

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ปุ๋ยหมักที่นำมาใช้ในการทดลอง ได้แก่
 - 1.1 ปุ๋ยหมักฟางข้าว จากแปลงฝึกงาน คณะเกษตร กำแพงแสน
 - 1.2 ปุ๋ยหมักขานอ้อย จากบริษัทแผ่นดินทอง
 - 1.3 ปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัส จากกลุ่มหญ้าแฝก กรมพัฒนาที่ดิน
 - 1.4 ปุ๋ยหมัก filter cake จากงานทดลองวิทยานิพนธ์ของนิสิตปริญญาโท ภาควิชา
ปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน
 - 1.5 ปุ๋ยหมักกากตะกอนน้ำเสีย จากกลุ่มหญ้าแฝก กรมพัฒนาที่ดิน
2. วัสดุอินทรีย์ที่นำมาใช้ในการหมักปุ๋ย ได้แก่
 - 2.1 ฟางข้าว จากร้านบุญเสริมฟางอัด ต.รางพิกุล อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม
 - 2.2 ขานอ้อย จากโรงงานน้ำตาลสุพรรณบุรี ต.ย่านยาว อ.สามชุก จ.สุพรรณบุรี
 - 2.3 ขี้เลื่อยไม้ยางพารา จากโรงเพาะเห็ด ต.ดอนข่อย อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม
 - 2.4 เปลือกไม้ยูคาลิปตัส จากบริษัท สยาม พรอเรสทรี จ.กาญจนบุรี
 - 2.5 ตะกอนน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษ จากบริษัท สยาม พรอเรสทรี จ.กาญจนบุรี
3. ดินที่ใช้ในการทดลอง คือ ชุดดินกำแพงแสน เก็บจากแปลงทดลองอ้อย ภาควิชา
ปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร
4. เมล็ดพันธุ์ ใช้เมล็ดฝักขมิ้นพันธุ์ไวท์ลิฟ 936
5. กระถางพลาสติกที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 นิ้ว สูง 7 นิ้ว
6. สารเคมี ใช้สารเคมีชนิด analytical reagent grade ที่จำเป็นในการวิเคราะห์ปุ๋ยหมัก
ดิน และพืชในห้องปฏิบัติการ
7. เครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องแก้วที่จำเป็นในการวิเคราะห์ปุ๋ยหมัก ดิน และพืชใน
ห้องปฏิบัติการ ได้แก่
 - 7.1 Atomic absorption spectrophotometer รุ่น SpectrAA-220 ยี่ห้อ Varian
 - 7.2 Spectronic 21 ยี่ห้อ Milton roy company
 7. 4 เครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง (high speed centrifuge) ยี่ห้อ Kubota

- 7.4 เครื่องกลั่น (distillation unit) รุ่น Vapodest 20 ยี่ห้อ Gerhardt
- 7.5 เครื่องย่อย (heating digester) ยี่ห้อ Velp
- 7.6 เครื่องชั่ง (analytical balance) รุ่น CP 323S ยี่ห้อ Sartorius
- 7.7 pH meter รุ่น 2100 ยี่ห้อ Oakton
- 7.8 เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (conductivity meter) รุ่น 4010 ยี่ห้อ Jenway
- 7.9 ตู้เผา (muffle furnace) รุ่น CWF1200 ยี่ห้อ Carbolite
- 7.10 ตู้ดูดควัน (fume hood) ยี่ห้อ Genconlab
- 7.11 ตู้อบ (hot air oven) รุ่น UM500 ยี่ห้อ Memmert
- 7.1.2 Pressure plate apparatus

วิธีการ

การศึกษานี้ประกอบด้วย 3 การทดลอง ได้แก่

1. ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์หาค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของปุ๋ยหมักเพื่อใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของปุ๋ยหมัก

1.1 การเตรียมตัวอย่างปุ๋ยหมัก

นำตัวอย่างปุ๋ยหมัก 5 ชนิด มาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท นำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง เก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักไว้ในถุงกระดาษเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

1.2 วิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยหมัก

1.2.1 อินทรีย์วัตถุ (organic matter) ใช้วิธี gravimetric loss on ignition โดยอบตัวอย่างปุ๋ยหมักใน muffle furnace ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง (Nelson and Sommers, 1996)

1.2.2 กรดฮิวมิก (humic acid) สกัดปุ๋ยหมักด้วยสารละลาย NaOH จากนั้นนำสารละลายที่สกัดได้มาปรับ pH ให้เป็นกรดด้วย HCl จนตกตะกอน หาปริมาณกรดฮิวมิกด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก (Faithfull, 2002)

1.3 การวิเคราะห์ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของปุ๋ยหมัก

นำตัวอย่างปุ๋ยหมัก 5 ชนิด มาวิเคราะห์หาค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน 5 วิธี กระทำ 4 ชั่วโมง โดยวิธีการวิเคราะห์ได้คัดเลือกมา 5 วิธี ได้แก่

1.3.1 วิธีของ AOAC นำตัวอย่างปุ๋ยหมัก 2 กรัม ไปทำให้อิ่มตัวด้วยสารละลาย 0.5 M HCl เพื่อให้ H^+ เข้าแทนที่ native cation ต่างๆ ที่ดูดซับอยู่ ล้างปุ๋ยหมักด้วยน้ำกลั่น จนกระทั่งน้ำล้างไม่ตกตะกอนกับ 1% $AgNO_3$ จากนั้นแทนที่ H^+ ที่ดูดซับอยู่ด้วยสารละลาย 0.25 M $Ba(OAc)_2$ วิเคราะห์ปริมาณ H^+ ที่ถูกแทนที่ออกมาโดยไตเตรทกับสารละลาย 0.1 M NaOH (AOAC, 2000)

1.3.2 วิธีของ Faithfull นำตัวอย่างปุ๋ยหมัก 0.2 กรัม ไปทำให้อิ่มตัวด้วยสารละลาย 0.05 M HCl เพื่อให้ H^+ เข้าแทนที่ native cation ต่างๆ ที่ดูดซับอยู่ ล้างปุ๋ยหมักด้วยน้ำกลั่น จนกระทั่งน้ำล้างไม่ตกตะกอนกับ 1% $AgNO_3$ จากนั้นแทนที่ H^+ ที่ดูดซับอยู่ด้วยสารละลาย 0.5 M $Ba(OAc)_2$ แล้ววิเคราะห์ปริมาณ H^+ ที่ถูกแทนที่ออกมาโดยการไตเตรทกับสารละลาย 0.05 M NaOH (Faithfull, 2002)

1.3.3 วิธีของ Black นำตัวอย่างปุ๋ยหมัก 2 กรัม ไปทำให้อิ่มตัวด้วยสารละลาย 1 N NaOAc เพื่อให้ Na^+ เข้าแทนที่ native cation ต่างๆ ที่ดูดซับอยู่ แล้วล้างปุ๋ยหมักด้วย 99% isopropyl alcohol จากนั้นแทนที่ Na^+ ที่ดูดซับอยู่ด้วยสารละลาย 1 N NH_4OAc วิเคราะห์ปริมาณ Na^+ ที่ถูกแทนที่ออกมาโดยวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (Black, 1965)

1.3.4 วิธีของ Hendershot นำตัวอย่างปุ๋ยหมัก 2 กรัม ไปทำให้อิ่มตัวด้วยสารละลาย 1 M NH_4OAc (pH 7.00) เพื่อให้ NH_4^+ เข้าแทนที่ native cation ต่างๆ ที่ดูดซับอยู่ แล้วล้างปุ๋ยหมักด้วย isopropanol จากนั้นแทนที่ NH_4^+ ที่ดูดซับอยู่ด้วยสารละลาย 1 M KCl แล้ววิเคราะห์หาปริมาณ NH_4^+ ที่ถูกแทนที่ออกมาด้วยวิธีการกลั่น (Hendershot *et al.*, 1993)

1.3.5 วิธีของ Lax นำตัวอย่างปุ๋ยหมัก 1 กรัม ผสมกับผงถ่านแล้วเติม CO_2 -free deionized water ตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง กรองทิ้ง จากนั้นเติมสารละลาย Mehlich A กรองเก็บไว้ แล้วเติมสารละลาย Mehlich B กรองเก็บไว้ จากนั้นล้างตัวอย่างด้วยน้ำอีกครั้ง นำสารละลายทั้งหมดที่กรองได้ไปหาปริมาณการดูดซับของ Ba^{2+} โดยวิธี gravimetry (Lax *et al.*, 1986)

1.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า CEC กับปริมาณอินทรีย์วัตถุและกรดฮิวมิก โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistical Analysis System (SAS) Version 8.1

2. ศึกษาการแปรสภาพของฟางข้าว ชานอ้อย ชีเลื้อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษ ในกระบวนการทำปุ๋ยหมักและคุณภาพของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด

2.1 การเตรียมวัสดุอินทรีย์

วัสดุอินทรีย์ที่นำมาหมักส่วนใหญ่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพดั้งเดิม ยกเว้นเปลือกยูคาลิปตัสที่มีลักษณะเป็นเส้นยาวและแข็ง จึงย่อยให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องสับ (ภาพผนวกที่ 1) จากนั้นสุ่มตัวอย่างวัสดุแต่ละชนิดมาวิเคราะห์สมบัติเคมี กายภาพ และปริมาณธาตุอาหาร ผลค่าวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 2

2.2 การตั้งกองปุ๋ยหมัก

นำเอาวัสดุอินทรีย์มากองในโรงเรือนที่พื้นปูด้วยแผ่นพลาสติก ก่อนกองจะผสมคลุกเคล้าระหว่างวัสดุอินทรีย์ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยยูเรีย และน้ำในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน (ตารางที่ 3) การผสมจะปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของวัสดุอินทรีย์ให้มีค่าเริ่มต้นประมาณ 30 โดยใช้ปุ๋ยยูเรีย ยกเว้นตะกอนน้ำเสียที่มีค่าต่ำอยู่แล้ว ปุ๋ยคอกจะใส่ในอัตรา 10% ของน้ำหนักกอง ส่วนปริมาตรน้ำจะปรับให้มีระดับความชื้นที่ความจุสนาม จากนั้นนำของผสมใส่ลงในบล็อกลีเหลี่ยมผืนผ้าขนาด $1 \times 2 \times 1.2$ เมตร เพื่อให้ขนาดกองมีปริมาตรเท่ากัน (ภาพผนวกที่ 2)

2.3 การดูแลรักษากองปุ๋ยหมัก

ก่อนพลิกกลับกองจะหาความชื้นโดยมวลของกองปุ๋ยหมัก เพื่อคำนวณปริมาตรน้ำที่ต้องเติมแก่กองปุ๋ยให้มีระดับความชื้นอยู่ช่วง 80–100% โดยมวล ทำการยกระดับขอบผ้าพลาสติกให้สูงเพื่อป้องกันน้ำไหลออกนอกกองปุ๋ยหมัก

ตารางที่ 2 สมบัติของฟางข้าว ชานอ้อย ชี้เลื่อย ชานอ้อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย

สมบัติของวัสดุ	ฟางข้าว	ชานอ้อย	ชี้เลื่อย	เปลือกยูคาลิปตัส	ตะกอนน้ำเสีย
ความชื้นโดยมวล (%)	10.5	99.1	23.5	100.2	63.8
ความชื้นจุสนาม (%)	458.1	291.6	103.7	188.2	177.7
อินทรีย์คาร์บอน (%)	42.80	43.30	45.03	44.62	35.34
เถ้า (%)	12.66	5.48	1.82	10.53	21.82
pH (1:5)	6.58	4.20	5.94	4.73	6.47
EC (1:5) (dS m ⁻¹)	8.35	1.25	1.10	4.51	1.16
C/N ratio	84.93	137.01	221.82	116.50	26.75
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.504	0.316	0.203	0.383	1.321
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	0.063	0.038	0.020	0.132	0.256
โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	1.702	0.291	0.281	0.985	0.017
ซัลเฟอร์ทั้งหมด (%)	0.170	0.138	0.085	0.077	0.929
แมกนีเซียมทั้งหมด (%)	0.154	0.105	0.090	0.200	0.321
แคลเซียมทั้งหมด (%)	0.450	0.077	0.286	2.375	0.209
เหล็กทั้งหมด (%)	0.012	0.056	0.200	0.017	0.233
ทองแดงทั้งหมด (%)	0.0002	0.0004	0.0003	0.0003	0.0072
สังกะสีทั้งหมด (%)	0.0046	0.0060	0.0034	0.0030	0.0163
แมงกานีสทั้งหมด (%)	0.015	0.002	0.006	0.097	0.027

ตารางที่ 3 อัตราส่วนของผสมในการทำปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ชี้เลื่อย ชานอ้อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย

กองที่	วัสดุที่ใช้หมักปุ๋ย	น้ำหนักวัสดุ (กก.)	น้ำหนักปุ๋ยยูเรีย (กก.)	น้ำหนักปุ๋ยคอก (กก.)	ปริมาตรน้ำ (ลิตร)
1	ฟางข้าว	180	3.3	18.0	727.6
2	ชานอ้อย	500	6.2	50.0	483.1
3	ชี้เลื่อย	530	12.1	53.0	460.0
4	เปลือกยูคาลิปตัส	515	6.2	51.5	228.9
5	ตะกอนน้ำเสีย	1,000	0.0	100.0	696.7

2.4 การพลิกกลับกองปุ๋ยหมัก

พลิกกลับกองปุ๋ยทุก 7 วัน การกลับกองจะเอาเศษวัสดุที่อยู่ด้านนอกของกองกลับเข้าไปอยู่ด้านในกอง โดยกองให้มีขนาดความสูงและความกว้างเท่าเดิม ส่วนความยาวลดลงตามการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์แต่ละชนิด และกองให้อยู่ในรูปทรงเดิมตลอดระยะเวลาการหมัก

2.5 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

2.5.1 อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก ทำการวัดอุณหภูมิทุก 2 วัน ตลอดระยะเวลาการหมัก โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ วัดที่ตำแหน่ง 30, 60 และ 90 เซนติเมตร จากด้านบนของกอง นานประมาณ 15 นาที จึงอ่านค่า

2.5.2 น้ำหนักกองปุ๋ยหมัก ชั่งน้ำหนักกองปุ๋ยในระหว่างทำการพลิกกลับกองทุก 7 วัน ตลอดระยะเวลาการหมัก เพื่อหาอัตราการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์แต่ละชนิด และคำนวณปริมาตรน้ำที่ต้องเติมให้แก่กองปุ๋ยหมัก

2.6 การสุ่มเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่างปุ๋ยหมัก

สุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักทุก 14 วัน โดยสุ่มเก็บตัวอย่างกองละ 8 จุด ในระหว่างพลิกกลับกองปุ๋ยหมัก นำมาตัวอย่างปุ๋ยหมักมาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นนำตัวอย่างปุ๋ยหมักมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง บรรจุใส่ถุงกระดาษและปิดปากถุงให้สนิทเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

2.7 การศึกษาสมบัติของปุ๋ยหมัก

2.7.1 สมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมัก

2.7.1.1 ความเป็นกรดหรือด่าง (pH) ใช้อัตราส่วนปุ๋ยหมักต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 วัดค่า pH ของ suspension ด้วย pH meter (Cáceres *et al.*, 2006)

2.7.1.2 ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ใช้อัตราส่วนปุ๋ยหมักต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 วัดค่าการนำไฟฟ้าของ suspension ด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Tiquia and Tam, 2000)

2.7.1.3 อินทรีย์วัตถุ (organic matter) ใช้วิธี gravimetric loss on ignition โดยอบตัวอย่างปุ๋ยหมักใน muffle furnace ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเผาปุ๋ยหมักที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง (Nelson and Sommers, 1996)

2.7.1.4 สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) นำอินทรีย์คาร์บอนกับไนโตรเจนทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้มาเข้าสู่สูตร C/N

2.7.1.5 เถ้า (ash) เผาตัวอย่างปุ๋ยหมักใน muffle furnace ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง (Nelson and Sommers, 1996)

2.7.2 ปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยหมัก

2.7.2.1 ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ย่อยตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วยสารละลาย digestion mixture ซึ่งประกอบด้วย H_2SO_4 : Na_2SO_4 : Se ในอัตราส่วน 100:10:1 นำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธีการกลั่น (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

2.7.2.2 ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ (available nitrogen) สกัดตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วยสารละลาย 2 N KCl แล้วนำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรตด้วยวิธีการกลั่น (Faithfull, 2002)

2.7.2.3 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ย่อยตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วย digestion mixture ซึ่งประกอบด้วย H_2SO_4 : Na_2SO_4 : Se ในอัตราส่วน 100:10:1 นำสารละลายตัวอย่างไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย ammonium molybdate และ ammonium metavanadate ได้สารประกอบเชิงซ้อนสีเหลืองใส วัดความเข้มสีของสารละลายด้วยเครื่อง Spectronic 21 ที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

2.7.2.4 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) สกัดตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วยสารละลาย Mehlich No.1 นำสารละลายตัวอย่างไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย ammonium molybdate และ ascorbic acid ได้สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินใส วัดความเข้มสีของสารละลายด้วยเครื่อง Spectronic 21 ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร (Faithfull, 2002)

2.7.2.5 โพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) ย่อยตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วย digestion mixture ซึ่งประกอบด้วย H_2SO_4 : Na_2SO_4 : Se ในอัตราส่วน 100:10:1 นำสารละลาย

ตัวอย่างไปวัดความเข้มข้นของโพแทสเซียมด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

2.7.2.6 โพแทสเซียมที่สกัดได้ (extractable potassium) สกัดตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วยสารละลาย Mehlich No.1 จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างไปวัดความเข้มข้นของโพแทสเซียมด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (Faithfull, 2002)

2.7.2.7 ซัลเฟอร์ทั้งหมด (total sulfur) ย่อยตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วย acid mixture ซึ่งประกอบด้วย HNO_3 : HClO_4 ในอัตราส่วน 2:1 นำสารละลายตัวอย่างไปเติมสารละลาย ammonium acetate, ผง BaCl_2 และน้ำยา gum acacia เพื่อให้ทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารละลายสีขาวขุ่น แล้ววัดความขุ่นของสารละลายด้วยเครื่อง Spectronic 21 ที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร (อรพินท์, 2544)

2.7.2.8 แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีทั้งหมด ย่อยตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วย acid mixture ซึ่งประกอบด้วย HNO_3 : H_2SO_4 : HClO_4 ในอัตราส่วน 5:1:2 นำสารละลายตัวอย่างไปวัดความเข้มข้นของธาตุชนิดต่างๆ ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

2.7.3 ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity) ของปุ๋ยหมัก

นำตัวอย่างปุ๋ยหมักไปทำให้อิ่มตัวด้วยสารละลาย 0.5 M HCl เพื่อให้ H^+ เข้าแทนที่ native cation ต่างๆ ที่ดูดซับอยู่ ล้างปุ๋ยหมักด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งน้ำล้างไม่ตกตะกอนกับ 1% AgNO_3 จากนั้นแทนที่ H^+ ที่ดูดซับอยู่ด้วยสารละลาย 0.25 M Ba(OAc)_2 แล้ววิเคราะห์ปริมาณ H^+ ที่ถูกแทนที่ออกมาโดยการไตเตรทกับสารละลาย 0.1 M NaOH ใช้ phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์ (AOAC, 2000)

2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistical Analysis System (SAS) Version 8.1

3. ศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากฟางข้าว ชานอ้อย ชี้อ้อย เปลือกยูคา ลิปดัส และตะกอนน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษในการปรับปรุงสมบัติของดินทางเคมี กายภาพ และปริมาณธาตุอาหารในสภาพปลูกพืชและไม่ปลูกพืช

3.1 การเตรียมปุ๋ยหมักและดิน

3.1.1 ปุ๋ยหมัก นำปุ๋ยหมักที่ผ่านการหมักเป็นระยะเวลา 210 วัน จากการทดลองที่ 2 มาผึ่งลมให้แห้งในที่ร่ม จากนั้นบดตัวอย่างให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง นำตัวอย่างปุ๋ยหมักบางส่วนไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหาร ผลค่าวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4

3.1.2 เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร จากผิวดิน โดยเก็บตัวอย่างแบบรบกวนโครงสร้าง นำดินมาผึ่งแห้งในที่ร่ม จากนั้นบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5, 2 และ 8 มิลลิเมตร นำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี กายภาพ และปริมาณธาตุอาหาร ผลค่าวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 5

3.2 แผนการทดลอง

การทดลองนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 การทดลองย่อย ได้แก่

3.2.1 การบ่มดินในสภาพไม่ปลูกพืช

นำตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรง 8 มิลลิเมตร มา 5 กิโลกรัม ผสมคลุกเคล้ากับปุ๋ยหมักให้เข้ากันในอัตราเทียบเท่า 6 ตันต่อไร่ บรรจุใส่กระถาง จากนั้นปรับความชื้นดินที่ความจุสนาม โดยทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำและปล่อยให้ น้ำไหลออกโดยแรงโน้มถ่วงของโลก ในระหว่างการบ่มดินจะควบคุมระดับความชื้นที่ความจุสนามตลอดระยะเวลาการบ่มดิน วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) มี 6 ตำรับ กระทำ 3 ซ้ำ ได้แก่

ตำรับที่ 1 ดินไม่ใส่ปุ๋ยหมัก

ตำรับที่ 2 ดินใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าว

ตำรับที่ 3 ดินใส่ปุ๋ยหมักชานอ้อย

ตำรับที่ 4 ดินใส่ปุ๋ยหมักชี้อ้อย

ตำรับที่ 5 ดินใส่ปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปดัส

ตำรับที่ 6 ดินใส่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสีย

3.1.2 การบ่มดินในสภาพปลูกพืช

วางแผนการทดลองเช่นเดียวกับสภาพไม่ปลูกพืช แต่มีการปลูกผักโขมจีน หลังจากปรับความชื้นดินที่ความจุสนาม โดยหยอดเมล็ดผักโขมจีนกระถางละ 10 เมล็ด แล้วกลบด้วยดินบางๆ เมื่อผักโขมจีนมีอายุได้ประมาณ 7 วัน ถอนแยกให้เหลือเพียง 1 ต้น โดยเลือกต้นที่แข็งแรงและสมบูรณ์ใกล้เคียงกัน

3.3 การเก็บตัวอย่างดินและพืช

3.3.1 เก็บตัวอย่างดิน 5 ครั้ง ในวันที่ 0, 14, 28, 42 และ 56 ของการบ่มดิน ดำรับละ 3 ซ้ำ เก็บตัวอย่างแบบไม่รบกวนโครงสร้างโดยใช้กระบอกลูกเต๋าเก็บตัวอย่าง กระถางละ 2 ตัวอย่าง จากนั้นนำเอาตัวอย่างดินที่เหลือในกระถางมาผสมให้เข้ากัน แล้วสุ่มตัวอย่างดินประมาณ 1 กิโลกรัม มาผึ่งให้แห้งในที่ร่มแล้วบดและร่อนผ่านตะแกรง 2 ขนาด คือ 0.5 และ 2 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

3.3.2 เก็บตัวอย่างพืช 3 ครั้ง ที่ 28, 42 และ 56 วัน ดำรับละ 3 ซ้ำ ชั่งน้ำหนักสดของส่วนเหนือดิน จากนั้นนำตัวอย่างพืชมาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท แล้วชั่งน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน นำตัวอย่างพืชมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง เก็บตัวอย่างไว้ในถุงกระดาษและปิดปากถุงให้สนิท เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

3.4 การศึกษาสมบัติของดิน

3.4.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของดิน

3.4.1.1 การกระจายขนาดอนุภาค (Particle size distribution) ประเมินโดยใช้วิธี pipette method (Sheldrick and Wang, 1993)

3.4.1.2 ระดับความชื้นที่ความจุสนาม (field capacity) ทำตัวอย่างดินให้อิ่มตัวด้วยน้ำ จากนั้นใช้ความดันอากาศที่ 0.2 bar ผลักดันน้ำออกจากดินด้วยเครื่อง Pressure plate apparatus แล้วนำดินไปอบหาความชื้นโดยมวล

3.4.1.3 ระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point) ทำตัวอย่างดินให้อิ่มตัวด้วยน้ำ แล้วใช้ความดันอากาศที่ 15 bar ผลักดันน้ำออกจากดินด้วยเครื่อง Pressure plate apparatus แล้วนำดินไปอบหาความชื้นโดยมวล

ตารางที่ 4 สมบัติของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ชีลื้อย ชานอ้อย เปลือกยูคา ลิปดัส และ ตะกอนน้ำเสีย

สมบัติของวัสดุ	ฟางข้าว	ชานอ้อย	ชีลื้อย	เปลือกยูคา ลิปดัส	ตะกอนน้ำ เสีย
อินทรียวัตถุ (%)	59.88	65.42	87.30	60.70	51.06
pH (1:5)	7.48	5.75	7.44	7.85	6.89
EC (1:5) (dS m ⁻¹)	11.06	7.73	2.43	8.51	6.89
CEC (cmol kg ⁻¹)	88.27	67.38	92.71	114.23	45.16
C/N ratio	13.79	18.30	23.35	12.59	14.10
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	2.42	1.99	1.87	2.41	1.81
แอมโมเนียม (mg kg ⁻¹)	78.50	385.35	52.35	68.95	66.63
ไนเตรท (mg kg ⁻¹)	1,384.71	3,772.30	77.95	1,340.89	3,600.21
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	0.33	0.24	0.16	0.51	0.58
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (%)	0.141	0.072	0.011	0.288	0.065
โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	3.22	1.21	1.22	2.00	0.58
โพแทสเซียมที่สกัดได้ (%)	3.52	1.16	1.15	1.74	0.52
ซิลเฟอร์ทั้งหมด (%)	1.54	0.77	0.65	0.99	1.71
แคลเซียมทั้งหมด (%)	1.18	0.51	1.18	4.83	0.66
แมกนีเซียมทั้งหมด (%)	0.60	0.29	0.40	0.53	0.53
เหล็กทั้งหมด (%)	0.19	0.36	0.12	0.51	0.35
ทองแดงทั้งหมด (%)	0.0012	0.0014	0.0008	0.0017	0.0112
สังกะสีทั้งหมด (%)	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03
แมงกานีสทั้งหมด (%)	0.09	0.03	0.02	0.19	0.05

ตารางที่ 5 สมบัติของชุดดินกำแพงแสน

สมบัติของดิน	ค่าวิเคราะห์
เนื้อดิน	ดินเหนียวปนทราย
% sand	47.44
% silt	4.86
% clay	47.69
ระดับความชื้นที่ความจุสนาม (% โดยมวล)	23.9
ระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (% โดยมวล)	8.3
อินทรีย์วัตถุ (%)	1.30
pH (1:1)	7.91
ECe (dS m ⁻¹)	1.71
CEC (cmol kg ⁻¹)	12.10
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.10
แอมโมเนียม (mg kg ⁻¹)	3.76
ไนเตรท (mg kg ⁻¹)	6.07
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	0.03
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg kg ⁻¹)	40.68
โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	0.99
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg kg ⁻¹)	145.18
แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg kg ⁻¹)	1,959.63
แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg kg ⁻¹)	243.56
เหล็กที่สกัดได้ (mg kg ⁻¹)	90.01
สังกะสีที่สกัดได้ (mg kg ⁻¹)	1.22
ทองแดงที่สกัดได้ (mg kg ⁻¹)	3.35
แมงกานีสที่สกัดได้ (mg kg ⁻¹)	55.17

3.4.1.3 ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) วัดความหนาแน่นรวมของดินใช้วิธี Core method (Culley, 1993)

3.4.1.4 สภาพนำน้ำของดินขณะอิ่มตัว (saturated hydraulic conductivity) วัดสภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวใช้วิธีควบคุมความดันให้คงที่ (constant-head method) (Reynolds, 1993)

3.4.2 ศึกษาสมบัติทางเคมีของดิน

3.4.2.1 ความเป็นกรดหรือด่าง (pH) โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 วัดค่า pH ของ suspension ด้วย pH meter (Thomas, 1996)

3.4.2.2 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินอิ่มตัว วัดค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Faithfull, 2002)

3.4.2.3 อินทรีย์วัตถุ (organic matter) ใช้วิธี Walkley and Black Titration (Faithfull, 2002)

3.4.3 ศึกษาปริมาณธาตุอาหารของดิน

3.4.3.1 ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) วิธีการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.7.2.1

3.4.3.2 ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ (available nitrogen) วิธีการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.7.2.2

3.4.3.3 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) วิธีการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.7.2.3

3.4.3.4 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) สกัดตัวอย่างดินด้วย Bray II แล้วนำสารละลายตัวอย่างไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย ammonium molybdate และ ascorbic acid ได้สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินใส วัดความเข้มสีของสารละลายด้วยเครื่อง Spectronic 21 ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)

3.4.3.5 โพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) วิธีการทดลองเช่นเดียวกับ
2.7.2.5

3.4.3.6 โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ นำ
ตัวอย่างดินไปสกัดด้วย 1 N NH_4OAc (pH 7.00) แล้วนำสารละลายตัวอย่างไปวัดความเข้มข้น
ของธาตุชนิดต่างๆ ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์)

3.4.3.7 เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีที่สกัดได้ นำตัวอย่างดินไป
สกัดด้วยสารละลาย 0.005 M DTPA ที่ประกอบด้วย 0.005 M CaCl_2 และ 0.1 M TEA
buffered ที่ pH 7.3 จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างไปวัดความเข้มข้นของธาตุชนิดต่างๆ ด้วยเครื่อง
Atomic absorption spectrophotometer (Liang and Karamanos, 1993)

3.4.4 ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน

นำตัวอย่างดินไปทำให้อิ่มตัวด้วยสารละลาย 1 N NH_4OAc เพื่อให้ NH_4^+
เข้าแทนที่ native cation ต่างๆ ที่ดูดซับอยู่ เติมสารละลาย 1 N NH_4Cl และ 0.25 N NH_4Cl
เพื่อให้การดูดซับสมบูรณ์ จากนั้นล้างดินด้วย ethanol 95% จนกระทั่งน้ำล้างไม่ตกตะกอนกับ
สารละลาย 1% AgNO_3 แทนที่ NH_4^+ ที่ดูดซับด้วยสารละลาย acidified NaCl วิเคราะห์ปริมาณ
 NH_4^+ ที่ถูกแทนที่ออกมาด้วยวิธีการกลั่น (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

3.5 ศึกษาปริมาณธาตุอาหารในพืช

3.5.1 ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) วิธีการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.7.2.1

3.5.2 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) วิธีการทดลองเช่นเดียวกับข้อ
2.7.2.3

3.5.3 โพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) วิธีการทดลองเช่นเดียวกับข้อ
2.7.2.5

3.5.4 แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี วิธีการทดลอง
เช่นเดียวกับข้อ 2.7.2.8

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistical Analysis System (SAS) Version 8.1

4. สถานที่และระยะเวลาการทดลอง

4.1 สถานที่ทดลอง

4.1.1 ห้องปฏิบัติการเคมีและความอุดมสมบูรณ์ของดิน ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

4.1.2 ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ของดิน ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

4.1.3 โรงเรือนปลูกพืชทดลอง ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

4.2 ระยะเวลาการทดลอง

งานทดลองเริ่มตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2546 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2548