวลา 60 วินาที และทำการกรองเอาน้ำสกัดที่ได้ไปใช้

7.2 การวิเคราะห์หาปริมาณ P ในน้ำตัวอย่าง

1. ปิเปตน้ำสกัดที่ได้จาก ข้อ 8.1 มา 5 ml. ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 ml.
2. เติม Reagent B ลงไป 5 ml. แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
3. วางทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แล้วอ่านค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร
4. นำค่าที่อ่านได้ไปหาปริมาณของฟอสฟอรัสในน้ำสกัดจากกราฟมาตรฐาน

7.3 การทำกราฟมาตรฐาน P

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสให้มีความเข้มข้น 5 ppm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่มีความเข้มข้น 5 ppm. มา 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ml. ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 ml.
3. เติม Reagent B ลงไป 5 ml. แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
4. วางทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แล้วอ่านค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร
5. นำค่าที่ได้ไปวาดกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) กับความเข้มข้นของ P ในสารละลายมาตรฐาน

7.4 ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

7.5 ทำการคำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสจากสูตร

$$P\ (ppm) = ppm\ \text{ที่อ่านได้} \times \frac{\text{total volume}}{5} \times \frac{\text{ปริมาณน้ำสกัดทั้งหมด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างตะกอน}}$$

หมายเหตุ :

1. Reagent A เตรียมโดยใช้แอมโมเนียมโมลิบเดต 12 g. ละลายในน้ำกลั่น 250 ml. และโพแทสเซียมทาร์เทรต 0.2908 g. ละลายในน้ำกลั่น 100 ml. จากนั้นนำสารละลายทั้ง 2 นี้ใส่ลงในสารละลาย H_2SO_4 เข้มข้น 5 N จำนวน 1,000 ml.
2. Reagent B เตรียมโดยละลายกรดแอสคอบิก 1.056 g. ใน Reagent A 200 ml. ซึ่งเมื่อเตรียมแล้วต้องใช้ทันทีและเก็บไว้ได้ไม่เกิน 24 ชั่วโมง
3. ในการวิเคราะห์ปริมาณ P ในน้ำสกัด ถ้าค่าที่อ่านได้และสีของน้ำสกัดเข้มเกินไปจนออกนอกกราฟมาตรฐานให้ทำการเจือจางน้ำสกัดที่ได้

8. ปริมาณโพแทสเซียม

8.1 การวิเคราะห์หาปริมาณ K ในน้ำสกัด

1. ชั่งตัวอย่างตะกอนแห้ง 5.0 g. ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 ml.
2. เติมน้ำยาสกัดแอมโมเนียมอะซิเตต ลงไป 50 ml. ทำการเขย่า 30 นาที
3. นำไปกรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42
4. นำสารละลายที่กรองได้ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml. และปรับปริมาตรให้เป็น 100 ml. โดยใช้น้ำยาสกัดแอมโมเนียมอะซิเตต
5. นำไปวิเคราะห์หาปริมาณ K โดยใช้ Atomic Absorption Spectrophotometer
6. ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 การทำกราฟมาตรฐานของ K

1. เตรียมสารมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 50 ppm.
2. ปิเปตสารมาตรฐานโพแทสเซียมมา 0, 1, 2, 3และ 4 ml. ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml.
3. ปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
4. นำไปวิเคราะห์หาปริมาณ K โดยใช้ Atomic Absorption Spectrophotometer

9. โลหะหนัก (Heavy Metal) ที่วิเคราะห์ได้แก่ Pb, Cd, Zn, Fe, Mn, Cu, Ni และ Hg

1. ชั่งตัวอย่างตะกอนแห้ง 0.2 g.
2. เติมกรดไนตริกเข้มข้น 65% จำนวน 4 ml. และกรดไฮโรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 30% จำนวน 1 ml.
3. ทำการย่อยโดยใช้ microwave หลังจากย่อยเสร็จต้องทำให้เย็น
4. นำสารละลายที่ย่อยได้มากรองใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml. แล้วใช้น้ำกลั่นปรับปริมาตร
5. นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยใช้ Atomic Absorption Spectrophotometer

10. ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity)

10.1 การทำให้อิ่มตัว

1. ชั่งตัวอย่างตะกอนแห้ง 10 g. ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 ml. เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตตลงไป 60 ml. เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 1 คืน
2. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 30 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงนาน 5 นาที แยกเอาส่วนใสทิ้งไป
3. ล้างตัวอย่างตะกอนด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต 1 N. ครั้งละ 30 ml. นำไปปั่นเหวี่ยงแยกเอาส่วนใสออกจนไม่มีแคลเซียมเหลืออยู่ (ทดสอบได้โดยนำส่วนใสที่ได้จากการล้างแต่ละครั้งประมาณ 10ml. ใส่ในหลอด หยดแอมโมเนียมคลอไรด์ 1N., แอมโมเนียมออกซาเลต 10% และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ อย่างละ 2-3 หยด นำไปต้มให้เดือด ถ้าเกิดตะกอนหรือสารละลายขุ่นแสดงว่ายังมีแคลเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตกค้างอยู่ต้องนำไปล้างออกด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต แต่ถ้าไม่มีตะกอนของแคลเซียมให้นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ต่อ)

10.2 ขั้นตอนการล้างตัวอย่างตะกอน

1. นำตัวอย่างตะกอนที่ได้จากข้อ 11.1 ล้างต่อด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 1N. จำนวน 4 ครั้ง และล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.35 N. อีก 1 ครั้ง
2. ล้างตัวอย่างตะกอนด้วยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 7 ครั้ง ครั้งละ 30 ml. โดยในการล้างแต่ละครั้งให้นำไปปั่นเหวี่ยงนานประมาณ 3-5 นาที เพื่อแยกส่วนในออกจนไม่มีคลอไรด์เหลืออยู่ (ทดสอบโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.1 N. 2-3 หยด ถ้ามีตะกอนสีขาวของ AgCl แสดงว่ายังมีคลอไรด์เหลืออยู่

10.3 ขั้นตอนการแทนที่

1. นำสารละลายที่ได้จากข้างต้นทิ้งไปและนำตัวอย่างตะกอนที่ได้มาลางต่อด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10 % เพื่อไล่ NH_4 ในตัวอย่าง โดยล้างครั้งละ 30 ml. จำนวน 3 ครั้ง นำไปปั่นเหวี่ยงและเก็บส่วนใสไว้
2. นำส่วนใสที่ได้จากตัวอย่างมาใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml. ปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

10.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. นำสารละลายตัวอย่างที่ได้ใส่ลงใน Kjeldahl flask เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 % ลงๆป 25 ml.
2. นำสารละลายกรดบอริก 3 % ซึ่งเติมอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด จำนวน 50 ml. ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml. นำไปวางไว้ให้ปลายคอนเดนเซอร์จุ่มอยู่ในสารละลาย
3. ทำการกลั่นจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว
4. นำสารละลายที่กลั่นได้ไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 N. จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง
5. ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้งและทำแบลงค์ด้วย
6. ทำการคำนวณหาปริมาณ CEC จากสูตร

$$CEC = \frac{(A-B) \times N \times 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง}}$$

หมายเหตุ : A = ปริมาณสารละลายมาตรฐาน HCl ที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (ml.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B = ปริมาณสารละลายมาตรฐาน HCl ที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์ (ml.)

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน HCl

11. ปริมาณซัลเฟต

11.1 การสกัด

1. ชั่งตัวแอย่างตะกอนแห้ง 2 g. ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 ml. เติมผงถ่าน 1 g. และน้ำยาสกัดแคลเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตลงไป 20 ml.
2. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า 30 นาที
3. นำไปกรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 เพื่อนำสารละลายที่กรองได้ไปใช้

11.2 การหาปริมาณซัลเฟตในน้ำยาสกัด

1. ปิเปตสารละลายที่กรองได้มา 5 ml. ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 ml.
2. เติมแบเรียมคลอไรด์ 0.25 g. และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
3. ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที และนำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 480 นาโนเมตร
4. หาปริมาณซัลเฟตโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน
5. ถ้าค่าที่อ่านได้หรือสีของสารละลายเข้มเกินกราฟมาตรฐานให้ทำการเจือจางจนค่าที่ได้อยู่ในกราฟมาตรฐาน

11.3 การทำกราฟมาตรฐาน

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟตเข้มข้น 100 ppm.
2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตมา 0, 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 ml. ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml.
3. เติมสารละลายมาตรฐาน HCl เข้มข้น 1 M. และเติมแบเรียมคลอไรด์ 0.25 g. แล้วปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
4. ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที และนำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงดวย Spectrophotometer
5. ทำการวาดกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของซัลเฟตกับค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
ผลการวิเคราะห์วัสดุอื่นที่ใช้ทำตะกอนหมัก

ตาราง ข-1 ผลการวิเคราะห์ค่า pH

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
มูลวัว	8.57	8.65	8.64	8.62
มูลไก่	7.81	7.72	7.69	7.74
มูลนก	7.52	7.41	7.36	7.43
รำ	-	-	-	-

ตาราง ข-2 ผลการวิเคราะห์ความชื้น

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1 (%)	ครั้งที่ 2 (%)	ค่าเฉลี่ย (%)
มูลวัว	15.40	15.80	15.60
มูลไก่	40.80	41.30	41.05
มูลนก	19.50	18.90	19.20
รำ	20.40	20.70	20.55

ตาราง ข-3 ผลการวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุ

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1 (%)	ครั้งที่ 2 (%)	ครั้งที่3 (%)	ค่าเฉลี่ย (%)
มูลวัว	53.88	51.44	53.41	52.91
มูลไก่	49.10	49.10	49.10	49.10
มูลนก	60.55	59.06	61.25	60.29
รำ	56.00	53.36	52.32	53.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-4 ผลการวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอน

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1 (%)	ครั้งที่ 2 (%)	ครั้งที่ 3 (%)	ค่าเฉลี่ย (%)
มูลวัว	31.25	29.84	30.98	30.69
มูลไก่	28.48	28.48	28.48	28.48
มูลนก	35.12	34.26	35.53	34.97
รำ	32.48	30.95	30.35	31.26

ตาราง ข-5 ผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1 (%)	ครั้งที่ 2 (%)	ครั้งที่ 3 (%)	ค่าเฉลี่ย (%)
มูลวัว	0.448	0.459	0.442	0.45
มูลไก่	0.190	0.196	0.185	0.19
มูลนก	0.236	0.246	0.241	0.24
รำ	0.085	0.072	0.083	0.08

ตาราง ข-6 ผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus)

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ค่าเฉลี่ย (%)
	ค่าการดูดกลืนแสง	Available P (%)	ค่าการดูดกลืนแสง	Available P (%)	
มูลวัว	0.121	0.38	0.109	0.36	0.37
มูลไก่	0.399	0.85	0.447	0.93	0.89
มูลนก	0.340	0.75	0.293	0.67	0.71
รำ	-	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-7 ผลการวิเคราะห์โพแทสเซียม (Exchangeable Potassium)

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ค่าเฉลี่ย (%)
	Exchangeable K (ppm)	Exchangeable K (%)	Exchangeable K (ppm)	Exchangeable K (%)	
มูลวัว	136.35	1.36	132.21	1.32	1.34
มูลไก่	382.41	3.82	370.33	3.70	3.76
มูลนก	254.22	2.54	262.27	2.62	2.58
รำ	-	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์ตะกอนหมัก

ตาราง ค-1 ผลการวิเคราะห์ค่า pH

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
หมักครั้งที่ 1			
สูตร 1	8.35	8.13	8.24
สูตร 2	7.63	7.53	7.58
หมักครั้งที่ 2			
สูตร 3	7.48	7.82	7.65
สูตร 4	7.64	7.82	7.73
สูตร 5	7.87	7.77	7.82
สูตร 6	7.65	7.87	7.76
สูตร 7	7.85	7.51	7.68
สูตร 8	8.03	8.25	8.14
สูตร 9	7.73	7.59	7.66
หมักครั้งที่ 3			
สูตร 10	7.98	8.50	8.24
สูตร 11	7.53	7.43	7.48
สูตร 12	7.55	7.71	7.63
สูตร 13	7.61	7.57	7.59
สูตร 14	8.05	7.83	7.94
สูตร 15	7.19	8.11	8.15
สูตร 16	7.28	7.44	7.36
สูตร 17	7.62	7.74	7.68
สูตร 18	7.68	7.54	7.61
สูตร 19	7.91	7.83	7.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-2 ผลการวิเคราะห์ความชื้น

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1 (%)	ครั้งที่ 2 (%)	ค่าเฉลี่ย (%)
หมักครั้งที่ 1			
สูตร 1	60.52	61.23	60.88
สูตร 2	63.43	62.38	62.90
หมักครั้งที่ 2			
สูตร 3	56.43	57.51	56.97
สูตร 4	55.41	53.62	54.52
สูตร 5	56.78	58.74	57.76
สูตร 6	62.51	64.63	63.57
สูตร 7	51.54	52.18	51.86
สูตร 8	51.53	53.42	52.48
สูตร 9	58.26	57.84	58.05
หมักครั้งที่ 3			
สูตร 10	50.15	51.23	50.69
สูตร 11	54.09	53.96	54.03
สูตร 12	48.08	48.71	48.40
สูตร 13	44.98	45.17	45.08
สูตร 14	46.75	47.48	47.12
สูตร 15	55.63	54.15	54.89
สูตร 16	54.36	55.48	54.92
สูตร 17	45.03	46.27	45.65
สูตร 18	52.77	53.14	52.96
สูตร 19	52.02	51.76	51.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในตะกอนหมักครั้งที่ 1

วันที่	สูตร 1 (^{0}C)	สูตร 2 (^{0}C)	วันที่	สูตร 1 (^{0}C)	สูตร 2 (^{0}C)
0	32	30	25	30	30
1	32	30	26	30	30
2	35	32	27	30	30
3	41	39	28	30	30
4	49	47	29	30	30
5	47	46	30	30	30
6	40	37	31	หมักเสร็จ	30
7	35	33	32		30
8	37	36	33		30
9	39	38	34		30
10	38	38	35		30
11	37	37	36		30
12	36	35	37		30
13	35	35	38		30
14	35	33	39		30
15	34	33	40		30
16	34	33	41		30
17	34	33	42		30
18	34	32	43		30
19	33	32	44		30
20	32	32	45		30
21	31	30			หมักเสร็จ
22	31	30			
23	31	30			
24	30	30			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-4 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในตะกอนหมัก ครั้งที่ 2

วันที่	สูตร 3 (^{0}C)	สูตร 4 (^{0}C)	สูตร 5 (^{0}C)	สูตร 6 (^{0}C)	สูตร 7 (^{0}C)	สูตร 8 (^{0}C)	สูตร 9 (^{0}C)
0	30	30	30	30	30	30	30
1	31	30	31	30	31	31	30
2	32	29	32	31	32	33	31
3	33	28	33	31	33	35	32
4	33	27	34	32	34	37	33
5	34	27	35	33	35	38	34
6	33	27	34	33	33	37	33
7	33	27	33	32	33	38	33
8	34	27	33	32	34	37	34
9	32	27	34	32	33	37	33
10	32	27	33	32	33	36	33
11	32	27	33	32	33	36	32
12	31	27	32	32	31	34	31
13	31	27	30	32	30	33	30
14	31	27	30	32	30	32	30
15	31	27	30	31	30	31	30
16	31	27	30	31	30	29	30
17	31	27	30	31	30	29	30
18	30	27	30	31	30	28	30
19	30	27	30	31	30	28	30
20	30	27	29	31	30	28	30
21	30	27	29	31	30	28	30
22	30	27	29	31	30	28	30
23	29	27	28	31	30	28	30
24	28	27	28	30	29	28	30
25	27	27	28	30	29	27	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-4 ต่อ

วันที่	สูตร 3 (^{0}C)	สูตร 4 (^{0}C)	สูตร 5 (^{0}C)	สูตร 6 (^{0}C)	สูตร 7 (^{0}C)	สูตร 8 (^{0}C)	สูตร 9 (^{0}C)
26	27	27	27	30	28	27	30
27	27	27	27	29	27	27	30
28	27	27	27	29	27	27	30
29	27	27	27	28	27	27	29
30	27	27	27	28	27	27	29
31	หมักเสร็จ	หมักเสร็จ	หมักเสร็จ	หมักเสร็จ	หมักเสร็จ	หมักเสร็จ	29
32							29
33							29
34							29
35							28
36							28
37							28
38							27
39							27
40							27
41							27
42							27
43							27
44							27
45							27
							หมักเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-5 แสดงการเปลี่ยนปลงอุณหภูมิในตะกอนหมัก ครั้งที่ 3

วันที่	สูตร 10 (^{0}C)	สูตร 11 (^{0}C)	สูตร 12 (^{0}C)	สูตร 13 (^{0}C)	สูตร 14 (^{0}C)	สูตร 15 (^{0}C)	สูตร 16 (^{0}C)	สูตร 17 (^{0}C)	สูตร 18 (^{0}C)	สูตร 19 (^{0}C)
0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
1	32	31	31	31	31	33	31	31	31	31
2	34	33	33	32	32	35	32	32	32	33
3	38	35	34	33	35	39	34	34	33	34
4	39	37	36	35	36	40	36	36	35	35
5	41	38	37	38	38	41	38	38	37	37
6	41	37	36	36	36	40	37	36	36	36
7	40	37	37	36	37	40	37	36	35	35
8	41	38	36	37	37	39	37	36	35	35
9	40	37	36	37	36	39	37	36	35	35
10	40	36	35	36	36	39	37	36	35	35
11	40	35	33	36	35	39	37	36	35	35
12	39	35	32	35	34	39	36	36	35	35
13	39	33	31	34	33	39	36	36	34	34
14	39	33	31	34	32	39	35	35	35	35
15	39	32	31	33	32	39	35	35	35	35
16	39	32	31	32	32	39	34	35	34	34
17	38	32	31	32	31	39	33	35	34	33
18	38	31	31	31	31	39	32	35	34	33
19	38	31	30	31	31	38	32	35	33	33
20	36	30	30	30	30	38	32	35	33	33
21	35	29	30	30	29	37	31	35	33	32
22	34	29	30	29	29	36	31	34	32	32
23	33	28	30	29	29	35	31	34	31	31
24	31	28	30	29	28	33	31	34	31	30
25	30	28	30	28	28	32	30	33	31	30
26	30	27	30	28	28	31	30	33	30	29
27	29	27	30	28	28	30	30	33	29	28
28	28	27	30	28	28	29	29	33	29	28
29	28	27	30	28	28	29	29	33	29	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-5 ต่อ

วันที่	สูตร 10 (^{0}C)	สูตร 11 (^{0}C)	สูตร 12 (^{0}C)	สูตร 13 (^{0}C)	สูตร 14 (^{0}C)	สูตร 15 (^{0}C)	สูตร 16 (^{0}C)	สูตร 17 (^{0}C)	สูตร 18 (^{0}C)	สูตร 19 (^{0}C)
30	28	27	29	28	28	29	29	33	29	28
31	หมัก	หมัก	29	หมัก	หมัก	หมัก	หมัก	32	หมัก	หมัก
32	เสร็จ	เสร็จ	29	เสร็จ	เสร็จ	เสร็จ	เสร็จ	32	เสร็จ	เสร็จ
33			29					32		
34			29					32		
35			29					32		
36			29					32		
37			29					30		
38			28					30		
39			28					30		
40			28					30		
41			28					30		
42			28					29		
43			28					29		
44			28					29		
45			28					29		
			หมัก					หมัก		
			เสร็จ					เสร็จ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-6 ผลการวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุ

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1 (%)	ครั้งที่ 2 (%)	ครั้งที่ 3 (%)	ค่าเฉลี่ย (%)
หมักครั้งที่ 1				
สูตร 1	60.82	69.15	68.99	60.32
สูตร 2	30.07	36.64	35.08	35.40
หมักครั้งที่ 2				
สูตร 3	53.82	56.17	53.96	54.65
สูตร 4	65.41	67.34	62.25	66.33
สูตร 5	42.88	44.32	42.15	43.12
สูตร 6	42.69	41.58	41.98	42.08
สูตร 7	47.98	49.08	48.89	48.65
สูตร 8	55.22	57.37	57.56	56.72
สูตร 9	29.55	31.31	29.91	30.26
หมักครั้งที่ 3				
สูตร 10	66.56	60.12	63.34	63.34
สูตร 11	37.77	63.86	35.84	35.83
สูตร 12	39.27	38.51	38.89	38.89
สูตร 13	62.34	40.10	51.22	51.22
สูตร 14	43.55	45.01	45.65	44.74
สูตร 15	65.44	62.84	64.17	64.15
สูตร 16	46.57	45.60	46.96	46.38
สูตร 17	38.51	67.41	37.96	37.96
สูตร 18	58.62	40.27	49.44	49.44
สูตร 19	36.38	34.45	35.41	35.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-7 ผลการวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอน

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1 (%)	ครั้งที่ 2 (%)	ครั้งที่ 3 (%)	ค่าเฉลี่ย (%)
หมักครั้งที่ 1				
สูตร 1	38.76	40.11	40.02	39.63
สูตร 2	19.76	21.25	20.58	20.53
หมักครั้งที่ 2				
สูตร 3	31.22	32.58	31.30	31.70
สูตร 4	37.94	39.06	38.43	38.49
สูตร 5	24.87	25.71	24.45	25.01
สูตร 6	24.76	24.12	24.35	24.41
สูตร 7	27.83	28.47	28.36	28.22
สูตร 8	32.03	33.28	33.39	32.90
สูตร 9	17.14	18.16	17.35	17.55
หมักครั้งที่ 3				
สูตร 10	38.61	34.87	36.74	36.74
สูตร 11	21.91	19.64	20.79	20.78
สูตร 12	22.78	22.34	22.56	22.56
สูตร 13	36.16	23.26	29.71	29.71
สูตร 14	25.36	26.11	26.48	25.95
สูตร 15	37.96	36.45	37.22	37.21
สูตร 16	27.01	26.45	27.24	26.90
สูตร 17	22.34	21.70	22.02	22.02
สูตร 18	34.00	23.36	28.68	28.68
สูตร 19	21.10	19.98	20.54	20.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-8 ผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1 (%)	ครั้งที่ 2 (%)	ครั้งที่ 3 (%)	ค่าเฉลี่ย (%)
หมักครั้งที่ 1				
สูตร 1	1.629	1.562	1.585	1.60
สูตร 2	0.812	0.829	0.778	0.81
หมักครั้งที่ 2				
สูตร 3	1.572	1.562	1.576	1.57
สูตร 4	1.574	1.574	1.585	1.58
สูตร 5	1.298	1.316	1.322	1.30
สูตร 6	1.448	1.506	1.478	1.50
สูตร 7	1.389	1.398	1.378	1.40
สูตร 8	1.848	1.870	1.859	1.86
สูตร 9	1.014	1.126	1.092	1.08
หมักครั้งที่ 3				
สูตร 10	2.100	2.100	2.089	2.10
สูตร 11	1.518	1.434	1.478	1.50
สูตร 12	1.182	1.165	1.204	1.18
สูตร 13	1.198	1.120	1.165	1.16
สูตร 14	1.887	1.781	1.820	1.83
สูตร 15	1.870	1.982	1.938	1.93
สูตร 16	1.495	1.473	1.450	1.47
สูตร 17	1.081	1.098	1.092	1.10
สูตร 18	1.109	1.053	1.081	1.10
สูตร 19	1.872	1.277	1.226	1.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-9 ผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus)

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ค่าเฉลี่ย Available P (%)
	ค่าการดูดกลืนแสง	Available P(ppm)	Available P (%)	ค่าการดูดกลืนแสง	Available P (ppm)	Available P (%)	
หมักครั้งที่ 1							
สูตร 1	0.116	1484.16	0.37	0.114	1470.64	0.37	0.37
สูตร 2	0.103	1396.28	0.35	0.110	1443.60	0.36	0.36
หมักครั้งที่ 2							
สูตร 3	0.085	1274.60	0.32	0.096	1348.96	0.34	0.33
สูตร 4	0.090	1308.40	0.33	0.084	1267.84	0.32	0.33
สูตร 5	0.091	1315.16	0.33	0.095	1342.20	0.34	0.34
สูตร 6	0.092	1321.92	0.33	0.098	1362.48	0.34	0.34
สูตร 7	0.107	1423.32	0.36	0.112	1457.15	0.36	0.36
สูตร 8	0.083	1261.08	0.32	0.082	1254.32	0.31	0.32
สูตร 9	0.098	1362.48	0.34	0.094	1335.44	0.33	0.34
หมักครั้งที่ 3							
สูตร 10	0.110	1443.60	0.36	0.115	1477.40	0.37	0.37
สูตร 11	0.116	1484.16	0.37	0.120	1511.20	0.38	0.38
สูตร 12	0.179	1910.04	0.48	0.177	1896.52	0.47	0.48
สูตร 13	0.115	1477.40	0.37	0.112	1457.12	0.36	0.37
สูตร 14	0.117	1490.92	0.37	0.120	1511.20	0.38	0.38
สูตร 15	0.124	1538.24	0.38	0.121	1517.96	0.38	0.38
สูตร 16	0.128	1565.28	0.39	0.125	1545.00	0.39	0.39
สูตร 17	0.143	1666.68	0.42	0.147	1693.72	0.42	0.42
สูตร 18	0.169	1842.44	0.46	0.163	1801.88	0.45	0.46
สูตร 19	0.113	1463.88	0.37	0.117	1490.92	0.37	0.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-10 ผลการวิเคราะห์โพแทสเซียม

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ค่าเฉลี่ย
	Exchangeable K (ppm)	Exchangeable K (%)	Exchangeable K (ppm)	Exchangeable K (%)	Exchangeable K (%)
หมักครั้งที่ 1					
สูตร 1	276.00	2.76	287.43	2.87	2.815
สูตร 2	276.35	2.76	281.15	2.81	2.785
หมักครั้งที่ 2					
สูตร 3	277.35	2.77	278.14	2.78	2.775
สูตร 4	276.65	2.77	279.11	2.79	2.780
สูตร 5	275.55	2.76	285.43	2.85	2.805
สูตร 6	274.95	2.75	281.45	2.81	2.780
สูตร 7	276.85	2.77	273.55	2.74	2.755
สูตร 8	276.50	2.77	281.43	2.81	2.790
สูตร 9	275.50	2.76	282.10	2.82	2.790
หมักครั้งที่ 3					
สูตร 10	276.45	2.76	285.32	2.85	2.805
สูตร 11	276.10	2.76	281.21	2.81	2.785
สูตร 12	275.20	2.75	283.63	2.84	2.790
สูตร 13	275.40	2.75	278.59	2.79	2.770
สูตร 14	276.30	2.76	274.57	2.75	2.755
สูตร 15	273.50	2.74	274.90	2.75	2.745
สูตร 16	274.40	2.74	286.20	2.86	2.800
สูตร 17	274.55	2.75	286.65	2.87	2.810
สูตร 18	275.70	2.76	282.35	2.82	2.790
สูตร 19	274.35	2.74	284.31	2.84	2.790

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-11 ผลการวิเคราะห์ซัลเฟต

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1 (%)			ครั้งที่ 2 (%)			ค่าเฉลี่ยซัลเฟต (%)
	ค่าการดูดกลืนแสง	SO_4^{2-} (ppm)	SO_4^{2-} (%)	ค่าการดูดกลืนแสง	SO_4^{2-} (ppm)	SO_4^{2-} (%)	
หมักครั้งที่ 1							
สูตร 1	0.245	37.28	0.0093	0.236	35.87	0.0090	0.009
สูตร 2	0.237	36.03	0.0091	0.241	36.65	0.0092	0.009
หมักครั้งที่ 2							
สูตร 3	0.258	39.31	0.0098	0.267	40.72	0.0101	0.010
สูตร 4	0.262	39.94	0.01	0.259	39.47	0.0099	0.010
สูตร 5	0.244	37.12	0.0093	0.257	39.16	0.0098	0.010
สูตร 6	0.264	40.25	0.01	0.271	41.34	0.0103	0.010
สูตร 7	0.252	38.37	0.0096	0.260	39.62	0.0099	0.010
สูตร 8	0.249	37.90	0.0095	0.254	38.67	0.0097	0.010
สูตร 9	0.268	40.88	0.0102	0.263	40.93	0.0102	0.010
หมักครั้งที่ 3							
สูตร 10	0.315	48.23	0.0120	0.320	49.01	0.0123	0.012
สูตร 11	0.305	44.66	0.0112	0.298	45.57	0.0114	0.013
สูตร 12	0.252	38.37	0.0096	0.274	41.81	0.0105	0.010
สูตร 13	0.245	37.28	0.0093	0.267	40.72	0.0102	0.010
สูตร 14	0.319	48.85	0.0122	0.308	47.13	0.0118	0.012
สูตร 15	0.275	41.97	0.0105	0.286	43.69	0.0109	0.011
สูตร 16	0.268	40.88	0.0102	0.277	42.29	0.0106	0.010
สูตร 17	0.314	48.07	0.0120	0.303	46.35	0.0116	0.012
สูตร 18	0.264	40.25	0.0101	0.272	41.50	0.0104	0.010
สูตร 19	0.297	45.41	0.0114	0288	44.00	0.0110	0.012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
การศึกษาราคาต้นทุนในการผลิต

ราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

รำละเอียด กิโลกรัมละ 3 บาท
มูลวัว กิโลกรัมละ 2 บาท กระสอบละ 10 กิโลกรัม จำนวนเงิน 20 บาท
มูลไก่ กิโลกรัมละ 2.5 บาท กระสอบละ 10 กิโลกรัม จำนวนเงิน 25 บาท
มูลนกพิราบ กิโลกรัมละ 1.5 บาท กระสอบละ 10 กิโลกรัม จำนวนเงิน 15 บาท

ตัวอย่างการคำนวณราคาต้นทุน (ทำการคำนวณเช่นเดียวกันในตะกอนหมักทุกสูตร)

ตะกอนหมักสูตร 1 สัดส่วนการหมักคือ ตะกอน : มูลวัว :รำละเอียด คือ 2 : 2 : 2 (kg น้ำหนักเปียก)

ตะกอน 2 กิโลกรัม จำนวนเงิน 0 บาท
มูลวัว 2 กิโลกรัม จำนวนเงิน 4 บาท
รำละเอียด 2 กิโลกรัม จำนวนเงิน 6 บาท
น้ำหนักเปียก 6 กิโลกรัม จำนวนเงิน 10 บาท
น้ำหนักแห้ง 3.9 กิโลกรัม คิดเป็นกิโลกรัมละ 2.56 บาท

ตะกอนหมักสูตร 2 สัดส่วนการหมักคือ ตะกอน : มูลไก่ : รำละเอียด คือ 2 : 2 : 2 (kg น้ำหนักเปียก)

ตะกอน 2 กิโลกรัม จำนวนเงิน 0 บาท
มูลไก่ 2 กิโลกรัม จำนวนเงิน 5 บาท
รำละเอียด 2 กิโลกรัม จำนวนเงิน 6 บาท
น้ำหนักเปียก 6 กิโลกรัม จำนวนเงิน 11 บาท
น้ำหนักแห้ง 3.4 กิโลกรัม คิดเป็นกิโลกรัมละ 3.24 บาท

ตะกอนหมักสูตร 3 สัดส่วนการหมักคือ ตะกอน : มูลวัว : มูลไก่ : รำละเอียด คือ 3 : 0.7 : 0.7 : 0.7 (kg น้ำหนักเปียก)

ตะกอน 3 กิโลกรัม จำนวนเงิน 0 บาท
มูลวัว 0.7 กิโลกรัม จำนวนเงิน 1.4 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มูลไก่	0.7	กิโลกรัม	จำนวนเงิน	1.75	บาท
มูลนก	0.7	กิโลกรัม	จำนวนเงิน	1.05	บาท
รำละเอียด	1.55	กิโลกรัม	จำนวนเงิน	4.65	บาท
น้ำหนักเปียก	6.65	กิโลกรัม	จำนวนเงิน	8.85	บาท
น้ำหนักแห้ง	3.48	กิโลกรัม	คิดเป็นกิโลกรัมละ	2.54	บาท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การคำนวณค่า C/N ratio

ตัวอย่างการคำนวณค่า C/N ratio เริ่มต้นของตะกอนหมัก

จากมาตรฐานปุ๋ยหมักกำหนดให้มีค่า C/N ratio เริ่มต้นของการหมักอยู่ในช่วง 25-35 ดังนั้น ในการทดลองนี้จึงกำหนดให้ในการหมักครั้งที่ 3 มีค่า C/N เริ่มต้นเท่ากับ 30 เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณของมูลชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการหมัก

ตะกอนหมักสูตร 10 สัดส่วนการหมักคือ ตะกอน : มูลวัว :รำละเอียด

ตะกอนมีเปอร์เซนต์คาร์บอน คือ 36.18 % และมีเปอร์เซนต์ไนโตรเจน คือ 4.2 %

ตะกอนแห้ง 100 kg. มี C = 36.18 kg.

ตะกอนแห้ง 1 kg. มี C = 0.3618 kg.

มูลวัวมีเปอร์เซนต์คาร์บอน คือ 30.69 % และมีเปอร์เซนต์ไนโตรเจน คือ 0.45 %

มูลวัวแห้ง 100 kg. มี C = 30.69 kg.

มูลวัวแห้ง m kg. มี C = 0.3069m kg.

มูลวัวแห้ง 100 kg. มี C = 0.45 kg.

มูลวัวแห้ง m kg. มี C = 0.0045m kg.

$$\text{C/N ratio} = \frac{\text{C ในตะกอนแห้ง 1 kg.} + \text{C ในมูลวัวแห้ง m kg.} + \text{C ในรำละเอียดแห้ง 1 kg.}}{\text{N ในตะกอนแห้ง 1 kg.} + \text{N ในมูลวัวแห้ง m kg.} + \text{N ในรำละเอียดแห้ง 1 kg.}}$$

$$= \frac{(0.3618 \times 1) + (0.3069 \times m) + (0.3126 \times 1)}{(0.042 \times 1) + (0.0045 \times m) + (0.0008 \times 1)}$$

$$0.3069m - 0.135m = 1.26 - 0.3618 - 0.3126 + 0.024$$

$$m = 3.5 \text{ kg. น้ำหนักแห้ง}$$

ดังนั้นสัดส่วนการหมักของสูตร 10 คือตะกอน : มูลวัว :รำละเอียด คือ 1 : 3.5 : 1 (kg. น้ำหนักแห้ง)

ทำการคำนวณเช่นเดียวกันในทุกสูตรของการหมักครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
มาตรฐานปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในตะกอนของประเทศต่างๆ

ตาราง ฉ แสดงปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในตะกอนของประเทศต่างๆ

ธาตุ	สหราชอนาจักร	เดนมาร์ก	สวีเดน	ฝรั่งเศส
Zn (mg/kg)	279-27,600	4,000	800	3,000-6,000
Cu (mg/kg)	69-6,140	1,000	600	1,000-2,000
Ni (mg/kg)	9-932	30	50	200-400
Cd (mg/kg)	<2-152	0.80	2	20-40
Pb (mg/kg)	43-2,644	120	2.50	800-1,600
Hg (mg/kg)	<2-140	0.80	100	10-20
Cr (mg/kg)	4-23,195	-	-	1,000-2,000
Mo (mg/kg)	<2-154	-	-	100-200
Se (mg/kg)	<2-15	-	-	-
As (mg/kg)	<2-123	-	-	-
Fe (mg/kg)	2,480-106,812	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ฉ (ต่อ) แสดงปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในตะกอนของประเทศต่างๆ

ธาตุ	อิตาลี	เนเธอร์แลนด์	สหรัฐอเมริกา	ฟินแลนด์	สวิตเซอร์แลนด์
Zn (mg/kg)	2,500	300	2,800-7,500	1,500	2,000
Cu (mg/kg)	1,000	75	1,500-4,300	600	600
Ni (mg/kg)	300	30	420	100	80
Cd (mg/kg)	20	1.25	39-85	1.50-3.00	1.50
Pb (mg/kg)	750	100	300-480	150	500
Hg (mg/kg)	10	0.75	17-57	1-2	1.50
Cr (mg/kg)	-	75	1,200-3,000	300	500
Mo (mg/kg)	-	-	18-75	-	20
Se (mg/kg)	-	-	36-100	-	-
As (mg/kg)	-	15	41-75	-	-
Fe (mg/kg)	-	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้