ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
203400

อิทธิพลของสารสกัดหลั่งจากรากข้าวต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในดินนาน้ำขัง

EFFECT OF RICE ROOT EXUDATES ON METHANE EMISSION IN PADDY SOIL

นางสาวมัยมิมา เอี่ยมอัมรัก

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ.2553

b0025739A

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
203400

อิทธิพลของสารคัดหลั่งจากรากข้าวต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในดินนาน้ำขัง

EFFECT OF RICE ROOT EXUDATES ON METHANE EMISSION IN PADDY SOIL

นางสาวมัชฌิมา เจียจันทึก

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2553

อิทธิพลของสารคัดหลั่งจากรากข้าวต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในดินนาน้ำขัง

นางสาวมัชฌิมา เจียจันทึก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2553

EFFECT OF RICE ROOT EXUDATES ON METHANE EMISSION IN PADDY SOIL

MISS MATCHIMA JAIJANTHUEK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

IN LAND RESOURCES AND ENVIRONMENT

GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY

2010

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

หลักสูตร

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม

ชื่อวิทยานิพนธ์: อิทธิพลของสารคัดหลั่งจากรากข้าวต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในดินนาน้ำขัง

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์: นางสาวมัชฌิมา เจียจันทึก

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

รศ.ดร. เกริก ปั้นเหน่งเพ็ชร	ประธานกรรมการ
รศ.ดร. สุรศักดิ์ เสรีพงศ์	กรรมการ
รศ.ดร. พัชรี แสนจันทร์	กรรมการ
ดร. วรรณวิภา แก้วประดิษฐ์	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์:

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. พัชรี แสนจันทร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร. วรรณวิภา แก้วประดิษฐ์)

....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ลำปาง แม่นมาตย์) (รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ พลธานี)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย คณบดีคณะเกษตรศาสตร์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

มัชฌิมา เจียจันทึก. 2553. **อิทธิพลของสารคัดหลั่งจากรากข้าวต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในดินนาน้ำขัง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: รศ.ดร. พัชรี แสนจันทร์, ดร. วรรณวิภา แก้วประดิษฐ์

บทคัดย่อ

203400

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) ศึกษาการเคลื่อนที่ของก๊าซมีเทนจากดินที่ปลูกข้าวสู่บรรยากาศ ทำการทดลองกับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ผลการศึกษาพบว่า ก๊าซมีเทนปล่อยออกจากต้นข้าวร้อยละ 96 และปล่อยจากดินร้อยละ 4 ชี้ให้เห็นว่าต้นข้าวคือปัจจัยหลักที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากดินสู่บรรยากาศ

2) ศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนคร ทำการวัดอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและสัณฐานต่างๆ ของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ตลอดฤดูปลูก ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดตลอดฤดูปลูกของข้าวพันธุ์สกลนคร 690.9 มิลลิกรัมต่อกระถางต่อฤดูปลูก ซึ่งสูงกว่าของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่มีปริมาณ 463.5 มิลลิกรัมต่อกระถางต่อฤดูปลูกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ปริมาณก๊าซมีเทนที่ปลดปล่อยจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 คิดเป็นร้อยละ 67 ของพันธุ์สกลนคร

3) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารคัดหลั่งกับสัณฐานของรากและน้ำหนักแห้งของลำต้นของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนคร พบว่าปริมาณสารคัดหลั่งจากรากข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีความสัมพันธ์กับสัณฐานของรากในเชิงลบ ได้แก่ พื้นที่ผิวราก ($r = -0.385^{**}$ และ -0.305^{**}) และปริมาตรราก ($r = -0.442^{**}$ และ -0.228^{**})

4) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนกับลักษณะสัณฐานส่วนที่อยู่เหนือดิน สารคัดหลั่ง และลักษณะสัณฐานของรากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนคร ผลการศึกษาพบว่า อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ขึ้นอยู่กับปริมาตรช่องว่างใน culm ($r = 0.640^{**}$และ 0.812^{*}) น้ำหนักแห้งลำต้น ($r = 0.837^{**}$ และ 0.970^{**}) จำนวนหน่อต่อกอ ($r = 0.857^{**}$ และ 0.720^{**}) อย่างไรก็ตามเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นสดมีผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทนน้อย ($r = 0.138^{*}$ และ 0.167^{**}) ส่วนความสูงของลำต้นมีความสัมพันธ์กับอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนในเชิงลบ ($r = -0.695^{**}$ และ -0.110)

203400

อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนครมีความสัมพันธ์สูงกับปริมาณสารคัดหลั่ง(มิลลิกรัมคาร์บอนต่อ***กอ***) ($r = 0.876^{**}$ และ 0.885^{**}) และปริมาณสารคัดหลั่ง(มิลลิกรัมคาร์บอนต่อ***กรัมลำต้น***) ($r = 0.938^{**}$ และ 0.973^{**})

ในทางตรงกันข้ามความยาวรากของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ($r = -0.638^{**}$ และ -0.695^{**}) พื้นที่ผิวราก ($r = -0.931^{**}$ และ -0.891^{**}) และปริมาตรราก ($r = -0.925^{**}$ และ -0.970^{**}) มีความสัมพันธ์กันอย่างสูงในเชิงลบกับอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน คาดว่ารากข้าวถึงแม้ว่าจะปล่อยสารคัดหลั่งซึ่งเป็นอาหารให้แก่จุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทน แต่ขณะเดียวกันรากข้าวอาจทำหน้าที่ปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนซักนำให้เกิดกระบวนการมีเทนออกซิเดชั่น (CH_4 oxidation) และส่งผลให้ลดอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากดินสู่บรรยากาศ ในขณะที่ปริมาตรช่องว่างในราก ($r = 0.205$ และ 0.396^{*}) และน้ำหนักแห้งราก ($r = 0.110^{**}$ และ 0.217^{*}) มีอิทธิพลต่ออัตราการปล่อยก๊าซมีเทนน้อยในเชิงบวก

ข้อเสนอแนะควรเพิ่มจำนวนพันธุ์ข้าวที่จะศึกษาให้มากขึ้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวที่มีคุณสมบัติปล่อยก๊าซมีเทนต่ำและให้ผลผลิตข้าวสูง

Matchima Jaijanthuek. 2010. **Effect of Rice Root Exudates on Methane Emission in Paddy Soil**. Master of Science Thesis in Land Resources and Environment, Graduate School, Khon Kaen University.

Thesis Advisors: Assoc. Prof.Dr. Patcharee Saenjan, Dr. Wanwipa Kaewpradit

ABSTRACT

203400

This research aims 1) to study the pathways of methane emission from paddy soil to the atmosphere. The study was conducted by using Chainat 1 rice variety. The results showed that the amount of plant-mediated methane accounted for 96% while via flooded soil was only 4 %. These findings suggested that rice plant is one of the crucial factors for atmospheric methane emission.

2) To study and compare the amount of methane emission from Chainat 1 and Sakon Nakhon rice variety. The measurements of methane emission rates were conducted throughout the growing season. The results showed that amount of total methane emission throughout the growing season from Sakon Nakhon was 690.9 milligrams per pot per season, which was statistically higher than that of Chainat 1 with only 463.5 milligrams per pot per season. The Chainat 1 rice released methane 67% of the methane emission emitted from the Sakon Nakhon.

3) To study the relationship between the amount of root exudates with morphological features of rice roots and dry weight of shoot from Chainat 1 and Sakon Nakhon rice varieties . The results showed that amount of root exudates of these two rice varieties was negatively correlated with morphology of their roots, i.e. root surface area ($r = -0.385^{**}$ and -0.305^{**}) and root volume ($r = -0.442^{**}$ and -0.228^{**}).

4) To study the relationship between the methane emission rate of Chainat 1 and Sakon Nakhon rice varieties, morphological features of the above-ground rice plant, root exudates and morphological features of root. The result showed that methane emission rate into atmosphere of these two rice varieties depended on space volume in culm ($r = 0.640^{**}$ and 0.812^{*}), shoot dried weight ($r = 0.837^{**}$ and 0.970^{**}) and tiller numbers ($r = 0.857^{**}$ and 0.720^{**}). However fresh shoot diameter had less affected on the emission of methane ($r = 0.138$ and 0.167^{**}) and the height of shoot had negative correlation with the emission of methane ($r = -0.695^{**}$ and -0.110).

203400

Methane emission rate into atmosphere of Chainat 1 and Sakon Nakhon rice varieties had high correlation with amount of exudates (milligrams carbon per ***hill***) ($r = 0.876^{**}$ and 0.885^{**}) and amount of exudates (milligrams carbon per ***grams of shoot***) ($r = 0.938^{**}$ and 0.973^{**}).

In contrast, root length of the 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^{**}) was highly negative correlation with methane emission rate. Although the roots of rice was expected to release exudate, which served as substrate for methanogens, the rice roots also released oxygen which may induce the process of methane oxidation (CH_4 oxidation). This results in methane emission reduction from the soil into the atmosphere. The root space volume ($r = 0.205$ and 0.396^{*}) and root dried weight ($r = 0.110^{**}$ and 0.217^{*}) had slight positive effect on the methane emission rate.

It is recommended that more rice varieties should be studied for future research on the improvement of rice varieties with low methane emission and high yield.

งานวิทยานิพนธ์นี้ขอมอบส่วนดีให้บุพการีและคณาจารย์

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยความกรุณาจากหลาย ๆ บุคคลที่เกี่ยวข้อง อันดับแรกผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พัชรี แสนจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา การช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ ตลอดจนให้กำลังใจที่ดีแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.วรรณวิภา แก้วประดิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำเสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ คุณดวงสมร ตุลาพิทักษ์ ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และแนวทางที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและแก้ไขวิยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่กรุณาให้ทุนประเภทอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์ ปี 2552 ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยข้าวขอนแก่น (KhonKaen Rice Research Center) ที่ได้กรุณาอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ข้าวชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนคร ทำให้งานวิจัยนี้เกิดขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายถอดความรู้ แนวคิด ประสบการณ์อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยและการดำเนินชีวิตตลอดการเป็นนักศึกษา ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ในสาขาวิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ให้ความกรุณาช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวก อุปกรณ์ เครื่องมือ และการวิเคราะห์ตัวอย่างในระหว่างการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณนายธานี ดาวใส และนายเฉลิมพันธุ์ รัตนประดับ ที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดระยะเวลาดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคน สำหรับความช่วยเหลือคำปรึกษา กำลังกาย กำลังใจด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับคุณพ่อทองแดง คุณแม่บัวแก้ว เจียจันทึก บุพการีผู้เป็นที่รักยิ่งซึ่งให้ทุกอย่างกับลูกคนนี้เสมอมา ให้ทั้งชีวิต ให้โอกาสการศึกษาอันมีค่ายิ่ง ขอบคุณที่ยังแข็งแรงคอยให้ความรัก คำปรึกษา กำลังใจตลอดจนจบการศึกษา ขอขอบคุณญาติพี่น้อง โดยเฉพาะพี่ๆ ทุกคนที่ให้โอกาสกับน้องคนนี้ได้ศึกษา ให้การสนับสนุนกำลังทรัพย์ กำลังใจ คำปรึกษา ความเข้าใจและความห่วงใยอย่างดีตลอดจนสำเร็จการศึกษา สุดท้ายขอบคุณนายไชยา นามรักษ์ กับความช่วยเหลือต่างๆ ทั้งกำลังกาย กำลังใจ ความห่วงใยที่มีให้และแรงใจที่คอยผลักดันให้ผ่านปัญหาต่างๆ ไปได้ด้วยดีเสมอมา

มัชฌิมา เจียจันทึก

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
คำอุทิศ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความเป็นมาและความสำคัญของก๊าซมีเทน	4
2.2 กระบวนการเกิดก๊าซมีเทนในดินนาน้ำขัง	6
2.3 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวขึ้นสู่บรรยากาศ	8
2.4 ความสำคัญของนาข้าวต่อการผลิตก๊าซมีเทน	9
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตและปลดปล่อยก๊าซมีเทนโดยต้นข้าวสู่บรรยากาศ	10
2.6 ลักษณะประจำพันธุ์ของพันธุ์ข้าวที่ใช้วิจัย	21
2.7 ความเป็นมาและลักษณะของต้นข้าว	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 การวางแผนงานวิจัย	25
3.2 การเตรียมดิน พันธุ์ข้าว และการปลูกข้าว	27
3.3 การเก็บตัวอย่าง	27
3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่าง	29
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	
4.1 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากดินและต้นข้าว(รวมกัน) และจากต้นข้าว	33
4.2 ปริมาณสารคัดหลั่งจากราก และลักษณะสัณฐานของรากของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวพันธุ์สกลนคร	35
4.3 อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวพันธุ์สกลนคร	39
4.4 อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทน ปริมาตรช่องว่างใน culm เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น ความสูงของต้น จำนวนหน่อต่อกอและสัดส่วนของน้ำหนักแห้งลำต้นต่อรากของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวพันธุ์สกลนคร	41
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารคัดหลั่งจากรากข้าวกับลักษณะสัณฐานต่างๆ ของรากและน้ำหนักแห้งของลำต้นข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวพันธุ์สกลนคร	44
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนกับลักษณะสัณฐานต่างๆ ของต้นข้าวของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวพันธุ์สกลนคร	45
4.7 ปริมาณทั้งหมดของสารคัดหลั่งจากรากข้าวและปริมาณก๊าซมีเทนทั้งหมดที่ปล่อยตลอดฤดูปลูก	47
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	50
5.2 ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง	53
ภาคผนวก	63
การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์	70
ประวัติผู้เขียน	71

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ชนิด คุณสมบัติ ศักยภาพ และแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก	5
ตารางที่ 2.2	ลำดับการเกิด reduction ในดินตาม thermodynamics ในดินที่ 25 °C pH	8
ตารางที่ 2.3	สารประกอบอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่มีอยู่ในสารคัดหลั่งจากรากพืช	12
ตารางที่ 3.1	วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดิน	30
ตารางที่ 4.1	ปริมาณสารคัดหลั่ง และลักษณะสัณฐานของรากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนครที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนคร ย้ายปลูก 5 ต้นต่อกอต่อกระถาง	37
ตารางที่ 4.2	อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทน และลักษณะสัณฐานของลำต้นที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนคร ย้ายปลูก 5 ต้นต่อกอต่อกระถาง	42
ตารางที่ 4.3	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารคัดหลั่งจากรากข้าวกับลักษณะของรากและน้ำหนักแห้งลำต้นของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนคร	45
ตารางที่ 4.4	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน กับสัณฐานของต้นข้าวส่วนที่อยู่เหนือดิน สัณฐานของต้นข้าวส่วนที่อยู่ใต้ดิน และสารคัดหลั่งของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนคร	47
ตารางที่ 4.5	ปริมาณทั้งหมดของสารคัดหลั่งจากรากข้าว (total exudate carbon, TEC) และปริมาณก๊าซมีเทนที่ปล่อยตลอดฤดูปลูก (total methane emission, TME) และ TME/TEC ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนคร	48
ตารางภาคผนวกที่ 1	คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดินนาที่ใช้ทดลองที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร	64

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	ภาพตัดตามยาวแสดงถึงส่วนต่างๆ ของรากที่มีเมือกอยู่ที่ปลายราก	11
ภาพที่ 2.2	กลไกการหลั่งสารคัดหลั่งจากรากพืชผ่านเยื่อหุ้มเซลล์	15
ภาพที่ 2.3	กระบวนปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากต้นข้าว โดยการแพร่ของก๊าซมีเทนที่ละลายในสารละลายดินที่อยู่รอบๆรากข้าวเข้าสู่ aerenchyma ในราก (a) การขนย้ายก๊าซมีเทนจากรากสู่ลำต้น (b) และการขนย้ายก๊าซมีเทนจากต้นข้าวออกสู่บรรยากาศ (c)	19
ภาพที่ 2.4	กลไกการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากต้นข้าวออกสู่บรรยากาศ	20
ภาพที่ 3.1	การเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนจากดินและต้นข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (a) และการเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนจากต้นข้าว (b)	26
ภาพที่ 4.1	อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากดินและต้นข้าว (ไม่คลุมแผ่นพลาสติก) และก๊าซมีเทนจากต้นข้าว (ใช้แผ่นพลาสติกคลุมดินให้เหลือเฉพาะต้นข้าวโผล่ออกมา) ที่ปลูกในกระถาง ใช้ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1, DAT แสดงจำนวนวันหลังย้ายปลูก, เส้นบาร์แสดงแถบความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	34
ภาพที่ 4.2	อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวพันธุ์สกลนครที่ปลูกในกระถางตลอดการเจริญเติบโต, DAT แสดงจำนวนวันหลังย้ายปลูก, เส้นบาร์แสดงแถบความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, S: ระยะต้นกล้า, T: ระยะแตกกอ, B: ระยะตั้งท้อง, F: ระยะออกดอก, R: ระยะสุกแก่, n = 4	40
ภาพที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างสัณฐานวิทยาของต้นข้าวกับการปล่อยสารคัดหลั่งจากรากข้าวและการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ	49
ภาพภาคผนวกที่ 1	กล่องเก็บก๊าซมีเทน	65
ภาพภาคผนวกที่ 2	ลักษณะลำต้น(ภาพซ้าย) และราก(ภาพขวา) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนคร	66
ภาพภาคผนวกที่ 3	วิธีการเก็บก๊าซมีเทนจากกระถางที่ปลูกข้าว	67
ภาพภาคผนวกที่ 4	ต้นข้าวพันธุ์ชัยนาท 1(ภาพซ้าย) และพันธุ์สกลนคร(ภาพขวา) ในสารละลาย 0 .01*M* $CaSO_2$ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพภาคผนวกที่ 5	ลักษณะของราก (ภาพซ้าย) และลำต้นของ culm ยาว 3 เซนติเมตร (ภาพขวา) ที่ใช้วัดปริมาตรช่องว่างในราก และช่องว่างใน culm โดยวิธี pycnometer	68
ภาพภาคผนวกที่ 6	ขวด pycnometer ที่บรรจุราก(ภาพซ้าย) และ culm (ภาพขวา)	69
ภาพภาคผนวกที่ 7	วิธีการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของ culm โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier Calipers)	69

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

คำย่อ

C	carbon
CH_4	methane
CO_2	carbon dioxide
DAT	day after transplanting
Eh	redox potential, mV
FID	Flame Ionization Detector
GC	Gas Chromatograph
GWP	global warming potential
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRRI	International Rice Research Institute
O_2	oxygen
r	correlation coefficient
R^2	coefficient of determination
UNFCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
TEC	total exudate carbon, mgC pot^{-1} $season^{-1}$
TME	total methane emission, mg CH_4-C pot^{-1} $season^{-1}$
TOC	total organic carbon

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

หน่วย

d	วัน (day) = 24 ชั่วโมง
g	กรัม (gram)
mg	มิลลิกรัม (milligram)
kg	กิโลกรัม (kilogram) = 6.25 ไร่ (rai) = 10^4 ตารางเมตร (m^2)
kPa	กิโลพาสคาล (kilopascal)
mV	มิลลิโวลต์
ppm	ส่วนในล้านส่วน (part per million), มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/ kg)
rai	ไร่ = 1,600 ตารางเมตร
t	เมตริก ตัน (metric ton) = 10^6 กรัม
Tg	เทระกรัม (teragram) = 10^{12} กรัม = ล้านตัน (million ton)