

2.1 ข้าวขาวดอกมะลิ 105

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นพันธุ์ข้าวหอมที่ได้มาโดยนายสุนทร สีหะเนิน พนักงานเกษตรรวบรวมจากอำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา เมื่อ พ.ศ. 2493 - 2494 จำนวน 199 รวงแล้วนำไปคัดเลือกแบบคัดพันธุ์บริสุทธิ์ (Pure Line Selection) และปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ที่สถานีทดลองข้าวโคกสำโรง แล้วปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ ท้องถิ่นในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จนได้สายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 4-2-105 ซึ่งเลข 4 หมายถึง สถานที่เก็บรวงข้าว คือ อ.บางคล้า เลข 2 หมายถึง พันธุ์ทดสอบที่ 2 คือ ข้าวดอกมะลิ และเลข 105 หมายถึง แฉวหรือรวงที่ 105 จากจำนวน 199 รวง และคณะกรรมการพิจารณาพันธุ์ ให้ใช้ขยายพันธุ์ เป็น พันธุ์รับรอง เมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม 2502 และให้ชื่อว่า ข้าวดอกมะลิ 105 พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 เป็นพันธุ์ข้าวน้ำฝนและไวต่อช่วงแสง เป็นข้าวต้นสูงประมาณ 140-150 เซนติเมตร อายุเก็บเกี่ยว ข้าวจะออกดอกประมาณวันที่ 20 ตุลาคม และสุกแก่เก็บเกี่ยวได้ประมาณวันที่ 20 พฤศจิกายนของทุกปี ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 8 สัปดาห์ ทนต่อสภาพแล้ง ดินเปรี้ยวและดินเค็ม ลักษณะเมล็ดข้าวเปลือก ยาว ก้นงอน สีฟาง เมล็ดเรียวย คุณภาพการสีดี ขนาดเมล็ดข้าวกล้อง ยาว 7.5 มิลลิเมตร กว้าง 2.1 มิลลิเมตรหนา 1.8 มิลลิเมตร เมล็ดข้าวสารใส มีท้องไข่น้อย ผลผลิตประมาณ 363 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ไม่ต้านทานโรคใบสีส้ม โรคขอบใบแห้ง โรคไหม้ และโรคใบหงิก และไม่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่นสีเขียวและหนอนกอ พื้นที่ปลูกอยู่ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ส่วนใหญ่จะอยู่ในเขตทุ่งกุลาร้องไห้ ซึ่งเป็นแหล่งผลิตข้าวขาวดอกมะลิคุณภาพดีของประเทศ การปลูกข้าวหอมมะลิในทุ่งกุลาร้องไห้ ปี 2546 ได้ผลผลิตรวมประมาณ 411,493 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 322 กิโลกรัมต่อไร่ ดังตารางที่ 2.1 (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2542)

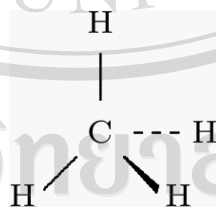
ตารางที่ 2.1 แสดงพื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลิในเขตทุ่งกุลาร้องไห้

พื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลิในทุ่งกุลาร้องไห้			
จังหวัด	พื้นที่ (ไร่)	ผลผลิตเฉลี่ย (กก./ไร่)	ผลผลิตรวม
ร้อยเอ็ด	572,984	280	160,584
สุรินทร์	403,104	363	146,647
ศรีสะเกษ	111,697	327	36,470
มหาสารคาม	82,077	360	29,550
ยโสธร	106,241	359	38,242
รวม	1,276,103	322	411,493

ที่มา : (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2542)

2.2 ก๊าซมีเทน

ก๊าซมีเทน (methane) ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน มีสูตรโมเลกุล คือ CH_4 มีพันธะระหว่างคาร์บอนและไฮโดรเจนทั้ง 4 อะตอม เป็นพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) เป็นสารไม่มีขั้ว (non-polarity) มวลโมเลกุลเท่ากับ 16.04 มีจุดหลอมเหลวที่ -182.5 องศาเซลเซียส มีจุดเดือดที่ -161.5 องศาเซลเซียส ความสามารถในการละลายน้ำเท่ากับ 24×10^{-3} กรัม/ลิตร สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น น้ำมันเบนซิน อีเทอร์ และแอลกอฮอล์ เป็นต้น (Verschueren, 1996)



ภาพที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของก๊าซมีเทน

2.2.1 แหล่งกำเนิดของก๊าซมีเทน

ก๊าซมีเทนที่ปล่อยปล่อยสู่บรรยากาศเกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมของแบคทีเรียกลุ่ม Methanogenic ในสภาพที่ขาดออกซิเจน (Conrad *et al.*, 2000) ในขณะเดียวกันกิจกรรมของแบคทีเรียกลุ่ม Methanotrophic ก็สามารถเปลี่ยนก๊าซมีเทนให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์เก็บกักไว้ใน

ดิน (พัชรี, 2541) ก๊าซมีเทนที่ปล่อยสู่บรรยากาศมีแหล่งกำเนิด 2 แหล่งใหญ่ คือ เกิดจากธรรมชาติ (natural source) เช่น พื้นที่ชุ่มน้ำ มหาสมุทร ปลวก และเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic Source) เช่น การทำเหมืองถ่านหิน การทำการเกษตร ปศุสัตว์ การเผาไหม้มวลชีวภาพ เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าประมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากแหล่งปลดปล่อย (Source) สู่บรรยากาศโลก และแหล่งกักเก็บ (Sink) (ล้านตันมีเทนต่อปี)

แหล่งปลดปล่อย (source)	Annual emission	% of global source
ธรรมชาติ (natural)		
พื้นที่ชุ่มน้ำ (wetland)	115 (55-150)	21
ปลวก (termites)	20 (10-50)	4
มหาสมุทร (ocean)	15 (5-50)	3
อื่นๆ	15 (10-40)	3
รวม	160 (110-210)	29
กิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic)		
การทำเหมืองถ่านหิน (fossil fuel related)	100 (70-120)	18
ปศุสัตว์ (cattles)	85 (65-100)	15
การทำนา (rice production)	60 (20-100)	11
การเผาไหม้มวลชีวภาพ (biomass burning)	40 (20-80)	7
การฝังกลบขยะ (domestic sewage)	250(15-80)	5
ของเสียจากสัตว์ (animal waste)	25 (20-30)	5
รวม	375 (300-450)	68
แหล่งปลดปล่อยทั้งหมด	535 (410-660)	
แหล่งกักเก็บทั้งหมด (บรรยากาศ,ดิน,น้ำ)	515 (430-600)	
เพิ่มในบรรยากาศ	37 (35-40)	

ที่มา : IPCC (1995)

สำหรับประเทศไทย OEPP (2000) ได้รายงานว่ามีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดปีละประมาณ 3.2 ล้านตัน มาจากภาคเกษตรกรรมประมาณร้อยละ 91 ของก๊าซมีเทนที่ปล่อยทั้งหมด โดยมีแหล่งปลดปล่อยที่ใหญ่ที่สุด คือ นาข้าวประมาณร้อยละ 73 โดยเฉพาะในฤดูข้าวนาปี (main-season crop) ส่วนอีกร้อยละ 22 มาจากปศุสัตว์ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากภาคเกษตรกรรมของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2537

แหล่งปลดปล่อย	ปริมาณก๊าซมีเทน (Gg)
ปศุสัตว์	629.53
การจัดการปุ๋ยคอก	139.64
นาข้าว	2,110.53
รวม	2,879.10

ที่มา : OEPP (2000)

2.2.2 กระบวนการเกิดก๊าซมีเทนจากนาข้าว

2.2.2.1 กลไกการเกิดก๊าซมีเทนในนาข้าว

ดินนาที่ปลูกข้าวในสภาพน้ำขังจะอยู่ในสภาพการขาดออกซิเจนอยู่ตลอดเวลา การแพร่กระจาย (Diffusion) ของออกซิเจนจากบรรยากาศผ่านชั้นน้ำที่อยู่เหนือดินนาจะช้ามาก (1/10,000 เท่าของในบรรยากาศ) ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมีในดิน รวมถึงกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากสภาพที่มีออกซิเจน (Aerobic หรือ Oxidative) ไปเป็นสภาพที่ไร้ออกซิเจน (Anaerobic หรือ Reductive) โดยที่ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำและในดินจะถูกจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน (aerobes) นำไปใช้ในกระบวนการหายใจอย่างรวดเร็วดินจึงอยู่ในสภาพที่ขาดออกซิเจน ขณะเดียวกันจุลินทรีย์กลุ่มที่อยู่ได้ในที่มีหรือไม่มีออกซิเจน (Facultative Anaerobes) และพวกที่อยู่ไม่ได้ในสภาพที่มีออกซิเจน (Obligate หรือ Strict anaerobes) ก็จะเพิ่มมากขึ้น (ทัศนีย์, 2531) จุลินทรีย์สองกลุ่มหลังสามารถใช้ทั้งสารประกอบอินทรีย์ และสารประกอบอินทรีย์ที่ได้จากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในดินเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยารีดักชันขององค์ประกอบต่างๆ ในดินที่ถูกออกซิไดซ์ ดินที่อยู่ในสภาพน้ำขัง ปฏิกิริยารีดักชัน จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องดังตารางที่ 2.4

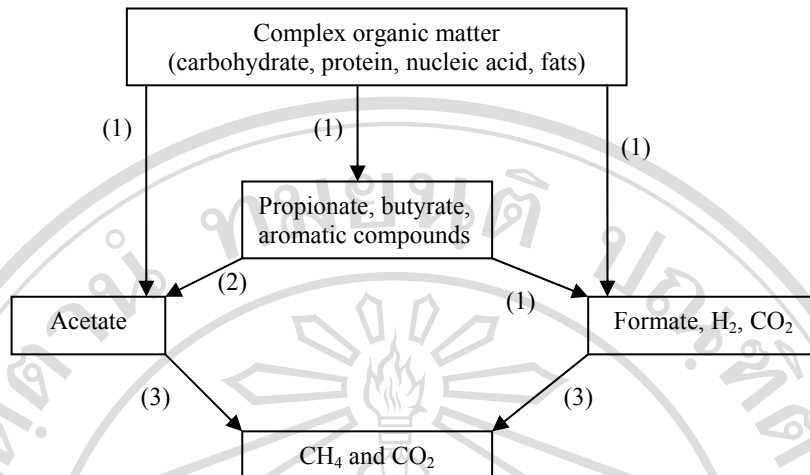
ตารางที่ 2.4 ลำดับการใช้สารเป็นตัวรับอิเล็กตรอนของจุลินทรีย์ดินในแง่ที่สัมพันธ์กับค่า Redox Potential ของดิน

ตัวรับอิเล็กตรอน และผลของปฏิกิริยารีดักชัน	กระบวนการชีวเคมี	Redox Potential ¹ ที่ pH 7 (mV)	ตัวอย่างสิ่งมีชีวิตในดินที่เกี่ยวข้อง
$O_2 + e^- \rightarrow H_2O$	Aerobic respiration	+820	รากพืช, สัตว์ และแบคทีเรียพวกที่ต้องการอากาศ
$NO_3^- + e^- \rightarrow N_2$	Denitrification	+420	<i>Pseudomonas</i> .
$Mn^{4+} + e^- \rightarrow Mn^{2+}$	Manganese reduction	+410	<i>Bacillus</i>
Organic matter + e ⁻ → Organic acid	Fermentation	+400	<i>Clostridium</i>
$Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$	Iron reduction	-180	<i>Pseudomonas</i>
$SO_4^{2-} + e^- \rightarrow H_2S$	Sulphate reduction	-220	<i>Desulfovibrio</i>
$CO_2 + e^- \rightarrow CH_4$	Methanogenesis	-240	<i>Methanobacterium</i>

¹Redox Potential หมายถึงศักยภาพของระบบหรือสภาพแวดล้อมในดินในการให้ (reduce) หรือรับอิเล็กตรอน (oxidise) แก่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ระบบที่มีค่า redox potential สูง สามารถรับอิเล็กตรอนได้ดี
ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาจุลชีววิทยา (2544)

กระบวนการย่อยสลายในสภาพขาดออกซิเจนส่วนใหญ่ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอน คือ

- 1) การเกิดกระบวนการหมักสารอินทรีย์แล้วได้กรดอินทรีย์ (Fermentation หรือ Acidogenesis)
- 2) กระบวนการเกิดกรดอะซิติกโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสารอินทรีย์แล้วจุลินทรีย์ได้พลังงานในการดำรงชีพ (Syntrophic Acetigenesis)
- 3) กระบวนการเกิดก๊าซมีเทนโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ Methanogens (Methanogenesis) โดยที่แต่ละขั้นตอนจะเกิดจากกิจกรรมของแบคทีเรียต่างชนิดกัน ซึ่งแบคทีเรียจะได้พลังงานในการดำรงชีวิตและทำให้เกิด Intermediate Products ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กลง เช่น เกิด H_2 (Broone, 1991)



ภาพที่ 2.2 การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุใน Methanogenic Ecosystems

- (1) Fermentation หรือ Acedogenesis
- (2) Syntrophic Acetigenesis
- (3) Methanogenesis

ที่มา : Broone, 1991

1) Fermentation หรือ Acedogenesis

สารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนชนิดต่างๆ (Carbohydrate, Protein, Nucleic acid และ Fats) จะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วในระหว่างการเกิดกระบวนการหมักของสารอินทรีย์ ซึ่งจะได้ Acetate และกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile Fatty Acid , VFA) ที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนมากกว่า Acetate เช่น Propionate และ Butyrate ซึ่งโมเลกุลของสารเหล่านี้ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้โดย Methanogens ขณะเดียวกันการย่อยสลายกรดไขมันที่ระเหยได้จะทำให้เกิด H₂ (โดย Proton Reduction) หรือ Formate (โดย Bicarbonate Reduction) ซึ่งจะเกิดได้ดีเมื่อความเข้มข้นของ H₂ และ Formate อยู่ในปริมาณต่ำมากๆ (Bryant, 1979; Boone *et al.*, 1989)

2) Syntrophic Acetigenesis

กรดไขมันที่ระเหยได้ที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเป็นตัวเลขคี่ที่มีค่ามากกว่าสาม (ไม่ใช่ Acetate) จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่เรียกว่า Obligate proton-reduction acetigens ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สร้าง Acetic acid จากปฏิกิริยา β -oxidation ของกรดไขมัน (McInnerney, 1986; McInnerney *et al.*, 1976) เช่น Propionate (3-carbon Monocarboxylic acid) ทำให้ได้ Acetic acid และ CO₂ ซึ่งคาดว่าโดยผ่าน Succinate Pathway (Houwen *et al.*, 1987)

3) Methanogenesis

ใน Methanogenic Ecosystems นี้ จุลินทรีย์กลุ่ม Methanogens จะย่อยสลาย Acetate ทำให้ได้ CH_4 และ CO_2 ขณะเดียวกัน Methanogens ยังสามารถใช้ H_2 และ Formate ในปริมาณที่ต่ำมาก พัชรี (2541) รายงานว่าขั้นตอนการเกิดก๊าซมีเทน (Methanogenesis) เกิดเนื่องจาก 2 กระบวนการที่สำคัญ คือ

1) กระบวนการรีดักชันของคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide Reduction) โดยการใช้ ก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จากกรดไขมัน (Fatty acid) หรือแอลกอฮอล์ (Alcohol) ดังสมการ



2) กระบวนการ Transmethylation ของกรดอะซิติก (Acetic acid) หรือเมทิลแอลกอฮอล์ (Methyl Alcohol) ดังสมการ



จุลินทรีย์กลุ่ม Methanogenic Bacteria จะใช้ Metabolite ที่ได้จากการสลายอินทรีย์วัตถุ (Organic matter fermentation) เป็นแหล่งอาหาร ซึ่งอาจแบ่งจุลินทรีย์เหล่านี้ออกเป็น 3 กลุ่ม ตามลักษณะการใช้สารอาหาร มีรายละเอียดดังนี้

1) Obligate Chemolithotrophic Methanogens แบคทีเรียกลุ่มนี้จะใช้ CO_2 และ H_2 เป็นแหล่งอาหาร

2) Quasi-Chemolithotrophic Methanogens แบคทีเรียกลุ่มนี้จะใช้กรด Formic และ Carbonmonoxide (CO) เป็นแหล่งอาหาร

3) Methylotrophic Methanogens แบคทีเรียกลุ่มนี้จะใช้ Methanol, Acetate, Trimethylamine และ Dimethylsulfide เป็นแหล่งอาหาร

2.2.3 การเคลื่อนที่ของก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ

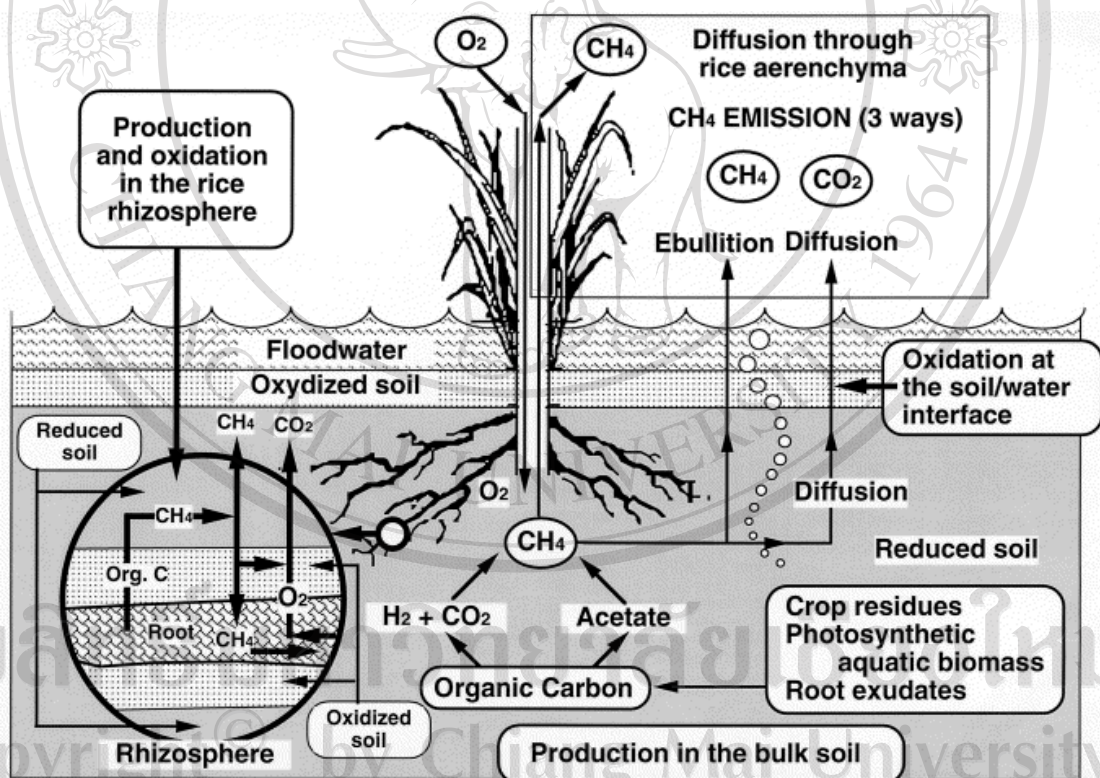
ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นบริเวณที่ไม่มีออกซิเจน (Anoxic Zones) และเหลือจากการถูกใช้โดย จุลินทรีย์กลุ่ม Methanotrophs บริเวณ Oxidized Zone แล้วส่วนใหญ่จะถูกปล่อยสู่บรรยากาศผ่าน ช่องอากาศภายในต้นข้าว (Aerenchyma) บางส่วนเคลื่อนที่สู่ผิวน้ำในรูปของฟองอากาศ (Ebullition) และการแพร่ (Diffusion) ผ่านชั้นน้ำเหนือผิวดิน (ภาพที่ 2.3)

1. ผ่านทางต้นข้าว (Transport through Aerenchyma) การปล่อยก๊าซมีเทนส่วนใหญ่ หรือ ประมาณมากกว่า 95% ของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะปลดปล่อยสู่บรรยากาศผ่านทางต้นข้าว ซึ่ง ก๊าซมีเทนจะแพร่ผ่านรากข้าวและลำเลียงผ่านช่องอากาศ (Aerenchyma) และโพรงอากาศระหว่าง

เซลล์ (Intercellular gas space) ส่งผ่านแบบพาสซีฟ (Passive Transfer) ผ่านช่องทางช่อง Micropores ของใบข้าว (Nuchi *et al.*, 1990; Jean and Roger, 2001)

2. การเกิดฟองอากาศ (Ebullition) ประมาณ 8 % ของปริมาณก๊าซมีเทนที่ปล่อยออกมาจากนาข้าว ฟองอากาศเกิดจากความดันของก๊าซที่มีมากกว่าความดันน้ำ นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเนื้อดิน การรวมตัวของดิน การรบกวนของสัตว์หน้าดิน และการไถพรวนดินช่วงการเตรียมดินก่อนปลูกข้าว (Minami and Neue, 1994)

3. การแพร่ผ่านชั้นน้ำ (Diffusion) ประมาณ 2 % ของปริมาณก๊าซมีเทนที่ปล่อยออกมาจากนาข้าว การแพร่ของก๊าซมีเทนเกิดภายใต้สภาวะที่มีน้ำท่วมขังลึกมาก ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในตะกอนดิน น้ำ และอากาศ ทำให้ก๊าซมีเทนเกิดการแพร่ผ่านจากผิวดินและชั้นน้ำสู่บรรยากาศ (Wang *et al.*, 1995)



ภาพที่ 2.3 การผลิต การดูใช้ และการเคลื่อนย้ายสู่บรรยากาศของก๊าซมีเทนในนาข้าว

ที่มา : Jean and Roger (2001)

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยมีเทนในพืช

Neue and Roger (1993) รายงานว่าระดับของน้ำและระยะเวลาของการขังน้ำในนาข้าวมีผลทำให้ปริมาณออกซิเจนในดินลดลง ทำให้มีการสร้างและปลดปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศเพิ่มมากขึ้น วิธีการปลูกข้าวก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน การปลูกข้าวแบบนาหว่านและนาค้ำมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้มากหรือน้อยแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาด้วยปัจจัยที่ต่างกัน คือ เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาในการขังน้ำ พบว่าการปลูกข้าวแบบนาหว่านจะมีช่วงเวลาในการขังน้ำสั้นกว่าจึงมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนน้อยกว่า แต่เมื่อพิจารณาถึงจำนวนต้นข้าวต่อพื้นที่แล้ว พบว่านาค้ำจะมีจำนวนต้นข้าวต่อพื้นที่น้อยกว่าดังนั้นจึงมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนน้อยกว่า นอกจากนี้ ปุ๋ยจะมีผลต่อกระบวนการสร้างและการปลดปล่อยก๊าซมีเทนหรือไม่ยังไม่ชัดเจน เนื่องจากความซับซ้อนของปุ๋ยต่อกระบวนการทางชีวเคมีของการสร้างหรือการออกซิไดซ์ของก๊าซมีเทนในดินที่มีน้ำขัง แต่การใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มจำนวนต้นต่อตารางเมตร และเพิ่มการเติบโตของราก ทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตาม Danier van der Gon and Neue (1994) และ Murase and Kimura (1994) ได้รายงานตรงกันว่า แอมโมเนียมซัลเฟต แคลเซียมซัลเฟต เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ และแมงกานีสออกไซด์ มีผลยับยั้งการสร้างก๊าซมีเทนได้ ส่วนการให้ปุ๋ยพืชสดมีผลกระตุ้นการปลดปล่อยก๊าซมีเทน Sass *et al.* (1991) ได้ทำการทดลองใส่ฟางข้าวลงในดินที่ปลูกข้าว พบว่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นจาก 0.056 เป็น 0.143 กรัม/ตร.ม./วัน เนื่องจากฟางข้าวเป็นการเพิ่มแหล่งคาร์บอนให้กับดิน Neue and Roger (1993) ได้รายงานเพิ่มเติมอีกว่า การควบคุมศัตรูข้าวโดยการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชกับต้นพืชรวมไปถึงดินและน้ำ ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน เนื่องจากสารเคมีเหล่านี้อาจจะเป็นแหล่งคาร์บอนหรือมีผลต่อสรีรวิทยาของข้าว รวมทั้งมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในดินและในน้ำ

2.2.5 ลักษณะทางสรีระของพืชต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

การแลกเปลี่ยนก๊าซเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช Schutz *et al.* (1991) รายงานว่า พืชเป็นตัวกลางในการขนส่งก๊าซมีเทนจากดินและน้ำไปสู่บรรยากาศ ซึ่งปริมาณน้ำในดินมีผลต่อการสร้างช่องอากาศภายในต้นข้าว (Aerenchyma) ซึ่งมีผลต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างพืชกับบรรยากาศ และการปล่อยออกซิเจนของรากพืชสู่ดินที่มีน้ำขัง ทำให้เกิดออกซิเดชันของก๊าซมีเทนและได้การคาดการณ์ว่าในอนาคต รังสีอินฟราเรด (infrared radiation) จะสามารถเข้าสู่บรรยากาศโลกได้มากขึ้น เนื่องจากชั้นโอโซนถูกทำลายนำไปสู่การเพิ่มอุณหภูมิของใบและต้นพืชมีผลต่อการไหลเวียนของก๊าซภายในต้นพืชโดยอุณหภูมิของอากาศภายนอกต่ำกว่าอุณหภูมิภายในต้นพืช ทำให้พืชปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม Sigen *et al.* (1997) รายงานถึง

ความหนาแน่นของพืชในแต่ละพื้นที่ ระยะการเจริญเติบโตและความต้านทานของปากใบ (Stomata Resistance) ต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า พืชที่ขึ้นอยู่หนาแน่นจะมีพื้นที่ของรากมากขึ้น ดังนั้นก๊าซมีเทนก็สามารถผ่านเข้าสู่รากและปล่อยสู่บรรยากาศได้มากขึ้น และการปล่อยก๊าซมีเทนอาจขึ้นกับสายพันธุ์ข้าว Watanabe *et al.* (1994) พบว่า อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนของข้าวจะแปรผันไปตามจำนวนดินในกอและอายุของต้นข้าว โดยข้าวที่มีจำนวนที่มีจำนวนดินกอและอายุมากกว่าจะปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้มากกว่าข้าวที่มีจำนวนดินในกอและอายุน้อยกว่า Nilson and Orcutt (1996) รายงานว่า ในสภาวะที่ดินชุ่มน้ำและไม่ได้รับแสงเป็นเวลานาน ทำให้การเติบโตของรากลดลง เนื่องจากเมื่อความเข้มแสงต่ำจะมีผลต่อการออกซิโดซ์สารอาหารของราก เมื่อพืชมีการสังเคราะห์แสงลดลงทำให้การขนส่งออกซิเจนไปยังรากลดลงด้วย มีผลให้รากข้าวได้รับอันตรายและเสียหายได้ ซึ่ง Frenzel *et al.* (1996) รายงานว่า รากข้าวบางส่วนที่ตาย เป็นสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียสามารถย่อยสลายและทำให้เกิดก๊าซมีเทน นอกจากนี้ Dennenberg and Conrad (1999) ได้พบว่า ^{14}C ที่ใส่ลงในดินจะเข้าไปอยู่ในต้นข้าวในรูปมวลชีวภาพ 40-70 เปอร์เซ็นต์ และยังพบอีกว่า ^{14}C จากต้นข้าว 3-6 เปอร์เซ็นต์ถูกปล่อยออกสู่ดิน และปลดปล่อยในรูปของก๊าซมีเทนแสดงว่า ต้นข้าวมีการปล่อยสารบางชนิดออกมาจากรากสู่ดิน ซึ่ง Roviera (1969) ได้รายงานที่ข้าวมีการปลดปล่อยสารเคมีออกมาสู่ดินที่มีการปลูกข้าว สารเหล่านั้นเป็นสารพวก คาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic Compounds) โปรตีน เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะเป็นแหล่งของคาร์บอนและพลังงานในการสร้างก๊าซมีเทน Zhang and Wiegel (1990) ได้ศึกษา การย่อยสลายของ 2,4 - Dichlorophenol (2,4-DCP) พบว่า 2,4-DCP จะถูก Dechlorinate ไปเป็น 4-Chlorophenol และ Benzoate ซึ่งจะถูกลดปล่อยได้ก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในที่สุด

2.3 สารให้ความหอมในข้าว

การศึกษาเกี่ยวกับความหอมของข้าวในประเทศไทยได้มีการพัฒนาเริ่มตั้งแต่การทดสอบกลิ่นด้วยวิธีดม โดยให้ระดับความหอมของข้าวตั้งแต่ไม่หอมถึงหอมมาก แต่ยังมีวิธีที่ยังอาศัยความสามารถเฉพาะบุคคลอยู่ Buttery and Ling (1982) ได้ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของสารอินทรีย์ที่เป็นสารให้ความหอมในข้าวพบว่า 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) เป็นสารหลักที่ให้ความหอมในข้าว ซึ่งพบในพันธุ์ข้าวหอมและไม่หอมบางพันธุ์ หลังจากนั้นจึงได้มีการนำเทคนิคทางเคมีมาประยุกต์เพื่อตรวจสอบความหอมโดยวัดปริมาณสารหอมดังกล่าวในเมล็ดข้าว สารหอม 2AP เป็นสารที่มีรายงานพบในข้าว ตลอดจนพืชอื่นๆ เช่น ใบเตย (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) (Buttery *et al.*, 1983) มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีเป็นสารประกอบในกลุ่ม Pyrrole มีวงแหวนห้าเหลี่ยมที่มีไนโตรเจนเกาะอยู่ในวงเป็นพันธะคู่ (C=N) 1 พันธะและมีหมู่ Acetyl เกาะอยู่กับ

คาร์บอนในตำแหน่งที่สองของวง (ภาพที่ 2.4) สารหอม 2AP เป็นของเหลวใสไม่มีสี และเนื่องจากเป็นสารประกอบไนโตรเจนทำให้สารนี้มีคุณสมบัติเป็นเบสเล็กน้อย นอกจากนี้ยังเป็นสารที่ระเหยง่ายและไม่ค่อยเสถียรเมื่ออยู่ในรูปสารบริสุทธิ์จึงต้องเก็บในรูปของสารละลายที่เจือจางหรือรูปของเกลือ (สุทธกานต์, 2546) นอกจากนี้ Tressl *et al.* (1985) พบว่า ปริมาณของ 2AP ขึ้นอยู่กับสารโพรลีนเข้าทำปฏิกิริยาร่วมกับคาร์โบไฮเดรต สารโพรลีนเป็นตัวกลางร่วมที่สำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นหอมของ 2AP โดยปริมาณสารหอมจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารโพรลีนนั้นทำปฏิกิริยาร่วมกับ Trioses ในรูปของ 2-oxopropanal สารโพรลีนที่ทำปฏิกิริยาจะอยู่ในรูปของ 1-pyrroline Hofmann *et al.* (1998) รายงานยืนยันว่า 1-pyrroline และ 2-oxopropanal เป็นสารตั้งต้นที่ทำให้เกิดกลิ่นหอมของ 2AP



ภาพที่ 2.4 สารหอม 2-acetyl-1-pyrroline (2AP)

Buttery *et al.* (1983) อ้างโดยสุทธกานต์ (2546) วิเคราะห์หาปริมาณสาร 2AP ในข้าวพบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณสารหอม 2AP ใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์ Malagkit Sungsong, Milagrosa และ IR841-76-1 ต่อมา Buttery *et al.* (1986) อ้างโดยสุทธกานต์ (2546) ทำการศึกษาปริมาณของสารหอมที่สกัดในพันธุ์ข้าวหอมและพันธุ์ข้าวไม่หอม โดยใช้วิธีการสกัดด้วยไอน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์แบบต่อเนื่องและวิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซลิควิดโครมาโตกราฟี พบว่า ข้าวหอมที่ยังไม่ได้ขัดสีจะมีปริมาณสารหอม 2AP ระหว่าง 0.1-0.2 ppm และข้าวที่ขัดสีจะมีปริมาณสารหอม 0.04-0.09 ppm แต่พันธุ์ข้าวไม่หอมจะมีปริมาณสารหอมน้อยมากประมาณ 0.006-0.008 ppm และ Mahatheranont *et al.* (2001) ได้ปรับปรุงเทคนิคการตรวจสอบหาสารหอม 2AP ในข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 โดยวิธีการสกัดด้วยสารละลายกรดและทำการสกัดต่อด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์หาปริมาณด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟี โดยใช้ตัวตรวจวัดคือเฟลมไอออนเซชัน และใช้คอลัมน์แบบ Capillary ที่มี Phase เป็น CP-wax 51 ซึ่งวิธีนี้สามารถตรวจวัดหาสารหอม 2AP ได้ไวและให้ขีดจำกัดของการตรวจวัดที่สามารถใช้ปริมาณตัวอย่างข้าวเพียง 0.5 กรัม

2.3.1 สภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพความหอมของข้าว

ความหอมของข้าวเป็นลักษณะทางคุณภาพ (Qualitative) ที่สามารถถ่ายทอดทางพันธุกรรมได้ แต่ทว่าความหอมนอกจากจะถูกควบคุมด้วยลักษณะทางพันธุกรรมแล้ว ยังมีความแปรปรวนไปตามสภาพแวดล้อม (Khush and Juliano, 1985; Sagar, 1983 อ้างโดย วาสนา, 2538) แต่ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดความแปรปรวนของความหอมข้าวมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่ง ประเทศ (2529) และ ประสูติ (2530) ได้อ้างถึงสภาพแวดล้อมที่น่าจะมีอิทธิพลต่อความหอมของข้าว คือ ชนิดและความอุดมสมบูรณ์ของดิน เช่น ข้าวหอมมะลิที่ปลูกในดินร่วนปนทราย จะมีข้าวกล้องและข้าวสารที่ใสเป็นเงา เมื่อนำไปหุงสุกจะมีรสชาติดีและมีกลิ่นหอมกว่าข้าวที่ปลูกในดินเหนียว (วาสนา, 2538) และอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกับ บริบูรณ์และคณะ (2542) รายงานว่าสภาพแวดล้อมนอกเหนือจากความอุดมสมบูรณ์ของดินแล้ว สภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน การตกกระจายของฝน และความชื้น นับว่าเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การให้ผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตด้วย บริบูรณ์และคณะ (2542) ยังรายงานอีกว่าผลกระทบของอุณหภูมิในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวหรือหลังการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพความหอมของเมล็ดข้าวหอมมะลิ 105 โดยถ้าหากมีอุณหภูมิต่ำในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวตลอดจนในโรงเก็บจะช่วยรักษาความหอมไม่ให้ระเหยไปได้ง่ายๆ แต่ถ้าหากเป็นไปในทางตรงกันข้าม คือมีอุณหภูมิสูงในช่วงเก็บเกี่ยวและในโรงเก็บจะทำให้ความหอมระเหยไปได้เร็วขึ้น

2.4 ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems)

ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ หรือ ระบบ GIS เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) โดยข้อมูลลักษณะต่างๆ ในพื้นที่ที่ทำการศึกษา จะถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบที่มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันและกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและรายละเอียดของข้อมูลนั้นๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดตามต้องการ

คำจำกัดความของ Geographic Information Systems (GIS) หรือระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ คือ ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เป็นระบบโปรแกรมที่สามารถนำไปใช้ในการสร้างและวิเคราะห์ข้อมูลรูปทรงพื้นฐานของวัตถุทุกอย่างบนพื้นผิวโลก (Spatial) เกี่ยวกับระบบแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศและแผนผังต่างๆ ของลักษณะภูมิประเทศทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และมนุษย์สร้างขึ้น สิ่งเหล่านี้สามารถแปลความออกมาเป็นรหัสอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเรียกออกมาใช้งานแก้ไข และวิเคราะห์ข้อมูลได้ แต่จากการสำรวจอัตราส่วนในการนำไปใช้ประโยชน์ถือว่า ประสพผลสำเร็จน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากมีปัญหาทางด้านฮาร์ดแวร์เป็นส่วนใหญ่ และการแก้ไขข้อมูลให้ถูกต้อง เพราะข้อมูลที่บันทึกไว้อาจผิดพลาดได้ซึ่งเป็นเรื่องของคณิตศาสตร์และซอฟต์แวร์

(ครรชิต, 2529) และอีกความหมายหนึ่งคือ ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ หมายถึง กระบวนการของการใช้คอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ซอฟต์แวร์ (Software) ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ (Geographic Data) และการออกแบบ (Personnel Design) ในการเสริมสร้างประสิทธิภาพของการจัดเก็บข้อมูล การปรับปรุงข้อมูล การคำนวณ และการวิเคราะห์ข้อมูล ให้แสดงผลในรูปของข้อมูลที่สามารถอ้างอิงได้ในทางภูมิศาสตร์ หรือ หมายถึง การใช้สมรรถนะของคอมพิวเตอร์ ในการจัดเก็บ และการใช้ข้อมูลเพื่ออธิบายสภาพต่างๆ บนพื้นผิวโลก โดยอาศัยลักษณะทางภูมิศาสตร์เป็นตัวเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลต่างๆ นั้นเอง

ประโยชน์ที่ได้จากการใช้ GIS

1. สามารถผสมผสานข้อมูลหลายรูปแบบ (กราฟิก ตัวอักษร ตัวเลข ภาพ) จากแหล่งต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ยังสามารถทำการปรับเปลี่ยนมาตราส่วน เส้นโครงแผนที่ การเชื่อมต่อระหว่างของแผนที่ และการผสมผสานข้อมูลสำรวจจากระยะไกล (Remote Sensing) ได้
2. เพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
3. การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น สามารถเชื่อมโยง ข้อมูลด้านสังคมเศรษฐกิจ การซ้อนทับของข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Overlay)
4. สามารถสร้างแบบจำลอง (Model) ทดสอบและเปรียบเทียบทางเลือกก่อนที่จะมีการนำเสนอยุทธวิธีในการปฏิบัติจริง
5. การปรับปรุงแก้ไขข้อมูลให้ทันสมัยได้ง่าย
6. สามารถจัดการกับระบบฐานข้อมูลขนาดใหญ่ได้

ตัวอย่างการใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ โดยใช้ GIS

GIS ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในสาขาหรือหน่วยงานด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวางที่เกี่ยวข้องกับการใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่พอสรุปได้ดังนี้

1. การอนุรักษ์ และจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Management, Conservation) การจัดการทางพืชและสัตว์ในดิน (Flora and Fauna) สัตว์ป่า (Wild Life) อุทยานแห่งชาติ (National Park) การควบคุมและติดตามมลภาวะ (Pollution Control and Monitoring) และแบบจำลองด้านนิเวศวิทยา (Ecological Modeling)
2. การจัดการด้านทรัพยากร/การเกษตร (Resources Management / Agriculture) การจัดการระบบชลประทาน การพัฒนาและจัดการที่ดินเพื่อการเกษตร การอนุรักษ์ดินและน้ำ การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ ป่าไม้ และการทำไม้ ๆ

3. การวางแผนด้านสาธารณภัย (Disaster Planning) การบรรเทาสาธารณภัย การติดตามการปนเปื้อนของสารพิษ และแบบจำลองผลกระทบอุทกภัย (Modeling Flood Impacts)

4. ด้านผังเมือง (Urban GIS) การวางแผนผังเมือง การวิเคราะห์ด้านอาชญากรรม ที่ดิน และภาษีที่ดิน ระบบการระบายน้ำเสีย โครงการพัฒนาที่อยู่อาศัย

5. การจัดการสาธารณูปโภค (Facilities Management) การจัดการด้านไฟฟ้า ประปา ท่อส่งก๊าซ หน่วยดับเพลิง ระบบจราจรและโทรคมนาคม

6. การวิเคราะห์ด้านตลาด (Marketing Analysis) การหาทำเลที่เหมาะสมในการขยายสาขา สำนักงาน

ลักษณะการนำ GIS มาใช้ประโยชน์มีความสัมพันธ์กับความก้าวหน้าหรือการพัฒนาวิทยาการด้าน GIS โดยตรง กล่าวคือในช่วงแรกการใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่จะเป็นการใช้ในการสำรวจจัดเก็บข้อมูลด้านทรัพยากรธรรมชาติ (Inventory Application) ในระยะต่อมามีการนำ GIS มาใช้ประโยชน์ทางด้านการวิเคราะห์ (Analysis Application) และการวางแผนจัดการในด้านต่าง ๆ (Management Application) มากขึ้น