

อิทธิพลของรากข้าวและลำต้นของข้าวสองพันธุ์ต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในดินนา

Effect of Rice Roots and Shoots of Two Rice Varieties on Methane Emission in Paddy Soil.

มัชฌิมา เจียจันท์ (Matchima Jiajanthuek)* พัชรีย์ แสนจันทร์ (Patcharee Saenjan)**

บทคัดย่อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารคัดหลั่งที่รากข้าวปล่อยออกมา กับลักษณะของรากข้าว และ 2) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศกับลักษณะของต้นข้าว ในการศึกษาได้ใช้ข้าวพันธุ์สกลนคร และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ผลการทดลองพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารคัดหลั่งจากรากข้าวกับความยาวราก พื้นที่ผิวราก ปริมาตรราก และน้ำหนักแห้งของรากเป็นไปในทางบวก โดยที่ความสัมพันธ์จากรากข้าวกับลักษณะรากของข้าวพันธุ์สกลนครชัดเจนกว่าของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ผลการศึกษพบว่า อาณาบริเวณรากข้าว (ความยาวราก พื้นที่ผิวราก และปริมาตรราก ยกเว้นน้ำหนักแห้งของราก) ของข้าวพันธุ์สกลนคร เหมาะต่อการผลิตสารคัดหลั่งจากรากได้มากกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศกับน้ำหนักแห้งต้น ความสูงของต้น และโดยเฉพาะจำนวนหน่อต่อกอเป็นไปในทางบวก โดยที่ของพันธุ์สกลนครมีค่าสูงกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ผลการศึกษายังพบว่าลักษณะต้นข้าวของพันธุ์สกลนครเหมาะต่อการลำเลียงก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศได้ดีกว่าของพันธุ์ชัยนาท 1 สามารถสรุปได้ว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีลักษณะของราก และลำต้นต่อการสร้างและปลดปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศได้น้อยกว่าข้าวพันธุ์สกลนคร

ABSTRACT

Objective of the present study is to elucidate 1) the relationship between exudate carbon excreting from rice roots of two rice varieties and their root characteristics, and 2) the relationship between methane emission rates and their shoot characteristics. The studied rice varieties were Chainat 1 and Sakon Nakhon. The results showed that the relationship between exudate carbon excreting from rice roots of two rice varieties and their root characteristics were positive. Sakon Nakhon rice had higher correlation of exudate carbon with root characteristics higher than Chainat 1. This indicates that Sakon Nakhon rice's rhizosphere (root length, root surface area, root volume, except dry root weight) is more suitable to produce root exudates than Chainat 1. Moreover, the results showed that the relationship between methane emission rate to atmosphere of two rice varieties and their shoot characteristics, i.e., shoot dried weight, shoot height, and especially tiller number per hill were positive. In addition, Sakon Nakhon rice possessed higher correlation than Chainat 1. Shoot characteristics of Sakon Nakhon rice is more suitable to conduit methane to atmosphere than Chainat 1 rice. Study was concluded that Chainat 1 rice variety not only possesses characteristics of root to produce less quantity of exudate carbon in rice rhizosphere, but also transport less total methane emission to atmosphere compared to Sakon Nakhon rice variety.

คำสำคัญ : พันธุ์ข้าว ก๊าซมีเทน สารคัดหลั่งจากรากข้าว

Key Words : rice variety, methane, root exudate

* มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สาขาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

นาข้าวถูกจัดเป็นแหล่งสำคัญในการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (Aulakh et al., 2000) ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญเป็นอันดับสองรองจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมีศักยภาพทำให้โลกร้อน (global warming potential, GWP) มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 21 เท่า (IPPC, 2007) ขณะที่ข้าวเป็นพืชอาหารหลักของประชากรโลกและมีแนวโน้มความต้องการบริโภคข้าวเพิ่มขึ้นจาก 460 ล้านตัน/ปี เป็น 760 ล้านตัน/ปี ในปีค.ศ. 2020 (IRRI, 1996)

ลักษณะของดินข้าวเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ พันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์จะมีระบบราก ลักษณะของลำต้น ใบ เมล็ด และความสามารถในการให้ผลผลิต รวมถึงความต้องการสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมแตกต่างกัน การคัดเลือกพันธุ์ข้าวให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่เพาะปลูกข้าวมีความสำคัญต่อการผลิตข้าวอย่างยั่งยืนและมีความสำคัญต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนซึ่งเป็นผลกระทบทางอ้อมของการผลิตข้าว

กระบวนการผลิตและปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวน้ำขัง เมื่อดินอยู่ในสภาพขาดออกซิเจน จุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจน (anaerobes) จะใช้สารประกอบและธาตุ NO_3^- , Mn^{4+} , Fe^{3+} , SO_4^{2-} และ CO_2 ในดินเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ขณะเดียวกันการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือกระบวนการหมัก (fermentation) จะเกิดขึ้น ได้สารประกอบที่เป็น intermediate products หลายชนิด ได้แก่ กรดไขมัน (fatty acids) และแอลกอฮอล์ (alcohol) เป็นต้น กรดไขมัน โดยเฉพาะอะซิเตต (acetate), โพรพิโอเนต (propionate) และบิวทิเรต (butyrate) จะเป็นแหล่งอาหาร (substrate) ที่สำคัญให้กับจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน เรียกว่า methanogens (Le Mer and Roger, 2001) การเกิดก๊าซมีเทน (methanogenesis) จากนาข้าวในสภาพน้ำขังเกิดขึ้นได้

จาก 1) กระบวนการ carbon dioxide reduction โดยก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่ได้จากการย่อยสลายกรดไขมันหรือแอลกอฮอล์ ไปรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์ได้ก๊าซมีเทน 2) กระบวนการ transmethylation ของกรดอะซิติก (acetic acid) หรือเมทิลแอลกอฮอล์ (methyl alcohol) ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน 3) กระบวนการ decarboxylation เป็นการที่คาร์บอนไดออกไซด์ออกจากกรดอะซิติกได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน (พัชร, 2547)

จากการศึกษาของ Nouchi et al. (1990) พบว่า มีเทนที่เกิดขึ้นนี้จะละลายอยู่ในสารละลายดินและแพร่ (diffusion) เข้าสู่ในผนังเซลล์ (cell walls) ของราก และเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซ (gasify) ที่ root cortex และถูกปล่อยออกตรงรูเล็กๆ (micropores) ที่อยู่ใต้กาบใบ (leaf sheaths) ของดินข้าวออกสู่บรรยากาศ จะเห็นว่าแหล่งที่เกิดการผลิตก๊าซมีเทนในนาข้าวอาจอยู่บริเวณรากข้าว (rice rhizosphere) ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ประกอบกับมีสารอาหารที่ถูกปล่อยออกจากรากข้าวในรูปของสารคัดหลั่ง (exudate) จึงเป็นแหล่งของคาร์บอนอินทรีย์ (organic carbon) ที่จะส่งเสริมให้เกิดกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน สารคัดหลั่งจะผ่านกระบวนการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจน (anaerobic) ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Melting et al., 1992) ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารคัดหลั่งที่รากข้าวปล่อยออกมา กับ ลักษณะของรากข้าวและความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนกับลักษณะของดินข้าว โดยทดลองศึกษากับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวพันธุ์สกลนคร

อุปกรณ์และวิธีการ

การปลูกข้าว พันธุ์ข้าว การเก็บและวิเคราะห์ปริมาณสารคัดหลั่ง และข้อมูลรากข้าว

ปลูกข้าวในดินนาในกระถางใสที่วางไว้ในโรงเรือนแบบเปิด ในการศึกษาได้ใช้พันธุ์ข้าวที่มีลักษณะต่างกัน ข้าวที่มีลำต้นสูงได้แก่ ข้าวพันธุ์สกนกร (Sakon Nakhon) และพันธุ์ข้าวที่มีลักษณะลำต้นเตี้ยได้แก่ ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (Chainat 1) (กรมการข้าว, 2552)

เก็บดินในแปลงนาเกษตรกรที่บ้านหนองน้ำเกลี้ยง ตำบลสำราญ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ที่ความลึก 0-15 ซม. ตากดินให้แห้ง (air dried) ร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 มม. (2 mm mesh) ผสมดิน 3 กก. กับปุ๋ยสูตร 16-16-8 ปริมาณ 0.3656 กรัม (อัตรา 25 กก.ต่อไร่) ใส่ลงกระถางพลาสติกใสขนาดกว้าง 15.3 ซม. ยาว 15.3 ซม. สูง 24 ซม. ชั่งน้ำให้ระดับน้ำอยู่ระดับเดียวกับผิวดิน ทิ้งไว้ 1 คืนก่อนปลูก

วางแผนการทดลองแบบ CRD (completely randomized design) มี 2 คำรับคือ 1) ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 2) ข้าวพันธุ์สกนกร นำต้นกล้าอายุ 20 วันปลูกลงในกระถางใสจำนวน 5 ต้นต่อกระถาง คำรับละ 4 ขั้ว (4 กระถาง) เก็บสารคัดหลั่งจากรากข้าว 4 ระยะ ได้แก่ระยะต้นกล้า (seedling), ระยะแตกหน่อ (tillering), ระยะตั้งท้อง (booting) และระยะสุกแก่ (ripening) รวม 32 กระถาง เมื่อถึงกำหนดตามระยะการเจริญเติบโตต่างๆ นำต้นข้าวออกจากกระถางใส แล้วล้างรากต้นข้าวให้เอาดินออกอย่างระมัดระวังด้วยน้ำปราศจากประจุ (deionized water) นำต้นข้าวที่ล้างสะอาดแล้วมาใส่ลงไปในขวดพลาสติกใสรูปทรงกระบอกขนาด 1.2 ลิตรที่บรรจุสารละลาย 0.01 M CaSO₄ 150 มล. ให้รากจมอยู่ในสารละลาย (ลำต้นตั้งตรง) ปล่อยให้สารคัดหลั่งออกจากรากนาน 2 ชั่วโมง ในรายงานนี้เรียกสารละลายนี้ว่า “สารคัดหลั่ง” หาปริมาณสารคัดหลั่งในรูปอินทรีย์คาร์บอน (exudate carbon) โดยวิธี wet-digestion

(Aulakh et al., 2001) รากทั้งหมดแต่ละกระถางที่เอามาสารคัดหลั่งออกแล้วนำมาชั่งน้ำหนักสด แยกเอารากที่มีน้ำหนัก 10 % ของทั้งหมดมาหาความยาว (length, cm) พื้นที่ผิวของราก (surface area, cm²) และปริมาตรของรากข้าว (root volume, cm³) โดยใช้เครื่องสแกนยี่ห้อ EPSON รุ่น Perfection V700/V750

การเก็บตัวอย่างก๊าซ การวิเคราะห์ก๊าซมีเทน และการคำนวณ

ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซจากกระถางที่ปลูกข้าว ด้วยวิธี closed chamber (IRRI, 1996) สัปดาห์ละครั้ง โดยใช้ gas chamber ที่ทำด้วย acrylic ใส ซึ่งมีพัดลมขนาดเล็กติดตั้งอยู่ภายใน มีช่องเสียบเทอร์โมมิเตอร์และ septum สำหรับเสียบ syringe ที่ใช้เก็บตัวอย่างก๊าซ ทำการเก็บก๊าซในช่วงเวลา 09.00 – 11.00 น. ที่เวลา 0, 10 และ 20 นาทีภายหลังครอบ chamber ที่กระถางใสที่ปลูกข้าว ขณะเดียวกันทำการวัดอุณหภูมิภายใน ภายนอก chamber วิเคราะห์ก๊าซมีเทนด้วยเครื่อง Gas chromatography (พัชรวิ และคณะ, 2547) คำนวณอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (methane emission rate, MER) และคำนวณผลรวมของปริมาณก๊าซมีเทนที่ปล่อยตลอดฤดูปลูก (seasonal emission หรือ total methane emission, TME) โดยวิธีหาผลรวมพื้นที่ใต้กราฟ

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะต่างๆ ของต้นข้าว (ส่วนที่อยู่เหนือดิน) กับปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน และระหว่างลักษณะต่างๆ ของรากข้าวกับปริมาณสารคัดหลั่งจากราก โดยใช้วิธีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's Product – Moment Correlation Coefficient) (ศิริชัย, 2547) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปเอ็กเซล (Excel version 2007) และวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลองทางสถิติโดยวิธี Least Significant Difference ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป MSTATC

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาพบว่า ปริมาณสารคัดหลั่งจากรากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนครในระยะต้นกล้า (อายุ 20 วัน) มีปริมาณมากที่สุด (12.1-13.4 mgC / g soil) ที่ระยะแตกกอพบว่าข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณสารคัดหลั่งต่ำลงและค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อข้าวมีอายุมากขึ้นตลอดทั้ง 3 ระยะ (ตารางที่ 1) ที่ระยะแตกกอและระยะตั้งท้องข้าวพันธุ์สกลนครมีปริมาณสารคัดหลั่งจากรากข้าวมากกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อนำรากข้าวทั้งสองพันธุ์มาศึกษาความยาว พบว่าความยาวเพิ่มขึ้นเมื่อข้าวมีอายุมากขึ้นเริ่มจากระยะต้นกล้า รากเริ่มมีอัตราการเจริญเติบโตสูงมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาอาหารและระยะตั้งท้องรากมีความยาวมากที่สุด เนื่องจากระยะนี้เป็นระยะที่พืชจำเป็นต้องสร้างและสะสมอาหารเพื่อการออกรวง ดังนั้นจึงต้องได้รับอาหารจากทางรากในปริมาณมาก (อรพินและคณะ, 2546) ส่วนระยะสุกแก่ปรากฏว่ารากมีความยาวลดลง พื้นที่ผิวราก ปริมาตรราก และน้ำหนักแห้งของรากข้าวพบว่าเพิ่มขึ้นเมื่อข้าวมีอายุมากขึ้นจนถึงระยะตั้งท้องและลดลงเมื่อข้าวเข้าสู่ระยะออกดอกไม่ว่าจะเป็นความยาวราก พื้นที่ผิวราก ปริมาตรรากและน้ำหนักแห้งของรากล้วนมีแนวโน้มของการเจริญเติบโตแบบเป็นรูปตัวเอส (sigmoid curve) ไปในทำนองเดียวกัน

อย่างไรก็ตามสารคัดหลั่งจากรากข้าวจัดเป็นสารอาหารอย่างดีแก่จุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทน (methanogenic) (Kerdchoechuen, 2005) Kludze et al.(1993) พบว่าก๊าซมีเทนในกระถางที่ปลูกข้าวให้ปริมาณก๊าซมีเทนมากกว่ากระถางที่ไม่ปลูกข้าว โดยที่เขาให้เหตุผลว่ากระถางที่มีต้นข้าวมีสารคัดหลั่งจากรากข้าวและมีสารอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายตัวเองภายในราก (root autolysis) เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เมื่อเซลล์รากตาย ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมากขึ้น อรณิสตา(2542) กล่าวว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 จะมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมากใน

ระยะเจริญเติบโตทางใบและลำต้น (vegetative, 0-60 วัน) ซึ่งปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนนี้ยังสัมพันธ์กับความยาวของรากอีกด้วย แต่เป็นที่น่าสนใจในการทดลองนี้ที่ระยะต้นกล้าและระยะแตกกอขนาดของอาณาบริเวณราก(โดยดูจากความยาวราก พื้นที่ผิวรากและปริมาตรราก)ของข้าวพันธุ์สกลนครนั้นใหญ่กว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 แต่ที่ระยะตั้งท้องและระยะสุกแก่อาณาบริเวณรากข้าวของพันธุ์สกลนครจะมีขนาดเล็กกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (ตารางที่ 1) ซึ่งระยะตั้งท้องและระยะสุกแก่ของข้าวพันธุ์สกลนครสามารถปล่อยก๊าซมีเทนได้มากกว่าของพันธุ์ชัยนาท 1 (ตารางที่ 2 และรูปที่ 1)

จาก ตารางที่ 2 พบว่าลำต้นของต้นกล้าข้าวพันธุ์ ชัยนาท 1 มีน้ำหนักแห้งมากกว่าข้าวพันธุ์สกลนคร เมื่อทำการวัดความสูงของต้นข้าวพบว่าที่ทุกระยะการเจริญเติบโต ข้าวพันธุ์สกลนครมีความสูงของลำต้นมากกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับรายงานของกรมการข้าว(2552) ที่ว่าข้าวพันธุ์สกลนครมีลักษณะของลำต้นสูงประมาณ 120-130 ซม. และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 สูงระหว่าง 100-120 ซม. จำนวนหน่อตอกพบว่าที่ทุกระยะการเจริญเติบโตข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีจำนวนมากกว่าข้าวพันธุ์สกลนครอย่างมีนัยสำคัญ ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีจำนวนหน่อตอก 3-4 หน่อตอก ขณะที่ข้าวพันธุ์สกลนครมี 2-3 หน่อตอก

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนในสารคัดหลั่งจากรากข้าวกับลักษณะต่างๆ ของรากข้าวตลอดระยะการเจริญเติบโต (ตารางที่ 3) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างปริมาณสารคัดหลั่งจากรากข้าวกับความยาวราก พื้นที่ผิวราก ปริมาตรราก และน้ำหนักแห้งรากของข้าวพันธุ์สกลนครมีค่า 0.78, 0.78, 0.80 และ 0.72 ตามลำดับ ซึ่งค่าสูงแสดงว่าปริมาณสารคัดหลั่งจากรากพันธุ์สกลนครกับลักษณะของรากมีความสัมพันธ์กันสูงใน

ตารางที่ 1 ปริมาณคาร์บอนในสารคัดหลั่ง ความยาวราก พื้นที่ผิวราก ปริมาตรราก และน้ำหนักแห้งราก ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าว 2 พันธุ์ ย้ายปลูก 5 ดัน/กอ/ ระยะเวลา

พันธุ์ข้าว	ระยะต้นกล้า ^{1/}	ระยะแตกกอ	ระยะตั้งท้อง	ระยะสุกแก่
	(0 DAT)	(34 DAT)	(75 DAT)	(97 DAT)
ปริมาณคาร์บอนในสารคัดหลั่ง (mg C / hill) ^{2/}				
ชัยนาท 1	12.1	3.3	7.4	7.6
สกลนคร	13.4	7	11.1	10.1
F-test	ns	**	*	ns
CV (%)	17.8	16	46.3	29.4
ความยาวราก (cm / hill) ^{2/}				
ชัยนาท 1	461.2	402.3	195,889.80	161,529.80
สกลนคร	1,107.00	2,892.50	92,654.80	119,212.20
F-test	**	**	**	**
CV (%)	19.4	16.2	11.8	9.5
พื้นที่ผิวราก (cm ² / hill) ^{2/}				
ชัยนาท 1	33.6	46.9	27,373.10	17,518.50
สกลนคร	87.5	260.3	12,690.30	12,360.20
F-test	**	**	**	**
CV (%)	22.6	8.6	20.1	16.4
ปริมาตรราก (cm ³ / hill) ^{2/}				
ชัยนาท 1	0.2	0.5	44.6	22.6
สกลนคร	0.6	2	19	16.9
F-test	**	**	**	**
CV (%)	18.8	15.5	9.1	10.7
ชัยนาท 1	0.1	0.9	27.3	19.6
สกลนคร	0.1	1.8	16.2	16.5
F-test	*	**	*	*
CV (%)	35.7	13.5	30.5	11.5

^{1/} = ย้ายปลูกเมื่อต้นกล้าอายุ 20 วัน (0 DAT).

^{2/} n = 4 ซ้ำ (กลาง)

DAT = จำนวนวันหลังย้ายปลูก

** = มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99%

* = มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ทางบวก ในขณะที่ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.12, 0.13, 0.14 และ 0.13 ตามลำดับ แสดงว่าปริมาณสารคัดหลั่งจากรากข้าวชัยนาท 1 กับลักษณะของรากมีความสัมพันธ์กันต่ำ ในขณะที่เดียวกัน R² (coefficient of determination) ของแต่ละข้อมูล (ข้อมูลไม่ได้แสดง) ของข้าวทั้ง 2 พันธุ์แตกต่างกัน

ตารางที่ 2 อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทน น้ำหนักแห้งของดินข้าว ความสูง และจำนวนหน่อตอก ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าว 2 พันธุ์ ย้ายปลูก 5 ดัน/ กอ/ ระยะเวลา

พันธุ์ข้าว	ระยะต้นกล้า ^{1/}	ระยะแตกกอ	ระยะตั้งท้อง	ระยะสุกแก่
	(0 DAT)	(34 DAT)	(75 DAT)	(97 DAT)
อัตราก๊าซมีเทน (mg CH ₄ / day) ^{2/}				
ชัยนาท 1	-	6.1	3.8	3.3
สกลนคร	-	6.8	9.1	9.5
F-test	-	ns	**	**
CV (%)	-	17.0	22.0	22.2
น้ำหนักแห้งของดินข้าว (g / hill) ^{2/}				
ชัยนาท 1	0.2	3.2	44.0	17.7
สกลนคร	0.3	2.3	40.4	14.0
F-test	**	**	ns	ns
CV (%)	12.3	4.4	10.2	15.4
ความสูง (cm / hill) ^{2/}				
ชัยนาท 1	20.7	69.2	101.3	108.9
สกลนคร	27.9	93.6	128.7	136.8
F-test	**	**	**	**
CV (%)	4	5	2.3	4.1
จำนวนหน่อตอก (tiller / hill) ^{2/}				
ชัยนาท 1	5	15	25	20
สกลนคร	5	13	18	17
F-test	ns	**	**	*
CV (%)	0	9.9	5.4	9.1

^{1/} = ย้ายปลูกเมื่อต้นกล้าอายุ 20 วัน (0 DAT).

^{2/} n = 4 ซ้ำ (กลาง)

DAT = จำนวนวันหลังย้ายปลูก

** = มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99%

* = มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นของ น้ำหนักแห้งราก(ตารางที่ 3) อนุมานได้ว่าอาณาบริเวณรากข้าว (ความยาว พื้นที่ผิว และปริมาตรราก ยกเว้นน้ำหนักแห้ง) ของข้าวพันธุ์สกลนครเหมาะต่อการผลิตสารคัดหลั่งจากรากได้มากกว่าข้าวพันธุ์ ชัยนาท 1

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรา การปล่อยก๊าซมีเทนกับลักษณะต่างๆ ของดินข้าวส่วน ที่อยู่เหนือดินตลอดระยะการเจริญเติบโต (ตารางที่ 4) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของทั้งการ ทดลองมีค่า 0.20 - 0.99 แสดงว่าลำต้นข้าว (ส่วนที่อยู่ เหนือดิน) เป็นทางผ่านของก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ อีกนัยหนึ่งก๊าซมีเทนเคลื่อนผ่านดินข้าวสู่บรรยากาศ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อย ก๊าซมีเทนจากดินข้าวกับน้ำหนักแห้งของดินข้าว ความสูง และจำนวนหน่อต่อกอของข้าวพันธุ์สกลนคร มีค่า 0.63, 0.62 และ 0.99 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูง แสดง ว่าปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนของข้าวพันธุ์สกลนคร กับลักษณะของดินส่วนที่อยู่เหนือดินมีความสัมพันธ์ กันสูง โดยเฉพาะกับจำนวนหน่อต่อกอ ขณะที่ข้าว พันธุ์ชัยนาท 1 มีค่า 0.20, 0.58 และ 0.59 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าของข้าวพันธุ์สกลนคร แสดงว่าปริมาณ การปล่อยก๊าซมีเทนของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 กับ ลักษณะของดินส่วนที่อยู่เหนือดินมีความสัมพันธ์ น้อยกว่าของพันธุ์สกลนคร ในขณะเดียวกัน R^2 ของ แต่ละข้อมูล (ข้อมูลไม่ได้แสดง) ของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 4) อนุมานได้ว่าลำต้นส่วนที่อยู่เหนือดิน (น้ำหนักแห้ง ของดิน ความสูงดิน และจำนวนหน่อต่อกอ) ของข้าว พันธุ์สกลนครเหมาะต่อการผลิตสารคัดหลั่งจากราก ได้มากกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างการ ปล่อยก๊าซมีเทนกับความยาวราก พื้นที่ผิว ราก ปริมาตรราก และน้ำหนักแห้งของ รากข้าว ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าว 2 พันธุ์ ขยายปลูก 5 ต้น/ กอ/ กระถาง

พารามิเตอร์	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของปริมาณ คาร์บอนในสารคัดหลั่ง			
	พันธุ์ข้าว		F-test (จาก R^2)	CV (%)
	ชัยนาท 1	สกลนคร		
ความยาวราก	0.12	0.78	*	30.1
พื้นที่ผิวราก	0.13	0.78	**	21.8
ปริมาตรราก	0.14	0.80	**	12.6
น้ำหนักแห้งราก	0.13	0.72	ns	51.3

$n = 4$ ขี้ (กระถาง), F-test คำนวณโดยใช้ค่า R^2 ของแต่ละ

ข้อมูล

** = มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99%

* = มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการ ปล่อยก๊าซมีเทน กับน้ำหนักแห้ง ความ สูงของดิน และจำนวนหน่อต่อกอ ตลอด การเจริญเติบโตของข้าว 2 พันธุ์

พารามิเตอร์	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของ อัตราการปล่อยก๊าซมีเทน			
	พันธุ์ข้าว		F-test (จาก R^2)	CV (%)
	ชัยนาท 1	สกลนคร		
น้ำหนักแห้งของดิน	0.20	0.63	**	58.5
ความสูงของดิน	0.58	0.62	**	6.9
จำนวนหน่อต่อ	0.59	0.99	**	9.8

$n = 4$ ขี้ (กระถาง), F-test คำนวณโดยใช้ค่า R^2 ของแต่ละ

ข้อมูล

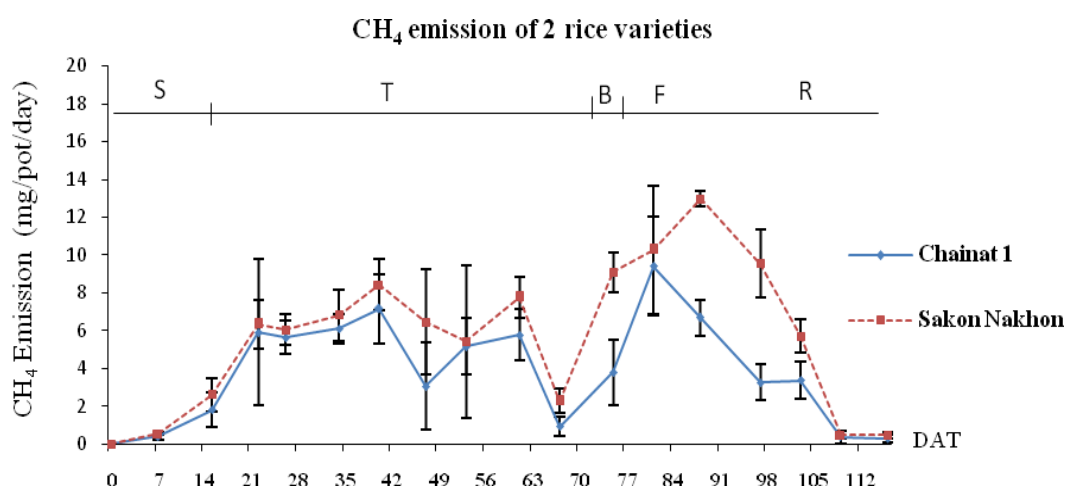
** = มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99%

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ผลการศึกษาอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากกระถางทดลองตลอดทั้งฤดูปลูกข้าวของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนคร พบว่าข้าวพันธุ์สกลนครมีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูกสูงกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (รูปที่ 1) โดยปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดทั้งฤดูปลูก (TME) ของข้าวพันธุ์สกลนครมีปริมาณ 690.9 mgCH₄/pot/season ส่วนของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณ 463.5 mgCH₄/ pot/season การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 นี้คิดเป็นร้อยละ 67 ของข้าวพันธุ์สกลนคร ทั้งนี้เพราะข้าวพันธุ์สกลนครผลิตสารคัดหลั่งได้มากกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ตลอดฤดูปลูก (ตารางที่ 1) และลักษณะของรากข้าวพันธุ์สกลนครมีความยาวราก พื้นที่ผิวราก ปริมาตรราก และน้ำหนักแห้งรากมากกว่าของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 อาณาบริเวณราก (rhizosphere) ของข้าวพันธุ์สกลนครเหมาะต่อการผลิตและการเคลื่อนที่ก๊าซมีเทนเข้าสู่ราก อย่างไรก็ตาม Wagatsuma et al. (2000) พบว่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนลดลงในรากข้าว เนื่องจากรากข้าวได้รับออกซิเจน ทำให้ประชากรของจุลินทรีย์ที่ใช้ก๊าซมีเทนในกระบวนการ

มีเทนออกซิเดชัน (CH₄ oxidation) ถูกส่งเสริมก่อนที่จะมีเทนจะถูกปลดปล่อยออกมา

Kludze et al, (1993) รายงานว่าพบความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดระหว่างพัฒนาการของช่องอากาศ (aerenchyma) ในรากกับการเกิดมีเทนออกซิเดชันที่บริเวณรากข้าวและลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน และอาจเป็นไปได้ว่าความสามารถในการใช้ก๊าซมีเทน (CH₄ oxidation) ณ อาณาบริเวณรากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 นั้นเป็นอีกสาเหตุให้มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนน้อยกว่าข้าวพันธุ์สกลนคร โดยที่การเจริญเติบโตของรากโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระยะตั้งท้องของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 นั้นสามารถส่งเสริมให้เกิดมีเทนออกซิเดชัน ณ บริเวณรากข้าวดีกว่าข้าวพันธุ์สกลนคร ทั้งนี้จากผลการศึกษาพบว่า ความยาวราก พื้นที่ผิวราก ปริมาตรราก และน้ำหนักแห้งของรากข้าวที่ระยะตั้งท้องและระยะสุกแก่ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าสูงกว่าข้าวพันธุ์สกลนครอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 1 อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนของข้าว 2 พันธุ์ที่ปลูกในกระถางตลอดการเจริญเติบโต

S: ระยะต้นกล้า, T: ระยะแตกกอ, B: ระยะตั้งท้อง, F: ระยะออกดอก, R: ระยะสุกแก่, DAT : จำนวนวันข้าวหลังย้ายปลูก

ตารางที่ 5 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในสารคัดหลั่งจากรากข้าว และปริมาณก๊าซมีเทนที่ปล่อยตลอดฤดูปลูก (total methane emission, TME) ของข้าว 2 พันธุ์ ย้ายปลูกจำนวน 5 ต้น/ กอ/ กระถาง

rice variety	TEC (mg C / pot / season) ^{1/}	TME (mg CH ₄ -C/ pot/season) ^{1/}
Chainat 1	631.2	463.5
Sakon Nakhon	947.9	690.9
F-test	ns	**
CV (%)	29.5	12.9

^{1/} n = 4 ซ้ำ (กระถาง)

** = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99%

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

จาก ตารางที่ 5 การที่ผลรวมของสารคัดหลั่งจากรากข้าวทุกระยะการเจริญเติบโตมากกว่าผลรวมของมีเทนคาร์บอน (CH₄-C) ตลอดฤดูปลูก คาดว่า สารคัดหลั่งจากรากข้าว นอกจากเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซมีเทนแล้ว บางส่วน ใ้ อยู่ ใน รูป ของ คาร์บอนไดออกไซด์และมวลชีวจุลินทรีย์ดิน และพบว่าผลรวมของปริมาณสารคัดหลั่งจากรากข้าวของข้าวพันธุ์สกลนครมีปริมาณมากกว่าของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และขณะเดียวกันปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดทั้งฤดูปลูกของข้าวพันธุ์สกลนครสูงกว่าของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ลงความเห็นว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 สร้างสารคัดหลั่งและปล่อยก๊าซมีเทนได้น้อยกว่าของข้าวพันธุ์สกลนคร

สรุป

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารคัดหลั่งจากรากข้าวกับความยาวราก พื้นที่ผิวราก ปริมาตรราก และน้ำหนักแห้งรากข้าวของพันธุ์

สกลนครสูงกว่าของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 อย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าอาณาบริเวณรากข้าวของข้าวพันธุ์สกลนครเหมาะกับการผลิตสารคัดหลั่งมากกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศกับน้ำหนักแห้งของต้นข้าว ความสูง และจำนวนหน่อต่อกอของข้าวพันธุ์สกลนครมีค่าสูงกว่าของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าลักษณะของต้นข้าวที่อยู่เหนือดินของข้าวพันธุ์สกลนครเหมาะต่อการลำเลียงก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศได้ดีกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ปริมาณสารคัดหลั่งจากรากข้าวมากขึ้นปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจะสูงขึ้น ทั้งนี้ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 สร้างและปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้น้อยกว่าข้าวพันธุ์สกลนคร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้จัดสรรทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ได้จัดสรรทุนอุดหนุนโครงการวิจัย ประเภททุนอุดหนุนทั่วไป ปีงบประมาณ 2551

เอกสารอ้างอิง

- กรมการข้าว. 2552. องค์ความรู้เรื่องข้าว. ค้นเมื่อวันที่ 24 พฤศจิกายน 2552, จาก <http://www.brrd.in.th/rkb/index.html>.
พัชรีย์ แสนจันทร์, วุฒิชัย จันทรมสมบัติ และชนะ ศรีสมการ. 2547. การเพิ่มผลผลิตข้าวนาหว่านน้ำตามภายใต้การจัดการน้ำและปุ๋ยเคมีเพื่อลดก๊าซมีเทน และเปรียบเทียบผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ. วารสารสงขลานครินทร์ 26(6): 795-805.

- พัชรวิ แสงจันทร์ และ งามเนตร เอกตาแสง. 2548. การจัดการนาเพื่อเพิ่มผลผลิตและลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทน. วารสารแก่นเกษตร. 33(2):83-94.
- พิมพ์พันธ์ เจิมสวัสดิพงษ์, อรรถศิษฐ์ วงศ์มีโรจน์, ลัดดาวัลย์ วรรณนุช, นิวัติ เจริญศิลป์, ประไพ ชัยโรจน์ และहरยา คุณาไท. 2545. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการ “การปล่อยออกของก๊าซมีเทนจากข้าวในประเทศไทยและการจัดทำฐานข้อมูล” สำนักงานสนับสนุนการวิจัย.
- วารุณี ภู่อัจฉพงษ์, อรพิน เกิดชูชื่น และสิรินทรเทพ เต๋อประยูร. 2546. น้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส ในรากและสารคัดหลั่งรากของพันธุ์สุพรรณบุรี. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 26(3): 339-350.
- ศิริชัย กาญจนวาสี. 2547. สถิติประยุกต์สำหรับการวิจัย. ภาควิชาวิจัยการศึกษา. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Aulakh, M.S., Bodenbender, J., Wassmann, R. and Rennenberg, H. 2000. Methane transport capacity of rice plants. II. Variations among different rice cultivars and relationship with morphological characteristics. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 58: 367-375.
- Aulakh, M.S., Wassmann, R., Bueno C. and Rennenberg, H. 2001. Impact of root exudates of different cultivars and plant developmental stages of rice (*Oryza sativa* L.) on methane production in a paddy soil. Plant Soil 230: 77-86.
- Kerdchoechuen, O. 2005. Methane emission in four rice varieties as related to sugars and organic acids of roots and root exudates and biomass yield. Agriculture, Ecosystems and Environment. 108(2): 155-163.
- Kludze, H.K., Delaune R.D. and Patrick, Jr, W.H. 1993. Aerenchyma formation and CH₄ and oxygen exchange in rice. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 368-391.
- Le Mer, J. and Roger, P. 2001. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soil: A review. Eur. J. Soil Bio. 37: 25-50.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report IPCC Fourth Assessment (AR4). Valencia, Spain.
- IPCC. 1996. Climate change: The Science of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom.
- Nouchi, I., Shigeru, M., and Kazuyuki, A. 1990. Mechanism of methane transport from the rhizosphere through rice plants. Plant Physiol. 94: 59-66.
- Melting, F. B. 1992. “Soil Microbial Ecology Application in Agricultural and Environmental Management”, Marce Dekker Inc., US., pp. 27-44.
- Wassmann, R., Milkha, S., Aulakh, M.S. 2000. The role of rice plants in regulating mechanisms of methane emissions. Biol Fertil Soils. 31: 20-29.

Wassmann, R., Neue, H.U. and Lantin, R.S. 2000.

Characterization of methane emissions
from rice field in Asia, I, Comparison
among field sites in five countries. *Nutr
Cycl Agroecosyst* 58: 1-12.