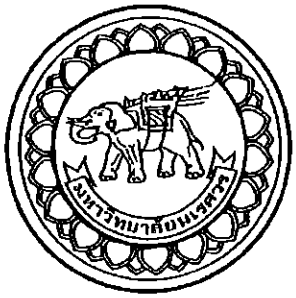
อภินันทนาการ



การใช้ไส้เดือน *Perionyx Excavatus* หมักขยะเศษอาหาร โดยใช้ถาดไข่เป็นชั้นรองรับขยะ

Vermicomposting of food waste by *Perionyx Excavatus* using plastic egg tray as a supporting layer of waste.

i7196684

นายประจักษ์ บุญชูเชิด รหัส 54365365
นางสาวอัจฉราภรณ์ โนชัย รหัส 54365600

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 12 ต.ค. 2560
เลขทะเบียน.....
เลขเรียกหนังสือ.....

ว/ร
ร/๒๒๑๑
๒๕๕๗

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2557

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน "การใช้ไส้เดือน Perionyx Excavatus. หมักขยะเศษอาหารโดยใช้ถาดไข่เป็นชั้นรองรับขยะ"

ผู้ดำเนินโครงงาน นายประจักษ์ บุญชูเชิด รหัส 54365365
นางสาวอัจฉราภรณ์ โนชัย รหัส 54365600

ที่ปรึกษาโครงงาน ผศ.ดร.ดลเดช ตั้งตระการพงษ์

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2557

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ผศ.ดร.ดลเดช ตั้งตระการพงษ์)

.....กรรมการ
(รศ.ดร.พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.ปาจรีย์ ทองสนิท)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	"การใช้ไส้เดือน *Perionyx Excavatus* หมักขยะเศษอาหารโดยใช้ถาดไข่เป็นชั้นรองรับขยะ"
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายประจักษ์ บุญชูเชิด รหัส 54365365
	นางสาวอัจฉราภรณ์ โนชัย รหัส 54365600
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผศ.ดร.ดลเดช ตั้งตระการพงษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2557

.....

บทคัดย่อ

การหมักขยะเศษอาหารโดยใช้ไส้เดือนมักเกิดปัญหาเกี่ยวกับกองหมักมีสภาพแบบไร้อากาศ ทำให้เกิดกลิ่นของกองหมัก เนื่องมาจากการถ่ายเทของอากาศภายในกองหมักระบายไม่ดีพอ ในการทดลองนี้จึงได้มีการนำถาดไข่มาใช้เป็นชั้นรองรับขยะเพื่อให้มีช่องว่างระหว่างกองหมักกับดินรองพื้น โดยการทดลองใช้น้ำหนักไส้เดือน 40,80 กรัมต่อขยะเศษอาหาร 1,000 กรัม ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักไส้เดือน น้ำหนักขยะเศษอาหาร ค่า C/N ratio และอัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือน สำหรับการทดลองควบคุมได้ดำเนินการเช่นเดียวกันแต่ไม่ได้ใช้ถาดไข่ ผลการศึกษาพบว่าที่น้ำหนักไส้เดือนที่ 40, 80 กรัม มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 31.6%, 21.4% ตามลำดับ และมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าการทดลองควบคุมในทุกการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าที่น้ำหนักไส้เดือน 40 และ 80 กรัม ยังคงมีขยะเหลือ 69.4 กรัม และ 77.2 กรัม ตามลำดับ สำหรับค่า C/N ของทุกการทดลองมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยเริ่มต้นค่าC/Nมีค่าเฉลี่ยประมาณ 35.8 ในช่วง 3 วันแรก ค่า C/N มีค่าลดลงเล็กน้อย และหลังจากนั้นค่า C/N มีค่าเพิ่มขึ้น จนสิ้นสุดการทดลอง จากผลการทดลองข้างต้นอาจกล่าวได้ว่าการใช้ถาดไข่เป็นชั้นรองรับขยะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการทำลองควบคุม เนื่องจากถาดไข่มีส่วนหนึ่งเป็นช่องว่างอากาศและอีกส่วนหนึ่งสัมผัสกับดินรองพื้นทำให้ไส้เดือนสามารถขึ้นไปย่อยขยะได้ง่ายและมีช่องระบายอากาศในกองหมักได้ดี ดังนั้นการนำถาดไข่ไปใช้เป็นชั้นรองขยะจึงเหมาะสมต่อการนำไปใช้หมักขยะเศษอาหารโดยใช้ไส้เดือน

Project title	Vermicomposting of food waste by *Perionyx Excavatus* using plastic egg tray as a supporting layer of waste.
Name	Mr. Prajak Boonchuchoet ID. 54365365
	Mrs. Acharaporn Nochai ID. 54365600
Project advisor	Dr. Dondej Tungtrakarnpong
Major	Environmental Engineering
Department	Civil Engineering
Academic year	2014

.....

Abstract

Vermicomposting of food waste often has a smell which comes from the ventilation problem and becomes anaerobic condition in the pile. In this experiment, the plastic egg tray was used for supporting the waste in order to have a gap between the soil base and the pile. Consequently, the air is able to ventilate into the pile properly. The experiment varies the weight of *Perionyx Excavatus* from 40 to 80 g per 1000 g of the food waste and examined the change of that for 30 days for calculation the worm growth rate. Moreover, the samples of the pile were analyzed the C/N. The control experiment was conducted without the tray. The results show that the initial weight of the worm at 40 and 80 g increased 31.6% and 21.4%, respectively. The growth rate of all experiment is higher than that of the control. Moreover, the pile was empty in 30 and 27 days at the experiment used the initial of the worm, respectively. However, at the end, the experiment used the initial 40 and 80 g of the worm and the control still have the rest of the waste. The profiles of the C/N in all experiment and the control are just the same. From this study it can be shown that using the plastic egg tray supporting the waste is very effective for vermicomposting because the tray shape has some part contacted to the soil leads to easy movement of the worm and has the gap leads to air flowing into the pile.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้ได้สำเร็จลงด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.ดลเดช ตั้งตระการพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ซึ่งเป็นผู้ให้ความกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษา นอกจากนี้ยังได้ตรวจแก้โครงงานเสร็จเรียบร้อยสมบรูณ์ ผู้เขียนจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ นางสาวภัทราพร จิ๋วอยู่ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และคำปรึกษาในเรื่องการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ได้ประสิทธิ์ประศาสน์วิชาความรู้ให้แก่ผู้เรียน ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ได้อำนวยความสะดวกในการวิจัยครั้งนี้ตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ผู้ประกอบการร้านค้าในมหาวิทยาลัยนเรศวรที่กรุณาให้ความช่วยเหลือให้ขยะอินทรีย์ มาใช้ในการทดลองครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เคารพรักอย่างสูง และขอขอบคุณญาติพี่น้องที่ได้ให้กำลังใจและสนับสนุน ส่งเสริมช่วยเหลือในทุกๆด้านตลอดมา

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นางสาวอัจฉราภรณ์ โนชัย
นายประจักษ์ บุญชูเชิด
มีนาคม 2558

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ช

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน 2
1.5 แผนการดำเนินงาน 2

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 3
2.1 มูลฝอย 3
2.2 ไส้เดือนดิน 13
2.3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 27

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 28
3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 28
3.2 ดำเนินการเก็บตัวอย่าง 30
3.3 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ 33
3.4 ระยะเวลาที่ทำการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง 38

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ 39
4.1 การเปลี่ยนแปลงของไส้เดือน 39
4.2 การเปลี่ยนแปลงของขยะเศษอาหาร 42
4.3 การเปลี่ยนธาตุอาหารต่างๆ ในดินรองพื้น 48

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 50
5.1 สรุปผล 50
5.2 ข้อเสนอแนะ 51

เอกสารอ้างอิง 52

ภาคผนวก 54

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แผนการดำเนินงาน 3
2.1 ประเภทของขยะมูลฝอยสำหรับการทำปุ๋ยหมัก 10
2.2 ลักษณะทางเคมีของ garden compost และ vermicompost 25
2.3 ปริมาณธาตุอาหารของ Vermicompost (เปรียบเทียบไส้เดือน 2 สายพันธุ์) และ Farm Yard Manure (FYM) 25
3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ 31
4.1 แสดงอัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือน 40
1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักไส้เดือน 40 กรัม 55
2 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักไส้เดือน 80 กรัม 55
3 อัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือน 56
4 น้ำหนักขยะเศษอาหารโดยใช้ไส้เดือนน้ำหนัก 40 กรัม 57
5 น้ำหนักขยะเศษอาหารโดยใช้ไส้เดือนน้ำหนัก 80 กรัม 57
6 อุณหภูมิของขยะเศษอาหารการทดลองน้ำหนักไส้เดือน 40 กรัม 58
7(ก) อุณหภูมิของขยะเศษอาหารการทดลองน้ำหนักไส้เดือน 80 กรัม 58
7(ข) อุณหภูมิของขยะเศษอาหารการทดลองน้ำหนักไส้เดือน 80 กรัม 59
8 ความชื้นของขยะเศษอาหารโดยใช้ไส้เดือนน้ำหนัก 40 กรัม 60
9 ความชื้นของขยะเศษอาหารโดยใช้ไส้เดือนน้ำหนัก 80 กรัม 60
10 pH ของขยะเศษอาหารโดยน้ำหนักไส้เดือน 40 กรัม 61
11 pH ของขยะเศษอาหารโดยน้ำหนักไส้เดือน 80 กรัม 61
12 อินทรีย์คาร์บอนของขยะเศษอาหารโดยไส้เดือนน้ำหนัก 40 กรัม 62
13 อินทรีย์คาร์บอนของขยะเศษอาหารโดยไส้เดือนน้ำหนัก 80 กรัม 62
14 ไนโตรเจนของขยะเศษอาหารโดยไส้เดือนน้ำหนัก 40 กรัม 63
15 ไนโตรเจนของขยะเศษอาหารโดยไส้เดือนน้ำหนัก 80 กรัม 63
16 อินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะเศษอาหารโดยน้ำหนักไส้เดือน 40 กรัม 64
17 อินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะเศษอาหารโดยน้ำหนักไส้เดือน 80 กรัม 64

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ขั้นตอนและปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ 13

2.2 ภาพแสดงลักษณะทั่วไปของไส้เดือนดิน 14

2.3(ก) ภาพแสดงลักษณะทั่วไปภายนอกของไส้เดือนดิน 15

2.3(ข) ภาพแสดงลักษณะทั่วไปภายนอกของไส้เดือนดิน 16

2.4 ภาพแสดงปุ่มยึดสืบพันธุ์ของไส้เดือน 17

2.5 ภาพตัดตามยาว – ขวาง ที่แสดงลักษณะโครงสร้างภายในของไส้เดือนดิน 19

2.6 ภาพแสดงรูปร่างเนฟริเดีย 19

2.7 ภาพแสดงระบบสืบพันธุ์ของไส้เดือน 21

2.8 วงศ์ชีวิตของไส้เดือนดิน 22

3.1 ขยะเศษอาหาร 28

3.2 Bulking Agent 28

3.3 ไส้เดือนพันธุ์ *Perionyx excavates* 29

3.4 วัสดุรองพื้น (ดินบรรจุถุงที่ผ่านการอบ) 29

3.5 ภาพถังปฏิกิริยา 30

4.1 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักไส้เดือน 40 กรัม 39

4.2 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักไส้เดือน 80 กรัม 40

4.3 แสดงอัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือนสูงสุด (กรัม/วัน) 41

4.4 แสดงปริมาณการผลิตไส้เดือน 42

4.5 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักขยะเศษอาหารโดยน้ำหนักไส้เดือน 40 กรัม 42

4.6 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักขยะเศษอาหารโดยน้ำหนักไส้เดือน 80 กรัม 43

4.7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขยะเศษอาหารโดยน้ำหนักไส้เดือน 40 กรัม 43

4.8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขยะเศษอาหารโดยน้ำหนักไส้เดือน 80 กรัม 44

4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของขยะเศษอาหารโดยไส้เดือนน้ำหนัก 40 กรัม 44

4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของขยะเศษอาหารโดยไส้เดือนน้ำหนัก 80 กรัม 45

4.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของขยะเศษอาหารโดยใช้ไส้เดือนน้ำหนัก 40 กรัม 45

4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของขยะเศษอาหารโดยใช้ไส้เดือนน้ำหนัก 80 กรัม 45

4.13 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอินทรีย์คาร์บอนของขยะเศษอาหารโดยใช้ไส้เดือน
น้ำหนัก 40 กรัม ..... .46

4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอินทรีย์คาร์บอนของขยะเศษอาหารโดยใช้ไส้เดือน
น้ำหนัก 80 กรัม ..... .46

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าไนโตรเจนของขยะเศษอาหารโดยใช้ไส้เดือนน้ำหนัก 40 กรัม ..... .47
4.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าไนโตรเจนของขยะเศษอาหารโดยใช้ไส้เดือนน้ำหนัก 80 กรัม ..... .47
4.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะเศษอาหารโดยใช้ไส้เดือน น้ำหนัก 40 กรัม ..... .48
4.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะเศษอาหารโดยใช้ไส้เดือน น้ำหนัก 80 กรัม ..... .48
4.19 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าไนโตรเจนของดิน 49
4.20 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าฟอสฟอรัสของดิน 49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันประเทศไทยกำลังมีปัญหาด้านการจัดการขยะมูลฝอย เนื่องจากปริมาณขยะมูลฝอยมีปริมาณมากขึ้น โดยองค์ประกอบของขยะมูลฝอยส่วนใหญ่จะเป็นขยะประเภทเศษอาหาร ประมาณ 60%-70% สาเหตุมาจากอัตราการขยายตัวของประชากรในประเทศเพิ่มขึ้นจนทำให้มีการบริโภคอุปโภคมากขึ้น จากสาเหตุดังกล่าวทำให้มีการคิดหาวิธีการจัดการขยะมูลฝอยให้มีปริมาณน้อยลง เช่น วิธีการฝังกลบ วิธีการเผา และการนำกลับไปใช้ใหม่ หรือแม้กระทั่งการนำไส้เดือนมาช่วยในการหมักขยะ เป็นต้น

วิธีการจัดการขยะมูลฝอยประเภทเศษอาหารมีการนำขยะเศษอาหารมาหมักเพื่อทำเป็นปุ๋ย โดยการหมักขยะทั่วไปคือการหมักแบบ Windrow Turning System และแบบ Static Pilesystem แต่วิธีการหมักขยะดังกล่าวจะต้องใช้พื้นที่เป็นบริเวณกว้างจึงทำให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นและเรื่องการจัดหาพื้นที่ได้

จึงมีการนำเอาไส้เดือนมาช่วยในการย่อยสลายขยะเศษอาหาร (Vermin Composting) ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการกำจัดขยะเศษอาหาร โดยกระบวนการหมักขยะของไส้เดือนจะเกิดขึ้นจากการที่ไส้เดือนกินขยะเศษอาหารเข้าไป แล้วขับถ่ายเป็นมูล(Costing) ซึ่งมูลที่ออกมาจะมีลักษณะคล้ายกับดินมีสีดำเข้มเป็นเม็ดสามารถนำไปใช้เพื่อการปรับปรุงดินได้ เพราะในมูลที่ออกมามีปริมาณอินทรียวัตถุและธาตุอาหารค่อนข้างสูง โดยจากงานวิจัยของขวัญทิพา ปานเดชา ได้มีการใช้ถังปฏิกิริยาในการเลี้ยงไส้เดือน โดยให้ขยะเศษอาหารวางทับดินรองพื้นโดยไม่มีการเว้นระยะห่างระหว่างชั้นขยะเศษอาหารและชั้นดินรองพื้นพบว่าปริมาณไส้เดือน 150 กรัมต่อปริมาณขยะสามารถย่อยสลายอาหารได้เร็วและมีน้ำหนักตัวของไส้เดือนเพิ่มขึ้น และงานวิจัยของธัญญาพร พลัดบุญได้มีการใส่ระยะห่างระหว่างชั้นดินกับชั้นขยะที่ระยะ 4 เซนติเมตร ไส้เดือนปริมาร 150 กรัมต่อปริมาณขยะเศษอาหาร พบว่าไส้เดือนสามารถย่อยสลายขยะเศษอาหารหมดในเวลา 14 วัน แต่ในการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมามีปัญหาเรื่องกลิ่นของขยะเศษอาหาร ชั้นขยะเศษอาหารมีอุณหภูมิสูงและไส้เดือนจะมีกิจกรรมและการเคลื่อนไหวในการย่อยสลายขยะอินทรีย์

ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ จึงได้ศึกษาการใช้ถาดรองไข่พลาสติกเป็นวัสดุรองรับขยะเศษอาหาร โดยถาดรองไข่จะมีส่วนหนึ่งเป็นช่องว่างอากาศทำให้อากาศถ่ายเทได้ดี และอีกส่วนหนึ่งสัมผัสกับดินรองพื้น ทำให้ไส้เดือนเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้นและสามารถย่อยสลายขยะเศษอาหารได้ดี

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือนโดยใช้ถาดรองไข่

1.2.2 เพื่อศึกษาการย่อยสลายและการหมักขยะเศษอาหารดังกล่าว

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 เพื่อทราบถึงอัตราการเจริญเติบโตของการเลี้ยงไส้เดือนโดยใช้ถาดรองไข่

1.3.2 เพื่อทราบถึงอัตราการผลิตไส้เดือนต่อน้ำหนักไส้เดือน

1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน

1.4.1 ไส้เดือนที่นำมาใช้ในงานวิจัย ได้แก่สายพันธุ์ *Perionyx excavates*

1.4.2 ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือนระหว่างใส่ถาดรองไข่และไม่ใส่ถาดรองไข่

1.4.3 ศึกษาอัตราการผลิตไส้เดือนต่อน้ำหนักของไส้เดือน

1.4.4 ในวิจัยนี้ใช้ขยะเศษอาหารจากโรงอาหารของมหาวิทยาลัยนเรศวรในการเลี้ยงไส้เดือน

1.4.5 ศึกษาคุณภาพวัสดุหมักในรูปของความหนาแน่น พีเอช ความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1	ศึกษาวิธีการเลี้ยงไส้เดือนด้วยขยะเศษอาหาร								
2	วางแผนการเลี้ยงไส้เดือน								
3	ทดลองเลี้ยงไส้เดือนเบื้องต้น และหาความรู้เพิ่มเติม								
4	ปฏิบัติจริง เริ่มเลี้ยงไส้เดือน และบันทึกผล								
5	วิเคราะห์ สรุปผล และจัดทำรายงาน								

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มูลฝอย

มูลฝอย หมายถึงเศษสิ่งวัสดุที่ไม่มีผู้ใดต้องการ เช่น เศษอาหาร สิ่งของเครื่องใช้ วัสดุจากการเกษตร อุตสาหกรรม หรือแม้แต่ซากพืชซากสัตว์ที่ถูกทิ้งตามสถานที่สาธารณะ มูลฝอยบางประเภทที่ถูกทิ้งแต่ยังมีประโยชน์อยู่ โดยอาจเป็นสิ่งที่บุคคลอื่นต้องการ เช่น เสื้อผ้าเก่า พลาสติกเก่า ขวดแก้ว โลหะต่างๆ

2.1.1 ประเภทของขยะมูลฝอย

- มูลฝอยเปียก ได้แก่ พวกเศษอาหาร เศษพืชผัก เปลือกผลไม้ อินทรียวัตถุที่สามารถย่อยสลายเน่าเปื่อยง่าย มีความชื้นสูง และส่งกลิ่นเหม็นได้รวดเร็ว
- มูลฝอยแห้ง ได้แก่ พวกเศษกระดาษ เศษผ้า แก้ว โลหะ ไม้ พลาสติก ยาง ฯลฯ ขยะมูลฝอย ชนิดนี้จะมีทั้งที่เผาไหม้ได้และเผาไหม้ไม่ได้ ขยะแห้งเป็นขยะมูลฝอยที่สามารถเลือกวัสดุที่ยังมีประโยชน์กลับมาใช้ได้อีกโดยการทำคัดแยกมูลฝอยก่อนนำทิ้งซึ่งจะช่วยให้สามารถลดปริมาณมูลฝอยที่จะต้องนำไปทำลายลงได้และถ้านำส่วนที่ใช้ประโยชน์ได้นี้ไปขายก็จะทำรายได้กลับคืนมา
- ขยะมูลฝอยอันตราย ได้แก่ ของเสียที่เป็นพิษมีฤทธิ์กัดกร่อน และระเบิดได้ง่ายต้องใช้กรรมวิธีในการทำลายเป็นพิเศษ เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีอันตราย เช่น สารฆ่าแมลง ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ รถยนต์ หลอดไฟ สเปรย์ฉีดผม ฯลฯ

2.1.2 ลักษณะของขยะมูลฝอย

ลักษณะทางกายภาพ (physical characteristic)

1. องค์ประกอบหรือส่วนประกอบของขยะมูลฝอย (physical composition) นิยมจำแนกตามชนิดของสิ่งของต่างๆที่ประกอบขึ้นมาเป็นมูลฝอยทั้งหมด โดยแบ่งเป็นขยะมูลฝอยที่เผาไหม้ได้ (combustible) เช่น กระดาษ ผ้า เศษอาหาร ผัก หญ้า ไม้ พลาสติก ยาง และขยะมูลฝอยที่เผาไหม้ไม่ได้ (non-combusible) เช่น โลหะ แก้ว กระเบื้อง อิฐ หิน กรวด และอื่นๆ โดยองค์ประกอบเหล่านี้อาจถูกแบ่งออกตามสัดส่วนโดยน้ำหนักหรือโดยปริมาตรก็ได้แต่ส่วนใหญ่แล้วนิยมแบ่งตามสัดส่วนโดยน้ำหนักมากกว่า

2. ความหนาแน่น (density) ได้แก่ ค่ามวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของขยะมูลฝอย แบ่งได้เป็นความหนาแน่นปกติ (bulk density) คือ ความหนาแน่นปกติโดยไม่มีการอัดหรือบีบขยะมูลฝอยให้ผิดไปจากธรรมดา และความหนาแน่นในขณะขนส่ง (transported density) คือ ความหนาแน่นของขยะมูลฝอยในรถยนต์เก็บขนในขณะขนส่ง ซึ่งปกติแล้วจะถูกทำให้แน่นขึ้นเนื่องจากการสั่นสะเทือนและการอัดของพนักงานเก็บขนขยะ โดยทั่วไปขยะมูลฝอยที่มีพวกเศษอาหารจะมีความหนาแน่นสูงกว่าขยะมูลฝอยที่มีพวกกระดาษหรือพลาสติกมาก

ลักษณะทางเคมี (chemical characteristics)

1. ความชื้น (moisture content) หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในขยะมูลฝอยทั่วไป ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในขยะมูลฝอยมีทั้งน้ำที่อยู่ภายในตัวของขยะมูลฝอยเอง (inherent water) เช่น น้ำ

ที่อยู่ในพืชผัก เศษอาหาร ซึ่งมีปริมาณ 1/2 ถึง 2/3 ของปริมาณน้ำทั้งหมด และน้ำที่ติดอยู่ภายนอก (attached water) เช่น น้ำฝน น้ำที่ออกมาจากเศษอาหารซึ่งมีประมาณ 1/3 ถึง 1/2 ของปริมาณน้ำทั้งหมด

2. ปริมาณของแข็งรวม (total solids) หมายถึง ปริมาณขยะมูลฝอยแห้งที่เหลือภายหลังจากนำน้ำออกไปหมดแล้ว

3. ปริมาณสารเผาไหม้ได้ (volatile solids) หมายถึง ส่วนของขยะมูลฝอยที่สามารถติดไฟหรือเผาไหม้ที่ความร้อนสูงให้หมดไปโดยแปลงสภาพเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ

4. ปริมาณเถ้า (ash) หมายถึง กากของขยะมูลฝอยที่เหลือจากการเผาไหม้

5. ค่าความร้อน (calorific value) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาขยะมูลฝอย ซึ่งจะไปใช้ประโยชน์ในการพิจารณาเลือกวิธีการกำจัดโดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการเผาว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ เนื่องจากขยะมูลฝอยที่มีค่าความร้อนต่ำกว่า 800 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัมของขยะมูลฝอย จะต้องใช้เชื้อเพลิงช่วยในการเผาทำให้สิ้นเปลือง นอกจากนี้ค่าความร้อนของขยะ มูลฝอยยังใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเตาเผาและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอีกด้วย

6. องค์ประกอบด้านเคมี (chemical composition) ได้แก่ ปริมาณสารไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม(K) คาร์บอน(C) และไฮโดรเจน (H) เป็นต้นข้อมูลองค์ประกอบด้านเคมีส่วนใหญ่จะนำมาใช้ในการเลือกวิธีและการออกแบบระบบกำจัดขยะมูลฝอย เช่น ใช้คำนวณปริมาณอากาศที่ต้องใช้ในเตาเผาใช้คำนวณค่าความร้อนของขยะมูลฝอย ตลอดจนใช้คำนวณหาสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) และปริมาณสารอาหารของเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการหมักทำปุ๋ย เป็นต้น

7. สารเคมีเป็นพิษ เช่น โลหะหนักต่างๆ ซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการประเมินขอบเขต และความรุนแรงของการปนเปื้อนของของเสียที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ข้อมูลนี้มีความสำคัญต่อการประเมินความเหมาะสมของวิธีการจัดการขยะมูลฝอย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำขยะมูลฝอยไปหมักทำปุ๋ย

ลักษณะทางชีววิทยา (biological characteristics)

ได้แก่ปริมาณและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ (micro organisms) ที่ปนเปื้อนอยู่ในขยะมูลฝอย เช่น เชื้อแบคทีเรีย เชื้อราและไว้ ซึ่งบางชนิดอาจทำให้เกิดโรคได้ (pathogenic) บางชนิดไม่ทำให้เกิดโรค (non-pathogenic) บางชนิดเป็นตัวช่วยให้ขยะมูลฝอยเกิดการย่อยสลายได้ดี เช่น Decomposition bacteria เป็นต้น

2.1.3 แหล่งกำเนิดของมูลฝอย(Sources of Solid Waste)

แหล่งกำเนิดมูลฝอยสามารถแบ่งได้ 5 ประเภท คือ

1. เขตที่พักอาศัย (Domestic area) ได้แก่มูลฝอยที่เกิดจากกิจวัตรประจำวันในการดำรงชีวิตตามบ้านเรือนของประชาชนทั่วไป ส่วนใหญ่มูลฝอยจะมาจากห้องครัว เช่น เศษอาหาร ผัก ผลไม้ เป็นต้น

2. เขตธุรกิจการค้า ตลาดสด (Commercial area) ได้แก่มูลฝอยที่เกิดจากกิจกรรมจากการค้าขายของชุมชน โดยเฉพาะเขตย่านพาณิชยกรรม ตลาดสด มูลฝอยส่วนใหญ่ได้แก่พวกเศษสินค้าที่ไม่ต้องการ เช่น บรรจุภัณฑ์พลาสติก กระดาษ เป็นต้น แต่เมื่อพิจารณาในตลาดสดมูลฝอยส่วนใหญ่จะเป็นเศษผัก ผลไม้ ที่เกิดจากการค้าขายอาหารสด

3. เขตสถานที่ราชการ สถาบันการศึกษา (Institutional area) ได้แก่มูลฝอยที่เกิดจากกิจกรรมบริการของทางราชการ การเรียนการสอน ที่มูลฝอยส่วนใหญ่เป็นพวกเศษกระดาษ พลาสติก และอาจมีของเสียอันตรายบ้างบางส่วนเช่นของเสียที่มาจากการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ โลหะหนัก เป็นต้น

4. เขตอุตสาหกรรม (Industrial area) ได้แก่บริเวณที่มีโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆตั้งอยู่ มูลฝอยจะเกิดจากกระบวนการผลิตทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่นเกิดจากบรรจุภัณฑ์หรือของเสียจากการผลิต องค์ประกอบของมูลฝอยจะมีทั้งเป็นมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยอันตรายโดยขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม

5. เขตเกษตรกรรม (Agricultural area) ได้แก่บริเวณที่มีการเพาะปลูกหรือฟาร์มเลี้ยงสัตว์ มูลฝอยส่วนใหญ่จึงมักเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถเน่าย่อยสลายและส่งกลิ่นเหม็นรบกวน เช่น เศษผัก เศษผลไม้ สิ่งปฏิกูลจากสัตว์เลี้ยง เป็นต้น

2.1.4 การจัดการและกำจัดขยะมูลฝอยที่ใช้กันอยู่ มีวิธีต่าง ๆ ดังนี้

1. การนำขยะไปหมักทำปุ๋ย (Composting method) โดยแยกขยะอันตราย ขยะติดเชื้อออกไปกำจัดเป็นพิเศษเสียก่อน ส่วนขยะพวกสารอินทรีย์ย่อยสลายได้ง่าย พวกผักผลไม้ไม่ต้องการเมื่อปล่อยทิ้งไว้จะเกิดการเน่าเปื่อย สามารถนำขยะที่ผ่านการย่อยสลายนั้นมาใส่ปรับปรุงคุณภาพดินได้ นำขยะไปทำเป็นปุ๋ยสำหรับใช้บำรุงดินเพื่อการเกษตรการย่อยสลายตามกระบวนการธรรมชาติ (Composting) เป็นการนำขยะประเภทอินทรียวัตถุไปรวมกันไว้ แล้วปล่อยให้ขยะถูกย่อยสลายไปเองตามธรรมชาติหรือโดยวิธีช่วยกระตุ้นให้ขยะถูกย่อยสลายเร็วขึ้น

2. การนำขยะไปเทกองกลางแจ้ง (การนำขยะไปทิ้งไว้ตามธรรมชาติ Open Dump) เทศบาล สุขาภิบาล ในประเทศไทยมีให้เห็นกันอยู่ทั่วไป เนื่องจากไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการฝังกลบ วิธีนี้ มีปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวนรุนแรงเป็นการรบกวนผู้ที่อาศัยใกล้เคียงก่อปัญหาเกี่ยวกับทัศนียภาพ การแพร่กระจายของเชื้อโรคสัตว์แมลงต่างๆ เช่น แมลงวัน แมลงหวี่ และยังพบปัญหาน้ำชะจากกองขยะ เกิดความเน่าเสียแก่น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน การจัดการกับขยะวิธีนี้เป็นวิธีเก่าแก่ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมานานแล้ว เป็นวิธีที่นำขยะไปกองทิ้งไว้ในที่ดินกว้างๆ เฉยๆ แล้วปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติเป็นการกำจัดขยะที่ง่ายและลงทุนน้อย แต่ในปัจจุบันที่ดินแพงมาก ที่สาธารณะ หรือที่รกร้างว่างเปล่าก็เกือบไม่หลงเหลืออยู่เลย วิธีนี้ต้องใช้พื้นที่มากด้วยและชุมชนเมืองยิ่งขยายตัวมากขึ้น การนำขยะไปกองทิ้งไว้ในพื้นที่กว้างขวางเช่นนี้จึงไม่เหมาะสม เศษวัสดุบางอย่างในกองขยะใช้เวลานานกว่าจะย่อยสลาย เช่น โฟม ไม่ย่อยสลาย, กระป๋องดีบุก 1,000 ปี, กระป๋องอลูมิเนียม 200 – 500 ปี, ถุงพลาสติก 450 ปี, ก้นบุหรี่ 12 ปี, ถุงเท้าขนแกะ 1 ปี, กระดาษ 2 – 5 เดือน, ผ้าฝ้าย 1 – 5 เดือน

3. การเผาด้วยความร้อนสูงหรือการกำจัดโดยใช้เตาเผาหรือการสร้างโรงงานเผาขยะ (Incineration)

4. การเผา (Incineration) หมายถึงการกำจัดขยะโดยการเผาด้วยเตาเผาขยะ (Incinerator) ไม่รวมถึงการกองแล้วเผากลางแจ้ง ทั้งนี้เพราะการเผากลางแจ้งจะอยู่ในอุณหภูมิไม่พอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ได้ จึงมักจะเกิดปัญหาภาวะมลพิษในอากาศ (air pollution) และก่อให้เกิดความรำคาญ เนื่องจากกลิ่นควันและละอองเขม่า การเผาด้วยเตาเผาขยะควรมีความร้อนระหว่าง 6760 – 1,1000 °c ความร้อนตั้งแต่ 6760 °c ขึ้นไปจะช่วยทำให้ก๊าซเผาไหม้ได้อย่าง

สมบูรณ์ ถ้าความร้อนเกินกว่า 7600 °c จะช่วยทำให้ไม่มีกลิ่นรบกวนการเผาไหม้จะสมบูรณ์มากที่สุด เมื่อมีอุณหภูมิ 1,1000 °c ดังนั้นถ้ามีขยะสดหรือขยะเปียกปนอยู่มาก ขยะมีความชื้นสูงก็อาจจะต้องใช้เชื้อเพลิงช่วยในการเผาไหม้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของขยะกับปริมาณของขยะแห้งที่เผาไหม้ได้ปะปนอยู่ด้วยมากน้อยเพียงใด โดยปกติแล้วเตาเผาขยะที่ดีจะไม่ก่อให้เกิดสภาวะมลพิษในอากาศ การเผาขยะด้วยเตาเผาขยะเหมาะสมมากที่จะใช้ในการกำจัดขยะพิเศษบางชนิด เช่น ขยะที่มีการปนเปื้อนของเชื้อโรค และขยะที่มีส่วนที่เผาไหม้ได้ปนอยู่ด้วยมาก

5. การฝังกลบอย่างถูกสุขอนามัยหรือถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) นิยมใช้วิธีนี้กันมากเพราะค่าใช้จ่ายต่ำ บริเวณที่มีการฝังกลบอย่างถูกสุขอนามัยจะมีการปูพลาสติกพิเศษเพื่อป้องกันน้ำชะจากกองขยะ เมื่อเทกองขยะแล้วก็จะกลบเสร็จในแต่ละวัน วิธีนี้จะสามารถลดกลิ่นรบกวนและลดการแพร่กระจายจากโรคจากสัตว์น้ำต่างๆ ตลอดจนสามารถควบคุมน้ำชะจากกองขยะได้ การปรับปรุงพื้นที่ด้วยขยะ (Sanitary Landfill)เป็นวิธีกำจัดขยะที่นิยมแพร่หลายโดยเฉพาะในยุโรปและสหรัฐอเมริกา เนื่องจากสามารถกำจัดขยะ mixed refuse ได้โดยไม่ต้องคัดแยกขยะ และสามารถปรับปรุงพื้นที่ให้เป็นพื้นที่ที่ดีมีประโยชน์ได้ในการปรับปรุงพื้นที่ด้วยขยะทำได้โดยนำเอาขยะมาบดอัดลงในดินด้วยรถแทรกเตอร์แล้วใช้ดินกลบทับหน้าขยะพร้อมบดอัดทับให้แน่นอีกครั้ง ทำเป็นชั้นๆ จนสามารถปรับระดับพื้นดินได้ตามต้องการปล่อยให้ขยะเกิดการสลายตัว สามารถใช้พื้นดินดังกล่าวนั้นเป็นสนามเด็กเล่น สนามกีฬา ที่พักผ่อนหย่อนใจ หรือก่อสร้างอาคารบางประเภทได้ นิยมจัดทำเป็น 3 แบบ คือ

แบบร่องดิน (Trench method)
แบบคันดิน (Area – ramp method)
แบบถมที่ลุ่ม (Area – fill method)

6. การนำขยะไปทิ้งทะเล (Dumping at sea) ตามปกติผิวดินของพื้นน้ำแหล่งต่างๆ โดยเฉพาะทะเลมหาสมุทร เป็นที่ทับถมสิ่งปฏิกูลตามธรรมชาติได้อย่างกว้างขวางอยู่แล้ว แต่เมื่อในปัจจุบันพื้นผิวโลกที่เป็นพื้นดินนับวันจะมีน้อยลงและมีค่า มากขึ้น การนำขยะไปทิ้งในทะเลมหาสมุทรจึงนิยมทำกันในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น ในสหรัฐอเมริกา ขณะที่นิยมนำไปทิ้งในทะเลมหาสมุทรได้แก่ สิ่งปฏิกูลจากโรงงานอุตสาหกรรม สารพิษต่างๆ กากสารกัมมันตรังสี และวัสดุแข็งอื่นๆ อย่างไรก็ตาม การนำขยะและสิ่งปฏิกูลไปทิ้งในทะเลและมหาสมุทรก็ปรากฏว่าได้เกิดการแพร่กระจายของสารพิษเข้าสู่องค์ประกอบต่างๆของระบบนิเวศน์ทางทะเล เช่น พืช และ สัตว์น้ำ สถาบันป้องกันสารพิษสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection Agency) จึงออกกฎหมายห้ามนำสารพิษหลายชนิดไปทิ้งในแหล่งน้ำดังกล่าว

7. การนำขยะกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ (Re-cycle and Re-use) ขยะบางประเภทสามารถนำกลับไปใช้ประโยชน์ได้ใหม่ เช่น แก้ว กระดาษ พลาสติก โลหะต่างๆ วิธีนี้ช่วยลดขยะและลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ การนำกลับไปใช้ใหม่ (Re-cycle and Re-use) ขยะที่ทิ้งในแต่ละวันจากอาคารสถานที่ต่างๆ มากมายนั้น ยังนับว่ามีสิ่งของบางอย่างที่แม้ไม่มีประโยชน์สำหรับสถานที่หนึ่งแต่อาจเป็นความต้องการของผู้อื่นได้เช่น กระดาษทุกชนิดสามารถนำกลับไปทำเป็นกระดาษกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิตกระดาษลงได้ส่วนหนึ่งและเป็นการสงวนทรัพยากรธรรมชาติได้ด้วยหรือแม้แต่กล่องกระดาษที่ทิ้งตามบริษัท ห้างร้าน ก็อาจนำไปใช้บรรจุสินค้าต่างๆ ตามท้องตลาดได้ เป็นต้น

การนำวัสดุที่ทิ้งเป็นขยะกลับไปใช้นับว่าเป็นผลดีทั้งในแง่เศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม แต่วิธีการคัดเลือกสิ่งของที่จะนำกลับไปใช้ได้ใหม่ ได้ก่อให้เกิดความล่าช้าในการขนถ่ายขยะ เกิดความสกปรกในบริเวณที่มีการคัดเลือกสิ่งของจากขยะ และผู้คัดเลือกขยะก็มักได้รับเชื้อโรคจากกองขยะ

8. การนำขยะไปเป็นอาหารสัตว์ (Hog Feeding) ขยะจำพวกเศษอาหาร ผัก ผลไม้จากอาคารบ้านเรือน ร้านอาหาร ภัตตาคาร ตลาดสด นำไปเลี้ยงสัตว์ เช่น หมู วัว เป็ด ไก่ แพะ แกะ ปลา จะเป็นการลดปริมาณขยะลงได้จำนวนหนึ่งเพราะในแต่ละวันเศษอาหารจะมีปริมาณนับร้อยตันทีเดียว การแยกขยะประเภทเศษอาหารเพื่อนำไปเลี้ยงสัตว์จึงนับเป็นวิธีที่สะดวกและประหยัดได้มากที่สุด แต่ข้อเสียในการนำขยะพวกเศษอาหารไปเลี้ยงสัตว์นี้อาจทำให้เกิดอันตรายแก่สัตว์เลี้ยงและผู้ที่บริโภคสัตว์เลี้ยงขึ้นได้ ถ้าในเศษอาหารมีพวกเชื้อโรคปะปนอยู่และถ้าจะนำเศษอาหารที่ได้ไปให้ความร้อนก่อนก็จะทำให้เกิดความปลอดภัยยิ่งขึ้น นอกจากการกำจัดขยะด้วยวิธีต่างๆดังกล่าวแล้วในประเทศที่พัฒนาแล้วยังมีการกำจัดขยะอื่น ๆ อีก เช่น การย่อยหรือการทำให้เศษอาหารเป็นของเหลวแล้วทิ้งลงในท่อน้ำทิ้ง ซึ่งเป็นการกำจัดขยะขั้นต้นจากบ้านเรือน การอัดสิ่งปฏิกูลที่เป็นของเหลวลงสู่ใต้ชั้นหินซึ่งมักเป็นการกำจัดสิ่งปฏิกูลจากโรงงานอุตสาหกรรม และการทิ้งสิ่งปฏิกูลลงสู่ถังรองรับที่จัดสร้างขึ้นเพื่อการกำจัดสิ่งปฏิกูลขึ้นโดยเฉพาะ แต่ไม่ได้กล่าวเน้นถึงวิธีกำจัดขยะดังกล่าวเพราะเป็นวิธีที่ยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในประเทศไทยในปัจจุบัน

ขยะและสิ่งปฏิกูลนับวันจะยิ่งมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นรวมทั้งขยะและของเสียจะเพิ่มความเป็นพิษหรือเป็นอันตรายแก่สิ่งแวดล้อมและการดำรงชีวิตของมนุษย์มากยิ่งขึ้น แม้จะได้มีความพยามยามป้องกันแก้ไขและกำจัดขยะและสิ่งปฏิกูลเหล่านั้นให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่การป้องกันแก้ไขจะต้องได้รับความร่วมมือจากทุกประเทศและประชาชนทุกคน ในขณะที่มีการเพิ่มปริมาณขยะและสิ่งปฏิกูลมากขึ้น และยังขาดความร่วมมือในการป้องกันแก้ไขอยู่นี้ จึงเป็นที่หวั่นวิตกกันว่าโลกที่เราอาศัยอยู่นี้จะเต็มไปด้วยขยะ สิ่งปฏิกูลและสารพิษ แล้วจะก่อให้เกิดโรคระบาดขึ้นอย่างกว้างขวางจนไม่อาจป้องกันรักษาได้ทันท่วงทีได้ในอนาคต

2.1.5 การทำปุ๋ยหมัก (composting)

การทำปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอย หมายถึง การย่อยสลายของวัสดุหรืออินทรีย์สารที่ได้จากขยะมูลฝอย โดยอาศัยกระบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์เป็นตัวทำการย่อยสลายให้เป็นแร่ธาตุที่มีลักษณะค่อนข้างคงรูป มีสีดำ ค่อนข้างแห้ง และมีคุณค่าที่สามารถจะใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน

2.1.6 หลักการการทำปุ๋ยหมัก

1. การย่อยสลายที่เกิดจากแมลงหรือสิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่ (Macroorganism) ได้แก่ Nematodes, mites, sow bugs และไส้เดือนเข้าไปกัดกินสารอินทรีย์ที่เตรียมไว้ทำปุ๋ย โดยกลุ่มสัตว์เหล่านี้ทำหน้าที่ย่อยสลายให้สารอินทรีย์รวมทั้งกากที่ผ่านการย่อยแล้วให้กลายเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ

2. การย่อยสลายโดยกลุ่มจุลินทรีย์ในดิน (Microorganisms) ได้แก่ พวกเชื้อราและแบคทีเรียที่เข้ามาย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กที่ผ่านการย่อยจากรอบแรก ซึ่งการย่อยช่วงนี้เรียกว่า Mesophilic phase โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทำให้สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายมากขึ้นและพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารอินทรีย์ ระยะนี้อุณหภูมิในการหมักปุ๋ยจะอยู่ 25 – 45 °c ซึ่งเป็นภาวะที่แบคทีเรียกลุ่ม Mesophite เจริญเติบโตได้ดี

3. เมื่อการย่อยสลายเกิดขึ้นไปเรื่อยๆ อุณหภูมิในกองหมักจะสูงขึ้นจนแบคทีเรียกลุ่ม Mesophite ตายหรือไม่สามารถทำการย่อยได้อีก จึงเป็นช่วงที่กลุ่มแบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่งที่เรียกว่ากลุ่ม Thermophite ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อไป ช่วงนี้เรียกว่าระยะ Thermophilic phase ที่มีอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักประมาณ 45 – 70 °c การย่อยสลายจะเกิดสมบูรณ์มากและสารอินทรีย์จะเริ่มหมดลงในเวลาต่อมา แบคทีเรียกลุ่ม Thermophite เริ่มหยุดทำงาน อุณหภูมิในกองหมักจะลดลงจนกลับมาอยู่ที่ 25 – 30 °c อันเป็นระยะของ Mesophilic ที่แบคทีเรียกลุ่มนี้จะเริ่มทำงานแทนและสภาวะจะอยู่ในช่วงเริ่มต้นของการหมักปุ๋ย ช่วงที่อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงนี้เป็นผลดีกับการทำลายไข่พยาธิต่างๆ และเมล็ดวัชพืชฝ่อลง

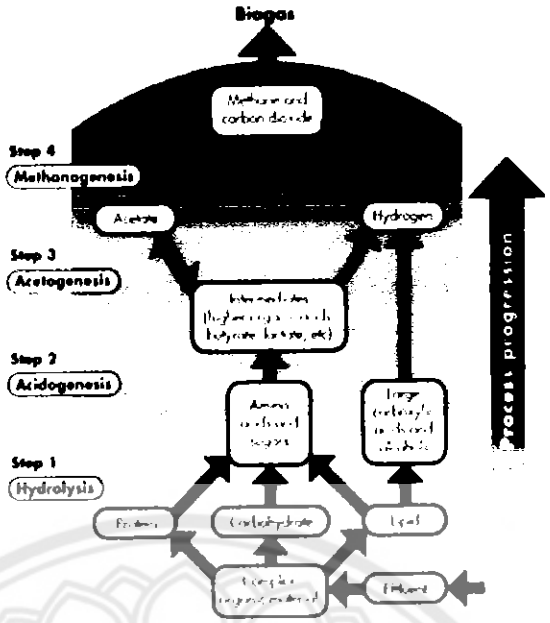
จากที่กล่าวมาทั้ง 3 ระยะของการหมักปุ๋ย ใช้เวลาการเกิดไม่น้อยกว่า 10 – 12 สัปดาห์จึงเกิดปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ เนื้อของปุ๋ยหรือผลผลิตที่ได้มีสีน้ำตาลดำ เนื้อร่วนซุย ไม่เกาะกันเป็นก้อนเหมือนตอนเริ่มทำการหมัก ซึ่งถือว่าการหมักปุ๋ยสิ้นสุด

2.1.7 กระบวนการหมัก

กระบวนการทำปุ๋ยหมักเป็นวิธีตามธรรมชาติที่อาศัยกระบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรีวัตถุ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในด้านความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน รวมทั้งอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนให้ได้ผลผลิตที่เป็นอินทรียวัตถุที่ย่อยสลายแล้ว ซึ่งมีคุณค่าในการปรับปรุงคุณภาพดินกระบวนการย่อยสลายสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digestion) การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นการย่อยสลายในสภาพไร้อากาศ โดยอาศัย Anaerobic Bacteria จะย่อยสลายอินทรียวัตถุและปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH4) ซึ่งจะมี Acid Former Bacteria เป็นแบคทีเรียที่สร้างกรดโดยแบคทีเรียกลุ่มนี้จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งไปเป็นกรดอินทรีย์ต่างๆ Methane Former Bacteria เป็นแบคทีเรียสร้างมีเทน โดยทำหน้าที่ย่อยสลายกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ และSulfate Reducing Bacteria (SBR) แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ปริมาณของแบคทีเรียชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซัลเฟต (SO42-) ในน้ำเสีย โดยจะทำหน้าที่ดึงออกซิเจนจากสารประกอบซัลเฟตทำให้เปลี่ยนซัลไฟต์ที่อยู่ในรูปของซัลเฟตเป็นก๊าซไข่เน่า (H2S) ผลผลิตของกระบวนการนี้จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน แอมโมเนีย และก๊าซไข่เน่า ดังสมการต่อไปนี้

กระบวนย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน หากเกิดภายใต้การควบคุมมีการเก็บกักก๊าซไปใช้ก็จะเกิดประโยชน์เพราะไม่เพียงแต่ได้เชื้อเพลิงในรูปของก๊าซมีเทนเท่านั้น แร่ธาตุสำคัญในอินทรียวัตถุก็ยังอยู่ครบถ้วน กระบวนการย่อยสลายวิธีนี้จะไม่เกิดกลิ่นแล้วสะอาด เพราะเชื้อโรคที่เป็นอันตรายจะตายหมดในสภาพที่ขาดออกซิเจน ข้อดีที่สำคัญอีกประการหนึ่งของการย่อยสลายด้วยวิธีนี้ก็คือ ใช้เวลาสั้นเพียง 20 วันเท่านั้น



รูปที่2.1 ขั้นตอนและปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ

ที่มา : http://www.greenenergynet.net/tec_Theory%20of%20Biogas.html

2. การย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Decomposition) การย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน คือ กระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุของจุลินทรีย์ในบรรยายกาศที่ใช้ออกซิเจนในกระบวนการย่อยสลายนี้ได้แก่

เชื้อรา (Fungi) ชนิดของเชื้อราขึ้นกับวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก ความชื้นและอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม จะพบเชื้อราเจริญอยู่บนผิวนอกของกองปุ๋ยหมัก ซึ่งอุณหภูมิต่ำและมีความชื้นน้อยกว่าในกองปุ๋ยหมัก ในระยะต่างๆของการทำปุ๋ยหมักจะพบเชื้อราต่างๆ ดังนี้ Geotrichum comidum และ Aspergillus fumigatus ซึ่งจะพบในช่วงแรกเมื่อกองปุ๋ยหมักเริ่มมีอุณหภูมิสูงขึ้น Cladosporium sp. , Aspergillus sp. และ Mucor sp. พบเมื่อกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงถึงระดับ 40-50 องศาเซลเซียส Penicillium fupenti จะพบเมื่อกองปุ๋ยหมักสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส

แอคติโนมัยซีทส์ (Actinomycetes) ซึ่งจะมีอัตราการเจริญช้ากว่าแบคทีเรียและฟังไจ จะเจริญได้ในสภาวะที่มีการถ่ายเทอากาศที่ดีพอ เมื่อเจริญจะสังเกตเห็นเป็นจุดสีขาวๆบนกองปุ๋ยหมัก ซึ่งจะเห็นได้ในกองปุ๋ยหมักหลังจากอุณหภูมิสูงสุดแล้ว ชนิดที่มักจะพบเสมอคือ Thermoactinomycetes sp. และ Thermomonospora sp. ซึ่งเป็นพวกที่สามารผลิตเอนไซม์เซลลูเลสย่อยสลายเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังพบ Streptomyces และ Micropolyspora sp. ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในกองปุ๋ยหมัก

แบคทีเรีย (Bacteria) พบในช่วงแรกของการหมักปุ๋ย และพบมากที่สุดแต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีจำนวนลดลง ชนิดที่พบบ่อย คือ Pseudomonas sp. , Achromabacter sp. , Flavobacterium sp. , Micrococcus sp. และ Bacillus sp.

จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเกิดความร้อนจำนวนหนึ่ง ดังสมการ

$$\text{Organic matter} \xrightarrow{\text{Aerobic bacteria}} CO_2 + H_2S + NH_3 + CH_4 + \text{Other End-Product} + \text{Energy}$$

การย่อยสลายวิธีนี้ มีผลดีต่อสิ่งแวดล้อมในการช่วยลดการเกิดก๊าซมีเทน ซึ่งก๊าซมีเทนนี้ถือว่าเป็น GHG (Greenhouse Gas) มีผลก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Global Warming) การทำปุ๋ยหมักโดยการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนนั้นมีมานานแล้ว แต่อย่างไรก็ตามการทำการวิจัยและการบันทึกข้อมูลต่างๆ เพิ่งจะเริ่มต้นในปี ค.ศ. 1951 เมื่อ The University of California เริ่มที่จะดำเนินงานศึกษาถึงความเหมาะสม และความเป็นไปได้ในการใช้วิธีการหมักปุ๋ย เพื่อเป็นเทคโนโลยีอย่างหนึ่งในการกำจัดของเสีย ตั้งแต่นั้นมาสถานที่ทำปุ๋ยหมักนับ 1000 แห่ง ได้ถูกสร้างขึ้นทั้งในยุโรปและอเมริกา เพื่อใช้ในการกำจัดของเสียในรูปแบบต่างๆ เช่น กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย (Sawage Sludge) ของเสียจากที่พักอาศัย (Household Refuse) ของเสียจากอุตสาหกรรม เช่น ของเสียจากอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เป็นต้น

ตารางที่2.1 ประเภทของขยะมูลฝอยสำหรับการทำปุ๋ยหมัก

ขยะสีน้ำตาล(มีสารคาร์บอนมากส่วนใหญ่เป็นขยะแห้ง)	ขยะสีเขียว(มีสารไนโตรเจนมากส่วนใหญ่เป็นขยะเปียก)	ขยะที่ไม่ควรนำมาหมัก
1. หญ้าแห้ง	1. หญ้าและใบไม้สด	1. กระดูด
2. ฟางข้าว	2. เศษอาหาร	2. น้ำมันปรุงอาหาร
3. กิ่งไม้และเศษไม้	3. ผักและเปลือกผลไม้	3. ผลิตภัณฑ์อาหารนม
4. ใบไม้	4. ถุงชาและกากกาแฟ	4. พืชหรือต้นไม้ที่เป็นโรคและปนเปื้อนสารพิษ
5. กระดาษและกล่องกระดาษ	5. เปลือกไข่	5. มูลสุนัขและแมว
6. ขี้เลื่อย	6. ดอกหญ้า	6. กระดาษอาบมัน
7. เปลือกไม้	7. ต้นหญ้า	7. วัชพืชที่มีเมล็ด

ที่มา:คู่มือประชาชน การคัดแยกขยะมูลฝอยอย่างถูกวิธีและเพิ่มมูลค่า กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2553

2.1.8 Bulking Agent

Bulking Agent คือ วัสดุที่เติมลงไปในการทำปุ๋ยหมักเพื่อปรับโครงสร้างทางกายภาพ โดยเพิ่มช่องว่างให้กับวัสดุหมักช่วยในการระบายอากาศ และปรับองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุหมักให้เหมาะสมต่อการทำปุ๋ยหมักโดยทำหน้าที่เป็น organic amendment วัสดุที่จัดเป็น Bulking Agent มีทั้งเป็นขยะอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งสามารถเติมลงไปเป็นวัสดุหมักอื่นๆได้ในการทำปุ๋ยหมัก แต่วัสดุที่จัดเป็น organic amendment เป็นขยะอินทรีย์เท่านั้น ซึ่งช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ง่ายให้กับส่วนผสมของวัสดุหมักได้ด้วย ในการทำปุ๋ยหมักโดยทั่วไปมักนำเอาขยะจากการเกษตร อุตสาหกรรม และขยะชุมชนมาเป็น Bulking Agent เช่น ขี้เลื่อย ชานอ้อย ซังข้าวโพด เป็นต้น วัสดุเหล่านี้มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่สูง การนำวัสดุทั้งสองประเภทนี้มาหมักรวมกันจะสามารถลดข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำปุ๋ยหมักลงได้ โดย Bulking Agent จะช่วยประค่าปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น และปรับปริมาณความชื้นในวัสดุหมักให้เหมาะสม นอกจากนี้

ยังช่วยเพิ่มช่องว่างระหว่างวัสดุหมักทำให้การระบายอากาศเป็นไปได้ดี ส่วนการทำหน้าที่เป็น organic amendment จะช่วยเพิ่มปริมาณสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทำให้เกิดการย่อยสลายได้ดีขึ้น

โดยทั่วไปแล้วใน Bulking Agent ส่วนใหญ่จะมีปริมาณของ cellulose และ lignin เป็นองค์ประกอบอยู่สูง ในวัสดุหมักสารจะถูกย่อยสลายไปอย่างช้าๆ โดยจุลินทรีย์ที่มีกิจกรรมในการย่อยสลายสารเหล่านี้ เช่น แอคติโนมัยซีส และเชื้อราบางชนิด สารเหล่านี้จะเปลี่ยนรูปไปให้สาร สามารถรวมตัวกับโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆส่งผลให้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสซัลเฟอร์ และสารอาหารอื่นๆ กลายสภาพไปอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง

Cellulose เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและเป็น homopolymer มีปริมาณ 40-50% ของน้ำหนักแห้งของไม้ เสื่อมสภาพได้ง่ายด้วยความร้อนแสง และการผุพังด้วยเชื้อรา ดังนั้นถ้าวัสดุหมักที่นำมาเป็น Bulking agent มี cellulose เป็นองค์ประกอบอยู่สูงก็จะถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่า Lignin ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีความอยู่ตัวสูง พบมากบริเวณส่วนเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยทำหน้าที่ในการยึดเส้นใยให้ติดกันจึงย่อยสลายได้ยาก ปริมาณ lignin ต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ว่าเป็น softwood หรือ hardwood ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 20-30% (ชื่นจิต กิ่งนรา,2543) มีการศึกษาขี้เลื่อยที่ผ่านการหมักแล้วมีปริมาณของสารประกอบที่ละลายน้ำได้และ cellulose ลดลง แต่ปริมาณ lignin ไม่เปลี่ยนแปลง โดย cellulose บางตัวถูกย่อยสลาย ขณะที่ lignin ไม่ถูกย่อยสลายเลยและพบไนโตรเจนในขี้เลื่อยที่ผ่านการหมักและใน lignin ที่เหลืออยู่แสดงว่าขยะสดเป็นแหล่งของไนโตรเจนและจุลินทรีย์ที่มีกิจกรรมในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะสดซึ่งอยู่ในรูปที่ย่อยสลายได้ง่ายกว่าก่อนที่จะย่อยสลายขี้เลื่อยซึ่งย่อยสลายได้ยากกว่า แต่ขี้เลื่อยซึ่งมีคาร์บอนในขี้เลื่อยที่ผ่านการหมักเล็กน้อย แสดงว่าจุลินทรีย์ใช้คาร์บอนในรูปที่ย่อยสลายได้ง่ายในขี้เลื่อย จึงพบว่า cellulose ในขี้เลื่อยที่ผ่านการหมักลดลง

2.1.9 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำปุ๋ยหมักจากมูลฝอย (Influencing Factor)

1. อุณหภูมิ : อุณหภูมิ ในกองปุ๋ยหมักมีผลโดยตรงกับกิจกรรมย่อยสลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ ยิ่งอัตราการเผาผลาญอาหาร (metabolic rate) ของจุลินทรีย์มากขึ้น(เจริญเติบโตมากขึ้น) อุณหภูมิภายในระบบหมักปุ๋ยก็จะสูงขึ้นในทางกลับกันถ้าอัตราการเผาผลาญอาหารลดลงอุณหภูมิของระบบก็ลดลง จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายวัตถุอินทรีย์และก่อให้เกิดความร้อนในกองปุ๋ยหมักมี 2 ประเภท คือ แบคทีเรียชนิดเมโซฟิลิก (mesophilic bacteria) ซึ่งจะมีชีวิตเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ได้ที่อุณหภูมิระหว่าง 10 – 45 °c และแบคทีเรียชนิดเทอร์โมฟิลิก (thermophilic bacteria) ซึ่งเจริญเติบโตดีที่อุณหภูมิระหว่าง 45 – 70 °c การรักษาอุณหภูมิของระบบไว้เกินกว่า 55 °c เป็นเวลา 3-4 วัน จะช่วยทำลายเมล็ดวัชพืช ตัวอ่อนแมลงวัน และโรคพืชได้ ถ้าอุณหภูมิของระบบสูงถึง 69 องศาเซลเซียส การย่อยสลายจะเร็วขึ้นเป็นสองเท่าของที่อุณหภูมิ 55 °c ถ้าอุณหภูมิเกิน 69 °c ประชากรของจุลินทรีย์จะทำลายบางส่วนทำให้อุณหภูมิของระบบลดลงอุณหภูมิของระบบจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อประชากรของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้น ออกซิเจนที่มีอยู่ และกิจกรรมของจุลินทรีย์มีอิทธิพลของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น เมื่อมีการปฏิบัติที่ถูกต้อง อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักจะเพิ่มขึ้นและควรปล่อยทิ้งไว้เฉยๆ จนกระทั่งอุณหภูมิถึงจุดสูงสุดและเริ่มลดลง จึงควรกลับกองปุ๋ยหมักเพื่อให้ออกซิเจนสามารถเข้าถึงทั่วกองปุ๋ยหมัก อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักจะกลับสูงขึ้นอีกครั้งทำเช่นนี้จนกว่าอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงแสดงว่าการทำปุ๋ยหมักเสร็จสิ้นสมบูรณ์ ขนาดของกองปุ๋ยหมัก

ก็มีผลต่ออุณหภูมิสูงสุดที่ทำได้ โดยทั่วไปสำหรับกองปุ๋ยหมักที่เปิดโล่งควรมีขนาดของกองปุ๋ยหมักไม่น้อยกว่า 3 ฟุต x 3 ฟุต x 3 ฟุต

2. การเติมอากาศ (aeration) : ออกซิเจนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการย่อยสลายวัตถุ อินทรีย์ การย่อยสลายของอินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะเป็นกระบวนการย่อยสลายที่ช้าและ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น ดังนั้นจึงควรกลับกองปุ๋ยหมักเป็นระยะเพื่อให้จุลินทรีย์ได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ ซึ่งจะช่วยเร่งกระบวนการหมักปุ๋ยให้เร็วขึ้น กองปุ๋ยหมักที่ไม่ได้กลับ จะใช้เวลาย่อยสลสายนานกว่า 3-4 เท่า การกลับกองปุ๋ยหมักจะทำให้อุณหภูมิสูงมากกว่า ซึ่งจะช่วยทำลายเมล็ดวัชพืชและโรคพืชได้ กองปุ๋ยหมักเมื่อเริ่มต้นควรมีช่องว่างอากาศประมาณ 30-35 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้สภาวะหารหมักที่ดีที่สุดเกิดขึ้น และควรรักษาระดับออกซิเจนให้เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ทั่งทั้งกองปุ๋ยหมัก โดยทั่วไปรับออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักจะอยู่ในช่วง 6-16 เปอร์เซ็นต์และ 20 เปอร์เซ็นต์ รอบผิวกองปุ๋ยหมัก ถ้าระดับออกซิเจนต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ การย่อยสลายจะเปลี่ยนไปเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งจะก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นตามมา ดังนั้นออกซิเจนยิ่งมาก การย่อสลายยิ่งเกิดมาก

3. ความชื้น (moisture) : ความชื้นที่เพียงพอมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ กองปุ๋ยหมักควรมีความชื้นที่เหมาะสมที 45 เปอร์เซ็นต์ ถ้ากองปุ๋ยหมักแห้งเกินไปการย่อยสลายจะไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากจุลินทรีย์ ไม่สามารถขยายพันธุ์ได้ ถ้ากองปุ๋ยหมักมีน้ำมากเกินไปการย่อยสลายการใช้อากาศอยู่ระหว่าง 40-70 เปอร์เซ็นต์ การทดสอบความชื้นที่เหมาะสมในกองปุ๋ย สามารถทำได้โดยใช้มือกำวัตถุอินทรีย์ในกองปุ๋ยแล้วบีบ จะมีหยดน้ำเพียง 1-2 หยดเท่านั้น หรือมีความรู้สึกชื้นเหมือนฟองน้ำที่บีบน้ำออกแล้ว

4. ขนาดวัตถุอินทรีย์ (particle size) : ขนาดวัตถุอินทรีย์ยิ่งเล็กจะทำให้กระบวนการย่อยสลายยิ่งเร็วขึ้น เนื่องจากพื้นที่ให้จุลินทรีย์เข้าย่อยสลายมากขึ้น บางครั้งวัตถุดิบมีความหนาแน่นมากหรือมีความชื้นมากเช่นเศษหญ้าที่ตัดจาก สนาม ทำให้อากาศไม่สามารถผ่านเข้าไปในกองปุ๋ยหมักได้ จึงควรผสมด้วยวัตถุที่เบาแต่มีปริมาณมากเช่น ฟางข้าว ใบไม้แห้ง กระดาษ เพื่อให้อากาศไหลหมุนเวียนได้ถูกต้อง หรือจะผสมวัตถุที่มีขนาดต่างกันและมีเนื้อต่างกันก็ได้ ขนาดของวัตถุอินทรีย์ที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 2 นิ้ว แต่บางครั้งขนาดวัตถุอินทรีย์ที่ใหญ่กว่านี้ก็จำเป็นต้องใช้บ้างเพื่อช่วย ให้การระบายอากาศดีขึ้น

5. การกลับกอง (turning) : ใน ระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย จุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญวัตถุอินทรีย์ ขณะที่ออกวิเจนถูกใช้หมดกระบวนการหมักปุ๋ยจะช้างลงและอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก ลดลง จึงควรกลับกองปุ๋ยหมักเพื่อให้อากาศหมุนเวียนในกองปุ๋ยหมัก เป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กลับจุลินทรีย์ และเป็นการกลับวัสดุที่อยู่ด้านนอกเข้าข้างใน ซึ่งช่วยในการย่อยสลายเร็วขึ้น ระยะเวลาในการกลับกอง สังเกตได้จากเมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักขึ้นสูงสุดและเริ่มลดลงแสดงว่าได้ เวลาในการกลับกองเพื่อให้อากาศถ่ายเท

6. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (carbon to nitrogen ratio) : จุลินทรีย์ใช้คาร์บอนสำหรับพลังงานและไนโตรเจนสำหรับการสังเคราะห์โปรตีน จุลินทรีย์ต้องการใช้คาร์บอน 30 ส่วนต่อไนโตรเจน 1 ส่วน (C : N = 30 : 1 โดยน้ำหนักแห้ง) ในการย่อยสลายวัตถุอินทรีย์ อัตราส่วนนี้จะช่วยในการควบคุมความเร็วในการย่อยจุลินทรีย์ ถ้ากองปุ๋ยหมักมีส่วนผสมที่มีคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก (มีคาร์บอนมาก) การย่อยสลายจะช้า ถ้ากองปุ๋ยหมักมีส่วนผสมที่มีคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำมาก (ไนโตรเจนสูง) จะเกิดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปแบบของแอมโมเนียสู่บรรยากาศและจะเกิดกลิ่น เหม็น วัตถุอินทรีย์ส่วนมากไม่ได้มีอัตราส่วน C : N = 30 : 1 จึงต้องทำ

การผสมวัตถุอินทรีย์เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่ถูกต้องคือใกล้เคียง เช่น การผสมมูลวัวที่มี C : N = 20 : 1 จำนวน 2 ถุง เข้ากับลำต้นข้าวโพดที่มี C : N = 60 : 1 จำนวน 1 ถุง จะได้กองปุ๋ยหมักที่มี C : N = (20 : 1 + 10 : 1 + 60 : 1) / 3 = 33 : 1 ปุ๋ยที่หมักเสร็จแล้วจะต้องมีค่า C : N ไม่เกิน 20 : 1 เพื่อป้องกันการดึงไนโตรเจนจากดินเมื่อนำปุ๋ยหมักไปใช้งาน

2.2 ไส้เดือนดิน

2.2.1 การจำแนกไส้เดือนดิน

ไส้เดือนดินจัดอยู่ในอาณาจักรสัตว์ (Animalia) ไฟลัมแอนนิลิดา (Phylum: Annelida) ชั้นโอลิโดชีตา (Class: Oligochaeta) ตระกูลโฮพิสโธโพรา (Order: Opisthopora) สำหรับวงศ์ (Family) ของไส้เดือนดินนั้น มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้จัดจำแนกไส้เดือนดินออกเป็นวงศ์ที่แตกต่างกัน 21 วงศ์ (Renolds and Cook, 1993) และมีมากกว่า 8,000 สายพันธุ์ (Species) (Edwards, 2004)

2.2.2 ลักษณะทั่วไปของไส้เดือนดิน

ไส้เดือนดินเป็นสัตว์ที่พบได้ทั่วไปในดิน กองปุ๋ยหมัก ริมริ่งระบานน้ำใต้กองมูลสัตว์ ใต้ขอนไม้ผุ และในบริเวณต่างๆ ที่มีแหล่งอาหารและความชื้นเพียงพอต่อการดำรงชีวิต ไส้เดือนดินแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ไส้เดือนดินสีแดง และไส้เดือนดินสีเทาไส้เดือนดินสีแดง มีขนาดลำตัวเล็ก มีสีแดง อาศัยอยู่บริเวณผิวดินที่มีอาหารและความชื้นสูงตลอดปี กินอาหารเก่งและออกลูกมากเหมาะสำหรับใช้ย่อยสลายขยะอินทรีย์ ไส้เดือนดินสีเทา อาศัยอยู่ในดิน ขุดรูอยู่ กินอาหารน้อยและออกลูกน้อย นอกจากนี้สามารถแบ่งไส้เดือนดินโดยอาศัยพื้นฐานด้านความแตกต่างของที่อยู่อาศัย นิสัยการกินอาหาร และระดับความลึกของชั้นดินในแนวดิ่ง ได้เป็น 3 กลุ่มย่อย ดังต่อไปนี้

1. กลุ่มไส้เดือนดินผิวดิน (Epigeic) เป็นไส้เดือนดินที่เลือดมีรงควัตถุ (ไส้เดือนดินสีแดง) ลำตัวขนาดเล็กยาว 2 – 5 นิ้ว อาศัยบริเวณผิวดินที่มีอินทรียวัตถุมาก ความชื้นสูงตลอดปี ไม่มีการขุดรู กินอาหารเก่ง และแพร่พันธุ์ได้มาก เป็นกลุ่มไส้เดือนดินที่ใช้ย่อยสลายขยะอินทรีย์ในการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน ได้แก่พันธุ์ขี้ตาแร่ พบอาศัยใต้กองมูลวัวนม และในบริเวณพื้นที่ซักล้างที่มีเศษอาหารในบ้านเรือน

2. กลุ่มไส้เดือนดินในดิน (Endogeic) เป็นไส้เดือนดินที่เลือดไม่มีรงควัตถุ (ไส้เดือนดินสีเทา) มีขนาดลำตัวใหญ่กว่าไส้เดือนดินในกลุ่มผิวดิน อาศัยอยู่ในดินทั่วไป หรือกองปุ๋ยหมัก มีการขุดรูในแนวระนาบผิวดินไม่ลึกมาก กินอินทรียวัตถุและดินเป็นอาหาร มีอัตราการแพร่พันธุ์น้อยกว่าไส้เดือนดินในกลุ่มผิวดิน และมีการพักตัวในช่วงหน้าแล้ง ไส้เดือนดินกลุ่มนี้ไม่เหมาะต่อการใช้ย่อยสลายขยะอินทรีย์

3. กลุ่มไส้เดือนดินในดินลึก (Anecic) เป็นไส้เดือนดินที่เลือดไม่มีรงควัตถุ(ไส้เดือนดินสีเทา) เป็นไส้เดือนดินที่มีลำตัวขนาดใหญ่และบางชนิดยาวมาก ไส้เดือนดินยักษ์ในประเทศออสเตรเลียยาวมากกว่า 2 เมตร ขุดรูถาวรในแนวดิ่งลึกลงไปในดินชั้นแร่ ตอนกลางคืนจะขึ้นมาที่ผิวดินและลากอาหารลงไปในรู แพร่พันธุ์ได้น้อยมาก เจริญเต็มวัยช้า มีอายุหลายปี และมีการพักตัวในช่วงหน้าแล้ง ไม่เหมาะต่อการใช้ย่อยสลายขยะอินทรีย์

ซึ่งนอกจากกลุ่มไส้เดือนดินที่ได้จัดจำแนกดังกล่าว ยังมีไส้เดือนดินบางชนิดที่อาศัยอยู่ในที่พิเศษอื่นๆ ซึ่งพบได้น้อยในดินหรือในขยะหรือในสภาพแวกล้อมทั่วไป เช่น ไส้เดือนดินพวกที่อาศัยอยู่

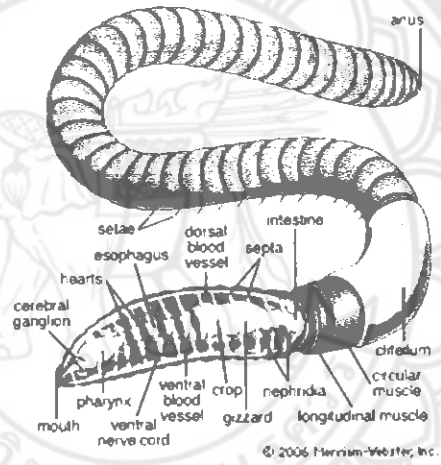
ใต้เปลือกไม้ ท่อนซุงที่เน่าเปื่อย ในรากพืช หรือใต้พืชจำพวกมอส และซอกใบไม้ของต้นไม้ในป่าเขตร้อนที่ยังไม่ได้จำแนก

วิธีการจัดจำแนกไส้เดือนดินอย่างง่ายสามารถสังเกตได้จาก

1. ขนาดและความยาวของลำตัว
2. สีหรือแถบสีของลำตัว
3. แหล่งที่อยู่อาศัย และแหล่งอาหาร

ในลำดับแรกจะแบ่งกลุ่มไส้เดือนดินเป็น 2 กลุ่มใหญ่ก่อน คือ ไส้เดือนดินสีแดง และไส้เดือนดินสีเทา แล้วจึงพิจารณาขนาดความยาวของลำตัว ถิ่นที่อยู่อาศัย และแหล่งอาหารในลำดับถัดไป

ลักษณะภายนอกของไส้เดือน



รูปที่2.2 ภาพแสดงลักษณะทั่วไปของไส้เดือนดิน
ที่มา : http://bankaset-h.com/general.html

ไส้เดือนดินมักพบโดยทั่วไปในดิน เศษกองซากพืช มูลสัตว์ ที่ๆมีความชื้นพอสมควร ปัจจุบันไส้เดือนมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด โดยมีโครงสร้างที่มีลักษณะเหมือนกันคือ

• เป็นสัตว์ที่มีลำตัวยาวลำตัวเป็นปล้องทั้งภายนอกและภายใน ร่างกายโดยมีเยื่อกั้นระหว่างปล้อง

• มีช่องลำตัวที่แท้จริงแบบ Schizocoelomate ซึ่ง เป็นซีลอมที่เกิดจากเนื้อเยื่อชั้นกลางแยกออกเป็นช่องและช่องนี้ขยายตัวออก จนเป็นซีลอม

• ผนังลำตัวชั้นนอกสุดเป็นคิวติเคิล ที่ประกอบด้วยสารจำพวกโพลีแซคคาไรด์ เจลาติน และชั้นอิพิเดอร์มิส มีเซลล์ต่อมชนิดต่างๆ ที่ทำหน้าที่สร้างน้ำเมือกทำให้ผิวลำตัวชุ่มชื้นถัดลงไปเป็นกล้ามเนื้อตาม ขวางและกล้ามเนื้อตามยาวและชั้นในสุดเป็นเยื่อบุช่องท้องแบ่งแยกระหว่างช่องลำตัวกับผนังร่างกาย

• มีขนแข็งสั้นที่เป็นสารจำพวกไคติน งอกออกมาในบริเวณรอบลำตัวของแต่ละปล้อง

• มีระบบทางเดินอาหารที่สมบูรณ์ คือมีปาก และ ทวารหนัก โดยมีลำไส้เป็นท่อตรงยาวตลอดลำตัว

• ระบบขับถ่ายประกอบด้วยอวัยวะที่เรียกว่า เนฟริเดีย ตั้งอยู่บริเวณด้านข้างของลำตัวปล้องละ 1 คู่

• ระบบหมุนเวียนโลหิตเป็นแบบปิด

• ระบบแลกเปลี่ยนก๊าซเป็นแบบการแพร่ผ่านผนังลำตัว

• มีระบบประสาท ประกอบด้วย ปมประสาทสมองด้านหลังลำตัวในบริเวณส่วนหัว 1 คู่ เส้นประสาทรอบคอหอย 1 คู่ และเส้นประสาทด้านท้องทอดตามความยาวของลำตัวอีก 1 คู่

• มีอวัยวะรับสัมผัส ประกอบด้วย ปุ่มรับรส กลุ่มเซลล์รับแสง

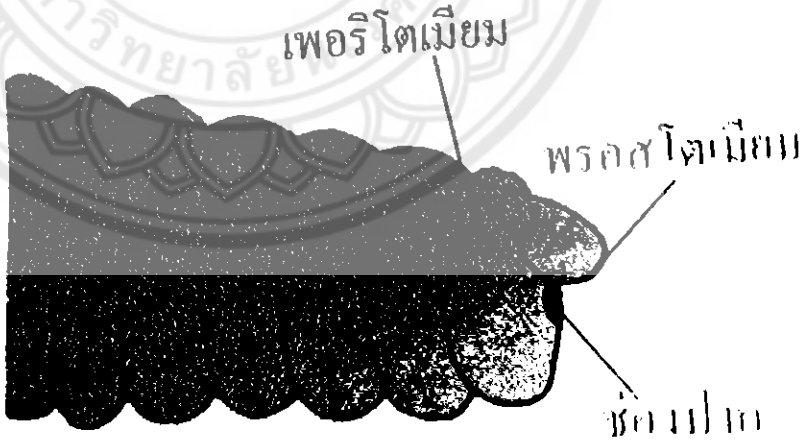
• เป็นสัตว์ที่มีสองเพศอยู่ในตัวเดียวกัน คือ ประกอบด้วย รังไข่และถุงอัณฑะ

2.2.3 ลักษณะภายนอกโดยทั่วไปของไส้เดือนดิน

ลักษณะภายนอกที่เด่นชัดของไส้เดือนดินคือการที่มีลำตัวเป็น ปล้องตั้งแต่ส่วนหัวจนถึงส่วนท้าย มีรูปร่างเป็นรูปทรงกระบอก มีความยาว ในแต่ละชนิดไม่เท่ากัน เมื่อโตเต็มที่จะมีปล้องประมาณ 120 ปล้อง แต่ละปล้องจะมีเดือยเล็กๆ เรียงอยู่โดยรอบปล้อง ไม่มีส่วนหัวที่ชัดเจน ไม่มีตา มีโคลเทลลัม ซึ่งจะเห็นได้ชัด ในระยะสืบพันธุ์ และยังประกอบด้วยอวัยวะต่างๆที่สำคัญ ดังนี้

พรอสโตเมียม (Prostomium) มีลักษณะเป็นพูเนื้อที่ยืดหดได้ติดอยู่กับผิวด้านบนของ ช่องปาก เป็นตำแหน่งหน้าสุดของไส้เดือนดิน ทำหน้าที่คล้ายริมฝีปาก ไม่ถือว่าเป็นปล้อง มีหน้าที่สำหรับกวาดอาหารเข้าปาก

เพอริสโตเมียม (Peristomium) ส่วน นี้นับเป็นปล้องแรกของไส้เดือนดิน มีลักษณะเป็นเนื้อบางๆ อยู่รอบช่องปากและยืดหดได้

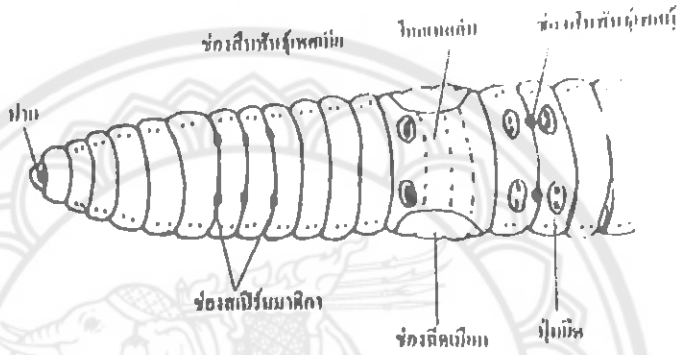


รูปที่2.3(ก) ภาพแสดงลักษณะภายนอกของไส้เดือน
ที่มา : การทำปุ๋ยหมักจากขยะโดยใช้ไส้เดือนดิน

ช่องปาก อยู่ในปล่องที่ 1-3 เป็นช่องทางเข้าออกของอาหารเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งจะมีต่อมน้ำลายอยู่ในเยื่อบุช่องปาก

เดือนหรือขน (Setae) จะมีลักษณะ เป็นขนแข็งสั้น ซึ่งเป็นสารพวกไคติน ที่งอกออกมาบริเวณผนังชั้นนอก สามารถยืดหดหรือขยายได้ เดือนนี้มีหน้าที่ ในการช่วยเรื่องการยึดเกาะและเคลื่อนที่ของไส้เดือนดิน

ช่องเปิดกลางหลัง (Dorsal pore) เป็นช่องเปิดขนาดเล็กตั้งอยู่ในร่อง ระหว่างปล้องบริเวณแนวกลางหลังสามารถพบช่องเปิดชนิดนี้ได้ในไส้เดือนดินเกือบทุกชนิด ยกเว้นไส้เดือนจำพวกที่อาศัยอยู่ในน้ำหรือกึ่งน้ำ ในร่องระหว่างปล้องแรกๆ บริเวณส่วนหัวจะไม่ค่อยพบช่องเปิดด้านหลัง ช่องเปิดดังกล่าวจะเชื่อมต่อกับช่องภายในลำตัวและของเหลวในช่องลำตัว มีหน้าที่ขับของเหลวหรือเมือกภายในลำตัวออกมาช่วยลำตัวภายนอกชุ่มชื้น ป้องกันการระคายเคือง ทำให้เคลื่อนไหวง่าย



รูปที่2.3(ข) ภาพแสดงลักษณะภายนอกของไส้เดือน
ที่มา : การทำปุ๋ยหมักจากขยะโดยใช้ไส้เดือนดิน.

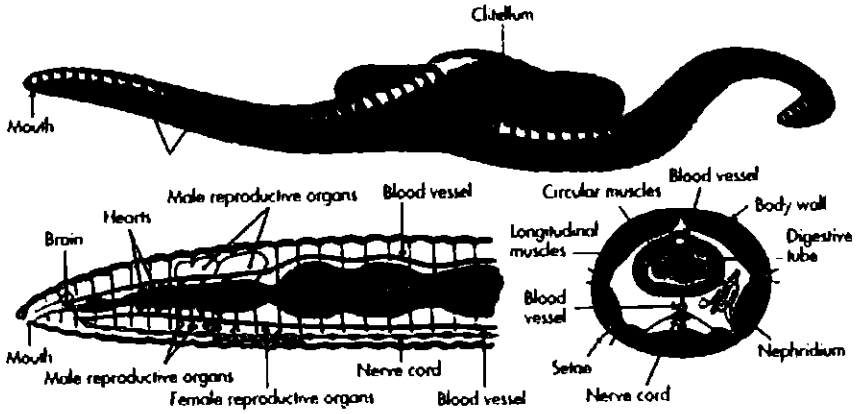
รูขับถ่ายของเสีย (Nephridiopore) เป็นรูที่มีขนาดเล็กมาก สังเกต**เห็นได้ยาก เป็น**รูสำหรับขับของเสียออกจากร่างกาย เป็นรูเปิดภายนอก ซึ่งมีอยู่เกือบทุกปล้อง ยกเว้น 3-4 **ปล้องแรก**

ช่องสืบพันธุ์เพศผู้ (Male pore) เป็นช่องสำหรับปล่อยสเปิร์ม จะมีอยู่ 1 คู่ ตั้งอยู่บริเวณลำตัวด้านท้องหรือข้างท้อง ในแต่ละสายพันธุ์ช่องสืบพันธุ์อยู่ในปล้องที่ไม่เหมือนกัน มีลักษณะเป็นแอ่งคล้ายหลอดเล็กยาวเข้าไปภายใน

ช่องสืบพันธุ์เพศเมีย (Female pore) เป็นช่องสำหรับออกไข่ โดยทั่วไปมักตั้งอยู่ในปล้องถัดจากปล้องที่มีรังไข่ (avary) มักจะพบเพียง 1 คู่ ตั้งอยู่ในร่องระหว่างปล้องหรือบนปล้อง ตำแหน่งที่ตั้งมักจะแตกต่างกันในไส้เดือนแต่ละพันธุ์

ช่องเปิดสเปิร์มมาทีกา (Spermathecal porse) เป็นช่องรับสเปิร์มจากไส้เดือนดินคู่ผสมอีกตัวหนึ่งขณะ มีการผสมพันธุ์แลกเปลี่ยนสเปิร์มซึ่งกันและกัน เมื่อรับสเปิร์มแล้วจะนำไปเก็บไว้ในถุงเก็บสเปิร์ม (Seminal receptacle)

ปุ่มยึดสืบพันธุ์ (Genital papilla) เป็นอวัยวะที่ช่วยในการยึดเกาะขณะที่ไส้เดือนดิน จับคู่ผสมพันธุ์กัน



รูปที่2.4 ภาพแสดงปุ่มยึดสืบพันธุ์ของไส้เดือน

ที่มา : http://blog.etcpool.com/articles/environment/organic-agro/earthworm/

ไคลเทลลัม (Clitellum) เป็นอวัยวะที่ใช้ในการสร้างไข่ขาวหุ้มไข่ และสร้างเมือกโคคูน ไคลเทลลัมจะพบในไส้เดือนดินที่โตเต็มไวพร้อมที่ผสมพันธุ์แล้วเท่านั้น โดยจะตั้งอยู่บริเวณปล้องด้านหน้าใกล้กับส่วนหัว ครอบคลุมปล้องตั้งแต่ 2-5 ปล้อง

ทวารหนัก (Anus) เป็นรูเปิดที่ค่อน ข้างแคบเปิดออกในปล้องสุดท้าย ซึ่งใช้สำหรับขับกากอาหารที่ผ่านการย่อยและดูดซึมแล้วออกนอกลำตัว

2.2.4 ลักษณะภายในไส้เดือน

ผนังร่างกายของไส้เดือนดิน ประกอบด้วย ชั้นนอกสุดคือ คิวติเคิล และถัดลงมาคือชั้นอิพิเดอร์มิส ชั้นเนื้อเยื่อประสาท ชั้นกล้ามเนื้อตามขวางและชั้นกล้ามเนื้อตามยาวและถัดจากชั้นกล้ามเนื้อตาม ยาวจะเป็นเนื้อเยื่อเพอริโตเนียม ซึ่งเป็นเยื่อบุที่กั้นผนังร่างกายจากช่องภายในลำตัว

- ชั้นคิวติเคิล (Cuticle) เป็นชั้นที่บางที่สุด เป็นชั้นที่ไม่มีเซลล์ ไม่มีสี และโปร่งใส ประกอบด้วยคิวติเคิล 2 ชั้น หรือมากกว่า แต่ละชั้นประกอบด้วยเส้นใย โปรตีนคอลลาจีเนียส ที่สานเข้าด้วยกันและมีชั้นของ โฮโมจีเนียส จำนวนมาก นอกจากนี้ยังมีโพลีแซคคาไรด์ และมีเจลลาติน เล็กน้อย ในชั้นคิวติเคิลจะมีบริเวณที่บางที่สุด คือ บริเวณที่มีอวัยวะรับความรู้สึก ซึ่งบริเวณนี้จะมีรอยบุ๋มของรูขนขนาดเล็กมากมายและมีขนละเอียดออกมาจากรูดัง กล่าว เป็นเซลล์รับความรู้สึก

- ชั้นอิพิเดอร์มิส (Epidermis)คือเซลล์ชั้นเดียวที่เกิดจากเซลล์หลายชนิดที่แตกต่างกันรวมเข้า ด้วยกัน ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ค้ำจุนที่มีรูปร่างเป็นแท่ง และเซลล์ต่อม โดยเซลล์ค้ำจุนเป็นเซลล์โครงสร้างหลักของชั้นอิพิเดอร์มิส ที่มีรูปร่าง เป็นแท่งเซลล์แท่งดังกล่าว นอกจากเป็นเซลล์โครงสร้างค้ำจุนแล้วยังเป็นเซลล์ที่สร้างสารคิวติเคิลให้กับ ชั้นคิวติเคิลด้วย สำหรับเซลล์ต่อม จะมีอยู่ 2 แบบ คือเซลล์เมือก (Goblet cell) และเซลล์ต่อมไข่ขาว (Albumen cell) โดยเซลล์ขับเมือกเหล่านี้จะขับเมือกผ่านไปยังผิวคิวติเคิล เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำระเหยออกจากตัว ทำให้ลำตัวชุ่มชื่นและเคลื่อนไหวในดินได้สะดวกและทำให้ออกซิเจนละลายใน บริเวณผนังลำตัวได้ และยังมีกลุ่มเซลล์รับความรู้สึกรวมกันเป็นกลุ่มแทรกตัวอยู่ระหว่างเซลล์ค้ำ จุน ซึ่งจะทำหน้าที่ตอบสนองต่อการกระตุ้นของการสัมผัสสิ่งต่างๆ

- ชั้นกล้ามเนื้อเส้นรอบวง (Circular muscle) เป็นชั้นกล้ามเนื้อที่ถัดจากชั้นอิพิเดอร์มิส ประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อที่ขยายรอบๆ ลำตัวของไส้เดือนดิน ยกเว้นบริเวณตำแหน่งร่อง

ระหว่างปล้องจะไม่มีเส้นใยกล้ามเนื้อนี้อยู่ เส้นใยกล้ามเนื้อตามเส้นรอบวงจะมีการจัดเรียงเส้นใยเป็นเป็นระเบียบกลายเป็น กลุ่มเส้นใย โดยเส้นใยแต่ละกลุ่มจะถูกล้อมรอบด้วยแผ่นเนื้อเยื่อเชื่อมต่อรวมกลุ่มเส้นใย แต่ละกลุ่มเข้าด้วยกันเป็นมัดกล้ามเนื้อ

- **ชั้นกล้ามเนื้อตามยาว** (Longitudinal muscle)อยู่ใต้ชั้นกล้ามเนื้อตามขวาง มีความหนามากกว่ากล้ามเนื้อรอบวง โดยกล้ามเนื้อชั้นในจะเรียงตัวเป็นกลุ่มลักษณะคล้ายบล็อก รอบลำตัวและยาวต่อเนื่องตลอดลำตัว

2.2.5 **ระบบย่อยอาหาร**

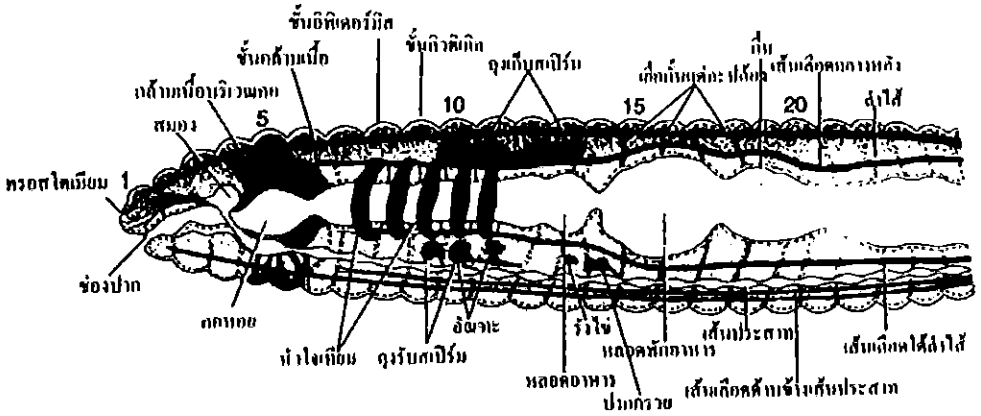
ทางเดินอาหารของไส้เดือนดิน มีรูปร่างเป็นหลอดตรงธรรมดา ที่เชื่อมต่อจากปากในช่องแรกยาวไปจนถึงทวาร ซึ่งประกอบด้วยอวัยวะดังนี้

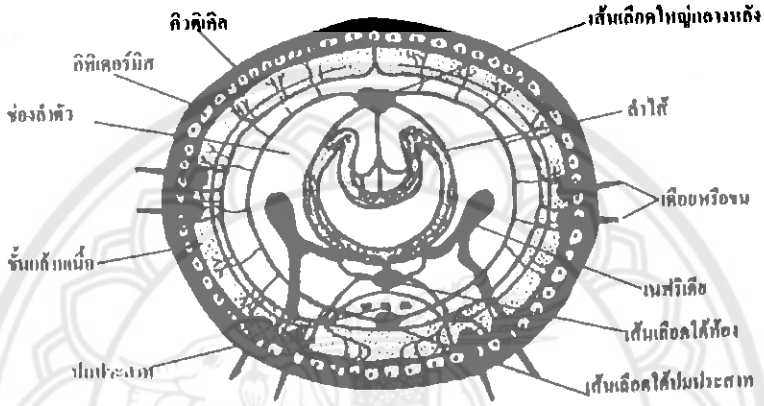
ปาก (Mouth) อยู่ใต้ริมฝีปากบน เป็นทางเข้าของอาหาร นำไปสู่**ช่องปากซึ่งจะ**เป็นบริเวณที่มีต่อมน้ำลายผลิตสารหล่อ ลื่นอาหารที่กินเข้าไป ช่องปากจะอยู่ในปล้องที่ 1 – 3

คอหอย (Pharynx) เป็นกล้ามเนื้อที่หนา และมีต่อมขับเมือก ตั้งอยู่**ระหว่างปล้องที่** 3 ถึงปล้องที่ 6 ไส้เดือนดินใช้คอหอยใน การดูดอาหารต่างๆ เข้าปากโดยการหดตัวของ**กล้ามเนื้อ ซึ่ง**จะทำให้เกิดแรงดึงดูดให้อนุภาคอาหารภายนอกผ่านเข้าไปในปาก

หลอดอาหาร (Esophagus) อยู่ระหว่างปล้องที่ 6 ถึงปล้องที่ 14 **มีต่อมแคลซิ**เฟอรัส ช่วยดึงไอออน ของ แคลเซียมจากดินที่ปนมากับอาหารจำนวนมากนำเข้าสู่ทาง**เดินอาหาร เพื่อ**ไม่ให้แคลเซียมในเลือดมากเกินไป เฉพาะพวกที่กินอาหารที่มีดินปนเข้าไปมากๆ เท่า**นั้นจึงจะมีต่อม**แคลซิเฟอรัส ต่อจากหลอดอาหารจะพองโตออกเป็นหลอดพักอาหาร มีลักษณะเป็นถุง**ผนังบางๆ และ**กึ่น **ซึ่ง**เป็นกล้ามเนื้อที่แข็งแรง และ ทำหน้าที่บดอาหารให้ละเอียดเพื่อส่งต่อไปยังลำไส้

ลำไส้ (Intestine) มีลักษณะเป็นท่อตรงที่เริ่มจากปล้องที่ 14 ไปถึง**ทวารหนัก ผนัง**ลำไส้ของไส้เดือนดินค่อนข้างบางและผนังลำไส้ด้านบนจะพับเข้าไปข้างใน ช่องทางเดิน**อาหารเรียกว่า** Typhlosole ทำให้มีพื้นที่ในการย่อยและดูดซึมอาหารได้มากขึ้นโดย สำหรับไส้เดือน**น้ำจืดไม่มี** Typhlosole ผนังลำไส้ประกอบด้วยชั้นต่างๆ คือเยื่อบุช่องท้อง วิสเซอรอล อยู่ชั้นนอก**สุดของลำไส้**ติดกับช่องลำตัว เซลล์บางเซลล์บนเยื่อนี้จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นเซลล์พิเศษ เรียกว่า เซลล์คลอราโกเจน **ทำหน**้าที่คล้ายตับของสัตว์ชั้นสูง คือสังเคราะห์และสมสมสารไกลโคเจน ไขมัน โดยเซล**ล์ไขมันใน**เนื้อเยื่อคลอราโกเจนที่มีขนาดโตเต็มที่จะหลุดออกมาอยู่ใน ช่องลำตัวเรียกว่า Eleocytes ซึ่งจะกระจายไปยัง อวัยวะต่างๆและยังมีหน้าที่รวบรวมของเสียจากเลือดและของเหลวในช่อง**ลำตัวโดย**เป็นตัวดึงกรดอะมิโน ออกจากโปรตีน สกัดแอมโมเนีย ยูเรีย และสกัดสารซิลิกาออกจากอาหารที่กินเข้าไปแล้วขับถ่ายออกนอกร่างกายทางรูขับ ถ่ายของเสียหรือเนฟริเดีย ถัดจากเยื่อบุช่องท้องวิสเซอรอลจะเป็นชั้นของกล้ามเนื้อ โดยกล้ามเนื้อในลำไส้ของไส้เดือนดินประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 2 ชั้น คือ ชั้นในเป็นกล้ามเนื้อเส้นรอบวงและชั้นนอกเป็นกล้ามเนื้อตามยาว ซึ่งสลับกันกับกล้ามเนื้อของผนังร่างกาย และชั้นในสุดของลำไส้จะเป็นเยื่อบุลำไส้ ซึ่งประกอบด้วย เซลล์รูปแท่งและเซลล์ต่อม ทำหน้าที่ผลิตน้ำย่อยชนิดต่างๆ

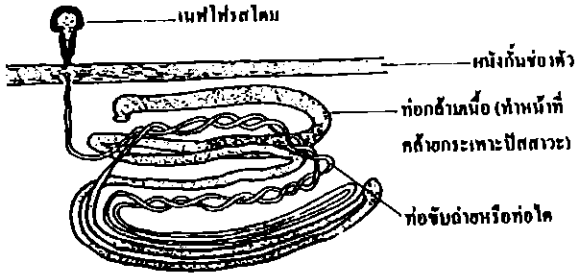




รูปที่2.5 ภาพตัดตามยาว-ขวาง ที่แสดงลักษณะโครงสร้างภายในของไส้เดือนดิน
ที่มา : การทำปุ๋ยหมักจากขยะโดยใช้ไส้เดือนดิน.

2.2.6 ระบบขับถ่าย

อวัยวะขับถ่ายของเสียหลักในไส้เดือนดินคือ เนฟริเดีย (Nephridia) ซึ่งเป็น อวัยวะที่ทำหน้าที่แยกของเสียต่างๆออกจากของเหลวในช่องลำตัวของไส้เดือนดิน แต่ละปล้อง ของไส้เดือนดินจะมี nephridia ที่เป็นท่อขดไปมาอยู่ปล้องละ 1 คู่ ทำหน้าที่รวบรวมของเหลวในช่องตัวจากปล้องที่อยู่ถัดไปทางด้านหน้าของลำตัว ของเหลวในช่องตัวจะเข้าทางปลายท่อ nephrostome ที่ มีซิเลียอยู่โดยรอบ แล้วไหลผ่านไปตามส่วนต่างๆของท่อ น้ำส่วนใหญ่พร้อมทั้งเกลือแร่บางชนิดที่ยังเป็นประโยชน์จุถูกดูดซึมกลับเข้า สู่กระแสเลือด ส่วนของเสียพวกไนโตรจินัสเบสจะถูกขับออกสู่ภายนอกทางช่อง nephridiopore ที่อยู่ทางด้านท้อง



รูปที่2.6 ภาพแสดงรูปร่างเนฟริเดีย
ที่มา : การทำปุ๋ยหมักจากขยะโดยใช้ไส้เดือนดิน.

2.2.7 ระบบหมุนเวียนเลือด

เป็นระบบหมุนเวียนเลือดแบบปิดที่ยังไม่แบ่ง เส้นเลือดแดง และ เส้นเลือดดำ โดยไส้เดือนดินจะใช้เส้นเลือด(Vessel) ในการกระจายเลือดไปทั่วร่างกายโดยตรง ซึ่งในระบบการลำเลียงเลือดของไส้เดือนดิน ประกอบด้วยเส้นเลือดหลักอยู่ 3 เส้น คือเส้นเลือดกลางหลัง เส้นเลือดใต้ลำไส้ และเส้นเลือดด้านท้องและด้านข้างของเส้นประสาท โดยเส้นเลือดทั้ง 3 จะทอดตัวไปตลอดความยาวของลำตัว นอกจากนี้จะมีเส้น เลือดด้านข้าง ซึ่งเป็นเส้นเลือดเชื่อมระหว่างเลือดกลางหลังกับเส้นเลือดใต้ลำไส้ในช่วง 13 ปล้องแรก เป็นเส้นเลือดขนาดใหญ่บีบหดตัวได้ดีมาก เรียกว่าหัวใจเทียม (Pseudoheart) น้ำเลือด จะมีฮีโมโกลบินละลายอยู่หรืออาจไม่มีก็ได้

2.2.8 ระบบการแลกเปลี่ยนก๊าซ

ไส้เดือนดินเป็นสัตว์ที่อาศัยอยู่ในดินไม่มีอวัยวะ พิเศษที่ใช้ในการหายใจ แต่จะมีการแลกเปลี่ยนกาซผ่านทางผิวหนังโดยไส้เดือนดินจะขับเมือกและของเหลว ที่ออกมาจากรูขับถ่ายของเสียเพื่อเป็นตัวทำละลายออกซิเจนจากอากาศแล้วซึม ผ่านผิวตัวเข้าไปในหลอดเลือดแล้ว ละลายอยู่ใน น้ำเลือดต่อไป

2.2.9 ระบบประสาท

ระบบประสาทของไส้เดือนดิน ประกอบสมองที่มีลักษณะเป็นสองพู เพราะเกิดจากปมประสาทด้านหน้าหลอดอาหารมาเชื่อมรวมกันอยู่เหนือหลอดอาหาร ปมประสาทสมอง 1 คู่ อยู่เหนือคอหอยปล้องที่ 3 เส้นประสาทรอบคอหอย 2 เส้น อ้อมรอบคอหอยข้างละเส้น เส้นประสาทใหญ่ด้านท้องจะมี ปมประสาทที่ปล้องประจำอยู่ทุกปล้อง ไส้เดือนดินยัง ไม่มีอวัยวะรับความรู้สึกใดๆ มีเพียงเซลล์รับความรู้สึก (Sensory Cells) ที่กระจายอยู่บริเวณผิวหนัง โดยเซลล์รับความรู้สึกแต่ละเซลล์จะมีขนเล็กๆ ยื่นออกมาเพื่อรับความรู้สึกจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ซึ่งเซลล์รับความรู้สึกเหล่านี้เชื่อมต่อกับระบบประสาท นอกจากเซลล์รับความรู้สึกแล้ว ยังมีเซลล์รับแสง (Photoreceptor cells) ในชั้นของเอพิเดอร์มิส โดยจะมีมากบริเวณริมฝีปากบน ปล้องส่วนหัวและส่วนท้ายของลำตัว มีหน้าที่รับความรู้สึกเกี่ยวกับแสงไปยังระบบประสาท ถ้ามีแสงสว่างมากเกินไปพวกมันจะเคลื่อนที่หนีเข้าไปอยู่ในที่มืด

2.2.10 ระบบสืบพันธุ์

ไส้เดือนดินเป็นสัตว์ที่มีทั้งรังไข่และอัณฑะ อยู่ในตัวเดียวกัน โดยทั่วไปจะไม่ผสมในตัวเองเนื่องจากตำแหน่งของอวัยวะสืบพันธุ์ทั้งสองเพศไม่ สัมพันธ์กัน และมีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ไม่พร้อมกัน ไส้เดือนดินจึงต้องมีการแลกเปลี่ยนสเปิร์มซึ่งกันและกัน

อวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ ประกอบด้วย

- อัณฑะ (Testes) ลักษณะเป็นก้อนสีขาวขนาดเล็กยื่นออกมาจากผนังของปล้อง
- ปากกรวย รองรับสเปิร์ม (Sperm funnel) เป็นช่องรับสเปิร์มจากอัณฑะ
- ท่อนำ สเปิร์ม (Vasdeferens) เป็นท่อรับสเปิร์มจากปากกรวยไป ยังช่องสืนพันธุ์เพศผู้
- ต่อมพรอสเตท (Prostategland) เป็นต่อมสีขาวขนาดใหญ่มีรูปร่าง เป็น

ก้อนแตกแขนงคล้ายกิ่งไม้ 1 คู่ ทำหน้าที่สร้างของเหลวหล่อเลี้ยงสเปิร์ม

- ช่องสืบ พันธุ์เพศผู้ (male pores) มี 2 คู่ อยู่ตรงด้านท้องปล้องที่ 18
- ถุงเก็บ สเปิร์ม (Seminal Vesicles) มี 2 คู่ เป็นถุงขนาใหญ่อยู่ในปล้องที่ 11 และ 12 ทำหน้าที่เก็บและพัฒนาสเปิร์มที่สร้างจากอัณฑะ

อวัยวะสืบ พันธุ์เพศเมีย ประกอบด้วย

- รังไข่ (Ovaries) ทำหน้าที่สร้างไข่ 1 คู่ ติดอยู่กับเยื่อ กั้น (Septum) ของปล้องที่12/13 ใน Pheretima ไข่จะเรียงตัวกันเป็นแถวอยู่ในพูรังไข่
- ปากกรวย รองรับไข่ (Ovarian funnel) ทำหน้าที่รองรับไข่ที่ เจริญเต็มที่แล้วจากถุงไข่
- ท่อนำไข่ (Oviducts) ท่อนำไข่เป็นท่อที่ต่อจากปากกรวยรองรับไข่ใน ปล้องที่ 13 เปิดออกไปยังรูตัวเมีย ตรงกึ่งกลางด้านท้องของปล้องที่ 14
- สเปิร์มมาทีกา (Spermatheca หรือ Seminal receptacles) เป็นถุงเก็บสเปิร์มตัวอื่นที่ได้จากการจับคู่แลกเปลี่ยน เพื่อเก็บไว้ผสมกับไข่ มีอยู่ 3 คู่

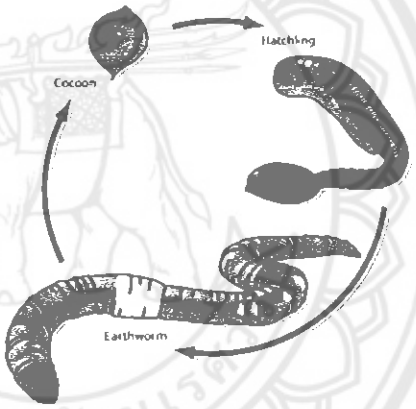
รูปที่2.7 ภาพแสดงระบบสืบพันธุ์ของไส้เดือน
ที่มา : การทำปุ๋ยหมักจากขยะโดยใช้ไส้เดือนดิน.

2.2.11 วงจรชีวิตของไส้เดือนดิน

วงจรชีวิตของไส้เดือนดินจะประกอบด้วย ระยะถุงไข่(Cocoon) ระยะตัวอ่อน ระยะก่อนเต็มวัย และระยะตัวเต็มวัย(ไคเทลลัมเจริญเต็มที่) โดยทั่วไปไส้เดือนดินจะจับคู่ผสมพันธุ์กันในบริเวณใต้ดิน แต่บางสายพันธุ์ก็จับคู่ผสมพันธุ์กันบริเวณผิวดินด้วย ลักษณะการผสมพันธุ์ของไส้เดือนดินจะมีลักษณะนำส่วนท้องที่เป็นส่วนของไคลเทลลัมมาแนบติดกันและสลับหัวสลับหางกัน ซึ่งจะพบไส้เดือนดินจับคู่ผสมพันธุ์กันมากในช่วงที่เห็นไคลเทลลัมชัดเจน ซึ่งเมื่อจับคู่ผสมพันธุ์กันแล้วไส้เดือนดินแต่ละตัวก็จะสร้างถุงหุ้มไข่ที่เรียกว่าโคคูน เคลื่อนผ่านไปบริเวณส่วนหัวรับไข่และสเปิร์มเข้าไปภาย ในและเคลื่อนออกมานอกลำตัวในบริเวณช่องสืบพันธุ์เพศเมีย ตัวอ่อนพัฒนาอยู่ภายในถุงและฟักเป็นตัวในเวลาต่อมา

ถุงไข่ของไส้เดือนดินนั้นมีหลายขนาดและมีรูปร่างที่แตกต่างกันออกไปคือ แบบหัวแหลมท้ายแหลม แบบรูปทรงกลม และรูปทรงรี ถุงไส้เดือนมีขนาดใหญ่สุดคือ มากกว่า 75-20 มิลลิเมตร และเล็กสุดมีขนาดน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร

อิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่มีต่อการสร้างถุงไข่ คือ อุณหภูมิ และความชื้น โดยในประเทศไทยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงไส้เดือนสานพันธุ์ไทยคือ ประมาณ 15-25 องศาเซลเซียส ในฤดูฝนที่มีความชื้นสูงไส้เดือนจะสร้างถุงไข่ได้มากกว่าในช่วงฤดูร้อนหรือฤดูหนาว ในบริเวณที่มีความชื้นมากไส้เดือนดินจะสร้างถุงไข่และวางถุงไข่ไว้บริเวณใกล้กับผิวดินและในบริเวณ ที่แห้งแล้งไส้เดือนดินจะวางถุงไข่ในชั้นดินที่ลึกกว่า ไส้เดือนดินที่ฟักออกจากถุงไข่ใหม่ๆ จะมีลำตัวใสและเห็นเส้นเลือดในลำตัวชัดเจน แต่เมื่อเจริญเติบโตขึ้นลำตัวจะเริ่มเปลี่ยนสี ซึ่งในการเจริญเติบโตของไส้เดือนดิน จะไม่มีการเพิ่มจำนวนปล้องแต่จะขยายขนาดของปล้องให้มีขนาดใหญ่ขึ้น จนกระทั่งโตเต็มวัยอวัยวะสืบพันธุ์ต่างๆ จะพัฒนาขึ้นจนเห็นเด่นชัด โดยเฉพาะไคลเทลลัม จะสามารถเห็นได้ชัดเจนขึ้นที่บริเวณส่วนหัว ระยะนี้ไส้เดือนดินก็จะมีการจับคู่ผสมพันธุ์และสร้างถุงไข่ได้ ภายหลังจากไส้เดือนดินเจริญเติบโตเต็มวัยแล้วจะสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ยาวนานหลายปีในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม



รูปที่2.8 วงศ์ชีวิตของไส้เดือนดิน

ที่มา : http://www.teara.govt.nz/en/diagram/15491/earthworm-life-cycle

2.2.12 ที่อยู่ของไส้เดือนดิน

ชีวิตของไส้เดือนคลุกคลีอยู่กับดินตลอด ในบางครั้งอาจล่องลอยไปในกระแสน้ำหรือจมตัวเองอยู่ใต้น้ำ แต่ต้องเป็นน้ำจืดเท่านั้น ถ้าเป็นน้ำทะเลหรือน้ำกร่อยมันจะตายทันทีแม้ว่าตัวมันจะชอบธาตุแคลเซียมแต่ก็จะไม่ทนเค็มหรือไม่ทนต่อธาตุโซเดียมที่มากเกินไป โดยปกติแล้วไส้เดือนจะดำเนินชีวิตบริเวณผิวดินที่มีความชื้นสูงแต่ไม่แฉะมากนัก ถ้าดินมีความชื้นน้อยหรือผิวหน้าดินค่อนข้างแห้ง ไส้เดือนก็จะหลบไปอาศัยลึกลงไปจากผิวดินมากขึ้น ถ้าไม่มีความแห้งแล้งติดต่อกันนานเกินไป ปริมาณไส้เดือนและจำนวนไข่ที่อยู่ในรังที่หุ้มด้วยดิน(cocoon) ก็จะลด ลงไส้เดือนดินชอบอาศัยอยู่ตามพื้นดินที่ชื้นแฉะมีใบไม้หรือซากพืช ซากสัตว์ตายทับถมกันจนเน่าเปื่อย

การกระจายตัวของไส้เดือนดินถูกกำหนดโดยปฏิกิริยาในดินทั้งทางชีวภาพและทางเคมีตลอดจนปัจจัยอื่น เช่น ปริมาณน้ำในดิน อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด ระดับความเป็นกรดด่างของดิน

โครงสร้างของดิน ชนิดอาหาร ซึ่งล้วนแต่มีอิทธิพลต่อจำนวนประชากรไส้เดือนดิน และการกระจายตัวของแต่ละสายพันธุ์

2.2.12 **ปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของไส้เดือนดิน**

ถูกกำหนดโดยปฏิกิริยาในดินทั้งทางชีวภาพและทางเคมี ตลอดจนปัจจัยอื่น เช่น ปริมาณความชื้นในดิน อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน โครงสร้างของดินซึ่งล้วนมีอิทธิพลต่อจำนวนประชากรและการกระจายตัวของไส้เดือนดิน นอกจากนี้ชนิดและคุณภาพของอาหาร ตลอดจนสภาพของอากาศก็เป็นปัจจัยที่สำคัญเช่นกัน

1. อุณหภูมิ ไส้เดือนดินสามารถเจริญเติบโตและสืบพันธุ์ได้ ที่อุณหภูมิระหว่าง 29.5-30 องศาเซลเซียส แต่มีบางชนิดที่มีชีวิตอยู่ได้ในที่ชื้นและมีร่มเงา ซึ่งอุณหภูมิสูงถึง 37 องศาเซลเซียส (อานัฐ ตันโช, 2534) และไส้เดือนดินจะตายที่จุดเยือกแข็ง อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักขึ้นอยู่กับชนิดของไส้เดือนที่นำมาใช้ โดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับไส้เดือนดินส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 15-25 องศาเซลเซียส แต่ในการขยายพันธุ์และกินอาหารที่อุณหภูมิประมาณ 13-25 องศาเซลเซียส (Dickerson, 1994)

2. ความชื้น ไส้เดือนดินต้องการความชื้นในการเจริญเติบโต และเจริญ เติบโตได้ดีในดินที่มีสภาพความชื้นสูง ถ้าหากดินที่มีสภาพความชื้นต่ำจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของไส้เดือน การนำไส้เดือนมาเลี้ยงบนของเสียเพื่อให้อินทรียวัตถุเสื่อมสภาพ ของเสียนั้นๆ จะต้องมีความชื้นระหว่าง 50-90% (บุษพรรณ, 2527) ความชื้นที่เหมาะสมของสารอินทรีย์สำหรับ *Eisenia fetida* คือ 80-90% (Edwards,1998) ในขณะที่ กฤษฎา รุ่งโรจน์วณิชย์ (2544) กล่าวว่า ความชื้นควรมีประมาณประมาณ 55% ความชื้นที่เหมาะ สมต่อการเจริญเติบโตของไส้เดือนสายพันธุ์ *Pheretima peguana* , *Pheretima posthuma* และ *Lumbricus rubellus* มีแนวโน้มการเจริญเติบโตได้ดีในระดับความชื้นดินที่ 25% (อัมพร วัฒนชัยเสรีกุล, 2542)

3. การระบายอากาศ ไส้เดือนดินสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในที่ซึ่งมีก๊าซออกซิเจนค่อนข้างต่ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงและสามารถอยู่ได้ในบริเวณน้ำท่วมซึ่งมีก๊าซออกซิเจนละลายอยู่ อย่างไรก็ตามถ้าขาดก๊าซออกซิเจนเลยทีเดียวอาจจะตายได้ การทำให้ได้ผลผลิตสูงสุดต้องเป็นสภาพที่มีออกซิเจนเพียงพอ มีระดับความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสม บุษพรรณ (2527) กล่าวถึงวิธีการช่วยระบายอากาศกระทำได้โดย (1) เกลี่ยผิวของเสียให้สัมผัสกับอากาศให้มากที่สุด (2) ป้องกันมิให้ผิวของเสียเปียกน้ำ (3) รักษาอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่ไส้เดือนกินอาหารได้มากที่สุด (4) พลิกตากผิวหน้าของของเสียอยู่เป็นประจำ

4. ความเป็นกรดเป็นด่างหรือpH ไส้เดือนดินจะเจริญเติบโตได้ในช่วง pH 4.2-8.0 แต่จะดีที่สุดเมื่อ pH ประมาณ 7.0 หรือที่ระดับความเป็นกลาง กฤษฎา รุ่งโรจน์วณิชย์ (2544) กล่าวว่า สภาพความเป็นกรดเป็นด่างควรอยู่ที่ประมาณ 6.5 โดยไม่ควรสูงกว่า 7.0 และไม่ต่ำกว่า 6.0 ระดับความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไส้เดือนสายพันธุ์ *Pheretima peguana* , *Pheretima posthuma* และ *Lumbricus rubellus* มีแนวโน้มการเจริญเติบโตได้ดีในระดับความเป็นกรดด่างที่เป็นกลางถึงด่างอ่อน(7.0 ถึง 8.0) (อัมพร วัฒนชัยเสรีกุล, 2542) pHมีอิทธิพลต่อไส้เดือนโดยทางอ้อมเนื่องจากความเป็นกรดมีผลต่อปริมาณแคลเซียมในดินที่เป็นธาตุอาหารที่สำคัญในการช่วยให้ไส้เดือนย่อยอาหารได้ดี ความเป็นกรดจะลดปริมาณแคลซียมที่จะเป็นประโยชน์ต่อไส้เดือนดินลง ดังจะเห็นได้จากคำแนะนำให้พ่นแคลเซียมในถังที่เลี้ยงไส้เดือนดินเพื่อกำจัดขยะ

อินทรีย์และเศษอาหารจากบ้านเรือนนานๆ ครั้งเพื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมให้กับไส้เดือนดินในสภาพที่มีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (อานัฐ ตันโช, 2543) และอาจใช้ปูนขาวผสมกับวัสดุรองพื้นเพื่อรักษาระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (Martin, Black & Hawthorne, 2000)

5. แสงสว่าง โดยปกติแล้วไส้เดือนเป็นสัตว์ที่ไวต่อแสง ไม่ชอบแสงสว่างและต้องไม่กระทบกับแสงแดดโดยตรง

6. การไถพรวนดิน การไถพรวนแบบหยาบอาจมีผลเมื่อเทียบกับการไถละเอียด ดังนั้นการไถพรวนอย่างหยาบเพียงเพื่อให้ดินหลวมสะดวกต่อการชอนไชของไส้เดือนจึงน่าจะเป็นสิ่งที่ดีต่อการเจริญเติบโตของไส้เดือนดิน (ประสพ วีระกรพานิช และ ดำริ ถาวรมาศ, 2536)

7.อาหาร เป็นปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่งในการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของไส้เดือน เศษซากอินทรีย์สารที่อยู่บนดินเป็นแหล่งอาหารตามธรรมชาติของไส้เดือน สำหรับอาหารที่ไส้เดือนกินนั้นได้แก่ เศษอาหาร ผัก ผลไม้ กากกาแฟ ถุงชา เปลือกไข่ มันฝรั่ง เปลือกกล้วย เศษกิ่งไม้ใบไม้ ฟางข้าว ซังข้าวโพด รากพืช รวมทั้งวัสดุรองพื้น นอกจากนี้ยังมีเศษกระดาษ และกระดาษแข็งที่เปียกจนไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก เศษซากพืชที่แห้งเกินไปจะไม่ค่อยมีประโยชน์ต่อไส้เดือนเพราะจะมีปริมาณไนโตรเจนน้อยเกินกว่าที่ไส้เดือนจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ และการใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยอินทรีย์ จะเป็นการเพิ่มแหล่งอาหารให้ไส้เดือนได้เป็นอย่าง อาหารที่ควรหลีกเลี่ยงได้แก่ รากของวัชพืช และเมล็ดของวัชพืช ภายในถังเพาะเลี้ยงไส้เดือนไม่สามารถช่วยสลายวัสดุเหล่านี้ได้ เมื่อเอาปุ๋ยจากไส้เดือนไปใช้จะเป็นการแพร่ขยายวัชพืช เปลือกผลไม้ตระกูลส้ม จะทำให้สภาพภายในภาชนะมีความเป็นกรดมากเกินไป เนื้อสัตว์ ไส้เดือนกินเนื้อสัตว์ได้ แต่เพื่อการป้องกันแมลงต่างๆ ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาภายหลังจึงไม่ควรให้เนื้อสัตว์เป็นอาหารไส้เดือน หลีกเลี่ยงปัญหาเรื่องกลิ่นและสัตว์รบกวน ห้ามเติมผลิตภัณฑ์จากนมและอาหารที่มีมัน ระวังพืชที่มีพิษ นอกจากนี้ไม่ควรให้พืชที่มีสารกำจัดศัตรูพืชปนเปื้อน หลีกเลี่ยงสภาพที่มีแอมโมเนียและเกลือมากเกินไป ถ้ามีปริมาณของแอมโมเนียมากกว่า 0.5 มิลลิกรัม/กรัม และเกลืออนินทรีย์มากกว่า 0.5% อาจจะเป็นพิษได้ (Edwards, 1998)

การให้อาหารแก่ไส้เดือน หากให้อาหารมากเกินไปอาจจะทำให้อุณหภูมิในภาชนะร้อนเกินไปและทำให้ไส้เดือนอยู่ไม่ได้ และอาจทำให้อาหารเน่าเหม็นเสียก่อนที่ไส้เดือนจะย่อยสลาย ไส้เดือนดินสามารถกินอาหารเท่ากับน้ำหนักตัวภายใน 1วัน (Dickerson, 1994)ประสิทธิภาพการกินอาหารของไส้เดือนนั้น พบว่าไส้เดือน 0.90 กิโลกรัมสามารถกินเศษอินทรีย วัตถุหนัก 0.45 กิโลกรัม ภายใน 24 ชั่วโมง (Mary Appelhof, 1982) เศษอาหารที่เป็นชิ้นใหญ่ให้หั่นเป็นชิ้นขนาดเล็ก แล้วนำไปโรยในภาชนะที่เลี้ยงไส้เดือน โดยไม่จำเป็นต้องคลุมพื้นที่เลี้ยงทั้งหมด อาหารที่ให้ควรมีความหนาประมาณ 5 เซนติเมตร (กฤษฎา รุ่งโรจน์วณิชย์, 2544) เศษซากพืชทั้งหมด รวมทั้งเศษพืชที่มีขนาดใหญ่ชนิดอื่นสามารถที่จะย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว ถ้าตัดให้มีขนาดเล็กลง เพราะทำให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้นสำหรับไส้เดือนดินและจุลินทรีย์ในการย่อยสลาย (ฟิลลิป จูเลี่ยน, 2542)

2.2.14 การให้อาหารไส้เดือน

สามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. ใส่อาหารลงในกระดาษหนังสือพิมพ์เปียกและวางไว้บริเวณมุมของภาชนะ
2. การเกลี่ยอาหารไปทั่วบริเวณ ให้มีความหนาประมาณ 10 เซนติเมตรแล้วคลุมด้วยวัสดุเหลือใช้

i7196684

สำนักหอสมุด
12 ต.ค. 2560

3. ฝังอาหารไว้บริเวณใดบริเวณหนึ่งของภาชนะ และเมื่อต้องการให้อาหารครั้งต่อไปก็ฝังอาหารไว้ในบริเวณอื่นไม่ซ้ำกับบริเวณเดิม

2.2.15 ประโยชน์ของไส้เดือนดิน

การกล่าวถึงไส้เดือนดินค่อนข้างจะเป็นภาพในทางบวก เนื่องจากมันมีประโยชน์ต่อมนุษย์ สัตว์ และระบบนิเวศน์ ซึ่งมีทั้งประโยชน์ทางตรงและประโยชน์ทางอ้อม ดังนี้

1. ไส้เดือนช่วยพลิกกลับดินโดยการกินดินแล้วถ่ายดินเอาดินด้านล่างขึ้นมาด้านบนเป็นการช่วยนำแร่ธาตุจากใต้ดินขึ้นมาใช้ให้กับพืช

2. ช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่รวมถึงซากพืชซากสัตว์และอินทรียวัตถุต่างๆ ในดิน ซึ่งผลจากการย่อยสลายนี้จะทำให้ธาตุอาหารต่างๆ ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส กำมะถัน แคลเซียม ตลอดจนธาตุอาหารอื่นๆ ถูกปลดปล่อยออกมา ซึ่งสามารถเปรียบเทียบธาตุอาหารกับการหมักโดยทั่วไป และการเปรียบเทียบธาตุอาหารจากมูลไส้เดือนสายพันธุ์ *Eisenia foetida* และ *Perionyx 25xcavates* ดังตาราง 1 และ 2 ตามลำดับดังนี้

ตาราง 2.2 ลักษณะทางเคมีของ garden compost และ vermicompost

Parameter	Garden compost	Vermicompost
pH	7.80	6.80
EC (µs/cm)	3.60	11.70
Total Kjeldahl nitrogen (%)	0.80	1.94
Nitrate nitrogen (ppm)	156.50	902.20
Phosphorus (%)	0.35	0.47
Potassium (%)	0.48	0.70
Calcium (%)	2.27	4.40
Sodium (%)	< 0.01	0.02
Magnesium (%)	0.57	0.46
Iron (ppm)	11690.00	7563.00
Zinc (ppm)	128.00	278.00
Manganese (ppm)	414.00	475.00
Copper (ppm)	17.00	27.00
Boron (ppm)	25.00	34.00
Aluminium (ppm)	7380.00	7012.00

ที่มา : Dickerson,1994

3. กิจกรรมของจุลินทรีย์ดินและน้ำย่อยของไส้เดือนในการย่อยมูลของไส้เดือนดิน จะช่วยส่งเสริมในการละลายธาตุอาหารพืชที่อยู่ในรูปอนินทรีย์สารที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ไปอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้

4. ช่วยในการปรับปรุงโครงสร้างดิน มีเนื้อดินและโครงสร้างของดินดีไม่แน่นทึบและแข็ง โดยเฉพาะกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ขณะที่ดินกำลังถูกย่อยสลายภายในตัวไส้เดือน และหลังจากที่ไส้เดือนถ่ายออกมาสะสมเป็นมูล

ตาราง 2.3 ปริมาณธาตุอาหารของ vermicompost (เปรียบเทียบไส้เดือน 2 สายพันธุ์) และ farm yard manure (FYM)

Parameter	*Eisenia foetida*	*Perionyx excavatus*	FYM
pH	7.40	7.00	7.20
Organic Carbon (%)	27.43	30.31	12.20
Total nitrogen (%)	0.60	0.66	0.55
Total phosphate (%)	1.34	1.93	0.75
Total potassium (%)	0.40	0.42	2.30
C:N ratio	45.70	45.90	24.4

ที่มา : Shinde et al.,1992

5. การชอนไชของไส้เดือนทำให้ดินร่วนซุย ซึ่งมีผลต่อการถ่ายเทน้ำและอากาศในดิน ช่วยทำให้ดินอุ้มน้ำได้ดีขึ้น

6. เป็นแหล่งโปรตีนสูง มีโปรตีนสูงถึง 60% จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์ โดยไส้เดือนเมื่อนำมาทำแห้งแล้ว จะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งโปรตีนที่ใช้อยู่

7. เป็นแหล่งผลิตปุ๋ยชนิดใหม่

8. ช่วยลดปริมาณขยะสด

9. ไส้เดือนดินจัดเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง จะอยู่ในดินที่ไม่ปนเปื้อนสารพิษจำพวกสารเคมีกำจัดศัตรูพืชหรือธาตุโลหะหนักชนิดต่างๆ จากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งจัดเป็นบทบาทใหม่ของไส้เดือนดินในปัจจุบันในการเป็นดัชนีที่มีชีวิต(bio-index) ในการบ่งชี้การปนเปื้อนสารพิษต่างๆ ในดินเนื่องจากไส้เดือนดินมีไขมันมากที่สามารถดูดซับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชบางกลุ่ม (อานัฐ ตันโช, 2543)

2.2.16 แนวทางในการนำไส้เดือนมาใช้ประโยชน์

โดยจากการศึกษาในปัจจุบันได้ทำให้มีแนวทางการนำไส้เดือนไปใช้ประโยชน์ดังต่อไปนี้ (อานัฐ ตันโช, 2543)

1. นำมาย่อยสลายขยะอินทรีย์และเศษอาหารจากบ้านเรือน
2. นำมาใช้เลี้ยงสัตว์ เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนที่สูงมาก
3. ใช้ฟื้นฟูสภาพดินที่เสื่อมโทรม
4. ใช้เป็นดัชนีทางสิ่งแวดล้อมในการตรวจสอบธาตุโลหะหนัก และสารเคมีที่ปนเปื้อนจากการเกษตรในดิน

2.3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สามารถ ใจเตี้ย (2546) ศึกษาชนิดของขยะอินทรีย์ (ใบกระถินแห้ง กากถั่วเหลืองต้ม บด มูลไก่แห้ง และรำละเอียด) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไส้เดือนสายพันธุ์ Lumbricus rubellus พบว่าขยะอินทรีย์ทุกชนิดสามารถนำมาเลี้ยงไส้เดือนได้ โดยก่อนที่จะนำมาลี้ยงขยะอินทรีย์ต้องเริ่มย่อยสลายก่อน การศึกษาปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มให้กับการผลิตปุ๋ยหมักที่ผลิตจากมูลไส้เดือนในช่วง 90 วัน พบว่าปริมาณไนโตรเจนในรูปมูลไก่แห้ง 0.25% ที่เพิ่มให้กับเศษฟางข้าวสามารถเพิ่มจำนวนไส้เดือนสูงสุดที่ 81.33 ตัว ขณะที่ 0.5%ของไนโตรเจนในรูปมูลไก่แห้งสามารถเพิ่มน้ำหนักทั้งหมดของไส้เดือนสูงสุดที่ 21.60 กรัม และน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวที่ 0.48 กรัม ไนโตรเจนที่มีอยู่ในมูลสัตว์มีความเหมาะสมในการผสมกับขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก การศึกษาผลของปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จากไส้เดือนต่อการปลูกมะเขือเทศและผักกาดหอม พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักที่ผลิตจากมูลไส้เดือนร่วมกับปุ๋ยยูเรียให้ผลการเจริญเติบโตสูงที่สุด

นภาพร พิพารัตน์(2548)ศึกษาการใช้ไส้เดือนสายพันุ์ Perionyx excavates หมักขยะอินทรีย์ในตู้ลิ้นชักแบบ 4 ชั้น โดยผลการศึกษาปริมาณไส้เดือนในการย่อยสลายขยะอินทรีย์โดยมีอัตราส่วนที่แตกต่างกัน คือ 25, 50, 100 และ 150 ก./กก.ขยะ พบว่าไส้เดือนปริมาณ 100 ก./กก.ขยะมีกระจายตัวจากชั้นบนสุดถึงชั้นล่างสุดดังนี้ 37.69, 37.59, 37.73 และ 37.63 ก./กก.ขยะ ไส้เดือนปริมาณ 150 ก./กก.ขยะ มีการกระจายตัวดังนี้ 43.80, 52.46, 47.61 และ14.14 ก./กก.ขยะ ไส้เดือนปริมาณ 50 ก./กก.ขยะ มีการกระจายตัวอยู่เพียง 2 ชั้นล่างสุด และไส้เดือนปริมาณ 25 ก./กก.ขยะ มีการกระจายตัวอยู่เพียงชั้นล่างสุด อัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือนเพิ่มขึ้นที่ปริมาณไส้เดินเพิ่มขึ้นเท่ากับ 15.4, 16.9, 20.7 และ 22.2 มก./วัน ที่ปริมาณไส้เดือน 25, 50, 100 และ 150 ก./กก.ขยะ ตามลำดับ เมื่อนำไส้เดือนปริมาณ 150 ก./กก.ขยะ มีให้ขยะอินทรีย์สังเคราะห์แบบต่อเนื่อง พบว่าไส้เดือนเริ่มกระจายตัวในชั้นต่างๆในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน และปริมาณของไส้เดือนจากลิ้นชักบนสุดจนถึงล่างสุดเท่ากับ 45.77,42.55,43.53และ42.09 ก. ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 16.75 มก./วัน ในชั้นดินที่มีไส้ดือนหมักขยะมีค่าไนโตรเจน,ฟอสฟอรัส,โพแทสเซียมและค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงกว่าดินที่ไม่มีไส้เดือน

Chaudhuri & Gautam Bhattacharjee (2001) ศึกษาการผลิตน้ำหนักตัวของไส้เดือนและการสืบพันธุ์ของไส้เดือนสายพันธุ์ Perionyx excavatus จำนวน 4 ตัว ในอาหาร 4 ชนิด ได้แก่ มูลวัวอย่างเดียว มูลวัวผสมฟาง มูลวัวผสมใบไผ่ และ มูลวัวผสมขยะจากครัว เพื่อหาชนิดอาหารที่เหมาะสมในกระบวนการหมัก ในการศึกษาพบว่าอัตราการเพิ่มน้ำหนักตัวและอัตราการสืบพันธุ์เพิ่มขึ้นสูงสุดที่มูลวัวผสมฟาง และมูลวัวผสมใบไผ่ โดยน้ำหนักตัวและการสืบพันธุ์มีค่าต่ำในมูลวัวอย่างเดียว และมีค่าต่ำที่สุดในมูลวัวผสมขยะจากครัว

Ndegwa & Thomson (2000) ศึกษาผลของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในการหมักตะกอนสลัดจ์ผสมกับเยื่อกระดาษเป็นวัสดุหมัก โดยใช้ไส้เดือนสายพันธุ์ Eisenia fetida ในการทดลองใช้ความหนาแน่นของไส้เดือน 1.6 กิโลกรัมไส้เดือน/ตารางเมตร และอัตราการให้อาหาร 1.25 กิโลกรัมอาหาร/กิโลกรัมไส้เดือน/วัน พบว่าที่C/N 25 ให้ผลการหมักดีที่สุดและมีค่าด้านคุณภาพปุ๋ยสูงที่สุด และผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

สถานที่ดำเนินงานวิจัย

ดำเนินการศึกษาวิจัย ทดลอง และวิเคราะห์ตัวอย่างที่ห้องปฏิบัติการ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และห้องปฏิบัติการสาขาวิชาโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง

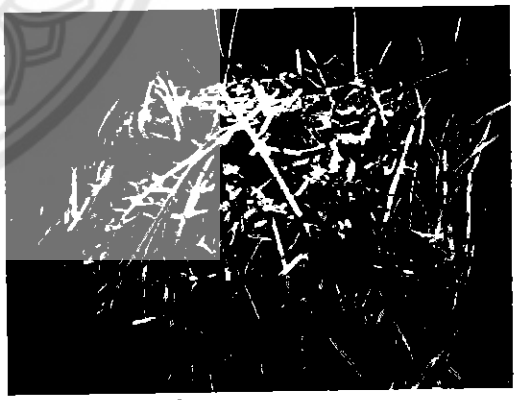
3.1.1 ขยะเศษอาหาร

เป็นขยะเศษอาหารจากโรงอาหารในมหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก โดยจะสุ่มเก็บขยะเศษอาหารจากถังที่ใช้สำหรับรวบรวมขยะเศษอาหารของโรงอาหาร และแยกเศษอาหารที่ย่อยสลายได้ยากออก เช่น กระดูก เปลือกหอย

Bulking Agent นำกระดาษ Reuse เข้าเครื่องย่อยที่ห้องปฏิบัติการ วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มีขนาดประมาณ 0.2 – 0.5 เซนติเมตร

การเตรียมขยะเศษอาหาร เตรียมขึ้นจากการผสมของขยะเศษอาหารต่อ Bulking Agent ในอัตราส่วน 3 : 1 โดยน้ำหนัก หรืออัตราส่วน 750 กรัม : 250 กรัม จะได้ขยะเศษอาหารที่ใช้ในการทดลอง 1000 กรัม

รูปภาพที่3.1 ขยะเศษอาหาร



รูปภาพที่3.2 Bulking Agent

3.1.2 ไส้เดือน

ใช้ไส้เดือนสายพันธุ์ Perionyx excavates. ในการทดลองซึ่งได้มาจากชุมชนบรม ไตรโลกนารถ 21 อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ไส้เดือนชนิดนี้เป็นไส้เดือนเขตร้อน ขยายพันธ์ได้ดี มีอยู่แพร่หลายในหลายประเทศ และสามารถย่อยสลายขยะอินทรีย์ได้(วิเคราะห์สายพันธุ์โดย ดร.ประสุข โฆษวิทิตกุล ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร)

รูปภาพที่3.3 ไส้เดือน *Perionyx excavates*

3.1.3 ดินรองพื้น

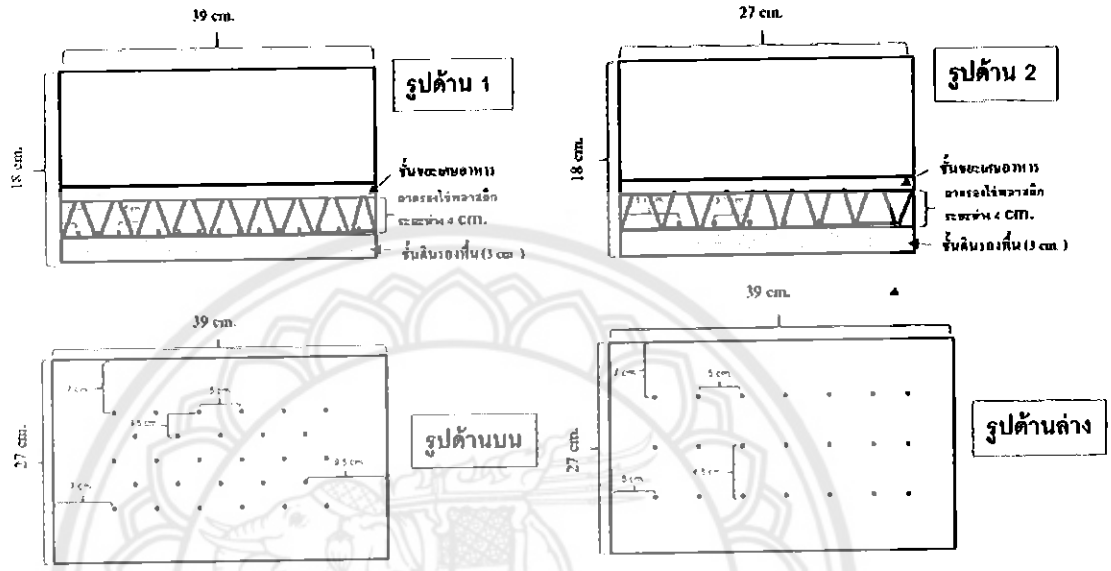
ในการทดลองนี้จะใช้ดินที่บรรจุขาย ซึ่งมีส่วนประกอบเป็นดินร่วนละเอียด เปลือกถั่ว มูลสัตว์ และกาบมะพร้าว

การเตรียมดิน จะนำดินดังกล่าวเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อที่จะกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กๆ ที่ไม่ต้องการออกไป โดยการทดลองนี้จะใช้ดินปริมาณ 1000 กรัม

รูปภาพที่3.4 วัสดุรองพื้น (ดินบรรจุถุงที่ผ่านการอบ)

3.1.4 ถังปฏิกิริยา

ใช้ภาชนะพลาสติกมีฝาปิด ขนาดกว้าง 27 x ยาว 39 x สูง 18 ซม. เจาะรู้ด้านข้างและด้านบนเพื่อระบายอากาศ และเจาะรูด้านล่างเพื่อระบายน้ำชะขยะ(มีตาข่ายพลาสติกปิดทับรูเพื่อป้องกันไส้เดือนหนี) และใช้ถาดไข่พลาสติกขนาดกว้าง 27 x ยาว 39 x สูง 4 ซม. โดยมีช่องใส่ไข่จำนวน 24 ฟอง ใส่ลงในถังปฏิกิริยา



รูปที่3.5 ภาพถังปฏิกิริยา

3.1.5 วิธีการทดลอง

ไส้เดือน *Perionyx excavates* ปริมาณ 40 และ 80 กรัมต่อขยะเศษอาหาร 1,000 กรัม ถูกนำมาร่วมหมักในถังปฏิกิริยา โดยใช้ถาดรองไข่(สูงประมาณ 4 ซม.) รองรับขยะเศษอาหาร โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ และทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักไส้เดือน น้ำหนักขยะเศษอาหาร ค่า C/N ratio และอัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือน เป็นต้น โดยในการทดลองมีการรักษาความชื้นของขยะเศษอาหารโดยการสเปรย์น้ำ ทำการเก็บข้อมูลทุก 3 วัน เป็นเวลาทั้งสิ้น 30 วัน สำหรับการทดลองควบคุมจะใช้ถังปฏิกิริยาและใช้ปริมาณไส้เดือนอย่างเดียวกัน แต่ไม่ใช้ถาดรองไข่ และเว้นช่องว่างระหว่างชั้นขยะและดินรองพื้นระยะ 4 ซม.

3.2 การดำเนินการเก็บตัวอย่าง

ขั้นตอนแรกหลังจากใส่ไส้เดือนและขยะเศษอาหารที่น้ำหนัก 40,80 กรัมแล้ว ทำการวัดค่าอุณหภูมิภายในกล่องทดลองทั้ง 2 ชุด และอุณหภูมิภายนอกกล่องทดลอง เก็บตัวอย่างไส้เดือน ดิน และขยะเศษอาหาร ไว้สำหรับหาค่าความชื้น, pH, ออร์แกนิคคาร์บอน, ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม

ตารางที่3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	ความถี่
•ไส้เดือน		
- น้ำหนักไส้เดือน	- ชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียด	
- ไนโตรเจนทั้งหมด	- ใช้วิธี Kjeldahl	
- ฟอสฟอรัสทั้งหมด	- ย่อยสลายด้วยเปอร์ซัลเฟตแล้ววัดความเข้มข้นสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer	เก็บทุกๆ 3 วัน
- โพแทสเซียมทั้งหมด	- ย่อยสลายด้วยเปอร์ซัลเฟตแล้ววัดความเข้มข้นของสีด้วยเครื่อง Flame photometer	
•ขยะเศษอาหาร		
- ความชื้น	- ใช้วิธี Gravimetric	
- น้ำหนักขยะ	- ชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียด	
- อุณหภูมิ	- ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัด	
- ไนโตรเจนทั้งหมด	- ใช้วิธี Kjeldahl	เก็บทุกๆ 3 วัน
- อินทรีย์คาร์บอน	- ใช้การไตเตรท	

ตาราง3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ต่อ)

•ขยะเศษอาหาร - pH - ฟอสฟอรัสทั้งหมด - โพแทสเซียมทั้งหมด	- ใช้วิธี Gravimetric - ชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียด - ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัด - ใช้วิธี Kjeldahl - ใช้การไตเตรท - ใช้เครื่อง pH meter - ย่อยสลายด้วยเปอร์ซัลเฟตแล้ววัดความเข้มข้นสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer' - ย่อยสลายด้วยเปอร์ซัลเฟตแล้ววัดความเข้มข้นของสีด้วยเครื่อง Flame photometer	เก็บทุกๆ 3 วัน
•ดิน (วัสดุรองพื้น) - ไนโตรเจนทั้งหมด - ฟอสฟอรัสทั้งหมด - โพแทสเซียมทั้งหมด	- ใช้วิธี Kjeldahl - ย่อยสลายด้วยเปอร์ซัลเฟตแล้ววัดความเข้มข้นสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer - ย่อยสลายด้วยเปอร์ซัลเฟตแล้ววัดความเข้มข้นของสีด้วยเครื่อง Flame photometer	ก่อน – หลังการทดลอง

3.3 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์

3.3.1 ความชื้น (Moisture content)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 2-5 กรัม ใสภาชนะที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว
2. นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง
3. ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วนำไปชั่ง

คำนวณ

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

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

3.3.2 ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)

สารเคมี

1. conc. sulfuric acid (H_2SO_4)
2. Catalyst mixture โดยผสม K_2SO_4 : $CuSO_4$: Se powder อัตราส่วน 100:10:1 โดยน้ำหนัก
3. Sodium hydroxide (NaOH) 40% โดยละลาย NaOH 400 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร
4. Mixed indicator โดยละลาย bromcresol green 0.033 กรัม และ methyl red 0.0165 กรัม ใน ethanal 50 มิลลิลิตร
5. Boric acid indicator 2% โดยละลาย boric acid (H_3BO_3) ในน้ำร้อน 700 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร (บรรจุ ethanal 200 มิลลิลิตร) แล้วเท mixed indicator 20 มิลลิลิตร ลงไป เขย่าให้เข้ากัน
6. Standard sulfuric acid 0.02-0.05 N

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 0.05-1 กรัม ใส่ kjeldahl flast

2. เติม catalyst mixture ประมาณ 1 กรัม

3. เติม conc. H_2SO_4 10 มิลลิลิตร นำไปย่อยบนเตา digest ใช้ไฟที่อุณหภูมิต่ำๆ แล้วค่อยเพิ่มความร้อนจนได้ของเหลวใส ปล่อยไว้ให้เย็น แล้วเทใส่ขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร ทำ blank เช่นเดียวกันแต่ไม่ต้องใส่ตัวอย่าง

4. ดูดสารละลายจำนวน 20 มิลลิลิตร เติม NaOH 40% จำนวน 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ต่อเข้าเครื่องกลั่นซึ่งมี boric acid indicator จำนวน 5 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ 50 มิลลิลิตร รองรับอยู่ กลั่นให้ได้ของเหลวสีเขียวประมาณ 35-40 มิลลิลิตร

5. ไตเตรทของเหลวที่กลั่นได้ด้วย Standard H_2SO_4 สีของของเหลวจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดงถือเป็นจุดยุติ

คำนวณ

$$\text{ไนโตรเจนทั้งหมด(\%)} = \frac{(T-B)\times N\times 1.4}{M} \Big/ (\%dilute)$$

เมื่อ T = มิลลิลิตร ของกรดที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง

B = มิลลิลิตร ของกรดที่ใช้ไตเตรท blank

N = ความเข้มข้นของ Standard H_2SO_4

M = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

3.3.3 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)

สารเคมี

1. conc. Perchloric acid ($HCLO_4$)

2. ammonium molydate $(NH_4)_6\ Mo_7O_{24}.4H_2O$ โดยชั่ง $(NH_4)_6\ Mo_7O_{24}.4H_2O$ 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร

3. ammonium monovanadate (NH_4VO_3) โดยชั่ง NH_4VO_3 0.5 กรัม ละลายในน้ำเดือด 300 มิลลิลิตร ปล่อยให้เย็น นำสารละลาย ammonium molydate มาผสมกันแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร (สารละลายมีสีเหลือง)

4. standard phosphorus เตรียมจาก stock solution phosphorus 50 ppm โดยชั่ง KH_2PO_4 (อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง) 0.2195 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.5-1 กรัม ใส่ kjeldahl flast

2. เติม $HCLO_4$ จำนวน 10 มิลลิลิตร นำไปย่อยบนเตา digest ใช้ไฟที่อุณหภูมิต่ำๆ แล้วค่อยเพิ่มความร้อนจนสารละลายใสเป็นสีขาว ทิ้งให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น นำมากรองด้วยกระดาษเบอร์ 5 (ทำblank ทุกครั้ง)

3. เตรียม standard phosphorus 0, 0.5, 1, 2, 3, 5, 15 และ 25 โดยปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร

4. ดูด standard phosphorus ที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายผสมระหว่าง(NH_4VO_3) กับ $(NH_4)_6\ Mo_7O_{24}.4H_2O$ จำนวน 10 มิลลิลิตร ปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที

5. ดูดสารละลายตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายผสมระหว่าง (NH_4VO_3) กับ $(NH_4)_6\ Mo_7O_{24}.4H_2O$ จำนวน 10 มิลลิลิตร ปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เช่นเดียวกับ standard phosphorus แล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร

คำนวณ

$$\text{ฟอสฟอรัสทั้งหมด(ppm)} = \frac{ppm(curve)\times 100}{M}$$

$$\text{ฟอสฟอรัสทั้งหมด(\%)} = \frac{ppm(curve)}{100\times M}$$

เมื่อ M = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

3.3.4 โพแทสเซียมทั้งหมด(Total Potassium) [10]

สารเคมี

1. conc. Perchloric acid ($HCLO_4$)

2. standard potassium 1000 ppm เตรียมโดยชั่ง KCl (อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง) 1.9066 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.5-1 กรัม ใส่ kjeldahl flast

2. เติม $HCLO_4$ จำนวน 10 มิลลิลิตร นำไปย่อยบนเตา digest ใช้ไฟที่อุณหภูมิต่ำๆ แล้วค่อยเพิ่มความร้อนจนสารละลายใสเป็นสีขาว ทิ้งให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น นำมากรองด้วยกระดาษเบอร์ 5 (ทำblank ทุกครั้ง)

3. เตรียม standard potassium 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 ppm โดยดูด standard potassium 1000 ppm 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 และ 4.0 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

4. นำสารละลายตัวอย่าง ไปวัดด้วยเครื่อง flame photometer เช่นเดียวกับ standard potassium

คำนวณ

$$\text{โพแทสเซียมทั้งหมด(ppm)} = \frac{ppm(curve)\times 100}{\text{M}}$$

$$\text{โพแทสเซียมทั้งหมด(\%)} = \frac{ppm(curve)}{100\times \text{M}}$$

เมื่อ M = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

3.3.5 สภาพการนำไฟฟ้า (Electric Conductivity)

วิธีการ

1. ใช้อัตราส่วนตัวอย่าง : น้ำกลั่น (1:5) ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร
2. เขย่าด้วย shaker นาน 30 นาที
3. กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5
4. นำตัวอย่างที่กรองได้มาวัดด้วยเครื่อง conductivity

3.3.6 พีเอช (pH)

วิธีการ

1. ใช้อัตราส่วนตัวอย่าง : น้ำกลั่น (1:5) ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร
2. เขย่าด้วย shaker นาน 30 นาที
3. นำตัวอย่างไปวัดด้วยเครื่อง pH meter

3.3.7 คาร์บอน(Organic Carbon) [11]

ค่าคาร์บอน (%) สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{คาร์บอน(\%)} = \frac{\%VS}{1.8}$$

3.3.8 อัตราการเจริญเติบโต สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือน (มิลลิกรัม/ตัว)} = \frac{Wn - Wo}{d}$$

เมื่อ W_n = น้ำหนักไส้เดือนต่อตัวในวันที่พิจารณา

W_o = น้ำหนักไส้เดือนต่อตัวในวันแรกที่ทำการทดลอง

d = จำนวนวันที่กำหนด

3.3.9 ปริมาณการผลิตไส้เดือน(yield)

สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ปริมาณการผลิตไส้เดือน(กรัมไส้เดือน.กรัมวัสดุหมัก}^{-1}) = \frac{Wn - Wo}{Sn - So}$$

เมื่อ W_n = น้ำหนักไส้เดือนต่อตัวในวันที่พิจารณา

W_o = น้ำหนักไส้เดือนต่อตัวในวันแรกที่ทำการทดลอง

S_n = น้ำหนักขยะอินทรีย์ในวันที่พิจารณา

S_o = น้ำหนักขยะอินทรีย์ในวันแรกที่ทำการทดลอง

3.4 ระยะเวลาที่ทำการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง

ระยะเวลาดำเนินการตลอดโครงการ 8เดือน จากเดือน สิงหาคม 2557 ถึง เดือนมีนาคม 2558 ดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์

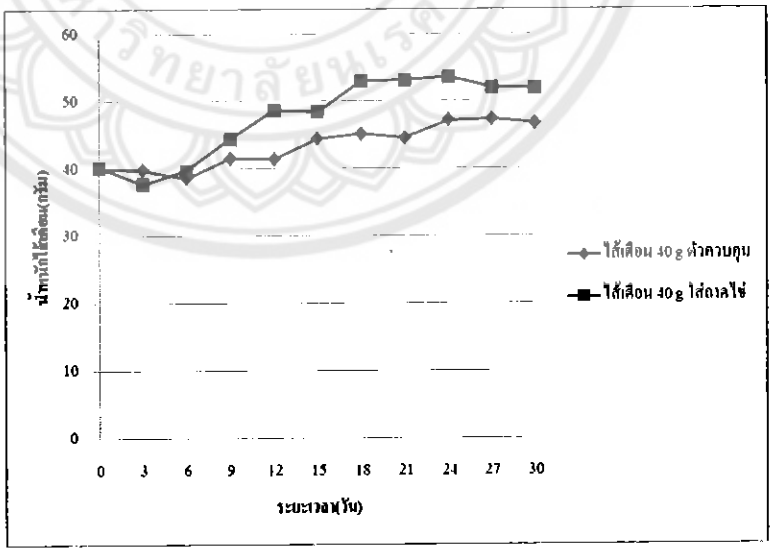
การใช้ไส้เดือน *Perionyx Excavatus*. หมักขยะเศษอาหารโดยใช้ถาดไข่เป็นชั้นรองรับขยะ มีผลการศึกษาดังนี้

4.1 การเปลี่ยนแปลงของไส้เดือน

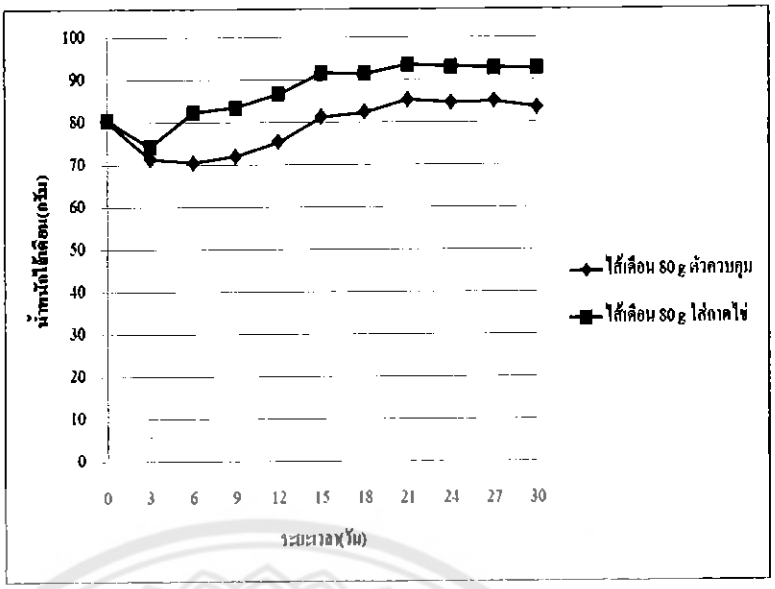
ในการทดลองนี้มีการชั่งน้ำหนักไส้เดือน ทุก 3 วันตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 30 วัน โดยได้แสดงผลการทดลองดังนี้

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของไส้เดือน

การทดลองที่มีการใช้ถาดไข่เป็นภาชนะรองรับขยะเศษอาหารและดินรองพื้น น้ำหนักไส้เดือนมีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าการทดลองควบคุม โดยจะเห็นได้ว่าในช่วงเวลา 3 วันแรกไส้เดือนมีน้ำหนักลดลงทุกการทดลอง เนื่องจากเกิดการหมักของขยะเศษอาหาร และหลังจาก 3 วันไปแล้ว น้ำหนักไส้เดือนจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งน้ำหนักไส้เดือน 40กรัมการทดลองควบคุม ,40กรัมใส่ถาดไข่,80กรัมการทดลองควบคุมและ80กรัมใส่ถาดไข่เป็นภาชนะรองรับขยะเศษอาหารและดินรองพื้นมีน้ำหนักสูงสุด ตามลำดับ มีน้ำหนัก 46.7257, 51.9100, 83.4692, 92.745กรัม



รูปที่4.1 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักไส้เดือน 40 กรัม



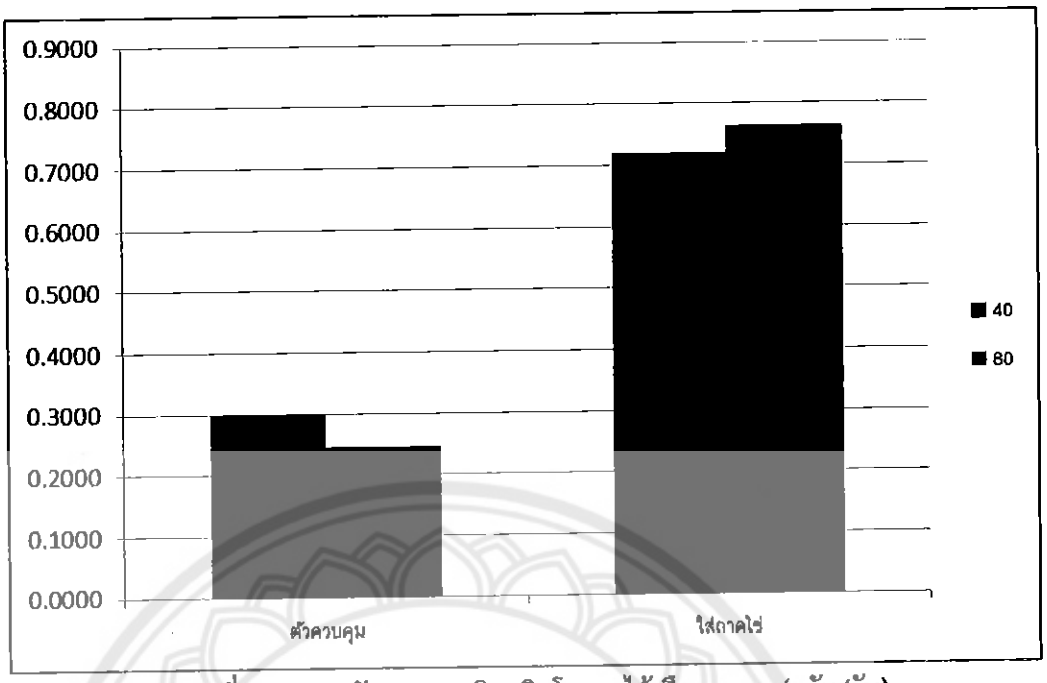
รูปที่4.2 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักไส้เดือน 80 กรัม

4.1.2 อัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือน

จากผลการทดลองพบว่าอัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือนเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณไส้เดือนเพิ่มขึ้นโดยพบว่า น้ำหนักไส้เดือนที่ปริมาณ 40 ,80กรัม โดยใช้การทดลองควบคุมรองรับระหว่างขยะเศษอาหารกับดินรองพื้น ไส้เดือนมีอัตราการเจริญเติบโตเป็น 0.2975 และ 0.2462 กรัม/วัน และพบว่าที่มีการใช้ถาดไข่รองรับระหว่างขยะเศษอาหารกับดินรองพื้น ไส้เดือนมีอัตราการเจริญเติบโตเป็น 0.7200 และ 0.7647 กรัม/วัน โดยน้ำหนักไส้เดือนที่มีการใช้ถาดไข่มีอัตราการเจริญเติบโตมากกว่าการทดลองควบคุมเป็นผลมาจากถาดไข่มีลักษณะที่มีส่วนสัมผัสกับดินเยอะจึงทำให้ไส้เดือนสามารถเข้าไปกินขยะได้ดี

ตารางที่4.1 แสดงอัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือน

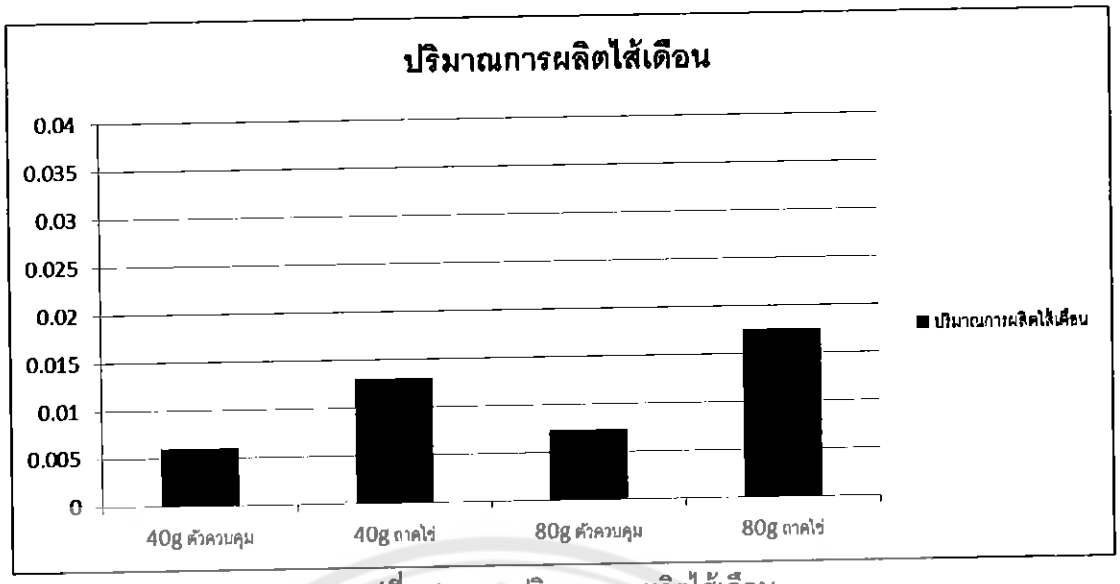
วันที่	อัตราการเจริญเติบโตไส้เดือน น้ำหนัก40 กรัม		อัตราการเจริญเติบโตไส้เดือน น้ำหนัก 80 กรัม	
	การทดลองควบคุม	ถาดไข่	การทดลองควบคุม	ถาดไข่
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	-0.0745	-0.7600	-2.8900	-1.9438
6	-0.2360	-0.0500	-1.5933	0.3673
9	0.1673	0.4911	-0.9000	0.3856
12	0.1158	0.7183	-0.3942	0.5492
15	0.2954	0.5620	0.0747	0.7647
18	0.2854	0.7200	0.1244	0.6331
21	0.2147	0.6229	0.2462	0.6429
24	0.2975	0.5671	0.1900	0.5421
27	0.2710	0.4456	0.1787	0.4746
30	0.2242	0.3970	0.1156	0.4248



รูปที่4.3 แสดงอัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือนสูงสุด (กรัม/วัน)

4.1.3 อัตราการผลิตไส้เดือน

จากผลการทดลองพบว่าอัตราการผลิตไส้เดือนเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณไส้เดือนเพิ่มขึ้นโดยพบว่า น้ำหนักไส้เดือนที่ปริมาณ 40 ,80กรัม โดยใช้การทดลองควบคุมรองรับระหว่างขยะเศษอาหารกับดินรองพื้น ไส้เดือนมีอัตราการผลิตไส้เดือนเป็น 0.0060 และ 0.0072 กรัม/น้ำหนักไส้เดือน และพบว่าที่มีการใช้ถาดไข่รองรับระหว่างขยะเศษอาหารกับดินรองพื้น ไส้เดือนมีอัตราการผลิตไส้เดือนเป็น 0.0130 และ 0.0175 กรัม/น้ำหนักไส้เดือน โดยน้ำหนักไส้เดือนที่มีการใช้ถาดไข่มีอัตราการผลิตไส่เดือนมากกว่าการการทดลองควบคุมเป็นผลมาจากถาดไข่มีลักษณะที่มีส่วนสัมผัสกับดินเยอะจึงทำให้ไส้เดือนสามารถเข้าไปกินขยะได้ดี

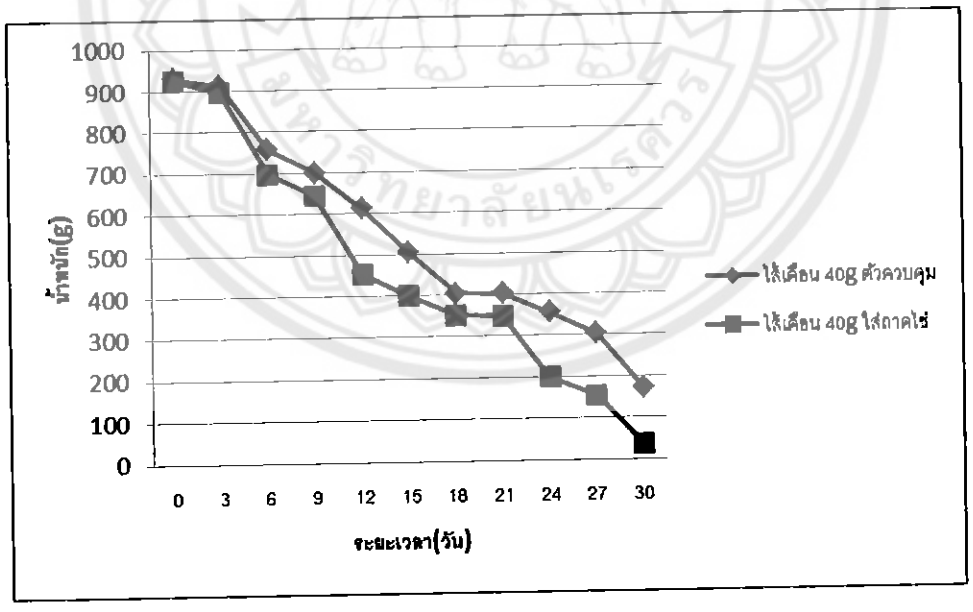


รูปที่4.4 แสดงปริมาณการผลิตไส้เดือน

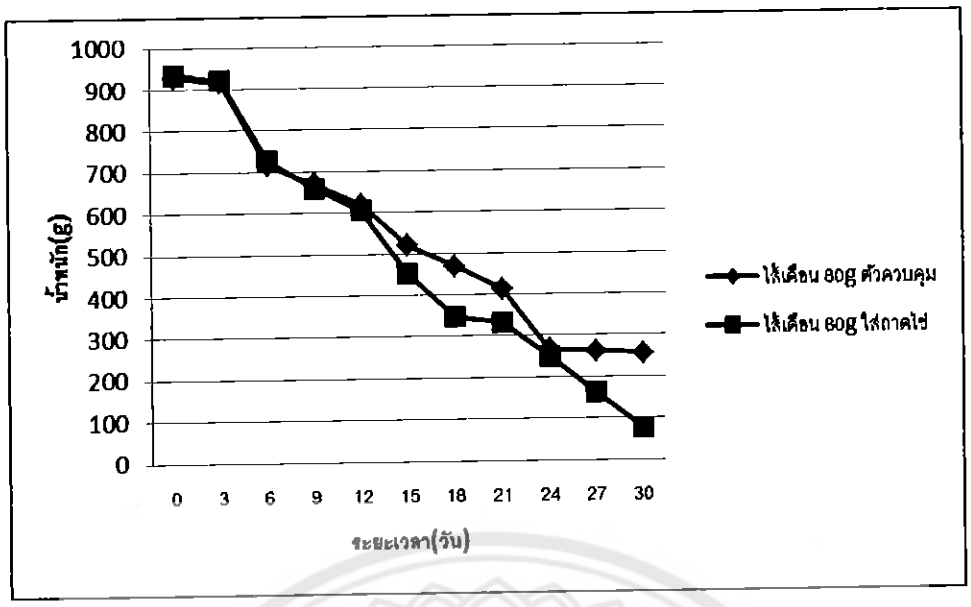
4.2 การเปลี่ยนแปลงของขยะเศษอาหาร

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักขยะเศษอาหาร

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณขยะมีการลดลงทุกวัน แรกเริ่มต้นอยู่ที่ 1000 กรัม จากนั้น ขยะค่อยๆลดลงตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า สุดท้ายอาหารมีการลดลงจนใกล้หมด ดังแสดงให้เห็นในกราฟ



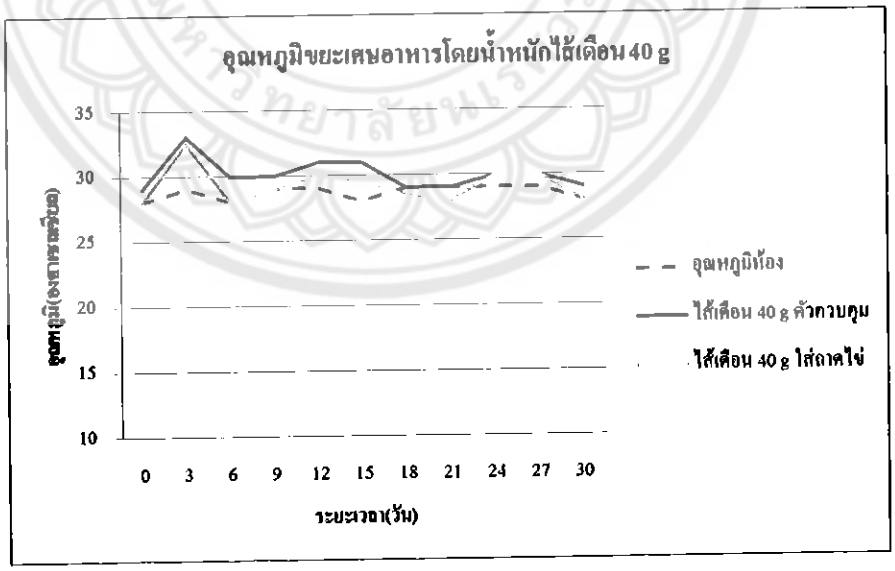
รูปที่4.5 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักขยะเศษอาหารโดยน้ำหนักไส้เดือน 40 กรัม



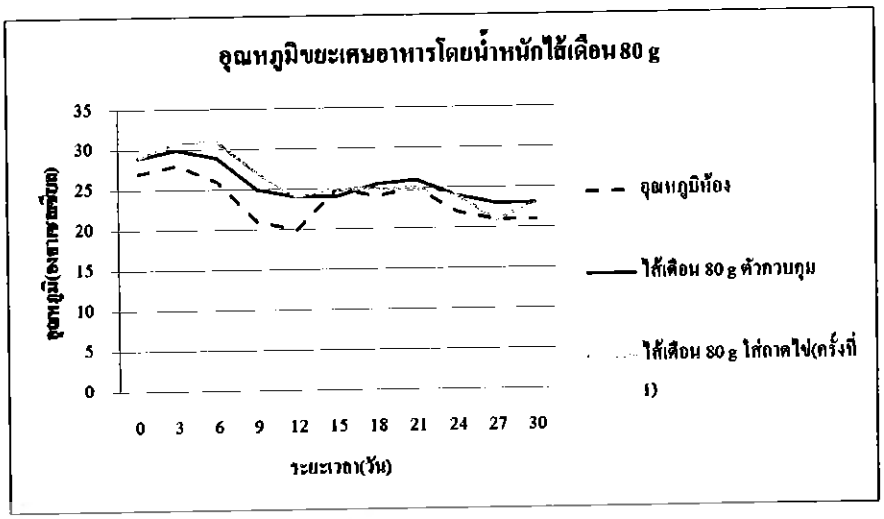
รูปที่4.6 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักขยะเศษอาหารโดยน้ำหนักไส้เดือน 80 กรัม

4.2.2 อุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองหมักของการทดลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกันในทุกการทดลองคือ ลักษณะเพิ่มขึ้นมากกว่าอุณหภูมิห้องประมาณ 3-4 องศาเซลเซียล ในช่วง 3วันแรก หลังจากนั้นอุณหภูมิในกองหมักจะค่อยๆลงลดอย่างต่อเนื่อง จนใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องไปสิ้นสุดการทดลอง



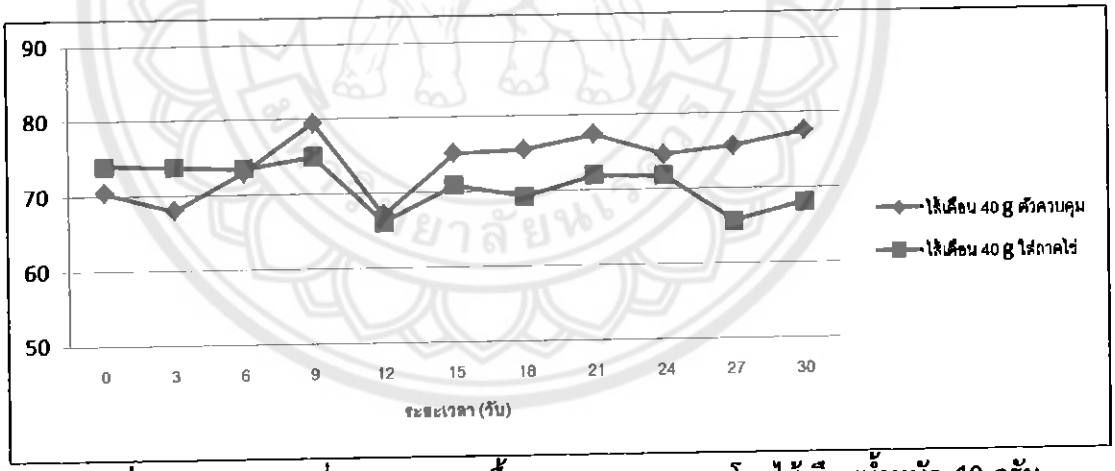
รูปที่4.7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขยะเศษอาหารโดยน้ำหนักไส้เดือน 40 กรัม



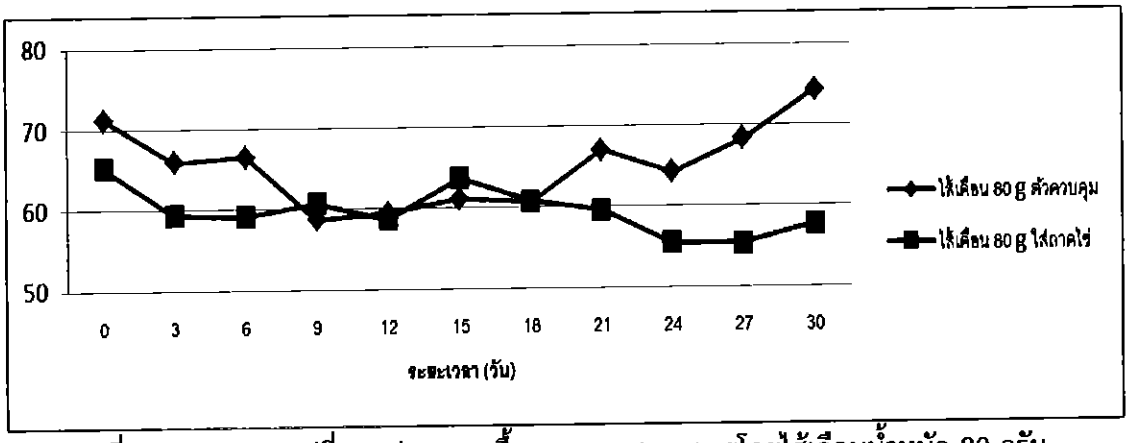
รูปที่4.8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขยะเศษอาหารโดยน้ำหนักไส้เดือน 80 กรัม

4.2.3 ความชื้น

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าความชื้นในขยะเศษอาหาร เริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 60-70 และหลังจากนั้นค่าก็มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ เป็นเวลาเดียวกับที่อุณหภูมิขึ้นสูงเนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์



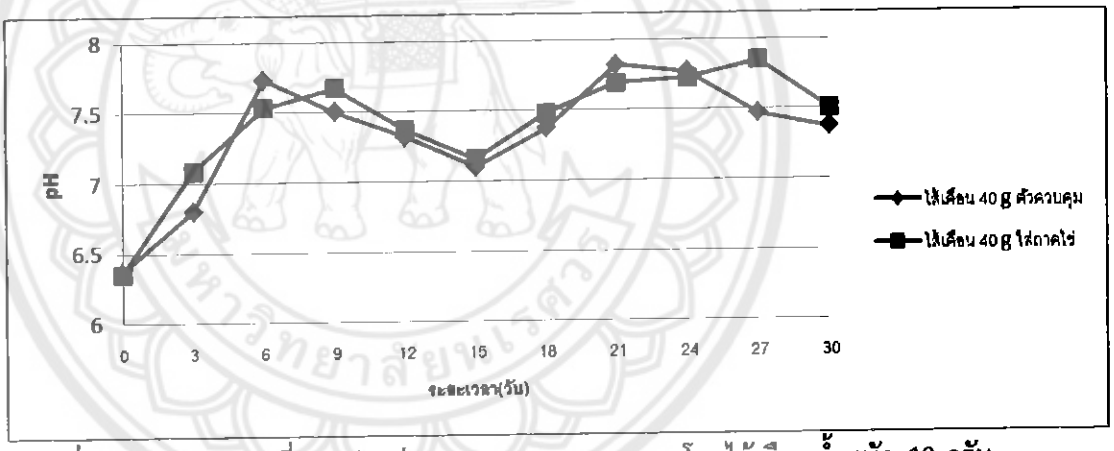
รูปที่4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของขยะเศษอาหารโดยไส้เดือนน้ำหนัก 40 กรัม



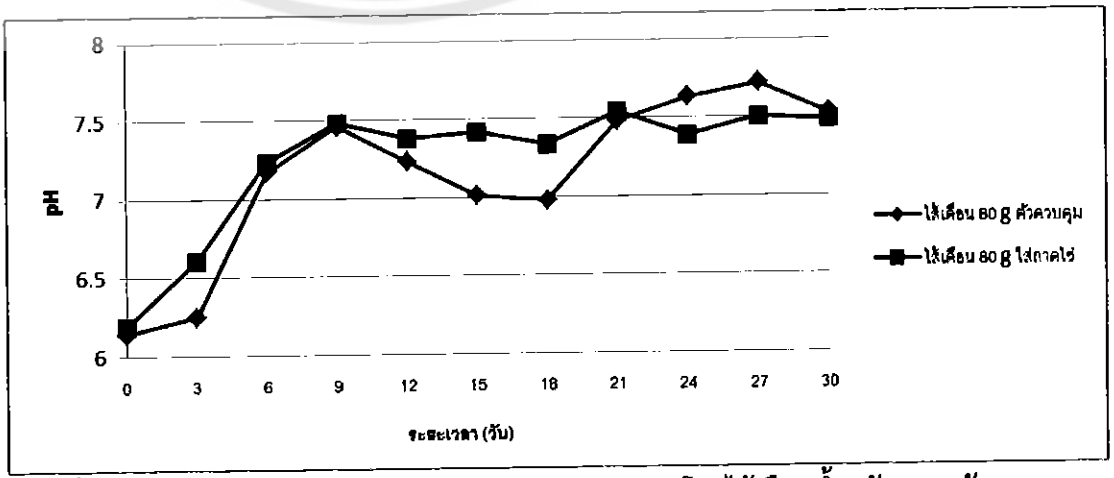
รูปที่4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของขยะเศษอาหารโดยไส้เดือนน้ำหนัก 80 กรัม

4.2.4 pH

ค่าพีเอชภายในกองหมักมีค่าคล้ายคลึงกันในทุกทดลองคือประมาณ 6.0 ที่มีสภาพเป็นกรดอ่อนซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากขยะอาหารที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นขยะเศษอาหารจริง หลังจากนั้นจะค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าพีเอชเฉลี่ยอยู่ที่ 7.5

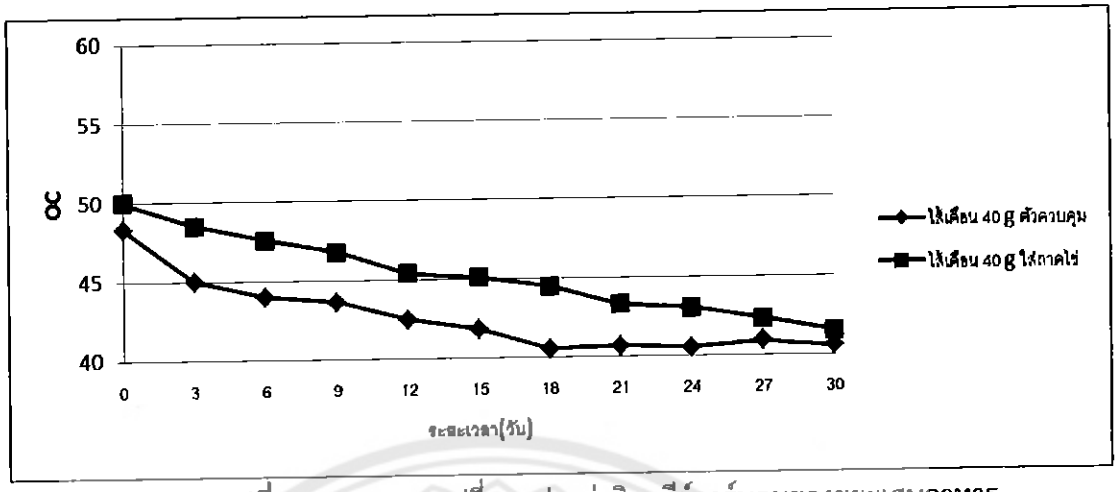


รูปที่4.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของขยะเศษอาหารโดยไส้เดือนน้ำหนัก 40 กรัม

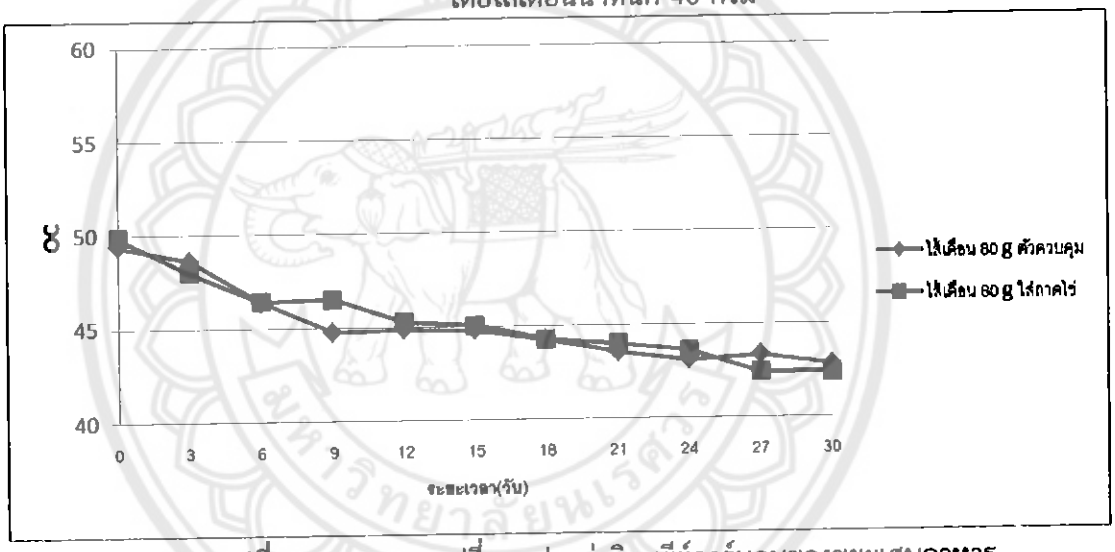


รูปที่4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของขยะเศษอาหารโดยไส้เดือนน้ำหนัก 80 กรัม

4.2.5 ค่าอินทรีย์คาร์บอน

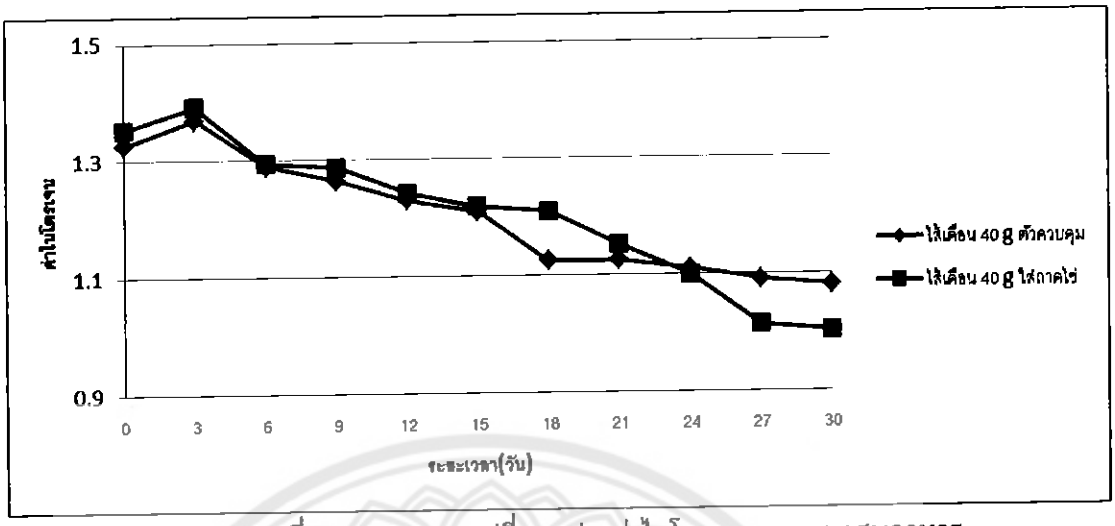


รูปที่4.13 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอินทรีย์คาร์บอนของขยะเศษอาหาร
โดยไส้เดือนน้ำหนัก 40 กรัม

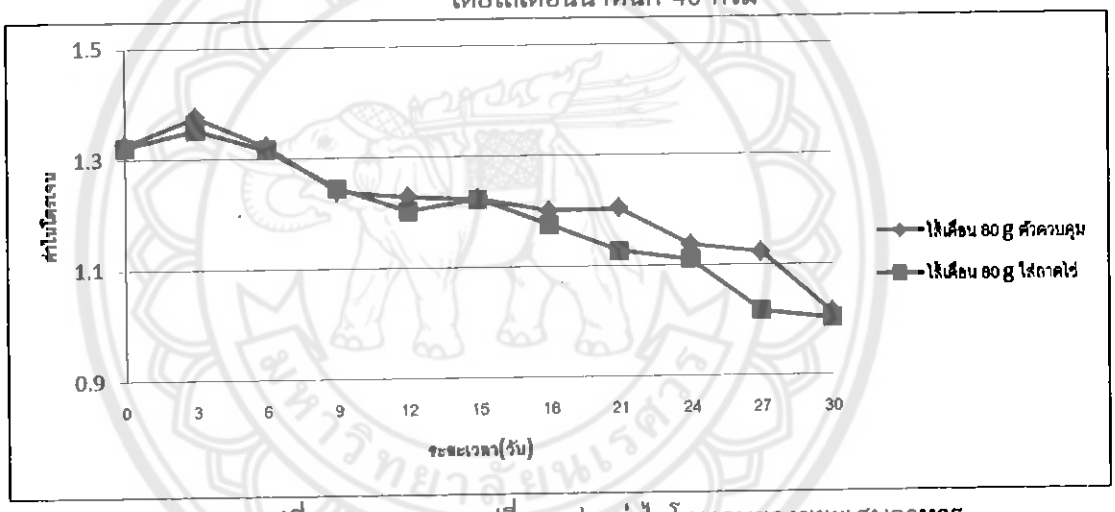


รูปที่4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอินทรีย์คาร์บอนของขยะเศษอาหาร
โดยไส้เดือนน้ำหนัก 80 กรัม

4.2.6 ค่าไนโตรเจนทั้งหมด



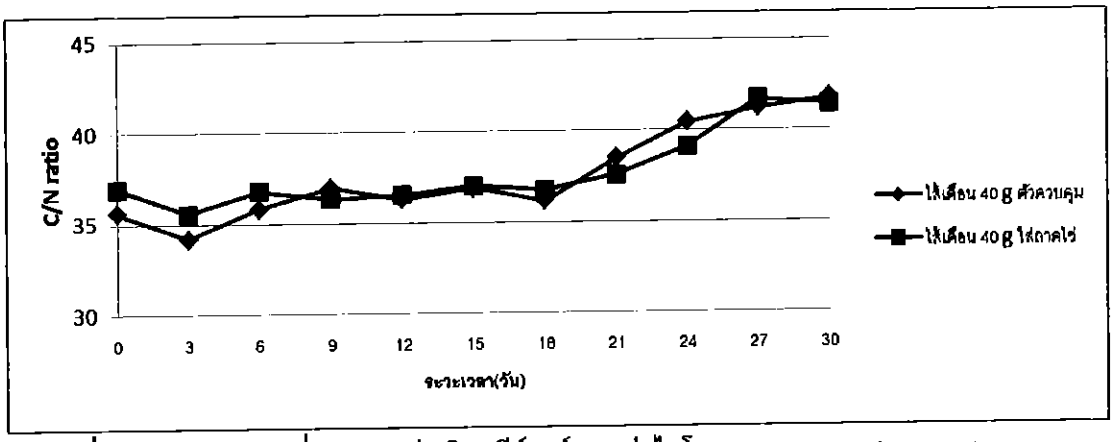
รูปที่4.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าไนโตรเจนของขยะเศษอาหาร
โดยไส้เดือนน้ำหนัก 40 กรัม



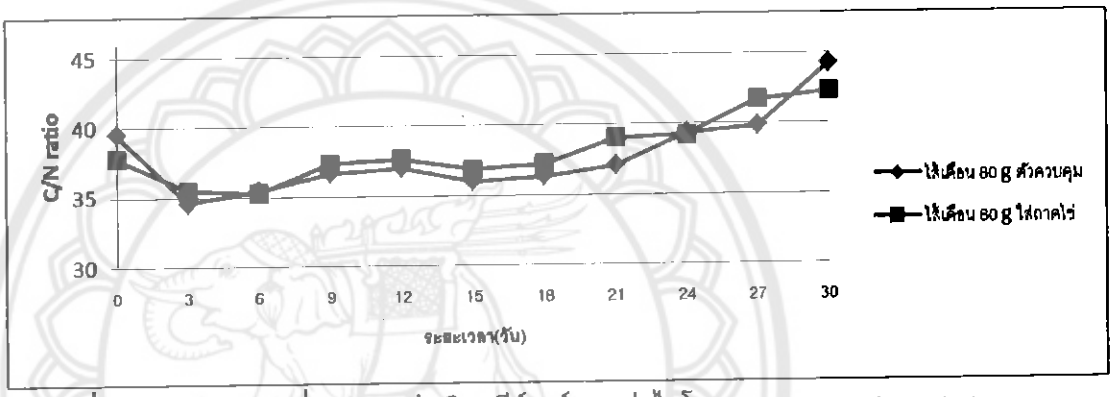
รูปที่4.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าไนโตรเจนของขยะเศษอาหาร
โดยไส้เดือนน้ำหนัก 80 กรัม

4.2.7 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตเจน

สำหรับการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ของขยะเศษอาหาร ซึ่งพบว่าค่า C/N ของทุกการทดลอง มีค่าลดลงในช่วง 3 วันแรก ซึ่งกล่องปฏิกิริยาที่มีการใช้การทดลองควบคุม ควบคุมรองรับระหว่างขยะเศษอาหารกับดินรองพื้นที่ปริมาณไส้เดือน 40และ80 กรัม เมื่อเริ่มต้นมีค่า C/N ประมาณ 35.6028และ39.5063 ตามลำดับ ส่วนกล่องปฏิกิริยาที่มีการใช้ถาดไข่รองรับระหว่างขยะเศษอาหารกับดินรองพื้นที่ปริมาณไส้เดือน 40 และ80กรัม เมื่อเริ่มต้นมีค่า C/N ประมาณ 36.9507และ 37.8164 ตามลำดับ หลังจากนั้นค่าก็เพิ่มขึ้น จนจบการทดลอง มีค่าประมาณ 41.7435, 41.3923, 44.2537 และ 42.3027 ตามลำดับ



รูปที่4.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า อินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะเศษอาหาร โดยน้ำหนักไส้เดือน 40 กรัม



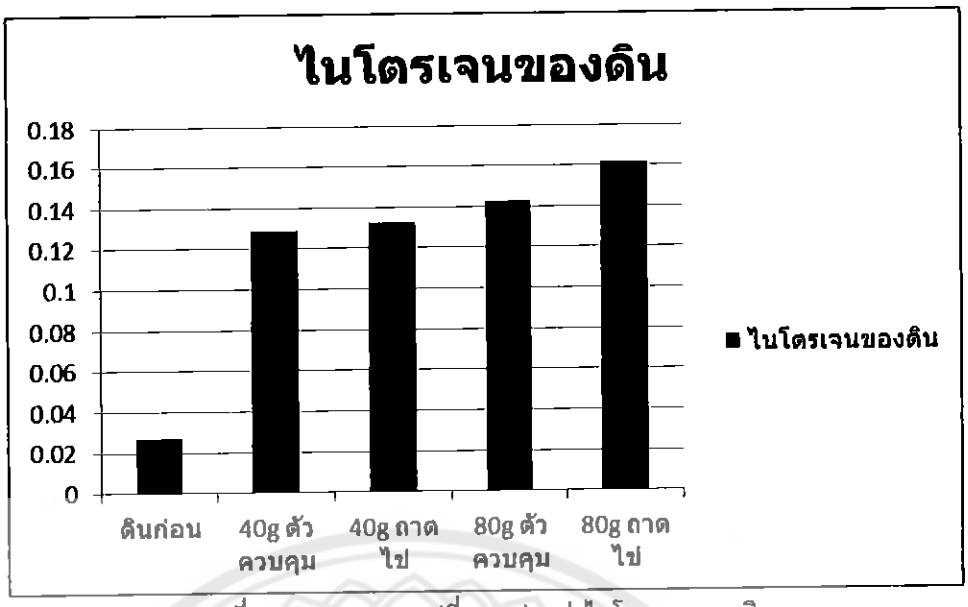
รูปที่4.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า อินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะเศษอาหาร โดยน้ำหนักไส้เดือน 80 กรัม

4.3 การเปลี่ยนธาตุอาหารต่างๆ ในดินรองพื้น

การใช้ไส้เดือน *Perionyx Excavatus*. หมักขยะเศษอาหารโดยใช้ถาดไข่เป็นชั้นรองรับขยะ สามารถเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักไนโตรเจน(N) ฟอสฟอรัส(P) และโพแทสเซียม(K) ในระยะเริ่มต้น และสิ้นสุดการทดลอง มีผลการทดลองดังนี้

4.3.1 ปริมาณไนโตรเจน

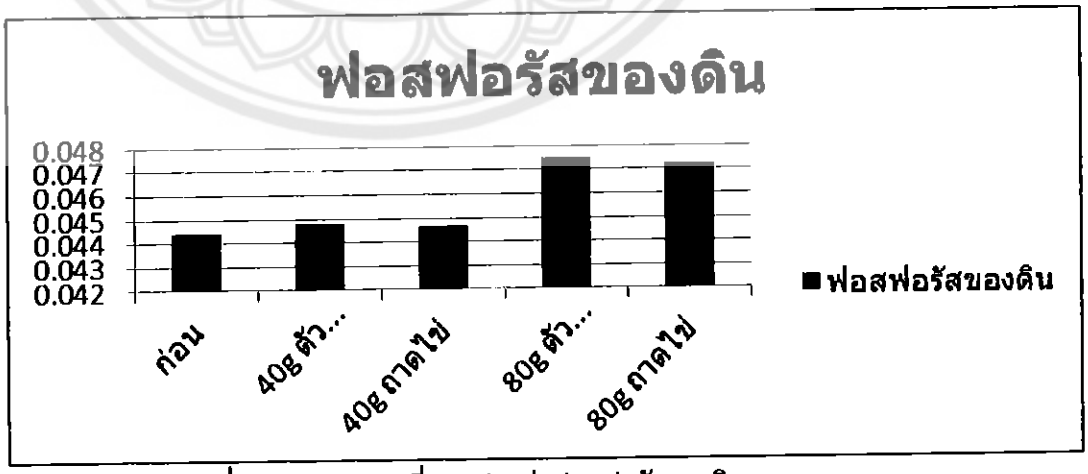
จากการทดลองพบว่าค่าอัตราส่วนไนโตรเจนเริ่มต้นอยู่ที่ 0.0271 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากเดิมส่วนการทดลองของกล่องซึ่งน้ำหนักไส้เดือน 40กรัมการทดลองควบคุม,40กรัมใส่ถาดไข่,80กรัมการทดลองควบคุมและ80กรัมใส่ถาดไข่เป็นภาชนะรองรับขยะเศษอาหารและดินรองพื้นมีไนโตรเจนสูงสุด ตามลำดับ อยู่ที่ 0.1288, 0.1326, 0.1425, 0.1620 ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากไส้เดือนกินขยะเศษอาหารเข้าไปแล้วถ่ายมูลที่มีองค์ประกอบของไนตรเจนออกมา



รูปที่4.19 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าไนโตรเจนของดิน

4.3.2 ปริมาณฟอสฟอรัส

จากการศึกษาฟอสฟอรัสในดินพบว่าดินมีค่าเริ่มต้นอยู่ที่ 0.0444 และเมื่อทำการวัดค่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจากเดิม ส่วนการทดลองของกล่องซึ่งน้ำหนักไส้เดือน 40กรัมการทดลองควบคุม,40กรัมใส่ถาดไข่,80กรัมการทดลองควบคุมและ80กรัมใส่ถาดไข่เป็นภาชนะรองรับขยะเศษอาหารและดินรองพื้นมีฟอสฟอรัสสูงสุด ตามลำดับ อยู่ที่ 0.0448, 0.0447, 0.0475, 0.0472 ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากไส้เดือนกินขยะเศษอาหารเข้าไปแล้วถ่ายมูลที่มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสออกมา



รูปที่20 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าฟอสฟอรัสของดิน

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การทดลองครั้งนี้เป็นการศึกษาการเลี้ยงไส้เดือนด้วยขยะเศษอาหาร โดยการใช้ถาดรองไข่และการทดลองควบคุมกั้นระหว่างชั้นดินกับขยะเศษอาหาร ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

การหมักขยะอินทรีย์โดยใช้ไส้เดือน *Perionyx Excavatus* โดยใช้ถาดรองไข่เป็นชั้นรองรับเศษอาหาร พบว่า ประสิทธิภาพในการหมักขยะเศษอาหารโดยใช้ถาดรองไข่รองรับขยะเศษอาหารนั้นมีประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ดี เนื่องจากถาดไข่มีส่วนหนึ่งที่เป็นช่องว่างอากาศและอีกส่วนหนึ่งสัมผัสกับดินรองพื้น จึงทำให้ไส้เดือนสามารถเข้าไปย่อยสลายขยะเศษอาหารได้ดี โดยสังเกตได้จากค่าอัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือนทุกการทดลองเทียบกับการลดลงของปริมาณขยะเศษอาหาร

5.1.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของไส้เดือน

การทดลองที่มีการใช้ถาดไข่เป็นภาชนะรองรับขยะเศษอาหารและดินรองพื้น น้ำหนักไส้เดือนมีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าการทดลองควบคุม โดยจะเห็นได้ว่าในช่วงเวลา 3 วันแรกไส้เดือนมีน้ำหนักลดลงทุกการทดลอง เนื่องจากเกิดการหมักของขยะเศษอาหาร และหลังจาก 3 วันเป็นต้นไป น้ำหนักไส้เดือนจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนสิ้นสุดการทดลอง

5.1.2 อัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือน

ไส้เดือนมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น โดยน้ำหนักไส้เดือนปริมาณ 40 ,80 กรัม โดยใช้การทดลองควบคุมรองรับระหว่างขยะเศษอาหารกับดินรองพื้น ไส้เดือนมีอัตราการเจริญเติบโตเป็น 0.2975 และ 0.2462 กรัม/วัน และพบว่าการใช้ถาดไข่รองรับระหว่างขยะเศษอาหารกับดินรองพื้น ไส้เดือนมีอัตราการเจริญเติบโตเป็น 0.7200 และ 0.7647 กรัม/วัน โดยน้ำหนักไส้เดือนที่มีการใช้ถาดไข่มีอัตราการเจริญเติบโตมากกว่าการทดลองควบคุมเป็นผลมาจากถาดไข่มีลักษณะที่มีส่วนสัมผัสกับดินเยอะจึงทำให้ไส้เดือนสามารถเข้าไปกินขยะได้ดี จากผลการทดลองพบว่า การหมักขยะเศษอาหารโดยใช้ไส้เดือนสามารถย่อยสลายได้ดีกว่าการทดลองควบคุม

5.1.3 องค์ประกอบคาร์บอน องค์ประกอบไนโตรเจน และค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

สำหรับการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ของขยะเศษอาหาร ซึ่งพบว่าค่า C/N ของทุกการทดลอง มีค่าลดลงในช่วง 3 วันแรก ซึ่งกล่องปฏิกิริยาที่มีการใช้การทดลองควบคุมรองรับระหว่างขยะเศษอาหารกับดินรองพื้นที่ปริมาณไส้เดือน 40และ80 กรัม เมื่อเริ่มต้นมีค่า C/N ประมาณ 35.6028และ39.5063 ตามลำดับ ส่วนกล่องปฏิกิริยาที่มีการใช้ถาดไข่รองรับระหว่างขยะเศษอาหารกับดินรองพื้นที่ปริมาณไส้เดือน 40 และ80กรัม เมื่อเริ่มต้นมีค่า C/N ประมาณ 36.9507 และ 37.8164 ตามลำดับ หลังจากนั้นค่าก็เพิ่มขึ้น จนจบการทดลอง มีค่าประมาณ 41.7435, 41.3923, 44.2537 และ 42.3027 ตามลำดับ พบว่า ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในช่วงแรก

จุลินทรีย์จะย่อยสลายขยะเศษอาหารก่อนจึงทำให้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มีค่าลดลง และหลังจากนั้นไส้เดือนจะย่อยสลายขยะที่ย่อยได้ง่ายก่อนจนเหลือกระดาษ(C/N สูง) ที่ย่อยยากค่า C/N จึงเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองที่ผ่านมา

5.1.4 องค์ประกอบฟอสฟอรัส

จากการศึกษาฟอสฟอรัสในดินพบว่าดินมีค่าเริ่มต้นอยู่ที่ 0.0444 และเมื่อทำการวัดค่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจากเดิม ส่วนการทดลองของกล่องซึ่งน้ำหนักไส้เดือน 40กรัมการทดลองควบคุม,40กรัมใส่ถาดไข่,80กรัมการทดลองควบคุมและ80กรัมใส่ถาดไข่เป็นภาชนะรองรับขยะเศษอาหารและดินรองพื้นมีฟอสฟอรัสสูงสุด ตามลำดับ อยู่ที่ 0.0448, 0.0447, 0.0475, 0.0472 ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากไส้เดือนกินขยะเศษอาหารเข้าไปแล้วถ่ายมูลที่มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสออกมา

5.1.5 อุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองหมักของการทดลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกันในทุกการทดลองคือ ลักษณะเพิ่มขึ้นมากกว่าอุณหภูมิห้องประมาณ 3-4 องศาเซลเซียล ในช่วง 3วันแรก เป็นเพราะในช่วง 3 วันแรก จุลินทรีย์ในขยะเศษอาหารมีการย่อยสลายเกิดขึ้น หลังจากนั้นอุณหภูมิในกองหมักจะค่อยๆลงลดอย่างต่อเนื่อง จนใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องไปสิ้นสุดการทดลอง

5.1.6 pH

ค่าพีเอชภายในกองหมักมีค่าคล้ายคลึงกันในทุกทดลองคือประมาณ 6.0 ที่มีสภาพเป็นกรดอ่อนซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากขยะอาหารที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นขยะเศษอาหารจริง หลังจากนั้นจะค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าพีเอชเฉลี่ยอยู่ที่ 7.5

5.1.7 ความชื้น

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าความชื้นในขยะเศษอาหาร เริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 60-70 และหลังจากนั้นค่าก็มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ เป็นเวลาเดียวกับที่อุณหภูมิขึ้นสูงเนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาการใช้วัสดุหมักร่วม (bulking agent) ชนิดอื่นๆ เพื่อการปรับปรุงคุณภาพของปริมาณธาตุอาหารให้มีปริมาณสูงขึ้น

5.2.2 ปรับปรุงภาชนะหมักเศษอาหาร ให้มีการระบายอากาศที่ดี

5.2.3 จากผลการทดลองการใช้ไส้เดือนในการหมักขยะเศษอาหาร พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดินรองพื้น ทำให้ทราบว่ามูลของไส้เดือนมีความเข้มข้นของปริมาณธาตุอาหารสูงและมีคุณสมบัติในการปรับปรุงคุณภาพดิน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการเกษตรได้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

ธเรศ ศรีสถิตย์. (2553). วิศวกรรมการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพ

มัลลิกา ปัญญาคะโป. (2544). การจัดการของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม,นครปฐม : ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

อดิศักดิ์ ทองไข่มุกต์ และคณะ (2541) การจัดการขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล. กรุงเทพฯ : กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ (2552). คู่มือการทำปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอย. กรุงเทพฯ : ส่วนขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

สุธรรม ประทุมสวัสดิ์. เทศนิคการทำปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์(comsting) : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ.

คู่มือประชาชน การคัดแยกขยะมูลฝอยอย่างถูกวิธีและเพิ่มมูลค่า กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พิมพ์ครั้งที่ 1 ปีที่พิมพ์ 2553 .

Horisawa,S. et al. (1993). Biodegradation of non-lignocellulosic substances II : The physical properties and detenoration of sawdust as an artificial soil, Morioka, Japan Wood Research Society. pp.11-17

อานัฐ ตันโช (2543). การทำปุ๋ยหมักจากขยะโดยใช้ไส้เดือนดิน. เชียงใหม่ : คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ขวัญทิพา ปานเดชา. (2549) การหมักขยะอินทรีย์สังเคราะห์โดยใช้ไส้เดือน Perionyx excavatus พิษณุโลก: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

เกษมศรี ซับซ้อน. (2529). คู่มือการวิเคราะห์ดิน พืช ปุ๋ย และน้ำ. กรุงเทพฯ: กองวิทยาลัยเกษตรกรรม กระทรวงศึกษาธิการ.

อุษา วิเศษสุมน. (2537). เทคโนโลยีการจัดการด้านขยะและกากเป็นพิษ. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สามารถ ใจเตี้ย. (2546). ระดับไนโตรเจนที่มีผลต่อการผลิตปุ๋ยหมักที่ผลิตจากมูลไส้เดือนดิน. เชียงใหม่: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

อัมพร วัฒนชัยเสรีกุล. (2542) .การผลิตปุ๋ยหมักชีวภาพโดยใช้ไส้เดือนดิน. เชียงใหม่: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

นภาพร พิฬารัตน์. (2548). การหมักขยะในตู้ลิ้นชักโดยใช้ไส้เดือนสายพันธุ์ Perionyx excavates. พิษณุโลก : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาลัยนเรศวร.

Chaudhuri,P.S. and Gautam Bhattacharjee. (2002). Capacity of various experimental diet to support biomass and reproduction of Perionyx excavatus. Bioresource Techology. 82(2). 147-150.

Ndegwa,P.M.& S.A.,Thomson. (2000). Effects of C-to-N ratio on vermicomposting of biosolids. Bioresource Techology. 75(1). 7-12.

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักไส้เดือน 40 กรัม

วันที่	การทดลองควบคุม	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่(ซ้ำ)
0	40	40.5	40.21
3	39.7765	37.3814	37.72
6	38.5838	41.158	39.7
9	41.5059	44.3303	44.42
12	41.3891	46.1514	48.62
15	44.431	49.022	48.43
18	45.1367	41.6825	52.96
21	44.5091	44.0903	53.08
24	47.1393	39.8708	53.61
27	47.3182	48.8459	52.03
30	46.7257	50.2125	51.91

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักไส้เดือน 80 กรัม

วันที่	การทดลองควบคุม	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่(ซ้ำ)
0	80.28	80.65	80.12
3	71.33	78.0471	70.29
6	70.44	85.258	79.15
9	71.9	86.8	80.14
12	75.27	90.79	82.39
15	81.12	93.44	89.5
18	82.24	93.14	89.65
21	85.17	95.92	91.08
24	84.56	94.4	91.62
27	84.8244	90.58	95.05
30	83.4692	90.75	94.74

ตารางที่ 3 อัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือน

วันที่	ไส้เดือนน้ำหนัก 40 กรัม		ไส้เดือนน้ำหนัก 80 กรัม	
	การทดลองควบคุม	ถาดไข่	การทดลองควบคุม	ถาดไข่
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	-0.0745	-0.7600	-2.8900	-1.9438
6	-0.2360	-0.0500	-1.5933	0.3673
9	0.1673	0.4911	-0.9000	0.3856
12	0.1158	0.7183	-0.3942	0.5492
15	0.2954	0.5620	0.0747	0.7647
18	0.2854	0.7200	0.1244	0.6331
21	0.2147	0.6229	0.2462	0.6429
24	0.2975	0.5671	0.1900	0.5421
27	0.2710	0.4456	0.1787	0.4746
30	0.2242	0.3970	0.1156	0.4248

ตารางที่ 4 น้ำหนักขยะเศษอาหารโดยไส้เดือนน้ำหนัก 40 กรัม

วันที่	การทดลองควบคุม	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่(ซ้ำ)
0	929.5733	925.9672	925.2627
3	911.9681	896.2152	896.2152
6	757.0641	696.5264	696.5264
9	700.5281	645.0182	645.0181
12	612.9337	453.8615	453.8614
15	504.8424	399.0937	399.0937
18	404.4513	350.6775	350.6774
21	402.5492	348.0156	348.0156
24	355.3503	198.1898	198.1898
27	304.2783	154.3778	154.3778
30	172.3928	101.8889	36.8889

ตารางที่ 5 น้ำหนักขยะเศษอาหารโดยไส้เดือนน้ำหนัก 80 กรัม

วันที่	การทดลองควบคุม	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่(ซ้ำ)
0	928.7869	934.7221	934.7221
3	914.0994	919.1626	922.2014
6	713.4651	715.9210	735.7170
9	671.2803	616.8590	701.7480
12	620.5649	621.6152	591.1019
15	518.8478	517.1443	385.4578
18	469.3089	372.9497	320.5007
21	413.0122	371.4626	294.2827
24	265.7245	273.7518	225.2071
27	261.7181	272.0333	52.1765
30	255.7105	117.4575	37.0398

ตารางที่ 6 อุณหภูมิของขยะเศษการทดลองน้ำหนักไส้เดือน 40 กรัม

วันที่	อุณหภูมิห้อง	การทดลองควบคุม	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่(ซ้ำ)
0	28	29	29	27
3	29	33	33	32
6	28	30	30	26
9	29	30	31	27
12	29	31	31	29
15	28	31	30	29
18	29	29	29	28
21	29	29	29	27
24	29	30	30	30
27	29	30	30	30
30	28	29	28	28

ตารางที่ 7(ก) อุณหภูมิของขยะเศษอาหารการทดลองน้ำหนักไส้เดือน 80 กรัม

วันที่	อุณหภูมิห้อง	การทดลองควบคุม	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่
0	27	29	29
3	28	30	31
6	26	29	31
9	21	25	27
12	20	24	24
15	25	24	25
18	24	25.5	25
21	25	26	25
24	22	24	24
27	21	23	21
30	21	23	23

ตารางที่ 7(ข) อุณหภูมิของขยะเศษอาหารการทดลองน้ำหนักไส้เดือน 80 กรัม

วันที่	อุณหภูมิห้อง	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่(ซ้ำ)
0	33	34
3	32	39
6	33	35
9	31.5	34
12	30	34
15	31	32
18	28	28
21	31	29
24	34.5	31
27	30	30
30	30	31

ตารางที่ 8 ความชื้นของขยะเศษอาหารโดยไส้เดือนน้ำหนัก 40 กรัม

วันที่	การทดลองควบคุม	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่(ซ้ำ)
0	70.4267	74.0328	74.7373
3	68.0319	73.7848	73.7848
6	72.9359	73.4736	73.4736
9	79.4719	74.9819	74.9819
12	67.0663	66.1386	66.1386
15	75.1576	70.9063	70.9063
18	75.5487	69.3226	69.3226
21	77.4508	71.9844	71.9844
24	74.6497	71.8102	71.8102
27	75.7217	65.6223	65.6222
30	77.6072	68.1111	68.1111

ตารางที่ 9 ความชื้นของขยะเศษอาหารโดยไส้เดือนน้ำหนัก 80 กรัม

วันที่	การทดลองควบคุม	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่(ซ้ำ)
0	65.2779	65.2779	65.2779
3	60.8374	57.7986	59.3180
6	64.0790	54.2830	59.1810
9	63.1410	58.2520	60.6965
12	58.3848	58.8981	58.6415
15	62.8557	64.5422	63.6990
18	57.0503	64.4993	60.7748
21	58.5374	60.7173	59.6274
24	56.2482	54.7929	55.5206
27	57.9667	52.8235	55.3951
30	62.5425	52.9602	57.7513

ตารางที่ 10 pH ของขยะเศษอาหารโดยน้ำหนักไส้เดือน 40 กรัม

วันที่	การทดลองควบคุม	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่(ซ้ำ)
0	6.37	6.39	6.32
3	6.8	7.44	6.73
6	7.73	7.72	7.35
9	7.5	7.83	7.51
12	7.32	7.49	7.25
15	7.1	7.14	7.18
18	7.37	7.5	7.46
21	7.82	7.72	7.66
24	7.77	7.86	7.59
27	7.47	7.92	7.78
30	7.37	7.58	7.43

ตารางที่ 11 pH ของขยะเศษอาหารโดยน้ำหนักไส้เดือน 80 กรัม

วันที่	การทดลองควบคุม	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่(ซ้ำ)
0	6.14	6.17	6.21
3	6.25	6.58	6.63
6	7.17	7.19	7.28
9	7.46	7.48	7.48
12	7.23	7.21	7.55
15	7.01	7.2	7.63
18	6.98	7.15	7.52
21	7.48	7.34	7.74
24	7.63	7.28	7.49
27	7.72	7.38	7.63
30	7.53	7.42	7.55

ตารางที่ 12 อินทรีย์คาร์บอนของขยะเศษอาหารโดยไส้เดือนน้ำหนัก 40 กรัม

วันที่	การทดลองควบคุม	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่(ซ้ำ)
0	48.3076	50.0422	49.9470
3	44.9693	49.2522	47.7517
6	43.9782	48.5302	46.6587
9	43.5986	46.9352	46.6587
12	42.4521	45.9367	44.8353
15	41.8024	44.2632	45.8941
18	40.5069	43.7442	45.2333
21	40.6468	43.0263	43.5758
24	40.5182	42.7942	43.2889
27	40.8924	42.1564	42.4357
30	40.5483	41.9532	41.0765

ตารางที่ 13 อินทรีย์คาร์บอนของขยะเศษอาหารโดยไส้เดือนน้ำหนัก 80 กรัม

วันที่	การทดลองควบคุม	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่(ซ้ำ)
0	49.3857	49.3857	50.3661
3	48.6290	47.9143	48.0543
6	46.3845	45.3088	47.5433
9	44.7367	45.7277	47.2983
12	44.8459	44.3076	46.1931
15	44.7722	44.1103	46.0010
18	44.2366	43.9637	44.5752
21	43.5222	43.7395	44.2069
24	43.0725	42.9527	44.2574
27	43.3210	42.5792	42.2225
30	42.7964	42.4825	42.2995

ตารางที่ 14 ไนโตรเจนของขยะเศษอาหารโดยไส้เดือนน้ำหนัก 40 กรัม

วันที่	การทดลองควบคุม	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่(ซ้ำ)
0	1.3252	1.3436	1.3626
3	1.3698	1.3854	1.3988
6	1.2891	1.3064	1.2821
9	1.2645	1.2964	1.2797
12	1.2299	1.2498	1.2355
15	1.2101	1.2260	1.2101
18	1.1250	1.2053	1.2150
21	1.1247	1.1742	1.1312
24	1.1107	1.0976	1.1042
27	1.0911	1.0103	1.0188
30	1.0815	1.0053	1.0006

ตารางที่ 15 ไนโตรเจนของขยะเศษอาหารโดยไส้เดือนน้ำหนัก 80 กรัม

วันที่	การทดลองควบคุม	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่(ซ้ำ)
0	1.3260	1.3310	1.3120
3	1.3753	1.3649	1.3383
6	1.3219	1.3040	1.3277
9	1.2387	1.2085	1.2819
12	1.2274	1.1983	1.2062
15	1.2236	1.2300	1.2155
18	1.2000	1.2033	1.1480
21	1.2030	1.1215	1.1316
24	1.1361	1.1024	1.1195
27	1.1226	1.0235	1.0100
30	1.0123	1.0020	1.0021

ตารางที่ 16 อินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะเศษอาหารโดยน้ำหนักไส้เดือน 40 กรัม

วันที่	การทดลองควบคุม	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่(ซ้ำ)
0	35.6028	37.2449	36.6564
3	34.1687	35.5509	35.5670
6	35.8124	37.1480	36.3913
9	36.9360	36.2043	36.4617
12	36.2857	36.7552	36.2887
15	36.8812	36.1038	37.9258
18	36.1455	36.2932	37.2287
21	38.4683	36.6431	38.5231
24	40.4359	38.9889	39.2040
27	41.1869	41.7266	41.6530
30	41.7435	41.7320	41.0525

ตารางที่ 17 อินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะเศษอาหารโดยน้ำหนักไส้เดือน 80 กรัม

วันที่	การทดลองควบคุม	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่	การทดลองโดยใช้ถาดลองไข่(ซ้ำ)
0	39.5063	37.2439	38.3888
3	34.5834	35.1043	35.9079
6	35.4369	34.7468	35.8098
9	36.6821	37.8380	36.8969
12	36.9776	36.9742	38.2950
15	36.0216	35.8620	37.8438
18	36.3635	35.6440	38.8273
21	37.0924	39.0009	39.0661
24	39.3669	38.9633	39.5337
27	39.8362	41.6027	41.8036
30	44.2537	42.3969	42.2106