

ผลของฟางข้าวต่อสภาพรีดักชันในดินนา และปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน (การทดลองในกระถางปลูกข้าว)

Rice straw influencing reductive condition in paddy Soil and methane emission (Rice planted pot experiment)

พัชรีย์ แสนจันทร์^{1*}, มัจฉา แก้วพิลา¹, นิภา ธรรมโสไม¹, พุกษา หล้าวงษา¹, ดวงสมร ตุลาพิทักษ์²
และ เกษสุดา เดชภิมล²

Patcharee Saenjan^{1*}, Matsa Keophila¹, Nipa Thammasome¹, Phrueksa Lawongsa¹,
Duangsamorn Tulaphitak² and Ketsuda Dejphimon²

บทคัดย่อ: ในดินนาข้าวซึ่งการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุจะอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินได้ก๊าซ CH_4 เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย เรียกว่า กระบวนการเกิดก๊าซ CH_4 (methanogenesis) ทำการศึกษาเพื่อให้สามารถอธิบายถึงผลของการใส่ฟางข้าวในดินนาต่อค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (Eh) เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดสภาพดินที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการเกิดก๊าซ CH_4 ทำการทดลองในกระถาง มี 6 ตำรับทดลอง ประกอบด้วยฟางข้าว 0, 1, 2, 3 และ 4 t rai^{-1} ร่วมกับปุ๋ยเคมี ตำรับที่ได้รับปุ๋ยเคมีล้วน และตำรับควบคุมที่ไม่ได้รับฟางข้าวและปุ๋ยเคมี โดยใช้ดินร่อนแฉะ (Re) กระถาง ละ 3 kg ผลสมฟางข้าวแห้ง ชั่งน้ำและปล่อยไว้ 30 วันก่อนปลูกกล้าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 รักษาระดับน้ำขัง ติดตามการทดลองจนข้าวอายุ 98 วัน การใส่ฟางข้าวส่งผลให้อัตราและปริมาณการปล่อยก๊าซ CH_4 ตลอดฤดูปลูกสูงขึ้นตามอัตราฟางข้าวที่มากขึ้น ตำรับฟางข้าว 4 t rai^{-1} ปล่อยก๊าซ CH_4 ทั้งหมดตลอดฤดูปลูกสูงขึ้น ($145.3 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ season}^{-1}$) เมื่อเทียบกับตำรับควบคุม ($51.1 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ season}^{-1}$) ลำดับการลดลงของค่า Eh สอดคล้องกับลำดับของการเกิด peak ของอัตราการเกิดก๊าซ CH_4 ซึ่งชัดเจนในดินที่ได้รับฟางข้าว 4 และ 3 t rai^{-1} ตำรับที่ได้รับปุ๋ยเคมีค่า Eh ลดลงเร็วและมีค่าต่ำที่สุดอธิบายได้ว่าปุ๋ยเคมี 16-16-8 กระตุ้นให้ดินอยู่ในสภาพ reductive มากขึ้น หลังขังน้ำค่า pH สูงขึ้นอยู่ในช่วง 7.3-8.4 สูงขึ้นจากก่อนทดลอง (pH 4.7) เนื่องจากด้วย H^+ ถูกใช้ในกระบวนการ reduction ส่งผลให้ดินอยู่ในสภาพ reductive ซึ่งแสดงออกด้วยค่า Eh ที่ต่ำกว่า -200 mV

คำสำคัญ: ฟางข้าว, มีเทน, รีดอกซ์โพเทนเชียล, ดินนา

ABSTRACT: Paddy soil under submergence, soil organic matter is decomposed by microbial activity yielding methane (CH_4) as the last byproduct, so called methanogenesis. This study aimed to elucidate the effect of rice straw addition to paddy soil on redox potential (Eh), a parameter expressing soil reductive condition for methanogenesis. A pot experiment was set up with 6 treatments and 3 replications. Rice straw at the rates of 0, 1, 2, 3 and 4 t rai^{-1} combined with chemical fertilizers, and the control without chemical fertilizer and rice straw. Three kilograms of Re soil (Roiet soil series) were used per pot, mixed with rice straw, submerged the mixture 30 days before transplanting rice c.v. Chainat 1. Potted soils were continuously flooded through the whole experiment, 98 days. It was found that CH_4 emission rates and seasonal CH_4 emissions increased depending on the rates of rice straw addition. Application of rice straw 4 t rai^{-1} contributed $145.3 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ season}^{-1}$, higher than that of the control, $51.1 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ season}^{-1}$ ($p < 0.001$). The sequence of Eh drops were concomitant with the emerged peaks of CH_4 emission rates at rice straw of 4 t rai^{-1} and 3 t rai^{-1} . With chemical fertilizer (16-16-8), soil Eh rapidly dropped to the lowest value, indicated that it stimulated reductive condition in flooded soil. pH changed after flooding from 4.7 to a range of 7.3-8.4 as H^+ in the soil system was consumed in reduction process, rendering reductive soil condition, as seen accompanying Eh values of lower -200 mV.

Keywords: rice straw, Eh, methane, redox potential, paddy soil

¹ สาขาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

² ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

* Corresponding author: patsae1@kku.ac.th

บทนำ

การปลูกข้าวในนาข้าวซึ่งจัดเป็นแหล่งของการเกิดก๊าซมีเทน (CH_4) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งก๊าซ CH_4 มีความสำคัญมากเป็นอันดับสองรองจาก CO_2 แต่มีศักยภาพทำให้โลกร้อนมากกว่า CO_2 ถึง 23 เท่า (IPCC, 2001) และในปัจจุบันภาวะโลกร้อนกำลังส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศโลก ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ทวีความรุนแรงมากขึ้น ระบบนิเวศเสื่อมโทรม และส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ในนาข้าว การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดินนาที่อยู่ในสภาพน้ำขังจะถูกเปลี่ยนมาเป็นการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจน (anaerobic) เกิดกระบวนการหมัก (fermentation) ของอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์ดินกลุ่ม facultative และ strict anaerobes ได้ก๊าซ CH_4 เรียกจุลินทรีย์ดินที่สร้างก๊าซ CH_4 ว่า methanogens ส่วนกระบวนการเกิดก๊าซ CH_4 เรียกว่า methanogenesis ซึ่งเป็นปฏิกิริยาชีวเคมีสุดท้ายของการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินสภาพไร้ออกซิเจน จึงได้ก๊าซ CH_4 ปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ ในทางปฏิบัติการใส่ฟางข้าวลงไปบนดินจะช่วยฟื้นฟูดินและประสิทธิภาพของดินไม่ควรนำเอาฟางข้าวออกจากนาหรือเผาทั้ง ตัวข้าวที่

สะท้อนสภาพดินที่ไร้ก๊าซออกซิเจน (anaerobic) ที่สามารถเชื่อมโยงถึงกระบวนการสร้างก๊าซ CH_4 หาข้อมูลได้น้อยมากในประเทศไทย ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงผลของการใส่ฟางข้าวต่อรีดอกซ์โพเทนเชียล (Eh) ตัวชี้วัดสภาพดินที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการสร้างและปริมาณการปล่อยก๊าซ CH_4

วิธีการศึกษา

ทำการทดลองในกระถางในเรือนทดลองที่มหาวิทยาลัยขอนแก่นและปุ๋ย คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) มี 3 ซ้ำประกอบด้วย 6 ตำรับทดลองดังนี้ 1) ตำรับควบคุม, 2) ตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมี (CF) โดยการรองพื้นด้วยปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 อัตรา 40 กก/ไร่ และแต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย (46% N) อัตรา 60 กก/ไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง, 3) ใส่ฟางข้าวอัตรา 1 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี CF (เหมือนตำรับที่ 2), 4) ใส่ฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับ CF, 5) ใส่ฟางข้าวอัตรา 3 ตัน/ไร่ ร่วมกับ CF และ 6) ใส่ฟางข้าวอัตรา 4 ตัน/ไร่ ร่วมกับ CF รายละเอียดวัสดุต่างๆในแต่ละตำรับทดลองได้แสดงไว้ใน Table 1

Table 1 Treatments, rice straw rates and chemical fertilizers used in pot experiment

Treatments ^{1/}	Rice straw rates (t rai ⁻¹)	Soil (kg pot ⁻¹)	Rice straw (g pot ⁻¹)	Basal fertilizer 16-16-8 (g pot ⁻¹)	Top dressing fertilizer 46-0-0	
					22 DAT (g pot ⁻¹)	46 DAT (g pot ⁻¹)
Control	0	3	0	0	0	0
Chemical fer. (CF)	0	3	0	0.385	0.28	0.28
RS 1 t rai ⁻¹ + CF	1	3	9.62	0.385	0.28	0.28
RS 2 t rai ⁻¹ + CF	2	3	19.24	0.385	0.28	0.28
RS 3 t rai ⁻¹ + CF	3	3	28.86	0.385	0.28	0.28
RS 4 t rai ⁻¹ + CF	4	3	38.48	0.385	0.28	0.28

^{1/} 1 rai-slice soil weight, 312,000 kg; CF, chemical fertilizer; RS, rice straw

เก็บตัวอย่างดินนาชุดดินร้อยเอ็ด (Re) ที่บ้านหนองน้ำเกลี้ยง ต.สำราญ อ.เมือง จ. ขอนแก่น เก็บที่ความลึก 0-15 cm นำดินมาผึ่งให้แห้ง ร่อนผ่านรูตะแกรง 2 มิลลิเมตร (mm) คุณสมบัติทางเคมีของดินคือ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (TN) 0.035%, ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P) 3.66 มก./กก., โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K) 45.33 มก./กก., แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Ca) 859.5 มก./กก., แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Mg) 32.9 มก./กก., pH 4.7, ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) 3.22 เซนติโมล/กก. และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (SOC) 0.3% ส่วนคุณสมบัติของฟางข้าวมีดังนี้ pH 7, EC 5.1 เดซิซีเมน/ม. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 6.5 กรัม/กก. คาร์บอนทั้งหมด 39.3% คาร์บอนอินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลงง่าย (LOC) 66.7 กรัม/กก. เซลลูโลส 50.8% เฮมิเซลลูโลส 22.2% ลิกนิน 3.3% กระถางทดลองมีขนาด 18 x 22.5 cm ใส่ดินกระถางๆ ละ 3 kg ใส่ฟางข้าวแห้งที่สับความยาวไม่เกิน 2 ซม. ใส่ผสมลงไปในดินตามอัตราที่กำหนด ใส่ปุ๋ยเคมีรองพื้นใส่ปุ๋ยให้ท่วม ปล่อยให้ฟางข้าวย่อยสลาย 30 วันก่อนปลูกข้าว ปลูก กล้าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 อายุ 25 วัน กระถางละ 3 ต้น รักษาระดับน้ำให้ท่วมขังจัดการไม่ให้น้ำแห้ง ใส่ปุ๋ยแต่งหน้าเมื่ออายุ 27 และ 46 DAT กำจัดวัชพืชตลอดฤดูปลูก ศึกษาทดลองจนข้าวอายุ 98 DAT

ทำการวัดปริมาณการปล่อยก๊าซ CH_4 ทุกสัปดาห์ เก็บตัวอย่างก๊าซด้วยวิธี closed chamber (Tragoolram and Saenjan, 2012) และวัดก๊าซ CH_4 เครื่อง GC (Shimadzu GC14B) วัด pH ของน้ำขังทุกวันด้วย pH meter และวัดออกซิโพเทนเชียลของดิน (Eh) ทุกวันตลอดฤดูปลูก โดยใช้ Pt (platinum) electrode เสียบ

ไว้ในดินที่ความลึก 7 cm วัดด้วยเครื่อง Eh meter (PRN-41, DKK-TOA)

วิเคราะห์ ANOVA ของข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซ CH_4 ตลอดฤดูปลูกโดยโปรแกรม SAS (Statistical Analysis System) ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่ารับโดยใช้ DMRT (Duncan's Multiple Range Test) Version: 9.1

ผลการศึกษาและวิจารณ์

อิทธิพลของฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีต่ออัตราการปล่อยก๊าซ CH_4 ตลอดฤดูปลูกข้าวในกระถาง (Figure 1)

ในช่วง 9 วันก่อนปลูก (-9 DAT) พบว่าอัตราการปล่อยก๊าซ CH_4 มีค่าต่ำ เนื่องจากเกิดการสลายตัวของฟางข้าวในสภาพที่มีออกซิเจน (oxidative) หลังปลูกข้าวและมีน้ำท่วมขัง 5 ซม. พบว่าอัตราการปล่อยก๊าซ CH_4 ในตำรับที่ใส่ฟางข้าว 2, 3 และ 4 ตัน/ไร่ มีค่าสูงกว่าตำรับอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เนื่องจากเกิดการย่อยสลายของฟางข้าวโดยกระบวนการหมัก (fermentation) ในดินสภาพที่ขาดออกซิเจน (anoxic) แต่ที่ 27-56 DAT อัตราการปล่อยก๊าซ CH_4 ต่ำ เนื่องจากระดับน้ำต่ำมากดินอยู่ในสภาพกึ่งออกซิเจน (semi oxidative) กิจกรรมข้างต้นจึงลดลง, และที่ 63-84 DAT อัตราการปล่อย ก๊าซ CH_4 สูงขึ้น เนื่องจากมีน้ำขังสูง 5 ซม. และข้าวอยู่ในระยะเจริญเติบโตเต็มที่กิจกรรมของจุลินทรีย์ดินได้รับสารคาร์บอนจากสารคัดหลั่งของรากข้าวเกิดการส่งเสริมกระบวนการสร้างก๊าซมีเทน (methanogenesis)

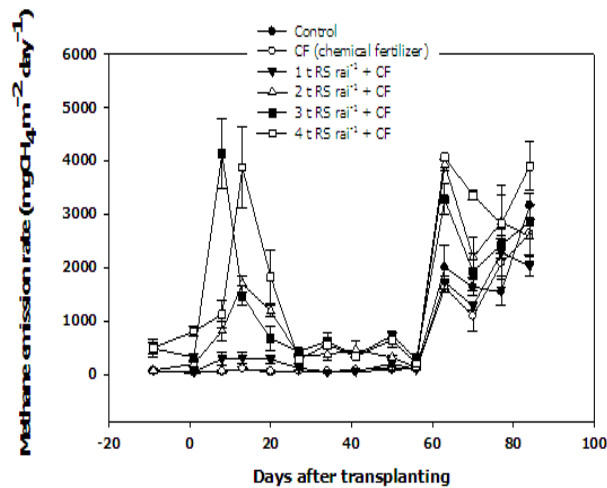


Figure 1 Daily Methane emissions as a function of rice straw. CF, chemical fertilizer; RS rice straw, Vertical bars represent standard error of the means

อิทธิพลของฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดตลอดฤดูปลูก (TME) (Figure 2)

การผสมฟางข้าว 4 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีลงในดินนาจะทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซ CH₄ ทั้งหมดตลอดฤดูปลูกสูงขึ้น (145.3 กรัม CH₄/ตร.ม./ฤดู) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) เมื่อเทียบกับดำรับความคุมและดำรับที่ไ้รับปุ๋ยเคมีอย่างเดียว

(51.1 และ 47.2 กรัม CH₄/ตร.ม./ฤดู) เนื่องจากการใส่ฟางข้าวส่งผลให้อัตราการปล่อยก๊าซ CH₄ สูงขึ้นตามอัตราฟางข้าวที่มากขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Xu and Hosen (2010) พบว่าอัตราการปล่อยก๊าซ CH₄ สูงขึ้นตามปริมาณฟางที่ใส่ Ro et al. (2011) ได้รายงานปริมาณการปล่อยก๊าซ CH₄ ทั้งหมดตลอดฤดูปลูก 22.48 กรัม CH₄/ตร.ม./ฤดู จากดินร่อยเอ็ดที่ไ้รับฟางข้าว 6 กรัมต่อดินหน้ก 3 กก.

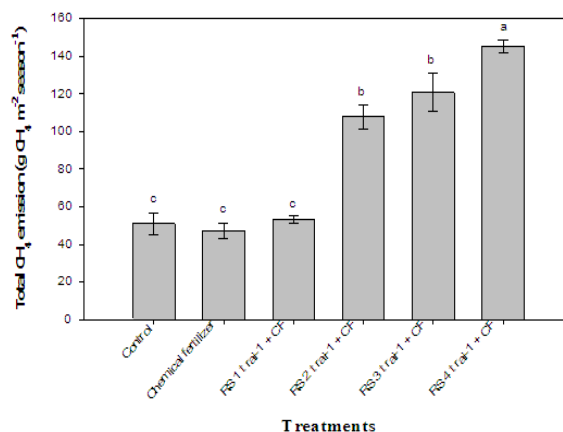


Figure 2 Total methane emission as a function of rice straw rates (pot experiment). CF, chemical fertilizer; RS rice straw

อิทธิพลของฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน (Eh) (Figure 3)

ค่า Eh ใช้อธิบายถึงสภาพ reductive ในดิน หลังจากปลูกข้าว 8 วัน (8 DAT) ในวันที่วัด Eh ดินอยู่ในสภาพน้ำขัง ในดินขาดออกซิเจน Eh ของดินในทุกตารับมีค่าต่ำอยู่ในช่วง -105 ถึง -240 มิลลิโวลต์ เป็นที่น่าสังเกตว่าตารับ 4 ต้น/ไร่ มีค่า Eh ลดลงต่ำกว่าตารับอื่นๆ และลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะสอดคล้องกับค่าสูงสุด (peak) ของอัตราการเกิดก๊าซ CH_4 ในตารับ 4 ต้น/ไร่ เกิดถัดจาก peak ของอัตรา 3 ต้น/ไร่ (Figure 1)

ในขณะที่ตารับที่ได้รับปุ๋ยเคมีค่า Eh ต่ำที่สุด อธิบายได้ว่าปุ๋ยเคมี 16-16-8 กระตุ้นให้ดินอยู่ในสภาพ reductive มากขึ้น จากนั้นที่ 20-50 DAT ทุกตารับมีค่า Eh สูงขึ้นเล็กน้อยและเกาะกลุ่มกันอยู่ในช่วง -194 ถึง -230 มิลลิโวลต์ เนื่องจากระดับน้ำขังลดลงและมีออกซิเจนแพร่ลงไปได้น้ำได้ ขณะเดียวกันต้นข้าวสามารถปล่อยออกซิเจนสู่ดินทำให้ดินอยู่ในสภาพ reductive น้อยลง สอดคล้องกับอัตราการปล่อยก๊าซ CH_4 ที่เกิดต่ำลง (Figure 1) และหลังจาก 60 DAT ค่า Eh ต่ำลงอีก ซึ่งพบว่ามีก๊าซ CH_4 เกิดมากขึ้น

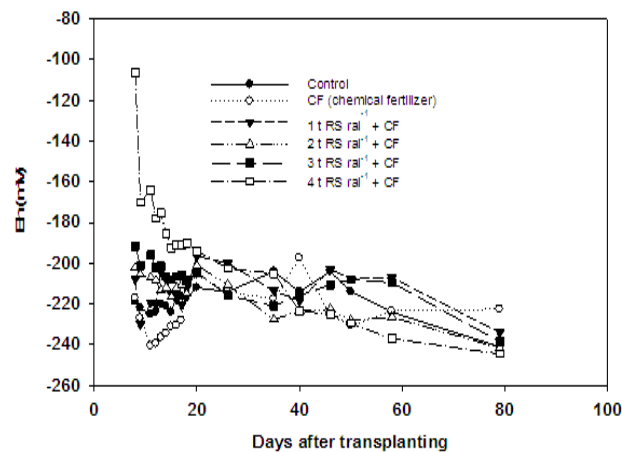


Figure 3 Redox potential in flooded rice soil, 7 cm below soil surface, through the growing season. CF, chemical fertilizer; RS rice straw

อิทธิพลของฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อ pH ของน้ำขัง (Figure 4)

ก่อนขังน้ำดินมีค่า pH 4.7 เริ่มวัด pH หลังจากปลูกข้าว 8-20 วัน (8-20 DAT) ดินอยู่ในสภาพน้ำขังในทุกตารับให้ค่า pH ของน้ำขังสูงขึ้นอยู่ในช่วง 7.3-8.4 การเพิ่มขึ้นของค่า pH ของดินหลังขังน้ำ (8-20 DAT) สามารถอธิบายได้ว่าเป็นการเกิดกระบวนการ reduction ของ Fe Mn และ SO_4 เมื่อ H^+ ในดินถูกใช้ในกระบวนการ reduction ทำให้ปริมาณ H^+ ในดินลดลง (ถูกใช้โดยตัวรับ electron) ส่งผลให้ค่า pH ของดินสูงขึ้น (Ponnamperuma, 1965), ที่ 26-50 DAT ค่า pH ของน้ำขังในทุกตารับลดลงเล็กน้อยมีค่า 7.2-7.5 ยกเว้นดินที่ได้รับปุ๋ยเคมีอย่างเดียวที่มีค่า pH สูงกว่าตารับอื่น, การที่ค่า pH ของน้ำขังในทุกตารับที่ 26-50 DAT ลดลงอีกเล็กน้อย

มีค่า 7.2-7.5 อาจเนื่องจากรากข้าวปล่อย O_2 เกิดการลดความรุนแรงของกระบวนการ reduction ค่า pH จึงลดลงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับค่า Eh ที่สูงขึ้นเล็กน้อย (Figure 3) ส่วนในดินที่ได้รับปุ๋ยเคมีอย่างเดียวมีค่า pH สูงกว่าตารับอื่นที่ 26-50 DAT นั้นคาดว่าปุ๋ยเคมีส่งเสริมกระบวนการ reduction ทำให้ปริมาณ H^+ ในดินลดลงส่งผลให้ค่า pH ของดินสูงขึ้น และในช่วงระยะข้าวเจริญพันธุ์ (หลัง 50 DAT) pH ของน้ำในทุกตารับสูงขึ้นอยู่ในช่วง 7.9-8.3 นอกจากจะเป็นผลของกระบวนการ reduction แล้ว ปริมาณ CO_2 ในสภาพน้ำขังอาจถูกใช้ในกระบวนการ photosynthesis ทำให้ปริมาณ H_2CO_3 และ H^+ ในน้ำลดลงแต่กลับปลดปล่อยปริมาณ OH^- มากขึ้น ผลที่ได้คือค่า pH ของดินสูงขึ้น

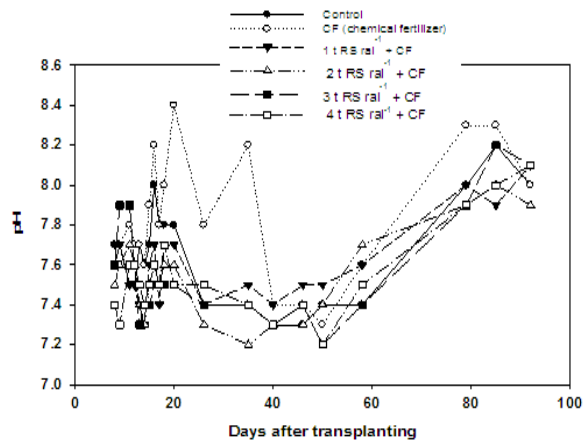


Figure 4 pH changes in flood water as a function of rice straw rates. CF, chemical fertilizer; RS rice straw

สรุปและข้อเสนอแนะ

ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน (Eh) ใช้บอกถึงปรากฏการณ์ที่ดินอยู่ในสภาพ anaerobic หรือสภาพ reductive ได้เป็นอย่างดี และสามารถใช้อธิบายควบคู่กับการเปลี่ยนแปลง pH และกระบวนการเกิดก๊าซ CH_4 ในดิน เมื่อขังน้ำฟางข้าวจะสลายตัวในสภาพดินที่ขาดออกซิเจน ดินจะแสดงสภาพ reductive มากขึ้น ซึ่งตอนนั้นค่า Eh ได้ลดลงพร้อมกับแสดงการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 ออกมา ปริมาณการเกิดก๊าซ CH_4 ทั้งหมดตลอดฤดูปลูกจะขึ้นกับปริมาณฟางข้าวในดินอย่างชัดเจน ควรมีการศึกษาการจัดการฟางข้าวด้วยวิธีต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวร่วมกับการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนในสนาม เช่น การไถกลบฟางข้าวหลังเก็บเกี่ยวหรือก่อนการเตรียมดิน เพราะโดยปกติจะมีฟางข้าวเหลืออยู่ในนาในปริมาณที่มากพอ อันจะเป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุเพื่อปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินให้ดีขึ้น และใช้เป็นแนวทางการลดก๊าซ CH_4 ในนา

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยขอนแก่น และสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาแห่งชาติที่สนับสนุนงานวิจัยนี้ ผ่านโครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ คลัสเตอร์

การจัดการลุ่มน้ำแบบองค์รวม การสนับสนุนบางส่วนจากโครงการดินปัญหาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และทุนอุดหนุนวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีงบประมาณ 2556

เอกสารอ้างอิง

- IPCC. 2001. Climate Change 2001: In the Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. pp. 239-288. J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge.
- Ponnamperuma, F.N. 1972. The Chemistry of Submerged Soils. Adv. Agron. 24: 29-96.
- Ro, S., T. Tulaphituk and K. Inubushi. 2011. Sulfate content influencing methane production and emission from incubated soil and rice-planted soil in Northeast Thailand. Soil Sci.Plant Nutri. 57: 833-842.
- Xu, H. and Y.S.K.Z. Hosen. 2010. Effects of soil water content and rice straw incorporation in the fallow season on CH_4 emissions during fallow and the following rice-cropping seasons. Plant Soil. 335: 373-383.
- Tragoolram, J. and P. Saenjan. 2012. Effects of Sulfate Fertilizer on Rice Yield cv. Sakon Nakhon and Global Warming Potential. KRU Res J. 17: 211-216.
- Moss, B.1973. The influence of environmental factors on the distribution of freshwater algae: an experimental study: II the role of pH and carbon dioxide-bicarbonate system. The Journal of Ecology. 61(1).