

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรและอิทธิพลต่อการลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดิน

1. ระยะเวลาและการทดลอง

ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง เริ่มทำการศึกษการวิจัยเดือนตุลาคม 2551 โดยเก็บตัวอย่างเก็บกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตร (กากขี้ดริก) และดินทราย (ชุดดินน้ำพอง) ดินเหนียว (ชุดดินพิมาย) และเตรียมสัตว์ที่ใช้ในการทดลอง (ไส้เดือนดิน) โดยนำมาคัดเลือกและวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย โดยวิธีการทดลองโดยการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) โดยการหมักในภาชนะพลาสติก (pot incubation experiment) และทำการทดลองนิเวศพืชวิทยาของกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรต่อสิ่งมีชีวิตในดินและศึกษการนำกากของเสียมาใช้ประโยชน์ ที่ห้องปฏิบัติการนิเวศพืชวิทยาและสิ่งแวดล้อม หมวดดินและปุ๋ย สาขาวิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และห้องวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เสร็จสิ้นการทดลองในเดือนตุลาคม 2552 รวมระยะเวลาในการศึกษา 12 เดือน และนำตัวอย่างดิน ไส้เดือนดิน มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีบางประการ ภายในห้องปฏิบัติการวิจัย สาขาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

2. แผนการทดลอง

แผนการทดลองในการวิจัยครั้งนี้ เพื่อให้สามารถบรรลุตามวัตถุประสงค์ การวางแผนโดยการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และปุ๋ยหมักที่ไม่มีไส้เดือนดิน (Compost) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) มี 3 ซ้ำ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

2.1 การศึกษาเบื้องต้นต่อความเป็นไปได้ในการใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรและอิทธิพลต่อการลดการปนเปื้อนแคดเมียมในชุดดินน้ำพองโดยการใช้กากอุตสาหกรรมการเกษตรเพื่อศึกษาหาความเข้มข้นที่สิ่งมีชีวิตอยู่รอดได้ โดยปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย ชุดดินน้ำพอง (Ng), กากขี้ดริก และมูลวัว รวมเป็นปุ๋ยที่หมักทุกหน่วยการทดลองโดยการทำเป็นปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม 6 ระดับ โดยมีระยะเวลาในการหมักหรือบ่ม 2 ช่วง (0, 15 วัน) รวมทั้งหมด 36 หน่วยทดลอง ดังแสดงในแผนภาพที่ 10 และตารางที่ 8 หน่วยงานทดลองภายในเรือนทดลอง

2.2 การทดลองในช่วงที่ 2 แผนการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากตะกอนอุตสาหกรรมการเกษตรและอิทธิพลต่อการลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดินโดยใช้กากอุตสาหกรรมการเกษตรเปรียบเทียบกับระหว่างชุดดิน โดยปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย 2 ชุดดิน (1) ชุดดินน้ำพอง (Ng) ตัวแทนดินทราย (Sand) (2) ชุดดินพินาย (Pm) ตัวแทนดินเหนียว (Clay) โดยใช้กากอุตสาหกรรมการเกษตร (กากซิตริก) และมูลวัว รวมเป็นปุ๋ยหมักทุกหน่วยการทดลองโดยการทำเป็นปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม 2 ระดับ โดยมีระยะเวลาในการหมักหรือบ่ม 4 ช่วง (0, 15, 30, 60 วัน) รวมทั้งหมด 48 หน่วยทดลอง วางหน่วยทดลองภายในเรือนทดลองดังแสดงในแผนภาพที่ 11 และตารางที่ 9

2.3 การทดลองในช่วงที่ 3 แผนการทดลองศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของกากอุตสาหกรรมการเกษตรต่อความเป็นไปได้ในการใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากตะกอนอุตสาหกรรมการเกษตรและอิทธิพลต่อการลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดิน โดยใช้กากอุตสาหกรรมการเกษตรเพื่อศึกษาการใช้กากอุตสาหกรรมการเกษตร (กากซิตริก) ในการจัดการดินปนเปื้อนแคดเมียมโดยปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย 2 ชุดดิน (1) ชุดดินน้ำพอง (Ng) ตัวแทนดินทราย (Sand) (2) ชุดดินพินาย (Pm) ตัวแทนดินเหนียว (Clay) ที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม โดยใช้กากอุตสาหกรรมการเกษตร (กากซิตริก) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (0, 100, 200, 400, 600 กรัม ต่อหน่วยการทดลอง) รวมเป็นปุ๋ยหมักทุกหน่วยการทดลองโดยการทำเป็นปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) โดยมีระยะเวลาในการหมักหรือบ่ม 4 ช่วง (0, 15, 30, 60 วัน) รวมทั้งหมด 120 หน่วยทดลอง วางหน่วยทดลองภายในเรือนทดลองดังแสดงในแผนภาพที่ 12 และตารางที่ 10

3. วิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 การทดลองในเรือนทดลอง

ส่วนที่ 1 (แผนภาพการทดลองที่ 1) กล่องพลาสติกขนาด 500 มิลลิเมตร กว้าง*ยาว*สูง

ส่วนที่ 2 (แผนภาพการทดลองที่ 2 และ 3) กระจกพลาสติกสีดำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27.5 เซนติเมตร ความสูง 24.5 เซนติเมตร

สำหรับวัสดุทดลองที่ใช้ได้แก่ ดินทราย ที่ใช้ในการทดสอบคือ ชุดดินน้ำพอง (Ng) เป็นดินทรายชั้นบนสุดเก็บที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร, ดินเหนียว ที่ใช้ในการทดสอบคือ ชุดดินพินาย (Pm) เป็นดินเหนียวเก็บที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร, กากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ กากซิตริก (Citric acid waste) ของเสียจากการผลิตกรดซิตริกโดยใช้กากมันสำปะหลัง (Pulp Cassava) เป็นวัตถุดิบในการผลิต และมูลวัว (Cow dung) และสิ่งมีชีวิตที่ใช้ในการทดสอบ คือ ไส้เดือนดินพันธุ์ *Eudrillus eugeniae* ชื่อสามัญ African Night Crawler

3.2 การเตรียมวัสดุทดลอง

3.2.1 ดินทราย เก็บดินทรายชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร จากบ้านช้างงาน ตำบลสำราญ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ที่ไม่มีการปนเปื้อนแคดเมียม นำดินที่ได้มาตากในที่ร่มและแห้ง นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร โดยทำการแบ่งดินออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 นำมาชั่งน้ำหนักเพื่อเตรียมการผสมกับวัสดุอื่นๆ ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่ใช้ในการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ

3.2.2 ดินเหนียว เก็บดินเหนียวชุดดินพิมาย (Pm) ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร จากบ้านบึงเป้ง ตำบลท่ากระเสริม อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น ที่ไม่มีการปนเปื้อนแคดเมียม นำดินที่ได้มาตากในที่ร่มและแห้งและทุบให้ละเอียด นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร โดยทำการแบ่งดินออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 นำมาชั่งน้ำหนักเพื่อเตรียมการผสมกับวัสดุอื่นๆ ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่ใช้ในการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ

3.2.3 กากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตร ได้แก่ กากซิตริก (Citric acid waste) และมูลวัว (Cow dung) โดยเก็บตัวอย่างกากซิตริกจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตกรดซิตริก จังหวัดสมุทรสาครและมูลวัวจากฟาร์มเกษตรกรในพื้นที่ใกล้เคียงบริเวณทำการศึกษา โดยนำกากซิตริก และมูลวัว ที่ได้มาตากแดดให้แห้งเพื่อเป็นการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย พยาธิ ที่ทำให้เกิดโรค นำมาบดและทุบให้ละเอียด นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร โดยทำการแบ่งกากซิตริก ออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 นำมาชั่งน้ำหนักเพื่อเตรียมการผสมกับวัสดุอื่นๆ ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่ใช้ในการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ

3.3 การเตรียมสารละลายแคดเมียม

การเตรียมสารละลายแคดเมียมโดยใช้สารแคดเมียมคลอไรด์ (CdCl_2) ทำการชั่งน้ำหนักสารประกอบ CdCl_2 ตามระดับความเข้มข้นที่ต้องการ ตามสัดส่วนความเข้มข้นของแคดเมียมในดินที่ระดับความเข้มข้น ในส่วนการทดลองที่ 1 เตรียมความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมที่ระดับ (0, 12.5, 37.5, 50.0, 125, 187.5 mg/ kg) ของ CdCl_2 และในส่วนการทดลองที่ 2 และ 3 เตรียมความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมที่ระดับ (0, 5 และ 50 mg/ kg) ของ CdCl_2 โดยคำนวณจากน้ำหนักดิน 1,000 กรัม (น้ำหนักดินแห้ง) โดยการเตรียมสารละลาย CdCl_2 ที่ระดับความเข้มข้น 0, 50, 150, 250, 500, 750 mg Cd/L ในน้ำที่ปราศจากไอออน (DI water) เก็บสารละลายแคดเมียมในขวด Polyethylene เพื่อป้องกันการการสลายตัวของสารละลายแคดเมียมจากแสงแดด ก่อนนำไปใช้ทำการทดลอง



ชุดดินน้ำพอง (Ng) ตัวแทน ดินทราย ใช้ดิน 360 กรัม



กากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตร (กากซีตริกและมูลวัว) 40 กรัม อัตรา 7:3



นำดินน้ำพอง (Ng) และกากของเสียผสมกันในอัตรา 9:1 (360 : 40 กรัม)



ระดับปริมาณแคะเมียมที่ใช้ 0, 12.5, 37.5, 50.0, 125.5, 187.5 mg/kg



โดยแยกออกเป็น ปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost)



ไส้เดือนดินจำนวน 10 ตัวทุกตัวอย่างการทดลอง

ค่า pH 6.08 ± 0.08 อุณหภูมิเฉลี่ย 30 ± 2 °C ระยะเวลา 0 วัน และ 15 วัน



Compost : กากซีตริก+มูลวัว+สารละลายแคะเมียม

Vermicompost : กากซีตริก+มูลวัว+ไส้เดือนดิน (ควบคุม)

Vermicompost : กากซีตริก+มูลวัว+ไส้เดือนดิน+สารละลายแคะเมียม

ภาพที่ 10 แสดงแผนการทดลองเบื้องต้นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรและอิทธิพลต่อการลดการปนเปื้อนแคะเมียมในดินโดยใช้กากอุตสาหกรรมการเกษตร โดยเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน

ชุดดินน้ำพอง(Ng) ตัวแทน ดินทราย
ชุดดินพินาย (Pm) ตัวแทนดินเหนียว ใช้ดิน 360 กรัม



กากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตร (กากซีตริกและมูลวัว) 40 กรัม อัตรา 7:3



นำชุดดินน้ำพอง (Ng) , ชุดดินพินาย (Pm) และกากของเสียผสมกันในอัตรา 9:1 (360 : 40 กรัม)



ระดับปริมาณแคดเมียมที่ใช้ 0, 5, 50 mg/kg 3 ซ้ำ



โดยแยกออกเป็น ปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน(Vermicompost) และปุ๋ยหมักที่ไม่ไส้ไส้เดือนดิน(Compost)



ไส้เดือนดินจำนวน 10 ตัวทุกตัวอย่างการทดลอง

ค่า pH 6.08 ± 0.08 อุณหภูมิเฉลี่ย 30 ± 2 °C ความชื้น 50% WHC ระยะเวลา 0, 15, 30, 60 วัน

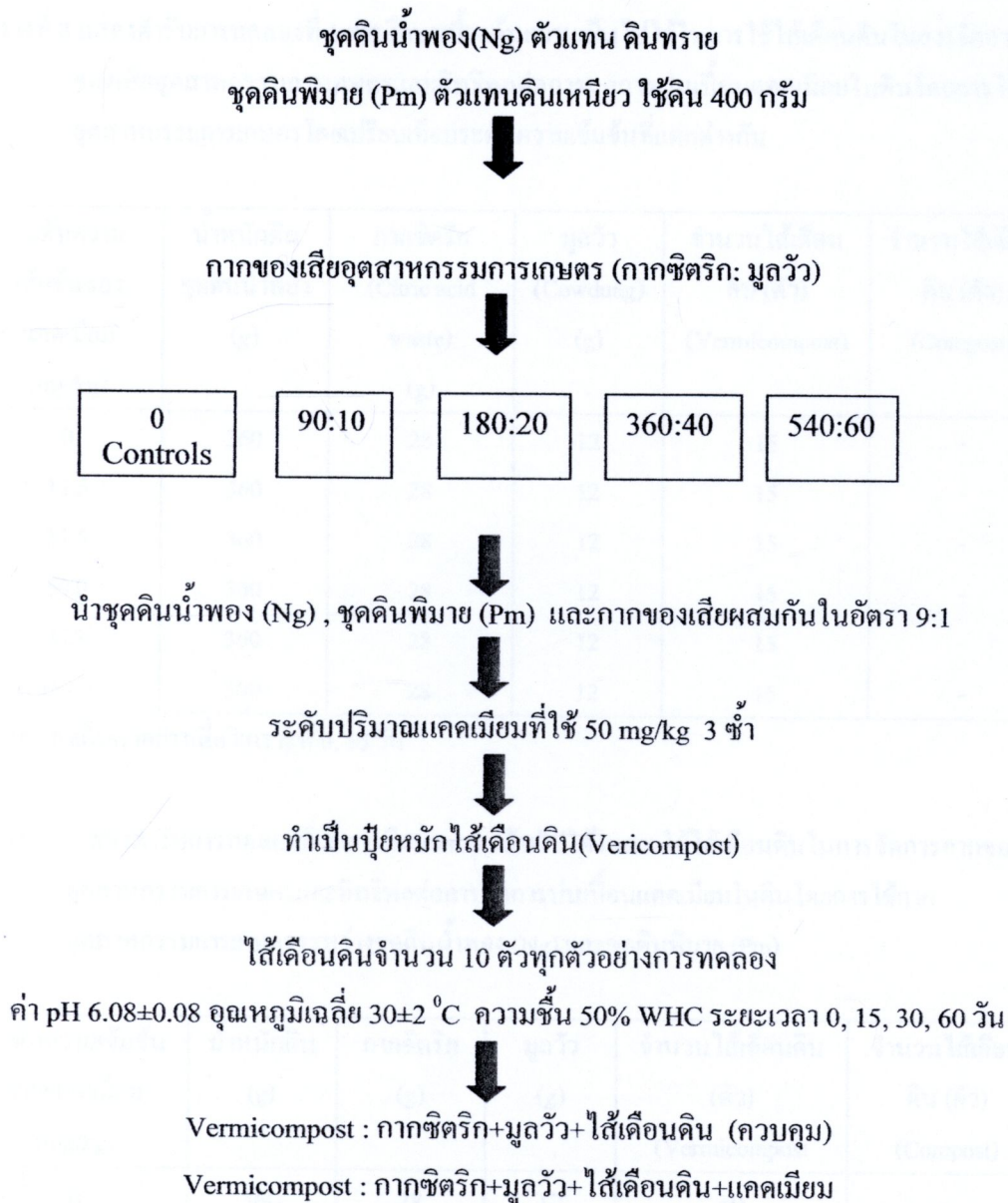


Compost : กากซีตริก+มูลวัว+สารละลายแคดเมียม

Vermicompost : กากซีตริก+มูลวัว+ไส้เดือนดิน (กวนคุม)

Vermicompost : กากซีตริก+มูลวัว+ไส้เดือนดิน+สารละลายแคดเมียม

ภาพที่ 11 แสดงแผนการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรและอิทธิพลต่อการลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดินโดยใช้กากอุตสาหกรรมการเกษตรภายใต้อิทธิพลของชุดดินที่แตกต่างกัน (ชุดดินน้ำพองและชุดดินพินาย)



ภาพที่ 12 แสดงแผนการทดลองศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของกากอุตสาหกรรมการเกษตรต่อความเป็นไปได้ในการใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากตะกอนอุตสาหกรรมการเกษตรและอิทธิพลต่อการลดการปนเปื้อนแคคเมียมในดินโดยการใช้กากอุตสาหกรรมการเกษตร

ตารางที่ 8 แสดงค่ารับการทดลองที่ 1 การศึกษาเบื้องต้นความเป็นไปได้ในการใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมกระดาษและอิทธิพลต่อการลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดินโดยใช้กากอุตสาหกรรมกระดาษ โดยเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม (mg/kg)	น้ำหนักดินชุดดินน้ำพอง (g)	กากซิตริก (Citric acid waste) (g)	มูลวัว (Cowdung) (g)	จำนวนไส้เดือนดิน (ตัว) (Vermicompost)	จำนวนไส้เดือนดิน (ตัว) (Compost)
0	360	28	12	15	-
12.5	360	28	12	15	-
37.5	360	28	12	15	-
50.0	360	28	12	15	-
125	360	28	12	15	-
187.5	360	28	12	15	-

*ระยะเวลาเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ 0, 15 วัน

ตารางที่ 9 แสดงค่ารับการทดลองที่ 2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมกระดาษและอิทธิพลต่อการลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดินโดยใช้กากอุตสาหกรรมกระดาษระหว่างชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm)

ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม (mg/kg)	น้ำหนักดิน (g)	กากซิตริก (g)	มูลวัว (g)	จำนวนไส้เดือนดิน (ตัว) (Vermicompost)	จำนวนไส้เดือนดิน (ตัว) (Compost)
0	360	28	12	10	-
5	360	28	12	10	-
50	360	28	12	10	-

*ระยะเวลาเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ 0, 15, 30, 60 วัน

ตารางที่ 10 แสดงค่ารับการทดลองที่ 3 แผนการทดลองศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของกากอุตสาหกรรมการเกษตร
ต่อความเป็นไปได้ในการใช้ไส้เคียนดินในการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรและ
อิทธิพลต่อการลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดิน โดยการใช้กากอุตสาหกรรมการเกษตรทั้งชุดดินน้ำ
พอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm)

ปริมาณกากขี้ตริกและมูลวัว (g) ในอัตรา 9:1	น้ำหนักดิน (g)	ความเข้มข้นของ แคดเมียม (mg/kg)	จำนวนไส้เคียนดิน (ตัว)
0	400	50	10
90 : 10	400	50	10
180 : 20	400	50	10
360 : 40	400	50	10
540 : 60	400	50	10

*ระยะเวลาเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ 0, 15, 30, 60 วัน

3.4 การเตรียมหน่วยทดลอง

3.4.1 การเตรียมดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม

ซังดินและวัสดุการทดลอง ที่ผึ่งแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร นำมาผสมตามอัตราส่วนต่างๆ (ดังแสดงในตารางที่ 8, 9 และ 10) โดยนำดินจำนวน 1,000 กรัม โดยเทตัวอย่างดินลงในแผ่นพลาสติกใส เกลี่ยดินให้ได้ระดับหนาประมาณ 0-1 เซนติเมตร ให้สม่ำเสมอทั่วกัน หลังจากนั้นสารละลาย CdCl₂ ที่ระดับความเข้มข้น 0, 50, 150, 250, 500, 750 mg Cd/L โดยปริมาณสารละลายที่ใช้ประมาณ 150 มิลลิลิตร ซึ่งสามารถเทียบได้ว่าตัวอย่างดินจะมีปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ระดับความเข้มข้น (0, 12.5, 37.5, 50.0, 125, 187.5 mg/ kg) ของ CdCl₂ โดยทำการฉีดพ่นสารละลายแคดเมียมและคลุกเคล้าดินให้ตัวอย่างสม่ำเสมอ และทำการเทตัวอย่างดินที่ใส่แคดเมียมเก็บในถุงพลาสติกที่ปิดปากถุงเป็นระยะเวลา 1 วัน เพื่อให้แคดเมียมได้กระจายอย่างสม่ำเสมอในตัวอย่างดิน (Reid et al., 2002) หลังจากนั้นนำไปผึ่งให้แห้งและชั่งน้ำหนักดินตามอัตราส่วนต่างๆ และนำกากขี้ตริก มูลวัว และไส้เคียนดิน บรรจุลงในกล่องพลาสติก และกระถางพลาสติกสีดำ โดยมีการปิดฝาภาชนะด้วยตาข่ายสีดำและมีการเพิ่มน้ำปราศจากอออน (DI water) เพื่อปรับความชื้นในดินตัวอย่างที่ 50% WHC (Water holding capacity) และทำการหมักตามระยะเวลา ดังนี้ การทดลองที่ 1 ทำการหมักดินที่ 0 และ 15 วัน การทดลองที่ 2 และ 3 ทำการหมักดินที่ 0, 15, 30, 60 วันที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส เมื่อครบระยะเวลาดำเนินการให้นำขุไส้เคียนดิน (caste) ที่ผ่านกระบวนการหมักโดยการทำปุ๋ยหมักไส้เคียนดินและดินที่ผ่านการหมักโดยวิธีที่ไม่ผ่านการหมักด้วยไส้เคียนดินมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและแคดเมียม

3.4.2 การเตรียมไส้เดือนดิน

ไส้เดือนดินที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ เป็นไส้เดือนดินพันธุ์ *Eudrillus eugeniae* ชื่อสามัญ African Night Crawler โดยนำมาจากฟาร์มเลี้ยงไส้เดือนดินในจังหวัดนครนายก โดยนำมาปรับสภาพในพื้นที่จริง ที่ทำการศึกษาโดยทำการทดสอบเลี้ยงในชุดดินทั้ง 2 ชุด เป็นระยะเวลา 1 เดือน ก่อนการทดลอง โดยทำการคัดเลือกลักษณะตัวที่สามารถทนได้ในสภาพแวดล้อมของโรงเรือนการทดลองและตัวเต็มที่ได้โดยแสดงไคเทียลัม (ระบบการขยายพันธุ์) ที่ชัดเจนและขนาดตัวที่เท่ากันในการทดสอบครั้งนี้

3.4.3 การควบคุมดูแลทดลองงานทดลอง

ในการทดลองโดยการหมักสิ่งที่จะต้องควบคุมเป็นพิเศษคือ ความชื้นให้คงที่ ด้วยการตรวจสอบความชื้น ซึ่งทำการชั่งน้ำหนักที่หายไปทุกหน่วยการทดลองเพื่อตวงน้ำกลั่นที่ปราศจากอิออน (DI water) ที่หายไปใส่เข้าไป โดยการตรวจสอบความชื้นต้องทำทุกๆ 5 วัน

3.5 การเก็บตัวอย่าง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์

โดยทำการแยกขุยไส้เดือนดินและไส้เดือนดินออกจากกัน โดยการร่อนผ่านตะแกรงและคัดไส้เดือนดิน ออกจากปุ๋ยหมักไส้เดือนดินเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

3.5.1 การเก็บตัวอย่างขุยไส้เดือนดิน

เก็บตัวอย่างของขุยไส้เดือนดินตามระยะเวลาต่างๆ โดยการทดลองที่ 1 โดยเก็บทั้งหมด 2 ครั้ง คือที่ 0 และ 15 วัน, การทดลองที่ 2 และ 3 โดยเก็บทั้งหมด 4 ครั้ง คือ ที่ 0, 15, 30, 60 วัน โดยนำไปผึ่งในที่ร่มและแห้งนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตรเพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีเพื่อวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป

3.5.2 การเก็บตัวอย่างไส้เดือนดิน

โดยทำการเก็บไส้เดือนดินก่อนและหลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินทุกๆ การทดลองเพื่อการวัดการเจริญเติบโตของไส้เดือนดิน และการวิเคราะห์แคลเซียมในไส้เดือนดิน

3.6 การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน (Soil Analysis)

3.6.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดินบางประการ

การศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีดินบางประการ ดำเนินการศึกษาที่ห้องปฏิบัติการวิจัย ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สิ่งแวดล้อม สาขาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาพืชศาสตร์ และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดินบางประการดังนี้

3.6.1.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของดิน (Soil physical properties analysis) มีวิธีการดังแสดงในตารางที่ 11

(1) เนื้อดิน (soil texture) นำตัวอย่างดินที่ตากแห้ง บดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร กำจัดอินทรีย์วัตถุโดย H_2O_2 ชั่งน้ำหนักดิน ทำการวิเคราะห์โดยวิธีใช้สาร Calgon นำไปปั่นรวมกับดินในกระบอกดวงแล้ววัดโดย Hydrometer method แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ sand, silt และ clay ตามลำดับ

(2) ความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุด (MHC: Soil Maximum Water Holding Capacity) นำตัวอย่างดิน 30 กรัม ใส่ในกรวยกรองที่ด้านในมี glass wool เพื่อป้องกันดินร่วงลงมา เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิตร ใช้กระดาษฟอยด์ปิดเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำออกไป ทิ้งไว้ 1 คืนเพื่อให้อุ้มน้ำด้วยน้ำ เปิดจุลกลายยางที่ติดกับกรวยกรองเพื่อให้ น้ำไหลออกมา จนกระทั่งน้ำหยุดไหล เก็บดินที่ได้นำไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดิน ซึ่งการทดลองนี้ใช้ 50 % MHC

3.6.1.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินและพืชใต้ดิน (Soil chemical properties analysis) มีวิธีการ (ตารางที่ 11)

(1) ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) นำตัวอย่างดินและพืชใต้ดินซึ่งน้ำหนักในอัตราส่วน ดินต่อน้ำ (1:2.5) คือใช้ดิน 10 กรัมต่อน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิตร นำไปเขย่าและคนให้เข้ากัน 30 นาที แล้ววัดโดยเครื่องวัด pH (pH meter)

(2) การนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity: EC) นำตัวอย่างดินและพืชใต้ดินซึ่งน้ำหนักในอัตราส่วน (1:5) คือใช้ดิน 10 กรัมต่อน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิตร นำไปเขย่าและคนให้เข้ากัน 30 นาที แล้ววัดโดยเครื่องวัด conductivity meter

(3) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter) นำตัวอย่างดินและพืชใต้ดินที่ทำให้แห้ง บดและร่อนดินผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร โดยวิธีการสันดาปเปียก (wet oxidation) และไตเตรตกลับ ตามวิธีของ Walkley and Black ออกซิไดซ์คาร์บอนด้วย 0.5 N $K_2Cr_2O_7$ 10 ml โดยมีความร้อนจากการเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น แล้ว ไตเตรตหาปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลือด้วย 0.5 N $FeSO_4$ (หาความเข้มข้นที่แน่นอนของ 0.5 N $FeSO_4$ โดยสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ 0.5 N $K_2Cr_2O_7$) โดยมี o-phenanthroline ferrous complex เป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง นำปริมาตรและความเข้มข้นที่แน่นอนของ 0.5 N $FeSO_4$ ที่ใช้ในการไตเตรตไปคำนวณหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

(4) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) นำตัวอย่างดินและพืชใต้ดินที่ทำให้แห้ง บดและร่อนดินผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร โดยวิธีการสันดาปเปียก (wet oxidation) และไตเตรตกลับ ตามวิธีของ Walkley and Black ออกซิไดซ์คาร์บอนด้วย 0.5 N $K_2Cr_2O_7$ 10 ml โดยมีความร้อนจากการเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น แล้ว ไตเตรตหาปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลือด้วย 0.5 N $FeSO_4$ (หาความเข้มข้นที่แน่นอนของ 0.5 N $FeSO_4$ โดยสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ 0.5 N $K_2Cr_2O_7$) โดยมี o-phenanthroline ferrous complex เป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง นำปริมาตรและความเข้มข้นที่แน่นอนของ 0.5 N $FeSO_4$ ที่ใช้ในการไตเตรตแล้วนำดินไปหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินทั้งหมด

- (5) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) นำตัวอย่างดินและปุ๋ยใส่เค็อนดินมาซังดินแห้งที่ร่อนผ่านตะแกรง 0.5 mm จำนวน 2 g มาวิเคราะห์หาไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธี wet oxidation ตามวิธี Kjeldahl method โดยใช้ micro Kjeldahl ย่อยตัวอย่างดินด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้นโดยใช้ K_2SO_4 : $CuSO_4$: $Se = 10: 3: 1$ โดยน้ำหนักเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ย่อยตัวอย่างที่อุณหภูมิ $365\text{ }^{\circ}C$ นำสารละลายที่ได้จากการย่อยไปกลั่นหาปริมาณไนโตรเจนโดยใช้กรดบอริกจับแอมโมเนีย แล้วจึงนำไปไตเตรดด้วย 0.005 N H_2SO_4
- (6) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) โดยทำการสกัดดินและปุ๋ยใส่เค็อนดินมาซังดินแห้งที่ร่อนผ่านตะแกรง 2 mm จำนวน 5 g ด้วยน้ำยาสกัด Bray II แล้วทำให้เกิดสีโดย Colorimetric method แล้วนำไปอ่านด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ wave length 882 nm.
- (7) ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K, Ca, Mg) วิเคราะห์โดยการใส่ชะล้างดินด้วย $1\text{ N NH}_4\text{OAc}$ pH 7.0 แล้วนำสิ่งสกัด (leachate) ที่ได้ไปวิเคราะห์หา K, Ca, Mg ที่แลกเปลี่ยนได้โดยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometer

ตารางที่ 11 วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของดินและเคมีของดิน

คุณสมบัติของดิน	วิธีวิเคราะห์	เอกสารอ้างอิง
คุณสมบัติทางกายภาพของดิน		
Soil texture	Hydrometer method	มงคลและสัมฤทธิ์ (2539)
Soil Maximum Water Holding Capacity: MHC (%)	Standard method	OECD (2001)
คุณสมบัติทางเคมีของดิน		
pH (1:2.5 H_2O)	Std. Glass electrode	Black (1965)
EC (1:5 H_2O) (dS/m)	EC bridge	Jackson (1960)
OM (%)	Wakley and Black	Black (1965)
OC (%)	Wakley and Black	Black (1965)
CEC(cmol+)/kg)	Peech method	พงศ์ศิริ (2538)
Total N (%)	Kjeldahl method	Black (1965)
Available P (ppm)	Bray II	Cottenie (1980)
Exchangeable K (cmol+)/kg)	$NH_4\text{OAc}$ and AAS	Black (1965)
Exchangeable Mg (cmol+)/kg)	$NH_4\text{OAc}$ and AAS	Black (1965)
Exchangeable Ca (cmol+)/kg)	$NH_4\text{OAc}$ and AAS	Black (1965)

3.7 การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในดิน และใต้ดิน

3.7.1 การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในดิน

(1) ปริมาณแคดเมียมสภาพพร้อมใช้ทางชีวภาพ (Bioavailability)

การวิเคราะห์โลหะหนักในสภาพที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ (Bioavailability) ซึ่งวิธีการในการสกัด Fe, Mn, Cu, Zn, และ Cd ที่ใช้ทั่วไปส่วนใหญ่ได้แก่วิธี DTPA (diethylene triamine penta acetic acid) และวิธี EDTA (ethylene diamine tetraacetic acid) และวิธี 0.1 M HCl ในบรรดาวิธีที่กล่าวมานี้วิธี DTPA เป็นวิธีที่ได้รับการเลือกใช้มากที่สุด เนื่องจากน้ำยาสกัด DTPA ช่วยทำให้เกิดการรวมกันอย่างมีประสิทธิภาพในเวลาย่อยกันของสารประกอบเชิงซ้อน Fe, Mn, Cu, Zn, และ Cd (Liang and Karamanos, 1993) โดยการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในสภาพที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ (Bioavailability) ด้วยการสกัดด้วยน้ำยา วิธี DTPA (diethylene triamine penta acetic acid) โดย Lindsay and Norvell (1978) and Singh and Narwal (1984) โดยชั่งดิน (ที่ผึ่งในที่ร่มและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร) จำนวน 10 กรัม แล้วเติมน้ำยาสกัด 0.005 M DTPA pH 7.50 มิลลิตร (น้ำยา DTPA 0.005 M, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.01 M และ 0.1 M Triethanolamine (TEA, $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{H}_2$) ปรับ pH เป็น 7.3 ด้วย acetic acid (1:1) หรือ 0.1 N HCl) แช่ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที และนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 2 ชั่วโมง และกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 5 โดยเก็บตัวอย่างที่ได้ในขวดพลาสติก และนำสารละลายที่กรองได้ไปตรวจวัดวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในสภาพที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ (Bioavailability) ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) รุ่น AA-6501F ผลิตโดยบริษัท SHIMADZU เปรียบเทียบกับ working standard โดยใช้ wave length ตามวิธีวิเคราะห์แต่ละธาตุที่กำหนด

(2) ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน (Total Cd)

การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน (Total Cd) เพื่อให้ทราบปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินก่อนการทำการทดลอง โดยได้วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด โดยการย่อย (digestion) โดยมีวิธีการแตกต่างกันได้แก่ การผสมกรด 3 ชนิด ($\text{HCl-HNO}_3\text{-HClO}_4$) (Sparks et al., 1996) หรือกรดผสมระหว่าง $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ ในอัตราส่วน 2:1 (Tessier et al., 1994) โดยชั่งดินแห้งที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร จำนวน 1 g ใส่หลอดย่อย แล้วเติมกรดผสมดังกล่าว จำนวน 10 มิลลิตร และแช่ทิ้งไว้ 30 นาที แล้วนำไปย่อยที่เครื่อง microwave digestion ที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 5 แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน (DI water) 50 ml แล้วบรรจุสารละลายตัวอย่างที่ได้ในขวดพลาสติก นำสารละลายที่กรองได้ไปตรวจวัดวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน (Total Cd) ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) รุ่น AA-6501F ผลิตโดยบริษัท SHIMADZU เปรียบเทียบกับ working standard โดยใช้ wave length ตามวิธีวิเคราะห์แต่ละธาตุที่กำหนด

3.7.2 การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในไส้เดือนดิน (earthworm)

(1) ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในไส้เดือนดิน (earthworm) (Total Cd)

การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในไส้เดือนดิน (Total Cd) เพื่อให้ทราบปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในลำตัวของไส้เดือนดินก่อนการทำการทดลองและหลังการทดลอง โดยได้วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด โดยการย่อย (digestion) โดยมีวิธีการเติมกรดผสมระหว่าง HNO_3 - HClO_4 ในอัตราส่วน 2:1 (Tessier et al., 1994) โดยนำไส้เดือนดินวางบนกระดาษกรองที่ชุ่มน้ำ ไปแช่ในตู้เย็นเป็นระยะเวลา 2-3 วัน เพื่อให้ไส้เดือนดินปล่อยดินที่อยู่ในลำไส้ของไส้เดือนดินออกให้หมด หลังจากนั้นไส้เดือนดินมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน (DI water) ล้างสิ่งที่ตกค้างในลำไส้ของไส้เดือนดินออกให้หมด แล้วนำไส้เดือนดินที่ได้นำไปอบที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิทแล้วนำมาบดให้ละเอียด (Suthar, S and Singh, S, 2008) จำนวน 1 g ใส่หลอดย่อย แล้วเติมกรดผสมดังกล่าว จำนวน 10 มิลลิลิตร และแช่ทิ้งไว้ 30 นาที นำไปย่อยที่เครื่อง microwave digestion ที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 5 ปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน (DI water) 50 ml แล้วบรรจุสารละลายตัวอย่างที่ได้ในขวดพลาสติก นำสารละลายที่กรองได้ไปตรวจวัดวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน (Total Cd) ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) รุ่น AA-6501F ผลิตโดยบริษัท SHIMADZU เปรียบเทียบกับ working standard โดยใช้ wave length ตามวิธีวิเคราะห์แต่ละธาตุที่กำหนด

3.8 การดำเนินการวิจัยในห้องปฏิบัติการนิเวศพิษวิทยาและสิ่งแวดล้อม

การศึกษาด้านพิษวิทยาของไส้เดือนดิน ดำเนินการศึกษาในห้องปฏิบัติการนิเวศพิษวิทยาและสิ่งแวดล้อม หมวดดินและปุ๋ย สาขาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยทำการศึกษาพฤติกรรมการหลีกเลี่ยงสารพิษแคดเมียมของไส้เดือนดิน ดังแสดงในภาพที่ 13



ก) การทำการหลีกเลี่ยงสารพิษ



ข) อุปกรณ์การทำการหลีกเลี่ยงสารพิษ



ค) ไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae*

ภาพที่ 13 แสดงการศึกษาพฤติกรรมการหลีกเลี่ยงสารพิษแคดเมียมของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae*

3.8.1 วิธีการการศึกษาพฤติกรรมการหลีกเลี่ยงสารพิษแคดเมียมของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* โดยมีวิธีการดังนี้ คัดแปลง (ISO, 2002) และ (ISO, 1993)

วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- (1) สิ่งมีชีวิตที่ใช้ทดลอง คือ ไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae*
- (2) สารละลายแคดเมียม CdCl_2 ที่ระดับแตกต่างกัน (13.3, 66.5, 133, 266 mg/kg)

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเลี้ยงไส้เดือนดิน

- (3) ถังพลาสติก ขนาด 7x5x11 เซนติเมตร ที่ปิดด้วยตาข่าย

(4) ดินจากแหล่งที่เก็บไส้เดือนดิน

(5) มูลวัวและเศษใบไม้หมัก

(6) น้ำกลั่น

3.8.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้การศึกษาพฤติกรรมการหลีกเลี่ยงสารพิษแคดเมียมของ

ไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae*

(1) อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ Avoidance test (ภาพที่ 13)

(2) น้ำกลั่น

(3) ผ้าขาวบาง

(4) กระดาษกรองเบอร์ 1 ขนาดพื้นที่ 64 ตารางเซนติเมตร

(5) ช้อนตักสาร

(6) แท่งคนสาร

(7) ปีเปตขนาด 1, 2, 3, 4, 5, 10, 25 และ 50 มิลลิลิตร

(8) ขวดปรับปริมาตร ขนาด 25 และ 50 มิลลิลิตร

(9) เครื่องชั่งชนิดละเอียด

ขั้นตอนการศึกษาพฤติกรรมการหลีกเลี่ยงสารพิษแคดเมียมของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae*

1. คัดเลือกไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* จำนวน 10 ตัว โดยคัดเลือกขนาดตัวที่เท่ากันและลักษณะที่โตเต็มวัยโดยสังเกตเห็นไคเทิลล์ชัดเจน คือลักษณะของอวัยวะสืบพันธุ์ที่ชัดเจน

2. นำดินมาทำการผสมกับสารแคดเมียมที่เตรียมไว้ตามระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โดยการแยกระหว่างดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมและดินที่ไม่ปนเปื้อนแคดเมียมออกจากกัน

3. นำไส้เดือนดินใส่ในภาชนะและปิดฝาทิ้งระยะเวลาในการศึกษาโดยจากการทดลองระยะเวลาในการศึกษา 2 และ 7 วัน

4. เมื่อเสร็จกระบวนการทั้งหมดจดบันทึกพฤติกรรมการหลีกเลี่ยงสารพิษแคดเมียมของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* แล้วนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การหลีกเลี่ยงสารพิษของไส้เดือนดิน

วิธีการคำนวณเปอร์เซ็นต์การหลีกเลี่ยงสารแคดเมียม

สูตรการคำนวณเปอร์เซ็นต์การหลีกเลี่ยงสารพิษแคดเมียม

$$A \% = B-C/B \times 100$$

A= เปอร์เซ็นต์การหลีกเลี่ยงสารพิษ

B= จำนวนไส้เดือนดิน (ตัว) ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง

C= จำนวนไส้เดือนดิน (ตัว) ที่หลีกเลี่ยงสารพิษในดินที่ไม่ปนเปื้อนสารพิษ

3.9 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์อิทธิพลของแต่ละตัวแปรการทดลองในกล่องพลาสติกและกระถางในเรือนทดลองโดยเก็บตัวอย่างดิน (มูลไส้เดือนดิน) และไส้เดือนดิน (earthworm) มาวิเคราะห์ภายในห้องปฏิบัติการนั้น นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) โดยใช้โปรแกรม Statistic V8 ในแต่ละลักษณะตามแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตัวแปรการทดลอง โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least-significant difference (LSD), ค่า Standard Error of Difference (SED) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระดับปัจจัยโดยวิธี F-test ($P < 0.05$) วิเคราะห์หาค่าสหสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างปัจจัย โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อใช้สำหรับการอธิบายผลการทดลองและการนำไปสู่การวิเคราะห์ข้อมูล และการสรุปผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบ (1) อธิบายผลของระดับความเข้มข้นของแคะเมียมที่แตกต่างกันที่มีผลต่อไส้เดือนดินและการลดลงของปริมาณแคะเมียมในดินหลังการทดลอง (2) เพื่ออธิบายอิทธิพลของระดับแคะเมียมที่แตกต่างกันกับชุดดินที่แตกต่างกันที่มีผลต่อการสะสมแคะเมียมในดิน ไส้เดือนดิน (3) การใช้กากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรและไส้เดือนดินในการจัดการดินปนเปื้อนสารมลพิษแคะเมียมในชุดดินที่แตกต่างกัน รวมทั้งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน รวมถึงอัตราการเจริญเติบโต และผลผลิตของไส้เดือนดิน