บทที่ 5
อภิปรายผลการวิจัย

1. ผลผลิตข้าว

จากผลการทดลองพบว่าการใส่วัสดุอินทรีย์ที่สามารถหาได้ง่ายภายในท้องถิ่นสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวอินทรีย์ได้แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ทุกตำรับให้ผลผลิตข้าวที่ค่อนข้างสูง (786 ถึง 1,033 กก/ไร่) เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตข้าวนาปรังของจังหวัดขอนแก่นและภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีเพียง 472 และ 466 กก/ไร่ ตามลำดับและยังพบว่าสูงกว่าผลผลิตข้าวเฉลี่ยของโลก 619 กก/ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2545) ในตำรับทดลองที่ไถกลบตอซังเพียงอย่างเดียว (F1) ในชุดดินคล้ายพิมายให้ผลผลิต 908 กก/ไร่ และในชุดดินราชบุรีให้ผลผลิต 854 กก/ไร่ ซึ่งจัดว่าสูงกว่าผลผลิตข้าวนาปรังเฉลี่ยของประเทศไทย 678 กก/ไร่ (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2547) แม้นว่าตำรับนี้ไม่ได้รับวัสดุอินทรีย์อื่นเพิ่มเติมแต่อย่างใดแต่กลับให้ผลผลิตข้าวสูงได้ ดังนั้นพื้นที่นาบริเวณนี้ไม่จำเป็นที่จะต้องใส่ปุ๋ยในช่วงเวลาหนึ่งจนกว่าผลผลิตที่ได้รับจะลดต่ำลง จึงค่อยใส่วัสดุอินทรีย์อีกครั้งหนึ่ง

2. สภาพน้ำในแปลงนาและปริมาณน้ำที่ใช้ตลอดฤดูปลูก

สภาพน้ำในแปลงนาของแต่ละชุดดินไม่อาจแบ่งออกเป็น 2 แบบตามตำรับทดลอง เนื่องจากมีฝนตกในช่วงเมษายน ถึง พฤษภาคม และทางเขื่อนน้ำพองมีการปล่อยน้ำชลประทานในฤดูนี้มากกว่าปกติทำให้เกิดน้ำขังติดต่อกันในหลายโซน ส่งผลให้ปริมาณน้ำในแปลงนา (paddy-soil water) ในแต่ละตำรับทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ และยังส่งผลให้มีน้ำขังในแปลงนาค่อนข้างนานโดยเฉพาะชุดดินราชบุรี ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ใช้ตลอดฤดูปลูกของชุดดินราชบุรี 744 ลบ.ม./ไร่ สูงกว่าชุดดินคล้ายพิมาย 719 ลบ.ม./ไร่ และปริมาณน้ำที่ใช้ตลอดฤดูปลูกของทั้ง 2 ชุดดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยยิ่งสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.2) แต่พบว่าปริมาณน้ำที่ใช้ตลอดฤดูปลูกของทั้งการทดลองมีปริมาณน้อยกว่าของ พัชรีและคณะที่รายงานว่าปริมาณน้ำที่ใช้ตลอดฤดูปลูกของนาดำและนาหว่านน้ำตมของฤดูนาปรังปี 2547 อยู่ในช่วง 826 ถึง 885 ลบ.เมตร/ไร่ ทั้งนี้เนื่องจากตลอดฤดูปลูกในแปลงนาดำมีจำนวนวันน้ำขังสะสม 76 ถึง 87 วัน และนาหว่านน้ำตม 94 ถึง 100 วัน และมีระดับน้ำขังสูงประมาณ 0 ถึง 8 ซม. (พัชรีและคณะ, 2549) ซึ่งสูงกว่าที่พบในการทดลองนี้ (ภาพภาคผนวกที่ 5 และ 6)

3. อัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (MER) และปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูก (TME)

อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในช่วงแรกของทั้ง 2 ชุดดินได้รับอิทธิพลจากการไถกลบตอซังที่เหลือจากฤดูนาปีและวัสดุอินทรีย์ที่ใส่ให้ในช่วงก่อนหว่าน โดยผู้เขียนได้ประเมินน้ำหนักแห้งของตอซังที่ไถกลบนั้นของชุดดินคล้ายพิมายได้ 600 กก/ไร่ และชุดดินราชบุรีได้ 562 กก/ไร่ ซึ่งคล้ายกัน ลักษณะการขึ้นลง(fluctuate) ของอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนถูกกำหนดโดยสภาพความชื้นในดินอย่างชัดเจน ในดินที่ได้รับวัสดุอินทรีย์ในปริมาณที่เท่ากันแปลงที่ขังน้ำ (F2) มีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าแปลงที่มีดินแห้งบางช่วง (F3) ทุกกรณี(ภาพที่ 4.1 และ 4.2) ปริมาณน้ำในดินของชุดดินราชบุรีมีมากกว่าของชุดดินคล้ายพิมายอย่างแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.2) ส่งผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูก (TME) โดยในชุดดินราชบุรีมี TME 916 กรัมCH_4 /ตร.ม. มากกว่าชุดดินคล้ายพิมายที่มี TME 441 กรัมCH_4 /ตร.ม. (ตารางที่ 4.3) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ TME ในชุดดินคล้ายพิมายทุกตำรับที่มีการปล่อยให้ดินแห้งพบว่า TME ลดลงอย่างชัดเจนอยู่ในช่วง 29.0 ถึง 66.5 % ส่วนในแปลงที่มีน้ำขังนั้นพบว่าแปลงที่ใส่วัสดุอินทรีย์น้อยกว่าปล่อย TME น้อยลง 64.4 % ทั้งนี้เพราะสามารถจัดการน้ำเพื่อลดน้ำชลประทานได้ในชุดดินนี้ ส่วนในชุดดินราชบุรีนั้นไม่สามารถจัดการน้ำเพื่อลดปริมาณน้ำชลประทานการเปลี่ยนแปลงของ TME จึงมิได้ลดลง (F3, F4) ดังรายงานของ ปิยบุตร (2536) ที่รายงานว่าระดับน้ำที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนสูงขึ้นด้วย ในขณะที่อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนลดต่ำลงในช่วงที่มีการระบายน้ำออกเพราะดินมีการถ่ายเทอากาศที่ดีขึ้น จึงเป็นสภาพที่ไม่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน (methanogens)

เหตุการณ์ข้างต้นสามารถอธิบายได้ ปริมาณของวัสดุอินทรีย์ที่ใส่ให้แก่ดินเป็นตัวกำหนดอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนอย่างชัดเจน ดินนาที่ไถกลบตอซังแต่เพียงอย่างเดียวและขังน้ำตลอดฤดูปลูก (F1) ของทั้งสองชุดดินมี MER และ TME น้อยกว่าดินที่ได้วัสดุอินทรีย์อย่างอื่นด้วย โดยเฉพาะกับชุดดินราชบุรีซึ่งมีน้ำขังเกือบตลอดเวลามี MER จากการใส่วัสดุอินทรีย์หลายชนิด (F4) สูงที่สุด (ภาพที่ 4.2) และมี TME สูงที่สุดในการทดลองด้วย (ตารางที่ 4.3)

ในดินนาเมื่อดินถูกขังน้ำ ช่องว่างในดินจะถูกแทนที่ด้วยน้ำทำให้ดินถูกเปลี่ยนจากสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศดี (aerobic) เป็นสภาพน้ำขัง (submerged หรือ waterlogged) ก๊าซออกซิเจนที่อยู่ในดินและที่ละลายอยู่ในน้ำจะถูกจุลินทรีย์ดินกลุ่มที่ใช้ออกซิเจน (aerobes) ใช้จนหมดทำให้ดินกลายเป็นสภาพขาดก๊าซออกซิเจน(anaerobic) ในที่สุดมีแต่จุลินทรีย์ดินกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจน (strict anaerobes หรือ obligate anaerobes) เท่านั้นที่สามารถเจริญได้ ได้แก่ กลุ่มจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน (methanogens) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ได้พลังงานจากการใช้สารอินทรีย์คาร์บอนเป็นอาหาร (heterotroph) การไถกลบตอซังที่เหลือจากฤดูนาปีและการใส่วัสดุอินทรีย์ลงดินนาจึงเป็นการเพิ่มสารอินทรีย์คาร์บอนหรือสารอาหารทำให้ส่งเสริมการเกิดก๊าซมีเทนในนาน้ำขัง

ในสภาพน้ำขังปริมาตรของดินที่ขาดออกซิเจนเทียบได้กับลูกโป่งที่ขาดออกซิเจน (anaerobic volume fraction หรือ anaerobic balloon) ระดับ Eh จะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา oxidation – reduction ผ่านการเคลื่อนย้ายสารอาหารที่นำไปใช้ได้เลย ได้แก่ สารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ, แอมโมเนียมและไนเตรท (dissolved organic carbon, NH_4^+ และ NO_3^-) เข้าสู่หรือออกจากปริมาตรของดินที่ขาดออกซิเจน (อัตราการเกิดปฏิกิริยา oxidation – reduction) สำหรับปฏิกิริยา reduction จะขึ้นอยู่กับความเป็นประโยชน์ของสารอาหารในดิน และสำหรับปฏิกิริยา oxidation จะขึ้นอยู่กับสารอาหารที่อยู่ข้างนอกปริมาตรดินที่ขาดออกซิเจน โดยเฉพาะเมื่อปริมาตรของดินที่ขาดออกซิเจนมีมากขึ้น นั่นคือสารอาหารถูกเคลื่อนย้ายให้เข้ามาอยู่ในปริมาตรดินนี้ซักนำให้เกิดปฏิกิริยา reduction เพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซ เช่น N_2O, NO และ CH_4 เป็นต้น จะใช้เวลานานขึ้นในการแพร่ออกจากส่วนที่ขาดออกซิเจน (Li et al., 2004) เหล่านี้มีผลต่ออัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (MER) และปริมาณก๊าซมีเทนทั้งหมดที่ปล่อยตลอดฤดูปลูก (TME)

4. ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตข้าว (MPG)

จากการศึกษาและทดลองปัจจัยต่างๆ ในการเพิ่มผลผลิตโดยพัชรีและคณะ ระหว่างพ.ศ. 2542 ถึง 2547 จำนวน 10 ฤดูปลูก รวม 91 ตำรับ พบว่าดัชนีที่ใช้ในการพิจารณาการปล่อยก๊าซมีเทน ได้แก่ ปริมาณก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูก (total methane emission, TME) และปริมาณก๊าซมีเทนต่อหน่วยผลผลิตข้าว (methane emission per grain, MPG) ของแปลงที่ให้ผลผลิตข้าวสูงกว่าค่าเฉลี่ยของโลก 619 กก/ไร่ นั้น TME มีค่า 19.90 กรัมCH_4 /ตร.ม. (~20 กรัมCH_4 /ตร.ม.) และ MPG มีค่า 39.79 กรัมCH_4 /กก. ข้าว (~40 กรัมCH_4 /กก. ข้าว) (ข้อมูลยังไม่ได้ตีพิมพ์) ซึ่งในการทดลองนี้พบว่า ชุดดินคล้ายพิมายมี TME 441 กรัมCH_4 /ตร.ม. และ MPG 784 กรัมCH_4 /กก. ข้าว ส่วนชุดดินราชบุรีมี TME 916 กรัมCH_4 /ตร.ม. และ MPG 1,745 กรัมCH_4 /กก. ข้าว ซึ่งสูงกว่าพัชรีและคณะพบ โดยที่ในการทดลองนี้ TME ของนาข้าวอินทรีย์มากกว่าของนาที่ไม่ใช่ข้าวอินทรีย์ 14 – 81 เท่าและ MPG ของนาข้าวอินทรีย์มากกว่าของนาที่ไม่ใช่ข้าวอินทรีย์ 11 – 82 เท่า

5. ผลตอบแทนการลงทุน

จากการทดลองพบว่าต้นทุนการผลิตข้าวนาปรังปี 2548 พันธุ์ชัยนาท 1 ทั้ง 6 ตำรับทดลองอยู่ในช่วง 2,025 ถึง 4,360 บาท/ไร่ ซึ่งสูงกว่าต้นทุนการผลิตข้าวนาปรังของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (1,854 บาท/ไร่) และต้นทุนการผลิตข้าวนาปรังโดยเฉลี่ยของเทศในปีเพาะปลูก 2546/2547 เท่ากับ 1,919 บาท/ไร่ (สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, 2547) โดยต้นทุนการผลิตข้าวในตำรับ F1 ใกล้เคียงกับต้นทุนการผลิตข้าวนาปรังของภาคตะวันออกเฉียงเหนือและต่ำกว่าตำรับอื่นๆ ขณะที่ให้ผลผลิตข้าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ตำรับ

ที่ได้กำไรสูงสุดของทั้งสองชุดดินคือ F1 โดยในชุดดินคล้ายพิมายได้กำไร 4,331 บาท ส่วนในชุดดินราชบุรีได้กำไร 3,953 บาท ทั้งนี้ตำรับที่ใส่วัสดุอินทรีย์ (F4, F5 และ F6) ที่ใช้แกลบดำ (1,600 กก/ไร่) ปุ๋ยมูลวัว (290 กก/ไร่) และปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ด (230 กก/ไร่) ซึ่งต้องใส่ในปริมาณมากและสามารถผลิตเองได้ในท้องถิ่นจึงมีราคาค่อนข้างสูง จึงทำให้ต้นทุนการผลิตข้าวสูงกว่าตำรับอื่นๆ ส่งผลให้ได้ผลตอบแทนการลงทุนเพียง 1.79, 1.50 และ 1.81 ในชุดดินคล้ายพิมายซึ่งต่ำกว่า 3.14 (F1) และในชุดดินราชบุรีให้ผลตอบแทนการลงทุน 1.41, 1.26 และ 1.86 ซึ่งต่ำกว่า 2.95 (F1)

อย่างไรก็ตามการทดลองนี้นำต้นทุนผันแปร (variable cost) ที่เป็นเงินสดมาคำนวณเป็นต้นทุนรวมโดยไม่รวมต้นทุนคงที่ (fixed cost) ได้แก่ ค่าใช้ที่ดิน, ค่าเสียโอกาสการลงทุน, ค่าเสื่อมราคาเครื่องมือและอุปกรณ์ และค่าแรงงานในครอบครัว เป็นต้น ประกอบกับราคาข้าวที่เกษตรกรขายได้ ณ ไร่นาในฤดูนาปรังปี 2548 (7 บาท/กก) สูงกว่าปี 2547 และ 2546 (6 และ 4 บาท/กก) จึงส่งผลให้ผลตอบแทนโดยทั่วไปทั้งการทดลองอยู่ในระดับต่ำ ถึง ปานกลาง

ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าตำรับ F1 ซึ่งมีต้นทุนการผลิตต่ำ สามารถให้ผลผลิตข้าวและผลตอบแทนการลงทุนที่สูง มีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนต่ำ จึงน่าถือเป็นแนวทางในการเพิ่มผลผลิตข้าวและสามารถลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวลงได้ อีกทั้งยังเป็นการใช้วัสดุอินทรีย์ที่เหลือใช้จากแปลงนาให้เกิดประโยชน์และยังลดการเผาฟางรวมทั้งตอซังข้าว ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษอีกทางหนึ่งด้วย

6. ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

ในการทดลองนี้ได้วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชุดดินคล้ายพิมายหนึ่งครั้งเท่านั้นที่ 70 วันหลังหว่าน (ระยะออกดอก) โดยพบว่าทั้งการทดลองดินมีความชื้นถึงเปียก (ไม่มีน้ำผิวดิน) และเป็นความชื้นที่ไม่ได้เป็นไปตามตำรับทดลอง (F1 ถึง F6) และมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง – 55.17 ถึง 130.95 กรัมC/ตร.ม./วัน (ภาพที่ 4.3) โดยมีค่าความแปรปรวนระหว่างซ้ำของแต่ละตำรับทดลองสูงมาก Inubushi et al. (2003) ได้รายงานว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกจากดินพรุ (tropical peat land) ในทางตอนใต้ของรัฐกลิมันตัน ประเทศอินโดนีเซีย มีค่าอยู่ในช่วง 0.96 ถึง 9.12 กรัมC/ตร.ม./วัน อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากแปลงทดลองของผู้เขียนสูงกว่าที่พบในดินพรุ ทั้งนี้เพราะวัสดุอินทรีย์ที่ใส่ในการทดลองนี้เป็นพวกที่สลายตัวได้ง่าย ในขณะที่ดินพรุเป็นวัสดุอินทรีย์ที่ผ่านการสลายตัวมาแล้ว

ณ วันและเวลาที่เก็บตัวอย่างก๊าซนั้นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมีทั้งค่าตัวเลขที่ติดลบและตัวเลขที่เป็นบวก สามารถอธิบายได้ว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกจากดินนามีพลวัตสูง ทั้งนี้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้เป็นผลลัพธ์จากอัตราการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ณ เวลานั้นนั่นเอง

ทั้งนี้การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเป็นบวกเกิดจากกระบวนการทำลายหรือย่อยสลายอินทรียวัตถุ (catabolic pathway) กล่าวคือเป็นกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) ของจุลินทรีย์ดินซึ่งเกิดควบคู่กับปฏิกิริยารีดักชั่นของสารอนินทรีย์ที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบนั่นเอง ซึ่งเห็นได้ชัดในแปลงที่ได้รับปุ๋ยมูลวัวและปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ด (F5 และ F6) ในกรณีที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ติดลบเกิดจากการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสร้าง (anabolic pathway) อันได้แก่ การเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ดินและมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ดิน และการสังเคราะห์แสงของต้นข้าว ซึ่งเห็นได้ชัดในแปลงที่ได้รับฟางข้าวและแกลบดำ (F1, F2, F3 และF4)

Miura and Kanno (1997) กล่าวว่า 5 ถึง 9 % ของปริมาณคาร์บอนในฟางข้าวเป็นตัวกลางในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ

7. ปริมาณการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O)

ในการทดลองนี้สามารถวัดปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์ในชุดดินคล้ายพิมายเท่านั้น โดยพบว่าทั้งการทดลองดินมีความชื้นถึงเปียก (ไม่มีน้ำผิวดิน) และมีปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์อยู่ในช่วง - 2.0 ถึง 4 มก. N/ตร.ม./วัน (ภาพที่ 4.4) และมีค่าความแปรปรวนระหว่างซ้ำของแต่ละตำรับทดลองสูงมาก Inubushi et al. (2003) ได้รายงานว่าปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่ปล่อยออกจาก tropical peat land ในทางตอนใต้ของรัฐกลิมันตัน ประเทศอินโนนีเซีย มีค่าอยู่ในช่วง – 1.20 ถึง 1.08 มก.N/ตร.ม./วัน ซึ่งไม่ต่างมากจากที่พบในการทดลองของผู้เขียน

ผลของก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่สามารถวัดได้ (detectable) ในการทดลองนี้มีทั้งค่าเป็นบวกและค่าเป็นลบ แสดงว่าก๊าซไนตรัสออกไซด์ในดินมีพลวัตสูง ปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์เป็นบวกคาดว่าเกิดจากกระบวนการ nitrification และ denitrification ในทางตรงกันข้ามปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์เป็นลบอธิบายได้ด้วยเหตุผลสามประการ 1)ไม่มีไนเตรทให้แปรไปเป็นไนตรัสออกไซด์ ทั้งนี้เพราะสภาพดินและความชื้นในดินในขณะนั้นไม่เอื้อต่อการเกิดกระบวนการ nitrification จึงไม่มีกระบวนการ denitrification ตามมา 2)ไนเตรทที่มีปริมาณน้อยถูกพืชดูดใช้ และ 3)แอมโมเนียมถูกตรึงอยู่ในลึบของอนุภาคดินเหนียว (ammonium fixation)

การใส่วัสดุอินทรีย์เหลือใช้ลงไปในแปลงนาจะเป็นการส่งเสริมอัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุและไนโตรเจน(Yang et al., 2003) โดยที่ 1.16 ถึง 1.50 % ของปริมาณไนโตรเจนในฟางข้าวเป็นสารเริ่มต้นในการเกิดและปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ (Miura and Kanno,1997)

การขังน้ำใหม่อีกครั้งในดินพรุส่งผลให้ก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำไม่สามารถถูกปลดปล่อยได้ เนื่องจากถูก denitrified ไปเป็นก๊าซไนโตรเจน (Inubushi et al., 2003) ส่วนการลดความเป็นประโยชน์ของก๊าซออกซิเจนในดินป่าไม้ที่เป็นดินเหนียวจะลดปริมาณการ

ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ในขณะเดียวกันจะเพิ่มปริมาณการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (Vor et al., 2003)

8. ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในดินนา

8.1 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดิน (total organic C)

ดินที่ใช้ศึกษานี้เป็นดินนาชลประทานที่ใช้ทำนาปีละ 2 ครั้ง มานาน 40 ปี (สำนักชลประทานที่ 4, 2540) มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ทำการวิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 8.11 ถึง 15.32 กรัม/กก (Zhang and He, 2004) ซึ่งเป็นค่าที่คล้ายกับดินนาชลประทานในภาคใต้ของจีนที่มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดอยู่ระหว่าง 12.8 ถึง 17.6 กรัม/กก ทั้งนี้ดินทั้งสองการทดลองเป็นดินนาชลประทานที่มีการหมุนเวียนอินทรียวัตถุ (ตอซัง) ลงไปในดินอย่างสม่ำเสมอ ในการทดลองของผู้เขียนได้ใส่อินทรียวัตถุลงไปในแปลงนาก่อนการปลูกข้าวและสังเกตเห็นฟองก๊าซเล็กๆ (ebullition) เกิดขึ้นประมาณ 5 วันหลังใส่อินทรียวัตถุ แสดงว่าอินทรียวัตถุนั้นมีองค์ประกอบที่สลายตัวง่ายและรวดเร็ว (decomposable organic carbon) พร้อมทั้งยังเคลื่อนที่ได้ (labile) ซึ่งสารอินทรีย์ labile จะถูกใช้อย่างรวดเร็วและเหลือสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ (non-labile) ตกค้างซึ่งมีปริมาณน้อย ทำให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินที่วิเคราะห์ได้มีค่าต่ำคล้ายกับก่อนใส่อินทรียวัตถุ

Zhang and He (2004) ได้อธิบายว่าสารอินทรีย์ labile ได้สลายตัวเป็นก๊าซและถูกชะออกจากดินนั้นเป็นอินทรีย์คาร์บอนที่สูญหายออกจากดินมีปริมาณใกล้เคียงกับคาร์บอนในอินทรียวัตถุที่ใส่ลงไปในดิน ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินที่วิเคราะห์ได้นี้เป็นผลลัพธ์ของสมดุลระหว่างสารอินทรีย์คาร์บอนที่ใส่เข้าไปกับสารอินทรีย์คาร์บอนที่สูญเสียจากการสลายตัวหรือจากการแปรรูป โดยมีอินทรีย์คาร์บอนที่เสถียรคงอยู่ในรูปของฮิวมิกเพียง 1 % ของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่วัดได้ (Robert, 2001; Maie et al., 2001)

อินทรียวัตถุที่ใส่ลงไปในนามีลักษณะเป็นชิ้น (particulate) จะถูกกระตุ้นให้สลายตัวง่ายขึ้นเมื่อถูกไถพรวน ทำให้ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ labile สลายตัวได้อย่างรวดเร็วและมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับกระบวนการ reduction และการเกิดและปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO_2, CH_4, N_2O) อีกด้วย(Cambardella, 1998 ; Gregorich et al., 1996) ซึ่งในการทดลองนี้ผู้เขียนได้ทำการวัดเฉพาะก๊าซมีเทน (CH_4)

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินที่วัดได้ในการทดลองนี้พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินที่ระดับ 0 ถึง 5 ซม.มีปริมาณมากกว่าที่ระดับ 5 ถึง 10 ซม. จากปรากฏการณ์นี้อนุมานได้ว่าไม่มีการเคลื่อนย้ายอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายน้ำได้จากดินบนลงมาดินล่างโดย percolation water หากมีก็น้อยมาก (ถ้ามีการเคลื่อนย้ายปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินที่ระดับ 5 ถึง 10 ซม. จะต้องมีปริมาณมากกว่าที่ระดับ 0 ถึง 5 ซม.) ทั้งนี้ระดับ

น้ำใต้ดินสูงเกินกว่าระดับผิวดินและสภาพน้ำในแปลงนาเป็นน้ำขังแบบนิ่งเกือบตลอดฤดูปลูก Kimura (2001) กล่าวว่าอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายน้ำได้จะอยู่ในรูป bicarbonate

อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของหลายๆ ปัจจัย โดยในแหล่งกักเก็บนี้จะมีชิ้นส่วนอินทรีย์และปริมาณมวลชีวภาพคาร์บอน ซึ่งถูกควบคุมโดยการจัดการอินทรียวัตถุ เช่น การใส่อินทรียวัตถุเข้าไปในดิน การไถพรวนดิน การคลุมหน้าดิน เนื้อดิน ชนิดของแร่องค์ประกอบดิน และสภาพภูมิอากาศ

8.2 มวลชีวภาพคาร์บอนของจุลินทรีย์ดิน (microbial biomass C)

การทดลองนี้ได้ใส่อินทรียวัตถุชนิดต่างๆ ลงไปในดิน เช่น ฟางข้าว แกลบดำ ปุ๋ยมูลวัวและปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ดพร้อมทั้งทำการไถกลบตอซังก่อนการปลูกข้าวพบว่าปริมาณมวลชีวภาพคาร์บอนของจุลินทรีย์ดินที่ทำการวิเคราะห์ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.03 ถึง 0.70 กรัม/กก ดิน ซึ่งกว้างกว่าของ Bhattacharyya et al. ที่วิเคราะห์ได้ 0.175 ถึง 0.506 กรัม/กก ดิน ในดินที่ใส่ปุ๋ยหมักเทศบาลและปุ๋ยมูลวัวอย่างใดอย่างหนึ่ง (Bhattacharyya et al., 2005) และต่ำกว่าของ Bird et al. ที่วิเคราะห์ได้ 1.60 ถึง 2.11 กรัม/กก ดิน ในแปลงที่เผาฟางและไถกลบตอซังเพียงอย่างเดียว (Bird et al., 2003) โดยในการทดลองนี้ดินก่อนการทดลอง (-45 DAB) อยู่ในสภาพดินแห้งทำให้มีมวลชีวภาพคาร์บอนของจุลินทรีย์ดินสูงกว่าในระหว่างที่มีการปลูกข้าว ทั้งนี้เพราะดินในระหว่างที่มีการปลูกข้าวดินอยู่ในสภาพน้ำขังหรือดินเปียกเกือบตลอดฤดูปลูก มวลชีวภาพคาร์บอนของจุลินทรีย์ดินจึงต่ำเมื่ออยู่ในสภาพน้ำขังซึ่งเป็นข้อจำกัดในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ดิน และนอกจากจะอยู่ในสภาพน้ำขังแล้วต้นข้าวและจุลินทรีย์ดินยังแข่งขันกันเพื่อธาตุอาหารอีกด้วย (Bhattacharyya et al., 2005)

การใส่อินทรียวัตถุจากภายนอกจะไปเพิ่มปริมาณมวลชีวภาพคาร์บอนของจุลินทรีย์ดิน ซึ่งมวลชีวภาพคาร์บอนของจุลินทรีย์ดินมีปริมาณ 1 ถึง 5 % ของอินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter, SOM) หรือ 2 ถึง 4% ของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด และมวลชีวภาพคาร์บอนของจุลินทรีย์ดินยังเป็นแหล่งกักเก็บของธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสให้แก่พืช (Maie et al., 2001 ; Inubushi and Wada, 1988 ; Jenkinson and Ladd, 1981) เช่นเดียวกับ Bhattacharyya et al. (2005) ที่รายงานว่าดินที่ได้รับอินทรียวัตถุ เช่น มูลวัวที่ผ่านการย่อยสลาย (decomposed cow manure) มีสัดส่วนมวลชีวภาพคาร์บอนของจุลินทรีย์ดินต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดสูง เพราะว่าในมูลวัวที่ผ่านการย่อยสลายมีสารอินทรีย์ที่เสริมสร้างสิ่งมีชีวิต (biogenic organic material) เช่น คาร์บอนที่ละลายน้ำได้ (water soluble organic carbon) คาร์โบไฮเดรต และไนโตรเจนที่แปรรูปง่าย (minerallizable nitrogen) ซึ่งมวลชีวภาพคาร์บอนของจุลินทรีย์ดินเป็นส่วนที่สลายตัวง่ายและรวดเร็ว และปริมาณของมวลชีวภาพคาร์บอนของจุลินทรีย์ดินจะเปลี่ยนแปลงได้ง่ายมากในช่วงที่มีการเพาะปลูก ทั้งนี้เพราะว่ามวลชีวภาพคาร์บอนของจุลินทรีย์ดินตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อการจัดการดิน

ส่วนที่เป็นมวลชีวภาพคาร์บอนของจุลินทรีย์ดินต่ออินทรีย์คาร์บอนในดิน (microbial biomass C/soil organic C, MBC/SOC) ของการทดลองนี้มีค่าอยู่ในช่วง 0.0053 ถึง 0.0539 (0.53 ถึง 5.39 %) คล้ายกับที่ Inubushi et al. (2005) พบในดิน non Andisol (ดินที่ไม่ได้กำเนิดจากเถ้าภูเขาไฟ) มีค่าอยู่ในช่วง 0.0014 ถึง 0.0538 (0.14 ถึง 5.38 %)

8.3 ปริมาณคาร์บอนในกรดฮิวมิก (humic acid-C) และกรดฟัลวิก (fulvic acid-C)

จากการทดลองพบว่าปริมาณคาร์บอนในกรดฮิวมิกของทั้งการทดลองอยู่ในช่วง 1.01 ถึง 3.79 กรัม/กก และปริมาณคาร์บอนในกรดฟัลวิกของทั้งการทดลองอยู่ในช่วง 2.16 ถึง 3.87 กรัม/กก ซึ่งมีค่าสูงกว่าของ Lei (1998) เล็กน้อยซึ่งวิเคราะห์ในดินนาของประเทศจีนได้อยู่ในช่วง 0.28 ถึง 1.50 กรัม/กก และ 0.60 ถึง 3.60 กรัม/กก ตามลำดับ และ Lei (1998) ได้อธิบายว่าคุณสมบัติของอินทรียวัตถุในธรรมชาติมีความแปรปรวนไม่เพียงแต่คุณสมบัติเชิงปริมาณเท่านั้น แต่ยังมีความแตกต่างเชิงคุณภาพอีกด้วยซึ่งขึ้นกับชนิดของดิน ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับดินในบริเวณเดียวกันที่ไม่ได้ขังน้ำ คุณสมบัติเหล่านี้ได้แก่ ปริมาณกรดฮิวมิก, กรดฟัลวิก และสัดส่วนระหว่างกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิก (H/F ratio) ในดินชั้นไถพรวนสัดส่วนของกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิกจะมีค่าสูงกว่าก่อนไถพรวน ซึ่งในฤดูกาลที่มีน้ำขังและมีการระบายน้ำออกจะส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินในการสลายตัวของอินทรียวัตถุและเกิดกระบวนการสร้างกรดฮิวมิก (humification) และ Lei (1998) ยังพบว่าสัดส่วนระหว่างกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิกของดินนาประเทศจีนในชั้นไถพรวนอยู่ในช่วง 0.47 ถึง 1.67 ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองนี้ที่สัดส่วนระหว่างกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิกของทั้งการทดลองอยู่ในช่วง 0.31 ถึง 1.54 ในการทดลองนี้พบว่าผลรวมของปริมาณคาร์บอนในกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิกมีค่าประมาณ 39 - 50 % ของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดิน

9. ปริมาณธาตุอาหารพืชในดินนา

9.1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (total N)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินของดินนาในภาคตะวันออกเฉียงเหนืออยู่ในช่วง 0.08 ถึง 0.88 กรัม N/กก (Yoshioka, 1987) วัสดุอินทรีย์ที่ใส่ลงไปในดิน (ตารางภาคผนวกที่ 2ค) มีปริมาณต่ำและการวิเคราะห์ดินในการทดลองนี้ได้ร่อนดินผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. ทำให้เศษวัสดุอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ถูกร่อนออก ส่งผลให้ค่าปริมาณไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ก่อนการทดลองและหลังใส่อินทรียวัตถุมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าประมาณนี้ตลอดฤดูปลูก ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินของทั้งการทดลองอยู่ในช่วง 0.28 ถึง 1.56 กรัม N/กก ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับของ Lei (1998) ที่ทำการวิเคราะห์ในดินนาของประเทศจีนได้ 0.41 ถึง 1.40 กรัม N/กก และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดก่อนใส่วัสดุอินทรีย์ของชุดดินร้อยเอ็ดมีค่า 0.38 กรัม N/กก และของชุดดินพิมายมีค่า 0.83 กรัม N/กก (พัชรี, 2542) และจากการทดลองของผู้เขียนพบว่า

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินของทั้งสองระดับ (0 ถึง 5 และ 5 ถึง 10 ซม.) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 4.13 และ 4.14) ทั้งนี้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินนาที่วัดได้ตลอดฤดูปลูกเป็นผลลัพธ์ของการสูญเสียไนโตรเจนอันได้แก่ 1)การดูดใช้ธาตุอาหารของพืช (plant uptake) 2)กระบวนการ nitrification - denitrification และ 3)การชะ (leaching) และการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนจาก 1)กระบวนการตรึงไนโตรเจนทางชีววิธี (biological nitrogen fixation from atmosphere) 2)มวลชีวภาพไนโตรเจน (microbial biomass N) และ 3)มวลชีวภาพของพืชน้ำในระบบน้ำขัง (aquatic biomass living in flood water system) (De Datta and Patrick, 1983) ซึ่ง Zhang and He (2004) กล่าวว่าการสะสมของไนโตรเจนในดินชั้นไถพรวนเป็นผลเนื่องจากปริมาณการใส่เศษซากพืช, อัตราการย่อยสลายของเศษซากพืชและการตรึงไนโตรเจนในระบบการปลูกข้าว

Patrick and Wyatt (1964) รายงานว่าโดยทั่วๆ ไปอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนในดินนาน้ำขังจะรวดเร็วกว่าในสภาพดินไร่ ทั้งนี้เพราะจุลินทรีย์ที่อยู่ในสภาพน้ำขังซึ่งเป็นประเภท anaerobe ใช้ไนโตรเจนในการสร้างเซลล์น้อยกว่าจุลินทรีย์ประเภท aerobe ซึ่งอยู่ในดินสภาพไร่ และ Sircar et al. (1940) รายงานว่าในสภาพดินขังน้ำการปลดปล่อยไนโตรเจนจากตอซังข้าวที่หมักจะเกิดขึ้นได้แม้ว่าจะมีไนโตรเจนในตอซังข้าวเพียง 0.45 ถึง 0.5 %

9.2 แอมโมเนียมที่เป็นประโยชน์ (available NH_4^+)

การทดลองนี้ได้เก็บตัวอย่างดินสดมาวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียมที่เป็นประโยชน์ปริมาณแอมโมเนียมที่เป็นประโยชน์ทั้งการทดลองในสองชุดดิน อยู่ในช่วง 1.73 ถึง 25.90 มก.N/กก คิดเป็น 0.6 - 1.7 % ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน โดยดินที่ระดับ 0 ถึง 5 ซม. มีปริมาณแอมโมเนียมที่เป็นประโยชน์มากกว่าดินที่ระดับ 5 ถึง 10 ซม.และไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากใส่วัสดุอินทรีย์ คล้ายกับงานทดลองของศุภมาศและคณะ (2527) ที่รายงานว่าแอมโมเนียมที่วิเคราะห์ได้จากชุดดินรังสิตและชุดดินร้อยเอ็ดที่ใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวอยู่ในช่วง 5 ถึง 30 มก.N/กก โดยดินบน (0 ถึง 2 ซม.) มีปริมาณแอมโมเนียมมากกว่าดินล่าง (5 ถึง 10 ซม.) และแอมโมเนียมมีปริมาณลดลงหลังจากระยะข้าวแตกกอจนถึงระยะเก็บเกี่ยวทั้งสองชุดดิน ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นในดินอยู่ในสภาพชื้นจนถึงน้ำขังตลอดฤดูปลูก อย่างไรก็ตามในบางช่วงของการเจริญเติบโตที่ผิวหน้าดินเกิดชั้นออกซิไดซ์ (oxidize layer) ทำให้เกิดกระบวนการ nitrification - denitrification ควบคู่กับการสลายตัวของอินทรียวัตถุ ทำให้เกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนเป็นการสูญเสียธาตุไนโตรเจนออกจากดิน (Dei, 1970) ส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนียมที่เป็นประโยชน์มีค่าต่ำกว่าก่อนเริ่มการทดลอง พัชรี (2542) รายงานว่าในขณะที่ดินนามีน้ำน้อยลง ดินได้รับออกซิเจนจะส่งเสริมให้ปริมาณไนเตรทในดินเพิ่มขึ้น และขณะเดียวกันปริมาณแอมโมเนียมในดินจะลดลงแสดงว่าเกิดกระบวนการ nitrification ในการทดลองนี้คาดว่าไม่มีการสูญเสียแอมโมเนียมโดยการชะล้าง

(leaching) แต่จะสูญเสียโดยกระบวนการ denitrification ทั้งนี้วัดปริมาณไนตรัสออกไซด์ได้ – 2 ถึง 4 มก.N/ตร.ม./วัน

Takai and Uehara (1973) รายงานว่ากิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่ม nitrifying – denitrifying จะเกิดได้ดีที่สุดในชั้นรอยต่อระหว่าง oxidized และ reduced layer แอมโมเนียมที่อยู่ใน oxidized layer ซึ่งมาจากการสลายตัวของอินทรีย์สารจะถูก oxidized ไปเป็นไนเตรทแล้วซึมลงไปด้านล่าง จึงถูก denitrified ไปเป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์และก๊าซไนโตรเจน โดย Bremner and Shaw (1985) พบว่าอิทธิพลของวัสดุเหลือใช้อินทรีย์ต่อกระบวนการ denitrification ผันแปรไปตามความยากง่ายของการสลายตัวของสารอินทรีย์นั้น นอกจากนี้การขังน้ำและการระบายน้ำออกจากดินนาจะส่งเสริมการสูญเสียไนโตรเจนโดยกระบวนการ nitrification – denitrification (Patrick et al., 1964) และปัจจัยที่ควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์พวกนี้ที่สำคัญคือ อุณหภูมิและปริมาณของอินทรีย์สารในดิน (Focht, 1979)

นอกจากนั้นแอมโมเนียมในดินนาสามารถถูกใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมโดยจุลินทรีย์ดินกลุ่มต่างๆ แปรรูปไนโตรเจนให้ไปอยู่ในเซลล์ (N – immobilization) ในการทดลองนี้ไม่ได้วิเคราะห์หามวลชีวภาพไนโตรเจนของจุลินทรีย์ดิน แต่ได้ทำการวิเคราะห์หามวลชีวภาพคาร์บอนของจุลินทรีย์ดินเท่านั้น

9.3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P)

การทดลองนี้เก็บตัวอย่างดินมาตากให้แห้งแล้ววิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินนาภาคกลางอยู่ในช่วง 4.3 ถึง 23.8 มก/กก (Pooroongruang et al., 2002) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินนาในภาคตะวันออกเฉียงเหนืออยู่ในช่วง 1 ถึง 43 มก/กก (Yoshioka, 1987) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของทั้งการทดลองอยู่ในช่วง 0.13 ถึง 207.2 มก/กก การที่ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของการทดลองนี้สูงกว่าดินนาทั่วไปเนื่องจากก่อนการทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสตกค้างอยู่ในดิน ซึ่งผู้เขียนพบว่าในฤดูนาปรังชุดดินราชบุรีมีปริมาณฟอสฟอรัสตกค้าง 207.2 มก/กก เป็นผลจากการใส่ปุ๋ยสูตร 16 – 20 – 0 (ใส่ 2 ครั้ง รวมเป็นอัตรา 60 กก/ไร่) ในฤดูนาปี พ.ศ. 2547 กรรณิกา (2527) ได้วัดปริมาณฟอสฟอรัสที่ตกค้างในแปลงเกษตรกรที่ใส่ปุ๋ยสูตร 16 – 20 – 0 (ไม่ทราบอัตราที่ใส่) และพบว่าในดินนาเนื้อหยาบ ชุดดินจันทึก ชุดดินพิมาย และชุดดินร้อยเอ็ดมีค่าฟอสฟอรัสที่ตกค้าง 238.8, 122.5 และ 145.0 มก/กก ตามลำดับ และในดินนาเนื้อละเอียด ชุดดินรังสิต ดินรังสิตกรดจัด และชุดดินนครปฐมมีค่าฟอสฟอรัสที่ตกค้าง 79.4, 88.2 และ 70.8 มก/กก ตามลำดับ

ในการทดลองนี้ใส่เพียงวัสดุอินทรีย์เท่านั้น ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี จากการทดลองของผู้เขียนพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ทั้งระดับ 0 ถึง 5 และ 5 ถึง 10 ซม. ในชุดดินคล้ายพิมายและชุดดินราชบุรีมีปริมาณใกล้เคียงกันและลดลงตลอดการทดลอง วิศิษฐ์และคณะ (2518) พบว่าการดูดยึดฟอสฟอรัสในดินนาที่มีดินเหนียวมากกว่า 25 % สามารถตรึง

ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้เกือบทั้งหมดภายในเวลา 2 สัปดาห์ ส่วนดินที่มีปริมาณดินเหนียวน้อยกว่า 25 % แม้ว่าจะขังน้ำไว้ได้นานถึง 30 วันก็ไม่สามารถตรึงฟอสฟอรัสไว้ได้หมด โดยชุดดินราชบุรีที่ผู้เขียนทำการทดลองนี้มีปริมาณดินเหนียว 46 % พบว่ามีการลดลงของฟอสฟอรัสจากเริ่มการทดลองถึงวันก่อนปลูกอย่างชัดเจนและลดลงอย่างช้า ๆ ไปจนถึงวันเก็บเกี่ยว จึงคาดว่าเกิดกระบวนการตรึงฟอสฟอรัส ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Pooroongruang et al. (2002) ที่รายงานว่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินนาภาคกลางที่วัดวันปลูกและระยะแตกกอมีปริมาณสูงกว่าระยะออกดอกและวันเก็บเกี่ยว โดยอธิบายว่าหลังขังน้ำเป็นเวลานานความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสจะลดลงเนื่องจากกระบวนการตรึงฟอสฟอรัส (Patrick and Mahapatra, 1968) ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่วิเคราะห์ได้มีค่าลดลงตามอายุข้าวที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในวัสดุอินทรีย์ที่ใส่ลงดินไม่ได้มากมายอะไร แต่ปริมาณฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ทางเคมีนั้นอยู่ในรูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ จึงทำให้ไม่เห็นความเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่วิเคราะห์ได้ในดินทดลองนี้ ซึ่งพบในทำนองเดียวกันกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

9.4 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K)

ดินนาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในช่วง 11.7 ถึง 74.1 มก/กก (Yoshioka, 1987) ปัทมา (2532) พบว่าปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในชุดดินร้อยเอ็ดอยู่ในช่วง 7 ถึง 23 มก/กก กรรณิกา (2527) พบว่าปริมาณโพแทสเซียมที่ตกค้างในแปลงเกษตรกรที่ใส่ปุ๋ยสูตร 16 – 20 – 0 (ไม่ทราบอัตราที่ใส่) ในดินนาเนื้อหยาบ ชุดดินจันทึก ชุดดินพิมาย และชุดดินร้อยเอ็ดมีค่า 18.0, 56.0 และ 12.0 มก/กก ตามลำดับ และในดินนาเนื้อละเอียด ชุดดินรังสิต ดินรังสิตกรดจัด และชุดดินนครปฐมมีค่า 180.0, 95.0 และ 92.5 มก/กก ตามลำดับ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ก่อนการทดลองนี้ในชุดดินคล้ายพิมายมีค่า 179.80 มก/กก และในชุดดินราชบุรีมีค่า 277.50 มก/กก คาดว่าเป็นผลตกค้างจากฤดูนาปี พ.ศ. 2547 ซึ่งปริมาณโพแทสเซียมสามารถตกค้างได้สูงถึง 295 มก/กก หากได้รับปุ๋ยสูตร 16 – 10 – 10 (ไม่ทราบอัตราที่ใส่) (กรรณิกา, 2527)

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินนาชุดคล้ายพิมายตลอดทั้งการทดลองอยู่ในช่วง 37.53 ถึง 198.22 มก/กก โดยที่ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในชุดดินคล้ายพิมายมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากขังน้ำชลประทานในช่วงก่อนปลูก ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูญเสียไปกับ deep percolation water หลังจากนั้นโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีปริมาณลดลงเล็กน้อยจนถึงวันเก็บเกี่ยว (114 DAB, ภาพที่ 4.19) เนื่องจากถูกต้นข้าวดูดใช้

ส่วนในชุดดินราชบุรีมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ตลอดทั้งการทดลองอยู่ในช่วง 180.47 ถึง 365.23 มก/กก โดยมีปริมาณใกล้เคียงกับก่อนการทดลองและคงที่จนถึง

ก่อนเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 4.20) เนื่องจากมีโพแทสเซียมตกค้างก่อนเริ่มการทดลอง (277.50 มก/กก) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่สูงกว่า 277.50 มก/กก อาจเป็นผลเนื่องจากได้รับโพแทสเซียมจากน้ำไหลบ่าและปุ๋ยเคมีจากแปลงข้างเคียง

10. การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาของดิน (pH)

ก่อนการทดลอง (-45 DAB) พบว่าในชุดดินคล้ายพิมายมีค่าปฏิกิริยาของดินลดลงจาก 6.8 ไปเป็น 4.0 ถึง 4.6 ในวันเก็บเกี่ยว (114 DAB) ทั้งในสองระดับความลึก 0 ถึง 5 และ 5 ถึง 10 ซม. ส่วนชุดดินราชบุรีลดลงจากก่อนการทดลอง (-45 DAB) จาก 5.1 ไปเป็น 4.1 ถึง 4.4 ในวันเก็บเกี่ยว (114 DAB) ทั้งในสองระดับความลึก 0 ถึง 5 และ 5 ถึง 10 ซม. และไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 4.21 และ 4.22) จะเห็นว่าค่าปฏิกิริยาของดินเป็นกรดอ่อนตลอดการทดลอง เพราะเป็นการวัดปฏิกิริยาของตัวอย่างดินที่ถูกตากแห้ง ไม่ได้เป็นการวัดในแปลงทดลองซึ่งส่วนใหญ่ดินในแปลงทดลองจะอยู่สภาพเปียกถึงน้ำขังตลอดฤดูปลูก ผู้เขียนคาดว่าหากวัดในแปลงทดลองจริงดินอยู่ในสภาพชื้นถึงมีน้ำขัง ค่าปฏิกิริยาของดินจะเปลี่ยนแปลงในทางเพิ่มขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นกลาง เนื่องจากเกิดกระบวนการรีดักชั่นโดยที่ H^+ ถูกใช้เป็นตัวรับอิเลคตรอน ถ้าหากความชื้นในดินอยู่ในสภาพแห้งปฏิกิริยาของดินจะลดลงเนื่องจากเกิดกระบวนการออกซิเดชั่นโดย H^+จะถูกปล่อยออกมาทำให้ค่าปฏิกิริยาดินมีค่าเป็นกรด

11. การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยารีดอกซ์ (Eh)

ค่าปฏิกิริยารีดอกซ์ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง -128 ถึง 367 มิลลิโวล์ท ซึ่งสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าปฏิกิริยารีดอกซ์เพิ่มขึ้นหรือลดลงมาจากการให้น้ำ การขึ้นลงของระดับน้ำขังและการที่ฝนตก โดยในช่วงแรกพบว่าปฏิกิริยารีดอกซ์มีค่าติดลบต่ำที่สุดในการทดลองนี้ - 128 มิลลิโวล์ท ซึ่งอยู่ในช่วง 0 ถึง 40 วันหลังหว่าน (ภาพที่ 4.23 และ 4.24) เนื่องจากเมื่อขังน้ำในนาออกซิเจนจะค่อย ๆ หมดไปโดยจุลินทรีย์กลุ่ม aerobe จากนั้นจุลินทรีย์กลุ่ม facultative anaerobe และ obligate anaerobe จะเพิ่มจำนวนแทนจุลินทรีย์กลุ่ม aerobe ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่ม anaerobe ต้องการสารประกอบที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหรือไม่ก็ธาตุที่มี oxidizing state สูงเป็นตัวรับอิเลคตรอนในกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ก๊าซออกซิเจน (anaerobic respiration) ซึ่งเป็นผลให้เกิดกระบวนการรีดักชั่นของสารประกอบอนินทรีย์ที่อยู่ในดิน reduced soil ทำให้ค่าปฏิกิริยารีดอกซ์ลดต่ำลง (ติดลบ) ซึ่งสอดคล้องกับ Takai (1969) และ Ponnamperuma (1978) ที่รายงานว่าจะเกิดรีดักชั่นของ nitrate, manganic oxide, ferric oxide และ sulfate ในดินนาที่ขังน้ำทำให้ค่าปฏิกิริยารีดอกซ์ลดต่ำลง และคราใดเมื่อระดับน้ำในนาอยู่ที่ผิวดินหรือมีการระบายน้ำออก ดินจะได้รับออกซิเจนจากบรรยากาศ ทำให้จุลินทรีย์กลุ่ม aerobe เจริญเติบโตได้ดีขึ้น ส่งผลให้ค่าปฏิกิริยารีดอกซ์สูงขึ้น (เป็นบวก) ในการทดลองนี้ค่าปฏิกิริยารีดอกซ์สูงที่สุด 367 มิลลิโวล์ท ซึ่งจะตรงกับช่วงเก็บเกี่ยว

นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงค่าปฏิกิริยารีดอกซ์ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ที่ใส่ลงไปในดิน ดังรายงานของ Yoshida (1978) ที่กล่าวว่าการเติมสารอินทรีย์ลงในดินนาที่ขังน้ำซึ่งดินอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobic) จะทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ดินกลุ่ม anaerobe เพิ่มมากขึ้นและส่งผลให้สภาพรีดักชั่นเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและส่งผลให้ปฏิกิริยารีดอกซ์มีค่าติดลบ เช่นเดียวกับ Tanji et al. (2003) ที่รายงานว่าทุกตำรับที่ใส่ฟางข้าวมีค่าปฏิกิริยารีดอกซ์ลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากขังน้ำเพียง 2 ถึง 3 วัน และ Vacharotayan and Takai (1983) ได้สรุปเกี่ยวกับพลวัตของดินจากการทดลองในแปลงทดลองที่ใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวติดต่อกันในระยะยาวในดินนาของประเทศไทยว่า การใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวในแปลงนาที่ขังน้ำติดต่อกันระยะยาว จะเพิ่มสภาพรีดักชั่นของดินนาทั้งนี้เพราะปุ๋ยหมักฟางข้าวเพิ่มปริมาณของอินทรียวัตถุที่สลายตัวง่ายในดินนา