ว. เกษตรศาสตร์ (วิทย.) 19 : 92—99 (2528)

อิทธิพลของอินทรียวัสดุเหลือใช้ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในดินนา

Effects of Organic Waste Materials on Dynamics of Nitrogen in Submerged Paddy Soils.

สมบูรณ์ มั่นความดี[1/] จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข[1/]
สรสิทธิ์ วัชโรทยาน[1/] และ Hidenori Wada[2/]
Somboon Mankarmde, Jongruk Chanchareonsook,
Sorasith Vacharotayan and Hidenori Wada

ABSTRACT

Studies on the effects of organic waste materials (OWM) on dynamics of nitrogen in Rangsit and Roiet paddy soils were conducted. OWM examined were rice straw compost (RSC), activated sludge (AS), whisky sludge (SW), filter cake (FC) and caster meal (CM). OWM increased NH_4^+ content in paddy soils. The amount of N released from OWM was partly controlled by C/N ratio. The increasing order in the amount of the released N correspond to the decreasing order of C/N ratio. Time course of NH_4^+ formation varied among OWM and also between the two type of soils. OWM were classified into three group according to their time course of NH_4^+ formation : (1) slow release, RSC, FC (2) rapid release, AS, SW and (3) delayed rapid release, CM. The rate of NH_4^+ release in Rangsit soil amended with OWM was slower than that in Roiet soils. Nitrogen uptake by the rice plant was found to be correlated with N release in the soils and rice yield. OWM especially FC increased pH of the soils. Application of OWM enhanced reduction state of the paddy soils.

บทคัดย่อ

ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอินทรียวัสดุเหลือใช้ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในดินนา ชุดดินรังสิตและชุดดินร้อยเอ็ด วัสดุเหลือใช้ที่นำมาศึกษา คือ ปุ๋ยหมักฟางข้าว (RSC) activated sludge จากโรงงานเบียร์ (AS) sludge จากโรงงานสุรา (SW) filter cake (FC) และกากละหุ่ง (CM) ผลการทดลองพบว่า วัสดุเหลือใช้ทุกชนิดช่วยเพิ่ม NH_4^+–N ในดินนา ปริมาณ NH_4^+–N ที่ปลดปล่อยออกมาจากวัสดุเหลือใช้เป็นปฏิภาคโดยกลับกับอัตราส่วน C/N ของวัสดุเหลือใช้ อัตราการปลดปล่อย NH_4^+–N ของวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิดแตกต่างกัน และในแต่ละชนิดของดินก็แตกต่างกันด้วย วัสดุเหลือใช้ที่นำมาศึกษาอาจแบ่งเป็น 3 กลุ่มตามลักษณะการปลดปล่อย NH_4^+–N คือ (1) FC และ RSC ปลดปล่อย NH_4^+–N ออกมาช้า (2) AS และ SWปลดปล่อย NH_4^+–N ออกมาเร็ว และ (3) CM ปลดปล่อย NH_4^+–N ออกมาช้าในช่วงแรกแต่เร็วในช่วงต่อมาของการขังน้ำ การสลายตัวและปลดปล่อย NH_4^+–N ของวัสดุเหลือใช้ในชุดดินรังสิตจะช้ากว่าในชุดดิน

1 ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2 Department of Agricultural Chemistry, The University of Tokyo

ร้อยเอ็ด ปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวดูดดึงขึ้นไปใช้มีสหสัมพันธ์กับปริมาณ NH_4^+–N ที่ปลดปล่อยออกมาในดิน และผลผลิตของข้าว อินทรียวัสดุเหลือใช้ทุกชนิดเพิ่ม pH ของดินนา โดยเฉพาะ FC จะยกระดับ pH ของดินอย่างเด่นชัด การใส่อินทรียวัสดุเหลือใช้ทำให้สภาพ reduction ในดินนาสูงขึ้น

คำนำ

อินทรียวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในประเทศไทย กำลังมีแนวโน้มเพิ่มปริมาณขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากมีการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมมากขึ้น และมีการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรจึงทำให้เหลือเศษซากตอซังของพืชเป็นจำนวนมาก ดังนั้น จึงเกิดปัญหาเกี่ยวกับการกำจัดวัสดุเหลือใช้เหล่านี้ ทางหนึ่งในการกำจัดซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ด้วยก็คือ การนำอินทรียวัสดุเหลือใช้เหล่านี้มาใช้เป็นปุ๋ยบำรุงดิน และเนื่องจากดินนาของประเทศไทยส่วนใหญ่มักจะขาดไนโตรเจน การเพิ่มปริมาณไนโตรเจนในดินโดยการใส่ปุ๋ยเคมีเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็ว แต่ในสภาพปัจจุบันปุ๋ยเคมีมีราคาแพง การหาแหล่งของปุ๋ยไนโตรเจนอื่น ๆ เช่น อินทรียวัสดุเหลือใช้มาใช้ทดแทนหรือเสริมปุ๋ยเคมีจึงเป็นสิ่งจำเป็น อย่างไรก็ตาม การนำอินทรียวัสดุเหล่านี้มาใช้ควรจะมีการศึกษา เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานต่าง ๆ ควรรู้และเข้าใจเกี่ยวกับการปลดปล่อย NH_4^+–N ของอินทรียวัสดุในดินนา ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารไนโตรเจนในวัสดุเหลือใช้นั้น ๆ ต่อข้าวตลอดทั้งอิทธิพลข้างเคียงต่าง ๆ

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อศึกษา

1. ปริมาณ อัตรา และลักษณะการปลดปล่อย NH_4^+–N ในดินนาที่มีการใส่อินทรียวัสดุเหลือใช้
2. การดูดดึงไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ของข้าวในดินนาที่ใส่อินทรียวัสดุเหลือใช้
3. ผลข้างเคียงอันเนื่องมาจากการใส่อินทรียวัสดุในดินนา
4. เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานซึ่งเป็นแนวทางในการนำอินทรียวัสดุเหลือใช้มาใช้เป็นปุ๋ยในการเพิ่มไนโตรเจนในดินนา

อุปกรณ์และวิธีการ

ดินนาที่นำมาศึกษา คือ ดินนาชุดดินรังสิตซึ่งเป็นดินเปรี้ยวจัด (acid sulfate soil) (Sulfic Tropaquept) (Van Breeman and Ponds, 1978) และชุดดินร้อยเอ็ด (Palaequults) (Rojanasoonthon, 1978) ซึ่งเป็นดินทรายมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินทั้งสองแสดงอยู่ในตารางที่ 1 อินทรียวัสดุเหลือใช้ที่นำมาศึกษามี 5 ชนิด คือ ปุ๋ยหมักฟางข้าวจากสถานีทดลองข้าวรังสิตและสถานีทดลองข้าวสุรินทร์ activated sludge จากโรงงานเบียร์ filter cake จากโรงงานน้ำตาล sludge จากโรงงานสุรา และกากละหุ่ง คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือใช้แสดงอยู่ในตารางที่ 2

การทดลองทำในกระถางมี 7 treatments (ตำรับ) คือ ไม่ใส่ปุ๋ยเลย (Ch) ใส่ปุ๋ยเคมี (F) ใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าว (RSC) ใส่ activated sludge จากโรงงานเบียร์ (AS) ใส่ sludge จากโรงงานสุรา (SW) ใส่ filter cake จากโรงงานน้ำตาล (FC) และใส่กาก

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินชุดรังสิตและชุดร้อยเอ็ด

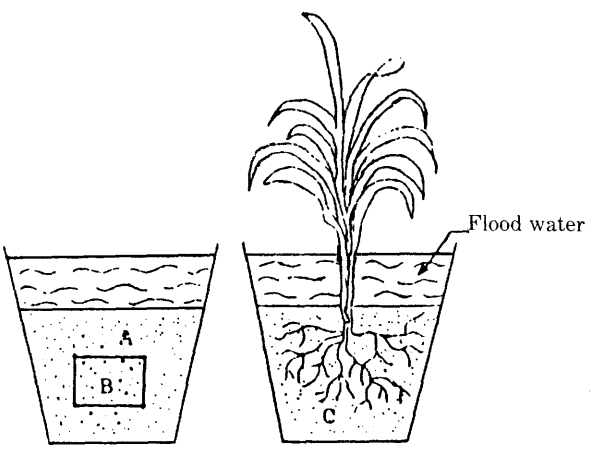
สมบัติของดิน	ดินนา ชุดรังสิต	ดินนา ชุดร้อยเอ็ด
pH (1 : 1)	4.5	5.4
Available P (Bray II, ppm)	14	8.5
Total C (%)	1.45	0.44
Total N (%)	0.150	0.046
CEC (NaOAc, pH 7) (me/ดิน 100 กรัม)	37	11
Texture (hydrometer)	clay	loamy sand
Easily reducible Mn (ppm)	42	10
Free iron (%)	0.92	0.1

ตารางที่ 2 คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของอินทรียวัสดุเหลือใช้

อินทรียวัสดุเหลือใช้	pH	total N %	C %	C/N	P %	Ca %	K %
ปุ๋ยหมักฟางข้าวจากสถานีทดลองข้าวรังสิต	6.4	0.95	12.9	13	0.385	0.140	0.438
ปุ๋ยหมักฟางข้าวจากสถานีทดลองข้าวสุรินทร์	7.2	1.42	22.2	15	0.292	0.145	0.563
Sludge จากโรงงานเบียร์	7.0	4.70	33.4	7	1.25	0.538	0.500
Filter cake จากโรงงานน้ำตาล	7.5	1.01	11.3	11	2.40	2.20	0.438
Sludge จากโรงงานสุรา	6.6	5.94	33.7	6	0.56	0.175	0.50
กากละหุ่งจากโรงงานน้ำมันละหุ่ง	6.4	5.26	35.8	7	1.12	0.250	0.575

ละหุ่ง (CM) โดยใส่ปุ๋ยเคมีและวัสดุเหลือใช้ในอัตรา 1.6 กรัม N/ดิน 8 กก./กระถาง หรือ 200 ppm N และใส่ KH_2PO_4 3 กรัม ในทุกตำรับ ยกเว้น Ch แต่ละตำรับประกอบด้วยการทดลอง 3 ระบบ คือ ระบบเปิดซึ่งปราศจากอิทธิพลของรากข้าว ดินในระบบนี้เรียกว่า A-soil ระบบปิดดิน ในระบบนี้เรียกว่า B-soil และระบบเปิดมีอิทธิพลของรากข้าว ดินในระบบนี้เรียกว่า C-soil A-soil, B-soil และ C-soil แสดงอยู่ในรูปที่ 1

ทำการเก็บตัวอย่างดิน (A-soil, B-soil และ C-soil) และข้าวทุกช่วงระยะการเจริญเติบโต ตัวอย่างดินที่เก็บมานำมาวิเคราะห์ความชื้น pH, Fe^{2+} (สกัดด้วย 1 M NaOAC pH 2.8 และวิเคราะห์ปริมาณ Fe^{2+} โดยวิธี colorimetry) และ NH_4^+ (สกัดด้วย 10% KC1 และวิเคราะห์ปริมาณ NH_4^+ โดยการกลั่น) ตัวอย่างพืชนำมาอบชั่งน้ำหนักและวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนโตรเจนในพืช รวมทั้งปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ข้าวดูดดึงขึ้นมาจากดิน

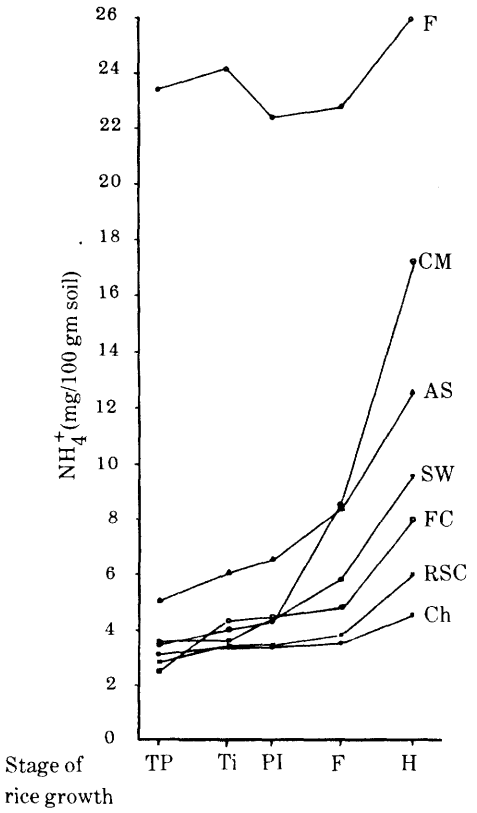


รูปที่ 1 แสดง A-soil, B-soil และ C-soil

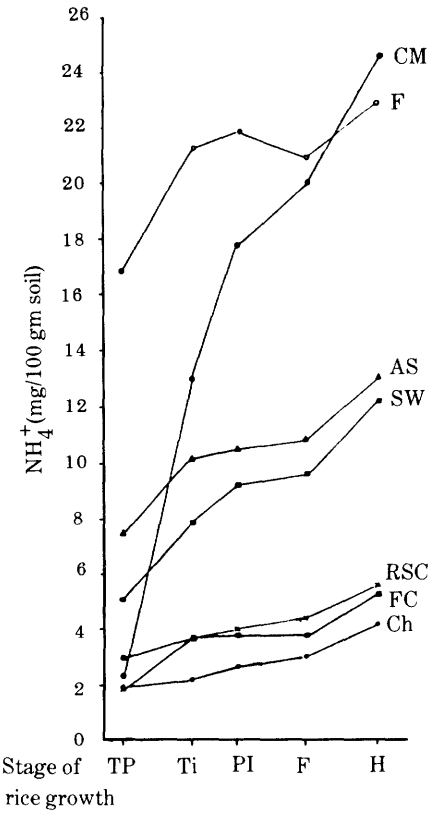
ผลและวิจารณ์

1. การปลดปล่อย NH_4^+–N ในดินนาที่ใส่อินทรียวัสดุเหลือใช้

ปริมาณ NH_4^+–N ใน B-soil ในแต่ละตำรับของชุดดินรังสิตและชุดดินร้อยเอ็ด แสดงอยู่ในรูปที่ 2 และ 3 พบว่าอินทรียวัสดุเหลือใช้ทุกชนิดปลดปล่อย NH_4^+–N หรือช่วยเพิ่ม NH_4^+–N ให้แก่ดินได้มากน้อยต่างกัน โดยในดินชุดรังสิต F > CM > AS > SW > FC > RSC > Ch และในดินนาชุดร้อยเอ็ด F, CM > AS > SW > RSC > FC > Ch โดยทั่วไปอินทรียวัสดุที่นำมาศึกษาปลดปล่อย NH_4^+–N ได้น้อยกว่าปุ๋ยเคมีไนโตรเจน เมื่อพิจารณาค่า C/N ของอินทรียวัสดุ (ตารางที่ 2) พบว่าประสิทธิภาพการปลดปล่อย NH_4^+–N ของอินทรียวัสดุถูกควบคุมโดย C/N ของอินทรียวัสดุนั้น กล่าวคือ อินทรียวัสดุที่มี C/N ต่ำจะปลดปล่อย NH_4^+–N ออกมาได้มากกว่าอินทรียวัสดุที่มี C/N สูง ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของสรสิทธิ์และคณะ (2526) และ Agbim et al. (1977) อย่างไรก็ตาม ปริมาณ NH_4^+–N



รูปที่ 2 ปริมาณ NH_4^+–N ในดินรังสิตแต่ละ treatment (B-soil)

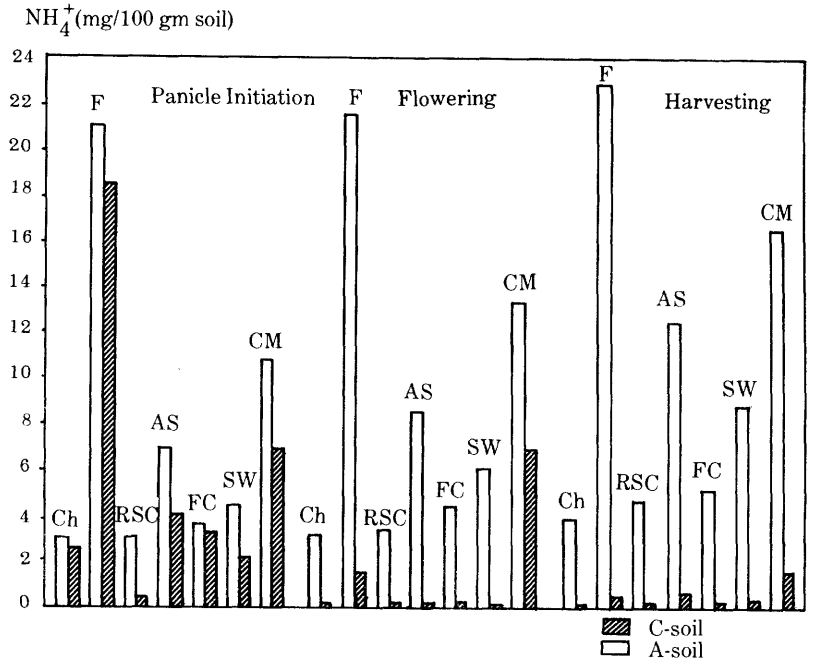


รูปที่ 3 ปริมาณ NH_4^+–N ในดินร้อยเอ็ดแต่ละ treatment (B-soil)

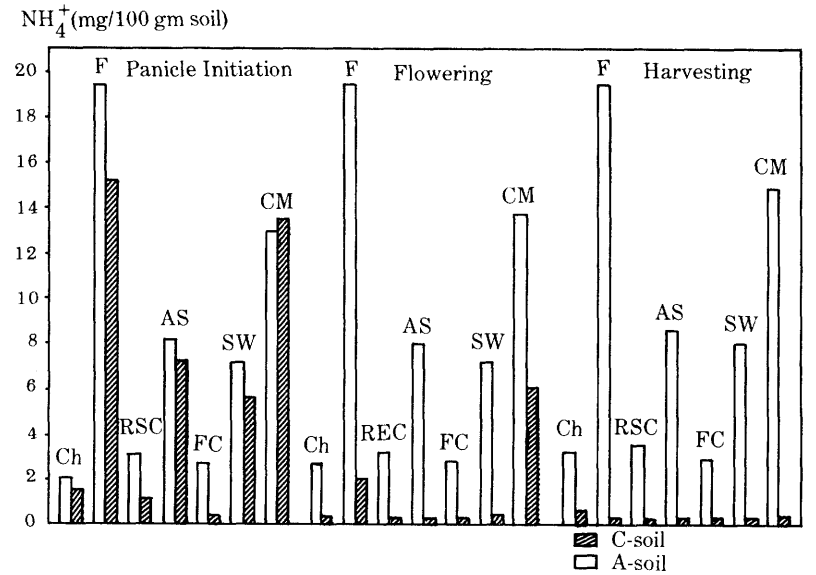
ที่ปลดปล่อยออกมาไม่สามารถประเมินได้จากค่า C/N แต่เพียงอย่างเดียว และพบว่าการสลายตัวและปลดปล่อย NH_4^+–N ของอินทรียวัสดุในดินนาชุดร้อยเอ็ดสูงกว่าในดินนาชุดรังสิต

ปริมาณ NH_4^+–N ที่ปลดปล่อยออกมาในแต่ละช่วงเวลาของการขังน้ำตลอดระยะการเจริญเติบโตของข้าวของดินแต่ละตำรับ ชี้ให้เห็นว่าอัตราการปลดปล่อย NH_4^+–N ของปุ๋ยเคมีไนโตรเจนจะเร็วที่สุด AS และ SW จะปลดปล่อย NH_4^+–N ได้เร็วกว่า RSC และ FC ส่วน CM จะปลดปล่อย NH_4^+–N ได้ช้ากว่า AS และ SW ในช่วงแรก แต่เร็วกว่าในช่วงหลังของการขังน้ำ อินทรียวัสดุเหลือใช้อาจแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม 1) FC และ RSC ปลดปล่อย NH_4^+–N ช้า 2) AS และ SW ปลดปล่อย NH_4^+–N เร็ว และ 3) CM ปลดปล่อย NH_4^+–N ช้าช่วงแรกและเร็วในช่วงหลัง อัตราการสลายตัวและปลดปล่อย NH_4^+–N ของอินทรียวัสดุเหลือใช้ในดินนาชุดร้อยเอ็ดเร็วกว่าในดินนาชุดรังสิต ทั้งนี้คงเป็นเพราะดินนาชุดรังสิตมีปฏิกิริยาเป็นกรดรุนแรง จึงทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรียสารเกิดขึ้นได้น้อย (สมศักดิ์, 2524) นอกจากนี้ ดินนาชุดรังสิตเป็นดินเหนียว การสลายตัวของอินทรียสารจึงเกิดได้ช้ากว่าดินนาชุดร้อยเอ็ด ซึ่งเป็นดินทราย (Miller, 1974)

ลักษณะการปลดปล่อย NH_4^+–N ในดินนาชุดดินรังสิตที่ใส่อินทรียวัสดุเหลือใช้ จะแตกต่างกับในดินนาชุดดินร้อยเอ็ด กล่าวคือ อัตราการปลดปล่อย NH_4^+–N ในชุดดินรังสิตจะช้าในช่วงแรกของการขังน้ำ หรือในช่วง Transplanting ถึง Panicle Initiation และเร็วในช่วงหลังของการขังน้ำ ส่วนในชุด



รูปที่ 4 ปริมาณ NH_4^+–N ใน A-soil และ C-soil ของดินรังสิตในช่วงต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตของข้าว



รูปที่ 5 ปริมาณ NH_4^+–N ใน A-soil และ C-soilของดินร้อยเอ็ดในช่วงต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตของข้าว

ดินร้อยเอ็ดจะเร็วในช่วงแรกของการขังน้ำ (Transplanting) ถึง Tillering) อัตราการสลายตัวและปลดปล่อย NH_4^+–N ของอินทรียวัสดุในดินนาชุดดินร้อยเอ็ดเร็วกว่าในดินนาชุดดินรังสิต

2. การดูดดึงไนโตรเจนไปใช้ของข้าวที่ปลูกในดินนาที่ได้รับอินทรียวัสดุเหลือใช้

ปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวดูดดึงไปใช้ (Utilizable N) ซึ่งคำนวณได้จากผลต่างระหว่างปริมาณ NH_4^+–N ใน A-soil และ C-soil (รูปที่ 4 และ 5) ในดินแต่ละตำรับจะแตกต่างกัน ซึ่งความแตกต่างจะเห็นชัดในช่วง Flowering และ Harvesting พบว่าในชุดดินรังสิตข้าวจะดูดดึงไนโตรเจนไปใช้เรียงลำดับ

ตารางที่ 3 สหสัมพันธ์ระหว่าง Utilizable N และ Actual N-uptake กับปริมาณ NH_4^+–N ที่ปลดปล่อยออกมาในดิน (N release), น้ำหนักแห้งทั้งหมด (Total dry matter) และผลผลิตของข้าว (Grain yield)

ปัจจัยที่ correlate	ดินนา ชุดรังสิต	ดินนา ชุดร้อยเอ็ด
Utilizable N กับ		
N release	0.992**	0.962**
Total dry matter	0.934**	0.962**
Grain yield	0.930**	0.959**
Actual N uptake กับ		
N release	0.968**	0.981**
Total dry matter	0.885**	0.979**
Grain yield	0.846**	0.992**

ดังนี้ F > CM > AS > SW > FC, RSC > Ch ส่วนในชุดดินร้อยเอ็ด F > CM > AS > SW > RSC > FC, Ch ในช่วง Panicle Initiation ปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวดูดดึงไปใช้โดยทั่ว ๆ ไปจะน้อย ปริมาณ NH_4^+–N ใน C-soil เหลืออยู่ในปริมาณมาก แต่ในช่วง Flowering และ Harvesting ปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวดูดดึงขึ้นไปใช้สูง ปริมาณ NH_4^+–N เหลือใน C-soil ต่ำ

ในดินนาที่ใส่กากละหุ่งอาจเกิดสารพิษขึ้นในช่วงแรกของการขังน้ำ จึงทำให้ข้าวดูดดึงไนโตรเจนไปใช้ได้น้อย โดยเฉพาะในดินร้อยเอ็ด ซึ่งข้าวแสดงอาการผิดปกติ แต่ในช่วงหลังสารพิษคงจะสลายตัวไป การเจริญเติบโตของข้าวจะเป็นไปอย่างรวดเร็วและดูดดึงไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ได้สูง

ปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวดูดดึงไปใช้ (Uti ilizable N) ซึ่งคำนวณจากผลต่างระหว่างปริมาณ NH_4^+–N ใน A-soil กับปริมาณ NH_4^+–N ใน C-soil และปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวดูดดึงไปใช้จริง (Actual N uptake) ซึ่งได้จากการวิเคราะห์พืชมีความสัมพันธ์กันอย่างสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ Panicle intiation, Flowering และ Harvesting stage เท่ากับ 0.56, 0.99** และ 0.96** ในชุดดินรังสิต และเท่ากับ 0.79*, 0.98** และ 0.99** ในชุดดินร้อยเอ็ด

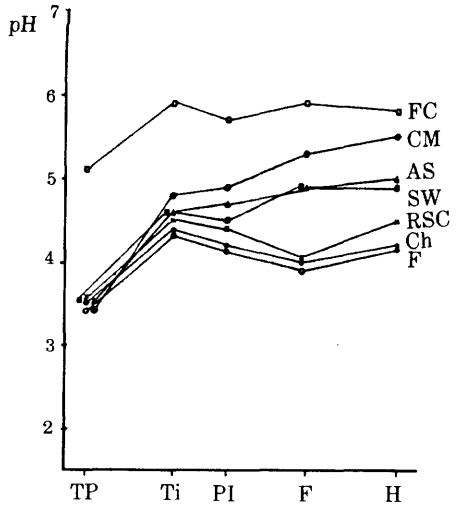
ปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวดูดดึงขึ้นไปใช้ทั้งหมด (Harvesting stage) (ทั้ง Utilizable N และ actual N uptake) มีสหสัมพันธ์กับปริมาณ NH_4^+–N ที่ปลดปล่อยออกมาในดิน น้ำหนักแห้งทั้งหมดและผลผลิตของข้าวอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ทั้งในชุดดินรังสิตและชุดดินร้อยเอ็ด (ตารางที่ 3)

3. ผลข้างเคียงอันเนื่องมาจากการใส่อินทรียวัสดุเหลือใช้ในดินนา

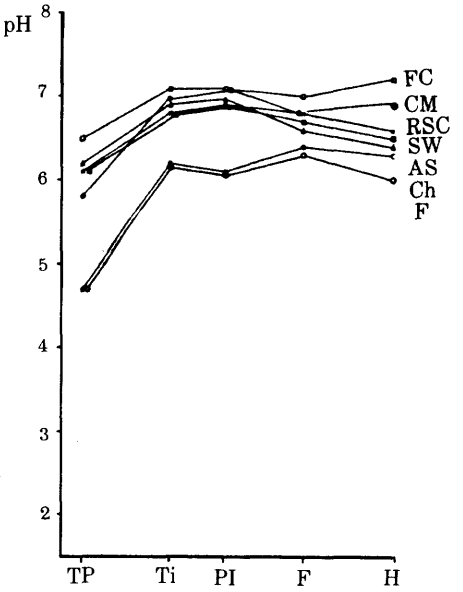
อินทรียวัสดุเหลือใช้ทุกชนิดเพิ่ม pH ของดินนาให้สูงขึ้น (รูปที่ 6 และ 7) โดยเฉพาะ FC จะยกระดับ pH ของดินนาสูงกว่าอินทรียวัสดุเหลือใช้ชนิดต่าง ๆ ทั้งนี้เป็นเพราะ FC มี Ca เป็นองค์ประกอบอยู่สูง CM ยกระดับ pH ของดินให้สูงรองจาก FC จากปริมาณ Fe^{2+} ในดิน (B-soil) (รูปที่ 8 และ 9) ชี้ให้เห็นว่า การใส่อินทรียวัสดุจะเพิ่มสภาพ reduction ของดินนา อัตราการเกิดสภาพ reduction ในดินนาโดยทั่วไปจะสัมพันธ์กับอัตราการปลดปล่อย NH_4^+–N ในดิน ปริมาณ Fe^{2+} ในชุดดินรังสิตเรียงจากมากไปหาน้อยดังนี้ CM > AS > SW > FC > RSC > F, Ch โดยปริมาณ Fe^{2+} สูงขึ้นอย่างรวดเร็วตลอดช่วงการเจริญเติบโตของข้าว เพราะชุดดินรังสิตมี Free iron สูง ซึ่งต่างจากชุดดินร้อยเอ็ดที่ปริมาณ Fe^{2+} เพิ่มอย่างรวดเร็ว ในช่วง Transplanting ถึง Tillering stage หลังจากนั้นปริมาณของ Fe^{2+} จะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ทั้งนี้คงเนื่องจาก reducible Fe^{3+} ลดน้อยลงไป

สรุป

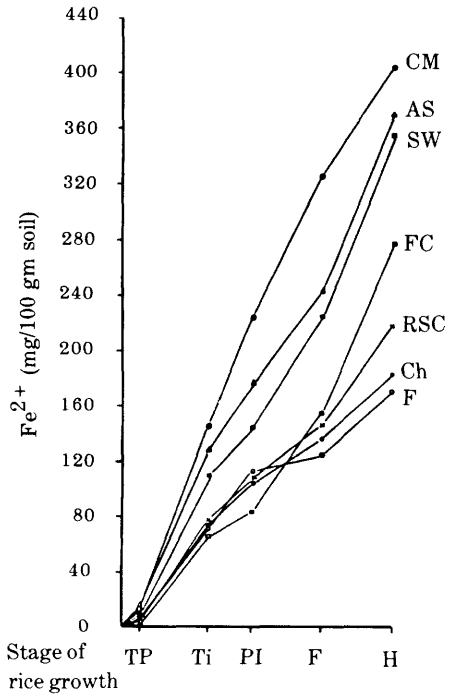
อินทรียวัสดุเหลือใช้ทุกชนิดที่นำมาศึกษาปลดปล่อย NH_4^+–N ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อข้าวได้มากน้อยแตกต่างกัน กากละหุ่งปลดปล่อย NH_4^+–N ได้สูงสุด Filter cake และปุ๋ยหมักฟางข้าวปลดปล่อย NH_4^+–N ซึ่งเป็นประโยชน์กับข้าวได้ต่ำ อินทรียวัสดุเหลือใช้เพิ่ม pH และสภาพ reduction ในดินนาโดยที่ Filter cake เพิ่ม pH ของดินนาได้สูงสุด



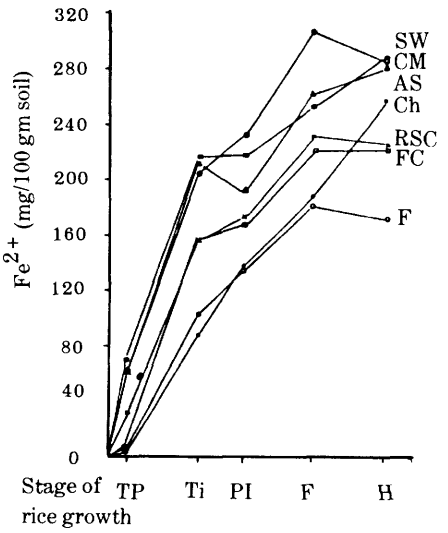
รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของ pH ของดินรังสิต ในแต่ละ treatment ตลอดช่วงการเจริญเติบโตของข้าว (B-soil)



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของ pH ของดินร้อยเอ็ด ในแต่ละ treatment ตลอดช่วงการเจริญเติบโตของข้าว (B-soil)



รูปที่ 8 ปริมาณ Fe^{2+} ในดินรังสิตแต่ละ treatment (B-soil)



รูปที่ 9 ปริมาณ Fe^{2+} ในดินร้อยเอ็ดแต่ละ treatment (B-soil)

การศึกษาอิทธิพลของอินทรียวัสดุเหลือใช้ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโดยละเอียด รวมทั้งวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการใช้อินทรียวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวในดินนา เป็นสิ่งจำเป็นซึ่งควรจะมีการศึกษาต่อไป

คำขอบคุณ

ผู้เขียนขอขอบคุณองค์การส่งเสริมความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์แห่งประเทศญี่ปุ่น (JSPS) และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (NRCTC) ที่ให้ทุนในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, วิสุทธิ์ วีรสาร, อิทธิสุนทร นันทกิจ, นิภา พนาพิทักษ์กุล, สมชาย กรีฑาภิรมย์ และสุริยา สาสนรักกิจ. 2526. การใช้ผลผลิตพลอยได้และเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีอยู่ในประเทศไทยให้เกิดประโยชน์ในการใช้เป็นปุ๋ยและวัสดุบำรุงดิน. เอกสารรายงานวิจัยฉบับที่ 4. โครงการวิจัยและแนะนำทางเทคโนโลยีของดินและปุ๋ย. คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ วังใน. 2524. จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 244 น.

Agbim, N.N., B.R. Sabey and D.C. Marhstrom. 1977. Land application of sewage sludge : V. Carbondioxide production as influenced by sewage sludge and wood waste mixture. J. Environ. Qual. 6 : 446 – 451.

Rojanasoonthon, S. 1978. Rice soil of Thailand, pp. 73 – 85. *In* soil and Rice, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.

Miller, R.H. 1974. Factor effecting the decomposition of an anaerobic digested sewage sludge in soils. J. Environ. Qual. 4 : 376 – 380.

Van Breeman, N. and L.J. Pons. 1978. Acid sulfate soils and rice, pp. 739 – 761. *In* Soil and Rice, International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines.