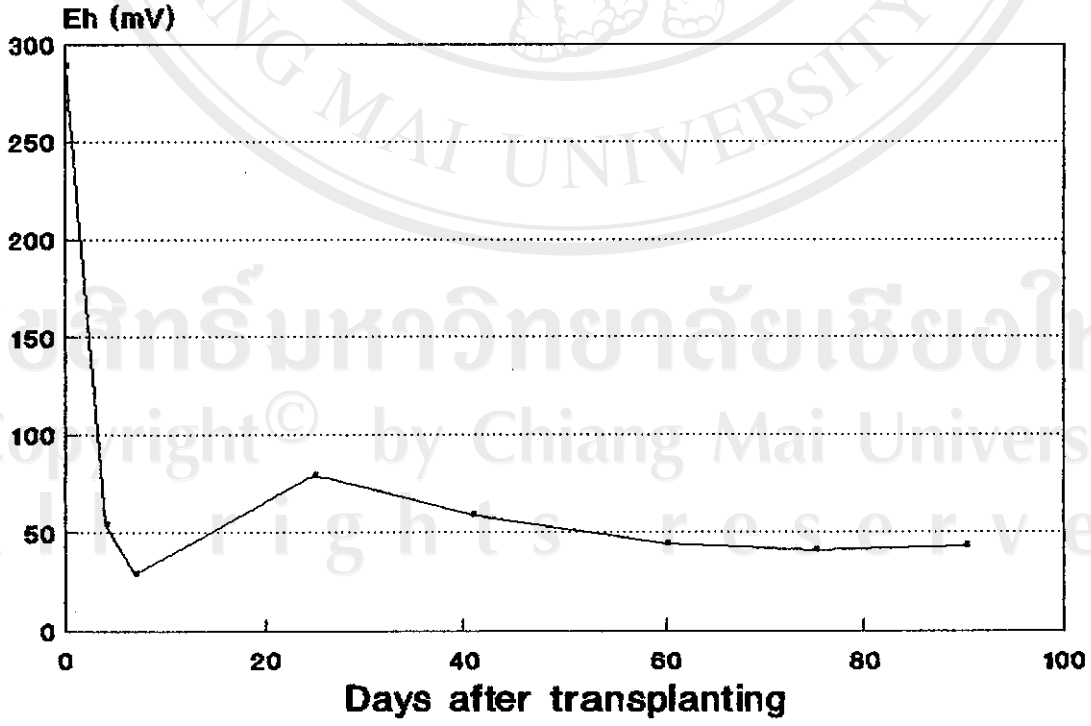
ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองที่ 1

ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้วิธีการใส่ต่างกัน และการสูญเสียของปุ๋ยไนโตรเจนในขบวนการต่าง ๆ

1. การเปลี่ยนแปลง Redox potential (Eh) ในดิน

ค่า Eh ในดินหลังจากขังน้ำได้ 1 วัน มีค่า +289 มิลลิโวลท์ และ Eh ลดลงอย่างรวดเร็วและมีค่าต่ำสุดเมื่อ 7 วันหลังการขังน้ำ (รูปที่ 7) โดยวัดได้ +29 มิลลิโวลท์ หลังจากนั้นค่า Eh ในดินชั้นริดิวซ์จะสูงขึ้นเล็กน้อยหลังปักดำ 25 วัน ซึ่งมีค่า +79 และกลับลงมาอยู่ในระดับ +40 ถึง +60 มิลลิโวลท์ ตลอดการทดลอง จากการที่ค่า Eh ลดลงมาอยู่ในระดับ +40 ถึง +80 มิลลิโวลท์ เนื่องจากในดินชุดสันทรายที่ใช้ทำการทดลองนี้มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ 1.12% และปริมาณเหล็กสูง (Ponnamperuma, 1965)



รูปที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลง Eh ในดินหลังการปักดำข้าว กข.7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. การสูญเสียในรูปก๊าซแอมโมเนีย

ปริมาณแอมโมเนียที่วัดได้น้อยมาก (ตารางที่ 2) พบเพียงบางซ้ำในแต่ละกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเท่านั้น และตรวจพบได้เพียง 2 สัปดาห์หลังการใส่ปุ๋ยเท่านั้น ปริมาณที่ตรวจพบได้อยู่ในช่วง 0-99.2 ไมโครกรัม/กระถาง (0.25 $ม^2$) หรือสูงที่สุดเพียง 0.004% เท่านั้น การที่ปริมาณการสูญเสียในรูปแอมโมเนียมีน้อยมาก หรือไม่มีเลยนั้นน่าจะมีสาเหตุมาจากคุณสมบัติของดิน (ตารางที่ 1) ดินที่ pH ต่ำ 5.7 Freney et al. (1983) รายงานว่า การระเหยในรูปแอมโมเนียขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแอมโมเนียม และ pH ในสารละลาย Court et al. (1964) พบว่าความเข้มข้นสัมพัทธ์ระหว่าง NH_4^+ กับ NH_3 ขึ้นอยู่กับ pH ในสารละลาย ปริมาณ NH_3 ในสารละลายที่ pH 6 7 8 และ 9 มี 0.1 1 10 และ 50% ของ(NH_3 + NH_4^+) Mikkelsen et al.(1978) พบว่า ถ้า pH < 7 การสูญเสียในรูปก๊าซแอมโมเนียมีน้อยมาก การวัดการสูญเสียในรูปก๊าซในดินเหนียว pH 7.0-7.5 ในประเทศไทย (Wetselaar et al., 1977) พบว่ามีเพียง 0.8-14.0%

ตารางที่ 2 ปริมาณแอมโมเนีย(NH_3)ที่ตรวจวัดได้ (ไมโครกรัม/กระถาง , 0.25 $ม^2$) เนื่องจากวิธีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าว

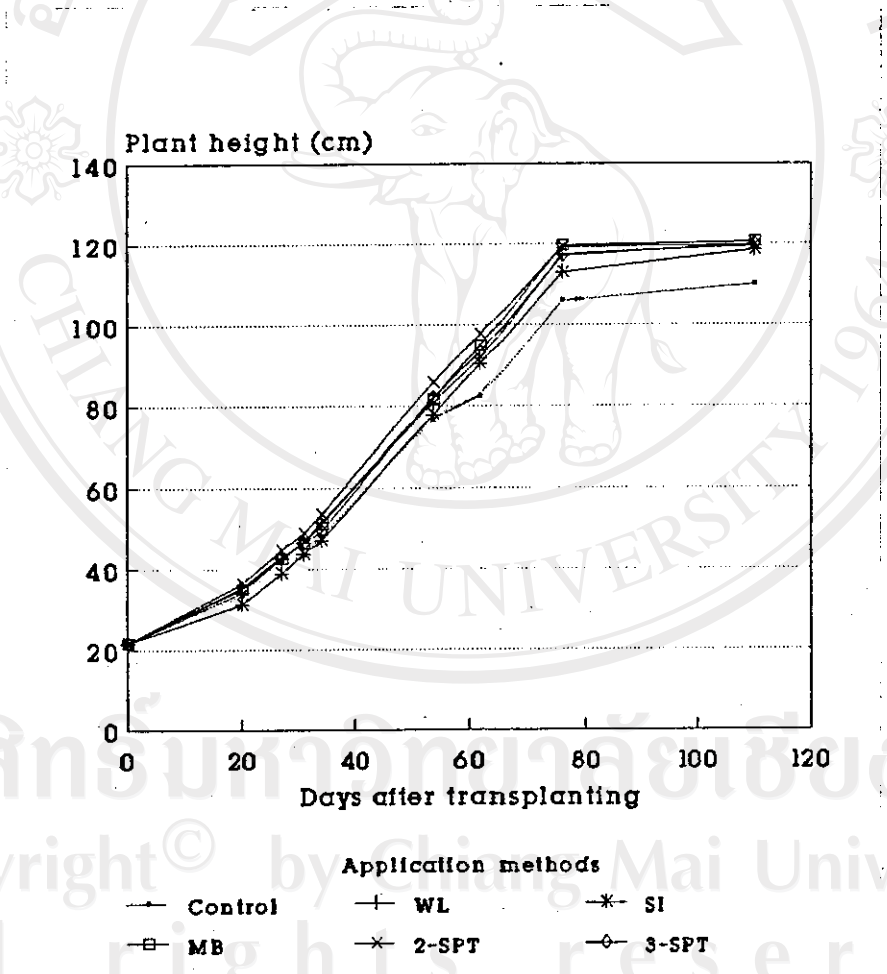
วิธีการใส่ปุ๋ย	เวลา (วัน)		รวม
	0 - 7	7 - 14	2 สัปดาห์
1. คลุกตลอดชั้นดิน	f	74.4	74.4
2. คลุก ผิวดิน	74.4	24.8	99.2
3. ปุ๋ยดินปั้น	f	9.7	9.7
4. แบ่งใส่ 2 ครั้ง	24.8	74.4	99.2
5. แบ่งใส่ 3 ครั้ง	f	f	f

หมายเหตุ f = ปริมาณน้อยมากไม่สามารถตรวจวัดได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. การเจริญเติบโตของข้าว

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 100 กิโลกรัม/เฮกตาร์ ทำให้การเจริญเติบโตของข้าวค่อนข้างสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย(รูปที่ 8) ความสูงของข้าวในแต่ละกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยไม่แตกต่างกัน ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตไม่ได้แตกต่างกันจากการไม่ใส่ปุ๋ย เมื่อข้าวอายุได้ 110 วัน ข้าวที่ได้รับปุ๋ยมีแนวโน้มที่จะสูงกว่าการไม่ได้รับปุ๋ยประมาณ 10 เซนติเมตร



รูปที่ 8 ความสูงเฉลี่ยของข้าวในแต่ละวิธีการใส่ปุ๋ย (Control = ไม่ใส่ปุ๋ย ; WL = คลุกตลอดชั้นดิน ; SI = คลุกผิวดินบน ; MB = ปุ๋ยดินปั้น ; 2-SPT = แบ่งใส่ 2 ครั้ง ; 3-SPT = แบ่งใส่ 3 ครั้ง)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าว

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 100 กิโลกรัม/เฮกตาร์ สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ตั้งแต่ 4.5-17.2 กิโลกรัมข้าวเปลือก/กิโลกรัมปุ๋ยไนโตรเจน ขึ้นอยู่กับวิธีใส่ จากการทดลองนี้การใช้ปุ๋ยดินปั้นให้น้ำหนักเมล็ดดีสูงที่สุด 176.9 กรัม/กระถาง(0.25 ม^2) (ตารางที่ 3) รองลงมา คือ วิธีคลุกปุ๋ยไนโตรเจนตลอดชั้นดินก่อนปักดำให้ผลผลิต 166.1 กรัม/กระถาง ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใส่แบบปุ๋ยดินปั้น(ตารางผนวกที่ 2.13) วิธีการใส่ปุ๋ยแบบคลุกที่ผิวดินบนและการแบ่งใส่ 3 ครั้ง ให้ผลผลิตต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ โดยการใส่คลุกดินบนให้ผลผลิต 150.7 กรัม/กระถาง และการแบ่งใส่ 3 ครั้ง ให้ผลผลิต 145.2 กรัม/กระถาง เมื่อพิจารณาน้ำหนักเมล็ดลีบ น้ำหนักฟาง และน้ำหนักรากของข้าวในแต่ละวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ(ตารางผนวกที่ 2.12 2.14 และ 2.15) ถึงแม้ว่าน้ำหนักฟางจากวิธีการใส่ปุ๋ยดินปั้นจะสูงที่สุด คือ 207.7 กรัม/กระถาง และการใส่แบบคลุกที่ผิวดินบนมีน้ำหนักต่ำที่สุด คือ 177.2 กรัม/กระถางก็ตาม

ตารางที่ 3 ผลผลิต นน.ฟาง และนน.ราก (กรัม/กระถาง* ;0.25 ม^2) ของข้าว ในการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 100 กิโลกรัม/เฮกตาร์ วิธีต่างๆ กัน

วิธีการใส่ปุ๋ย	น้ำหนัก (กรัม/กระถาง)				ประสิทธิภาพของปุ๋ยจากข้าว กก.ข้าว/กก.N
	เมล็ดดี	เมล็ดลีบ	ฟาง	ราก	
0.Control	134.0	13.14	167.5	16.82	-
1.คลุกตลอดชั้นดิน	166.1	12.89	183.6	19.72	12.84
2.คลุกผิวดินบน	150.7	13.04	177.2	18.32	6.68
3.ปุ๋ยดินปั้น	176.9	12.92	207.7	21.30	17.16
4.แบ่งใส่ 2 ครั้ง	162.1	13.02	196.9	23.35	11.24
5.แบ่งใส่ 3 ครั้ง	145.2	12.69	186.3	24.97	4.48
LSD.05	15.77	ns	ns	ns	

* กระถาง ดูคำอธิบายในอุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันทำให้เกิดความแตกต่างในองค์ประกอบผลผลิต (ตารางที่ 4) ซึ่งองค์ประกอบผลผลิตเป็นดรรชนีที่ดีในการพิจารณาเกี่ยวกับผลผลิตของพืช องค์ประกอบผลผลิตที่สำคัญประกอบด้วยจำนวนรวงต่อพื้นที่ จำนวนเมล็ดต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ตามลำดับ(ตารางที่ 4) การใส่ปุ๋ยครั้งเดียวโดยคลุกตลอดชั้นดินก่อนปลูกมีจำนวนรวงต่อกอสูงที่สุดคือ 15.00 รวง/กอ และใส่ปุ๋ยแบบคลุกผิวดินบนมีจำนวนรวง/กอ ไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยดินปั้น การใส่ปุ๋ยแบบแบ่งใส่ให้จำนวนรวงน้อยที่สุด ซึ่งการแบ่งใส่ 2 ครั้งให้จำนวนรวง 13.00 รวง/กอ ในขณะที่การแบ่งใส่ 3 ครั้ง ให้จำนวนรวง 12.75 รวง/กอ แต่จำนวนเมล็ด/รวง จะให้ผลตรงกันข้ามคือการแบ่งใส่จะให้จำนวนเมล็ดทั้งหมด และเมล็ดดี/รวงสูงกว่าการใส่ครั้งเดียวก่อนปลูก อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยครั้งเดียวในรูปปุ๋ยดินปั้นก็ยังให้จำนวนเมล็ดทั้งหมด/รวง และจำนวนเมล็ดดี/รวงสูง ไม่แตกต่างไปจากการแบ่งใส่(ตารางผนวกที่ 2.9 และ 2.10) วิธีการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้ จำนวนเมล็ดลีบ/รวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด แตกต่างกัน(ตารางผนวกที่ 2.11 และ 2.16)

ตารางที่ 4 องค์ประกอบผลผลิตของข้าวเมื่อได้รับปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 100 กิโลกรัม/เฮกเตาร์ โดยวิธีต่าง ๆ กัน

วิธีการใส่ปุ๋ย	จำนวนรวง/กอ	จำนวนเมล็ด/รวง						น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (g)
		ทั้งหมด	%	เมล็ดดี	%	เมล็ดลีบ	%	
0.Control	13.00	100.5	(100)	72.0	(71.6)	28.50	(28.4)	28.30
1.คลุกตลอดชั้นดิน	15.00	130.3	(100)	101.3	(77.7)	29.00	(22.3)	27.45
2.คลุกผิวดินบน	14.25	137.3	(100)	94.7	(69.0)	42.67	(31.0)	27.26
3.ปุ๋ยดินปั้น	14.00	154.0	(100)	118.3	(76.8)	35.67	(23.2)	27.82
4.แบ่งใส่ 2 ครั้ง	13.00	153.7	(100)	114.2	(74.3)	39.50	(25.7)	27.30
5.แบ่งใส่ 3 ครั้ง	12.75	152.7	(100)	108.3	(70.9)	44.33	(29.1)	27.20
LSD.05	0.95	11.4		9.84		ns		ns

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลดังกล่าว แสดงว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 100 กิโลกรัม N/เฮกตาร์ ให้กับข้าว กข.7 ในดินชุดสันทรายนั้น ปุ๋ยไนโตรเจนจากวิธีการใส่คลุกลงดินครั้งเดียวก่อนปลูกจะเร่งการเจริญเติบโตทางลำต้นของข้าวและเพิ่มจำนวนรวง/กอ แต่ในระยะต่อมาซึ่งเป็นระยะสร้างเมล็ดนั้น ก็จะมีปุ๋ยไนโตรเจนเหลือไม่เพียงพอที่จะสร้างจำนวนเมล็ด/รวงได้มากเหมือนกับวิธีการแบ่งใส่ การใส่ไนโตรเจนครั้งแรกในอัตรา 40-50 กิโลกรัม N/เฮกตาร์ โดยคลุกตลอดชั้นดินนั้นไม่สามารถเร่งการเจริญเติบโตของข้าวให้ได้จำนวนรวง/กอสูง แต่ไนโตรเจนที่แบ่งใส่ให้ในครั้งที่ 2 ในระยะสร้างตาดอกจะเพิ่มจำนวนเมล็ดทั้งหมด/รวง และเมล็ดดี/รวง ให้สูงขึ้น โดยไนโตรเจนที่แบ่งใส่ให้ข้าวในระยะออกรวงนั้นไม่สามารถเพิ่มจำนวนเมล็ดดี/รวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ให้สูงขึ้นได้ แต่ในกรณีของการใส่ปุ๋ยครั้งเดียวในรูปปุ๋ยดินปั้นนั้นให้จำนวนรวง/กอ จำนวนเมล็ดทั้งหมด/รวง และจำนวนเมล็ดดี/รวง สูงกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการใส่แบบอื่นนั้น แสดงว่าไนโตรเจนจากปุ๋ยถูกใช้ไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากการปลดปล่อยปุ๋ยไนโตรเจนออกมาอย่างช้าๆ จากดินเหนียวที่หุ้มอยู่ ทำให้ข้าวสามารถดูดใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้ตลอดระยะการเจริญเติบโต ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Kanareugsa et al. (1987) ซึ่งพบว่า การใช้ปุ๋ยยูเรียอัตราสูงในรูปปุ๋ยดินปั้นที่สถานีทดลองข้าวคลองหลวงให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นสูงสุด 1.1 ตัน/เฮกตาร์ ในฤดูฝน และ 1.0 ตัน/เฮกตาร์ในฤดูนาปรัง

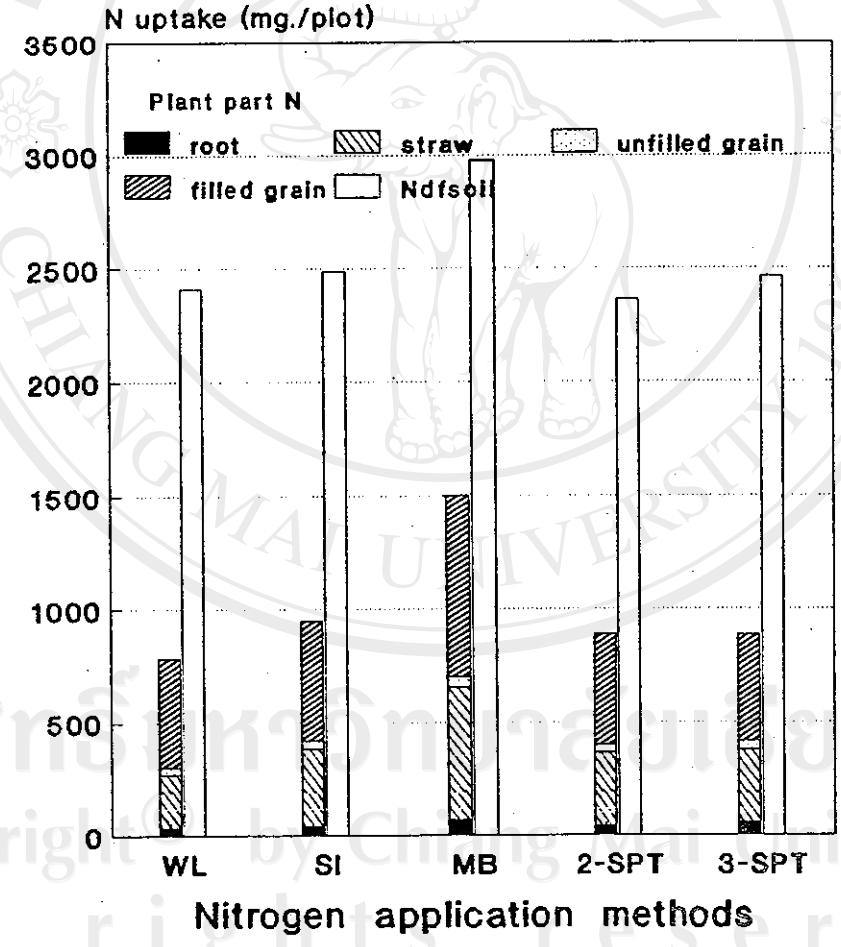
5. การดูดใช้ไนโตรเจนของข้าว

5.1 ไนโตรเจนทั้งหมดที่ข้าวดูดใช้

วิธีการใส่ปุ๋ยมีอิทธิพลต่อการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดของข้าว(ตารางที่ 6) การใส่ปุ๋ยเพียงครั้งเดียวในรูปของปุ๋ยดินปั้น ให้ผลต่อการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดของข้าวสูงที่สุด 4,474 มิลลิกรัม/กระถาง และแตกต่างจากวิธีการอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 2.26) ในขณะที่การใส่ปุ๋ยเพียงครั้งเดียวโดยการคลุกปุ๋ยตลอดชั้นดินก่อนปลูก และการแบ่งใส่ไม่มีผลต่อการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดของข้าวเลย ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ข้าวดูดใช้ได้มาจากปุ๋ย 24.5% และ 33.5% ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ Mikelsen (1987) โดยข้าวดูดใช้ ^{15}N จากปุ๋ยได้เพียง 26-47 % ไนโตรเจนส่วนที่เหลือพืชได้มาจากดิน จากรูปที่ 9 จะเห็นว่าไนโตรเจนที่พืชได้รับมาจากดินโดยวิธีการใส่ปุ๋ยครั้งเดียวแบบคลุกลงดินก่อนปลูกให้ผลไม่แตกต่างกันกับการแบ่งใส่ แต่การใส่ปุ๋ยครั้งเดียวแบบปุ๋ยดินปั้นนั้นทำให้ข้าวดูดไนโตรเจนจากดินได้สูงที่สุด แสดงว่าวิธีการใส่แบบปุ๋ยดินปั้นนั้นนอกจากจะเพิ่มการใช้ไนโตรเจนจากปุ๋ยแล้ว ยังสามารถเพิ่มการดูดใช้ไนโตรเจนจากดินได้ดีอีกด้วย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการปลดปล่อยไนโตรเจนจากปุ๋ยที่เป็นไปอย่างช้าๆ จึงทำให้ข้าวสามารถดูดใช้ปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีการเจริญเติบโตดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Mikelsen (1987) ได้รายงานว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสามารถเพิ่มการดูดใช้ไนโตรเจนจากดินได้ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก priming effect ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและมีการพัฒนาระบบรากแข็งแรงยิ่งขึ้น



รูปที่ 9 ปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนจากดิน และปุ๋ยในส่วนต่างๆ ของข้าว เมื่อได้รับปุ๋ยในวิธีการต่างๆ กัน (อัตราปุ๋ย 100 กิโลกรัม N/เฮกตาร์)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.2 ไนโตรเจนที่ข้าวได้รับจากปุ๋ย

การดูดใช้ปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ให้กับข้าว มี % atom ^{15}N เท่ากับ 10.18 เมื่อข้าวดูดไปใช้รวมกับไนโตรเจนที่ได้รับจากดิน % atom ^{15}N เจือจางลง พบว่าในเมล็ดมีค่า % atom ^{15}N สูงกว่า % atom ^{15}N ที่พบในฟาง การใส่ปุ๋ยแบบปุ๋ยดินปั้นจะทำให้ % atom ^{15}N ในเมล็ดดีและรากแตกต่างจากวิธีการใส่แบบอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ตารางที่ 5 และตารางผนวกที่ 2.18 และ 2.19) ในส่วนของฟางและเมล็ดลีบนั้นมีค่า % atom ^{15}N สูงกว่ากรรมวิธีการใส่ปุ๋ยอื่น แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แสดงว่าพืชมีการดูดใช้ปุ๋ย ^{15}N อย่างต่อเนื่องตลอดการเจริญเติบโตของข้าว แม้ในระยะเก็บเกี่ยวยังมีการสะสมในบริเวณรากในเปอร์เซ็นต์ที่สูง ในส่วนของ % atom ^{15}N ที่สูงนั้นแสดงว่าพืชได้รับไนโตรเจนจากปุ๋ยที่ใส่ให้โดยวิธีปุ๋ยดินปั้นในสัดส่วนที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับค่า ^{14}N จากดิน (ดังผลในตารางที่ 6) โดยที่ข้าวมีปริมาณ^{15}N และ^{14}N 33.5% และ66.5% ตามลำดับ ในขณะที่การใส่ปุ๋ยวิธีอื่นๆ จะทำให้พืชได้รับไนโตรเจนจากปุ๋ยอยู่ในช่วง 25-28% ส่วนไนโตรเจนที่เหลือพืชได้รับจากดินซึ่งสูงถึง 72-75%

ปริมาณไนโตรเจนจากปุ๋ยที่ข้าวได้รับแตกต่างกันตามวิธีการใส่ (ตารางที่ 6) การใส่แบบปุ๋ยดินปั้น ข้าวสามารถดูดใช้ได้ถึง 1,498 มิลลิกรัม/กระถาง ซึ่งสูงกว่าวิธีการอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ(ตารางผนวกที่ 2.28) การใส่ครั้งเดียวแบบคลุกลงดินกับการแบ่งใส่ไม่ทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวดูดใช้ได้จากปุ๋ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยการดูดใช้ดังกล่าวจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 782-945 มิลลิกรัม/กระถาง

ตารางที่ 5 % atom ^{15}N ในส่วนต่าง ๆ ของข้าวที่ได้รับปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 100 กิโลกรัม/เฮกตาร์ โดยวิธีต่าง ๆ กัน

วิธีการใส่ปุ๋ย	เมล็ดดี	เมล็ดลีบ	ฟาง	ราก
1.คลุกตลอดชั้นดิน	2.864	2.775	2.614	2.557
2.คลุกผิวดินบน	3.231	3.156	2.932	3.067
3.ปุ๋ยดินปั้น	3.961	3.822	3.402	3.730
4.แบ่งใส่ 2 ครั้ง	3.027	2.965	3.077	3.023
5.แบ่งใส่ 3 ครั้ง	3.057	3.315	2.809	3.059
LSD.05	0.640	ns	ns	0.669

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่พืชดูดไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ของข้าว เช่น เมล็ดดี เมล็ดลีบ ฟาง และรากนั้น มีลักษณะเช่นเดียวกับปริมาณไนโตรเจนรวมจากปุ๋ยที่ข้าวดูดไปสะสม การใส่ปุ๋ยครั้งเดียวโดยการคลุกลงดินกับการแบ่งใส่นั้นให้ปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวสะสมได้ในเมล็ดและฟางไม่แตกต่างกัน(ตารางที่ 6) แต่การใส่แบบปุ๋ยดินปั้นนั้นทำให้การสะสมไนโตรเจนจากปุ๋ยในเมล็ดและในฟางสูงกว่าวิธีการอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ตารางผนวกที่ 2.22 และ2.23)

6. พฤติกรรมของปุ๋ยไนโตรเจนในระบบดิน-พืช

จากตารางที่ 7 พบว่าข้าวสามารถดูดใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้ตั้งแต่ 31.3-59.9 % โดยการใส่แบบปุ๋ยดินปั้นนั้นทำให้ข้าวสามารถดูดไนโตรเจนไปใช้ได้มากที่สุด คือ 59.9 % ส่วนวิธีการใส่ปุ๋ยแบบอื่นๆ ไม่มีผลต่อการดูดใช้ไนโตรเจนของข้าวอย่างมีนัยสำคัญ โดยการดูดใช้จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 31.3-37.8 % ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ เกินกว่า 50%ของไนโตรเจนที่พืชดูดไปใช้จะสะสมในเมล็ด ส่วนที่เหลือจะสะสมอยู่ในฟางและราก เหมือนกับรายงานของ Mikkelsen (1987)

สำหรับปริมาณไนโตรเจนจากปุ๋ยที่ตกค้างอยู่ในดินนั้น พบว่า การใส่ปุ๋ยแบบปุ๋ยดินปั้นมีไนโตรเจนจากปุ๋ยตกค้างในดินน้อยที่สุด(ตารางภาคผนวกที่ 2.29) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะตำแหน่งของปุ๋ยที่ใส่เป็นจุดระหว่างกอข้าว 4 กอ ไม่กระจายออกไปเหมือนวิธีการอื่น และการมีดินเหนียวหุ้มจะทำให้ปุ๋ยละลายและแพร่กระจายออกมาได้ช้าทำให้ไนโตรเจนจากปุ๋ยไม่แพร่กระจายออกไปสู่บริเวณอื่นในที่นั้นซึ่งจะนำไปสู่การเปลี่ยนรูปให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ (immobilizaion) ต่อไป ขณะที่การใส่แบบอื่นนั้นปุ๋ยไนโตรเจนจะกระจายตัวอยู่ในดิน ทำให้จุลินทรีย์ในดินนำไปใช้ (immobilizaion) ได้ดีกว่า จึงมีผลทำให้เกิดการสะสมในดินได้สูง

เมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนจากปุ๋ยที่ตรวจพบในดินและพืช พบว่าวิธีการใส่ปุ๋ยแบบใส่ครั้งเดียวโดยคลุกลงดินกับการแบ่งใส่ให้ผลไม่แตกต่างกัน แต่วิธีการใส่ปุ๋ยแบบปุ๋ยดินปั้นสามารถตรวจพบการสะสมของปุ๋ยในดินและพืชในระดับที่สูงกว่าการใส่ปุ๋ยวิธีอื่น อย่างเห็นได้ชัด (ตารางที่ 7)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ไนโตรเจนจากปุ๋ยในส่วนต่างๆ ของข้าว และไนโตรเจนจากดิน ที่ข้าวดูดใช้ได้เนื่องจากวิธีการใส่ปุ๋ยต่างกัน (มิลลิกรัม/กระถาง)

วิธีการใส่ปุ๋ย	ไนโตรเจนทั้งหมด	ไนโตรเจนที่ได้รับจากปุ๋ย					ไนโตรเจนจากดิน
		เมล็ดดี	เมล็ดลีบ	ฟาง	ราก	รวมทั้งหมด	
	มิลลิกรัม/กระถาง						
0.Control	2,486	-	-	-	-	-	2,486.0 -
1.คลุกเคล้าดินชั้นบน	3,192	476.0	29.0	245.8	30.6	781.5(24.5)	2,410.5(75.0)
2.คลุกผิวดินบน	3,432	522.1	38.9	346.3	37.9	945.2(27.5)	2,486.8(72.5)
3.ปุ๋ยดินปั้น	4,474	795.3	48.1	590.9	63.5	1,498.0(33.5)	2,976.0(66.5)
4.แบ่งใส่ 2 ครั้ง	3,253	488.4	32.9	328.5	39.4	889.2(27.3)	2,363.8(72.5)
5.แบ่งใส่ 3 ครั้ง	3,356	466.2	39.1	328.3	57.1	890.6(26.5)	2,465.4(73.5)
LSD.05	661	115.3	ns	108.3	ns	215.9	

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดในข้าว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 7 บัญชีสมดุลย์ของไนโตรเจนจากปุ๋ยเมื่อใส่ในนาข้าวด้วยวิธีต่าง ๆ กัน

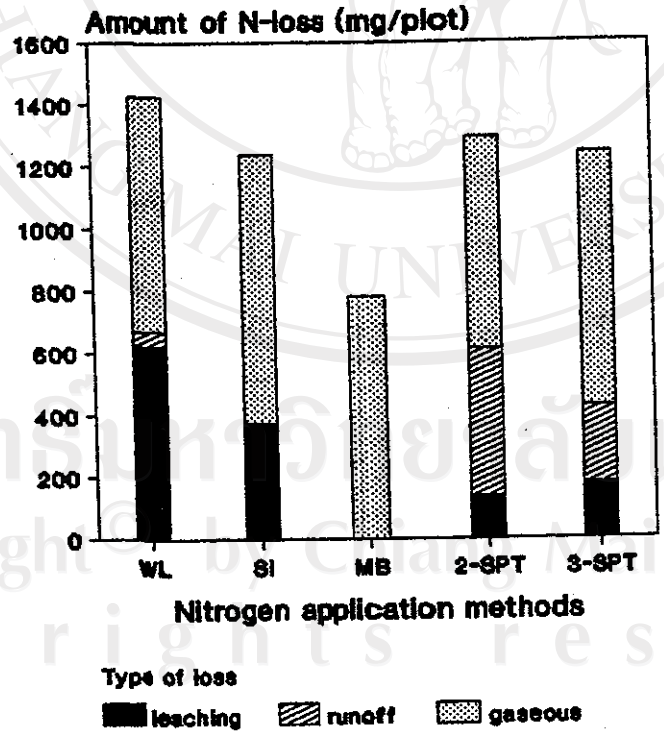
	วิธีการใส่ปุ๋ย				
	คลุกตลอดชั้นดิน	คลุกผิวดินบน	ปุ๋ยดินปั้น	แบ่งใส่ 2 ครั้ง	แบ่งใส่ 3 ครั้ง
	มิลลิกรัม/กระถาง				
^{15}N ทั้งหมดที่ใส่	2500.0(100)	2500.0(100)	2500.0(100)	2500.0(100)	2500.0(100)
พืชดูดไปใช้	781.5(31.3)	945.2(37.8)	1498.0(59.9)	889.2(35.6)	890.7(35.6)
เมล็ดดี	476.0(19.1)	522.1(20.9)	795.3(31.8)	488.4(19.5)	466.2(18.6)
เมล็ดลีบ	29.0(1.2)	38.9(1.5)	48.1(1.9)	32.9(1.3)	39.1(1.6)
ฟาง	245.8(9.8)	346.3(13.9)	590.9(23.6)	328.5(13.1)	328.3(13.1)
ตอซังและราก	30.6(1.2)	38.0(1.5)	63.5(2.5)	39.4(1.6)	57.1(2.3)
^{15}N ตกค้างในดิน	293.6(11.7)	317.6(12.7)	219.6(8.8)	319.2(12.8)	368.1(14.7)
^{15}N รวมที่พบได้ในดินและพืช	1075.1(43.0)	1262.8(50.5)	1717.6(68.7)	1208.4(48.3)	1258.8(50.4)
^{15}N ทั้งหมดที่สูญหาย	1425.0(57.0)	1237.0(49.5)	782.7(31.3)	1291.5(51.7)	1241.2(49.6)
การชะล้าง	622.2(24.9)	364.4(14.6)	-	137.5(5.5)	179.2(7.2)
การไหลบ่า	48.7(1.9)	8.6(0.3)	1.3(0.05)	473.2(18.9)	245.7(9.8)
ขบวนการ denitrification	754.1(30.2)	864.0(34.6)	781.4(31.3)	680.8(27.2)	816.3(32.6)

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซนต์ของ ^{15}N ที่ใส่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7. การสูญเสียไนโตรเจน

วิธีการใส่ปุ๋ยที่มีผลทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนน้อยที่สุดคือ การใส่ครั้งเดียวในรูปปุ๋ยดินปั้น ซึ่งมีการสูญเสียเพียง 31.3% เท่านั้น ส่วนวิธีการอื่นๆ มีการสูญเสียไม่แตกต่างกันมากนัก(ตารางที่ 7 และ ตารางผนวกที่ 2.30) นอกจากการใส่ครั้งเดียวแบบคลุกทั่วชั้นดินมีการสูญเสียสูงที่สุด 57% การใส่แบบคลุกผิวดินบนมีการสูญเสีย 49.5% การแบ่งใส่ 2 ครั้งมีการสูญเสีย 51.7% และการแบ่งใส่ 3 ครั้งสูญเสีย 49.6% รูปแบบการสูญเสียปุ๋ยไนโตรเจนจะผูกพันอยู่กับวิธีการใส่ปุ๋ย(รูปที่ 10) การใส่แบบคลุกลงดินมีผลให้เกิดการสูญเสียในรูปชะล้าง (leaching) ได้มาก และการสูญเสียโดยการไหลบ่า(run off) มีน้อย ขณะที่การใส่แบบแบ่งใส่จะมีการสูญเสียทั้งในรูปการชะล้างและการไหลบ่า แต่การสูญเสียในวิธีการใส่แบบปุ๋ยดินปั้นซึ่งมีน้อยกว่าวิธีอื่นนั้น เป็นการสูญเสียในรูปก๊าซ(denitrification) เป็นหลัก



รูปที่ 10 ปริมาณไนโตรเจนที่สูญเสียในรูป การชะล้าง ไหลบ่า และรูปก๊าซ ในวิธีการใส่ปุ๋ยต่างวิธีกัน (อัตราปุ๋ย 100 กิโลกรัม N/เฮกตาร์)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางที่ 7 การใส่ครั้งเดียวแบบคลุกตลอดชั้นดินมีการสูญเสียเนื่องจากการชะล้างสูงถึง 24.9% ของปุ๋ยทั้งหมดที่ใส่ แสดงว่าดินไม่สามารถดูดซับปุ๋ยไนโตรเจนไว้ได้ ทั้งนี้เพราะดินชุดสันทรายเป็นดินร่วนทรายซึ่งมี CEC ต่ำ(คุณสมบัติของดินในตารางที่ 1) แต่การใส่ครั้งเดียวโดยคลุกที่ผิวดินบน(0-7.5 เซนติเมตร) ทำให้มีการสูญเสียในรูปก๊าซมากขึ้นนั้นทั้งนี้เพราะการใส่ปุ๋ยวิธีนี้จะทำให้มีการสะสมไนโตรเจนที่ผิวดินบนมาก ซึ่งต่อมาก็จะถูกอ็อกซิไดซ์เป็น NO_3^- และเคลื่อนลงสู่ดินล่างแล้วถูกจุลินทรีย์พวก denitrifying bacteria เข้ารีดิวซ์ให้เป็นไนโตรเจนก๊าซหรือก๊าซไนโตรเจนรูปอื่นๆ สูญเสียออกไปจากดินได้ง่าย(Savant and De Datta, 1982) การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนโดยการคลุกลงดินทั้ง 2 วิธี จะทำให้มีการสูญเสียโดยการไหลบ่าเพียงน้อย แสดงว่าการแพร่กระจายของปุ๋ยขึ้นสู่เหนือน้ำเหนือผิวดินไม่ปรากฏชัดเจน ขณะที่การแบ่งใส่จะมีการสูญเสียในรูปการไหลบ่าสูงขึ้น การแบ่งใส่ 2 ครั้ง จะทำให้มีการสูญเสียโดยการไหลบ่าสูงที่สุดเพราะปุ๋ยที่ใส่ครั้งที่ 2 มีปริมาณมากถึง 50%ของปุ๋ยทั้งหมดและเป็นการใส่ปุ๋ยที่ผิวดิน ถึงแม้จะมีการลดระดับน้ำให้แห้งก่อนการใส่ปุ๋ยก็ตาม การสูญเสียโดยการไหลบ่าก็ยังมีมาก การแบ่งใส่ 3 ครั้ง จะทำให้การสูญเสียโดยการไหลบ่าลดลง แต่การสูญเสียในรูปก๊าซโดยขบวนการ denitrification มากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณไนโตรเจนที่ใส่แต่ละครั้งลดลงและปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ที่ผิวดินจะถูกอ็อกซิไดซ์เป็น NO_3^- ไปจำนวนหนึ่งก่อนซึมลงดิน แล้วจึงจะถูกจุลินทรีย์ พวก denitrifying bacteria ในดินเปลี่ยนเป็นไนโตรเจนก๊าซสูญเสียออกไปจากดิน

8. <u>ประสิทธิภาพของวิธีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน</u>

Yoshida(1981) ได้เสนอวิธีการพิจารณาประสิทธิภาพของปุ๋ยไนโตรเจนไว้ดังนี้

Efficiency of fertilizer N = % N recovered x Efficiency of utilization (kg rice/kg applied N)

เมื่อ % N recovered = (kg absorbed N/kg applied N) x 100

และ Efficiency of utilization = (kg rice/ kg absorbed N) x 100

เมื่อนำผลจากการทดลองนี้มาคำนวณไว้ในตารางที่ 8 พร้อมกับค่า N ที่ตรวจพบได้จากระบบดิน-พืช เพื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของวิธีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนนั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 8 แสดงประสิทธิภาพของปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่โดยวิธีการต่างๆ

กรรมวิธีใส่ปุ๋ย	ประสิทธิภาพของปุ๋ย ^{15}N (กก.ข้าว/กก. ^{15}N)	^{15}N ที่ตรวจพบในพืช (%)	ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย (%)	ปริมาณ ^{15}N ที่ตรวจพบในดิน-พืช (%)
1. คลุกตลอดชั้นดิน	12.84	31.3	41.07	43.0
2. คลุกผิวดินบน	6.68	37.8	17.67	50.5
3. ปุ๋ยดินปั้น	17.16	59.9	28.64	68.7
4. แบ่งใส่ 2 ครั้ง	11.24	35.6	31.60	48.3
5. แบ่งใส่ 3 ครั้ง	4.48	35.6	12.60	50.4

จากสมการของ Yoshida (1981) ที่กล่าวถึงนี้ ประสิทธิภาพของปุ๋ยไนโตรเจนประกอบด้วยปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่พืชดูดไปใช้ได้(Percentage N Recovered)กับประสิทธิภาพของปุ๋ยไนโตรเจนที่ถูกดูดใช้นั้นในการเพิ่มผลผลิตข้าวและจากการทดลองนี้ทุกวิธีการใส่ปุ๋ยสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ 4.5-17.2 กิโลกรัม/กิโลกรัม N ขึ้นอยู่กับวิธีการใส่(ตารางที่ 7) การใช้ปุ๋ยดินปั้นมีประสิทธิภาพสูงสุด สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ 17.16 กิโลกรัม/กิโลกรัม N และมีการดูดใช้ปุ๋ยได้สูงสุดถึง 60% ทั้งนี้เนื่องจากการปลดปล่อยอย่างช้าๆ ทำให้มีการสูญเสียน้อย ข้าวดูดใช้ได้มาก ขณะที่การใส่ปุ๋ยครั้งเดียวและการแบ่งใส่ ให้ผลต่อการดูดใช้ของข้าว (percentage N recovered) ใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 31.3-37.8% แต่ประสิทธิภาพของปุ๋ยเนื่องจากวิธีการใส่แบบแบ่งใส่ 3 ครั้ง และการใส่แบบคลุกผิวดินบนมีค่าต่ำ คือ 4.5 และ 6.7 ตามลำดับ ซึ่งถ้าพิจารณาต่อไปถึงประสิทธิภาพของการนำปุ๋ยไนโตรเจนที่ดูดได้ไปใช้ในการสร้างผลผลิต(Efficiency of utilization) จะพบว่าการใส่แบบแบ่งใส่ 3 ครั้ง กับการคลุกผิวดินบนมีประสิทธิภาพต่ำ 12.60 และ 17.7 ตามลำดับ แสดงว่าปุ๋ยไนโตรเจนที่ข้าวดูดใช้ได้จาก 2 วิธีการใช้ปุ๋ยนี้ ข้าวไม่สามารถนำไปใช้สร้างผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปริมาณไนโตรเจนจากปุ๋ยที่ตรวจพบในดินและพืช หลังจากเก็บเกี่ยวข้าวแล้วในวิธีการใส่ปุ๋ยดินปั้นตรวจพบได้มากที่สุด 68.7% วิธีอื่นๆ อีก 4 วิธีตรวจพบได้ระหว่าง 43-50.4 % จากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้แสดงว่า การใช้ปุ๋ยดินปั้นให้ประสิทธิภาพของปุ๋ยไนโตรเจนสูงที่สุด ทั้งในด้านการเพิ่มผลผลิตและลดการสูญเสีย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 2

ศึกษาผลตกค้างของปุ๋ยไนโตรเจนที่มีต่อพืชที่ปลูกตามหลังข้าวในระบบการปลูกพืช 2 ระบบ คือ ข้าว-ถั่วเหลือง และข้าว-ข้าวสาลี

1. ไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากผลตกค้างในนาข้าว

ไนโตรเจนจาก ^{15}N ที่ตกค้างหลังจากเก็บเกี่ยวข้าวแล้ว ถูกปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ (mineralization) ได้เพียง 8-38 % เท่านั้น (ตารางที่ 9 และ 11) ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ Savant and De Datta (1982) ว่า ^{15}N ที่ถูกจับยึดไว้สามารถปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ต่อข้าวที่ปลูกตามได้ 14-22 % ปริมาณที่ถูกปลดปล่อยออกมานั้นเกี่ยวข้องอยู่กับวิธีการใส่ปุ๋ย ^{15}N ในนาข้าวด้วย ปริมาณ ^{15}N ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากดินในกรรมวิธีที่มีการแบ่งใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง สูงที่สุด ทั้งในแปลงข้าวสาลีและถั่วเหลือง (ตารางที่ 9 และ 11) ซึ่งคิดเป็นปริมาณไนโตรเจนสูงถึง 29.32 และ 38.02% ตามลำดับ รองลงมาได้จากวิธีการใส่แบบปุ๋ยดินปั้น ส่วนกรณีของวิธีการใส่ปุ๋ยแบบคลุกผิวดินบน จะมีการปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาสู่ดินที่ปลูกข้าวสาลีและถั่วเหลือง(mineralization)น้อยที่สุดเพียง 9.16% และ 7.88% ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า ในกรณีของการแบ่งใส่นั้นมีปริมาณปุ๋ยตกค้างมากที่สุด มีความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ตกค้างอยู่ในดินสูง และระยะเวลาที่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ถูกแบ่งใส่ในครั้งที่ 2 และ 3 มีระยะเวลาถูกจับไว้ให้ไม่เป็นประโยชน์ (immobilization) สั้น ส่วนในกรณีของปุ๋ยดินปั้นนั้นถึงแม้ว่าจะมีไนโตรเจนจากปุ๋ยตกค้างน้อยแต่ก็เข้มข้นอยู่เฉพาะบริเวณที่ใส่ปุ๋ยในรูปของการดูดซับโดยดินเหนียวที่ใช้ปั้นหุ้มปุ๋ย และรูปของอินทรีย์ไนโตรเจนซึ่งง่ายต่อการ mineralization เมื่อทำการคลุกผสมดินก่อนปลูกข้าวสาลีและถั่วเหลืองจึงทำให้มีการกระจายตัวของ ^{15}Nที่ตกค้างออกไปทั่วชั้นดินง่ายต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่จะปลดปล่อย(mineralization) ^{15}Nออกมา แต่ในกรณีของการใส่ปุ๋ยแบบคลุกดินบนมีการปลดปล่อยไนโตรเจนที่ตกค้างได้น้อยนั้นแสดงว่า ^{15}N ที่ตกค้างอยู่ถูกจับยึดไว้(immobilization) และถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นอินทรีย์ไนโตรเจนที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้นทำให้มีความต้านทานต่อกิจกรรมการปลดปล่อย(mineralization) ของจุลินทรีย์ Kai and Wada (1979) ได้รายงานว่าไนโตรเจนที่ถูกจับยึดไว้ใหม่ๆ จะถูกปลดปล่อยได้เร็ว เนื่องจากยังเป็นอินทรีย์ไนโตรเจนที่ไม่ซับซ้อนง่ายต่อการสลายโดยจุลินทรีย์ แต่เมื่อระยะเวลานานขึ้นอัตราการปลดปล่อยได้จะน้อยลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเป็นอินทรีย์ไนโตรเจนโมเลกุลใหญ่ขึ้นและต้านทานต่อกิจกรรมการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. การดูดใช้ไนโตรเจน และการให้ผลผลิตของข้าวสาลี และถั่วเหลือง

ในกรณีของผลตกค้างจากวิธีการใส่ปุ๋ยดินปั้น ข้าวสาลี และถั่วเหลืองมีแนวโน้มให้ผลผลิตและน้ำหนักฟาง หรือต้นแห้ง สูงกว่ากรณีของผลตกค้างจากวิธีการอื่นๆ (ตารางที่ 10 และ 12) การดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดของข้าวสาลี และถั่วเหลืองก็เป็นเช่นเดียวกัน และไนโตรเจนจากผลตกค้างที่ข้าวสาลี และถั่วเหลืองดูดใช้ได้ ในกรณีของวิธีการใส่ปุ๋ยดินปั้นในนาข้าวก็สูงกว่าวิธีการอื่นๆ เช่นกัน แต่ถ้าพิจารณาเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดในข้าวสาลี และถั่วเหลืองที่มาจากไนโตรเจนที่ตกค้างจากปุ๋ยแล้ว พบว่า ในกรณีของผลตกค้างจากวิธีการใส่ปุ๋ยดินปั้น มีเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนที่ดูดใช้มาจากผลตกค้างสูงกว่าวิธีอื่นๆ(ตารางที่ 10 และ 12) แสดงว่าทั้งข้าวสาลี และถั่วเหลืองได้รับไนโตรเจนที่ตกค้างจากกรณีของปุ๋ยดินปั้นได้ง่าย และมากกว่ากรณีอื่นๆ จึงเจริญเติบโตและดูดใช้ไนโตรเจนจากดินได้มาก ส่งผลให้ได้ผลผลิต และน้ำหนักแห้งมากกว่าวิธีการอื่น ๆ

3. ความสามารถในการดูดใช้ไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากผลตกค้างในนาข้าวของข้าวสาลี และถั่วเหลือง

ปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวสาลีดูดใช้ได้จากผลตกค้าง คือ 11.13-46.70 มิลลิกรัม/กระถาง (ตารางที่ 10) หรือคิดเป็น 3.37-19.00 % ของไนโตรเจนจากปุ๋ยที่ตกค้างในดิน ซึ่งสูงกว่าความสามารถของถั่วเหลือง ปริมาณไนโตรเจนที่ถั่วเหลืองดูดได้จากผลตกค้างอยู่ในช่วง 5.52-22.57 มิลลิกรัม/กระถาง (ตารางที่ 11) คิดเป็น 1.22-8.86 % ของไนโตรเจนจากปุ๋ยที่ตกค้างในดิน แสดงว่าระบบรากของข้าวสาลีซึ่งเป็นระบบรากฝอยสามารถแผ่กระจายในดินได้ดี ส่งเสริมการดูดไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยออกมาได้ดีกว่าระบบรากของถั่วเหลืองประการหนึ่ง อีกประการหนึ่งคือถั่วเหลืองสามารถตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศมาใช้ได้เอง ซึ่ง Peoples et al. (1986) รายงานว่า ภายใต้สภาพของดินที่มีไนโตรเจนต่ำ ต้นถั่วได้รับไนโตรเจนจากขบวนการตรึงโดยไรโซเบียมที่ปมถั่วได้สูงถึง 80 %

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 9 สมดุลย์ของไนโตรเจนตกค้างจากปุ๋ยนา ในการปลูกข้าวสาลีเป็นพืชตาม

	วิธีการใส่ปุ๋ย				
	คลุกตลอดชั้นดิน	คลุกผิวดินบน	ปุ๋ยดินปั้น	แบ่งใส่ 2 ครั้ง	แบ่งใส่ 3 ครั้ง
	มิลลิกรัม/กระถาง				
ปริมาณ ^{15}N ตกค้างในดิน หลังจากการปลูกข้าว	296.44	349.70	245.69	330.30	379.31
พืชดูดใช้	29.52	24.62	46.70	11.13	13.31
ในเมล็ด	14.54	14.22	29.63	5.99	7.50
ในฟาง	14.98	10.40	17.07	5.14	5.81
อัตราการใช้ปุ๋ย	9.96	7.04	19.00	3.37	3.51
^{15}N ตกค้าง (%)					
ปริมาณ ^{15}N ตกค้าง	243.90	317.68	180.80	277.97	268.09
หลังการเก็บเกี่ยวข้าวสาลี	(82.3)	(90.8)	(73.6)	(84.2)	(70.7)
^{15}N ที่ปลดปล่อย (%)	52.54	32.02	64.89	52.33	111.22
	(17.7)	(9.2)	(26.4)	(15.8)	(29.3)
ปริมาณ ^{15}N ที่สูญหาย	23.02	7.4	18.19	41.2	97.91
	(7.8)	(2.1)	(7.4)	(12.5)	(25.8)

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของ ^{15}N ตกค้างในดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 10 น้ำหนักเมล็ด ฟางข้าวสาลี ไนโตรเจนที่ข้าวสาลีดูดได้ทั้งหมดและจากปุ๋ยที่ตกค้างในดิน

วิธีใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าว	น้ำหนักเมล็ด	น้ำหนักฟาง	ไนโตรเจนทั้งหมดที่ข้าวสาลีดูดใช้	ไนโตรเจนจากปุ๋ยตกค้าง
	กรัม/กระถาง(0.25 $ม^2$)		มิลลิกรัม/กระถาง(0.25 $ม^2$)	
1. คลุกตลอดชั้นดิน	21.34	60.23	980.87	29.52(3.01)
2. คลุกผิวดินบน	22.41	46.75	974.60	24.62(2.53)
3. ปุ๋ยดินปั้น	35.89	64.94	1371.5	46.70(3.41)
4. แบ่งใส่ 2 ครั้ง	12.10	32.43	549.43	11.13(2.02)
5. แบ่งใส่ 3 ครั้ง	16.94	33.49	685.87	13.31(1.94)

หมายเหตุ ตัวเลขที่อยู่ในวงเล็บแสดงถึงเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดที่ข้าวสาลีดูดใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 11 สมดุลย์ของไนโตรเจนตกค้างจากปุ๋ยนา ในการปลูกถั่วเหลืองเป็นพืชตาม

	วิธีการใส่ปุ๋ย				
	คลุกตลอดชั้นดิน	คลุกผิวดินบน	ปุ๋ยดินปั้น	แบ่งใส่ 2 ครั้ง	แบ่งใส่ 3 ครั้ง
	มิลลิกรัม/กระถาง				
ปริมาณ ^{15}N ตกค้างในดิน หลังการปลูกข้าว	277.04	313.03	254.75	296.38	365.56
พืชดูดใช้	8.46	5.52	22.57	19.85	4.47
ในเมล็ด	2.24	2.49	12.60	12.84	2.51
ในต้นและใบ	4.22	3.03	9.97	7.01	1.96
อัตราการใช้ปุ๋ย ^{15}N ตกค้าง(%)	3.05	1.76	8.86	6.70	1.22
ปริมาณ ^{15}N ตกค้าง	207.33	288.35	182.84	236.04	226.57
หลังเก็บเกี่ยวถั่วเหลือง	(74.8)	(92.1)	(71.8)	(79.6)	(62.0)
^{15}N ที่ปลดปล่อย	69.71	24.68	71.91	60.34	138.99
	(25.2)	(7.9)	(28.2)	(20.4)	(38.0)
ปริมาณ ^{15}N ที่สูญหาย	61.25	19.16	49.34	40.49	134.52
	(22.1)	(6.1)	(19.4)	13.7)	(36.8)

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของ ^{15}N ที่ตกค้างในดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 12 น้ำหนักแห้งเมล็ด และต้นถั่วเหลือง ไนโตรเจนที่ถั่วเหลืองดูดได้ทั้งหมด และที่ดูดได้จากปุ๋ยตกค้าง

วิธีใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าว	น้ำหนักเมล็ด	น้ำหนักฟาง	ไนโตรเจนทั้งหมดที่ถั่วเหลืองดูดใช้	ไนโตรเจนจากปุ๋ยตกค้าง
	-----กรัม/กระถาง ----		---- มิลลิกรัม/กระถาง ----	
1. คลุกตลอดชั้นดิน	5.46	22.42	861.50	8.46 (0.98)
2. คลุกผิวดินบน	10.68	28.78	1364.10	5.52 (0.40)
3. ปุ๋ยดินปั้น	13.65	29.73	1478.90	22.57 (1.53)
4. แบ่งใส่ 2 ครั้ง	10.90	23.20	1305.15	19.85 (1.52)
5. แบ่งใส่ 3 ครั้ง	5.58	17.04	698.46	4.47 (0.64)

( ) แสดงเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดที่ถั่วเหลืองดูดใช้

4. <u>ปริมาณไนโตรเจนที่ตกค้างหลังจากปลูกข้าวสาลีและถั่วเหลือง</u>

การใส่ปุ๋ยในนาข้าวอัตรา 100 กิโลกรัม N/เฮกตาร์ ข้าวสามารถใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้เพียง 31-60% และตกค้างอยู่ในดิน 9-15% เท่านั้น นอกนั้นก็จะสูญเสียออกจากระบบโดยขบวนการชะล้าง ชะพา และก๊าซ ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีใส่ปุ๋ย แต่อย่างไรก็ตามทุกวิธีการใส่ปุ๋ยมีการสูญเสียไนโตรเจนโดยขบวนการ denitrification เป็นหลัก โดยสูญเสีย 27-35%ของปริมาณปุ๋ยที่ใส่ ไนโตรเจนที่ตกค้างอยู่ในดินดังกล่าวนี้จะถูกปลดปล่อยออกมาโดยขบวนการ N-mineralization และเป็นประโยชน์ได้ 8-38% ข้าวสาลี และถั่วเหลืองสามารถดูดใช้ได้ 1-19% สอดคล้องกับรายงานของ Krishnappa and Shinde (1978) ที่รายงานว่าพืชที่สองสามารถดูดใช้ ^{15}Nจากปุ๋ยตกค้างได้ต่ำ ทั้งนี้เนื่องจาก ^{15}Nได้เข้าไปเป็นส่วนประกอบของอินทรีย์ไนโตรเจนโมเลกุลใหญ่ที่ยากต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ Kai and Wada (1979) พบว่าถ้าระยะเวลายาวนานขึ้นการปลดปล่อยไนโตรเจนที่ถูกจับยึดไว้ (reammonification) จะน้อยลง ไนโตรเจนที่เหลือตกค้างในดินหลังปลูกพืชที่สองมีสูงถึง 62-92% ซึ่งจะปลดปล่อยเป็นประโยชน์กับพืชในฤดูถัดไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 3

ศึกษาความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนจากการสลายตัวของฟางข้าว

1. การปลดปล่อยไนโตรเจนจากฟางและปุ๋ย

ฟางข้าวที่คลุกลงดินนั้นมีการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ และ ปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาในรูปของ NH_4^+ และ NO_3^- (mineralization) ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืช ขณะเดียวกันไนโตรเจนที่ปลดปล่อยออกมาบางส่วน ก็ถูกจุลินทรีย์ดินนำกลับไปใช้ในการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ (immobilization) และบางส่วนก็สูญหายออกจากดินโดยการชะล้าง ไหลบ่า และการเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนระเหยออกไปจากดิน ดังนั้นการวัดปริมาณของ N ที่ปลดปล่อยออกมาตลอดฤดูปลูก (net mineralization) จึงเป็นค่ารวมกันของ ^{15}N ที่พบในพืชรวมกับที่สูญหายออกไปจากระบบ ส่วนไนโตรเจน (^{15}N) ที่ตกค้างในดิน คือ N ที่ถูกจับยึดไว้ไม่เป็นประโยชน์นั่นเอง (net immobilization) ค่าทั้ง 2 ได้คำนวณและแสดงอยู่ในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ^{15}N ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากปุ๋ยและฟาง (%) เมื่อมีการใช้ฟางร่วมกับปุ๋ยในข้าวสาลีและถั่วเหลือง

กรรมวิธี	ปริมาณ ^{15}Nที่ใส่ (กิโลกรัม N / เฮกตาร์)	ปริมาณ ^{15}Nตกค้างในดิน(%)		ปริมาณ ^{15}Nที่ถูกปลดปล่อย (%)	
		ข้าวสาลี	ถั่วเหลือง	ข้าวสาลี	ถั่วเหลือง
1. ฟาง ^{15}N	60.5	75.4	83.5	24.6	16.5
2. ฟาง ^{15}N + ปุ๋ย ^{14}N	60.5	74.6	83.0	25.4	17.0
3. ฟาง ^{14}N + ปุ๋ย ^{15}N	50.0	64.1	65.6	35.9	34.4
4. ปุ๋ย ^{15}N	50.0	40.3	45.3	59.7	54.7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟางข้าวอัตรา 10 ตัน/เฮกตาร์ ที่ใส่คลุกลงดินปลูกถั่วเหลืองและข้าวสาลีนั้นมีแนวโน้มที่จะปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาเป็นประโยชน์ได้ไม่เท่ากัน ในระบบข้าวสาลีเมื่อไม่มีและมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมด้วย จะมีการปลดปล่อยไนโตรเจนออกมา 24.6% และ 25.4% ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าในระบบถั่วเหลือง การไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้แก่ถั่วเหลืองทำให้ฟางข้าวปลดปล่อยไนโตรเจนออกมา 16.5% และ การปลดปล่อยไนโตรเจนจะเพิ่มเป็น 17.0% เมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมด้วย พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับการคลุกฟางนั้น ไม่สามารถเร่งให้ฟางปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาเป็นประโยชน์ต่อข้าวสาลี และถั่วเหลืองได้มากขึ้น ขณะเดียวกันถ้าพิจารณาความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยที่ใส่ให้กับถั่วเหลืองและข้าวสาลี พบว่า ถ้าใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเดียวไนโตรเจนจะตกค้างอยู่ในดิน 40.3%ในระบบข้าวสาลี และ 45.3%ในระบบถั่วเหลือง แต่เมื่อมีการใช้ฟางข้าวร่วมกับการใช้ปุ๋ย ไนโตรเจนจากปุ๋ยจะถูกกิจกรรมของจุลินทรีย์เปลี่ยนเป็นรูปไม่เป็นประโยชน์มากขึ้นคือ 64.1%และ 65.6% ในระบบข้าวสาลีและถั่วเหลือง ตามลำดับ แสดงว่าเมื่อมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับการคลุกฟางข้าวลงดินในการปลูกพืชนั้น อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนจากฟางไม่เพิ่มขึ้นเนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนแต่ปุ๋ยไนโตรเจนกลับถูกดูดยึดไว้มากขึ้นเนื่องจากฟาง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะองค์ประกอบของฟางซึ่งจะมี C/N ratio กว้าง จุลินทรีย์จึงดูดไนโตรเจนจากดิน และปุ๋ยไปใช้ทำให้เกิด immobilization มากขึ้นนั่นเอง (Jenkinson, 1981) สอดคล้องกับการทดลองของ Wagger et al. (1985) ซึ่งพบว่าการปลดปล่อยไนโตรเจนจากฟางข้าวสาลีที่คลุกลงดินไม่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ไนโตรเจนร่วมด้วย แต่ในกรณีของฟางข้าวโอ๊ตปุ๋ยไนโตรเจนช่วยเร่งการปลดปล่อยไนโตรเจนจากฟางข้าวโอ๊ตที่คลุกลงดิน และได้เสนอว่าการปลดปล่อยไนโตรเจนที่ต่างกันนี้เนื่องมาจากความแตกต่างของ C/N ratio และองค์ประกอบอื่นๆ ในเศษพืชนั้น Vigil and Kissel (1991) พบว่า ถ้า C/N ratio ในเศษพืชสูงกว่า 40 จะทำให้เกิด net immobilization เมื่อทำการไถกลบเศษพืชนั้นลงไปในดิน

ผลตกค้างของไนโตรเจนจากปุ๋ยและฟาง มีผลให้ไนโตรเจนในดินสูงมากขึ้นเมื่อมีการใช้ร่วมกัน (ตารางที่ 14) จากตารางที่ 13 ไนโตรเจนจากฟางถูกกิจกรรมของจุลินทรีย์ทำให้ไม่เป็นประโยชน์(immobilized) ในปริมาณไม่แตกต่างกันระหว่างการใช้ฟางอย่างเดียวหรือใช้ฟางร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนคือประมาณ 75% และ 83% ในข้าวสาลีและถั่วเหลือง ตามลำดับ แต่ถ้าพิจารณาถึงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินในระยะเดียวกันนี้จะพบว่าในดินที่มีการใช้ฟางร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนนั้นจะมีไนโตรเจนทั้งหมดในดินสูงกว่าในดินที่มีการใช้ฟางอย่างเดียว ทั้งในระบบข้าวสาลีและถั่วเหลือง (ตารางที่ 14) แสดงว่าเมื่อมีการใช้ปุ๋ยเข้าร่วมด้วย ไนโตรเจนจากปุ๋ยจะถูกกิจกรรมของจุลินทรีย์นำไปใช้ในการสลายตัวของฟาง และเปลี่ยนรูปเป็นอินทรีย์ไนโตรเจนและตก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค้างอยู่ในดินมากขึ้น (Jenkinson,1981) ยืนยันโดยปริมาณ ^{15}Nตกค้างในดิน ในตารางที่ 13 เมื่อมีการใช้ฟางร่วมกับปุ๋ย ^{15}N จากปุ๋ยตกค้างในดินสูงขึ้นจาก 40.3 และ 45.3% เป็น 64.1% และ 65.6% ในข้าวสาลีและถั่วเหลือง ตามลำดับ ดังนั้นไนโตรเจนจากปุ๋ยจึงไปเจือจาง %atom ^{15}N excess ในดินที่มีการใช้ฟาง ^{15}N (ตารางที่ 14) และปุ๋ย ^{15}N ที่ถูกจับยึดมากขึ้นโดยอิทธิพลของฟางก็ทำให้ % atom ^{15}N excess ของปุ๋ย ^{15}N สูงขึ้นเช่นกัน (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 %N ในดิน และ % atom ^{15}N excess ในดินหลังปลูกข้าวสาลีและถั่วเหลืองที่มีการคลุกฟาง การคลุกฟางร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน และการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเดียว

กรรมวิธี	ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (%)		ไนโตรเจน(^{15}N)ในดิน (% atom ^{15}N)	
	ข้าวสาลี	ถั่วเหลือง	ข้าวสาลี	ถั่วเหลือง
1. ฟาง ^{15}N	0.0454	0.0636	0.501	0.472
2. ฟาง ^{15}N + ปุ๋ย ^{14}N	0.0476	0.0662	0.493	0.467
3. ฟาง ^{14}N + ปุ๋ย ^{15}N	0.0449	0.0668	0.712	0.601
4. ปุ๋ย ^{15}N	0.0437	0.0627	0.586	0.537

สรุปได้ว่า การใช้ฟางร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนนั้น ปุ๋ยไนโตรเจนไม่มีผลในการเพิ่มปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจน (mineralization) จากฟางข้าว แต่การใช้ฟางข้าวมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนจากปุ๋ย (immobilization) และการใช้ฟางร่วมกับปุ๋ยมีแนวโน้มที่จะเพิ่มปริมาณไนโตรเจนในดินให้สูงกว่าการใช้ฟาง หรือปุ๋ยเพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับ Oh (1979)ที่รายงานว่าการใช้ฟางข้าวทำให้ปุ๋ยไนโตรเจนถูกเปลี่ยนรูปทำให้ไม่เป็นประโยชน์มากขึ้น เพิ่มปริมาณการได้กลับคืน(recovery)ในระบบดิน-พืช นอกจากนั้นยังเพิ่มอินทรีย์ไนโตรเจนในดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2. ผลผลิตและการดูดใช้ไนโตรเจนจากฟางและปุ๋ยของข้าวสาลีและถั่วเหลือง

การดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดและไนโตรเจนที่ปลดปล่อยจากฟางเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมด้วย ถึงแม้ว่าปริมาณไนโตรเจนที่ปลดปล่อยจากฟางจะไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการใช้ปุ๋ยตามที่กล่าวมา ในระบบของข้าวสาลี (ตารางที่ 15) ไนโตรเจนทั้งหมดที่ข้าวสาลีดูดใช้ได้สูงขึ้นจาก 210.5 มิลลิกรัม/กระถาง เป็น 545.8 มิลลิกรัม/กระถาง เมื่อเปลี่ยนจากการใช้ฟางอย่างเดียวเป็นการใช้ฟางร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน และในปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นนั้น ส่วนหนึ่งก็มาจากไนโตรเจนที่ปลดปล่อยจากฟางข้าวที่คลุกลงดิน ^{15}Nจากฟางที่ข้าวสาลีดูดได้เพิ่มจาก 9.2 มิลลิกรัม เมื่อใช้ฟางอย่างเดียว เป็น 26.9 มิลลิกรัม เมื่อมีการใช้ปุ๋ยร่วมกับฟางข้าว แสดงว่า ปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ลงไปนั้นเพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ ^{15}N ที่ถูกปลดปล่อยออกจากฟาง ซึ่งเป็นไปได้ว่าปุ๋ยไนโตรเจนเร่งการเจริญเติบโตของข้าวสาลี ทำให้ระบบรากแผ่กระจายออกไปในดินได้เร็วและมากกว่าการไม่ใช้ปุ๋ย (Mikkelsen, 1987) ดังนั้นไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจึงถูกดูดใช้ได้ก่อนที่จะถูกชะล้างหรือเปลี่ยนเป็นก๊าซสูญหายไปจากดิน ในกรณีของถั่วเหลือง (ตารางที่ 16) ก็เช่นเดียวกันกับข้าวสาลี ปริมาณ ^{15}N จากฟางที่ปลดปล่อยออกมาถูกถั่วเหลืองดูดไปใช้ได้มากขึ้น เมื่อมีการใช้ฟางร่วมกับปุ๋ยแทนการใช้ฟางเพียงอย่างเดียว แต่ผลผลิตและไนโตรเจนทั้งหมดที่ถั่วเหลืองดูดใช้ได้ ในกรณีของการใช้ฟางร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนต่างกันระหว่างกรรมวิธีที่ 2 กับ 3 นั้น เป็นเพราะในกรรมวิธีที่ 2 ถูกหนอนเจาะลำต้นทำลาย

การดูดใช้ไนโตรเจนจากปุ๋ยลดลงเมื่อมีการใช้ฟางร่วมด้วย ทั้งในระบบข้าวสาลี และถั่วเหลือง ในระบบข้าวสาลีการดูดใช้^{15}Nจากปุ๋ยลดลงจาก 176 มิลลิกรัมเป็น 110.1 มิลลิกรัม (ตารางที่ 15) เมื่อเปลี่ยนจากการใช้ปุ๋ยอย่างเดียวมาเป็นการใช้ปุ๋ยร่วมกับฟาง และในระบบถั่วเหลืองนั้น การดูดใช้ ^{15}N จากปุ๋ยลดลงจาก 375.3 มิลลิกรัม เป็น 216.6 มิลลิกรัม เมื่อเปลี่ยนจากการใช้ปุ๋ยอย่างเดียวมาเป็นการใช้ปุ๋ยร่วมกับฟาง(ตารางที่ 16) แต่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ถั่วเหลืองและข้าวสาลีดูดใช้ได้นั้น ไม่แตกต่างกันระหว่างการใช้ปุ๋ยอย่างเดียวกับการใช้ปุ๋ยร่วมกับฟางข้าว (ตารางที่ 15 และ16 และตารางภาคผนวกที่ 4.9 และ4.12) ถ้าพิจารณาจากปริมาณไนโตรเจนจากปุ๋ยที่ตกค้างในดิน จากตารางที่ 13 จะเห็นว่าปริมาณแตกต่างกันมากระหว่างการใช้ปุ๋ยอย่างเดียว และการใช้ปุ๋ยร่วมกับฟาง คือจาก 40.3% และ 45.3% เมื่อใช้ปุ๋ยอย่างเดียวเป็น 64.1% และ 65.6% เมื่อใช้ปุ๋ยร่วมกับฟาง ในข้าวสาลีและถั่วเหลือง ตามลำดับ ดังนั้นการที่ปริมาณ^{15}N จากปุ๋ยที่ถูกดูดใช้ลดลงทั้งในถั่วเหลืองและข้าวสาลีจึงน่าจะมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ (immobilization)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 15 ผลของการคลุกฟาง และการใส่ปุ๋ยต่อการดูดใช้ไนโตรเจนและผลผลิตของข้าวสาลี

กรรมวิธี	ปริมาณไนโตรเจนที่พืชดูดใช้		น้ำหนักแห้ง	
	ปริมาณ N ทั้งหมด	ปริมาณ ^{15}N	ฟาง	เมล็ด
	มิลลิกรัม/กระถาง		กรัม/กระถาง	
1. ฟาง ^{15}N	210.5	9.2(4.4)	9.6	7.1
2. ฟาง ^{15}N + ปุ๋ย ^{14}N	545.8	26.9(4.9)	23.0	18.7
3. ฟาง ^{14}N + ปุ๋ย ^{15}N	368.2	110.1(29.9)	16.4	12.6
4. ปุ๋ย ^{15}N	556.3	176.0(31.6)	26.7	21.0
$LSD_{.05}$	264.2		10.8	10.1

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซนต์ของไนโตรเจนทั้งหมดในข้าวสาลี

ตารางที่ 16 ผลของการคลุกฟาง และการใส่ปุ๋ยต่อการดูดใช้ไนโตรเจนและผลผลิตของถั่วเหลือง

กรรมวิธี	ปริมาณไนโตรเจนที่พืชดูดใช้		น้ำหนักแห้ง(กรัม/กระถาง)	
	ปริมาณ N ทั้งหมด	ปริมาณ ^{15}N	ต้น+ใบ	เมล็ด
	มิลลิกรัม/กระถาง		กรัม/กระถาง	
1. ฟาง ^{15}N	1,798.5	21.6(1.2)	37.9	15.7
2. ฟาง ^{15}N + ปุ๋ย ^{14}N	1,647.7	57.4(3.9)	34.0	12.3
3. ฟาง ^{14}N + ปุ๋ย ^{15}N	3,826.5	216.6(5.7)	79.6	34.6
4. ปุ๋ย ^{15}N	2,726.6	375.3(13.8)	58.3	25.8
$LSD_{.05}$	1,168.4		22.4	10.6

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บแสดงเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดในถั่วเหลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการที่ปุ๋ยไนโตรเจนช่วยให้ข้าวสาลีและถั่วเหลืองสามารถเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดี จึงสามารถเพิ่มการดูดใช้ไนโตรเจนที่ปลดปล่อยจากฟางได้มากขึ้น ขณะเดียวกันปุ๋ยไนโตรเจนก็ถูกกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากฟางลดความเป็นประโยชน์ลง(Jenkinson, 1981) ทำให้ไนโตรเจนทั้งหมดที่ข้าวสาลีและถั่วเหลืองดูดใช้ได้ ไม่ต่างกันในระหว่างการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวกับการใช้ปุ๋ยร่วมกับการคลุกฟาง และส่งผลให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน(ตารางผนวกที่ 15 และ 16 แต่ในกรณีของการใช้ฟางเพียงอย่างเดียวนั้นไนโตรเจนจากฟางที่ถูกปลดปล่อยออกมามีเพียง 24.6% และ 16.5% ในข้าวสาลีและถั่วเหลือง ตามลำดับ และถ้าเปรียบเทียบสถานการณ์ที่ไนโตรเจนจากปุ๋ยเปลี่ยนรูปไม่เป็นประโยชน์โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์สูงขึ้นมากเมื่อมีการใช้ปุ๋ยร่วมกับฟางแสดงว่าไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยจากดิน (mineralized-N_{soil}) ย่อมจะถูกกิจกรรมของจุลินทรีย์นำไปใช้(immobilization) มากขึ้น เมื่อมีการใช้ฟาง (Jenkinson, 1981) ทำให้ไนโตรเจนในดินไม่เพียงพอกับความต้องการของข้าวสาลีและถั่วเหลือง ทำให้การเจริญเติบโตช้าและการดูดใช้ไนโตรเจนที่ปลดปล่อยจากฟางได้น้อยทั้งๆ ที่การปลดปล่อยไนโตรเจนจากฟางไม่แตกต่างจากเมื่อมีการใช้ปุ๋ยร่วมด้วย สาเหตุนี้ทำให้การใช้ฟางอย่างเดียวมีการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดและให้ผลผลิตต่ำกว่าการใช้ฟางร่วมกับปุ๋ย และการใช้ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว

3.การตกค้างและการสูญหายของไนโตรเจนจากปุ๋ยและฟางในระบบข้าวสาลีและถั่วเหลือง

^{15}N จากปุ๋ยและฟางที่ใส่ลงไปในการปลูกถั่วเหลืองและข้าวสาลีมีการเปลี่ยนแปลงโดยขบวนการต่างๆ เช่น ถูกพืชนำไปใช้ ตกค้างในดิน และสูญหายออกจากระบบ เมื่อนำค่าวิเคราะห์ ^{15}N ในส่วนต่างๆ มาคำนวณและสร้างเป็นตารางแสดงสถานภาพของ ^{15}N จากปุ๋ยและฟางที่ใส่ลงไป(ตารางที่ 17) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดใช้และการสูญหายในระบบพืชทั้งสอง

ปริมาณไนโตรเจนจากฟางและปุ๋ย ที่ถูกข้าวสาลีและถั่วเหลืองดูดไปใช้ในกรรมวิธีเดียวกัน เมื่อคิดเป็นเปอรเซ็นต์ของ ^{15}N ที่ใส่ลงไปแล้วไม่แตกต่างกันดังในตารางที่ 17 จะเห็นว่าเมื่อใช้ฟางอย่างเดียว ปริมาณไนโตรเจนจากฟางที่ข้าวสาลีและถั่วเหลืองดูดไปใช้มีค่าเท่ากับ 1.5% และ 1.8% ตามลำดับ เมื่อมีการใช้ปุ๋ยเข้าร่วมด้วยปริมาณ ^{15}N จากฟางที่ข้าวสาลีและถั่วเหลืองดูดได้เท่ากับ 4.5% และ 4.7% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการใช้ไนโตรเจนจากปุ๋ยในกรณีที่มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวข้าวสาลีและถั่วเหลืองดูดใช้ได้ 35.2% และ 37.5% ตามลำดับ ถ้าใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ^{15}N ร่วมกับฟาง ข้าวสาลีและถั่วเหลืองดูดใช้ไนโตรเจนจากปุ๋ยลดลง เป็น 22.0% และ 21.6% ตามลำดับ แสดงว่าพืชทั้ง 2 ระบบมีความสามารถในการดูดใช้ไนโตรเจนจากปุ๋ยและฟางได้ใกล้เคียงกัน และปริมาณไนโตรเจนที่ดูดได้นั้นขึ้นอยู่กับขบวนการปลดปล่อยและดูดยึดไนโตรเจน (mineralization-immobilization) ที่เกิดขึ้นในดินนั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 17 สถานภาพของ ^{15}N จากปุ๋ยและฟางที่ใส่ลงไปในระบบข้าวสาลีและถั่วเหลือง

	ข้าวสาลี				ถั่วเหลือง			
	^{15}N-ฟาง	^{15}N-ฟาง ^{15}N-ปุ๋ย	^{14}N-ฟาง ^{15}N-ปุ๋ย	^{15}N-ปุ๋ย	^{15}N-ฟาง	^{15}N-ฟาง ^{14}N-ปุ๋ย	^{14}N-ฟาง ^{15}N-ปุ๋ย	^{15}N-ปุ๋ย
	มิลลิกรัม/กระถาง				มิลลิกรัม/กระถาง			
^{15}N ทั้งหมดที่ใส่	605.4	605.4	500.0	500.0	1210.8	1210.8	1000.0	1000.0
ใช้ดูดไปใช้	9.2(1.5)	26.9(4.5)	110.1(22.0)	176.0(35.2)	21.6(1.8)	57.4(4.7)	216.6(21.6)	375.4(37.5)
เมล็ด	6.2(1.0)	21.6(3.6)	84.5(16.9)	140.1(28.0)	12.3(1.0)	29.1(2.4)	125.3(12.5)	251.8(25.2)
ลำต้น+ใบ	3.0(0.5)	5.3(0.9)	25.6(5.1)	35.9(7.2)	9.3(0.8)	28.3(2.3)	91.3(9.1)	123.6(12.4)
^{15}N ตกค้างในดิน	456.7(75.4)	451.7(74.6)	320.6(64.1)	201.7(40.3)	1011.1(83.5)	1005.3(83.0)	655.5(65.6)	452.6(45.3)
^{15}N รวมที่พบได้ในดินและพืช	465.9(76.9)	478.6(79.1)	430.7(86.1)	377.7(75.5)	1032.7(85.3)	1062.7(87.7)	872.1(87.2)	828.0(82.8)
^{15}N ที่สูญหาย	139.5(23.1)	126.8(20.9)	69.3(13.9)	122.3(24.5)	178.1(14.7)	148.1(12.3)	127.9(12.8)	172.0(17.2)

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บ แสดงเปอร์เซ็นต์ของ ^{15}N ทั้งหมดที่ใส่ลงไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณไนโตรเจนจากฟาง และปุ๋ย ที่ตกค้างในดินในระบบถั่วเหลือง สูงกว่าในระบบข้าวสาลี โดยเฉพาะกรรมวิธีที่มีการใส่ไนโตรเจนจากฟางแต่เพียงอย่างเดียว หรือการใช้ฟางร่วมกับปุ๋ย ซึ่งตกค้างในดินสูงกว่าถึง 8%(ตารางที่ 17) ส่วนไนโตรเจนจากปุ๋ยในกรรมวิธีที่ไม่มีการใช้ฟางร่วมด้วยนั้นตกค้างในดินที่ปลูกข้าวสาลีต่ำกว่าในดินที่ปลูกถั่วเหลือง 5% แต่เมื่อมีการใช้ฟางร่วมด้วย เปอร์เซ็นต์ที่ไนโตรเจนตกค้างในแปลงถั่วเหลืองก็สูงกว่าแปลงข้าวสาลี 1.5% ซึ่งเมื่อรวมกับปริมาณไนโตรเจนจากฟางและปุ๋ย ที่พบได้ในพืชแล้วหักออกจากปริมาณที่ใส่ลงดิน ทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่สูญหายในระบบของข้าวสาลี สูงกว่าในระบบของถั่วเหลือง ทุกกรรมวิธีโดยเฉพาะไนโตรเจนจากฟาง ในระบบข้าวสาลีสูญหายไป 23.1 และ 20.9% เมื่อมีการใช้ฟางอย่างเดียว และมีการใช้ปุ๋ยร่วมกับฟางตามลำดับ ส่วนในถั่วเหลืองในระบบการใช้ฟางอย่างเดียวไนโตรเจนจากฟางสูญหายไปเพียง 14.7% และเมื่อมีการใช้ปุ๋ยเข้าร่วมด้วยก็จะสูญหายไป 12.3%

จากการทดลองนี้ ข้าวสาลี และถั่วเหลือง สามารถดูดใช้ไนโตรเจนจากฟางข้าว และปุ๋ยได้ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 17) แต่ผลตกค้างของไนโตรเจนจากฟางและปุ๋ยในดิน ในระบบถั่วเหลืองมีสูงกว่าในระบบข้าวสาลี ดังนั้นความสามารถในการดูดใช้ไนโตรเจนของข้าวสาลีและถั่วเหลืองไม่มีผลต่อปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนจากฟาง แต่ถั่วเหลืองมีอิทธิพลต่อปริมาณไนโตรเจนจากปุ๋ยและฟางตกค้างในดินมากกว่าข้าวสาลี อาจเป็นไปได้ว่าถั่วเหลืองพึ่งไนโตรเจนส่วนหนึ่งจากการตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศ (People et al., 1986) จึงทำให้ไนโตรเจนจากฟางและปุ๋ยมีโอกาสเกิด mineralization ได้มาก รวมทั้งระบบรากถั่วเหลืองและสิ่งขับจากรากถั่วเหลือง (Root Exudate) อาจเป็นตัวกระตุ้นทำให้เกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าระบบรากข้าวสาลีก็เป็นได้

4. การตรึงไนโตรเจนในระบบถั่วเหลืองเมื่อใช้ฟาง ปุ๋ยไนโตรเจนและใช้ฟางร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน

ไนโตรเจนที่ถั่วเหลืองดูดใช้นั้นมาจาก 3 แหล่งคือ ดิน ^{15}N ฟางหรือปุ๋ย และการตรึงโดยไรโซเบียม การคำนวณไนโตรเจนที่ได้จากการตรึงใช้สมการของ Fried และ Middleboe (1977) เมื่อพืชทั้งสองได้รับอัตราปุ๋ยไนโตรเจนเท่ากัน

$$\%N_{dfix} = \left(1 - \frac{\% N_{dffert}\text{(fixing crop)}}{\% N_{dffert}\text{(non-fixing crop)}} \right) \times 100$$

โดยที่ $\%N_{dfix}$ = Nitrogen derived from rhizobium fixation (%)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$\%N_{dffert}$ (fixing crop) = Nitrogen derived from fertilizer in fixing crop (%)

$\%N_{dffert}$ (non-fixing crop) = Nitrogen derived from fertilizer in reference crop (%)

ซึ่งในการทดลองนี้เราใช้ข้าวสาลีเป็น non-fixing crop ซึ่งเป็น reference crop ที่ดี เพราะมีการดูดใช้ปุ๋ยไนโตรเจนไม่ต่างจากถั่วเหลือง มีอายุใกล้เคียงกัน ปลูกในสภาพแวดล้อมเดียวกันจึงน่าจะเหมาะสมมาก ซึ่งปริมาณไนโตรเจนจากการตรึงในถั่วเหลืองที่คำนวณได้อยู่ในตารางที่ 18 กรณีของการใช้ฟางร่วมกับปุ๋ยในกรรมวิธีที่ 2 มีปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้เพียง 300 มิลลิกรัม เพราะต้นถั่วเหลืองถูกหนอนเจาะลำต้นทำลายให้น้ำหนักแห้งและการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดน้อยกว่ากรรมวิธีที่ 3 ซึ่งมีการปฏิบัติเหมือนกัน ไนโตรเจนจากการตรึงในการปลูกถั่วเหลืองโดยคลุกฟางอัตรา 10 ตัน/เฮกตาร์ อย่างเดียว มีปริมาณต่ำที่สุดคือ 1,308 มิลลิกรัม/กระถาง (65.4 กิโลกรัม N/เฮกตาร์) การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเดียวอัตรา 50 กิโลกรัม N/เฮกตาร์ ให้ไนโตรเจนที่ตรึงได้สูงขึ้นเป็น 1,536 มิลลิกรัม/กระถาง(76.8 กิโลกรัม N/เฮกตาร์) แต่เมื่อมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 50 กิโลกรัม/เฮกตาร์ ร่วมกับฟางอัตรา 10 ตัน/เฮกตาร์ จะเพิ่มปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้เป็น 3,097 มิลลิกรัม/กระถาง(154.85 กิโลกรัม N/เฮกตาร์) แสดงว่าการใช้ฟางร่วมกับปุ๋ยส่งเสริมต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนเป็นอย่างมาก และสูงกว่าการใช้ปุ๋ยอย่างเดียวถึง 2 เท่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 18 ปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้ในถั่วเหลืองที่ปลูกในดินคลุกฟาง คลุกฟางร่วมกับใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเดียว เมื่อใช้ข้าวสาลีเป็นพืชอ้างอิง (reference crop)

กรรมวิธี	ปริมาณ N ทั้งหมดที่พืชดูดใช้ (มก./กระถาง)	^{15}Ndff(%) ถั่วเหลือง	^{15}Ndff(%) ข้าวสาลี	Ndffix (%)	ปริมาณ-N ที่ตรึงได้ (มก./กระถาง)
1. ฟาง ^{15}N	1,799	1.2	4.4	72.73	1,308
2. ฟาง ^{15}N + ปุ๋ย ^{14}N	1,468	3.9	4.9	20.41	300
3. ฟาง ^{14}N + ปุ๋ย ^{15}N	3,827	5.7	29.9	80.94	3,097
4. ปุ๋ย ^{15}N	2,727	13.8	31.6	56.33	1,536

$$\%Ndff = \frac{^{15}N \text{ uptake from fert}}{\text{total N uptake}} \times 100$$

$$\%Ndffix = \left(1 - \frac{\%\ Ndffert(\text{fixing crop})}{\%\ Ndffert(\text{non-fixing crop})}\right) \times 100$$

$$\text{ปริมาณ N ที่ตรึงได้ (Fixed-N)} = \frac{\%Ndffix \times \text{Tot.N uptake}}{100}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5. <u>การแจกแจงปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวสาลีและถั่วเหลืองดูดใช้ได้เนื่องจากการคลุกฟาง และการใช้ปุ๋ย</u>

ไนโตรเจนทั้งหมดที่ข้าวสาลีดูดใช้นั้นมาจากดิน ฟาง และ/หรือปุ๋ย ในการคลุกฟางอัตรา 10 ตัน/เฮกตาร์นั้น ข้าวสาลีมีการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดต่ำที่สุด 210.5 มิลลิกรัม/กระถาง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยอย่างเดียวและการคลุกฟางร่วมกับปุ๋ย จากตารางที่ 7 ปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวสาลีดูดได้จากดิน(201.3 มิลลิกรัม/กระถาง) ต่ำกว่าทุกกรรมวิธีและไนโตรเจนจากฟางก็ต่ำกว่าในกรรมวิธีมีการใช้ปุ๋ยร่วมกับฟาง ทั้งนี้แสดงว่าการที่ฟางมี C/N ratio สูง ทำให้ไนโตรเจนจากดินถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการย่อยสลายฟาง (immobilization) ส่งผลให้ไนโตรเจนในดินน้อยลง (Vigil and Kissel, 1991) ไม่พอกับความต้องการของข้าวสาลี ข้าวสาลีเติบโตช้า ระบบรากแผ่กระจายได้ไม่มากพอที่จะดูดใช้ไนโตรเจนภายหลังจากที่ฟางปลดปล่อยออกมา(mineralization) ได้เต็มที่เหมือนกับที่มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับการคลุกฟาง ปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ร่วมกับฟางส่วนหนึ่งจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการย่อยสลายฟาง ส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้โดยข้าวสาลีในการสร้างความเจริญเติบโต จึงสามารถดูดใช้ไนโตรเจนที่ปลดปล่อยจากดินและจากฟางได้มากขึ้น แต่ในกรณีที่ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว ข้าวสาลีจะดูดไนโตรเจนจากปุ๋ยได้มากกว่าเมื่อใช้ร่วมกับฟาง และปุ๋ยไนโตรเจนบางส่วนจะตกค้างอยู่ในดินและเร่งให้ดินปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาให้ข้าวสาลีมากขึ้น ดูตารางที่ 19 ข้าวสาลีดูดไนโตรเจนจากดินได้สูงที่สุด(380.3 มิลลิกรัม/กระถาง) เมื่อมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเดียว ส่วนที่เหลือจะสูญหายไปเนื่องจากการชะล้าง และกิจกรรมของจุลินทรีย์

ในกรณีของถั่วเหลือง การดูดใช้ไนโตรเจนจากดินมีลักษณะเช่นเดียวกับข้าวสาลี แต่แหล่งของไนโตรเจนในถั่วเหลืองยังมีจากการตรึงไนโตรเจนจากอากาศเข้ามาเพิ่มเติม ทำให้ไนโตรเจนทั้งหมดที่ถั่วเหลืองดูดได้สูงกว่าข้าวสาลีมาก (ขนาดถังของข้าวสาลีเล็กกว่าถั่วเหลือง 2 เท่า ดังนั้นเมื่อต้องการเปรียบเทียบต้องคูณข้าวสาลีด้วย 2) เมื่อใช้ฟางอย่างเดียว ถั่วเหลืองดูดได้ 1,799 มิลลิกรัม/กระถาง ข้าวสาลีดูดได้ 210.5x2=421 มิลลิกรัม จากตารางที่ 19 นำมาสร้างกราฟแท่งเปรียบเทียบระหว่างข้าวสาลีและถั่วเหลือง จะเห็นว่าปริมาณไนโตรเจนที่ดูดได้จากดินฟางและปุ๋ยรวมกัน มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างข้าวสาลีและถั่วเหลือง ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ถั่วเหลืองได้รับสูงกว่าข้าวสาลีนั้นมาจากการตรึงโดยไรโซเบียม

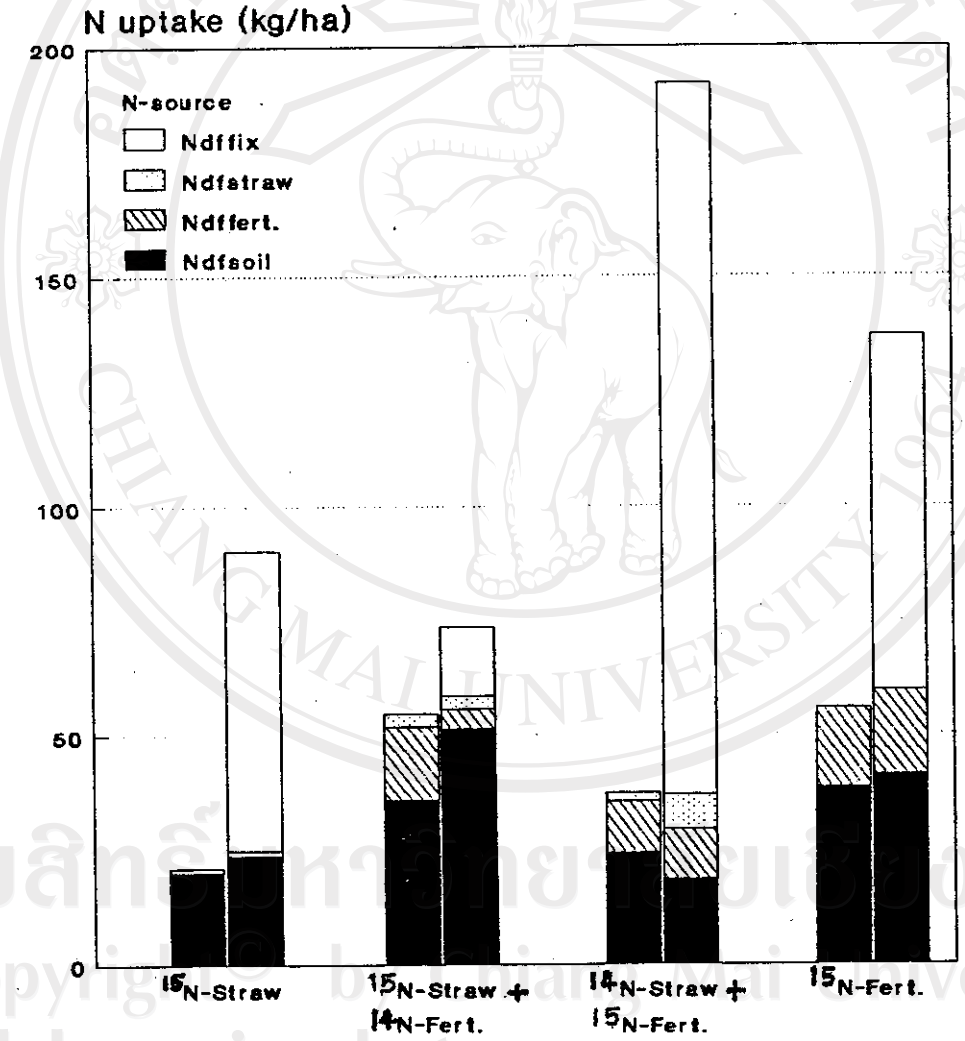
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ารางที่ 19 ปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวสาลีและถั่วเหลืองได้รับจากแหล่งต่าง ๆ กัน

รรมวิธี	ข้าวสาลี				ถั่วเหลือง				
	ฟาง	ปุ๋ย	ดิน	รวม	ฟาง	ปุ๋ย	ดิน	ตรึงจากอากาศ	รวม
	มิลลิกรัม/กระถาง				มิลลิกรัม/กระถาง				
^{15}N-ฟาง	9.2(4.4)	-	201.3	210.5	21.6(1.2)	-	469.4	1308(72.7)	1799
^{15}N-ฟาง ^{14}N-ปุ๋ย	26.9(4.9)	163.2*(29.9)	355.7	545.8	57.4(3.9)	83.7*(5.7)	102.7	300(20.4)	1468
^{14}N-ฟาง ^{15}N-ปุ๋ย	18.0*(4.9)	110.1(29.9)	240.1	368.2	149.3*(3.9)	216.6(5.7)	364.1	3097(80.9)	3827
^{15}N-ปุ๋ย	-	176.0(31.6)	380.3	556.3	-	375.3(13.8)	815.7	1536(56.3)	2727

* ได้จากการคำนวณโดยใช้ (%) ที่ได้จาก ^{15}N ปุ๋ยและฟาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 11 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและไนโตรเจนที่ข้าวสาลีและถั่วเหลืองดูดใช้ได้จากแหล่งต่าง ๆ

สรุปผลการทดลองใช้ฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนในการปลูกข้าวสาลีและถั่วเหลือง

1. การใช้ปุ๋ยร่วมกับฟางไม่ช่วยให้ฟางปลดปล่อยไนโตรเจนมากขึ้น

2. ปุ๋ยไนโตรเจนถูกทำให้ไม่เป็นประโยชน์มากขึ้นเนื่องจากการใช้ฟาง

3. การใช้ฟางร่วมกับปุ๋ยมีแนวโน้มที่จะทำให้ไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการเพาะปลูกสูงกว่าการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว

4. การใช้ฟางร่วมกับปุ๋ยทำให้ข้าวสาลีและถั่วเหลืองดูดใช้ไนโตรเจนได้มากกว่าการใช้ฟางเพียงอย่างเดียว แต่ไม่แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว

5. ไนโตรเจนที่ข้าวสาลีและถั่วเหลืองดูดใช้ได้จากดิน ฟาง และปุ๋ยรวมกันแล้วไม่แตกต่างกัน แต่ถั่วเหลืองดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดได้มากกว่าข้าวสาลีเพราะได้จากการตรึงไนโตรเจนที่ปมรากของถั่วเหลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved