อิทธิพลของชนิดและช่วงเวลาในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ต่อการเจริญเติบโตของข้าว และความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินที่ใช้ปลูกข้าว

EFFECTS OF TYPE AND TIMING OF ORGANIC FERTILIZER APPLICATION ON RICE GROWTH AND NITROGEN AVAILABILITY IN PADDY SOIL

ภาสินี สืบสวน

PHASINI SUPSUAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-AG-M-065-296

อิทธิพลของชนิดและช่วงเวลาในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ต่อการเจริญเติบโตของข้าว และความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินที่ใช้ปลูกข้าว

EFFECTS OF TYPE AND TIMING OF ORGANIC FERTILIZER APPLICATION ON RICE GROWTH AND NITROGEN AVAILABILITY IN PADDY SOIL

ภาสินี สืบสวน

PHASINI SUPSUAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเกษตรศาสตร์
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2562

KMITL-2019-AG-M-065-296

อิทธิพลของชนิดและช่วงเวลาในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ต่อการเจริญเติบโตของข้าว และความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินที่ใช้ปลูกข้าว

EFFECTS OF TYPE AND TIMING OF ORGANIC FERTILIZER APPLICATION ON RICE GROWTH AND NITROGEN AVAILABILITY IN PADDY SOIL

ภาสินี สืบสวน

PHASINI SUPSUAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเกษตรศาสตร์
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2562

KMITL-2019-AG-M-065-296

EFFECTS OF TYPE AND TIMING OF ORGANIC FERTILIZER APPLICATION ON RICE GROWTH AND NITROGEN AVAILABILITY IN PADDY SOIL

PHASINI SUPSUAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURE

FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2019

KMITL-2019-AG-M-065-296

COPYRIGHT 2019

FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์ อิทธิพลของชนิดและช่วงเวลาในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของข้าวและความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินที่ใช้ปลูกข้าว

นักศึกษา นางสาว ภาสินี สืบสวน

รหัสประจำตัว 59604015

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2562

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร. สุกัญญา แย้มประชา

บทคัดย่อ

ไนโตรเจนเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตข้าว ไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ และความสามารถในการปลดปล่อยไนโตรเจนของวัสดุหรือปุ๋ยอินทรีย์ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุหรือปุ๋ยอินทรีย์ องค์ประกอบของวัสดุอินทรีย์หรือปุ๋ยอินทรีย์ที่แตกต่างกันจึงส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจน และระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายไนโตรเจน การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการจัดการธาตุอาหารในดินและปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในดินปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และที่ไม่ใช่ในระบบเกษตรอินทรีย์ และเพื่อศึกษาความเหมาะสมของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดและช่วงเวลาในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในดินปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพขังน้ำ จัดสิ่งทดลองแบบ 2x4 แฟคทอเรียล (Factorial) ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง มี 2 ปัจจัย ปัจจัยที่หนึ่ง ได้แก่ ดินที่ใช้ปลูกข้าว 2 ชนิด ได้แก่ ดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ปัจจัยที่สอง คือ ชนิดของปุ๋ยอินทรีย์มี 3 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยมูลโค ปุ๋ยหมัก และปอเทือง รวมทั้งการไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ โดยการทดลองมีทั้งหมด 8 ทรีทเมนต์ ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 1. ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (CN-O) 2. ใส่ปุ๋ยมูลโคในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (CM-O) 3. ใส่ปุ๋ยหมักในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (CP-O) 4. ใส่ปุ๋ยพืชสดปอเทืองในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (SH-O) 5. ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ (CN) 6. ใส่ปุ๋ยมูลโคในดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ (CM) 7. ใส่ปุ๋ยหมักในดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ (CP) และ 8. ใส่ปุ๋ยพืชสดปอเทืองในดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ (SH) โดยทุกทรีทเมนต์มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 300 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม คำนวณจาก

ไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสามชนิด ผลการทดลองพบว่าทรีทเมนต์ CP-O มีค่า pH ในดินสูงสูด เท่ากับ 7.2 มีสภาพเป็นกลาง ในขณะที่ทรีทเมนต์ SH มีค่า pH ในสารละลายดินสูงสุดเท่ากับ 7.6 สภาพเป็นด่างเล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อสิ้นสุดการทดลองทุกทรีทเมนต์มีสภาพ pH เป็นกลาง เนื่องจากหลังจากการขังน้ำ 14 วัน เกิดกระบวนการรีดักชัน (reduction) ในขณะที่ทรีทเมนต์ CM ทำให้ดินมีสภาพการนำไฟฟ้าของดินสูงสุด (0.37 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืช และมีปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจน (Hydrolyzable nitrogen) ในดินสูงสุด (412.04 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ SH CM-O SH-O CP-O และ CN-O

ทรีทเมนต์ SH มีการสะสมไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้สูงสุด (349.35 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในดินปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์มีการไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้สูงกว่าดินปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ผลการคาดคะเนการย่อยสลายไนโตรเจนในระบบปลูกข้าวอินทรีย์ พบว่าทรีทเมนต์ SH-O มีค่าศักยภาพในการย่อยสลายไนโตรเจน (mineralization potential: N_0) สูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 114.53 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ ทรีทเมนต์ CM-O CP-O และ CN-O ตามลำดับ ซึ่งมีค่า 109.90 107.23 และ 95.34 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการย่อยสลายไนโตรเจน (*k*) ของปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสามชนิดและทรีทเมนต์ควบคุมไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1992 - 0.2095 และผลการคาดคะเนการย่อยสลายไนโตรเจนในดินปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ พบว่าทรีทเมนต์ SH มีศักยภาพในการย่อยสลายไนโตรเจนสูงสุด (314.10 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ CM และ CN ตามลำดับ อัตราการย่อยสลายไนโตรเจน (*k*) ของปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสามชนิดไม่ต่างกันทางสถิติ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.2302-0.3464 ซึ่งสูงกว่าดินในระบบเกษตรอินทรีย์

การทดลองที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และการจัดรูปแบบการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของข้าว โดยใช้ดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ วางแผนการทดลองแบบบล็อคสุ่มสมบูรณ์ (Randomized complete block design) ทำการทดลอง 4 ซ้ำโดยมีทรีทเมนต์ที่ใช้ในการทดลอง 7 ทรีทเมนต์ คือ 1. ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (Control) 2. ใส่ปุ๋ยหมักใส่ครั้งเดียวพร้อมปักดำ 100% ของความต้องการไนโตรเจน (Compost1) 3. ใส่ปุ๋ยหมักแบ่งใส่ 2 ครั้งพร้อมปักดำและแตกกอสูงสุด ครั้งละ 50% ของความต้องการไนโตรเจน (Compost2) 4. ใส่ปุ๋ยมูลโคครั้งเดียวพร้อมปักดำ 100% ของความต้องการไนโตรเจน (Cow manure1) 5. ใส่ปุ๋ยมูลโคแบ่งใส่ 2 ครั้งพร้อมปักดำและแตกกอสูงสุดครั้งละ 50% ของความต้องการไนโตรเจน (Cow manure2) 6. ใส่ปุ๋ยหมักเพียงครั้งเดียวในระยะปักดำ 50% และใส่ปุ๋ยมูลโคเพียงครั้งเดียวในระยะแตกกอสูงสุด 50% ของความต้องการไนโตรเจน (Com1+Cow1) และ 7. ใส่ปุ๋ยหมักเพียงครั้งเดียวในระยะปักดำ 50% และแบ่งใส่ปุ๋ยมูลโค 2 ครั้ง ครั้งละ 25% ของความต้องการไนโตรเจนในระยะแตกกอสูงสุดและระยะ

สร้างรวงอ่อน (Com1+Cow2) ซึ่งความต้องการไนโตรเจนของข้าวเท่ากับ 12 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ อัตราปุ๋ยที่ใช้คำนวณโดยยึดปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนปลูกและคำนวณปริมาณปุ๋ยอินทรีย์จากอัตราการย่อยสลายปุ๋ยอินทรีย์ที่คำนวณโดยสมการจากการทดลองที่ 1 ทำการปลูกข้าวทั้งหมด 2 ฤดู

ผลการทดลองในการปลูกข้าวฤดูที่ 1 (อายุข้าว 143 วัน) ผลการเจริญเติบโตของพืช ความสูงในทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่า Com1+Cow1 ส่งผลต่อความสูงมากที่สุด (141.88 เซนติเมตร) ในขณะที่จำนวนหน่อต่อกระถาง พบว่า Com1+Cow2 ส่งผลต่อจำนวนหน่อต่อกระถางสูงที่สุด (60.50 หน่อต่อกระถาง) แตกต่างทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ ยกเว้น Cow manure1 (57.00 หน่อต่อกระถาง) และ Compost2 (53.00 หน่อต่อกระถาง) ในขณะที่จำนวนรวงและผลผลิตน้ำหนักแห้งเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ ทุกทรีทเมนต์ไม่ต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่า Com1+Cow2 ส่งผลต่อจำนวนรวงสูงสุด (72.00 รวงต่อกระถาง) และมีน้ำหนักแห้งเมล็ดที่ความชื้น 14% สูงสุด (27.73 กรัมต่อกระถาง) และการดูดใช้ธาตุอาหารไนโตรเจนของพืช พบว่าทรีทเมนต์ Control ส่งผลต่อการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด (1.78 กรัมต่อกระถาง) เนื่องจากเกิด dilution effect จากน้ำหนักผลผลิตทั้งในตอซัง รวงและเมล็ดที่น้อยสุด ส่งผลให้สัดส่วนที่พืชดูดใช้ไปมีมากกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในทุกทรีทเมนต์ และผลการวิเคราะห์ดินและสารละลายดิน พบว่าใน pH หลังการทดลองทุกทรีทเมนต์ไม่ต่างทางสถิติ โดยมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.4-6.6 สภาพเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง ส่วนปริมาณแอมโมเนียมในดินและปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจน พบว่าทุกทรีทเมนต์ไม่ต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ Compost2 มีปริมาณแอมโมเนียมและปริมาณไฮโดรไลซ์ในดินสูงสุด (14.13 และ 80.09 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินหลังการทดลองพบว่า Compost2 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินสูงสุด (2.38 กรัมต่อกิโลกรัม) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ Compost2 Compost1 และ Cow manure2 ตามลำดับ

ในการปลูกข้าวฤดูที่ 2 (อายุข้าว 116 วัน) ด้านการเจริญเติบโตของพืช พบว่าความสูงในทุกทรีทเมนต์ไม่ต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่า Com1+Cow1 ส่งผลต่อความสูงมากที่สุด (131.48 เซนติเมตร) เช่นเดียวกับฤดูที่ 1 และทรีทเมนต์ Com1+Cow 1 ส่งผลต่อจำนวนหน่อต่อกระถางสูงสุด (23.25 หน่อต่อกระถาง) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับทรีทเมนต์ Cow manure1 และ Control (20.25 และ 17.25 หน่อต่อกระถาง) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองชนิดส่งผลต่อจำนวนรวงไม่แตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่า Cow manure1 ส่งผลต่อจำนวนรวงสูงที่สุด (20.75 รวงต่อกระถาง) ในด้านน้ำหนักแห้งเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ พบว่าทรีทเมนต์ Compost1 ส่งผลต่อน้ำหนักแห้งเมล็ดที่ความชื้น 14% สูงสุด (44.30 กรัมต่อกระถาง) และทุกทรีทเมนต์ไม่ต่างทางสถิติต่อน้ำหนัก 1,000 เมล็ด และด้านการดูดใช้ธาตุอาหารไนโตรเจนของพืช พบว่าทรีทเมนต์ Com1+Cow1 มีการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด (0.57 กรัมไนโตรเจนต่อกระถาง) และ

แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ Control (0.40 กรัมไนโตรเจนต่อกระถาง) ผลการวิเคราะห์ดินและสารละลายดิน พบว่าค่า pH สารละลายดินในทุกทรีทเมนต์ไม่ต่างทางสถิติ โดยค่า pH หลังการทดลองมีแนวโน้มเช่นเดียวกับฤดูที่ 1 ส่วนปริมาณแอมโมเนียมในดินพบว่าทรีทเมนต์ Cow manure1 ส่งผลต่อปริมาณแอมโมเนียมในดินสูงที่สุด (12.34 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ Compost1 และ Control ตามลำดับ และมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการทดลองสูงสุด (2.38 กรัมต่อกิโลกรัม) ในขณะที่การใส่และไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองชนิด ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจน แต่มีแนวโน้มพบว่า Cow manure1 มีปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนสูงสุด (37.82 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) ดังนั้นการใส่ปุ๋ยหมักเพียงครั้งเดียว (Compost1) ส่งผลต่อผลผลิตของข้าวดีที่สุด และเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายของต้นทุนในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในการปลูกข้าว

Thesis	Effects of type and timing of organic fertilizer application on rice growth and nitrogen availability in paddy soil
Student	Ms. Phasini Supsuan
Student ID.	59604015
Degree	Master of Science
Program	Agriculture
Year	2019
Thesis Advisor	Dr. Sukunya Yampracha

ABSTRACT

Nitrogen (N) is one of the essential macronutrients for rice growth and yield. Most of the nitrogen in the soil is in organic form and nitrogen release depends on organic fertilizers type. The element of material or organic fertilizer different affect to nitrogen content and nitrogen mineralization time. The objective of this research was to determine the effect of different types of organic fertilizers on the availability of nitrogen in organic paddy soil and non-organic paddy soil and determine the suitability of application different types of organic fertilizers timing on growth and yield of rice. This study divided into 2 experiments, experiment 1: effect of organic fertilizer types on change of nitrogen forms from organic fertilizers in a flooded condition. The experimental design was 2x4 factorial in completely randomized with 3 replications. Factor in the experiment has 2 factors. The first factor was paddy soil 2 type with organic paddy soil and non-organic paddy soil. The second factor was three types of organic fertilizers with cow manure, compost, sunn hemp, and no organic fertilizers. Eight treatments were used consisting of 1. non-fertilizer application in organic paddy soil (CN-O), 2. amended with cow manure in organic paddy soil (CM-O), 3. amended with compost in organic paddy soil (CP-O), 4. amended with green manure as sunn hemp in organic paddy soil (SH-O), 5. non-fertilizer application in non-organic paddy soil (CN), 6. amended with cow manure in non-organic paddy soil (CM), 7. amended with compost in non-organic paddy soil (CP) and 8. amended with green manure as sunn hemp in non-organic paddy soil (SH). Each organic fertilizer was amended at a rate of 300 mg N/kg. Calculate the nitrogen content of total nitrogen of three organic fertilizer. The result shows that CP-O has pH in soil highest (7.2) and that was neutral. While SH has pH in a solution of soil highest (7.6) and that was slightly alkaline and end of incubation of all treatment were neutral. The pH in soil on non-organic and

organic paddy soil was neutral after flooding 14 days due to reduction reaction. While CM was the highest electrical conductivity (0.37 mS/cm) and this did not affect plant growth and the highest hydrolyzable nitrogen of soil (412.04 mg N/kg) and significant with SH, CM-O, SH-O, CP-O, and CN-O, respectively. SH was the highest cumulative nitrogen mineralization in soil (349.35 mg N/kg) and significant differences with all treatment. Three organic fertilizers in organic paddy soil were the higher cumulative nitrogen mineralization in soil than non-organic paddy soil. The predicted nitrogen mineralization of organic paddy soil was SH-O highest mineralization potential (N0) as 114.53 mg N/kg and following by CM-O CP-O and CN-O, respectively (109.90 107.23 and 95.34 mg N/kg, respectively). In addition, mineralization rate (*k*) of all treatment was not significant as around 0.1992 to 0.2095. The predicted nitrogen mineralization of non-organic paddy soil was SH highest mineralization potential as 314.10 mg N/kg and significant with CM and CN, respectively. The mineralization rate of three organic fertilizer was non-significant around 0.2302 to 0.3464.

Experiment 2: effect of organic fertilizer and organic fertilizer application timing were investigated. This experiment was organic rice soil in a pot and using randomized complete block design (RCBD) with 4 replications. Seven treatments consisted of 1. no fertilizer application (Control), 2. compost application 100% of nitrogen requirement at transplanting (Compost1), 3. split compost application 50% of nitrogen requirement at transplanting and maximum tillering stage (Compost2), 4. cow manure application 100% of nitrogen requirement at transplanting (Cow manure1), 5. split cow manure application 50% of nitrogen requirement at transplanting and maximum tillering stage (Cow manure2), 6. split compost application 50% of nitrogen requirement at transplanting and cow manure application at maximum tillering stage (Com1+Cow1) and 7. split compost application 50% of nitrogen requirement at transplanting and cow manure application 25% at maximum tillering stage and panicle initiation stage. Nitrogen requirement for rice was to 12 kg N/rai. Organic fertilizers rate was calculated based on soil nitrogen content before transplanting and organic fertilizers mineralization which calculated from the equation from experiment 1. The experiment was planting for two rice crops.

The result from the first crop shows that all treatment was not significant but tended to Com1+Cow1 was the highest height of rice (141.88 cm). While, Com1+Cow2 was highest in tiller number (60.50 tiller/pot) and significant with all treatment except Cow manure1 and Compost2 (57.00 and 53.00 tiller/pot, respectively). All treatments were not affected to panicle number and grain dry weight at 14% moisture. It tends to Com1+Cow2 was highest panicle number (72.00

panicles/pot) and grain dry weight at 14% moisture (27.73 g/pot). Total nitrogen uptake in control was highest total nitrogen uptake (1.78 g/pot) as a result of nutrient dilution effect. Soil and solution pH shows that all treatment was not significant and equal to 6.4-6.6 that (slightly acid to neutral). Change in ammonium content show that all treatment was not significant but compost2 was highest cumulative nitrogen mineralization and hydrolyzable nitrogen in the soil (14.13 and 80.09 mg N/kg, respectively). Compost2 was the highest total nitrogen at the end of incubation (2.38 mg N/kg) and significant with Compost2 Compost1 and Cow manure2, respectively.

In the second crop, the results of growth and yield show that all treatment was not significant in height but tend to Com1+Cow1 was the highest height of rice (131.48 cm) similar to the first crop. Com1+Cow1 was highest tiller number (23.25 tiller/pot) and significant with Cow manure1 and Control (20.25 and 17.25 tiller/pot). Organic fertilizers application were not significant but tend to cow manure1 has highest panicle number (20.75 panicles/pot). Compost1 was highest grain dry weight at 14% moisture (44.30 g/pot) and all treatment was not significant of 1000-grain weight. Total nitrogen uptake result shows that Com1+Cow1 was highest of total nitrogen uptake. The results of soil and solution pH show that all treatment was not significant. Change in soil ammonium showed Cow manure1 was highest soil ammonium content (12.34 mg N/kg) and significant with Compost1 and Control. Cow manure1 was the highest total nitrogen at the end of incubation (2.38 g N/kg). Hydrolyzable nitrogen in all treatments was not significant but Cow manure1 was highest (37.82 mg N/kg). Also compost application 100% of nitrogen requirement at transplanting (Compost1) enhanced grain weight and reduce the expenses of organic fertilizers application.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและการสนับสนุนการวิจัย ประเภทบัณฑิตศึกษา แผนพัฒนาศักยภาพบัณฑิตวิจัยรุ่นใหม่ ปีงบประมาณ 2561 ของสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สุกัญญา แย้มประชา ที่ให้ความช่วยเหลือ พร้อมทั้งให้คำชี้แนะและช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณผศ.ดร. พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์ ผศ.ดร. นุกูล ถวิลถึง และผศ.ดร. นิตยา ผกามาศ ประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อชี้แนะต่างๆ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือในการทำงานวิจัยต่างๆ และสำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ภาสินี สืบสวน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ V

กิตติกรรมประกาศ VIII

สารบัญ IX

สารบัญตาราง XIII

สารบัญตารางภาคผนวก XIV

สารบัญรูป XVI

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา 2

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย 2

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.6 ขั้นตอนการศึกษา 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ข้าว 4

2.1.1 พันธุ์ข้าว 4

2.1.2 ระยะการเจริญเติบโตของข้าว 4

2.1.3 ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว 6

2.2 ข้าวอินทรีย์ 8

2.2.1 พันธุ์ข้าวที่เลือกใช้ 9

2.3 การจัดการความอุดมสมบูรณ์ของดิน 9

2.4 ปุ๋ยอินทรีย์ 10

2.4.1 ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยมูลสัตว์ 12

2.4.2 ปุ๋ยหมัก 13

2.4.3 ปุ๋ยพืชสด 14

2.5 ดินนา 15

สารบัญ

หน้า

2.5.1 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในสภาพน้ำขัง 15
2.5.2 ประโยชน์ของการขังน้ำในดินนา 16
2.6 ธาตุไนโตรเจน 17
2.6.1 สารอินทรีย์ไนโตรเจน 19
2.6.2 สารอนินทรีย์ไนโตรเจน 20
2.7 อิทธิพลของสมบัติดินต่อความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจน จากปุ๋ยอินทรีย์ 20
2.8 อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืช 22
2.9 อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อปริมาณคาร์บอน 24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 25
3.1 การทดลองที่ 1 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน จากปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพขังน้ำ ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ 25
3.1.1 ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลอง 25
3.1.2 ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง 25
3.1.3 การวิเคราะห์สมบัติดินทางเคมีก่อนทดลอง 25
3.1.4 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ก่อนการทดลอง 26
3.1.5 การวางแผนการทดลองบ่มดินในห้องปฏิบัติการ 26
3.1.6 การบ่มดินในห้องปฏิบัติการ 27
3.1.7 การวิเคราะห์ข้อมูล 27
3.1.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 29
3.2 การทดลองที่ 2 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และการจัดรูปแบบการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ต่อการเจริญเติบโตของข้าว ทำการทดลองในกระถาง 30
3.2.1 ตัวอย่างดินและปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง 30
3.2.2 การวางแผนการทดลอง 30
3.2.3 การเพาะกล้าข้าว 33
3.2.4 การเตรียมดินในการเพาะปลูกและการย้ายปลูก 33
3.2.5 การปลูกข้าวและการดูแล 34
3.2.6 การเก็บข้อมูล 34
3.2.7 การวิเคราะห์พืช 35
3.2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 35

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง 36
4.1 การทดลองที่ 1 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพขังน้ำ ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ 36
4.1.1 สมบัติของดินก่อนบ่มดิน 36
4.1.2 สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ก่อนบ่มดิน 37
4.1.3 การเปลี่ยนแปลงค่าปฏิกิริยาของดิน 38
4.1.4 การเปลี่ยนแปลงค่าปฏิกิริยาของสารละลาย 39
4.1.5 การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity, mS/cm) 41
4.1.6 การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลาย (Electrical Conductivity, mS/cm) 42
4.1.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดิน (Hydrolyzable nitrogen) 44
4.1.8 การสะสมไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้ (cumulative nitrogen mineralization) 46
4.1.9 การสะสมของปริมาณการย่อยสลายคาร์บอน (Carbon mineralization) 48
4.1.10 การทำนายการย่อยสลายไนโตรเจน (Nitrogen mineralization model) 49
4.1.11 ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในดิน วันที่เริ่มต้นและวันสุดท้ายของการบ่มดิน (0 และ 120 วัน) 53
4.2 การทดลองที่ 2 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และการจัดรูปแบบการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของข้าว ทำการทดลองในกระถาง 55
4.2.1 การปลูกข้าวฤดูที่ 1 55
4.2.1.1 การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช 55
4.2.1.2 การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย 60
4.2.1.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียมในดิน 62
4.2.1.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดิน 63
4.2.1.5 ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ของวันที่เริ่มต้นและวันที่สิ้นสุดการทดลอง (0 และ 113 หลังการย้ายปลูก) 64
4.2.2 การปลูกข้าวฤดูที่ 2 65
4.2.2.1 การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช 65
4.2.2.2 การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย 71

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียมในดิน 72
4.2.2.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดิน 73
4.2.2.5 ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในดินที่เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 0 และ 89 หลังการย้ายปลูก) 74
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 75
5.1 การทดลองที่ 1 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพขังน้ำ ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ 75
5.2 การทดลองที่ 2 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และการจัดรูปแบบการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของข้าว ทำการทดลองในกระถาง 76
เอกสารอ้างอิง 77
ภาคผนวก 87
ประวัติผู้เขียน 106

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงสมบัติปุ๋ยอินทรีย์ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2551 11
2.2 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยคอก 12
2.3 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยพืชสด 14
3.1 ทรีทเมนต์ที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 8 ทรีทเมนต์ 27
3.2 ทรีทเมนต์ที่ใช้ในในการปลูกข้าวในกระถาง มีทั้งหมด 7 ทรีทเมนต์ 31
3.3 อัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิด ตามทรีทเมนต์ ในการปลูกข้าวทั้ง 2 ฤดู 32
4.1 แสดงสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินก่อนบ่มดิน 37
4.2 สมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดก่อนบ่มดิน 38
4.3 อัตราการย่อยสลายไนโตรเจนในดินบ่มในดินปลูกข้าวระบบเกษตรอินทรีย์ ค่าคงที่ ค่าดัชนีการยอมรับ และประสิทธิภาพของต้นแบบ 50
4.4 อัตราการย่อยสลายไนโตรเจนในดินบ่มของดินปลูกข้าวไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ค่าคงที่ ค่าดัชนีการยอมรับ และประสิทธิภาพของต้นแบบ 52
4.5 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดและไนโตรเจนทั้งหมด ในวันที่ 0 และ 120 วันของการบ่มดิน ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ 55
4.6 จำนวนหน่อต่อกระถาง จำนวนรวงต่อกระถาง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของตอซัง และรวง+เมล็ด หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิต (ฤดูที่ 1) 58
4.7 น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งทั้งหมด และดัชนีการเก็บเกี่ยวหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิต (ฤดูที่ 1) 59
4.8 แสดงปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมด การดูดใช้ไนโตรเจนในตอซังและเมล็ด และการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมด (ฤดูที่ 1) 60
4.9 ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในดิน วันที่เริ่มต้นและวันที่สิ้นสุดการทดลอง (0 และ 113 หลังการย้ายปลูก) 65
4.10 จำนวนหน่อต่อกระถาง จำนวนรวงต่อกระถาง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของตอซังและรวง หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิต (ฤดูที่ 2) 68
4.11 น้ำหนักแห้งเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซนต์ น้ำหนักเมล็ดลีบ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และดัชนีการเก็บเกี่ยวหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิต (ฤดูที่ 2) 69
4.12 แสดงปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมด การดูดใช้ไนโตรเจนในตอซังและเมล็ด และการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมด 70
4.13 ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดวันที่ 0 และ 89 หลังการย้ายปลูก (อายุข้าว 27 วันและ 116 วัน) 74

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ **หน้า**

1. การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน 88
2. การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลายของดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน 89
3. การเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพการนำไฟฟ้าในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน 90
4. การเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพการนำไฟฟ้าในสารละลายดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน 91
5. การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน 92
6. การสะสมไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้ ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน 93
7. การสะสมของปริมาณการย่อยสลายคาร์บอน (mm mole C/g/day) ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน 94
8. การเปลี่ยนแปลงความสูงของข้าว (cm) ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (ฤดูที่ 1) 96
9. จำนวนหน่อต่อกระถางของข้าว ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (ฤดูที่ 1) 97
10. การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของสารละลายในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (ฤดูที่ 1) 98
11. การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียม (mg N/kg) ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (ฤดูที่ 1) 99
12. การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจน (mg N/kg) ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (ฤดูที่ 1) 100
13. การเปลี่ยนแปลงความสูงของข้าว (cm) ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (ฤดูที่ 2) 101
14. จำนวนหน่อต่อกระถางของข้าว ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (ฤดูที่ 2) 102
15. การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของสารละลายในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (ฤดูที่ 2) 103

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ **หน้า**

16. การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียม (mg N/kg) ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (ฤดูที่ 2) 104
17. การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจน (mg N/kg) ดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (ฤดูที่ 2) 105

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ระยะการเจริญการเติบโตของข้าว 5
2.2 การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในดินน้ำขัง 19
3.1 การเพาะกล้าข้าว 33
3.2 ร่อนดินผ่านตะแกรง และชั่งดินใส่กระถาง 34
3.3 การปักดำข้าว 34
3.4 การเจริญเติบโตของข้าว ในระยะเก็บเกี่ยว 35
4.1 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของของดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน 38
4.2 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลายแปลงของดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน 40
4.3 การเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพการนำไฟฟ้าในดิน ของดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน 41
4.4 การเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพการนำไฟฟ้าในสารละลาย ของดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน 43
4.5 การสะสมปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดินของดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน 45
4.6 การสะสมการสะสมไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้ ของดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน 47
4.7 การสะสมของปริมาณการย่อยสลายคาร์บอน ของดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน 49
4.8 กราฟเส้น 1:1 ระหว่างค่า observed cumulative N mineralization และ predicted cumulative mineralization ของดินปลูกข้าวระบบเกษตรอินทรีย์ 51
4.9 กราฟเส้น 1:1 ระหว่างค่า observed cumulative N mineralization และ predicted cumulative N mineralization ของดินปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ 53
4.10 การเปลี่ยนแปลงความสูงของข้าว ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ตลอดระยะเวลา 85 วันหลังจากย้ายปลูก (ฤดูที่ 1) 55
4.11 จำนวนหน่อต่อกระถางของข้าว ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ตลอดระยะเวลา 85 วันหลังจากย้ายปลูก (ฤดูที่ 1) 56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.12 การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของสารละลายในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (ฤดูที่ 1) 61
4.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียมในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (ฤดูที่ 1) 62
4.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจน ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (ฤดูที่ 1) 64
4.15 การเปลี่ยนแปลงความสูงของข้าว ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (ฤดูที่ 2) 66
4.16 จำนวนหน่อต่อกระถางของข้าว ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (ฤดูที่ 2) 67
4.17 การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของสารละลายในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (ฤดูที่ 2) 71
4.18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียม ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (ฤดูที่ 2) 72
4.19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (ฤดูที่ 2) 73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีผลผลิตข้าวสูงเป็นอันดับที่ 6 ของโลก รองจากประเทศจีน อินเดีย อินโดนีเซีย บังกลาเทศ และเวียดนาม โดยประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูก 70.89 ล้านไร่ (พื้นที่นาปีและนาปรัง) มีเนื้อที่เก็บเกี่ยว 64.98 ล้านไร่ ให้ผลผลิตถึง 31.97 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) อย่างไรก็ตามราคาผลผลิตข้าวในปัจจุบันมีราคาตกต่ำ การผลิตข้าวอินทรีย์ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของชาวนาในการเพิ่มมูลค่าผลผลิต แต่ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ของข้าวอินทรีย์อยู่ในระดับต่ำ การจัดการธาตุอาหารจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถเพิ่มผลผลิตของข้าวอินทรีย์ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุไนโตรเจนซึ่งส่งผลต่อการให้ผลผลิตข้าว

ไนโตรเจนเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นอย่างมากสำหรับการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตข้าว (Duan *et al*., 2007) มีหน้าที่สำคัญ คือ เป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโน โปรตีน กรดนิวคลีอิค หรือนิวคลีโอไทด์ คลอโรฟิลล์ และเอนไซม์ ในเซลล์มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ซึ่งโปรตีนจำเป็นที่จะต้องมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบและเป็นส่วนสำคัญในการแบ่งเซลล์ หรือเพิ่มการเจริญเติบโตของเซลล์ ดินที่ใช้เพื่อการเพาะปลูกโดยทั่วไปมักมีไนโตรเจนไม่เพียงพอ ต่อความต้องการของข้าว นอกจากนี้ข้าวสามารถใช้ประโยชน์โดยตรงได้เฉพาะไนโตรเจนอยู่ในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+) เท่านั้น ในขณะที่ไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งจะต้องรอให้จุลินทรีย์ย่อยสลายก่อน ในขณะที่อินทรีย์สารต่างๆ กำลังถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์นั้น สารประกอบอินทรีย์รูปต่างๆ ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะเปลี่ยนแปลงย่อยสลายไปตามลำดับ และในที่สุดจะอยู่ในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสซึ่งจุลินทรีย์และรากพืชดูดไปใช้ได้ (ชุติมณฑน์ ชูพุดซา, 2553) สำหรับยูเรียแม้ว่าพืชจะดูดไปใช้ได้โดยตรงแต่สารนี้มีอยู่ในธรรมชาติน้อย นอกจากนี้ส่วนหนึ่งระเหยไปกับอากาศ (volatilization) หรือเปลี่ยนรูปต่อไปเป็นไนเตรทและสูญเสียไปกับน้ำใต้ดิน รวมถึงเปลี่ยนรูปเป็นไนตรัสออกไซด์หรือก๊าซไนโตรเจนที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศ ในขณะที่การผลิตข้าวอินทรีย์ มีแหล่งของไนโตรเจนที่สำคัญมาจากปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งสามารถปลดปล่อยและให้ไนโตรเจนได้อย่างช้าๆ จึงทำให้อาจไม่สามารถจัดการไนโตรเจนได้เพียงพอต่อความต้องการของข้าว

ปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดมีความสามารถในการปลดปล่อยไนโตรเจนได้แตกต่างกัน บางชนิดสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนได้อย่างรวดเร็วตั้งแต่ระยะแรกของการใส่ปุ๋ย บางชนิดสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนได้อย่างช้าๆ แต่มีความสม่ำเสมอ และบางชนิดต้องใช้ระยะเวลา 1-2 เดือน หลังจากใส่ลงดินจึงสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนได้ ความสามารถในการปลดปล่อยไนโตรเจน

ของวัสดุหรือปุ๋ยอินทรีย์ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุหรือปุ๋ยอินทรีย์ และระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายไนโตรเจน (Masunga *et al.,* 2016). นอกจากนี้ชนิดของดิน การจัดการและสภาพแวดล้อม ยังมีอิทธิพลอย่างมากต่ออัตราและปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนทำให้มีความแตกต่างกัน (ศุภกาญจน์ ล้วนมณี และคณะ, 2553) ในระบบการปลูกข้าวอินทรีย์ หากมีการคัดเลือกชนิดของวัสดุหรือปุ๋ยอินทรีย์ที่สามารถปลดปล่อยไนโตรเจนให้แก่พืชได้อย่างสม่ำเสมอ และเพียงพอตลอดฤดูปลูกข้าวจึงอาจเป็นหนทางหนึ่งในการจัดการไนโตรเจน ดังนั้นการศึกษาอิทธิพลของสมบัติและชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ต่อความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนและการเจริญเติบโตของข้าวจึงจะเป็นประโยชน์ต่อการนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้เพื่อวางแผนการจัดการปุ๋ยอินทรีย์ในระบบการผลิตข้าวอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของสมบัติดินและชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ ต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในดินระบบปลูกข้าวอินทรีย์

1.2.2 เพื่อศึกษาความเหมาะสมของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และช่วงเวลาในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในระบบปลูกข้าวอินทรีย์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การคัดเลือกชนิดของวัสดุหรือปุ๋ยอินทรีย์ ที่สามารถปลดปล่อยไนโตรเจนให้แก่พืชได้อย่างสม่ำเสมอ และช่วงเวลาในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ให้เหมาะสม ให้เพียงพอต่อตลอดอายุการปลูกข้าว เป็นหนทางหนึ่งในการจัดการไนโตรเจนให้เหมาะสมต่อการปลูกข้าวโดยเฉพาะในระบบเกษตรอินทรีย์

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ไนโตรเจน (N) เป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าว ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ในดินอยู่ในรูปของอนินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนียม (NH_4^+) ปุ๋ยอินทรีย์ปลดปล่อยธาตุอาหารพืชออกมาอย่างช้าๆ เพราะธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในรูปของอินทรีย์สาร ซึ่งต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ดินเพื่อให้ธาตุอาหารอยู่ในรูปอนินทรีย์สารก่อนที่พืชจะนำไปใช้ได้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ศึกษาอิทธิพลของสมบัติดินทางเคมีและกายภาพ ในชุดดินบางกอกและอิทธิพลของปุ๋ยมูลโค ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด (ปอเทือง) ต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนและอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ในดินที่ปลูกข้าวในระบบอินทรีย์

1.5.2 ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยมูลโค ปุ๋ยหมัก และช่วงเวลาในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ต่อไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์และการเจริญเติบโตของข้าว เพื่อคัดเลือกความเหมาะสมของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในระบบปลูกข้าวอินทรีย์

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

โครงการวิจัยประกอบด้วย 2 การทดลอง

1.6.1 การทดลองที่ 1 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพขังน้ำ ซึ่งเก็บข้อมูลตัวอย่างดินจากแปลงปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จากแปลงปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ บริเวณเขตหนองจอก ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยการบ่มดิน

1.6.2 การทดลองที่ 2 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และการจัดรูปแบบการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของข้าว ทำการทดลองในโรงเรือนด้วยการปลูกในกระถาง

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว

ข้าวเป็นพืชล้มลุกตระกูลหญ้าและจัดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ลำต้นมีความสูงประมาณ 50-150 เซนติเมตร มีระบบรากเป็นแบบรากฝอย ลำต้นมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ภายในกลวง ข้าวต้นหนึ่งแตกหน่อได้ 5-15 หน่อ ใบข้าวมีลักษณะเรียวยาวเหมือนใบหญ้า ดอกของข้าวมีลักษณะเป็นช่อเกิดตรงส่วนปลายยอดสุดของลำต้น ประกอบด้วยดอกย่อย (spikelet) เป็นจำนวนมาก แต่ละดอกหลังจากผสมเกสรแล้วจะพัฒนาเป็นเมล็ดข้าว ซึ่งช่อดอกนี้ก็จะกลายเป็นรวงข้าว (สมัคร ยิ่งยง และคณะ, 2551)

2.1.1 พันธุ์ข้าว

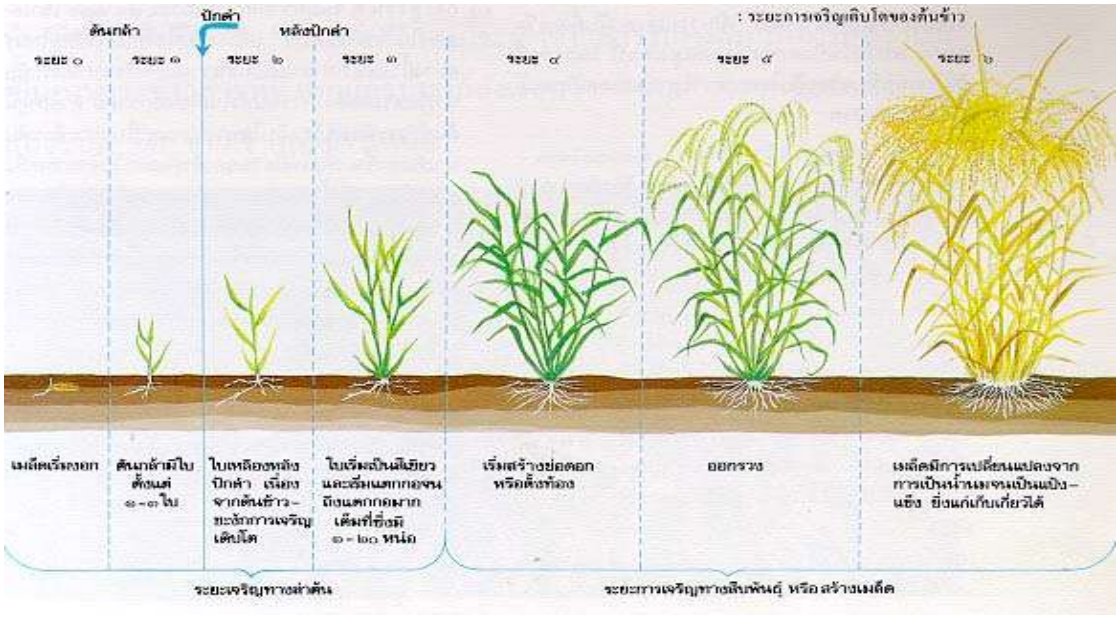
ระยะความยาวของกลางวันมีอิทธิพลต่อการออกดอกของต้นข้าว ดังนั้นพันธุ์ข้าวจึงแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ตามระยะความยาวของช่วงกลางวัน คือ ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง และข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2520)

1. ข้าวไวต่อแสง มักจะเริ่มสร้างช่อดอก และออกดอกในเดือนที่มีความยาวของกลางวันประมาณ 11 ชั่วโมง 40 นาที หรือสั้นกว่านี้ ดังนั้นข้าวที่ออกดอกได้ในเดือนที่มีความยาวของกลางวัน 11 ชั่วโมง 40-50 นาที จึงได้ชื่อว่า เป็นข้าวที่มีความไวน้อยต่อช่วงแสง (less sensitive to photoperiod) และพันธุ์ที่ออกดอกเฉพาะในเดือนที่มีความยาวของกลางวันประมาณ 11 ชั่วโมง 10-20 นาที เป็นพันธุ์ที่มีความไวมากต่อช่วงแสง (strongly sensitive to photoperiod) จึงเรียกข้าวกลุ่มนี้ว่าพืชวันสั้น (short-day plant) พันธุ์ข้าวในประเทศไทยที่เป็นพันธุ์พื้นเมือง ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่มีความไวต่อช่วงแสง การปลูกข้าวพวกที่ไวต่อช่วงแสงจะต้องปลูกในฤดูนาปี เช่น พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 กข 15 และ กข 6

2. ข้าวไม่ไวต่อแสง การออกดอกของข้าวไม่ขึ้นอยู่กับความยาวของกลางวัน เมื่อข้าวมีระยะเวลาการเจริญเติบโตครบตามกำหนด ต้นข้าวก็จะออกดอกทันที ไม่ว่าเดือนนั้นจะมีกลางวันสั้นหรือยาว ยกตัวอย่างเช่น พันธุ์ข้าว กข 1 ชัยนาท1 พิษณุโลก2 และ ปทุมธานี1 เป็นพันธุ์ที่ไม่ไวต่อช่วงแสง เมื่อมีอายุเจริญเติบโตนับจากวันตกกล้า ครบ 90-100 วัน ต้นข้าวก็จะออกดอก ฉะนั้นพันธุ์ข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง จึงใช้ปลูกได้ผลดีทั้งในฤดูนาปรังและนาปี อย่างไรก็ตามพวกไม่ไวต่อช่วงแสงมักจะให้ผลิตผลสูง เมื่อปลูกในฤดูนาปรัง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2543)

2.1.2 ระยะการเจริญเติบโตของข้าว

การเจริญเติบโตของข้าวโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็นระยะต่าง ๆ เป็นช่วงการเจริญเติบโต 2 ระยะหลัก คือ ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative growth) และระยะการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ (reproductive growth) (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 ระยะการเจริญการเติบโตของข้าว

ที่มา : สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2520

1) ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative growth) เป็นระยะเวลานับตั้งแต่วันตกกล้า จนถึงวันที่แตกกอ และต้นสูงเต็มที่ ในระยะนี้ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตทางความสูง และแตกเป็นหน่อใหม่จำนวนมาก

ระยะ 1 เป็นระยะต้นกล้า (seedling stage) เป็นระยะข้าวงอกถึงระยะกล้า หลังจากหว่านแล้ว ข้าวจะใช้อาหารที่สะสมในเมล็ดตั้งแต่ข้าวเริ่มงอก จนถึงต้นกล้าอายุ 14-20 วัน ซึ่งระยะกล้า ต้นข้าวจะเริ่มใช้อาหารจากดิน โดยดูดธาตุอาหารผ่านราก (รูปที่ 2.1) เป็นระยะที่ข้าวยังต้องการธาตุอาหารน้อย

ระยะ 2 เป็นระยะที่ใบเหลืองหลังการปักดำ เนื่องจากต้นข้าวชะงักการเจริญเติบโต

ระยะ 3 ระยะแตกกอ (tillering stage) ใบเริ่มเป็นสีเขียว ข้าวเริ่มแตกกอจนถึงข้าวเริ่มสร้างช่อดอกอ่อน (panicle initiation) ใช้เวลาประมาณ 30-50 วันหลังจากระยะต้นกล้าขึ้นอยู่กับการตอบสนองต่อช่วงแสงของพันธุ์ข้าว เป็นระยะที่ข้าวต้องการธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมอย่างมากในช่วงการแตกกอเพื่อกระตุ้นการสร้างรวง (จันทร์เพ็ญ ชุมแสง และพจนีย์ แสงมณี, 2562) โดยอัตราการเจริญเติบโตที่ระยะเวลา 45 วันหลังปักดำถึงการเก็บเกี่ยว มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตในข้าวพันธุ์ไม่ไวแสง (พรเพ็ญ สมจิตร์ และนิตยา ผกามาศ, 2554)

2) ระยะการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ (reproductive growth) เริ่มจากข้าวเริ่มสร้างช่อดอกอ่อน ผ่านระยะตั้งท้อง (booting stage) จนถึงโผล่ช่อดอกและผสมเกสร (heading, flowering, fertilization) โดยจะใช้ระยะเวลาช่วงนี้ประมาณ 30-35 วัน แบ่งเป็นระยะต่างๆ คือ

ระยะ 4 เป็นระยะเริ่มสร้างช่อรวงอ่อน ช่วงก่อนเก็บเกี่ยวข้าว 2 เดือน หรือ 60 วัน หลังจากแตกกอเต็มที่แล้วก็จะเข้าสู่ระยะสร้างช่อรวงอ่อน (พันธุ์ที่ไวแสงจะต้องได้รับช่วงแสงที่เหมาะสมก่อน จึงจะก่อให้เกิดระยะนี้ได้) ข้าวจำเป็นต้องใช้ธาตุอาหารเพื่อสร้างรวงให้สมบูรณ์แข็งแรง มีจำนวนเมล็ดต่อรวงและช่วง 60-90 วัน เป็นระยะข้าวตั้งท้อง เป็นระยะที่ข้าวกำลังจะออกรวงนับวันหลังจากระยะสร้างรวงอ่อน 5-7 วัน ลำต้นข้าวจะเปลี่ยนจากลักษณะแบน เป็นต้นกลมอวบ ระยะนี้โดยทั่วไปข้าวจะมีการสะสมธาตุอาหารไว้ในลำต้นของแต่ละหน่อแล้ว ต้นข้าวสามารถดึงธาตุอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโตของรวงได้ (Kalen and Nathan, 2018) สำหรับพันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงที่มีการแตกกอมาก อาหารที่สะสมไว้อาจไม่เพียงพอ การขาดธาตุอาหารในระยะนี้จะส่งผลต่อผลผลิตข้าวโดยตรง ซึ่งการจัดการธาตุอาหารในระยะนี้มีความสำคัญอย่างมาก

ระยะ 5 เป็นระยะออกรวง ช่วง 90 วันหลังปลูก เป็นระยะการเจริญเติบโตเต็มที่ของต้นข้าว ซึ่งข้าวจะออกดอกก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิต 30 วัน ช่วงนี้นาจะต้องมีน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ข้าวสร้างเมล็ดให้เต็ม ระยะนี้ข้าวจะดึงอาหารที่สะสมอยู่ที่ใบแก่มาใช้

ระยะ 6 เป็นระยะเก็บเกี่ยว 120 วันหลังปลูก เป็นระยะที่ข้าวสุกแก่เต็มที่ สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ เรียกว่าระยะพลับพลึง นับได้หลังจากข้าวออกดอกแล้ว 28-30 วัน สามารถสังเกตได้จาก รวงข้าวสามส่วนจากปลายรวงจะมีสีเหลืองฟางข้าว และที่โคนรวงยังมีสีเขียวอ่อนอยู่ (กรมการข้าว, 2560ค)

การพัฒนาการของเมล็ด (grain development) ได้แก่ ระยะภายหลังการผสมเกสร ซึ่งรังไข่ที่ได้รับการผสมจะเจริญเติบโต อาหารที่ได้รับการสังเคราะห์แสงจะถูกสะสมในเมล็ดจึงเรียกระยะนี้ว่าระยะสะสมในเมล็ด (grain filling period) ในระยะแรกจะอยู่ในระยะน้ำนม (milky) เปลี่ยนเป็นแป้งอ่อน (dough) จนกระทั่งเมล็ดสุก (ripening) เป็นแป้งแข็งเป็นระยะสุกแก่หรือเก็บเกี่ยว (harvest maturity) จะใช้เวลาการพัฒนาการของเมล็ดทั้งหมดประมาณ 25-30 วัน ดังนั้นเมื่อรวมระยะต่างๆ แล้ว ข้าวจะมีอายุในระหว่าง 110-120 วันสำหรับข้าวไม่ไวแสง และประมาณ 120-140 วันสำหรับข้าวไวแสง

2.1.3 ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว

1) ความสูงของพื้นที่ ความสูงของพื้นที่นั้นข้าวขึ้นได้ตั้งแต่ระดับน้ำทะเลปานกลางจนถึงที่สูง 2,500 เมตร สามารถเจริญเติบโตทั้งในที่ดอน (ข้าวไร่) และที่ลุ่มมีระดับน้ำตั้งแต่ 5 เซนติเมตร (ข้าวนาสวน) จนถึงหลายเมตร (ข้าวฟางลอย)

2) ดิน ดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวต้องเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ อุ้มน้ำได้ดี มีอินทรียวัตถุสูง โดยข้าวส่วนใหญ่ชอบขึ้นในดินเหนียวและดินเหนียวปนร่วน มีความเป็นกรดและด่าง (pH) ตั้งแต่ 3-10 ขึ้นได้แม้กระทั่งในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

3) ปริมาณน้ำ ข้าวมีความต้องการน้ำตั้งแต่ 875 มิลลิเมตร (ข้าวไร่) จนถึง 2,000 มิลลิเมตร (ข้าวนาสวน) ต่อปี แต่ควรมีการกระจายฝนที่ดีในพื้นที่ที่ไม่ได้รับน้ำชลประทานหรือที่เรียกว่านาน้ำฝน ซึ่งส่วนใหญ่จะปลูกข้าวได้ในนาปีเท่านั้น และการตอบสนองต่อความต้องการน้ำยังขึ้นอยู่กับพันธุ์และช่วงของการเจริญเติบโต ในช่วงเตรียมดินควรมีน้ำประมาณ 150-200 มิลลิเมตร ช่วงที่เป็นต้นกล้าต้องการน้ำประมาณ 250-400 มิลลิเมตรจนถึงต้นกล้าอายุ 30-40 วัน ส่วนในช่วงปักดำจนกระทั่งเก็บเกี่ยวนั้นควรมีน้ำอยู่ในช่วง 800-1,200 มิลลิเมตร Liu *et al*. (2006) และอรประภา อนุกูลประเสริฐ (2559) รายงานว่าการขาดน้ำส่งผลต่อการสร้างรวงลดลง และยังทำให้อัตราการเกิดเมล็ดลีบสูงขึ้น

4) แสงอาทิตย์ ปริมาณแสงมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตโดยที่พืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และช่วงเวลาสั้นยาวของกลางวันกลางคืนมีผลต่อการเจริญทางการสืบพันธุ์ของข้าวไวแสง ความเข้มของแสงในฤดูฝนจะน้อยกว่าความเข้มแสงในฤดูร้อน ผลผลิตข้าวส่วนใหญ่จึงน้อยกว่าเมื่อปลูกในฤดูฝน แสงแดดมีความจำเป็นมากในช่วงเริ่มสร้างดอกจนกระทั่ง 10 วันก่อนเมล็ดแก่ ช่วงแสงและอุณหภูมิ ทั้งสองปัจจัยนี้มักมีความสัมพันธ์กัน พืชจะตอบสนองต่ออุณหภูมิ และช่วงแสงในเวลาเดียวกัน และแต่ละสายพันธุ์จะมีระยะการตอบสนองที่แตกต่างกันด้วย (Moldenhauer and Gibbons, 2003)

5) อุณหภูมิ ได้มีการศึกษาพบว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของข้าวและการให้ผลผลิต พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในระหว่าง 25-33 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปหรือสูงเกินไป (ต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส) จะมีผลต่อการงอกของเมล็ด การยืดของใบ การแตกกอ การสร้างดอกอ่อน การผสมเกสร เป็นต้น Krishnan *et al*. (2011) พบว่าอุณหภูมิที่สูงเกินไปและต่ำเกินไปช่วงที่มีการออกดอกจะทำให้ดอกข้าวเป็นหมัน ส่งผลทำให้ได้ผลผลิตต่ำกว่าปกติ

6) ความชื้นสัมพัทธ์ อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศต่อการเจริญเติบโตของข้าวนั้นไม่ชัดเจน เพราะจะมีปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิในเชิงที่กลับกันคือเมื่อความเข้มของแสงมากและอุณหภูมิสูงมักทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อุณหภูมิเย็นในเวลากลางคืนทำให้เกิดน้ำค้างสูงจะมีผลต่อการพัฒนาของเชื้อโรคของข้าวบางชนิด เช่น โรคใบไหม้ได้เหมาะสมยิ่งขึ้น เป็นต้น

7) ลม ลมอ่อนที่พัดถ่ายเทอยู่ตลอดเวลาจะช่วยให้มีการถ่ายเทก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ดี ทำให้พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้มากยิ่งขึ้น แต่ถ้าลมแรงจะมีผลโดยตรงทำให้ต้นข้าวหักล้ม เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตได้

8) ฤดูเพาะปลูก สามารถปลูกได้ตลอดปีแต่ควรหลีกเลี่ยงช่วงการปลูกที่ต้นข้าวจะออกดอกในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 33 องศาเซลเซียส และหลีกเลี่ยงการ

ปลูกที่ต้องเก็บเกี่ยวในช่วงที่ฝนชุก เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ จำเป็นต้องวางแผนการปลูกที่เหมาะสม (สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2555)

2.2 ข้าวอินทรีย์

การผลิตข้าวอินทรีย์ เป็นระบบการผลิตข้าวที่ไม่ใช้สารเคมีทางการเกษตรทุกชนิดได้แก่ ปุ๋ยเคมี สารควบคุมการเจริญเติบโต สารควบคุมและกำจัดวัชพืช สารป้องกันกำจัดโรค แมลงและสัตว์ศัตรูข้าว ตลอดจนสารเคมีที่ใช้รมเพื่อป้องกันกำจัดแมลงศัตรูข้าวในโรงเก็บ การผลิตข้าวอินทรีย์นอกจากจะทำให้ได้ผลผลิตข้าวที่มีคุณภาพสูงและปลอดภัยจากสารพิษแล้ว ยังเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและเป็นการพัฒนาการเกษตรแบบยั่งยืนอีกด้วย

การผลิตข้าวอินทรีย์เป็นระบบการผลิตทางการเกษตรที่เน้นเรื่องของธรรมชาติเป็นสำคัญ ได้แก่ การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ การฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ รักษาสมดุลธรรมชาติและการใช้ประโยชน์จากธรรมชาติเพื่อการผลิตอย่างยั่งยืน เช่น ปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยการปลูกพืชหมุนเวียน การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในไร่นาหรือจากแหล่งอื่น ควบคุมโรค แมลงและสัตว์ศัตรูข้าวโดยวิธีผสมผสานที่ไม่ใช้สารเคมี การเลือกใช้พันธุ์ข้าวที่เหมาะสมมีความต้านทานโดยธรรมชาติ รักษาสมดุลของศัตรูธรรมชาติ การจัดการพืช ดิน และน้ำให้ถูกต้องเหมาะสมกับความต้องการของต้นข้าว เพื่อทำให้ต้นข้าวเจริญเติบโตได้ดี มีความสมบูรณ์แข็งแรงตามธรรมชาติ การจัดการสภาพแวดล้อมไม่ให้เหมาะสมต่อการระบาดของโรค แมลง และสัตว์ศัตรูข้าว เป็นต้น การปฏิบัติเช่นนี้ก็สามารถทำให้ต้นข้าวที่ปลูกให้ผลผลิตสูงในระดับที่น่าพอใจ (กรมการข้าว, 2560ก)

การผลิตข้าวอินทรีย์มีขั้นตอนการปฏิบัติเช่นเดียวกับการผลิตข้าวโดยทั่วไป แต่แตกต่างกันที่ต้องหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีสังเคราะห์ในทุกขั้นตอนการผลิต จึงมีข้อควรปฏิบัติ ดังนี้ การเลือกพื้นที่ปลูก เป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ที่มีดินอุดมสมบูรณ์ มีแหล่งน้ำสำหรับเพาะปลูกและไม่มีการปนเปื้อนสารเคมี พันธุ์ข้าวที่ใช้ปลูกควรทนทานต่อสภาพแวดล้อม ให้ผลผลิตได้ดี ต้านทานต่อโรคและแมลง และมีคุณภาพเมล็ดตรงกับความต้องการของผู้บริโภคข้าวอินทรีย์ ในการเตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าว เลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวที่ได้มาตรฐานผลิตจากแปลงผลิตพันธุ์ข้าวที่ได้รับการดูแลอย่างดี มีอัตราการงอกสูง ที่ผ่านการเก็บรักษาโดยไม่ใช้สารเคมีสังเคราะห์ ปราศจากโรคแมลง และเมล็ดวัชพืช ในการเตรียมดิน คือเตรียมพื้นที่ให้เหมาะสมต่อการปลูก การเตรียมดินมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติดินและสภาพแวดล้อมในแปลงนาก่อนปลูกโดยการไถดะ ไถแปร คราด และทำเทือก วิธีการปลูกข้าว การปลูกข้าวแบบปักดำเหมาะสมต่อการผลิตข้าวอินทรีย์ เพราะการเตรียมดิน ทำเทือกการรักษาระดับน้ำขังในนาจะช่วยควบคุมวัชพืชได้ และการปลูกกล้าข้าวลงดินจะช่วยให้ข้าวสามารถแข่งขันกับวัชพืชได้ ต้นกล้าที่ใช้ปักดำควรมีอายุประมาณ 30 วัน เลือกต้นกล้าที่เจริญเติบโตแข็งแรงดี ปราศจากโรคและแมลงทำลาย เนื่องจากในการผลิตข้าวอินทรีย์ต้องหลีกเลี่ยงการใช้สาร

สังเคราะห์ทุกชนิด โดยเฉพาะปุ๋ยเคมี จึงแนะนำให้ใช้ระยะปลูกถี่กว่าระยะปลูกที่แนะนำสำหรับการปลูกข้าวโดยทั่วไปเล็กน้อย คือ ประมาณ 20×20 เซนติเมตร จำนวนต้นกล้า 5 ต้นต่อกอ (กรมการข้าว, 2560ก) การผลิตข้าวอินทรีย์ในปัจจุบันส่วนใหญ่ใช้พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข15 ซึ่งทั้งสองพันธุ์เป็นข้าวที่มีคุณภาพเมล็ดดีเป็นพิเศษ (กรมการข้าว, 2560ข) และในพื้นที่ภาคกลางนิยมปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ชัยนาท 1 และ กข47

2.2.1 พันธุ์ข้าวที่เลือกใช้

พันธุ์ข้าวที่เลือกใช้คือ ปทุมธานี 1 เป็นข้าวเจ้าหอมไม่ไวต่อช่วงแสง ปลูกได้ทั้งฤดูนาปีและนาปรัง อายุของการเก็บเกี่ยวของนาดำคือ 113-126 วัน นาหว่านน้ำตมอายุ 104-114 วัน มีความสูงประมาณ 104-133 เซนติเมตร ทรงกอตั้งใบสีเขียวมีขน ใบแก่ช้า กาบใบและปล้องสีเขียว ใบธงยาว ตั้งตรงปานกลางคอรวงสั้น รวงอยู่ใต้ใบธงเปลือกเมล็ดสีฟาง มีขน มีหาง กลีบรองดอกสีฟาง ให้ผลผลิตเฉลี่ย 650-774 กิโลกรัมต่อไร่ ลักษณะเด่นของพันธุ์ปทุมธานี 1 ให้ผลผลิตสูง มีคุณภาพของเมล็ดคล้ายพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อเวลาข้าวสุกจะนุ่มเหนียว และมีกลิ่นที่หอมมาก สามารถต้านเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยกระโดดหลังขาวได้ ต้านโรคไหม้และโรคขอบใบแห้ง ข้อควรระวังของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ค่อนข้างไม่ต้านทานเพลี้ยจักจั่นสีเขียว โรคใบหงิก และโรคใบสีส้มไม่ควรใช้ปุ๋ยในอัตราสูงมากจนเกินไป โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนถ้าใส่มากเกินไปอาจจะทำให้ฟางอ่อน ต้นข้าวล้มและผลผลิตลดลงได้ (กรมการข้าว, 2560ข)

2.3 การจัดการความอุดมสมบูรณ์ของดิน

การปลูกข้าวให้ได้ผลผลิตตามความต้องการ ต้องมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของดิน ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชให้เหมาะสมต่อความต้องการของข้าว การปลูกข้าวอินทรีย์ต้องหลีกเลี่ยงการใช้ปุ๋ยเคมี ดังนั้นการเลือกพื้นที่ปลูกที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์สูงตามธรรมชาติ จึงเป็นการเริ่มต้นที่ได้เปรียบเพื่อที่จะรักษาระดับผลผลิตให้อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ นอกจากนี้เกษตรกรยังต้องรู้จักการจัดการดินที่ถูกต้อง และพยายามรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินให้เหมาะสมกับการปลูกข้าวอินทรีย์ให้ได้ผลดีและยั่งยืนมากที่สุดอีกด้วย โดยเฉพาะการจัดการธาตุอาหารหลักของพืชในพื้นที่นาข้าวอินทรีย์ จะต้องไม่เผาตอซัง ฟางข้าว และเศษซากพืช เพราะเป็นการทำลายอินทรียวัตถุและจุลินทรีย์ดินที่มีประโยชน์ ไม่นำชิ้นส่วนของพืชที่ไม่ใช้ประโยชน์โดยตรงออกจากแปลงนา เพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดินโดยการปลูกพืชโดยเฉพาะพืชตระกูลถั่วในที่ว่างบริเวณพื้นที่นาตามความเหมาะสม แล้วใช้อินทรียวัตถุที่เกิดขึ้นในระบบไร่นาให้เกิดประโยชน์ต่อการปลูกข้าว อีกทั้งไม่ควรปล่อยที่ดินให้ว่างเปล่าก่อนการปลูกข้าวและหลังจากการเก็บเกี่ยวข้าว แต่ควรปลูกพืชคลุมดินโดยเฉพาะพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วเขียว ถั่วพร้า โสน เป็นต้น (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2562) และควรวิเคราะห์ดินนาทุกปี เพื่อแก้ไขภาวะความเป็นกรด

เป็นด่างของดิน ให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของต้นข้าว (ประมาณ 5.5-6.5) ถ้าพบว่าดินมีความเป็นกรดสูงแนะนำให้ใช้ปูนมาร์ล ปูนขาว หรือขี้เถ้าไม้ปรับปรุงสภาพดิน (กรมการข้าว, 2560ก)

2.4 ปุ๋ยอินทรีย์

ตามพระราชบัญญัติของปุ๋ยอินทรีย์ ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2550 ได้ให้ความหมายของปุ๋ยอินทรีย์ หมายความว่า ปุ๋ยที่ได้หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์ ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ชื้น สับ หมัก บด ร่อน สกัด หรือด้วยวิธีการอื่น และวัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสลายสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์ แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ (ราชกิจจานุเบกษา, 2550)

มีแหล่งกำเนิดมาจากสารอินทรีย์เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด เป็นต้น การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ต้องใส่ระยะเตรียมดิน คือไถกลบลงในดินก่อนปลูกข้าว 2-3 สัปดาห์ เพื่อให้เวลาปุ๋ยอินทรีย์ย่อยสลายลงในดินก่อนการหว่านข้าวหรือปักดำ ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณธาตุอาหารหลักค่อนข้างน้อย การใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวจึงต้องใช้ในปริมาณมาก และการคำนวณอัตราปุ๋ยมักยึดเอาธาตุไนโตรเจนเป็นหลัก ดังนั้นการใส่ปุ๋ยอินทรีย์จึงมักไม่เห็นผลในระยะสั้น แต่ถ้าใช้ติดต่อกันระยะยาวจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินดีขึ้น เนื่องจากอินทรีย์สารทำให้ดินโปร่ง ดินมีความร่วนซุย มีการอุ้มน้ำ และการถ่ายเทอากาศดีขึ้น นอกจากอินทรีย์สารยังช่วยเพิ่มกิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ในน้ำ ทำให้สมบัติทางชีวภาพของดินดีขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์เหล่านี้ได้รับธาตุอาหารจากปุ๋ยอินทรีย์ทำให้เจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ยังช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารจากดิน อีกทั้งยังช่วยเพิ่มจุลธาตุในดินได้อีกด้วย (ศุภวรรณ์ ใจแสน, 2551)

ปุ๋ยอินทรีย์ที่นิยมใช้มี 3 ชนิด คือ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด สำหรับปุ๋ยพืชสดนั้นแนะนำให้ปลูกพืชตระกูลถั่ว ได้แก่ ถั่วพุ่ม ถั่วเขียว หรือโสน ได้แก่ โสนอัฟริกัน โสนอินเดีย ปลูกและไถกลบก่อนเตรียมดินปลูกข้าว แหล่งที่มาของปุ๋ยอินทรีย์มีความหลากหลายค่อนข้างมาก ดังนั้นกรมวิชาการเกษตร จึงได้กำหนดมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติปุ๋ยอินทรีย์ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2551

คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1. ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5x12.5 มิลลิเมตร
2. ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
3. ปริมาณหิน และกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตรไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
4. พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่น ๆ	ต้องไม่มี
5. ปริมาณอินทรียวัตถุ	ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
6. ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)	5.5 – 8.5
7. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20 : 1
8. ค่าการนำไฟฟ้า (EC : Electrical Conductivity)	ไม่เกิน 10 เดซิซีเมน/เมตร
9. ปริมาณธาตุอาหารหลัก	- ไนโตรเจน (Total N) ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก - ฟอสฟอรัส (Total P_2O_5)ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก - โพแทสเซียม (Total K_2O) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
10. การย่อยสลายที่สมบูรณ์	มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์
11. สารหนู (Arsenic)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
12. แคดเมียม (Cadmium)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
13. โครเมียม (Chromium)	ไม่เกิน 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
14. ทองแดง (Copper)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
15. ตะกั่ว (Lead)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
16. ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2551

การปลูกข้าวอินทรีย์ต้องหลีกเลี่ยงการใช้ปุ๋ยเคมี จึงต้องใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างสม่ำเสมอ ปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่มีความเข้มข้นของธาตุอาหารค่อนข้างต่ำ จึงต้องใช้ในปริมาณที่สูงมาก และอาจมีไม่พอเพียงสำหรับการปลูกข้าวอินทรีย์และถ้าหากมีการจัดการที่ไม่เหมาะสมก็จะเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต ปุ๋ยอินทรีย์จากธรรมชาติที่ควรใช้ ได้แก่

2.4.1 ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยมูลสัตว์

เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากมูลสัตว์ต่างๆ เช่น มูลหมู มูลเป็ด มูลไก่ และมูลวัว เป็นปุ๋ยที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในสวนผักและผลไม้ มูลสัตว์เหล่านี้จะประกอบด้วยอุจจาระและปัสสาวะของสัตว์ ซึ่งเป็นส่วนของซากพืชซากสัตว์จากอาหารสัตว์ที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายจากระบบย่อยอาหารสัตว์มาแล้วจึงเป็นแหล่งของธาตุอาหารพืช (นรีลักษณ์ ชูวรเวช, 2548) โดยแสดงปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยคอกดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยคอก

ชนิดปุ๋ย	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)
มูลวัว	1.10	0.40	1.60
มูลควาย	0.97	0.60	1.66
มูลสุกร	0.60	0.50	1.00
มูลเป็ด	1.02	1.84	0.52
มูลค้างคาว	1.54	14.28	0.60

ที่มา : กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว, 2543

ข้อดีของปุ๋ยคอก ได้แก่ เพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืช ปุ๋ยคอกในส่วนที่เป็นองค์ประกอบที่เป็นของแข็งมีลักษณะคล้ายคลึงกับอาหารที่สัตว์นั้นบริโภค ช่วยปรับปรุงดินให้โปร่งและร่วนซุย ทำให้การเตรียมดินง่าย

ข้อจำกัดของปุ๋ยคอก ได้แก่ ปุ๋ยคอกแม้ว่าจะมีปริมาณธาตุอาหารอยู่สูงเมื่อเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น แต่เป็นอินทรียวัตถุที่ถูกจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายให้เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูญเสียไปกับน้ำหรือระเหยไปได้ง่าย ธาตุอาหารพืชในปุ๋ยคอกจะสามารถเปลี่ยนเป็นก๊าซและสูญเสียไปโดยการระเหยได้ สำหรับธาตุที่ไม่เปลี่ยนเป็นก๊าซจะสูญเสียโดยการละลายในน้ำได้ เช่น ธาตุไนโตรเจนที่มักอยู่ในรูปของก๊าซแอมโมเนีย (อานัฐ ตันโช, 2560) ในการใช้ปุ๋ยคอก หากเป็นปุ๋ยคอกใหม่ๆ เมื่อนำใส่ลงดินหากใส่ชิดหรือสัมผัสกับรากหรือต้นพืชอาจเป็นอันตรายได้ เนื่องจากมีความเค็มและมีความร้อนขณะย่อยสลายของปุ๋ยคอก อาจมีปัญหาเรื่องเมล็ดวัชพืช โรคหรือแมลงที่ปนมากับปุ๋ยคอก หากนำมาหมักหรือปล่อยให้มีการย่อยสลายก่อนก็จะสามารถใช้ได้อย่างปลอดภัยมากขึ้น (ศุภวรรณ์ ใจแสน, 2551)

2.4.2 ปุ๋ยหมัก

เป็นปุ๋ยอินทรีย์อีกชนิดหนึ่งที่ได้มาจากการหมักวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นสารอินทรีย์บางชนิด โดยนำสารอินทรีย์เหล่านั้นมากองรวมกัน รดน้ำให้ชื้น แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เกิดการย่อยสลายกิจกรรมของจุลินทรีย์ และเมื่อเกิดการย่อยสลายจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในสภาพที่ชื้นและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ธาตุอาหารอยู่ในสภาพย่อยสลายสมบูรณ์และมีความเสถียร จึงนำไปใช้ในการปรับปรุงดิน (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2548) ควรจัดทำในพื้นที่นาหรือบริเวณที่อยู่ไม่ห่างจากแปลงนาเพื่อความสะดวกในการใช้ อีกทั้งควรใช้เชื้อจุลินทรีย์ในการทำปุ๋ยหมักเพื่อช่วยการย่อยสลายได้เร็วขึ้น และเก็บรักษาให้ถูกต้องเพื่อลดการสูญเสียธาตุอาหาร

โดยปกติการทำนามักใช้วัสดุเหลือใช้จากพื้นที่นามาทำปุ๋ยหมัก เช่น ตอซังข้าว หรือฟางข้าว โดยตอซังข้าวหรือฟางข้าวเป็นวัสดุที่ย่อยสลายง่ายมีปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช โดยเฉลี่ยดังนี้ ฟางข้าว ประกอบด้วยไนโตรเจน 0.59% ฟอสฟอรัส 0.08% โพแทสเซียม 1.56% แคลเซียม 0.38% แมกนีเซียม 0.23% และกำมะถัน 0.08% (พงษ์พันธุ์ กาวิละ, 2548) องค์ประกอบของธาตุอาหารที่ผลิตได้ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอินทรียสารที่นำมาหมัก สำหรับคาร์บอนที่อยู่ในสารอินทรีย์ หรืออินทรีย์คาร์บอน และไนโตรเจนทั้งหมดในวัสดุ มีความสำคัญต่อกระบวนการหมักอย่างมาก กล่าวคือ สารอินทรีย์คาร์บอนเป็นทั้งแหล่งพลังงานและแหล่งของคาร์บอนที่จุลินทรีย์ใช้เป็นหลักในการเจริญเติบโต ส่วนไนโตรเจนก็เป็นธาตุอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการในปริมาณมาก เนื่องจากส่วนประกอบของเซลล์จุลินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นพวกโปรตีนและกรดนิวคลีอิก ซึ่งมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ (ยงยุทธ โอสถสภาและคณะ, 2551)

ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก คือ ทำได้ง่าย มีขั้นตอนน้อย เป็นการใช้วัสดุที่เหลือทิ้งจากการเกษตรให้เกิดประโยชน์ ช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุให้แก่ดิน ทำให้ดินอุดมสมบูรณ์ ช่วยส่งเสริมให้ระบบรากพืชพัฒนาและกระจายออกไปได้กว้างและลึก จึงมีโอกาสดูดธาตุอาหารและนำมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่าเดิม (บัญชา รัตนีทู และศิราณี วงศ์กระจ่าง, 2556) ทำให้ดินมีการถ่ายเทอากาศได้ดี ช่วยเปลี่ยนสภาพของดินจากดินเหนียวหรือดินทรายให้เป็นดินร่วน ทำให้สะดวกในการไถพรวน ช่วยรักษาความชุ่มชื้นในดินได้ดีขึ้น ช่วยกระตุ้นสารบางอย่างในดินที่ละลายน้ำยากให้ละลายน้ำได้ง่าย เป็นอาหารของพืชได้ดีขึ้นไม่เป็นอันตรายต่อดินแม้จะใช้ในปริมาณมากๆ และเป็นเวลานาน ๆ ช่วยลดปริมาณขยะมูลฝอย และวัชพืช

ข้อจำกัดของการใช้ปุ๋ยหมักได้แก่ ถ้าดูแลรักษากองปุ๋ยหมักไม่ถูกต้อง จะทำให้กองวัสดุสลายตัวช้า ชนิดของเศษชิ้นส่วนของวัสดุอินทรีย์ มีความสำคัญต่อระยะเวลาในการย่อยสลายของปุ๋ยหมัก ถ้ามีการใส่ปุ๋ยหมัก ที่ยังไม่ย่อยสลายตัวอย่างสมบูรณ์ลงในดินแล้วกลบจะส่งผลเสียต่อระบบรากพืช เช่น เกิดการแย่งอากาศในดิน เกิดก๊าซที่เป็นอันตรายต่อรากพืช ใช้ในปริมาณมากเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมี

2.4.3 ปุ๋ยพืชสด

ปุ๋ยพืชสด หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากการไถกลบหรือตัด สับ ต้น ใบและส่วนต่างๆ ของพืชในขณะที่ยังสด ปกตินิยมใช้พืชตระกูลถั่ว เนื่องจากเจริญเติบโตได้เร็ว ขึ้นได้ในดินหลายชนิด ที่สำคัญคือพืชตระกูลถั่วสามารถจับหรือตรึงธาตุไนโตรเจน (ที่เป็นธาตุอาหารหลักของพืช จากอากาศได้) โดยไถกลบในช่วงออกดอกซึ่งเป็นช่วงที่มีธาตุอาหารและน้ำหนักสูงสุด ทิ้งไว้ให้ย่อยสลายผุพังแล้วปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชที่จะปลูกตามมา สำหรับบทบาทของปุ๋ยพืชสดในการเสริมธาตุอาหารพืชนั้น การเพิ่มไนโตรเจนมีความสำคัญที่สุด โดยพืชปุ๋ยสดในพืชตระกูลถั่วสามารถเพิ่มไนโตรเจนในดินได้เทียบเท่ากับปุ๋ยเคมีอัตรา 12-16 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ หลังจากที่ถูกไถกลบต้องรอซากพืชเกิดการสลายตัว (decompose) แล้วแปรสภาพ (mineralization) จากอินทรีย์สารเป็นอนินทรีย์สาร เช่น แอมโมเนียมไอออนก่อน พืชจึงดูดไปใช้ได้ ดังนั้นการใช้ปุ๋ยพืชสดให้เกิดประโยชน์สูงสุด จึงควรรู้ชนิดของพืชตระกูลถั่วที่เหมาะสม กระบวนการปลดปล่อยธาตุอาหาร รวมถึงการใช้ปุ๋ยพืชสดต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติในด้านต่างๆ ของดินด้วย (Cherr *et al*., 2006) พืชปุ๋ยสดพืชที่ใช้ปลูกเป็นปุ๋ยพืชสด ได้แก่ ปอเทือง ถั่วพร้า ถั่วพุ่ม โสนอัฟริกัน ถั่วมะแฮะ พืชตระกูลถั่วต่างๆ เป็นต้น โดยแสดงปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยพืชสดแต่ละชนิด ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยพืชสด

ชนิดพืช	**Total N (%)**	**Total P_2O_5 (%)**	**Total K_2O (%)**
โสนอัฟริกัน	2.87	0.22	2.40
โสนจีนแดง	2.85	0.34	2.10
โสนอินเดีย	2.85	0.46	2.68
ปอเทือง	2.76	0.22	2.40
ถั่วพุ่ม	2.68	0.39	2.46
ถั่วพร้า	2.71	0.54	3.14
มะแฮะ	1.92	0.05	0.90

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2550

ลักษณะของพืชที่เหมาะกับการใช้เป็นปุ๋ยพืชสด ได้แก่ ทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี สามารถปลูกได้ทุกฤดูกาล เมล็ดพืชมีความงอกได้ดีและสามารถงอกได้เร็ว แม้อยู่ในสภาวะของความชื้นในดินต่ำ เป็นพืชที่ขยายพันธุ์ได้ง่าย เพื่อประโยชน์ในการผลิตเมล็ดพันธุ์และเก็บเมล็ดพันธุ์ เป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ออกดอกในระยะเวลาอันสั้น

ประมาณ 30-60 วัน สามารถให้น้ำหนักพืชสดสูง ตั้งแต่ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ขึ้นไป และมีความต้านทานต่อโรคและแมลง (กลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคเหนือตอนบน, 2553)

ข้อดีของการใช้ปุ๋ยพืชสด ได้แก่ เพิ่มอินทรียวัตถุในดิน เพิ่มธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน (Fageria, 2007) และเป็นการทดแทนอินทรียวัตถุในดินที่สูญเสียไปเนื่องจากการเพาะปลูก โดยช่วยส่งเสริมและสนับสนุนกิจกรรมการย่อยสลายซากพืชของจุลินทรีย์ในดิน อินทรียวัตถุที่ได้จากการไถกลบซากพืชและย่อยสลายแล้ว จะแทรกอยู่ระหว่างเม็ดดิน ทำให้ดินร่วนซุยและอุ้มน้ำได้ดี จึงเป็นการช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และเพิ่มไนโตรเจนในดิน การไถกลบปุ๋ยพืชสดที่เป็นพืชตระกูลถั่ว ซึ่งจะมีแบคทีเรียที่ชื่อ *Rhozobium* spp. อาศัยอยู่ในรากพืชตระกูลถั่ว สามารถตรึงธาตุไนโตรเจนจากอากาศมาใช้เมื่อพืชสลายตัวสามารถเพิ่มธาตุไนโตรเจนและอินทรียวัตถุให้แก่ดินได้ รักษาปริมาณธาตุอาหารพืชในดิน เมื่อไถกลบพืช ปริมาณธาตุอาหารก็จะกลับลงไปสู่ดินใหม่อีกครั้ง อีกทั้งรากของพืชที่ชอนไชอยู่ในดิน จะทำให้มีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศในดินมากขึ้น ช่วยในการจัดการอนุรักษ์ดินและน้ำ และการปลูกเป็นพืชคลุมดินจะช่วยให้ลดอัตราการสูญเสียดินอันเกิดจากการชะล้าง ช่วยลดปริมาณวัชพืชและเพิ่มผลผลิตของพืชให้สูงขึ้น (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2548)

ข้อจำกัดของการใช้ปุ๋ยพืชสด ได้แก่ อาจเป็นแหล่งที่พักอาศัยและสะสมของโรคแมลงของพืชปลูก เมื่อไถกลบพืชตระกูลถั่วแล้ว ควรทิ้งไว้เพื่อให้ย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ก่อนที่จะปลูกพืชอื่น ช่วงที่มีการย่อยสลายเศษซากพืชนั้นจะเกิดความร้อนและอาจมีสารพิษที่สร้างโดยจุลินทรีย์ดิน ซึ่งอาจเป็นพิษต่อเมล็ดหรือต้นกล้าพืชที่ปลูกทำให้ตายได้

2.5 ดินนา

ดินที่ใช้ปลูกข้าวหรือดินนา (Paddy soil) ดินที่ใช้ปลูกข้าวจะแตกต่างจากดินที่ใช้ปลูกพืชไร่ก็คือลักษณะการที่มีน้ำขัง ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ปลูกข้าวในโลกจะปลูกในสภาพน้ำขัง ถึงแม้ว่าจะมีพันธุ์ข้าวที่ปลูกได้ตั้งแต่ข้าวขึ้นน้ำจนถึงข้าวไร่ แต่เนื่องจากข้าวไร่ให้ผลผลิตต่ำ ดังนั้นการปลูกข้าวไร่จึงทำในพื้นที่ที่ไม่สามารถขังน้ำได้ เมื่อดินมีน้ำขัง น้ำที่ท่วมผิวดินจะขัดขวางการแพร่ออกซิเจนลงไปในดิน ประกอบกับจุลินทรีย์ได้ใช้ออกซิเจนที่เหลืออยู่ในเวลาอันสั้น ในที่สุดดินก็ขาดออกซิเจนและมีสภาพรีดักชัน จึงมีเฉพาะกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินพวกที่ไม่ใช้ออกซิเจน กับพวกที่ทั้งใช้และไม่ใช้ออกซิเจนเท่านั้น (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2551)

2.5.1 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในสภาพน้ำขัง

เมื่อดินมีน้ำขังการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างอากาศในดินและบรรยากาศจะถูกยับยั้งอย่างรุนแรงออกซิเจนในบรรยากาศเข้าไปสู่ดินได้โดยการแพร่กระจาย (Diffusion) ผ่านชั้นของน้ำ

ที่ขังอยู่เหนือดิน อัตราการแพร่กระจายของออกซิเจนผ่านน้ำช้ามาก (1/10,000 เท่าของในบรรยากาศ) ดินจะอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ออกซิเจนที่มีอยู่เดิมจะถูกจุลินทรีย์ในดินนำไปใช้ในการหายใจ เมื่อเกิดสภาพรีดักชัน ปฏิกิริยาต่อไปนี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องกันจากบนไปล่าง

$O_2 \longrightarrow H_2O$

$NO_3 \longrightarrow NO_2 \longrightarrow N_2$ (Denitrification)

$Mn^{4+} \longrightarrow Mn^{2+}$ (Manganese reduction)

$Fe^{3+} \longrightarrow Fe^{2+}$ (Iron reduction)

$SO_4^{2-} \longrightarrow S^{2-}$ (Sulfate reduction)

$CO_2 \longrightarrow CH_4$ (Methane fermentation)

ธรรมชาติของดินนามีการเปลี่ยนสลับกัน ระหว่างสภาพน้ำขังและสภาพดินแห้ง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงในสภาพที่มีออกซิเจน (สภาพแห้ง) และสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (สภาพน้ำขัง) การเปลี่ยนแปลงจึงมีทั้งทางเคมี ชีวภาพ และกายภาพ กล่าวคือ เมื่อดินมีน้ำขัง การแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างอากาศในดินและบรรยากาศจึงหยุดทันที ทำให้ดินอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน เพราะออกซิเจนที่มีอยู่เดิมจะถูกจุลินทรีย์ในดินนำไปใช้ในการหายใจจนหมด ถ้าดินอยู่ในสภาพที่มีอากาศออกซิเจนจะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน สำหรับการหายใจของจุลินทรีย์ของดิน เมื่อไม่มีออกซิเจน สารประกอบอื่นๆ จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ในดินที่มีน้ำขังจุลินทรีย์ที่อยู่ได้ทั้งในสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจน รวมทั้งจุลินทรีย์ที่อยู่ได้เฉพาะสภาพที่ไม่มีออกซิเจน จะใช้ไนเตรด (NO_3^-) Mn^{4+}, เฟอริกไอออน (Fe^{3+}) ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไฮโดรเจนไอออน (H^+) เป็นตัวรับอิเล็กตรอน และเปลี่ยนรูปอนุมูลของสารประกอบเหล่านี้เป็นไนโตรเจน (N_2) แมงกานีส (Mn^{2+}) เฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) ซัลไฟด์ (S^{2-}) ก๊าซมีเทน (CH_4) และไฮโดรเจน (H_2) ตามลำดับ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2558) ดังนั้นฟอสฟอรัสที่เคยถูกตรึงอยู่ในรูปของสารประกอบเฟอริกฟอสเฟตและแมงกานีสฟอสเฟต จะกลายเป็นเฟอรัสฟอสเฟตและแมงกานัสฟอสเฟตซึ่งละลายง่ายกว่าเดิม ความเป็นประโยชน์ของเหล็ก แมงกานีสและฟอสฟอรัสในดินนาน้ำขังจึงสูงขึ้น (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2543; Kirk, 2004; Sahrawat, 2004)

2.5.2 ประโยชน์ของการขังน้ำในดินนา

การปลูกข้าวในสภาพขังน้ำไม่เพียงต้องการให้น้ำแก่ข้าวเพื่อใช้ประโยชน์เหมือนพืชอื่นๆ เท่านั้น แต่สภาพของการที่มีน้ำขังมีประโยชน์ต่อข้าว ดังนี้

1) ธาตุอาหารต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำชลประทานที่ให้แก่ข้าวถึงแม้ว่าจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่เนื่องจากข้าวเป็นพืชที่ใช้น้ำมากต่อ 1 ฤดูการปลูกเมื่อเปรียบเทียบกับพืชไร่อื่นๆ ดังนั้นจึงทำให้ข้าวที่ปลูกในสภาพขังน้ำได้รับธาตุอาหารจากน้ำในปริมาณที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ปลูกในพื้นที่ลาดชัน แต่การจัดการน้ำอาจส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจน

2) การขังน้ำช่วยปรับอุณหภูมิให้กับข้าวที่จะประสบความเสียหาย เนื่องจากร้อนหรือหนาวเกินไป

3) การขังน้ำช่วยกำจัดวัชพืช

4) การเกิดรีดักชัน เนื่องจากสภาพที่มีน้ำขังทำให้ฟอสเฟตและเหล็กละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมและดูดซับอยู่ที่อนุภาคของดินเหนียว ซึ่งข้าวสามารถไปใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของไนเตรทในน้ำใต้ดิน

5) แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคและ nematode ไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในสภาพน้ำขัง ดังนั้นการปลูกข้าวติดต่อกันก็จะไม่มีปัญหาในเรื่องของโรคข้าวที่เกิดจากสาเหตุเหล่านี้

6) ธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำสามารถเคลื่อนที่ไปยังรากข้าวและทำให้ข้าวดูดไปใช้ได้ดี ดังนั้นมักพบว่าข้าวเจริญเติบโตได้ดีถึงแม้ว่าจะปลูกในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

7) จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจนที่อยู่ในสภาพขังน้ำเจริญเติบโตและทำงานได้ดีในนาข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตร้อนชุ่มชื้น (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550)

2.6 ธาตุไนโตรเจน

ธาตุไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบสำคัญในโปรตีนที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าว ข้าวดูดธาตุไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมในช่วงระยะของการเจริญเติบโต ตั้งแต่ปักดำถึงแตกกอสูงสุด ไนโตรเจนถูกนำไปใช้ในการสร้างใบ ลำต้น และราก เพื่อเพิ่มพื้นที่ใบ จำนวนหน่อ ขนาดของกอและรากให้มากขึ้น หลังจากนั้นเมื่อเข้าสู่ระยะสืบพันธุ์ไนโตรเจนถูกนำไปใช้ในการสร้างช่อดอกและรวง เพิ่มจำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (จันทร์เพ็ญ ชุมแสง และพจนีย์ แสงมณี, 2562)

ธาตุไนโตรเจนมีความสัมพันธ์ต่อการเจริญเติบโตของข้าว ดังต่อไปนี้

1) การเกิดและพัฒนาของราก ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไนโตรเจนในส่วนเหนือดิน เมื่อส่วนเหนือดินมีไนโตรเจนมากกว่า 1%N ทำให้มีการแตกรากและยืดตัวของรากได้ดี หลังจากนั้นรากจะยาวช้าลง จนยาวที่สุดเมื่อถึงช่วงการสร้างเมล็ด

2) การแตกแขนง ความเข้มข้นของไนโตรเจนในต้นและใบมีความสัมพันธ์ต่อการแตกแขนง ดังนี้ ในระยะที่ 12-17 วัน ข้าวเริ่มแตกแขนงเมื่อมี 4-5 ใบ โดยส่วนเหนือดินมี 3.5%N แตกแขนงดี 2.5%N หยุดแตกแขนง และต่ำกว่า 1.5%N แขนงตาย ทั้งนี้ต้นข้าวมักแตกกอ (tillering) จนเต็มที่แล้ว จึงเริ่มยืดปล้องแล้วสร้างตาดอกในลำดับต่อมา โดยไนโตรเจนมีบทบาทสำคัญอย่างมากในการแตกกอของข้าว (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2551)

3) การเจริญเติบโตของใบ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสัมพันธ์ต่อการเจริญเติบโตของใบ โดยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสช่วยเพิ่มดัชนีพื้นที่ใบ จำนวนแขนงและใบ

4) ผลผลิตเมล็ด ข้าวที่จะให้ผลผลิตสูงนั้น ในระยะสร้างเมล็ด ไนโตรเจนในส่วนเหนือดินยังคงมีความเข้มข้นอยู่ในเกณฑ์สูง เพราะส่วนเหนือดินและรากช่วง กระตุ้นซึ่งกันและกัน เพื่อรักษาดุลยภาพของไนโตรเจนในส่วนเหนือดิน ดังนี้

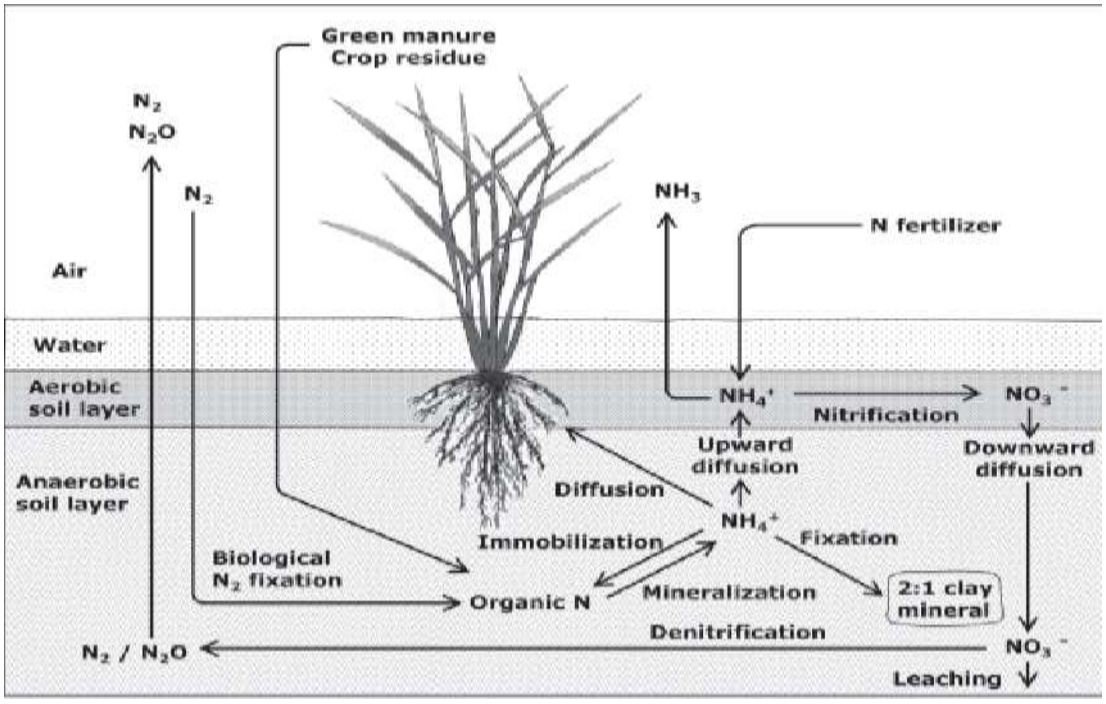
4.1) กิจกรรมการดูดธาตุอาหารของรากในช่วงนี้ยังสูง เพราะได้รับคาร์โบไฮเดรตจากส่วนเหนือดินอย่างต่อเนื่อง จึงดูดธาตุอาหารเช่นไนโตรเจนได้ดีมาก

4.2) ไนโตรเจนที่ใบได้รับจากราก ช่วยให้ใบสามารถสังเคราะห์แสงและสร้างคาร์โบไฮเดรตได้มากและอย่างต่อเนื่อง จึงส่งลงมาเลี้ยงรากเพื่อเป็นแหล่งอาหารอย่างสม่ำเสมอ

4.3) ในช่วงเมล็ดใกล้จะสุกแก่ 70 เปอร์เซนต์ของไนโตรเจนที่รากดูดได้ ไปสะสมในเมล็ดแล้วหากการดูดไนโตรเจนในช่วงก่อนออกดอกน้อยลง ทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบสูงขึ้น (ยงยุทธ โอสถสภา, 2558)

ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญที่สุดในการปลูกข้าว การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในดินนามักเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ได้เป็นแอมโมเนียม (NH_4^+) ด้วยกระบวนการ mineralization ซึ่งแอมโมเนียม (NH_4^+) จะสะสมในสารละลายดินและบริเวณผิวของคอลลอยด์ดินเกิดการแลกเปลี่ยนได้ การเกิดการย่อยสลายของไนโตรเจนในดินเพื่อเป็นแอมโมเนียม (NH_4^+) จะเกิดขึ้นภายในเวลา 2 สัปดาห์ ภายในสภาพอุณหภูมิที่เหมาะสมและไม่เป็นกรดมากเกินไป ความเข้มข้นของแอมโมเนียม (NH_4^+) ในสารละลายจะเพิ่มขึ้น 5-20 เท่าและเกิดการสะสมแอมโมเนียม (NH_4^+) ในสารละลายดินและถูกดูดซับที่ผิวของแร่ดินเหนียว เกิดการแลกเปลี่ยนออกมาเป็นประโยชน์ต่อข้าวได้ภายหลัง

การสูญเสียไนโตรเจนในนาข้าวเกิดจากกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) เป็นการสูญเสียไนโตรเจนในรูปก๊าซ (รูปที่ 2.3) ซึ่งเป็นการเกิดรีดักชันของไนเตรท (NO_3^-) เปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) หรือไนตรัสออกไซด์ (N_2O) โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยลำดับการเกิดการรับอิเล็กตรอนเมื่อออกซิเจนหมดจะเกิดจากไนเตรท (NO_3^-) > ไนไตรท์ (NO_2^-) > ไนตริกออกไซด์ (NO) > ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) เมื่อเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) ทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนในดินนาที่สำคัญ ซึ่งกลไกนี้พบได้ในดินนาหรือในสภาพที่มีดินชื้นแฉะ อัตราการสูญเสียก๊าซไนโตรเจนโดยดีไนตริฟิเคชัน 0.003-1.02 กรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตรต่อวัน ดังนั้นปุ๋ยไนเตรทจึงไม่เหมะสมที่จะนำมาใช้ในดินนา เพราะจะเกิดการสูญเสียไปเป็นก๊าซไนโตรเจนได้อย่างรวดเร็ว (ยงยุทธ โอสถสภา, 2558)



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในดินน้ำขัง

ที่มา : Buresh *et al*., 2008

สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในดินนาน้ำขัง มีอยู่ 2 ประเภท คือสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

2.6.1 สารอินทรีย์ไนโตรเจน มีอยู่ในอินทรียวัตถุของดิน ไนโตรเจนส่วนนี้เป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างช้าๆ โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินต่อไปนี้

1) สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลาย ให้มีโมเลกุลเล็กลง เช่น กรดอะมิโนและอะมีน

2) กรดอะมิโนและสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนโมเลกุลเล็กอื่นๆ ถูกจุลินทรีย์ดินแปรสภาพต่อไปเป็นแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) การเปลี่ยนแปลงจากสารประกอบอินทรีย์ (กรดอะมิโนหรืออะมีน) มาเป็นสารประกอบอนินทรีย์ (แอมโมเนียและแอมโมเนียมไอออน) เรียกว่ากระบวนการมิเนอรัลไลเซชัน (mineralization)

3) แอมโมเนียมไอออนในชั้นออกซิไดซ์ (oxidized layer) ของดินนาน้ำขังหรือบริเวณไรโซสเฟียร์ (rhizosphere) ซึ่งมีออกซิเจนเพียงพอ จะมีการเปลี่ยนแปลงจากแอมโมเนียมไอออนเป็นไนไตรท์ไอออน (NO_2^-) และไนเตรทไอออน (NO_3^-) ตามลำดับ โดยกระบวนการออกซิเดชันโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินซึ่งเรียกว่ากระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) แต่ในชั้นดินซึ่งขาดออกซิเจนคือชั้นรีดิวซ์ (reduced layer) การเปลี่ยนแปลงจะหยุดเพียงขั้นตอนแรกที่ได้แอมโมเนียมไอออนเท่านั้น

2.6.2 สารอนินทรีย์ไนโตรเจน ในดินนาที่สำคัญ

1) แอมโมเนียมไอออน ส่วนมากดูดซับอยู่กับอนุภาคดินเหนียวและฮิวมัส อยู่ในสารละลายของดินเพียงเล็กน้อย แอมโมเนียมไอออนทั้งสองส่วนนี้เป็นประโยชน์ต่อข้าว อย่างไรก็ตามแอมโมเนียมไอออนบางส่วนถูกตรึงไว้ในหลืบของแร่ดินเหนียวบางชนิด และไม่เป็นประโยชน์ต่อข้าว นอกจากนั้นแอมโมเนียมไอออนบางส่วนถูกจุลินทรีย์ดูดใช้แล้วอยู่ในเซลล์ของจุลินทรีย์ ซึ่งจะปลดปล่อยออกมาสู่ดินอีกครั้งหนึ่ง เมื่อจุลินทรีย์ตายและสลายตัว การที่จุลินทรีย์ดูดแล้วแปรสภาพสารประกอบอนินทรีย์ที่ดูดใช้ได้ (แอมโมเนียมไอออน) ไปเป็นสารประกอบอินทรีย์ภายในเซลล์สิ่งมีชีวิตเรียกว่ากระบวนการ immobilization

2) ไนเตรทไอออนในดินนาชั้นออกซิไดส์ (oxidized layer) เป็นประโยชน์ต่อข้าวและจุลินทรีย์หากไนเตรทไอออนเคลื่อนย้ายมาลงชั้นรีดิวซ์ซึ่งขาดออกซิเจน (anaerobic) ไนเตรทจะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นแก๊ส (NO N_2O และ N_2) โดยกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน (denitrification) แล้วระเหยไป

รากข้าวดูดไนโตรเจนได้ 3 รูป คือ แอมโมเนียม ยูเรีย และไนเตรท โดยทั่วไปข้าวชอบดูดใช้แอมโมเนียมไอออนมากกกว่าไนเตรทไอออน การดูดไนเตรทไอออนของเซลล์รากนั้น เซลล์ต้องใช้พลังงานมากกว่าการดูดแอมโมเนียมไอออน ประกอบกับการใช้ประโยชน์แอมโมเนียมไอออน ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ในเซลล์ มีขั้นตอนของเมแทบอลิซึมสั้นกว่า และใช้พลังงานน้อยกว่าการดูดใช้ไนเตรท ข้าวในแต่ละระยะการเติบโตมีความชอบไอออนแต่ละชนิดไม่เท่ากัน ในระยะการเติบโตไม่อาศัยเพศ รากดูดใช้แอมโมเนียมไอออนได้มากกว่าไนเตรท ส่วนในระยะเจริญพันธุ์รากข้าวดูดใช้ไนเตรทมากกว่าแอมโมเนียม และการปลูกข้าวในสารละลายธาตุอาหารที่มีไนโตรเจนรูปที่มีไนโตรเจนรูปแอมโมเนียมอย่างเดียว ได้น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินและรากมากกว่าสารละลายธาตุอาหารที่มีไนเตรทเพียงอย่างเดียว (ยงยุทธ โอสถสภา, 2558)

2.7 อิทธิพลของสมบัติดินและปุ๋ยต่อความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจน จากปุ๋ยอินทรีย์

กมลวรรณ ตีเมืองสอง และคณะ (2558) พบว่า สมบัติดินส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์ โดยดินเหนียว (ชุดดินโชคชัย) สามารถปลดปล่อยไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์ (มูลโค มูลไก่และปุ๋ยหมักอัดเม็ด) ทำให้มีความเข้มข้นของ NH_4^+ และ NO_3^- สูงกว่าดินทราย (ชุดดินน้ำพอง) เนื่องจากดินทรายเกิดกระบวนการ ammonitrification ได้ช้ากว่า และดินเหนียว (ชุดดินโชคชัย) มีปริมาณอนุภาคดินเหนียว ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน และเบสที่แลกเปลี่ยนได้สูงมากกว่า ซึ่งเหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการ mineralization จากปุ๋ยอินทรีย์มากกว่าดินทราย

ภัทราพร กังวานเจษฎา (2555) ได้ทำการศึกษาเรื่องการศึกษาการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนเพื่อเป็นดัชนีชี้วัดในการเจริญเต็มที่ของปุ๋ยหมัก (maturity) พบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมี

อิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและสารอินทรีย์ไนโตรเจนในมูลหมู ในขณะที่ปุ๋ยมูลไก่ มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพียงอย่างเดียว เนื่องมาจากปุ๋ยมูลไก่มีแกลบเป็นองค์ประกอบสูง ทำให้การสลายตัวได้ยาก แม้จะผ่านกระบวนการหมักก็ยังมีอินทรียวัตถุสูง อย่างไรก็ตามความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์ไม่ได้มีเพียงอิทธิพลจากวัสดุอินทรีย์เพียงอย่างเดียว ยังได้รับอิทธิพลมาจากสภาพความเป็นกรด-ด่าง และอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของดินอีกด้วย

Hartz *et al*. (2010) ได้ทำการศึกษาเรื่องไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์จากปุ๋ยอินทรีย์เหลว โดยปุ๋ยอินทรีย์ประกอบไปด้วย Phytamin 801 (มูลปลาและมูลนก) Phytamin 421 (กากถั่วเหลืองและสารสกัดจากพืช) และ Biolyzer (ปุ๋ยหมักจากข้าว) ทำการบ่มใน 2 อุณหภูมิ คือ 15 และ 25 องศาเซลเซียสและวัดปริมาณไนโตรเจนในสัปดาห์ที่ 1 2 และ 4 ของการบ่มดิน ผลของการศึกษาพบว่า Phytamin 801 และ Phytamin 421 มีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นกว่า 60 เปอร์เซ็นต์หลังจากทำการบ่ม 1 สัปดาห์ และเพิ่มขึ้นมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ หลังจาก 2 สัปดาห์ ส่วน Biolyzer มีปริมาณไนโตรเจนต่ำ แต่มีค่า C:N ratio สูง โดยอุณหภูมิการบ่มที่ 25 องศาเซลเซียส จะพบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการบ่มที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

Kaleeem *et al*. (2015) ได้ทำการศึกษาผลของการเศษซากพืชที่แตกต่างกัน ต่อการเกิด mineralization–immobilization ของไนโตรเจนและปริมาณคาร์บอนในดินด้วยวิธีการบ่มดิน โดยทำการทดลองบ่มดินเป็นเวลา 120 วัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำการเก็บผลทุกวันที่ 7 14 21 28 42 60 80 100 และ 120 วัน ซึ่งพืชตระกูลถั่วอย่างส่วนเหนือดินของถั่วเหลือง จะมีอัตราการย่อยสลายสูงสุดอยู่ที่ 109.8 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม คิดเป็น 55 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนที่มีการปลดปล่อยจากแหล่ง และมีปริมาณผลรวมของไนโตรเจนที่สะสม (Net cumulative N mineralization) ของส่วนเหนือดินของถั่วเหลืองอยู่ที่ 74 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม เนื่องจากมีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงและมีค่า C:N ratio ต่ำ และการใส่เศษซากพืชลงไปในดินช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุและเพิ่มปริมาณ N mineralization และ N transformation ให้สูงขึ้น

Sulivan and Andrews (2012) จึงได้มีการศึกษาการปลดปล่อยของไนโตรเจนในรูปอนินทรีย์สารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยตรงโดยการคาดคะเนการปลดปล่อยของอนินทรีย์ไนโตรเจน จากการดูดดึงไนโตรเจนของพืชเข้าไปใช้ในการเจริญเติบโตของข้าวไรย์ ซึ่งพบว่าเมื่อไถกลบต้นข้าวไรย์ลงไปในดินจะมีการย่อยสลายเร็วที่สุดที่ระยะ 4-6 สัปดาห์หลังการไถกลบ และมีการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (NH_4^+-N และ NO_3^--N) อัตรา 8.97 กิโลกรัมต่อไร่

2.8 อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืช

กรกนก เภาโพธิ์ และคณะ (2557) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้วัสดุอินทรีย์ต่อการตอบสนองของข้าวในดินเค็ม พบว่าการใส่โสนอัฟริกันร่วมกับฟางข้าว มีการดูดใช้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมได้มากที่สุด จึงมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น รวมทั้งมีการสะสมน้ำหนักแห้งและให้ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นด้วย ข้าวมีการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงขึ้น ส่งผลให้ข้าวมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูง

อรประภา อนุกลูประเสริฐ และภาณุมาศ ฤทธิไชย (2558) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงต่อการให้ผลผลิต และคุณภาพของผักกาดหอม พบว่าปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงสูตรที่ 1 ของกรมพัฒนาที่ดินและปุ๋ยมูลไก่หมักคุณภาพสูง ทำให้สมบัติทางเคมีของดินดีขึ้นกว่าการให้ปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลโคเมื่อเปรียบเทียบการให้ปุ๋ยที่ไนโตรเจนอัตราเดียวกัน การใส่ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงติดต่อกันเป็นเวลานานทำให้ลดการสูญเสียธาตุอาหาร โดยธาตุอาหารจะมีการปลดปล่อยอย่างช้าๆ เนื่องจากมีฮิวมัสซึ่งเป็นองค์ประกอบของอินทรียวัตถุในดินที่ช่วยตรึงธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ไว้ไม่ให้ถูกชะล้างไป นอกจากนี้ยังพบว่าทำให้ดินมีสมบัติทางเคมีดีขึ้น โดยเฉพาะค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืชมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตของผักกาดหอมขึ้นอยู่กับระดับไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งชนิดของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงให้ผลไม่แตกต่างกันและการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงทั้งสองชนิดเป็นปุ๋ยแต่งหน้าที่อัตรา 108.7 กรัมต่อกระถาง สามารถใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลโคที่อัตรา 217.4 กรัมต่อกระถางได้

นุจรีย์ กองพลพรหม และคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงและปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวหอมมะลิ 105 พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวในด้านความสูง การแตกกอและผลผลิตของข้าวสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงอัตรา 400 กิโลกรัมต่อไร่ให้ปริมาณผลผลิต มีปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้นดีที่สุด

ณัฐพล บัวจันทร์ และเครือมาศ สมัครการ (2556) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการจัดการดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี ผลการทดลองพบว่าดินที่มีการใส่ฟางเผาส่งผลต่อความสูงของข้าว จำนวนกอต่อกระถาง จำนวนใบต่อต้น จำนวนรวงต่อกระถาง น้ำหนักรากข้าวและผลผลิตสูงสุด เนื่องจากฟางเผาสามารถย่อยสลายได้เร็วกว่าฟางข้าวสับ จึงมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าวเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะไนโตรเจนที่มีหน้าที่ในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช

Moyin-Jesu (2015) ได้ทำการศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน การเจริญเติบโตและผลผลิตของกะหล่ำปลี พบว่าการใช้ปุ๋ยมูลวัว ส่งผลต่อความสูง

จำนวนใบ น้ำหนักหัวและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวสูงสุด โดยเพิ่มขึ้น 1 7 10 17 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับเมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี และเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงขึ้น โดยการใช้ปุ๋ยมูลวัวอัตรา 6 ตันต่อเฮกแตร์ ส่งผลต่อการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินและการเจริญเติบโตดีที่สุด

ชุติมณฑน์ ชูพุดซา (2553) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์กับการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้า (*Brassica oleracea*) ในระบบเกษตรอินทรีย์ ผลการทดลองพบว่าการเร่งการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยอินทรีย์สามารถทำได้โดยการหมักปุ๋ยอินทรีย์น้ำ โดยการใช้ที่อัตรา 1:8 มีประสิทธิภาพดีที่สุดเพราะสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามการหมักปุ๋ยอินทรีย์น้ำจะสูญเสียไนเตรท (NO_3^-) แต่ยังคงทำให้ผลผลิตและการเจริญเติบโตของผักคะน้าดีกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์แห้ง และเมื่อแอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรท (NO_3^-)ในปุ๋ยอินทรีย์น้ำปลดปล่อยออกมาเพิ่มขึ้นทำให้ธาตุอาหารในผักคะน้า น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น

จารุวรรณี เตรียมวิจารณ์กุล (2559) ได้ทำการศึกษาการใช้พืชตระกูลถั่วทั้ง 4 ชนิด คือ ถั่วมะแฮะ ปอเทือง ถั่วเขียวและถั่วพุ่มดำ เป็นพืชปุ๋ยสดในการปลูกข้าวนาดำ พบว่าหลังการทดลอง 3 ปี ทำให้ดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลง จากสภาพเป็นกรดจัดมาก (pH 4.6-4.8) เป็นกรดรุนแรงมาก (pH 4.5-4.6) และมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าสูงขึ้น การใช้ปอเทืองและถั่วพุ่มดำเป็นพืชปุ๋ยสด จะให้ผลตอบแทนกำไรสูงสุดและให้ปริมาณการสะสมไนโตรเจนสูงสุดอยู่ที่ 2.54 เปอร์เซ็นต์

ศุภสิทธิ์ สิทธาพานิช และคณะ (2557) ได้ทำการศึกษาการใช้ปุ๋ยพืชสดต่อผลผลิตและการดูดใช้ไนโตรเจนของข้าวที่ปลูกในดินลูกรัง พบว่าการใช้ถั่วพุ่มเป็นพืชปุ๋ยสด มีปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดสูงที่ 58.08 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ และมีปริมาณไนโตรเจนในฟางข้าวสูงสุดอยู่ที่ 35.21 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ และมีการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินสูงที่สุดในแปลงที่ใช้ถั่วพุ่มเป็นปุ๋ยพืชสดซึ่งมีปริมาณ 93.29 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ โดยปุ๋ยพืชสดสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวที่ปลูกในสภาพดินลูกรัง โดยการไถกลบถั่วพุ่มก่อนการปักดำข้าว 2 สัปดาห์ ทำให้ข้าวมีผลผลิตและการดูดใช้ไนโตรเจนสูงกว่าปุ๋ยพืชสดชนิดอื่น

Gong *et al*. (2011) ได้ทำการศึกษาการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในระยะเวลา 18 ปี ต่อดัชนีการวัดไนโตรเจน เพื่อประเมินรูปไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยทำการปลูกข้าวสาลีและข้าวโพดหมุนเวียนกัน ในพื้นที่ราบทางตอนเหนือของประเทศจีน ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ทำให้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ไนโตรเจนจากชีวมวลของจุลินทรีย์ อัตราการตรึงแอมโมเนียม ไนเตรท อัตราการย่อยสลายไนโตรเจนสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี

Zarabi and Jalai (2012) ได้ทำการศึกษาอัตราการปลดปล่อยปริมาณไนเตรทและแอมโมเนียมจากเศษวัสดุอินทรีย์ โดยทำการศึกษาเศษเหลือใช้ทางการเกษตร 4 ชนิด ปุ๋ยหมัก 2 ชนิด กากตะกอนน้ำเสียและปุ๋ยหมักจากขยะเทศบาล โดยบ่มเป็นระยะเวลา 11 สัปดาห์ในสภาพอากาศถ่ายเทที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าวัสดุอินทรีย์ทุกชนิดมีการปลดปล่อยรูปแอมโมเนียมมากขึ้นในระยะเริ่มต้นและลดลงในระยะเวลาต่อไป ในขณะที่ปริมาณไนเตรทจะปลดปล่อยมามากในช่วงการบ่ม เนื่องจากเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) โดยเศษซากพืชจากมะเขือเทศ กากตะกอนน้ำเสียและปุ๋ยมูลไก่มีอัตราการปลดปล่อยมากที่สุด

2.9 อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อปริมาณคาร์บอนในดิน

กันยารัตน์ บัวราษฎร์ และคณะ (2555) ได้ทำการศึกษาผลของระบบการไถพรวนร่วมกับการใส่อินทรียวัตถุในดินต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและการกักเก็บคาร์บอนในดินของการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 พบว่า การเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุด้วยถั่วเขียวทำให้ข้าวมีความสูงที่สุด เนื่องจากถั่วเขียวมีปมรากที่อาศัยของแบคทีเรียพวกไรโซเบียม ช่วยตรึงไนโตรเจน จากอากาศให้กลายเป็นกรดอะมิโนและสารประกอบไนโตรเจน ทำให้ข้าวนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีและยังช่วยในการบำรุงรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน การเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุด้วยปอเทือง ทำให้ข้าวแตกกอสูงสุด เนื่องจากเมื่อปอเทืองออกดอกเต็มที่จะมีกรดที่เกิดจากการสลายของพืชปุ๋ยสด ช่วยละลายธาตุอาหารในดินให้แก่พืชได้ดีมากยิ่งขึ้น การลดการไถพรวนสามารถกักเก็บคาร์บอนในดินได้มากที่สุด และการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินด้วยโสนมีผลทำให้การกักเก็บคาร์บอนในพืชมากที่สุด

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย 2 การทดลอง คือ

การทดลองที่ 1 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพขังน้ำ

การทดลองที่ 2 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และการจัดรูปแบบการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของข้าว

3.1 การทดลองที่ 1 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพขังน้ำ

3.1.1 ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลอง

ทำการเก็บตัวอย่างดินจากแปลงปลูกข้าวที่ทำเกษตรอินทรีย์ เป็นระยะเวลาประมาณ 10 ปี และแปลงข้างเคียงที่ไม่ใช่เกษตรอินทรีย์ โดยตั้งอยู่ที่เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร จัดอยู่ในชุดดินบางกอก (very-fine, smectitic, nonacid, isohyperthermic Vertic Endoaquepts) ตามแผนที่ชุดดินของกรมพัฒนาที่ดิน โดยแปลงปลูกข้าวที่ทำเกษตรอินทรีย์ (ละติจูด 13º55˙23.0˝N ลองติจูด 100º54˙32.2˝E) และในแปลงข้างเคียงที่ไม่ใช่เกษตรอินทรีย์ หลังจากเก็บตัวอย่างดินระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร นำตัวอย่างดินมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม ย่อยและผสมตัวอย่างให้เข้ากัน และทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในวิเคราะห์ทางเคมีและทางกายภาพต่อไป

3.1.2 ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้มีทั้งหมด 3 ชนิดได้แก่ ปุ๋ยมูลโค ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด โดยที่ปุ๋ยมูลโคและปุ๋ยหมัก ได้มาจากภายในแปลงเกษตรกรที่เก็บตัวอย่างดิน มาจากการหมักระหว่างฟางข้าวและปุ๋ยมูลโค ในอัตราส่วน 3:1 หมักเป็นระยะเวลา 60 วัน และปุ๋ยพืชสด คือ ปอเทืองได้มาจากแปลงเกษตรภายในคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปอเทืองที่ใช้ คัดเลือกมาจากระยะเวลาที่ปอเทืองออกดอกประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดที่ได้ นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้น และทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยการบ่มดิน

3.1.3 การวิเคราะห์สมบัติดินทางเคมีก่อนทดลอง

ตัวอย่างดินก่อนการทดลอง นำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยทำการวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) ด้วยเครื่อง pH meter ในอัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 วิเคราะห์สภาพการนำไฟฟ้าของดิน (Electrical conductivity (EC)) วัดด้วยเครื่อง EC meter อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:5 วิเคราะห์ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation exchange capacity (CEC)) โดยวิธี

1*N* ammonium acetate pH 7.0 replacement method (Peech *et al.*,1947) วิเคราะห์คาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมด ด้วยเครื่อง CNS analyzer (LECO Coporation, 2016) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) โดยใช้น้ำยาสกัด BrayII วัดความเข้มข้นด้วยวิธีทำให้เกิดสี (colorimetric method) (Bray and Kurtz, 1945) วิเคราะห์โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Potassium (K), Calcium (Ca) และ Magnesium (Mg)) โดยสกัดด้วย 1*N* ammonium acetate pH 7.0 และวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma - optical emission spectrometry (ICP-OES) (Spark *et al*. 1996) และวิเคราะห์เหล็ก สังกะสี แมงกานีส และทองแดงที่สกัดได้ (Extractable Iron (Fe), Zinc (Zn), Mangenese (Mn) และ Copper (Cu)) โดยสกัดด้วย Diethylenetriaminepenta-acetic acid (DTPA pH 7.3) (Lindsay and Norvell, 1978) และวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma - optical emission spectrometry (ICP-OES) (Spark *et al*. 1996) และวิเคราะห์เนื้อดิน โดยใช้ Hydrometer method (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

3.1.4 การวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ก่อนการทดลอง

ทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของปุ๋ยก่อนปลูก ได้แก่ สภาพความเป็นกรดด่าง วัดด้วย pH meter อัตราส่วนปุ๋ยต่อน้ำ 1:5 วิเคราะห์คาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon) และไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) วัดด้วยเครื่อง CNS analyzer (LECO Coporation, 2016) วิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P_2O_5) โพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O) แคลเซียมทั้งหมด (Total Ca) และแมกนีเซียมทั้งหมด (Total Mg) ย่อยสลายด้วยกรดเปอร์คลอริก และกรดไนตริก ($HClO_4$:HNO_3) ในอัตราส่วน 2:1 และวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง ICP-OES (Spark *et al*, 1996)

3.1.5 การวางแผนการทดลองบ่มดินในห้องปฏิบัติการ

วางแผนการทดลองแบบ 2 × 4 แฟคทอเรียล ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง มี 2 ปัจจัย โดยปัจจัยที่หนึ่ง คือ ดินที่ใช้ปลูกข้าว 2 แบบ ได้แก่ ดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ปัจจัยที่สอง คือ ชนิดของปุ๋ยอินทรีย์มี 3 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยมูลโค ปุ๋ยหมัก ปอเทือง และการไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยมีแหล่งที่มาดังที่กล่าวไว้แล้ว ทำให้การทดลองมีทั้งหมด 8 ทรีทเมนต์ ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ และรายละเอียดดังตารางที่ 3.1

1) ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (CN-O)

2) ใส่ปุ๋ยมูลโคในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ อัตรา 300 mg N/kg (CM-O)

3) ใส่ปุ๋ยหมักในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ อัตรา 300 mg N/kg (CP-O)

4) ใส่ปุ๋ยพืชสดในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ อัตรา 300 mg N/kg (SH-O)

5) ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ (CN)

6) ใส่ปุ๋ยมูลโคในดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ อัตรา 300 mg N/kg (CM)

7) ใส่ปุ๋ยหมักในดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ อัตรา 300 mg N/kg (CP)

8) ใส่ปุ๋ยพืชสดในดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ อัตรา 300 mg N/kg (SH)

ตารางที่ 3.1 ทรีทเมนต์ที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 8 ทรีทเมนต์

ทรีทเมนต์	ชนิดดิน	ชนิดปุ๋ยอินทรีย์		
		ปุ๋ยมูลโค	ปุ๋ยหมัก	ปุ๋ยพืชสด
1	ดินที่ปลูกข้าวในระบบ	-	-	-
2	เกษตรอินทรีย์	✓	-	-
3		-	✓	-
4		-	-	✓
5	. ดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่	-	-	-
6	ระบบเกษตรอินทรีย์	✓	-	-
7		-	✓	-
8		-	-	✓

* อัตรา 300 mg N/kg โดยคำนวณจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิด

3.1.6 การบ่มดินในห้องปฏิบัติการ

ชั่งตัวอย่างดิน 100 กรัม ใส่ขวดแก้วขนาด 250 มิลลิลิตร และใส่ปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดในอัตรา 300 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ผสมตามทรีทเมนต์ที่กล่าวไปข้างต้น ผสมให้เข้ากันและเติมน้ำลงไป 200 มิลลิลิตร หลังจากนั้นคนผสมตัวอย่างอีกครั้ง โดยให้ระดับน้ำท่วมขังเลยผิวดินประมาณ 10 เซนติเมตร จากนั้นบ่มดินที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 วัน และเก็บตัวอย่างดินและน้ำในวันที่ 0 3 5 7 14 21 28 42 56 70 98 และ 120 วัน นำตัวอย่างดินที่เก็บได้ในแต่ละครั้งนำไปวิเคราะห์ โดยดินสด ทำการวิเคราะห์ pH ในดิน โดยวัดด้วย pH meter อัตราส่วน 1:1 และ pH ในน้ำ วัดจากสารละลายที่อยู่เหนือผิวดิน วัดสภาพการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ด้วย EC meter ปริมาณแอมโมเนียม (NH_4^+) โดยสกัดด้วย 2*N* KCl และวัดด้วยวิธี stream distillation (Miegroet, 1995) ปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจน (Hydrolyzable nitrogen) วิเคราะห์โดยใช้วิธีของ Khan *et al*. (2001) และ Bushong *et al*. (2008) วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ (Carbon mineralization) ด้วยวิธีของ Carter and Gregorich (2006) และดินแห้ง (ดินที่ผึ่งให้แห้ง) ทำการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในดิน เก็บเฉพาะวันที่ 0 และ 120 วันของการบ่มดิน วัดด้วยเครื่อง CNS analyzer (LECO Coporation, 2016)

3.1.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1.7.1 การคำนวณไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชั่น (Nitrogen mineralization model)

นำข้อมูลปริมาณแอมโมเนียมที่ได้จากการบ่มตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการในแต่ละวันที่บ่มดิน คำนวณการย่อยสลายของไนโตรเจนในดิน (soil mineralizable nitrogen) ดังสมการที่ 1 อธิบายด้วยวิธีของ Dessureault-Rompre´ *et al*. (2014):

$$Nt = N_0 \times (1 - e^{-kt}) \quad (1)$$

โดย Nt คือ ปริมาณการสะสมแอมโมเนียมที่ได้จากการย่อยสลายที่ช่วงเวลา t (nitrogen mineralization) N_0 คือ ศักยภาพการย่อยสลายของไนโตรเจน (potential mineralization nitrogen) และ *k* คือ อัตราการย่อยสลาย (mineralization rate) (Dessureault-Rompre´ *et al*., 2015, Thomas *et al*., 2015, Wijanarko and Purwanto, 2016 และ Wang *et al*., 2017) โดยค่า N_0 และ *k* ของปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิด คำนวณด้วยสมการที่ 1 ด้วยแบบจำลองการถดถอยที่ไม่เป็นเส้นตรง (non-linear regression model) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยนำค่า Nt มาคำนวณปริมาณการสะสมของการย่อยสลายไนโตรเจน (cumulative nitrogen mineralization) ที่ระยะเวลาในแต่ละครั้งของการบ่มดิน

การคำนวณ cumulative nitrogen mineralization (Nt) ทำได้โดยนำปริมาณแอมโมเนียมที่วิเคราะห์ในแต่ละวันของแต่ละทรีทเมนต์หารด้วยจำนวนวันของการบ่มดิน เพื่อให้ได้ปริมาณแอมโมเนียมต่อวัน เช่น ปริมาณแอมโมเนียมที่วิเคราะห์ได้ในวันที่ 3 หารด้วย 3 หลังจากนั้นนำข้อมูลปริมาณแอมโมเนียมต่อวันมาบวกกัน เพื่อหาปริมาณการสะสมแอมโมเนียมในดิน เช่น ปริมาณแอมโมเนียมในวันที่ 0 บวกกับวันที่ 3 เพื่อให้ได้ข้อมูลการสะสมแอมโมเนียมในวันที่ 3 และบวกการสะสมไปเรื่อยๆ จนถึงวันที่ 120 ซึ่งข้อมูลการสะสมแอมโมเนียมแต่ละวัน คือ ค่า Nt และวันที่บ่มดิน คือ t นำข้อมูลตัวแปรทั้งสองตัวแปรมาคำนวณในสมการที่ 1 เพื่อคาดคะเนค่า N0 และค่า *k* ของแต่ละทรีทเมนต์ และนำค่า N0 และค่า *k* ทำนายค่าอัตราการย่อยสลาย (Pi) ของแต่ละทรีทเมนต์

การประเมินด้วยค่าดัชนีการยอมรับ (index of agreement) (Willmott *et al.,* 2012) และ modeling efficiency (Mohanty *et al.*, 2011) ของสมการการย่อยสลายไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผสมในดินแต่ละชนิด เพื่อทดสอบความแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้น การหา index of agreement ค่า Oi คือค่าที่ได้จากการสะสมแอมโมเนียมจากข้อที่ 1 และ Pi คือค่าที่ได้จากสมการที่ 1 ซึ่งก็คือ Nt ในสมการที่ 1 n คือจำนวนข้อมูลที่เก็บผล คือ 0 3 5 7 14 21 28 42 56 70 98 และ 120 มีทั้งหมด 12 ข้อมูล n ในที่นี้เท่ากับ 12 โดยนำข้อมูลที่ได้มาแทนค่าในสมการที่ 2 ทำทีละทรีทเมนต์ และการหา modeling efficiency (EF) แทนค่าดังสมการที่ 3

ค่าดัชนีความเชื่อมั่น (index of agreement; d) และ modeling efficiency (EF) จะใช้ประเมินเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชั่นโมเดล (Nitrogen mineralization model) โดยข้อมูลที่ทำนายไว้ (prediction data) จะเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (observation data) ซึ่งแสดงสมการของ index of agreement (d) และ modeling efficiency (EF) ในสมการที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=0}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=0}^{n}(|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (2)$$

$$EF = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{i=n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{i=n}(O_i - \bar{O})^2}\right] \quad (3)$$

โดยค่า Pi คือ ข้อมูลที่ทำนายไว้ (predicted value) Oi คือ ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (observed value) $\bar{O}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และ n คือ จำนวนของข้อมูล (number of observation)

3.1.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) ประเมินความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเม้นต์โดยวิธี Ducan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.2 การทดลองที่ 2 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และการจัดรูปแบบการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของข้าว

นำข้อมูลจากการทดลองที่ 1 ทำการทดลองในกระถาง โดยคาดว่าจากการทดลองที่ 1 จะพบรูปแบบของการปลดปล่อยไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์เป็น 2 รูปแบบ คือ ปุ๋ยอินทรีย์สลายตัวปลดปล่อยไนโตรเจนอย่างรวดเร็ว (ปุ๋ยมูลโค) และปุ๋ยอินทรีย์ที่สลายตัวปลดปล่อยไนโตรเจนอย่างช้าๆ (ปุ๋ยหมัก) ก่อนการทดลองทำการเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และคำนวณความต้องการของธาตุไนโตรเจนของข้าว

3.2.1 ตัวอย่างดินและปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

ดินที่ใช้เป็นตัวอย่างดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้มีทั้งหมด 2 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยมูลโคและปุ๋ยหมัก ได้มาจากการหมักระหว่างมูลโคและฟางข้าว ในอัตราส่วน 3:1 หมักเป็นระยะเวลา 60 วัน โดยที่ปุ๋ยมูลโคและปุ๋ยหมัก ได้มาจากภายในแปลงเกษตรกรที่เก็บตัวอย่างดิน เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

3.2.2 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยมีทรีทเมนต์ที่ใช้ในการทดลอง 7 ทรีทเมนต์ คือ

1) ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (Control)
2) ใส่ปุ๋ยหมัก ใส่ครั้งเดียวพร้อมปักดำ (Compost1)
3) ใส่ปุ๋ยหมัก แบ่งใส่ 2 ครั้งพร้อมปักดำและแตกกอ 45 วัน (Compost2)
4) ใส่ปุ๋ยมูลโค ใส่ครั้งเดียวพร้อมปักดำ (Cow manure1)
5) ใส่ปุ๋ยมูลโค แบ่งใส่ 2 ครั้งพร้อมปักดำและแตกกอ 45 วัน (Cow manure2)
6) ใส่ปุ๋ยหมัก ใส่ครั้งเดียวในระยะปักดำและใส่ปุ๋ยมูลโค ใส่ครั้งเดียวในระยะแตกกอ (Com1+Cow1)
7) ใส่ปุ๋ยหมัก ใส่ครั้งเดียวในระยะปักดำและใส่ปุ๋ยมูลโค แบ่งใส่ 2 ครั้งในระยะแตกกอและระยะสร้างรวงอ่อน (Com1+Cow2)

โดยทุกทรีทเมนต์ยกเว้น Control จะได้รับปุ๋ยไนโตรเจนเท่าๆกัน ในอัตรา 12 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ซึ่งในฤดูที่ 1 ปุ๋ยมูลโคมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 1.91 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้นปุ๋ยเท่ากับ 17.85 เปอร์เซ็นต์ และปุ๋ยหมักมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 1.87 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้นปุ๋ยเท่ากับ 53.33 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ฤดูที่ 2 ปุ๋ยมูลโคมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 1.94 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้นปุ๋ยเท่ากับ 15.53 เปอร์เซ็นต์ และปุ๋ยหมักมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 1.94 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้นปุ๋ยเท่ากับ 48.11 เปอร์เซ็นต์ โดยคำนวณปุ๋ยมาจากการสะสมปริมาณ

แอมโมเนียมในดินของการบ่มดิน โดยอธิบายจากสมการในการทดลองที่ 1 และมีรายละเอียดการใส่ปุ๋ยตามระยะการเจริญเติบโต ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ทรีทเมนต์ที่ใช้ในในการปลูกข้าวในกระถาง มีทั้งหมด 7 ทรีทเมนต์

ทรีทเมนต์	ความต้องการไนโตรเจนของข้าว (100%)*		
	ระยะปักดำ (27 วัน)	ระยะแตกกอ (45 วัน)	ระยะสร้างรวงอ่อน (60 วัน)
1. ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ใดๆ (Control)	-	-	-
2. ใส่ปุ๋ยหมักเพียงครั้งเดียว ในระยะปักดำ 100% (Compost1)	100%	-	-
3. ใส่ปุ๋ยหมัก 2 ครั้ง ในระยะปักดำ 50% และระยะแตกกอ 50% (Compost2)	50%	50%	-
4. ใส่ปุ๋ยมูลโคเพียงครั้งเดียว ในระยะปักดำ 100% (Cow manure1)	100%	-	-
5. ใส่ปุ๋ยมูลโค 2 ครั้ง ในระยะปักดำ 50% และระยะแตกกอ 50% (Cow manure2)	50%	50%	-
6. ใส่ปุ๋ยหมักเพียงครั้งเดียว ในระยะปักดำ 50% และใส่ปุ๋ยมูลโค เพียงครั้งเดียว ในระยะแตกกอ 50% (Com1+Cow1)	50%	50%	-
7. ใส่ปุ๋ยหมักเพียงครั้งเดียว ในระยะปักดำ 50% และแบ่งใส่ปุ๋ยมูลโค 2 ครั้ง ครั้งละ 25% ในระยะแตกกอและระยะสร้างรวงอ่อน (Com1+Cow2)	50%	25%	25%

*โดยทุกทรีทเมนต์ยกเว้น Control จะได้รับปุ๋ยไนโตรเจนเท่าๆ กัน ในอัตรา 12 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่

ตารางที่ 3.3 อัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิด ตามทรีทเมนต์ ในการปลูกข้าวทั้ง 2 ฤดู

ทรีทเมนต์	อัตราปุ๋ยอินทรีย์ฤดูที่ 1 (g/pot)			อัตราปุ๋ยอินทรีย์ฤดูที่ 2 (g/pot)		
	ระยะปักดำ (30 วัน)	ระยะแตกกอ (45 วัน)	ระยะสร้างรวงอ่อน (60 วัน)	ระยะปักดำ (27 วัน)	ระยะแตกกอ (45 วัน)	ระยะสร้างรวงอ่อน (60 วัน)
1. ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ใดๆ (Control)	-	-	-	-	-	-
2. ใส่ปุ๋ยหมักเพียงครั้งเดียว ในระยะปักดำ 100% (Compost1)	174.64	-	-	82.14	-	-
3. ใส่ปุ๋ยหมัก 2 ครั้ง ในระยะปักดำ 50% และระยะแตกกอ 50% (Compost2)	86.91	86.91	-	41.00	41.00	-
4. ใส่ปุ๋ยมูลโคเพียงครั้งเดียว ในระยะปักดำ 100% (Cow manure1)	131.43	-	-	155.53	-	-
5. ใส่ปุ๋ยมูลโค 2 ครั้ง ในระยะปักดำ 50% และระยะแตกกอ 50% (Cow manure2)	65.41	65.41	-	77.63	77.63	-
6. ใส่ปุ๋ยหมักเพียงครั้งเดียว ในระยะปักดำ 50% และใส่ปุ๋ยมูลโค เพียงครั้งเดียว ในระยะแตกกอ 50% (Com1+Cow1)	86.91	86.91	-	41.00	77.63	-
7. ใส่ปุ๋ยหมักเพียงครั้งเดียว ในระยะปักดำ 50% และแบ่งใส่ปุ๋ยมูลโค 2 ครั้ง ครั้งละ 25% ในระยะแตกกอและระยะสร้างรวงอ่อน (Com1+Cow2)	86.91	32.70	32.70	41.00	38.86	38.86

3.2.3 การเพาะกล้าข้าว

ปลูกข้าวโดยใช้พันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 ในการเพาะปลูก โดยนำเมล็ดข้าวที่งอกแล้วนำไปหว่านในดินที่เตรียมไว้ในการเพาะกล้าดังรูปที่ 3.1 เมื่อกล้าข้าวอายุ 30 วัน ในการปลูกข้าวฤดูที่ 1 และอายุกล้าข้าว 27 วัน ในการปลูกข้าวฤดูที่ 2 และนำไปปักดำข้าว

รูปที่ 3.1 การเพาะกล้าข้าว

3.2.4 การเตรียมดินในการเพาะปลูกและการย้ายปลูก

นำตัวอย่างดินที่เก็บมา ทำการผึ่งให้แห้ง ย่อยและคลุกเคล้าดินให้เข้ากันและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 เซนติเมตร ชั่งดินน้ำหนัก 10 กิโลกรัม ใส่ในกระถางขนาด 20 ลิตร ดังรูปที่ 3.2 และใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตามทรีทเมนต์ ดังตารางที่ 3.2 โดยในฤดูกาลที่ 1 ย้ายปลูกเมื่อข้าวอายุ 30 วัน ในวันที่ 12 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 วันปักดำข้าว (Day after transplant ; DAT) ครั้งที่ 2 เมื่อข้าวอายุ 45 วัน (ระยะแตกกอ 45 DAT) ในวันที่ 28 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 และครั้งที่ 3 เมื่อข้าวอายุ 60 วัน (ระยะสร้างรวงอ่อน 60 DAT) ในวันที่ 15 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2561

และในฤดูกาลที่ 2 ทำการย้ายปลูกเมื่อข้าวอายุ 27 วัน เมื่อวันที่ 8 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2561 ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 วันปักดำข้าว (0 DAT) ครั้งที่ 2 เมื่อข้าวอายุ 45 วัน (ระยะแตกกอ 45 DAT) ในวันที่ 27 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2561 และครั้งที่ 3 เมื่อข้าวอายุ 60 วัน (ระยะสร้างรวงอ่อน 60 DAT) ในวันที่ 11 เดือนกันยายน พ.ศ. 2561

รูปที่ 3.2 ร่อนดินผ่านตะแกรง และชั่งดินใส่กระถาง

3.2.5 การปลูกและดูแลข้าว

ปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ฤดูที่ 1 ปลูกเมื่อวันที่ 12 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 โดยทำการปักดำข้าว 3 ต้นต่อกระถาง และขังน้ำให้อยู่เหนือผิวดินประมาณ 10-15 เซนติเมตร เมื่อข้าวอายุ 7 วัน ทำการถอนต้นแยกจนเหลือเพียง 1 ต้นต่อกระถาง กำจัดวัชพืชโดยการถอนด้วยมือตลอดการเจริญเติบโตของข้าว และในระหว่างการปลูกข้าวทำการฉีดพ่นจุลินทรีย์ชีวภาพ เพื่อป้องกันโรคและแมลงศัตรูพืช ก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต 1 สัปดาห์จะหยุดการให้น้ำ และทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่ออายุครบ 143 วัน เก็บเกี่ยวในวันที่ 5 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2561 และปลูกข้าวฤดูที่ 2 ปลูกเมื่อวันที่ 9 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2561 และทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่ออายุครบ 116 วัน โดยเก็บเกี่ยวในวันที่ 6 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2561

รูปที่ 3.3 การปักดำข้าว

3.2.6 การเก็บข้อมูล

3.2.6.1 การเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินในวันที่ 0 7 14 21 28 42 56 70 98 และ 120 วัน แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 คือ ดินสด วัดค่าปฏิกิริยาของดิน (pH) วัดด้วย pH meter วัดปริมาณแอมโมเนียม สกัดด้วย 2*N* KCl วัดด้วยวิธี Stream distillation (Miegroet, 1995) และส่วนที่ 2 นำดินมาผึ่งในที่ร่ม

เพื่อวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด วัดด้วยเครื่อง CNS analyzer (LECO Coporation, 2016) เก็บข้อมูลเฉพาะวันที่เริ่มต้นและวันที่สิ้นสุดของการปลูกข้าว

3.2.6.2 การเก็บตัวอย่างสารละลาย (น้ำที่ท่วมขังผิวดิน)

เก็บตัวอย่างสารละลายตามระยะเวลาวันที่ 0 7 14 21 28 42 56 98 และ 120 วันของการปลูกข้าว โดยสารละลายที่ใช้วัดคือน้ำขังเหนือผิวดินที่มีการปลูกข้าวในกระถาง วิเคราะห์สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH meter วัดค่าสภาพการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity (EC)) ด้วยเครื่อง EC meter

3.2.6.3 การเจริญเติบโตของข้าว

ทำการเก็บข้อมูลความสูงและนับจำนวนการแตกกอของข้าวในทุกๆ สัปดาห์หลังจากการย้ายปลูก จนถึงสิ้นสุดการทดลอง และเมื่อถึงระยะเวลาเก็บเกี่ยวของข้าว ทำการเก็บข้อมูลจำนวนหน่อ จำนวนรวง ชั่งน้ำหนักสดของรวงและตอซัง และทำการย่อยตัวอย่างพืชและนำไปอบให้แห้ง เมื่อตัวอย่างพืชแห้งแล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้งของรวงและตอซัง ชั่งน้ำหนักรวมของเมล็ด จำนวนเมล็ดดี จำนวนเมล็ดลีบ และ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด

รูปที่ 3.4 การเจริญเติบโตของข้าว ในระยะเก็บเกี่ยว

3.2.7 การวิเคราะห์พืช

นำตัวอย่างพืชที่ผ่านการอบแห้งและบดแล้ว ทั้งตอซังและเมล็ด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.1 มิลลิเมตร จากนั้นชั่งตัวอย่างพืช 0.1xxx กรัม วิเคราะห์ Total N และ Total C ด้วยเครื่อง CNS analyzer (LECO Coporation, 2016)

3.2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) ประเมินความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์โดยวิธี Duncan’s multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพขังน้ำ

4.1.1 สมบัติของดินก่อนบ่มดิน

สมบัติดินก่อนบ่มดินแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า ดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว โดยในดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์นั้นมี pH สูงกว่าดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์เท่ากับ 6.1 (กรดเล็กน้อย) ในขณะที่ดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์มี pH เท่ากับ 5.3 (กรดจัด) และในดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์นั้นมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (CEC) มีค่าเท่ากับ 30.33 เซนติโมลต่อกิโลกรัม มีปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนเท่ากับ 463.42 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม และมีปริมาณไนโตรเจนและปริมาณคาร์บอนทั้งหมดสูงกว่าในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.90 และ 27.26 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 84.59 2,316.02 และ 519.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) เท่ากับ 26.85 เซนติโมลต่อกิโลกรัม มีปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนเท่ากับ 128.78 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ปริมาณไนโตรเจนและคาร์บอนทั้งหมดเท่ากับ 2.41 และ 23.90 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 251.33 2,998.79 และ 661.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินก่อนบ่มดิน

Soil property	Organic paddy soil (Bangkok soil series)	Non-organic paddy soil (Bangkok soil series)
Soil texture	Clay	Clay
Sand (%)	25.96	29.96
Silt (%)	24.72	22.72
Clay (%)	49.32	47.32
Soil pH (water: soil; 1:1)	5.30	6.10
Electrical Conductivity (water: soil; 1:5) (mS/cm)	0.23	0.40
Cation exchange capacity (cmol (+)/kg)	26.85	30.33
Base saturation (%)	89.94	84.22
Hydrolyzable nitrogen (mg N/kg)	128.78	463.42
Total Nitrogen (g/kg)	2.41	2.90
Total Carbon (g/kg)	23.90	27.26
C:N ratio	9.92	9.40
Available Phosphorus (mg/kg)	35.47	63.85
Exchangeable Potassium (mg/kg)	251.53	84.59
Exchangeable Calcium (mg/kg)	2,998.79	2,316.02
Exchangeable Magnesium (mg/kg)	661.96	519.39

4.1.2 สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ก่อนบ่มดิน

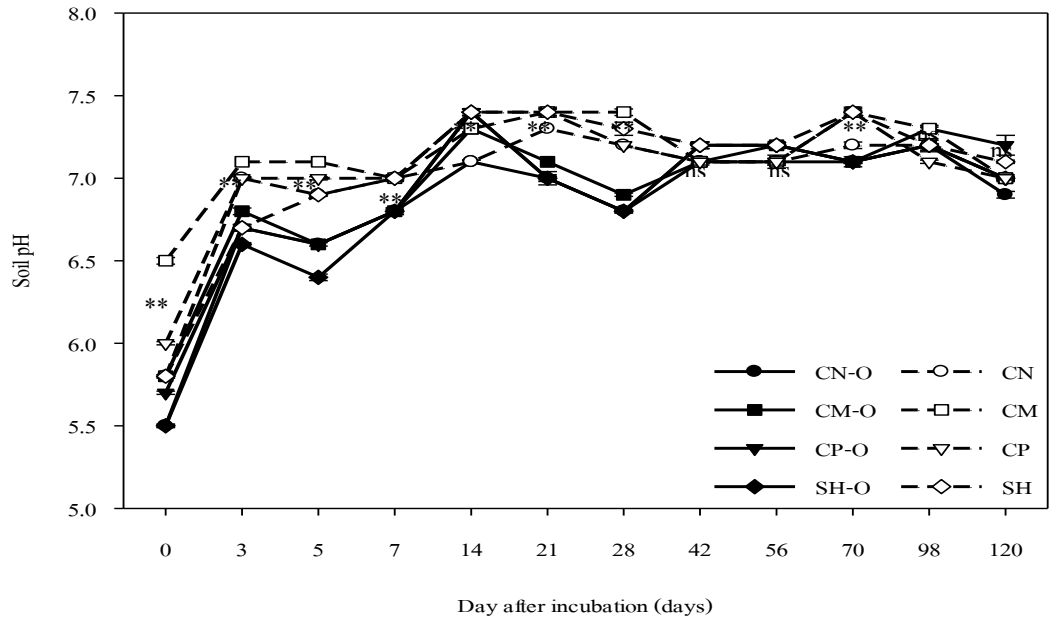
จากผลการทดลองพบว่า ค่าปฏิกิริยาความเป็นกรดด่างของปุ๋ยมูลโคมีค่าสูงกว่าปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น (ตารางที่ 4.2) โดยปุ๋ยมูลโค มีค่า pH เท่ากับ 8.2 (ด่างปานกลาง) ในขณะที่ปุ๋ยหมักและปุ๋ยพืชสดปอเทือง มีค่า pH เท่ากับ 6.3 (กรดเล็กน้อย) และ 5.1 (กรดจัด) ตามลำดับ ในขณะที่สภาพการนำไฟฟ้าของปุ๋ยมูลโค (11.61 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) และปุ๋ยพืชสดปอเทือง (10.22 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) มีความเค็มปานกลาง ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืชหลายชนิด แต่ในปุ๋ยหมักมีความเค็มเล็กน้อย (2.94 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืชไม่ทนเค็ม ปุ๋ยพืชสดปอเทืองมีปริมาณไนโตรเจน คาร์บอนทั้งหมดและไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนสูงที่สุด (23.20 432.90 และ 273.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) ในขณะที่ C:N ratio ของปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด มีค่าต่ำกว่า 20 โดยปุ๋ยพืชสดปอเทืองมีสัดส่วน C:N ratio สูงสุด (18.66) รองลงมาคือ ปุ๋ยมูลโค (15.76) และ ปุ๋ยหมัก (13.44) ตามลำดับ เนื่องจากปุ๋ยหมักผ่านการย่อยสลายจนสมบูรณ์แล้ว ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดก่อนบ่มดิน

Chemical property	Cow manure	Compost	Sunn hemp
pH (organic fertilizer: water; 1:5)	8.20	6.30	5.10
Electrical Conductivity (organic fertilizer: water; 1:5) (mS/cm)	11.61	2.94	10.22
Total N (g/kg)	7.80	19.40	23.20
Total C (g/kg)	122.90	260.70	432.90
C:N ratio	15.76	13.44	18.66
Hydrolyzable nitrogen (mg N/kg)	217.48	95.61	273.67
Total P_2O_5 (g/kg)	0.48	0.23	0.25
Total K_2O (g/kg)	34.35	6.39	19.23
Total Mg (g/kg)	4.82	3.04	5.18
Total Ca (g/kg)	23.46	7.09	7.53

4.1.3 การเปลี่ยนแปลงค่าปฏิกิริยาของดิน

จากผลการศึกษาพบว่าทุกทรีทเมนต์ในดินบ่มจากดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์เพิ่มขึ้นหลังจากวันที่ 3 ของการบ่มดิน และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 120 หลังการบ่มดิน พบว่ามีค่า pH อยู่ในระดับเป็นกลาง โดยในช่วงเริ่มต้นของการบ่มดิน (วันที่ 0) มีค่า pH จาก CM สูงที่สุดซึ่งมี pH เป็นกลาง (6.5) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ดังตารางภาคผนวกที่ 1 และรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน

ในขณะที่ทรีทเมนต์ CP CN SH CP-O SH-O และ CN-O ตามลำดับ โดยมีค่า pH เท่ากับ 6.3 6.2 5.9 5.7 5.5 และ 5.5 ตามลำดับ หลังจากวันที่ 3 ค่า pH ในทุกทรีทเมนต์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก โดยในช่วงระหว่างวันที่ 3-14 ของการบ่มดิน ค่า pH ของดินในทุกทรีทเมนต์ค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น หลังจากวันที่ 14 ของการบ่มดินพบว่า ค่า pH ของดินค่อยๆ ลดลงและเริ่มคงที่ โดยในวันที่ 21 ของการบ่มดิน พบว่าดินบ่มจากดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ในทรีทเมนต์ CN CM CP และ SH ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติ และมีค่า pH เท่ากับ 7.3-7.4 ซึ่งสูงกว่าดินบ่มจากดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 7.0-7.1 หลังจากวันที่ 56 ของการบ่มดิน pH เริ่มคงที่ในทุกทรีทเมนต์จนถึงวันที่สิ้นสุดการทดลองการบ่มดิน (120 วัน)

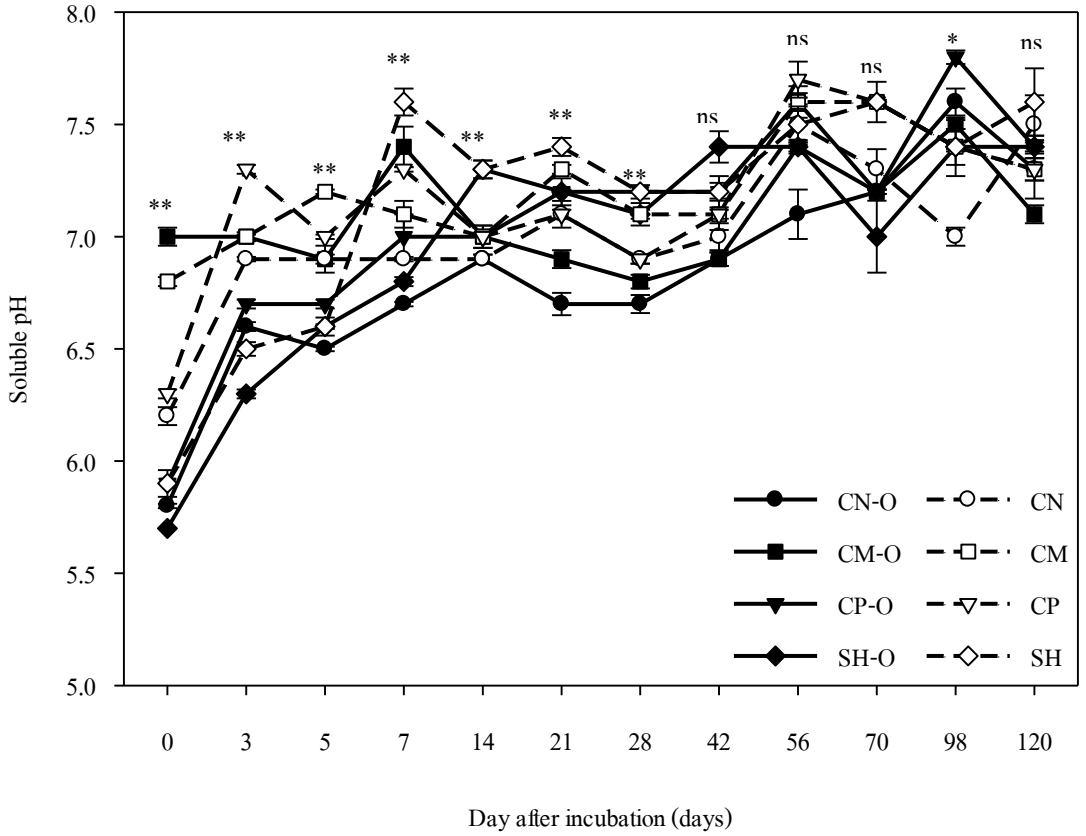
โดยในวันที่สิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 120) ทุกทรีทเมนต์ไม่ต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ CP-O มี pH เพิ่มขึ้นสูงสุด (7.2) รองลงมา คือ ทรีทเมนต์ SH CN CM CP CM-O SH-O และ CN-O ตามลำดับ โดยมีค่า pH เท่ากับ 7.1 7.0 7.0 7.0 7.0 7.0 และ 6.9 ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับ pH ในวันที่ 0 พบว่าทุกทรีทเมนต์มีค่า pH เพิ่มสูงขึ้น (pH เท่ากับ 5.5-6.5 เป็น 6.9-7.2) ดังนั้นการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งในระบบปลูกข้าวเกษตรอินทรีย์และไม่ใช่ในระบบเกษตรอินทรีย์ และดินในระบบปลูกข้าวเกษตรอินทรีย์และไม่ใช่ในระบบเกษตรอินทรีย์ ส่งผลต่อความเป็นกรด-ด่างของดินไม่แตกต่างกัน และทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นอยู่ในสภาพเป็นกลางในวันสุดท้ายของการบ่มดิน

โดยหลังจาก 14 วันของการบ่มดิน ค่า pH ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์อยู่ในระดับเป็นกลาง ซึ่งมีอิทธิพลมาจากกระบวนการรีดักชั่น (reduction) (Kyuma, 2004) สอดคล้องกับรายงานของ Dong *et al.* (2012) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทำให้มีค่า pH ของดินเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับเป็นกลางถึงด่าง นอกจากนี้ค่า pH ที่ในดินที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้น เป็นผลมาจากในดินและปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินสูง ทำให้ดินเข้าสู่ระบบรีดักชั่นได้อย่างรวดเร็ว การที่ pH เป็นกลางทำให้เหมาะสมต่อกระบวนการแอมโมนิฟิเคชั่น (ammonification reaction) ในขั้นตอนแรกที่มีการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียมอยู่ที่ระหว่าง 6.5 ถึง 8.5 (Capone *et al*, 2008) ดังนั้นค่า pH ในดินจากการทดลองในครั้งนี้เหมาะสมต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน

4.1.4 การเปลี่ยนแปลงค่าปฏิกิริยาของสารละลาย

จากการศึกษาพบว่าในวันที่ 0 ของการบ่มดิน CM-O มีค่า pH ของสารละลายเท่ากับ 7.0 (เป็นกลาง) สูงสุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ โดยทรีทเมนต์ CM CP SH CP-O CN-O CN และ SH-O ตามลำดับ มีค่า pH ของสารละลายเท่ากับ 6.8 6.3 5.9 5.9 5.8 5.8 และ 5.7 ตามลำดับ ซึ่งมีค่า pH อยู่ในช่วงกรดปานกลางถึงกลาง หลังจากวันที่ 3 ของการบ่มดิน พบว่า pH ทุกทรีทเมนต์ค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น จนถึงวันที่ 7 และเริ่มลดลงในวันที่ 14 หลังการบ่มดิน โดย

พบว่า pH ของสารละลายในทรีทเมนต์ SH-O และ SH มีค่า pH เพิ่มสูงสุด (7.3) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ (รูปที่ 4.2 และตารางภาคผนวกที่ 2)



ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลายดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน

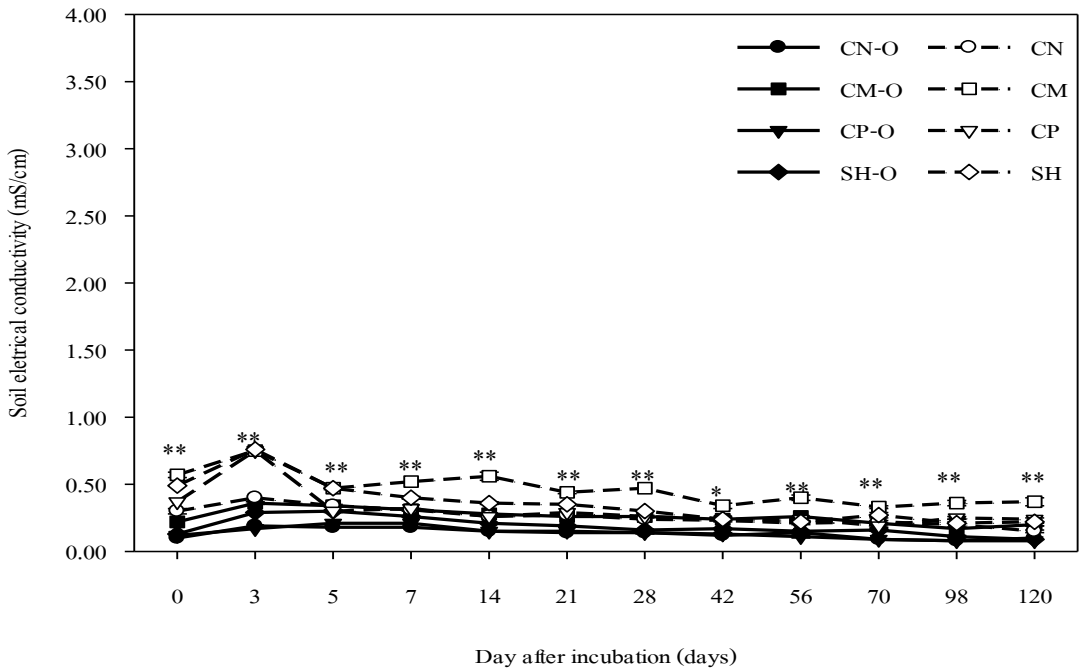
ในขณะที่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองชนิดไม่แตกต่างทางสถิติกับการไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ในช่วงวันที่ 14-42 ของการบ่มดินพบว่าระดับ pH ค่อนข้างคงที่ในทุกทรีทเมนต์ อยู่ในช่วงระหว่าง pH เท่ากับ 6.9-7.4 (เป็นกลาง) โดยทรีทเมนต์ SH-O มีค่า pH สูงสุด (7.4) และหลังจากวันที่ 42 มีค่า pH ในทุกทรีทเมนต์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และลดลงอีกครั้งในวันที่ 70 และในช่วงวันที่ 56-120 ของการบ่มดินพบว่าทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่า pH สารละลายของ SH มีค่า pH สูงที่สุด (7.6) รองลงมา คือ ทรีทเมนต์ CN SH-O CP-O CM CP CN-O และ CM-O ตามลำดับ โดยมีค่า pH เท่ากับ 7.5 7.4 7.4 7.3 7.3 7.3 และ 7.0 ตามลำดับ

การใส่และไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งในระบบปลูกข้าวเกษตรอินทรีย์และไม่ใช่ในระบบเกษตรอินทรีย์ ส่งผลต่อความเป็นกรด-ด่างของสารละลายไม่แตกต่างกัน และทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นอยู่ในสภาพเป็นกลางในวันสุดท้ายของการบ่มดิน มีแนวโน้มเช่นเดียวกับความเป็นกรด-ด่างในดิน โดย

ค่า pH ของสารละลายทุกทรีทเมนต์อยู่ในช่วงเป็นกลาง ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่า pH ในสารละลายของดิน อาจเกิดจากกระบวนการย่อยสลาย (mineralization) ของไนโตรเจนระหว่างการบ่มดิน การเกิดกระบวนการดีไนติฟิเคชัน (denitrification) และดีคาร์บอกซีเลชัน (decarboxylation) ของกรดอินทรีย์ (Carmo *et al*, 2016) สอดคล้องกับ Kyuma (2004) รายงานว่า pH ที่เป็นกลางหรือใกล้กลางอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการย่อยสลายของอินทรียวัตถุ

4.1.5 การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity, mS/cm)

การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินในทุกทรีทเมนต์สูงขึ้นในวันที่ 3 หลังการบ่มดิน และลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการบ่มดิน ซึ่งอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืช (0-2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) ในระดับที่ใกล้เคียงกันทุกทรีทเมนต์ (รูปที่ 4.3 และตารางภาคผนวกที่ 3) ถ้าค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินมีค่ามากกว่า 2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร จะส่งต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพการนำไฟฟ้าในดิน ของดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน

ในการใส่ปุ๋ยมูลโคในดินบ่มที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินสูงสุดตลอดช่วงของการบ่มดิน โดยในวันที่ 0 ของการบ่มดินพบว่าทรีทเมนต์ CM มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินสูงที่สุด (1.20 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) และต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ รองลงมา คือ ทรีทเมนต์ SH CP CN CM-O SH-O CP-O และ CN-O ตามลำดับ

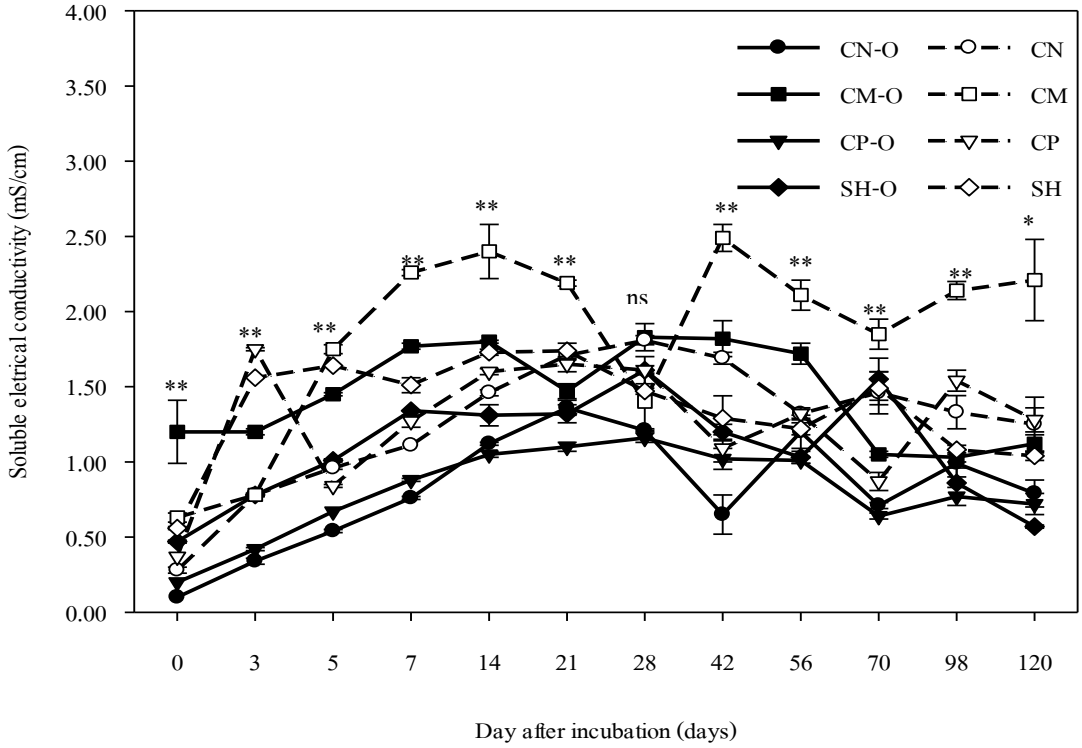
โดยมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินเท่ากับ 0.49 0.37 0.30 0.22 0.13 0.12 และ 0.10 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับไม่เป็นอันตรายต่อพืช (0-2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)

หลังจากวันที่ 5 ของการบ่มดิน พบว่าในทุกทรีทเมนต์มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินลดลง และเริ่มคงที่ในช่วงวันที่ 56 ของการบ่มดิน และในวันที่ 120 ของการบ่มดินพบว่า CM มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินสูงที่สุด (0.37 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) และต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ (รูปที่ 4.3 และตารางภาคผนวกที่ 3) รองลงมาคือ CP SH CM-O CN CN-O SH-O และ CP-O มีค่าเท่ากับ 0.24 0.22 0.20 0.15 0.10 0.09 และ 0.08 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ โดยพบว่าเมื่อเทียบกับวันที่ 0 ของการบ่มดิน การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของทั้งสามชนิด มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินลดลงเล็กน้อย จาก 0.10-0.22 เป็น 0.08-0.20 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ จาก 0.30-1.20 เป็น 0.15-0.37 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

ดังนั้นการใส่ปุ๋ยมูลโค ในดินปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินสูงสุด และต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น และในดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ มีค่าการนำไฟฟ้าของดินสูงกว่าดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ เนื่องจากสมบัติดินก่อนบ่มของดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินเท่ากับ 0.40 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ซึ่งสูงกว่าดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ (ตารางที่ 4.1)

4.1.6 การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลาย (Electrical Conductivity, mS/cm)

ในวันที่ 0 ของการบ่มดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ พบว่าทรีทเมนต์ CM-O มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายสูงที่สุด (1.20 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ โดยค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายรองลงมา คือ ทรีทเมนต์ CM SH SH-O CP CN CP-O และ CN-O มีค่าเท่ากับ 0.63 0.56 0.47 0.37 0.28 0.20 และ 0.10 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งทุกทรีทเมนต์อยู่ในระดับไม่เป็นอันตรายต่อพืช หลังจากวันที่ 3 ของการบ่มดินพบว่าทุกทรีทเมนต์มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น โดยทรีทเมนต์ CP มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายสูงที่สุด (1.75 มิลลิซีเมนต์ต่อ



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพการนำไฟฟ้าในสารละลาย ของดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน

เซนติเมตร) และค่อยๆ เริ่มลดลงหลังจากวันที่ 42 ของการบ่มดินและเมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 120 พบว่าทรีทเมนต์ CM มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายสูงที่สุด (1.28 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ (รูปที่ 4.4 และตารางภาคผนวกที่ 4) รองลงมาคือ ทรีทเมนต์ CP CN CM-O SH CN-O CP-O และ SH-O ตามลำดับ โดยมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายเท่ากับ 1.28 1.25 1.12 1.04 0.79 0.72 และ 0.57 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับวันที่เริ่มต้นการบ่มดิน พบว่าค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายในวันที่ 120 เพิ่มขึ้นเล็กน้อย จาก 0.10-1.20 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ในวันที่ 0 ของการบ่มดินเป็น 0.57-1.12 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ของดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และ 0.28-0.63 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เป็น 1.04-2.21 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ของดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ในวันที่ 120

อย่างไรก็ตามค่าการนำไฟฟ้าของทุกทรีทเมนต์อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อข้าว ยกเว้นทรีทเมนต์ CM ที่จัดอยู่ในระดับเค็มเล็กน้อย ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตต่อพืชไม่ทนเค็ม และพบว่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายในดินปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ สูงกว่าดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในระดับที่ไม่อันตรายต่อข้าว แต่มี

ความเสี่ยงที่จะเป็นอันตรายในทรีทเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยคอก สภาพการนำไฟฟ้าของสารละลาย ทุกทรีทเมนต์มีค่าสูงกว่าค่าการนำไฟฟ้าของดินทุกทรีทเมนต์ เนื่องจากธาตุอาหารหรือเกลือที่ละลายน้ำได้ที่มาจากดิน เช่น โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม ละลายออกมาในสารละลาย (Sahrawat and Narteh, 2002)

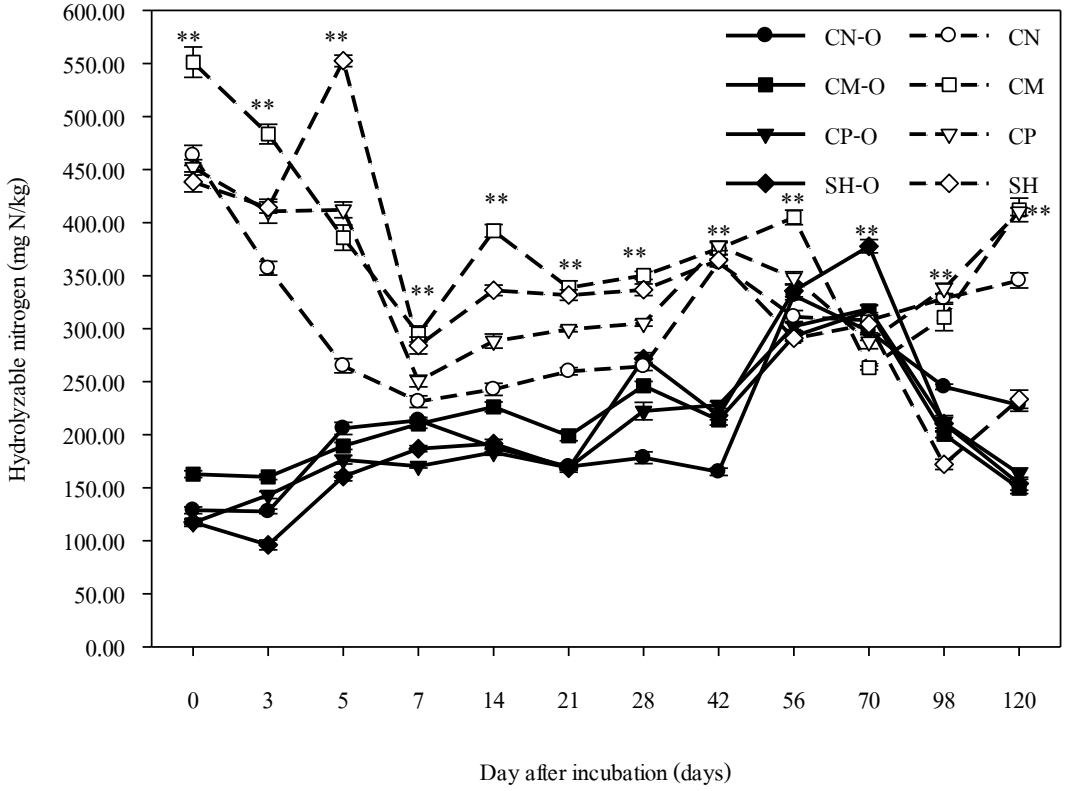
ดังนั้นการใส่ปุ๋ยมูลโค ในดินที่ปลูกข้าวในระบบที่ไม่ใช่เกษตรอินทรีย์ ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายสูงสุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น เนื่องมาจากปุ๋ยมูลโคมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของปุ๋ยสูงที่สุด (11.61 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) ดังตารางที่ 4.2 ในขณะที่การใส่ปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยพืชสด ส่งผลต่อค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายไม่ต่างทางสถิติกับการไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และในดินปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และดินปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ส่งผลต่อค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายไม่ต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่าดินปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ส่งผลต่อค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายสูงกว่าดินปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์

โดยหลังจาก 2-3 สัปดาห์แรกของการที่ดินมีน้ำขัง ทำให้มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเฟอรัสไอออน (Fe^{+2}) และแมงกานีส (Mn^{+2}) ละลายออกมาได้มากขึ้น ทำให้มีการสะสมของปริมาณแอมโมเนียม (NH_4^+) ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และ $RCOO^-$ เพิ่มขึ้น อีกทั้งเฟอรัสไอออน (Fe^{+2}) แมงกานีส (Mn^{+2}) และแอมโมเนียม (NH_4^+) ยังไปไล่ที่ไอออนบวกตัวอื่นๆ ให้ออกมาในสารละลายดิน ซึ่งความเข้มข้นของไอออนดังกล่าว ส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้า (สถาพร ทองรอด, 2559) การเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินขึ้นอยู่กับไอออนที่เป็นประโยชน์ที่ละลายออกมาในน้ำ และยังขึ้นอยู่กับสมบัติของดิน โดยเฉพาะปริมาณอินทรียวัตถุ เนื้อดินและปฏิกริยารีดอกซ์ (Sahrawat and Narteh, 2002)

4.1.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดิน (Hydrolyzable nitrogen)

จากผลการทดลองพบว่า ในวันที่ 0 ของการบ่มดินทรีทเมนต์ CM เมื่อใส่มูลโค ทำให้มีความเข้มข้นของไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนสูงที่สุด เท่ากับ 551.28 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีตเมนต์ รองลงมาคือทรีทเมนต์ CN CP SH CM-O CN-O SH-O และ CP-O ตามลำดับ ทำให้มีความเข้มข้นของไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดิน เท่ากับ 463.42 452.17 438.44 162.78 128.78 117.55 และ 117.02 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ตามลำดับ หลังจากวันที่ 5 ของการบ่มดิน ทุกทรีทเมนต์ของดินบ่มในดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ มีปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนค่อยๆ ลดลงตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ทุกทรีทเมนต์ของดินบ่มในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ มีปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้น โดยในวันที่ 5 ของการบ่มดิน พบว่า SH มีปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนเพิ่มสูงที่สุด (552.56 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์

(รูปที่ 4.5 และตารางภาคผนวกที่ 5) ปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนต่ำที่สุดคือ SH-O (160.51 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม)



รูปที่ 4.5 การสะสมปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน

หลังจากวันที่ 70 ของการบ่มดินพบว่าทุกทรีทเมนต์มีความเข้มข้นของไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนค่อยๆ ลดลงในระดับใกล้เคียงกัน แต่ทรีทเมนต์ SH-O มีความเข้มข้นของไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนสูงที่สุด และในวันที่ 120 ของการบ่มดินพบว่าทรีทเมนต์ CM มีความเข้มข้นของไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนสูงที่สุด (412.04 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ ยกเว้นทรีทเมนต์ CP และ CN ซึ่งมีความเข้มข้นของไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนเท่ากับ 410.31 และ 345.60 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยรองลงมา คือ ทรีทเมนต์ SH CN-O CP-O SH-O และ CM-O ตามลำดับ (233.42 227.97 163.52 153.82 และ 149.51 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) สอดคล้องกับรายงานของ Hartz *et al.* (1996) และ Hartz and Giannini (1998) รายงานว่าปุ๋ยหมักจะมีอัตราการย่อยสลายช้า

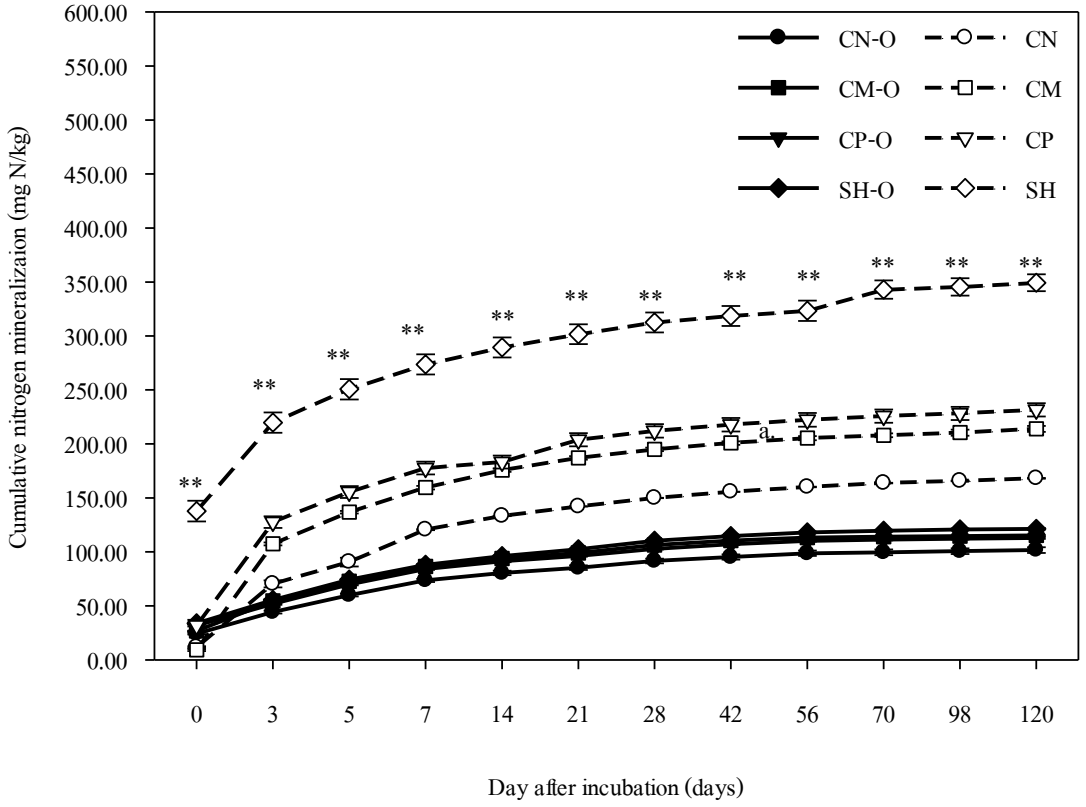
ดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ มีปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนสูงกว่าดินปลูกข้าวระบบเกษตรอินทรีย์ และค่อยๆ มีปริมาณความเข้มข้นของ

ไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และการใส่ปุ๋ยมูลโคและปุ๋ยหมัก ในดินปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ มีความเข้มข้นของไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่าการใส่ปุ๋ยมูลโค ส่งผลต่อความเข้มข้นของไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนสูงสุด

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ส่งผลต่อปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนสูงกว่าในดินปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์เป็น 2 เท่า เนื่องจากดินก่อนการทดลองพบว่าดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ มีปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดินสูง มีค่าเท่ากับ 463.42 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ มีค่าเท่ากับ 128.78 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ดังตารางที่ 4.1ในขณะที่ดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ทรีทเมนต์ควบคุม มีความเข้มข้นของไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนสูงสุด และไม่ต่างทางสถิติกับทรีทเมนต์การใส่ปุ๋ยหมัก ซึ่งการเพิ่มขึ้นของรูปของไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงจากรูปอนินทรีย์ไนโตรเจน ทำให้อินทรีย์ไนโตรเจนในดินลดลง โดยเฉพาะภายใต้สภาวะที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ดี (Mohapatra, 1988)

4.1.8 การสะสมไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้ (cumulative nitrogen mineralization)

การวัดการสะสมของไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้ในสภาพดินขังน้ำ ทำได้โดยการวัดปริมาณของแอมโมเนียมที่ย่อยสลายออกมาตามช่วงเวลาของการบ่มดิน พบว่าการสะสมของไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้ในดินเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยทรีทเมนต์ SH มีปริมาณการสะสมของไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้ดินสูงสุดตลอดระยะเวลาการบ่มดิน ในวันที่ 0 ทรีทเมนต์ SH มีปริมาณการสะสมของไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้สูงที่สุด (137.73 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัมซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ โดยปริมาณการสะสมของไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้ สะสมรองลงมา คือ ทรีทเมนต์ SH-O SH CP-O CM-O CN-O CN และ CM ตามลำดับ เท่ากับ 33.79 31.77 31.75 26.77 24.33 11.75 และ 9.11 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และในทุกทรีทเมนต์มีการสะสมของไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้ในดินเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการบ่มดินที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่าทรีทเมนต์ CN-O มีการสะสมปริมาณการสะสมของไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้ในดินต่ำที่สุดตลอดระยะเวลาการบ่ม ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด และหลังจากวันที่ 56 ของการบ่มดินพบว่าทุกทรีทเมนต์มีการสะสมของ



รูปที่ 4.6 การสะสมไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้ของดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน

ไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้ในดินเริ่มคงที่ และในวันที่ 120 ของการบ่มดิน พบว่าทรีทเมนต์ SH มีการสะสมของไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้ในดินสูงสุด (349.35 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ (รูปที่ 4.6 และตารางภาคผนวกที่ 6)โดยปริมาณการสะสมของไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้ที่สะสมรองลงมาคือทรีทเมนต์ CP CM CN SH-O CM-O CP-O และ CN-O ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 231.49 213.89 168.09 121.33 115.21 112.83 และ 101.71 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

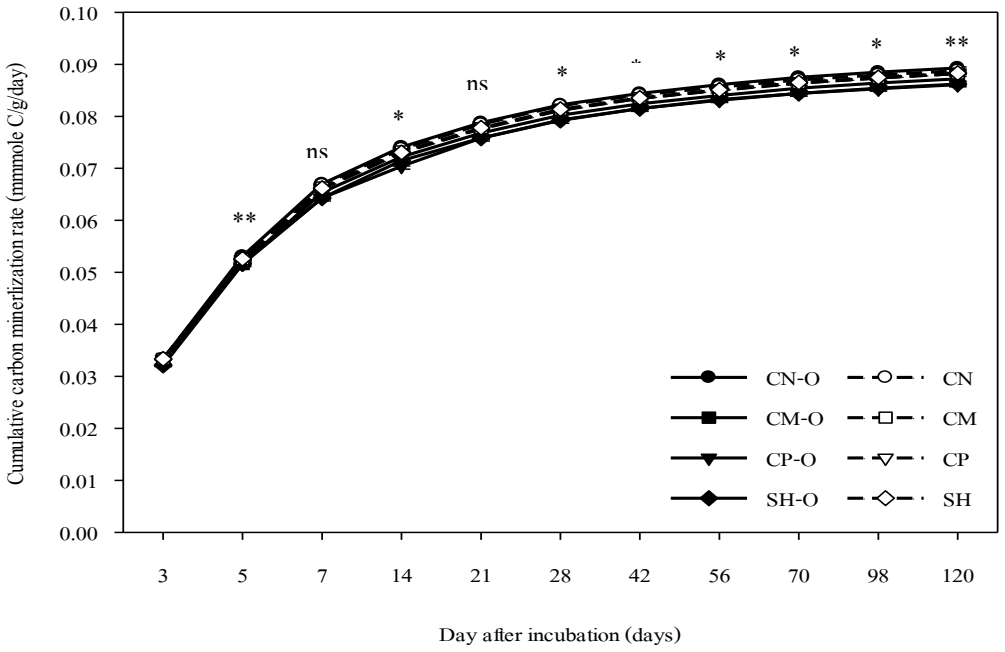
อิทธิพลของการใส่ปุ๋ยพบว่าการใส่ปุ๋ยพืชสดปอเทือง ส่งผลต่อการสะสมของไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้ในดินได้สูงสุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยมูลโคและปุ๋ยหมัก ในขณะที่อิทธิพลของดินพบว่าดินที่ปลูกข้าวระบบที่ไม่ใช่เกษตรอินทรีย์ ส่งผลต่อการสะสมของไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้ในดินได้สูงกว่าดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ในการขังน้ำทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (nitrification) และไม่สามารถเกิดดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) ได้ ทำให้เกิดการสะสมของไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้ในดิน โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์

ช่วยกระตุ้นให้ดินเข้าสู่กระบวนการรีดักชั่นได้รวดเร็วขึ้น และยังทำให้การย่อยสลายของ labile organic N ในดินได้ (Zhang *et al*., 2012) จากรายงานของ Chivenge *et al.* (2011) พบว่าอินทรีย์ไนโตรเจนในดินเนื้อละเอียด อย่างดินเหนียวจะมีอัตราการย่อยสลายช้ากว่าในดินเนื้อหยาบ ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดินเหนียวสูงกว่าในดินร่วนปนทราย (Luce *et al*., 2014) แต่หากดินเหนียวและดินร่วนปนทรายมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนทั้งหมดในดินสูง อาจทำให้การย่อยสลายของไนโตรเจนสูง

ดังนั้นปริมาณและเนื้อดินเหนียวส่งผลต่อการย่อยสลายของไนโตรเจน (Nitrogen mineralization) (Najmadeen, 2011; Nieder *et al*., 2011 และ Ramírez *et al*., 2016) อีกทั้งค่า pH ของดินเป็นหนึ่งในปัจจัยจำกัดที่ส่งผลต่อปริมาณการปลดปล่อยแอมโมเนียมในดิน ภายใต้สภาวะของการขังน้ำ โดยภายใน 2 สัปดาห์ของการบ่มดิน ค่า pH ของดินเพิ่มขึ้นจาก 5.5-6.5 เป็น 7.0-7.4 ดังรูปที่ 4.1 ส่งผลให้การปลดปล่อยแอมโมเนียมเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเป็นค่า pH ที่อยู่ในระดับเหมาะสมต่อกระบวนการ ammonification ส่งผลต่อการปลดปล่อยแอมโมเนียมในดินได้สูง (Khaokaew *et al*, 2007)

4.1.9 การสะสมของปริมาณการย่อยสลายคาร์บอน (Carbon mineralization)

จากผลการทดลองพบว่า อัตราการสะสมปริมาณการย่อยสลายคาร์บอน ทั้งในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ เพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม โดยในวันที่ 3 หลังจากการบ่ม มีอัตราการสะสมปริมาณการย่อยสลายคาร์บอน เท่ากับ 0.0332-0.0333 มิลลิโมลคาร์บอนต่อกรัมต่อวัน (รูปที่ 4.7 และตารางภาคผนวกที่ 7) และค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น ตามระยะเวลาการบ่มดิน และในวันที่ 120 หลังจากการบ่ม พบว่า CN-O ส่งผลต่อการสะสมปริมาณคาร์บอนในดินสูงสุด (0.0893 มิลลิโมลคาร์บอนต่อกรัมต่อวัน) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ CM-O CP-O และ SH-O (0.0861-0.0872 มิลลิโมลคาร์บอนต่อกรัมต่อวัน) และอัตราการสะสมปริมาณการย่อยสลายคาร์บอน เมื่อสิ้นสุดการบ่มดินในวันที่ 120 พบว่าอัตราการสะสมปริมาณการย่อยสลายคาร์บอน เพิ่มขึ้นจากช่วงแรกในการบ่มดินจาก 0.0332-0.0333 มิลลิโมลคาร์บอนต่อกรัมต่อวัน เป็น 0.0861-0.0893 มิลลิโมลคาร์บอนต่อกรัมต่อวัน ซึ่งอัตราการสะสมของปริมาณการย่อยสลายคาร์บอน สอดคล้องกับอัตราการสะสมของปริมาณแอมโมเนียมในดิน ดังรูปที่ 4.6 แสดงว่าการที่การย่อยสลายของคาร์บอน (carbon mineralization) สูงขึ้น ทำให้มีอัตราการย่อยสลายของไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน (nitrogen mineralization) โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสามชนิดและการไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และชนิดของดินทั้งดินปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ส่งผลต่อการย่อยสลายของคาร์บอนไม่ต่างกันทางสถิติ



รูปที่ 4.7 การสะสมของปริมาณการย่อยสลายคาร์บอน (Carbon mineralization) ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน

อัตราการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในดินขึ้นอยู่กับ ปฏิกิริยาระหว่างจุลินทรีย์ในดิน อุณหภูมิ ความชื้น และการย่อยสลายทางเคมีและกายภาพของดินตามสมบัติชนิดของวัสดุอินทรีย์ (Taylor *et al*. 2009) สัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุอินทรีย์ ส่งผลต่อกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ และการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (Rahman, 2013) ซึ่งสัดส่วนที่สูงทำให้มีการย่อยสลายได้ช้าและใช้เวลานาน อีกทั้งจุลินทรีย์ใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานและการเจริญเติบโต (Hossain *et al*, 2017) และวัสดุอินทรีย์ที่มี labile C สูง จะเพิ่มการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลให้เกิดการสะสมคาร์บอนในดินได้น้อยลง (Sylvia *et al*. 2005)

4.1.10 การทำนายการย่อยสลายไนโตรเจน (Nitrogen mineralization model)

จากการนำข้อมูลการสะสมการย่อยสลายของไนโตรเจนของแต่ละทรีทเมนต์ มาคำนวณด้วยสมการที่ 1 และวิธีการที่ได้อธิบายในข้างต้น พบว่าศักยภาพการย่อยสลายของไนโตรเจน (N mineralization potential) ของทรีทเมนต์ CN-O มี mineralization potential (N_0) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสามชนิด โดยมีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ SH-O มีอัตรา mineralization potential (N_0) สูงที่สุด (114.53 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) รองลงมาคือทรีทเมนต์ CM-O CP-O และ CN-O ตามลำดับ (109.90 107.23 และ 95.34 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) ในขณะที่อัตราการย่อยสลาย (k) พบว่าทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่าง

ทางสถิติ และการทำนายอัตราการย่อยสลายต่อเวลา โดยคำนวณจาก N_0 และ k ของแต่ละทรีทเมนต์ เพื่อนำไปคำนวณค่าดัชนีการยอมรับ (index of agreement) ในสมการที่ 2 ผลการทดลองพบว่ามีค่าเข้าใกล้ 1 โดยอยู่ที่ 0.9859 - 0.9907 ในขณะที่ประสิทธิภาพของต้นแบบ (modeling efficiency) จากสมการที่ 3 ของทรีทเมนต์ CM-O สูงสุด เท่ากับ 0.9631 รองลงมาคือทรีทเมนต์ CN-O CM-O และ SH-O ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 0.9591 0.9424 และ 0.9395 ตามลำดับ

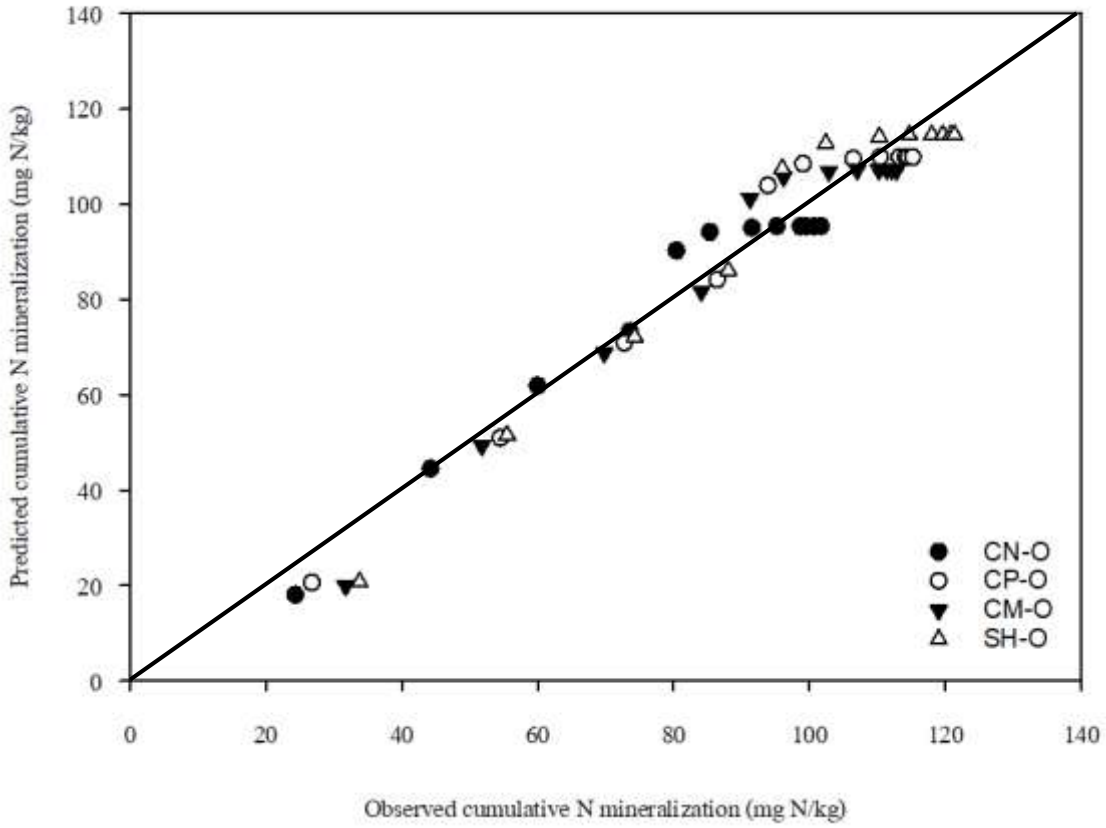
ตารางที่ 4.3 อัตราการย่อยสลายไนโตรเจนในดินบ่มในดินปลูกข้าวระบบเกษตรอินทรีย์ ค่าคงที่ ค่าดัชนีการยอมรับ และประสิทธิภาพของต้นแบบ

Treatment	N_0 (mg/kg)	k	Index of agreement	Modeling Efficiency
CN-O	95.34b	0.2095	0.9899	0.9591
CM-O	109.90a	0.2074	0.9907	0.9631
CP-O	107.23a	0.2053	0.9868	0.9424
SH-O	114.53a	0.1992	0.9859	0.9395
F-test	*	ns		
CV (%)	4.42	7.55		

N_0 = N mineralization potential, k = mineralization rate.

*Significant at $p \leq 0.05$, ns = not significant, value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

จากกราฟเส้น 1:1 (รูปที่ 4.8)โดยใช้ข้อมูลปริมาณการสะสมไนโตรเจนที่ได้จากการทดลอง และการสะสมของไนโตรเจนที่ทำนายหรือคาดการณ์ จากตัวแปรในตารางที่ 4.3 แทนค่าในสมการที่ 1 พบว่าอัตราการสะสมไนโตรเจนมีค่า 40-80 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับเส้นมากที่สุด ซึ่งแสดงว่าสามารถทำนายได้ใกล้เคียงกับอัตราการสะสมไนโตรเจนที่เป็นจริงแสดงให้เห็นว่าตัวแปรที่ใช้ในการทำนายปริมาณการสะสมไนโตรเจนสามารถทำนายการสะสมไนโตรเจนที่ปลดปล่อยจากปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดได้ ในขณะที่อัตราการสะสมไนโตรเจนที่มีค่าสูงกว่า 80 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม พบว่าเป็นข้อมูลที่เกินค่าจริง (overestimated) และอัตราการสะสมไนโตรเจนที่มีค่าต่ำกว่า 40 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม พบว่าเป็นข้อมูลที่ต่ำกว่าความเป็นจริง (underestimated)โดยการคำนวณอัตราปุ๋ยโดยใช้ต้นแบบการทำนายการย่อยสลายไนโตรเจน (Nitrogen mineralization model) อาจช่วยลดอัตราปุ๋ยและลดการสูญเสียของไนโตรเจนได้ เนื่องจากคาดการณ์ปริมาณการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนได้อย่างแม่นยำ (Heumann *et al.*, 2013)



รูปที่ 4.8 กราฟเส้น 1:1 ระหว่างค่า observed cumulative N mineralization และ predicted cumulative N mineralization ของดินปลูกข้าวระบบเกษตรอินทรีย์

อัตราการย่อยสลายไนโตรเจนในดินบ่มของดินปลูกข้าวไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ พบว่า ศักยภาพการย่อยสลายของไนโตรเจน (N mineralization potential) ของทรีทเมนต์ SH อัตรา mineralization potential (N_0) สูงที่สุด (314.10 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ รองลงมาคือทรีทเมนต์ CP CM และ CN (218.00 199.77 และ 110.30 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) และค่าอัตราการย่อยสลาย (*k*) พบว่า ทรีทเมนต์ SH มีอัตราการย่อยสลายสูงสุด (0.3464) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ เป็นไปทิศทางเดียวกับศักยภาพการย่อยสลายของไนโตรเจน รองลงมาคือ CP CM และ CN (0.2543 0.2302 และ 0.1487 ตามลำดับ) ค่าดัชนีการยอมรับ (index of agreement) ในสมการที่ 2 ผลการทดลองพบว่ามีค่าเข้าใกล้ 1 โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสามชนิด อยู่ที่ 0.9956-0.9978 ในขณะที่ประสิทธิภาพของต้นแบบ (modeling efficiency) จากสมการที่ 3 ของทรีทเมนต์ SH สูงสุด เท่ากับ 0.9951 รองลงมาคือทรีทเมนต์ CP CM และ CN ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 0.9891 0.9829 และ 0.5470 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ศักยภาพในการย่อยสลายไนโตรเจน อัตราการย่อยสลายไนโตรเจน ค่าดัชนีการยอมรับและประสิทธิภาพของต้นแบบในดินบ่มของดินปลูกข้าวไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์

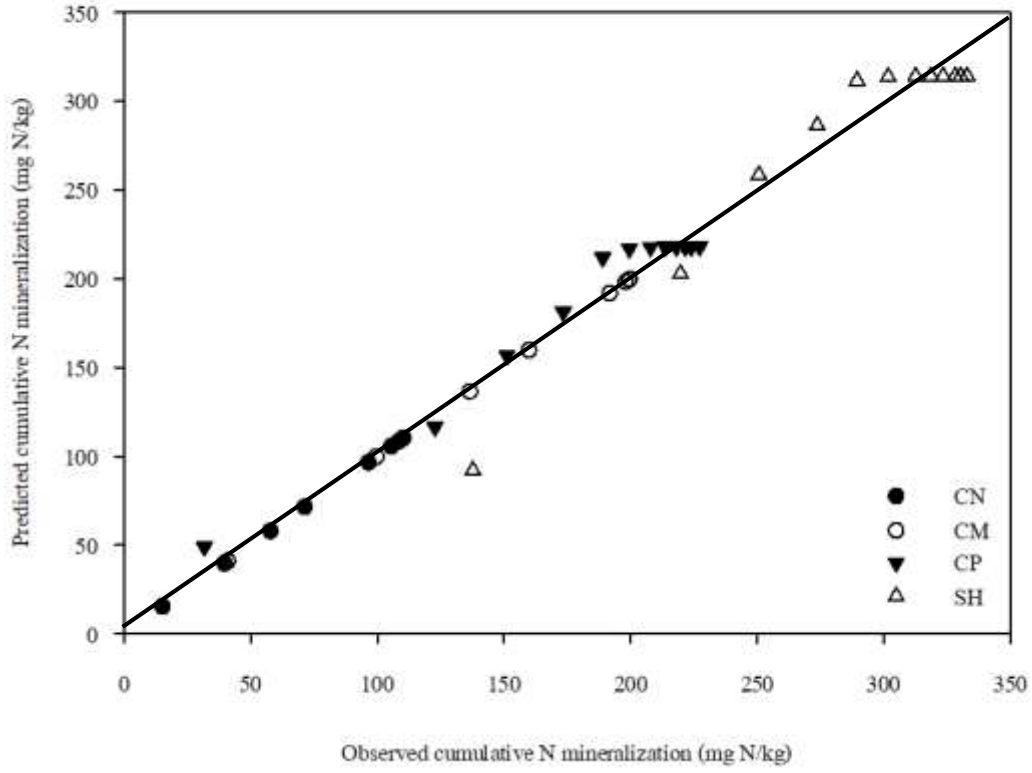
Treatment	N_0 (mg/kg)	*k*	Index of agreement	Modeling Efficiency
CN	110.30b	0.1487b	0.8112	0.5470
CM	199.77b	0.2302ab	0.9956	0.9829
CP	218.00ab	0.2543ab	0.9973	0.9891
SH	314.10a	0.3464a	0.9978	0.9915
F-test	25.58	24.41		
CV (%)	*	*		

N_0 = N mineralization potential, *k* = mineralization rate.

*Significant at $p \leq 0.05$, ns = not significant, value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

จากกราฟเส้น 1:1 (รูปที่ 4.9) พบว่าอัตราการสะสมไนโตรเจนมีค่า 100-200 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับเส้นมากที่สุด ซึ่งแสดงว่าสามารถทำนายได้ใกล้เคียงกับอัตราการสะสมไนโตรเจนที่เป็นจริง แสดงให้เห็นว่าตัวแปรที่ใช้ในการทำนายปริมาณการสะสมไนโตรเจนสามารถทำนายการสะสมไนโตรเจนที่ปลดปล่อยจากปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดได้ ซึ่งการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์มีค่าสูงกว่าดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และอัตราการสะสมไนโตรเจนมีค่ามากกว่า 200 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม พบว่าเป็นข้อมูลที่เกินค่าจริง (overestimated) และอัตราการสะสมไนโตรเจนที่มีค่าต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม พบว่าเป็นข้อมูลที่ต่ำกว่าความเป็นจริง (underestimated)

ดังนั้นการใส่ปุ๋ยพืชสดปอเทืองส่งผลต่ออัตราการย่อยสลายไนโตรเจนสูงสุด ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยมูลโคและการไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ใดๆ โดยการใส่ปุ๋ยพืชสดปอเทือง จะเป็นปุ๋ยที่มีอัตราการย่อยสลายช้าที่สุด และชนิดของดิน ดินปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ส่งผลต่ออัตราการย่อยสลายไนโตรเจนสูงกว่าดินปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ซึ่งการไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ใดๆ ในดินปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์มีอัตราการย่อยสลายไนโตรเจนเท่ากับ 110.30 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ในขณะที่ดินปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์มีอัตราการย่อยสลายไนโตรเจนเท่ากับ 95.34 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในดินที่ปลูกข้าวไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์มีอัตราการย่อยสลายเท่ากับ 199.77-314.10 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม โดยสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 107.23-114.53 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม



รูปที่ 4.9 กราฟเส้น 1:1 ระหว่างค่า observed cumulative N mineralization และ predicted cumulative N mineralization ของดินปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์

4.1.11 ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในดิน วันที่เริ่มต้นและวันสุดท้ายของการบ่มดิน (0 และ 120 วัน)

จากผลการทดลองพบว่าทรีทเมนต์ CM มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในวันที่ 0 และ 120 วันของการบ่มดินสูงที่สุด (27.60 และ 26.01 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ CM-O SH-O CN-O และ CP-O ตามลำดับ โดยในวันที่ 120 ของการบ่มดินมีปริมาณปริมาณคาร์บอนทั้งหมดอยู่ในช่วง 23.22-26.01 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งลดลงจากวันที่ 0 เล็กน้อย รองลงมา คือ ทรีทเมนต์ CM SH CP CN และ CN-O ตามลำดับ ในขณะที่ CM-O CP-O และ SH-O มีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับวันที่ 0 และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของวันที่ 0 SH มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด (2.51 กรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ CN CP CP-O และ SH-O ตามลำดับ และในวันที่ 120 พบว่าทรีทเมนต์ CM-O มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด (2.95 กรัมต่อกิโลกรัม) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ โดยในทุกทรีทเมนต์มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่ม

สูงขึ้นเมื่อเทียบกับวันที่ 0 ยกเว้นทรีทเมนต์ CP ที่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดลดลงเล็กน้อย และพบว่าทุกทรีทเมนต์มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดสูงกว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ตารางที่ 4.5)

ในดินต่างชนิดกันทั้งในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ ส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในดินไม่ต่างกันทางสถิติ แต่การใส่ปุ๋ยมูลโค ส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินสูงสุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยหมักและปุ๋ยพืชสดปอเทือง ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินในวันที่ 120 มีปริมาณลดลง เมื่อเทียบกับวันที่ 0 ของการบ่มดิน เนื่องจากเกิดการย่อยสลายคาร์บอน (Carbon mineralization) เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการบ่ม (รูปที่ 4.7) ทำให้มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินลดลง ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ดินและปุ๋ยต่างชนิดกัน ส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน โดยการสะสมของไนโตรเจนในดินที่ปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ มีอัตราการสะสมสูงกว่าดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ การใส่ปุ๋ยมูลโค ส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด และแตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยหมักและปุ๋ยพืชสดปอเทือง ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์และการใส่ปุ๋ยพืชสดปอเทือง มีการปลดปล่อยย่อยสลายได้ช้ากว่าการใส่ปุ๋ยหมักและมูลโค ดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.5 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดและไนโตรเจนทั้งหมด ในวันที่ 0 และ 120 วันของการบ่มดินในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์

TRT	Total C (g/kg)		Total N (g/kg)	
	0	120	0	120
CN-O	23.90cd	23.22c	2.41abcd	2.81b
CM-O	25.46bc	25.85a	2.47abc	2.95a
CP-O	23.28d	23.41c	2.30d	2.74b
SH-O	23.49d	23.33c	2.34d	2.71b
CN	27.02ab	23.66bc	2.37bcd	2.39c
CM	27.60a	26.01a	2.49ab	2.49c
CP	26.82ab	24.24bc	2.36cd	2.44c
SH	26.42ab	24.58b	2.51a	2.45c
F-test	**	**	**	**
CV (%)	3.89	2.55	2.61	3.09

**Significant at $p \leq 0.01$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

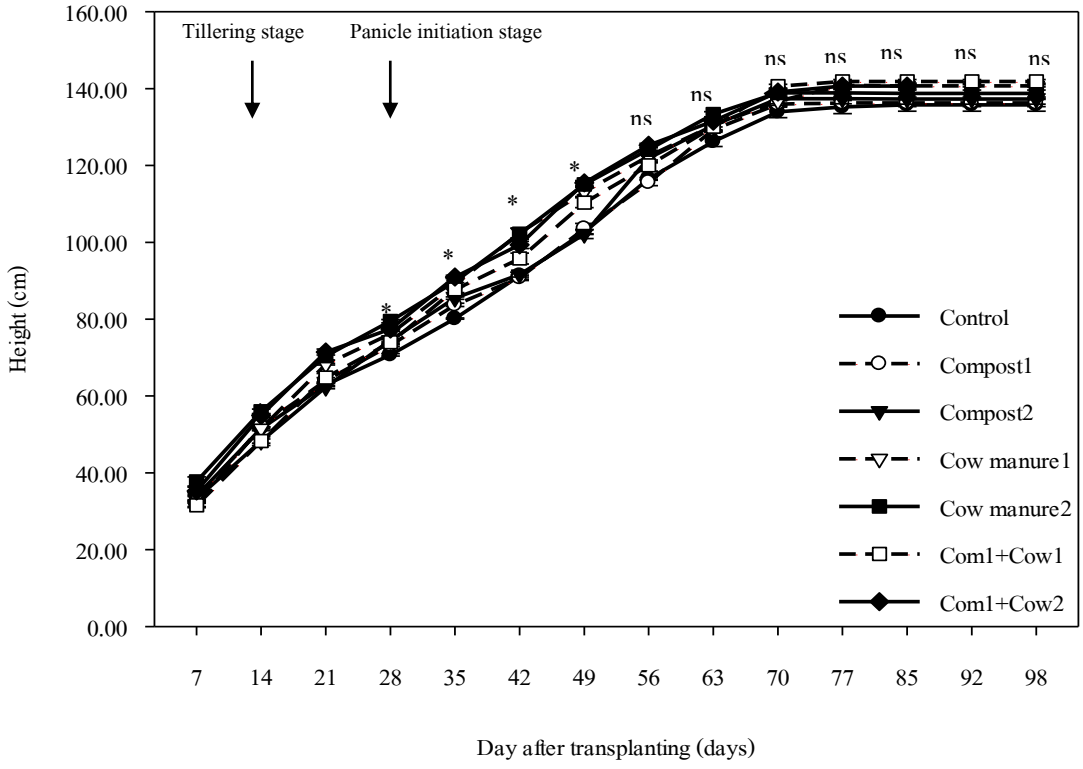
4.2 การทดลองที่ 2 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และการจัดรูปแบบการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของข้าว ทำการทดลองในกระถาง

4.2.1 การปลูกข้าวฤดูที่ 1

4.2.1.1 การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช

1. ความสูง

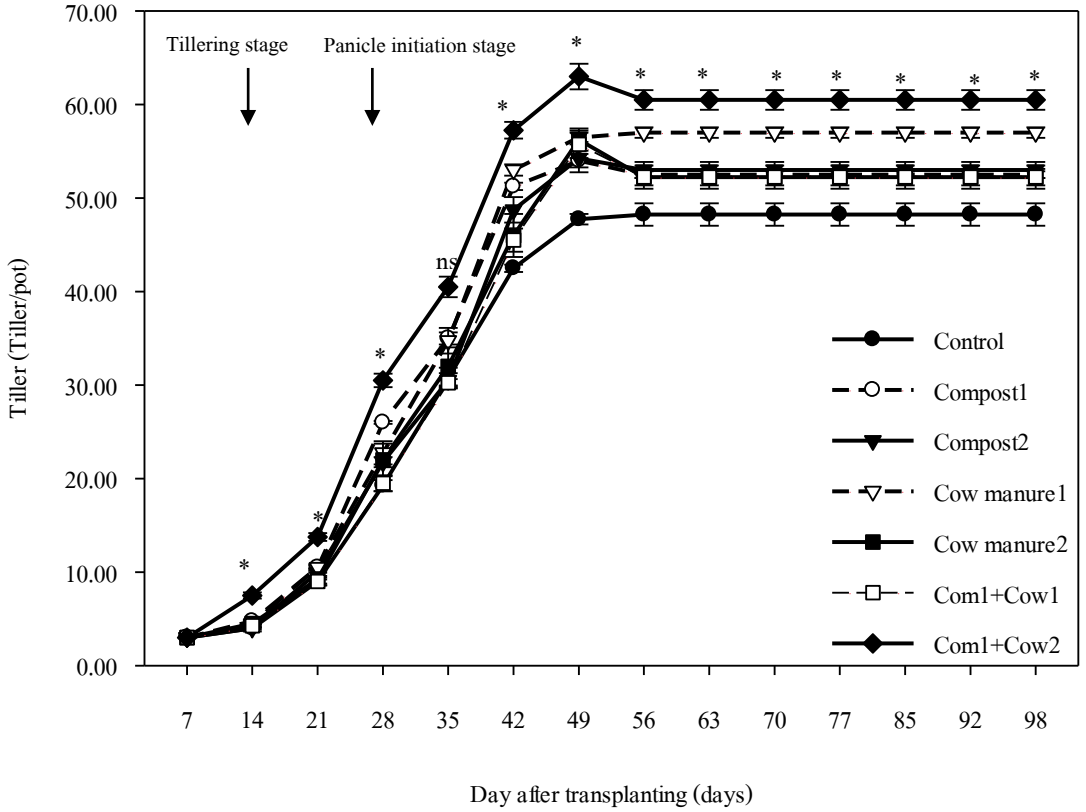
การปลูกข้าวฤดูที่ 1 พบว่าในวันที่ 7 หลังการย้ายปลูก (อายุข้าว 37 วัน) ทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ (รูปที่ 4.10 และตารางภาคผนวกที่ 8) แต่มีแนวโน้มพบว่า Com1+Cow2 มีความสูงมากที่สุด (35.35 เซนติเมตร) หลังจากวันที่ 14 ของการย้ายปลูก พบว่าในทุกทรีทเมนต์มีความสูงค่อยๆ เพิ่มขึ้น โดยพบว่า Cowpost2 มีความสูงมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ ยกเว้นทรีทเมนต์ Com1+Cow1 (48.25 เซนติเมตร) และ Compost2 (48.25 เซนติเมตร) และเริ่มมีความสูงคงที่ในทุกทรีทเมนต์ในวันที่ 70 หลังจากการย้ายปลูก (อายุข้าว 100 วัน) และในวันที่ 98 หลังการย้ายปลูก (อายุข้าว 143 วัน) ทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ Com1+Cow1 มีความสูงมากที่สุด (141.88 เซนติเมตร) รองลงมาคือ Cow manure1 Com1+Cow2 Cow manure2 Compost2 Compost1 และ Control ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 140.75 140.68 138.75 137.30 136.28 และ 135.80 เซนติเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงความสูงของข้าว ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ตลอดระยะเวลา 98 วันหลังจากย้ายปลูก (ฤดูที่ 1)

2. จำนวนหน่อต่อกระถาง

การปลูกข้าวฤดูที่ 1 จากผลการทดลองพบว่าในวันที่ 7 หลังการย้ายปลูก มีจำนวนหน่อต่อกระถาง 3 หน่อต่อกระถางเท่ากับวันที่เริ่มปักดำข้าวในทุกทรีทเมนต์ โดยในวันที่ 14 หลังจากการย้ายปลูก (อายุข้าว 44 วัน) พบว่าทรีทเมนต์ Com1+Cow2 มีจำนวนหน่อต่อกระถางสูงสุด เท่ากับ 7.50 หน่อต่อกระถาง ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ (รูปที่ 4.11 และตารางภาคผนวกที่ 12) หลังจากวันที่ 21 ของการย้ายปลูก (อายุข้าว 51 วัน)



รูปที่ 4.11 จำนวนหน่อต่อกระถางของข้าว ในดินปลูกข้าวระบบเกษตรอินทรีย์ ตลอดระยะเวลา 98 วันหลังจากย้ายปลูก (ฤดูที่ 1)

ทุกทรีทเมนต์มีจำนวนหน่อต่อกระถางสูงขึ้นตามระยะเวลาการปลูก โดยในวันที่ 28 ของการย้ายปลูก (อายุข้าว 58 วัน) Com1+Cow2 มีจำนวนหน่อต่อกระถางสูงสุด เท่ากับ 30.50 หน่อต่อกระถาง และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ ยกเว้น Cow manure2 และ Compost1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26.33 และ 26.00 หน่อต่อกระถาง ตามลำดับ ในขณะที่ทรีทเมนต์อื่นมีจำนวนหน่อต่อกระถางรองลงมา ได้แก่ ทรีทเมนต์ Cow manure1 Compost2 Com1+Cow1 และ Control ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 22.75 21.75 19.50 และ 19.25 หน่อต่อกระถาง ตามลำดับ หลังจากวันที่ 56 ของการย้ายปลูก พบว่าจำนวนหน่อต่อกระถางในทุกทรีทเมนต์ เริ่มคงที่ โดยใน

วันที่ 56 หลังการย้ายปลูก (อายุข้าว 86 วัน) พบว่าทรีทเมนต์ Com1+Cow2 มีจำนวนหน่อต่อกระถางสูงสุด (60.50 หน่อต่อกระถาง) ซึ่งแตกต่างทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ ยกเว้น Cow manure1 (57.00 หน่อต่อกระถาง) และ Compost2 (53.00 หน่อต่อกระถาง) ในขณะที่ทรีทเมนต์อื่นมีจำนวนหน่อต่อกระถางรองลงมา ได้แก่ ทรีทเมนต์ Compost1 Com1+Cow1 Cow manure2 และ Control มีค่าเท่ากับ 52.50 52.25 52.25 และ 48.25 หน่อต่อกระถาง ตามลำดับ

การแตกกอส่งผลต่อการสร้างเมล็ดและผลผลิตของข้าว (Siavoshi, 2011) ไนโตรเจนมีผลต่อการสร้างหน่อใหม่ในระยะแตกกอของข้าว เมื่อข้าวได้รับปริมาณธาตุไนโตรเจนในระดับที่เหมาะสม ส่งผลให้ข้าวมีการแตกกอเพิ่มขึ้น (Wang *et al*., 2017) ยิ่งไปกว่านั้นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารอย่างสมดุล โดยเฉพาะจุลธาตุจะส่งผลด้านบวกต่อจำนวนการแตกกอ (Miller, 2007)

3. จำนวนหน่อต่อกระถาง จำนวนรวงต่อกระถาง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของตอซังและรวง ในวันเก็บเกี่ยว

จากผลการทดลองหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวฤดูที่ 1 (อายุข้าว 143 วัน) พบว่าที่ระยะเก็บเกี่ยวจำนวนหน่อต่อกระถาง จำนวนรวง น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ Cow1+Com2 มีจำนวนกอเท่ากับ 74.75 หน่อต่อกระถาง จำนวนรวงต่อกระถางเท่ากับ 72.00 รวงต่อกระถาง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรวงสูงสุด มีค่าเท่ากับ 70.60 และ 39.10 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) ในขณะที่ทรีทเมนต์ Com1+Cow1 มีน้ำหนักสดของตอซังสูงสุด (370.00 กรัมต่อกระถาง) และไม่แตกต่างทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ ยกเว้นทรีทเมนต์ Control และมีน้ำหนักแห้งของตอซังสูงสุด (130 กรัมต่อกระถาง) โดยพบว่าทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 4.6 จำนวนหน่อต่อกระถาง จำนวนรวงต่อกระถาง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของตอซังและรวง+เมล็ด หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิต (ฤดูที่ 1)

Treatment	Tiller number (tiller/pot)	Panicle number (panicle/pot)	Straw		Panicle+grain	
			Fresh weight (g/pot)	Dry weight (g/pot)	Fresh weight (g/pot)	Dry weight (g/pot)
Control	59.50	56.00	240.00b	112.50	38.82	23.39
Compost1	70.00	66.25	315.00a	112.50	62.02	34.61
Compost2	61.50	61.00	305.00ab	112.50	59.47	33.97
Cow manure1	68.25	66.50	312.50a	125.00	60.45	34.09
Cow manure2	74.25	67.50	350.00a	110.00	69.49	34.10
Com1+Cow1	68.25	65.75	370.00a	130.00	64.74	35.47
Com1+Cow2	74.75	72.00	355.00a	105.00	70.60	39.10
F-test	ns	ns	*	ns	ns	ns
CV (%)	18.33	18.39	14.38	27.17	26.2	20.5

ns = non significant, *Significant at $p \leq 0.05$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

4. น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งทั้งหมด และดัชนีการเก็บเกี่ยว (ฤดูที่ 1)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.7 พบว่าทรีทเมนต์ Com1+Cow2 มีน้ำหนักสดทั้งหมดสูงสุด (434.74 กรัมต่อกระถาง) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ Control (278.82 กรัมต่อกระถาง) ในขณะที่น้ำหนักแห้งทั้งหมดและน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ พบว่าทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ Com1+Cow1 มีน้ำหนักแห้งทั้งหมดสูงสุด เท่ากับ 165.47 กรัมต่อกระถาง และในทรีทเมนต์ Com1+Cow2 มีน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ สูงสุด เท่ากับ 27.73 กรัมต่อกระถาง รองลงมาได้แก่ทรีทเมนต์ Compost1 Com1+Cow1 Cow manure2 Compost2 Cow manure1 และ Control โดยมีค่าเท่ากับ 23.97 23.62 22.83 21.97 21.08 และ 15.82 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ และค่าดัชนีการเก็บเกี่ยว (Harvest index) พบว่า ทรีทเมนต์ Com1+Cow2 มีค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงสุด เท่ากับ 0.17 และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ Cow manure1 และ Control ตามลำดับ โดยมีค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.13 และ 0.09 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งทั้งหมด และดัชนีการเก็บเกี่ยวหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิต (ฤดูที่ 1)

Treatment	Grain weight at 14% moisture (g/pot)	Total fresh weight (g/pot)	Total dry weight (g/pot)	Harvest index
Control	15.82	278.82b	135.89	0.09c
Compost1	23.97	377.02a	147.11	0.14ab
Compost2	21.97	364.47a	146.47	0.13ab
Cow manure1	21.08	372.95a	159.09	0.12bc
Cow manure2	22.83	419.49a	144.10	0.14ab
Com1+Cow1	23.62	434.74a	165.47	0.15ab
Com1+Cow2	27.73	425.60a	144.10	0.17a
F-test	ns	*	ns	**
CV (%)	21.56	14.71	22.52	16.79

ns = non significant, *Significant at $p \leq 0.05$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$

5. ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมด การดูดใช้ไนโตรเจนในตอซังและเมล็ด และการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมด (ฤดูที่ 1)

จากตารางที่ 4.8 พบว่าทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ Control มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในตอซังสูงที่สุด (388.50 กรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ ทรีทเมนต์ Compost1 (388.48 กรัมต่อกิโลกรัม) ในขณะที่ทรีทเมนต์ Com1+Cow1 มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในเมล็ดสูงสุด (371.20 กรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ ทรีทเมนต์ Control (368.78 กรัมต่อกิโลกรัม) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตอซังพบว่าทรีทเมนต์ Control มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด (9.50 กรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ Com1+Cow2 (6.70 กรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) และ Cow manure1 (6.63 กรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในเมล็ดของข้าวของทรีทเมนต์ Com1+Cow2 มีปริมาณไนโตรเจนสูงสุด (11.10 กรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ Cow manure1 (7.05 กรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในตอซังสูงกว่าในเมล็ด แต่ในปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดพบในเมล็ดสูงกว่าตอซัง การดูดใช้ไนโตรเจนในตอซังพบว่าทรีทเมนต์ Control มีการดูดใช้ไนโตรเจนในการดูดใช้ไนโตรเจนในตอซังสูงสุด (1.63

กรัมไนโตรเจนต่อกระถาง) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ Cow manure1 Compost1 Cow manure2 และ Com1+Cow2 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.10 1.03 0.96 และ 0.88 กรัมไนโตรเจนต่อกระถาง ตามลำดับ ในขณะที่การดูดใช้ไนโตรเจนในเมล็ด พบว่าทรีทเมนต์ Cow manure2 มีการดูดใช้ไนโตรเจนในเมล็ดสูงสุด (0.25 กรัมไนโตรเจนต่อกระถาง) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ และการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมด พบว่า Control ส่งผลต่อการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด (1.78 กรัมไนโตรเจนต่อกระถาง) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ Compost2 Cow manure1 Cow manure2 Compost1 Com1+Com2 และ Compost2 โดยมีค่าเท่ากับ 1.56 1.23 1.20 และ 1.04 กรัมไนโตรเจนต่อกระถาง ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมด การดูดใช้ไนโตรเจนในตอซังและเมล็ด และการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมด (ฤดูที่ 1)

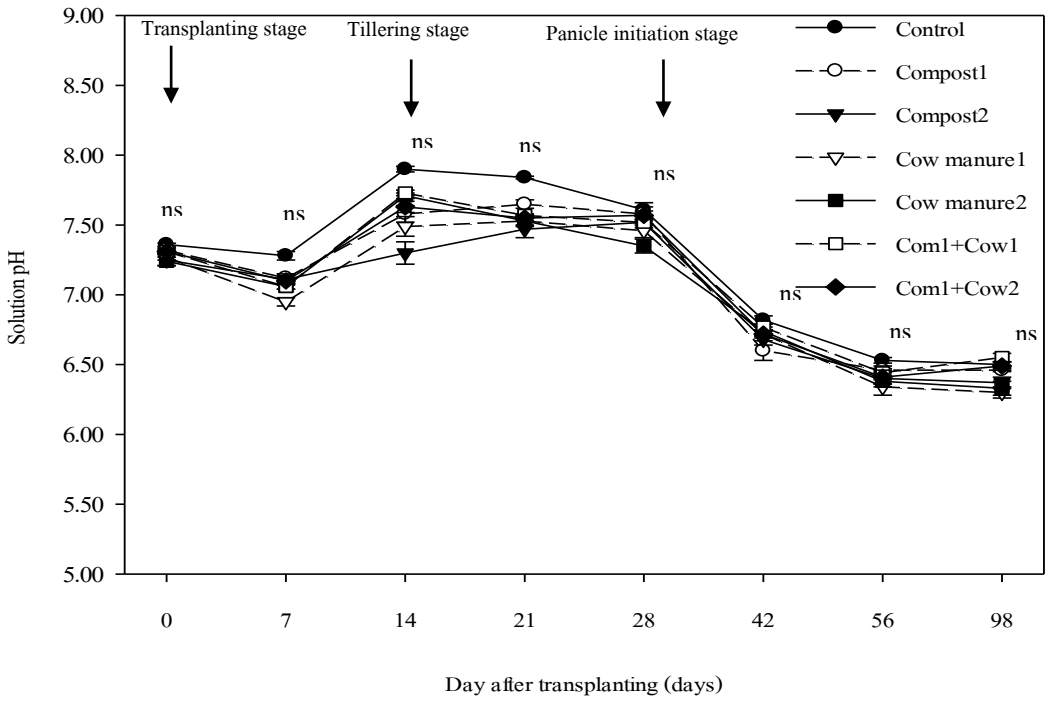
Treatment	Total C (g/kg)		Total N (g/kg)		Uptake N (g N/pot)		Total uptake N (g N/pot)
	Straw	Grain	Straw	Grain	Straw	Grain	
Control	388.50	368.78	9.50a	9.60a	1.63a	0.15b	1.78a
Compost1	388.48	362.03	8.43a	9.70a	1.03b	0.14b	1.04c
Compost2	378.70	357.10	9.10a	9.05ab	1.41a	0.15b	1.56b
Cow manure1	382.58	348.33	6.63b	7.05b	1.10b	0.13b	1.23c
Cow manure2	382.50	361.03	8.10ab	8.87ab	0.96b	0.25a	1.20c
Com1+Cow1	385.13	371.20	8.10ab	9.75a	1.47a	0.18b	1.66ab
Com1+Cow2	386.28	364.55	6.70b	11.10a	0.88b	0.16b	1.04c
F-test	ns	ns	*	*	*	*	**
CV (%)	1.54	3.57	9.92	14.17	8.45	15.02	6.67

ns = non significant, *Significant at $p \leq 0.05$, ** Significant at $p \leq 0.01$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$

4.2.1.2 การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย

การปลูกข้าวฤดูที่ 1 พบว่าค่า pH ในช่วงเริ่มต้นของการปลูกข้าวอยู่ในระดับที่เป็นกลาง และลดลงหลังจากวันที่ 28 หลังการย้ายปลูก และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ค่า pH อยู่ในระดับที่เป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง โดยทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อข้าวอายุ 143 วัน พบว่าผลการทดลองมีถึงวันที่ 98 (ข้าวอายุ 128 วัน) หลังการย้ายปลูก เนื่องจากเริ่มงดให้น้ำก่อนเก็บผลผลิตประมาณ 1-2 สัปดาห์ ในวันที่ 0 ทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ (รูปที่ 4.12 และตารางภาคผนวกที่ 10)โดยมีค่า pH อยู่ที่ 7.3-7.4

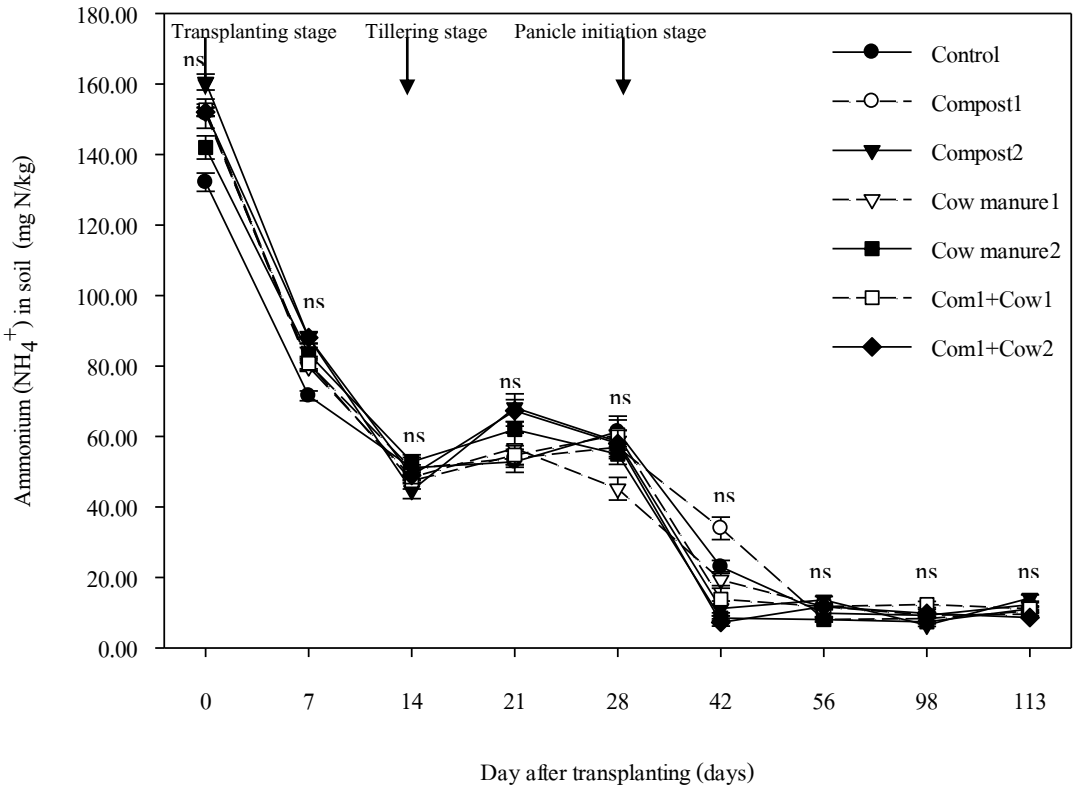
ซึ่งมีค่า pH เป็นกลาง หลังจากวันที่ 14 ของการย้ายปลูก (ข้าวอายุ 44 วัน) ทุกทรีทเมนต์มีค่า pH เพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก โดยทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่า Control มีค่า pH สูงสุด (7.9) ซึ่งมีค่า pH เป็นด่างปานกลาง รองลงมาคือทรีทเมนต์ Com1+Cow1 Com1+Cow2 Cow2 Compost1 Cow manure1 และ Compost2 มีค่าเท่ากับ 7.7 7.7 7.6 7.5 และ 7.3 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับที่ pH เป็นด่างเล็กน้อย หลังจากวันที่ 42 พบว่าทุกทรีทเมนต์มีค่า pH ลดลง และเริ่มคงที่ในวันที่ 56 หลังการย้ายปลูก และในวันที่ 98 หลังการย้ายปลูก (ข้าวอายุ 128 วัน) พบว่าทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่า Com1+Cow1 มีค่า pH สูงสุด (6.6) มีค่า pH เป็นกลาง รองลงมา คือ ทรีทเมนต์ Control, Com1+Cow2 Compost1 Compost2 Cow manure2 และ Cow manure1 ตามลำดับ เท่ากับ 6.5 6.5 6.5 6.4 6.3 และ 6.3 ตามลำดับ การลดลงของค่า pH ในสารละลายดินอาจเกิดจากการออกซิเดชันของแอมโมเนียมไปเป็นไนเตรท และการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในดิน โดยเกิดการปลดปล่อยของอะตอมประจุบวกสองในสารละลายดิน เพื่อให้เกิดการออกซิไดซ์โมเลกุลของอินทรีย์แอมโมเนียม รวมทั้งการปลดปล่อย H^+ จากรากของข้าว ซึ่งเป็นผลมาจากการที่รากข้าวดูดดึงแอมโมเนียมเข้าไปภายในเซลล์ของราก (Tisdale *et al*., 1993)



รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของสารละลายในดินแปลงปลูกข้าว โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ตลอดระยะเวลา 98 วันหลังจากย้ายปลูก (ฤดูที่ 1)

4.2.1.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียมในดิน

พบว่าในช่วงแรกของการย้ายปลูกมีปริมาณแอมโมเนียมในดินค่อยๆ ลดลงตามระยะเวลาการปลูกพืชที่เพิ่มขึ้น และหลังจากวันที่ 42 ปริมาณแอมโมเนียมในดินค่อนข้างคงที่ในทุกทรีทเมนต์โดยทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ (รูปที่ 4.13 และตารางภาคผนวกที่ 11) แต่มีแนวโน้มพบว่าในวันที่ 0 หลังการย้ายปลูกทรีทเมนต์ Compost1 มีปริมาณแอมโมเนียมในดินสูงสุด (160.57 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) และต่ำสุด คือ ทรีทเมนต์ Control (132.16 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) หลังจากวันที่ 7 ของการย้ายปลูก ทุกทรีทเมนต์มีปริมาณแอมโมเนียมในดินลดลงอย่างมาก และเริ่มคงที่หลังจากวันที่ 42 ของการย้ายปลูก และในวันที่ 113 ของการย้ายปลูก พบว่าทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ Compost2 มีปริมาณแอมโมเนียมในดินสูงสุด (14.13 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ ทรีทเมนต์ Control Cow manure2 Com1+ Cow1 Compost1 Cow manure1 และ Com1+ Cow2 ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 12.27 11.09 11.08 10.47 9.52 และ 8.62 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

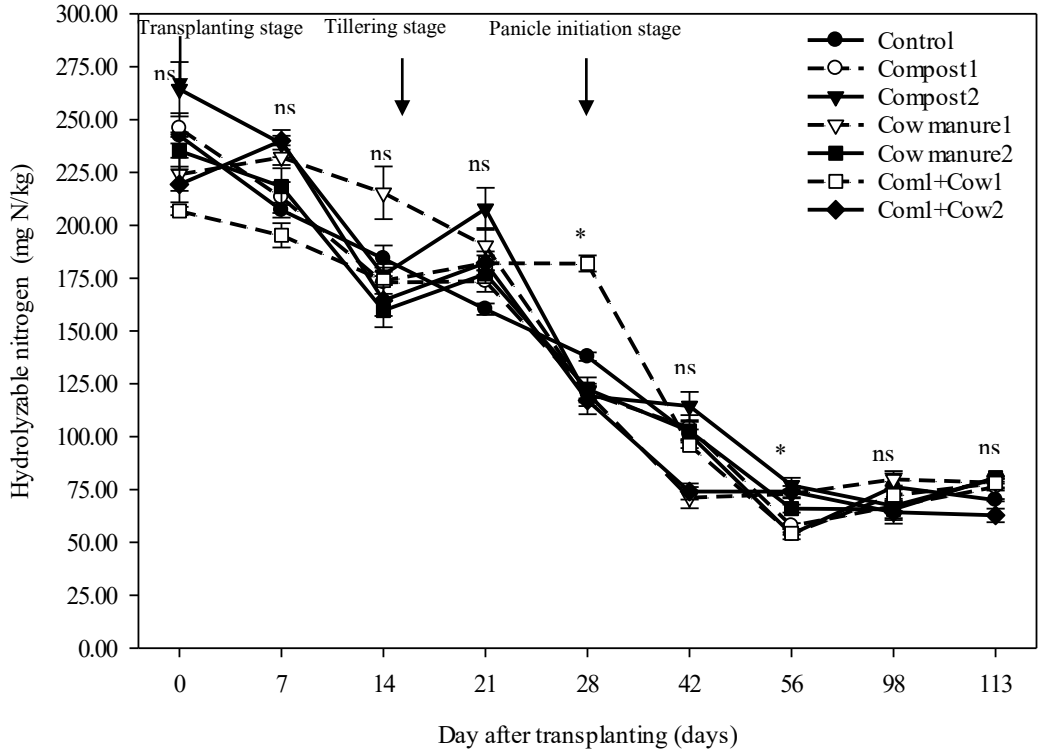


รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียมในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ตลอดระยะเวลา 98 วันหลังจากย้ายปลูก (ฤดูที่ 1)

ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ลดลง ในสภาวะการขังน้ำ เนื่องจากพืชดูดใช้ธาตุอาหารและสูญเสียผ่านกระบวนการ nitrification และ denitrification (Cameron *et al*, 2013) โดยช่วงระยะการแตกกอ ข้าวจะมีความต้องการธาตุไนโตรเจนสูงที่สุด ซึ่งในวันที่ 14 หลังการย้ายปลูกมีปริมาณแอมโมเนียมลดลงอย่างมาก เนื่องจากอยู่ในช่วงระยะแตกกอของข้าว (รูปที่ 4.10) ซึ่งข้าวจะดูดใช้ไนโตรเจนเพื่อสร้างจำนวนหน่อต่อกอเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Liu *et al*. (2011) การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลต่อจำนวนหน่อต่อกอ ดังรูปที่ 4.10 เนื่องจากไนโตรเจนช่วยในการสร้างไซโทไคนิน ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการยืดข้อปล้องการแตกหน่อและไนโตรเจนเป็นส่วนสำคัญในการส่งเสริมและพัฒนาในการเจริญเติบโตของการแตกกอ (Sakakibara *et al*. 2006)

4.2.1.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดิน

การปลูกข้าวฤดูที่ 1 พบว่าในวันที่ 0 หลังการย้ายปลูก (อายุข้าว 30 วัน) พบว่าทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ (รูปที่ 4.14 และตารางภาคผนวกที่ 10)โดยมีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ Compost2 มีปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดินสูงสุด (264.38 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) รองลงมาคือทรีทเมนต์ Com manure1 Control Cow manure2 Cow manure1 Com1+Cow2 และ Com1+Cow1 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 245.88 242.42 235.27 224.13 219.36 และ 206.79 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ตามลำดับ หลังจากวันที่ 3 ทุกทรีทเมนต์มีปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดินค่อยๆ ลดลงตามระยะเวลาการปลูกข้าวที่เพิ่มขึ้น โดยในวันที่ 56 ปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดินเริ่มคงที่ และในวันที่ 113 หลังการย้ายปลูก (อายุข้าว 143 วัน) พบว่าทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ Cow manure2 มีปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดินสูงสุด (80.63 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) รองลงมาคือทรีทเมนต์ Com manure2 Cow manure1 Com1+Cow1 Compost1 Comtrol และ Com1+Cow2 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 80.09 80.63 78.25 77.96 76.15 69.95 และ 62.75 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ตามลำดับ



รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจน ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ตลอดระยะเวลา 113 วันหลังจากย้ายปลูก (ฤดูที่ 1)

4.2.1.5 ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ของวันที่เริ่มต้นและวันที่สิ้นสุดการทดลอง (0 และ 113 หลังการย้ายปลูก) (ฤดูที่ 1)

จากผลการทดลองพบว่า ในวันที่ 113 หลังจากการย้ายปลูกทุกทรีทเมนต์มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 หลังการย้ายปลูก จาก 22.59 – 23.96 กรัมต่อกิโลกรัม เป็น 22.80-25.80 กรัมต่อกิโลกรัม โดยพบว่าทรีทเมนต์ Compost2 ในวันที่ 0 และวันที่ 113 หลังจากการย้ายปลูกทุกทรีทเมนต์ไม่ต่างทางสถิติ (ตารางที่ 4.9) แต่มีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ Compost2 มีค่าสูงสุด (24.13 และ 25.80 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) รองลงมา คือ ทรีทเมนต์ Cow manure1 โดยมีค่าเท่ากับ 23.96 และ 24.92 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด (2.30 กรัมต่อกิโลกรัม) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ Compost1 (2.11 กรัมต่อกิโลกรัม) Control (2.07 กรัมต่อกิโลกรัม) และ Cow manure2 (2.05 กรัมต่อกิโลกรัม) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในวันที่ 0 หลังจากการย้ายปลูกทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 4.8) แต่มีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ Compost2 มีค่าสูงสุด (2.88 กรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมาคือ Cow manure1 (2.84 กรัมต่อกิโลกรัม) และในวันที่ 113 พบว่าทรีทเมนต์ Compost2 มี

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด (2.38 กรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ Cow manure2 (2.05 กรัมต่อกิโลกรัม) และ Control (2.07 กรัมต่อกิโลกรัม)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในดิน วันที่เริ่มต้นและวันที่สิ้นสุดการทดลอง (0 และ 113 หลังการย้ายปลูก)

Treatment	Total C (g/kg)		Total N (g/kg)	
	0 DAT	113 DAT	0 DAT	113 DAT
Control	22.59	22.80	2.70	2.07c
Compost1	23.92	23.27	2.84	2.11bc
Compost2	24.13	25.80	2.88	2.38a
Cow manure1	23.96	24.92	2.84	2.30ab
Cow manure2	22.94	23.23	2.75	2.05c
Com1+Cow1	23.27	23.78	2.82	2.19abc
Com1+Cow2	23.02	24.30	2.76	2.21abc
F-test	ns	ns	ns	*
CV (%)	4.48	6.62	5.44	6.47

ns = non significant, *Significant at $p \leq 0.05$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

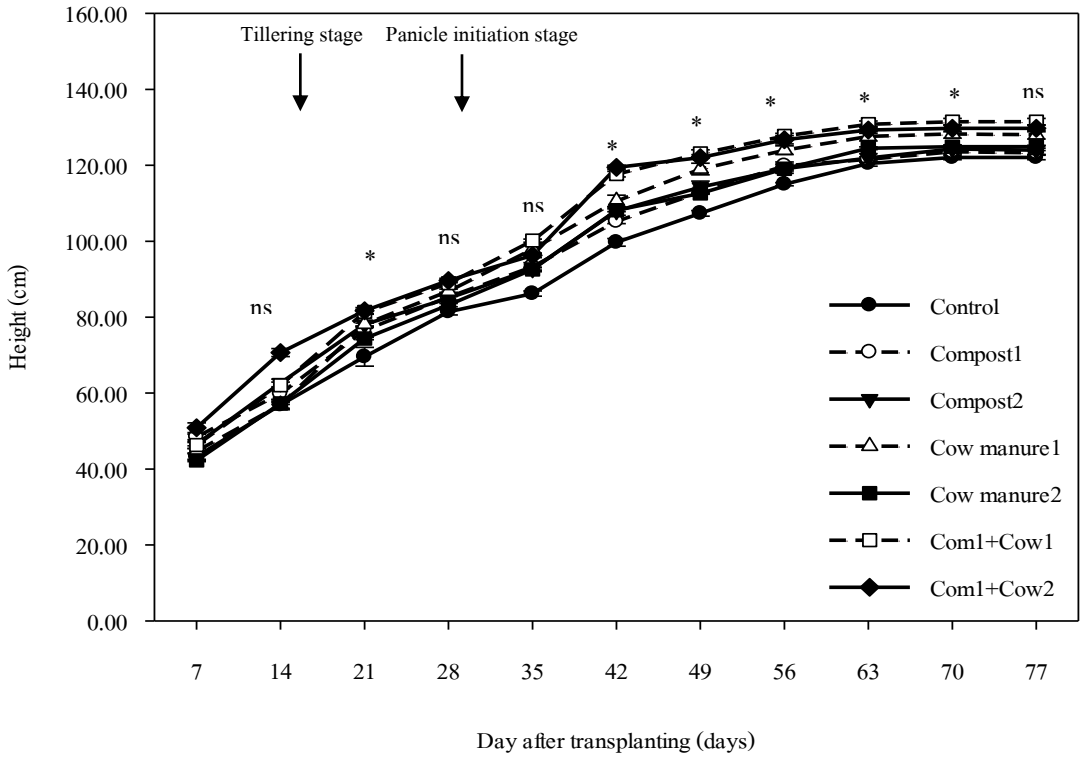
4.2.2 การปลูกข้าวฤดูที่ 2

4.2.2.1 การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช

1. ความสูง

การปลูกข้าวฤดูที่ 2 จากผลการทดลองพบว่าในวันที่ 7 หลังการย้ายปลูก (อายุข้าว 34 วัน) ความสูงของทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ (รูปที่ 4.15 และตารางภาคผนวกที่ 13) โดยมีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ Com1+Cow1 มีความสูงมากที่สุด (70.70 เซนติเมตร) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ ยกเว้นทรีทเมนต์ Compost2 โดยความสูงของข้าวรองลงมา คือ ทรีทเมนต์ Compost2 Com1+Cow2 Compost1 Cow manure1 Control และ Cow manure2 ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 62.65 62.03 46.55 44.70 43.28 และ 42.25 เซนติเมตร ตามลำดับ และหลังจากวันที่ 7 ของการย้ายปลูก ทุกทรีทเมนต์มีความสูงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น และช่วงวันที่ 21-28 ของการย้ายปลูก ทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ และหลังจากวันที่ 35 ของการย้ายปลูก (อายุข้าว 62 วัน) เป็นช่วงเวลาที่ข้าวสร้างรวงอ่อน โดยพบว่าทรีทเมนต์ Com1+Cow1 มีความสูงมากที่สุด (100.20 เซนติเมตร) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ Compost1 Compost2 และ Control โดยมีค่าเท่ากับ 93.33 85.50 และ 80.18 เซนติเมตร ตามลำดับ และหลังจากวันที่ 63 ของการ

ย้ายปลูก พบว่าทุกทรีทเมนต์เริ่มคงที่ เนื่องจากเป็นช่วงที่พืชสร้างรวงข้าวแล้ว และในวันที่ 77 หลังการย้ายปลูกพบว่า ทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ Com1+Cow1 ส่งผลต่อความสูงมากที่สุด เท่ากับ 131.48 เซนติเมตร รองลงมาคือทรีทเมนต์ Com1+Cow2 Cow manure2 Compost2 Compost1 และ Control ตามลำดับโดยมีค่าเท่ากับ 129.75 124.93 124.00 123.38 และ 122.08 เซนติเมตร ตามลำดับ



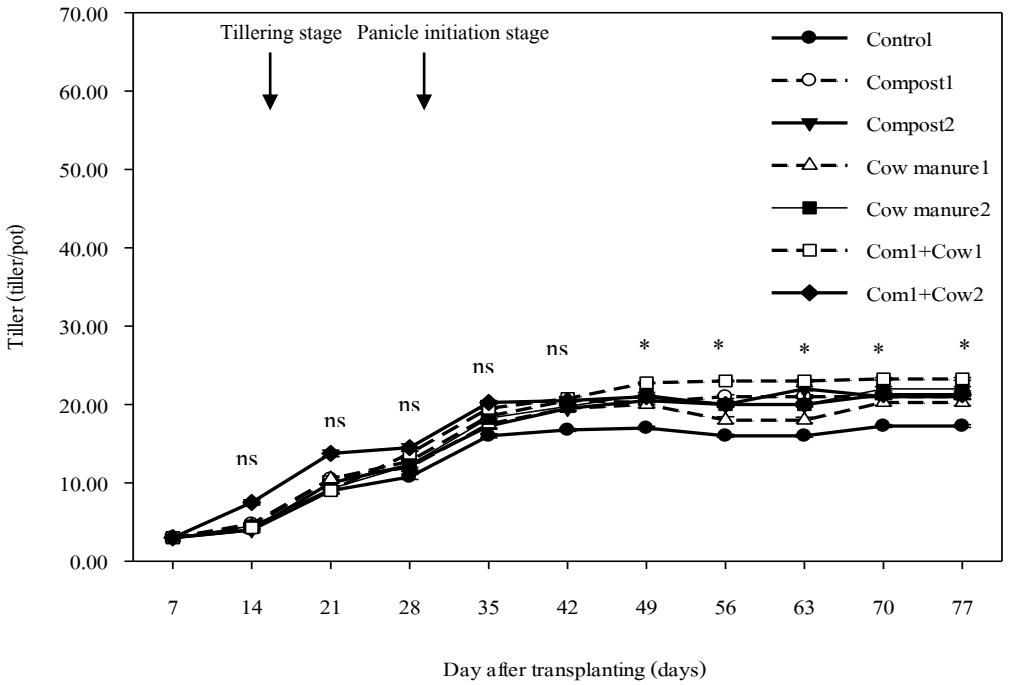
รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงความสูงของข้าว ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ตลอดระยะเวลา 77 วันหลังจากย้ายปลูก (ฤดูที่ 2)

2. จำนวนหน่อต่อกระถาง

การปลูกข้าวรอบที่ 2 จากผลการทดลองพบว่าในวันที่ 7 หลังการย้ายปลูก ข้าวยังไม่แตกหน่อ แต่หลังจากวันที่ 14 ของการย้ายปลูก ทุกทรีทเมนต์มีจำนวนหน่อต่อกระถางค่อยๆ เพิ่มขึ้น อยู่ระหว่าง 4.00-4.75 หน่อต่อกระถาง และตั้งแต่วันที่ 35 หลังการย้ายปลูก ทุกทรีทเมนต์มีจำนวนหน่อต่อกอเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ในทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ (รูปที่ 4.16 และตารางภาคผนวกที่ 14) แต่มีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ Com1+Cow2 มีจำนวนหน่อต่อกระถางเพิ่มขึ้นสูงสุด (20.25 tiller) รองลงมาคือทรีทเมนต์ Com1+Cow1 Compost1 Cow manure2 Cow manure1 Compost2 และ Control ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 19.50 18.50 18.25 17.50 17.25 และ 16.00 หน่อต่อกระถาง ตามลำดับ โดยหลังจากวันที่ 56 ของการย้ายปลูก จำนวนหน่อต่อกระถางในทุก

ทรีทเมนต์เริ่มคงที่ และช่วงวันที่ 76-104 หลังการย้ายปลูก Com1+Cow1 มีจำนวนหน่อต่อกระถางสูงสุด (23.25 หน่อต่อกระถาง) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ Cow manure1 และ Control ในช่วงสุดท้ายของการเจริญเติบโต วันที่ 77 หลังการย้ายปลูก (104 วัน) พบว่าทรีทเมนต์ Com1+Cow1 มีจำนวนหน่อต่อกระถางสูงสุด (23.25 หน่อต่อกระถาง) รองลงมาคือ Cow maure2 Com1+Cow2 Compost 1 และ Compost2 ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 22.00 21.25 และ 21.00 หน่อต่อกระถาง ตามลำดับ และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ Cow manure1 (20.25 หน่อต่อกระถาง) และ Control (17.25 หน่อต่อกระถาง)

Mirza *et al*. (2010) รายงานว่าจำนวนกอของข้าวที่เพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากอิทธิพลของการใส่ปุ๋ยร่วมกัน ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่เป็นปัจจัยสำคัญของการแตกกอ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์จะเป็นแหล่งไนโตรเจนที่พืชต้องการได้ ยิ่งไปกว่านั้นอินทรียวัตถุ จะช่วยสร้างสมดุลของธาตุอาหารในพืช โดยเฉพาะจุลธาตุต่างๆ ซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนกอ (Miller, 2007)



รูปที่ 4.16 จำนวนหน่อต่อกระถางของข้าว ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ตลอดระยะเวลา 77 วันหลังจากย้ายปลูก (ฤดูที่ 2)

3. องค์ประกอบของผลผลิต

จากผลการทดลองพบว่าทรีทเมนต์ Cow manure2 มีจำนวนหน่อต่อกระถางสูงสุด (23 หน่อต่อกระถาง) น้ำหนักสดและน้ำแห้งตอซังสูงสุด (154.53 และ 44.90 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ Control ในขณะที่ทรีทเมนต์

Cow manure1 มีจำนวนรวงต่อกระถางสูงสุด (20.75 panicle/pot) และ Com1+Cow2 มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรวงสูงที่สุด (58.38 และ 40.00 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ) (ตารางที่ 4.10)

ไนโตรเจนมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของข้าวเป็นอย่างมาก การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตราสูง ทำให้พืชดูดซับไนโตรเจนได้มากขึ้น จึงมีผลทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตสูงขึ้น ตรงกันข้ามกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตราต่ำทำให้พืชได้รับไนโตรเจนน้อย จึงมีการเจริญเติบโตและผลผลิตน้อยไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์มีอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้าๆ ซึ่งสอดคล้องกับกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ดิน (พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์ และคณะ, 2560)

ตารางที่ 4.10 จำนวนหน่อต่อกระถาง จำนวนรวงต่อกระถาง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของตอซังและรวง หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิต (ฤดูที่ 2)

Treatment	Tiller number (tiller/pot)	Panicle number (panicle/pot)	Straw		Panicle+grain	
			Fresh weight (g/pot)	Dry weight (g/pot)	Fresh weight (g/pot)	Dry weight (g/pot)
Control	16.75b	14.00b	84.28b	28.51b	34.28b	26.23b
Compost1	21.00a	20.50a	128.23ab	38.86a	57.60a	41.02a
Compost2	22.25a	19.50a	119.03ab	37.41a	53.28a	38.98a
Cow manure1	21.00a	20.75a	152.30a	44.16a	55.05a	38.06a
Cow manure2	23.00a	20.25a	154.53a	44.90a	53.87a	37.89a
Com1+Cow1	22.75a	20.25a	153.20a	44.00a	58.38a	39.46a
Com1+Cow2	21.00a	20.00a	142.37a	43.03a	58.38a	40.00a
F-test	**	**	*	**	**	**
CV (%)	8.29	11.64	23.72	14.95	15.63	10.12

*Significant at $p \leq 0.05$ ** Significant at $p \leq 0.01$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

4. น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซนต์น้ำหนักเมล็ดลีบ และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งทั้งหมด หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิต (ฤดูที่ 2)

จากผลการทดลองพบว่าทรีทเมนต์ Com1+Cow1 มีปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงที่สุด (211.58 และ 83.46 กรัมต่อกระถาง) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ Control (ตารางที่ 4.11) แต่ในทรีทเมนต์ Compost1 มีน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14% สูงสุด เท่ากับ 44.30 กรัมต่อกระถาง และไม่แตกต่างทางสถิติกับทุกทรีทเมนต์ ยกเว้นทรีทเมนต์ Control (27.61 กรัมต่อกระถาง) โดยที่น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14% รองลงมาคือ Com1+Cow2

Com1+Cow1 Compost2 Cow manure2 และ Cow manure1 ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 41.21 40.92 40.17 40.16 และ 39.55 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ในด้านเปอร์เซนต์น้ำหนักเมล็ดลีบพบว่าทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่า Cow manure2 มีเปอร์เซนต์น้ำหนักเมล็ดลีบสูงสุด (15.87%) และมีน้ำหนักรวม 1,000 เมล็ดสูงสุด (21.59 กรัมต่อกระถาง) และพบว่าค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวในทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ Compost1 มีค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงสุด (0.49) การที่ข้าวได้รับธาตุไนโตรเจน ในอัตราสูงทำให้ต้นข้าวมีการแตกกอมากจนเป็นสาเหตุให้ธาตุอาหารมีปริมาณไม่เพียงพอสำหรับการสร้างเมล็ด (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2551) สอดคล้องกับรายงานของ อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์ (2557) และอุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์ (2556) พบว่าเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าวมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระดับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน

ตารางที่ 4.11 น้ำหนักแห้งเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซนต์ น้ำหนักเมล็ดลีบ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และดัชนีการเก็บเกี่ยว หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิต (ฤดูที่ 2)

Treatment	Grain weight at 14% moisture (g/pot)	Undeveloped grain weight (%)	1,000 grain weight (g/pot)	Total fresh weight (g/pot)	Total dry weight (g/pot)	Harvest index
Control	27.61b	16.23	21.38	118.56b	54.74b	0.44
Compost1	44.30a	11.53	21.56	185.83a	79.89a	0.49
Compost2	40.17a	12.99	21.29	172.30ab	76.39a	0.46
Cow manure1	39.55a	14.85	21.45	207.35a	82.21a	0.43
Cow manure2	40.16a	15.87	21.85	208.40a	82.80a	0.43
Com1+Cow1	40.92a	14.26	21.59	211.58a	83.46a	0.43
Com1+Cow2	41.21a	12.19	21.34	200.75a	83.03a	0.44
F-test	**	ns	ns	*	**	ns
CV (%)	10.34	35.01	3.42	19.64	8.56	9.44

ns = non significant , *Significant at $p \leq 0.05$, ** Significant at $p \leq 0.01$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

5. ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมด การดูดใช้ไนโตรเจนในตอซังและเมล็ด และการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมด

จากตารางที่ 4.12 พบว่าปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมด ทั้งในตอซังและเมล็ด ทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ Cow manure2 มีปริมาณ

คาร์บอนทั้งหมดทั้งในตอซังและเมล็ดสูงสุด (384.22 และ 438.58 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) ในขณะที่ทรีทเมนต์Com1+Cow2 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตอซังสูงสุด (3.96 กรัมต่อกิโลกรัม) ทรีทเมนต์ Compost2 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในเมล็ดสูงสุด (11.69 กรัมต่อกิโลกรัม) การดูดใช้ไนโตรเจนในตอซังพบว่าทุกทรีทเมนต์ไม่ต่างทางสถิติ อัตราการดูดใช้อยู่ที่ระหว่าง 0.11-0.17 กรัมไนโตรเจนต่อกระถาง โดยที่มีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ Cow1+Cow1 มีการดูดใช้ไนโตรเจนในตอซังสูงสุด (0.17 กรัมไนโตรเจนต่อกระถาง) ในขณะที่การดูดใช้ไนโตรเจนในเมล็ด พบว่าทรีทเมนต์ Compost1 มีการดูดใช้ไนโตรเจนในเมล็ดสูงสุดเท่ากับ 0.43 g/pot ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ Control (0.29 กรัมไนโตรเจนต่อกระถาง) และการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมด พบว่า Com1+Cow1 ส่งผลต่อการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด (0.57 กรัมไนโตรเจนต่อกระถาง) รองลงมาคือทรีทเมนต์ Cow manure2 Com1+Cow2 Cow manure1 Compost1 และ Compost2 ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 0.56 0.55 และ 0.54 กรัมไนโตรเจนต่อกระถางตามลำดับ ซึ่งทุกทรีทเมนต์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ Control (0.21 กรัมไนโตรเจนต่อกระถาง)

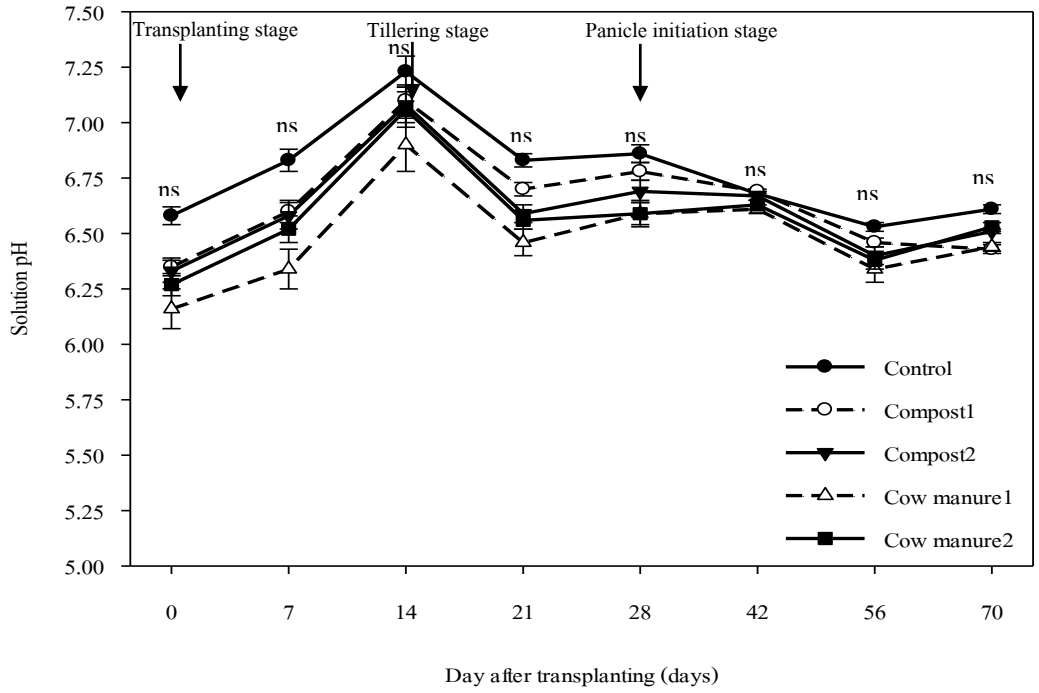
ตารางที่ 4.12 แสดงปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมด การดูดใช้ไนโตรเจนในตอซังและเมล็ดและการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมด

Treatment	Total C (g/kg)		Total N (g/kg)		Uptake N (g N/pot)		Total uptake N (g N/pot)
	Straw	Grain	Straw	Grain	Straw	Grain	
Control	380.19	438.21	3.20	11.02	0.11	0.29b	0.40b
Compost1	381.15	436.22	3.20	10.84	0.12	0.42a	0.54a
Compost2	383.64	433.58	3.64	11.69	0.14	0.40a	0.54a
Cow manure1	375.90	434.63	3.17	11.32	0.16	0.38a	0.54a
Cow manure2	384.22	438.58	3.46	11.27	0.16	0.40a	0.56a
Com1+Cow1	380.98	435.95	3.59	10.99	0.17	0.40a	0.57a
Com1+Cow2	383.26	437.58	3.96	11.10	0.15	0.40a	0.55a
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	**	**
CV (%)	1.96	0.71	18.21	5.09	20.05	8.07	6.92

ns = non significant ** Significant at $p \leq 0.01$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

4.2.2.2 การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย

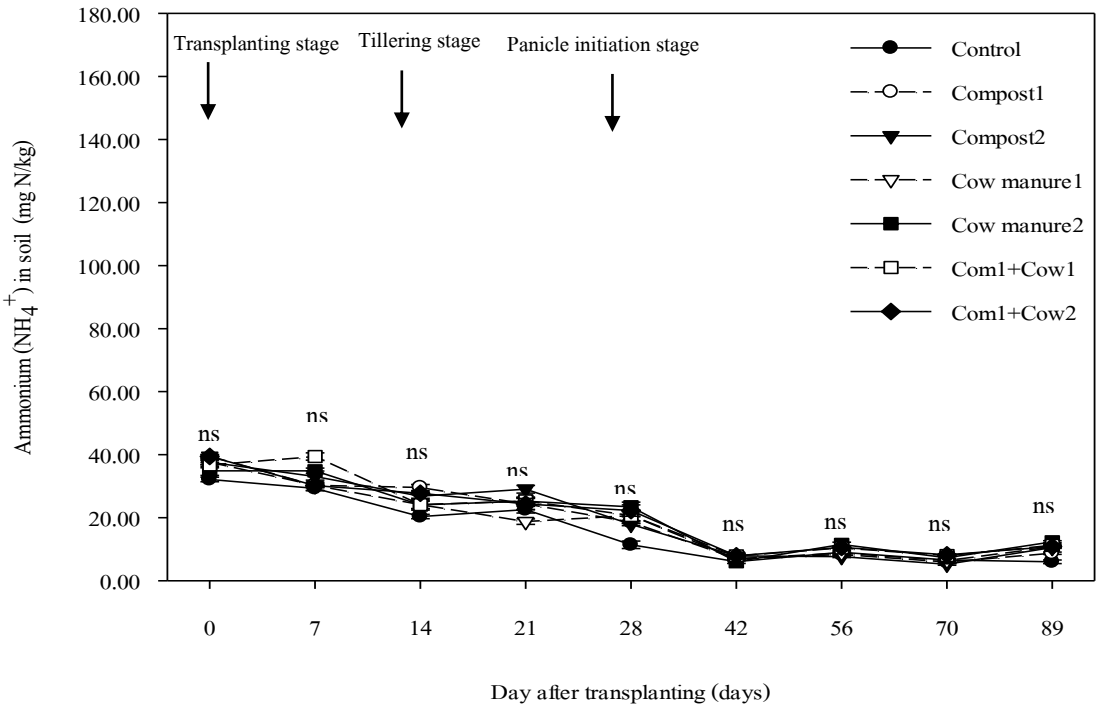
การปลูกข้าวฤดูที่ 2 วัดความเป็นกรด-ด่างของสารละลายถึงวันที่ 70 หลังการย้ายปลูก เนื่องจากเริ่มงดให้น้ำตั้งแต่วันที่ 70 ทำให้ในวันที่ 89 หลังการย้ายปลูก (ข้าวอายุ 116 วัน) น้ำในกระถางแห้งหมด จึงไม่ได้วัดการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ในวันที่ 0 ของการเริ่มต้นการปักดำ (ข้าวอายุ 28 วัน) ทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ (รูปที่ 4.17 และตารางภาคผนวกที่ 15) โดยมีแนวโน้มพบว่าปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของสารละลายในทรีทเมนต์ Control สูงสุด (6.6) ต่ำสุดในทรีทเมนต์ Cow manure1 (6.2) ซึ่งอยู่ในช่วงเป็นกรดเล็กน้อย (6.1-6.5) หลังจากวันที่ 7 ของการปักดำ พบว่า ปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของสารละลายในทุกทรีทเมนต์ค่อยๆ เพิ่มขึ้น อยู่ระหว่าง 6.3-6.8 ซึ่งเป็นกลาง และค่อยๆ ลดลง หลังจากวันที่ 14 (อายุข้าว 42 วัน) ในช่วงท้ายของการปลูกพืช วันที่ 56-70 ปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างเริ่มคงที่ในทุกทรีทเมนต์ โดยในวันที่ 70 หลังการย้ายปลูก (ข้าวอายุ 98 วัน) พบว่าทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ โดยทรีทเมนต์ Control มีความเป็นกรด-ด่างของสารละลายสูงสุด (6.6) และมี pH เป็นกลาง รองลงมาคือทรีทเมนต์ Com1+Cow1 Cow manure2 Com1+Cow2 Compost2 Cow manure1 และ Compost1 ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 6.54 6.53 6.52 6.51 6.44 และ 6.43 ตามลำดับ ซึ่งความเป็นกรด-ด่างของสารละลายมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย



รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ตลอดระยะเวลา 70 วันหลังจากย้ายปลูก (ฤดูที่ 2)

4.2.2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียมในดิน

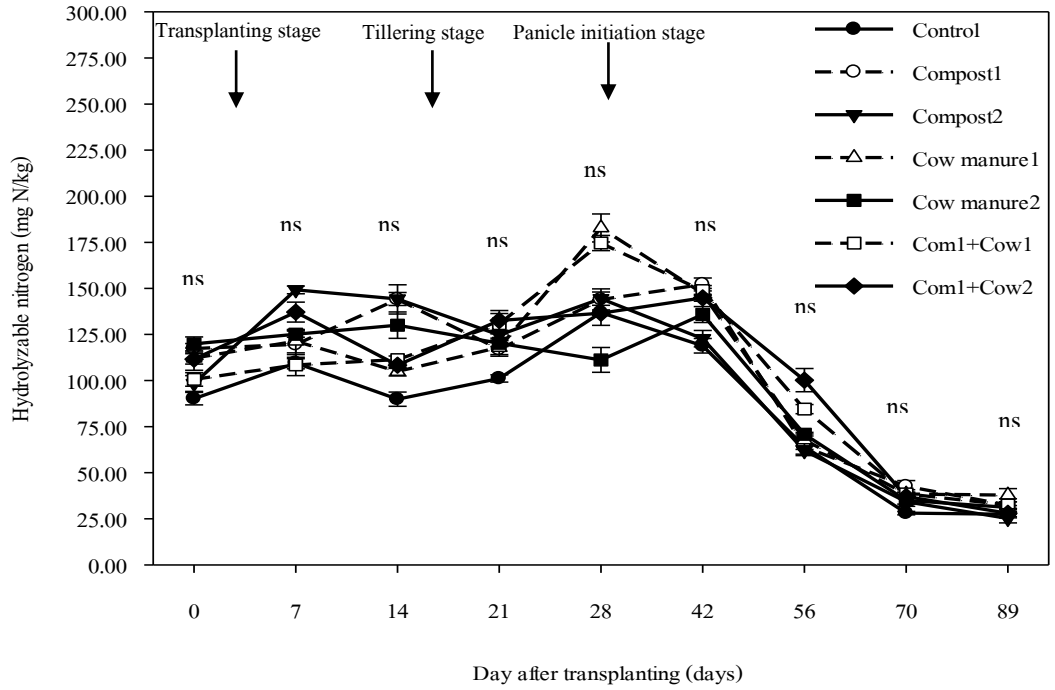
พบว่าในวันที่ 0 ของการเริ่มต้นปักดำข้าว (อายุข้าว 28 วัน) ทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (รูปที่ 4.18 และตารางภาคผนวกที่ 16) แต่มีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ Cow manure1 มีปริมาณแอมโมเนียมสูงสุด (39.46 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ ทรีทเมนต์ Com1+Cow2 Compost1 Compost2 Com1+Cow1 Cow manure2 และ Control ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 39.42 37.58 37.58 36.70 34.82 และ 32.12 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ตามลำดับ หลังจากวันที่ 14 หลังการย้ายปลูก ทุกทรีทเมนต์มีปริมาณแอมโมเนียมในดินค่อยๆ ลดลง โดยมีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ Compost1 มีปริมาณแอมโมเนียมสูงสุด (29.55 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) ในขณะที่ทรีทเมนต์ Control มีปริมาณแอมโมเนียมต่ำสุด (20.36 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) และหลังจากวันที่ 42 ของการปักดำข้าว พบว่าทุกทรีทเมนต์มีปริมาณแอมโมเนียมในดินเริ่มคงที่ และในวันที่ 89 หลังการย้ายปลูก (อายุข้าว 116 วัน) Cow manure2 มีปริมาณแอมโมเนียมในดินสูงสุด (12.34 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ Compost1 (8.72 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) และ Control (5.98 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) และตลอดระยะการปลูกข้าวตั้งแต่วันที่ 0-70 หลังการย้ายปลูก ทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ



รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียมในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ตลอดระยะเวลา 89 วันหลังจากย้ายปลูก (ฤดูที่ 2)

4.2.2.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดิน

การปลูกข้าวฤดูที่ 2 พบว่าระหว่างวันที่ 0 - 89 หลังการย้ายปลูก ทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ (รูปที่ 4.19 และตารางภาคผนวกที่ 17) โดยในวันที่ 0 หลังการย้ายปลูกพบว่าทรีทเมนต์ Cow manure2 มีแนวโน้มมีปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดินสูงสุด (120.41 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ ทรีทเมนต์ Compost1 Cow manure1 Com1+Cow2 Com1+Cow1 Compost2 และ Control ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 117.31 112.16 111.58 100.60 98.38 และ 90.14 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ตามลำดับ หลังจากวันที่ 7 ของการย้ายปลูก



รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ตลอดระยะเวลา 89 วันหลังจากย้ายปลูก (ฤดูที่ 2)

ทุกทรีทเมนต์มีปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และเริ่มลดลงหลังจากวันที่ 42 ของการย้ายปลูก (อายุข้าว 69 วัน) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณการสะสมของแอมโมเนียมในดินลดลงตั้งแต่วันที่ 42 โดยมีแนวโน้มพบว่า Compost1 มีปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดินสูงสุด (152.21 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) รองลงมาคือ Com1+Cow1 (148.88 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) และในระยะสุดท้ายของการย้ายปลูก ในวันที่ 70-89 (อายุข้าว 97-116 วัน) พบว่าทุกทรีทเมนต์มีปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดินเริ่มคงที่ โดยในวันที่ 89 ของการย้ายปลูก (อายุข้าว 116 วัน) พบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสองชนิดและการแบ่งใส่ปุ๋ยมีปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนไม่แตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มพบว่า ทรีทเมนต์ Cow manure1 มีปริมาณ

ไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดินสูงสุด (37.82 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) รองลงมาคือทรีทเมนต์ Compost1 Com1+Cow1 Cow manure2 Com1+Cow2 Control และ Compost2 ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 32.45 32.42 31.15 28.00 27.50 และ 25.13 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

4.2.2.5 ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในดินที่เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 0 และ 89 หลังการย้ายปลูก)

ในวันที่ 0 และ 89 หลังการย้ายปลูก พบว่าปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในทุกทรีทเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ไม่แตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 4.13) แต่แตกต่างทางสถิติกับทรีทเมนต์ Control โดยมีแนวโน้มพบว่าทรีทเมนต์ Cow manure1 มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดสูงสุด (25.48 และ 25.75 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) และไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด (2.42 และ 2.38 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) ในขณะที่ทรีทเมนต์ Control มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดต่ำสุด เท่ากับ 22.75 และ 22.25 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำสุดเท่ากับ 2.15 และ 2.04 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในดิน พบว่าดินและปุ๋ยที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

ตารางที่ 4.13 ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดวันที่ 0 และ 89 หลังการย้ายปลูก (อายุข้าว 27 วันและ 116 วัน)

TRT	Total C (g/kg)		Total N (g/kg)	
	0 DAT	89 DAT	0 DAT	89 DAT
Control	22.75b	22.25b	2.15b	2.04b
Compost1	25.47a	25.33a	2.39a	2.35a
Compost2	25.15a	24.28a	2.39a	2.26a
Cow manure1	25.48a	25.75a	2.42a	2.38a
Cow manure2	24.44ab	25.06a	2.31ab	2.30a
Com1+Cow1	24.85a	25.44a	2.31ab	2.34a
Com1+Cow2	23.91ab	24.94a	2.29ab	2.34a
F-test	*	**	*	**
C.V. (%)	4.84	4.85	4.57	4.96

*Significant at $p \leq 0.05$ ** Significant at $p \leq 0.01$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 การทดลองที่ 1 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพขังน้ำ

ในดินที่ปลูกข้าวระบบเกษตรอินทรีย์ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง หลังทำการบ่มดินอยู่ในสภาพเป็นกลาง โดยการใส่ปุ๋ยหมักส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของดินทำให้มีค่าสูงสุด (7.2) แต่ในสารละลายดิน การใส่ปุ๋ยพืชสดปอเทือง ส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายดินทำให้มีค่าสูงสุด (7.3) และมีปริมาณสะสมของไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้สูงสุด (121.33 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) การไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ส่งผลต่อปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดินสูงสุด (227.97 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) การทำนายการย่อยสลายไนโตรเจนพบว่าการใส่ปุ๋ยพืชสดปอเทืองมีอัตราการย่อยสลายช้าที่สุด (114.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) การใส่ปุ๋ยมูลโคส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้นมากที่สุด (2.95 กรัมต่อกิโลกรัม)

ในดินที่ปลูกข้าวไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ พบว่าการใส่ปุ๋ยพืชสดปอเทืองส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของดินทำให้มีค่าสูงสุด (pH = 7.0) และมีสภาพเป็นกลาง แต่ในสารละลายของดิน การใส่ปอเทืองมีค่า pH สูงสุดเท่ากับ 7.6 ซึ่งมีอิทธิพลมาจากกระบวนการรีดักชั่น (reduction) การใส่ปุ๋ยมูลโค ส่งผลให้มีปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนในดินสูงสุด (412.04 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) ทำให้อินทรีย์ไนโตรเจนในดินลดลง ในขณะที่การสะสมไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้พบว่า การใส่ปอเทืองในดินปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ส่งผลให้มีค่าสูงสุด (349.35 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยกระตุ้นให้ดินเข้าสู่กระบวนการรีดักชั่นได้รวดเร็วขึ้น และยังทำให้การย่อยสลายของ labile organic N ในดินได้ การทำนายการย่อยสลายไนโตรเจนพบว่าการใส่ปอเทืองมีศักยภาพในการย่อยสลายไนโตรเจนสูงสุด (314.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และอัตราการย่อยสลายช้าที่สุด

จากการคำนวณอัตราการสะสมการย่อยสลายของไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสามชนิดของดินในระบบเกษตรอินทรีย์ พบว่าศักยภาพในการย่อยสลายไนโตรเจนในดินปลูกข้าวที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์สูงกว่าดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ โดยศักยภาพในการย่อยสลายไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสามชนิด (Potential nitrogen nineralization) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ปอเทืองมีแนวโน้มที่มีค่าสูงกว่าปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น และปุ๋ยมูลโคมีแนวโน้มปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนได้สูงกว่าปุ๋ยหมัก และดินในระบบที่ไม่ใช่เกษตรอินทรีย์ พบว่าการใส่ปุ๋ยพืชสดปอเทืองมีศักยภาพในการย่อยสลายไนโตรเจนสูงสุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับการใส่ปุ๋ยมูลโค โดยการใส่ปุ๋ยหมักมีการปลดปล่อยไนโตรเจนสูงกว่าปุ๋ยมูลโค จากผลการทดลองจึงเลือกใช้ปุ๋ย

มูลโคเป็นปุ๋ยที่สามารถปลดปล่อยไนโตรเจนได้อย่างรวดเร็ว และปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยที่สามารถปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนได้อย่างช้าๆ ในการทำการทดลองที่ 2

5.2 การทดลองที่ 2 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และการจัดรูปแบบการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของข้าว ทำการทดลองในกระถาง

การปลูกข้าวในฤดูที่ 1 ข้าวมีอายุเกี่ยวที่ยืดยาวกว่าลักษณะประจำพันธุ์ปทุมธานี 1 อาจเนื่องจากได้รับปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่มากเกินความต้องการ และในการปลูกข้าวฤดูที่ 2 อายุการเก็บเกี่ยวผลผลิตอยู่ที่ 116 วัน ซึ่งใกล้เคียงกับอายุการเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ดังนั้นจึงขอสรุปผลจากการปลูกข้าวในฤดูที่ 2

การใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยมูลโคที่ระยะปักดำและแตกกอ ส่งผลให้มีความสูงของข้าวมากที่สุด (131.48 เซนติเมตร) จำนวนหน่อต่อกระถางสูงสุด (23.25 หน่อต่อกระถาง) ซึ่งไนโตรเจนมีผลต่อการสร้างหน่อใหม่ในระยะแตกกอของข้าว เมื่อข้าวได้รับปริมาณธาตุไนโตรเจนในระดับที่เหมาะสม ส่งผลให้ข้าวมีการแตกกอเพิ่มขึ้น มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งทั้งหมดสูงสุด (211.58 และ 83.46 กรัมต่อกระถาง) และการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด (0.57 กรัมไนโตรเจนต่อกระถาง) ในขณะที่การใส่แบ่งใส่ปุ๋ยมูลโคที่ระยะปักดำและแตกกอ ส่งต่อน้ำหนักสดและแห้งตอซังสูงสุด (154.53 และ 44.90 กรัมต่อกระถาง) แต่ไม่แตกต่างจากการใส่มูลโคและปุ๋ยหมักเพียงครั้งเดียว และการแบ่งใส่ปุ๋ยหมักและมูลโคร่วมกัน 2 ครั้ง อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยหมักที่ระยะปักดำเพียงครั้งเดียว มีน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14 % สูงสุด (44.30 กรัมต่อกระถาง) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์

จะเห็นได้ว่าการแบ่งใส่ปุ๋ย 2 หรือ 3 ครั้งตามระยะปักดำ แตกกอ และสร้างรวงอ่อน ทำให้องค์ประกอบของผลผลิตและผลผลิตไม่ต่างจากการใส่ปุ๋ยเพียงครั้งเดียวที่ระยะปักดำ การใส่ปุ๋ยร่วมกันระหว่างปุ๋ยหมักและปุ๋ยมูลโค ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตไม่ต่างจากการใช้ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยมูลโคเพียงอย่างเดียว แต่การใส่ปุ๋ยหมักที่ระยะปักดำเพียงครั้งเดียว มีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซนต์มากกว่ารูปแบบการใส่ปุ๋ยอื่นๆ

เอกสารอ้างอิง

กมลวรรณ ตีเมืองสอง, สุกัญญา แย้มประชา และนุกูล ถวิลถึง. 2558. “การเปลี่ยนแปลงอนินทรีย์ไนโตรเจนและ Hydrolyzable nitrogen ในดินที่ใส่ปุ๋ยคอก”. หน้า 154-161. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53 สาขาพืช.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรกนก เภาโพธิ์, พรทิพย์ ศรีมงคล, ศุภสิทธิ์ สิทธาพานิช และวิมลนันทน์ กันเกตุ. 2557. “ผลของการใช้วัสดุอินทรีย์ต่อการตอบสนองของข้าวในดินเค็ม”. **แก่นเกษตร.** 42(1): 82-88.

กรมการข้าว. 2560ก. **องค์ความรู้เรื่องข้าว การผลิตข้าวอินทรีย์.** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://www.ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=4-2.htm

กรมการข้าว. 2560ข. **องค์ความรู้เรื่องข้าว พันธุ์ข้าว.** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : www.ricethailand.go.th/Rkb/varieties/index.php-file=content.php&id=67.htm

กรมการข้าว. 2560ค. **องค์ความรู้เรื่องข้าว การใส่ปุ๋ยและปรับปรุงดิน.** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://www.ricethailand.go.th/Rkb/manual/index.php-file=content.php&id=47.htm

กรมพัฒนาที่ดิน. 2550. **ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยพืชสด** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://www.ldd.go.th/menu_Dataonline/G1/G1_02.pdf

กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. **คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ดินทางกายภาพ.** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-04.pdf

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2543. **เอกสารการเผยแพร่ข้าวพันธุ์ดี.** กรุงเทพฯ: กองเกษตรสัมพันธ์.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2562. **เทคโนโลยีการผลิตข้าวอินทรีย์.** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : https://www2.moac.go.th/ewt_news.php?nid=431&filename=index

กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว. 2543. **ปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยคอก** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://www.brrd.in.th/rkb2/organic%20rice/index.php-file=content.php&id=12.htm

กลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคเหนือตอนบน. 2553. **เทคโนโลยีการทำนาขั้นบันไดบนพื้นที่สูง**. เชียงราย: เอ.พี. คอม.

กันยารัตน์ บัวราษฎร์, ศุภชัย อำคา, ชัยสิทธิ์ ทองจู และนวรัตน์ อุดมประเสริฐ์. 2555. “ผลของระบบการไถพรวนร่วมกับการใส่อินทรียวัตถุในดินต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและการกักเก็บคาร์บอนในดินของการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80”. หน้า 1263-1272. ใน **การประชุมวิชาการแห่งชาติ**

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิยา. (2541). ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่8). กรุงเทพมหานคร : เรืองธรรมการพิมพ์. http://elearning.nsru.ac.th/web_elearning/soil/lesson_8_5.php

จันทร์เพ็ญ ชุมแสง และพจนีย์ แสงมณี. 2562. **เทคนิคการใช้ปุ๋ยเพิ่มผลผลิตข้าวปลอดภัย.** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : clinictech.uru.ac.th/index3.php?name=news&file=news_download&id=10

จารุวรรณี เตรียมวิจารณ์กุล. 2559. “ผลของชนิดปุ๋ยพืชสดในการปลูกข้าวนาดาต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดิน ชุดดินสรรพยา (Sa) อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย”. **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์.** 3(3) : 30-43.

ชุติมณฑน์ ชูพุดชา. 2553. “ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์กับการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้า (Brassica oleracea) ในระบบเกษตรอินทรีย์”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ณัฐพล บัวจันทร์ และ เครือมาศ สมัครการ. 2556. “อิทธิพลของการจัดการดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธ์สุพรรณบุรี 1”. **วารสารวิชาการ Veridian E-Journal**. 6(3) : 924-934.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550. **ดินที่ใช้ปลูกข้าว.** หนังสือประกอบการบรรยายวิชาดินนาของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นรีลักษณ์ ชูวรเวช. 2548. **การใช้มูลสุกรร่วมกับวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ในการผลิตปุ๋ยหมักมูลสุกรไร้กลิ่น**. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นุจรีย์ กองพลพรหม, ฤทธิรงค์ จังโกฏิ และธวัดชัย ธานี. 2558. “ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงและปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตข้าวหอมมะลิ 105”. **ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์.** 15(1) : 66-77.

บัญชา รัตนีทู และศิราณี วงศ์กระจ่าง. 2556. “คุณค่าปุ๋ยหมักในการเกษตร”. **วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์.** 5(4) : 174-183.

พรเพ็ญ สมจิตร์ และนิตยา ผกามาศ. 2554. “ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตที่ระยะต่างๆ และผลผลิตในข้าวพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสง”. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า**. 29(3) : 51-57.

พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์, วรภัทร ลัคนทินวงศ์, ชวินทร์ ปลื้มเจริญ และภิรญา ชมพูผิว. 2560. “ผลของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงต่อการผลิตข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1”. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.** 25(2) : 248-259.

พงษ์พันธุ์ กาวิละ. 2548. **ผลของการจัดการตอซังและฟางข้าว ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินและผลผลิตพืช**. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ภัทราพร กังวานเจษฎา. 2555. “การศึกษาการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนเพื่อเป็นดัชนีการเจริญเต็มที่ของปุ๋ยหมัก”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2548. **ชุดคู่มือการเกษตร ปุ๋ยอินทรีย์.** กรุงเทพฯ : บริษัทอมรินทร์บุ๊คเซ็นเตอร์ จำกัด.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2558**. ดิน ธาตุอาหารและปุ๋ยข้าว.** กรุงเทพฯ : สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2551. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ราชกิจจานุเบกษา. 2550. **พระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550**. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : https://library2.parliament.go.th/giventake/content_law/law110151-1.pdf

ศุภกาญจน์ ล้วนมณี, สมฤทัย ตันเจริญ, ภาวนา ลิกขนานนท์ และสุปรานี มั่นหมาย. 2553. ศึกษาการสลายตัวและพฤติกรรมการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยผสมเคมี ภายใต้สภาพความชื้นสนาม: การทดลองย่อย ศึกษาการสลายตัวและพฤติกรรมการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยหมัก. ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2553 สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร 1: 333-343.

ศุภวรรณ์ ใจแสน. 2551. **ข้าวอินทรีย์ การผลิตข้าวต้นทุนต่ำให้ผลผลิตสูง.** กรุงเทพฯ : บริษัทนาคาอินเตอร์มีเดีย.

ศุภสิทธิ์ สิทธาพานิช, พรทิพย์ ศรีมงคล, วิมลนันทน์ กันเกตุ และนุชนภางค์ สุวรรณเทน. 2557. “อิทธิพลของปุ๋ยพืชสดต่อผลผลิตและการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนของข้าวที่ปลูกในดินลูกรัง”. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร.** 45(2) : 613-616.

สถาพร ทองรอด. 2559. “คุณสมบัติของดินนาข้าวในพื้นที่เกิดน้ำท่วมเป็นประจำ อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สมัคร ยิ่งยง, ลือชัย อารยะรังสฤษฎ์ และสมทรง โชติชื่น. 2551. **สุดยอดข้าวไทย.** บริษัท ข้าวรัชมงคล จำกัด.

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. 2520**. ลักษณะของข้าวที่สำคัญทางการเกษตร** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก :

http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=3&chap=1&page=t3-1-infodetail05.html

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. **สถิติการเกษตรแห่งประเทศไทยปี 2561 ตอนที่ 1 พืชอาหาร** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://www.oae.go.th/assets/portals/1/ebookcategory/27_yearbook2561/

สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. 2555. **สภาพอากาศกับฤดูปลูกข้าวของไทย** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : https://www.tmd.go.th/programs%5Cuploads%5Cweatherclimate%5C3%20Month%20Climate%20News%20(Vol.2.no3).pdf

อรประภา อนุกูลประเสริฐ และภาณุมาศ ฤทธิไชย. 2559. “ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงต่อการให้ผลผลิต และคุณภาพของผักกาดหอม”. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์**. 4(1) : 81-94.

อรประภา อนุกูลประเสริฐ. 2559. “ผลของการขาดน้ำต่อการเจริญเติบโต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวหอม 6 พันธุ์”. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์**. 24(3) : 443-455.

อานัฐ ตันโช. 2560. **ข้อเสียปุ๋ยคอก** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://oknation.nationtv.tv/blog/kontan/2008/03/17/entry-2

อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์. 2556. “ผลของการใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมี ไนโตรเจนที่มีต่อผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้ธาตุไนโตรเจนของข้าว”. **วารสารวิชาการเกษตร.** 30 : 270-281.

อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์. 2557. “การจัดการปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินต่อการ เจริญเติบโตผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนของข้าวที่ ปลูกในชุดดินสรรพยา”. **วารสารวิชาการเกษตร.** 30: 133-140.

Bray, R. H. and Kurtz, L. T. 1945. “Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil”. **Soil Science**. 59 : 39-45.

Buresh, R.J., Reddy, K.R. and Kessel, C. 2008. “Nitrogen transformations in submerged soils”. 401-436. In Schepers, J.S. and Raun, W.R. **Nitrogen in agricultural systems.** Madison : Agronomy Monograph.

Bushong, J.T., Roberts, T.L., Ross, W.J., Slaton, N.A. and Wilson, C.E. 2008. “Evaluation of distillation and diffusion techniques for estimating hydrolysable amino sugar-nitrogen as a

means of predicting nitrogen mineralization". **Soil Science Society of America.** 72(4) : 992-999.

Capone, D. G., Bronk, D.A., Mulholland, M. R., and Carpenter, E.J. editor. 2008. **Nitrogen in the Marine Environment (second edition)**. Academic Press.

Carmo, D.L.D., Silva, C.A., Lima, J.M.D. and Pinheiro, G.L. 2016. "Electrical conductivity and chemical composition of soil solution: comparison of solution samplers in tropical soils". **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V40: e0140795.

Cameron, K.C., Di, H.J. and Moir, J.L. 2013. "Nitrogen losses from the soil/plant system: a review". **Annals of Applied Biology.** 62 : 145-173.

Carter, M.R. and Gregorich, E.G., editor. 2006. **Soil sampling and methods of analysis. New York :** CRC Press Taylor & Francis Group.

Cherr, C.M., Scholberg, J.M.S. and McSorley, R.M. 2006. "Green manure approaches to crop production: a synthesis". **Agronomy Journal**. 98 : 302-319.

Chivenge, P., Vanlauwe, B., Gentile, R. and Six, J. 2011. "Comparison of organic versus mineral resource effects on short-term aggregate carbon and nitrogen dynamics in a sandy soil versus a fine textured soil". **Agriculture, Ecosystems and Environment.** 140 : 361-371.

Dessureault-Rompre´, J., Zebarth, B.J., Burton, D.L. and Georgallas, A. 2015. "Predicting soil nitrogen supply from soil properties". **Canadian Journal of Soil Science.** 95 : 63-75.

Donald, L.S., editor. 2011. **Advances in Agronomy.** 111. Burlington : Academic Press.

Dong, W., Zhang, X., Wang, H., Dai, X., Sun, X., Qiu, W. and Yang, F. 2012. "Effect of different fertilizer application on the soil fertility of paddy soils in red soil region of Southern China". **PLOS ONE**. 7(9) : 1-8.

Duan, Y.H., Zhang, Y.L., Ye, L.T., Fan, X.R., Xu, G.H. and Shen, Q.R. 2007. "Responses of rice cultivars with different nitrogen use effciency to partial nitrate nutrition". **Annals of Botany.** 99 : 1153-1160.

Fageria, N.K. 2007. "Green manuring in crop production". **Journal of Plant Nutrition**. 30 : 691–719.

Gong, W., Yan, X.Y., Wang, J.Y., Hu, T.X. and Gong Y.B. 2011. "Long-term applications of chemical and organic fertilizers on plant-available nitrogen pools and nitrogen management index". **Biology and Fertility of Soils**. 47: 767–775.

Hartz, T.K. and Giannini C. 1998. "Duration of composting of yard wastes affects both physical and chemical characteristics of compost and plant growth". **HortScience**. 33(7) : 1192-1196.

Hartz, T.K., Costa, F.J and Schrader, W.L. 1996. "Suitability of composted green waste for horticultural uses". **HortScience**. 31 : 961–964.

Hartz, T.K., Smith, R. and Gaskell, M. 2010. "Nitrogen availability from liquid organic fertilizers". **HortTechnology.** 20(1) **:** 169-172.

Heumann, S., Fier, A., Haßdenteufel, M., Höper, H., Schäfer, W., Eiler, T. and Böttcher, J. 2013. "Minimizing nitrate leaching while maintaining crop yields: insights by simulating net N mineralization". **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. 95 : 395-408.

Hossain, B., Rahman, M., Biswas, J.C., Miah, M.U., Akhter, S., Maniruzzaman., Choudhury, A.K., Ahmed, F., Shiragi, H.K. and Kalra, N. "Carbon mineralization and carbon dioxide emission from organic matter added soil under different temperature regimes". **The International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture.** 6 : 311-319.

Kaleeem Abbasi, M., Mahmood Tahir, M., Sabir, N. and Khurshid, M., 2015. "Impact of the addition of different plant residues on nitrogen mineralization–immobilization turnover and carbon content of a soil incubated under laboratory conditions". **Solid Earth**. 6(1) : 197–205.

Kalen, M. and Nathan, S. 2018. "Rice growth and development". 9-20. In Jarrod, T.H. **Rice Production Handbook.** Arkansas : University of Arkansas Division of Agriculture Cooperative Extension Service.

Khan, S.A., Mulvaney, R.L. and Hoeft, R.G. 2001. "A simple soil test for detecting sites that are nonresponsive to nitrogen fertilization". **Soil Science Society of America Journal**. 65 : 1751– 1760.

Khaokaew, W., Attanandana, T., Chanchareonsook, J., Sripichitt, P. and Yost, Russell. 2007. "Nitrogen mineralization and different methods of ammonium determination of some paddy soils in the north, central, and northeast regions of Thailand". **Kasetsart Journal.** 41 : 96-108.

Kirk, G. 2004. **The Biogeochemistry of Submerged Soils.** Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.

Krishann, P., Ramakrishnan, B., Reddy, K.R. and Reddy, V.R. 2011. "High-temperature effects on rice growth, yield, and grain quality". 89-206. In Donald, L.S. **Advances in Agronomy.** 111, Burlington : Academic Press.

Kyuma, K. 2004. **Paddy Soil Science**. Kyoto: Kyoto University Press and Trans Pacific Press.

LECO Corporation. 2016. Operation. In: Trumac CNS/NS Carbon/Nitrogen/Sulfur Determinators Instruction Manual, U.S., LECO Europe B.V.

Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. 1978. "Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper". **Soil Science Society of America Journal.** 42 : 421-428.

Liu, J.X., Liao, D.Q., Oane, R., Estenor, L., Yang, X.E., Li, Z.C. and Bennett, J., 2006. "Genetic variation in the sensitivity of anther dehiscence to drought stress in rice". **Field Crops Research**. 97 : 87-100.

Liu, Y., Ding, Y.F., Wang, Q.S., Meng, D.X. and Wang, S,H. 2011. "Effects of nitrogen and 6-benzylaminopurine on rice tiller bud growth and changes in endogenous hormones and nitrogen". **Crop Science**. 51 : 786–792.

Luce, M.S., Whalen, J.K., Ziadi, N. and Zebarth, B.J. 2014. "Labile organic nitrogen transformations in clay and sandy-loam soils amended with 15N-labelled faba bean and wheat residues". **Soil Biology and Biochemistry.** 68 : 208-218.

Masunga, R.H., Uzokwe, V.N., Mlay, P.D., Odeh, I., Singh, A., Buchan, D. and Neve, S.D. 2016. "Nitrogen mineralization dynamics of different valuable organic amendments commonly used in agriculture". **Applied Soil Ecology.** 101 : 185-193.

Miegroet, H.V. 1995. "Inorganic nitrogen determined by laboratory and field extractions of two forest soils". **Soil Science Society of America Journal**. 59 : 549-553.

Miller, H. B. 2007. "Poultry litter induces tillering in rice". **Journal of Sustainable Agriculture**. 31 : 1-12.

Mirza, H., Ahamed, K.U., Rahmatullah, M. Akhter, N., Nahar, K. and Rahman, M.L. 2010. "Plant growth characters and productivity of wetland rice (*Oryza sativa* L.) as affected by application of different manures". **Emirates Journal of Food and Agriculture.** 22(1) : 46-58.

Mohanty, M., Reddy, K.S., Probert, M.E., Dalal, R.C., Rao, A.S. and Menzies, N.W. 2011. "Modeling N mineralization from green manure and farmyard manure from a laboratory incubation study". **Ecological Modeling.** 222 : 719-726.

Mohapatra, S.P. 1988. "Fractions of soil nitrogen during different periods of submergence and their effects on yield and nutrition of wetland rice (Oryza sativa L.)". **Biology and Fertility of Soils**. 6 : 45-49.

Moldenhauer, K.A.K, and Gibbons. J.H. 2003. "Rice morphology and development". 103-127. In C.W. Smith and R.H. Dilday, eds. **Rice : Origin, History, Technology, and Production**. John Wiley & Sons, Inc., USA.

Moyin-Jesu, M.I. 2015. "Use of different organic fertilizers on soil fertility improvement, growth and head yield parameters of cabbage (*Brassica oleraceae* L)". **The International journal of recycling of organic waste in agriculture.** 4 : 291-298.

Najmadeen, H.H. 2011. "Effects of soil organic matter, total nitrogen and texture on nitrogen mineralization process". **Journal of Al-Nahrain University**. 14(2) : 144-151.

Nieder, R., Benbi, D. and Scherer, H. 2011. "Fixation and defixation of ammonium in soils: a review". **Biology and Fertility of Soils.** 47 : 1-14.

Peech, M., Alexander L.T., Dean, L.A. and Reed, J.F. 1947. **Methods of Soil Analysis for Soil Fertility Investigations**. USDA circ. 757, Washington, D.C.

Rahman, M.M. 2013. "Nutrient-use and carbon accumulation efficiencies in soils from different organic wastes in rice and tomato cultivation". **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. 44(9) : 1457–1471.

Ramírez, M.V., Rubilar, R.A., Montes, C., Stape, J.L., Fox, T.R. and Allen, H.L. 2016. "Nitrogen availability and mineralization in pinus radiata stands fertilized mid-rotation at three contrasting sites". **Journal of Soil Science and Plant Nutrition.** 16(1) : 118-136.

Sahrawat, K.L. 2004. "Organic matter accumuration in submerged soils". **Advances in Agronomy.** 81 : 169-201.

Sahrawat, K.L. and Narteh, L.T. 2002. "A fertility index for submerged rice soils". **Communications in Soil Science and Plant Analysis.** 33(1&2) : 229-236.

Sakakibara, H., Takei, K., Hirose, N. 2006. “Interactions between nitrogen and cytokinin in the regulation of metabolism and development”. **Trends in Plant Science**. 11 : 440–448.

Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T. and Sumner, M.E. 1996. “Lithium, Sodium, Potassium, Rubidium, and Cesium”. 551-574. In: Bertels, J.M. editor, **Method of Soil Analysis Part3 Chemical Methods**, Madison. Soil Science Society of America.

Sulivan, D.M. and Andrews, N.D. 2012. **Estimating plant-available nitrogen release from cover crops**. A Pacific Northwest Extension Publication, Oregon State University.

Sylvia, D.M., Fuhrmann, J.J., Hartel, P.G. and Zuberer, D.A. 2005. **Principles and applications of soil microbiology**, 2nd ed. Pearson entice Hall, New Jersey.

Taylor, L.L., Leake, J.R., Quirk, J., Hardy, K., Banwart, S.A. and Beerling, D.J. 2009. “Biological weathering and the long-term carbon cycle: integrating mycorrhizal evolution and function into the current paradigm”. **Geobiology**. 7 : 171–191.

Thomas, B.W., Sharifi, M., Whalen, J.K. and Chantigny, M.H. 2015. “Mineralizable nitrogen responds differently to manure type in contrasting soil texture”. **Soil Science Society of America Journal**. 79 : 1396-1405.

Tisdale SL, Nelson WL, Beaton JD, Havlin JL, editors. 1993. **Soil fertility and fertilizers**. 5th.ed. New York: Macmillan Publishing.

Wang, J., Zhuang, S. and Zhu, Z. 2017. “Soil organic nitrogen composition and mineralization of paddy soils in a cultivation chronosequence in China”. **Journal of Soils and Sediments.** 17 : 1588-1598.

Wang, Y., Lu, J., Ren, T., Hussain, S., Guo, C., Wang, S., Cong, R. and Li, X. 2017. “Effects of nitrogen and tiller type on grain yield and physiological responses in rice”. **AoB PLANTS.** doi:10.1093/aobpla/plx012.

Wijanarko, A. and Purwanto, B.H. 2016. “Comparison of two kinetics models for estimating N mineralization affected by different quality of organic matter in Typic Hapludults”. **Journal of Degraded and Mining Lands Management.** 3(3) : 577-583.

Willmott, C.J., Robeson, S.M. and Matsura, K. 2012. “Short communication a refined index of model performance”. **International Journal of Climatology**. 32 : 2088–2094.

Zarabi, M. and Jalai, M. 2012. “Rate of nitrate and ammonium release from organic residues”. **Compost Science & Utilization.** 20(4) : 222-229.

Zhang, J.B., Zhu, T.B., Cai, Z.C., Qin, S.W., and Muller, C. 2012. “Effects of long-term repeated mineral and organic fertilizer applications on soil nitrogen transformations”. **European Journal of Soil Science.** 63 : 75–85.

ภาคผนวก ก

การทดลองที่ 1 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพขังน้ำ ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ

ตารางภาคผนวกที่ 1 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน

Trt	Day after incubation											
	0	3	5	7	14	21	28	42	56	70	98	120
CN-O	5.5e	6.7d	6.6d	6.8bc	7.1b	7.0b	6.8c	7.1	7.1	7.1bc	7.2	6.9
CM-O	5.8c	6.8c	6.6de	6.8b	7.3a	7.1b	6.9c	7.1	7.2	7.1bc	7.2	7.0
CP-O	5.7d	6.7cd	6.6e	6.8b	7.4a	7.0b	6.8c	7.2	7.2	7.1bc	7.3	7.2
SH-O	5.5e	6.6e	6.4f	6.8c	7.4a	7.0b	6.8c	7.2	7.2	7.1c	7.2	7.0
CN	5.8c	7.0b	6.9c	7.0a	7.1b	7.3a	7.2b	7.1	7.1	7.2b	7.2	7.0
CM	6.5a	7.1a	7.1a	7.0a	7.3a	7.4a	7.4a	7.2	7.1	7.4a	7.3	7.0
CP	6.0b	7.0b	7.0b	7.0a	7.4a	7.4a	7.2b	7.1	7.1	7.4a	7.1	7.0
SH	5.8c	6.7cd	6.9dc	7.0a	7.4a	7.4a	7.3ab	7.2	7.2	7.4a	7.2	7.1
F-test	**	**	**	**	**	**	**	ns	ns	**	ns	ns
CV (%)	0.72	0.68	0.52	0.46	0.82	1.02	0.89	0.71	0.94	0.97	0.97	1.42

ns = non significant, ** Significant at $p \leq 0.01$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

ตารางภาคผนวกที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลายดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน

Trt	Day after incubation											
	0	3	5	7	14	21	28	42	56	70	98	120
CN-O	5.8de	6.6d	6.5e	6.7d	6.9b	6.7d	6.7d	6.9	7.1	7.2	7.6a	7.3
CM-O	7.0a	7.0b	6.9ab	7.4ab	7.0b	6.9cd	6.8cd	6.9	7.4	7.2	7.5a	7.0
CP-O	5.9d	6.7c	6.7cd	7.0bcd	7.0b	7.2ab	7.2a	7.2	7.6	7.2	7.78a	7.4
SH-O	5.7e	6.3f	6.6de	6.8cd	7.3a	7.2ab	7.1ab	7.4	7.4	7.0	7.4ab	7.4
CN	5.8c	6.9b	6.9bc	6.9cd	6.9b	7.1bc	6.9bcb	7.0	7.5	7.3	7.0b	7.5
CM	6.8b	7.0b	7.2a	7.1bc	7.0b	7.3aba	7.1ab	7.1	7.6	7.6	7.4ab	7.3
CP	6.3c	7.3a	7.0ab	7.3ab	7.0b	7.1abc	6.9bc	7.1	7.7	7.6	7.4ab	7.3
SH	5.9de	6.5e	6.6de	7.6a	7.3a	7.4a	7.3a	7.2	7.5	7.6	7.4ab	7.6
F-test	**	**	**	**	**	**	**	ns	ns	ns	*	ns
CV (%)	1.77	0.92	1.45	2.77	1.52	2.01	1.45	2.60	3.36	3.39	2.90	4.28

ns = non significant, *Significant at $p \leq 0.05$, ** Significant at $p \leq 0.01$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

ตารางภาคผนวกที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพการนำไฟฟ้าในดิน (mS/cm) ที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน

Trt	Day after incubation											
	0	3	5	7	14	21	28	42	56	70	98	120
CN-O	0.10f	0.19c	0.18d	0.18f	0.15d	0.14e	0.14d	0.12c	0.14d	0.09d	0.08d	0.10c
CM-O	0.22e	0.36a	0.34b	0.31c	0.28c	0.26c	0.26c	0.24b	0.26b	0.21c	0.17bc	0.20b
CP-O	0.12f	0.17c	0.21d	0.21e	0.15d	0.15e	0.14d	0.13c	0.11d	0.09d	0.08d	0.08c
SH-O	0.13f	0.29b	0.30c	0.26d	0.21d	0.19d	0.16d	0.17c	0.15cd	0.16c	0.11cd	0.09c
CN	0.30d	0.34c	0.34b	0.31c	0.26c	0.26c	0.24c	0.23b	0.21bc	0.33a	0.20bc	0.15bc
CM	1.20a	1.20a	0.47a	0.52a	0.56a	0.44a	0.47a	0.34a	0.40a	0.21c	0.36a	0.37a
CP	0.37c	0.42c	0.30bc	0.32c	0.26c	0.29c	0.26c	0.24b	0.24b	0.19c	0.25b	0.24b
SH	0.49d	0.78b	0.47a	0.40b	0.36b	0.35b	0.30b	0.24b	0.22bc	027ab	0.21b	0.22b
F-test	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**
CV (%)	12.68	2.28	6.61	5.45	13.76	5.09	6.54	20.44	18.09	18.87	25.87	31.36

*Significant at $p \leq 0.05$, ** Significant at $p \leq 0.01$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

ตารางภาคผนวกที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพการนำไฟฟ้าในสารละลายดิน (mS/cm) ที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน

Trt	Day after incubation											
	0	3	5	7	14	21	28	42	56	70	98	120
CN-O	0.10c	0.34f	0.54g	0.75f	1.46bcd	1.36cd	1.21	0.65d	1.20c	0.71c	0.99cd	0.79b
CM-O	1.20a	1.20c	1.45c	1.77b	1.80b	1.47bc	1.83	1.82b	1.72b	1.05bc	1.03bcd	1.12b
CP-O	0.20bc	0.42e	0.67f	0.87f	1.60bc	1.10d	1.16	1.02d	1.32c	0.64c	0.77d	0.72b
SH-O	0.47bc	0.78d	1.01d	1.34d	1.31cd	1.31cd	1.60	1.20bcd	1.03c	1.55ab	0.86cd	0.57b
CN	0.28bc	0.78d	0.96d	1.11e	1.46bcd	1.71b	1.81	1.69bc	1.32c	1.46ab	1.33bc	1.25b
CM	0.63b	0.78d	1.75a	2.26a	2.40a	2.19a	1.40	2.49a	2.11a	1.85a	2.14a	2.21a
CP	0.37bc	1.75a	0.84e	1.27d	1.60bc	1.64b	1.61	1.09cd	1.32c	0.87c	1.54b	1.28b
SH	0.56bc	1.56b	1.64b	1.51c	1.73bc	1.74b	1.47	1.29bcd	1.22c	1.49ab	1.08bcd	1.04b
F-test	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	*
CV (%)	55.09	4.50	3.55	6.48	15.74	9.80	19.09	24.32	15.90	26.57	21.67	40.15

ns = non significant, *Significant at $p \leq 0.05$, ** Significant at $p \leq 0.01$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

ตารางภาคผนวกที่ 5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจน (mg N/kg) ดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน

Trt	Day after incubation											
	0	3	5	7	14	21	28	42	56	70	98	120
CN-O	128.78c	122.44de	205.94d	213.60de	187.96e	169.86d	178.31f	165.04c	331.40bc	297.61bc	254.64b	227.97b
CM-O	162.78c	160.22d	189.28d	210.70de	226.23d	198.99d	246.11de	213.88b	288.96d	316.72b	200.37bc	149.51c
CP-O	117.02c	142.99de	176.35d	170.23e	183.42e	168.86d	212.63ef	227.87b	302.29cd	318.65b	211.16bc	163.32bc
SH-O	117.55c	96.06e	160.51d	186.84de	191.49e	168.39d	271.88cd	218.11b	325.33bcd	368.34a	210.39bc	153.82c
CN	463.42b	357.07c	265.16c	231.23bc	242.69d	260.01c	264.57d	362.12a	311.38cd	308.02bc	328.68a	345.60a
CM	551.28a	483.50a	385.87b	295.16a	392.37a	338.79a	350.30a	375.63a	405.03a	263.17c	310.77a	412.04a
CP	452.17b	410.79b	412.14b	250.67b	288.44c	299.51b	305.26bc	378.08a	348.05b	287.82bc	337.99a	410.31a
SH	438.44b	414.28b	552.56a	284.22a	336.24ab	331.77a	264.57ab	364.72a	291.08d	304.41bc	171.96c	233.42b
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	9.73	8.22	10.75	8.16	6.16	7.08	7.35	5.65	5.76	7.93	11.57	15.30

** Significant at $p \leq 0.01$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

ตารางภาคผนวกที่ 6 การสะสมไนโตรเจนที่ย่อยสลายได้ (mg N/kg) ดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ในวันที่ 0-120 ของการบ่มดิน

Trt	Day after incubation											
	0	3	5	7	14	21	28	42	56	70	98	120
CN-O	24.33b	44.25c	59.99d	73.61d	80.43d	85.35d	91.57d	95.23d	98.69d	99.57d	100.70d	101.71d
CM-O	26.77b	54.54c	72.76cd	86.42d	93.89d	99.07d	106.44d	110.42d	113.25d	114.17d	114.60d	115.21d
CP-O	31.75b	51.79c	69.79cd	84.11d	91.26d	96.19d	102.85d	107.00d	110.19d	111.41d	112.16d	112.83d
SH-O	33.79b	55.47c	74.28cd	88.03d	96.01d	102.40d	110.28d	114.66d	118.00d	119.61d	120.81d	121.33d
CN	11.75b	70.36c	90.56c	120.59c	133.29c	142.09c	149.94c	155.62c	160.11c	163.72c	165.73c	168.09c
CM	9.11b	107.40b	136.69b	159.43b	175.64b	186.98b	194.90b	200.76b	205.30b	207.92b	210.35b	213.89b
CP	31.77b	127.60b	155.41b	177.57b	183.17b	203.77b	211.99b	217.76b	222.27b	225.67b	228.18b	231.49b
SH	137.73a	219.74a	250.68a	273.72a	289.44a	301.70a	312.52a	318.62a	323.43	343.00a	345.57a	349.35a
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	35.57	15.34	12.71	10.60	9.72	9.23	8.86	8.66	8.65	6.80	6.95	6.77

** Significant at $p \leq 0.01$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 7 การสะสมของปริมาณการย่อยสลายคาร์บอน (mmmole C/g/day) ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ และที่ไม่ใช่ระบบเกษตรอินทรีย์ใน วันที่ 0-120 ของการบ่มดิน

Trt	Day after incubation										
	3	5	7	14	21	28	42	56	70	98	120
CN-O	0.0333a	0.0531	0.0670a	0.0741	0.0788a	0.0822a	0.0843a	0.0861a	0.0875a	0.0885a	0.0893a
CM-O	0.0333a	0.0516	0.0653ab	0.0722	0.0768bc	0.0802bc	0.0823bc	0.0840bcd	0.0854bc	0.0864bc	0.0872bc
CP-O	0.0333a	0.0523	0.0643b	0.0704	0.0757c	0.0792c	0.0814c	0.0831d	0.0844c	0.0853c	0.0861c
SH-O	0.0332b	0.0515	0.0642b	0.0715	0.0758c	0.0792c	0.0815c	0.0832cd	0.0844c	0.0854c	0.0883c
CN	0.0333a	0.0525	0.0668a	0.0737	0.0784ab	0.0820a	0.0841ab	0.0856ab	0.0870ab	0.0880a	0.0888ab
CM	0.0333a	0.0525	0.0663a	0.0732	0.0777ab	0.0812ab	0.0835ab	0.0850abc	0.0864ab	0.0874ab	0.0882ab
CP	0.0333a	0.0523	0.0661ab	0.0730	0.0776ab	0.0811ab	0.0834ab	0.0851ab	0.0844ab	0.0874ab	0.0882ab
SH	0.0333a	0.0526	0.0662a	0.0730	0.0777ab	0.0813ab	0.0835ab	0.0851ab	0.0865ab	0.0875ab	0.0883ab
F-test	**	ns	*	ns	*	*	*	*	*	*	**
CV (%)	0.87	1.41	1.52	2.23	1.29	1.23	1.20	1.17	1.17	1.15	1.14

ns = non significant, *Significant at $p \leq 0.05$, ** Significant at $p \leq 0.01$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

ภาคผนวก ข

การทดลองที่ 2 อิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และการจัดรูปแบบการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของข้าว ทำการทดลองในกระถาง

ตารางภาคผนวกที่ 8 การเปลี่ยนแปลงความสูงของข้าว (cm) ในดินปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ตลอดระยะเวลา 98 วัน หลังจากย้ายปลูก (ปลูกข้าวฤดูที่ 1)

Trt	Day after transplant (days)													
	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	85	92	98
Control	34.00	51.48ab	62.88c	70.75c	80.18d	91.33b	102.70b	116.53	126.23	133.98	135.23	135.80	135.80	135.80
Compost1	31.75	52.13ab	64.00c	73.25c	83.73cd	90.80b	103.58b	115.60	129.35	136.03	136.28	136.28	136.28	136.28
Compost2	33.25	48.25b	62.30c	74.53bc	85.50bc	91.63b	102.15b	121.88	130.43	137.38	137.38	137.30	137.30	137.30
Cow manure1	33.75	52.58ab	68.25abc	76.25ab	89.03ab	102.45a	113.15a	122.45	130.45	136.75	140.88	140.75	140.75	140.75
Cow manure2	37.75	55.98a	70.40ab	79.50a	89.75ab	102.25a	115.10a	124.15	133.35	138.88	138.88	138.75	138.75	138.75
Com1+Cow1	31.50	48.25b	64.75bc	74.00bc	87.73abc	95.80ab	110.33ab	120.00	130.10	140.65	141.88	141.88	141.88	141.88
Com1+Cow2	35.25	54.93a	71.48a	77.45ab	91.00a	99.35ab	115.48a	125.28	131.53	139.15	140.68	140.68	140.68	140.68
F-test	ns	*	*	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	13.91	6.64	5.86	3.56	3.53	5.94	5.05	4.38	4.15	4.01	3.89	3.82	3.82	3.82

ns = non significant, *Significant at $p \leq 0.05$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

ตารางภาคผนวกที่ 9 จำนวนหน่อต่อกระถางของข้าว ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ตลอดระยะเวลา 98 วัน หลังจากย้ายปลูก (ปลูกข้าวฤดูที่ 1)

Trt	Day after transplant (days)													
	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	85	92	98
Control	3.00	4.00b	9.00c	19.25c	30.75	42.50c	47.75b	48.25c	48.25c	48.25c	48.25c	48.25c	48.25c	48.25c
Compost1	3.00	4.75b	10.50b	26.00ab	35.00	51.25ab	54.00ab	52.50bc	52.50bc	52.50bc	52.50bc	52.50bc	52.50bc	52.50bc
Compost2	3.00	4.00b	10.00b	21.75bc	30.50	48.75abc	54.25ab	53.00abc	53.00abc	53.00abc	53.00abc	53.00abc	53.00abc	53.00abc
Cow manure1	3.00	4.50b	10.50b	22.75bc	34.75	53.00ab	56.50ab	57.00ab	57.00ab	57.00ab	57.00ab	57.00ab	57.00ab	57.00ab
Cow manure2	3.00	5.33b	9.25b	26.33ab	37.33	51.00abc	56.25ab	52.25bc	52.25bc	52.25bc	52.25bc	52.25bc	52.25bc	52.25bc
Com1+Cow1	3.00	4.25b	9.00c	19.50c	30.25	45.50bc	55.75ab	52.25bc	52.25bc	52.25bc	52.25bc	52.25bc	52.25bc	52.25bc
Com1+Cow2	3.00	7.50a	13.75a	30.50a	40.50	57.25a	63.00a	60.50a	60.50a	60.50a	60.50a	60.50a	60.50a	60.50a
F-test		*	*	*	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CV (%)		25.94	16.84	16.79	14.32	10.54	10.69	9.15	9.15	9.15	9.15	9.15	9.15	9.15

ns = non significant, *Significant at $p \leq 0.05$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

ตารางภาคผนวกที่ 10 การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของสารละลายในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ตลอดระยะเวลา 98 วันหลังจากย้ายปลูก (ปลูกข้าวฤดูที่ 1)

Trt	Day after transplant (days)							
	0	7	14	21	28	42	56	98
Control	7.36	7.28	7.90	7.84	7.61	6.82	6.53	6.50
Compost1 (100%)	7.32	7.12	7.58	7.65	7.58	6.60	6.46	6.46
Compost2 (50%)	7.25	7.11	7.30	7.47	7.52	6.68	6.40	6.37
Cow manure1 (100%)	7.27	6.95	7.49	7.53	7.46	6.72	6.34	6.30
Cow manure2 (50%)	7.24	7.06	7.71	7.53	7.35	6.74	6.38	6.33
Com1+Cow1	7.31	7.06	7.73	7.57	7.52	6.77	6.44	6.55
Com1+Cow2	7.31	7.10	7.63	7.55	7.57	6.72	6.41	6.49
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	1.62	2.00	3.39	2.22	3.15	3.10	3.28	2.91

ns = non significant value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

ตารางภาคผนวกที่ 11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียม (mg N/kg) ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ตลอดระยะเวลา 113 วันหลังจากย้ายปลูก (ปลูกข้าวฤดูที่ 1)

Trt	Day after transplant (days)								
	0	7	14	21	28	42	56	98	113
Control	132.16	71.52	51.07	52.80	61.33	22.99	9.86	9.25	12.27
Compost1	151.61	80.74	50.86	53.80	56.89	33.92	8.03	8.31	10.47
Compost2	160.57	88.05	44.66	68.15	58.52	11.18	13.58	6.47	14.13
Cow manure1	152.18	79.78	48.37	56.60	45.15	19.25	11.71	9.26	9.52
Cow manure2	142.01	83.51	52.77	61.94	54.93	8.45	8.03	7.39	11.08
Com1+Cow1	152.64	80.75	47.39	54.68	60.39	13.82	11.68	12.31	11.09
Com1+Cow2	152.06	88.05	48.92	67.29	58.01	7.22	11.73	9.82	8.62
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	9.06	10.37	22.82	28.18	33.82	85.51	34.74	45.79	27.04

ns = non significant value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

ตารางภาคผนวกที่ 12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจน (mg N/kg) ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ตลอดระยะเวลา 113 วันหลังจากย้ายปลูก (ปลูกข้าวฤดูที่ 1)

Trt	Day after transplant (days)								
	0	7	14	21	28	42	56	98	113
Control	242.42	207.22	184.28	160.37	137.90b	101.14	53.88b	76.22	69.95
Compost1	245.88	213.19	172.98	173.63	120.69b	104.14	57.75ab	67.10	76.15
Compost2	264.38	238.65	176.60	207.84	119.16b	114.47	76.89a	67.26	80.09
Cow manure1	224.13	232.20	215.38	190.37	120.60b	71.13	72.89ab	79.73	78.25
Cow manure2	235.27	218.34	159.76	177.02	122.47b	102.63	65.94ab	65.58	80.63
Com1+Cow1	206.79	195.31	173.90	182.15	181.96a	95.89	54.19b	72.27	77.96
Com1+Cow2	219.36	240.07	164.54	182.28	117.16b	74.03	74.03a	64.28	62.75
F-test	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns
CV (%)	18.08	14.21	22.94	17.66	18.43	26.05	18.43	30.03	14.91

ns = non significant, *Significant at $p \leq 0.05$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

ตารางภาคผนวกที่ 13 การเปลี่ยนแปลงความสูงของข้าว (cm) ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ตลอดระยะเวลา 77 วัน หลังจากย้ายปลูก (ปลูกข้าวฤดูที่ 2)

Trt	Day after transplant (days)										
	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77
Control	43.28	56.90b	69.58	81.43	80.18d	99.73d	107.38d	115.05c	120.48b	122.08	122.08
Compost1	48.45	59.83b	76.53	85.38	93.33b	105.25cd	112.93cd	119.88bc	121.60b	123.58	123.38
Compost2	46.55	62.65ab	78.10	85.00	85.50bc	108.00c	114.25bcd	119.13bc	121.93b	124.30	124.00
Cow manure1	44.70	61.10b	78.18	86.88	97.93ab	110.60bc	119.05abc	124.00ab	127.65ab	128.28	128.05
Cow manure2	42.25	57.25b	74.40	83.20	89.75ab	108.20c	112.63cd	119.13bc	124.50ab	124.93	124.93
Com1+Cow1	46.30	62.03b	81.40	88.95	100.20a	117.70ab	123.13a	127.75a	130.85a	131.48	131.48
Com1+Cow2	50.88	70.70a	81.73	89.68	96.30ab	119.48a	122.05ab	126.75ab	129.30a	129.75	129.75
F-test	ns	*	ns	ns	**	**	**	*	*	ns	ns
CV (%)	9.49	8.98	7.98	4.46	4.17	4.48	4.43	4.02	3.66	3.51	3.57

ns = non significant, *Significant at $p \leq 0.05$, **Significant at $p \leq 0.01$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

ตารางภาคผนวกที่ 14 จำนวนหน่อต่อกระถางของข้าว ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ตลอดระยะเวลา 77 วัน หลังจากย้ายปลูก (ปลูกข้าวฤดูที่ 2)

Trt	Day after transplant (days)										
	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77
Control	3.00	4.00b	9.00	10.75	16.00	16.75	17.00c	17.25c	17.25c	17.25c	17.25c
Compost1	3.00	4.75b	10.50	12.75	18.50	20.50	20.25b	20.75ab	20.75ab	21.00ab	21.00ab
Compost2	3.00	4.00b	10.00	12.25	17.25	19.50	20.50ab	20.50ab	21.00ab	21.00ab	21.00ab
Cow manure1	3.00	4.50b	10.50	12.00	17.50	19.50	20.00b	20.00b	19.50b	20.25b	20.25b
Cow manure2	3.00	4.50b	9.25	12.25	18.25	19.75	21.25ab	21.50ab	21.75ab	22.00ab	22.00ab
Com1+Cow1	3.00	4.25b	9.00	13.75	19.50	20.75	22.75a	22.75a	22.75a	23.25a	23.25a
Com1+Cow2	3.00	7.50a	13.75	14.50	20.25	20.50	21.00ab	21.25ab	21.25ab	21.25ab	21.25ab
F-test		*	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	*
CV (%)		29.02	21.16	17.33	11.96	10.27	7.19	7.12	6.76	6.70	6.7

ns = non significant, *Significant at $p \leq 0.05$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

ตารางภาคผนวกที่ 15 การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของสารละลายในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ตลอดระยะเวลา 70 วันหลังจากย้ายปลูก (ปลูกข้าวฤดูที่ 2)

Trt	Day after transplant (days)							
	0	7	14	21	28	42	56	70
Control	6.58	6.83	7.23	6.83	6.86	6.68	6.53	6.61
Compost1 (100%)	6.35	6.60	7.10	6.70	6.78	6.69	6.46	6.43
Compost2 (50%)	6.33	6.58	7.08	6.59	6.69	6.67	6.40	6.51
Cow manure1 (100%)	6.16	6.34	6.90	6.46	6.59	6.61	6.34	6.44
Cow manure2 (50%)	6.27	6.52	7.06	6.56	6.59	6.63	6.38	6.53
Com1+Cow1	6.37	6.77	7.26	6.59	6.69	6.67	6.44	6.54
Com1+Cow2	6.33	6.62	7.15	6.62	6.69	6.65	6.41	6.52
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	4.6	5.27	6.45	3.69	4.01	1.43	3.28	1.50

ns = non significant value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

ตารางภาคผนวกที่ 16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียม (mg N/kg) ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ตลอดระยะเวลา 89 วันหลังจากย้ายปลูก (ปลูกข้าวฤดูที่ 2)

Trt	Day after transplant (days)								
	0	7	14	21	28	42	56	70	89
Control	32.12	29.30	20.36	22.53	11.39	6.05	9.01	6.58	5.98c
Compost1	37.58	30.26	29.55	24.35	18.52	6.96	8.31	5.91	8.72bc
Compost2	37.58	33.02	26.80	29.02	17.88	7.85	7.63	5.20	10.53ab
Cow manure1	39.46	30.20	24.07	18.74	20.65	6.94	8.77	6.35	10.72ab
Cow manure2	34.82	34.85	24.06	25.23	23.43	6.05	11.47	7.26	12.34a
Com1+Cow1	36.70	39.38	24.08	25.30	20.67	7.86	10.37	7.94	11.42ab
Com1+Cow2	39.42	30.18	27.77	24.33	22.23	7.88	10.57	8.18	10.93ab
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
CV (%)	12.18	18.59	22.16	29.43	33.49	42.60	24.97	29.27	18.66

ns = non significant, **Significant at $p \leq 0.01$ value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$.

ตารางภาคผนวกที่ 17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรไลซ์ไนโตรเจน (mg N/kg) ในดินที่ปลูกข้าวในระบบเกษตรอินทรีย์ ตลอดระยะเวลา 89 วันหลังจากย้ายปลูก (ปลูกข้าวฤดูที่ 2)

Trt	Day after transplant (days)								
	0	7	14	21	28	42	56	70	89
Control	90.14	109.47	89.87	101.10	136.94	118.87	64.18	28.07	27.50
Compost1	117.31	119.55	144.09	116.90	144.05	152.21	63.96	42.59	32.45
Compost2	98.38	149.23	144.31	124.69	144.48	122.73	61.89	34.27	25.13
Cow manure1	112.16	121.33	104.84	117.87	182.84	147.37	67.77	38.37	37.82
Cow manure2	120.41	125.12	130.06	120.20	111.17	135.86	70.85	35.05	31.15
Com1+Cow1	100.60	108.35	111.30	130.82	174.64	148.88	84.50	38.45	32.42
Com1+Cow2	111.58	137.19	108.28	132.66	136.57	144.91	100.19	37.08	28.00
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	19.43	22.14	20.87	16.49	20.32	13.28	24.75	29.13	42.62

ns = non significant value followed by the same lowercase letter in the same column are not significantly difference at $p \leq 0.05$

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวภาสินี สืบสวน

E-mail – address phasini.nunn@gmail.com

เบอร์ติดต่อ 0806193292

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี วท.บ. (เกษตรศาสตร์) วิชาเอกปฐพีวิทยา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานวิจัย

Supsuan, P., Subkrasae, S., Boonmee, S. and Yampracha, S. 2017. Effects of leonardite and cow manure on growth and yield of marigold (*Tagetes erecta* L.) and change of soil properties after harvesting. In 5th Thailand National Conference of Soil Science and Fertilizers, 1-2 August 2017, Centra by Centrara Hotel, Bangkok, Thailand (In Thai).

Supsuan, P., Surin, P. and Yampracha, S. 2018. Effects of organic fertilizer application on the transformation of nitrogen in paddy soil. International Journal of Agricultural Technology. 14(7): 1999-2014.