



วิทยานิพนธ์

การสลายตัวและการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟต์ในดินไร่และดินนา
Decomposition and Mineralization of Humified Organic Fertilizer in Upland and
Paddy Soils

นางสาวเข็มพร เพชรภรณ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2549



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

ปฐพีวิทยา

สาขา

ปฐพีวิทยา

ภาควิชา

เรื่อง การสลายตัวและการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ในดินไร่และดินนา

Decomposition and Mineralization of Humified Organic Fertilizer in Upland and Paddy
Soils

นามผู้วิจัย นางสาวเข็มพร เพชรภรณ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

ท.หจ. อ.ค.

(ศาสตราจารย์ทัศนีย์ อัดตะนันท์, D.Agr.)

กรรมการ

ด.ค.

(อาจารย์ศุภกาญจน์ ล้วนมณี, ประ.ค.)

กรรมการ

อ.สง. ส.ค.

(รองศาสตราจารย์อัสรา สุขสถาน, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

อ.ค.ค. จ.ค.ค.ค.

(รองศาสตราจารย์อัญชลี สุทธิประการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

อ.ค.ค.ค.ค.

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๔๖ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๔๙

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การสลายตัวและการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ในดินไร่และดินนา

Decomposition and Mineralization of Humified Organic Fertilizer in Upland and Paddy Soils

โดย

นางสาวเข็มพร เพชรภรณ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-1999-5

เข็มพร เพชรภรณ์ 2549: การสลายตัวและการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์ชีวมิไฟต์ในดิน
ไร่และดินนา ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาวิชาปฐพีวิทยา ภาควิชา
ปฐพีวิทยา ประชานกรรมการที่ปรึกษา: ศาสตราจารย์ทัศนีย์ อัคระนันท์, D.Agr. 62 หน้า
ISBN 974-16-1999-5

ศึกษาการสลายตัวและการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์ชีวมิไฟต์ในดินไร่และดินนาประกอบ
ด้วย 3 การทดลองดังนี้ การทดลองที่ 1 ศึกษาการปลดปล่อยอินทรีย์ในโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์จากการ
บ่มปุ๋ยอินทรีย์ชีวมิไฟต์ (HF) กากตะกอนน้ำเสีย (SW) และมูลไก่อดเม็ด (CM) ในชุดดินสตึก ที่ความชื้น 60% ของ
ความจุ้มน้ำ (WHC) ผลการทดลองพบว่า ปุ๋ยอินทรีย์ชีวมิไฟต์ กากตะกอนน้ำเสีย และมูลไก่อดเม็ด มีการ
ปลดปล่อยอินทรีย์ในโตรเจนสะสมจากการบ่มเป็นระยะเวลา 3 เดือน เท่ากับ 23.8, 9.0 และ 20.3 % ของปริมาณ
ในโตรเจนทั้งหมด ตามลำดับ และมีการปลดปล่อย CO₂ สะสม เท่ากับ 28.2, 6.9 และ 39.6 % ของปริมาณคาร์บอน
ทั้งหมด ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 ศึกษาการปลดปล่อยอินทรีย์ในโตรเจนของ HF เมื่อบ่มร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุ
อินทรีย์ ในชุดดินร้อยเอ็ดสภาพดินไร่และดินนา กรรมวิธีการทดลอง มี 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 ได้แก่ สภาพน้ำขัง และ
สภาพความชื้น 60% WHC ปัจจัยที่ 2 ได้แก่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ย 2) ใส่ HF 3) HF + หัวเชื้อจุลินทรีย์ ผลการทดลองพบว่า
HF มีการปลดปล่อยอินทรีย์ในโตรเจนสะสมในสภาพความชื้น 60%WHC และสภาพน้ำขัง ไม่แตกต่างกัน โดยมี
ปริมาณการปลดปล่อยในโตรเจนสะสม เท่ากับ 23.8 และ 22.8 % ของปริมาณในโตรเจนทั้งหมด ตามลำดับ ส่วนการ
ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ไม่มีผลทำให้ปริมาณการปลดปล่อยอินทรีย์ในโตรเจนสะสมและอัตราการ
ปลดปล่อยอินทรีย์ในโตรเจนทั้งหมดแตกต่างจากการไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารของ HF
ในชุดดินร้อยเอ็ดสภาพดินนาปลูกข้าว ทำการทดลองในกระถาง โดยใส่ปุ๋ยเคมี 1.14-0.66-0.33 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ดิน
12 กก. ใส่ HF 119.76 กรัม/ดิน 12 กก. หรือให้ธาตุอาหารเท่ากับ 5.7 -10.85-0.6 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ดิน 12 กก. และใส่
หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ 1 กรัม/ดิน 12 กก. ผลการทดลองพบว่า การใส่ HF ร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้ข้าวที่ปลูก
ในชุดดินร้อยเอ็ดได้รับธาตุอาหารอย่างเพียงพอจึงทำให้ข้าวมีจำนวนต้นตอและน้ำหนักแห้งสูงกว่าการใส่ปุ๋ย
อินทรีย์ ชีวมิไฟต์หรือปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว โดยข้าวในกรรมวิธีที่ใส่ HF + ปุ๋ยเคมี+หัวเชื้อจุลินทรีย์ HF + ปุ๋ยเคมี
HF + หัวเชื้อจุลินทรีย์ HF อย่างเดียว ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว และกรรมวิธีควบคุม มีการแตกกอเท่ากับ 39, 39, 30, 29, 26
และ 13 ต้น/กอ ตามลำดับ และให้น้ำหนักแห้งเท่ากับ 124, 120, 103, 95, 84 และ 60 กรัม/กระถาง ตามลำดับ
นอกจากนี้พบว่า การใส่ HF ทำให้ดินหลังการเก็บเกี่ยวมีในโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสที่สกัดได้อยู่ในปริมาณสูง
ถึง 1.7-2.7 กรัม /กก. และ 30 - 44 มก. P/ดิน 1 กก. ตามลำดับ แต่ไม่ทำให้โพแทสเซียมเพิ่มขึ้น

เข็มพร

ลายมือชื่อนิสิต

ทัศนีย์ อัคระนันท์

ลายมือชื่อประธานกรรมการ

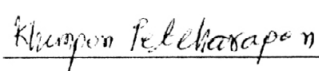
๒๖ / ๑๑ / ๕๕

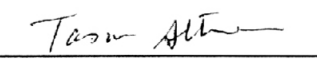
Khempon Petcharapon 2006: Decomposition and Mineralization of Humified Organic Fertilizer in Upland and Paddy Soils. Master of Science (Agriculture), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Professor Tasnee Attanandana, D.Agr. 62 pages
ISBN 974-16-1999-5

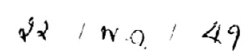
Decomposition and mineralization of humified organic fertilizer in upland and paddy soils were studied. This study consists of 3 experiments. Exp.1: Investigation on nitrogen mineralization and CO₂ evolution of humified organic fertilizer(HF), sewage sludge(SW) and pellet chicken manure (CM) in Satuk soil were carried out under an incubation condition of 60% water holding capacity (WHC) for 3 months. The results showed cumulative N released from the HF, SW and CM of 23.8, 9.0 and 20.3% total N, respectively, and CO₂ evolution of 28.2, 6.9, and 39.6%total C, respectively.

Exp.2: Study on nitrogen mineralization of HF after being incubated with decomposing microorganisms in Roi-Et soil. The experimental treatments derived from combinations of 2 factors: Factor 1 is moisture levels at 1) submerged condition and 2) 60%WHC, Factor 2 comprises 1) no fertilizer, 2) HF, 3) HF + decomposing microorganisms. The results revealed that N mineralization of the humified organic fertilizer under 60%WHC and submerged conditions were not different with cumulative N released of 23.8 and 22.8%total N, respectively. Incorporation of decomposing microorganisms did not significantly affect N mineralization as compared with the treatment of no decomposing microorganisms incorporation.

Exp.3: Investigation on effect of decomposing microorganisms on nutrient release of HF in rice-cultivated Roi-Et soil was investigated in pot conditions. Chemical fertilizer was applied at 1.14-0.66-0.33 g N-P₂O₅-K₂O/12 kg soil. HF was applied at 119.76 g/12 kg soil or at the nutrient contents of 5.7-10.85-0.6 g N-P₂O₅-K₂O/12 kg soil. The decomposing microorganisms was added one gram a pot. The results showed that the application of HF + chemical fertilizer produced tiller and dry matter superior to the treatments where only organic fertilizer or chemical fertilizer was applied. The treatments of HF + chemical fertilizer + decomposing microorganisms, HF + chemical fertilizer, HF + decomposing microorganisms, HF only, chemical fertilizer only, and control produce rice tiller of 39, 39, 30, 29, 26, and 13 tillers/pot, respectively, and dry matter of 124, 120, 103, 95, 84, and 60 g/pot, respectively. In addition, the application of HF increased total soil nitrogen and extractable phosphorus contents of 1.7-2.7%N and 30-44 mgP/1kg soil, respectively, after harvesting but did not increase extractable soil potassium.


Student's signature


Thesis Advisor's signature



กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ทัศนีย์ อัดตะนันท์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำการวิจัยและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์สุกฤดาภรณ์ ล้วนมณี กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือในการทำวิจัยและให้ทุนสนับสนุนในการทำงาน ตลอดจนการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์อิสรา สุขสถาน กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง และรองศาสตราจารย์นิพนธ์ วิสารทนนท์ อาจารย์ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณกลุ่มงานวิจัยเคมีดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการปฏิบัติงานวิจัยในห้องปฏิบัติการและในเรือนทดลอง ขอขอบคุณข้าราชการและพนักงานราชการสำหรับความช่วยเหลือต่างๆ ในการปฏิบัติงานทดลอง

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ชี้แนะและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากโครงการวิจัยร่วมระหว่าง Laboratory of Soil and Ecological Engineering, Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University ประเทศญี่ปุ่นและกรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ

เข้มพร เพชรภรณ์

พฤษภาคม 2549

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	3
ลักษณะทั่วไปของดินไร่และดินนาในประเทศไทย	3
ความสำคัญของอินทรีย์วัตถุในดิน	4
ชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการเกษตร	6
การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงดิน	7
การใช้กากตะกอนน้ำเสียในการปรับปรุงดิน	9
ปุ๋ยอินทรีย์ชีวมิไฟด์	13
อุปกรณ์และวิธีการ	15
อุปกรณ์	15
วิธีการ	17
ผลและวิจารณ์	24
สมบัติของวัสดุอินทรีย์และดินที่ใช้ในการทดลอง	24
การทดลองที่ 1	26
การทดลองที่ 2	33
การทดลองที่ 3	38
สรุปและข้อเสนอแนะ	48
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	49
ภาคผนวก	55

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ตารางปฏิบัติงานการทดลองในกระถาง	22
2 สมบัติทางเคมีของวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง	24
3 สมบัติของดินที่ใช้ในการทดลองที่ 1 (ชุดดินสดีก) การทดลองที่ 2 และ 3 (ชุดดินร่อยเอ็ด)	25
4 ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ ปุ๋ยเคมี และหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของข้าว	43
5 ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ ปุ๋ยเคมี และหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ต่อการดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของข้าว	45
6 สมบัติทางเคมีของชุดดินร่อยเอ็ดก่อนและหลังทำการทดลองในกระถาง	47
ตารางผนวกที่	
1 ปริมาณการปลดปล่อยอินทรีย์ในโตรเจนสะสมของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ กากตะกอนน้ำเสีย และมูลไก่อดเม็คในชุดดินสดีกสภาพดินไร่ (การทดลองที่ 1)	56
2 ปริมาณการปลดปล่อยอินทรีย์ในโตรเจนสะสมของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์เมื่อ บ่มร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ในชุดดินร่อยเอ็ดสภาพดินไร่ และดินนา (การทดลองที่ 2)	57
3 ปริมาณการปลดปล่อยอินทรีย์ในโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ในชุดดิน ร่อยเอ็ดที่ปลูกข้าว (การทดลองที่ 3)	58
4 ข้อจำกัดของสมบัติทางเคมีที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	59
5 การเปลี่ยน non SI unit เป็น SI unit	62

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์	14
2 การเตรียมตัวอย่างในการบ่มดินในตู้ควบคุมอุณหภูมิ	18
3 การปลดปล่อยแอมโมเนียม ไนเตรต อนินทรีย์ไนโตรเจน และการปลดปล่อยไนโตรเจนสุทธิ จากการบ่มปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ กากตะกอนน้ำเสีย และมูลไก่อัดเม็ดในชุดดินสติกสภาพดินไร่	28
4 ปริมาณ และอัตราการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ จากการบ่มปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ กากตะกอนน้ำเสีย และมูลไก่อัดเม็ดในชุดดินสติกสภาพดินไร่	30
5 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อย CO ₂ และอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนสุทธิ จากกากตะกอนน้ำเสีย ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ และมูลไก่อัดเม็ดในชุดดินสติก	32
6 การปลดปล่อยแอมโมเนียม ไนเตรต อนินทรีย์ไนโตรเจน และการปลดปล่อยอนินทรีย์ไนโตรเจนสุทธิของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ในชุดดินร้อยเอ็ดสภาพความชื้น 60% ความจุอุ้มน้ำและสภาพน้ำขัง	35
7 การปลดปล่อยอนินทรีย์ฟอสฟอรัสจากปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ในชุดดินร้อยเอ็ดสภาพความชื้น 60% ความจุอุ้มน้ำและ สภาพน้ำขัง	37
8 การปลดปล่อยแอมโมเนียม ไนเตรต และอนินทรีย์ไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ในชุดดินร้อยเอ็ดที่ปลูกข้าวในกระถาง	39
9 การเปลี่ยนแปลง pH ของดิน และ pH ของน้ำ หลังการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ และปุ๋ยเคมีในชุดดินร้อยเอ็ดที่ปลูกข้าว	41

การสลายตัวและการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟต์ในดินไร่และดินนา

Decomposition and Mineralization of Humified Organic Fertilizer in Upland and Paddy Soils

คำนำ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนของทวีปเอเชียซึ่งมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นแถบเส้นศูนย์สูตร และอิทธิพลของลมมรสุม ซึ่งส่งเสริมให้ดินเกิดการสลายตัวผุพังสูง จากการสำรวจของกรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2526 ประเทศไทยมีพื้นที่ทั้งหมด 320.7 ล้านไร่ โดยพื้นที่ประมาณ 224.9 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ที่มีปัญหาดินเสื่อมโทรม กล่าวคือ ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยพื้นที่ที่มีอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ 0.3-0.5% มีถึง 191 ล้านไร่ หรือคิดเป็น 85% ของพื้นที่ที่มีปัญหาดินเสื่อมโทรม

อินทรีย์วัตถุมีความสำคัญต่อการควบคุมสมบัติด้านต่าง ๆ ของดิน ในดินทรายหากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำกว่าปริมาณที่เหมาะสม เมื่อดินไม่สามารถเกาะตัวกันได้ดี เพราะขาดสารเชื่อมเม็ดดิน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อระดับความชื้นของดิน เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีลงไปก็จะมีโอกาสสูญเสียไปจากดินได้ง่าย ส่วนดินเหนียวที่ขาดอินทรีย์วัตถุก็จะทำให้ดินแน่นทึบ น้ำไม่สามารถไหลผ่านช่องว่างของเม็ดดินได้แต่จะไหลผ่านหน้าดินไปอย่างรวดเร็ว ทำให้แร่ธาตุอาหารพืชและปุ๋ยที่อยู่หน้าบริเวณผิวดินสูญหายไปกับน้ำ เมื่อดินแน่นทึบอากาศในดินน้อย รากพืชไม่สามารถชอนไชไปหาอาหารบริเวณไกลได้ ในที่สุดพืชก็จะมีการเจริญเติบโตไม่ดีและให้ผลผลิตต่ำ ซึ่งมีผลกระทบต่อการผลิตทางการเกษตร

การปรับปรุงดินโดยใช้วัสดุอินทรีย์มีหลายชนิด เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด นอกจากนี้ได้มีการใช้กากตะกอนน้ำเสียในการปรับปรุงดิน ซึ่งประพิศ และภาวนา (2544) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการปลดปล่อยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน จากการใส่กากตะกอนน้ำเสียพบว่ากากตะกอนที่นำมาใช้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 58.5 % ในโตรเจนทั้งหมด 3.64 % ฟอสฟอรัสทั้งหมด 1.38 % ดังนั้นกากตะกอนน้ำเสียจึงมีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งของธาตุอาหารในดินได้ อีกทั้งยังสามารถปรับปรุงสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ ชีวะของดินให้ดีขึ้น สามารถช่วยดูดซับธาตุต่าง ๆ ไว้ไม่ให้สูญหายไป ส่งเสริมประสิทธิภาพของปุ๋ยเคมี และยังสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ แต่อย่างไรก็ตาม การใช้กากตะกอนน้ำเสียอาจมีข้อจำกัดในการใช้คือ มีเชื้อโรคปะปน กลิ่นเหม็น มีความชื้นสูงต้อง

ใช้ในปริมาณมาก ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้าย และที่สำคัญกากตะกอนบางชนิดบางชนิดอาจทำให้มีสารพิษตกค้าง ถ้ามีการใช้ติดต่อกันเป็นเวลานาน

ปัจจุบันมีการนำกากตะกอนน้ำเสียมาทำการอบด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 120-180 °C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ เพื่อแปรสภาพให้อยู่ในรูปที่สลายตัวได้ช้าลง และมีสมบัติคล้ายสารอินทรีย์ โดยเรียกวัสดุดังกล่าวว่า ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ (Humified organic fertilizer) ซึ่งวัตถุประสงค์ของการผลิตปุ๋ยชนิดดังกล่าวขึ้นมา ก็เพื่อให้ปุ๋ยอินทรีย์มีความทนต่อการสลายตัวมากขึ้น สลายตัวช้าลง และค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหาร ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการเพิ่มระดับอินทรีย์วัตถุในดินในระยะยาวได้ ดังนั้นก่อนนำปุ๋ยดังกล่าวนี้ไปใช้ประโยชน์ในสภาพไร่นา ควรมีการทดสอบอัตราการสลายตัวและการปลดปล่อยธาตุอาหารในห้องปฏิบัติการ และเรือนทดลองก่อน

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาอัตราการสลายตัวและการปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ในสภาพดินไร่และสภาพดินนา
- 2) ศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ปรับปรุงดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำในสภาพของการปลูกข้าวน้ำแข็ง

การตรวจเอกสาร

1. ลักษณะทั่วไปของดินไรและดินนาในประเทศไทย

1.1 ดินไรในประเทศไทย

จากตัวเลขสถิติการใช้ที่ดินในปี 2526 ประเทศไทยมีเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 321 ล้านไร่ เป็นเนื้อที่ถือครองทางการเกษตร 124 ล้านไร่ เป็นที่ดอนประมาณ 50 ล้านไร่ โดยพื้นที่ดอนหรือดินไรส่วนใหญ่ใช้ในการปลูกพืชล้มลุกถึง 29 ล้านไร่ ใช้ปลูกไม้ผลและไม้ยืนต้น 12 ล้านไร่ พืชผัก ไม้ดอก ไม้ประดับอีกประมาณ 6 แสนไร่ ดินไรส่วนใหญ่อยู่ในอันดับ Ultisols เป็นเนื้อที่ 110.6 ล้านไร่ (คิดเป็นร้อยละ 77.4) อันดับ Alfisols 15.6 ล้านไร่ (คิดเป็นร้อยละ 10.9) อันดับ Inceptisols 5.8 ล้านไร่ (คิดเป็นร้อยละ 4) อันดับ Entisols 4.8 ล้านไร่ (คิดเป็นร้อยละ 3.4) ดินไรโดยทั่วไปมีเนื้อดินเป็นร่วนปนทรายสูงถึงร้อยละ 49 มีเนื้อดินหยาบ มีเศษหิน กรวดหรือชั้นลูกรังปะปนร้อยละ 34 เป็นดินเหนียวประมาณร้อยละ 13 ส่วนที่เหลือเป็นดินทรายร้อยละ 4

เนื่องจากดินไรอยู่ในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงประกอบกับประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น จึงง่ายต่อการเกิดการชะพังทลายและการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุเป็นไปอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในเกณฑ์ต่ำ มีโครงสร้างดินเลว หน้าดินจับตัวเป็นแผ่นแข็ง ความหนาแน่นรวม และความหนาแน่นของเม็ดดินสูง ความสามารถในการอุ้มน้ำและเก็บความชื้นต่ำ จากการสำรวจพบว่า ดินไรร้อยละ 61 มีอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในเกณฑ์ $< 2\%$ ร้อยละ 24 อยู่ในเกณฑ์ 2-3% และมีเพียงร้อยละ 15 เท่านั้นที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่มากกว่า 3% ดินไรมักจะมีความเป็นกรดเป็นด่างแปรปรวน แต่ส่วนใหญ่จะมีสภาพเป็นกรด ดินไรประมาณร้อยละ 50 จะมี pH ต่ำกว่า 5.6 ร้อยละ 32 มี pH ระหว่าง 5.6-6.5 ที่เหลือมี pH ตั้งแต่ 6.6 ขึ้นไป ดินไรมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity) ก่อนข้างต่ำ เนื่องจากดินไรในประเทศไทยส่วนใหญ่ประกอบด้วยดินเหนียวชนิดไม่ active และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุค่อนข้างต่ำ ร้อยละ 75 ของดินไรมีค่า C.E.C. ต่ำกว่า 5 cmol/kg ประมาณร้อยละ 15 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ระหว่าง 5-10 cmol/kg และอีกประมาณร้อยละ 8 มีค่า C.E.C. มากกว่า 10 cmol/kg ขึ้นไป สำหรับทางด้านปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริม พบว่าปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอยู่ในระดับต่ำ ส่วนโพแทสเซียมมีปริมาณที่เพียงพอ ปริมาณธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริมไม่ปรากฏว่าจะมีการขาดอย่างรุนแรง (สัมฤทธิ์, 2541)

1.2 ดินนา

ดินที่ใช้ปลูกข้าวหรือดินนาจะแตกต่างจากดินที่ใช้ปลูกพืชไร่ คือ ลักษณะของการที่มีน้ำขัง ดินนานั้นจะต้องทำให้หรือปล่อยให้ดินมีน้ำขังไม่น้อยกว่า 3 เดือนตลอดช่วงฤดูการปลูก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2528) ประมาณ 80% ของพื้นที่ที่ปลูกข้าวในโลกจะมีน้ำขัง จากแผนที่ดินและรายงานการสำรวจดินของกองสำรวจและจำแนกดินพบว่า ดินที่ใช้ปลูกข้าวในประเทศไทยมีประมาณ 68,347,473 ไร่ และกระจายอยู่ในภาคต่าง ๆ ดังนี้ ภาคเหนือ 12,862,346 ไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 34,395,772 ไร่ ภาคกลาง 11,140,397 ไร่ ภาคตะวันออกเฉียงใต้ 3,780,351 ไร่ ภาคใต้ 6,348,607 ไร่ (ทศนีย์, 2543)

ดินที่ใช้ปลูกข้าวส่วนใหญ่จะมีความอุดมสมบูรณ์สูง ส่วนใหญ่อยู่ในอันดับ Entisols, Inceptisols, Vertisols, Mollisols และ Alfisols ที่มีพวก layer silicate เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ และมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ยกเว้นภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีเนื้อดินเป็นร่วนปนทรายมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีอินทรีย์วัตถุเฉลี่ย 0.56 % (วิโรจ, 2532)

2. ความสำคัญของอินทรีย์วัตถุในดิน

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเป็นตัวบ่งชี้ถึงความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพราะอินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งให้ธาตุอาหารพืชในดินหลายชนิด โดยเฉพาะไนโตรเจน จากการศึกษพบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีความสัมพันธ์อย่างสูงกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

2.1 อินทรีย์วัตถุต่อสมบัติทางกายภาพของดิน

อินทรีย์วัตถุจะทำให้ดินมีสีเข้มขึ้นและเนื่องจากอินทรีย์วัตถุมีพื้นที่ผิวจำนวนมากจึงสามารถเก็บความร้อนไว้ได้มาก เป็นฉนวนต่อความร้อนและแสงแดด ทำให้ความร้อนไม่กระทบกระเทือนต่อรากพืชมากเกินไป (กรมวิชาการเกษตร, 2548) และยังทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมที่คอยเชื่อมยึดอนุภาคดินเข้าด้วยกันให้กลายเป็นเม็ดดิน (aggregate) โดยเฉพาะช่วยให้ดินเกิดโครงสร้างแบบเม็ดกลม ทำให้ดินมีช่องว่างภายในโครงสร้างและระหว่างโครงสร้างของเม็ดดินมากมายซึ่งจะทำให้ดินทรายอุ้มน้ำได้ดีขึ้น ช่วยให้ดินเหนียวมีการระบายน้ำดีขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2528)

2.2 อินทรีย์วัตถุต่อสมบัติทางเคมีของดินและธาตุอาหารพืช

ผลของอินทรีย์วัตถุต่อสมบัติทางเคมีของดินมีทั้งทางตรงและทางอ้อม ทางตรงคือ อินทรีย์วัตถุโดยเฉพาะฮิวมัส เป็นส่วนที่เสถียรที่สุดของอินทรีย์วัตถุในดินมีลักษณะเป็นคอลลอยด์ ที่มีประจุลบและบวกสูง จึงทำให้ดินมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุได้มาก ในทางอ้อมนั้น อินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งธาตุอาหาร และพลังงานที่สำคัญของจุลินทรีย์ นอกจากนี้จากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุนั้นจะมีการปลดปล่อยสารบางอย่างที่สามารถละลายธาตุอาหารบางตัวในแร่ธาตุออกมาได้จากกระบวนการ chelation (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2528) อินทรีย์วัตถุยังเป็นตัวกลางในการปรับเปลี่ยนสมดุลทางเคมีของดิน โดยเฉพาะกับความเป็นกรด่างของดินทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินเพิ่มสูงขึ้น ช่วยในการลดความเป็นพิษของธาตุอาหารบางชนิด เช่น เหล็ก อะลูมิเนียม และแมงกานีส และสามารถยับยั้งการดูดธาตุโซเดียมของรากพืชจากดินที่มีเกลือโซเดียมค่อนข้างสูงทำให้ความเค็มของดินรอบ ๆ รากพืชลดลง ช่วยต้านทานการแพร่กระจายของดินเค็มโดยลดการระเหยของเกลือจากชั้นใต้ดิน

2.3 อินทรีย์วัตถุต่อจุลชีววิทยาของดิน

อินทรีย์วัตถุในดินที่ได้มาจากซากพืชและสัตว์จะถูกใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานแก่จุลินทรีย์ และสัตว์ชนิดอื่นในดิน มีผลทำให้กระบวนการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินเกิดขึ้นและเป็นไปอย่างต่อเนื่อง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2528) นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมโรคพืชบางชนิด เช่น โรคต้นเน่าของข้าวโพดหรือโรคเน่าคอดินของถั่วเหลือง เพราะจะช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ชนิดที่อาจสามารถควบคุมจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคโคนเน่า แต่สารอินทรีย์บางชนิดที่ได้จากการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์อาจมีความเป็นพิษต่อพืชได้เช่นกัน (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

อรพินท์ และคณะ (2531) ทำการศึกษาผลของการใช้วัสดุอินทรีย์ต่อสมบัติทางเคมีของดิน และผลผลิตของข้าวโพดในชุดดินปากช่อง ซึ่งประกอบด้วย 4 กรรมวิธี คือ 1) ไม่มีการคลุมดิน 2) คลุมดินด้วยตอซังข้าวโพดในฤดูแล้ง (ปลูกถั่วเขียว) 3) สับกลบลงไปดินในฤดูแล้ง (ปลูกถั่วเขียว) 4) คลุมดินด้วยตอซังข้าวโพดพร้อมปลูกข้าวโพดในฤดูปลูก พบว่าผลผลิตของข้าวโพดสูงสุดในกรรมวิธีคลุมดินด้วยตอซังข้าวโพดพร้อมปลูกข้าวโพดในฤดูปลูก ซึ่งได้ผลผลิตสูงถึง 390 กิโลกรัม/ไร่ เปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นที่ไม่มีการคลุมดินได้ผลผลิตของข้าวโพดเพียง 291 กิโลกรัม/ไร่ แสดง

ให้เห็นว่าในระหว่างฤดูปลูกถ้าเกิดสภาวะฝนทิ้งช่วงแล้ว การใช้เศษวัสดุอินทรีย์คลุมดินมีผลในการช่วยเก็บความชื้นให้กับดินและสามารถทำให้ผลผลิตของข้าวโพดเพิ่มขึ้นได้

Solar Rovita และคณะ (2003) ทำการศึกษาการใช้ปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อ humic acid ในดิน ทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของปุ๋ยหมักที่ใช้กากตะกอนน้ำเสียผสมกับเศษไม้ โดยทำการทดลองเปรียบเทียบดินไม่ใส่ปุ๋ยหมัก ดินใส่ปุ๋ยหมัก 2 อัตรา กับพื้นที่ที่ปลูกข้าวบาร์เลย์และไม่ได้ปลูก ทำการวิเคราะห์กรดฮิวมิก ที่สกัดจากกรรมวิธีต่าง ๆ พร้อมทั้งวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและวิเคราะห์หมู่ functional group โดยใช้ Fourier Transfer Infrared (FTIR), Fluorescence และ Electron Spin Resonance Spectroscopy ในดินที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยหมัก พบว่ากรดฮิวมิกในปุ๋ยหมักมีลักษณะเด่น คือ หมู่ aliphatic มีปริมาณ oxygenated functional group ต่ำ จะมีหมู่ functional group ที่มี S และ N เป็นองค์ประกอบอยู่สูง และมี polysaccharide เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ มีปริมาณอนุมูลอิสระต่ำ การทดลองพบว่าการใช้ปุ๋ยหมักในอัตราต่ำจะเป็นตัวจำกัดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสมบัติทางเคมีของกรดฮิวมิก แต่การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อใช้ปุ๋ยหมักอัตราสูง

3. ชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการเกษตร

จากการสำรวจและรายงานของกรมพัฒนาที่ดินพบว่าดินเพื่อการเกษตรของประเทศไทยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุโดยทั่วไปค่อนข้างต่ำ จึงจำเป็นต้องเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินโดยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทดแทนธาตุอาหารให้กับดิน ทั้งนี้ปริมาณการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในประเทศไทยได้แก่ มูลสัตว์ 30 ล้านตันต่อปี และเศษซากพืช 130 ล้านตันต่อปี ซึ่งไม่เพียงพอต่อการปรับปรุงบำรุงดิน

3.1 ปุ๋ยคอก

ปุ๋ยคอก คือ อุจจาระและปัสสาวะของปศุสัตว์ ซึ่งรวมถึงวัสดุรองพื้นคอก ได้แก่ ฟาง ข้าว แกลบ และเศษหญ้า ปุ๋ยคอกส่วนใหญ่ประกอบด้วยอินทรีย์วัตถุที่เรียกว่า ฮิวมัส แบคทีเรีย ชนิดต่าง ๆ และส่วนของอาหารสัตว์ที่ย่อยไม่หมด เช่น เซลลูโลส และ ลิกนิน นอกจากนี้ยังมีวิตามินและฮอร์โมนต่าง ๆ ปริมาณธาตุอาหารของพืชที่มีอยู่ในปุ๋ยคอกจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ อายุ และอาหารที่สัตว์กินเข้าไป ปุ๋ยคอกโดยทั่วไปมีปริมาณไนโตรเจน 1-2% ฟอสฟอรัส 0.4-3% และโพแทสเซียม 0.1-2% โดยประมาณ โดยปกติปุ๋ยคอกจะมีสัดส่วนของฟอสฟอรัสค่อนข้างต่ำ

ก่อนใช้ควรผสมด้วยปุ๋ยฟอสเฟต 11-12 กิโลกรัมต่อตัน เพื่อเพิ่มปริมาณฟอสเฟตและจะช่วยให้ยูเรียในปุ๋ยคอกเปลี่ยนรูปเป็นเกลือแอมโมเนียมซัลเฟตที่มีความเสถียรทำให้ลดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปก๊าซแอมโมเนีย (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

3.2 ปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก เป็นปุ๋ยที่ได้จากการนำวัสดุอินทรีย์ต่าง ๆ มาผ่านกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์จนแปรสภาพจากรูปเดิม กระบวนการหมักเป็นกระบวนการทางชีววิทยา โดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์บางชนิดภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ซึ่งจะย่อยสลายสารอินทรีย์จนกลายเป็นปุ๋ยที่มีลักษณะนุ่มยุ่ย ขาดจากกันได้ง่าย มีอุณหภูมิไม่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศซึ่งเหมาะที่จะใส่บำรุงดินเพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ช่วยให้ดินร่วนซุยและอุ้มน้ำได้มากขึ้น (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

3.3 ปุ๋ยพืชสด

ปุ๋ยพืชสด เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการไถกลบพืชสด ๆ ที่โตได้ขนาดที่เหมาะสมลงในดิน เพื่อเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารในดิน ช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมในการไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสด คือ ระยะออกดอกเต็มที่ พืชที่นิยมใช้เป็นปุ๋ยพืชสดได้แก่ ถั่วพุ่ม ถั่วเขียว โสนอินเดีย โสนแอฟริกัน โสนกางคก กระถิน ปอเทือง และແພນແດງ พืชพวกนี้สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศเมื่อนำมาใช้ประโยชน์ พืชเหล่านี้จะสลายตัวและปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาในรูปที่พืชอื่น ๆ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2548) โดยใช้เมล็ดปุ๋ยพืชสดประมาณ 5-8 กิโลกรัม/ไร่ มาปลูกและดูแลรักษาบ้างเล็กน้อย เมื่อปุ๋ยพืชสดอายุครบกำหนดสามารถไถกลบเป็นพืชปุ๋ยสดบำรุงดินได้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2535)

4. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงดิน

อนนท์ และคณะ (2533) ทดลองการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกพบว่า ในฤดูนาปี 2531 การใส่มูลไก่ในอัตรา 600 กิโลกรัม/ไร่ ให้ผลผลิตข้าวไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 8-4-0 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O/ไร่ คือ 633 และ 672 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ แต่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยซึ่งให้

ผลผลิตข้าว 474 กิโลกรัม/ไร่ และในปีเดียวกันทำการทดลองที่สถานีทดลองข้าวชัยนาท ผลการทดลองพบว่า การใส่มูลวัวอัตรา 1,500 กิโลกรัม/ไร่และปุ๋ยเคมีอัตรา 8-4-0 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O/ไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญ คือ 573 และ 676 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยซึ่งได้ผลผลิตเพียง 469 กิโลกรัม/ไร่

อรรณ และคณะ (2549) ศึกษาคุณค่าของการเติมเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวในการปลูกข้าว โดยใช้ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ ต.ดอนยอ อ.เมือง จ.นครนายก ซึ่งพื้นที่นาเคยเติมเถ้าลอยลิกไนต์เมื่อปี พ.ศ. 2544 จากการทดลองพบว่าเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (16-20-0 อัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่) ส่งผลให้ผลผลิตข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นจาก 350 เป็น 661 กิโลกรัมต่อไร่ และอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้การดูดซับและสะสมธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และซิลิกอนในรูป crude silicon ในฟางข้าวเท่ากับ 0.73%, 0.077%, 2.59% และ 14.18% ตามลำดับ ทั้งนี้ธาตุอาหารในฟางข้าว 1 ตัน เทียบได้กับการเติมธาตุไนโตรเจน 7.3 กิโลกรัม/ไร่ ฟอสฟอรัส 0.77 กิโลกรัม/ไร่ โพแทสเซียม 25.9 กิโลกรัม/ไร่ และซิลิกอน 142 กิโลกรัม/ไร่ ดังนั้นคุณค่าของการเติมเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวในการปลูกข้าว คือ เพิ่มผลผลิตและอินทรีย์วัตถุในดิน อีกทั้งสามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารเพื่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวและเป็นแหล่งธาตุอาหารในฤดูปลูกข้าวต่อไป

ไพรัช และคณะ (2549) ศึกษาผลของวัสดุปรับปรุงดินร่วมกับการปลูกข้าวต่อการเคลื่อนย้ายเกลือในดิน ดำเนินการที่ ต.เมืองเพีย อ.บ้านไผ่ จ.ขอนแก่น ระหว่างปี 2544-2547 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวัสดุปรับปรุงบำรุงดินร่วมกับการปลูกข้าวต่อการเคลื่อนย้ายเกลือในดิน และต่อผลผลิตข้าวในระบบระบายน้ำแบบร่องเปิด โดยเปรียบเทียบวัสดุปรับปรุงดิน 4 ชนิด คือ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก แกลบอัตรา 2 ตันต่อไร่ และโสนแอฟริกันอัตราเมล็ด 5 กิโลกรัม/ไร่ จากการทดลองพบว่าโซเดียมที่ละลายน้ำได้มีการเคลื่อนย้ายจากผิวดินลงสู่ดินล่างมากขึ้นเมื่อมีการปลูกข้าว ในทำนองเดียวกันค่าการนำไฟฟ้าของดินมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความลึกของดินเพิ่มขึ้น และพบว่าระดับความเค็มของดินลดลง จากดินเค็มจัดที่มีค่าการนำไฟฟ้า (EC_e) ที่ระดับผิวดิน 23.9 dS/m เป็นดินเค็มน้อยที่มีค่า EC_e 3.0, 3.1, 3.3 และ 3.8 dS/m เมื่อมีการใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก แกลบ และโสนแอฟริกัน ตามลำดับ ปีแรกที่ทำการทดลองข้อมูลผลผลิตข้าวแปรปรวนมาก ความเค็มของดินมีผลเหนือต่อการทดลอง คือ การใช้โสนแอฟริกันส่งผลให้ข้าวได้ผลผลิตสูงสุดปีแรก คือ 75 กิโลกรัม/ไร่ เมื่อทำการปลูกข้าวซ้ำในปีที่ 2 (2545/2546) และปีที่ 3 (2546/2547) พบว่าการใช้ปุ๋ย

คอกส่งผลให้ข้าวได้ผลผลิตสูงสุด คือ 217 และ 167 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าการใช้โซน แอฟริกัน แกลบ และปุ๋ยหมัก

สุรพล และคณะ (2549) ทำการศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยมูลสุกร และปุ๋ยเคมีกับข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ในไร่นาเกษตรกรบ้านบึงเตย ต.โป่งตาลอง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี คือ (1) มูลสุกรรองพื้น 500 กิโลกรัม/ไร่ (2) ปุ๋ยเคมี (15-15-15) รองพื้น 50 กิโลกรัม/ไร่ (3) มูลสุกรรองพื้น 500 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับ ปุ๋ยเคมี (15-15-15) 50 กิโลกรัม/ไร่ และ (4) ไม่ใส่ปุ๋ยรองพื้น โดยใช้ระยะปลูกระหว่างแถว 75 เซนติเมตร ระหว่างต้น 30 เซนติเมตร 1 ต้น/หลุม โดยใส่ปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ เมื่อข้าวโพดมีอายุ 21 วัน และอัตรา 12.5 กิโลกรัม/ไร่ เมื่อข้าวโพดมีอายุ 35 วันนับจากวันที่ให้น้ำครั้งแรก ผลการศึกษา 2 กลุ่มปลูกติดต่อกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยมูลสุกรและปุ๋ยเคมีรองพื้นในฤดูปลูกที่ 1 ให้ผลผลิตและคุณภาพข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ไม่แตกต่างกัน ส่วนฤดูปลูกที่ 2 ผลของการใส่ปุ๋ยทั้งสองชนิดรองพื้นจากฤดูที่ 1 ทำให้ผลผลิตทางด้านน้ำหนักของฝักและคุณภาพด้านขนาดของฝักสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ใส่ปุ๋ยรองพื้น

5. การใช้กากตะกอนน้ำเสียในการปรับปรุงดิน

ประพิศ และ ปรีดา (2542) ศึกษาความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากการใส่กากตะกอนน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียของกทม.(ห้วยขวาง) ชุติดินรังสิตกรจัด และชุติดินปากช่องในห้องปฏิบัติการ โดยใส่กากตะกอนชนิดเปียกและแห้งอย่างละ 3 อัตราคือ 0.25, 0.5 และ 0.75 % C บ่มดินที่คลุกกากตะกอนที่อุณหภูมิห้อง 12 สัปดาห์ ศึกษาระดับความชื้นของดินไว้ที่ 60 % ของความจุอุ้มน้ำของดิน (water holding capacity, WHC) ผลการศึกษาพบว่า การใส่กากตะกอนทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์หรือ อนินทรีย์ไนโตรเจนในดินสูงขึ้นทั้ง 2 ชุติดิน และเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราการใส่และระยะเวลาของการบ่มดิน นอกจากนี้การใส่กากตะกอนลงดินทำให้ไนโตรเจนทั้งหมดและอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้นด้วย โดยอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้น 0.5 เท่าในชุติดินรังสิตกรจัดและ 4 เท่าในชุติดินปากช่อง

Aggelides and Londra (1999) ทำการศึกษาผลของของเสียจากบ้านเรือนและกากตะกอนน้ำเสียต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของดินร่วนและดินเหนียว โดยใช้ของเสียจากบ้านเรือน กากตะกอนน้ำเสีย จีเลื้อย เท่ากับ 62%, 21%, 17% โดยปริมาตรของดิน ตามลำดับ โดยใส่ในอัตรา 0 (ควบคุม) 75 ,

150 และ $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ในดินทั้งสองชนิดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของดิน การทดลองทำในสภาพภูมิอากาศแบบ semi-arid climate จะเห็นได้ว่าสมบัติทางเคมีของดินนั้นเป็นผลจากการใส่วัสดุอินทรีย์ สมบัติทางฟิสิกส์ของดินดีขึ้นทุกอย่าง เช่น ความอึดตัวและไม่อึดตัวต่อค่าการนำน้ำ ความสามารถในการกักเก็บน้ำ ความหนาแน่นรวม ปริมาณช่องว่างทั้งหมด การกระจายตัวของช่องว่าง ระยะการซึมผ่านของน้ำในดิน การเกาะตัวของเม็ดดิน และ ความคงทนของเม็ดดิน ที่เป็นผลเกี่ยวข้องกัน สมบัติทางฟิสิกส์ของดินเหล่านี้ดีขึ้นตามอัตราการใช้วัสดุอินทรีย์ และจากการทดลองจะเห็นว่าการใส่วัสดุอินทรีย์ในดินร่วนจะให้ผลดีกว่าดินเหนียว

Terry และคณะ (1981) ทำการศึกษาผลของสภาพแวดล้อมของดินต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากการใส่กากตะกอนน้ำเสีย วัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้เพื่อวิเคราะห์ผลของ pH ดิน ความชื้นของดิน อัตราการใส่กากตะกอน อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มดิน และตัวยับยั้งกระบวนการ nitrification ที่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน โดยใช้กากตะกอนที่ติดฉลากด้วย ^{15}N ในระดับต่ำกว่า 0.1 % ของการใส่ sludge-N วิธีการบ่มดินจะใช้กากตะกอน 2 กรัมต่อดิน 200 กรัมรักษาระดับความชื้นที่ 1 บาร์ บ่มที่อุณหภูมิ 21°C เป็นเวลา 168 วัน จับ NH_3 ที่ปลดปล่อยออกมาโดยใช้ $0.5\text{M H}_2\text{SO}_4$ และวิเคราะห์ด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ นำตัวอย่างดิน 1 กรัมเพื่อวิเคราะห์ปริมาณ NH_4^+ และ $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$ ที่มีอยู่ในดินด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ การวิเคราะห์ผลของ pH ดินจะใช้ค่า pH ที่ 5.3, 6.0 และ 7.5 ความชื้นดินที่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจะใช้ที่ระดับความชื้น -0.25, 0.5 และ 1 บาร์ อัตราการใส่กากตะกอน 1, 2 และ 4 กรัมต่อดิน 200 กรัม และผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจะทำการบ่มดินที่อุณหภูมิ 15, 21 และ 30°C ตัวยับยั้งกระบวนการ nitrification จะใช้ nitrapyrin อัตรา 3 ไมโครกรัมต่อกรัมของกากตะกอนในดิน จากผลการทดลองพบว่าอัตราการเกิด nitrification จะเกิดขึ้นเร็วในดินที่ใส่กากตะกอนเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินที่ไม่ใส่กากตะกอน การใส่กากตะกอนที่เป็นด่างในดินที่เป็นกรดระดับ pH จะเหมาะสมกับการเกิด nitrification ค่า pH ที่ 7.5 เหมาะสมต่อการเกิด nitrification มากกว่าที่ pH 6.0 และ 5.3 การสะสม $\text{NO}_2\text{-N}$ จะเกิดขึ้นที่ pH ประมาณ 7.5 ความชื้นที่ระดับ -0.25 และ 0.5 บาร์ จะเหมาะสมกับการเกิด nitrification มากกว่า 1 บาร์ ส่วนอัตราการใส่กากตะกอนไม่มีผลต่อการเกิด nitrification กระบวนการ nitrification จะถูกยับยั้งด้วยที่ 112 วันหลังจากบ่มดิน อัตราการเกิด nitrification และ immobilization จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

Zaman และคณะ (2002) ทำการศึกษาผลกระทบของการใส่กากตะกอนน้ำเสียและปุ๋ยเคมีต่อมวลชีวภาพของจุลินทรีย์และอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจน สมบัติทางเคมีของดิน อัตราการ

ปลดปล่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ ใช้ตัวอย่างดินจากสองแหล่งคือ Taba farm และ Chiba farm ที่มีการใส่กากตะกอนน้ำเสียหรือปุ๋ยเคมีในอัตรา 200 kg ha^{-1} เป็นเวลา 22 ปี (Taba farm) และ 2 ปี (Chiba farm) ทำการทดลองทั้งหมด 3 แปลงโดยแต่ละแปลงจะใส่กากตะกอนน้ำเสียกับขี้เลื่อย กากตะกอนน้ำเสียกับแกลบ และปุ๋ยเคมี เก็บตัวอย่างดินแต่ละแปลงมา 1 กิโลกรัมใส่ในกล่องพลาสติก รักษาระดับความชื้นของดินไว้ที่ 80% WHC บ่มดินที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 90 วัน ทำการชั่งน้ำหนักและปรับความชื้นทุกๆ 4 วัน นำตัวอย่างที่ทำกรบ่มแต่ละช่วงเวลามา 70 กรัมเพื่อวิเคราะห์ปริมาณ NH_4^+-N , NO_3^--N และ microbial biomass-C และ -N ซึ่งปริมาณ NH_4^+ ในดินสกัดด้วย 2M KCl (1:2) และวิเคราะห์ด้วยวิธี nitroprusside method ปริมาณ NO_3^- วิเคราะห์โดยใช้วิธี hydrazine reduction method ปริมาณ microbial biomass-C และ -N วิเคราะห์โดยวิธี fumigation extraction methods วิธีการวิเคราะห์ปริมาณ CO_2 จะใช้ดิน 100 กรัมใส่ในขวดขนาด 200 มล. แล้วนำไปใส่ในขวดโหลแก้วขนาด 600 มล. ที่มี vials ขนาด 30 มล. ซึ่งบรรจุ NaOH อยู่เพื่อจับ CO_2 แล้วนำไปบ่มที่สถานะเดียวกัน นำมาวิเคราะห์ปริมาณ CO_2 ด้วยวิธี gas chromatography จากผลการทดลองพบว่า pH ของดินที่ใส่กากตะกอนน้ำเสียจะมีค่าสูงกว่าดินที่ใส่ปุ๋ยเคมี ที่ Taba farm จะมีการกระจายของ CO_2 การสะสม CO_2 และปริมาณ microbial biomass-C และ -N ในตัวอย่างที่ใส่กากตะกอนน้ำเสียกับขี้เลื่อย กากตะกอนน้ำเสียกับแกลบ มีนัยสำคัญสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี และสูงกว่าที่กากตะกอนน้ำเสีย กับขี้เลื่อย กากตะกอนน้ำเสียกับแกลบที่ Chiba farm ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนในตัวอย่างที่ใส่กากตะกอนน้ำเสียกับขี้เลื่อย กากตะกอนน้ำเสียกับแกลบใน Taba farm จะให้นัยสำคัญสูงกว่าตัวอย่างดินที่ใส่กากตะกอนน้ำเสียกับขี้เลื่อย กากตะกอนน้ำเสียกับแกลบ และปุ๋ยเคมี ที่ Chiba farm และตัวอย่างดินที่ใส่ปุ๋ยเคมีใน Taba farm ซึ่งการปลดปล่อยไนโตรเจนจะติดลบแสดงให้เห็นการเกิดกระบวนการ immobilization จากการทดลองการใส่กากตะกอนน้ำเสียในดินดีกว่าและจะกระตุ้น microbial biomass ดีกว่าดินที่ใส่ปุ๋ยเคมี ซึ่งถ้ามีการเปลี่ยนมาใช้แทนปุ๋ยเคมี บางช่วงจะส่งเสริมประสิทธิภาพของธาตุอาหารในระบบการเกษตรได้

Sastre และคณะ (1996) ศึกษาอิทธิพลของการใช้กากตะกอนน้ำเสียต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน โดยใช้ตัวอย่างดินที่มีเนื้อดินเป็นร่วนเหนียวปนทราย ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียจากสองแหล่งคือจากโรงงานอุตสาหกรรมและจากแหล่งชุมชน โดยใส่ในอัตรา 50 และ 100 ตัน/เฮกตาร์เป็นเวลา 8 ปี แบ่งการทดลองออกเป็น 3 แปลง คือ แปลงที่ 1 ไม่ใส่กากตะกอนและปุ๋ยเคมี แปลงที่ 2 ใส่กากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมร่วมกับปุ๋ยเคมี และแปลงที่ 3 ใส่กากตะกอนจากชุมชนร่วมกับปุ๋ยเคมี จากผลการทดลองจะพบว่าเปอร์เซ็นต์ของกรดอิมิกเพิ่มขึ้นในดินที่มีการใส่กากตะกอน ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์จะมีความสัมพันธ์อย่างมากกับจำนวนของจุลินทรีย์ปริมาณของ

humic substance ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้กากตะกอนจะเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน และช่วยให้อินทรีย์วัตถุมีการสลายตัวอย่างช้า ๆ

Barbarika และคณะ (1985) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยไนโตรเจนในดินที่ใส่กากตะกอนโดยทำการบ่มดินและวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบทางบวกต่ออัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนคือปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ทำการบ่มดิน และปัจจัยที่มีผลทางลบต่อการปลดปล่อยไนโตรเจนคือค่า C/N ratio ของตัวกากตะกอนและดินเอง ซึ่งค่า C/N ratio ได้มาจากการวิเคราะห์ทางสถิติ ที่ได้มาจากการบ่มดินทั้งหมด 6 ครั้งจากการใส่กากตะกอนที่แตกต่างกันและได้มาจากที่ต่างๆ นำมาบ่มภายใต้เวลา อุณหภูมิ ความชื้น และอัตราการใช้ที่เท่ากันและมีค่าสหสัมพันธ์ ($r^2 = 0.75$) ผลจากการบ่มดินทั้งหมด 6 ครั้งจะนำมาคำนวณในสมการ วิธีการปลดปล่อยไนโตรเจนจะศึกษาจากค่า PONM (percent organic N mineralized) ที่คำนวณจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ปลดปล่อยออกมาในครั้งสุดท้ายของการบ่มดิน ค่า PONM จะคำนวณจาก Ordinary and generalized least-squares technique และใช้ค่า r^2 เป็นตัวเปรียบเทียบค่าต่างๆที่เป็นองค์ประกอบในสมการพบว่าดินเป็นปัจจัยสำคัญในการทำนายการปลดปล่อยไนโตรเจนของกากตะกอนที่ใส่ในดิน

Leiros และคณะ (1999) ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและความชื้นต่อการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในดินโดยใช้ดินในอันดับ Ambrisols (FAO, 1994) ในป่าโอ๊ค ในเมือง Caldas และ Nodar ประเทศสเปน โดยเก็บตัวอย่างดินที่ชั้น O และ Ah ทำการบ่มดินเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ CO_2 และอนินทรีย์ไนโตรเจนทั้งหมดที่ปลดปล่อยออกมาจากการสลายตัวของตัวอย่างดิน โดยนำตัวอย่างดิน 50 กรัมใส่ในขวดปากกว้างแล้วนำ vial ที่บรรจุ 0.5N NaOH 10 มล.ใส่ลงในขวด แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ และความชื้นต่างกัน 4 แบบ ได้แก่ 1) ที่อุณหภูมิ 25°C ความชื้นดินชั้น O เท่ากับ 120% และชั้น Ah เท่ากับ 42% (ในตัวอย่างดินจากเมือง Caldas) และความชื้นดินชั้น O เท่ากับ 80% และชั้น Ah เท่ากับ 45% (ในตัวอย่างดินจากเมือง Nodar) 2) ที่อุณหภูมิ 25°C ดินมีความชื้นสนามทั้งสองตัวอย่าง 3) อุณหภูมิสนาม ความชื้นดินชั้น O เท่ากับ 120% ชั้น Ah เท่ากับ 42% (ในตัวอย่างดินจากเมือง Caldas) และชั้น O เท่ากับ 80% ชั้น Ah เท่ากับ 45% (ในตัวอย่างดินจากเมือง Nodar) ตามลำดับ 4) ที่อุณหภูมิและความชื้นสนาม จากผลการทดลองพบว่า CO_2 ที่ปลดปล่อยออกมามีปริมาณต่ำสุดในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว เป็นเพราะว่ามีความชื้นต่ำและอุณหภูมิต่ำตามลำดับ ซึ่งทั้งสองปัจจัยมีความสำคัญในการเป็นตัวควบคุมการสลายตัวของ

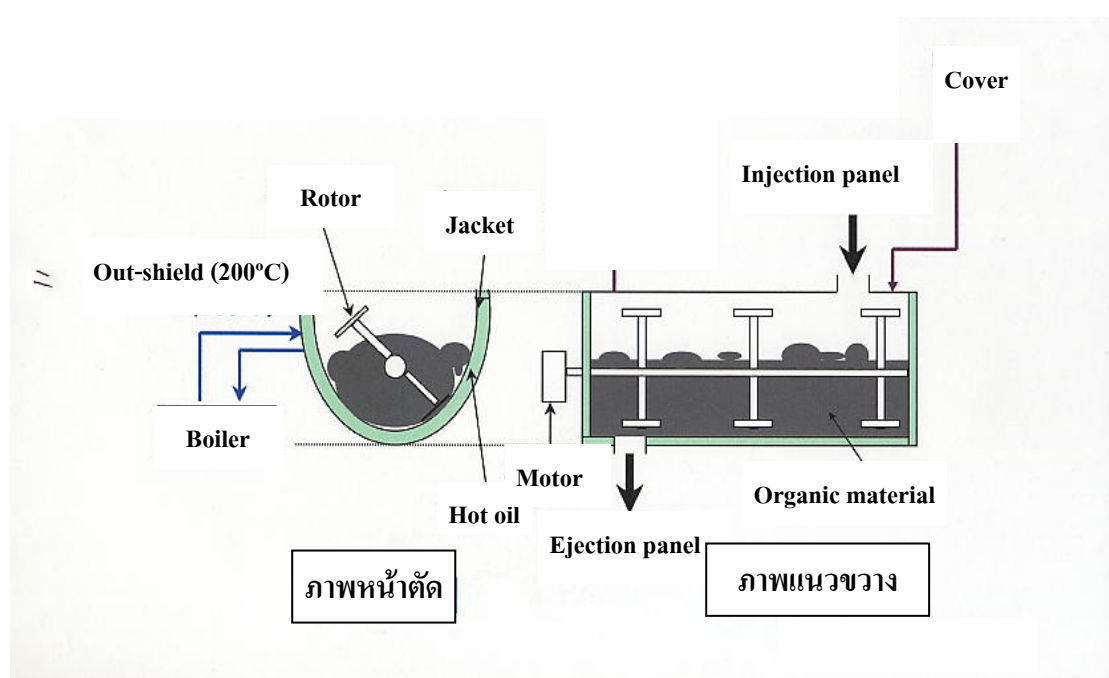
อินทรีย์วัตถุในดิน ส่วนการสลายตัวปลดปล่อยไนโตรเจนพบว่าจะเกิดขึ้นได้ดีในดินชั้น O เป็น เพราะมีความชื้นที่ผิวดินเหมาะสม

Miyittah และ Inubushi (2003) ทำการศึกษาการสลายตัวและการปลดปล่อยก๊าซ $\text{CO}_2\text{-C}$ จากการใส่กากเหลือจากการทำเต้าหู้ กากตะกอนน้ำเสีย มูลวัว และมูลไก่ ในดิน ทำการวิเคราะห์ อัตราการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และระดับมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ โดยใช้กากเหลือจากการทำเต้าหู้ มูลวัว มูลไก่ และกากตะกอนน้ำเสีย ใช้อัตรา 50 หรือ 150 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม การบ่มดินใช้ปุ๋ยหมักอัตรา 0, 2 และ 6 กรัมต่อดิน 40 กรัม เพื่อให้ได้อัตราส่วน 0, 50 และ 150 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ผสมในขวดขนาด 200 มล. รักษาระดับความชื้นของดินไว้ที่ 60%WHC นำ vials ขนาด 30 ซึ่งบรรจุ 0.3M NaOH อยู่ 20 มล. เพื่อจับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมา นำตัวอย่างไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์ จากผลการทดลองพบว่าปริมาณ $\text{CO}_2\text{-C}$ ที่ปลดปล่อยออกมามีเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและจะแตกต่างกันตามปริมาณการใช้และธรรมชาติของปุ๋ยหมักเอง ปริมาณ $\text{CO}_2\text{-C}$ ที่ระเหยออกมาพบว่า กากเหลือจากการทำเต้าหู้จะสลายตัวปลดปล่อยคาร์บอนออกมามากกว่ามูลไก่ กากตะกอนน้ำเสียและมูลวัวตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจาก ระดับของ labile C จากปริมาณมวลชีวภาพในดินที่ใส่กากเหลือจากการทำเต้าหู้มากกว่าดินที่ใส่มูลไก่ กากตะกอนน้ำเสีย และมูลวัวตามลำดับ

6. ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์

ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ (Humified organic fertilizer) ได้จากการอบความร้อนวัสดุอินทรีย์ เช่น กากตะกอนและมูลสัตว์ต่าง ๆ เป็นต้น ในถังอบที่ให้ความร้อนทางอ้อม (indirect heating) ผ่านชั้นของของเหลวความร้อน ได้แก่ น้ำมันร้อน (thermo oil หรือ hot oil) ภายใต้อุณหภูมิและความดันที่กำหนดในระบบถึงปิด (ภาพที่ 1) ซึ่งการให้ความร้อนโดยวิธีนี้ทำให้วัสดุอินทรีย์ในถังอบได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง ไม่ทำให้ไหม้ สามารถรักษาคุณภาพด้านธาตุอาหารไว้ได้ ไม่ทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจน ถึงแม้ทั้งนี้จะใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 120 – 180 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม ขณะนี้ยังไม่ทราบถึงระดับอุณหภูมิและความดันที่เหมาะสมของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ดังกล่าว ซึ่งกำลังอยู่ในขั้นตอนการวิจัย โดยมีสมมติฐานว่าสารอินทรีย์จะมีการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุลภายใต้อุณหภูมิและความดันที่เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อให้สารประกอบอินทรีย์ในวัสดุอินทรีย์ดังกล่าวมีหมู่ฟังก์ชันประเภทอะโรมาติก (aromatic functional group) เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับพัฒนาการของการเกิดฮิวมิส ซึ่ง Lu et al (2001) ก็พบว่า ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิด

กระบวนการ decarboxylation และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี ทำให้สัดส่วนระหว่างออกซิเจนกับคาร์บอนลดลงจากการสูญหายไปของ oxygen-containing functional groups ได้แก่ methoxyl, carboxylic และ carbonyl functional groups โดยการเกิดกระบวนการ aromatization และปฏิกิริยา condensation ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญของการเกิด humification ทำให้มีสารประกอบประเภทอะโรมาติกเพิ่มขึ้นซึ่งจะมีความคงทนต่อการสลายตัวสูงกว่าสารประกอบประเภทอะลิฟาติก ดังนั้นหากวัสดุอินทรีย์มีการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุลและให้สารประกอบประเภทอะโรมาติกเพิ่มขึ้น วัสดุอินทรีย์ดังกล่าวก็จะคงทนต่อการสลายตัวได้นานขึ้นซึ่งจะมีสมบัติใกล้เคียงกับฮิวมัส ดังนั้นจึงเรียกปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้ว่า ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์

ที่มา: Kurita Co.Ltd.

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ตัวอย่างดินในชุดดินร้อยเอ็ด จากพื้นที่นาของเกษตรกร เก็บที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร อ.เมือง จ.อุบลราชธานี และชุดดินสตึก เก็บที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร จากพื้นที่ที่ปลูกข้าวโพด จ. นครสวรรค์

ชุดดินร้อยเอ็ด (Roi Et series : Re) จัดอยู่ในวงศ์ fine-loamy, mixed, subactive, isohyperthermic Aeric Kandiaquults เกิดจากการทับถมของตะกอนลำนํ้าเก่า บนลานตะพักลำนํ้าระดับต่ำ ชุดดินร้อยเอ็ดเป็นดินลึก มีการระบายน้ำค่อนข้างเร็ว ดินสามารถให้น้ำซึมผ่านปานกลางถึงช้า มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า ดินบนมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายลึกไม่เกิน 20 เซนติเมตร สีพื้นเป็นสีน้ำตาล มีจุดประสีน้ำตาลปนเหลือง มีปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดจัดมาก (pH 5.0-5.5) ดินบนตอนล่างมีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายลึกประมาณ 20-40 เซนติเมตร มีปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดจัดมาก (pH 5.0-5.5) ส่วนดินตอนล่างเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดรุนแรงมาก (pH 4.5-5.0) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548 ก)

ชุดดินสตึก (Satuk series : Sk) จัดอยู่ในวงศ์ fine-loamy, siliceous subactive, isohyperthermic Typic Paleustults เกิดจากการทับถมของตะกอนลำนํ้าเก่าบนลานตะพักลำนํ้าระดับกลางและระดับสูง ชุดดินสตึกเป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ ดินบนมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนเหนียวปนทรายลึกไม่เกิน 30 เซนติเมตร มีปฏิกิริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงกรดจัด (pH 5.5-6.5) ดินล่างมีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดรุนแรงมาก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548 ข)

2. เมล็ดพันธุ์ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ซึ่งได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างคู่ผสมสามทาง ของ IR25393-57-2-3/RD 23//IR 27316-96-3-2-2 และพันธุ์ผสมคู่ที่ 1 ของ SPRLR 77205-3-2-1-1/SPRLR 79134-51-2-2 ที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี เมื่อ พ.ศ. 2528 คณะกรรมการวิจัยและพัฒนากรมวิชาการเกษตร มีมติให้เป็นพันธุ์รับรอง เมื่อวันที่ 28 ตุลาคม 2537

ลักษณะประจำพันธุ์ข้าวเจ้าสุพรรณบุรี 1 เป็นพันธุ์ข้าวไม่ไวต่อแสง สูงประมาณ 125 เซนติเมตร อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 120 วัน ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 22 วัน ผลผลิตประมาณ 806 กิโลกรัม/ไร่ ลักษณะเด่นของข้าวเจ้าสุพรรณบุรี 1 คือ ให้ผลผลิตสูงและตอบสนองต่อการใช้น้ำดี ด้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง และด้านทานโรคใบหงิก และโรคใบสีส้ม ในสภาพธรรมชาติ ด้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยกระโดดหลังขาว อย่างไรก็ตาม อาจพบโรคใบขีดสีน้ำตาลในระยะออกรวง ซึ่งทำให้เกิดเมล็ดต่างใด (กรมวิชาการเกษตร, 2546)

3. ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ (Humified organic fertilizer) ซึ่งได้จากการนำกากตะกอนบ่อเกรอะมาอบความร้อนที่ 160 °C ตามวิธีของ Kurita Co.,Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

4. กากตะกอนน้ำเสีย (Sewage sludge) ที่ผ่านการรีดน้ำออกและตากแห้ง จากโรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม นำมาตากให้แห้งในที่ร่ม แล้วนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร

5. มูลไก่อัดเม็ด (Pellet chicken manure) นำมาตากให้แห้งในที่ร่ม แล้วนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร

6. หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ (Decomposing Microorganisms) ผลิตโดยกรมวิชาการเกษตร ประกอบด้วยจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ ได้แก่ จุลินทรีย์ประเภท แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซิส โดยมีปริมาณ 10^{10} เซลล์ต่อถุง ใช้ในอัตรา 300 กรัม ต่อวัสดุอินทรีย์ที่จะทำปุ๋ยหมัก 1 ตัน

7. ปุ๋ยเคมีได้แก่ ยูเรีย (46-0-0) ทรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) และ โพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) ใช้ตามอัตราแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (2543)

8. เครื่องมือและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

9. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ดินและพืช

วิธีการ

การศึกษานี้ประกอบด้วย 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาการปลดปล่อยอินทรีย์ไนโตรเจนและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากการบ่มปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ กากตะกอนน้ำเสีย และมูลไก่อัดเม็ดในดินไรโซดินสติก (การทดลองในห้องปฏิบัติการ)

การทดลองที่ 2 ศึกษาการปลดปล่อยอินทรีย์ไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์เมื่อบ่มร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ในชุดดินร่อยเอ็ดสภาพดินไร่และดินนา (การทดลองในห้องปฏิบัติการ)

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ในชุดดินร่อยเอ็ดสภาพดินนาปลูกข้าว (การทดลองในกระถาง)

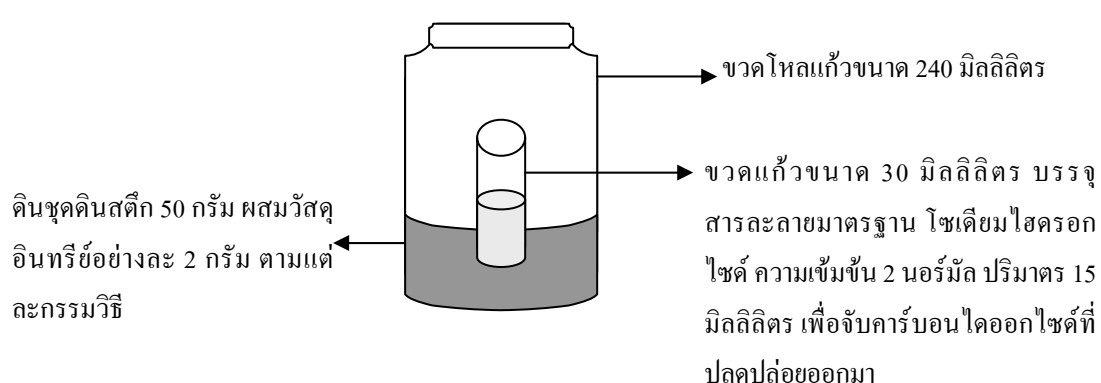
1. การทดลองที่ 1 ศึกษาการปลดปล่อยอินทรีย์ไนโตรเจนและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากการบ่มปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ กากตะกอนน้ำเสีย และมูลไก่อัดเม็ด ในดินไรโซดินสติก

วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 3 ซ้ำ ประกอบด้วยกรรมวิธีดังนี้ ได้แก่

- 1) ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์
- 2) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์
- 3) ใส่กากตะกอนน้ำเสีย
- 4) ใส่มูลไก่อัดเม็ด

ทำการทดลองในชุดดินสติก ซึ่งมีเนื้อดินเป็นดินร่วนทราย ชั่งดิน 50 กรัม ใส่ในขวดโหลแก้วขนาด 240 มิลลิลิตร (ภาพที่ 2) การทดลองมีทั้งหมด 4 กรรมวิธี คือ (1) ไม่ผสมวัสดุอินทรีย์ (2) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ (3) ใส่กากตะกอนน้ำเสีย (4) ใส่มูลไก่อัดเม็ด แต่ละกรรมวิธีมี 3 ซ้ำ โดยแต่ละกรรมวิธีเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ 15 ครั้ง ตามระยะเวลาของการบ่ม โดยตัวอย่างในกรรมวิธี 2-4 ใส่วัสดุอินทรีย์ในอัตรา 2 กรัม ปรับความชื้นให้ได้ 60% ของความจุอุ้มน้ำ (water holding capacity) ของดินหลังจากผสมวัสดุอินทรีย์แล้ว เพื่อให้ดินมีความชื้นพอเหมาะแก่การ

เจริญเติบโตและการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ จากนั้นนำขวดแก้ว (vial) ขนาด 30 มิลลิลิตร ซึ่งภายในบรรจุสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 นอร์มัล ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดโหลแต่ละใบ เพื่อใช้จับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ และจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งน้ำหนักของแต่ละตัวอย่างก่อนนำไปบ่ม จากนั้นปิดฝาขวดโหลแก้วให้สนิทแล้วนำไปบ่มในตู้ควบคุมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในแต่ละสัปดาห์จะนำตัวอย่างมาเปิดฝาและชั่งน้ำหนักเพื่อตรวจสอบความชื้นที่จะสูญหายไป เติมน้ำกลั่นลงไปในช่วงปรับน้ำหนักให้อยู่ที่ระดับเดิมเพื่อรักษาระดับความชื้น เก็บตัวอย่างดินในแต่ละระยะที่ 0, 1, 3, 5, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 77 และ 91 วัน มาสกัดด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 2 นอร์มัล แล้วนำสารละลายที่สกัดได้มาวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรตที่ปลดปล่อยออกมาด้วยวิธีการกลั่น และวิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกจับไว้ในสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยการตกตะกอนคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสารละลายแบเรียมคลอไรด์ แล้วไทเทรตโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือด้วยสารละลายมาตรฐานไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 2 นอร์มัล (Allison, 1965) นำปริมาณแอมโมเนียม ไนเตรต และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินที่ไม่ผสมวัสดุอินทรีย์มาหักลบออกจากปริมาณแอมโมเนียม ไนเตรต และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินที่ผสมวัสดุอินทรีย์ชนิดต่างๆ ก็จะได้ปริมาณแอมโมเนียม ไนเตรต และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาซึ่งเป็นผลจากการใส่วัสดุอินทรีย์แต่ละชนิดลงไป



ภาพที่ 2 การเตรียมตัวอย่างในการบ่มดินในตู้ควบคุมอุณหภูมิ

2. การทดลองที่ 2 ศึกษาการปลดปล่อยอินทรีย์ไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ เมื่อป้อนร่วมกับ หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ในชุดดินร่อยเอ็ดสภาพดินไร่และดินนา

วางแผนการทดลองแบบ 2×3 factorial in CRD มี 2 ซ้ำ กรรมวิธีได้จากการจับคู่กันของ 2 ปัจจัยดังนี้

ปัจจัยที่ 1 สภาพความชื้นของดิน มี 2 ระดับ ได้แก่ สภาพน้ำขัง และสภาพความชื้น 60% ของความจุอุ้มน้ำ

ปัจจัยที่ 2 มี 3 ระดับ ได้แก่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์และไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ 2) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์แต่ไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ 3) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์

ซังตัวอย่างดินในชุดดินร่อยเอ็ด ที่ตากแห้ง บด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร มา 5 กรัม ใส่ลงในขวดพลาสติกขนาด 60 มิลลิลิตร ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์และหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ ตามกรรมวิธี โดยใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ 0.2 กรัม และใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ 1 กรัม จากนั้นแบ่งตัวอย่างดังกล่าวออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ทำการปรับความชื้นให้ได้ 60% ของความจุอุ้มน้ำ และชุดที่ 2 เติมน้ำกรองที่ปราศจากไอออน 25 มิลลิลิตร เพื่อให้อยู่ในสภาพน้ำขัง ปิดฝาขวดและนำไปบ่มในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 13 สัปดาห์ ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างดินหลังการบ่มที่ระยะเวลา 0, 1, 3, 5, 7, 1, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 77 และ 91 วัน

2.1 การวิเคราะห์ดินในกรรมวิธีที่มีความชื้น 60% ของความจุอุ้มน้ำ

นำตัวอย่างดินหลังการบ่มแต่ละระยะเวลา มาวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม และไนเตรด โดยการสกัดดินด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 2 นอร์มัล (อัตราส่วนดินต่อน้ำสกัด 1:10) และหลังจากนั้นนำไปกลั่นด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ

2.2 การวิเคราะห์ดินในกรรมวิธีที่อยู่ในสภาพน้ำขัง

นำตัวอย่างดินหลังการบ่มแต่ละระยะเวลา มาวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม และไนเตรด โดยเติม สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 4 นอร์มัล ลงไป 25 มิลลิลิตรลงในตัวอย่างที่มี

น้ำขังอยู่ 25 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของน้ำยาสกัดเป็นสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 2 นอร์มัล เช่นเดียวกับการสกัดตัวอย่างดินในสภาพความชื้น 60% ความจุอุ้มน้ำ และ หลังจากนั้นนำไปกลั่นด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ

3. การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ในชุดดินร่อยเอ็ดสภาพดินนาปลูกข้าว

วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 6 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ กรรมวิธีได้แก่

- 1) ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ และไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (กรรมวิธีควบคุม)
- 2) ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ ใส่ปุ๋ยเคมี
- 3) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี
- 4) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ และปุ๋ยเคมี
- 5) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ และหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์
- 6) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ ปุ๋ยเคมี และหัวเชื้อจุลินทรีย์

3.1 การวิเคราะห์ดินก่อนทำการทดลอง

ทำการทดลองโดยวิเคราะห์เนื้อดิน (texture) ด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ ปฏิกริยาของดิน (pH) วัดโดยใช้ pH meter (HANNA instrument 8412) โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 (Peech, 1965) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter) วิเคราะห์โดยวิธี Walkley and Black titration (Allison, 1965) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (T-N) โดย Kjeldahl method (Bremner, 1965), ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) ทำการสกัดตัวอย่างดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II (Olsen and Sommer, 1982) แล้ววิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ด้วยวิธี colorimetric โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (SHIMADZU UV-1601PC) ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K, Ca, Mg) ทำการสกัดด้วยสารละลาย 1 N NH_4OAc , pH 7 และวิเคราะห์หาปริมาณโดยใช้ Atomic absorption spectrophotometer (SHIMADZU AA-60) (Thomas, 1982)

3.2 การเตรียมกล้าข้าว

เตรียมกล้าข้าวโดยนำเมล็ดข้าวเจ้า แฉ่น้ำทิ้งไว้ 1 คืน แล้วนำมาหุ้มไว้ด้วยผ้าขาวบางทิ้งไว้ 3 วัน เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอกให้นำไปหว่านในกระเบาะเพาะ รักษาระดับน้ำให้อยู่ที่ระดับ 1-2 เซนติเมตร จนกล้ามีอายุได้ 21 วัน จึงนำไปปักดำ

3.3 การดำเนินงานในกระถาง

ซึ่งตัวอย่างดินซึ่งตากแห้งและทุบให้มีขนาดเล็กลงน้ำหนัก 12 กิโลกรัม บรรจุลงในกระถาง ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ ปุ๋ยเคมี และหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ ตามกรรมวิธีที่กำหนด โดยใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์อัตรา 119.76 กรัม/ดิน 12 กิโลกรัม หรือ คิดเป็นปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 5.7 กรัม N/ดิน 12 กิโลกรัม (ทั้งนี้ จากการศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนในดินโดยการบ่มในห้องปฏิบัติการ ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์มีการปลดปล่อยไนโตรเจนได้ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นหากต้องการให้ได้ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ใกล้เคียงกับอัตราปุ๋ยเคมีที่ใส่ คือ 1.14 กรัม N/ดิน 12 กิโลกรัม จะต้องใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ให้มีไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 5.7 กรัม N/ดิน 12 กิโลกรัม) ปุ๋ยเคมีใส่ในอัตรา 1.14-0.66-0.33 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ดิน 12 กิโลกรัม โดยปุ๋ยไนโตรเจนแบ่งใส่ 3 ครั้ง ครั้งละเท่ากัน ในระยะปักดำ ระยะ 20 วันหลังปักดำ และระยะ 40 วันหลังปักดำ ส่วนปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทชใส่ครั้งเดียวหลังปักดำ เก็บตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0, 1, 3, 5, 10, 17, 31, 38, 46, 60, 75, 92 และ 106 วันหลังจากขังน้ำ ตามตารางการปฏิบัติงาน (ตารางที่ 1) นำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรตโดยการสกัดด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2 นอร์มัล (อัตราส่วนดินต่อน้ำสกัด 1:10) วิเคราะห์โดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ

3.4 การวิเคราะห์พืช

เก็บเกี่ยวข้าวเมื่อข้าวมีอายุ 91 วันหลังปักดำ โดยตัดชิดโคนต้น จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งหลังจากอบที่ 60 องศาเซลเซียส นำส่วนต้นและเมล็ดดังกล่าวไปบดรวมกัน แล้วนำตัวอย่างพืชมาวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนโดยวิธี Micro-Kjeldahl method โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมวิเคราะห์โดยวิธี Atomic absorption spectrophotometer (SHIMADZU AA-60)

(ปรีดา และคณะ, 2536) ฟอสฟอรัสวิเคราะห์โดยวิธี Vanadomolybdophosphoric acid method (Olsen and Sommer, 1982) โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (SHIMADZU UV-1601PC)

3.5 การวิเคราะห์ดินหลังทำการทดลอง

ทำการทดลองโดยวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์(available phosphorus) ทำการสกัดตัวอย่างดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II (Olsen and Sommer, 1982) แล้ววิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ด้วยวิธี colorimetric โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (SHIMADZU UV-1601PC) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (T-N) โดย Kjeldahl method (Bremner, 1965), ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ทำการสกัดด้วยสารละลาย 1 N NH_4OAc , pH 7 และวิเคราะห์หาปริมาณโดยใช้ Atomic absorption spectrophotometer (SHIMADZU AA-60) (Thomas, 1982)

ตารางที่ 1 ตารางปฏิบัติงานการทดลองในกระถาง

วันที่	ระยะเวลาชั่งน้ำ (วัน) ¹	รายละเอียดการปฏิบัติงาน
12/3/48	0	ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ และ หัวเชื้อจุลินทรีย์
18/3/48	6	ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน, ปุ๋ยฟอสเฟต และปุ๋ยโพแทช พร้อมปักดำข้าว
28/3/48	17	ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนครั้งที่ 2
18/4/48	38	ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนครั้งที่ 3 ซึ่งเป็นระยะที่ข้าวแตกกอสูงสุด
25/4/48	46	เก็บตัวอย่างดินในระยะที่ข้าวออกดอก
9/5/48	60 ³	ปล่อยน้ำในกระถางออก
6/6/48	92	เก็บเกี่ยวข้าวที่อายุ 91 วัน

¹ เป็นเวลาเดียวกับการเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) เพื่อหาค่า F-value หากข้อมูลแสดงความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ก็จะนำมาเปรียบเทียบหาความแตกต่างโดยใช้ DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) หรือ LSD (Least Significant Difference)

4. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยเคมีดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ

5. ระยะเวลาทำการทดลอง

มกราคม 2547 ถึง สิงหาคม 2548

ผลและวิจารณ์

1. สมบัติของวัสดุอินทรีย์และดินที่ใช้ในการทดลอง

ปุ๋ยอินทรีย์ชีวมิไฟด์ มี pH 6.5 ถือว่าเป็นกรดเล็กน้อย มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 2.2 เดซิซีเมน/เมตร มีคาร์บอนทั้งหมดค่อนข้างสูงถึง 301 กรัม/กิโลกรัม มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงมากถึง 48 กรัม/กิโลกรัม (ตารางภาคผนวกที่ 4) ทำให้มีอัตราส่วนระหว่าง C/N เท่ากับ 6.3 หากตะกอนน้ำเสียมีลักษณะเป็นกรดปานกลาง pH 5.7 มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 2.5 เดซิซีเมน/เมตร มีคาร์บอนทั้งหมดต่ำเพียง 135 กรัม/กิโลกรัม มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 18 กรัม/กิโลกรัม ซึ่งถือว่ามีความค่อนข้างต่ำ (ตารางภาคผนวกที่ 4) และมีค่า C/N เท่ากับ 7.4 มูลไก่อัดเม็ดเป็นค่างอ่อนมีค่า pH 7.8 มีค่าการนำไฟฟ้าสูงมากเท่ากับ 11.7 เดซิซีเมน/เมตร มีคาร์บอนทั้งหมด 226 กรัม/กิโลกรัม และมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 21 กรัม/กิโลกรัม ทำให้มีอัตราส่วนระหว่าง C/N เท่ากับ 10.5 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีของวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

Organic materials	pH _(1:1) ¹	EC _{1:5} ² (dS/m)	T-C ³ (g kg ⁻¹)	T-N ³ (g kg ⁻¹)	C/N ratio	T-P ₂ O ₅ ⁴ (g kg ⁻¹)	T-K ₂ O ⁵ (g kg ⁻¹)
Sewage sludge	5.7	2.5	135	18	7.4	56	3
Humified organic fertilizer	6.5	2.2	301	48	6.3	91	5
Pellet chicken manure	7.8	11.7	226	21	10.5	71	36

¹ pH meter (สัดส่วนดินต่อน้ำ = 1:1)

² Conductivity meter (สัดส่วนดินต่อน้ำ = 1:5)

³ T-C และ T-N วิเคราะห์ด้วย CN corder

⁴ UV Spectrophotometer (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

⁵ Frame Photometer Method (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

ดินในชุดดินสตึกมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 5.3 ถือว่าเป็นกรดปานกลาง ปริมาณไนโตรเจนต่ำมากเท่ากับ 0.7 กรัม/กิโลกรัม ปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำมากเพียง 17 กรัม/กิโลกรัม (ตารางภาคผนวกที่ 4 และ 5) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำเพียง 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำเท่ากับ 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงเท่ากับ 1,135 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงมากถึง 310 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ชุดดินร้อยเอ็ด มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 4.2 ถือว่าเป็นกรดจัด ปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำมากเพียง 3 กรัม/กิโลกรัม (ตารางภาคผนวกที่ 4 และ 5) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำมากเท่ากับ 0.4 กรัม/กิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำเท่ากับ 7 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำมากคือ 8, 13 และ 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 สมบัติของดินที่ใช้ในการทดลองที่ 1 (ชุดดินสตึก) การทดลองที่ 2 และ 3 (ชุดดินร้อยเอ็ด)

Soil	Satuk soil series	Roi Et soil series
Texture ¹	Sandy loam	Sandy loam
pH _(1:1) ²	5.3	4.2
Organic matter (g kg ⁻¹) ³	17	3
Total N (g kg ⁻¹)	0.7	0.4
Bray II P (mg kg ⁻¹) ⁴	5	7
Exchangeable K (mg kg ⁻¹) ⁵	50	8
Exchangeable Ca (mg kg ⁻¹) ⁵	1135	13
Exchangeable Mg (mg kg ⁻¹) ⁵	310	5

¹ Hydrometer method

² pH meter

³ Walkley and Black method

⁴ Bray II method

⁵ Extracted by 1 N NH₄OAc, pH7.0

ดินที่มีเนื้อดินต่างกันจะมีผลต่อพื้นที่ผิวจำเพาะและความจุอุ้มน้ำ ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องไปยังการเกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่เดิมในดินนั้นๆ ก็จะมีผลส่งเสริมให้จุลินทรีย์ดินดำเนินกิจกรรมได้มากขึ้น เนื่องจากมีอาหารเพียงพอสำหรับจุลินทรีย์นำไปใช้ในการเจริญเติบโต

2. การทดลองที่ 1 ศึกษาการปลดปล่อยอนินทรีย์ไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์จากการบ่มปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ กากตะกอนน้ำเสีย และมูลไก่อัดเม็ดในดินไร้ชุดดินสติก

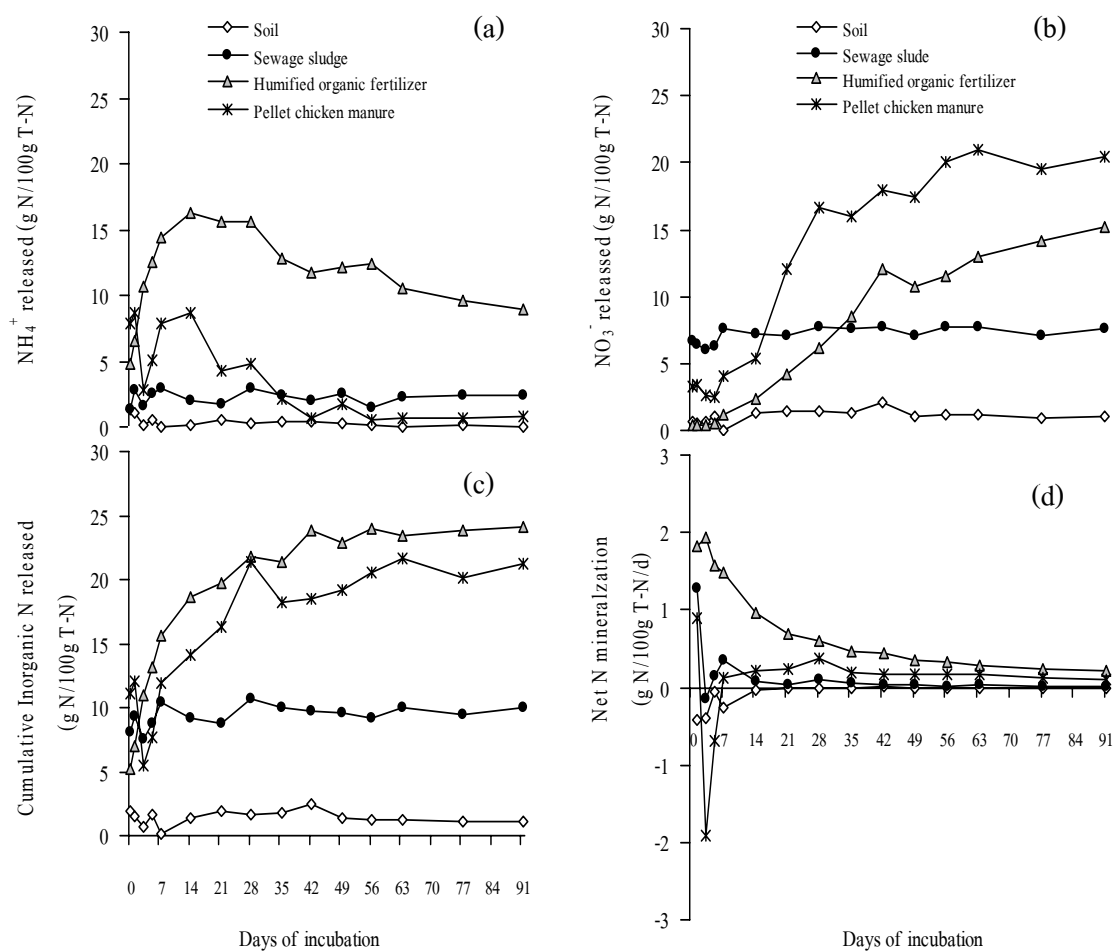
2.1 การปลดปล่อยอนินทรีย์ไนโตรเจนจากการบ่มวัสดุอินทรีย์ในชุดดินสติก

การปลดปล่อยอนินทรีย์ไนโตรเจน (NH_4^+ และ NO_3^-) ของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ กากตะกอนน้ำเสีย และมูลไก่ แสดงไว้ในภาพที่ 3 (a-d) พบว่าการปลดปล่อยแอมโมเนียมของวัสดุอินทรีย์ทั้งสามชนิดเกิดขึ้นสูงในช่วงสัปดาห์แรกของการบ่มดิน และมีปริมาณลดลงตามช่วงเวลาของการบ่มดิน โดยเฉพาะปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์มีการปลดปล่อยแอมโมเนียมออกมาสูงกว่ากากตะกอนน้ำเสีย และมูลไก่อัดเม็ด ตามลำดับ (ภาพที่ 3a) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณสูง (4.8 g N/100g T-N) ซึ่งอาจจะเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์มากกว่ามูลไก่ (2.1g N/100g T-N) และกากตะกอนน้ำเสีย (1.8g N/100g T-N) (ตารางที่ 2)

ส่วนการปลดปล่อยไนเตรตจะเกิดขึ้นช้ากว่าการปลดปล่อยแอมโมเนียม (ภาพที่ 3b) แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกของการบ่มการแปรสภาพของอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียม (ammonification) เกิดขึ้นมากกว่าการออกซิไดซ์ของแอมโมเนียมไปเป็นไนเตรต (nitrification) หลังจากนั้นการปลดปล่อยแอมโมเนียมจะลดลง ในขณะที่การปลดปล่อยไนเตรตจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาปริมาณการปลดปล่อยไนเตรต (NO_3^- -N released) ที่ปลดปล่อยออกมาของวัสดุอินทรีย์แต่ละชนิด พบว่าปริมาณการปลดปล่อยไนเตรตที่ปลดปล่อยออกมาจากมูลไก่มีปริมาณมากกว่าปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์และกากตะกอนน้ำเสีย ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปริมาณการปลดปล่อยสะสมของอนินทรีย์ไนโตรเจน (cumulative inorganic N released) หลังจากการบ่มเป็นเวลา 91 วัน พบว่าปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์สามารถปลดปล่อยอนินทรีย์ไนโตรเจนสะสมเท่ากับ 23.8 gN/100g T-N สูงกว่าการปลดปล่อยอนินทรีย์

ไนโตรเจนสะสมของมูลไก่เล็กน้อย (20.3 gN/100g T-N) แต่สูงกว่ากากตะกอนน้ำเสีย (9.0 gN/100g T-N) อย่างเห็นได้ชัด (ตารางภาคผนวกที่ 1) เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณสูงและมีการปลดปล่อยแอมโมเนียมและไนเตรตออกมามากจึงทำให้มีปริมาณการสะสมของอินทรีย์ไนโตรเจนสูงกว่ามูลไก่อัดเม็ดและกากตะกอนน้ำเสีย (ภาพที่ 3c) จะสังเกตว่าดินที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์มีการปลดปล่อยอินทรีย์ไนโตรเจนสะสมต่ำมาก นอกจากนี้การทดลองในครั้งนี้ใช้วัสดุอินทรีย์ในอัตราที่เท่ากัน คือ 2 กรัม แต่วัสดุอินทรีย์ทั้งสามชนิดมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเป็นองค์ประกอบไม่เท่ากันจึงทำให้การปลดปล่อยอินทรีย์ไนโตรเจนสะสมของกากตะกอนน้ำเสียไม่ชัดเจน โดยที่อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนสุทธิ (net N mineralization) ของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์เกิดขึ้นได้มากและเป็นเวลานานกว่ามูลไก่อัดเม็ดและกากตะกอนน้ำเสีย ในขณะที่มูลไก่อัดเม็ดมีแนวโน้มทำให้เกิดกระบวนการ immobilization ในช่วงแรกของการบ่ม (ภาพที่ 3d)

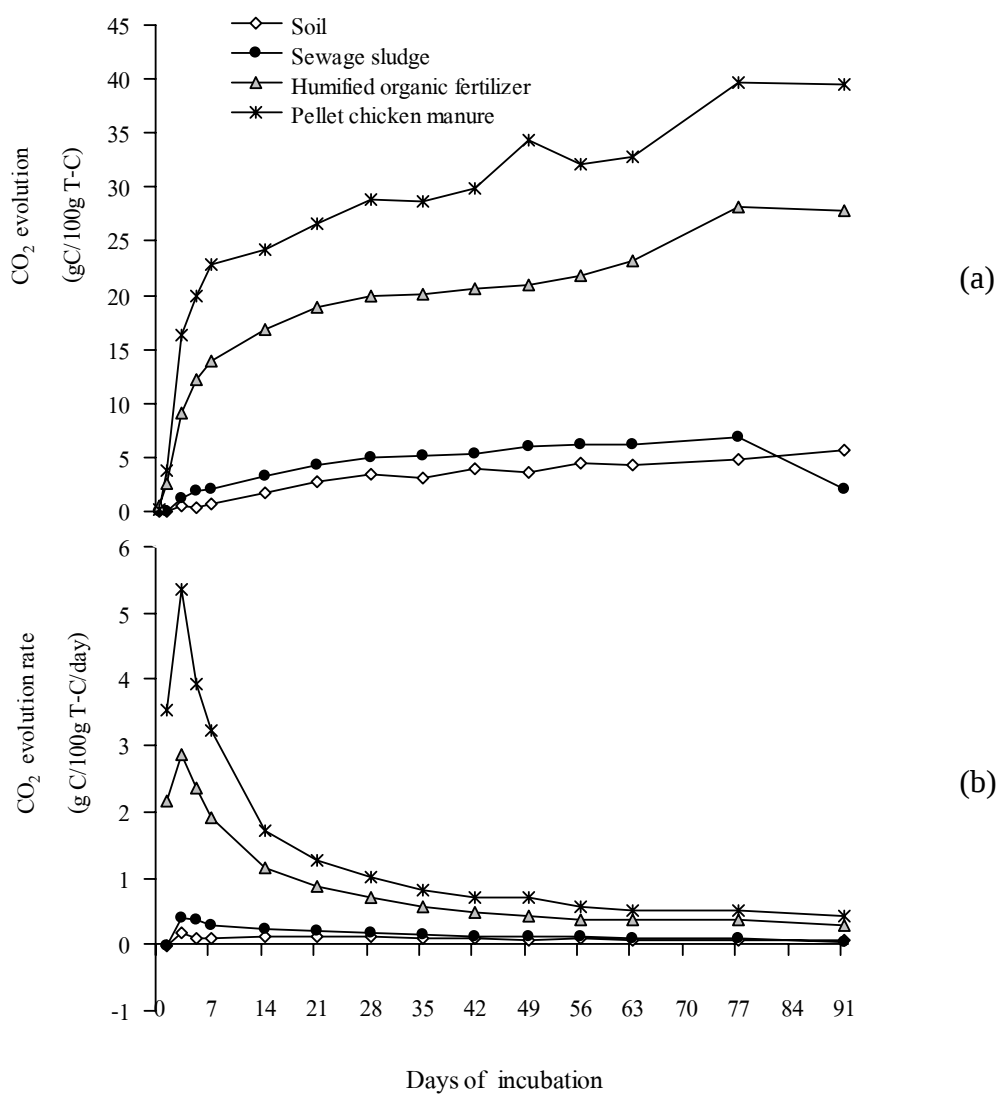


ภาพที่ 3 การปลดปล่อยแอมโมเนียม (a) ไนเตรต (b) อนินทรีย์ไนโตรเจน (c) และการปลดปล่อยไนโตรเจนสุทธิ (d) จากการบ่มปุ๋ยอินทรีย์ชีวมิไฟด์ กากตะกอนน้ำเสีย และมูลไก่อัดเม็ดในชุดดินสดีกสภาพดินไร่

2.2 การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากการบ่มวัสดุอินทรีย์ในชุดดินสติก

ผลการทดลองพบว่าการปลดปล่อย CO_2 เกิดขึ้นสูงสุดในช่วงสัปดาห์แรกของการบ่มดิน (ภาพที่ 4 a) ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่สลายตัวง่ายจากจุลินทรีย์จำพวก mold และ spore-forming bacteria ซึ่งใช้โปรตีน แป้ง และเซลลูโลสเป็นอาหาร หลังจากบ่มดินไปแล้ว 2 สัปดาห์ การปลดปล่อย CO_2 จะคงที่ ซึ่งการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ในช่วงนี้เป็นผลจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ intermediates และเซลล์ของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นภายหลัง ส่วนการปลดปล่อย CO_2 ของกากตะกอนน้ำเสียมีค่าใกล้เคียงกับดินที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ (ภาพที่ 4 a) เนื่องจากกากตะกอนน้ำเสียมีสารประกอบอินทรีย์ประเภทที่สลายตัวช้าอยู่ในปริมาณสูงจึงมีการสลายตัวช้า Stevenson, 1986 รายงานว่าการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ในระยะสุดท้ายเป็นการสลายตัวอย่างช้าๆ ของสารอินทรีย์ประเภทที่ทนทานต่อการสลายตัวสูง เช่น ลิกนิน โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์จำพวก แอคติโนมัยซิส และรา ที่เหลือก็เป็นส่วนหนึ่งของอินทรีย์วัตถุในดิน แสดงให้เห็นว่าการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์มากมายหลายชนิดและระหว่างการสลายตัวคาร์บอนส่วนหนึ่งจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และบางส่วนจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการสร้างเซลล์

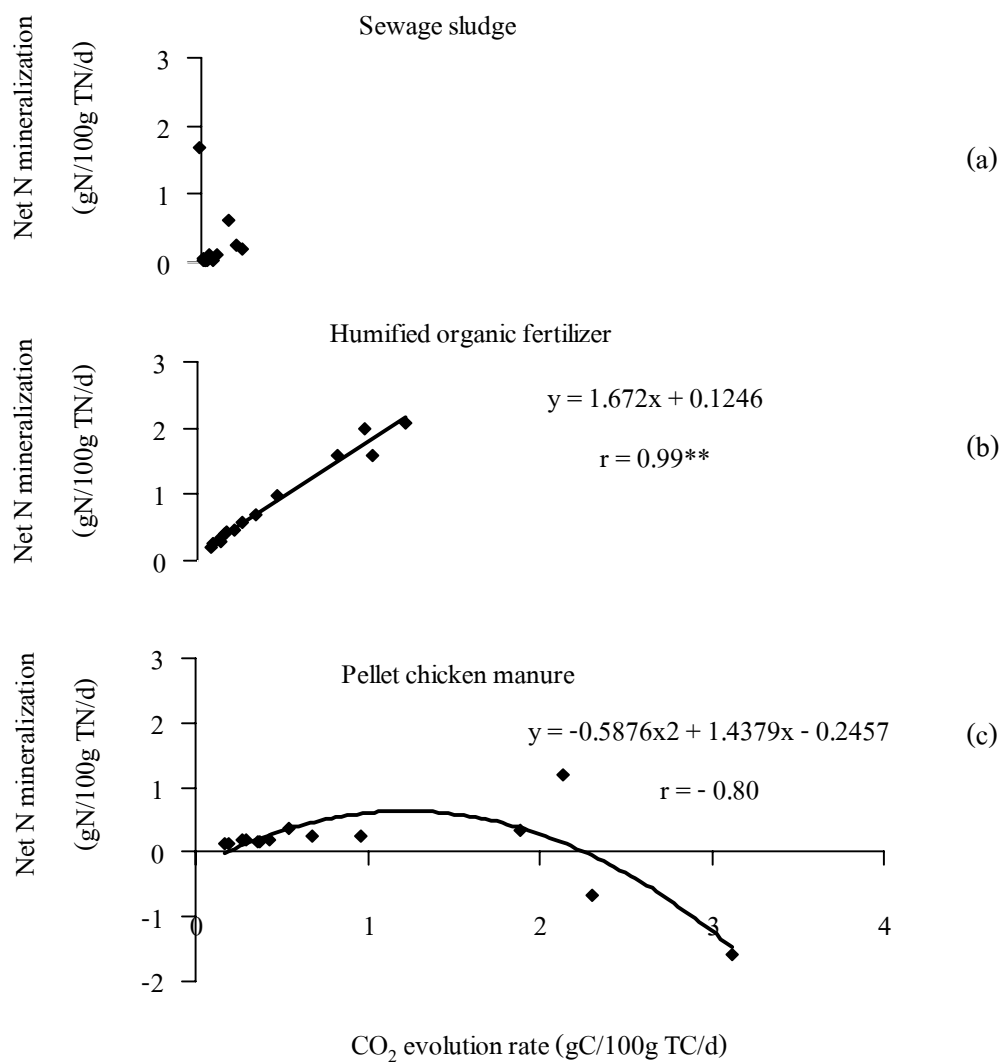
จากการทดลองยังพบอีกว่า อัตราการปลดปล่อย CO_2 ของมูลไก่อดเม็ดมากกว่าปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์และมากกว่ากากตะกอนน้ำเสีย (ภาพที่ 4b) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมูลไก่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ประเภทที่สลายตัวได้ง่ายอยู่ในปริมาณสูงกว่าปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์และกากตะกอนน้ำเสีย เพราะว่าถึงแม้ว่ามูลไก่จะมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดน้อยกว่าปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ แต่ก็มี การปลดปล่อย CO_2 ออกมามากกว่า ส่วนกรรมวิธีที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าใกล้เคียงกับการใส่กากตะกอนน้ำเสีย นอกจากนี้ยังสังเกตพบ bahwa ในขวดที่มีมูลไก่จะมีเส้นใยเชื้อราเป็นจำนวนมาก ในขณะที่การบ่มปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์มีเส้นใยราเกิดขึ้นเล็กน้อย แต่ในขวดที่มีกากตะกอนน้ำเสียไม่สามารถเห็นเส้นใยราได้ด้วยตาเปล่า



ภาพที่ 4 ปริมาณ (a) และอัตรา (b) การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ จากการบ่มปุ๋ยอินทรีย์
 อีวมิไฟด์ กากตะกอนน้ำเสีย และมูลไก่อดเม็ดในชุดดินสติกสภาพดินไร่

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อย CO₂ และอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนจากวัสดุอินทรีย์จากการบ่มวัสดุอินทรีย์ในชุดดินสติก

ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์มีอัตราการปลดปล่อย CO₂ ให้สหสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนสุทธิ ($r = 0.99$) (ภาพที่ 5b) แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์มีการสลายตัวที่สอดคล้องกับการปลดปล่อยอินทรีย์ไนโตรเจนซึ่งรูปแบบดังกล่าวมีผลดีต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นแหล่งไนโตรเจนให้แก่พืชได้ ส่วนกากตะกอนน้ำเสียไม่พบสหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อย CO₂ กับอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนสุทธิ (ภาพที่ 5a) ในขณะที่มูลไก่อดเม็ดมีอัตราการปลดปล่อย CO₂ ที่ให้สหสัมพันธ์ทางลบแบบโพลิโนเมียล ($r = -0.80$) กับอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนสุทธิ (ภาพที่ 5c) แสดงให้เห็นว่าเมื่อมูลไก่มีการสลายตัวจะทำให้เกิดการสูญเสียอินทรีย์ไนโตรเจนหรือเกิดกระบวนการ immobilization ในช่วงแรกซึ่งอาจเป็นผลเสียต่อพืชได้



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อย CO₂ และอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนสุทธิจากกากตะกอนน้ำเสีย (a) ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ (b) มูลไก่อัดเม็ด (c) ในชุดดินสติก

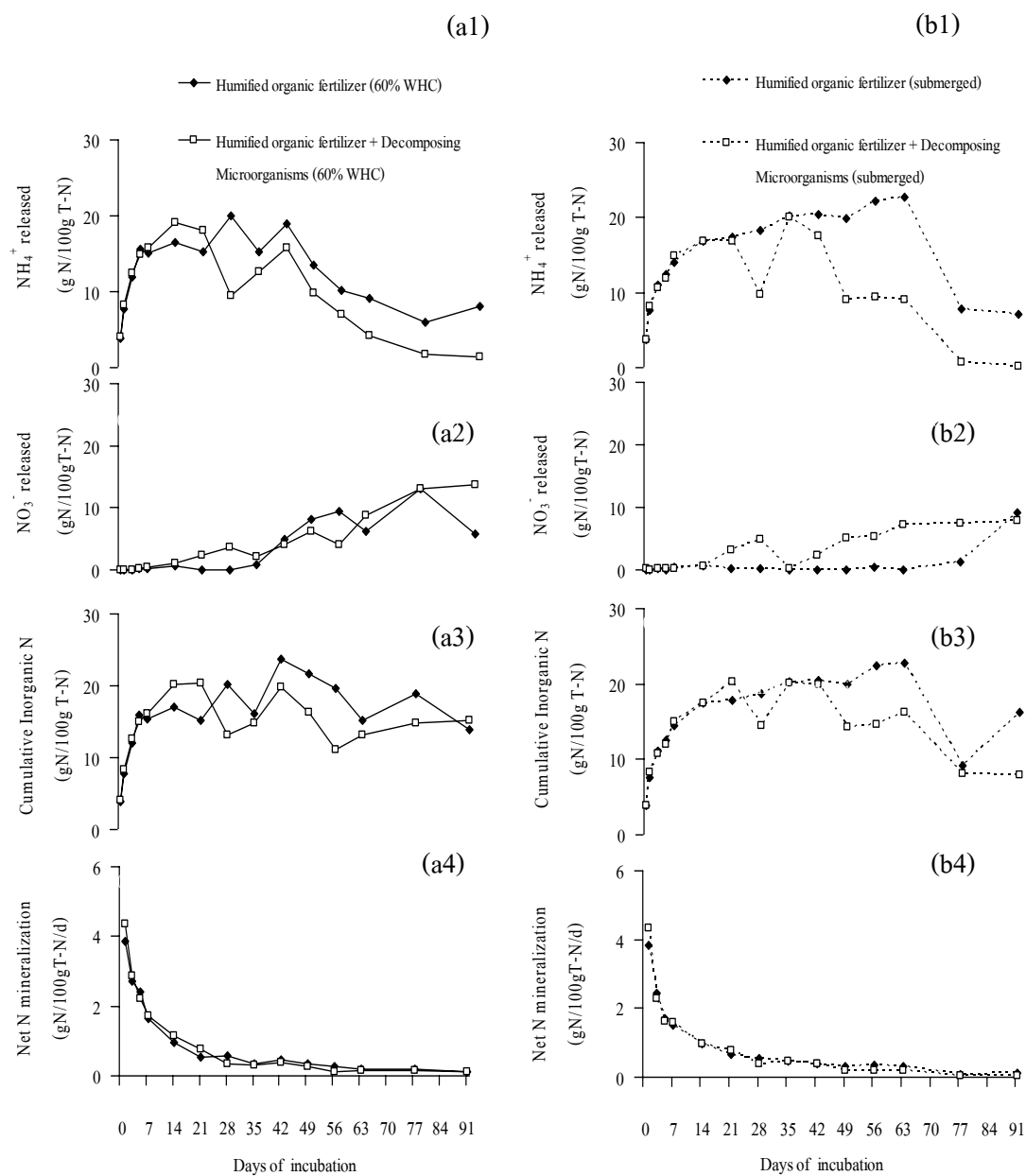
3. การทดลองที่ 2 การปลดปล่อยอนินทรีย์ไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์เมื่อบ่มร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ในชุดดินร่อยเอ็ดสภาพดินไร่และดินนา

3.1 การปลดปล่อยอนินทรีย์ไนโตรเจน

การปลดปล่อยแอมโมเนียมจากดินที่ผสมปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ในสภาพความชื้น 60% WHC หรือวัดเป็นปริมาณความชื้น (moisture content) ได้ 22% (ดินร่อยเอ็ดที่ความจุความชื้นสนามที่แรงดึงน้ำ 0.1 bar มีปริมาณความชื้น 29.8 %) และในสภาพน้ำขังมีรูปแบบคล้ายคลึงกัน (ภาพที่ 6a1 และ 6b1) โดยในช่วงสัปดาห์แรกดินทั้งสองสภาพความชื้นจะมีการปลดปล่อยแอมโมเนียมอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากการแปรสภาพของอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียมด้วยกระบวนการ ammonification แต่ในสภาพความชื้น 60% WHC ปริมาณแอมโมเนียมจะลดลงเร็วกว่าในสภาพน้ำขัง โดยพบว่าลดลงอย่างรวดเร็วที่ 49 วัน หลังการบ่มดิน ในขณะที่ปริมาณไนเตรตจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 6a2 และ 6b2) ซึ่งเกิดจากการที่แอมโมเนียมถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรตด้วยกระบวนการ nitrification ในขณะที่สภาพน้ำขังจะมีแอมโมเนียมปลดปล่อยสะสมในปริมาณสูงเป็นระยะเวลานานกว่าในสภาพความชื้น 60% WHC โดยพบว่าปริมาณแอมโมเนียมจะลดลงหลังจากบ่มดินแล้ว 63 วัน เพราะว่าในสภาพน้ำขังทำให้กระบวนการ nitrification ถูกยับยั้งหรือเกิดขึ้นได้น้อย อย่างไรก็ตามในสภาพน้ำขังที่มีการคลุกปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ กลับพบว่า ปริมาณแอมโมเนียมลดลงเร็วกว่าในกรรมวิธีที่ไม่มีการคลุกเชื้อ ทั้งนี้เนื่องจากขวดที่ใช้ในการทดลองเป็นขวดพลาสติกประเภท polyethylene ซึ่งออกซิเจนสามารถซึมผ่านได้ประมาณ $7750 \text{ cc-mm/m}^2\text{-24 hr-Bar}$ (Cole-Parmer Instrument company, 2000) ดังนั้นบริเวณผนังขวดด้านในอาจจะมีออกซิเจนแพร่กระจายอยู่ ทำให้จุลินทรีย์จากหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ ซึ่งมีทั้งประเภทแบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซิส อาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าวอย่างหนาแน่นและสามารถนำออกซิเจนดังกล่าวมาใช้ในการดำเนินกิจกรรม นอกจากนี้ในหัวเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวก็อาจจะมีจุลินทรีย์ประเภทที่สามารถออกซิไดซ์แอมโมเนียมไปเป็นไนเตรต (nitrifying bacteria) อยู่ด้วย ทำให้กรรมวิธีที่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในสภาพน้ำขังเกิด nitrification ได้สูงกว่ากรรมวิธีไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในสภาพน้ำขัง

ปริมาณการปลดปล่อยอนินทรีย์ไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) สะสม กรรมวิธีที่อยู่ในสภาพความชื้น 60% WHC และสภาพน้ำขังมีปริมาณไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 6a3 และ 6b3) แต่พบว่าในสภาพน้ำขังปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจนลดลงที่ 77 วันหลังการบ่ม เพราะอาจมีการสะสม

สารพิษซึ่งเป็นผลมาจากการใช้อาหารของจุลินทรีย์ ได้แก่ organic acid และ alcohols เป็นผลให้กิจกรรมทางจุลชีวะลดลงด้วย แต่หลังจากนั้นจุลินทรีย์อาจมีการเจริญเติบโตและขยายจำนวนขึ้นอีก ซึ่งจะเห็นได้ว่าหลังจากที่ 77 วันไปแล้วปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนสะสมจะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย การเพิ่มและลดจำนวนของจุลินทรีย์ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การปลดปล่อยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นและลดลง อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนทั้งหมด (Net N mineralization) ที่สภาพความชื้น 60% WHC และที่สภาพน้ำขัง (ภาพที่ 6a4 และ 6b4) พบว่า ไม่แตกต่างกัน

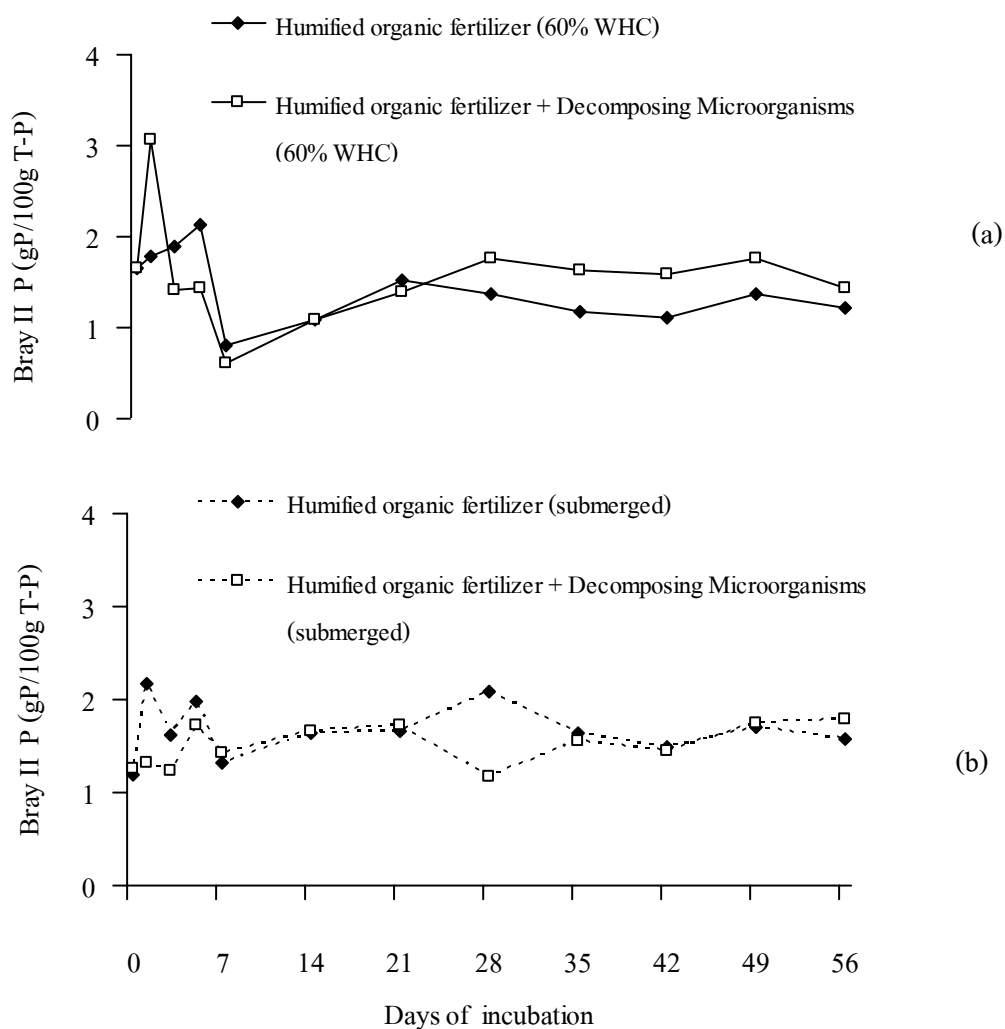


ภาพที่ 6 การปลดปล่อยแอมโมเนียม ไนเตรต อนินทรีย์ไนโตรเจน และการปลดปล่อยอนินทรีย์ไนโตรเจนสุทธิของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ในชุดดินร่อยเอ็ดสภาพความชื้น 60% ความจุอุ้มน้ำ (a1, a2, a3 และ a4 ตามลำดับ) และสภาพน้ำขัง (b1, b2, b3 และ b4 ตามลำดับ)

3.2 การปลดปล่อยฟอสฟอรัส

การปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ ที่สภาพความชื้น 60% WHC กรรมวิธีที่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นในวันแรกของการบ่ม จากนั้นจะลดลง แต่หลังจากการบ่มดินไปได้ 7 วันปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย เป็นเพราะว่าอินทรีย์ฟอสเฟตในปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ถูกแปรสภาพเป็นอนินทรีย์ฟอสเฟตโดยจุลินทรีย์ภายใต้สภาพความชื้นที่เหมาะสม จึงมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมา หลังจากนั้นปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสลดลงอาจจะเป็นเพราะว่าช่วงแรกจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว จึงเกิดการแก่งแย่งอาหารซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด ทำให้อาหารที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จึงลดลง เมื่อบ่มดินไปแล้ว 7 วันการปลดปล่อยฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น เมื่อกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุดำเนินต่อไป มี CO_2 ถูกปลดปล่อยออกไป ทำให้อัตราส่วน C/P ratio ลดลงประมาณ 200:1 จะมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากการสลายตัว (mineralization) ของอินทรีย์วัตถุ (สมศักดิ์, 2528) ส่วนกรรมวิธีที่ไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เกิดขึ้นได้น้อยกว่ากรรมวิธีที่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ เพราะ กรรมวิธีที่ไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ส่วนใหญ่มาจากการสลายตัวของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์และอินทรีย์วัตถุในดิน ส่วนกรรมวิธีที่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์จะมีจุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสลายปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์และจุลินทรีย์ในธรรมชาติจำนวนมากจึงทำให้การสลายตัวของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์เกิดขึ้นมากกว่า และอีกทั้งการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นจากการเจริญเติบโตแลเพิ่มปริมาณ เมื่อจุลินทรีย์เหล่านี้ตายไปก็จะปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาด้วย จึงทำให้การใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากกว่าไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ (ภาพที่ 7a)

ในขณะที่สภาพน้ำขัง ในสัปดาห์แรกของการบ่มกรรมวิธีที่ไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในปริมาณสูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ แต่หลังจากนั้นปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่สกัดได้ มีปริมาณไม่แตกต่างกัน เป็นเพราะในช่วงแรกของการขังน้ำยังพอมีออกซิเจน กรรมวิธีที่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยออกมาถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการเจริญเติบโตจึงมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่า หลังจากนั้นปริมาณออกซิเจนลดลงทั้งสองกรรมวิธี การทำงานของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นประเภทไม่ใช้ออกซิเจน การปลดปล่อยฟอสฟอรัสจึงไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 7b)



ภาพที่ 7 การปลดปล่อยอินทรีย์ฟอสฟอรัสจากปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟต์ในชุดดินร่อยเอ็ดสภาพ ความชื้น 60% ความจุอุ้มน้ำ (a) และ สภาพน้ำขัง (b)

4. การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟต์ในชุดดินร่อยเอ็ดสภาพดินนาปลูกข้าว

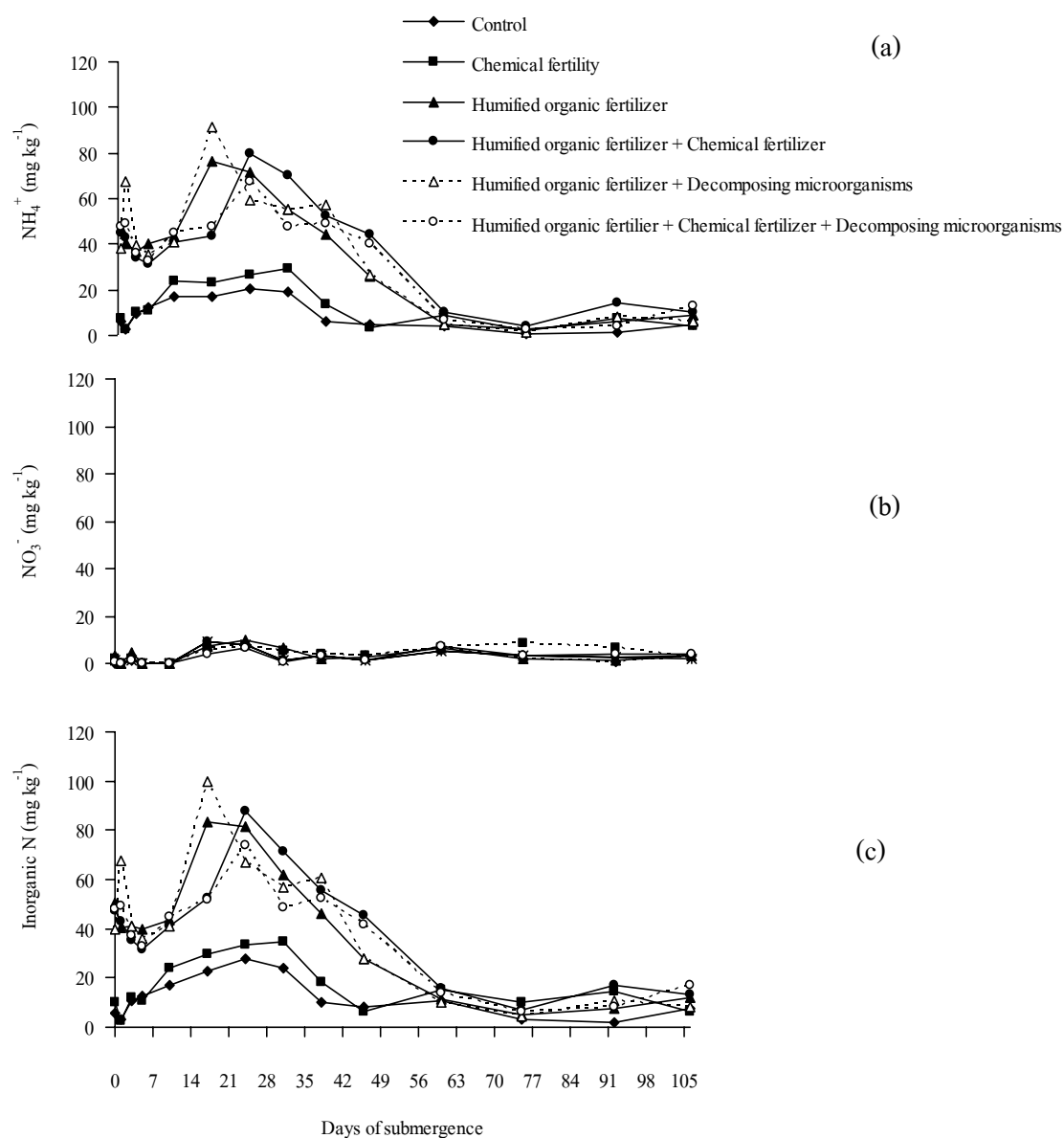
4.1 การปลดปล่อยอนินทรีย์ในโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟต์

อนินทรีย์ในโตรเจนที่ปลดปล่อยออกมาในสภาพดินนาจะอยู่ในรูปแอมโมเนียมมากกว่าไนเตรด (ภาพที่ 8a) เนื่องจากในสภาพน้ำขังกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) เกิดขึ้นได้น้อย แต่ก็สามารถตรวจพบไนเตรดได้บ้าง (ภาพที่ 8b) เมื่อพิจารณาปริมาณอนินทรีย์ในโตรเจน ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) ที่ปลดปล่อยออกมา พบว่า กรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟต์ (กรรมวิธีควบคุม) มีปริมาณการปลดปล่อยอนินทรีย์ในโตรเจนค่อย ๆ เพิ่มขึ้น (รูปที่ 8c) โดยอนินทรีย์ในโตรเจนที่ปลดปล่อยออกมานั้นมาจากในโตรเจนที่มีอยู่เดิมในดินดังกล่าว และมีการปลดปล่อย อนินทรีย์ในโตรเจนสูงสุด 28.1 มิลลิกรัมN/ดิน 1 กิโลกรัม (ภาพที่ 8c และตารางภาคผนวกที่ 3) ที่ 24 วันหลังขังน้ำ หลังจากระยะข้าวแตกกอสูงสุดการปลดปล่อยอนินทรีย์ในโตรเจนจะค่อย ๆ ลดลง และลดลงถึงระดับต่ำสุดที่ระยะข้าวออกดอก เนื่องจากในระยะดังกล่าวข้าวต้องการใช้ธาตุอาหารในปริมาณสูงในการสร้างมวลและผลผลิต จึงทำให้ปริมาณอนินทรีย์ในโตรเจนในดินหมดไปอย่างรวดเร็ว

กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีรูปแบบการปลดปล่อยอนินทรีย์ในโตรเจนเป็นไปในทางเดียวกับกรรมวิธีควบคุม แต่ปริมาณอนินทรีย์ในโตรเจนที่ปลดปล่อยออกมามีปริมาณสูงกว่า โดยมีการปลดปล่อยอนินทรีย์ในโตรเจนสูงสุด 34.6 มิลลิกรัมN/ดิน 1 กิโลกรัม (ภาพที่ 8c และตารางภาคผนวกที่ 3)

กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟต์เพียงอย่างเดียว ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟต์+ปุ๋ยเคมี ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟต์+หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ และใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟต์+ปุ๋ยเคมี+หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ มีการปลดปล่อยอนินทรีย์ในโตรเจนสูงสุดประมาณวันที่ 17-24 หลังใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟต์ลงไปในดิน โดยมีปริมาณการปลดปล่อยอนินทรีย์ในโตรเจนสูงสุด เท่ากับ 83.4, 87.8, 100.1 และ 74.0 มิลลิกรัม N/ดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 8c และตารางภาคผนวกที่ 3) ปริมาณ อนินทรีย์ในโตรเจนจากกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟต์ทั้ง 4 กรรมวิธีจะค่อย ๆ ลดลงตั้งแต่ระยะข้าวแตกกอสูงสุด จนกระทั่งที่ 75 วันหลังการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟต์หรือระยะที่ข้าวเริ่ม

ออกทรง เนื่องจากที่ระยะดังกล่าวข้าวต้องการธาตุอาหารสูงสุดเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต

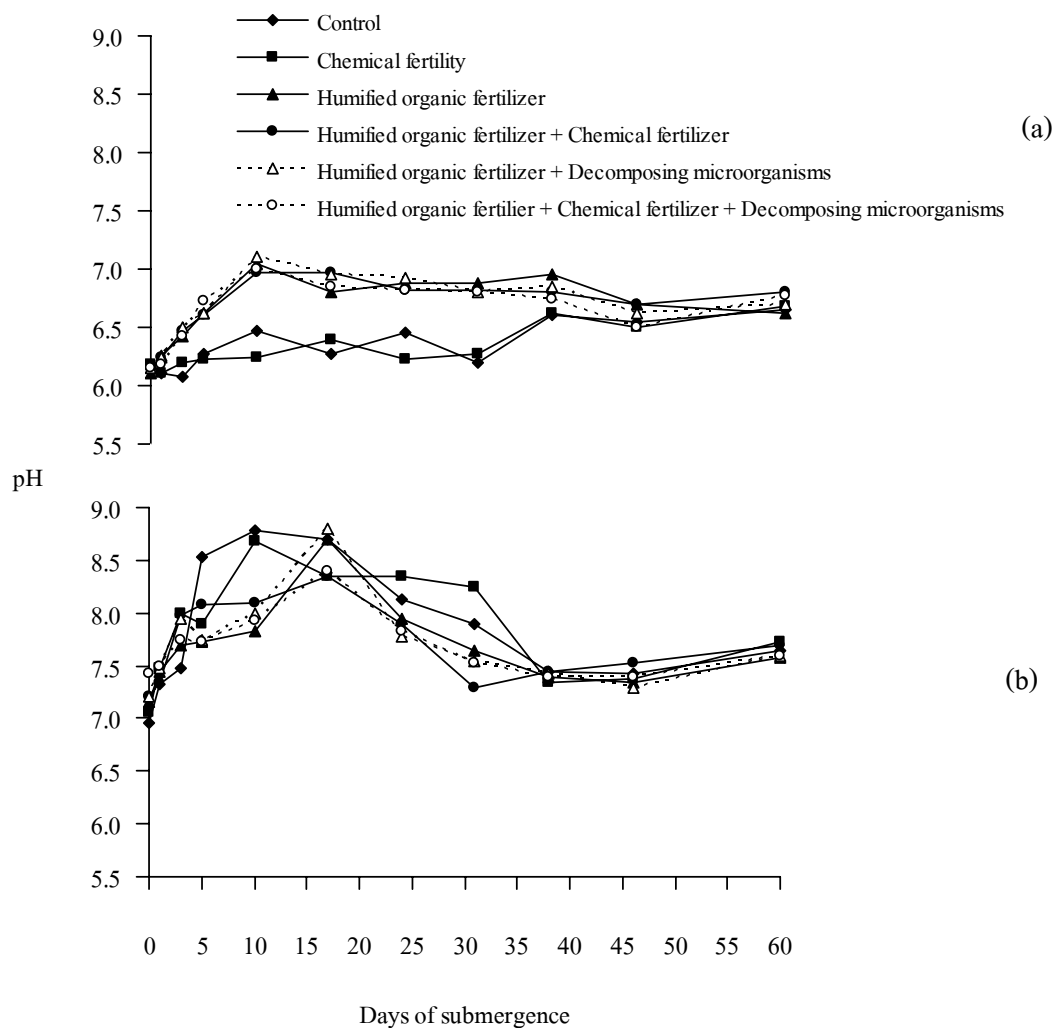


ภาพที่ 8 การปลดปล่อยแอมโมเนียม (a) ไนเตรต (b) และอนินทรีย์ไนโตรเจน (c) ของปุ๋ยอินทรีย์ชีวมิไฟค์ในชุดดินร่อยเอ็ดที่ปลูกข้าวในกระถาง

4.2 การเปลี่ยนแปลง pH ของดินและน้ำ

การเปลี่ยนแปลง pH ของดิน (ภาพที่ 9a) ในกรรมวิธีควบคุมและกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีไม่แตกต่างกัน โดย pH ของดินในกรรมวิธีดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และจะคงที่ที่ระดับ pH 6.5 เนื่องจาก ชุดดินร่อยเอ็ดเป็นดินกรด เมื่อมีการขังน้ำ pH ของดินเพิ่มขึ้น จากการที่ Fe (III) ถูกรีดิวซ์เป็น Fe (II) แล้วตกตะกอนกับคาร์บอเนต ทำให้ปริมาณไฮโดรเจนไอออนลดลงจึงทำให้ pH เพิ่มขึ้น ส่วนในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์เพียงอย่างเดียว ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ และใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี+หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ pH ของดินเพิ่มขึ้นสูงกว่ากรรมวิธีควบคุมและกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี โดยพบว่า pH ของดินเพิ่มขึ้นถึง 7.0 ในวันที่ 10 หลังการขังน้ำ และหลังจากนั้น pH จะลดลงเล็กน้อย เนื่องจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ทำให้เกิดสภาพกรดที่รุนแรงขึ้น และมีผลต่อความเข้มข้นของ CO_2 ที่จะเป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงของ pH จากค่า Pco_2 (partial pressure of CO_2) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Motomura (1962) ที่แสดงให้เห็นได้ว่าการใส่วัสดุอินทรีย์จะทำให้ pH หลังการขังน้ำสูงกว่าไม่ใส่วัสดุอินทรีย์

การเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำ (ภาพที่ 9b) ทั้ง 6 กรรมวิธีพบว่าไม่แตกต่างกัน โดย pH ของน้ำเพิ่มขึ้นถึง 8.5 อย่างรวดเร็วใน 2 สัปดาห์หลังการขังน้ำ แต่หลังจากนั้น pH ของน้ำจะลดลงและคงที่ที่ pH 7.5 ซึ่งแตกต่างจาก pH ของดินที่พบว่ามีเปลี่ยนแปลงช้ากว่า pH ของน้ำ ทั้งนี้ เพราะดินมี buffering capacity ทำให้สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลง pH ไม่ให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างรวดเร็วได้



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลง pH ของดิน (a) และ pH ของน้ำ (b) หลังการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์และปุ๋ยเคมีในชุดดินร่อยเอ็ดที่ปลูกข้าว

4.3 ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ร่วมกับปุ๋ยเคมีและหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในชุดดินร่อยเอ็ด

4.3.1 ความสูงของข้าว วัดความสูงที่ 40 วันหลังปลูก แสดงในตารางที่ 4 พบว่า ข้าวที่ปลูกในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี+หัวเชื้อจุลินทรีย์ และปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+หัวเชื้อจุลินทรีย์ มีความสูงของต้นข้าว 92, 90, 87 และ 87 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์เพียงอย่างเดียวต้นข้าวมีความสูง 84 เซนติเมตร ต่ำกว่าต้นข้าวในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี+หัวเชื้อจุลินทรีย์ และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+หัวเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าไม่แตกต่างทางสถิติ ทั้งนี้ ต้นข้าวทั้ง 5 กรรมวิธีดังกล่าวสูงกว่าต้นข้าวในกรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

4.3.2 การแตกกอของข้าว ที่ 32 วันหลังปลูก หรือระยะข้าวแตกกอสูงสุด พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี+หัวเชื้อจุลินทรีย์ และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี มีจำนวนต้นตอกอเท่ากันที่ 39 ต้น/กอ ทั้งนี้เป็นผลจากปัจจัยร่วมระหว่างปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ทำให้ข้าวได้รับธาตุอาหารอย่างเพียงพอในการเจริญเติบโต ส่วนกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์เพียงอย่างเดียว และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+หัวเชื้อจุลินทรีย์ ให้จำนวนต้นตอกอ 30 และ 29 ตามลำดับ น้อยกว่า 2 กรรมวิธีแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม กรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ทั้ง 4 กรรมวิธีดังกล่าว ให้จำนวนต้นตอกอสูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (26 ต้น/กอ) และกรรมวิธีควบคุม (13 ต้น/กอ) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 4)

4.3.3 น้ำหนักแห้งของต้นข้าวที่อายุ 92 วัน (ตารางที่ 4) พบว่า ข้าวที่ปลูกในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ร่วมกับปุ๋ยเคมีและหัวเชื้อจุลินทรีย์มีน้ำหนักแห้งสูงสุด 124 กรัม/กระถาง ซึ่งไม่แตกต่างกับข้าวที่ปลูกในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (120 กรัม/กระถาง) แสดงว่าการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ไม่มีผลทำให้การเจริญเติบโตของข้าวดีขึ้น อย่างไรก็ตาม น้ำหนักแห้งของข้าวในสองกรรมวิธีดังกล่าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีน้ำหนักแห้งสูงกว่าข้าวที่ปลูกในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+หัวเชื้อจุลินทรีย์ (103 กรัม/กระถาง) และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์เพียงอย่างเดียว (95 กรัม/กระถาง) ทั้งนี้จะให้ผลสอดคล้องกับจำนวนต้นตอกอ ซึ่งกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ทั้ง 4 กรรมวิธีดังกล่าวให้น้ำหนักแห้งสูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (84 กรัม/กระถาง) และกรรมวิธีควบคุม (60 กรัม/กระถาง) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

ตารางที่ 4 ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ ปุ๋ยเคมี และหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของข้าว

Treatments	Height of tiller (cm)	No. of tiller (tiller/pot)	Dry matter (mg/pot)
1. Control	78 c	13 d	60 d
2. Chemical fertilizer	92 a	26 c	84 c
3. Humified organic fertilizer	84 b	30 b	95 bc
4. Humified organic fertilizer + Chemical fertilizer	90 a	39 a	120 a
5. Humified organic fertilizer + Decomposing microorganisms	87 ab	29 bc	103 b
6. Humified organic fertilizer + Chemical fertilizer + Decomposing microorganisms	87 ab	39 a	124 a
Means	86	29	98
% CV	3.8	9.1	10.6
F-test	**	**	**

ในสคมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดัง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามการการวิเคราะห์แบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

4.4 ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ร่วมกับปุ๋ยเคมีและหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อการดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ของข้าว

4.4.1 ในโตรเจน ปริมาณการดูดใช้ในโตรเจนในข้าว แสดงในตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี+หัวเชื้อจุลินทรีย์ ข้าวมีการดูดใช้ในโตรเจนสูงสุด คือ 1,028 มิลลิกรัม/กระถาง แต่ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี ซึ่งมีการดูดใช้ในโตรเจนเท่ากับ 967 มิลลิกรัม/กระถาง ทั้งนี้เนื่องจากข้าวใน 2 กรรมวิธีดังกล่าวได้รับไนโตรเจนจากการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์สูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม การใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์อาจส่งเสริมการสลายตัวและการปลดปล่อยไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ ทำให้ข้าวที่ปลูกในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี+หัวเชื้อจุลินทรีย์ สามารถดูดใช้ในโตรเจนจากดินไปใช้ในการสร้างมวลและการเจริญเติบโตได้ดีกว่ากรรมวิธีที่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี แต่ไม่ได้ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนข้าวที่ปลูกใน

กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+หัวเชื้อจุลินทรีย์ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์อย่างเดียว และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีการดูใช้ในโตรเจน เท่ากับ 734, 734 และ 591 มิลลิกรัม/กระถาง ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีปริมาณการดูใช้ในโตรเจนต่ำกว่าสองกรรมวิธีแรก อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง เพราะได้รับธาตุอาหารทั้งหมดจากปุ๋ยในปริมาณที่ต่ำกว่า ส่วนข้าวในกรรมวิธีควบคุมมีปริมาณการดูใช้ในโตรเจนต่ำที่สุดเพียง 431 มิลลิกรัม/กระถาง เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนในดินมีไม่เพียงพอแก่ความต้องการของข้าว

4.4.2 ฟอสฟอรัส การดูใช้ฟอสฟอรัสทั้งหมดในข้าวทั้ง 6 กรรมวิธีดังกล่าว พบว่าเป็นไปในทางเดียวกันกับการดูใช้ในโตรเจน กล่าวคือ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี+หัวเชื้อจุลินทรีย์ มีการปริมาณการดูใช้ฟอสฟอรัสในข้าวสูงสุด 246 มิลลิกรัม/กระถาง ข้าวในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี มีปริมาณการดูใช้ฟอสฟอรัสรองลงมา คือ 240 มิลลิกรัม/กระถาง แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี+หัวเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนข้าวที่ปลูกในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+หัวเชื้อจุลินทรีย์ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์อย่างเดียว และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีปริมาณการดูใช้ฟอสฟอรัสในข้าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 188, 175 และ 147 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณการดูใช้ฟอสฟอรัสน้อยกว่าข้าวที่ปลูกในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี+หัวเชื้อจุลินทรีย์ และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ปริมาณการดูใช้ฟอสฟอรัสของข้าวในกรรมวิธีควบคุม เท่ากับ 49 มิลลิกรัมต่อกระถาง ต่ำกว่าใน 5 กรรมวิธีข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 5)

4.4.3 โพแทสเซียม ปริมาณการดูใช้โพแทสเซียมในต้นข้าวในกรรมวิธีต่าง ๆ (ตารางที่ 5) พบว่าเป็นไปในทางเดียวกันกับการดูใช้ในโตรเจนและฟอสฟอรัส กล่าวคือ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี+หัวเชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณการดูใช้โพแทสเซียมในข้าว 1,201 มิลลิกรัม/กระถาง ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี (1,093 มิลลิกรัม/กระถาง) ส่วนข้าวที่ปลูกในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์อย่างเดียว และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีปริมาณการดูใช้โพแทสเซียม 807, 805 และ 581 มิลลิกรัม/กระถาง ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่น้อยกว่าปริมาณการดูใช้ของข้าวที่ปลูกในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี+หัวเชื้อจุลินทรีย์ และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง และทั้ง 5 กรรมวิธีดังกล่าวมีปริมาณการดูใช้โพแทสเซียมของข้าวสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม (354 มิลลิกรัม/กระถาง) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ซึ่งจากการทดลองดังกล่าวอาจมีเหตุผลจากการใส่ปุ๋ยในอัตราสูงเมื่อเปรียบเทียบกับ

กรรมวิธีควบคุม ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตทางลำต้นสูงทำให้มีการดูดโพแทสเซียมในดินไปใช้ เพราะโพแทสเซียมนี้มีบทบาทสำคัญสำหรับขบวนการสรีรวิทยา เช่น ขบวนการหายใจ ซึ่งโดยทั่วไปข้าวต้องการโพแทสเซียมสูงในระยะแรกของการเจริญเติบโต จากนั้นจะลดลงและเพิ่มขึ้นอีกครั้งในระยะหลังของการเจริญเติบโต โดยเฉพาะระยะก้านดอกจนถึงระยะที่ข้าวออกรวงอย่างสมบูรณ์ (Mengel และ Kirkby, 1982)

ตารางที่ 5 ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อิมิไฟด์ ปุ๋ยเคมี และหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ต่อการดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของข้าว

Treatments	Nutrients uptake (mg/pot)		
	N	P	K
1. Control	431 c	49 c	354 c
2. Chemical fertilizer	591 bc	147 b	581 b
3. Humified organic fertilizer	734 b	175 b	805 b
4. Humified organic fertilizer + Chemical fertilizer	967 a	240 a	1,093 a
5. Humified organic fertilizer + Decomposing microorganisms	734 b	188 b	807 b
6. Humified organic fertilizer + Chemical fertilizer + Decomposing microorganisms	1,028 a	246 a	1,201 a
Means	747	174	806
%CV	16.8	17.7	18.5
F-test	**	**	**

ในสคริปต์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดัง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามการการวิเคราะห์แบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

4.5 ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังการเก็บเกี่ยว

4.5.1 ในโตรเจน การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์มีผลทำให้ทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังเก็บเกี่ยวข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 6) โดยกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี+หัวเชื้อจุลินทรีย์ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังเก็บเกี่ยวเหลืออยู่ในปริมาณสูงสุด คือ 2.7 กรัม/กิโลกรัม ตามด้วยกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์อย่างเดียว (2.4 กรัม/กิโลกรัม) กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+หัวเชื้อจุลินทรีย์ (1.9 กรัม /กิโลกรัม) กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี (1.6 กรัม /กิโลกรัม) ตามลำดับ และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว และกรรมวิธีควบคุม จะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังเก็บเกี่ยว 0.6 และ 0.5 กรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ น้อยกว่าดินใน 4 กรรมวิธีข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ลงไปดินตามแต่ละกรรมวิธีและการดูการใช้ของข้าว

4.5.2 ฟอสฟอรัส ปริมาณฟอสฟอรัสที่สามารถสกัดได้ในดินหลังเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 6) ในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี+หัวเชื้อจุลินทรีย์ ย่อยวัสดุอินทรีย์ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์+ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 44, 36, 35 และ 30 มิลลิกรัม P/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเป็นปริมาณที่สูงกว่าในดินหลังเก็บเกี่ยวจากกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (17 มิลลิกรัม P/กิโลกรัม) และกรรมวิธีควบคุม (2 มิลลิกรัม P/กิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบสูงถึง 9.06 กรัม P_2O_5 /100 กรัม (ตารางที่ 2) และปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ที่ใส่ลงไปเท่ากับ 119.76 กรัม/ดิน 12 กิโลกรัม ดังนั้นปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่มาจากปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์จะเท่ากับ 10.85 กรัม/ดิน 12 กิโลกรัม ในขณะที่ฟอสฟอรัสที่ได้จากปุ๋ยเคมีมีเพียง 0.66 กรัม/ดิน 12 กิโลกรัม จึงทำให้ดินหลังเก็บเกี่ยวในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ทั้ง 4 กรรมวิธี มีฟอสฟอรัสเหลืออยู่ในดินในปริมาณสูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีและกรรมวิธีควบคุม

4.5.3 โพแทสเซียม การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ทั้ง 4 กรรมวิธีไม่มีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังการเก็บเกี่ยวแตกต่างจากดินในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีและกรรมวิธีควบคุม (ตารางที่ 6) ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบในปริมาณต่ำเพียง 0.5 % ซึ่งทำให้ดินในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์จะได้รับโพแทสเซียมเท่ากับ 0.6 กรัม K_2O /ดิน 12 กิโลกรัม ในขณะที่โพแทสเซียมที่ได้จากปุ๋ยเคมีเท่ากับ 0.33 กรัม/ดิน 12

กิโลกรัม ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่เหลืออยู่ในดินหลังเก็บเกี่ยวของทั้ง 6 กรรมวิธี ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 6 สมบัติทางเคมีของชุดดินร้อยเอ็ดก่อนและหลังทำการทดลองในกระถาง

Treatments	T-N ¹ (g kg ⁻¹)	Bray II-P ² (mg kg ⁻¹)	Exch. K ³ (mg kg ⁻¹)
Soil before planting	0.4	26	8
Soil after planting			
1. Control	0.5 d	2 d	3
2. Chemical fertilizer	0.6 d	17 c	3
3. Humified organic fertilizer	2.4 ab	44 a	5
4. Humified organic fertilizer + Chemical fertilizer	1.7 c	30 b	3
5. Humified organic fertilizer + Decomposing microorganisms	1.9 bc	35 ab	3
6. Humified organic fertilizer + Chemical fertilizer + Decomposing microorganisms	2.7 a	36 ab	4
Means	1.6	27	3
%CV	29.4	24.6	67.1
F-test	**	**	ns

¹ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

² ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

³ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

สรุปและข้อเสนอแนะ

1. จากการบ่มปุ๋ยอินทรีย์ 3 ชนิดในชุดดินสติก ที่สภาพความชื้น 60%ของความจุอุ้มน้ำ สรุปได้ว่า ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ ยังมีการปลดปล่อยไนโตรเจนในปริมาณสูงเมื่อเทียบกับมูลไก่อัดเม็ดและกากตะกอนน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม แต่เมื่อศึกษาการสลายตัวจากปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าว กลับพบว่ามูลไก่มีอัตราการสลายตัวสูงกว่าปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์และกากตะกอนน้ำเสีย ตามลำดับ
2. เมื่อบ่มปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ในชุดดินร้อยเอ็ด ที่สภาพความชื้น 60%ของความจุอุ้มน้ำ และที่สภาพน้ำขัง สรุปได้ว่า การปลดปล่อยไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ในสภาพความชื้นทั้งสองสภาพดังกล่าวไม่แตกต่างกัน และการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ไม่มีผลต่อการปลดปล่อยอินทรีย์ไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์
3. เมื่อทำการทดลองในกระถางโดยใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ร่วมกับปุ๋ยเคมีและหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในชุดดินร้อยเอ็ดที่มีการปลูกข้าวในสภาพน้ำขัง สรุปได้ว่า ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวได้ แต่ต้องใส่ในอัตราสูงถึง 5 เท่าของปุ๋ยเคมี เมื่อเทียบจากปุ๋ยเคมีในโตรเจน อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ร่วมกับปุ๋ยเคมีจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวดีกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์เพียงอย่างเดียว ส่วนการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ไม่มีผลต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์และการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวแต่อย่างใด นอกจากนี้ยังสามารถสรุปได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้น โดยดินหลังการเก็บเกี่ยวจะมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงขึ้นอย่างเด่นชัด ทั้งนี้ยกเว้นโพแทสเซียมเนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ฮิวมิไฟด์มีโพแทสเซียมอยู่ในปริมาณต่ำ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2535. ปุ๋ยพืชสดบำรุงดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 21 น.

_____. 2548ก. รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดิน เล่ม 1 ดินบนพื้นที่ราบต่ำ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 387-410 น.

_____. 2548ข. รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดิน เล่ม 2 ดินบนพื้นที่ดอน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 259-279 น.

กรมวิชาการเกษตร. 2543. เทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยในนาข้าว. สถาบันวิจัยข้าว สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. กรุงเทพฯ. 124 น.

_____. 2546. ข้าวและธัญพืชเมืองหนาว. สถาบันวิจัยข้าว สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. กรุงเทพฯ. 229 น.

_____. 2544. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. 164 น.

_____. 2548ก. คู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. กลุ่มงานวิจัยเกษตรเคมี. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. 45 น.

_____. 2548ข. คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์. กลุ่มงานวิจัยเกษตรเคมี. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. 32 น.

_____. 2548. เอกสารวิชาการ : ปุ๋ยอินทรีย์ การผลิต การใช้ และคุณภาพ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 81 น.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2528. **เคมีของดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 502 น.

_____. 2541. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ. 547 น.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์. 2543. **ดินที่ใช้ปลูกข้าว**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 356 น.

ประพิศ แสงทอง และ ปรีดา พากเพียร. 2542. การปลดปล่อยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน
จากการใส่กากตะกอนน้ำเสีย. **ผลงานวิจัยฉบับเต็ม**. กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน
กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 86 น.

_____ และ ภาวนา ลิกขนานนท์. 2544. การปลดปล่อยไนโตรเจนในดินจากการใส่กากตะกอน
น้ำเสีย. **วารสารดินและปุ๋ย** ปีที่ 23(3): 99-110.

ปรีดา พากเพียร, พิชิต พงษ์สกุล และ วิศิษฐ์ โชติสกุล. 2536. **การวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืช**.
กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.
กรุงเทพฯ.

วิโรจ อิมพิทักษ์. 2532. **การจัดการดิน: ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการจัดการดินเพื่อการปลูกพืชที่มีความสัมพันธ์กับ น้ำ พืช และสภาพแวดล้อม**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 608 น.

ไพรัช พงษ์วิเชียร, ชัยนาม ดิสถาพร, ปราโมทย์ แยมคลี่ และ ประสิทธิ์ ดันประภาส. 2549. ผล
ของวัสดุปรับปรุงดินร่วมกับการปลูกข้าวต่อการเคลื่อนย้ายเกลือในดินระบบระบายน้ำแบบ
ร่องเปิดในพื้นที่ดินเค็มจัด, น. 526-533. ใน **เรื่องเต็มการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 44 สาขาพืช**.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ วั่งโน. 2528. **จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน**. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทโรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, กรุงเทพมหานคร. 193 น.

ลัมฤทธิ์ ชัยวรรณกุลปต์. 2541. **การปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ยสำหรับพืชเศรษฐกิจในดินไร่**. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 81 น.

สุรพล เข้าน้อง, สุปราณี งามประสิทธิ์ และ ประพนธ์ บุญราพรณ. 2549. ผลของการใส่ปุ๋ยมูลสุกรและปุ๋ยเคมีที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพของข้าวโพดหวาน (พันธุ์อินทรีย์ 2) ในไร่เกษตรกร, น. 739-744. ใน **เรื่องเต็มการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 44 สาขาพืช**, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อนนท์ สุขสวัสดิ์, พันัส สุวรรณธาดา และ ดิเรก อินตาพรณ. 2533. อิทธิพลของปริมาณและระยะเวลาของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว. **วารสารการเกษตร**, ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม. 94-101 น.

อรพินท์ สุริยพันธุ์, โยอิชิ อุเอซารา และ วิศิษฐ์ โชติสกุล. 2531. ผลของการใช้อินทรีย์วัตถุที่มีต่อสมบัติทางเคมีของดินและผลผลิตของข้าวโพดในดินชุดปากช่อง. น. 71-78. ใน **เอกสารวิชาการ อินทรีย์วัตถุกับการเกษตรในดินไร่**. กรมวิชาการเกษตร. 2531.

อรรณณ ศิริรัตน์พิริยะ, สุรัชย์ หมั่นสังข์ และ รุจิเรข ราชบุรี. 2549. ของการเติมถ้ำล่อยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวในการปลูกข้าว, น.232-239. ใน **เรื่องเต็มการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 44 สาขาพืช**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Aggelides, S.M. and P.A.Londra. 1999. Effect of compost produced from town wastes and sewage sludge on the properties of a loamy and a clay soil. **Biosource Technology**. 71: 253-259.

Allison, L.E. 1965. Organic carbon, pp. 1372-1376. In C.A. Black et al., eds. **Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties**. Amer. Soc. Agron. Inc., Publ., Madison, Wisconsin.

- Barbarika, A. Jr., L.J. Sikora, and D.B. Colacicco. 1985. Factors affecting the mineralization of nitrogen in sewage sludge applied to soils. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 49: 1403-1406.
- Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen, pp. 1149-1178. *In* C.A. Black et al., eds. **Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties.** Amer. Soc. Agron. Inc., Publ., Madison, Wisconsin.
- Cole-Parmer Instrument company. 2000. **Cole-Parmer Catalog.** U.S.A. 2266 pp.
- F.A.O. 1994. World Reference Base for Soil Resource. International Soil Science Society. **International Soil Reference and Information Centre.** Food and Agriculture Organization. Wageningen/Rome.
- Garcia, C., J.L. Moreno, T. Hernandez, and F. Costa. 1995. Effect of composting on sewage sludges contaminated with heavy metal. **Bioresource Technology.** 53: 19-23.
- Land Classification Division and FAO Project Staff. 1973. **Soil Interpretation Handbook for Thailand.** Dept. of Land Development, Min. of Agri. and Coop., Bangkok. 135.
- Leiros, M.C., C.T. Cepeda. S. Seoane, and F. Gil-Sotres. 1999. Dependence of mineralization of soil organic matter on temperature and moisture. **Soil Biochem. and Biochem.** 31: 327-335.
- Lindsay, W.L. and W.A. Norwell. 1987. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 42: 421-428.
- Lu X.Q., J.V. Hanna and W.D. Johnson. 2001. Evidence of chemical pathways of humification : a study of aquatic humic substances heated at various temperatures. **Chemical Geology.** 177(34) : 249-264.

- Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1982. **Principle of Plant Nutrition**. Int. Potash. Institute, Bern, Switzerland.
- Miyittah, M. and K. Inubushi. 2003. Decomposition and CO₂-C evolution of okara, sewage sludge, cow and poultry manure compost in soils. **Soil Sci and Plant Nutr.** 49(1): 61-68.
- Motomura, S. 1962. The effect of organic matter on the formation of ferrous iron in soils. **Soil Sci. and Plant Nutr.** 8: 20-29.
- Olsen, S.R. and L.A. Dean. 1965. Phosphorus, pp. 1040-1041. *In* C.A. Black et al., eds. **Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties**. Amer. Soc. Agron. Inc., Publ., Madison, Wisconsin.
- Olsen, S.R. and L.E. Sommer. 1982. Phosphorus. pp 403-430. *In* A.L. Page et al., eds. **Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed.** Amer. Soc. Agron. Inc., Publ., Madison, Wisconsin.
- Peech, M. 1965. Hydrogen-ion acidity, pp. 914-932. *In* C.A. Black et al., eds. **Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties**. Amer. Soc. Agron. Inc., Publ., Madison, Wisconsin.
- Sastre, I., M.A. Vicente, and M.C. Lobo. 1996. Influence of the application of sewage sludges on soil microbial activity. **Bioresource Technology.** 57: 19-23.
- Solar Rovita, P.A., G. Brunetti, A. Polo and N. Senesi. 2003. Effect of amendment with compost sludge on soil humic acid properties. **Compost Science & Utilization.** 11(2): 176-184.
- Stevenson, F.J. 1986. **Cycle of Soil Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrient**. John Wiley & Sons, Inc. U.S.A. 380 p.

Terry, R.E., D.W. Nelson, and L.E. Sommers. 1981. Nitrogen transformation in sewage-amended soils as affected by soil environmental factors. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 45: 506-513.

Thomas, G.W.. 1982. Exchangeable cations, pp. 159-161. *In* A.L. Page et al., eds. **Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed.** Amer. Soc. Agron. Inc., Publ., Madison, Wisconsin.

Zaman, M., H.J. Di, K. Sakamoto, S. Goto, H. Hayashi and K. Inubushi. 2002. Effects of sewage-sludges compost and chemical fertilizer application on microbial biomass and N mineralization rates. **Soil Sci and Plant Nutr.** 48(2): 195-201.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนในโตรเจนสะสม (กรัม N/100 กรัมของไนโตรเจนทั้งหมด) ของปุ๋ยอินทรีย์อิมิไฟด์ กากตะกอนน้ำเสีย และ มูลไก่อัดเม็ดในชุดดินสติกสภาพดินไร่ (การทดลองที่ 1)

Treatments	Days of incubation														
	0	1	3	5	7	14	21	28	35	42	49	56	63	77	91
Soil	1.9	1.5	0.7	1.7	0.1	1.4	1.9	1.7	1.7	2.5	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0
Sewage sludge	8.0	9.3	7.6	8.8	10.5	9.2	8.8	10.7	9.9	9.7	9.5	9.2	9.9	9.5	10.0
Humified organic fertilizer	5.2	7.0	11.0	13.1	15.6	18.6	19.8	21.7	21.3	23.8	22.9	23.9	23.5	23.8	24.2
Pellet chicken manure	11.1	12.0	5.4	7.7	11.9	14.1	16.3	21.4	18.2	18.5	19.1	20.6	21.7	20.2	21.2

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณการปลดปล่อยอินทรีย์ไนโตรเจนสะสม (กรัม N/100 กรัมของไนโตรเจนทั้งหมด) ของปุ๋ยอินทรีย์อิมไพค์ เมื่อบ่มร่วมกับ
หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ในชุดดินร่อยเอ็ดสภาพดินไร่และดินนา (การทดลองที่ 2)

Treatments	Days of incubation														
	0	1	3	5	7	14	21	28	35	42	49	56	63	77	91
Soil (60% WHC)	0.4	2.0	0.6	2.2	0.8	1.0	1.0	2.7	0.8	1.1	1.1	1.3	1.0	1.1	1.4
Soil (submerged)	0.6	2.2	0.6	2.6	0.7	0.7	0.9	1.1	0.6	0.9	0.7	1.1	0.8	0.9	0.9
Humified organic fertilizer (60% WHC)	4.3	9.8	12.6	18.1	16.2	18.1	16.2	22.8	16.8	24.9	22.7	20.9	16.2	20.1	15.2
Humified organic fertilizer + Decomposing Microorganisms (60% WHC)	4.5	9.8	11.7	15.0	15.1	18.2	18.7	19.8	20.8	21.2	20.6	23.6	23.5	10.1	17.1
Humified organic fertilizer (submerged)	4.4	10.4	13.2	17.2	16.9	21.2	21.4	15.8	15.5	20.9	17.3	12.4	14.1	16.0	16.5
Humified organic fertilizer + Decomposing Microorganisms (submerged)	4.6	10.4	11.3	14.5	15.7	18.2	21.2	15.7	20.8	20.8	15.1	15.8	17.0	9.1	8.9

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจน(มิลลิกรัม N/ดิน 1 กิโลกรัม) ของปุ๋ยอินทรีย์ชีวมิไฟต์ในชุดดินร่อยเห็ดที่ปลูกข้าว (การทดลองที่ 3)

Treatments	Days of submergence													
	0	1	3	5	10	17	24	31	38	46	60	75	92	106
Control	6.0	2.9	11.0	12.4	16.9	23.0	28.1	24.2	10.3	8.3	10.5	3.0	1.7	7.6
Chemical fertilizer	9.8	2.6	11.9	10.8	3.9	29.8	33.5	34.6	18.1	6.5	15.3	10.1	14.3	6.4
Humified organic fertilizer	50.6	40.4	41.1	40.0	43.8	83.4	81.6	61.8	46.3	28.0	11.6	4.7	7.6	12.2
Humified organic fertilizer + Chemical fertilizer	47.5	42.9	35.5	31.4	41.2	52.7	87.8	71.5	55.9	45.5	15.6	6.8	17.1	13.5
Humified organic fertilizer + Decomposing microorganisms	39.9	67.7	40.8	35.7	40.8	100.1	67.1	56.8	60.5	28.1	9.9	4.7	10.6	8.5
Humified organic fertilizer + Chemical fertilizer +Decomposing microorganisms	48.3	49.1	37.4	32.6	45.1	51.7	74.0	48.6	52.2	41.6	14.2	6.3	8.0	17.1

ตารางภาคผนวกที่ 4 ข้อจำกัดของสมบัติทางเคมีที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน
(Land Classification Division และ FAO Project Staff, 1973)

1. ปฏิกริยาดิน (soil reaction), pH (ดินต่อน้ำ = 1:1)

ระดับ (rating)		พิสัย (range)
กรดจัดมาก	Extremely acid	< 4.5
กรดจัด	Very strongly acid	4.5-5.0
กรดแก่	Strongly acid	5.1-5.5
กรดปานกลาง	Moderately acid	5.6-6.0
กรดเล็กน้อย	Slightly acid	6.1-6.5
กลาง	Neutral	6.6-7.3
ด่างอ่อน	Mildly alkaline	7.4-7.8
ด่างปานกลาง	Moderately alkaline	7.9-8.4
ด่างแก่	Strongly alkaline	8.5-9.0
ด่างจัด	Extremely alkaline	> 9.0

2. อินทรีย์วัตถุ (organic matter) (% organic carbon x 1.724)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (g kg ⁻¹)
ต่ำมาก	(VL)	< 5
ต่ำ	(L)	5-10
ค่อนข้างต่ำ	(ML)	10-15
ปานกลาง	(M)	15-25
ค่อนข้างสูง	(MH)	25-35
สูง	(H)	35-45
สูงมาก	(VH)	> 45

3. ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total nitrogen)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (g kg ⁻¹)
ต่ำมาก	(VL)	< 0.25
ต่ำ	(L)	0.50-0.75
ปานกลาง	(M)	0.75-1.25
สูง	(H)	1.25-1.75
สูงมาก	(VH)	>

4. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) (Bray II)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (mg kg ⁻¹)
ต่ำมาก	(VL)	< 3
ต่ำ	(L)	3-6
ค่อนข้างต่ำ	(ML)	6-10
ปานกลาง	(M)	10-15
ค่อนข้างสูง	(MH)	15-25
สูง	(H)	25-45
สูงมาก	(VH)	> 45

5. ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K) (NH₄OAc)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (mg kg ⁻¹)
ต่ำมาก	(VL)	< 30
ต่ำ	(L)	30-60
ปานกลาง	(M)	60-90
สูง	(H)	90-120
สูงมาก	(VH)	> 120

6. ค่าที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable base) (NH_4OAc)

ระดับ (rating)	พิสัย (range) (cmole kg^{-1})			
	Exch.Ca	Exch.Mg	Exch.K	Exch.Na
ต่ำมาก (VL)	< 2	<0.3	< 0.2	< 0.1
ต่ำ (L)	2-5	0.3-1.0	0.2-0.3	0.1-0.3
ปานกลาง (M)	5-10	1.0-3.0	0.3-0.6	0.3-0.7
สูง (H)	10-20	3.0-8.0	0.6-1.2	0.7-2.0
สูงมาก (VH)	>20	> 8.0	> 1.2	> 2.0

ตารางภาคผนวกที่ 5 การเปลี่ยน non SI unit เป็น SI unit

Quantity	SI unit	Conversion equation
Electrical conductivity	dS m ⁻¹	1 mS/cm = dS m ⁻¹ 1 μS/cm = 0.001 dS m ⁻¹
Cation exchange capacity	cmol (+) kg ⁻¹	1 meq/100 g = 1 cmole (+) kg ⁻¹
Anion exchange capacity	cmol (-) kg ⁻¹	1 meq/100 g = 1 cmole (-) kg ⁻¹
Exchangeable cation	cmol kg ⁻¹	1 meq/100 g = 1 cmol kg ⁻¹
Mass ratio	g kg ⁻¹	1% = 10 g kg ⁻¹
	mg kg ⁻¹	1 ppm = 1 mg kg ⁻¹ 1 mg/100 g = 10 mg kg ⁻¹
	μg kg ⁻¹	1 ppb = 1 μg kg ⁻¹
	ng kg ⁻¹	1 ppt = 1 ng kg ⁻¹
Mass concentration	g L ⁻¹	1% = 10 g L ⁻¹
	mg L ⁻¹	1 ppm = 1 mg L ⁻¹
	μg L ⁻¹	1 ppb = 1 μg L ⁻¹
	ng L ⁻¹	1 ppt = 1 ng L ⁻¹
Density	Mg m ⁻³	1 g/cm ³ = 1 Mg m ⁻³
Specific surface	m ² kg ⁻¹	1 m ² /g = 1000 m ² kg ⁻¹
Pressure	kPa, Mpa	1 bar = 0.1 MPa
Radioactivity	Bq	1 Ci = 3.7x10 ¹⁰ Bq
Rate, Yield	kg ha ⁻¹	1 kg/10 a = 10 kg ha ⁻¹
	Mg ha ⁻¹	1 t/10 a = 10 Mg ha ⁻¹

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวเข็มพร เพชรภรณ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	18 กันยายน 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดอุดรธานี
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	พนักงานราชการ ตำแหน่งนักวิชาการเกษตร
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรมวิชาการเกษตร
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการวิจัยร่วมระหว่าง Laboratory of Soil and Ecological Engineering, Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University ประเทศ ญี่ปุ่นและกรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ