



# ฟางข้าวและพืชปุ๋ยสด: โลกบลงนาอย่างไรในภาวะโลกร้อน?

## Rice straw and green manure: how to incorporate into paddy field in global warming?

วรรณวิภา แก้วประดิษฐ์<sup>1\*</sup>

Wanwipa Kaewpradit<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> สาขาพืชไร่ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

\*Correspondent author: wanwka@kku.ac.th

### บทคัดย่อ

ข้าวคือพืชอาหารหลักของประชากรโลก การไถกลบฟางข้าวและพืชปุ๋ยสดลงนาเป็นแนวทางปฏิบัติที่เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตข้าว ในปัจจุบันสภาวะโลกร้อนได้ทวีความรุนแรงมากขึ้นโดยมีสาเหตุมาจากปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้น นาข้าวคือแหล่งปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญแหล่งหนึ่งในภาคกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ที่ถูกปลดปล่อยจากนาข้าวมีค่าศักยภาพการทำให้โลกร้อน (GWP) สูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ถึง 21 และ 310 เท่าตามลำดับ นาข้าวที่ปล่อยออกเป็นนาชลประทานและน่าน้ำฝนตามการเข้าถึงน้ำของเกษตรกร สภาพดังกล่าวส่งเสริมให้มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์แตกต่างกัน คุณภาพของฟางข้าวและพืชปุ๋ยสดที่ใช้ในการไถกลบเป็นอีกปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสองชนิด นาชลประทานที่มีน้ำขังตลอดฤดูปลูกเป็นสภาพที่เอื้อให้เกิดก๊าซมีเทน เกษตรกรจึงควรใช้พืชปุ๋ยสดที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ต่ำ หากเกษตรกรต้องการใช้ฟางข้าวควรเป็นฟางข้าวที่ผ่านการหมักแล้ว น่าน้ำฝนซึ่งมีสภาพเปียกสลับแห้ง เอื้อให้เกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์ จึงควรหลีกเลี่ยงพืชปุ๋ยสดที่มี C:N ratio ต่ำ ถึงแม้ว่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์จากนาข้าวจะได้รับอิทธิพลจากหลายปัจจัย หากเกษตรกรเข้าใจสภาพนาข้าวและแนวทางการไถกลบฟางข้าวและพืชปุ๋ยสดที่เหมาะสม ย่อมทำให้เกิดการจัดการเศษซากพืชดังกล่าวที่มีความยั่งยืนในระบบการผลิตนาข้าวและลดความรุนแรงของภาวะโลกร้อนต่อไป

### Abstract

Rice is the most important staple food crop for world population. Rice straw and green manure incorporation is the approach that most farmers use to increase soil fertility and rice yield. The global warming is becoming more severe due to the increase of greenhouse gases of which paddy field is one of the major emission sources by human activity. Methane ( $\text{CH}_4$ ) and nitrous oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ) are the major greenhouse gases that are released from paddy field and have more global warming potential (GWP) than carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) by 21 and 310 times respectively.

Paddy field can be divided, according to the water access of the farmer, into irrigated and rainfed which affect methane and nitrous oxide emission differently. Quality of rice straw and green manure used for incorporation is another major factor affecting the emission. Paddy field that has irrigation water throughout the growing season is suitable condition for producing methane. Farmers should use green manure that has low C:N ratio. Rice straw used for incorporation should be composted. Rainfed paddy field, with alternate wet and dry conditions, encourages more nitrous oxide emission, thus, low C:N green manure should be avoided. In conclusion, the releases of methane and nitrous oxide in paddy field are influenced by various factors; however, the farmers' understand on the type of paddy field and the appropriate approach for rice straw and green manure incorporation resulting in sustainable plant residue incorporation in rice production as well as reduce the global warming.

**คำสำคัญ :** ก๊าซมีเทน, ก๊าซไนตรัสออกไซด์, คุณภาพของเศษซากพืช

**Keywords :** Methane, Nitrous oxide, Plant residue quality

## 1. บทนำ

พื้นที่เก็บเกี่ยวข้าวทั่วโลกมีประมาณ 158 ล้านไร่ ผลิตข้าวได้มากกว่า 700 ล้านตันต่อปี กว่า 90% ของพื้นที่เก็บเกี่ยวข้าวทั่วโลกอยู่ในทวีปเอเชียซึ่งมีกำลังผลิตข้าว 640 ล้านตันต่อปี (1) เพื่อยกระดับผลผลิตข้าว การไถกลบเศษซากพืชลงนาเป็นวิธีการทำนาแบบอินทรีย์ที่เกษตรกรปฏิบัติกันมาเป็นระยะเวลายาวนานทั้งในประเทศไทยและทั่วโลก เนื่องจากสามารถเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้เกิดขึ้น ปรับปรุงโครงสร้างทางกายภาพดิน ส่งเสริมการทำงานของจุลินทรีย์ดิน (2, 3, 4, 5) ซึ่งเศษซากพืชที่เกษตรกรนิยมนำมาใช้คือฟางข้าวและพืชปุ๋ยสด ในขั้นตอนการปฏิบัติเกษตรกรมักนำเศษซากพืชดังกล่าวลงนาแล้วจึงไถกลบพร้อมกับการเตรียมดิน อย่างไรก็ตามในปัจจุบันที่โลกเผชิญกับสภาวะโลกร้อนที่รุนแรงขึ้น เนื่องจากปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นจากแหล่งต่างๆ นาข้าวถูกพบว่าเป็นแหล่งหนึ่งที่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้แก่ก๊าซมีเทน (methane; CH<sub>4</sub>) และไนตรัสออกไซด์ (nitrous oxide: N<sub>2</sub>O) ซึ่งก๊าซมีเทนในบรรยากาศมีปริมาณ 1.84 ppmv (ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร) (6) การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากภาคกิจกรรมมนุษย์คิดเป็น 60% ของการปลดปล่อยทั่วโลก (7) และนาข้าวปลดปล่อยก๊าซมีเทนประมาณ 5-20% ของการปลด

ปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมด (8, 9) ก๊าซไนตรัสออกไซด์พบในบรรยากาศ ปริมาณ 270-319 ppbv (ส่วนในพันล้านส่วนโดยปริมาตร) ในปี 2005 (10, 11) และยังคงเพิ่มขึ้นในอัตรา 0.6 ppbv ต่อปี (12) ถึงแม้ว่าปริมาณของก๊าซทั้งสองชนิดนี้จะน้อยมากหากเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide: CO<sub>2</sub>) ซึ่งพบในปริมาณ 386 ppmv ในปี 2010 (13) แต่ก๊าซทั้งสองชนิดมีศักยภาพการทำให้โลกร้อน (Global Warming Potential; GWP) สูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (GWP=1) หลายเท่า กล่าวคือก๊าซมีเทนมี GWP เท่ากับ 21 ก๊าซไนตรัสออกไซด์มี GWP เท่ากับ 310 (14) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสองชนิดได้รับผลกระทบจากหลายปัจจัย ซึ่งการไถกลบฟางข้าวและพืชปุ๋ยสดเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วย ในขณะที่การไถกลบเศษซากพืชลงนาเป็นวิธีปฏิบัติที่ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ ผลผลิตข้าวเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งเป็นการกักเก็บคาร์บอนไว้ในระบบนาข้าว (15) ดังนั้นหากเกษตรกรเข้าใจถึงปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ย่อมเกิดแนวทางการไถกลบฟางข้าวและพืชปุ๋ยสดลงน่ายั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

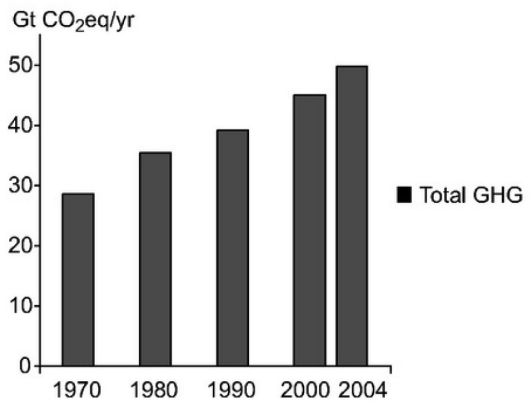
## 2. การไหลกลับฟางข้าวและพืชปุ๋ยสด

การไหลกลับฟางข้าวและพืชปุ๋ยสดลงนาเป็นวิธีการเพิ่มธาตุอาหารและปรับปรุงโครงสร้างทางกายภาพของดินที่เกษตรกรปฏิบัติกันมาช้านาน พื้นที่นาของประเทศไทยในปี 2552 มีประมาณ 66 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 50 ของพื้นที่การเกษตรทั้งหมด (16) ภายหลังฤดูเก็บเกี่ยวมีฟางข้าวรวมทั้งประเทศประมาณ 21.86 ล้านตัน (17) ซึ่งนาข้าวที่เกษตรกรนิยมใช้วัสดุอินทรีย์และเศษซากพืชดังกล่าวไหลกลับลงดินโดยการใช้สารเคมีนั้นมีพื้นที่ประมาณ 52,000 ไร่ทั่วประเทศ (18) พืชปุ๋ยสดมักถูกปลูกก่อนหรือหลังปลูกข้าว เกือบทั้งหมดเป็นพืชตระกูลถั่วซึ่งสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ เมื่อถูกไหลกลับลงสู่ดินจะปลดปล่อยไนโตรเจนผ่านกระบวนการย่อยสลายและไนโตรเจนนั้นเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตของข้าวที่ปลูกตามได้ (19) Kaewpradit และคณะ (5) ได้ศึกษาอิทธิพลของการไหลกลับฟางข้าวและซากถั่วลิสงพบว่าทั้งสองกรรมวิธีสามารถเพิ่มผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้มากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราแนะนำ

## 3. ภาวะโลกร้อนและแหล่งของก๊าซเรือนกระจก

ภาวะโลกร้อนในปัจจุบันส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสิ่งมีชีวิตในด้านต่าง ๆ มากมาย ความรุนแรงของภาวะโลกร้อนที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลมาจากปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศที่เพิ่มสูงขึ้น ชั้นบรรยากาศประกอบด้วยก๊าซเรือนกระจกหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีศักยภาพการทำให้โลกร้อน (GWP) แตกต่างกันไป กล่าวคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มี GWP เท่ากับ 1, มีเทน มี GWP เท่ากับ 21 และไนตรัสออกไซด์มี GWP เท่ากับ 310 (14) เมื่อคำนวณก๊าซเรือนกระจกทุกชนิดตามความเข้มข้นในบรรยากาศร่วมกับค่าศักยภาพการทำให้โลกร้อนพบว่าค่าดังกล่าวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง (รูปที่ 1)

แหล่งปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีอยู่มากมาย แต่สามารถแบ่งออกเป็น 2 แหล่งใหญ่ๆ คือ แหล่งธรรมชาติ (natural source) และแหล่งที่เกิดขึ้นโดยกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic source) แหล่งที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์นั้นประกอบด้วยภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรม



รูปที่ 1. ศักยภาพการทำให้โลกร้อนรวมของก๊าซเรือนกระจกทุกชนิด (14)

ดิน เป็น แหล่ง ปลด ปล่อย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 20% ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด ทั้งยังปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์คิดเป็น 12 และ 60 % ของปริมาณที่ปลดปล่อยจากภาคกิจกรรมมนุษย์ทั้งหมด (14) โดยที่นาข้าวคือแหล่งปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์แหล่งหนึ่งในภาคเกษตรกรรม

## 4. กระบวนการเกิดก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ในสภาพนาข้าวและนาชลประทาน

พื้นที่ทางการเกษตรของประเทศไทยมีประมาณ 131 ล้านไร่ (16) แต่พื้นที่ที่สามารถขังน้ำชลประทานได้มีเพียง 29 ล้านไร่ (20) พื้นที่นอกเขตชลประทานนั้นต้องอาศัยน้ำฝนเพียงอย่างเดียวเพื่อทำการเกษตร นาข้าวจึงสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามการใช้

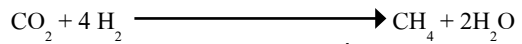
คือนาซลประทานและน้ำฝุ่น ความแตกต่างดังกล่าวส่งผลให้สภาพแปลงนาแตกต่างกันออกไปด้วย (21) นาซลประทานเกษตรกรรมสามารถขังน้ำในแปลงนาได้ตลอดฤดูปลูก ในขณะที่น้ำฝุ่นนั้นแปลงนาจะมีสภาพแห้งหรือน้ำขังสลับกันไปตามช่วงเวลาและปริมาณน้ำฝุ่นที่ได้รับ

นาซลประทานเมื่อมีปริมาณน้ำเพียงพอ ส่วนใหญ่ดินจะอยู่ภายใต้สภาพน้ำขังก่อให้เกิดกระบวนการรีดักชัน (reduction) แต่่น้ำฝุ่นมักจะมีสภาพแห้งและน้ำขังสลับกันไป ส่งเสริมให้เกิดกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) และ reduction สลับกันไปด้วย ในกรณีที่น่าข้าวมีสภาพน้ำขัง ออกซิเจนจะถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนจนหมดในกระบวนการหายใจของจุลินทรีย์ดินกลุ่มที่ใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจ (aerobes) หลังจากนั้นจุลินทรีย์ดินกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจ (anaerobes) จะทำงานในสภาพขาดออกซิเจน (anaerobic) โดยใช้อนุมูล  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Mn}^{4+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจตามลำดับ ซึ่งทำให้เกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์จากการรีดิวซ์  $\text{NO}_3^-$  และเกิดก๊าซมีเทนโดยกระบวนการเกิดก๊าซมีเทน (methanogenesis) นอกจากนี้อินทรีย์วัตถุต่างๆ ที่ใส่หรือไถกลบแก่ดินนาสามารถเข้าสู่กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนและได้สารประกอบที่เป็นตัวกลาง (intermediate products) หลายชนิดซึ่งเป็นสารตั้งต้น (substrate) ให้กับจุลินทรีย์ดินกลุ่มที่ผลิตก๊าซไนตรัสออกไซด์และมีเทนในกรณีที่น่าข้าวมีสภาพน้ำขัง

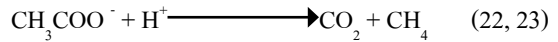
#### 4.1 กระบวนการเกิดก๊าซมีเทน (methanogenesis)

ก๊าซมีเทนนั้นเกิดขึ้นจากกระบวนการ methanogenesis ซึ่งเป็นกระบวนการทางชีววิถี 2 กระบวนการที่เกิดขึ้นในสภาพ anaerobic

(i) คาร์บอนไดออกไซด์รีดักชัน (carbon dioxide reduction) เป็นกระบวนการที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) จากการย่อยสลายกรดไขมัน (fatty acid) หรือแอลกอฮอล์ (alcohol) โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจ ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกรีดิวซ์เป็นก๊าซมีเทน



(ii) กระบวนการเคลื่อนย้ายหมู่เมทิล (transmethylation) ของ acetic acid หรือ methyl alcohol โดยจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน (methanogen) ซึ่งย่อยสลายกรดอะซิติก (acetic acid) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน

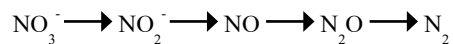


#### 4.2 กระบวนการเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์

การให้วัสดุอินทรีย์ ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยเคมี ไนโตรเจนแก่กล้าข้าว สามารถนำไปสู่การปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้ หากมี  $\text{NO}_3^-$  อยู่ในสภาพขาดออกซิเจน (anaerobic) ซึ่งในนาข้าวสามารถเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้ 2 ทางคือ

(i) กระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นโดยแบคทีเรีย (bacterial denitrification)

แบคทีเรียบางชนิดสามารถใช้ออกซิเจนจากอนุมูลของ  $\text{NO}_3^-$  เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (electron receptor) แทนก๊าซออกซิเจนในกระบวนการหายใจ โดยมีลำดับขั้นตอนการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) ดังนี้



แบคทีเรียในกระบวนการ denitrification บางชนิด ไม่สามารถรีดิวซ์ก๊าซไนตรัสออกไซด์ ให้เป็น  $\text{N}_2$  ได้ ดังนั้นก๊าซไนตรัสออกไซด์จึงเป็นผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการ

(ii) กระบวนการดีไนตริฟิเคชันทางเคมี (chemodenitrification)

เกิดขึ้นในสภาพที่มีการสะสมอนุมูล  $\text{NO}_2^-$  อยู่ในปริมาณมาก ซึ่ง  $\text{NO}_2^-$  จะสูญเสียไปในรูปก๊าซไนตรัสออกไซด์ โดยการทำปฏิกิริยากับอินทรีย์วัตถุ เป็นการสร้างสารประกอบ nitroso และ oximino เมื่อสารประกอบทั้ง 2 ทำปฏิกิริยากับ  $\text{NO}_2^-$  ในลำดับ nitrosation ทำให้เกิดก๊าซไนโตรเจนชนิดต่างๆ ขึ้น (24)

ไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการย่อยสลายของเศษซากพืชจะอยู่ในรูปอนุมูล  $\text{NH}_4^+$  ซึ่งจะถูกละลายเป็นอนุมูล  $\text{NO}_3^-$  เมื่อน้ำขังมีสภาพแห้ง และสามารถถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนได้จากการทำงาน

ของจุลินทรีย์ เกิดเป็นก๊าซไนโตรสออกไซด์ได้เมื่อน้ำข้าว มีสภาพน้ำขัง

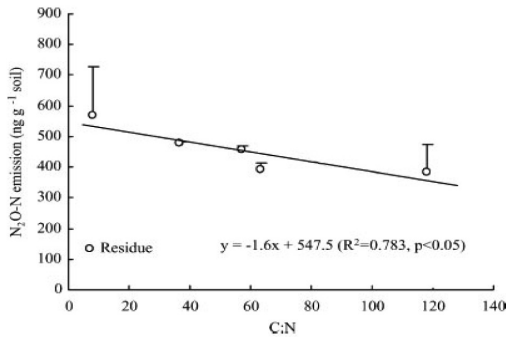
## 5. ผลของการไถกลบฟางข้าวและพืชปุ๋ยสดต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

การไถกลบฟางข้าวและพืชปุ๋ยสดลงนา การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักในนาข้าว ล้วนแต่มีผลส่งเสริมการปลดปล่อยก๊าซมีเทน เนื่องจากการเพิ่มชีวมวลให้แก่ระบบนาข้าว จุลินทรีย์กลุ่ม methanogen สามารถใช้สารประกอบที่เป็นตัวกลาง (intermediate products) จากกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเป็นตัวรับอิเล็กตรอนใน กระบวนการหายใจแทนออกซิเจนได้ การศึกษาของ Neue และคณะ (25) รายงานว่าการให้ฟางข้าวอัตรา 5 ตันต่อเฮกตาร์ ส่งเสริมให้มีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นมากกว่าการให้ปุ๋ยเคมี สอดคล้องกับ Kaewpradit และคณะ (26) ซึ่งได้ศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสะสมจากนาชลประทานที่มีน้ำขังตลอดฤดูกาลเพาะปลูก พบว่าการไถกลบฟางข้าวส่งเสริมให้ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมตลอดฤดูปลูกสูงกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คุณภาพของเศษซากพืชซึ่งบ่งชี้โดย C:N ratio มีผลโดยตรงกับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน กล่าวคือฟางข้าวและพืชปุ๋ยสดเมื่อถูกไถกลบลงสู่ดินนาจะเข้าสู่กระบวนการย่อยสลายผ่านการทำงานของจุลินทรีย์ดิน ดังนั้นฟางข้าวที่มี C:N ratio สูงเมื่อถูกไถกลบลงนาจะมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการเกิดก๊าซมีเทนสูงเช่นกัน ดังเช่นงานทดลองของ Kaewpradit และคณะ (26) พบว่าการไถกลบเศษซากถั่วลิสง (C:N ratio เท่ากับ 18) สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสะสมจากนาชลประทานที่มีน้ำขังตลอดฤดูกาลเพาะปลูกลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการไถกลบฟางข้าว (C:N ratio เท่ากับ 83) อย่างไรก็ตามกรรมวิธีการไถกลบซากถั่วลิสงนั้นมีปริมาณก๊าซมีเทนสะสมตลอดฤดูปลูกสูงกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยเช่นกัน

## 6. ผลของการไถกลบฟางข้าวและพืชปุ๋ยสดต่อการปลดปล่อยก๊าซไนโตรสออกไซด์

เศษซากของพืชปุ๋ยสดแต่ละชนิดเมื่อไถกลบลงดินจะถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ดิน และปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาในปริมาณที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของซากพืช ได้แก่ ปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจน ลิกนิน โพลีฟีนอล เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ที่เป็นตัวชี้วัดความยาก-ง่ายในการย่อยสลายและส่งผลให้ปริมาณของก๊าซไนโตรสออกไซด์ถูกปลดปล่อยออกมาต่ำหรือสูงตามไปด้วย Vityakon และคณะ (27) รายงานว่าโพลีฟีนอลและลิกนินเป็นสารยับยั้งการปลดปล่อยไนโตรเจนและการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ นอกจากนี้ปริมาณโพลีฟีนอลและลิกนินในเศษซากพืชยังเป็นตัวกำหนดกิจกรรมของจุลินทรีย์ เนื่องจากเป็นส่วนที่ย่อยสลายได้ยาก ดังนั้นพืชปุ๋ยสดที่มีปริมาณลิกนินและโพลีฟีนอลมากจะทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นช้าและ Constantinides and Fownes (28) รายงานว่าปริมาณลิกนินและอัตราส่วนลิกนิน+โพลีฟีนอลต่อไนโตรเจนมีความสัมพันธ์ในทางลบกับการปลดปล่อยไนโตรเจน สอดคล้องกับ Fox และคณะ (29) พบว่าดัชนีของการปลดปล่อยไนโตรเจนที่ดีที่สุดคือ อัตราส่วนของ ลิกนิน+โพลีฟีนอลต่อไนโตรเจน งานทดลองของ Khali and Inubishi (30) ศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซไนโตรสออกไซด์จากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรที่มี C: N ratio ต่างกัน พบว่าเศษซากพืชที่มีค่า C: N ratio สูงนั้นจะมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซไนโตรสออกไซด์น้อยกว่าเศษซากพืชที่มีค่า C:N ratio ต่ำกว่า (รูปที่ 2) ดังนั้นการไถกลบเศษซากพืชปุ๋ยสดที่มี C: N ratio หรือเศษซากพืชที่มีลิกนิน+โพลีฟีนอลต่อไนโตรเจนต่ำย่อมส่งเสริมให้มีปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ถูกปลดปล่อยออกมาได้มาก จึงสามารถเกิดก๊าซไนโตรสออกไซด์ได้สูงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามฟางข้าวเป็นวัสดุอินทรีย์ที่มี C: N ratio สูง เมื่อไถกลบลงสู่ดินมักพบว่าเกิดกระบวนการอิมโมบิไลเซชัน (immobilization) และไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะถูกปลดปล่อยออกมาช้าลง



รูปที่ 2. ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซไนโตรสออกไซด์และ C: N ratio ของพืชปุ๋ยสด (28)

ดังเช่นงานทดลองของ Huang และคณะ (31) ซึ่งทำการทดลองในสภาพนาข้าว พบว่าการไถกลบฟางข้าวทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซไนโตรสออกไซด์น้อยกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ยางานทดลองของ Kaewpradit และคณะ (26) กลับพบว่ากรรมวิธีการไถกลบฟางข้าวนั้นมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซไนโตรสออกไซด์สะสม (cumulative nitrous oxide emission) จากนาชลประทานที่มีน้ำขังตลอดฤดูการเพาะปลูกสูงกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

แม้ว่าฟางข้าวและพืชปุ๋ยสดที่ถูกไถกลบลงนาจะมีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนโตรสออกไซด์โดยตรง แต่เนื่องจากกระบวนการเกิดก๊าซทั้งสองส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการทำงานของจุลินทรีย์ดิน ดังนั้นปัจจัยสิ่งแวดล้อมและการเกษตรกรรมต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ดิน ย่อมมีผลต่อการเกิดก๊าซทั้งสองด้วยเช่นกัน

## 7. ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนโตรสออกไซด์จากนาข้าว

### 7.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

(i) การปลูกข้าวและวิธีการเพาะปลูกข้าว  
Chawanakul และคณะ (32) พบว่าดินชนิดเดียวกันหากมีการปลูกข้าว อัตราการปลดปล่อยก๊าซ

มีเทนจะสูงกว่าดินที่ไม่ปลูกข้าว เนื่องจากดินที่ใช้ปลูกข้าวนั้นมีระบบราก (root system) ภายหลังเมื่อรากถูกย่อยสลายกลายเป็นอินทรีย์วัตถุ เกิดเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการ methanogenesis การปลูกข้าวในปัจจุบันสามารถปลูกได้ 2 วิธีใหญ่ๆ คือการหว่าน (broadcasting) และการปักดำ (transplanting) ซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้มีวิธีการเตรียมดินที่ต่างกัน โดยที่การปลูกข้าวแบบปักดำนั้นจะมีการไถพรวนหลายครั้งเพื่อให้สามารถปักดำได้ นำไปสู่การทำลายโครงสร้างดินทำให้ดินทึบและเกิดสภาพขาดออกซิเจน (anaerobic condition) มากกว่านาหว่าน Corton และคณะ (33) รายงานว่านาหว่านสามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้ 16-54 % เมื่อเปรียบเทียบกับนาดำ

#### (ii) ปริมาณน้ำในดิน

เนื่องจากกระบวนการ methanogenesis เกิดขึ้นในสภาพขาดออกซิเจน ดังนั้นความชื้นในดินจึงมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับการเกิดก๊าซมีเทน จากการศึกษาของ Yang and Chang (34) พบความสัมพันธ์ในทางบวกระหว่างปริมาณก๊าซมีเทนและปริมาณน้ำในดินระหว่าง 16.7 - 66.7 % โดยปริมาณน้ำในดินระหว่าง 50 - 66.7 % เป็นระดับที่เหมาะสมกับการเกิดก๊าซมีเทนมากที่สุด

#### (iii) ชนิดของปุ๋ยเคมี

การใส่ปุ๋ยเคมีมีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนน้อยกว่าปุ๋ยอินทรีย์ การใช้ปุ๋ยเคมีแอมโมเนียมซัลเฟตมีแนวโน้มที่จะลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้มากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนในรูปแบบอื่น ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตมีอนุมูลซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในลำดับก่อนหน้าการเกิดก๊าซมีเทน และส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์อนุมูล  $\text{SO}_4^{2-}$  (sulfate reducing bacteria) จึงยับยั้งการเจริญเติบโตรวมถึงลดกิจกรรมของ methanogen (35)

#### (iv) ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (soil pH) และเนื้อดิน

กระบวนการเกิดก๊าซมีเทนเป็นการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดกลุ่ม methanogen ดังนั้น pH ของดินที่มีผลต่อการทำงานของ methanogen ย่อมมีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนด้วย ระดับ pH ของดินที่เหมาะสมต่อการทำงาน

ของจุลินทรีย์ชนิดกลุ่ม methanogen มีค่าอยู่ระหว่าง 5.0-6.5 (36)

เนื้อดินเป็นลักษณะทางกายภาพของดินอีกอย่างหนึ่งที่มีผลให้ข้าวปลดปล่อยก๊าซมีเทนในปริมาณที่ต่างกัน ดินที่มีเนื้อหยาบหรือมีปริมาณของอนุภาค sand มากจะปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้มากกว่าดินที่มีเนื้อละเอียดหรือมีอนุภาค clay มาก ทั้งนี้เนื่องจากดินที่มีเนื้อละเอียดจะมีช่องว่างดินขนาดใหญ่ (macropore) น้อยกว่า จึงสามารถจับ (trapped) ก๊าซมีเทนไว้ในช่องว่างดินได้นานกว่า ทำให้จุลินทรีย์ชนิดกลุ่มที่ใช้ก๊าซมีเทน (methanotroph) มีโอกาสออกซิไดซ์ (oxidized) ก๊าซมีเทนให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ก๊าซมีเทนถูกปลดปล่อยน้อยลง

**7.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากนาข้าว**

- (i) ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดิน  
อินทรีย์ไนโตรเจนเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการ denitrification จึงทำให้อินทรีย์ไนโตรเจนมีความสำคัญอย่างยิ่งในการส่งเสริมการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนในรูป ammonium ภายหลังจากผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ในโตรเจนจะอยู่ในรูปอนุมูล  $NH_4^+$  นอกจากนี้ฟางข้าวและพืชปุ๋ยสดที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย ในโตรเจนจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูป  $NH_4^+$  ผ่านกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) ซึ่ง  $NH_4^+$  เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ผลิตภัณฑ์ที่ได้คืออนุมูล  $NO_3^-$  ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการ denitrification ต่อไป มีผลทำให้ปริมาณอนุมูล  $NO_3^-$  มีความสัมพันธ์ทางบวกกับการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์
- (ii) สัดส่วนระหว่างอากาศและน้ำในดิน  
การสูญเสียไนโตรเจนในรูปก๊าซไนตรัสออกไซด์นั้นเกิดขึ้นจากกระบวนการ denitrification ซึ่งเกิดขึ้นในสภาพขาดออกซิเจน การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จึงขึ้นอยู่กับสัดส่วนระหว่างอากาศและน้ำในดินภายในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (37) การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับปริมาณน้ำในดิน ปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์ถูกปลดปล่อยมากที่สุดเมื่อ

มีปริมาณน้ำในดินมีค่าอยู่ระหว่าง 80-85 % ของ water filled pore space (wfps)

- (iii) ความเป็นกรด-ด่างของดินและเนื้อดิน  
จุลินทรีย์ชนิดในกระบวนการ denitrification ทำงานได้ดีเมื่อดินมี pH มีค่าประมาณ 4.0-5.5 ขึ้นไป (38) โดยที่ Simek และคณะ (39) พบว่า pH ระหว่าง 6.6-8.3 เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการเกิด denitrification ดินเหนียวมีแนวโน้มปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์สูงกว่าดินทรายปนร่วน (loamy sand) ร่วนปนทราย (sandy loam) และดินทราย (sand) (40) ทั้งนี้เนื่องจากพื้นผิวส่วนใหญ่บนดินเหนียวมีประจุลบ ทำให้อนุมูล  $NH_4^+$  ซึ่งเป็นตัวตั้งต้นกระบวนการ nitrification สามารถยึดเกาะได้มากกว่า อีกทั้งยังมีช่องว่างขนาดเล็ก (micropore) ซึ่งเป็นที่อยู่ของน้ำมากกว่า ลักษณะทั้ง 2 นั้นมีความสัมพันธ์ทางบวกต่อการเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์
- (iv) การไถพรวน  
การไถพรวนเป็นการเพิ่มออกซิเจนและการระบายน้ำแก่ดิน การอัดตัวแน่นของดินมีสาเหตุจากน้ำหนักกดทับของรถแทรกเตอร์หรือสัตว์ทะเล็มล้วนส่งเสริมการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ เนื่องจากเป็นการลดปริมาณช่องว่างและอากาศในดิน นำไปสู่สภาพ anaerobic และกระบวนการ denitrification

**8. แนวทางการไกลบฟางข้าวและพืชปุ๋ยสดลงนาข้าว**

**8.1 นาชลประทาน**

งานทดลองหลายงานทดลองพบว่า การเพิ่มอินทรีย์วัตถุหรือพืชปุ๋ยสดให้แก่ดินเป็นการส่งเสริมการปลดปล่อยก๊าซมีเทนให้เพิ่มขึ้น (25, 33, 4, 30, 26) แต่วิธีการจัดการปุ๋ยอินทรีย์หรือพืชปุ๋ยสดที่เหมาะสมน่าจะเป็นแนวทางปฏิบัติในการให้ปุ๋ยอินทรีย์หรือพืชปุ๋ยสดแก่นาข้าวได้ Praphai และคณะ (41) พบว่ากรรมวิธีที่ขังน้ำทันทีภายหลังดินได้รับฟางข้าวจะมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าประมาณ 4-10 เท่าของกรรมวิธีที่ทิ้งฟางข้าวไว้เป็นเวลา 1 อาทิตย์จึงทำการขังน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากกรรมวิธีที่ทิ้งฟางข้าวไว้เป็นเวลา 1 อาทิตย์ก่อน





ฟางข้าวเป็นวัสดุอินทรีย์ในการโลกกลบนั้น การโลกกลบฟางข้าวไว้เป็นเวลา 1 อาทิตย์ก่อนการขังน้ำ (41) การหมักฟางข้าวก่อนการโลกกลบ (42) หรือการระบายน้ำออกจากแปลงนาเพื่อหลีกเลี่ยงสภาพน้ำขังตลอดทั้งฤดูปลูกเป็นแนวทางการจัดการน้ำที่สามารถช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (4) ในขณะที่น้ำนาฝนที่มีสภาพเป็ยกสลับแห้งจะเอื้อให้เกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์จึงควรหลีกเลี่ยงพืชปุ๋ยสดเพราะส่งเสริมให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ฟางข้าวที่มี C:N ratio สูงเป็นวัสดุอินทรีย์ที่เหมาะสม (31) อย่างไรก็ตามการโลกกลบฟางข้าวที่มีอัตราส่วนC:N ratioสูงในสภาพแห้งนั้น อาจส่งเสริมทำให้เกิดกระบวนการ immobilization ภายหลังจากโลกกลบได้ ดังเช่นงานทดลองของ Vityakon และคณะ (27) การใช้ฟางข้าวหมักจึงเป็นแนวทางที่น่าจะส่งผลดีต่อผลผลิตข้าวมากกว่าวิธีอื่นๆ ถึงแม้ว่าภาวะโลกร้อนจะทวีความรุนแรงมากขึ้นในปัจจุบันและการโลกกลบเศษซากพืชลงนา อาจส่งเสริมให้ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นในบางสภาพ หากเกษตรกรมีความเข้าใจการจัดการฟางข้าวและพืชปุ๋ยสด ย่อมเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินนาและลดความรุนแรงของภาวะโลกร้อนได้ อย่างไรก็ตามการโลกกลบฟางข้าวและพืชปุ๋ยสดลงนาโดยคำนึงถึงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์นั้น ควรศึกษาเพิ่มเติมควบคู่กับผลผลิตข้าวที่ได้รับ เพื่อให้เกิดแนวทางปฏิบัติที่สามารถรักษาเสถียรภาพผลผลิตข้าว ความยั่งยืนของระบบนาข้าวและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไป

## 10. เอกสารอ้างอิง

- (1) IRRI (International Rice Research Institute) [Internet]. 2012 [cited 2012 October 15]. Rice production and processing. Available from: <http://www.irri.org>.
- (2) Toomsan B, Limpinuntana V, Sripa P, Phaophuree P, Maneekan S, Sanitchon J, et al. Nitrogen fixation of some groundnut varieties and nitrogen residual effect on rice. Report of National Groundnut Seminar XI. Jansomthara hotel, Ranong province, 17-21 May 1993;1996. Thai.
- (3) McDonagh, J F, Toomsan B, Limpinuntana V, Giller K E. Grain legumes and green manures as pre-rice crops in Northeast Thailand I. Legume N<sub>2</sub> fixation, production and residual nitrogen benefit to rice. PLANT SOIL. 1995; 177: 111-126.
- (4) Yang Shang-Shyng, Chang Hsiu-Lan. Effect of green manure amendment and flooding on methane emission from paddy fields. CHEMOSPHERE - Global Change Science. 2001; 3: 41-49.
- (5) Kaewpradit W, Toomsan B, Vityakon P, Limpinuntana V, Saenjan P, Jogloy S, et al. Mixing groundnut residues and rice straw to improve rice yield and nitrogen use efficiency. FIELD CROP RES. 2009; 110: 130-138.
- (6) Datta A, Santra S C, Adhya T K. Relationship between CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O flux from soil and their ambient mixing ratio in A Riparian rice-based agroecosystem of tropical region. J ENV MONIT. 2001; 13 (12): 3469-3474.
- (7) Insum H, Wett B. Control of GHG emission at the microbial community level. WASTE MANAGE. 2008; 28 (4): 699-706.
- (8) Forster P, Ramaswamy V, Artaxo P, Bernsten T, Betts R, Fahey D W, Haywood J, Lean J, Lowe D C, Myhre G, Nganga J, Prinn R, Raga G, Schulz M, Van Dorland R. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K B, Tignor M, Miller H L, Editors. Climate Change 2007: the Physical Science Basis. Contribution of Working

- Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.
- (9) Datta A, Santra S C, Adhya T K. Effect of inorganic fertilizers (N, P, K) on methane emission from tropical rice field of India, *ATMOS ENVIRON*. 2012; <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.09.001>
- (10) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2007.
- (11) Wang J Y, Jia J X, Xiong Z Q, Khalil M A K, Xing G X. Water regime–nitrogen fertilizer–straw incorporation interaction: Field study on nitrous oxide emissions from a rice agroecosystem in Nanjing, China. *AGRIC ECOSYST ENVIRON*. 2011; 141: 437–446.
- (12) Khalil M A K, Rasmussen R A, Shearer M J. Atmospheric nitrous oxide: patterns of global change during recent decades and centuries. *CHEMOSPHERE*. 2002; 47: 807–821.
- (13) CDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center) [Internet]. 2012 [cited 2012 October 15]. Carbon Dioxide Information Analysis Center. Available from: <http://cdiac.esd.ornl.gov>.
- (14) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) [Internet]. 2007 [cited 2012 October 19] Available from: URL:<http://www.oae.go.th>
- (15) Nitaya Nakranad Milln, Bhunchop Shutamanuswong. 2008. How organic agriculture mitigate global warming. *Green research*. 2008; 5 (10): 8-11. Thai.
- (16) Office of Agricultural Economics [Internet]. 2012 [cited 2012 October 19]. Agricultural economical data. Land use. Available from: URL:<http://www.oae.go.th>. Thai.
- (17) Gadde B, Menke C, Wassmann R. Rice straw as a renewable energy source in India, Thailand, and the Philippines: Overall potential and limitations for energy contribution and greenhouse gas mitigation. *BIOMASS BIOENERG*. 2009; 33: 1532-1546.
- (18) Institute of trade strategies, [Internet]. 2013 [cited 2013 January 19]. Continuous growing of potential marketing. Available from: [http://utcc2.utcc.ac.th/tradestrategies/article\\_trade/article\\_2.htm](http://utcc2.utcc.ac.th/tradestrategies/article_trade/article_2.htm).
- (19) Peoples M B, Faizah A W, Rerkasem B, Herridge D F. Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legume in the field. Australian Center for International Agriculture Research. Canberra : 76p; 1989.
- (20) Information center, Department of Agricultural Extension [Internet]. 2012 [cited 2012 October 10]. Irrigation Project Annual Report 2011. Available from: [http://www.rid.go.th/2009/\\_data/docs/stat53.pdf](http://www.rid.go.th/2009/_data/docs/stat53.pdf).
- (21) Khao Khaw foundation [Internet]. 2012 [cited 2012 October 10]. Type of rice. Available from: <http://www.khaokwan.org/rice.html>.
- (22) Vogels G D, Keltjens J T, Van De Drift C. Biochemistry of CH<sub>4</sub> production. In: Zehnder A J B, editor, *Biology of Anaerobic Microorganisms*. John Wiley & sons; 1988.
- (23) Patcharee Sanjan. Paddy Soil Science. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University; 1998.
- (24) Stevenson F J. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrient. John Wiley

- and Sons. New York. USA; 1986.
- (25) Neue H U, Wassmann R, Lantin R S, Alberto MA C R, Anuda J B, Javellana A M. Factors affecting methane emission from rice fields. *ATMOS ENVIRON*. 1995; 30: 1751-1754.
- (26) Kaewpradit W, Toomsan B, Vityakon P, Limpinuntana V, Saenjan P, Jogloy S, et al. Regulating mineral N release and greenhouse gas emissions by mixing groundnut residues and rice straw in field conditions. *EUR J SOIL SCI*. 2008; 59: 640-652.
- (27) Vityakon P, Meepech S, Cadisch G, Toomsan B. Soil organic matter and nitrogen transformation mediated by plant residues of different qualities in sandy acid upland and paddy soil. *NETH J AGR SCI*. 2000; 48: 1-16.
- (28) Constantinides M, Fownes J S. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plant : Relationship to nitrogen, lignin, and soluble polyphenol concentration. *SOIL BIOL BIOCHEM*. 1994; 26: 49-55.
- (29) Fox R H, Myers R J, Vallis I. The nitrogen mineralization rate of legume residues in the soil as influenced by their polyphenol, lignin and nitrogen contents. *PLANT SOIL*. 1990; 129:251-259.
- (30) Khalil M I, Inubishi K. Possibilities to reduce rice straw-induced global warming potential of a sandy paddy soil by combining hydrological manipulations and urea-N fertilizations. *SOIL BIOL BIOCHEM*. 2007; 39: 2675–2681.
- (31) Huang Y, Zou J, Zheng X, Wang Y, Xu X. Nitrous oxide emissions as influenced by amendment of plant residues with different C:N ratios. *SOIL BIOL BIOCHEM*. 2004; 36: 973-981.
- (32) Chawanakul S, Chaiprasert P, Towprayoon S, Tanticharoen M. Methane production and population dynamics of acetoclastic methanogens in rice rooted and non-rooted soils. 17<sup>th</sup> World Congress of Soil Science. 14-20 August 2002. Queen Sirikit National Convention Center. Bangkok. Thailand. 11p; 2002.
- (33) Corton T M, Bajita J B, Grospe F R, Pamplona R R, Asis Jr. C A, Wassmann R, et al. 2000. Methane emission from irrigated and intensively managed rice fields in Central Luzon (Philippines). *NUTR CYCL AGROECOSYS*. 2000; 58 (1-3): 37-53.
- (34) Yang S S, Chang H L. Effect of environmental conditions on methane production and emission from paddy soil. *AGRIC ECOSYST ENVIRON*. 1998; 69:69-80.
- (35) Denier van der Gon, Neue H U. Impact of gypsum application on the methane emission from a wetland rice field. *GLOBAL BIOGEOCHEM CY*. 1994; 8: 127-134.
- (36) Le Mer J, Roger P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: a review. *EUR J SOIL BIOL*. 2001; 37:25-50.
- (37) Skiba U, Smith K A. The control of nitrous oxide emissions from agriculture and natural soils. *CHEMOSPHERE – Global Change Science*. 2000; 2: 379 -386.
- (38) Sakhon Phongphan. Improve efficiency of nitrogen fertilizer in paddy field. *Soil and Fertilizer Journal*. 1987; 9(3):22 – 28. Thai.
- (39) Simek M, Jisova L, Hopkins D W. What is the so-called optimum pH for denitrification in soil ? *SOIL BIOL BIOCHEM*. 2002; 34: 1227 – 1234.
- (40) Hong Ding, Cai Guixin, Wang Yuesi, Chen Deli. Nitrification-denitrification loss and N<sub>2</sub>O emission from urea applied to crop-soil systems in North China plain. 17<sup>th</sup> World Congress of Soil Science. 14-20 August 2002. Queen Sirikit National Convention; 2002.

- (41) Praphai Chairaj, Suphakan Loanmanee, Watanabe T, Tsuruta H, Minami K. Nitrous oxide emission from upland soil. *Soil and Fertilizer Journal*. 1998; 20 (4): 136 – 146. Thai.
- (42) Verma T S, Bhagat R M. Impact of rice straw management practices on yield, nitrogen uptake and soil properties in a wheat-rice rotation in northern India. *FERT RES*. 1992; 33: 97-106.
- (43) Zou J, Y Huang, J Jiang, X Zheng, Ronald L R. A 3-year field measurement of methane and nitrous oxide emissions from rice paddies in China: effect of water regime, crop residue, and fertilizer application. *GLOBAL BIOGEOCHEM CY*. 2005; 19: GB2021, doi:10.1029/2004GB002401.
- (44) Bijay-Singh, Shan Y H, Johnson-Beebout S E, Yadvinder-Singh, Buresh R J. Chapter 3 crop residue management for lowland rice-based cropping systems in Asia. *ADV AGORN*. 2008; 98: 117-199.