บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษานี้ได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำความเข้าใจถึงความสำคัญ แหล่งกำเนิดและผลกระทบของก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะก๊าซมีเทนที่โลกได้รับในปัจจุบัน เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีการทำนาเป็นอาชีพหลัก จึงได้ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวกับกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ชีวเคมี เกิดก๊าซมีเทนและการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาน้ำขังสู่บรรยากาศ ความสำคัญของนาข้าวที่มีต่อการผลิตก๊าซมีเทน นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงสัณฐานวิทยาของข้าว ความสำคัญของสารคัดหลั่งจากรากข้าวที่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทน กลไกการปล่อยสารคัดหลั่งจากรากข้าว และอิทธิพลของพันธุ์ข้าวต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

2.1 ความเป็นมาและความสำคัญของก๊าซมีเทน

โลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ในรูปของพลังงานแสง (พลังงานช่วงคลื่นสั้น) ประมาณร้อยละ 30 ของพลังงานที่เดินทางมาสู่โลก และสะท้อนกลับออกนอกชั้นบรรยากาศในรูปของรังสีอินฟาเรดหรือรังสีความร้อน อีกร้อยละ 70 จะถูกดูดซับไว้ที่ชั้นบรรยากาศที่ประกอบด้วย โอโซน ไอน้ำ และก๊าซชนิดต่างๆ เพื่อให้ความอบอุ่นกับพื้นผิวโลก ทำให้โลกสามารถรักษาสมดุลอุณหภูมิเอาไว้ได้เรียกว่า ก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) ผลที่เกิดขึ้นคือทำให้โลกสามารถรักษาสภาพสมดุลทางอุณหภูมิไว้ได้จึงมีวัฏจักรน้ำ อากาศ และฤดูกาลต่าง ๆ ดำเนินไปอย่างสมดุลเอื้ออำนวยต่อการดำรงชีวิตพืชและสัตว์ ซึ่งถ้าปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศมีมากเกินไป จะทำให้ดูดซับความร้อนได้มากขึ้น อุณหภูมิของโลกจะสูงขึ้นเกิดเป็นปรากฏการณ์เรือนกระจก(Greenhouse Effect) (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2553)

การเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศโลก ซึ่งเป็นผลมาจากการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์ทั้งภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ที่มีคุณสมบัติดูดกลืนและคายรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟราเรดได้ดีมาก ซึ่งก๊าซเหล่านี้ล้วนมีศักยภาพทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น ตารางที่ 2.1 แสดงชนิด คุณสมบัติ ศักยภาพ และแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก นานาประเทศทั่วโลกจึงได้ร่วมกันยกร่างอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (The United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) ขึ้น ประเทศไทยได้ลงนามสัตยาบันในอนุสัญญาฯ และมีผลบังคับใช้ ณ 23 มีนาคม พ.ศ. 2538 ทำให้มีข้อผูกพันที่จะต้องปฏิบัติตาม

เงื่อนไขในอนุสัญญาฯ เพื่อรักษาระดับก๊าซเรือนกระจกที่สะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และระบบภูมิอากาศของโลก ได้แก่ ต้องศึกษารวบรวมและจัดทำรายงานแห่งชาติแสดงข้อมูลและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ รวมถึงพื้นที่ดูดซับก๊าซเรือนกระจกต่างๆ ตลอดจนมีนโยบายและมาตรการในการปรับตัวต่อผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ(สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2551)

ตารางที่ 2.1 ชนิด คุณสมบัติ ศักยภาพ และแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

ชนิดก๊าซ	ผลต่อการเกิดภาวะเรือนกระจก	การเพิ่มขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970	ความสามารถในการกักเก็บความร้อน (เทียบกับ CO_2)	ระยะเวลาคงอยู่ในบรรยากาศ (ปี)	แหล่งกำเนิด
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	53%	31%	1	50-200	การหายใจของสัตว์ การย่อยสลาย การเผา เช่น ไฟป่า การระเหยจากมหาสมุทร การเผาไหม้ซากฟอสซิล
มีเทน (CH_4)	17%	151%	25	10	การทับถมของซากสิ่งมีชีวิตใต้ดิน การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน นาข้าวหรือพื้นที่น้ำท่วมขัง แหล่งทิ้งขยะ
ไนตรัสออกไซด์ (N_2O)	5%	17%	200	150	การย่อยสลายในดิน ปุ๋ยที่มีไนโตรเจน การเผาไหม้ซากฟอสซิล
โอโซนระดับพื้นผิว (O_2)	13%	36%	2,000	ประมาณ 1 สัปดาห์	มีจำนวนน้อยมากในสภาพธรรมชาติ แต่มักเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาสันดาปในยานพาหนะ
ฮาโลคาร์บอน (CFCs)	12%	ไม่พบในปี ค.ศ. 1750	มากกว่า 10,000	60-100	เป็นสารที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมความเย็นและสเปรย์

ที่มา: Ministry of Science, Technology and Environment (2000)

ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีปริมาณการปล่อยเป็นอันดับสองรองจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่มีศักยภาพทำให้โลกร้อน (global warming potential, GWP) มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถึง 25 เท่า (IPCC, 2007) แหล่งกำเนิดและปลดปล่อยก๊าซมีเทนมาจากธรรมชาติคิดเป็นร้อยละ 30 ของก๊าซมีเทนที่ปล่อยทั้งหมดได้แก่ พื้นที่ชุ่มน้ำ บึง หนอง และเหลืออีกร้อยละ 70 มาจากการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์ โดยส่วนใหญ่มาจากภาคเกษตรกรรมถึงร้อยละ 15-40 ของก๊าซมีเทนที่ปล่อยจากกิจกรรมมนุษย์ได้แก่ ปศุสัตว์ 65-100 เทระกรัมต่อปี และนาข้าว 25-150 เทระกรัมต่อปี (Le Mer and Roger, 2001) โดยเฉพาะจากนาข้าวคิดเป็นร้อยละ 20 ของก๊าซมีเทนที่ปล่อยจากกิจกรรมมนุษย์ (Denier van der Gon, 1996)

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวรวม 67 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) หรือร้อยละ 52 ของพื้นที่เพาะปลูกข้าวทั้งประเทศ และร้อยละ 6 ของพื้นที่เพาะปลูกข้าวทั้งโลก (สิรินทรเทพ และคณะ, 2545) จากข้อมูลนี้จึงอาจจัดได้ว่านาข้าวเป็นแหล่งผลิตและปลดปล่อยก๊าซมีเทนที่สำคัญในภาคเกษตรกรรม

2.2 กระบวนการเกิดก๊าซมีเทนในดินนาน้ำขัง

โดยทั่วๆ ไปแล้วดินที่ใช้ปลูกข้าวจะมีลักษณะของการเปียกและแห้งสลับกันไป ดังนั้นในดินที่ปลูกข้าวนี้จะมีกระบวนการทางเคมี ชีวเคมี และจุลชีวเคมี เกิดขึ้น 2 แบบในช่วง 1 ปี นั่นคือ สภาพมีออกซิเจน(aerobic) หรือ oxidative และสภาพขาดออกซิเจน(anaerobic) หรือ reductive สภาพที่มีออกซิเจนจะมีลักษณะเหมือนกับสภาพของดินไร่ แต่สภาพที่ขาดออกซิเจนจะเป็นสภาพที่เฉพาะเจาะจงสำหรับดินน้ำขังที่ใช้ปลูกข้าว ก๊าซมีเทนเป็นผลผลิตสุดท้ายที่เกิดจากจุลินทรีย์ดินกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการหายใจ (anaerobic microorganisms)จากกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุที่เกิดขึ้นในดินน้ำขัง กล่าวคือ เมื่อดินนาอยู่ในสภาพน้ำขัง (anaerobics) ปริมาณก๊าซออกซิเจนลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการแพร่กระจาย (diffusion) ของออกซิเจนจากบรรยากาศผ่านชั้นน้ำที่อยู่เหนือดินจะช้ามาก ออกซิเจนที่มีอยู่เดิมจะถูกนำไปใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจโดยจุลินทรีย์ดินกลุ่มที่ใช้ออกซิเจนในการหายใจ (aerobic microorganisms) จนหมด (ทัศนีย์, 2531) ทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจน(anaerobic) จุลินทรีย์ดินกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการหายใจจะเพิ่มจำนวนประชากรขึ้นแทน และจะใช้สารประกอบและธาตุ ได้แก่ ไนเตรต (NO_3^-), แมงกานีส (Mn^{4+}), เฟอริก (Fe^{3+}), ซัลเฟต (SO_4^{2-}) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในดินเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทน ทำให้เกิดปฏิกิริยา reduction ขณะเดียวกันการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินโดยใช้ออกซิเจนจะถูกเปลี่ยนมาเป็นการย่อยสลายอินทรียวัตถุแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือกระบวนการหมัก (fermentation) โดยจุลินทรีย์ดินกลุ่ม facultative และ strict anaerobes ได้

สารประกอบที่เป็น intermediate products หลายชนิด ได้แก่กรดไขมัน(fatty acids) และแอลกอฮอล์ (alcohol)เป็นต้น กรดไขมัน โดยเฉพาะ อะซีเตรต (acetate) โพรพิโอเนต (propionate) และบิวทีเรต (butyrate) จะเป็นสารอาหาร(substrates) ที่สำคัญ (พัชรี, 2547) ให้กับจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน เรียกว่า methanogens (Papen and Pennenberg, 1990) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 ซึ่งแสดงให้เห็นถึง ปฏิกิริยา oxidation-reduction ที่เกิดขึ้นในดินนาที่มีน้ำขังและค่า Standard electrode potential ที่ pH 7 จุลินทรีย์ดินที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มี pH ในช่วง 6-8 (Kludze at al., 1993)

ในสภาพของดินที่มีอากาศถ่ายเทดีค่า Eh (redox potential) จะอยู่ในช่วง 400 - 600 มิลลิโวลล์ (mV) และเมื่อดินอยู่ในสภาพขาดออกซิเจนค่า Eh จะลดลงอยู่ระหว่าง -300 ถึง -100 มิลลิโวลล์ ค่าวิกฤติของการเกิดก๊าซมีเทนอยู่ระหว่าง -140 ถึง -180 มิลลิโวลล์ (Wang et al., 1993) ค่า Eh จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีน้ำขัง และจะถึงต่ำสุดภายใน 1-2 สัปดาห์แรก และจะค่อยๆ ลดลง อย่างช้าๆ (ทัศนีย์, 2531)

การเกิดก๊าซมีเทน(methanogenesis) จากนาข้าวในสภาพน้ำขังจะเกิดขึ้นจากกระบวนการ ทางชีววิธี 3 กระบวนการคือ

1. กระบวนการ carbon dioxide reduction โดยการใช้ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่ได้จาก การย่อยสลายกรดไขมัน(fatty acids) หรือแอลกอฮอล์ (alcohol) ไปรีดิวซ์คาร์บอนออกไซด์ได้ก๊าซมีเทน

2. กระบวนการ transmethylation ของกรดอะซีติก(acetic acid) หรือเมทิลแอลกอฮอล์ (methyl alcohol) ได้ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3. กระบวนการ decarboxylation เป็นการนำเอาคาร์บอนออกไซด์ออกจากกรดอะซีติก (acetic acid) ได้ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนออกไซด์

ก๊าซมีเทนนี้จะถูกผลิตขึ้นในดินที่มีความลึกอยู่ในช่วง 0 -10 เซนติเมตร ถัดจากดินนาและ ละลายอยู่ในน้ำในดิน ก๊าซมีเทนบางส่วนถูกใช้โดยจุลินทรีย์กลุ่ม methanotroph ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ ใช้ออกซิเจน(aerobes) โดยผ่านกระบวนการออกซิเดชั่นของก๊าซมีเทน (methane oxidation) เปลี่ยนก๊าซมีเทนเป็นก๊าซคาร์บอนออกไซด์สู่บรรยากาศ ซึ่งมักจะเกิดขึ้นบริเวณที่มีก๊าซออกซิเจน ได้แก่ บริเวณ root soil interface ของอาณาบริเวณรากข้าว (rhizosphere) และบริเวณชั้นผิวดิน (surface layer) แต่การดูดใช้ก๊าซมีเทน (methane consumption) นี้ยังเป็นส่วนน้อยเมื่อเทียบกับ ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น(พัชรีและงามเนตร, 2548)

ตารางที่ 2.2 ลำดับการเกิด reduction ในดินตาม thermodynamics ในดินที่ 25 °C pH 7

กระบวนการที่เกิดขึ้น	กระบวนการชีวเคมี	Standard electrode potential (V)
$O_2 + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2H_2O$	Aerobic respiration	0.814
$2NO_3^- + 12H^+ + 10e^- \longrightarrow N_2 + 6H_2O$	Denitrification	0.741
$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \longrightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$	Manganese reduction	0.401
$CH_4COCOOH + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow CH_3CHOHCOOH$	Pyruvic reduction	-0.158
$Fe(OH)_3 + 3H^+ + e^- \longrightarrow Fe^{2+} + 3H_2O$	Iron reduction	-0.185
$SO_4^{2+} + 10H^+ + e^- \longrightarrow H_2S + 4H_2O$	Sulphate reduction	-0.214
$CO_2 + 8H^+ + 8e^- \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$	Methanogenesis	-0.244
$N_2 + 8H^+ + 6e^- \longrightarrow 2NH_4^+$	Nitrogenfication	-0.278
$NADP^+ + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow NADPH$	Respiration	-0.317
$NAD^+ + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow NADH$	Respiration	-0.329
$2H^+ + e^- \longrightarrow H_2$	Hydrogen reduction	-0.413
Ferredoxin (ox) + $e^- \longrightarrow$ Ferrodoxin (red)	Respiration	-0.431

ที่มา : ดัดแปลงจาก Ponnamperuma (1965) และทัศนีย์ (2531)

2.3 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวขึ้นสู่บรรยากาศ

ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในดินนา สามารถขึ้นสู่บรรยากาศได้ 3 ทาง คือจะถูกปลดปล่อยออกโดยผ่านต้นข้าว บางส่วนเคลื่อนที่สู่ผิวน้ำในรูปฟองอากาศ (ebullition) และการแพร่ผ่านชั้นน้ำเหนือผิวดิน (diffusion)

1. การเคลื่อนที่ผ่านทางต้นข้าว (plant mediate active transport) โดยก๊าซมีจะเคลื่อนที่จากรากไปยังลำต้นข้าวผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์ (lysigenus intercellular spaces และ aerenchyma) แล้วปลดปล่อยออกตรงรูเล็กๆ (micropore) ที่อยู่บริเวณ culm ของกาบใบและใบสู่บรรยากาศ ก๊าซมีเทนที่ปล่อยผ่านทางต้นข้าวนี้คิดเป็นร้อยละ 90 ของก๊าซมีเทนทั้งหมดที่ปล่อยออกจากนาข้าว และการปลดปล่อยนี้จะอยู่ขึ้นกับอายุของต้นข้าวด้วย โดยเฉพาะช่วงที่ข้าวกำลังแตกกอและช่วงที่ข้าวเจริญเติบโตเต็มที่ (Seiler et al., 1989)

2. การแพร่กระจาย (diffusion) เมื่อก๊าซมีเทนเกิดขึ้นและมีการสะสมในดินจนมีความเข้มข้นในระดับหนึ่ง โมเลกุลของก๊าซมีเทนก็อาจแพร่กระจายจากดินผ่านน้ำที่ขังเหนือผิวดินสู่บรรยากาศ แต่การเคลื่อนที่ของก๊าซมีเทนสู่อากาศวิธีนี้จะมีสัดส่วนในการปลดปล่อยก๊าซสู่อากาศน้อยมาก ในน้ำจะมีก๊าซมีเทนละลายอยู่ 5.4 % โดยปริมาตร (Gas Encyclopaedia, 2007)

3. การเคลื่อนที่โดยการเกิดฟองอากาศ (ebullition) เป็นการเคลื่อนที่โดยโมเลกุลของก๊าซในสารละลายดิน (soil solution) เมื่อรวมตัวกันเกิดแรงดันมากกว่าน้ำแล้วจะเกิดเป็นฟองก๊าซ (bubble) ลอยตัวจากดินผ่านน้ำสู่อากาศ (Conrad,1989) ในช่วงแรกของฤดูการทำนาที่ยังมิได้มีการปักดำข้าว การปลดปล่อยมีเทนในรูปนี้จะเกิดขึ้นมากที่สุด(นิวัติ และคณะ, 2542) และในระยะข้าวแตกกอ ต้นข้าวจะมีขนาดเล็กทำให้มีช่องว่างอากาศที่เรียกว่า aerenchyma ในรากและลำต้นน้อย ทำให้ก๊าซมีเทนเคลื่อนที่สู่อากาศโดยวิธีการเกิดฟองอากาศเป็นสัดส่วนที่สูงกว่าในระยะที่ข้าวเจริญเติบโตเต็มที่

2.4 ความสำคัญของนาข้าวต่อการผลิตก๊าซมีเทน

ข้าวเป็นพืชอาหารหลักที่มีความสำคัญที่สุดของประเทศแถบเขตร้อน (tropical) และเขตกึ่งร้อน (sub-tropical) ประมาณครึ่งหนึ่งของประชากรทั่วโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักในการดำรงชีวิต (Dubey, 2001) และมีแนวโน้มความต้องการบริโภคข้าวเพิ่มขึ้นจาก 460 ล้านตัน จากปี ค.ศ. 1990 เป็น 760 ล้านตันในปีค.ศ. 2020 (IRRI, 1996)

นาข้าวทั่วโลกเกือบทั้งหมดจะเป็นการปลูกข้าวในสภาพน้ำขัง อินทรียวัตถุในดินนาน้ำขังจะถูกย่อยสลายภายใต้สภาวะขาดออกซิเจน(anaerobic) และเกิดก๊าซมีเทนขึ้น ทั่วโลกมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวประมาณ 600 เทระกรัมต่อปี (1 เทระกรัม; Tg เท่ากับ 1 ล้านตัน) (Denier van der Gon et al., 2000) ในทวีปเอเชียจัดเป็นแหล่งผลิตข้าวใหญ่ที่สุดของโลกมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนประมาณ 46-63 เทระกรัมต่อปี คิดเป็นร้อยละ 51 ของก๊าซมีเทนที่ปล่อยออกจากพื้นที่นาข้าวทั่วโลก และส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นาชลประทานร้อยละ 80 ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในทวีปเอเชีย ซึ่งมีปริมาณก๊าซมีเทนประมาณ 25-54 เทระกรัมต่อปี โดยประเทศจีนและอินเดียมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวสูงสุดในแถบทวีเอเชีย ประมาณ 29-40 เทระกรัมต่อปี หรือร้อยละ 52 ของปริมาณก๊าซมีเทนที่ปล่อยจากนาข้าวในทวีปเอเชีย (พัชรี, 2547) รายงานการศึกษาของ IPCC (2001) พบว่าพื้นที่การเกษตรประเภทนาข้าวในประเทศแถบเอเชีย และออสเตรเลีย มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสู่ชั้นบรรยากาศในปริมาณที่มาก และมีปริมาณแตกต่างกันในแต่ละบริเวณขึ้นกับชนิดและคุณภาพของดิน การปฏิบัติจัดการนาในแต่ละพื้นที่ รวมทั้งลักษณะ

ของพันธุ์ข้าวที่ปลูก อาจถือได้ว่านาข้าวเป็นแหล่งสำคัญหนึ่งที่มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากกิจกรรมมนุษย์ที่อยู่ในภาคการเกษตร (Aulakh et al.,2001c)

สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่ผลิตข้าวมากที่สุดในโลก คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 31.40 ของกลุ่มประเทศผู้ผลิตข้าวในตลาดโลกจำนวน 20 ประเทศ (อรอนงค์, 2550) มีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว 1.8 เทระกรัมต่อปี คิดเป็นร้อยละ 65 ของก๊าซมีเทนที่ปล่อยออกทั้งประเทศ (นิวัติ, 2546)

เนื่องจากข้าวเป็นพืชอาหารหลักของประชากรส่วนใหญ่ของโลกและมีแนวโน้มความต้องการข้าวเพิ่มขึ้น จากการประเมินความต้องการบริโภคข้าวในอีก 25 ปีข้างหน้าจะมีการผลิตข้าวเพิ่มขึ้นกว่าร้อยละ 70 ฉะนั้นปัญหาการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวอาจจะมีความรุนแรงยิ่งขึ้นในอนาคตอันใกล้นี้ (Dubey, 2001) สายพันธุ์ของข้าวและระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวจะมีผลต่อปริมาณก๊าซมีเทนที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศ

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตและปลดปล่อยก๊าซมีเทนโดยต้นข้าวสู่บรรยากาศ

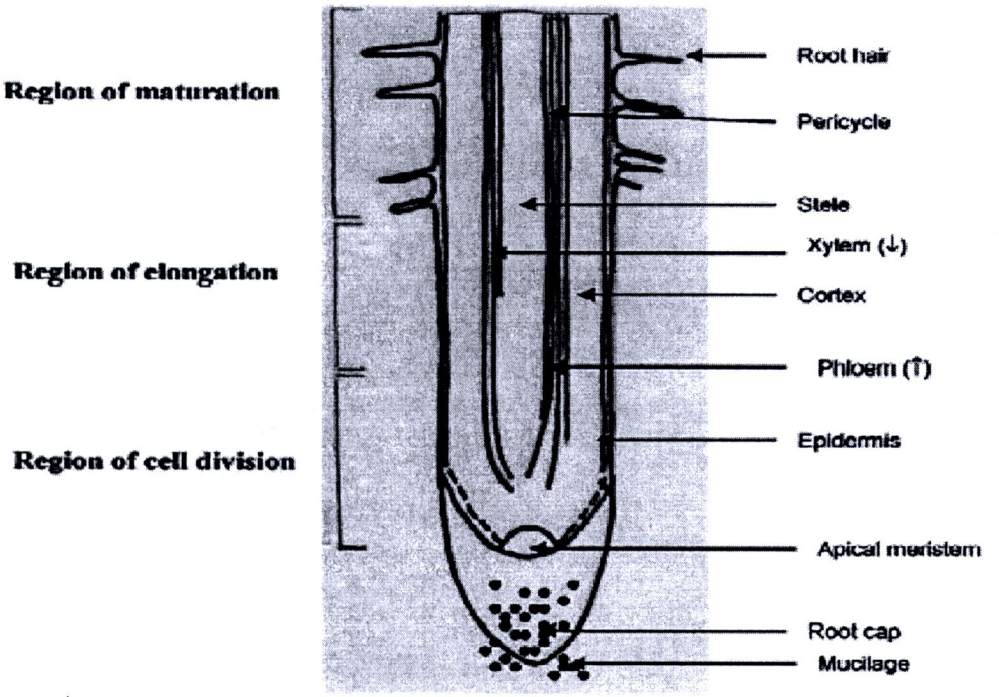
ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตและการปลดปล่อยก๊าซมีเทนโดยต้นข้าวสู่บรรยากาศ ได้แก่ พันธุ์ข้าวที่ปลูก (Sass et al., 1991) ปริมาณสารคัดหลั่งจากต้นข้าว (Aulakh et al., 2001a) และเศษซากพืช (plant senescence) ที่แก่แล้วหลุดร่วงออกมาบริเวณรอบๆราก (rhizosphere) (Neue et al., 1996)

2.5.1 สารคัดหลั่งจากรากข้าว

การเจริญเติบโตและพัฒนาการของต้นข้าวจะไปเพิ่มแหล่งของอินทรียคาร์บอน (organic carbon) ที่มีอยู่เดิมในดินโดยกระบวนการหลั่งสารคัดหลั่งออกมาจากราก (root exudation) และเศษซากพืช (plant senescence) ที่แก่แล้วหลุดร่วงออกมาบริเวณรอบๆราก เหล่านี้เป็นสารประกอบอินทรีย์ได้แก่ กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน น้ำตาล โพลีแซคคาไรด์ และเอนไซม์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นแหล่งของพลังงาน และเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโต (growth factor) ของจุลินทรีย์ดิน อินทรียคาร์บอนในดินที่มาจากรากข้าวเป็นสารอาหาร (substrates) อย่างดีให้แก่จุลินทรีย์ดินและส่งผลให้การผลิตและการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงขึ้น (Neue et al., 1996)

รากข้าวขับสารอินทรีย์ (organic substance) เข้าสู่ดินผ่านกระบวนการการเจริญเติบโตทางธรรมชาติ โดยการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างรากข้าวกับจุลินทรีย์ดิน (soil microorganisms) หรือกับอนุภาคดิน (soil particle) ภายใต้สภาพที่ขาดออกซิเจน (anaerobiosis) สารคัดหลั่งที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากรากมีคุณสมบัติละลายน้ำและแพร่กระจายได้ (Martin, 1977) นอกจากสารคัดหลั่งแล้วยังมีสารอื่นที่ถูกปล่อยออกมาด้วย เช่น เมือก (mucigel) ส่วนที่หลุดออกมาจากผนังเซลล์ (cell wall fragment) และเศษซากรากที่แก่แล้วหลุดออกมา บริเวณที่ติดกับผิวรากที่

อยู่ภายใต้อิทธิพลสารคัดหลั่งและสารอินทรีย์อื่นที่ได้จากรากเรียกว่า อาณาบริเวณราก ซึ่งมีความหนาเพียง 1-2 มิลลิเมตรรอบๆ ผิวราก ซึ่งเป็นบริเวณที่รากมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 ภาพตัดตามยาวแสดงถึงส่วนต่างๆ ของรากที่มีเมือกอยู่ที่ปลายราก (Bertin et al., 2003)

หน้าที่ของสารคัดหลั่งที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากรากในระหว่างการเจริญเติบโตมีดังนี้ 1) ส่งเสริมความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร โดยผ่านกระบวนการคีเลชั่น (chelation) หรือรีดักชั่น (reduction) ของสารประกอบ เช่น เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และฟอสเฟต (phosphate) 2) กำจัดสารพิษ (toxic substances) ออกจากพืช 3) เป็นการลดการแข่งขันพื้นที่(spatial competition) กับรากของพืชชนิดอื่น และ 4) การสร้างเมือก (musilage) ที่ปลายราก (root tip) (Marschner, 1985) จากการบ่มสารคัดหลั่งที่ปล่อยจากรากกล้าข้าวที่อยู่ในอาณาบริเวณรากในตำแหน่งที่ขาดออกซิเจน พบว่าจะกระตุ้นให้เกิดก๊าซมีเทน (Raimbault et al., 1977) แหล่งเริ่มต้นของสารคัดหลั่งอยู่ที่ตำแหน่งปลายรากที่ขยายออก ซึ่งไม่ใช่เซลล์หรือเนื้อเยื่อของรากที่แก่ สารคัดหลั่งที่ถูกปล่อยออกมานี้อาจเป็นผลจากการบาดเจ็บด้วยกลไกในแง่ของการเจริญเติบโตของรากรอบด้าน หรือถูกปล่อยออกมาแบบง่ายๆ จากปลายสุดของรากที่เกิดใหม่ (McDougall and Rovira, 1970)

ตารางที่ 2.3 สารประกอบอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่มีอยู่ในสารคัดหลั่งจากรากพืช

Class of Compounds	Single components	Function
Carbohydrates	Arabinose, glucose, fructose, galactose, maltose, raffinose, rhamnose, ribose, sucrose and xylose	Provide favorable environment for the growth of microorganisms
Amino acids and amides	All 20 proteinogenic amino acids, aminobutyric acid, homoserine, cystathionine, mugineic acid phytosiderophores	Inhibit nematodes and root growth of different plant species
Aliphatic acids	Formic, acetic, butyric, propionic, maleic, citric, isocitric, oxalic, fumaric, malonic, succinic, maleic, tartaric, oxaloacetic, glycolic, shikimic, acetonic, valeric, gluconic	Plant growth regulation and inhibition
Aromatic acids	*p*-hydroxybenzoic, caffeic, *p*-coumeric, ferulic, gallic, gentisic, protocatechuic, salicylic, sinapic, syringic	Stimulation depending on concentration
Miscellaneous phenolics	Flavanol, flavones, flavanones, anthocyanins, isoflavonoids	Plant growth inhibition or stimulation depending on concentration
Fatty acids	Linoleic, linolenic oleic, palmitic, stearic	Plant growth regulation
Sterols	Campestrol, cholesterol, sitosterol, stigmasterol	Plant growth regulation
Enzymes and Miscellaneous		Unknown

ที่มา: Bertin et al. (2003)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 26 ส.ค. 2555
เลขทะเบียน 203400
เลขเรียกหนังสือ

สารคัดหลั่งจากรากข้าวเป็นแหล่งคาร์บอนของกลุ่มจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่อยู่บริเวณผิวของรากพืช ซึ่งเรียกว่า ไรโซเพลน (rhizoplane) และอาณาบริเวณรากข้าว (rhizosphere)(ภาพที่ 2.1) สารคัดหลั่งจากรากจะกระตุ้นให้เกิดกระบวนการมิเนอราไรเซชั่น (mineralization) ของอินทรียวัตถุ (organic matter) วัฏจักรของธาตุอาหาร (nutrient cycling) ต่างๆ และกระบวนการเกิดก๊าซในดิน (ก๊าซมีเทน ไนตรัสออกไซด์ และอื่นๆ) (Aulakh et al., 2001b) สารประกอบอินทรีย์ (organic compound) ชนิดต่างๆ ที่มีอยู่ในสารคัดหลั่งจากรากได้แสดงในตารางที่ 2.3 สารคัดหลั่งจากรากพืชโดยทั่วไปมีน้ำตาลกลูโคสเป็นองค์ประกอบมากที่สุด (Boureau, 1977) Waschutza et al. (1992) พบว่าสารคัดหลั่งจากรากข้าวมีน้ำตาลแรฟฟิโนส (raffinose) น้ำตาลกลูโคส (glucose) น้ำตาลฟรักโตส (fructose) น้ำตาลอะรามิโนส (arabinose) น้ำตาลไรโบส (ribose) และน้ำตาลไซโลส (xylose) เป็นองค์ประกอบ และมีกรดอินทรีย์ (organic acid) ที่ประกอบด้วย ออกซาลิก (oxalic) ซัคคินิก (succinic) อะโคนิติก (aconitic) คิทริก (citric) มาลิก (malic) ทาทาริก(tartaric) และกรดแล็กติก (lactic acids) Aulakh et al. (2001a) พบว่ามวลชีวภาพของรากและลำต้นมีความสัมพันธ์กับอินทรียคาร์บอน (exudate carbon) Kerdchoechuen (2005) พบว่า น้ำตาลกลูโคส (glucose) และ กรดอะซีติก (acetic acid) เป็นกรดอินทรีย์ (organic acid) ที่มีมากที่สุดในสารคัดหลั่งจากรากข้าวและเป็นสารอาหาร(substrates) ที่สำคัญสำหรับการผลิตก๊าซมีเทน Wang et al. (1990) พบว่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจะมากขึ้นในระยะสืบพันธุ์ โดยจะเริ่มตั้งแต่ระยะกำเนิดช่อดอก (panicle initiation) ถึงระยะรวงโผล่ (heading stage) ซึ่งเป็นเวลาที่กิจกรรมทางกายภาพมีมากที่สุด และมีการดูดใช้ไนโตรเจนจากดินมากที่สุด (Yoshida, 1981)

กลไกการผลิตสารคัดหลั่งจากราก

กลไกการปล่อยสารคัดหลั่งจากรากข้าว (ภาพที่ 2.1) ประกอบด้วย 3 กลไกได้แก่

1. ไอออนชาแนล (ion channel) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีของคาร์บอกซิเลต (carboxylates) เช่น ซิเทรต (citrate) มาเลต (malate) และออกซาเลต (oxalate) โดยทั่วไปจะพบว่าซึมออกจากรากด้วยความเข้มข้นสูง แต่จะไม่สามารถแพร่ผ่านผนังเซลล์รากได้เมื่อรากอยู่ในสภาวะตึงเครียด (specific stress) เช่น ขาดแคลนอาหาร (nutritional) หรืออยู่ภายใต้ภาวะความเป็นพิษของอลูมิเนียม (Al toxicity) ในกรณีเช่นนี้แอนไอออนชาแนลจะทำหน้าที่ควบคุมการปลดปล่อยผลิตภัณฑ์ข้างต้นออกจากราก การทดลองใช้สารยับยั้งแอนไอออนชาแนลแสดงให้เห็นว่ามีการยับยั้งแอนไอออนชาแนลต่อการขนส่งผลิตภัณฑ์ออกจากราก(Neumann et al., 1999; Ryan et al., 1995; Sakaguchi et al., 1999; Zheng et al., 1998) ในเมื่อการตีความหมายข้อมูลจากงานทดลองนั้นเป็นเรื่องยาก การศึกษาสรีระวิทยาของเยื่อหุ้มเซลล์ (โดยใช้วิธี patch clamp technique ซึ่งเป็นการศึกษาไอออนชาแนลในเซลล์)ถึงลักษณะกลไกของการขนย้ายจะเป็นประโยชน์มาก

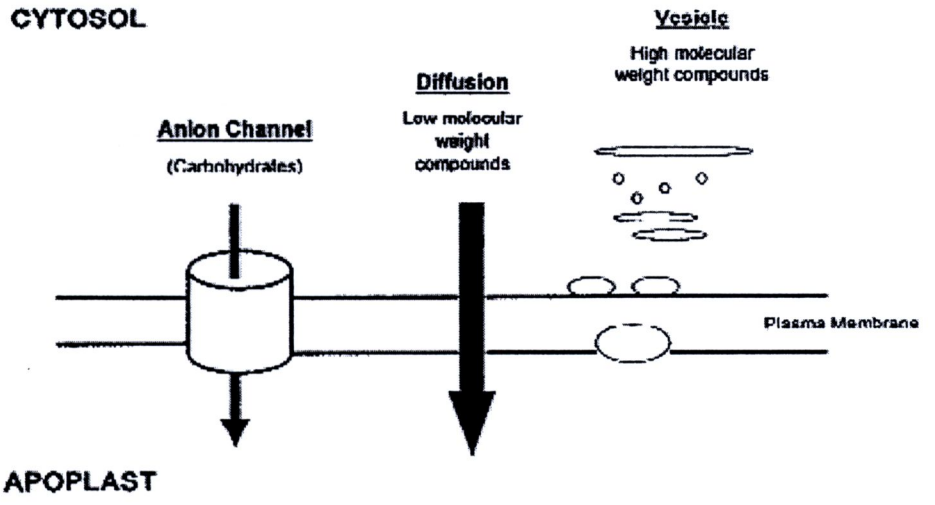
การศึกษาไอออนชาแนลในเซลล์)ถึงลักษณะกลไกของการขนย้ายจะเป็นประโยชน์มาก นอกจากนั้นการใช้วิธีโคลนนิ่ง (cloning) ของยีนแอนไอออนชาแนลจะช่วยให้เข้าใจกระบวนการปลดปล่อยสารคัดหลั่ง (Bertin et al., 2003)

2. การแพร่ (diffusion) เป็นกระบวนการซึ่งไม่ต้องอาศัยพลังงานจากกระบวนการเมแทบอลิซึม กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ อาทิเช่น น้ำตาล (sugars) กรดอะมิโน (amino acids) กรดคาร์บอซิลิค (carboxylic acids) และฟีโนลิค (phenolics) ถูกปล่อยออกมาโดยกระบวนการพาสซีฟ (passive process) ที่เกี่ยวข้องกับความแตกต่างของความเข้มข้น (concentration gradients) โดยแพร่จากความเข้มข้นสูงไปความเข้มข้นต่ำระหว่างไซโตพลาส (cytoplasm) ของเซลล์ราก (millimolar rang) และดิน (micromolar range) การซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์มีผลโดยตรงต่อการแพร่ผ่านชั้นของไลพิด (lipid bilayer) ของเยื่อหุ้มเซลล์ (plasmalemma) ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพทางสรีระของเซลล์รากและคุณสมบัติของการมีขั้ว (polarity) ของสารประกอบอินทรีย์ที่ไหลซึมออกจากราก การซึมผ่านของสารคัดหลั่งประเภทไลโพฟิลิก ซึ่งละลายได้ในไขมัน(lipophilic) โดยทั่วไปเป็นกระบวนการแพร่ (Guern et al., 1987) ผ่านของเหลวในเซลล์ราก ของเหลวในเซลล์นี้เรียกว่าไซโตโซล (cytosol) จะมี pH ประมาณ 7.1-7.4 (Marschner, 1985)

3. การลำเลียงผ่านเวสซิเคล (vesicle transport) การลำเลียงสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงโดยทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับการลำเลียงทางเวสซิเคล (Battey and Blackbourn, 1993) การลำเลียงสารเมือก (mucilage) ที่เป็นโพลีแซกคาไรด์ (polysaccharides) โพลีแซกคาไรด์เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีสารประกอบชนิดอื่นๆ เช่น ไขมันหรือโปรตีนประกอบอยู่ในโมเลกุล (polysaccharides) ผ่านหมวกราก (root cap) จะเป็นหน้าที่ของกอลไจ เวสซิเคล (golgi vesicle) กอลไจ เวสซิเคลมีลักษณะเป็นถุงที่เกิดจากกอลไจ ทำหน้าที่ขนส่งสารระหว่างกอลไจกับอวัยวะอื่นๆ ในขณะที่โปรตีนที่เป็นเอกโตเอนไซม์ (ectoenzymes ซึ่งอยู่บนผิวของเซลล์เอนโดธิเลี่ยม (endothelial cell)) ได้แก่ phosphatase, peroxidase ซึ่งถูกสังเคราะห์ที่เยื่อหุ้มเซลล์จะเคลื่อนเข้ารูเล็กๆ (lumen) ของเอนโดพลาสมิก เรติคูลัม (endoplasmic reticulum; ER) เอนโดพลาสมิก เรติคูลัมนี้ทำหน้าที่ลำเลียงเอนไซม์และโมเลกุลของโปรตีนออกนอกเซลล์โดยวิธีการ vectorial segregation (Neumann and Romheld, 2000) เมื่อโปรตีนผ่านกอลไจแอพพาราตัส (golgi apparatus) โปรตีนจะถูกแยกออกแล้วเคลื่อนไปที่ vacuolar compartment (ที่ vacuolar compartment นี้จะถูกใช้สำหรับบรรจุถุงเวสซิเคิลที่มีขนาดใหญ่) แล้วในที่สุดโปรตีนที่อยู่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ (plasmalemma) จะถูกปล่อยออกนอกเซลล์ (Chrispeels, 1991; Chrispeels and Raikhel, 1992) ระดับของแคลเซียมภายในและภายนอกเซลล์มีอิทธิพลต่อกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการปล่อย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ของเหลวจากเซลล์ (exocytosis) (Marschner, 1995) สารประกอบฟีโนลิก (phenolics) (Gagnon et al., 1992) phytosiderophores (Nishizawa and Mori, 1987) และสารประกอบที่โมเลกุลมีน้ำหนักมาก จะถูกเก็บกักและปลดปล่อยออกโดยใช้เวลซิเคล แต่กลไกที่แน่นอนยังไม่เข้าใจดีนัก สารคัดหลั่งปริมาณมากเมื่อออกจากรากเข้าสู่อาณาบริเวณรากและอยู่ภายใต้กระบวนการต่างๆ ในดินต่อไป เช่น กระบวนการทางฟิสิกส์ (การดูดซับ) กระบวนการทางเคมี (metal oxidation) และกระบวนทางชีวเคมี (การสลายตัวโดยจุลินทรีย์) (Cheng, 1995; Dalton, 1999; Huang et al., 1999; Inderjit and Dakshini, 1999)



ภาพที่ 2.2 กลไกการหลั่งสารคัดหลั่งจากรากพืชผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (Bertin et al., 2003)

2.5.2 การเจริญเติบโตและพัฒนาการของต้นข้าว

ระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าวตั้งแต่ปลูกไปจนกระทั่งเก็บเกี่ยวแบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ

1. การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative phase) เริ่มตั้งแต่การงอก (germination) จนถึงกำเนิดช่อดอก (panicle initiation) แบ่งเป็น 2 ระยะคือ 1) ระยะกล้า (seedling stage) ในเขตร้อนชุ่มชื้น กล้าข้าวจะงอกภายใน 3 วัน การเจริญในระยะนี้จะเริ่มจากข้าวงอกจากเมล็ด (เตรียมได้โดยการแช่เมล็ดไว้ 24 ชั่วโมง และหุ้มอีก 48 ชั่วโมง) จนกระทั่งข้าวเริ่มแตกกอ การเจริญเติบโตในช่วงนี้จะมีระยะเวลาประมาณ 20 วัน ต้นข้าวจะมีใบ 5-6 ใบ ใช้อาหารจากเมล็ดเป็นส่วนใหญ่ และ2) ระยะแตกกอ (tillering stage) เริ่มจากการแตกหน่อแรกจากข้อที่ต่ำที่สุด ซึ่ง

เรียกว่า primary tiller หลังจากนั้นก็จะเกิด secondary tiller (จะเป็นระยะเวลา 30 วัน) ระยะนี้ต้นข้าวจะสูงและแตกตัวอย่างรวดเร็ว ต้นข้าวแตกกอเต็มที่ จนถึงระยะที่มีจำนวนหน่อสูงสุด (maximum tillering stage) หลังจากนั้นหน่อบางหน่อก็จะตายลงและจำนวนหน่อจะลดลงถึงจุดหนึ่งแล้วจะคงที่ หน่อที่เหลือทั้งหมดส่วนใหญ่จะเป็นหน่อที่ให้รวง(productive tiller) โดยทั่วไปแล้วต้นข้าวจะหยุดสร้างหน่อหลังจากที่มีการเกิดของหน่อชุดที่สามแล้ว

2. ระยะการเจริญและพัฒนาทางด้านการสร้างส่วนขยายพันธุ์ (reproductive phase) เริ่มต้นแต่กำเนิดช่อดอกจนถึงออกดอก (flowering) เริ่มจากต้นข้าวเริ่มสร้างดอกอ่อน ตั้งท้อง ออกดอก จนถึงการผสมพันธุ์เป็นการสิ้นสุดการเจริญพันธุ์ ดังนี้ 1) การกำเนิดช่อดอก (panicle initiation stage) ระยะนี้จะเริ่มจากการมองเห็นช่อดอก ในข้าวพันธุ์เบา (105 วันจากเมล็ดงอกจึงแก่) ระยะนี้จะเป็น 40 วันหลังจากเพาะเมล็ด และจะมองเห็นช่อดอก 11 วันต่อมา ซึ่งช่อดอกนี้จะเกิดขึ้นที่ลำต้นเดินก่อน และในกออื่นๆ ถัดมา ในข้าวพันธุ์หนัก (135-160 วัน) จะมีการยืดปล้องก่อนที่จะเกิดช่อดอก ถ้ามีการขาดน้ำในช่วงนี้ การเกิดช่อดอกอาจจะยืดออกไป 2) ระยะตั้งท้อง (booting stage) ระยะนี้จะเกิดขึ้นหลังจากที่ช่อดอกเจริญเติบโตแล้ว จะอยู่ในระยะ 16 วันหลังจากที่เห็นกำเนิดช่อดอก จะเห็นกาบใบธงกาบใบสุดท้ายที่หุ้มช่อดอกจะอ้วนและพองขึ้น ใบข้าวใบสุดท้ายที่ติดอยู่กับกาบใบนี้จะสั้นลงซึ่งเรียกว่าใบธงและเห็นกอที่ไม่มีรวงเกิดขึ้น (unproductive tiller) 3) ระยะช่อดอกโผล่ออกมา (heading stage) ระยะนี้จะเป็นระยะที่ช่อดอก (panicle) โผล่ออกมาจากกาบใบธง และ 4) ระยะออกดอก (flowering stage) จะเกิดขึ้นประมาณ 25 วันหลังจากมองเห็นช่อดอก ไม่ว่าจะเป็นพันธุ์อะไรจะเป็นช่วงที่ดอกบาน

3. ระยะสุกแก่ (ripening phase) เริ่มตั้งแต่ออกดอกจนถึงข้าวแก่ (maturity) เมล็ดข้าวจะเกิดขึ้นหลังจากที่มีการผสมเกสร เล็ดข้าวจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นก่อนที่จะเก็บเกี่ยว ในเขตชุ่มชื้น ระยะนี้จะใช้เวลา 25-35 วัน ไม่ว่าจะเป็นพันธุ์อะไร ในเขตอบอุ่น เช่น ญี่ปุ่น ทางตอนใต้ของออสเตรเลีย และสหรัฐอเมริกา ช่วงนี้จะใช้เวลา 45-60 วัน ระยะสุกแก่นี้ จะมี 3 ระยะด้วยกันคือ 1) ระยะเมล็ดข้าวเป็นน้ำนม (milk grain stage) เป็นระยะที่แป้งในเมล็ดจะเปลี่ยนจากสภาพของเหลวเป็นสภาพเหมือนน้ำนม ซึ่งจะบีบออกมาได้ 2) ระยะเมล็ดข้าวเป็นแป้ง (dough grain stage) ส่วนที่เป็นน้ำนมในเมล็ดจะเปลี่ยนสภาพแข็งขึ้น และ 3) ระยะเมล็ดข้าวแก่ (mature grain stage) สีของรวงจะเปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลือง ระยะนี้จะสิ้นสุดเมื่อ 90-100% ของเมล็ดเปลี่ยนเป็นสีเหลือง จะเห็นใบบนและใบธงเหี่ยวตายไป บางพันธุ์ต้นและใบบนอาจจะยังเขียวอยู่ ถึงแม้เมล็ดจะแก่แล้ว (วาสนา. 2523)

5.2.3 พันธุ์ข้าว

จากการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในดินนาน้ำขังสู่บรรยากาศ พบว่าก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศผ่านทางช่องอากาศ (aerenchyma) ภายในต้นข้าวเป็นหลัก และการปลดปล่อยก๊าซมีเทนผ่านทางช่องอากาศนี้เกิดขึ้นมากกว่าร้อยละ 90 ส่วนที่เหลือจะเป็นการแพร่ผ่านน้ำและการเกิดฟองก๊าซ (ebullition) (Wassmann et al. 2000) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลักษณะประจำพันธุ์ของข้าวมีความสัมพันธ์กับปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน ข้าวแต่ละสายพันธุ์มีจีโนไทป์และฟีโนไทป์ที่แตกต่างกัน (Wassmann and Aulakh, 2000) ส่งผลให้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของต้นข้าวแตกต่างกันออกไป ทั้งจำนวนการแตกกอ ขนาดของลำต้น ปริมาณและความหนาแน่นของราก จำนวนและขนาดของใบ ความสูงของต้นข้าว รวมถึงสรีระวิทยา ได้แก่ ปริมาณและขนาดของช่องอากาศ (aerenchyma) ภายในรากและลำต้นของต้นข้าว เหล่านี้เป็นช่องทางลำเลียงก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศ รวมถึงระยะ(Aulakh et al., 2000b) และอายุการเจริญเติบโตของต้นข้าว ล้วนเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ ถ้าต้นข้าวมีขนาดของช่องอากาศ(aerenchyma) ใหญ่ย่อมทำให้มีการปล่อยก๊าซมีเทนได้มาก(Aulakh et al., 2001a) สายพันธุ์ที่มีระยะเวลาการเจริญเติบโตที่ยาวนานจะทำให้มีระยะเวลาการปล่อยก๊าซมีเทนนานกว่าสายพันธุ์ข้าวอายุสั้น (นิวัติ และคณะ, 2542)

Kaushik and Baruah (2007) พบว่า ความหลากหลายในโครงสร้าง(anatomical) และสัณฐานทางสรีระวิทยา(morphophysiological) ของต้นข้าว (*Oryza sativa*) ที่มีจีโนไทป์แตกต่างกันมีอิทธิต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน Shin and Yun (2000) ศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวชลประทานในประเทศเกาหลี พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูกอยู่ในช่วง 36.9-76.0 กรัมมีเทนต่อตารางเมตร (gCH_4/m^2) เรียงลำดับจากต่ำไปสูงคือ Dasanbyeo < Ilpumbyeo < Gyehwabyeo < Daeanbyeo < Dongjinbyeo < Hwaseongbyeo < Odaebyeo < Mangeumbyeo ซึ่งเขาสรุปว่า การปลดปล่อยก๊าซมีเทนที่แตกต่างกันนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางสรีระและสัณฐานวิทยาของต้นข้าวแต่ละสายพันธุ์ที่มีลักษณะแตกต่างกัน พิมพ์พันธ์และคณะ (2545) ศึกษาการอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากสายพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกัน พบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 1 มีอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 ซึ่งข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีอัตราการปลดปล่อยสูงสุดในช่วงกำเนิดช่อดอก เขาจึงสรุปว่าพันธุ์ข้าวและช่วงระยะเวลาที่เจริญเติบโตมีส่วนต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ Neue et al. (1994a) พบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมือง (พันธุ์ Dular) ปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าข้าวพันธุ์ผสม (พันธุ์ IR65597) ถึงร้อยละ 30 เนื่องจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีจำนวนหน่อมากกว่าและมีระบบรากที่ยาวกว่า Lindau et al. (1995) พบว่าข้าวพันธุ์กึ่งเตี้ยแคระปล่อยก๊าซมีเทนน้อยกว่าข้าวพันธุ์ที่มีลำต้นสูงถึงร้อยละ 36 ได้มี

คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

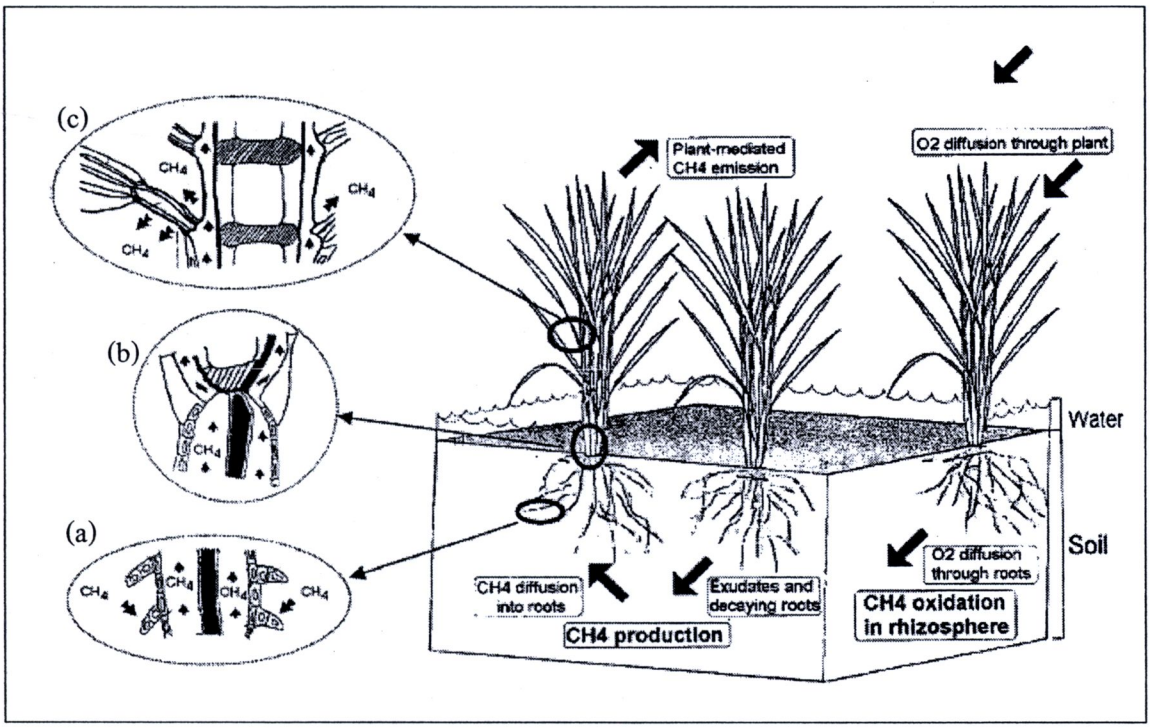
การศึกษาเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวของพันธุ์ข้าวหลายสายพันธุ์ในหลายภูมิภาคที่ปลูกข้าว ได้แก่ประเทศอินเดีย (Parashar et al., 1994) ประเทศจีน (Lin, 1993) ประเทศญี่ปุ่น (Watanabe et al., 1995) ประเทศอิตาลี (Butterbach-Bahl et al., 1997) และรัฐแท็กซัก ประเทศอเมริกา (Sigren et al., 1997) พบว่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีความแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ข้าวหลายสายพันธุ์ หากแต่ต่างกันมากหรือต่างกันเพียงเล็กน้อยขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (oxidation) และความสามารถการขนย้ายก๊าซ (gas transfer capacity) ของข้าวแต่ละสายพันธุ์ จากการศึกษาของ Butterbach-Bahl et al. (1997) พบว่าข้าวสองสายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศอิตาลีมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนแตกต่างกันร้อยละ 24-31.5 ในช่วงสองฤดูปลูก และยังพบว่าตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยไม่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทนและการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น แต่ความสามารถในการขนย้ายก๊าซมีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน สายพันธุ์ข้าวที่มีความสามารถในการขนย้ายก๊าซสูงจะมีความสัมพันธ์กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูที่รากและลำต้นของระบบช่องอากาศ (aerenchyma) Wang et al. (1997) พบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมือง (พันธุ์ Dular)และข้าวพันธุ์ผสม (พันธุ์ IR72) มีการปล่อยก๊าซมีเทนเป็นรูปแบบเดียวกัน ปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุดสองช่วงคือช่วงระยะแรกและระยะสุดท้ายของการเจริญเติบโต แต่ข้าวพันธุ์ปรับปรุงใหม่ (พันธุ์ IR65598) ปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุดช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโตเท่านั้น เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ได้รับการปรับปรุงให้มีสารประกอบอินทรีย์ในสารคัดหลั่งในปริมาณต่ำมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นสูงและมีจำนวนหน่อต่อกอน้อย

กลไกการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากต้นข้าว

การปลดปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ เป็นผลลัพธ์ที่เหลือของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในดินนาน้ำขังหลังจากที่ถูกจุลินทรีย์ดินกลุ่มที่ใช้ก๊าซมีเทน(methanotrophs)และเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในดินนาน้ำขังสามารถเคลื่อนย้ายออกสู่บรรยากาศได้โดยผ่านช่องอากาศที่เรียกว่าแอเรนไคมา(aerenchyma) ภายในต้นข้าวเป็นหลัก และการปลดปล่อยก๊าซมีเทนโดยผ่านทางช่องอากาศนี้เกิดขึ้นมากกว่าร้อยละ 90 ของปริมาณที่ปล่อยจากนาข้าวสู่บรรยากาศ

เป็นที่ทราบกันว่าออกซิเจน (O_2) จากบรรยากาศสามารถถูกส่งไปสู่รากของต้นข้าวที่อยู่ใต้ดินน้ำขังโดยผ่านทางช่องอากาศ(aerenchyma)และช่องว่างที่อยู่ระหว่างเซลล์ (intercellular air space)อย่างเป็นระบบ โดยกระบวนการแพร่กระจาย (diffusion) และกระบวนการไหล (mass flow) ช่องอากาศในต้นข้าวคือส่วนที่ถูกพัฒนาอยู่ใน culm (ปล้องแรกที่อยู่ติดกับราก) และราก (Arikado,1956) ระบบการไหลเวียนของอากาศ (ventilation) ในต้นข้าวคือบทบาทที่สำคัญต่อการขนย้ายก๊าซระหว่างอาณาบริเวณรากกับบรรยากาศ

จากการศึกษาของ Wassmann et al.1998 พบว่าก๊าซมีเทนที่ละลายในสารละลายดินที่อยู่รอบๆรากข้าวนั้น สามารถแพร่กระจายเข้าไปในน้ำในผนังเซลล์ (cell wall) ของเซลล์รากได้ โดยไม่ได้ขึ้นอยู่กับการดูดใช้น้ำของราก (ภาพที่ 2.3) อัตราการแพร่ (diffusion rate) ของก๊าซมีเทนจะช้ามากในสารละลายดิน และพบว่าก๊าซมีเทนส่วนมากจะถูกปลดปล่อยออกมาจาก culm ซึ่งถูกห่อด้วยกาบใบ(leaf sheaths) แต่ไม่ใช่ใบ (leaf blade) ซึ่งพบว่าที่กาบใบนั้นจะมีรูขนาดเล็ก (micropores) ที่ต่างจากปากใบ(stomata) ในตำแหน่งที่อยู่ห่างจากผิวชั้นนอกสุด (abaxial epidermis) ของกาบใบ Mariko et al., 1991 พบว่าก๊าซมีเทนส่วนมากจะถูกปลดปล่อยออกมาจาก culm ซึ่งถูกห่อด้วยกาบใบแต่ไม่ได้ปลดปล่อยจากแผ่นใบ



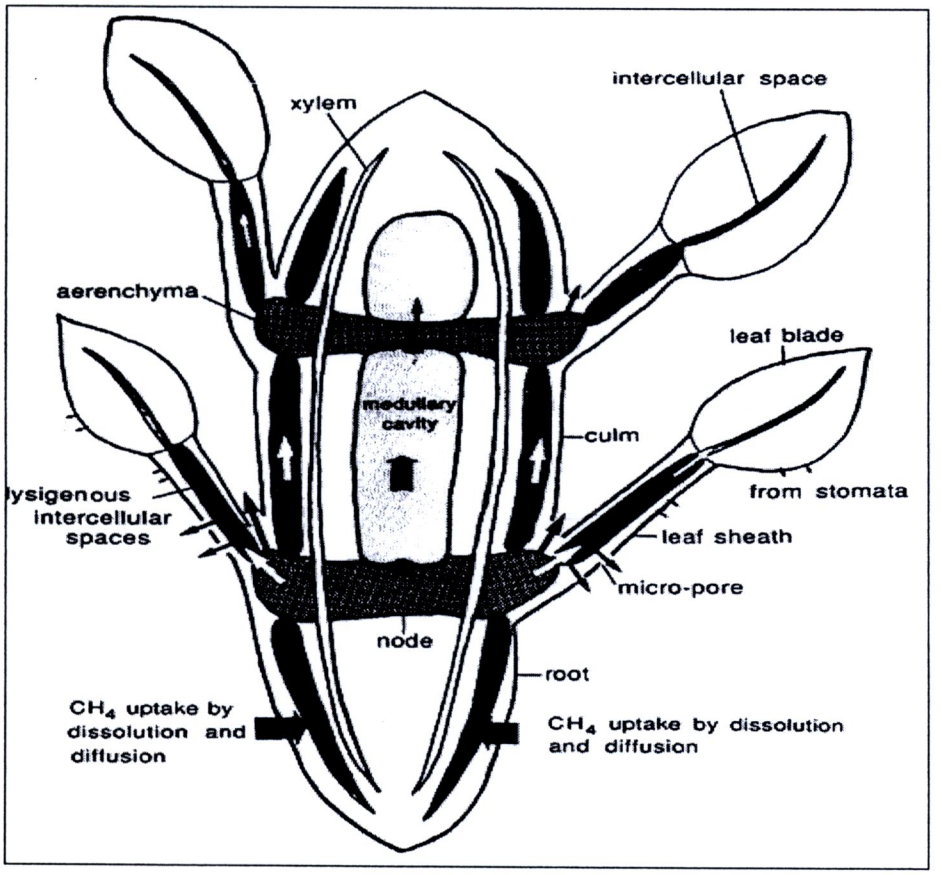
ภาพที่ 2.3 กระบวนการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากต้นข้าว โดยการแพร่ของก๊าซมีเทนที่ละลายในสารละลายดินที่อยู่รอบๆรากข้าวเข้าสู่ aerenchyma ในราก(a) การขนย้ายก๊าซมีเทนจากรากสู่ลำต้น(b) และการขนย้ายก๊าซมีเทนจากต้นข้าวออกสู่บรรยากาศ(c) (ดัดแปลงจาก: Wassmann et al.1998)

กลไกการลำเลียงก๊าซมีเทนผ่านต้นข้าวออกสู่บรรยากาศ (Nouchi et al. 1990)

1. ก๊าซมีเทนที่ละลายในสารละลายดินที่อยู่รอบๆรากข้าวได้ละลาย (dissolution) และแพร่กระจาย (diffusion) เข้าสู่น้ำในผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อผิวชั้นนอกสุดของราก (root epidermis cells) และแพร่กระจายเข้าสู่น้ำใน root cortex การแพร่กระจายนี้จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความเข้มข้น (concentration gradient) ระหว่างมีเทนที่ละลายในสารละลายดินและช่องอากาศขนาดใหญ่ระหว่างเซลล์ที่พัฒนาเต็มที่แล้ว (lysigenous intercellular space)

2. เมื่อก๊าซมีเทนถูกเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซ (gasify) ใน root cortex จะถูกขนส่งไปยังลำต้นโดยทางช่องอากาศ (aerenchyma) และช่องอากาศขนาดใหญ่ระหว่างเซลล์ที่พัฒนาเต็มที่แล้ว (lysigenous intercellular space)

3. ก๊าซมีเทนถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศตรงรูเล็กๆ ที่อยู่ใต้กาบใบในตำแหน่งที่ต่ำที่สุดของต้นข้าวก่อนเป็นอันดับแรก จากการศึกษาพบว่าก๊าซมีเทนนี้จะถูกปลดปล่อยผ่านเส้นทางนี้มากที่สุด ในอันดับต่อมาจะถูกปล่อยออกตรงช่องที่อยู่ระหว่าง culm และกาบใบ และสุดท้ายก๊าซมีเทนจะถูกปล่อยผ่านทางช่องอากาศ (aerenchyma) ของแผ่นใบ (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 กลไกการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากต้นข้าวออกสู่บรรยากาศ (Nouchi et al.,1990)

2.6 ลักษณะประจำพันธุ์ของพันธุ์ข้าวที่ใช้วิจัย

2.6.1 ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ได้จากการผสมพันธุ์สามทางระหว่าง IR13146-158-1, IR 15314-43-2-3-3 และ BKN6995-16-1-1-2 โดยทำการผสมพันธุ์และคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ข้าว CNTBR82075-43-2-1 ซึ่งเป็นข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 119-130 วัน สูงประมาณ 113 เซนติเมตร ลำต้นแข็งแรงให้ผลผลิตสูง คอรวงสั้น เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง ข้าวกล้องยาวเรียว เป็นท้องไข่น้อย คุณภาพการสีดี ข้าวที่หุงสุกแล้วมีลักษณะร่วนแข็งประเภทข้าวเสาไห้ มีการตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนดี จุดเด่นของข้าวพันธุ์นี้ คือ มีความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยกระโดดหลังขาว โรคใบหงิก และค่อนข้างต้านทานโรคไหม้ พิจารณาเป็นพันธุ์รับรองโดยใช้ชื่อว่าพันธุ์ข้าวเจ้าชัยนาท 1 และได้รับการรับรองพันธุ์เมื่อวันที่ 9 กันยายน 2535 (กรมการข้าว, 2550)

2.6.2 ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างข้าวพันธุ์หอมอ้มกับพันธุ์ กข 10 ที่สถานีทดลองข้าวขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2525 โดยใช้ข้าวเจ้าพันธุ์หอมอ้ม ที่มีลักษณะต้นสูง แข็งแรง เมล็ดยาว เรียว มีกลิ่นหอม เป็นพันธุ์แม่ ส่วนข้าวเหนียวพันธุ์กข 10 มีลักษณะความสูง ปานกลาง แตกกอดี ผลผลิตสูง ไม่ไวต่อช่วงแสงเป็นพันธุ์พ่อ ซึ่งเป็นข้าวเหนียวไม่ไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยว 128 วัน สูงประมาณ 123-146 เซนติเมตร ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 3 สัปดาห์ ปล้องและกาบใบสีเขียว มีขนบนใบ ใบธงตั้งตรง ลำต้นแข็งแรงให้ผลผลิตสูง ประมาณ 467 กิโลกรัมต่อไร่ ทรงกอตั้งตรง คอรวงปานกลาง เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง ข้าวกล้องสีขาวยาวเรียว ข้าวที่หุงสุกแล้วมีลักษณะเหนียวนุ่ม มีกลิ่นหอม จุดเด่นของข้าวพันธุ์นี้ ปลูกได้ทั้งในสภาพนาดอนนาชลประทาน และสภาพไร่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พิจารณาเป็นพันธุ์รับรองโดยใช้ชื่อว่า ข้าวเหนียวพันธุ์สกลนคร และได้รับการรับรองพันธุ์เมื่อวันที่ 22 ธันวาคม 2543 (กรมการข้าว, 2550)

2.7 ความเป็นมาและลักษณะของต้นข้าว

นาข้าวถูกระบุว่าเป็นแหล่งใหญ่ที่สุดแหล่งหนึ่งของกิจกรรมมนุษย์ที่มีการผลิตและปล่อยก๊าซมีเทน (Aulakh, 2000c) ซึ่งการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวสู่บรรยากาศนี้คิดเป็นร้อยละ 90 ของก๊าซมีเทนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากทางต้นข้าว จากเหตุผลนี้จึงได้กล่าวถึงลักษณะสัณฐานวิทยาของต้นข้าวและรายละเอียดเบื้องต้นที่ควรทราบเกี่ยวข้องต้นข้าว เพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงปัจจัยของต้นข้าวที่มีต่อการผลิตและปลดปล่อยก๊าซมีเทนมากยิ่งขึ้น

พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถานสถาน พ.ศ. 2525 ให้ความหมายของคำว่า “ข้าว” ไว้ คือ ชื่อของไม้ล้มลุกหลากหลายชนิดในวงศ์ Gramineae โดยเฉพาะชนิด *Oryza sativa* linn. ซึ่งใช้เมล็ดเป็นอาหารหลัก (ราชบัณฑิตยสถาน, 2525)

ข้าวที่ปลูกสำหรับบริโภคทั่วโลกมี 2 ชนิด คือ ข้าวปลูกเอเชีย (*Oryza sativa* Linn.) และข้าวปลูกแอฟริกา (*Oryza glaberrima* Steud.) มีจำนวนพันธุ์มากกว่า 120,000 พันธุ์ ที่มีชื่อและลักษณะแตกต่างกัน จากความหลากหลายของชนิดข้าวต่างๆ ที่แพร่กระจายทั่วโลก ซึ่งมีอย่างน้อย 23 ชนิด (species) เป็นข้าวปลูก 2 ชนิด และข้าวป่า 21 ชนิด ข้าวเป็นธัญชาติ (เมล็ด) ของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว วงศ์หญ้า (Family: Grammineae หรือ Poaceae) เรียกว่าธัญพืชสกุลโอไรซา (Genus: Oryza) (อรอนงค์, 2550)

2.7.1 สัณฐานวิทยาของต้นข้าว

ข้าวเป็นพืชล้มลุกที่จัดอยู่ในพวกหญ้ามีลำต้นกลมภายในกลางลำต้นประกอบด้วยข้อและปล้องมีใบแบนประกอบด้วยตัวใบและกาบใบช่อดอกจะออกจากส่วนบนสุดของลำต้น สามารถเจริญได้ดีทั้งในที่น้ำขังและที่ไม่มีน้ำขัง ต้นข้าวประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ ราก ลำต้น ใบ และรวง

1. ระบบราก (root system) เป็นรากประเภท fibrous root system ซึ่งประกอบด้วย fibrous และ root hairs ในขั้นแรกรากข้าวที่เกิดขึ้นนี้จะแผ่ในบริเวณผิวดินรอบๆ ต้นเสียก่อนจนเต็มที่ หลังจากนั้นจึงเจริญลึกลงไปในดิน ปกติรากข้าวจะหยั่งลึกลงไปในดินประมาณ 6-18 นิ้ว รากจะทำหน้าที่หาอาหารและพยุงลำต้น หากรากชุดนี้ได้รับความเสียหายมากหรือเกิดสภาพของดินไม่เหมาะสม รากนี้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ก็จะมีรากเจริญจากข้อเหนือดิน

2. ลำต้น (stem) ลำต้นข้าวประกอบด้วยข้อ ระหว่างข้อจะเป็นปล้อง ลำต้นของข้าวเป็นรูปทรงกระบอกและเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่แล้วภายในข้าวปล้องจะกลวง จะตันเฉพาะส่วนข้อเท่านั้นซึ่งเป็นลักษณะของลำต้นที่เรียกว่า culm

3. ใบ (leaves) มีลักษณะแผ่นบางแคบ และยาว มีกำเนิดจากข้อในทิศทางสลับกันตรงกันข้ามใบประกอบด้วย 2 ส่วน ประกอบด้วยกาบใบ (sheath) และแผ่นใบ (blade) ใบที่อยู่บนสุด (ใบสุดท้าย) ที่อยู่ถัดลงมาจากรวงเรียกว่า ใบธง (flag leaf)

4. รวงข้าว มีลักษณะของดอกเป็นช่อ (inflorescence) ซึ่งเรียกว่า panicle ซึ่งจะโผล่ออกมาจากปล้องที่อยู่บนสุดของต้นข้าว (umpermost intermode) ระยะตั้งแต่ข้อของปล้องสุดท้ายลงมาจนถึงกาบของใบธง เรียกว่า คอรวง

5. ดอกข้าว (floral organ) ดอกข้าวเป็นดอกชนิดสมบูรณ์เพศ (perfect flower) มีเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน

6. เมล็ด (grain) คือ เอ็นโดสเปิร์มเป็นอาหารสำหรับเลี้ยงต้นอ่อนในขณะที่เมล็ดข้าวเริ่มงอก เอ็นโดสเปิร์มดังกล่าวก็คือส่วนที่เรามาบริโภคนั่นเอง

7. คัพภะ (embryo) คือส่วนที่เรียกว่าจมูกข้าว เป็นตำแหน่งรวมของส่วนที่จะงอกเป็นต้นข้าวต้นใหม่ (ประพาส, 2521)

2.7.2 การแบ่งประเภทของข้าว

เนื่องจากข้าวแต่ละสายพันธุ์มีลักษณะทางสรีระและสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันที่ส่งผลต่อปริมาณการผลิตและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน(Aulakh, 2001a) การแบ่งประเภทของข้าว (วาสนา. 2523) จะช่วยอธิบายถึงสภาพของสิ่งแวดล้อมที่ข้าวได้รับและที่มีผลกระทบต่อต้นข้าว ซึ่งอาจจะมีผลต่อการผลิตและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ

1. แบ่งตามการบริโภคหรือชนิดของแป้งที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ด ได้แก่ 1.1) ข้าวเหนียว (glutinous rice or waxy rice) เมล็ดข้าวสารจะมีสีขาวขุ่น เมื่อนึ่งแล้วจะได้ข้าวสุกที่จับตัวติดกันเหนียวแน่นและมีลักษณะใส ประชาชนส่วนใหญ่ของภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือบริโภคข้าวเหนียวเป็นอาหารหลัก ข้าวเหนียวประกอบด้วยแป้งชนิดอะมิโลแพคติน (amylopectin) เป็นส่วนใหญ่ มีแป้ง อะมิโลส (amylase) อยู่เพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย และ 1.2) ข้าวเจ้า (nonglutionous rice) เมล็ดข้าวสารจะมีสีขาวใส เมื่อหุงหรือนึ่งสุกแล้ว ข้าวสุกมีสีขาวขุ่นและร่วนกว่าข้าวเหนียว ข้าวเจ้าแต่ละพันธุ์เมื่อหุงสุกแล้ว มีความนุ่มเหนียวแตกต่างกัน ประชาชนส่วนใหญ่ในภาคกลางและภาคใต้บริโภคข้าวเจ้า

อัตราส่วนของแป้งทั้งสองชนิดนี้ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ข้าวมีคุณสมบัติการหุงต้มและการรับประทานแตกต่างกัน คือ ข้าวจ้าวหรือข้าวที่มีอะมิโลสสูงจะดูดน้ำและขยายปริมาณในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวเหนียวหรือข้าวที่มีอะมิโลสต่ำทำให้ข้าวสุกและแข็งร่วน มีลักษณะทึบแสงไม่เลื่อมมัน ส่วนข้าวเหนียวหรือข้าวที่มีอะมิโลสต่ำ จะดูดน้ำและขยายตัวได้น้อยกว่าข้าวเจ้าหรือข้าวที่มีอะมิโลสสูง เมื่อข้าวสุกจะเหนียวและนุ่มกว่า

2. แบ่งตามอายุการเก็บเกี่ยว ได้แก่ 2.1) ข้าวเบา(early variety) เป็นพันธุ์ข้าวที่แก่เก็บเกี่ยวได้เร็วกว่าพันธุ์อื่น ๆ ในท้องที่เดียวกัน หากเป็นพันธุ์ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง จะสุกเก็บเกี่ยวได้ก่อนกลางเดือนพฤศจิกายน, 2.2) ข้าวกลาง(medium variety) เป็นพันธุ์ข้าวที่สุกเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่ช่วงหลังของเดือนพฤศจิกายน จนถึงกลางเดือนธันวาคม และ 2.3) ข้าวหนัก late variety) เป็นพันธุ์ข้าวที่สุกเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่ครึ่งหลังของเดือนธันวาคมเป็นต้นไป ส่วนมากจะเก็บเกี่ยวได้หมดทุกพันธุ์เมื่อถึงช่วงกลางของเดือนมกราคม

3. แบ่งตามลักษณะการเจริญเติบโตที่เกี่ยวกับแสงแดด หรือความไวต่อช่วงแสง ข้าวที่ปลูกกันทั่วไปสามารถแบ่งตามการตอบสนองต่อช่วงแสง ได้เป็น 2 พวก คือ 3.1) ข้าวไวต่อช่วงแสง (photoperiod sensitive rice) พันธุ์ข้าวพวกนี้จะออกดอกต่อเมื่อได้รับช่วงแสงที่พอเหมาะ ซึ่งเป็นช่วงแสงสั้น เพราะข้าวจัดเป็นพืชวันสั้น และ 3.2) ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง(photoperiod insensitive rice) จะออกดอกเมื่ออายุถึงช่วงเวลาที่กำหนดของแต่ละพันธุ์ จะปลูกในช่วงฤดูใดก็ตามมันจะออกดอกตรงตามเวลาที่เคยเป็น

4. แบ่งตามลักษณะพื้นที่การปลูก ดังนี้ 4.1) ข้าวไร่ (upland Rice) เป็นพันธุ์ข้าวพวกนี้จะสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดีในที่ ๆ ไม่ต้องมีน้ำขัง พันธุ์ข้าวพวกนี้ส่วนใหญ่ปลูกตามที่ดอน เชิงเขา ที่ราบสูง และในแปลงพืชไร่ และ 4.2) ข้าวนาสวน (lowland Rice) ได้แก่พันธุ์ที่สามารถปลูกได้ทั้งในที่ดอนไม่มีน้ำขัง เช่นเดียวกับข้าวไร่ แต่ต้องมีความชื้นในดินสูง สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงในที่มีน้ำขังตลอดฤดูปลูก

5. การแบ่งตามฤดูกาล แบ่งได้ เป็น 2 พวก คือ 5.1) ข้าวนาปี (rained rice) หรือข้าวไวต่อช่วงแสง (photoperiod sensitive varieties) คือพันธุ์ข้าวที่ต้องการช่วงแสงสั้นส่วนใหญ่จะสั้นกว่า 12 ชั่วโมง และ 5.2) ข้าวนาปรัง (off-season rice) หรือพันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง (photoperiod insensitive varieties) คือพันธุ์ข้าวที่สามารถปลูกได้ตลอดปีไม่ว่าจะปลูกเดือนไหน (ทรงเชาว์, 2545)