บทที่ 2
การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในสถานการณ์ปัจจุบัน อำนาจการต่อรองของประเทศไทย ในตลาดพืชผลทางการเกษตรของโลกได้ถูกลดลง อันเป็นผลสืบเนื่องมาจากความเสื่อมโทรมของสภาพแวดล้อม ที่มีสาเหตุหลักอยู่สองประการ สาเหตุหนึ่งเป็นผลจากการปนเปื้อนของสารเคมีสู่สิ่งแวดล้อม ส่วนอีกสาเหตุหนึ่งนั้นเป็นผลกระทบที่เกิดต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ซึ่งจากการประชุมสหประชาชาติว่าด้วยการพัฒนาสิ่งแวดล้อม (United Nations Conference on Environment and Development : UNCED) ประเทศไทยได้ลงนามในอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก(Convention on Climate Change) จึงมีข้อผูกพันประการสำคัญคือ การจัดทำบัญชีแห่งชาติ ว่าด้วยปริมาณการปลดปล่อยและกักเก็บก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ และ การเสนอมาตรการการปรับตัวและบรรเทาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ข้าว เป็นผลผลิตทางเกษตรสำคัญที่ทำให้ประเทศไทย ประหนึ่งมีส่วนร่วมในการสร้างปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกข้าวอันดับหนึ่งของโลกมาโดยตลอด และประกอบกับที่ได้มีการพิสูจน์ในระดับหนึ่งว่า นาข้าวเป็นแหล่งผลิตและปลดปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศอันเนื่องมาจากกิจกรรมมนุษย์มากที่สุดแหล่งหนึ่ง ซึ่งก๊าซมีเทน (CH_4) ถือได้ว่า เป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ อันได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide : CO_2) มีเทน (Methane : CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (Nitrous oxide : N_2O) คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (Chlorofluorocarbons : CFC_s) และ ไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน(Hydrochloro fluorocarbons : $HCFC_s$)

2.1 แนวทางในการลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

ภายใต้สภาพที่น้ำท่วมขังในนาข้าว การแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างดินและบรรยากาศจะถูกยับยั้งอย่างรุนแรง ทำให้ดินขาดออกซิเจนและกลายเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทน(Methane producing bacteria) โดยมีต้นข้าวเป็นเส้นทางหลักของการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ(Intergovernment Panel on Climate Change : IPCC, 1996) ในการศึกษาวิจัยเพื่อผลการลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ

(International Rice Research Institutes : IRRI, 1995) ได้เสนอทางเลือกในการลดก๊าซมีเทนที่ปล่อยจากนาข้าว ไว้ดังนี้

<u>การจัดการน้ำ</u>

- การระบายออกเพียงครั้งเดียวตลอดฤดูกาลเพาะปลูกข้าว สามารถลดก๊าซมีเทนได้ถึง 50 %
- การเลือกระยะเวลาที่จะทำการระบายน้ำออก ต้องศึกษาโดยละเอียดเพราะข้าวเป็นพืชที่ไม่ทนต่อการขาดน้ำ

<u>การใส่ปุ๋ย</u>

- ปุ๋ยไนโตรเจนแต่ละชนิดมีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนไม่เท่ากัน การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่มีโซเดียมซัลเฟตเป็นส่วนประกอบ สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซมีเธนได้ดีกว่าการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต(Lindau *et al.*, 1994)
- การใส่ปุ๋ยแบบคลุกเคล้ากับดินจะสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้ดีกว่าการใส่ปุ๋ยแบบหว่าน (Minami, 1994)

<u>การให้สารอินทรีย์</u>

- ในการใส่ปุ๋ย ควรลดการใช้ปุ๋ยพืชสด และควรใช้ปุ๋ยหมัก

<u>พันธุ์ข้าว</u>

- พันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่มีลำต้นสูง แตกหน่อมาก และรากยาว เป็นลักษณะของพันธุ์ข้าวที่ปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูง
- พันธุ์ข้าวสมัยใหม่ที่ให้ผลผลิตสูง ฤดูกาลเพาะปลูกสั้น มีแนวโน้มที่จะปล่อยก๊าซมีเทนออกมาน้อย

<u>วิธีการเพาะปลูก</u>

- ลดการเตรียมพื้นที่ การดำนา การกำจัดวัชพืช และการให้ปุ๋ย
- ปลูกข้าวโดยการหว่านเมล็ด ทำให้ดินไม่ถูกรบกวนและปลดปล่อยมีเทนออกมาน้อย

<u>การใส่สารยับยั้งการผลิตมีเทน</u>

- สารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดก๊าซ ได้แก่ ปุ๋ยไนโตรเจนที่มีซัลเฟตเป็นส่วนประกอบ เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียม และ โซเดียมซัลเฟต
- การปลดปล่อยก๊าซอเซทีลีนทีละน้อยจากแคลเซียมคาร์ไบด์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของปุ๋ยเม็ดสามารถลดการเกิดก๊าซมีเทนลงได้มาก

การพัฒนามาตรการจำกัดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนควรพิจารณาจากความเป็นไปได้ในการนำมาตรการดังกล่าวมาปรับใช้ให้เหมาะสมกับหลักการจัดการพื้นที่เพาะปลูก การปลดปล่อยก๊าซมีเทนสามารถลดลงได้โดยอาศัยการจัดการน้ำ เศษเหลือจากการเกษตร ปุ๋ย และพันธุ์ข้าว มาตรการที่สามารถนำมาใช้ได้จริงจะต้องไม่ทำให้ผลผลิตลดลง แต่จะต้องช่วยในการปรับปรุงปริมาณและคุณภาพของผลผลิตได้

อย่างไรก็ตามการศึกษาทางเลือกและความคุ้มทุนของทางเลือกในการลดก๊าซมีเทนจากนาข้าวยังมีน้อย และเมื่อพิจารณาในด้านของผลผลิตด้วยแล้วจะพบว่ามีข้อจำกัดในการนำแต่ละมาตรการมาปรับใช้ให้เหมาะสมกับรูปแบบการเพาะปลูก จากข้อมูลการศึกษาของสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI, 1997) ได้รายงานว่าความเป็นไปได้ในการนำมาตรการจำกัดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวมาใช้กับนาข้าวชนิดนาสวนมีค่อนข้างน้อย เนื่องจากวิธีลดการไถพรวนและปริมาณการใส่อินทรียวัตถุเป็นมาตรการที่สามารถนำมาใช้ได้ดีกับการปลูกข้าวชนิดนาข้าวขึ้นน้ำ แต่มีความเป็นไปได้น้อยที่จะนำวิธีดังกล่าวมาปรับใช้กับนาสวน ในขณะที่การใส่สารยับยั้งการผลิตมีเทนต้องใช้ต้นทุนสูง ส่วนเกณฑ์การปรับเปลี่ยนพันธุ์ข้าวในปัจจุบันยังยึดอยู่ที่คุณภาพและปริมาณผลผลิตเป็นสำคัญ ดังนั้นการจัดการน้ำจึงดูจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมและมีความเป็นไปได้สูงกว่า เพราะเป็นวิธีการที่มีโอกาสรักษาระดับผลผลิตได้ด้วยในเวลาเดียวกันหากมีการจัดการที่เหมาะสม

2.2 การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

2.2.1 กลไกการเกิดก๊าซมีเทนในนาข้าว

ดินที่ปลูกข้าวในสภาพน้ำขัง จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นวงจร คือ สภาพน้ำขัง และสภาพดินแห้งสลับกันไป โดยในขณะที่น้ำขังอยู่นั้น ความเสถียรของน้ำจะมีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของดินและประชากรจุลินทรีย์ กล่าวคือ น้ำที่ขังอยู่จะทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างในช่องว่างดินกับอากาศถูกยับยั้ง ดินจึงอยู่ในสภาพที่ขาดออกซิเจน ในช่วง 1-12 ซม.จากผิวดิน จุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทน(Methane producing bacteria) จะได้รับพลังงานจากการย่อยสลายกรดไขมันอย่างง่าย เช่น กรดฟอร์มิค(Formic acid) กรดอะซีติค(Acetic acid) กรดโพรพาโนอิค (Propanoic acid) และสารประกอบอัลกอฮอล์อย่างง่ายบางชนิด เช่น เมธานอล (Methanol) และ เอธานอล (Ethanol) โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเล็คตรอนในกระบวนการหายใจ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกรีดิวซ์จะเกิดเป็นก๊าซมีเทน (CH_4)

ดังนั้นในดินที่ปลูกข้าวนี้ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเกิดขึ้น คือ สภาพที่มีออกซิเจน (Aerobic หรือ Oxidative) และสภาพที่ไร้ออกซิเจน(Anaerobic หรือ Reductive) ในดินที่มีออกซิเจนปรากฏอยู่ องค์ประกอบต่าง ๆ ของดินที่ถูกออกซิไดซ์ เช่น ไนเตรท แมงกานีส ซัลเฟต และคาร์บอนไดออกไซด์ จะถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็คตรอนในปฏิกิริยารีดักชั่น แต่เมื่อดินนามีน้ำท่วมขัง การแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างอากาศในดินและบรรยากาศจะถูกยับยั้งอย่างรุนแรง อัตราการแพร่กระจายของออกซิเจนผ่านน้ำจะเกิดขึ้นช้ามาก(ประมาณ 1/10,000 เท่าของในบรรยากาศ) (Armstrong, 1979; Wang *et al.*, 1995) ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่ขังและในดินจะถูกจุลินทรีย์ในดินนำไปใช้ในการหายใจอย่างรวดเร็ว หลังจากที่ดินนามีน้ำท่วมขัง กิจกรรมของจุลินทรีย์พวกที่ใช้ออกซิเจนก็จะหมดไป ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์พวกฟาคัลเตทีฟ แอนแอโรบิค (Facultative anaerobe) ก็จะมีเพิ่มขึ้น จุลินทรีย์พวกนี้สามารถใช้สารประกอบอนินทรีย์หรือสารประกอบอินทรีย์ที่ได้จากการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดินเป็นตัวรับอิเล็คตรอน ซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยารีดักชั่นขององค์ประกอบต่าง ๆ ในดินที่ถูกออกซิไดซ์ดังนี้(ตารางที่ 2.1) คือ

ตารางที่ 2.1 ลำดับการใช้สารเป็นตัวรับอิเลคตรอนในแง่ที่สัมพันธ์กับค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของสภาพแวดล้อมในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

ตัวรับอิเล็ตตรอน และ ผลของปฏิกิริยารีดักชั่น	กระบวนการที่เกิดขึ้น	ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล* ที่สภาพพีเอ็ชเท่ากับ 7	ตัวอย่างสิ่งมีชีวิต ที่เกี่ยวข้อง
$O_2 + e^- \rightarrow H_2O$	Aerobic respiration	+820	รากพืช, สัตว์ และแบคทีเรียพวกที่ต้องการอากาศ
$NO_3 + e^- \rightarrow N_2$	Denitrification	+420	Pseudomonas
$Mn^{+4} + e^- \rightarrow Mn^{+2}$	Manganese reduction	+410	Bacillus
Organic matter + $e^- \rightarrow$ Organic acids	Fermentation	+400	Clostridium
$Fe^{+3} + e^- \rightarrow Fe^{+2}$	Iron reduction	-180	Pseudomonas
$SO_4^{2-} + e^- \rightarrow S^{2-}$	sulfate reduction	-220	Desulfovibrio
$CO_2 + e^- \rightarrow CH_4$	Methane reduction (Methanogenesis)	-240	Methanobacterium

* รีดอกซ์โพเทนเชียล หมายถึง ศักยภาพของระบบหรือสภาพแวดล้อมในดินในการให้(reduce)หรือรับ(oxidise)อิเล็กตรอน แก่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์(2531)ได้อธิบายถึงปฏิกิริยารีดักชั่นเหล่านี้ว่า จะเกิดขึ้นตามลำดับ และเกิดขึ้นในช่วงของค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (Redox potential : Eh) ที่เฉพาะเจาะจง และเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์เฉพาะกลุ่ม โดยเริ่มจากพวกที่ต้องการออกซิเจน(Aerobes) พวกที่อยู่ได้ทั้งในที่มีออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจน(Facultative anaerobes) และพวกที่อยู่ไม่ได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน(Obligate Strict anaerobes)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับก๊าซมีเทนในนาข้าวมีด้วยกัน 5 รูปแบบ (รูปที่ 1) คือ

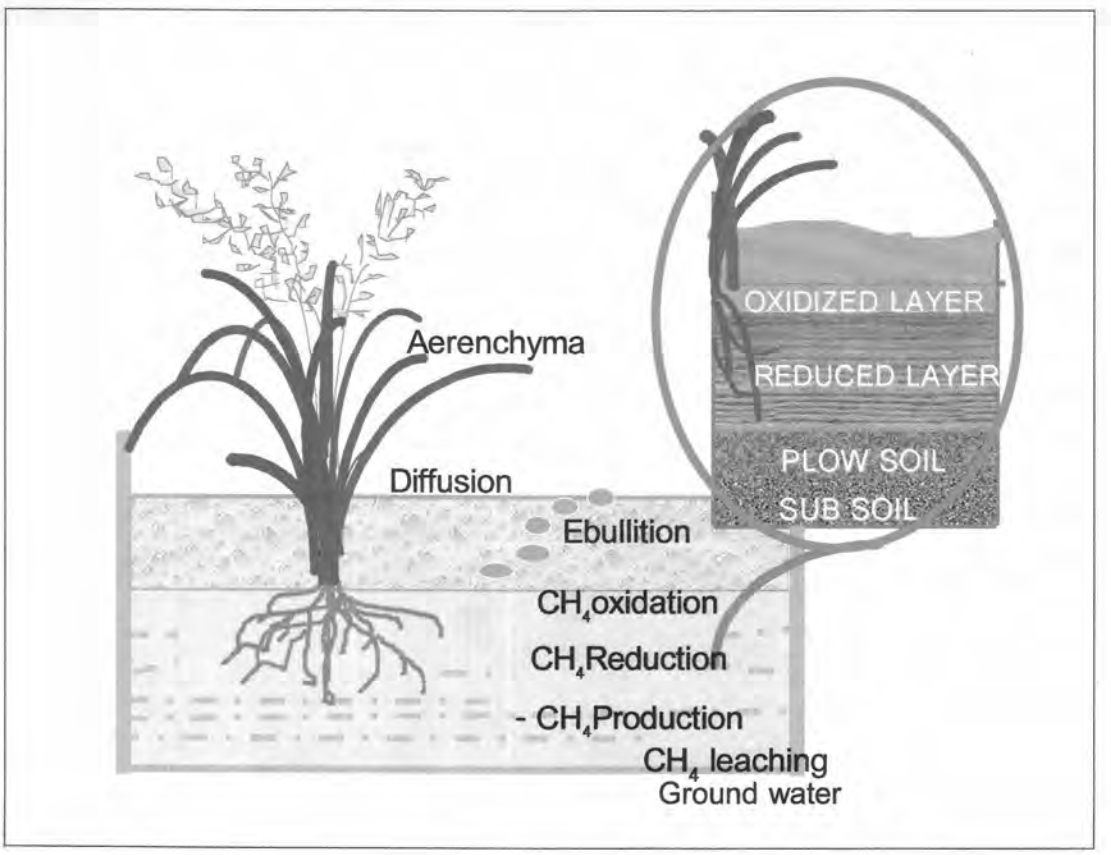
1. **ปฏิกิริยาออกซิเดชัน** (Oxidation) ก๊าซมีเทนจะถูกนำไปใช้โดยแบคทีเรียจำพวกเมธาโนโทรป (Methanotrophic Bacteria) ในระหว่างที่ถูกออกซิไดส์ขณะผ่านผิวดินชั้นบนซึ่งหนาประมาณ 0 - 1 เซนติเมตร (Holzapfel - Pshorn and Seiler, 1986 ; Schutz *et al.*, 1989)

2. **การเคลื่อนมวลสาร** (Mass flow) ก๊าซมีเทนที่ละลายอยู่ในสาระละลายดินจะถูกเคลื่อนย้ายลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน ปริมาณของก๊าซมีเทนที่ซึมลงสู่น้ำใต้ดินนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลผ่านของก๊าซในนาข้าวทั่ว ๆไปจะลดลงอย่างมากเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของข้าวที่แตกกอ อัตราการไหลผ่านที่สูงมากจะเกิดในดินร่วนหรือดินในช่วงหลังการระบายน้ำ โดยการเพิ่มขึ้นของออกซิเจนและค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน(Soil Eh) จะเป็นตัวจำกัดการซึมลงของก๊าซมีเทนสู่น้ำใต้ดิน (Minami and Neue, 1994)

3. **การแพร่ผ่านชั้นน้ำ**(Diffusion) ภายใต้สภาพที่มีน้ำท่วมขังลึกมาก ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในตะกอนดิน น้ำ และอากาศ ทำให้ก๊าซมีเทนเกิดการแพร่ผ่านจากผิวดินและชั้นน้ำ ไปสู่บรรยากาศ (Kimura and Minami, 1995 ; Wang *et al.*, 1995)

4. **การเกิดฟองอากาศ** (Ebullition) อันเนื่องมาจากความดันก๊าซที่มีมากกว่าความดันน้ำ นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเนื้อดิน การรวมตัวของดิน การรบกวนของสัตว์หน้าดิน และการไถพรวนดินในระหว่างช่วงการเตรียมดินก่อนปลูกข้าว(Minami and Neue, 1994)

5. **การผ่านทางต้นข้าว**(Transport through aerenchyma) การปล่อยก๊าซมีเทนส่วนใหญ่หรือประมาณ 80 % ของก๊าซมีเทนที่เกิดจะถูกปล่อยสู่บรรยากาศผ่านทางต้นข้าว ซึ่งจะเกิดขึ้นโดยการแพร่ และการไหลของก๊าซเนื่องจากความดันของทั้งสองตำแหน่งต่างกัน ก๊าซมีเทนจะแพร่ผ่านสู่รากข้าวและจะลำเลียงผ่านช่องอากาศ(Aerenchyma) และ โพรงอากาศระหว่างเซล (Intercellular gas space) โดยมีกลไกการส่งผ่านแบบพาสซีป(Passive transported) แล้วจึงปล่อยออกมาทางรูเล็ก ๆ(Micropore) ของกาบใบ (Nouchi *et al.*, 1990 ; Sharkey *et al.*, 1991) ซึ่งความแปรผันของสัมประสิทธิ์การแพร่ของก๊าซจากรากสู่ช่องอากาศจะมีบทบาทสำคัญมากต่อความแตกต่างระหว่างปริมาณก๊าซมีเทนที่ถูกปล่อยจากนาข้าวแต่ละแห่ง(Neue, 1993)



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับก๊าซมีเทนในนาข้าว(ประยุกต์จาก สาระของรูปแบบปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับก๊าซมีเทนในนาข้าว)

ปัจจัยสำคัญในการเพาะปลูกข้าวที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว ได้แก่

1) **สภาพภูมิอากาศ**

อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจะมีค่าแปรผันในช่วงวัน โดยมีการปล่อยสูงสุดในช่วงเวลา 15.00-16.00 น. ซึ่งเป็นช่วงตรงกันกับที่อุณหภูมิอากาศและดินมีค่าสูงสุดในรอบวัน(Siriratpiriya *et al.*, 1995) เช่นเดียวกับ Katohและคณะ(1994) ที่พบว่าอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวที่บางเขนมีการแปรผันในช่วงวันอย่างเห็นได้ชัดในระยะที่ต้นข้าวสร้างเมล็ด โดยในช่วงบ่ายของวันจะมีอัตราการปล่อยสูงกว่าในช่วงอื่น ๆ ในขณะที่ช่วงกลางคืนและเช้ามืดจะมีอัตราการปล่อยต่ำกว่าในช่วงอื่น ๆ ของวัน ค่าการปล่อยในช่วงวันจะสูงที่สุดในเวลา 15.00 น. ค่าการปล่อยโดยเฉลี่ยของวันจะอยู่ที่ 21 มก./ตร.ม.-ชม. ซึ่งจะทำการตรวจวัดได้ในช่วงเวลาประมาณ 10.00 - 11.00 น. นอกจากนั้นยังทำการวัดอุณหภูมิของดินในทุกวันที่ความลึก 2, 5 และ 10 เซนติเมตร พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 22-29, 22-28, 23-26 c ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าการแปรผันในช่วงวันของอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนมีความสัมพันธ์อย่างมากกับอุณหภูมิดินที่ความลึก 2-5 เซนติเมตร

ส่วนการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวในระหว่างช่วงฤดูกาลเพาะปลูกนั้น การปลูกข้าวในฤดูแล้งจะมีการเกิดก๊าซมีเทนสูงกว่าการปลูกข้าวในฤดูฝน เนื่องจากได้รับแสงจากดวงอาทิตย์มากกว่าในฤดูฝน ทำให้ต้นข้าวเจริญเติบโตได้ดีและมีปริมาณต้นข้าวซึ่งเป็นทางผ่านของก๊าซมีเทนได้มาก(Neue *et al.*,1994) Yagi และคณะ(1994) ได้รายงานว่าอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวที่สุพรรณบุรีในฤดูแล้งมีค่า 32.2 มก./ตร.ม.-ชม. ซึ่งสูงกว่าอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากการปลูกข้าวบนพื้นที่เดียวกันในฤดูฝน ซึ่งมีค่าการปล่อยที่ 19.5 มก./ตร.ม.-ชม. นอกจากนั้นแสงอาทิตย์ที่ได้รับมากในฤดูแล้งยังทำให้อุณหภูมิดินเพิ่มสูงขึ้น อันจะส่งผลให้อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนในช่วงวันเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

2) **การเจริญเติบโตของต้นข้าว**

ก๊าซมีเทนที่ถูกผลิตขึ้นในดินนาจะอาศัยต้นข้าวเป็นทางผ่านก่อนถูกปล่อยสู่บรรยากาศ ในขณะที่การปล่อยก๊าซมีเทนในรูปของฟองก๊าซและการแพร่ผ่านชั้นน้ำก่อนที่จะถูกปล่อยสู่อากาศรอบ ๆ นั้นมีเพียงเล็กน้อย (Holzapfel - Pshorn and Seiler, 1986 ; Neue *et al*, 1992)

ด้วยเหตุนี้การเจริญเติบโตของต้นข้าวมีผลอย่างมากต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว ในนาข้าวที่มีน้ำท่วมขังอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวจะมีทิศทางการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว และปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในดินนา โดยอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจะเริ่มสูงขึ้นจากระยะต้นข้าวแตกกอ ระยะต้นข้าวตั้งท้อง จนสูงสุดในระยะต้นข้าวสร้างเมล็ด แล้วอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจะเริ่มลดลงในระยะเมล็ดสุกแก่ (Minami, 1994; Neue *et al.*, 1995; Siriratpiriya *et al.*,1995; Wang *et al.*, 1995; Yagi *et al.*, 1995)

ต้นข้าวมีการพัฒนาระบบของช่องอากาศภายในลำต้น(Aerenchyma) และ ช่องว่างระหว่างเซล (Intercellular gas-space) เพื่อประโยชน์ในการเพิ่มออกซิเจนให้แก่รากข้าว และเช่นกันที่ระบบช่องว่างระหว่างเซลนี้ จะสามารถเป็นทางผ่านของก๊าซชนิดอื่นจากดินไปสู่บรรยากาศได้ (Raskin and Kende, 1985 ; Denier van der gon and Van Breemen, 1993) เมื่อต้นข้าวมีอายุมากขึ้น ช่องอากาศภายในลำต้น(Aerenchyma) ซึ่งเป็นทางลำเลียงก๊าซภายในต้นข้าวจะมีขนาดและปริมาตรใหญ่ขึ้น ทำให้ความสามารถในการขนส่งก๊าซมีเทนของต้นข้าวมีมากขึ้น (Schutz *et al.*, 1989; Sharkey *et al.*, 1991) นอกจากนั้นการเพิ่มขึ้นหรือการขยายตัวของช่องว่างภายในลำต้นของข้าวยังมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับความรุนแรงของสภาพการขาดออกซิเจนในดินที่เกิดเนื่องมาจากการขังน้ำ (Kludze *et al.*, 1993) ดังนี้แล้วรูปร่างลักษณะ(Morphology)ของต้นข้าวที่ต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์จึงมีผลอย่างมากต่ออัตราการแพร่ของก๊าซในต้นข้าว นอกจากนั้นช่วงการเจริญเติบโตของพืชและการสังเคราะห์แสงในระหว่างวัน และอัตราการหายใจก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่อต้นข้าวซึ่งเป็นตัวกลางในการปล่อยก๊าซมีเทนขึ้นสู่บรรยากาศด้วยเช่นกัน(Bownman *et al.*, 1990)

ในปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับแหล่งดูดซับและปลดปล่อยก๊าซมีเทน ได้มีการนำวิธีการตรวจวัดจากไอโซโทปที่เสถียรและรังสีของคาร์บอนมาใช้ เพื่อให้สามารถศึกษาถึงปัจจัยที่ควบคุมเส้นทาง/ขั้นตอนการผลิต การออกซิเดชัน และการปล่อยสู่บรรยากาศ ตลอดจนปริมาณและความเข้มข้นของก๊าซมีเทนได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น โดยอาศัยหลักการเปรียบเทียบจากสัดส่วนของไอโซโทปโดยเฉลี่ยกับค่าไอโซโทปปกติของก๊าซในบรรยากาศ (Stanley *et al.*, 1994; Tyler *et al.*, 1997)

ทั้งนี้จากการศึกษาการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวของ Chanton และคณะ (1996) ซึ่งกระทำในนาข้าวที่รัฐหลุยส์เซียน่า สหรัฐอเมริกา พบว่า ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากนาข้าวนั้นประกอบด้วยไอโซโทปคาร์บอนชนิด ^{13}C เป็นหลัก (13 Enriched methane) ซึ่งจากการตรวจวิเคราะห์ตัว

อย่างอากาศที่ได้จากช่องว่างภายในลำต้นข้าวและปากใบ ตัวอย่างอากาศที่ถูกปล่อยจากการปลูกข้าว และก๊าซมีเทนจากดินที่ปลูกข้าว พบว่ามีสัดส่วนของไอโซโทปคาร์บอนชนิด ^{13}C ในปริมาณที่สัมพันธ์กันอย่างชัดเจน นอกจากนั้นยังพบว่า ปริมาณก๊าซมีเทนที่ปล่อยมีค่าแปรผันตามปริมาณมวลชีวภาพของต้นข้าวและอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนที่สูงสุดในช่วงวันนั้นเกิดขึ้นพร้อมกับการปล่อยออกของก๊าซมีเทน และการคายน้ำที่ปากใบ จึงกล่าวได้ว่า ก๊าซมีเทนถูกปล่อยออกมาโดยการแพร่ของโมเลกุลผ่านทางต้นข้าวเป็นเส้นทางหลัก โดยที่การแปรผันในช่วงวันของอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนนั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแล้ว ยังมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการคายน้ำของต้นข้าวอีกด้วย

3) จุลินทรีย์ดิน

ในนาข้าวช่วงที่มีน้ำท่วมขัง ดินนาจะอยู่ในสภาพที่ขาดออกซิเจน แอนแอโรบิกแบคทีเรียจะเป็นจุลินทรีย์ที่ทำกิจกรรมหลักในดิน การหายใจของแอนแอโรบิกแบคทีเรีย (Anaerobic bacteria) จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชั่นทางชีวที่ให้พลังงาน ซึ่งมีการใช้สารประกอบอินทรีย์เป็นตัวรับอิเล็คตรอน โดยแบคทีเรียเหล่านี้ได้รับพลังงานจากการย่อยสลายอินทรีย์สารต่าง ๆ ที่สะสมอยู่ในดิน สารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปสารประกอบที่ซับซ้อนจะถูกแอซิโดจีนิคแบคทีเรีย (Acidogenic bacteria) ย่อยสลายให้กลายเป็นสารประกอบที่อยู่ในรูปอย่างง่าย (Monomer) ซึ่งจะกลายเป็นสารตั้งต้นสำหรับอะซีโตจีนิค(Acetogenic bacteria) ในการย่อยสลายจนได้เป็นผลิตภัณฑ์ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน และกรดไขมันต่าง ๆ หลังจากนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายของ Acetogenic bacteria จะเป็นสารตั้งต้นสำหรับเมธาโนจีนิคแบคทีเรีย (Methanogenic bacteria) ซึ่งใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเล็คตรอน และไฮโดรเจนเป็นตัวให้อิเล็คตรอน หรืออีกนัยหนึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกรีดิวซ์จนได้ก๊าซมีเทน นอกจากนี้ยังอาจมีตัวรับอิเล็คตรอนอื่น ๆ อีก ที่เมธาโนจีนิคแบคทีเรียใช้เพื่อเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน เช่น อะซีเตท (Acetate), ฟอร์เมท(Formate), เมทานอล(Methanol) และเมทธิลลามีน(Methylamine) เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายของแบคทีเรียชนิดนี้จะมีก๊าซมีเทนเป็นสารหลัก (Boone, 1993)

อย่างไรก็ตามพื้นที่ที่เป็นแหล่งปล่อยก๊าซมีเทน ในบางครั้งสามารถเป็นแหล่งดูดซับก๊าซมีเทนได้เมื่อดินนั้นมีการถ่ายเทอากาศดี ปริมาณก๊าซมีเทนที่ถูกปล่อยจากนาข้าวจะมีปริมาณลดลงเนื่องจากจะมีแบคทีเรียพวกเมธาโนโทรป(Methanotroph) ซึ่งได้แก่ เมธิลโลแบคเทอร์(Methylobacter)

เมธิลโลคอคคัส(Methylococcus) เมธิลโลซิสทิส(Methylocystis) เมธิลโลโมแนส (Methylomonas) และ เมธิลโลซินุส(Methylosinus) เจริญอยู่ โดยออกซิเจนโมเลกุลนั้นจำเป็นสำหรับโมโนออกซีจิเนส(Monooxygenase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่แบคทีเรียนี้ใช้ในการย่อยสลายก๊าซมีเทน

นอกจากนั้นขั้นตอนต่าง ๆในระหว่างการเพาะปลูกของนาข้าวที่มีน้ำท่วมขัง เช่น การไถพรวน การเกิดเป็นหลุมเป็นบ่อ การปรับแต่งหน้าดิน การย้ายต้นกล้าลงดิน การใส่ปุ๋ย การกำจัดวัชพืชและแมลง หรือการเก็บเกี่ยวในดินที่ยังมีน้ำท่วมขัง จะมีผลทำให้ก๊าซมีเทนจำนวนมากที่ถูกเก็บอยู่ในดินถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ

2.2.2 ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

ก๊าซมีเทนที่ถูกปล่อยผ่านทางต้นข้าวนั้นมีปริมาณมาก และมีความแปรผันในปริมาณการปล่อย (Lindau *et al.*, 1994 ; Neue *et al.*,1994 ; Kimura and Minami, 1995 ; Minami, 1995) โดยทั่วไปแล้วอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจะสูงสุดในช่วงบ่าย และต่ำสุดในช่วงกลางคืนถึงตอนเช้ามืด แบบแผนของการปล่อยก๊าซมีเทนจะเป็นไปตามอุณหภูมิของดินและอากาศ ซึ่งดินที่มีอุณหภูมิต่ำจะมีการผลิตก๊าซมีเทนลดลง อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวจะมีทิศทางการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว และปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในดินนา โดยอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจะเริ่มสูงขึ้นจากระยะต้นข้าวแตกกอ ระยะต้นข้าวตั้งท้อง จนสูงสุดในระยะต้นข้าวสร้างเมล็ด แล้วอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจะเริ่มลดลงในระยะเมล็ดสุกแก่ นอกจากนี้ปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศ ดิน และน้ำก็ยังสามารถทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซจากนาข้าวแต่ละแห่งแตกต่างกันได้ (Neue *et al.*,1994 ; Kimura and Minami, 1995 ; Minami, 1995)

การศึกษาถึงการปล่อยออกของก๊าซมีเทนจากนาข้าวในพื้นที่ส่วนต่าง ๆ ของโลกนั้นยังมีอยู่น้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณพื้นที่จริง โดยเฉพาะในแถบเอเชียซึ่งเป็นแหล่งที่มีการปลูกข้าวมากที่สุดในโลก(มากกว่าร้อยละ 85 ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นประเทศในกลุ่มกำลังพัฒนา การตรวจวัดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวมีแค่ในบางพื้นที่ ทั้ง ๆ ที่มีหลายปัจจัยที่สามารถมีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซ

เมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 2.2 ซึ่งแสดงปริมาณก๊าซมีเทนที่ถูกปล่อยจากนาข้าวในแต่ละแห่งของโลก ที่เป็นผลจากการศึกษาวิจัยของบุคคลและคณะต่าง ๆ จะพบว่ามีความแตกต่างกันมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของวิธีการเพาะปลูก ช่วงเวลาที่ทำการเพาะปลูก ชนิดของดิน พันธุ์ข้าว การจัดการดิน น้ำ และปุ๋ยในนาข้าว ความผันแปรในฤดูกาล ความผันแปรในแต่ละวัน อุณหภูมิ ช่วงระยะเวลาที่น้ำขัง ปุ๋ยที่ใช้ ตลอดจนสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละสถานที่ นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับวิธีการตรวจวัด และแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณค่าก๊าซที่ปล่อยด้วย (Kimura *et al.*, 1991; Sharkey *et al.*, 1991 ; Minami and Neue, 1994 ; Kimura and Minami., 1995 ; Minami, 1995 ; Cole *et al.*, 1996; Yagi *et al.*, 1996)

ปัจจุบันความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในบรรยากาศของโลกในชั้นโทรโพสเฟียร์มีความเข้มข้นประมาณ 1.7 ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร(Part per million by volume ; ppmv) หรือประมาณห้าพันล้านตัน ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าปริมาณที่เคยมีอยู่ในบรรยากาศเมื่อปีค.ศ.1700 ถึง 2.5 เท่า และมีอัตราการเพิ่มขึ้นในบรรยากาศปีละ 1% (IPCC,1995)

แม้ว่าก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นและถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์จะมีปริมาณไม่มาก แต่มีเทนเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีบทบาทสำคัญในการทำให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มสูงขึ้นถึง 15% ก๊าซมีเทนมีความสามารถในการเพิ่มอุณหภูมิของโลกได้มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 21.5 เท่า (IPCC, 1995) ทั้งนี้เพราะลักษณะสมบัติของก๊าซมีเทนที่สามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้ดี โดยเฉพาะในช่วงความยาวคลื่น 6.06-10.53 ไมโครเมตร นอกจากนั้นก๊าซมีเทนเมื่อถูกออกซิไดซ์โดยไฮดรอกซิลเรดิเคิล($OH^{\cdot}$) ในสภาวะที่มีออกไซด์ของไนโตรเจนอยู่มาก ๆ (มากกว่า 10 ส่วนในพันส่วน) จะเกิดโอโซน ส่วนในสภาวะที่มีออกไซด์ของไนโตรเจนอยู่น้อย (น้อยกว่า 10 ส่วนในพันส่วน) จะเกิดเป็นไอน้ำ ซึ่งทั้งโอโซนและไอน้ำก็สามารถดูดซับรังสีความร้อนได้เช่นกัน ดังนั้นก๊าซมีเทนจึงทำให้อุณหภูมิของโลกสูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่เท่ากัน (Badr *et al.*, 1991 และ Sharkey *et al.*, 1991) จากฐานข้อมูลการปล่อยออกของก๊าซเรือนกระจกในปัจจุบัน IPCC(1994)ได้ประเมินค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อนขึ้น(Growth Warming Potentials - GWPs) ของก๊าซมีเทนไว้ว่ามีแนวโน้มว่าจะมีค่าสูงขึ้นถึง 62 ในอีก 20 ปีข้างหน้า

ตารางที่ 2.2 การปล่อยก๊าซมีเทนจากพื้นที่ปลูกข้าวในส่วนต่าง ๆ ของโลก

ประเทศ	พันธุ์ข้าว	อายุข้าว	อัตราการปล่อยก๊าซมีเทน(mg/m^2/hr)	อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูก(g/m^2)	ที่มา
China					
Hangzhou	-	80 – 140	0.69	55 – 97	Wang et al., 1990
Tuzu	-	120	1.39	167	Khalil et al., 1991
India		60	0.04 – 0.46	2 – 28	Parashar et al., 1991
Indonesia	IR 64	60	23.7 – 32.8	-	Nugraho et al., 1994
Japan					
Ryugasaki	Koshihikari	131	5.97 –8.61	15.3 – 20.5	Yagi et al., 1995
Kawashi		130	16.3	44.8	Kimura and Minami.,
Mito		130	1.4 – 4.1	3.6 – 12.6	1995
Tsukuba	Nippon-bare	160	5.5 – 49.7	3.2 – 49.4	Nouchi et al., 1994
Philippines	IR 72	82-105	3.6 – 8.0	8	Nugraho et al., 1994
Thailand					Siriratpiriya et al.,
Chiang Mai	RD 6,RD 23	110	1.45 - 2.42	5.27	1995
	Supanburi90	120	2.3 – 23.39	19.19	
Ayutthaya	Huntra 60	190	3.332	1.226	
	RD 23	120	18.92	63.72	
U.S.A.					
California	M 101	100	0.25	25	Cicerone et al., 1983
Louisiana	Lacuusine	93	2.6 – 9.9	-	Lindau, C. W., 1994
Texas	Jusmine 85	85	17.5 – 36.5	-	Tyler et al., 1997
Spain	-	120	0.10	12	Seilor et al., 1984
Italy	Roma	130	0.19 – 0.68	12 - 77	Schutz et al., 1989

แหล่งปล่อยก๊าซมีเทนขึ้นสู่บรรยากาศที่สำคัญบนพื้นโลก ได้แก่ นาข้าว หนองบึง (Swamps and Marshes) เหมืองถ่านหิน(Coal mining) การรั่วของก๊าซธรรมชาติ(Natural-gas-leaks) บริเวณฝังกลบขยะ(Landfills) สัตว์เคี้ยวเอื้องประเภทวัวควาย การหมักปุ๋ย การเผาป่า และ การเผาของเสียจากการเกษตร เป็นต้น และเนื่องจากโอกาสที่ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะถูกทำลายมีเพียง 3 ทาง ได้แก่ การออกซิไดซ์ในดินที่สภาวะมีออกซิเจน การถูกออกซิไดซ์ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ และ การทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลเรดิเคิล (OH^-) ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์

ปริมาณก๊าซมีเทนที่ถูกทำลายจึงมีน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณที่ถูกปล่อยออกจากแหล่งต่าง ๆ อีกทั้งก๊าซมีเทนมีช่วงชีวิต(Residence time)ยาวประมาณ 8.1-11.8 ปี ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากแหล่งต่าง ๆ โดยเฉพาะนาข้าวจึงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นทุกปี CiceroneและOremland (1988)ได้คาดคะเนว่านาข้าวจะยังคงเป็นแหล่งใหญ่ที่สุดในการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศจนถึงปีค.ศ.2020

Bownman(1990) ได้ประมาณว่าทวีปเอเชียมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุด(45 - 98 เทระกรัม) เนื่องจากมีพื้นที่ปลูกข้าวสูงสุดประมาณ 90% ของพื้นที่ปลูกข้าวของโลก อีกทั้งนิยมทำการปลูกข้าวโดยใช้น้ำชลประทานและน้ำฝนที่มีระดับน้ำประมาณ 0 - 30 เซนติเมตร และในบางพื้นที่อาจมีระดับน้ำสูงถึง 100 เซนติเมตร ในขณะที่ทวีปอื่นมีพื้นที่การปลูกข้าวน้อยกว่าและนิยมทำการเพาะปลูกข้าวโดยอาศัยน้ำชลประทาน Sass และ Fisher (1994)ได้ประมาณว่านาข้าวที่มีน้ำท่วมขัง ซึ่งเป็นแหล่งใหญ่ของการปล่อยก๊าซมีเทนนั้น จะมีการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ 25 – 54 เทระกรัมต่อปี จากความต้องการบริโภคข้าวที่เพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณประชากรโลก ทำให้เกิดจำนวนการปลูกข้าวมากครั้งขึ้นต่อปี นำไปสู่การเพิ่มสูงขึ้นของปริมาณก๊าซมีเทนที่ถูกปลดปล่อยจากกิจกรรมการปลูกข้าว ในภาวะการณ์ดังกล่าวนี้ IPCC (1995) ได้ประเมินว่าปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจะอยู่ที่ 40 เทระกรัมต่อปี

2.2.3 การประเมินการปล่อยออกและกักเก็บก๊าซมีเทนของประเทศไทย

ข้อผูกพันของอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศโลก ประการสำคัญคือ การจัดทำบัญชีแห่งชาติว่าด้วยปริมาณการปลดปล่อยและการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์และมิได้ควบคุมโดยพิธีสารมอนทรีออล ตลอดจนเตรียมมาตรการเพื่อรองรับปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและปรับปรุงข้อมูลเหล่านั้นให้ทันสมัย รวมทั้งมีการเผยแพร่สู่สาธารณชน ประเทศไทยในฐานะประเทศภาคีอนุสัญญาจำเป็นต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขต่าง ๆ ในอนุสัญญาฯ ดังกล่าว ในส่วนของประเทศไทย โดยสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย(2540)ได้รายงานถึงภาพรวมของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของก๊าซดังนี้

ก๊าซเรือนกระจกสำคัญที่ถูกปลดปล่อยออกมา มี 3 ชนิดได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ โดยมีปริมาณการปล่อยออก 182 ล้านตัน 5.6 ล้านตัน และ 0.04 ล้านตัน ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงศักยภาพในการทำให้โลกร้อนขึ้น (Growth Warming

Potentials - GWPs) ของก๊าซทั้ง 3 ชนิดนี้ โดยเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะพบว่า ปริมาณการปลดปล่อยทั้งสามนี้รวมกันมีค่าเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 332 ล้านตัน โดยมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 182 ล้านตัน(ร้อยละ 55) ก๊าซมีเทน 137 ล้านตัน(ร้อยละ 41) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ 13 ล้านตัน(ร้อยละ 4) (รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสามชนิด(ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และไนตรัสออกไซด์) รวมถึงศักยภาพและสัดส่วนในการ ทำให้โลกร้อนขึ้น (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2540)

ก๊าซ	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ(ตัน)	ศักยภาพในการทำให้โลกร้อน(GWPs)	สัดส่วนต่อปริมาณก๊าซที่ปลดปล่อยทั้งหมด (ร้อยละ)
คาร์บอนไดออกไซด์	164	1	73
มีเทน	2.8	21	25
ไนตรัสออกไซด์	0.01	310	2

กิจกรรมต่าง ๆ ที่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด 8 อันดับแรก โดยพิจารณาจากศักยภาพในการทำให้โลกร้อน ได้แก่

1. การทำลายป่า 82 ล้านตัน (33 เปอร์เซ็นต์)
2. การทำนาข้าว 38 ล้านตัน (15 เปอร์เซ็นต์)
3. การผลิตไฟฟ้า 28 ล้านตัน (11 เปอร์เซ็นต์)
4. การขนส่ง 28 ล้านตัน (28 เปอร์เซ็นต์)
5. การใช้มวลชีวภาพจากป่าไม้ 20 ล้านตัน (20 เปอร์เซ็นต์)
6. ปศุสัตว์ 13 ล้านตัน (5 เปอร์เซ็นต์)
7. อุตสาหกรรมย่อย 13 ล้านตัน (5 เปอร์เซ็นต์)
8. กระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม 8 ล้านตัน (4 เปอร์เซ็นต์)

ส่วนกิจกรรมอื่น ๆ ที่เหลือจะปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมกันประมาณ 6.5 เปอร์เซ็นต์

2.3 พฤติกรรมการจัดการน้ำและปุ๋ยที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

2.3.1 การจัดการน้ำในการเพาะปลูกข้าว

2.3.1.1 ลักษณะการปลูกข้าว

การจำแนกลักษณะการปลูกข้าวที่ยึดสภาพพื้นที่หรือสภาพแวดล้อมที่ปลูกข้าวเป็นเกณฑ์ หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่า ระบบนิเวศการปลูกข้าว (Rice ecosystem) เป็นที่เข้าใจร่วมกันในกลุ่มประเทศที่ปลูกข้าว เสนอขึ้นโดย De Datta จากสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ(International Rice Research Institutes : IRRI, 1984) โดยยึดเอาสภาพน้ำบนผิวดินเป็นเกณฑ์ ซึ่งได้เน้นความแตกต่างระหว่างการปลูกข้าวในแหล่งซึ่งมีระดับน้ำลึกเกินกว่า 50 เซนติเมตร และระดับน้ำลึกไม่เกิน 50 เซนติเมตรเป็นหลัก ระบบนิเวศการปลูกข้าว แบ่งออกได้เป็น

1. ข้าวนาชลประทาน(Irrigated rice ecosystem) เป็นการปลูกข้าวในสภาพที่มีน้ำขังโดยอาศัยน้ำจากระบบชลประทาน และจะรักษาระดับน้ำในการปลูกข้าวไว้ที่ประมาณ 5-15เซนติเมตร
2. ข้าวนาน้ำฝน (Rainfed lowland rice ecosystem) เป็นการปลูกข้าวในสภาพที่มีน้ำขัง โดยอาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติ ระดับทั่วไปจะไม่เกิน 50 เซนติเมตร แต่ในบางครั้งน้ำในนาอาจแห้งหรือมีระดับสูงกว่านั้น ขึ้นอยู่กับสภาพการตกกระจายของฝน
3. ข้าวน้ำลึกและข้าวขึ้นน้ำ (Deepwater and floating rice ecosystem) เป็นการปลูกข้าวในพื้นที่ซึ่งภายหลังจะมีน้ำท่วมขังลึก ระดับตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมตร ข้าวน้ำลึก หมายถึง ข้าวที่ปลูกในแหล่งที่มีระดับน้ำสูงไม่เกิน 1 เมตร และถ้าระดับน้ำสูงเกิน 1 เมตร จะเรียกว่า ข้าวขึ้นน้ำ
4. ข้าวไร่ (Upland rice ecosystem) เป็นข้าวที่ปลูกในพื้นที่สภาพไร่หรือที่ดอนซึ่งไม่มีน้ำขังบนดิน และอาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติ

สำหรับประเทศไทยซึ่งมีการปลูกข้าวมาช้านาน และได้มีการจำแนกระบบนิเวศการปลูกข้าวขึ้นใช้มาก่อนการจำแนกการปลูกข้าวของสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (บริบูรณ์ สมฤทธิ์, 2537) ระบบนิเวศการปลูกข้าวของไทย แบ่งออกได้เป็น

1. ข้าวไร่ (Upland rice)
2. ข้าวนาสวน (Lowland rice) ซึ่งแยกออกได้เป็น
    1) ข้าวนาสวนหรือนาชลประทาน (Irrigated lowland rice)
    2) ข้าวนาสวนนาน้ำฝน (Rainfed lowland rice)
3. ข้าวนาเมือง หรือข้าวขึ้นน้ำ หรือข้าวฟางลอย (Floating rice)

ระดับน้ำ และระยะเวลาการขังน้ำ มีผลอย่างมากต่อการลดลงของค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน(Redox potential : Eh) ทำให้เกิดการผลิตและการปล่อยก๊าซมีเทนได้มาก น้ำที่ขังจะไปลดการแพร่ของก๊าซระหว่างบรรยากาศและดิน อันจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน ซึ่งสำคัญต่อการปล่อยก๊าซมีเทน โดยเริ่มจากระดับออกซิเจนในดินที่ลดลงจนเกิดการพัฒนาสภาพไร้ออกซิเจนซึ่งเหมาะแก่การผลิตก๊าซมีเทนของเมธาโนจินิคแบคทีเรีย นอกจากนั้นน้ำที่ขังอยู่นี้ยังจำกัดการเคลื่อนที่ขึ้นสู่บรรยากาศของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในชั้นดินที่เป็นแอนแอโรบิก (Cirerone and Shetter, 1989) ดังนั้นการทำนาในดินที่มีสภาพน้ำท่วมขังจึงเป็นแหล่งสำคัญของการเกิดก๊าซมีเทนซึ่งจะถูกปล่อยสู่บรรยากาศโดยผ่านทางต้นข้าวเป็นเส้นทางหลัก

ในประเทศไทย หากจำแนกการปลูกข้าวตามวิธีปลูก สามารถแบ่งได้เป็น ข้าวนาไร่ ข้าวนาสวน และข้าวขึ้นน้ำ ข้าวไร่ ปลูกในที่ดอนหรือตามภูเขา ไม่มีการชลประทานในพื้นที่เพาะปลูกต้องอาศัยน้ำฝนเพียงอย่างเดียว มีพื้นที่ปลูกประมาณ 10 %ของพื้นที่ปลูกข้าวทั่วประเทศ ส่วนข้าวนาสวนหรือนาดำ ปลูกในที่ลุ่มมีน้ำหล่อเลี้ยงต้นข้าวตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งก่อนเก็บเกี่ยว โดยมีระดับน้ำไม่ลึกเกิน 50 เซนติเมตร สำหรับข้าวขึ้นน้ำ ข้าวนาเมือง หรือข้าวฟางลอย คือข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มมีระดับน้ำลึกเกินกว่า 1 เมตรไปจนถึง 300 เมตร ส่วนมากเป็นนาหว่าน มีพื้นที่ปลูกประมาณ 10 % ของพื้นที่ปลูกข้าวทั่วประเทศ (กัมปนาท มุขดี, 2540)

ข้าวนาสวนมีปลูกในทุกภาคของประเทศไทยและมีความสำคัญมากต่อการส่งออกข้าวของประเทศ เป็นประเภทของนาข้าวที่มีพื้นที่ปลูกมากที่สุดในประเทศไทย โดยมีพื้นที่ปลูกประมาณ 80% ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด ส่วนใหญ่จะปลูกโดยวิธีปักดำ รองลงมาได้แก่วิธีหว่านน้ำตม หว่านสำรวย และวิธีหยอด

การทำนาในประเทศไทย ชาวนาไทยมักจะยึดถือว่าต้องมีน้ำขังหล่อเลี้ยงต้นข้าวอยู่ตลอดเวลา จึงมีการใช้น้ำมากเกินความจำเป็นโดยเฉพาะการทำนาสวนซึ่งเป็นชนิดการทำนาที่มีมากที่สุดในประเทศไทย ซึ่งมักมีระดับน้ำขังอยู่ที่ประมาณ 50-80 เซนติเมตรจากพื้นดิน (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527) การทำนาในเขตชลประทาน การให้น้ำแก่ต้นข้าวมากเกินไปไม่เป็นผลดี ถ้าปล่อยให้น้ำขังอยู่ในแปลงนาตลอดเวลาจะทำให้ดินขาดออกซิเจน ในสภาวะดังกล่าวนี้จุลินทรีย์ดินชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจน จะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเล็คตรอนในกระบวนการหายใจ จึงทำให้เกิดก๊าซมีเทนขึ้น(IRRI, 1991 ; Neue, 1993 ; Yagi *et al.*, 1996)

Van de Goor (1974) (อ้างถึงในสุรีย์ สอนสมบูรณ์ ,2526) พบว่าในการปลูกข้าวนาสวนด้วยวิธีปักดำนั้น การให้น้ำหล่อเลี้ยงบนพื้นนา 5 -10 เซนติเมตรจะดีที่สุด Hukkeri และ Sharma (1980) รายงานว่าการปลูกข้าวในระดับน้ำตื้นจะให้ผลผลิตมากกว่าการให้น้ำเป็นครั้งคราวและการให้น้ำตลอดเวลา การปลูกข้าวไม่จำเป็นต้องมีน้ำขังในแปลงนาตลอดเวลาการเพาะปลูก การให้น้ำแก่ข้าวมากเกินไปเป็นการสิ้นเปลืองน้ำเพราะจะต้องใช้น้ำในนาเป็นจำนวนมาก และทำให้เกิดการสูญเสียน้ำเนื่องจากเกิดการซึมลึก(Deep percolation)มากขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ผลผลิตของข้าวลดลงอีกด้วยเพราะปริมาณน้ำที่มีมากเกินไปนั้นจะยับยั้งการแตกกอของข้าว ซึ่งจะมีผลทำให้การพัฒนาหน่อของข้าวไปเป็นรวงลดลง อันจะส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลงด้วย (De Datta, 1981; ดิเรก ทองอร่าม, 2524)

เพียงใจ วงษ์เซษฐา(2529) ทดลองปลูกข้าวพันธุ์ กข 23 ที่ระดับน้ำตั้งแต่ 5-20 เซนติเมตร พบว่า การรักษาระดับน้ำตื้น(10 และ 5 เซนติเมตร และระดับผิวดิน)จะมีจำนวนต้นต่อกอมากกว่าการรักษาระดับน้ำลึก ซึ่งย่อมทำให้จำนวนรวงต่อกอของข้าวมากขึ้นตามไป นอกจากนั้นการรักษาระดับน้ำในนาที่ระดับน้ำลึกตั้งแต่ 5 เซนติเมตรขึ้นไปจะช่วยควบคุมปริมาณวัชพืชได้ และยังช่วยให้กล้าข้าวที่ปักดำในระยะแรกมีความสามารถแข่งขันกับวัชพืชได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย เนื่องจากกล้าข้าวจะแข็งแรงและสามารถตั้งตัวได้เร็ว

2.3.1.2 ความต้องการน้ำของข้าว

โดยทั่วไปแล้ว ความต้องการน้ำของข้าวจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่สูญเสียไป คือ

1) การคายระเหยของน้ำ (Evapotranspiration) คือปริมาณน้ำที่สูญเสียโดยรวมของการระเหยของน้ำจากผิวน้ำธรรมชาติหรือผิวดินชื้น และการคายน้ำซึ่งหมายถึงการระเหยของน้ำจากพืชโดยผ่านปากใบ ต้นข้าวต้องการน้ำสำหรับการคายระเหยประมาณ 450 - 700 มิลลิเมตร ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและอายุของข้าว ปกติแล้วปริมาณน้ำที่สูญเสียโดยการคายน้ำผ่านปากใบจะเพิ่มสูงสุดในช่วงระยะข้าวออกรวงและระยะออกดอก ต่อจากนั้นจะค่อย ๆลดลงในระหว่างเมล็ดข้าวแก่ (ฝ่ายเกษตรชลประทาน , 2537) ส่วนปริมาณน้ำที่สูญเสียไปโดยการระเหยไปจากผิวน้ำหรือผิวดินชื้นนั้นจะมีปริมาณมากที่สุดในระยะปักดำ และจะเริ่มลดลงเมื่อข้าวเริ่มแตกกอ เนื่องจากใบข้าวปกคลุมผิวน้ำมากขึ้น ทำให้โอกาสการระเหยมีน้อยลง(ดิเรก ทองอร่าม, 2522)

2) การซึมลึกของน้ำลงทางใต้ดิน (Percolation) นาข้าวจะมีการสูญเสียน้ำโดยการซึมลงใต้ดินในจำนวนมากเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับ สภาพของดิน ชนิดของดิน ระดับน้ำใต้ดินเช่น ในดินเหนียวที่มีระดับใต้ดินตื้นจะมีการสูญเสียประมาณวันละ 1-3 มิลลิเมตร แต่ถ้าสภาพดินทรายที่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกอาจจะมีการสูญเสียของน้ำมากถึงวันละ 7-10 มิลลิเมตร (ดิเรก ทองอร่าม, 2524)

ปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความต้องการน้ำของข้าว ได้แก่ พันธุ์ข้าว ระยะการเจริญเติบโต ความหนาแน่นของต้นข้าวที่ปลูก ฤดูกาลปลูก วิธีการปลูก เนื้อดิน สภาพภูมิอากาศ ระยะเวลาของการให้น้ำชลประทาน และ ระดับน้ำใต้ดิน (เพียงใจ วงษ์เชษฐา, 2529) พร้อมทั้งวิธีชลประทาน และการวางรูปหรือแผนผังของนาด้วย (สวัสดิ์ วีระเดชะ , 2514)

จากงานค้นคว้าวิจัยหาปริมาณการใช้น้ำของข้าว โดยฝ่ายงานวางแผนและวิจัยการใช้น้ำชลประทานของพืช เมื่อ พ.ศ.2537 แสดงให้เห็นว่าปริมาณการใช้น้ำของข้าว โดยการคายระเหยน้ำของข้าว กข ในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยวันละ 5.8 มิลลิเมตรต่อวัน ส่วนในฤดูแล้งปรากฏว่ามีการใช้น้ำสูงกว่าในฤดูฝน คือ 8.3 มิลลิเมตรต่อวัน ส่วนการซึมของน้ำลงทางใต้ดินนั้นทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากันคือ 0.7 มิลลิเมตรต่อวัน สาเหตุที่ปริมาณการใช้น้ำโดยรวมของฤดูแล้งสูงกว่าในฤดูฝนนั้น เนื่องจากอุณหภูมิอากาศของการเพาะปลูกในช่วงฤดูแล้งจะสูงและแห้งแล้งกว่าช่วงฤดูฝน เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้น้ำของข้าวเปรียบเทียบกับพืชต่างๆ แล้ว ข้าวเป็นพืชที่ใช้น้ำในการเพาะปลูกมากกว่าธัญพืชอื่น ๆ เนื่องจากวิธีปลูกข้าวส่วนมากทำในสภาพที่มีน้ำขัง ทำให้ต้องสูญเสียน้ำไปกับการระเหยและการซึมลงใต้ดินมาก โดยปริมาณการสูญเสียน้ำจะเพิ่มตามระดับความสูงของน้ำที่ขังอยู่ในแปลงนา การลดการสูญเสียน้ำที่ซึมลงไปในดินอาจทำได้โดยรักษาน้ำไว้ในระดับตื้นซึ่งจะช่วยรักษาความชื้นในดินให้อยู่ในระดับอิ่มตัว โดยการให้น้ำแล้วปล่อยให้ระดับน้ำลดลงโดยไม่ปล่อยให้ผิวหน้าดินแห้งเกินจนไป แล้วให้น้ำใหม่อีกครั้งนั้น ไม่ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงแต่อย่างใด และยังเป็นการประหยัดน้ำและเวลาในการให้น้ำอีกด้วย(สวัสดิ์ วีระเดชะ, 2514 และ ดิเรก ทองอร่าม, 2522)

2) การซึมลึกของน้ำลงทางใต้ดิน (Percolation) นาข้าวจะมีการสูญเสียน้ำโดยการซึมลงใต้ดินในจำนวนมากเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับ สภาพของดิน ชนิดของดิน ระดับน้ำใต้ดินเช่น ในดินเหนียวที่มีระดับใต้ดินตื้นจะมีการสูญเสียประมาณวันละ 1-3 มิลลิเมตร แต่ถ้าสภาพดินทรายที่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกอาจจะมีการสูญเสียของน้ำมากถึงวันละ 7-10 มิลลิเมตร (ดิเรก ทองอร่าม, 2524)

ปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความต้องการน้ำของข้าว ได้แก่ พันธุ์ข้าว ระยะการเจริญเติบโต ความหนาแน่นของต้นข้าวที่ปลูก ฤดูกาลปลูก วิธีการปลูก เนื้อดิน สภาพภูมิอากาศ ระยะเวลาของการให้น้ำชลประทาน และ ระดับน้ำใต้ดิน (เพียงใจ วงษ์เชษฐา, 2529) พร้อมทั้งวิธีชลประทาน และการวางรูปหรือแผนผังของนาด้วย (สวัสดิ์ วีระเดชะ , 2514)

จากงานค้นคว้าวิจัยหาปริมาณการใช้น้ำของข้าว โดยฝ่ายงานวางแผนและวิจัยการใช้น้ำชลประทานของพืช เมื่อ พ.ศ.2537 แสดงให้เห็นว่าปริมาณการใช้น้ำของข้าว โดยการคายระเหยน้ำของข้าว กข ในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยวันละ 5.8 มิลลิเมตรต่อวัน ส่วนในฤดูแล้งปรากฏว่ามีการใช้น้ำสูงกว่าในฤดูฝน คือ 8.3 มิลลิเมตรต่อวัน ส่วนการซึมของน้ำลงทางใต้ดินนั้นทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากันคือ 0.7 มิลลิเมตรต่อวัน สาเหตุที่ปริมาณการใช้น้ำโดยรวมของฤดูแล้งสูงกว่าในฤดูฝนนั้น เนื่องจากอุณหภูมิอากาศของการเพาะปลูกในช่วงฤดูแล้งจะสูงและแห้งแล้งกว่าช่วงฤดูฝน เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้น้ำของข้าวเปรียบเทียบกับพืชต่างๆ แล้ว ข้าวเป็นพืชที่ใช้น้ำในการเพาะปลูกมากกว่าธัญพืชอื่น ๆ เนื่องจากวิธีปลูกข้าวส่วนมากทำในสภาพที่มีน้ำขัง ทำให้ต้องสูญเสียน้ำไปกับการระเหยและการซึมลงใต้ดินมาก โดยปริมาณการสูญเสียน้ำจะเพิ่มตามระดับความสูงของน้ำที่ขังอยู่ในแปลงนา การลดการสูญเสียน้ำที่ซึมลงไปในดินอาจทำได้โดยรักษาน้ำไว้ในระดับตื้นซึ่งจะช่วยรักษาความชื้นในดินให้อยู่ในระดับอิ่มตัว โดยการให้น้ำแล้วปล่อยให้ระดับน้ำลดลงโดยไม่ปล่อยให้ผิวหน้าดินแห้งเกินจนไป แล้วให้น้ำใหม่อีกครั้งนั้น ไม่ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงแต่อย่างใด และยังเป็นการประหยัดน้ำและเวลาในการให้น้ำอีกด้วย(สวัสดิ์ วีระเดชะ, 2514 และดิเรก ทองอร่าม, 2522)

2.3.1.3 วิธีการเพาะปลูกข้าวที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

วิธีการทำนาในแต่ละท้องถิ่นจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของดิน ความสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ และสภาพดินฟ้าอากาศ Siriratpiriya และคณะ(1995) ได้ทำการศึกษาปัจจัยการเพาะปลูกที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว โดยปลูกข้าวชนิดนาสวนด้วยข้าวพันธุ์ กข 6 พันธุ์ กข 23 และพันธุ์สุพรรณบุรี 90 ปลูกข้าวชนิดนาข้าวขึ้นน้ำด้วยข้าวพันธุ์หันตรา 60 และพันธุ์เล็บมือนาง 111 ปลูกข้าวชนิดนาไร่ด้วยข้าวพันธุ์อาร์ 258 และพันธุ์ซิวแม่จัน ผลการศึกษาพบว่า นาสวนมีปริมาณก๊าซมีเทนในดินสูงกว่านาไร่ตลอดทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าว แสดงว่าการทำนาสวนที่มีน้ำขังตั้งแต่เริ่มปักดำจนสร้างเมล็ดนั้น จะทำให้เกิดก๊าซมีเทนได้มากกว่าการทำนาโดยวิธีนาไร่ซึ่งไม่มีน้ำขังอยู่เลย ส่วนนาข้าวขึ้นน้ำนั้น แม้ว่าระดับน้ำที่ขังจะสูงกว่านาสวน แต่ระยะเวลาการขังน้ำจะน้อยกว่า คือจะมีการขังน้ำเฉพาะในช่วงระยะตั้งท้อง และระยะข้าวสร้างเมล็ด ดังนั้นดินนาสวนจึงอยู่ในสภาพขาดออกซิเจนยาวนานกว่าดินในนาข้าวขึ้นน้ำ จึงทำให้อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่านาข้าวขึ้นน้ำ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว การทำนาโดยวิธีนาสวนปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุด รองลงมาคือการทำนาโดยวิธีนาข้าวขึ้นน้ำ และวิธีนาไร่ ตามลำดับ ทั้งนี้ไม่พบว่ามีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนที่แตกต่างกัน ระหว่างพันธุ์ข้าวในแต่ละวิธีของการทำนา

ในระหว่างฤดูกาลเพาะปลูกข้าว อิทธิพลของการระบายน้ำที่มีต่อการปล่อยก๊าซมีเทนมีทั้งผลในระยะสั้นและระยะยาว ระยะสั้นคือการไหลทะลักออกของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นหลังจากทำการระบายน้ำ ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการแพร่โดยตรงของก๊าซมีเทนที่ถูกเก็บกักไว้ในดินผ่านช่องว่างเม็ดดิน(Macropore) และรอยแตก(Crack)ของดินหลังจากที่ทำการกำจัดน้ำที่ขังอยู่บนดินออกไปแล้ว จากนั้นปริมาณการปล่อยของก๊าซมีเทนก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนผลในระยะยาวนั้นเกิดจากการเพิ่มขึ้นอย่างมากของค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน(Soil Eh) และ การลดลงของก๊าซมีเทนที่ถูกปล่อยในช่วง 2-3 อาทิตย์(Watanabe *et al.*, 1995) จังหวะและช่วงเวลาการระบายน้ำมีผลอย่างมากต่อลักษณะสมบัติของดิน โดยเฉพาะค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์อย่างมากกับปริมาณการขาดน้ำในดิน (Water defecit) Yagi และคณะ (1996) รายงานว่าค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินหลังจากที่ระบายน้ำออกจากแปลงทดลองในช่วง 55 วันหลังปักดำแล้วจะสูงกว่า –200 มิลลิโวลท์(mv) เป็นเวลาประมาณหนึ่งอาทิตย์ ในขณะที่ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินหลังการระบายน้ำในช่วง 80 วันหลังปักดำ จะไม่ลดต่ำลงกว่า -200 มิลลิโวลท์ตลอดเวลาสามอาทิตย์หลังจากที่มีการระบายน้ำ

Sass และคณะ(1992) ศึกษาผลของการจัดการน้ำที่มีต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว รายงานว่าอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนมีค่าแปรผันตามปริมาณและความสูงของระดับน้ำที่ท่วมขังในนาข้าว โดยพบว่านาข้าวที่มีการระบายน้ำหลายครั้งต่อฤดูกาลเพาะปลูก(Multiple aeration) มีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนโดยรวมตลอดฤดูการเพาะปลูกน้อยที่สุด คือ 1.15 g/m^2 รองลงมาคือนาข้าวที่มีการระบายน้ำหนึ่งครั้งในช่วงกลางของฤดูการเพาะปลูก(Midsummer aeration) ซึ่งมีการปล่อยก๊าซมีเทนที่ 4.86 g/m^2 ในขณะที่นาข้าวปกติที่ไม่มีการระบายน้ำ(Normal flood)มีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน 9.27 g/m^2 โดยนาข้าวทั้งสามไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญของปริมาณผลผลิต ส่วนนาข้าวที่มีการขังน้ำไว้นานกว่าปกติ(Late flood) พบว่ามีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนสูงถึง 14.98 g/m^2 นอกจากนั้นยังพบว่ามีปริมาณผลผลิตน้อยที่สุดอีกด้วย

เช่นเดียวกับ Yagi และคณะ(1996) ซึ่งทำการศึกษาผลกระทบของการจัดการน้ำที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวสู่บรรยากาศในนาข้าวของประเทศญี่ปุ่น ผลการศึกษาพบว่าการระบายน้ำเป็นช่วง ๆ โดยเฉพาะการระบายน้ำในช่วงกลางฤดูกาลเพาะปลูกมีผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูกาลปลูกข้าวลดลงอย่างมาก โดยที่การระบายน้ำในช่วงสั้น เป็นระยะ ๆ นั้นไม่ทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง ทั้งนี้การระบายน้ำในระหว่างช่วงที่มีน้ำขังในนาข้าว ก๊าซมีเทนจำนวนมากจะถูกปล่อยออกมาทันทีหลังจากที่มีการระบายน้ำในแต่ละครั้ง และจากนั้นการปล่อยของก๊าซมีเทนจะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการระบายน้ำออกจากนาข้าวในช่วงท้ายสุดเพื่อทำการเก็บเกี่ยวในแปลงนาที่มีน้ำขังอย่างต่อเนื่อง พบว่ามีก๊าซมีเทนจำนวนมากปล่อยออกมา ซึ่งคิดประมาณได้เป็น 7% ของปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมด อัตราการปล่อยทั้งหมดของก๊าซมีเทนในระหว่างช่วงการเพาะปลูกของแปลงที่มีน้ำขังอย่างต่อเนื่องและแปลงที่มีการระบายน้ำเป็นระยะ ๆ เป็นดังนี้คือ 14.3 และ 8.63 g/m^2 สำหรับการทดลองในปี ค.ศ. 1991 ส่วนการทดลองในปี ค.ศ. 1993 คือ 9.49 และ 5.18 g/m^2

เช่นเดียวกับ Kimura และคณะ(1993) ที่ได้รายงานว่า การระบายน้ำในช่วงกลางหรือช่วงท้ายของระยะข้าวแตกกอสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนได้มากกว่า 50% เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกข้าวที่ขังน้ำไว้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งผลสรุปจากการทดลองที่ได้ก็ให้ผลตรงกับที่ Yagi และ Minami (1990) ที่ได้รายการไว้ว่าก๊าซมีเทนที่ถูกปล่อยจากนาข้าวที่มีการระบายน้ำนี้มีปริมาณเพียง 52% ของก๊าซมีเทนที่ถูกปล่อยจากนาข้าวที่ไม่มีการระบายน้ำ โดยนาข้าวทั้งสองไม่มีความแตกต่างของปริมาณผลผลิตแต่อย่างใด

2.3.2 การใช้ปุ๋ยในการเพาะปลูกข้าว

การใส่ปุ๋ยสามารถช่วยในการเจริญเติบโตของพืช แต่ในขณะเดียวกันก็มีผลให้การปล่อยของก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศเพิ่มขึ้นได้ ปุ๋ยอินทรีย์เป็นปุ๋ยที่มีองค์ประกอบเป็นสารประกอบอินทรีย์ มีต้นกำเนิดมาจากอินทรียสารโดยตรง และจะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้เมื่อผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ทางชีวภาพก่อน เช่น ปุ๋ยคอก(ปุ๋ยที่ได้จากการขับถ่ายของสัตว์) ปุ๋ยหมัก(ปุ๋ยที่ได้จากการหมักสารอินทรีย์ให้สลายตัว ส่วนมากมักหมายถึง สารอินทรีย์จากพืช เช่น เศษซากพืชในไร่นา) และปุ๋ยพืชสด(ปุ๋ยที่ได้จากการไถกลบพืชตระกูลถั่วที่ยังเขียวอยู่ลงในดิน) เป็นต้น ส่วนปุ๋ยอนินทรีย์ ได้แก่ ปุ๋ยที่มีองค์ประกอบเป็นสารประกอบอนินทรีย์สังเคราะห์ ส่วนมากอยู่ในรูปเกลือ ซึ่งอาจได้มาจากธรรมชาติ การสังเคราะห์ หรือผลิตจากโรงงานปุ๋ย และผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต ซูเปอร์ฟอสเฟต โพแทสเซียมคลอไรด์ และโพแทสเซียมซัลเฟต เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยอนินทรีย์แล้ว ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณธาตุอาหารต่ำแต่จะมีปริมาณคาร์บอนอยู่มาก ในการเจริญเติบโตของพืช พืชจะใช้คาร์บอนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์แสง โดยที่พืชจะไม่ใช้คาร์บอนจากดินเลย เพราะในการสร้างราก ลำต้น และใบ พืชจะใช้สารอาหารประเภท ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม เป็นหลัก เมื่อพิจารณาตามปริมาณของคาร์บอนที่สามารถย่อยสลายได้(Mineralizable carbon) จะพบว่าฟางข้าวและปุ๋ยพืชสดเป็นอินทรียวัตถุซึ่งมีปริมาณคาร์บอนที่ง่ายต่อการย่อยสลายอยู่มาก จะทำให้การผลิตและการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวเพิ่มขึ้นได้มาก จากการทดลองของสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI, 1994) พบว่านาข้าวที่ใส่ฟางข้าวในปริมาณ 5 ตัน/เฮคแตร์ จะมีการปล่อยก๊าซมีเทนมากกว่านาข้าวที่ใส่ปุ๋ยเคมีในปริมาณที่เท่ากันถึง 2.5 เท่า โดยการผลิตและการปล่อยก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นสูงมากในช่วงต้นของฤดูกาลเพาะปลูก เช่นเดียวกันกับการทดลองของ Wassman และคณะ (1993) ที่มณฑลหูหนาน ในประเทศจีน ซึ่งพบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์จะให้อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนที่สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี ดังนั้นการใส่ปุ๋ยอินทรีย์จึงทำให้มีคาร์บอนในดินอยู่มาก จนกลายเป็นแหล่งพลังงานของแบคทีเรียในดิน หรืออาจกล่าวได้ว่าดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุและอัตราการสลายตัวสูงจะมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนขึ้นสู่บรรยากาศได้มากกว่าดินที่มีปริมาณอินทรียวัตุและอัตราการสลายตัวต่ำ

ในดินนาที่น้ำขังจะมีแอนาโรบิกแบคทีเรียอยู่มาก การใส่ปุ๋ยอินทรีย์จึงถือเป็นการจัดหาแหล่งคาร์บอนให้แก่ดิน ซึ่งเท่ากับเป็นการเพิ่มอาหารให้แก่แอนาโรบิกแบคทีเรีย และเร่งให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ทำให้เกิดการผลิตก๊าซมีเทนได้มากกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเป็นอย่างมาก อันจะส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซมีเทนได้มากตามไปด้วย (Schutz *et al.*, 1989 ; Yagi and Minami., 1990 ; Sass *et al.*, 1992 ; Cicerone *et al.*, 1992 ; Neue *et al.*, 1994) อย่างไรก็ตามนาข้าวที่ใส่ปุ๋ยเคมีจำนวนมากเป็นเวลานานจะทำให้ดินแข็งไม่เหมาะต่อการเพาะปลูก การใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีประโยชน์ในการช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดินให้ร่วนขึ้น ทำให้รากข้าวสามารถยั่งหาอาหารได้ลึก และยังช่วยให้ปุ๋ยเคมีที่ใส่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วย

โดยทั่วไป ปุ๋ยเคมีจะประกอบด้วยธาตุอาหารหลักคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ดินนาส่วนมากมักขาดอินทรียวัตถุ ซึ่งเป็นแหล่งธาตุอาหารไนโตรเจน ดังนั้นการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต หรือ ยูเรีย ให้แก่ข้าวจะทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น สำหรับธาตุฟอสฟอรัส ดินนาทั่วไปมักจะขาดแคลนบ้าง จึงควรใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุฟอสฟอรัสโดยใส่ในรูปของฟอสเฟต เช่น ซูเปอร์ฟอสเฟต หรือ แอมโมเนียมฟอสเฟต เป็นต้น ส่วนธาตุโพแทสเซียมในดินนามักไม่ขาดแคลน เนื่องจากโพแทสเซียมละลายน้ำได้ง่ายจึงมักมีอยู่ในน้ำด้วย (กัมปนาท มุขดี, 2540)

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมีผลต่อการเพิ่มการปล่อยก๊าซมีเทนได้ เนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มมวลชีวภาพให้แก่ต้นข้าว ซึ่งมวลชีวภาพที่เพิ่มขึ้นจะมีผลในการเร่งการผลิตก๊าซมีเทน โดยการเพิ่มขึ้นของสารที่ขับออกมาจากรากข้าว (Root exudate) และส่วนของรากและใบข้าวที่หลุดออกมา(Litter) ซึ่งสารเหล่านี้ล้วนเป็นอินทรียวัตถุที่ง่ายต่อการย่อยสลาย (Sass *et al.*,1991) ดังนั้นจึงพบว่าการปล่อยก๊าซมีเทนจะสูงขึ้นในช่วงท้ายของการเจริญเติบโตเพราะมีการสะสมของอินทรียวัตถุ และการพัฒนาของช่องอากาศ(Aerenchyma) ซึ่งเป็นทางผ่านของก๊าซ นอกจากนั้นปุ๋ยที่ใส่ยังสามารถมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างในดิน ประชากรจุลินทรีย์ ปริมาณสารที่ถูกขับออกจากราก และเศษซากของข้าวที่เหลือไว้สำหรับการย่อยสลาย ซึ่งอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของดินในช่วงเวลาสั้น ๆ ได้ (Kimura *et al.*,1992)

ปุ๋ยยูเรียเป็นปุ๋ยไนโตรเจนที่ชาวนานิยมใช้ใส่ในนาข้าวที่มีน้ำขังมากที่สุด ซึ่งมีปริมาณการใช้ประมาณ 75% ของปุ๋ยทั้งหมด Wang และคณะ(1995) ได้ทำการเปรียบเทียบอัตราการ

ปล่อยก๊าซมีเทน อันเป็นผลของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 3 ชนิด คือ แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมคลอไรด์ และ ยูเรีย ผลปรากฏว่าแปลงทดลองที่ใส่ปุ๋ยยูเรียมีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุด รองลงมาคือ แปลงที่ใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมคลอไรด์ และ แอมโมเนียมซัลเฟต ตามลำดับ

ในทำนองเดียวกัน Lindau(1994) รายงานว่าปริมาณก๊าซมีเทนที่ถูกปล่อยจากนาข้าวที่หลุยเซียน่า เพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ปุ๋ยยูเรีย โดยพบว่านาข้าวที่ใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต และโพแทสเซียมไนเตรทมีการปล่อยก๊าซมีเทนลดลง 55% และ 59% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวที่ใส่ปุ๋ยยูเรียในอัตราที่เท่ากัน

วิธีในการใส่ปุ๋ยก็มีผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวเช่นกัน ดังที่ Kimura และคณะ (1992) ซึ่งทดลองใส่ปุ๋ยปุ๋ยยูเรีย แอมโมเนียมคลอไรด์และ แอมโมเนียมซัลเฟตในนาข้าวด้วยวิธีกระจายตามผิวดิน และวิธีฉีดพ่น ได้รายงานว่านาข้าวที่ใส่ปุ๋ยยูเรีย แอมโมเนียมคลอไรด์ และแอมโมเนียมซัลเฟต ด้วยวิธีการฉีดพ่น จะมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนลดลง 20% 60% และ 45% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยดังกล่าวโดยวิธีกระจายตามผิวดิน ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบตามชนิดของปุ๋ย พบว่านาข้าวที่ใส่ปุ๋ยยูเรียมีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุด รองลงมาคือนาข้าวที่ใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมคลอไรด์ และนาข้าวที่ใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ตามลำดับ

2.4 ผลของการจัดการน้ำและปุ๋ยที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพของข้าว

การระบายน้ำจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของข้าวในการนำปุ๋ยไปใช้ประโยชน์ โดยค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินที่เพิ่มขึ้นจากการระบายน้ำ แสดงถึงการเพิ่มออกซิเจนให้แก่รากข้าว ทำให้รากสามารถดูดดึงเอาธาตุอาหารไปใช้ได้มากขึ้น(Mishra *et al.*, 1997) Ramasamy และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาผลของการระบายน้ำที่มีต่อการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตข้าว พบว่าผลผลิตข้าวจะเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ในทุกแปลงทดลองที่มีการระบายน้ำระหว่างการเพาะปลูกข้าว โดยผลผลิตข้าวจะเพิ่มมากที่สุดในแปลงที่ดินมีอัตราการซึมลงของน้ำสูง(High percolation rate) ส่วนในดินที่มีอัตราการซึมลงของน้ำต่ำจะมีปริมาณผลผลิตข้าวน้อยแม้ว่าจะใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูงก็ตาม นอกจากนี้ยังพบว่า การระบายน้ำเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้แก่รากข้าว ทำให้รากข้าวสามารถสังเคราะห์สารไซโตไคนิน (Cytokinin)ได้มากขึ้น อันเป็นผลให้กิจกรรมในการสังเคราะห์แสงเกิดได้มากขึ้น ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรทไปสะสมที่เมล็ดข้าวมากขึ้นด้วย การตอบสนองของผลผลิตข้าวที่เพิ่มขึ้นตามการระบายน้ำ มักจะเกิดร่วมกับ

จำนวนเมล็ดดีต่อรวง น้ำหนักเมล็ด และมวลชีวภาพของรากข้าว และยังพบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในรากจะเพิ่มขึ้นตามกิจกรรมการออกซิเดชันของราก(Oxidation activity)

เมื่อพิจารณาด้านคุณภาพข้าว น้ำ และปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวได้รับเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว(Yoshida, 1981; Jongkaewwattana and Geng, 1991) ดังนั้นการจัดสรรน้ำและปุ๋ยให้แก่ต้นข้าว จะต้องพิจารณาถึงผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดข้าว เนื่องจากปริมาณน้ำและปุ๋ยไนโตรเจนที่ให้แก่ต้นข้าวนั้น มีผลต่อคุณภาพการสีและการหุงของเมล็ดข้าว ซึ่งลักษณะสมบัติดังกล่าวจะใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดราคาข้าวสำหรับการส่งออก (อัมมาร สยามวาลา และวิโรจน์ ณ ระนอง, 2533) การเปลี่ยนแปลงสภาพการเพาะปลูกสามารถส่งผลต่อคุณภาพการสีและการหุงของเมล็ดข้าวได้ ดังที่ ตติย สีหร่าย(2538) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการระบายน้ำ และปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่มีต่อคุณภาพการสี สมบัติทางชีวเคมี และคุณภาพการหุง พบว่า การเพิ่มระยะเวลาการระบายน้ำจากแปลงเพาะปลูก ในช่วงหลังจากที่ต้นข้าวออกดอก จะทำให้จำนวนต้นต่อกอของข้าวของพันธุ์ข้าวต่าง ๆ มีแนวโน้มลดลง แต่ไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในข้าวเปลือกและปริมาณอมัยโลส ในขณะเดียวกันการเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนจะทำให้จำนวนต้นต่อกอของข้าว ปริมาณโปรตีนในข้าวเปลือกและปริมาณโปรตีนในข้าวสารสูงขึ้น แต่ปริมาณอมัยโลสจะลดลง ทั้งนี้อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาการขังน้ำ ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ข้าว จะทำให้ปริมาณโปรตีนในข้าวสารมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่การเพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนจะทำให้ปริมาณโปรตีนในข้าวสารพันธุ์ต่าง ๆ สูงขึ้น

ในด้านปริมาณผลผลิตข้าวนั้น เพียงใจ วงษ์เชษฐา(2529)ได้ทำการศึกษาการจัดการน้ำในการปลูกข้าวพันธุ์ กข 23 ที่ระดับน้ำตั้งแต่ 5-20 เซนติเมตร พบว่าการรักษาระดับน้ำที่ 5 – 10 เซนติเมตรตลอดการเพาะปลูก ทำให้ข้าวมีจำนวนต้นต่อกอ และจำนวนรวงต่อกอ มากกว่าการรักษาระดับน้ำที่ลึก 20 เซนติเมตร โดยแปลงที่ได้รับผลผลิตสูงสุดคือ แปลงที่รักษาระดับน้ำ 5 เซนติเมตรตลอดฤดูปลูก (837.9 กิโลกรัม/ไร่) และปรากฏว่าผลผลิตข้าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้น

เช่นเดียวกับ Wannasai และคณะ (2534) ซึ่งได้รายงานว่าระดับน้ำในนามีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยข้าวที่ปลูกในระดับน้ำ 0, 5, 10 และ 15 เซนติเมตร มีความสูงน้อยกว่า แต่แตกกอและให้ผลผลิตมากกว่าข้าวที่ปลูกในระดับน้ำ 20 เซนติเมตร โดยข้าวที่ปลูกในระดับน้ำเรี่ยผิวดิน(0 เซนติเมตร) ให้ผลผลิตสูงสุดคือ 659 กก./ไร่

ซึ่งสูงกว่าเมื่อปลูกในระดับน้ำ 20 เซนติเมตร 109 กก./ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 19.8 นอกจากนั้น คุณภาพการสีของข้าวที่ปลูกในระดับน้ำ 0 – 15 เซนติเมตร ยังสูงกว่าของระดับน้ำ 20 เซนติเมตร โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์ข้าวหักของข้าวที่ปลูกในระดับน้ำ 0, 5, 10 และ 15 เซนติเมตร น้อยกว่าที่ปลูกในระดับน้ำ 20 เซนติเมตร ทั้งนี้ระดับน้ำไม่มีผลต่อปริมาณอมัยโลสและความคงตัวของแป้งสุก

การทำนาในประเทศไทย ชาวนาไทยมักจะยึดถือว่าต้องมีน้ำขังหล่อเลี้ยงต้นข้าวอยู่ตลอดเวลา จึงมีการใช้น้ำมากเกินความจำเป็นโดยเฉพาะการทำนาสวนซึ่งเป็นประเภทการทำนาที่มีมากที่สุดในประเทศไทย ซึ่งมักมีระดับน้ำขังอยู่ที่ประมาณ 50-80 เซนติเมตรจากพื้นดิน (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527) การปลูกข้าวไม่จำเป็นต้องมีน้ำขังในแปลงนาตลอดเวลาการเพาะปลูกการให้น้ำแก่ข้าวมากเกินไปเป็นการสิ้นเปลืองน้ำเพราะจะต้องใช้น้ำในนาเป็นจำนวนมาก และทำให้เกิดการสูญเสียน้ำไปกับการระเหยและซึมลงใต้ดินมาก โดยปริมาณการสูญเสียน้ำจะเพิ่มตามระดับความสูงของน้ำที่ขังอยู่ในแปลงนา(ดิเรก ทองอร่าม, 2524) นอกจากนี้ยังทำให้ผลผลิตของข้าวลดลงอีกด้วยเพราะปริมาณน้ำที่มีมากเกินไปนั้นจะยับยั้งการแตกกอของข้าว ซึ่งจะมีผลทำให้การพัฒนาหน่อของข้าว(Tiller)ไปเป็นรวงข้าวลดลง อันจะส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลงด้วย(De Datta, 1981; Borell *et al.*,1997; Mishra *et al.*,1997; Ramasamy *et al.*, 1997) อีกทั้งการปล่อยให้น้ำขังอยู่ในแปลงนาตลอดเวลาจะทำให้ดินขาดออกซิเจน ในสภาวะดังกล่าวจุลินทรีย์ดินชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจน โดยเฉพาะพวกที่อยู่ไม่ได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน(Strictly anaerobe) จะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเล็คตรอนในกระบวนการหายใจ จึงทำให้เกิดก๊าซมีเทนขึ้น(IRRI, 1991 ; Neue, 1993 ; Yagi *et al.*, 1996)

2.5 สถานการณ์การเพาะปลูกข้าว

2.5.1 สถานการณ์เพาะปลูกข้าวของโลก

สถานการณ์ในปัจจุบันประชากรโลกมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นทุกปี ในขณะที่พื้นที่ในการให้ผลผลิตลดน้อยลงเรื่อย ๆ โดยเฉพาะนาข้าว เนื่องจากการพังทลายของหน้าดิน การรุกล้ำของน้ำทะเล และการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ไปใช้ด้านอื่น โดยเมื่อพิจารณาถึงศักยภาพทางการตลาดแล้วคาดว่าจะมีความต้องการผลิตภัณฑ์ข้าวจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามอัตราการเพิ่มของประชากร

เอฟ.เอ.โอ (FAO, 1990) ได้คาดคะเนสถานการณ์ข้าวของโลกจนถึงปี 2543 ว่า ผลผลิตข้าวจะเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 358 ล้านตันข้าวสาร เป็น 409 ล้านตันข้าวสาร พื้นที่ปลูกข้าวของโลกเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยพื้นที่ปลูกข้าวในทวีปเอเชีย ยุโรป และลาตินอเมริกา จะลดลง แต่พื้นที่ปลูกข้าวในทวีปอัฟริกาจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่การบริโภคต่อปีจะมากขึ้น โดยเฉพาะประเทศในแถบทวีปอัฟริกา และเอเชีย แต่ประเทศที่พัฒนาแล้วหลายประเทศการบริโภคจะลดลง การค้าของโลกจะเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับ 17.1 ล้านตันข้าวสาร ประเทศไทยจะยังคงเป็นผู้ส่งออกอันดับหนึ่งของโลก รองลงมาได้แก่ สหรัฐอเมริกา และ เวียดนาม ตามลำดับ แนวโน้มของราคาจะสูงขึ้นอันเป็นผลมาจากความต้องการข้าวคุณภาพดีมีมากขึ้น และผลผลิตได้แปรเปลี่ยนจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองมาเป็นข้าวพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่อไร่สูงและคุณภาพดี ประเทศผู้ส่งออกข้าวที่สำคัญของโลก ได้แก่ ประเทศไทยซึ่งมีส่วนแบ่งการตลาดร้อยละ 30 รองลงมาได้แก่สหรัฐฯ ซึ่งมีส่วนแบ่งการตลาดร้อยละ 17-18 ส่วนเวียดนามส่งออกเป็นอันดับสามของโลก ซึ่งส่วนใหญ่จะส่งออกข้าวคุณภาพต่ำ

2.5.2 สถานการณ์การเพาะปลูกข้าวในประเทศไทย

ประเทศไทยมีการปลูกข้าวประมาณปีละ 59 ล้านไร่ ได้ผลผลิตรวมประมาณปีละ 19-21 ล้านตัน ใช้ในประเทศปีละ 13 ล้านตัน จะเหลือส่งออก 6-8 ล้านตัน คิดเป็นข้าวสารประมาณ 4.5 - 5.3 ล้านตัน (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2539)

การค้าข้าวของโลกจะแบ่งตามชนิดของคุณภาพข้าวและคุณภาพของการสี การค้าข้าวของโลกจะเป็นการค้าข้าวเมล็ดยาว(Indica)ประมาณร้อยละ 87 และประมาณร้อยละ 11 เป็นข้าวเมล็ดสั้น(Japonica) ที่เหลือร้อยละ 1.2 เป็นข้าวหอม และข้าวเหนียว และยังแบ่งเป็นชนิดข้าวคุณภาพดีและข้าวคุณภาพต่ำ (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2539) สำหรับไทยข้าวคุณภาพดีที่มีศักยภาพในการส่งออก ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ และ ข้าวกข.ต่าง ๆ ที่นำไปผลิตเป็นข้าว 100 % ได้มาก เช่น กข.21 กข.23 สุพรรณบุรี 60 ชัยนาท 1 เป็นต้น

แม้ว่าประเทศไทยจะส่งออกข้าวได้มากเป็นอันดับหนึ่งของโลก แต่ผลผลิตข้าวเฉลี่ยต่อไร่ยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำ เมื่อเทียบกับประเทศผู้ผลิตรายสำคัญของโลกในทวีปเอเชียด้วยกัน สาเหตุสำคัญที่ทำให้การผลิตข้าวของไทยได้ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ต่ำ ได้แก่ พื้นที่นาจำนวนมากมีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ ระบบชลประทานไม่สมบูรณ์ทำให้มีความเสี่ยงต่อการขาดน้ำ เนื่องจากพื้นที่

นาส่วนใหญ่อยู่ในเขตอาศัยน้ำฝน(ตารางที่ 2.4) จึงมักประสบปัญหาในเรื่องภัยแล้งและน้ำท่วมเป็นประจำเกือบทุกปี

เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของพื้นที่ชลประทานกับประเทศผู้ผลิตข้าวที่สำคัญ จะเห็นว่าประเทศไทยยังมีความล้าหลังของระบบชลประทานอยู่มาก นอกจากนั้นเทคโนโลยีในการปลูกข้าวยังต่ำ ปัจจัยการผลิตยังไม่เพียงพอและมีราคาแพงโดยเฉพาะเมล็ดพันธุ์ดีและปุ๋ย และการใช้เครื่องจักรที่เป็นเครื่องทุ่นแรงซึ่งยังไม่พัฒนาเท่าที่ควร อีกทั้งยังขาดแคลนแรงงานในการผลิตซึ่งมีแนวโน้มรุนแรงขึ้น (กัมปนาท มุขดี, 2540; วิเชียร เพชรพิสิฐ, 2540) ส่วนในด้านการวิจัยและพัฒนานั้น แม้ว่าปัจจุบันประเทศไทยจะมีการวิจัยพันธุ์ข้าวคุณภาพดีใหม่ ๆ มาหลายพันธุ์ แต่ยังไม่สามารถหาพันธุ์ที่มีคุณภาพดีและสามารถต้านทานทุก ๆโรคได้ อีกทั้งยังขาดงานวิจัยทางด้านพันธุวิศวกรรมที่จะนำมาใช้ปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ตารางที่ 2.4 พื้นที่ปลูกข้าว ผลผลิตข้าวเฉลี่ยต่อไร่ของประเทศไทย และประเทศผู้ผลิตข้าวที่สำคัญของโลก

ประเทศ	พื้นที่ปลูกปีพ.ศ.2539[1] (1000 เฮคแตร์)	พื้นที่ชลประทาน[2] (%)	พื้นที่ข้าวนาไร่[2] (%)	พื้นที่นาน้ำฝน[2] (%)	ผลผลิตปีพ.ศ.2539[1] (กิโลกรัม/เฮคแตร์)
สหรัฐอเมริกา	1,133	100	0	0	6,860
บราซิล	3,923	19	75	6	2,558
บังคลาเทศ	10,030	22	8	70	2,792
กัมพูชา	1,950	8	2	90	1,739
จีน	31,360	93	2	5	6,062
อินโดนีเซีย	11,332	72	11	17	4,515
อินเดีย	42,700	53	15	32	2,811
ญี่ปุ่น	2,100	99	1	0	6,191
ลาว	520	2	37	61	2,500
มาเลเซีย	660	66	12	22	3,129
พม่า	6,745	18	6	76	2,865
ฟิลิปปินส์	3,951	61	2	37	2,856
ปากีสถาน	2,264	100	0	0	2,451
ไทย	9,220	7	1	92	2,364
เวียดนาม	7,300	53	8	39	3,603

1 (FAO, 1997) ; 2 (IPCC, 1996)

2.5.3 แนวทางการพัฒนาข้าวในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 8

ในช่วงแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 8 (2540-2544) รัฐบาลมีนโยบายที่จะลดพื้นที่ปลูกข้าวลง โดยให้ชาวนาหันไปปลูกพืชที่ใช้น้ำน้อยแทน เนื่องจากแนวโน้มการใช้น้ำเพื่ออุปโภคและบริโภคที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อการเพาะปลูกไม่ค่อยพอเพียงกับความต้องการ รัฐบาลได้กำหนดพื้นที่เป้าหมาย แบ่งเป็น การลดพื้นที่นาปีลงให้เหลือ 55 ล้านไร่ การเปลี่ยนพื้นที่นาที่ไม่เหมาะสม 6.0 ล้านไร่ และ การลดพื้นที่นาปรังลงให้เหลือ 3 ล้านไร่ โดยเพิ่มผลผลิตนาปีให้ได้ 367 กิโลกรัมต่อไร่ และเพิ่มผลผลิตข้าวนาปรังให้ได้ 750 กิโลกรัมต่อไร่ ในปี พ.ศ.2544 ทั้งนี้ได้กำหนดเป้าหมายการผลิตเพื่อให้พอกับการใช้ในประเทศ 14 ล้านตันข้าวเปลือก และขยายการส่งออกเพิ่มเป็น 5 ล้านตันข้าวสาร หรือ 7.575 ล้านตันข้าวเปลือก (ตารางที่ 2.5)(สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2539)

ตารางที่ 2.5 การคาดคะเนความต้องการบริโภคและส่งออกผลผลิตข้าวของประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ.2540 - 2544 (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2539)

ปี	ความต้องการในประเทศ ล้านตันข้าวเปลือก	การส่งออก ล้านตันข้าวเปลือก (ล้านตันข้าวสาร)	รวม
2540	13.663	7.575 (5.0)	21.238
2541	13.889	7.575 (5.0)	21.464
2542	14.214	7.575 (5.0)	21.789
2543	14.540	7.575 (5.0)	22.115
2544	14.868	7.575 (5.0)	22.443

ในด้านการตลาด เมื่อพิจารณาถึงข้อตกลงการค้าโลก ได้แก่ GATT จากการเปิดตลาดสินค้าเกษตร ตามข้อผูกพันขององค์การการค้าโลก ที่เริ่มตั้งแต่ปี 2538 ประเทศสมาชิกจะต้องปฏิบัติตามพันธกรณี ได้แก่ การเปิดตลาด การลดภาษีศุลกากร การลดการอุดหนุนผู้ผลิตและการลดการอุดหนุนส่งออก ซึ่งคาดว่าจะมีผลดีต่อการส่งออกข้าวไทย โดยคาดว่าจะสามารถส่งออกข้าวคุณภาพดีเพิ่มขึ้น และจาก AFTA (การเจรจาของการค้าเสรีอาเซียน) อินโดนีเซีย มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ สิงคโปร์ ไทย และเวียดนาม ได้ตกลงร่วมกันทางเศรษฐกิจ โดยให้สิทธิพิเศษทางการค้า ซึ่ง

ประเทศภาคีอาเซียนจะต้องลดหย่อนอัตราภาษีศุลกากรให้อยู่ในระดับต่ำ เหลือเพียงอัตราร้อยละ 0-5 ภายใน 10 ปี ซึ่งถ้ามีการพิจารณาสินค้าไม่แปรรูป รวมทั้งข้าวเข้าในรายการลดภาษี คาดว่าจะเป็นผลดีต่อการส่งออกข้าวไทย เนื่องจากประเทศไทยมีศักยภาพในการส่งออกมากที่สุดในบรรดาประเทศสมาชิกด้วยกัน

จากข้อเท็จจริงของสถานการณ์และแนวโน้มในอนาคต ปัญหาสำคัญที่จะเกิดขึ้นคือการเพิ่มผลผลิตภายใต้พื้นที่ที่ลดลง และอีกปัญหาที่สำคัญคือ ทรัพยากรน้ำมีจำกัด โดยเฉพาะในฤดูแล้งที่การใช้น้ำเพื่ออุปโภคบริโภคมีเพิ่มขึ้น การทำนาปรังจึงมักประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำ ซึ่งถ้าการเพิ่มประชากร การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการพังทลายของหน้าดิน เกิดขึ้นมากดังที่มีการคาดการณ์ไว้ ภาวะการณ์ในศตวรรษหน้าจะถูกจำกัดลงด้วยการลดลงของพื้นที่ปลูกข้าว ซึ่งภายใต้สภาวะดังกล่าวการที่จะทำให้ปริมาณผลผลิตข้าวเพียงพอกับความต้องการบริโภคภายในประเทศและส่งออก ประเทศไทยจำเป็นต้องมีการเพิ่มปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ การที่จะเพิ่มผลผลิตข้าวต่อพื้นที่ให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น นอกจากการปรับปรุงพันธุ์พืชแล้ว ยังต้องมีการจัดการดิน น้ำ และปุ๋ยให้เหมาะสมกับข้าวและพืชบำรุงดินที่ปลูกด้วย

2.6 การปรับปรุงรูปแบบการเพาะปลูกข้าวของประเทศไทยให้กับสภาพภูมิอากาศโลก

พฤติกรรมการเพาะปลูกของชาวนาไทยในปัจจุบันยังไม่สอดคล้องกับแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซมีเทนที่ได้มีการนำเสนอทั้งในระดับชาติและนานาชาติ(การจัดการน้ำ การใส่ปุ๋ย การใส่สารอินทรีย์ พันธุ์ข้าว วิธการเพาะปลูก และการใส่สารยับยั้งการผลิตก๊าซมีเทน, หน้า 4) ซึ่งแม้จากผลการวิจัยทั้งหลายจะพบว่าการใช้ปุ๋ยหมักจะให้การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวในปริมาณที่น้อยกว่าการใช้ฟางข้าวและปุ๋ยคอกเป็นอย่างมาก แต่ในทางปฏิบัติแล้วชาวนายังไม่นิยมการนำเศษเหลือจากการเกษตรมาทำเป็นปุ๋ยหมัก ส่วนใหญ่มักจะทำการเผาให้เป็นขี้เถ้าแกลบเสียตั้งแต่ในช่วงการพักดิน โดยการเผาฟางข้าวก็เป็นการเผาโดยใช้อุณหภูมิต่ำ ซึ่งถือเป็นการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ อันจะทำให้เกิดแอโรซอล(Aerosol) และก๊าซมีเทนขึ้นเป็นจำนวนมาก (Brown and Adgar, 1994) นอกจากนั้นในช่วงการเตรียมดินเพื่อการเพาะปลูก ชาวนาจะทำการไถกลบตอซังเพื่อปรับหน้าดินให้เรียบ ซึ่งเป็นวิธีการเพิ่มอินทรียวัตถุที่มีปริมาณคาร์บอนที่ง่ายต่อการย่อยสลายให้แก่ดิน

ส่วนแนวทางในการจัดการพื้นที่นาของประเทศเพื่อยกระดับผลผลิตนั้น เนื่องจากประมาณ 77% ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด เป็นพื้นที่นาข้าวน้ำฝนซึ่งไม่สามารถควบคุมระดับน้ำและการระบายน้ำในแปลงนาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ผลผลิตข้าวต่อพื้นที่ค่อนข้างต่ำ ส่วนการทำนาในเขตชลประทานซึ่งมีการควบคุมระดับน้ำและให้ผลผลิตต่อไร่สูงกว่านั้น ก็ยังไม่ได้รับการพัฒนาเท่าที่ควร ทำให้ความเป็นไปได้ในการยกระดับผลผลิตโดยรวมของข้าวมีน้อยเมื่อพิจารณาภาพรวมของระบบชลประทานในประเทศแล้ว จะพบว่าปัจจุบันพื้นที่การเกษตรในภาคกลาง ซึ่งมีระบบชลประทานเป็นกิจจะลักษณะที่สุดได้ถูกแปรสภาพไปทำกิจกรรมอื่นเป็นจำนวนมาก ในขณะที่ภาคอื่น ๆ แม้ว่าจะมีการลงทุนด้านการชลประทานไปบ้าง แต่พื้นที่ที่คลองชลประทานส่วนใหญ่ไหลผ่านนั้นไม่ได้ทำนา (วิเชียร เพชรพิสิฐ, 2540) ดังนั้นการมุ่งเน้นในจัดการแหล่งน้ำเพื่อการเกษตร จะช่วยปรับปรุงระบบชลประทานให้สามารถควบคุมระดับน้ำ และระบายน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ อันจะยังผลให้ปริมาณผลผลิตข้าวต่อพื้นที่สูงขึ้น

ความเป็นไปได้ในการนำมาตรการในการลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวมาใช้ในภาคปฏิบัติ สามารถทำได้โดยผ่านทางการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการเพาะปลูก และการจัดการพื้นที่ ซึ่งความเป็นไปได้การปรับเปลี่ยนดังกล่าวนี้จำเป็นต้องขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของชาวนา ร่วมกับทิศทางการกำหนดนโยบายของรัฐบาล ควบคู่ไปกับการพิจารณาความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจและการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม