

ปริมาณสารคัดหลั่งกับสัณฐานของรากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนคร ที่สัมพันธ์กับการปล่อยก๊าซมีเทน

Exudates and root morphological features of rice Chainat 1 and Sakol Nakhon related to methane emission

พัชรี แสนจันทร์^{1*}, มัชฌิมา เจียจันท์¹, ดวงสมร ตูลาพิทักษ์², วรณวิภา แก้วประดิษฐ์¹,
และ เกริก ปันหนึ่งเพชร¹

Patcharee Saenjan^{1*}, Matchima Jiajanthuek¹, Duangsamorn Tulaphitak²,
Wanwipa Kaewpradit¹ and Krirk Pannangpetch¹

บทคัดย่อ: สารคัดหลั่งจากรากข้าวมีส่วนเกี่ยวข้องกับอัตราปล่อยก๊าซมีเทนจากดินสู่บรรยากาศ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนกับปริมาณสารคัดหลั่งที่รากข้าวปล่อยออกมาตลอดฤดูปลูกของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนคร ค่ำกล้าข้าวอายุ 20 วัน 5 ต้นต่อจับต่อกระถาง ขังน้ำตลอดฤดูปลูก ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนจากกระถางที่ปลูกข้าวทั้งสองพันธุ์ทุกสัปดาห์ เก็บตัวอย่างสารคัดหลั่งจากรากข้าวที่ระยะต้นกล้า แรกออก ออกดอก สุกแก่ และเก็บเกี่ยว ผลการศึกษาพบว่า อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนครมีความสัมพันธ์สูงกับปริมาณสารคัดหลั่ง (มิลลิกรัมคาร์บอนต่อกรัมราก) ($r = 0.938^{**}$ และ 0.973^{**}) ในทางตรงกันข้ามความยาวรากของข้าวทั้งสองพันธุ์ ($r = -0.638^{**}$ และ -0.695^{**}) พื้นที่ผิวราก ($r = -0.931^{**}$ และ -0.891^{**}) และปริมาตรราก ($r = -0.925^{**}$ และ -0.970^{**}) มีความสัมพันธ์กันอย่างสูงในเชิงลบกับอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน เป็นไปได้ว่ารากข้าวถึงแม้ว่าจะปล่อยสารคัดหลั่งซึ่งเป็นสารอาหารให้แก่จุลินทรีย์ดินที่ผลิตก๊าซมีเทน แต่ขณะเดียวกันรากข้าวยังทำหน้าที่ปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนชักนำให้เกิดกระบวนการมีเทนออกซิเดชัน (CH_4 oxidation) และส่งผลให้ลดอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากดินสู่บรรยากาศ ในขณะที่ปริมาณช่องว่างในราก ($r = 0.205$ และ 0.396) และน้ำหนักแห้งราก ($r = 0.110^{**}$ และ 0.217) ของข้าวทั้งสองพันธุ์มีอิทธิพลต่ออัตราการปล่อยก๊าซมีเทนน้อยในเชิงบวก การทดลองในลักษณะนี้ควรศึกษาเกี่ยวกับข้าวพันธุ์อื่นๆต่อไปเพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการปรับปรุงพันธุ์ที่สามารถปล่อยสารคัดหลั่งและก๊าซมีเทนต่ำแต่ให้ผลผลิตข้าวสูง

คำสำคัญ: มีเทน ราก ชัยนาท 1 สกลนคร

Abstract: It is assumed that methane emission rate is affected by root exudates from rice root. The objective of this study was to clarify relationship between methane emission rate and its root exudates of Chainat 1 and Sakon Nakhon rice variety.

¹สาขาวิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

¹Department of Plant Science and Agricultural Resources, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

²ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

²Center of Agricultural Research and Development in Northeast, Thailand. Faculty of Agriculture, Khon Kaen University.

* Corresponding author: patsae1@kku.ac.th

Seedlings of 20 days of age were transplanted, 5 plants per hill per pot and kept flooded through the growing period. Gas was sampled from the rice planted pot every week for methane concentration. Root exudates were measured at the growth stage of seedling, tillering, flowering, ripening and harvesting. The result showed that Sakol Nakhon rice variety released methane into atmosphere more than Chainat 1. Methane emission rate into atmosphere of Chainat 1 and Sakol Nakhon rice variety had high correlation with quantity of exudates (milligrams carbon per *grams of root*) ($r = 0.938^{**}$ and 0.973^{**}). In contrast, root length of the two rice varieties ($r = -0.638^{**}$ and -0.695^{**}), root surface area ($r = -0.931^{**}$ and -0.891^{**}) and root volume ($r = -0.925^{**}$ and -0.970^{**}) manifested negative correlation with methane emission rate. Although the roots of rice secreted exudates and served as substrate for methanogens, the rice roots were expected to release oxygen which in turn induced the process of methane oxidation (CH_4 oxidation). All these resulted in reduction of the quantity of methane emission from the soil into the atmosphere. The root space volume of Chainat 1 and Sakol Nakhon ($r = 0.205$ and 0.396^*) and root dried weight ($r = 0.110^{**}$ and 0.217^*) had slight effect on the methane emission rate.

Key words: methane, root, Chainat 1, Sakol Nakhon

บทนำ

นาข้าวถูกระบุว่าเป็นแหล่งสำคัญแห่งหนึ่งของกิจกรรมมนุษย์ที่มีการผลิตและปล่อยก๊าซมีเทน (IPCC, 1996) ในสภาพดินนาที่มีน้ำท่วมขังดินจะอยู่ในสภาพขาดออกซิเจน จุลินทรีย์ดินที่ไม่ต้องการออกซิเจน (strict anaerobes) จะย่อยสลายอินทรีย์วัตถุได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นนี้จะละลายอยู่ในสารละลายดิน และแพร่ (diffusion) เข้าสู่ในผนังเซลล์ของรากแล้วเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซ (gasify) ที่ root cortex และถูกปล่อยออกตรงรูเล็ก ๆ (micropores) ที่อยู่ใต้กาบใบ (leaf sheaths) ของต้นข้าวออกสู่บรรยากาศ (Nouchi et al., 1990) จะเห็นว่าแหล่งที่เกิดการผลิตก๊าซมีเทนในนาข้าวอาจอยู่อาณาบริเวณรากข้าว (rice rhizosphere) ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ประกอบกับมีสารอาหารที่ถูกปล่อยออกจากรากข้าว ในรูปของสารคัดหลั่ง (exudate) ที่ประกอบด้วย น้ำตาล (glucose) และกรดอินทรีย์ (organic acid) (Kerdchoechuen, 2005) จึงเป็นแหล่งของคาร์บอนอินทรีย์ (organic carbon) และเป็น substrate อย่างดีให้กับจุลินทรีย์กลุ่ม methanogens ได้ใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน (methanogenesis) (Melting et al., 1992) จึงกล่าวได้ว่าสารคัดหลั่งจากรากข้าวเป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งในการผลิตก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาปริมาณ สารคัดหลั่งและสัณฐานของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนคร 2) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารคัดหลั่งกับสัณฐานของรากข้าวทั้ง 2 พันธุ์ และ 3) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูกกับปริมาณสารคัดหลั่งและสัณฐานของรากข้าว

วิธีการศึกษา

เก็บดินในแปลงนาเกษตรกรที่บ้านหนองน้ำเลื่อง ตำบลสำราญ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ที่ความลึก 0-15 ซม. ตากดินให้แห้ง (air dried) ร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 มม. ผสมดิน 3 กก. กับปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 25 กก.ต่อไร่ ใส่ลงกระถางพลาสติกใสขนาดกว้าง 15.3 ซม. ยาว 15.3 ซม. สูง 24 ซม. ชั่งน้ำให้ระดับน้ำอยู่ระดับเดียวกับผิวดิน ทิ้งไว้ 1 คืน ปลูกกล้าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนครที่อายุ 20 วัน 5 ต้น/จับ/กระถาง ทำการเก็บสารคัดหลั่งจากรากข้าว 5 ระยะ ได้แก่ระยะต้นกล้า ระยะแตกหน่อ ระยะออกดอก ระยะสุกแก่ และระยะเก็บเกี่ยว โดยนำต้นข้าวออกจากกระถาง ล้างรากต้นข้าวเอาดินออกอย่างระมัดระวังด้วยน้ำปราศจากไอออน (deionized water) แล้วแช่ในสารละลาย 0.01 M CaSO_4 150 มิลลิลิตรในขวดพลาสติกใสรูปทรงกระบอกขนาด 1.2 ลิตร ให้รากจมอยู่ใน

สารละลาย (ลำดับตั้งตรง) ปลดปล่อยให้สารคัดหลั่งออกจากรากนาน 2 ชั่วโมง เรียกสารละลายนี้ว่า “สารคัดหลั่ง” หาปริมาณสารคัดหลั่งจากรากข้าวในรูปคาร์บอนอินทรีย์ (exudate carbon) โดยวิธี wet-digestion (Walkley and Black, 1934) ขณะเดียวกันเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนจากดินข้าวทั้งสองพันธุ์โดยวิธี closed chamber (IRRI, 1996) วิเคราะห์ก๊าซมีเทนด้วยเครื่อง gas chromatograph (Shimadzu GC-14B) เพื่อหาอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (methane emission rate) และคำนวณผลรวมของปริมาณก๊าซมีเทนที่ปล่อยตลอดฤดูปลูก (total methane emission) โดยวิธีหาผลรวมพื้นที่ใต้กราฟ ขณะเดียวกันทำการเก็บข้อมูลทางสัณฐานของรากข้าวได้แก่ ความยาวราก พื้นที่ผิวของราก และปริมาตรรากโดยใช้เครื่องสแกนรากยี่ห้อ EPSON รุ่น Perfection V700/V750 และหาน้ำหนักแห้งราก วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) ของข้อมูลทุกตัวแปรตามแผนการวิจัย CRD และมีการเปรียบเทียบค่ารับการวิจัยโดยวิธี F-test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป MSTAT-C และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรโดยหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ด้วยโปรแกรม Sigma Plot 2000

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. ปริมาณสารคัดหลั่งจากรากของข้าว 2 พันธุ์ ในการวิเคราะห์ปริมาณสารคัดหลั่งจากรากข้าว นั้น ผู้เขียนได้วิเคราะห์ปริมาณสารคัดหลั่ง 3 หน่วย (unit) คือ ปริมาณสารคัดหลั่งต่อกอ, ต่อ น้ำหนักแห้งของลำต้น และต่อ น้ำหนักแห้งของราก ผลการศึกษาพบว่าปริมาณสารคัดหลั่งที่ระยะแตกกอและระยะออกดอกของข้าวพันธุ์สกลนคร (6.96 และ 11.12 มก.คาร์บอนต่อกอ) มากกว่าของพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ระยะเดียวกัน (3.34 และ 7.42 มก.คาร์บอนต่อกอ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1a) ปริมาณสารคัดหลั่งที่ระยะสุกแก่ของข้าวพันธุ์สกลนคร 0.72 มก.คาร์บอนต่อกรัมลำต้น มากกว่าของพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ระยะเดียวกัน 0.44 มก.คาร์บอนต่อกรัมลำต้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1b) และในทำนองเดียวกันปริมาณสารคัดหลั่งที่ระยะสุกแก่ของข้าวพันธุ์สกลนคร 0.57 มก.คาร์บอนต่อกรัมราก มากกว่า

ของพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ระยะเดียวกัน 0.39 มก.คาร์บอนต่อกรัมราก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1c) โดยเฉพาะการเจริญเติบโตในช่วงออกดอก จะมีการปล่อยสารคัดหลั่งจากรากข้าวสูง ซึ่งเป็นสารอาหารอย่างดีสำหรับจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งจะเห็นได้จากปริมาณก๊าซมีเทนที่สูงขึ้นในช่วงออกดอก (Table 2) ในการศึกษาพบว่าความยาวรากของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ที่ทุกระยะการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างกัน (Table 1d) ในขณะที่พื้นที่ผิวราก (Table 1e) ที่ระยะแตกกอมีค่าต่ำที่สุด คาดว่าได้รับผลกระทบจากการที่ตักแค้นกินใบข้าว แต่โดยทั่วไปพื้นที่ผิวรากสดของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ระยะออกดอกและระยะเก็บเกี่ยวมากกว่าของข้าวพันธุ์สกลนครอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาตรรากที่ระยะออกดอกและระยะสุกแก่ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (10.29 และ 8.91 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัมราก) มากกว่าของพันธุ์สกลนคร (8.54 และ 6.92 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัมราก) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3f) Singh et al. (1999) ได้ทดลองวัดปริมาตรรากข้าว 3 พันธุ์ (Heera, Dhal Heera และ Narendra-118) ซึ่งผู้เขียนพบว่ามีความอยู่ในช่วงเดียวกันกับการทดลองนี้ ปริมาตรช่องว่างในรากของพันธุ์สกลนคร (20.51%) มากกว่าของพันธุ์ชัยนาท 1 (14.90%) โดยเฉพาะที่ระยะสุกแก่ (Table 3g) Colmer (2003) ได้ทำการทดลองเลี้ยงต้นข้าว 12 พันธุ์ในสารละลายที่ไม่มีออกซิเจน (deoxynated) นาน 35 วัน แล้ววัดปริมาตรช่องว่างในราก พบว่าอยู่ในช่วง 28-40% ส่วนน้ำหนักแห้งของรากข้าวพันธุ์สกลนครมากกว่าพันธุ์ชัยนาท 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระยะต้นกล้าและระยะแตกกอ (Table 1h) แต่รากพันธุ์สกลนครที่ระยะออกดอกและสุกแก่ (16.92 และ 16.64 กรัมต่อกอ) น้อยกว่าของพันธุ์ชัยนาท 1 (27.34 และ 19.49 กรัมต่อกอ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวพันธุ์สกลนคร ในการวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากดินข้าว นั้น ลักษณะของดินข้าวไม่ว่าจะเป็นส่วนที่อยู่เหนือดินและส่วนที่อยู่ใต้ดิน ส่วนมีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากดินข้าวสู่บรรยากาศ

(Wassmann et al., 1998; Nouchi et al., 1990) ผู้เขียนจึงวิเคราะห์หัตถการปล่อยก๊าซมีเทน 3 หน่วย คือ ต่อกอ, ต่อน้ำหนักแห้งของลำต้น และต่อน้ำหนักแห้งของราก ผลการทดลองพบว่าข้าวพันธุ์สกลนครปล่อยก๊าซมีเทนมากกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (Table 2a, b, c) ตลอดทั้งฤดูปลูก อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนของข้าวพันธุ์สกลนครที่ระยะออกดอกและระยะสุกแก่ (6.803 และ 7.145 มก.คาร์บอนต่อกอต่อวัน) มากกว่าของพันธุ์ชัยนาท 1 (2.832 และ 2.448 มก.คาร์บอนต่อกอต่อวัน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2a) และอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนของข้าวพันธุ์สกลนครที่ระยะสุกแก่ (0.509 มก.คาร์บอนต่อกรัมลำต้นต่อวัน) มากกว่าของพันธุ์ชัยนาท 1 (0.140 มก.คาร์บอนต่อกรัมลำต้นต่อวัน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2b) ในขณะเดียวกัน อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ระยะแตกกอ (6.536 มก.คาร์บอนต่อกรัมรากต่อวัน) มากกว่าของพันธุ์สกลนคร (3.188 มก.คาร์บอนต่อกรัมรากต่อวัน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2c) อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณสารคัดหลั่งซึ่งเป็นสารอาหารตั้งต้นให้แก่จุลินทรีย์ดินกลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทน

3. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารคัดหลั่งจากรากข้าวกับลักษณะพื้นฐานต่างๆ ของรากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนครปริมาณสารคัดหลั่งจากรากข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีความสัมพันธ์กับพื้นฐานของรากในเชิงลบ ได้แก่ พื้นที่ผิวราก และปริมาตรรากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3) กล่าวคือหาก พื้นที่ผิวราก และปริมาตรรากมีค่ามากไม่ทำให้ปริมาณสารคัดหลั่งเพิ่มขึ้น ผู้เขียนคาดว่าลักษณะพื้นฐานของรากข้าวมีส่วนเกี่ยวข้องกับปริมาณสารคัดหลั่งน้อย แต่ปริมาณสารคัดหลั่งจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของกลไกทางชีวเคมีภายในต้นข้าว ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง

4. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนกับสารคัดหลั่งและลักษณะพื้นฐานของรากข้าว อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และ

พันธุ์สกลนครแปรตามปริมาณสารคัดหลั่ง (มิลลิกรัมคาร์บอนต่อกรัมราก) (0.938^{**} และ 0.973^{**}) (Table 4) ในทางตรงกันข้ามความยาวรากของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนครมีความสัมพันธ์กันอย่างมากในเชิงลบกับอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (-0.638^{**} และ -0.695^{**}) เช่นเดียวกับพื้นที่ผิวราก (-0.931^{**} และ -0.891^{**}) และปริมาตรราก (-0.925^{**} และ -0.970^{**}) แสดงว่ารากข้าวแม้ว่าจะปล่อยสารคัดหลั่งซึ่งเป็นสารอาหารของจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทน แต่ขณะเดียวกันรากข้าวยังทำหน้าที่ปลดปล่อยออกซิเจนชักนำให้เกิดกระบวนการมีเทนออกซิเดชัน (CH_4 oxidation) และส่งผลให้ลดการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ Wassmann and Aulakh (2000) กล่าวว่าความสามารถในการเกิดกระบวนการมีเทนออกซิเดชันขึ้นอยู่กับการขนส่งออกซิเจนผ่านช่องอากาศ (aerenchyma) ใต้ดิน ช่องอากาศขณะเดียวกันก็ทำหน้าที่เป็นช่องทางในการปล่อยก๊าซมีเทนจากดินสู่บรรยากาศ แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้พบว่าปริมาตรช่องว่างในรากและน้ำหนักแห้งมีอิทธิพลต่ออัตราการปล่อยก๊าซมีเทนน้อยในเชิงบวก

สรุป

ปริมาณสารคัดหลั่งจากรากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนครมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวราก และปริมาตรรากในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนครแปรตามปริมาณสารคัดหลั่ง (มิลลิกรัมคาร์บอนต่อกรัมราก) ในเชิงลบกับความยาวราก พื้นที่ผิวราก และปริมาตรรากของข้าวทั้งสองพันธุ์มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน รากข้าวแม้ว่าจะปล่อยสารคัดหลั่งซึ่งเป็นสารอาหารของจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทน แต่ขณะเดียวกันรากข้าวยังทำหน้าที่ปลดปล่อยออกซิเจนชักนำให้เกิดกระบวนการมีเทนออกซิเดชัน (CH_4 oxidation) และส่งผลให้ลดการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ ส่วนปริมาตรช่องว่างใน

รากและน้ำหนักรากแห้งรากมีอิทธิพลต่ออัตราการปล่อย
ก๊าซมีเทนน้อยมาก

คำขอบคุณ

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย
ขอนแก่น ที่ได้จัดสรรทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำ
วิทยานิพนธ์ประเภททุนอุดหนุนทั่วไปปีงบประมาณ
2553

เอกสารอ้างอิง

Colmer, T.D. 2003. Aerenchyma and an inducible
barrier to radial oxygen loss facilitate root
aeration in upland, paddy and deep-water
rice (*Oryza sativa* L.). *Annals of Botany* 91 :
301-309.

IPCC. 1996. *Climate change: The Science of Climate
Change*. Intergovernmental Panel on
Climate Change (IPPC). Cambridge

University Press: Cambridge, United
Kingdom.

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 : 155-163.

Melting, F.B. 1992. *Soil Microbial Ecology
Application in Agricultural and
Environmental Management*. Marce Dekker
Inc US. pp 27-44.

Singh, S., Singh, J.S. and Kashyap, A.K. 1999.
Methane consumption by soils of dry land
rice agriculture: influence of varieties and
N-fertilization. *Chemosphere*. 38 : 175-189.

Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of
the Degtjareff method for determination soil
organic matter and a proposed modification
of the chromic acid titration method. *Soil
Science* 37 : 29-33

Table 1 Root exudates and root morphological features of rice Chainat 1 and Sakol Nakhon at various growth stage

Variety	Seedling ^{1/} (0 DAT)	Tillering (34 DAT ^{2/})	Flowering (75 DAT)	Ripening (97 DAT)	Harvesting (116 DAT)
(a) Root exudates (mg C / <i>hill</i>)					
Chainat 1	12.12	3.34	7.42	7.62	4.27
Sakol Nakhon	13.37	6.96	11.12	10.09	7.27
F-test	ns	**	*	ns	ns
(b) Root exudates (mg C / <i>g of shoot</i>)					
Chainat 1	79.35	1.12	0.17	0.44	0.10
Sakol Nakhon	44.44	1.11	0.28	0.72	0.14
F-test	**	ns	ns	*	ns
(c) Root exudates (mg C / <i>g of root</i>)					
Chainat 1	207.77	3.96	0.30	0.39	0.08
Sakol Nakhon	169.11	4.00	0.66	0.57	0.13
F-test	ns	ns	ns	*	ns
(d) Root length (cm / <i>hill</i>)					
Chainat 1	1461	402	95,890	161,530	48,706
Sakol Nakhon	1107	2,893	92,655	119,212	47,763
F-test	**	**	**	**	ns
(e) Root surface area (cm ² / <i>g of root</i>)					
Chainat 1	638.30	81.82	976.73	896.20	1031.68
Sakol Nakhon	895.35	159.96	734.73	702.45	836.36
F-test	ns	**	*	ns	**
(f) Root volume (cm ³ / <i>g of root</i>)					
Chainat 1	3.75	0.85	10.29	8.91	10.31
Sakol Nakhon	5.88	1.33	8.54	6.92	9.11
F-test	ns	ns	*	*	ns
(g) Root space (%)					
Chainat 1	-	23.58	16.20	14.90	28.79
Sakol Nakhon	-	15.08	20.40	20.51	39.30
F-test	-	ns	ns	*	ns
(h) Root dry weight (g / <i>hill</i>)					
Chainat 1	0.06	0.88	27.34	19.49	55.56
Sakol Nakhon	0.08	1.75	16.92	16.64	55.10
F-test	*	**	*	*	ns

^{1/} transplanted 20 days old seedlings, 5 seedlings / pot, ^{2/} DAT = days after transplanting, n = 4, * statistically different at P<0.05, ** statistically different at P>0.01, ns = no significant

Table 2 Methane emission rate at various stages of rice growth, variety Chainat 1 and Sakol Nakhon

Variety	Seedling ^{1/} (0 DAT)	Tillering (34 DAT ^{2/})	Flowering (75 DAT)	Ripening (97 DAT)	Harvesting (116 DAT)
(a) Methane emission rate (mg C / <i>hill</i> / day)					
Chainat 1	-	4.561	2.832	2.448	0.222
Sakol Nakhon	-	5.108	6.803	7.145	0.360
F-test	-	ns	**	**	ns
CV (%)	-	17.4	22.2	22.4	38.1
(b) Methane emission rate (mg C / g of <i>shoot</i> / day)					
Chainat 1	-	1.430	0.065	0.140	0.005
Sakol Nakhon	-	2.217	0.169	0.509	0.007
F-test	-	ns	ns	*	*
CV (%)	-	33.62	56.83	68.79	30.43
(c) Methane emission rate (mg C / g of <i>root</i> / day)					
Chainat 1	-	6.536	0.104	0.127	0.004
Sakol Nakhon	-	3.188	0.404	0.432	0.007
F-test	-	*	ns	ns	**
CV (%)	-	41.87	66.36	63.88	40.73

^{1/} transplanted 20 days old seedlings, 5 seedlings / pot, ^{2/} DAT = days after transplanting, n = 4, * statistically different at P<0.05, ** statistically different at P>0.01, ns = no significant

Table 3 Correlation coefficient of exudates and root morphological features of rice, Chainat 1 and Sakol Nakhon

Parameter	Correlation coefficient (r) of root exudates	
	Chainat 1	Sakol Nakhon
Root length (n=20)	0.045	0.095
Root surface area (n=16)	-0.385**	-0.305**
Root volume (n=16)	-0.442**	-0.228**
Root dried weight (n=20)	-0.122	-0.130

* statistically correlated at P<0.05, ** statistically correlated at P>0.01

Table 4 Correlation coefficient between methane emission rate and exudates and root morphological features of rice, Chainat 1 and Sakol Nakhon

Parameter	Correlation coefficient (r) of methane emission rate	
	Chainat 1	kol Nakhon
Exudates (mg C / g of root) (n=16)	0.938 ^{**}	.73 ^{**}
Root length (n=16)	-0.638 ^{**}	.695 ^{**}
Root surface area (n=15, 16)	-0.931 ^{**}	.891 ^{**}
Root volume (n=15, 16)	-0.925 ^{**}	.970 ^{**}
Root space (n=11, 16)	0.205	.396 [*]
Root dried weight (n=16)	0.110 ^{**}	.217 [*]

* statistically correlated at $P < 0.05$, ** statistically correlated at $P > 0.01$