บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สภาวะการณ์ก๊าซเรือนกระจก

1. อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (The United Nations Framework Convention on Climate Change 1992)

เนื่องจากในปัจจุบันปริมาณของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases) ได้เพิ่มมากขึ้น เป็นผลต่อการเพิ่มอุณหภูมิของโลก จนทำให้เกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) หรือภาวะโลกร้อน (Global warming) ซึ่งประเทศต่าง ๆ ได้ตระหนักถึงปัญหานี้ โดยร่วมมือกันเพื่อหาทางแก้ไข และป้องกันปัญหาดังกล่าวขึ้น ในการประชุมสหประชาชาติว่าด้วย สิ่งแวดล้อมและการพัฒนาที่กรุงริโอ เดอจาเนโร ประเทศบราซิล ผลจากการประชุมได้มีการลงนามใน อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วย การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก เมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ.2535

อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วย การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก มีวัตถุประสงค์เพื่อปกป้องชั้นบรรยากาศของโลก โดยรัฐบาลของรัฐภาคีมีความผูกพันที่จะต้องดูแลควบคุมให้ก๊าซที่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกในประเทศของตน อยู่ในระดับที่จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อชั้นบรรยากาศของโลก ข้อผูกพันที่รัฐบาลภาคีจะต้องปฏิบัติตาม ได้แก่ รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวกับปริมาณของก๊าซเรือนกระจก กำหนดนโยบาย แผนงาน และกลยุทธ์ภายในประเทศ เพื่อลดการทำอันตรายแก่ชั้นบรรยากาศของโลก สนับสนุนให้มีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับก๊าซเรือนกระจก ส่งเสริมความเข้าใจ ตลอดจนให้การศึกษาแก่ประชาชนให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับปัญหาดังกล่าว (สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2539)

2. การประชุมอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ณ กรุงเกียวโต (Kyoto conference)

ในปี พ.ศ. 2540 ได้มีการประชุมอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ณ กรุงเกียวโต ประเทศญี่ปุ่น (Kyoto conference) มีผู้แทนจาก 160 ประเทศเข้าร่วมประชุม เพื่อหาข้อสรุปร่วมกันในการตั้งเป้าหมายเกี่ยวกับการลดก๊าซเรือนกระจก ตามข้อตกลงที่กรุงริโอ เดอจาเนโร (1992 Rio Earth Summit, The Climate

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Change Treaty) ในการประชุมที่เกียวโตนี้ มีข้อตกลงให้ประเทศที่พัฒนาแล้วต้องพยายามลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ ภายในปี ค.ศ. 2020 โดยให้มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ย 5.2 เปอร์เซ็นต์ จากที่เคยปลดปล่อยในปี ค.ศ.1990 ทั้งนี้ ประเทศที่ร่วมประชุมทั้งหมดได้เห็นพ้องกัน และยอมให้บางประเทศสามารถ "ซื้อ" หรือว่า ผ่อนส่งมลภาวะในตลาดนานาชาติ คือ ยอมให้ประเทศที่มีอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่าพิกัด สามารถขายโควต้าส่วนนี้ให้ประเทศอื่น ซึ่งเป็นผู้ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในความจุเท่าเทียมกันได้

สำหรับประเทศที่กำลังพัฒนา ก็มีภาระที่จะต้องจัดทำบัญชีรายงานแห่งชาติ (National inventories) ว่าด้วยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากภาคอุตสาหกรรม พลังงาน ป่าไม้ การเกษตร และอื่น ๆ ในภาพรวม ถึงแม้ว่า ยังไม่เป็นพันธกรณี แต่ก็ต้องพยายามใช้มาตรการต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่การลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศลงไปเท่ากับหรือน้อยกว่าปี ค.ศ. 1990 (จริยา บุญญวัฒน์, 2541 ; นฐปัทม์ จิตพิทักษ์, 2541)

ก๊าซมีเทน

1. ลักษณะสมบัติของก๊าซมีเทน

ก๊าซมีเทนเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทอลิฟาติก (Aliphatics) โดยจัดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่เรียกว่า อัลเคนหรือพาราฟิน (Paraffins) ซึ่งมีสมบัติเป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส (Franson et al., 1985)

สูตรโมเลกุลของก๊าซมีเทน คือ CH_4 ซึ่งเป็นนอนโพลาร์โมเลกุล มีจุดหลอมเหลว –182.5 ^{o}C และจุดเดือด –161.5 ^{o}C (ทบวงมหาวิทยาลัย, 2528 ; อุดม ก๊กผล, โสภณ เริงสำราญ และอมร เพชรสม, 2537 ; Streitwieser and Heathcock, 1976) ก๊าซมีเทนละลายในน้ำได้ค่อนข้างต่ำ คือ ประมาณ 12-40 มิลลิกรัมต่อลิตร (Yamamoto, Alcuskas and Crozier, 1976) นอกจากนี้ ก๊าซมีเทนยังสามารถทำปฏิกิริยาแทนที่เฮโลเจน (Halogenation) เมื่อมีแสงหรืออุณหภูมิประมาณ 200-400 ^{o}C และสามารถทำปฏิกริยาเผาไหม้ได้เมื่อมีความร้อนจะเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ โดยในการแยกพันธะของก๊าซมีเทนนั้นจะใช้พลังงาน 104 กิโลแคลอรีต่อโมล สำหรับการสร้างพันธะนั้นจะต้องใช้พลังงานความร้อน –17.9 กิโลแคลอรีต่อโมล ที่ 25 ^{o}C (ทบวงมหาวิทยาลัย, 2528 ; อุดม ก๊กผล, โสภณ เริงสำราญ และอมร เพชรสม, 2537 ; Streitwieser and Heathcock, 1976)

2. แหล่งกำเนิดของก๊าซมีเทน

ก๊าซมีเทนเกิดขึ้นในสภาพที่มีออกซิเจนอยู่น้อยหรือไม่มีออกซิเจนเลย (Anaerobic source) เช่นในดินที่มีการขังน้ำ (สมศักดิ์ วังใน, 2528 ; Wang et al., 1993) โดยก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นจากการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยไฮโดรเจน กรดไขมัน หรือแอลกอฮอล์ นอกจากนั้น ก๊าซมีเทนยังเกิดจากการทรานเมธิลเลชัน (Tranmethylation) ของกรดอะซิติก หรือเมทิลแอลกอฮอล์ โดยกิจกรรมของเมทธาโนจีนิคแบคทีเรีย (สมศักดิ์ วังใน, 2528 ; Takai, 1970 ; Houghton et al., 1991)

ก๊าซมีเทนที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศมีแหล่งกำเนิด 2 แหล่งใหญ่ ๆ (Houghton et al., 1991 ; Minami, 1997) คือ

- เกิดจากธรรมชาติ (Natural source) เช่น พื้นที่ลุ่มน้ำขัง ทะเลสาบ บ่อก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น
- เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthopogenic source) เช่น การทำเหมืองถ่านหิน การทำการเกษตร ปศุสัตว์ การใช้ถ่านหินน้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น (Houghton et al., 1991 ; Minami, 1997)

ซึ่ง Minami (1997) กล่าวว่า ประมาณ 70% ของก๊าซมีเทนที่เพิ่มขึ้น เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ และอีก 30% เกิดจากธรรมชาติ

ก๊าซมีเทนและปรากฏการณ์เรือนกระจก

1. ปรากฏการณ์เรือนกระจก

กิจกรรมของมนุษย์ได้ส่งเสริมให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ สู่บรรยากาศมากขึ้น จึงเป็นผลให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นกว่าปกติ เนื่องจากก๊าซเหล่านี้จะทำหน้าที่เสมือนเรือนกระจก ด้วยลักษณะสมบัติที่ดูดซับเฉพาะรังสีที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 600 นาโนเมตร ทำให้รังสีความร้อนที่สะท้อนออกจากโลก ถูกก๊าซเหล่านี้ดูดซับไว้ไม่ให้กระจายออกสู่บรรยากาศชั้นอื่น อุณหภูมิของโลกจึงสูงขึ้น จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งซึ่งความร้อนที่โลกได้รับ และสะท้อนออกสู่บรรยากาศเท่ากัน [United Nation Environment Program (UNEP), 1987] และมีข้อมูลบ่งชี้ว่า หลายส่วนของโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1-2 $^{\circ}$C (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2535)

2. อัตราการเพิ่มและความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจก

อัตราการเพิ่มและความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกชนิดต่างๆ ปรากฏดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นในบรรยากาศ (ppbv) และอัตราที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี (เปอร์เซ็นต์) ของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ (UNEP, 1987)

ชนิดของก๊าซ	ความเข้มข้นในบรรยากาศ (ppbv)	%ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี
คาร์บอนไดออกไซด์	344,000	0.4
มีเทน	1,650	1.0
ไนตรัสออกไซด์	340	0.25
เมธิลคลอโรฟอร์ม	0.13	7.0
โอโซน	มีค่าไม่คงที่	-
ซี.เอฟ.ซี 11	0.23	5.0
ซี.เอฟ.ซี 12	0.4	5.0
คาร์บอนเตตระคลอไรด์	0.125	1.0
คาร์บอนมอนอกไซด์	มีค่าไม่คงที่	0-2

สำหรับความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์ ตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1982 ที่มีความเข้มข้นประมาณ 1.7 ppmv หรือประมาณ 5000 ตัน เป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้นถึง 2 เท่าจากปริมาณที่เคยมีอยู่ในบรรยากาศเมื่อปี ค.ศ. 1700 (UNEP, 1987 ; Sharkey et al., 1991)

3. บทบาทของก๊าซมีเทนที่ทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น

ก๊าซมีเทนมีความสามารถในการดูดกลืนรังสีอินฟาเรด ซึ่งความสามารถในการดูดกลืนนี้ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับรากที่สองของความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์ (Badr et al., 1991) ในสภาวะที่มีก๊าซไนโตรเจนอยู่มากกว่า 10 ส่วนในพันส่วน ก๊าซมีเทนในบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์จะถูกออกซิไดซ์ด้วยไฮดรอกซิลเรดิเคิล ($OH^{\cdot}$) เกิดเป็นก๊าซโอโซน แต่ในสภาวะที่มีก๊าซไนโตรเจนน้อยกว่า 10 ส่วนในพันส่วน จะเกิดเป็นไอน้ำ ซึ่งทั้งไอน้ำและโอโซนก็สามารถดูดซับรังสีความร้อนได้เช่นกัน ดังนั้น ก๊าซมีเทนจึงมีศักยภาพทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น ได้มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่เท่ากัน (Badr et al., 1991 ; Sharkey et al., 1991)

นอกจากนี้ ก๊าซมีเทนบางส่วนจะเข้าไปสู่บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ก๊าซมีเทนจะถูกออกซิไดซ์เกิดเป็นไอน้ำ ซึ่งสามารถทำลายโอโซนที่มีอยู่มากในบรรยากาศชั้นนี้ รวมทั้ง ก๊าซมีเทนยังสามารถทำปฏิกิริยากับคลอไรด์เรดิเคิล ($Cl^{\cdot}$) เกิดเป็น HCl ก่อให้เกิดปัญหารูรั่วของโอโซนขึ้นได้ (Houghton et al., 1991 ; Schutz et al., 1991)

การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

1. กลไกการเกิดและการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวสู่บรรยากาศ

ดินในแปลงนาที่มีน้ำท่วมขังจะมีสภาพขาดออกซิเจน เนื่องจากการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างอากาศในดินและในบรรยากาศถูกยับยั้งจากชั้นน้ำที่ขังอยู่ในแปลงนา และในสภาวะที่ขาดออกซิเจนนี้ จุลินทรีย์ดินชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Strictly anaerobes) จะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเลคตรอนในการหายใจ จึงทำให้เกิดก๊าซมีเทนขึ้น (Yagi and Minami, 1990 ; Badr et al., 1991 ; IRRI, 1991 ; Sharkey et al., 1991 ; Neue, 1993)

ปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้นในดินนาที่มีน้ำขัง ตามลำดับจากบนลงล่าง (ทัศนีย์ อัตตะนันท์, 2531 ; De Datta, 1981) เป็นดังนี้

$O_2 \longrightarrow H_2O$

$NO_3 \longrightarrow NO_2 \longrightarrow N_2$ (Denitrification)

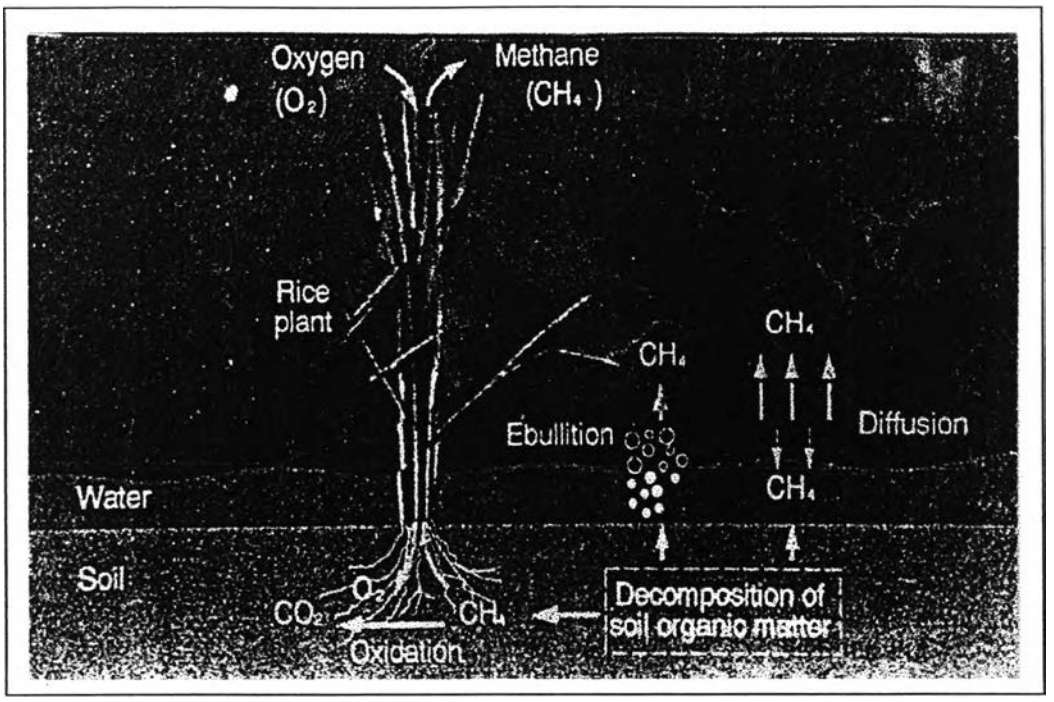
$Mn^{+4} \longrightarrow Mn^{+2}$ (Manganese reduction)

$Fe^{+4} \longrightarrow Fe^{+2}$ (Iron reduction)

$SO_4 \longrightarrow S^{2-}$ (Sulfate reduction)

$CO_2 \longrightarrow CH_4$ (Methane fermentation)

การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวที่มีน้ำท่วมขังสู่บรรยากาศเกิดขึ้นได้ โดยการแพร่ผ่านชั้นน้ำ (Diffusion) ฟองอากาศ (Ebullition) และผ่านทางต้นข้าว (IRRI, 1991 ; Neue et al., 1994) ประมาณ 80% ของก๊าซมีเทนจะถูกปล่อยสู่บรรยากาศโดยจะผ่านทางต้นข้าวซึ่งเป็นเสมือนปล่องปล่อยก๊าซ (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2541 ; Cicerone and Shetter, 1981 ; IRRI, 1991 ; Neue, 1993 ; Kimura and Minami, 1995 ; Siriratpiriya et al., 1995)



รูปที่ 2.1 กลไกการเกิดและปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวสู่บรรยากาศ (IRRI, 1991)

กลไกการปล่อยก๊าซมีเทนผ่านทางต้นข้าวนั้น เกิดจากการแพร่ และการไหลของก๊าซ เนื่องจากความดันก๊าซของสองตำแหน่งภายในช่องอากาศ (Aerenchyma) ของต้นข้าวต่างกัน (Sharkey et al., 1991) โดยก๊าซมีเทนที่สร้างขึ้นในดินรอบ ๆ รากข้าว จะแพร่เข้าสู่รากข้าว ในบริเวณคอร์เท็กซ์ (Cortex) แล้วจึงเคลื่อนผ่านช่องอากาศ (Lysigenous intercellular spaces) และแอเรนไคม่า (Aerenchyma) ในที่สุด ก๊าซมีเทนจะถูกปล่อยออกมาทางรูเล็ก ๆ (Micropore) ในกาบใบ (Nouchi et al., 1990) โดยก๊าซมีเทนจะปล่อยสู่บรรยากาศมากที่สุดในบริเวณรู (Micropore) แรก ๆ ที่อยู่พ้นจากผิวน้ำ (Butterbach-bahl, 1992 อ้างถึงใน Neue et al., 1997)

สำหรับการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศในรูปฟองก๊าซนั้น จะเกิดเมื่อความดันของก๊าซมีเทนมีค่ามากกว่าความดันของน้ำ (Hydrostatic pressure) ขณะที่การปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศโดยแพร่ผ่านชั้นน้ำ จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซมีเทนในดิน น้ำ อากาศ และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่จะขึ้นอยู่กับความเร็วลม และอุณหภูมิของน้ำ (Sharkey et al., 1991)

การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวได้มีการศึกษาอย่างมากมาย เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา (Cicerone and Shetter, 1981 ; Lindau et al., 1990 ; Sass et al., 1990) สเปน (Seiler et al., 1984) อิตาลี (Holzalfel-Pschorn et al., 1986 ; Schutz et al., 1989)

จีน (Schutz et al., 1990) ญี่ปุ่น (Yagi and Minami, 1990) และฟิลิปปินส์ (IRRI, 1994) พบว่า อัตราการผลิตก๊าซมีเทน และอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนมีความแปรผันมาก โดยในรอบวัน การปล่อยก๊าซมีเทนจะสูงสุดในช่วงบ่ายต้น ๆ และจะต่ำสุดในตอนกลางคืน ซึ่งจะแปรผันตามอุณหภูมิของอากาศและดิน รวมถึง ความเป็นกรดเป็นด่าง ความเข้มข้นของออกซิเจน ในน้ำและในดินผิวหน้า สำหรับการปล่อยก๊าซมีเทนตามระยะการเจริญเติบโตนั้น พบว่า จะมีการปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุดในช่วงการเจริญเติบโตทางต้นและใบ (Vegetative phase) และหลังจากนั้นจะลดลง แต่บางครั้งจะเพิ่มขึ้นอีกในระยะดอกข้าวบาน แล้วจะลดลงในที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า การปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศในฤดูแล้งมีมากกว่าฤดูฝน

2. ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

นักวิจัยหลายท่าน (Cicerone and Oremland, 1988 ; Houghton et al., 1991 ; Robin et al., 1992 ; Neue, 1993 ; Minami, 1994) ได้กล่าวว่า นาข้าวจัดเป็นแหล่งปล่อยก๊าซมีเทน เนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์แหล่งใหญ่ที่สุดแหล่งหนึ่ง โดย Sass และ Fisher (1992) กล่าวว่า การปลูกข้าวแบบนาชลประทาน ปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศประมาณ 15-20% ของการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดในโลกต่อปี และจากการประเมินของ IPCC (1992) พบว่า อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวทั้งโลกอยู่ในช่วง 20 ถึง 150 ล้านตันต่อปี หรือคิดโดยเฉลี่ยประมาณ 60 ล้านตันต่อปี คิดเป็น 5-30% ของก๊าซมีเทนที่ปล่อยทั้งหมดในโลก แต่ค่าที่ได้ส่วนใหญ่เป็นการประเมินจากการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวของประเทศสหรัฐอเมริกา สเปน อิตาลี จีน อินเดีย ออสเตรเลีย และญี่ปุ่น แต่ 90% ของพื้นที่ปลูกข้าวของโลกอยู่ในเอเชีย ซึ่ง 60% อยู่ในประเทศอินเดีย และจีน ดังนั้น ยังต้องการรายละเอียดเกี่ยวกับการปล่อยก๊าซมีเทนในเอเชีย เพื่อความถูกต้องในการประเมินผล (Minami, 1994)

Husin Ya และคณะ (1995) ประเมินการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว (Wetland rice) ในประเทศอินโดนีเซีย 4 ล้านตันต่อปี

สำหรับในประเทศไทยนั้น อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2541) ประเมินการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวของประเทศไทย จะมีประมาณ 1.81-4.03 ล้านตันต่อปี เช่นเดียวกันกับ Katoh และคณะ (1999) ทำการประเมิน พบว่า ก๊าซมีเทนทั้งหมดที่ถูกปล่อยจากนาข้าวในประเทศไทย มีประมาณ 3.7 ล้านตันต่อปี

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

3.1 ลักษณะสมบัติของดิน

ลักษณะสมบัติของดินที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ มีผลทำให้อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวแตกต่างกัน ดังเช่น Kanno และคณะ (1977) รายงานว่า ข้าวที่ปลูกในดินต่างชนิดกัน ในญี่ปุ่น มีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนต่างกัน เนื่องจากดินแต่ละชนิดมีลักษณะสมบัติที่ต่างกัน

พิจารณาจากลักษณะของเนื้อดิน (Soil texture) หากดินมีปริมาณคาร์บอนในเนื้อดินเหมือนกัน พบว่า ดินทราย (Sand) สามารถสร้างก๊าซมีเทนได้มากกว่าดินเหนียว (Clay) (Neue et al., 1997) แต่โดยส่วนมากเนื้อดินที่มีอนุภาคดินเหนียวมากจะสามารถอุ้มน้ำมาก เป็นผลให้สามารถดูดซับธาตุอาหารและจุลินทรีย์ได้ดี (สมศักดิ์ วังใน, 2524) จึงเป็นผลให้ในแปลงนาที่เนื้อดินเป็นดินเหนียว จะปล่อยก๊าซมีเทนมากที่สุดเมื่อเทียบกับดินทรายและดินร่วน (Cai et al., 1999) เช่นเดียวกันกับ Kanno และคณะ (1997) ที่พบว่า ดินที่มีเนื้อละเอียดจะปล่อยก๊าซมีเทนได้มากกว่าดินที่มีเนื้อหยาบ โดยดินที่มีเนื้อดินหยาบจะมีความสามารถในการออกซิไดซ์มีเทนได้ดีกว่าดินเนื้อละเอียด (Boeckx et al., 1997)

ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดิน (Redox potential : Eh) เป็นค่าที่แสดงถึงระดับความรุนแรงของปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันในดิน (ทัศนีย์ อัตตะนันท์, 2531) ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดิน มีความสัมพันธ์แบบตรงข้ามกับการเกิดก๊าซมีเทน (Neue, 1993) โดย Cai และคณะ (1999) พบว่า ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินที่ความลึก 5 ซ.ม. จะมีผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทน อย่างมีนัยสำคัญ ก๊าซมีเทนจะเริ่มเกิดขึ้นที่ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลต่ำกว่า –150 มิลลิโวลท์ (mV) (Wang et al., 1992, 1993) โดยแบคทีเรียที่สามารถผลิตก๊าซมีเทนในดิน (Methane producing bacteria) จะดำเนินกิจกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินลดลงต่ำกว่า –200 mV (Takai et al., 1970) เป็นผลให้ก๊าซมีเทนจำนวนมากถูกสร้างขึ้น (Mariko et al., 1991) ส่วน Cappenberg (1975) กล่าวว่า แบคทีเรียที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนจะมีมากที่สุด เมื่อค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินอยู่ระหว่าง–250 ถึง–300 mV ซึ่งทัศนีย์ อัตตะนันท์ (2531) ได้แสดงค่าโดยประมาณของรีดอกซ์โพเทนเชียลของดิน ดังปรากฏในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (mV) ของดินโดยประมาณที่สารประกอบต่าง ๆ ในดินถูกรีดิวซ์ (ทัศนีย์ อัตตะนันท์, 2531)

ปฏิกิริยารีดักชัน	ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (mV)
$O_2 \longrightarrow H_2O$	+380 ถึง +320
$NO_3 \longrightarrow N_2$, $Mn^{+4} \longrightarrow Mn^{+2}$	+280 ถึง +220
$Fe^{+4} \longrightarrow Fe^{+2}$	+180 ถึง +150
$SO^{-2} \longrightarrow S^{-2}$	-120 ถึง -180
$CO_2 \longrightarrow CH_4$	-200 ถึง -280

อัตราการไหลซึมของน้ำลงสู่ดินชั้นล่าง (Water percolation) เป็นอีกลักษณะสมบัติของดินที่สัมพันธ์กับการปล่อยก๊าซมีเทน กล่าวคือ เมื่อมีอัตราการไหลซึมของน้ำลงสู่ดินชั้นล่างสูง จะทำให้อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศต่ำลง (Yagi et al., 1998 ; Cai et al., 1999) ซึ่ง Yagi และคณะ (1998) กล่าวว่า อัตราการไหลซึมของน้ำลงสู่ดินชั้นล่างเพิ่มขึ้นจะทำให้เฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) ของดินในแปลงนาลดลง เป็นผลให้ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลเพิ่มขึ้น การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวจึงลดลงด้วย

อินทรียวัตถุในดินมีความสำคัญต่อการเกิดก๊าซมีเทน ซึ่ง Cai และคณะ (1999) กล่าวว่า ดินที่มีอินทรียวัตถุต่ำจะมีผลให้มีการปล่อยก๊าซมีเทนน้อยกว่าดินที่มีอินทรียวัตถุมาก การเพิ่มอินทรียวัตถุเข้าไปในดิน เช่น ฟางข้าว จะทำให้มีการสร้างก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของดินที่มีน้ำขังปกติ (Mariko et al., 1991) โดย Kimura (1997) ได้กล่าวว่า อินทรียวัตถุในดินและอินทรียวัตถุที่ใส่เข้าไปในแปลงนา เช่น ฟางข้าว จะเป็นแหล่งพลังงานที่จะใช้สร้างก๊าซมีเทนในนาข้าว

การเกิดก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นที่ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดินอยู่ระหว่าง 6 ถึง 8 (Wang et al., 1992, 1993) โดยการสร้างก๊าซมีเทนอย่างมีประสิทธิภาพ จะเกิดขึ้นที่ pH 6.4 ถึง 7.8 (Jenkins, 1963) Neue (1993) กล่าวว่า ในดินที่มีสภาพเป็นด่าง การเกิดก๊าซมีเทนจะเริ่มขึ้นภายหลังจากมีการขังน้ำเพียงไม่กี่ชั่วโมง ส่วนในดินที่มีสภาพเป็นกลางก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นหลังจากขังน้ำ 2-3 สัปดาห์ สำหรับในดินที่มีสภาพเป็นกรดจะใช้เวลามากกว่า 5 สัปดาห์ จึงจะเกิดก๊าซมีเทนขึ้น (Neue, 1993) แต่ในสภาพที่ดินเป็นกรดจัด ก๊าซมีเทนอาจจะไม่เกิดขึ้นเลย (Neue et al., 1997)

3.2 จุลินทรีย์ดิน (สมศักดิ์ วังใน, 2528)

ก๊าซมีเทนเกิดขึ้นได้โดยจุลินทรีย์หลายชนิดในดินที่มีน้ำขัง จุลินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นพวกแบคทีเรีย และเป็นพวก Anaerobes เจริญไม่ได้ในสภาพที่มี O_2 แบคทีเรียเหล่านี้อยู่ใน Family Methanobacteriaceae ประกอบด้วยสี่ Genera ด้วยกัน คือ

- Rod-shaped bacteria
  - A. Non-sporulating. Methanobacterium.
  - B. Sporulation. Methanobacillus.
- Spherical cells
  - A. Sarcinae. Methanosarcina.
  - B. Not in sarcinal groups. Methanococcus.

แบคทีเรียเหล่านี้ไม่สามารถใช้คาร์โบไฮเดรต และกรดอะมิโนเป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนได้เหมือน Heterotroph โดยทั่วไป กลูโคสและน้ำตาลอื่น ๆ รวมทั้ง polysaccharide ทุกชนิด จะทนทานต่อการย่อยสลายโดยแบคทีเรียเหล่านี้ด้วย แบคทีเรียพวกนี้ได้พลังงานและคาร์บอนจาก Shortchain fatty acid หลายชนิด เช่น formic, acetic, propionic, n-butyric, n-valeric and n-caproic acids และแอลกอฮอล์บางชนิด เช่น methanol, ethanol, n-and isopropanol, n-and isobutanol and n-pentanol แบคทีเรีย และ Substrate บางชนิด แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แบคทีเรียที่ผลิต CH_4 จาก substrate ชนิดต่าง ๆ (สมศักดิ์ วังใน, 2528)

แบคทีเรีย	Substrate
Methanobacterium formicicum.	H_2 , CO , formic acid
Methanobacterium propionicum.	Propionic acid
Methanobacterium sohngenii.	Acetic and butyric acids
Methanobacillus omelianskii.	H_2 , primary and secondary alcohols
Methanosarcina barkeri.	H_2 , CO , acetic acid , methanol
Methanosarcina methanica.	Acetic and butyric acids
Methanococcus mazei.	Acetic and butyric acids
Methanococcus vannielii.	H_2 , formic acid

ในดินโดยทั่ว ๆ ไป ถ้ามีการผลิตก๊าซมีเทนจากน้ำตาล โปรตีน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส จะต้องมีจุลินทรีย์อย่างน้อยสองพวก พวกแรกจะย่อยสลายอินทรียสาร ดังกล่าว เป็นกรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์ พวกที่สองเปลี่ยนจากกรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์ เป็นก๊าซมีเทน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีหลายแบบ เป็นต้นว่า

$$CO_2 + 4\,H_2 \longrightarrow CH_4 + 2\,H_2O$$

$$4\,HCOOH \longrightarrow CH_4 + 3\,CO_2 + 2\,H_2O$$

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2$$

$$2\,CH_3CH_2OH \longrightarrow 3\,CH_4 + CO_2$$

กลวิธีของการเกิดก๊าซมีเทน กลวิธีหนึ่งก็คือ "การลดออกซิเจนของ CO_2" นั่นคือ อินทรียสารจะสลายตัว และ CO_2 จะถูกใช้ไปในรูปของตัวรับอิเล็กตรอน ดังนั้น ถ้าไม่มี CO_2 อยู่ก่อนแล้ว ในดินจะมีการย่อยสลายอินทรียสารก่อนเมื่อเกิด CO_2 แล้ว CO_2 จึงถูกลดออกซิเจน ดังเช่นกรณีของ Aerobic acid ดังต่อไปนี้

$$CH_3COOH + 2\,H_2O \longrightarrow 2\,CO_2 + 8\,(H)$$

$$8\,(H) + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2\,H_2O$$

$$\overline{CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2}$$

Pathway ของการลดออกซิเจนแก่ CO_2 โดย Carbonaceous compound อาจแสดงได้ดังนี้ คือ

$$4\,H_2R + CO_2 \longrightarrow 4\,R + CH_4 + 2\,H_2O$$

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแบบนี้เกิดจากอิทธิพลของแบคทีเรียพวก Methanobacillus omelianskii. ซึ่งใช้แอลกอฮอล์ (H_2R) เช่น ethanol, n-propanol, n-butanol เป็นแหล่งพลังงาน และก่อให้เกิด Product (R) ขึ้น เช่น acetic, propionic หรือ n-butyric acids เมื่อใช้แอลกอฮอล์เป็นแหล่งพลังงาน 93-96% ของแอลกอฮอล์ จะถูกเพิ่มออกซิเจนเป็น Acetate และ 0.5 mole ของ CO_2 จะถูกใช้ไป จะเกิดเป็น 0.5 mole ของ CH_4

$$2\,CH_3CH_2OH + CO_2 \longrightarrow 2\,CH_3COOH + CH_4$$

Substrate ที่แสดงโดยสัญลักษณ์ H_2R นั้นปกติเป็นอินทรียสาร แต่ไม่จำเป็นเลยทีเดียว เพราะปรากฏว่า H_2 ก็ทำหน้าที่ดังกล่าวแทนได้ เช่น

$$4\,H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2\,H_2O$$

กระบวนการเกิดมีเทนอีกกระบวนการหนึ่ง คือ กระบวนการที่เกิดโดยอิทธิพลของ Methanosarcina barkeri ซึ่งเป็นกระบวนการเกิดมีเทนจากคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) การเกิดประกอบด้วยสองขั้นตอน คือ

$$4\,CO + 4\,H_2O \longrightarrow 4\,CO_2 + 4\,H_2$$

$$CO_2 + 4\,H_2 \longrightarrow CH_4 + 2\,H_2O$$

$$4\,CO + 2\,H_2O \longrightarrow 3\,CO_2 + CH_4$$

นอกจากนี้ยังมีการเกิดก๊าซมีเทนโดยไม่ต้องผ่าน CO_2 เช่น กระบวนการที่เกิดโดย Methanosarcina sp. แบคทีเรียชนิดนี้จะย่อย Methanol หรือ Acetate ได้ก๊าซมีเทน และก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นนี้มาจากส่วนที่เป็น Methyl group เช่น

$$C^{14}H_3COOH \longrightarrow C^{14}H_4 + CO_2$$

3.3 ต้นข้าว

ต้นข้าวมีลักษณะโครงสร้างที่เอื้อต่อการปล่อยก๊าซมีเทน คือ เมื่อต้นข้าวอายุมากหรือแก่จะเกิดช่องอากาศขึ้นในส่วนของราก ลำต้น และใบ นอกจากนั้น ยังเกิดช่องอากาศภายในแอเรนไคม่า ซึ่งจะพบแทรกอยู่แทบทุกส่วนของต้นข้าว (เชาว์ ชิโนรักษ์, 2517) ช่องอากาศดังกล่าวทำให้มีการถ่ายเทอากาศระหว่างบรรยากาศกับรากของต้นข้าว โดยออกซิเจนสามารถผ่านไปสู่รากข้าว และก๊าซมีเทนที่อยู่รอบรากข้าว ก็สามารถแพร่เข้าสู่รากข้าว แล้วปล่อยสู่บรรยากาศโดยผ่านทางช่องอากาศเหล่านี้ได้ (Schutz et al., 1991)

นอกจากนี้ ต้นข้าวยังสามารถหลั่งสารออกมาจากรากข้าว (root exudates) รวมทั้ง เนื้อเยื่อของรากข้าวที่ตายและคราบของต้นข้าวที่หลุดออกมาสู่ดินรอบ ๆ ราก ซึ่งสารที่รากปล่อยออกมา จะมีส่วนประกอบหลักของคาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน และสารประกอบฟีนอล (Andal et al., 1956) สิ่งที่รากข้าวปล่อยออกมาล้วนแต่เป็นแหล่งพลังงาน สำหรับเมทธาโนเจนิคแบคทีเรีย และรากข้าวยังมีการหายใจโดยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา เป็นตัวรับอิเลคตรอนที่เมทธาโนเจนิคแบคทีเรีย นำไปใช้ในการผลิตก๊าซมีเทน (วิทยา มะเสนา, 2526)

3.4 การจัดการดิน น้ำ และปุ๋ย

กิจกรรมต่าง ๆ ในการจัดการนาข้าว เช่น การไถ คราด การปักดำ การใส่ปุ๋ย และยาฆ่าแมลง รวมทั้งการเก็บเกี่ยว จะทำให้เกิดการรวบกวนดิน เป็นผลให้ก๊าซมีเทนที่กักเก็บไว้ในดิน ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ (Neue et al., 1997) การปรับปรุงดินโดยการใส่ฟางข้าวหรือปุ๋ยพืชสด จะกระตุ้นการเกิดก๊าซมีเทนในนาข้าวอย่างมีนัยสำคัญ (Bronson et al., 1997) เช่นเดียวกับ Konno และคณะ (1997) พบว่า การใส่ปุ๋ยพืชสด อย่างเช่น ฟางข้าว และฟางข้าวสาลี จะเพิ่มการปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าว

การจัดการน้ำในนาข้าว โดยการระบายน้ำออกบางช่วงของการปลูกข้าวนั้น จะมีการปล่อยก๊าซมีเทนน้อยกว่านาข้าวที่ขังน้ำไว้ตลอดฤดูกาลปลูกข้าว (Neue et al., 1994 ; Wassmann et al., 1993 ; Broson et al., 1997 ; Jeffrey et al., 1997 ; Kanno et al., 1997 ; Retering and Conrad, 1998 ; Cai et al., 1999)

Min และคณะ (1997) กล่าวว่า การใส่ปุ๋ย โดยเฉพาะปุ๋ยอินทรีย์ รวมทั้งการขังน้ำในนาข้าว จะส่งเสริมการเพิ่มจำนวนและกิจกรรมของเมทธาโนเจนิคแบคทีเรียในดินที่ปลูกข้าว Singh และคณะ (1998) ก็กล่าวในลักษณะเดียวกันว่า การใส่ปุ๋ยและฟางข้าวสาลีจะกระตุ้นการสร้างก๊าซมีเทนในนาชลประทาน

3.5 ภูมิอากาศ

การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวที่ปลูกในฤดูแล้งจะสูงกว่าในฤดูฝน (Wassmann et al., 1993) ซึ่งการปล่อยก๊าซมีเทนนั้นมีความสัมพันธ์ทางบวกกับอุณหภูมิของดิน (Neue, 1993 ; Siriratpiriya et al., 1995 ; Wang et al., 1995 ; Cai et al., 1999) ก๊าซมีเทนจะเริ่มถูกสร้างขึ้นเมื่อดินมีอุณหภูมิสูงกว่า 10^{o}C (Wang et al., 1992) โดยอุณหภูมิดินที่สูงขึ้นจะเร่งการสร้างก๊าซมีเทน (Neue et al., 1997) เมื่อเกิดท้องฟ้ามืดครึ้มขึ้นจะมีผลทำให้อุณหภูมิดินเปลี่ยนแปลง และจะส่งผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว (Khalil MAK, 1998) เช่นเดียวกับ Wang และคณะ (1999) ก็ได้กล่าวว่า อุณหภูมิดินเป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

มาตรการควบคุมการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

การลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การจัดการน้ำ การใส่ปุ๋ย การปรับปรุงพันธุ์ข้าว และการปรับเปลี่ยนวิธีการปลูกข้าว (IRRI, 1997)

1. การจัดการน้ำ

ดิเรก ทองอร่าม (2524) ทำการหาปริมาณการใช้น้ำของข้าว โดยการวัดโดยตรงจากถัง (Lysimeter) พบว่า ในฤดูฝนข้าวใช้น้ำวันละ 4.13-5.00 มม. และในฤดูแล้งใช้น้ำวันละ 7.38-8.35 มม. โดยมีการระเหย (Evaporation) วันละ 1.55-2.10 มม. และ 3.11- 3.85 มม. ในฤดูฝนและฤดูแล้ง ตามลำดับ ขณะที่การคายน้ำ (Transiration) ในฤดูฝน วันละ 2.58-2.90 มม. และ 4.05-4.69 มม. ในฤดูแล้ง ส่วนการซึมของน้ำลงทางใต้ดิน (Percolation) วันละ 1.16-1.18 มม. ในฤดูฝน และ 1.44-1.58 มม. ในฤดูแล้ง

ทั้งนี้ การปลูกข้าวไม่จำเป็นต้องมีน้ำขังในแปลงนาตลอดเวลา การทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำก็เพียงพอที่จะคงไว้ซึ่งคุณภาพและผลผลิตของข้าว อีกทั้งการให้น้ำแก่ข้าวมากเกินไป เป็นการสิ้นเปลืองน้ำ เพราะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำ เนื่องจากเกิดการซึมออกด้านข้าง (seepage) และการซึมลึก (deep percolation) มากขึ้น (Borel et al., 1997) ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปแล้ว ต้นข้าวที่ปลูกในแปลงนาที่มีระดับน้ำลึกจะมีความสูงมากกว่า แต่มีผลผลิตน้อยกว่าต้นข้าวที่ปลูกในแปลงนาที่มีระดับน้ำตื้น (กัลยา คุปต์กาญจนกุล, 2542 ; De Datta and Abilay, 1975 ; Kupkanchanakul, 1979 ; Kupkanchanakul and Vergara, 1980 ; Kupkanchanakul, 1981 ; Kupkanchanakul and Kupkanchanakul, 1994 ; Kupkanchanakul et al., 1995) ทั้งนี้ การปลูกข้าวที่ระดับน้ำมากกว่า 15 ซ.ม. ทำให้ความสูงของต้นข้าวเพิ่มขึ้น แต่จะทำให้การแตกกอของต้นข้าวน้อยลง ซึ่งจะมีผลทำให้การพัฒนาหน่อของต้นข้าว (tiller) ไปเป็นรวงลดลง อันจะส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลงด้วย (De Datta, 1981)

สำหรับประเทศไทย อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น และชัยฤกษ์ มณีพงษ์ (2528) พบว่า การจัดการน้ำที่ระดับต่าง ๆ กัน คือ รักษาระดับน้ำไว้ที่ 5, 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ มีผลต่อผลผลิตของข้าวพันธุ์ กข 23 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มที่แสดงให้เห็นว่าการให้น้ำระดับสูง 20 เซนติเมตร ตลอดฤดูกาลปลูกข้าว ทำให้ผลผลิตต่ำที่สุด ซึ่ง Wannasai และคณะ (1991) ได้รายงานว่า ระดับน้ำในแปลงนา มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยข้าวที่ปลูกในแปลงนาที่รักษาระดับน้ำ 0, 5, 10 และ 15 เซนติเมตร มีความสูงน้อยกว่า แต่แตกกอ และให้ผลผลิตมากกว่าข้าวที่ปลูกในแปลงนาที่รักษาระดับน้ำ 20 เซนติเมตร โดยข้าวที่ปลูกในแปลงนาที่รักษาระดับน้ำเรี่ยผิวดิน (0 เซนติเมตร)

ให้ผลผลิตสูงสุด คือ 659 กก./ไร่ สูงกว่าเมื่อปลูกในแปลงนาที่รักษาระดับน้ำ 20 เซนติเมตร ถึง 109 กก./ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 19.8 เช่นเดียวกับเพียงใจ วงษ์เชษฐา (2539) พบว่า ในการปลูกข้าวพันธุ์ กข 23 โดยการรักษาระดับน้ำ 5-10 เซนติเมตร ตลอดฤดูกาลปลูกข้าว ทำให้ข้าวมีจำนวนต้นต่อกอ และจำนวนรวงต่อกอ มากกว่า การรักษาระดับน้ำที่ 20 เซนติเมตร โดยแปลงนาที่ให้ผลผลิตสูงสุด คือ แปลงนาที่รักษาระดับน้ำ 5 เซนติเมตร ตลอดฤดูกาลปลูกข้าว (837.9 กิโลกรัมต่อไร่) และผลผลิตข้าวมีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้น

จะเห็นได้ว่า การศึกษาการจัดการเรื่องระดับน้ำในนาข้าวของประเทศไทย ส่วนใหญ่ จะมุ่งเน้นศึกษาในเรื่องผลผลิตของข้าว ทั้งนี้ ระดับน้ำภายในแปลงนาก็มีผลต่อ การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว (วิไล เตียวยืนยง, 2537) ด้วยเช่นกัน ดังเช่น Husin Ya และคณะ (1995) ที่ได้ทำการทดลองในประเทศอินโดนีเซีย โดยปลูกข้าวพันธุ์ IR-64 และ พันธุ์ Ciradane ในแปลงนาที่ขังน้ำตลอดฤดูกาล และในแปลงนาที่รักษาดินให้อิ่มตัวด้วยน้ำ ตลอดฤดูกาล พบว่า การปล่อยก๊าซมีเทนต่างกันอย่างชัดเจน คือ ในแปลงนาที่ขังน้ำ ตลอดฤดูกาล จะปล่อยก๊าซมีเทนจากข้าวพันธุ์ IR-64 และพันธุ์ Ciradane เท่ากับ 20 และ 14 มก./ม.^{2}/ชม. ตามลำดับ ส่วนในแปลงนาที่รักษาดินให้อิ่มตัวด้วยน้ำตลอดฤดูกาล จะปล่อย ก๊าซมีเทนจากข้าวพันธุ์ IR-64 และพันธุ์ Ciradane เท่ากับ 8.2 และ 3.2 มก./ม.^{2}/ชม. ตามลำดับ โดย Khalil MAK และคณะ (1998) กล่าวว่า ระดับน้ำในแปลงนาจะมีผลต่ออุณหภูมิของดิน และจะส่งผลถึงการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

นอกจากนี้ ระดับน้ำที่ท่วมขังในแปลงนา ยังมีผลต่อโครงสร้างภายในของต้นข้าว ที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซมีเทน โดยพบว่า การปลูกข้าวในสภาพที่มีน้ำขังในแปลงนาลึกขึ้น จะทำให้ลำต้นของข้าวและท่ออากาศภายในลำต้นมีขนาดใหญ่ขึ้น (วิไลวรรณ เชาวนโยธิน, 2526) ซึ่งการเพิ่มขนาดของท่ออากาศภายในต้นข้าวดังกล่าว จะเอื้ออำนวยให้ต้นข้าวมีโอกาส ปล่อยก๊าซมีเทนได้มากขึ้น

โดยส่วนใหญ่ การจัดการน้ำที่เกี่ยวข้องกับมาตรการลดการปล่อยก๊าซมีเทน จากนาข้าว จะศึกษาถึงเรื่องการระบายน้ำในบางช่วงของฤดูกาลเพาะปลูกข้าว โดยพบว่า การระบายน้ำออกในบางช่วงของการปลูกข้าว จะทำให้การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงนาที่ขังน้ำไว้ตลอดฤดูกาลปลูกข้าว (Yagi et al., 1996 ; Kanno et al., 1997 ; Li Yue et al., 1997 ; Cai et al., 1999) การระบายน้ำออกชั่วคราวในระยะแตกกอ จะทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น (Wang, 1986 ; Wassmann et al., 1993) และลดการปล่อย ก๊าซมีเทน 60% (Bronson et al., 1997) เช่นเดียวกันกับในประเทศจีนทางตอนใต้ ที่นำเอาวิธี

การระบายน้ำออกจากแปลงนามาใช้ ทำให้ก๊าซมีเทนที่ถูกกักอยู่ในดินปล่อยสู่อากาศทันทีที่ระบายน้ำออก (Wassmann et al., 1993) สาเหตุที่ก๊าซมีเทนลดจากการระบายน้ำออก เนื่องจาก ก๊าซมีเทนจะถูกออกซิไดซ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Neue, 1993) นอกจากนี้ การระบายน้ำออกจะทำให้มีซัลเฟตในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การเกิดของก๊าซมีเทนน้อยลง (Retering and Conrad, 1998) หรืออาจเป็นเพราะทำให้มีการลดพิษของสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ในดิน จากการระบายน้ำดังกล่าว (Wang, 1986)

อย่างไรก็ตาม การจัดการน้ำที่เกี่ยวข้องกับมาตรการลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว จะต้องคำนึงถึงด้วยว่าถ้าต้นข้าวขาดน้ำในบางช่วงของการเจริญเติบโต จะทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง (De Datta, 1981) ข้าวจะเป็นหมันได้ถ้าขาดน้ำในช่วงการเจริญเติบโตระยะสืบพันธุ์ หรือการสร้างช่อดอก (Reproductive stage) (Yashida, 1981) และถ้าขาดน้ำในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น (Vegetative stage) จะทำให้ความสูง การแตกกอ พื้นที่ใบ และผลผลิตลดลงได้ ถ้าไม่แก้ไขให้ฟื้นคืนก่อนช่วงข้าวออกรวง (Neue, 1993) ในดินที่มีความชื้น 50 KPa (มากกว่า field capacity เล็กน้อย) อาจทำให้ผลผลิตข้าวลดลง 20-25% เมื่อเทียบกับดินในแปลงนาที่มีน้ำขังตลอดเวลา (De Datta, 1981)

2. **พันธุ์ข้าว**

เนื่องจากต้นข้าวมีแอเรนไคม่าเป็นทางผ่านของออกซิเจนลงสู่ราก และก๊าซมีเทนจากดินที่ขาดออกซิเจนรอบ ๆ รากไปสู่บรรยากาศ โดยความมากน้อยของการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในของต้นข้าว จำนวนต้นต่อพื้นที่ มวลชีวภาพ และรูปร่างของรากข้าว และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่มีอิทธิพลต่อการเกิดก๊าซ เช่น การหลั่งสารอินทรีย์ออกจากรากข้าว หรือการผุพังของรากข้าวเอง ซึ่งความสัมพันธ์เหล่านี้กับการปล่อยก๊าซมีเทน เกิดจากพันธุ์ข้าว ดังนั้น เป็นความจำเป็นที่เราต้องปรับปรุงและคัดเลือกพันธุ์ข้าวเพื่อให้ได้พันธุ์ที่มีการปล่อยก๊าซมีเทนน้อย แต่ได้ผลผลิตข้าวไม่น้อยไปกว่าเดิม (Neue, 1993 ; Neue et al., 1997) นอกจากนี้ Chanton และคณะ (1997) พบว่า การปล่อยก๊าซมีเทนมีความสัมพันธ์กับมวลชีวภาพของต้นข้าวที่อยู่เหนือดิน โดยจำนวนต้นต่อพื้นที่ก็มีความสัมพันธ์ทางบวก กับการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ (Mariko et al., 1991) แต่อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์นี้จะพบเฉพาะช่วงที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบเท่านั้น (Wang et al., 1995)

Ladha และคณะ (1986) กล่าวว่าการหลั่งสารอินทรีย์จากรากข้าว (Root exudates) ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว และการหลั่งสารอินทรีย์จากรากข้าวมีความสัมพันธ์ในทางบวกที่เห็นได้ชัดเจนกับการเกิดก๊าซมีเทน (Kludze et al., 1996)

จากการทำการทดลองของนักวิจัยหลายท่าน เช่น วิไล เตียวยืนยง (2537) ; Husin Ya และคณะ (1995) ; Li Yue และคณะ (1997) ; Shao Kesheng และ Li Zhen (1997) ; Sigren และคณะ (1997) พบว่า พันธุ์ข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

3. **การใส่ปุ๋ย**

Neue (1993) กล่าวว่า การใส่ปุ๋ยให้พอกับความต้องการของข้าวโดยไม่ใส่มากเกินไป และใส่ให้ตรงกับช่วงความต้องการของข้าว จะทำให้ไม่สิ้นเปลืองและช่วยลดการเกิดก๊าซมีเทนได้ ทั้งนี้ การใส่ปุ๋ยผสม ที่มีการแปรสภาพของสารอินทรีย์ไปเป็นสารฮิวมิก (Humification) สูงในนาข้าว จะทำให้การเกิดและการปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยพืชสดลงไปโดยตรง ซึ่งจะทำให้มีการเกิดและปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวในอัตราสูง (Yagi and Minami, 1990) ส่วนการใส่ปุ๋ยยูเรียในนาข้าว จะทำให้การปล่อยก๊าซมีเทนลดลงเมื่อเทียบกับแปลงควบคุมที่ไม่ใส่ปุ๋ย (Li Yue et al., 1997)

การใส่ปุ๋ยเคมีที่มีซัลเฟตผสมอยู่จะลดการผลิตก๊าซมีเทนในนาข้าว (Kimura et al., 1992 ; Sass et al., 1992 ; Neue et al., 1997) ซึ่งได้มีการทำการศึกษาค้นคว้าหลายท่าน เช่น Adhya และคณะ (1998) พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสแก่ข้าวโดยผสมซัลเฟตเข้าไป จะลดการเกิดและการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว Lindau และคณะ (1990) พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนแก่ข้าวในรูปของยูเรีย แอมโมเนียมซัลเฟต และโปแทสเซียมไนเตรท นั้น แปลงนาที่ใส่ปุ๋ยยูเรียจะปล่อยก๊าซมีเทนมากที่สุด ส่วนแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตและโปแทสเซียมไนเตรทจะปล่อยก๊าซมีเทนต่ำมาก คือ ไม่เกิน 9 และ 18 กรัมต่อแอคแทร์ต่อวัน ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นปุ๋ยแต่งหน้า (Top dress) จะลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวลงได้ 58% และเพิ่มผลผลิตข้าวประมาณ 31.7% เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยแต่งหน้า (Shao Kesheng and Li Zhen, 1997)

Lindau (1994) กล่าวว่า การใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตและโปแทสเซียมไนเตรทในอัตราที่สูง จะลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว 50 และ 59% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยยูเรียในอัตราสูง เช่นเดียวกันกับ Bronson และคณะ (1997) กล่าวว่า การใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตจะทำให้การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยยูเรีย 1/3 ถึง 1/4 เท่า

นอกจากนี้ ตัวยับยั้งการเกิดไนตริฟิเคชัน (Nitrification inhibitors) เช่น Nitrapyrin และ Acetylene เมื่อใส่ลงไปในดินจะสามารถจำกัดการสร้างก๊าซมีเทน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อทำการทดลองในเรือนกระจก พบว่า การปลดปล่อย Acetylene ช้า ๆ จาก Urea-encapsulated Calciumbide จะทำให้ลดการปล่อยก๊าซมีเทนและยังเพิ่มผลผลิตข้าวอีกด้วย (Bronson and Moiser, 1991 อ้างถึงใน Neue, 1993)

4. **วิธีการปลูกข้าว**

วิธีการปลูกข้าวแบบนาหว่าน ทั้งหว่านน้ำตมและหว่านเมล็ดแห้ง จะมีการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูกาลน้อยกว่าการปลูกข้าวโดยวิธีปักดำ เนื่องจากมีการรบกวนดินน้อยกว่าและระยะเวลาในการปลูกข้าวสั้นกว่า (Neue, 1993 ; Peng et al., 1995) โดยการปลูกข้าวด้วยวิธีหว่าน จะสามารถเก็บเกี่ยวข้าวได้ก่อนการปลูกข้าวด้วยวิธีปักดำที่ใช้ข้าวพันธุ์เดียวกันประมาณ 15-30 วัน (Neue, 1993) และการปลูกข้าวโดยวิธีหว่านเมล็ดแห้งนั้น ไม่ต้องมีการเตรียมดินก่อนปลูก เหมือนวิธีหว่านน้ำตม ดังนั้น จึงเป็นผลให้มีการปล่อยก๊าซมีเทนน้อยกว่าวิธีหว่านน้ำตม (Peng et al., 1995)

นอกจากนี้ การปลูกพืชหมุนเวียน เช่น พืชตระกูลถั่ว ข้าวโพด และผัก สลับกับการทำนาก็จะทำให้การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวลดลงได้ (Neue ,1993 ; Peng et al., 1995) หรืออาจทำการปลูกข้าวไร่ 1-2 ครั้ง ในช่วงน้ำแห้งก่อนหรือหลังจากการปลูกข้าวนาสวนโดยไม่ต้องทำการปลูกข้าวนาสวนติดต่อกันหลาย ๆ ครั้งในหนึ่งปี ก็สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวได้ (Neue, 1993 ; Peng et al., 1995) เนื่องจากข้าวไร่ไม่มีผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทน (ระวิวรรณ กาญจนสุนทร, 2537 ; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2541 ; Neue, 1993)

ความรู้และความสำคัญเกี่ยวกับการปลูกข้าวในประเทศไทย

ข้าวเป็นพืชล้มลุก (Annual) ใบเลี้ยงเดี่ยว อยู่ในสกุล (Genus) Oryza ข้าวที่ปลูก ทั่วไปในโลกมี 2 ชนิด (Species) คือ Species glaberrima นิยมปลูกเฉพาะในแถบแอฟริกาตะวันตก ส่วน Species sativa ซึ่งปลูกได้ในพื้นที่ปลูกข้าวทั่วไป แบ่งเป็น 3 Sub-species ได้แก่ อินดิคา (Indica) จาปอนิคา (Japonida) และจาวานิคา (Javanica)

พันธุ์ข้าวที่อยู่ใน Sub-species Indica นิยมปลูกในแถบเอเชียเขตร้อน เช่น อินเดีย พม่า เวียดนาม มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ และไทย ส่วนพันธุ์ข้าวใน Sub-species Japonica เจริญเติบโตได้ดีในเขตอบอุ่น จึงปลูกมากในญี่ปุ่น เกาหลี และจีน สำหรับพันธุ์ข้าวใน Sub-species Javanica จะปลูกเฉพาะในหมู่เกาะชวาของอินโดนีเซียเป็นส่วนใหญ่ (วาสนา ผลารักษ์, 2523)

ข้าว เป็นพืชอาหารที่สำคัญของประชากรโลก ในปี พ.ศ. 2535 พื้นที่ปลูกข้าวทั่วโลก มีประมาณ 905 ล้านไร่ สามารถผลิตข้าวได้ประมาณ 516 ล้านตัน แหล่งปลูกข้าวที่ใหญ่ที่สุดอยู่ในทวีปเอเชีย มีพื้นที่ประมาณ 816 ล้านไร่ หรือ 90% ของพื้นที่ปลูกข้าวทั่วโลก และสามารถผลิตข้าวได้สูงที่สุด คือ ประมาณ 476 ล้านตัน หรือประมาณ 92% ของผลผลิตข้าวทั่วโลก รองลงมา คือ ทวีปแอฟริกา อเมริกาใต้ อเมริกาเหนือ-กลาง สหภาพโซเวียต และยุโรป ตามลำดับ (ศูนย์สถิติการเกษตร, 2535)

ประเทศไทย เป็นประเทศที่มีสภาพภูมิประเทศและลักษณะดินฟ้าอากาศอยู่ในเขตมรสุม ที่เอื้ออำนวยต่อการปลูกข้าว ทำให้ประเทศไทยสามารถทำการปลูกข้าวได้ในทุกภูมิภาค

โดยประเทศไทยส่งออกข้าวสู่ตลาดโลกมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก จากพื้นที่ปลูกข้าวที่มีอยู่ประมาณ 60 ล้านไร่ ซึ่งถือว่ามีพื้นที่ปลูกข้าวเป็นอันดับห้าของโลก รองจากประเทศอินเดีย จีน อินโดนีเซีย และบังคลาเทศ (เศรษฐกิจการเกษตร, 2542)

การเจริญเติบโตของข้าวสามารถแบ่งออกเป็นระยะต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้ (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534)

1. การเจริญเติบโตทางลำต้น (Vegetative phase) การเจริญเติบโตทางลำต้นเริ่มตั้งแต่ "เมล็ดเริ่มงอก" ด้วยการโผล่รากอ่อนหรือปลอกหุ้มต้นอ่อน (Radicle or coleoptile) ออกมาจาก "คัพภะ" (Embryo) ไปจนถึง "ระยะเกิดช่อดอก" ซึ่งมีขั้นตอนการเจริญเติบโตดังต่อไปนี้

1.1 ระยะกล้า (Seedling stage) "ระยะกล้า" เป็นคาบเวลาหลังจาก "ต้นอ่อน" ได้ "งอก" ออกมาจาก "Embryo" ของเมล็ดข้าว และเจริญเติบโตอยู่ในแปลงกล้าก่อนถอนไปปักดำ ปกติ "ระยะกล้า" จะมีเวลาประมาณ 25-30 วัน

1.2 ระยะปักดำ (Transplanting period) "ระยะปักดำ" หมายถึงระยะที่กล้าถูกถอน(Uprooting of the seedling) แล้วนำไปปักดำ จนถึง "ต้นข้าว" ฟื้นตัวหรือตั้งตัวได้ดีแล้ว (Full recovery) มีเวลาประมาณ 3-10 วัน (แล้วแต่สภาพแวดล้อมและรวมถึงการข่อมข้าวด้วย) เพราะฉะนั้น การทำนาโดยใช้เมล็ดปลูกโดยตรง (Direct seeding) จึงไม่มี "ระยะปักดำ"

1.3 ระยะแตกกอ (Tillering stage) "ระยะแตกกอ" เริ่มหลัง "ระยะกล้า" และ/หรือ "ระยะปักดำ" และจะเริ่มอย่างแน่นอนก็ต่อเมื่อได้เกิดต้นใหม่ต้นแรก

(First tiller or primary tiller) แตกกออกมาจากตาข้างลำต้น (Axillary bud) ซึ่งอยู่บนข้อโคนสุด (Lowermost node) ของลำต้น ตามปกติต้นกล้าที่มีความสมบูรณ์ดี (Healthy plants) และอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม การแตกกอเป็นต้นใหม่ต้นแรก (First tiller) จะเริ่มเมื่อมีใบที่ 5 ของต้นปักดำ การแตกกอจะเกิดตาม ๆ กันมาจนถึงระยะ "การแตกกอสูงสุด" (Maximum tiller stage) จึงหยุดการแตกกอ หรือหยุดการแตกกอเมื่อต้นข้าวถือกำเนิดเกิดช่อดอก

2. การเจริญเติบโตระยะสืบพันธุ์ (Reproductive phase) "การเจริญเติบโตระยะสืบพันธุ์" เป็นระยะเวลาแห่งการเจริญเติบโตของต้นข้าว ตั้งแต่ "ระยะเกิดช่อดอก" จนถึง "ข้าวออกดอก" (Flowering) ใช้เวลาประมาณ 25-30 วัน และแบ่งออกได้ดังนี้

2.1 ระยะเกิดช่อดอก (Panicle initiation stage) "ระยะเกิดช่อดอก" เกิดขึ้นหลังจากเสร็จสิ้นการเจริญเติบโตทางลำต้น (Vegetative phase) ที่สมบูรณ์ กล่าวคือ เมื่อต้นข้าวเสร็จสิ้นการแตกกอสูงสุดแล้ว ที่ปลายสุดของต้นข้าวจะเกิดปุ่มขนาดเล็ก ซึ่งต่อมาจะเจริญเปลี่ยนแปลงเป็น "รวงข้าว" ต่อไป ดังปรากฏในภาคผนวก ค ในคาบเวลานี้ ต้นข้าวจะมีลักษณะ "ต้นกลม" ปรากฏให้เห็นอย่างเด่นชัด "การเกิดช่อดอก" จะเกิดขึ้นประมาณ 30-35 วัน ก่อนข้าวออกรวง (Heading) หรือประมาณ 60-65 วัน ก่อนข้าวแก่ให้เก็บเกี่ยว

2.2 ระยะตั้งท้อง ช่วงเวลาของการยืดปล้องและการเกิดรวงอ่อน (Internode elongation and booting stage) "ระยะตั้งท้อง" จะเกิดต่อจาก "ระยะเกิดช่อดอก" แล้วพัฒนาเปลี่ยนแปลงไปเป็น "รวงอ่อน" (Young panicle) ที่มี "ดอกข้าว" (Spikelets) อยู่ในรวงนั้น แต่ "รวงอ่อน" ยังคงอยู่ภายในกาบใบของใบธงอยู่ (Flag leaf sheath) ซึ่งมีระยะเวลาประมาณ 30 วัน ระยะเวลาแห่งการยืดปล้องของข้าวในช่วงนี้มีรายงานว่า จะแตกต่างกันไปตามคุณลักษณะของพันธุ์ข้าวที่ปลูก โดยประมาณ 6 วัน ก่อนออกรวง กาบใบของใบธงจะหนา และหุ้มรวงอ่อนไว้ในลักษณะ "บวมเป่ง" เต็มที่ ซึ่งช่วง 6 วันก่อน "ออกรวง" นี้ คือ "ระยะตั้งท้อง" อย่างแท้จริง (Booting stage)

2.3 ระยะออกรวง (Heading stage) "ระยะออกรวง" คือ ระยะที่ "รวงอ่อนของข้าว" (Young panicle) โผล่พ้นออกมาจากกาบใบของใบธง บางแห่งเรียกว่า "ระยะข้าวโพล่ง" คือ เป็นระยะเจริญเติบโตที่เกิดต่อจาก "ระยะตั้งท้อง" หรือ "Booting stage" นั่นเอง "การออกรวงของข้าว" จะใช้เวลาประมาณ 10-14 วัน ที่ต้นข้าวในแปลงนาเดียวกันจะออกรวงสมบูรณ์หมดทุกต้น อย่างไรก็ดี ในทางปฏิบัตินิยมใช้วันที่ต้นข้าวชูรวงออกมาประมาณ 50% ของทั้งหมดเป็น "วันออกรวง" (Heading date) ของข้าวแปลงนั้น ๆ

2.4 ระยะออกดอก (Flowering stage : anthesis) "การออกดอก" (Flowering : anthesis) หมายถึง เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นติดต่อกันอย่างมีระบบระหว่างช่วงเวลา "ปิด-เปิด ของดอกข้าว" (Opening and closing of the spikelet) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 1.0-2.5 ชั่วโมง โดยระยะออกดอก ได้แสดงภาพไว้ในภาคผนวก ค

ในระยะออกดอกนี้ "อับเรณู" จะเกิดการแตกด้วยตัวของมันเองภายในดอก (Dehiscence) ทำให้เกิด "การผสมเกสร" (Fertilization) ขึ้นภายในดอกเดียวกัน ในบางกรณีเมื่อ "เรณู" บางส่วนฟุ้งกระจายไปในอากาศ ถูกลมพัดพาไปตกลงบน "ยอดเกสรตัวเมีย" ของดอกอื่น ทำให้เกิด "การผสมข้าม" ขึ้นได้ แต่เกิดขึ้นน้อยมาก กล่าวคือ เกิดขึ้นน้อยกว่า 1% ของการผสมพันธุ์ตามธรรมชาติ และเมื่อส่วนของรวงอ่อนโผล่ออกมาจากกาบใบของใบธง "Anthesis" จะเกิดขึ้นเกือบทันที ฉะนั้นวันออกดอก (Date of anthesis) และ "วันออกรวง" (Date of heading) จึงอาจถือได้ว่าเป็นวันเดียวกัน

3. การเจริญเติบโตระยะเมล็ดแก่ (Ripening phase) การเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงของเมล็ดข้าวใน "ระยะเมล็ดแก่" กินเวลาประมาณ 25-35 วัน โดยเริ่มจากช่วงสุดท้ายของการเจริญเติบโต "ระยะสืบพันธุ์" คือ "Flowering stage" (anthesis) ไปจนถึงเมล็ดแก่ การเจริญเติบโตในระยะเมล็ดแก่นี้อาจแบ่งออกได้ตามการเปลี่ยนแปลงของ "เนื้อเมล็ด" (Texture of the grain) ดังนี้

3.1 ระยะเป็นน้ำนม (Milk Stage) "ระยะเป็นน้ำนม" คือ ช่วงเวลาที่เกิดขึ้นหลัง "การผสมพันธุ์" และได้มีการแบ่งเซลล์ภายในรังไข่เกิดขึ้น การเป็น "น้ำนม" ระยะแรกจะเป็นแบบเหลวใส (Wetery) แต่ต่อมาจะเจริญเปลี่ยนแปลงไปเป็นน้ำนมที่ข้นมากขึ้น (Turn milky in consistency) ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 8-13 วันหลังระยะออกดอก (Flowering stage)

3.2 ระยะเป็นเนื้อเมล็ด (Dough stage) "ระยะเป็นเนื้อเมล็ด" เป็นคาบเวลาที่เมล็ดข้าว เปลี่ยนสภาพจากการเป็นน้ำนมในเนื้อเมล็ด (Milky caryopsis) ไปเป็นเมล็ดที่มีเนื้อแข็ง (Dough) อันเป็นคาบเวลาประมาณวันที่ 14-25 หลังวันออกดอก

3.3 ระยะเมล็ดแก่ (Maturity or fully ripe) "ระยะเมล็ดแก่" คือ คาบเวลาที่เมล็ดข้าวได้เจริญเติบโตเต็มที่ จนมีลักษณะของเนื้อเมล็ด "แข็ง-ใส" และได้ระเหยน้ำออกไปจนอยู่ในสภาพ "เมล็ดแก่" (Mature grain) คาบเวลานี้จะเป็นเวลาประมาณ วันที่ 25-35 หลังข้าวออกดอก

ข้าวที่ปลูกทั่วไปอาจมีการแบ่งได้ดังต่อไปนี้ (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534)

1. แบ่งข้าวตามการปลูกในสภาพของน้ำที่ใช้ปลูกข้าว (Water regime)

1.1 ข้าวไร่ (Upland rice) ได้แก่ ข้าวชนิดหนึ่งซึ่งปลูกในสภาพไร่ หรือปลูกเหมือนพืชไร่ กล่าวคือ ปลูกในที่ดอนตามไหล่เขา และไม่มีน้ำขัง บริเวณที่ปลูกข้าวชนิดนี้มักไม่มีคันนา และอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก

1.2 ข้าวนาสวน (Lowland rice) ได้แก่ ข้าวที่ปลูกในที่ราบลุ่มทั่ว ๆ ไป มีน้ำขังแต่ไม่ลึกมากนัก กล่าวคือมีน้ำขังลึกประมาณ 5-50 ซม.

1.3 ข้าวน้ำลึก (Deepwater rice) ได้แก่ ข้าวที่ปลูกในสภาพนาที่ลุ่มมาก กล่าวคือ จะมีน้ำขังตั้งแต่ 51 ซม.ขึ้นไป จนลึกถึง 2-3 เมตร

1.4 ข้าวนาเมือง ข้าวขึ้นน้ำหรือข้าวฟางลอย (Floating rice) ได้แก่ ข้าวที่ปลูกในสภาพของนาที่ลุ่ม และลึกมาก กล่าวคือ มีความสูงของต้นข้าวมากกว่า 150 ซม.ขึ้นไป และในที่ที่มีน้ำลึกมาก ๆ อาจมีความสูงได้ถึง 5-6 เมตร ข้าวพวกนี้มีความสามารถในการยืดตัวหรือยืดปล้อง เพื่อหนีน้ำได้ดี

2. แบ่งข้าวตามวิธีการทำนาหรือสภาพการปลูก

2.1 ข้าวไร่ หรือข้าวนาหยอด (Upland rice : hill rice) ได้แก่ ข้าวที่ปลูกแบบพืชไร่ที่ปกติไม่มีน้ำขัง กล่าวคือ ใช้วิธีปลูก หรือหยอด หรือโรย หรือหว่านเมล็ดข้าวแห้งลงไปในดินโดยตรง ในที่นาดอน หรือนาตามไหล่เขา (Direct seeding)

2.2 ข้าวนาดำ (Transplanting method) ได้แก่ ข้าวที่ปลูกด้วยการใช้ "ต้นอ่อน" หรือ "กล้า" ไปปลูก (ปักดำ) กล่าวคือ ต้องตกกล้า และเลี้ยงกล้าให้โตได้ขนาดเสียก่อน แล้วจึงถอนกล้าไปปักดำ (ปลูก)

2.3 ข้าวนาหว่าน (Broadcasting or direct seeding method) ได้แก่ ข้าวที่ปลูกด้วยวิธีหว่านเมล็ดข้าวลงไปในแปลงนาโดยตรง โดยไม่ต้องตกกล้า แบ่งออกได้เป็น 2 แบบย่อย คือ

- นาหว่านข้าวแห้ง : นาหว่านสำรวย เป็นการทำนาด้วยการนำเมล็ดข้าวที่เป็น "เมล็ดแห้ง" (Dry seed) หว่านลงในแปลงนาโดยตรง

- นาหว่านข้าวงอก : นาหว่านน้ำตม เป็นการทำนาด้วยการนำเมล็ดข้าวที่เพาะจนงอก หรือเกือบจะงอก (Pre-germinated seed) หว่านลงในแปลงนาโดยตรง อาจเป็นการหว่านลงบนดินโคลน (Broadcast or drill on mud) หรือหว่านลงในแปลงนาที่มีน้ำขังก็ได้ (Broadcast in water)

3. แบ่งข้าวตามประเภทของเนื้อแป้งในเมล็ดข้าวสาร

3.1 ข้าวเหนียว (Glutinous or waxy rice)

3.2 ข้าวเจ้า (Non-glutinous or non-waxy rice)

4. แบ่งข้าวตามอายุการเก็บเกี่ยว (ดิเรก ทองอร่าม, 2522)

4.1 ข้าวเบา (Early variety) คือข้าวที่มีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 90-120 วัน

4.2 ข้าวกลาง (Medium variety) คือข้าวที่มีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 130-160 วัน

4.3 ข้าวหนัก (Hard variety) คือข้าวที่มีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ180-210 วัน

5. แบ่งข้าวตามคุณสมบัติที่มีต่อช่วงแสง (Photoperiodism) (ประสูติ สิทธิสรวง, 2524)

5.1 ข้าวไวต่อช่วงแสง (Photoperiod sensitive rice) ข้าวแต่ละพันธุ์ที่อยู่ในประเภทนี้มีกำหนดออกดอกที่แน่นอน หรือถ้าคลาดเคลื่อนก็เพียงเล็กน้อย แม้จะปลูกในเวลาต่างกัน ข้าวไวต่อช่วงแสงจัดเป็นพืชวันสั้น มันจะออกดอกในเวลาที่กลางวันสั้นกว่ากลางคืน ข้าวประเภทนี้ใช้ปลูกในฤดูนาปี คือ ปลูกในฤดูฝนเพื่อให้ออกดอกต้นฤดูหนาวหรือระหว่างฤดูหนาว ซึ่งช่วงเวลากลางวันสั้นกว่า 12 ชั่วโมง ข้าวประเภทนี้แบ่งเป็นข้าวเบา ข้าวกลาง และข้าวหนัก ข้าวเบา คือ ข้าวที่ออกดอกระหว่างเดือนกันยายน-ตุลาคม เป็นข้าวที่มีความไวต่อช่วงแสงน้อย ข้าวกลาง ออกดอกระหว่างปลายเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน ข้าวหนักออกดอกในเดือนธันวาคม-มกราคม ข้าวพื้นเมืองของไทยเกือบทุกพันธุ์จัดอยู่ในประเภทนี้ ตัวอย่างข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสง (ต้นสูง) ที่ส่งเสริมให้ปลูก (ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก, 2542) ได้แก่ พิษณุโลก 60-1 หอมพิษณุโลก 1 ขาวดอกมะลิ 105 กข 15 เหลืองประทิว 123 ขาวตาแห้ง 17

5.2 ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง (Photoperiod insensitive rice) ข้าวประเภทนี้ออกดอกตามอายุจึงปลูกได้ตลอดปีถ้ามีน้ำเพียงพอ แต่จะให้ผลดีกว่าเมื่อปลูกในฤดูนาปรัง คือ

ฤดูร้อน เพราะมีแสงแดดมากกว่าฤดูอื่น ข้าวประเภทนี้มีอายุตั้งแต่ประมาณ 110-150 วัน ที่มีปลูกอยู่ในประเทศขณะนี้ ส่วนมากได้จากการผสมพันธุ์ข้าวไทยกับข้าวต่างประเทศ ตัวอย่าง ข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง (ต้นเตี้ย) ที่ส่งเสริมให้ปลูก (ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก,2542) ได้แก่ ชัยนาท 1 พิษณุโลก 60-2 สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2