



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร

สาขา

สายวิชา

เรื่อง ผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโต
ผลผลิตของข้าวและแนวโน้มการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว

Effect of Elevated Carbon Dioxide Concentration on Rice Growth, Rice Yield
and Potential of Greenhouse Gases Emissions from Rice Cultivation

นามผู้วิจัย นางสาววิไล เสาชงน้อย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์เกรียงยศ สัมภักการ, ปร.ค.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ศุภชัย อำคา, Ph.D.)

หัวหน้าสายวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนวรรณ พานิชพัฒน์, ปร.ค.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตของ
ข้าวและแนวโน้มการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว

Effect of Elevated Carbon Dioxide Concentration on Rice Growth, Rice Yield and Potential of Green-
house Gases Emissions from Rice Cultivation

โดย

นางสาววิไล เสาธงน้อย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิไล เสาธงน้อย 2557: ผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตผลผลิตของข้าวและแนวโน้มการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม สายวิชาวิทยาศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์เครือมาส สมักรการ, ปร.ด. 95 หน้า

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิอากาศต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว อีกทั้งศึกษาแนวโน้มการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสภาพการเพาะปลูกที่แตกต่างกัน โดยทำการศึกษาในข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 โดยออกแบบการทดลองแบบ Factorial in CRD ภายใต้สภาวะการเพาะปลูก 3 สภาวะ คือ 1) ที่สภาวะปกติ (C) 2) สภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียส (HT) และ 3) สภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียสร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าสภาวะปกติ 2 เท่า (700 ppm) (HTC) โดยเพาะปลูกข้าวในดินที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ 1) ดินธรรมดาที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยแห้งสับและปุ๋ยคอก 2) ดินใส่ปุ๋ยแห้งสับ และ 3) ดินใส่ปุ๋ยคอก ทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของพืชผลผลิต มวลชีวภาพ เพื่อประเมินการเจริญเติบโตของพืชตลอดการเจริญเติบโต เก็บตัวอย่างอากาศเพื่อวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน

ผลการศึกษาพบว่าข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะ C, HT และ HTC มีการเจริญเติบโตแตกต่างกันโดยข้าวที่เพาะปลูกภายใต้สภาวะ HT มีการเจริญเติบโตด้านความสูง จำนวนกอ และจำนวนรวงลดลงจากสภาวะควบคุม 0.3, 9.6 และ 11.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สภาวะ HTC ส่งผลให้ความสูงของต้นข้าวลดลงมากกว่าสภาวะ HT 7.06 เปอร์เซ็นต์ แต่มีจำนวนกอและจำนวนรวงเพิ่มขึ้นมากกว่าสภาวะ HT 30.96 และ 31.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ถึงแม้ว่าการปลูกข้าวในสภาวะ HTC จะมีจำนวนรวงเพิ่มสูงขึ้นแต่พบว่าปริมาณผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ลดลง 74.95 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ นอกจากนี้การปลูกข้าวในสภาวะ HTC ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนสูงกว่าการปลูกข้าวในสภาวะปกติ 75.52 และ 39.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าเมื่อบรรยากาศมีอุณหภูมิและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ข้าวมีการเจริญเติบโตและผลผลิตลดลง และส่งผลให้มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวเพิ่มสูงขึ้น

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Vilai Saothongnoi 2014: Effect of Elevated Carbon Dioxide Concentration on Rice Growth, Rice Yield and Potential of Greenhouse Gases Emissions from Rice Cultivation. Master of Science (Environmental Science and Technology), Major Field: Environmental Science and Technology, Division of Science. Thesis Advisor: Ms. Kruamas Smakahn, Ph.D. 95 pages.

Effect of rising temperature and carbon dioxide (CO₂), concentration on growth and yield of rice was investigated in this study. The Suphanburi 1 variety was used in this study. The experiment design by Factorial in CRD with 3 main treatment included 1) rice cultivation in ambient air temperature condition (C or Control) 2) rice cultivation in rising temperature condition (HT), and 3) rice cultivation in rising temperature and elevated CO₂ concentration (HTC). In this experiment, rice plant were cultivated in 3 different soil conditions: 1) bare soil (soil without rice straw or rice straw ash), 2) soil with dried rice straw incorporation, and 3) soil with rice straw ash incorporation. Rice plant parameters were observed weekly, rice yield was collected at the end of growing season. In emission from rice cultivation in this experiment.

Rice cultivation under 3 conditions; C, HT, HTC shown significant different growth rate. ($P \leq 0.05$) Rice plant height, number of tiller, and number of panicle under HT condition were 0.3, 9.6, and 11.3 % lower than cultivation normal condition. Rice plant height in HTC condition was 7.06% lower than HT condition; The number of tiller and number of panicle were 30.96 and 31.51% higher than rice cultivated in HT condition. Average grain yield was lowest in HTC condition and approximately 75% decreased from control. Greenhouse gases emission from rice cultivated in HTC condition was approximately 76 and 39%, higher than HT and control condition, respectively. The results from this study suggested that rising temperature and CO₂ reduced rice growth, rice yield, but promoted greenhouse gases from rice cultivation

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.เครือมาศ สมัครการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และอ.ดร.ศุภชัย อำคา ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ อาจารย์ธีระพงษ์ แสงสุวรรณ วิทยาลัยเทคนิค นครปฐม ที่กรุณาช่วยออกแบบและซ่อมแซมอุปกรณ์ภายในโรงเรียน

ขอกราบขอบพระคุณห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยาที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ดินและเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยาที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆในการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

ขอขอบคุณคุณพ่อวินัย เสาธงน้อย คุณแม่น้ำ พันมีที่ได้อบรมและให้กำลังใจมาตลอด และนางสาววิไลพร พรหมรักษา ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการทำวิทยานิพนธ์

วิไล เสาธงน้อย
กุมภาพันธ์ 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	27
อุปกรณ์	27
วิธีการ	30
ผลและวิจารณ์	41
สรุปและข้อเสนอแนะ	82
สรุป	82
ข้อเสนอแนะ	84
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	85
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	95

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าช่วงชีวิต ค่าการดูดซับความร้อนของก๊าซเรือนกระจก	5
2	ค่าอุณหภูมิวิกฤติและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวในระยะต่างๆ	17
3	แสดงสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักฟางข้าวจากสถานีทดลองข้าว 3 แห่งในประเทศไทย	20
4	ความสูงและจำนวนกอข้าวที่อายุ 120 วันหลังการเพาะปลูกภายใต้สภาวะแวดล้อมและชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวที่แตกต่างกัน	43
5	จำนวนใบและจำนวนรวงของต้นข้าวที่อายุ 120 วันหลังจากการเพาะปลูกภายใต้สภาวะแวดล้อมและชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวที่แตกต่างกัน	47
6	แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นและรากข้าวที่เพาะปลูกภายใต้สภาวะแวดล้อมและชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวที่แตกต่างกัน	51
7	ปริมาณผลผลิตของข้าวภายใต้สภาวะแวดล้อมและชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวที่แตกต่างกัน	54
8	ปริมาณธาตุอาหารในพืชภายใต้สภาวะแวดล้อมและชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวที่แตกต่างกัน	63
9	ปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนการเพาะปลูก	74
10	ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังการเพาะปลูก	75
11	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกข้าวในสภาวะการเพาะปลูกและชนิดดินที่แตกต่างกัน	78

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก	5
2	ลักษณะของต้นข้าว	11
3	ส่วนประกอบของรวงข้าว	12
4	การพัฒนาของดอกข้าวเป็นเมล็ด	14
5	การเกิดก๊าซมีเทนจากนาข้าว	19
6	โรงเรือนและอุปกรณ์ภายในโรงเรือน	28
7	อุปกรณ์ควบคุมการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าในโรงเรือน	29
8	อุปกรณ์วัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบอัตโนมัติ KIMO รุ่น AQ 200 <i>Air quality</i>	29
9	การเก็บตัวอย่างอากาศ	32
10	เปรียบเทียบความสูงของต้นข้าวตลอดการเจริญเติบโตทั้ง 3 ดำรับการทดลอง	43
11	เปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการปลูกข้าวในสถานะที่ แตกต่างกัน	77
12	การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากการปลูกข้าวในสถานะการเพาะปลูกและดินที่แตกต่างกัน	80
13	การเปรียบเทียบระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สถานะปกติและที่ควบคุมให้เพิ่ม สูงขึ้น	80
14	ค่าการควบคุมระดับอุณหภูมิและก๊าซ CO ₂	81

ผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโต
ผลผลิตของข้าวและแนวโน้มการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว

Effect of Elevated Carbon Dioxide Concentration on Rice Growth, Rice Yield and
Potential of Greenhouse Gases Emissions from Rice Cultivation

คำนำ

การเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) ที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม รถยนต์ การเผาเชื้อเพลิงฟอสซิลและการตัดไม้ทำลายป่า และกระบวนการหายใจของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งกิจกรรมทางการเกษตร เป็นต้น (Houghton, 1997) ทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), 1995) และส่งผลโดยตรงต่อการทำการเกษตรโดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกข้าว Baker *et al.* (1990) รายงานว่าการเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ระดับ 500, 660, 900 ไมโครโมลต่อโมล ชักนำให้ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตและความทนทานต่อสภาพอากาศ โรคและแมลงลดลง และการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับ 700 ไมโครโมลต่อโมล และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมากกว่า 35 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ข้อดอกรวมของข้าวไม่แข็งแรงจนถึงระยะสร้างเมล็ดและทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง (Jeffrey and Baker, 2004) นอกจากนั้นการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศส่งผลให้ข้าวมีการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นซึ่งการสังเคราะห์แสงของพืชเป็นการสร้างอาหารเพื่อนำมาใช้ในการเจริญเติบโตของลำต้นและราก ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น การสังเคราะห์แสงจึงเพิ่มขึ้น (Mutsue *et al.*, 1995) การเจริญเติบโตของข้าวเพิ่มขึ้น รากข้าวมีการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้นและมีการหลั่งสารอินทรีย์จากบริเวณรากข้าว (Root exudates) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซมีเทน (Murakami *et al.*, 1990)

จากการสำรวจพื้นที่ปลูกข้าวในประเทศไทยที่ในปี พ.ศ. 2554 มีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 66 ล้านไร่ จากพื้นที่การเกษตรทั้งหมด 131.78 ล้านไร่ (ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี, 2554) ได้ผลผลิตข้าวประมาณ 25-26 ล้านตัน และเนื่องจากประชากรประมาณครึ่งหนึ่งของประชากรทั่วโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก (อรรควุฒิ, 2530) ประกอบกับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีอาชีพหลักมาจากการทำนา ซึ่งพื้นที่ปลูกข้าวได้ถูกระบุว่าเป็นส่วนหนึ่งของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกคือ CH_4 ที่เกิดจากการ

ย่อยสลายอินทรีย์สารโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินนาในสภาพไร้อากาศ (Alan, 1994) และปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากกระบวนการหายใจเพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงานและการเจริญเติบโต (สมบุญ, 2548) และปลดปล่อยออกมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (Robert., 1995) อีกทั้งยังมีการปลดปล่อยก๊าซ N_2O ด้วย แต่ก๊าซ N_2O มีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับก๊าซ CH_4 (Ghosh *et al.*, 2003) ซึ่งเกิดจากระบวนการดีไนตริฟิเคชัน และกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Kirk, 2004; ดวงพร, 2545; วีรานูช, 2551)

การศึกษานี้เล็งเห็นความสำคัญของการศึกษาการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิอากาศต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบทั้งด้านบวกและด้านลบในการเปลี่ยนแปลงสถานะการเพาะปลูกดังกล่าวข้างต้นต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวและศึกษาแนวโน้มการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกข้าวในสถานะเพาะปลูกที่แตกต่างกัน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว
2. เพื่อศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่สูงขึ้นต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว
3. เพื่อประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวภายใต้เงื่อนไขที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศสูงขึ้น

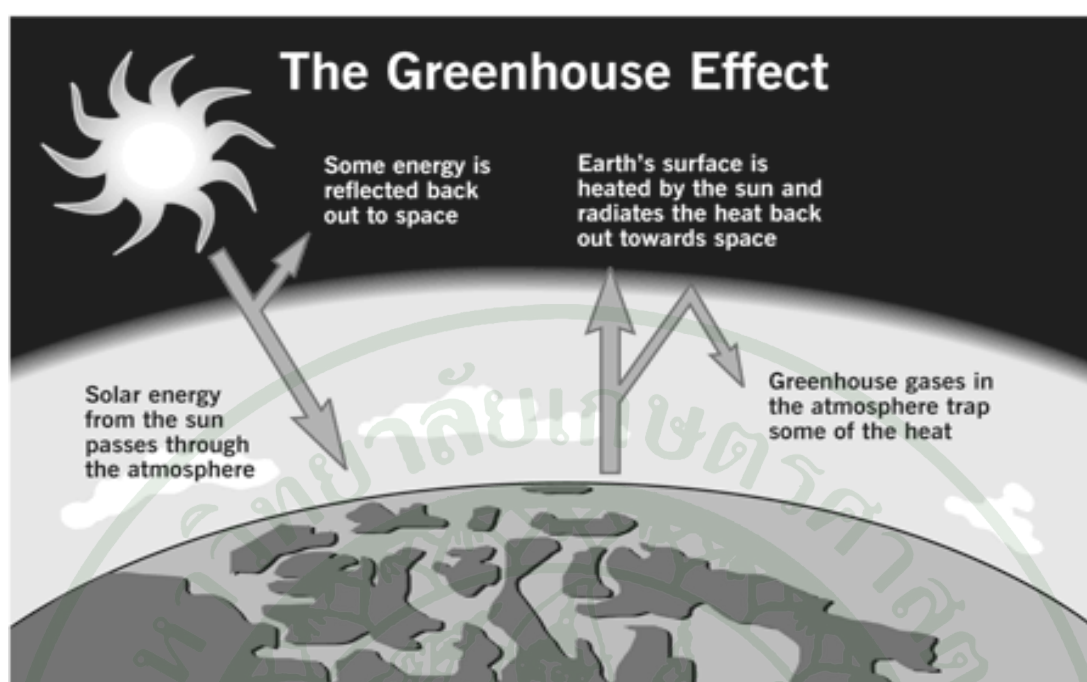
การตรวจเอกสาร

1. ปรากฏการณ์เรือนกระจก

โดยธรรมชาติชั้นบรรยากาศสามารถดูดซับและสะท้อนกลับพลังงานความร้อนจากการแผ่คลื่นรังสีจากดวงอาทิตย์ให้กลับออกไปสู่อวกาศได้ ซึ่งค่าเฉลี่ยของการดูดซับพลังงานความร้อนจากการแผ่คลื่นรังสีจากดวงอาทิตย์มีความสมดุลกับการสะท้อนกลับของคลื่นรังสีออกจากโลก ความร้อนส่วนหนึ่งยังคงอยู่บนโลกซึ่งถูกดูดซับด้วยก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศที่มีอยู่ในบรรยากาศ พลังงานความร้อนจากการดูดซับของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศบริเวณชั้นผิวโลกทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกโดยธรรมชาติที่ซึ่งช่วยทำให้โลกอบอุ่นขึ้น (Alan, 1994; Houghton, 1997) การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มสูงขึ้นในบรรยากาศทำให้ความสมดุลของพลังงานที่เคลื่อนย้ายระหว่างโลกและบรรยากาศเปลี่ยนแปลง (IPCC, 1996) เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่มายังโลกในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดในบรรยากาศที่จะสะท้อนกลับสู่อวกาศถูกดูดซับไว้ด้วยโมเลกุลของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศและไม่สามารถสะท้อนกลับไปได้ ทำให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนกลับลงมายังโลก ซึ่งทำให้โมเลกุลเหล่านี้มีพลังงานสูงขึ้น มีการถ่ายเทพลังงานซึ่งกันและกันทำให้อุณหภูมิในบรรยากาศสูงขึ้น (Alan, 1994) (รูปที่1) และผลที่เกิดจากปรากฏการณ์เรือนกระจกคือภาวะโลกร้อน (Global Warming) ซึ่งคล้ายกับปรากฏการณ์เรือนกระจกที่ใช้ปลูกต้นไม้หรือทำสวนในเขตหนาว กล่าวคือพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผ่านเข้าไปภายในเรือนกระจกได้แต่ความร้อนที่อยู่ภายในเรือนกระจกถูกเก็บโดยกระจกและไม่ให้สะท้อนหรือแผ่ออกสู่ภายนอกทำให้อุณหภูมิภายในเรือนกระจกเพิ่มสูงขึ้นและเพาะปลูกพืชบางชนิดในเขตหนาวได้

2. ก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซเรือนกระจกเป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟราเรดได้ดี มีก๊าซจำนวนมากที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อนและถูกจัดอยู่ในก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีทั้งก๊าซที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (ตารางที่ 1) ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ คือ ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โอโซน (O_3) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) โดยเหตุผลหลักที่ทำให้ค่าความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นตลอดเวลา คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยกิจกรรมของมนุษย์ที่เกิดขึ้นในอัตราที่มากกว่าการใช้ไปโดยสิ่งแวดล้อม ทำให้เสียสมดุลของแหล่งกำเนิด (Source) และแหล่งเก็บกัก (Sink) (Houghton, 1997)



ภาพที่ 1 การเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก

ที่มา: Laurier (2011)

ตารางที่ 1 ค่าช่วงชีวิต ค่าการดูดซับความร้อนของก๊าซเรือนกระจก

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	O ₃	CFCs
Lifetime (years)	100	10	150	0.11	100
Warming potential per molecule (= numbers of CO ₂ molecules)	1	21-25	210-320	2,000	15,500
Current contribution to global warming (%)	50	19	4	8	7

ที่มา: Alan (1994)

ซึ่งก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดที่อยู่ในบรรยากาศมีค่าช่วงชีวิตและค่าการดูดซับความร้อนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 1) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกที่ส่วนใหญ่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ มีบทบาทสำคัญในระบบชีวภาพ มีความจำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช เป็นธาตุสำคัญธาตุหนึ่งของสิ่งมีชีวิต เป็นองค์ประกอบประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ซึ่งอยู่ในรูปของคาร์บอน และเมื่อสิ่งมีชีวิตตายและเน่าเปื่อย คาร์บอนที่สะสมในสิ่งมีชีวิตจะถูกปล่อยออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ เช่นเดียวกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลต่างๆ รวมถึงดินในธรรมชาติที่มีคาร์บอนในรูปต่างๆ มากถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง (สุกานดา, 2553)

2.2 ก๊าซมีเทน

ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งรองมาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ได้แก่ จากการทำนาข้าว หรือพื้นที่ชุ่มน้ำ (Patrick *et al.*, 1991) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์สาร โดยจุลินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน (Weiguo *et al.*, 2005) มีเทนมีค่าศักยภาพทำให้โลกร้อนมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 25 เท่า (Alan, 1994)

2.3 ก๊าซไนตรัสออกไซด์

ก๊าซไนตรัสออกไซด์เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตเส้นใยในลอน อุตสาหกรรมเคมีและพลาสติกที่ใช้กรดไนตริกในกระบวนการผลิต (วนิดา, 2551) รวมไปถึงการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในการทำเกษตร (Houghton, 1997) และในธรรมชาติมีการปล่อยก๊าซชนิดนี้ออกมาจากปรากฏการณ์ฟ้าแลบหรือฟ้าผ่า (ซัชพล, 2546)

2.4 คลอโรฟลูออโรคาร์บอน

สารคลอโรฟลูออโรคาร์บอนหรือซีเอฟซีมีหลายชนิด แต่ที่นิยมนำมาใช้กันมาก คือ ซีเอฟซี 11 ซีเอฟซี 12 ซีเอฟซี 22 เป็นก๊าซที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้สำหรับทำความเย็นในตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ ปัจจุบันได้มีประกาศให้เลิกใช้แล้ว (ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี, 2555) ใช้เป็นสารขับเคลื่อนในกระป๋องสเปรย์ต่าง ๆ เช่น สเปรย์ปรับอากาศ สีกระป๋อง เมื่อมีการนำสารซี

เอฟซี มาใช้ในอุตสาหกรรมหรือนำผลิตภัณฑ์ที่มีสารซีเอฟซีเป็นองค์ประกอบมาใช้ สารซีเอฟซี จะระเหยเป็นไอลอยสู่บรรยากาศและดูดซับอยู่ในชั้นบรรยากาศได้นานกว่า 110 ปี และมีค่าศักยภาพการทำให้โลกร้อนมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 15,000 เท่า (Peter, 2005)

2.5 โอโซน

โอโซนเป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศที่มีบทบาทสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมทั้งการแผ่รังสีและกระบวนการทางเคมี โอโซนหนึ่งโมเลกุลประกอบด้วยออกซิเจน 3 อะตอม ส่วนใหญ่พบโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศที่สูงจากผิวโลกประมาณ 10 – 50 กิโลเมตร โอโซนเกิดจากกระบวนการทางธรรมชาติและจากปฏิกิริยาของก๊าซออกซิเจนกับรังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ (สุทัศน์, 2532) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีที่มีแสงเป็นตัวกระตุ้น (photochemical reaction) โดยโอโซนสามารถทำให้โลกดูดซับรังสีอัลตราไวโอเลตที่เป็นรังสีคลื่นยาวได้มากขึ้นจึงเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น (Houghton, 1997)

3. ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากภาวะโลกร้อน

3.1 ผลกระทบต่อระบบนิเวศและความหลากหลายทางชีวภาพ

การที่โลกมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นนั้น ส่งผลโดยตรงต่อการดำรงชีวิตในแหล่งที่อยู่อาศัยนั้นๆ ซึ่งสิ่งมีชีวิตจำเป็นต้องมีการปรับตัว เพื่อตอบสนองต่อปัจจัยและสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป แต่สิ่งมีชีวิตบางชนิดที่ไม่สามารถปรับตัวได้จะตายลง การสูญเสียไปของสิ่งมีชีวิตแม้เพียงชนิดเดียวย่อมมีผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศ ส่งผลต่อเสถียรภาพในการดำรงอยู่ของระบบนิเวศนั้นๆ ทั้งนี้นักวิทยาศาสตร์ได้ประมาณการไว้ว่าภายในปี พ.ศ. 2593 สิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงกับสภาวะอากาศได้จะสูญพันธุ์ไปถึงกว่าล้านชนิด (Houghton, 1997)

การประเมินผลกระทบต่อป่าไม้และทรัพยากรน้ำอย่างเป็นระบบในประเทศไทยชี้ให้เห็นว่าทรัพยากรเหล่านี้เผชิญกับอัตราเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ในระดับสูง ป่าไม้ในภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือมีโอกาสที่จะเผชิญความแห้งแล้งมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนที่ลดลง แต่ฝนจะตกมากขึ้นในภาคใต้ ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของประเภทของป่าไม้ของประเทศและเป็นการคุกคามต่อระบบนิเวศ (พลศิริ และนวลปรารค์, 2553) รูปแบบของ

ฝนและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้วัฏจักรของน้ำเปลี่ยนแปลง ลักษณะการไหลของระบบน้ำผิวดิน และระดับน้ำใต้ดินจะได้รับผลกระทบด้วย ทั้งพืชและสัตว์จึงต้องปรับตัวเองเข้าสู่ระบบนิเวศที่เปลี่ยนไป ลักษณะความหลากหลายทางชีวภาพก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกอาจมีผลกระทบที่ต่อเนื่องถึงการเปลี่ยนแปลงชนิดและการแพร่กระจาย รวมถึงความสมบูรณ์ของป่าไม้ของประเทศไทยในอนาคตด้วย เช่น ป่าแล้งเขตร้อน มีแนวโน้มว่าจะถูกเข้าไปในป่าชื้นใกล้เขตร้อน ซึ่งทำให้พื้นที่ป่าชื้นมีแนวโน้มลดลง และพื้นที่ป่าแล้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ประสิทธิ์ และสุกฤษฎ์, 2549; พูลศิริ และนวลปรารักษ์, 2553)

3.2 ผลกระทบต่อการเกษตรและแหล่งอาหาร

ผลกระทบต่อพื้นที่เกษตรที่จะเกิดขึ้นในแต่ละภูมิภาคมีความแตกต่างกัน โดยในบางภูมิภาคจะชุ่มชื้นมากขึ้น ในขณะที่บางภูมิภาคจะแห้งแล้งมากขึ้น พื้นที่เสี่ยงต่อความแห้งแล้งอยู่แล้วจะได้รับผลกระทบที่ยาวนานมากขึ้น (Alan, 1994; Houghton, 1997; ประสิทธิ์ และ สุกฤษฎ์, 2549) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นจะเร่งการเจริญเติบโตของประชากรรังตามแนวชายฝั่ง ทำให้ไอโซนในน้ำลดลงเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ (คณะกรรมการวิชา, 2549) อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นอาจเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตและความแข็งแรงของพืชบางชนิด และในขณะเดียวกันก็อาจส่งผลเสียต่อพืชบางชนิด โดยเฉพาะเมื่อประกอบกับการขาดแคลนน้ำ วัชพืชอาจแพร่กระจายจากเขตร้อนขึ้นไปยังเขตอบอุ่น (Houghton, 1997)

นอกจากนั้นสภาพอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นรวมถึงการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว ซึ่งจะส่งผลให้ข้าวมีการเจริญเติบโตลดลง ดอกข้าวเจริญไม่สมบูรณ์และเป็นหมันส่งผลให้ข้าวมีเมล็ดลีบมากกว่าเมล็ดดี และจำนวนผลผลิตลดลง (Baker *et al.*, 1990; Matsui *et al.*, 1997)

3.3 ผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อมนุษย์

มนุษย์จะได้รับผลกระทบอย่างมากจากการแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ การเกิดพายุลมแปรปรวน ฝนฟ้าคะนอง ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสภาพความเป็นอยู่ เกิดการขาดแคลนอาหารและเกิดโรคระบาดเพราะร่างกายมีภูมิคุ้มกันโรคต่ำ (คณะกรรมการวิชาสิ่งแวดล้อม, 2549) โดยจากการศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นมีแนวโน้มที่จะพบอัตราการตายเพิ่มขึ้น 2 หรือ 3 เท่าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิปกติ (Houghton, 1997)

4. ข้าว

ข้าวเป็นพืชล้มลุกตระกูลหญ้า อยู่ในตระกูลอโรไรซา (Genus *Oryza*) สามารถเจริญได้ดีทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ซึ่งสามารถจัดแบ่งประเภทของข้าวได้ตามสภาพพื้นที่ปลูกและสภาพการเพาะปลูก ดังนี้

4.1 แบ่งตามสภาพพื้นที่ปลูก (บุญหงษ์, 2547)

4.1.1 ข้าวไร่ หมายถึง ข้าวที่ปลูกในที่ดอนตามไหล่เขาและไม่มีน้ำขัง อาศัยน้ำฝนและน้ำค้างเป็นหลัก ต้นข้าวสูงปานกลางจนถึงสูงประมาณ 130-150 เซนติเมตร สำหรับประเทศไทยปลูกข้าวชนิดนี้ได้ดีในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ แต่ภาคใต้มีพื้นที่ปลูกไม่มากนัก

4.1.2 ข้าวนาสวนหรือนาดำ หมายถึง ข้าวที่ปลูกในที่ราบลุ่มทั่วไป มีน้ำขัง (ประมาณ 5-50 เซนติเมตร) ต้นข้าวมีลักษณะสูงปานกลางประมาณ 100-200 เซนติเมตร

4.1.3 ข้าวนาเมืองหรือข้าวขึ้นน้ำ หมายถึง ข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มและน้ำลึกมากที่ไม่สามารถควบคุมระดับน้ำได้ ต้นข้าวจะมีความสูงมากกว่า 150 เซนติเมตร. ขึ้นไป แต่ถ้าน้ำลึกมาก ๆ ต้นข้าวจะสูงประมาณ 5-6 เมตร เนื่องจากต้นข้าวมีความสามารถในการยืดของปล้องข้าวได้ดีมาก ส่วนมากปลูกในภาคกลางของประเทศไทย

4.2. แบ่งตามฤดูกาลปลูก (อรรควุฒิ, 2530)

4.2.1 ข้าวนาปีหรือข้าวหน้าน้ำฝน คือข้าวที่ปลูกในฤดูกาลทำนา สำหรับในประเทศไทยเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม และจะเก็บเกี่ยวเสร็จสิ้นล่าสุดไม่เกินเดือนกุมภาพันธ์

4.2.2 ข้าวนาปรัง คือข้าวที่ปลูกนอกฤดูกาลทำนาปกติ จะเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม และเก็บเกี่ยวอย่างช้าสุดไม่เกินเดือนเมษายน นิยมปลูกในท้องที่ที่มีการชลประทานดี

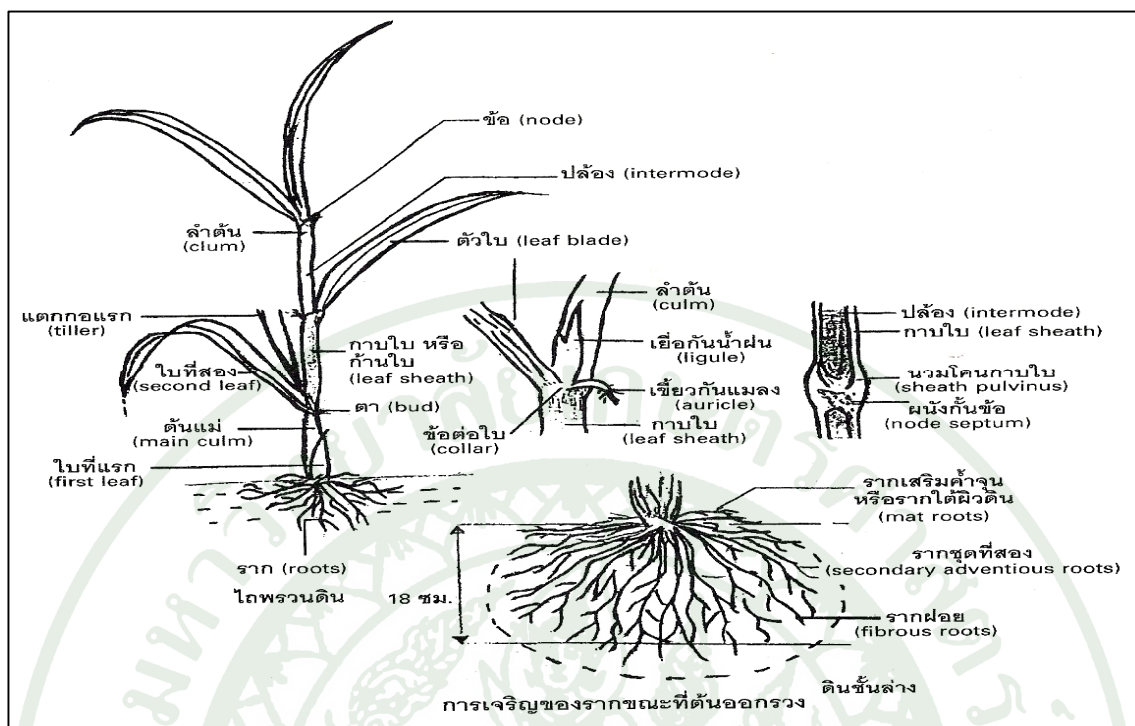
4.3 การเจริญเติบโตของข้าว

ลักษณะของต้นข้าวแสดงดังภาพที่ 2 ต้นข้าวเจริญเติบโตทั้งทางลำต้น และทางกรสปีพันธุ์ โดยมีระยะเวลาของการเจริญเติบโตทั้งสองแบบแยกจากกันแน่นอน คือ

4.2.1 การเจริญเติบโตทางลำต้น (Vegetative growth phase) (อรอนงค์, 2550) เริ่มตั้งแต่ต้นข้าวเริ่มงอกจากเมล็ดไปจนถึงวันที่สร้างรวงอ่อนหรือช่อดอก โดยต้นข้าวจะสร้างราก ลำต้น ใบ และการแตกกอ และสะสมอาหารไว้สำหรับการเจริญเติบโตในระยะสปีพันธุ์

รากข้าวเป็นระบบรากฝอยที่ประกอบด้วยรากย่อยและรากขนอ่อน การเจริญของรากแบ่งออกเป็นระยะต่างๆ ดังนี้ รากชุดแรก มีอายุอยู่ไม่นานหลังจากการงอกซึ่งจะแตกแขนงไม่มาก รากชุดเสริมชุดที่สอง เป็นรากที่เกิดจากข้อใต้ระดับดินของต้นข้าวที่อ่อน แตกแขนงอย่างอิสระ และเมื่อต้นข้าวเจริญเติบโตมากขึ้นจะมีรากเสริมชนิดค้ำจุนหรือรากฝังดิน ซึ่งเกิดจากข้อเหนือระดับผิวดิน บางส่วนจะงอกลงดินแต่บางส่วนจะกระจายไปในแนวระดับ

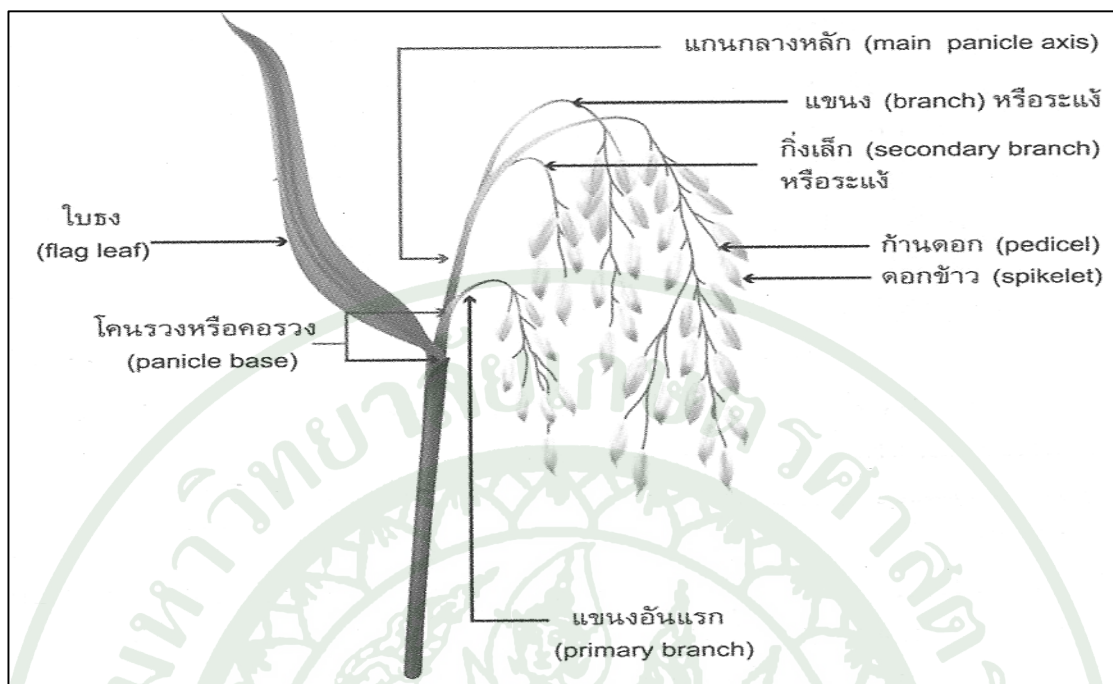
ต้นข้าวเกิดจากชุดของข้อและปล้อง ที่ต่อเรียงสลับกันโดยมีผนังกันข้อกันมีนวมโคนกาบใบหุ้มอยู่ จึงมีลักษณะบวมใหญ่ขึ้น บริเวณข้อจะเป็นที่เกิดของใบและตา บริเวณโคนต้นจะเจริญเติบโต แตกกอเป็นต้นใหม่ที่มีต้น ใบ ราก และมีรวงอยู่ด้วย ลำต้นทำหน้าที่พุงใบ ดอกและรวง โดยเฉพาะให้ใบชูออกรับแสงแดดเพื่อสร้างอาหารจากการสังเคราะห์แสงและลำเลียงอาหาร น้ำและแร่ธาตุไปยังส่วนต่างๆของข้าว



ภาพที่ 2 ลักษณะของต้นข้าว
ที่มา: อรอนงค์ (2550)

ข้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ใบข้าวเป็นใบแท่งชนิดใบเดี่ยว มีลักษณะเป็นแผ่นแบน บาง และยาวคล้ายหอก เกิดจากข้อของลำต้น เรียงสลับกันเป็นสองแนว ประกอบด้วยตัวใบ กาบใบหรือก้านใบ ข้อต่อใบ หูใบ หรือเยื่อเกี่ยวพันน้ำฝน และเขี้ยวเกี่ยวพันแมลง ใบข้าวใบแรกที่เกิดจากต้นแม่เป็นใบที่ไม่สมบูรณ์มีลักษณะคล้ายกาบใบ ส่วนใบจริงเป็นใบที่อยู่บนสุดของต้นข้าว ได้ช่อดอกข้าวหรือรวงข้าวในระยะเวลาที่ข้าวออกดอกผสมเกสร การสร้างรวงและสร้างเมล็ดนั้นจะได้รับอาหารจากใบจริงและใบล่างถัดลงมาอีก 2-3 ใบ

4.2.2 การเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ (Reproductive growth phase) เริ่มตั้งแต่วันที่ต้นข้าวสร้างดอกอ่อน จนถึงวันที่รวงเริ่มโผล่ออกจากใบธง ซึ่งใช้เวลาประมาณ 30-40 วัน นับตั้งแต่ข้าวเริ่มงอก ระยะแรกเรียกว่าข้าวแตงตัว ต่อมารวงอ่อนมีขนาดใหญ่พอสมควร ทำให้ต้นอ้วน กลม ป่องออก เรียกว่า ข้าวตั้งท้อง ระยะรวงข้าวเริ่มโผล่ออกจากลำต้น เรียกว่า ข้าวโผล่ ซึ่งต้นข้าวจะสร้างส่วนต่างๆของช่อดอกหรือรวงข้าวและดอกข้าว (อรรควุฒิ, 2530) ส่วนประกอบของรวงข้าว แสดงดังรูปที่ 3



ภาพที่ 3 ส่วนประกอบของรวงข้าว

ที่มา: อรอนงค์ (2550)

การสร้างรวงอ่อน (Panicle initiation) เมื่อการเจริญเติบโตของข้าวถึงระยะแตกกอสูงสุด ที่ข้อสุดท้ายของลำต้นจะเห็นยอดรวงอ่อน โผล่ออกมาจากปลายสุดของปล้องสุดท้าย ข้าวพันธุ์เบาที่มีวงจรชีวิต 90-100 วันจะสังเกตเห็นยอดรวงอ่อนนี้ประมาณ 30 วันหลังจากการปักดำ ส่วนข้าวพันธุ์หนักที่มีวงจรชีวิตตั้งแต่ 120 วันขึ้นไป จะสังเกตเห็นยอดรวงอ่อนนี้ประมาณ 70-75 วันหลังจากการปักดำ

การพัฒนาช่อดอก (Panicle development) ยอดรวงอ่อนที่ยังถูกหุ้มด้วยกาบใบสุดท้ายจะพัฒนาเป็นรวงอ่อน เมื่อดอกเล็กๆ บนรวงอ่อนก็จะพัฒนาตัวเอง โดยเพิ่มจำนวนขึ้น ฉะนั้นหากในช่วงนี้ข้าวขาดน้ำและธาตุอาหารจะกระทบกระเทือนถึงการสร้างจำนวนดอก ซึ่งส่งผลให้ผลผลิตลดลงได้

การตั้งท้อง (Booting) หลังจากที่ข้าวมีการพัฒนารวงนับจากวันที่เห็นยอดรวงอ่อนพ้นข้อบนสุดของปล้องสุดท้ายของต้นแม่ได้ประมาณ 15-20 วัน หากสังเกตจากภายนอก จะเห็นว่ากาบใบของใบสุดท้ายที่เรียกว่ากาบใบธงจะพองกลมใหญ่กว่าส่วนล่างของลำต้น ลักษณะที่เห็นนี้เรียกว่า ข้าวตั้งท้องเต็มที

การออกดอก (Flowering) เมื่อช่อดอกข้าวพ้นใบธงแล้ว ช่อดอกจะมีลักษณะตั้งตรง ดอกข้าวจะเริ่มบานจากปลายช่อดอกมาถึงโคน นับจากวันที่เห็นช่อดอกตรงอ่อนได้ประมาณ 25 วัน จะเห็นดอกข้าวเริ่มบาน

การผสมเกสรและการปฏิสนธิ (Pollination and fertilization) ดอกข้าวจะเริ่มบานในช่วงเช้าตั้งแต่ 8.30 น. - 14.00 น. ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นและคุณสมบัติประจำพันธุ์ แต่ในช่วงที่จะเห็นดอกข้าวบานเต็มที่คือเวลา 09.00 - 10.00 น. หลังจากผสมเกสรแล้วจะเกิดการปฏิสนธิภายในรังไข่ และเข้าสู่ช่วงการสุกแก่

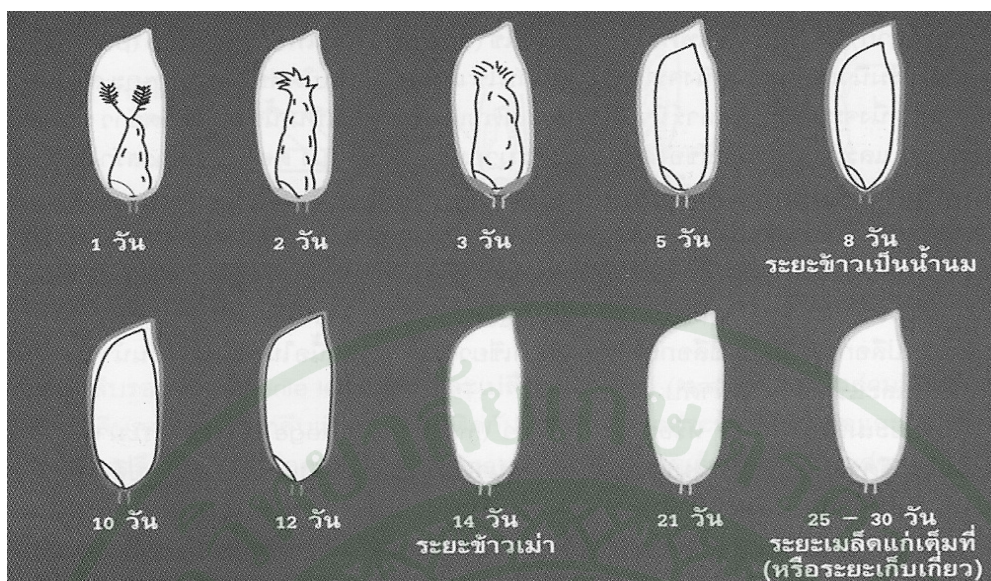
4.2.3 การพัฒนาของดอกข้าวเป็นเมล็ด (อรอนงค์, 2550)

การผสมเกสร (Pollination) อาจเกิดขึ้นก่อนหรือหลังดอกบานเล็กน้อย ดอกข้าวจะบานหลังจากรวงโผล่พ้นกาบใบธง 1-2 วัน และเริ่มบานจากปลายลงมาหาคอรวง (โคนรวง) โดยใช้เวลาหลังจากการออกดอกประมาณ 7 วัน จึงจะบานครบทุกดอก ระยะเวลาในการผสมเกสรและการผสมพันธุ์ของดอกข้าวประมาณ 12-24 ชั่วโมง จากนั้นดอกข้าวที่ผสมพันธุ์แล้วจะเข้าสู่การสร้างเมล็ดข้าว การพัฒนาของดอกข้าวเป็นเมล็ด แสดงดังภาพที่ 4 โดยแบ่งเป็น 3 ระยะ คือ

ระยะข้าวเป็นน้ำนม (Milk stage) ใช้เวลาประมาณ 7 วันหลังผสมเกสร และผสมพันธุ์ระยะต้นๆ ลักษณะภายในเมล็ดข้าวเป็นของเหลวข้นสีขาวคล้ายน้ำนม เปลือกของเมล็ดมีสีเขียว

ระยะข้าวเმა (Drought stage) ใช้เวลาประมาณ 14-21 วัน หลังผสมเกสรมีเปลือกใหญ่และเปลือกเล็กเริ่มแข็งสีเขียวอมน้ำตาล เนื้อในเมล็ดซึ่งเป็นน้ำนมจะมีน้ำน้อยลงเหนียวและแข็งขึ้นตามลำดับ

ระยะเมล็ดแก่เต็มที่หรือระยะเก็บเกี่ยว (Maturation stage) ใช้เวลาประมาณ 3 วันหลังผสมเกสร เมล็ดมีโครงสร้างสมบูรณ์เต็มที่ทั้งขนาด ความแข็งของเปลือก และสีเปลือกที่สุกเต็มที่ที่จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลทองเป็นส่วนใหญ่ อาจมีสีน้ำตาลเข้ม น้ำตาลม่วง หรือน้ำตาลดำ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ส่วนเนื้อของเมล็ดมีสีขาวและแข็งมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวเช่นกัน



ภาพที่ 4 การพัฒนาของดอกข้าวเป็นเมล็ด

ที่มา: อรอนงค์ (2550)

5. สภาพแวดล้อมทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับการผลิตข้าว

5.1 ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณและการกระจายของน้ำฝนมีอิทธิพลมากต่อการปลูกข้าวของโลก ปริมาณน้ำฝนที่มากเพียงพอและมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเป็นผลดีต่อการปลูกข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการปลูกข้าวในที่ลุ่มที่มีน้ำขังในประเทศที่มีการปลูกข้าวมักแบ่งฤดูกาลเพาะปลูกเป็นฤดูฝน และฤดูแล้ง ซึ่งการปลูกข้าวส่วนใหญ่กระทำในฤดูฝนหรือฤดูนาปี ส่วนในฤดูแล้งหรือฤดูนาปรังนั้นมักมีปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอต่อการปลูกข้าว นอกจากจะใช้น้ำชลประทานช่วย ความแปรปรวนของน้ำฝนเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ช่วยเป็นตัวกำหนดเวลาเริ่มต้นในการทำนา เนื่องจากการเริ่มต้นทำนานั้นต้องการน้ำปริมาณมากในการเตรียมดินและทำเทือก ความแปรปรวนของน้ำฝนมีผลต่อการเจริญเติบโตโดยตรงของต้นข้าวตลอดระยะการปลูกข้าว หากยังมีฝนตกอยู่ในช่วงความสุกแก่ของรวงข้าวก็ทำให้เกิดความเสียหายต่อคุณภาพของข้าวเปลือก ผลกระทบของความแปรปรวนของน้ำฝนที่มีต่อข้าวใดมีความรุนแรงมากกว่าในข้าวนาดี เช่น หากมีฝนตกมากถึง 200 มิลลิเมตร ภายใน 1 วัน และต่อมาฝนหยุดตกอีก 20 วัน จะสามารถทำลายการเจริญเติบโตของต้นข้าวได้ หรืออาจทำให้การเจริญเติบโตของต้นข้าวไรชะงักเนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่ได้รับมากเกินไป ซึ่งมีรายงานว่าข้าวไรที่ได้รับน้ำฝนในปริมาณ 100 มิลลิเมตรต่อเดือน แต่มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอตลอดเดือนนั้นข้าว

ไร่สามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าเมื่อได้รับปริมาณน้ำฝน 200 มิลลิเมตรต่อเดือน โดยมีช่วงฝนตกภายใน 2-3 วันในเดือนนั้นๆ โดยเฉลี่ยข้าวไร่ควรได้รับน้ำฝนไม่น้อยกว่า 200 มิลลิเมตรต่อเดือนในฤดูปลูก จึงจะทำให้ข้าวไร่สามารถเจริญเติบโตจนให้ผลผลิตได้ (บุญหงส์, 2547) การเพาะปลูกข้าวที่เพาะปลูกปกติตั้งแต่เตรียมดินจนกระทั่งก่อนเก็บเกี่ยวข้าวโดยทั่วไปต้องการน้ำประมาณ 1,400-1,600 มิลลิเมตร (อรรควุฒิ, 2530)

5.2 พลังงานจากดวงอาทิตย์

พลังงานแสงที่ส่องมาจากดวงอาทิตย์มีอิทธิพลต่อผลผลิตของข้าวทั่วโลก เนื่องจากพลังงานแสงมีความจำเป็นในการสร้างอาหารของพืชโดยช่วงของแสงที่เป็นประโยชน์ต่อการสังเคราะห์แสงของข้าวนั้นอยู่ในช่วงระหว่าง 380-720 นาโนเมตร (บุญหงส์, 2547) ปริมาณพลังงานที่วัดได้ในหนึ่งวันในช่วงฤดูกาลทำนาปีใกล้เคียงกับเกี่ยวในประเทศไทยมีค่าประมาณ 350 แคลอรีต่อชั่วโมงต่อวัน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงในฤดูปลูกข้าวของเขตอบอุ่น เช่น ในประเทศญี่ปุ่น (400 แคลอรีต่อชั่วโมงต่อวัน) (Munakata *et al.*, 1967) สาเหตุที่ปริมาณพลังงานแสงที่วัดได้ในประเทศญี่ปุ่นมากกว่าในประเทศไทยเล็กน้อย เนื่องจากในช่วงเดียวกันนี้ความยาวของเวลากลางวันในประเทศญี่ปุ่นยาวกว่าประเทศไทย แต่หากเปรียบเทียบจำนวนหน่วยของแสงต่อชั่วโมงแล้วในฤดูการทำนาปรังของประเทศไทย จะมีปริมาณแสงที่วัดได้มากกว่าในประเทศญี่ปุ่น ส่วนข้าวที่ปลูกในสหรัฐอเมริกาหรือทางภาคใต้ของประเทศออสเตรเลีย ปริมาณพลังงานแสงที่วัดได้มากกว่าในประเทศไทยประมาณ 100 แคลอรีต่อชั่วโมงต่อวัน พลังงานแสงส่วนที่มากกว่านี้เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตของข้าวเฉลี่ยต่อไร่ในประเทศญี่ปุ่นและออสเตรเลียสูงกว่าของประเทศไทย (อรรควุฒิ, 2530)

5.3 ช่วงแสง

ความยาวของช่วงแสงขึ้นอยู่กับความยาวของวัน ในกรณีที่ความยาวของช่วงแสงมากกว่า 12 ชั่วโมงจะมีผลทำให้พันธุ์ข้าวพื้นเมืองโดยทั่วไปซึ่งถือเป็นพืชวันสั้น (Short-day plant) และมีความไวต่อช่วงแสง ออกดอกช้าลงหรือไม่ออกดอกเลย ในขณะที่พันธุ์ข้าวที่ได้รับการปรับปรุงไม่ให้มีความไวต่อช่วงแสงจะไม่ได้รับอิทธิพลจากความยาวของช่วงแสงแต่อย่างใด กล่าวคือข้าวสามารถออกดอกได้ตามอายุวันออกดอกของข้าวพันธุ์นั้นไม่ว่าจะปลูกในช่วงระยะเวลาใดของปีก็ตาม เช่น ในกรณีของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ซึ่งมีอายุตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 120 วัน จะเริ่มออกดอกหลังจากปลูกไปแล้ว 90 วัน (ช่วงเวลาเริ่มออกดอกถึงเก็บเกี่ยวใช้เวลาประมาณ 30 วัน) เป็นต้น (บุญหงส์, 2547)

เนื่องจากความยาวของช่วงแสงมีอิทธิพลต่อการออกดอกของข้าวไวแสงในพันธุ์ต่าง ๆ แตกต่างกันไปจึงพบว่าข้าวไวแสงสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มคือ 1). กลุ่มข้าวพันธุ์เบา ซึ่งจะออกดอกในราวปลายเดือนกันยายน ถึง 20 ตุลาคม ได้แก่ พันธุ์ กข 05 น้ำสะกุก 19 ขาวดอกมะลิ 105 เป็นต้น 2). กลุ่มข้าวพันธุ์กลาง ซึ่งจะออกดอกหลัง 20 ตุลาคมจนถึง 31 ตุลาคม ได้แก่ พันธุ์ต้นป่าตอง กข 6 กข 8 นางมลอเอส-4 เหลืองใหญ่ เป็นต้น และ 3). กลุ่มข้าวพันธุ์หนัก ซึ่งจะออกดอกกราวเดือนพฤศจิกายน ได้แก่ พันธุ์ขาวตาแห้ง 17 เหลืองประทิว 123 ขาวปากหม้อ 148 เป็นต้น (บุญหงส์, 2547)

5.4 อุณหภูมิ (อรรควุฒิ, 2530 : บุญหงส์, 2547)

อุณหภูมิมีผลต่อผลผลิตของข้าวมากโดยเฉพาะประเทศในเขตอบอุ่น (Temperate zone) ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า 22 องศาเซลเซียสในช่วงการพัฒนาดอกข้าวเป็นเมล็ด จึงทำให้ประเทศแถบนี้สามารถผลิตข้าวได้ผลผลิตต่อพื้นที่สูงกว่าประเทศในเขตร้อนซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูกาลเพาะปลูกมากกว่า 30 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิต่ำสามารถยืดอายุเวลาการสุกแก่ของเมล็ดข้าวเปลือกออกไปได้ ทำให้มีเวลาเพิ่มขึ้นในการสะสมแป้งของเมล็ด อุณหภูมิของอากาศนอกจากจะมีผลทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตช้าและต้นข้าวมีความไม่สมบูรณ์แล้วยังมีผลต่อการพัฒนาการสืบพันธุ์ของข้าวโดยจะทำให้ข้าวเป็นหมัน เมล็ดข้าวลีบ ซึ่งจะนำไปสู่การให้ผลผลิตที่น้อยลงของข้าวอีกด้วย อุณหภูมิของอากาศที่ต่ำเกินไปในฤดูกาลปลูกข้าว ทำให้เกิดผลเสียต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว ค่าอุณหภูมิวิกฤติและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวในระยะต่าง ๆ กัน แสดงดังตารางที่ 2

5.5 ความชื้น

ความชื้นแม้ว่าจะไม่มีผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของข้าวมากเท่าปัจจัยอื่น ๆ แต่ความชื้นในบรรยากาศจะทำให้การแพร่กระจายของโรคข้าวมากขึ้น ในกรณีที่อากาศร้อนขึ้นการแพร่กระจายของโรคไหม้จะเกิดขึ้นเร็วมาก หรือถ้าในเวลากลางคืนมีอากาศชื้นมาก การแพร่กระจายของโรคเชื้อราและแบคทีเรียบางชนิดจะเกิดขึ้นเร็วมาก ซึ่งโรคดังกล่าวทำให้มีผลกระทบต่อการผลิตข้าวอย่างมาก (อรรควุฒิ, 2530)

ตารางที่ 2 ค่าอุณหภูมิวิกฤติและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวในระยะต่างๆ

ระยะการเจริญเติบโต	อุณหภูมิวิกฤติ (°C)		
	ต่ำ	พอเหมาะ	สูง
การงอกของเมล็ด	16-19	18-40	45
การเจริญเติบโตของต้นกล้า	12-35	25-30	35
การออกกราก	16	25-28	35
การเพิ่มความยาวใบ	7-12	31	45
การแตกกอ	9-16	25-31	33
การเกิดรวงอ่อน	15	-	-
การพัฒนารวง	15-20	30-33	30
การผสมพันธุ์	22	30-33	35-36
การสุกแก่ของเมล็ด	12-18	20-29	>30

ที่มา: ดัดแปลงมาจากบุญหงส์ (2547)

5.6 ลม

ลมที่พัดผ่านต้นข้าวช่วยหมุนเวียนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับต้นข้าวเพื่อใช้ในการสร้างอาหาร นอกจากนั้นลมยังช่วยระบายความร้อนในบรรยากาศให้ลดลง ความเร็วลมที่มากกว่า 0.75-2.25 เซนติเมตรต่อวินาทีไม่มีผลในการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงในพืชที่แตกต่างกัน กระแสลมแรงที่สืบเนื่องมาจากพายุไซโคลนที่เกิดขึ้นหลังจากต้นข้าว สร้างรวงแล้ว จะเป็นสาเหตุให้ต้นของข้าวบางพันธุ์ล้มและเมล็ดร่วงเสียหาย กระแสลมแรงยังเป็นสาเหตุทำให้รวงข้าวหักมากเกินไป ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาเมล็ดลีบไม่สมบูรณ์หรือเป็นหมันตามมา นอกจากนั้นกระแสลมแรงทำให้การแพร่กระจายของโรคข้าวที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราสามารถแพร่กระจายไปได้อย่างรวดเร็วและเป็นระยะทางไกลขึ้น (บุญหงส์, 2547)

6. ดินที่เหมาะสมในการปลูกข้าว (อรรถวุฒิ, 2530)

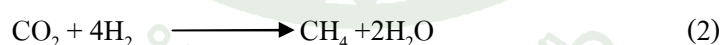
สภาพของดินและความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนในการทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ โดยดินที่เหมาะสมแก่การปลูกข้าวควรมีความสามารถในการอุ้

น้ำได้ดี เมื่อได้รับน้ำสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้เป็นเวลานาน มีระดับความเป็นกรดต่ำอยู่ในช่วง 3-10 และมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์แก่ข้าวมากพอสมควร ดินที่ใช้ในการเพาะปลูกทั่วไปประกอบด้วยอินทรีย์วัตถุซึ่งเกิดจากการสลายตัวผุสลายของหินแร่ต่างๆ เป็นส่วนใหญ่ โดยมีรูปร่างแตกต่างกันหลายขนาดตั้งแต่เล็กจนใหญ่ซึ่งเม็ดดินเหล่านี้สามารถจำแนกได้เป็น เม็ดทราย (Sand) เม็ดตะกอนทราย (Silt) และเม็ดตะกอนดินเหนียว (Clay) ส่วนที่เหลือเป็นอินทรีย์วัตถุที่เกิดขึ้นจากการเน่าเปื่อยผุพังของพืชและซากสัตว์ในดิน อินทรีย์วัตถุเหล่านี้นอกจากช่วยทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้น และทำให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีแล้ว ยังมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชมาก ซึ่งในดินที่ใช้ในการปลูกข้าวควรมีอินทรีย์วัตถุเป็นองค์ประกอบอยู่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 5

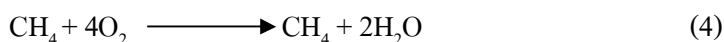
7. ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการปลูกข้าว

7.1 ก๊าซมีเทน

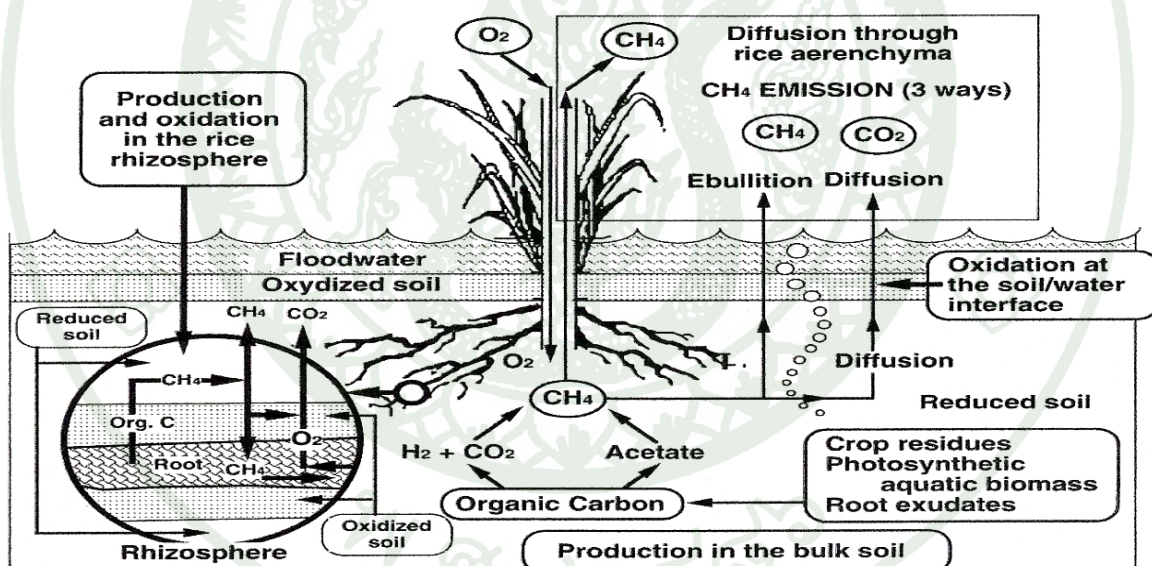
สภาพของนาข้าวโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำ มีน้ำท่วมขังอยู่ตลอดฤดูกาลเพาะปลูกซึ่งทำให้เกิดภาวะขาดออกซิเจนเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อการเกิดมีเทนโดยกิจกรรมของ Methanogenic bacteria (Denier van der Gon, 1996) ก๊าซมีเทนเกิดจากการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งวัฏจักรของการเกิดก๊าซมีเทนเริ่มจากการลดลงของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน กรดไขมัน และแอลกอฮอล์ ที่เป็นแหล่งของออกซิเจน เปลี่ยนรูปของ ethanoic acid หรือ methanol ไปเป็นก๊าซมีเทนโดยจุลินทรีย์ (IPCC, 1995) ดังแสดงในสมการที่ 2 และ 3



ส่วนกระบวนการสร้างมีเทนจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนและปลดปล่อยมีเทนสู่บรรยากาศ โดยจุลินทรีย์ Methanotrophic หรือ Methanotrop นั้นจะเกิดขึ้นเฉพาะการใช้มีเทนเป็นแหล่งพลังงานเช่นเดียวกับการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (Hutsch, 2001) โดยทั่วไป Methanotrophic bacteria มีการเก็บมีเทนในกระบวนการของ Methane oxidation ซึ่งการ Oxidized มีเทนที่สมบูรณ์ได้ผลผลิตคือ คาร์บอนไดออกไซด์และพลังงาน (Hanson, 1996) (สมการที่ 4) จากนั้นจะมีการเปลี่ยนเป็นมีเทนโดยมวลชีวภาพ (Hanson, 1996)



ดังนั้นมีเทนสามารถเกิดขึ้นได้ในบริเวณที่เป็นรอยเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ที่ไม่มีออกซิเจนและมีออกซิเจน ซึ่งในนาข้าวจะเกิดกิจกรรมการสร้างมีเทนขึ้นบริเวณรากและดินที่มีน้ำขังและปลดปล่อยสู่บรรยากาศได้ 3 ทาง คือ 1) การแพร่กระจาย (Diffusion) จากสารละลายขึ้นสู่อากาศ เป็นการเคลื่อนย้ายของก๊าซมีเทนโดยขึ้นความสามารถในการเคลื่อนย้ายนั้นอยู่กับความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ผิวน้ำ หรือปริมาณก๊าซมีเทนที่ผ่านขึ้นไปถึงผิวน้ำ รวมทั้งความเร็วลมในขณะนั้น (สุบัณทิต, 2549) 2) การผุดขึ้นมาจากดินใต้น้ำ (Ebullition) หรือฟองอากาศที่มาจากดินใต้น้ำ โดยเกิดขึ้นในรูปของฟองอากาศ (Bubble) และลอยขึ้นมาเหนือผิวน้ำ และ 3) เคลื่อนย้ายผ่านทางต้นพืช โดยการหมุนเวียนอากาศผ่านทางเนื้อเยื่อที่อยู่ในน้ำ บริเวณลำต้นและใบ ซึ่งการแพร่กระจายของมีเทนจากนาข้าวออกสู่บรรยากาศส่วนใหญ่เป็นการเคลื่อนย้ายผ่านทางต้นพืชประมาณ 90 % และเป็นการแพร่ทางฟองอากาศที่มาจากดินใต้น้ำประมาณ 10 % (Denier van der Gon, 1996) (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 การเกิดก๊าซมีเทนจากนาข้าว

ที่มา: Mer and Roger (2007)

7.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทน

1) ดินและสารอาหารในดินซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน โดยจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดบริเวณพื้นผิวที่อุดม

สมบูรณ์ไปด้วยสารอินทรีย์จำนวนมาก กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินจึงขึ้นกับปริมาณสารอาหารที่มีอยู่ (ดวงพร, 2545) โดยการเพิ่มปริมาณฟางข้าวซึ่งเป็นอินทรีย์สารชนิดหนึ่งที่อุดมไปด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ (ตารางที่ 3) เป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดิน จึงทำให้เกิดก๊าซมีเทนมากขึ้น (Wang *et al.*, 1995)

ตารางที่ 3 แสดงสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักฟางข้าวจากสถานีทดลองข้าว 3 แห่งในประเทศไทย

สถานีทดลองข้าว	pH	C(%)	N(%)	C/N(%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O(%)	Ca(%)	Mg(%)
รังสิต	6.4	23.1	1.8	14	0.8	1.0	0.1	0.5
สุรินทร์	8.5	23.5	2.1	13	0.9	1.3	3.0	2.7
พิษณุโลก	7.9	26.8	1.9	11	1.8	1.3	2.7	0.3

ที่มา: คณะจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2541)

2) อุณหภูมิดินและอากาศ ที่สูงจะกระตุ้นกิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์ได้ดีกว่า อุณหภูมิต่ำ (วีรานูช, 2551) อุณหภูมิของดินมีความสัมพันธ์กับการเกิดและการปลดปล่อยของก๊าซมีเทน กล่าวคือในสภาพดินที่มีน้ำท่วมขังและดินที่มีอุณหภูมิสูงมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงเท่ากับที่อุณหภูมิต่ำ และที่อุณหภูมิต่ำมักมีการเกิดก๊าซมีเทนน้อยกว่าดินที่มีน้ำท่วมขังอุณหภูมิสูง ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการปล่อย CH₄ คือ 25-30 °C ส่วนในช่วงอุณหภูมิ 0-10 °C พบว่าการเกิด CH₄ จะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย (Wang *et al.*, 1995)

3) ปฏิกริยาใน ประชากรของ Methanogens มีปฏิกริยาไวต่อค่า pH ช่วง pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ Methanogens อยู่ในช่วง 6-8 และการปลดปล่อย CH₄ มีค่าสูงสุดเมื่อค่า pH อยู่ในช่วง 6.9-7.1 แต่ถ้าหาก pH ต่ำกว่า 5.8 หรือ สูงกว่า 8.8 จะขัดขวางการสร้าง CH₄ (Wang *et al.*, 1995)

4) การใช้ปุ๋ยยูเรียมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยปุ๋ยจะกระตุ้นให้พืชมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น และสารอินทรีย์ที่หลั่งออกมาจากราก (Root exudates) ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซ CH₄ จากการศึกษาของ Malla *et al.* (2005) พบว่าการใช้ปุ๋ยยูเรียร่วมกับ Ca-

carbide จะปลดปล่อย CH_4 ออกมา 23.4 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ซึ่งน้อยกว่าการใส่ยูเรียอย่างเดียวที่มีการปลดปล่อยออกมา 27 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์

5) น้ำ พื้นที่ทำการเกษตรที่มีการจัดการพื้นที่เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำ มีน้ำขังอยู่ตลอดการเพาะปลูกทำให้เกิดภาวะขาดออกซิเจนในดินและเป็นสภาพที่เหมาะสมในการผลิตมีเทนโดย Methanogenic bacteria (Denier van der Gon, 1996) การระบายน้ำออกในช่วงการออกดอกของข้าวสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้ ถ้าระบายน้ำออกช่วงกลางฤดูกาลเพาะปลูกสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 ได้ 27 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับนาข้าวที่ไม่มีการระบายน้ำ ในช่วงฤดูกาลเพาะปลูก และการระบายน้ำออกหลายครั้งในช่วงระหว่างการเพาะปลูกสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 ได้ 35 เปอร์เซ็นต์ (Towprayoon *et al.*, 2005) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Tyagi *et al.* (2010) ที่ศึกษากระบวนการระบายน้ำออกจากนาข้าวเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 ซึ่งรายงานว่า การระบายน้ำออกหลายครั้งในฤดูกาลเพาะปลูกข้าวสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 ได้มากที่สุดคือ 204.7 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งมากกว่าการระบายน้ำออกในช่วงกลางของฤดูกาลเพาะปลูกข้าว (219.3 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) ช่วงที่ข้าวแตกกอ (315.1 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) และนาข้าวที่ไม่มีการระบายน้ำมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนออกมา 346.6 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน

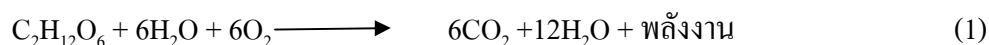
7.2. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในบรรยากาศเกิดจากการกระทำของมนุษย์ และจากธรรมชาติ ซึ่งในธรรมชาติจะมีการปลดปล่อยออกมาจากพืช และปลดปล่อยออกมาจากดิน

7.2.2 การปลดปล่อยออกมาจากพืช (สมบุญ, 2544; ปริศนา, 2548)

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาจากพืชเป็นปฏิกิริยาที่ได้จากการหายใจของพืชโดยกระบวนการหายใจเป็นกระบวนการผันกลับของการสังเคราะห์แสง มีการดูด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปใช้มากกว่าคายออกมาจากการหายใจหลายเท่า กระบวนการหายใจเป็นปฏิกิริยาเมตาบอลิซึมสารอาหารที่มีโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็กโดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์เพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงานในการดำรงชีพและการเจริญเติบโต (สมบุญ, 2544) โดยผลที่ได้จากกระบวนการหายใจจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้ำและพลังงาน (ดังสมการที่ 1) ทั้งนี้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้อัตราการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

สำหรับการสังเคราะห์แสงเท่ากับอัตราการคาย CO_2 เรียกว่า Carbondioxide compensation concentration (ลิลลี่และคณะ, 2549) และการหายใจในกระบวนการการหมักของพวกเห็ดราที่ปล่อยก๊าซ CO_2 ออกสู่บรรยากาศจะทำให้เกิดความสมบูรณ์ของวัฏจักรคาร์บอน (ดวงพร, 2545)



7.2.3 การปลดปล่อยออกมาจากดิน

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาจากดินได้แก่ ความชื้น โครงสร้างของดิน อุณหภูมิดิน แร่ธาตุในดิน และกิจกรรมทางชีววิทยา เช่น ระบบรากพืช ไรโซเดียม เป็นต้น (Robert, 1995) ซากพืชซากสัตว์จะถูกย่อยสลายโดยกิจกรรมของแบคทีเรียและเชื้อรา (อุทิศ, 2542) กิจกรรมต่างๆที่มาจากจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์สาร จะเป็นการเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ให้เพิ่มขึ้น ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็น Extracellular polysaccharides ทำให้เกิดการปลดปล่อย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกมามากขึ้น การจัดการทางน้ำ เช่น ปริมาณน้ำฝนระบบการไถที่ดิน จะส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดจากช่องว่างเล็กๆจากดินแล้วปลดปล่อยออกมาสู่บรรยากาศ (Robert, 1995)

7.3 ก๊าซไนตรัสออกไซด์

การปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์จากดินในนาข้าว เกิดจากกระบวนการ Nitrification และ Denitrification ซึ่งในกระบวนการ nitrification เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแอมโมเนีย (NH_4^+) ไปเป็นไนเตรต และถูกเปลี่ยนเป็นไนตรัสออกไซด์จากกระบวนการ Denitrification ซึ่งเกิดการรีดิวซ์ไนเตรตให้กลายเป็นไนตรัสออกไซด์ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนโดยจุลินทรีย์ (สุบัณฑิต, 2549) ซึ่งปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์จากกระบวนการ Denitrification คือ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูง ค่า pH อยู่ระหว่าง 6-8 อุณหภูมิประมาณ 10 องศาเซลเซียส และมีความชื้นในดินประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ (Bouwman, 1996)

การปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์จากนาข้าวส่วนใหญ่เกิดขึ้นในขณะที่พื้นที่นั้นมีการไถพรวนทิ้งไว้และไม่มีน้ำท่วมขัง (Chen *et al.*, 2000) ซึ่งมีการปลดปล่อยจากการทำการเกษตรเกิดขึ้นมากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมด แต่สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซไนตรัส

ออกไซด์ได้โดยการเพาะปลูกให้เหมาะสม การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณที่เหมาะสมกับความ ต้องการของพืชให้เกิดการใช้ประโยชน์สูงสุดในการเจริญเติบโตซึ่งจะสามารถช่วยลดการปลดปล่อย ก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ (Erda,1997)

ในการทดลองนี้ตรวจวัดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็น หลักเนื่องจากนาข้าวมีสภาพพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขัง มีการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 และ CO_2 เป็นส่วนมาก ส่วนก๊าซ N_2O ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในขณะที่ยังมีน้ำท่วมขังและไม่มีน้ำท่วมขัง (Chen *et al.*,2000) ซึ่งเป็นการจัดการพื้นที่หลังการเก็บเกี่ยว

9. ผลงานที่มีมาก่อน

9.1 ผลกระทบของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการปลูกข้าวและการ ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Baker *et al.* (1990) ศึกษาผลกระทบของแสงและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออก ซิดต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของข้าว โดยทำการทดลองปลูกข้าว (*Oryza sativa* L.) พันธุ์ IR 30 ภายใต้สภาวะความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่างกัน คือ 160 125 (Subambient) 330 (Ambient) 500 660 และ 900 ไมโครโมลต่อโมล (Super ambient) โดยการทดลองแบ่งเป็น 2 ดำรับ การทดลองซึ่งเป็นการควบคุมการได้รับแสงในที่เพาะปลูกคือการดำรับการทดลองที่ 1 ให้ได้รับแสง เต็มที่ (EPR) และดำรับการทดลอง ที่ 2 ให้อยู่ในสภาวะที่ไม่ได้รับแสง (LPR) ซึ่งพบว่า ในสภาวะ LPR ข้าวมีความทนทานต่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ระดับ Super ambient ในขณะที่ในสภาวะ EPR นั้นข้าวมีเจริญและพัฒนาของช่อดอกโดยรวมสูงกว่าข้าว LPR ปริมาณก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงขึ้นทำให้จำนวนต้น ใบและการเจริญเติบโตของข้าวลดลง ในสภาวะที่ข้าว ได้รับแสงอย่างต่อเนื่องในช่วงแรกที่ยังมีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นทำให้มีการเจริญเติบโตและ ให้ผลผลิตต่ำลงโดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเพิ่มปริมาณ CO_2 ที่ระดับ 500 660 900 ไมโครโมลต่อโมล โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลให้ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตและความแข็งแรงลดลง

Matsui *et al.* (1997) ศึกษาผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความเข้มข้นของ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อความไม่สมบูรณ์ของดอกข้าว โดยควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นของ คาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะการปลูกข้าวพันธุ์ IR72 ดังนี้ 1). อุณหภูมิและความเข้มข้นของก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ระดับปกติ (ควบคุม) 2). อุณหภูมิระดับปกติและความเข้มข้นของก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นประมาณ 300 พีพีเอ็ม 3). อุณหภูมิสูงขึ้น 3 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระดับปกติ และ 4). อุณหภูมิสูงขึ้น 3 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นประมาณ 300 พีพีเอ็ม ผลการศึกษาพบว่า การปลูกข้าวในสภาวะที่อุณหภูมิสูงขึ้นในช่วงที่ข้าวออกดอกทำให้ดอกข้าวมีความอุดมสมบูรณ์ลดลงประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การเพาะปลูกในสภาวะอุณหภูมิปกติและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่ม (ได้รับการทดลองที่ 2) ขึ้นทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดอกข้าวลดลง 16 เปอร์เซ็นต์ และในสภาวะที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของข้าวลดลงมากที่สุด 24 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นในระหว่างที่ข้าวเริ่มมีการออกดอกจะทำให้ดอกข้าวเป็นหมันเพิ่มขึ้น จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มสูงขึ้นของอุณหภูมิและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นในสภาวะการปลูกข้าวทำให้ผลผลิตของข้าวมีปริมาณลดลง

Cheng *et al.* (2009) ศึกษาผลของการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิอากาศในเวลากลางคืนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว โดย 4 สภาพแวดล้อมคือ 1). ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับปกติ 380 พีพีเอ็ม อุณหภูมิตอนกลางคืนสูง 32 องศาเซลเซียส 2). ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น (680 พีพีเอ็ม) อุณหภูมิตอนกลางคืนสูง 32 องศาเซลเซียส 3). ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น (680 พีพีเอ็ม) อุณหภูมิตอนกลางคืนต่ำ 22 องศาเซลเซียส และ 4). ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับปกติ 380 พีพีเอ็ม อุณหภูมิตอนกลางคืนต่ำ 22 องศาเซลเซียส พบว่า น้ำหนักแห้งของต้นข้าวและน้ำหนักแห้งของใบทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในตอนกลางวันและตอนกลางคืน โดยพบน้ำหนักแห้งของลำต้นพืชทั้งหมดและใบเพิ่มสูงขึ้น ส่วนจำนวนช่อดอกที่สมบูรณ์ลดลงเมื่ออุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นในเวลากลางคืน แต่ไม่ได้รับผลกระทบจากความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนน้ำหนักเมล็ดข้าวมีแนวโน้มลดลงจากผลของอุณหภูมิและความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มสูงขึ้นของอุณหภูมิและ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในตอนกลางคืนทำให้แนวโน้มผลผลิตของข้าวลดต่ำลง

Jeffrey and Baker (2004) ศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิอากาศที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวเอเชีย (*Oryza sativa* L.) ทำการศึกษาโดยปลูกข้าวในตอนใต้ของสหรัฐอเมริกา ใช้เวลาทำการศึกษา 2 ปี คือปี ค.ศ. 2000 และ ค.ศ. 2002 ซึ่งในปี ค.ศ. 2000 ใช้ข้าวพันธุ์ Cocodrie, Cypress และ Jefferson โดยควบคุม

สภาพแวดล้อมในการเพาะปลูกทั้งกลางวันและกลางคืนที่อุณหภูมิ 24 28 32 36 40 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นเป็น 700 พีพีเอ็ม และควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 28 องศาเซลเซียสและให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามสภาพธรรมชาติ 350 พีพีเอ็ม และในปี ค.ศ 2002 ทำการศึกษาโดยควบคุมอุณหภูมิกลางวัน-กลางคืนไว้ที่ 19-15 23-19 27-23 31-27 และ 35-31 องศาเซลเซียสและความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นเป็น 700 พีพีเอ็ม และสภาวะที่ควบคุมซึ่งอุณหภูมิกลางวัน-กลางคืน 27-33 องศาเซลเซียสและควบคุมความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามสภาพธรรมชาติ 350 พีพีเอ็ม ผลการศึกษาพบว่าในปี ค.ศ 2000 ข้าว ทั้ง 3 ชนิดโดยควบคุมที่อุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ดายระหว่างการเจริญเติบโต ส่วนที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียสข้าวสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้แต่มีช่อดอกไม่แข็งแรงและให้ผลผลิตน้อย และในสภาวะเพาะปลูกปลูกที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น มีเมล็ดดีประมาณ 46-71 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การศึกษาในปี ค.ศ 2002 การเพาะปลูกข้าวในที่ควบคุมอุณหภูมิกลางวัน-กลางคืน 35-31 และ 19-25 องศาเซลเซียสนั้นพบว่าต้นข้าวสามารถเจริญเติบโตได้แต่ช่อดอกรวมไม่แข็งแรงจนถึงระยะมีเมล็ด

Cheng *et al.* (2005) ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่เพิ่มสูงขึ้นต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในนาข้าวตลอดฤดูกาลเพาะปลูก โดยควบคุมความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน 2 สภาวะ คือ 1). ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 383 ± 11 ไมโครโมลต่อโมล เวลากลางวันและ 446 ± 40 ไมโครโมลต่อโมล ในเวลากลางคืนและ 2). ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 706 ± 13 ไมโครโมลต่อโมล เวลากลางวันและ 780 ± 76 ไมโครโมลต่อโมล ในเวลากลางคืน ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศไม่เพียงแต่ส่งผลโดยตรงต่อมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและการสังเคราะห์แสงของพืชเท่านั้นแต่ส่งผลทางอ้อมกับก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในดินโดยพบว่า ^{13}C ที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.476 และ 1.845 จากสภาวะที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศปกติและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นตามลำดับ ส่วน ^{13}C ที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซมีเทน มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.178 และ 0.234 ในสภาวะที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสิ่งแวดล้อมปกติและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นตามลำดับ และภายใต้สภาวะที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นพบว่า $^{13}\text{C-CO}_2$ และ $^{13}\text{C-CH}_4$ เพิ่มขึ้นร้อยละ 57 และ 65 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน จากนาข้าวเพิ่มสูงขึ้น การศึกษาให้ข้อเสนอแนะ

ว่าช่วงเวลาระหว่างระยะที่ข้าวเริ่มมีการเจริญเติบโตจะเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงมากเพื่อสร้างอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตและมีผลกระทบในการเร่งกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนให้เพิ่มขึ้น



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ปลูกข้าว

1.1 กระจกพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 เซนติเมตร สูง 24.5 เซนติเมตร

1.2 จอบและเสียม

1.3 ดินที่ใช้ปลูกข้าวคือ ดินชุดกำแพงแสนซึ่งแบ่งเป็น 3 ตำรับทดลอง

1.3.1 ดินที่ไม่มีการใส่ฟางแห้งสับและฟางเผาน้ำหนัก 7 กิโลกรัมต่อกระจก (Bare soil = BS)

1.3.2 ดินที่ผสมฟางแห้งสับขนาดประมาณ 1 เซนติเมตรในอัตราส่วน ดิน:ฟางแห้งสับ 7:0.5 กิโลกรัม (Rice straw + Soil = SW)

1.3.3 ดินที่ผสมฟางแห้งสับ 0.5 กิโลกรัม ที่ผ่านการเผาจนเป็นเถ้าโดยผสมลงในดินอัตราส่วน ดิน:ฟางเผา 7:0.5 กิโลกรัม (Rice straw ash + Soil = SWA)

1.4 เมล็ดพันธุ์ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1/ปทุมธานี 80

2. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศ

2.1 กระบอกฉีดยาขนาด 25 มิลลิลิตร

2.2 เข็มฉีดยาขนาด 0.55 × 40 มิลลิเมตร

2.3 ขวดแก้วขนาด 15 มิลลิลิตร จุกยางและฟลอปูนิเยม

2.4 Thermometer 0-100 องศาเซลเซียส

2.5 ตลับเมตร

2.6 ถังรองกระจกขนาด 50 × 72 × 45 เซนติเมตร (ก × ย × ส) สำหรับใส่กระจกข้าวและน้ำเพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศทำให้เกิดระบบปิดเมื่อนำกล่อง Acrylic ครอบ

2.7 กล่องเก็บตัวอย่างอากาศทำจาก Acrylic หนา 5 มิลลิเมตร ขนาด 35 × 35 × 100 (ก × ย × ส) ด้านบนกล่องเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.5 เซนติเมตร และนำสายยางขนาดเล็ก ขาว

20 เซนติเมตร เสียบต่อเข้ากับรูที่เจาะและใช้ซิลิโคนทาบริเวณรอยต่อเพื่อปิดช่องว่างระหว่างรอยต่อภายในกล่องติดเทอร์โมมิเตอร์ไว้เพื่อวัดอุณหภูมิภายในกล่อง

3. โรงเรือนที่สร้างด้วยโครงเหล็กขนาด $2 \times 2.5 \times 2.5$ เมตร (กว้าง×ยาว×สูง) คลุมด้วยพลาสติกแผ่นหนา 0.5 มิลลิเมตรจำนวน 2 ชั้น (ภาพที่ 6)

4. อุปกรณ์ภายในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (รูปที่ 6)

4.1 เทอร์โมมิเตอร์เพื่อใช้ตรวจวัดอุณหภูมิภายในโรงเรือน

4.2 อุปกรณ์กำหนดอุณหภูมิ (Temperature monitor) เพื่อกำหนดอุณหภูมิภายใน

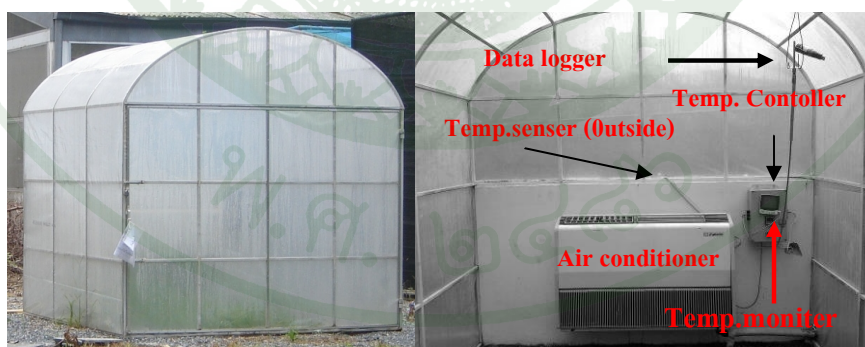
4.3 อุปกรณ์ปรับและควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือน (Temperature controller)

4.4 เครื่องปรับอากาศ (Air condition) สำหรับปรับอุณหภูมิเมื่ออุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงกว่าที่กำหนดไว้

4.5 เครื่องควบคุมการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (รูปที่ 7)

4.6 อุปกรณ์วัดความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 แบบอัลตราโซนิก KIMO รุ่น AQ 200 Air quality (รูปที่ 8)

5. เครื่อง GC SHIMADZU 2010 Detector ชนิด Flame ionization detection (FID)



ภาพที่ 1

ภาพที่ 2

ภาพที่ 6 โรงเรือนและอุปกรณ์ภายในโรงเรือน โดยภาพที่ 1 ลักษณะโรงเรือนภายนอกและ ภาพที่ 2 ภายในโรงเรือนและอุปกรณ์ที่ใช้ในโรงเรือน



ภาพที่ 7 อุปกรณ์ควบคุมการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าในโรงเรือน



ภาพที่ 8 อุปกรณ์วัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบอัตโนมัติ KIMO รุ่น AQ 200 *Air quality*

วิธีการ

1. พันธุ์ข้าวที่ใช้ศึกษา

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 หรือ กข 31 (กรมการข้าว กระทรวงเกษตร, 2552) ได้จากการผสมหลายทางระหว่างข้าวพันธุ์ผสมชั่วที่ 1 ของ IR25393-57-2-3/ กข23//IR2736-96-3-3-3 เป็นพันธุ์แม่กับข้าวพันธุ์ผสมชั่วที่ 1 ของ SPRLR77205-3-2-1-1/SPRLR79134-5-1-2-2 เป็นพันธุ์พ่อ (IR25393-57-2-3/ กข 23 // IR27316-96-3-2-2//SPRLR77205-3-2-1-1/ SPR79134-51-2-2) ในปี พ.ศ. 2528 และคัดเลือกข้าวพันธุ์ผสมแบบสืบตระกูล ที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี คัดเลือกได้สายพันธุ์ข้าว SPR85163-5-1-1-2 ปลูกทดสอบผลผลิตที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี สถานีทดลองข้าวคลองหลวง สถานีทดลองข้าวราชบุรี สถานีทดลองข้าวบางเขน ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก สถานีทดลองข้าวชัยนาท และสถานีทดลองข้าวโคกสำโรง รวมทั้งนาเกษตรกรภาคกลาง กรมวิชาการเกษตร มีมติรับรองพันธุ์ให้สายพันธุ์ข้าวนี้เป็นพันธุ์รับรอง เมื่อวันที่ 28 ตุลาคม 2537 ให้ชื่อว่า ข้าวสุพรรณบุรี 1

ข้าวเจ้าสุพรรณบุรี 1 เป็นพันธุ์ข้าวต้นค่อนข้างเตี้ย ความสูงเฉลี่ยประมาณ 125 เซนติเมตร กอตั้ง ต้นแข็งแรงไม่ล้มง่าย ปล้องและกาบใบมีสีเขียว ใบสีเขียวเข้ม มีขนบนใบ มุมของยอดแผ่นใบตั้งตรง ข้อต่อระหว่างใบและกาบใบสีเขียวอ่อน ลิ้นใบมีลักษณะ เป็น 2 ยอดสีขาว หูใบสีเขียวอ่อน ปลายยอดดอกสีฟ้า ใบธงยาวค่อนข้างตั้งตรง ใบแก่ข้าว รวงยาวค่อนข้างแน่น ระแงะถี่ คอรวงยาว เมล็ดข้าวเปลือกสีฟ้า ปลายยอดเมล็ดสีฟ้า มีขนบนเปลือกเมล็ด กลีบของดอกสั้น เมล็ดข้าวกล้องรูปร่างเรียวยาว 7.3 มิลลิเมตร กว้าง 2.2 มิลลิเมตร.หนา 1.8 มิลลิเมตร ข้าวสุกค่อนข้างร่วนและแข็ง ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 3 สัปดาห์เป็นข้าวเจ้าที่ไม่ไวต่อช่วงแสง อายุประมาณ 120 ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 750 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าวเปลือก 1,000 เมล็ดมีน้ำหนักประมาณ 27.6 กรัม ด้านทานต่อโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง เพลี้ยกระโดด สีน้ำตาล และเพลี้ยกระโดดหลังขาว มีเสถียรภาพการให้ผลผลิตสูง และมีข้อจำกัดคือไม่ต้านทานโรคใบขีดสีน้ำตาล

2. วิธีการปลูกข้าว

2.1 นำเมล็ดพันธุ์ข้าวมาเพาะต้นกล้าโดยนำเมล็ดพันธุ์ข้าวใส่ห่อผ้าแช่น้ำทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง จากนั้นนำขึ้นจากน้ำทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง จนข้าวเริ่มงอกจึงนำเมล็ดไปหว่านลงในกระบะพลาสติกขนาด $35 \times 45 \times 10$ เซนติเมตร (ก $\times$ ย $\times$ ส) ที่เตรียมดินโคลนใส่ในกระบะไว้แล้ว เมื่อดันกล้าอายุประมาณ 1

เดือนจึงย้ายกล้ามาปลูกลงกระถางที่เตรียมดินไว้โดยใช้วิธีการปักดำ กระถางละ 3 ต้น โดยเลือกต้นที่แข็งแรงและมีขนาดเท่าๆกัน

2.2 เตรียมดินปลูกข้าวโดยใช้ชุดดินกำแพงแสนเริ่มต้นจากการนำดินใส่ในกระถางปลูกข้าว กระถางละ 7 กิโลกรัม ซึ่งการทดลองแบ่งการจัดการดินเป็น 3 ดำรับการทดลอง คือ ดินธรรมดาไม่ใส่ฟางข้าว (BS) และฟางเผา ดินใส่ฟางข้าว (SW) และดินใส่ฟางข้าวเผา (SWA)

2.3 การใส่ปุ๋ยและฉีดยาฆ่าแมลง ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 ปริมาณ 44.07 กิโลกรัมต่อไร่เมื่อข้าวมีอายุ 42 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 ปริมาณ 44.07 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อข้าวอายุ 62 วัน และ อายุ 84 วันใส่ปุ๋ยสูตร 21-0-0 ปริมาณ 28.21 กิโลกรัมต่อไร่ ในระหว่างการเจริญเติบโต มีโรคระบาดและแมลงศัตรูพืชรบกวน จึงมีการฉีดพ่นสารเคมี คือ ไซเปอร์เมทริน ในอัตรา 0.5 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร คาร์เบนดาซิม อัตรา 0.5 ช้อนโต๊ะต่อน้ำ 2.5 ลิตร ฟิโนบุคาร์บ ในอัตรา 0.5 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร และ ไทโอฟานีเมทิล ในอัตรา 0.5 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร ฉีดพ่นเพื่อกำจัดเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล หนอนกอ กำจัดเชื้อรา และราน้ำค้าง

3. การควบคุมอุณหภูมิและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในโรงเรือน

3.1 สภาวะควบคุม (Control) ปลูกข้าวในสภาวะแวดล้อมที่อุณหภูมิและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระดับปกติ

3.2 สภาวะควบคุมอุณหภูมิ (HT) ในโรงเรือนที่ 1 เมื่อข้าวอายุได้ 50 วัน (เริ่มตั้งท้อง) นำกระถางข้าวเพาะปลูกไว้ภายในโรงเรือนที่ควบคุมอุณหภูมิให้สูงกว่าสภาวะปกติ (หรือสภาวะควบคุม) 2 องศาเซลเซียส ในระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในโรงเรือนปกติ โดยระยะเวลาในการควบคุมสภาวะการเพาะปลูก 8 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่เวลา 08.00 น. – 16.00 น. ในระยะข้าวเริ่มตั้งท้องจนถึงระยะการเก็บเกี่ยว

3.3 สภาวะควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (HTC) ในโรงเรือนที่ 2 ควบคุมอุณหภูมิสูงกว่าสภาวะปกติประมาณ 2 องศาเซลเซียส และควบคุมความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในโรงเรือนสูงกว่าที่สภาวะปกติประมาณ 2 เท่า (ประมาณ 700 พีพีเอ็ม) โดยระยะเวลาในการควบคุมอุณหภูมิและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยาวนาน 8 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่เวลา 08.00 – 16.00 น. ในระยะข้าวเริ่มตั้งท้องจนถึงระยะการเก็บเกี่ยว

4. การเก็บตัวอย่างอากาศ

4.1 เตรียมขวดเก็บตัวอย่างอากาศโดยนำขวดแก้วขนาด 15 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางและปิดทับด้วยฟอลูมิเนียม กดล็อกให้แน่น แล้วทำให้เป็นสุญญากาศโดยใช้เข็มฉีดยาคูดอากาศภายในขวด แก้วออกให้หมด

4.2 ยกกระถางข้าวตั้งในถังแล้วเติมน้ำลงไปจนถึงจนระดับน้ำสูงเท่าระดับน้ำในกระถางข้าว ใช้กล่องเก็บตัวอย่างอากาศครอบกระถางข้าวในถัง เปิดจุกยางด้านบนกล่องเก็บตัวอย่างออกเพื่อไล่อากาศ รอจนระดับน้ำสูงเท่ากันทั้งด้านนอกและด้านในกล่องเก็บตัวอย่าง (ภาพที่ 9) แล้วจึงปิดจุกยาง พร้อมจับเวลาเพื่อเริ่มเก็บตัวอย่างอากาศ



ภาพที่ 9 การเก็บตัวอย่างอากาศ

4.3 เก็บตัวอย่างอากาศในกล่องเก็บตัวอย่างทุก 10 นาที เป็นเวลา 20 นาที เริ่มเก็บตั้งแต่นาทีที่ 0,10 และ 20 นาที โดยใช้เข็มฉีดยาคูดตัวอย่างอากาศออกจากกล่องเก็บตัวอย่าง อากาศดังกล่าวไว้ในขวดเก็บตัวอย่างสุญญากาศ (ดังข้อ 4.1)

4.4 นำตัวอย่างอากาศไปวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน ด้วยเครื่อง GC รุ่น SHIMADZU 2010 Detector ชนิด Flame ionization detection (FID)

5. การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต

ทำการสุ่มตัวอย่างต้นข้าวเพื่อวัดการเจริญเติบโตของข้าวระหว่างฤดูการเพาะปลูก โดยตรวจวัดการเจริญเติบโตของข้าวทุกสัปดาห์ ซึ่งการเจริญเติบโตของข้าวที่ตรวจวัดได้แก่ ความสูงของต้นข้าว โดยวัดความสูงตั้งแต่โคนต้นบริเวณเหนือผิวดินจนถึงยอดที่สูงที่สุดของต้นข้าว จำนวนกอข้าว จำนวนรวงข้าว จำนวนใบ/ต้น น้ำหนักต้นสด น้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักรากสดและน้ำหนักรากแห้ง

6. การเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

เมื่อถึงฤดูกาลเก็บเกี่ยวได้ทำการวัดผลผลิตของข้าวได้แก่ จำนวนรวงต่อกระถาง น้ำหนักรวงต่อกระถาง น้ำหนักเมล็ดต่อรวง ซึ่งแบ่งแยกประเภทเป็นเมล็ดดีและเมล็ดลีบ ชั่งน้ำหนักเมล็ดดี และคำนวณจำนวนผลผลิตต่อไป

7. การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

โดยคุณสมบัติของดินที่วิเคราะห์ดังนี้

- 7.1 ค่าปฏิกิริยาดิน
- 7.2 ความชื้นในดินโดยน้ำหนัก
- 7.3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน
- 7.4 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้
- 7.5 อินทรีย์วัตถุในดิน
- 7.6 ความหนาแน่นรวมของดิน
- 7.7 ไนโตรเจนทั้งหมดและคาร์บอนทั้งหมด

วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

- 7.1 ค่าปฏิกิริยาดิน (pH) (Thomas, 1996)

ชั่งน้ำหนักดินตัวอย่าง 20 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร (อัตราส่วนดิน:น้ำ เท่ากับ 1:1) ใน Beaker ขนาด 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้ดินและน้ำเข้ากันทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที ใน

ระหว่างที่วางทิ้งไว้ 30 นาทีนั้น ควรจะคณดินเป็นครั้งคราว ก่อนวัด pH จำเป็นต้อง Standardize pH meter ด้วย Buffer solution pH 7.0 และ 4.0 ก่อนใช้ pH meter

7.2 ความชื้นของดินโดยน้ำหนัก (Topp, 1993)

1. ชั่งน้ำหนักดินที่ต้องการหาความชื้น (Gravimetric water content, w) โดยใส่ตัวอย่างดินลงในกระป๋องสำหรับหาความชื้นและชั่งน้ำหนัก โดยน้ำหนักที่ชั่งได้ คือน้ำหนักของดิน + น้ำหนักน้ำ + น้ำหนักกระป๋อง เท่ากับ ($W_{sw} + W_a$)

2. นำตัวอย่างดินไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 12-15 ชั่วโมง (เมื่อนำดินเข้าตู้อบควรเปิดฝากระป๋อง เพื่อให้ไอน้ำระเหยจากดินได้สะดวก) น้ำหนักที่ชั่งได้ คือน้ำหนักแห้ง + น้ำหนักกระป๋อง ($W_s + W_a$)

3. ทำความสะอาดกระป๋องและฝา แล้วชั่งน้ำหนัก (W_a)

วิธีการคำนวณหาความชื้นของดินโดยน้ำหนัก

$$\text{ค่าความชื้นของดิน} = \frac{(W_{sw} + W_a) - (W_s + W_a)}{(W_s + W_a) - W_a}$$

W_{sw} คือ น้ำหนักดิน + น้ำหนักน้ำ

W_a คือ น้ำหนักกระป๋อง

W_s คือ น้ำหนักดินแห้ง

7.3 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (P) (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

การทำการมาตรฐาน

เตรียมน้ำยามาตรฐานฟอสฟอรัสให้มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร โดยใช้ Standard P 50 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร มาทำให้เจือจาง 10 เท่า จากนั้นนำ Standard P ที่มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร มาจำนวน 0,1,2,3,4,5 มิลลิตร บรรจุลงใน Volumetric flask

ขนาด 25 มิลลิลิตร ใส่น้ำกลั่นพอประมาณ แล้วเติม Ascorbic acid solution 4 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร นำไปวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร พล็อตกราฟระหว่างค่าของจากการอ่านค่า Spectrophotometer กับความเข้มข้นของฟอสฟอรัส ในน้ำยา Standard ซึ่งจะได้กราฟมาตรฐานที่ต้องการและใช้สำหรับ Unknown sample ได้

การวิเคราะห์หาฟอสฟอรัสในตัวอย่างดิน

ชั่งดินที่บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร.หนัก 2.5 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask เติมน้ำยาสกัด Bray II 25 มิลลิลิตร เขย่านาน 60 วินาทีแล้วกรองทันทีด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 นำสารละลายดินที่กรองได้ประมาณ 1-10 มิลลิลิตร ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร ใส่น้ำกลั่นพอประมาณ แล้วเติม Ascorbic acid solution 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากันทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที จะได้สารละลายสีน้ำเงิน (สีคงทนนาน 24 ชม.) ถ้าความเข้มของสีของสารละลายดินเกินค่ามาตรฐานให้ลดปริมาณสารละลายดินลง แต่ถ้าความเข้มของสีของสารละลายดินเจือจางมากให้เพิ่มปริมาณสารละลายดินและถ้าใช้ปริมาณสารละลายดินมากกว่า 10 มิลลิลิตร ให้ใส่ Saturated boric acid solution 1 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดค่าด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตรแล้วนำค่าที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐาน

วิธีคำนวณหาปริมาณของฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส)

$$P \text{ (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{Z \times Y \times \text{final vol. (มิลลิลิตร)}}{\text{Aliquot used (มิลลิลิตร)}}$$

โดย

Y = อัตราส่วนของสารละลายต่อดิน (2.5g:25 มิลลิลิตร)

Z = P (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน

7.4 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (K) (ทศนิยม และจรงค์, 2542)

ชั่งดินบดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร หนัก 5 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำยาสกัด Ammonium acetate (NH_4OAc) 50 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยาง เขย่าด้วยเครื่อง เขย่านาน 30 นาที แล้วนำสารละลายมากรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 42 ลงใน Volumetric flask ขนาด

100 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้ Ammonium acetate นำไปวิเคราะห์หาโพแทสเซียมโดยใช้ Atomic absorption spectoscopy

7.5 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินโดยใช้วิธี Walkley and Black (ทศนีย์ และจรงค์, 2542)

ชั่งตัวอย่างดิน 0.5-2.0 กรัม ใส่ในขวดชมพู ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำยา Dichromate 5 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร เขย่าขวดแก้วเบาๆเป็นเวลา 1-2 นาที ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที เติมน้ำกลั่นประมาณ 15 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นหยดอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟแนลทอริน 3 หยดไทเทรตด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 นอร์มอล จนกระทั่งสีของสารละลายดินเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ บันทึกปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมต และเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้และทำหาค่าควบคุมเช่นเดียวกันกับวิธีวิเคราะห์ดิน

การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน(\%)} = \frac{(K_2Cr_2O_7 - FeSO_4) \times 0.003 \times 100 \times 1.33}{\text{น้ำหนักตัวอย่างดิน (กรัม)}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุ} = \text{เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน} \times 1.724$$

7.6 ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density, P_b)

ใช้กระบอกลอยที่บางและคมเก็บตัวอย่างดิน กดลงไปดินในแนวตั้งจากขณะที่ดินมีความชื้นที่เหมาะสม (ดินที่แห้งเกินไปก่อนดินอาจแตกและหลุดออกจากกัน หรือแน่นแข็งทำให้กดกระบอกลงไปในดินยาก และเมื่อดินมีความชื้นมากเกินไป อนุภาคดินอาจไหลรวมกันได้) การเก็บตัวอย่างดินแบบนี้เรียกว่าการเก็บแบบไม่รบกวนดิน จากนั้นนำเข้าไปอบที่อุณหภูมิ 105 -110 °C แล้วชั่งน้ำหนักมวลของดินแห้งหลังอบ (m_s)

วิธีคำนวณค่าความหนาแน่นรวมของดิน

$$P_b = \frac{m_s}{V_b}$$

P_b คือ ปริมาตรรวม (Bulk density, P_b) หมายถึงผลรวมระหว่างปริมาตรของแข็ง (V_s) และ ปริมาตรช่อง (V_p) กล่าวคือ $V_b = V_s + V_p$

m_s คือ มวลของดินแห้ง

V_b คือ ปริมาตรรวมของดินทั้งก้อนโดยจะแสดงให้เห็นว่า ปริมาตรรวม V_b จะมีค่ามากกว่า ปริมาตรของแข็ง V_s ของดินเดียวกันเสมอ ทั้งนี้เพราะปริมาตรช่อง V_p เป็นเทอมที่มีค่ามากกว่าศูนย์ (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541)

7.7 ปริมาณ Total N และ Total C (TruSpec, CNS)

วิธีการ CNSAnalyzer(ทำการส่งวิเคราะห์ที่ภาคปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ด้วยเครื่อง CNS analyzer)

8. การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

โดยจะวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ดังนี้

- 8.1. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช (P)
- 8.2. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในพืช (K)
- 8.3. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืชและปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในพืช

วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

8.1 การย่อยตัวอย่างพืช

ชั่งตัวอย่างพืชจำนวน 0.200 – 0.400 กรัม ใส่ใน Test tube ขนาด 75 มิลลิลิตร เติม H_2SO_4 - Na_2SO_4 -Se mixture digestion ลงไปในหลอดจำนวน 5 มิลลิลิตร นำหลอดไปใส่ในเครื่อง Block digestion ภายใต้ Flume hood ควบคุมอุณหภูมิเครื่องให้อยู่ในช่วง $360 - 400^\circ C$ ย่อยสลายตัวอย่างพืชจนได้ สารละลายใส ทิ้งไว้ให้เย็นปรับปริมาตรของสารละลายด้วยน้ำกลั่นจนครบ 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งให้ตกตะกอนทดสอบละลายส่วนบนเก็บไว้ในขวดพลาสติกขนาด 100 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้ นำไปวิเคราะห์หาปริมาณ P และ K

8.2 ปริมาณฟอสฟอรัส (P) (ดัดแปลงมาจากทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

นำสารละลายที่ได้จากการย่อยสลายตัวอย่างพืชจำนวน 3 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบขนาด 15 ml เติมน้ำกลั่นจำนวน 3 มิลลิลิตร เติม Ammonium molybdate solution และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ Ammonium metavanadate solution อย่างละ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกัน แล้วทิ้งไว้ 20 นาที นำไปวัดด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร

ทำ Strandrad set โดยใช้ Standard 40 พีพีเอ็ม P solution มาจำนวน 0,0.5,1.0,1.5,2.0 และ 2.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบขนาด 15 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจำนวน 3 มิลลิลิตร เติม 5 เปอร์เซ็นต์ Ammonium molybdate solution และ 0.25% Ammonium metavanadate solution อย่างละ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกัน แล้วทิ้งไว้ 20 นาทีนำไปวัดด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร ค่าที่ได้จากสารละลายมาตรฐานนำไปทำ Strandrad curve ของ 0,2.5,5.0,7.5,10.0 และ 12.5 พีพีเอ็ม ฟอสฟอรัส

กรณีที่ความเข้มข้นของสีเหลืองของตัวอย่างพืชมากกว่าสีของสารละลายมาตรฐานจะต้องลดจำนวนของ สารละลายตัวอย่างลง แล้วเติม 2N Sulphuric ลงไปจนสารละลายมีปริมาตร 3 ml จึงเติมน้ำกลั่นตามด้วย 5 เปอร์เซ็นต์ Ammonium molybdate solution และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ Ammonium metavanadate solution อย่างละ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกัน แล้วทิ้งไว้ 20 นาทีตามวิธีการดังกล่าวข้างต้น

การคำนวณ

ปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช (%)

$$= \frac{\text{ความเข้มข้นของ K (พีพีเอ็ม) จาก Standard curve} \times 8 \times 50 \times 10^{-6} \times 100}{A \times B}$$

โดยที่

A = น้ำหนักตัวอย่างพืช

B = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการเทียบสี

8.3 ปริมาณโพแทสเซียม (K) (ดัดแปลงมาจากทศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

นำสารละลายที่ได้จากการย่อยสลายตัวอย่างพืชจำนวน 3 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบขนาด 15 มิลลิลิตร ทำ Standard set จาก สารละลายโพแทสเซียมเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม โดยใช้จำนวน 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิลิตร ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร จะได้ Standard set ที่ 0,20,40,60,80 และ 100 พีพีเอ็ม นำสารละลายมาตรฐานไปวัดค่าความเข้มข้นของ K ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectoscopy เพื่อทำการหาปริมาณแล้วจึงนำสารละลายตัวอย่างพืชไปวัดปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม

การคำนวณ

ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมทั้งหมดในพืช (%)

$$= \frac{\text{ความเข้มข้นของ K (พีพีเอ็ม) ที่อ่านจากเครื่อง} \times 50 \times 10^{-6} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างพืช}}$$

8.4 ปริมาณ Total N และ Total C (TruSpec N, CNS)

ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่ภาควิชาพืชวิทยา คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ด้วยเครื่อง CNS analyzer

9. การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซ

9.1 วิธีการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

$$F = k(V/A) dC/dt (273/(273+T))$$

เมื่อ

F = ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)

K = ค่าคงที่ของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 1.250

V = ปริมาตรของ Chamber หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร

A = พื้นที่หน้าตัดของ Chamber หน่วยเป็น ตารางเมตร

T = อุณหภูมิอากาศภายใน Chamber

dC/dt = อัตราการเพิ่มขึ้นของมวลคาร์บอนไดออกไซด์ใน Chamber ต่อหน่วยเวลา หน่วยเป็น มิลลิกรัม

9.2 วิธีการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

$$F = 0.714 \text{ Sh}(273/(273+T))$$

เมื่อ

F = การปลดปล่อยก๊าซมีเทน (มิลลิกรัมมีเทนต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)

S = ค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่เปลี่ยนไปต่อเวลา

h = พื้นที่หน้าตัดของ Chamber หน่วยเป็น ตารางเมตร

T = อุณหภูมิภายในกล่องเก็บตัวอย่าง (องศาเซลเซียส)

9. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

จากการทดลองออกแบบการทดลองแบบ Factorial Experiment in Completely Randomized Design ประกอบไปด้วย 3 ดำรับการทดลองหลัก คือ 1). ที่สภาวะปกติ 2). ควบคุมอุณหภูมิให้สูงกว่าสภาวะปกติ 2 องศาเซลเซียสและ 3). ควบคุมอุณหภูมิให้สูงกว่าสภาวะปกติ 2 องศาเซลเซียสและควบคุมความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงกว่าสภาวะปกติ 2 เท่าและ 3 ดำรับการทดลองรอง คือ 1). ดินธรรมดา 2). ดินผสมฟางข้าวแห้งสับและ 3). ดินผสมฟางข้าวแห้งเผา โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ เพื่อหาค่า F-value พร้อมทั้งค่าสถิติสำหรับเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละดำรับการทดลองตามวิธีของ DMRT (Duncan's multiple range test)

ผลและวิจารณ์

ผลการทดลอง

1. การเจริญเติบโตของข้าว

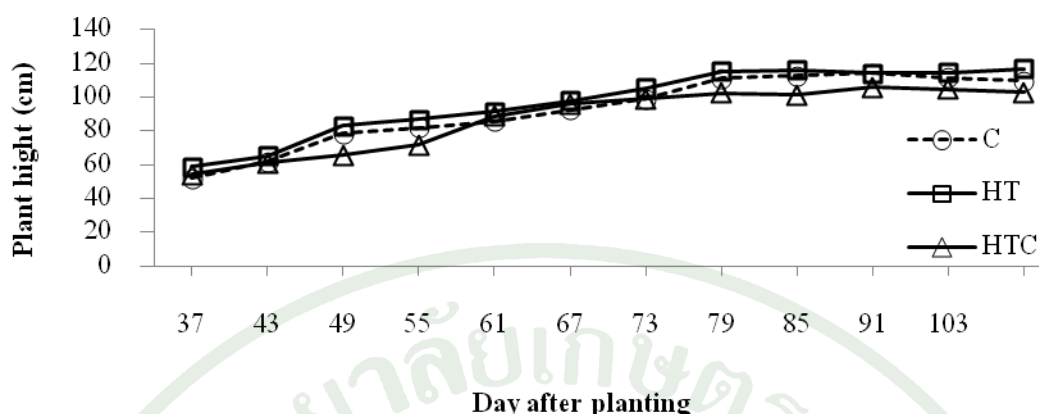
1.1 ความสูงของต้นข้าว

จากการศึกษาพบว่าความสูงของต้นข้าวใน 3 ดำรับการทดลอง คือ สภาพอากาศปกติ (C) สภาพที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าสภาวะปกติ 2 องศาเซลเซียส (HT) และ สภาพที่ควบคุมอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าสภาวะปกติ 2 องศาเซลเซียสร่วมกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าสภาวะปกติ 2 เท่า (700 พีพีเอ็ม) (HTC) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยค่าเฉลี่ยความสูงของต้นข้าวที่อายุ 120 วันหลังจากการเพาะปลูกที่สภาวะ C มีค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุดคือ 109.13 เซนติเมตร รองลงมาคือสภาวะ HT มีค่าเฉลี่ยความสูงของต้นข้าว 108.87 เซนติเมตร และ สภาวะ HTC มีค่าเฉลี่ยความสูงของต้นข้าวน้อยที่สุดเท่ากับ 103.33 เซนติเมตร (ตารางที่ 4) เนื่องจากสภาวะ HTC มีการควบคุมอุณหภูมิให้เพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียสและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าสภาวะปกติ 2 เท่า จึงส่งผลให้ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตน้อยลง โดยระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่ส่งผลให้ข้าวมีการสังเคราะห์แสงได้มากที่สุดประมาณ 300-500 พีพีเอ็ม และการสังเคราะห์แสงจะไม่เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 500 พีพีเอ็ม (Mutsuo *et al.*, 1995) ซึ่งเมื่ออยู่ในสภาวะร่วมกับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลให้ข้าวมีการเจริญทางด้านลำต้นลดลง (ภาพที่ 10)

ชนิดดินที่ใช้ในการปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิด คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา มีค่าเฉลี่ยความสูงของต้นข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยความสูงของต้นข้าวที่ปลูกในดินธรรมดามีค่าความสูงที่อายุ 120 วันหลังจากการเพาะปลูกมากที่สุดคือ 109.87 เซนติเมตร รองลงมาคือ ดินใส่ฟางเผา และดินใส่ฟางแห้งสับ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 107.07 และ 104.40 เซนติเมตร ตามลำดับ ดินที่ใส่ฟางแห้งสับลงในดินต้นข้าวมีความสูงน้อยที่สุดเนื่องจากระยะเวลาในการหมักฟางแห้งสับที่ใส่ลงไปดินน้อยจึงส่งผลให้มีกิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์สูง เนื่องจากการใส่ฟางลงในดินจะเร่งปฏิกิริยาการปลดปล่อยออกซิเจนก่อให้เกิดสารประกอบคาร์บอนที่ไม่พึงปรารถนา ซึ่งมีผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช (ทัศนีย์, 2543) และสภาพที่มีการปลดปล่อยออกซิเจน

อย่างรุนแรงในสภาพดินนํ้าขังทำให้ข้าวมีการชะงักการเจริญเติบโตในระยะแรกโดยข้าวแสดงอาการใบเหลือง รากมีสีน้ำตาล ประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารของรากต่ำ เนื่องจากการเกิดกระบวนการ Immobilization ของไนโตรเจน ทำให้ไนโตรเจนที่สะสมหรือใส่เพิ่มลงไปดินมีปริมาณลดลงชั่วคราว และมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวในช่วงระยะแรก (Broadbent, 1979) ดังนั้นข้าวที่ปลูกในดินใส่ฟางแห้งสับจึงมีความสูงน้อยที่สุด

สภาวะแวดล้อมที่ควบคุมในการเพาะปลูก C, HT และ HTC มีปฏิสัมพันธ์กับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวซึ่งมีทิศทางที่ไปในทางเดียวกัน โดยดินที่ใช้ปลูกข้าวแต่ละชนิดคือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางสับ และดินใส่ฟางเผา เมื่อมีการควบคุมสภาวะที่แตกต่างกัน 3 สภาวะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความสูงของต้นข้าวที่อายุ 120 วัน หลังการเพาะปลูกลดลง โดยข้าวที่ปลูกในดินธรรมดาที่อยู่ในสภาวะ C มีความสูงมากที่สุดเท่ากับ 109.80 เซนติเมตร และ ข้าวที่ปลูกในดินใส่ฟางที่อยู่ในสภาวะ HTC มีความสูงน้อยที่สุดเท่ากับ 98.80 เซนติเมตร ซึ่งสาเหตุที่ส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในดินใส่ฟางแห้งสับที่อยู่ในสภาวะ HTC มีความสูงน้อยเนื่องจากฟางข้าวที่ใส่ลงในดินเกิดการย่อยสลายและ เร่งปฏิกิริยาลดออกซิเจน เกิดกระบวนการ Immobilization ของไนโตรเจน ทำให้ไนโตรเจนที่สะสมหรือใส่เพิ่มลงไปดินมีปริมาณลดลงชั่วคราว พืชจึงแสดงอาการขาดไนโตรเจน ใบเหลือง รากมีสีน้ำตาล ประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารของรากต่ำและมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวในช่วงระยะแรก (Broadbent, 1979) และผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสภาวะ HTC ที่มีการควบคุมอุณหภูมิให้สูงกว่าสภาวะปกติ 2 องศาเซลเซียส และคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าสภาวะปกติ 2 เท่า (700 พีพีเอ็ม) จึงส่งผลให้ความสูงของต้นข้าวลดลงมากที่สุดประมาณ 20.67 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับความสูงของข้าวที่ปลูกในดินธรรมดาและอยู่ในสภาวะ C



ภาพที่ 10 เปรียบเทียบความสูงของต้นข้าวตลอดการเจริญเติบโตทั้ง 3 ดำรับการทดลอง คือที่สภาวะ C, HT และ HTC เมื่อ C คือ สภาวะอากาศปกติ HT คือ สภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียส HTC คือ สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียสรวมกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น 700 พีพีเอ็ม BS คือ ดินธรรมดาที่ไม่มีการใส่ฟางแห้งสับและฟางเผา SW คือ ดินใส่ฟางแห้งสับ และ SWA คือ ดินใส่ฟางเผา

ตารางที่ 4 ความสูงและจำนวนกอข้าวที่อายุ 120 วันหลังการเพาะปลูกภายใต้สภาวะแวดล้อมและชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวที่แตกต่างกัน

	Plant height (cm)				Tiller number			
	C	HT	HTC	Average	C	HT	HTC	Average
BS	109.8	117.00	102.80	109.87a	25	22	62	37a
SW	108.8	105.60	98.8	104.40ab	22	21	39	28c
SWA	108.8	104.00	108.40	107.07bc	23	17	53	31b
Average	109.13a	108.87a	103.33b		24b	20b	52a	
F-test								
Envi			**				**	
Soil			**				**	
Envi x Soil			**				**	
%CV			3.99				18.42	

หมายเหตุ

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

Envi คือ สภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูก

C สภาวะอากาศปกติ

HT สภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียส

HTC สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียสร่วมกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น 700 พีพีเอ็ม

BS ดินธรรมดาที่ไม่มีการใส่ฟางแห้งสับและฟางเผา

SW ดินใส่ฟางแห้งสับ

SWA ดินใส่ฟางเผา

1.2 จำนวนกอข้าวต่อกระถาง

จำนวนกอข้าวต่อกระถางทั้ง 3 สภาวะแวดล้อมคือ สภาวะ C, HT, และ HTC มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยสภาวะ HTC มีปริมาณกอข้าวต่อกระถางมากที่สุดคือ 52 กอต่อกระถาง รองลงมาคือ สภาวะ C และสภาวะ HT ซึ่งมีค่าเท่ากับ 24 และ 20 กอต่อกระถาง ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ซึ่งเมื่ออุณหภูมิและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ข้าวมีจำนวนกอเพิ่มสูงขึ้น (Imai *et al.*, 1985 ; Baker and Allen, 1993 ; Kim *et al.*, 1996 ; Ziska *et al.*, 1996 ; Kim *et al.*, 2001) เนื่องจากเมื่อในบรรยากาศมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้มีการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหารไปเลี้ยงส่วนต่างๆเพิ่มขึ้น ข้าวจึงมีปริมาณกอข้าวเพิ่มขึ้น แต่ข้าวจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงคงที่เมื่อมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 500 พีพีเอ็ม

การเพาะปลูกข้าวในชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิด คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา พบว่าจำนวนกอที่อายุ 120 วันหลังจากการเพาะปลูก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยข้าวที่ปลูกในดินธรรมดามีจำนวนกอมากที่สุด คือ 37 กอต่อกระถาง รองลงมาคือข้าวที่ปลูกในดินใส่ฟางเผาซึ่งมีค่าเท่ากับ 31 กอต่อกระถาง และดินใส่ฟางแห้งสับมีจำนวนกอน้อยที่สุดเท่ากับ 28 กอต่อกระถาง เนื่องจากระยะเวลาในการหมักฟางข้าวก่อนการเพาะปลูกสั้นเกินไปจึงเกิดการย่อยสลายฟางข้าวได้ไม่สมบูรณ์ และการใส่ฟางลงในดินจะเร่งปฏิกิริยา

การลดออกซิเจนก่อให้เกิดสารประกอบคาร์บอนที่ไม่พึงปรารถนา ซึ่งมีผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช (ทัศนีย์, 2543) เมื่อมีการลดลงของออกซิเจนอย่างรุนแรงในสภาพดินน้ำขัง เกิดขบวนการ Immobilization ของไนโตรเจน ทำให้ไนโตรเจนที่สะสมหรือใส่เพิ่มลงไปดินมีปริมาณลดลงชั่วคราว และมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวในช่วงระยะแรก โดยข้าวจะแสดงอาการใบเหลือง รากมีสีดำคล้ำ และประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารของรากต่ำ (Broadbent, 1979) จำนวนกอข้าวที่ปลูกในดินใส่ฟางเผาจึงมีจำนวนน้อยที่สุด

สภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูกกับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันคือ ข้าวที่เจริญเติบโตในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ที่ควบคุม เมื่อปลูกในดินที่ต่างชนิดกัน คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟาง และดินใส่ฟางเผา ส่งผลให้ข้าวมีจำนวนกอต่อกระถางลดลง แต่เมื่อมีการควบคุมสภาวะ C, HT และ HTC แล้วจำนวนกอต่อกระถางที่ปลูกในดินแต่ละชนิดมีจำนวนเพิ่มขึ้น โดยที่สภาวะ C ข้าวที่ปลูกในดินธรรมดา ดินใส่ฟางและดินใส่ฟางเผามีค่าเท่ากับ 25, 22 และ 23 กอต่อกระถาง สภาวะ HT ข้าวที่ปลูกในดินธรรมดา ดินใส่ฟางและดินใส่ฟางเผามีค่าเท่ากับ 22, 21 และ 17 กอต่อกระถาง และที่สภาวะ HTC ข้าวที่ปลูกในดินธรรมดา ดินใส่ฟางและดินใส่ฟางเผามีค่าเท่ากับ 62, 39 และ 53 กอต่อกระถาง โดยชนิดดินที่แตกต่างกันมีผลให้จำนวนกอต่อกระถางมีจำนวนลดลง แต่สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันมีผลให้จำนวนกอต่อกระถางมีจำนวนเพิ่มขึ้น

1.3 จำนวนใบต่อต้น

จากการศึกษาพบว่าจำนวนใบข้าวต่อกอที่อายุ 120 วันหลังจากการเพาะปลูกทั้ง 3 สภาวะแวดล้อมคือ สภาวะ C, HT และ HTC แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยในสภาวะ C มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบมากที่สุดเท่ากับ 4 ใบต่อต้น สภาวะ HTC มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบเท่ากับ 3 ใบต่อต้น และในสภาวะ HT มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบเท่ากับ 3 ใบต่อต้น (ตารางที่ 5) โดยในสภาวะที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นลำต้นของข้าวจะมีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นมากเพื่อปรับให้โครงสร้างเหมาะสมกับการสังเคราะห์แสงและทำให้ใบข้าวมีจำนวนใบลดลง (Cheng *et al.*, 2009)

การเพาะปลูกข้าวในสภาวะปกติในดินที่ใช้ในการปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิด คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผาทำให้ค่าเฉลี่ยจำนวนใบที่อายุ 120 วันหลังจากการเพาะปลูกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยในดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา และดินธรรมดามีจำนวนใบเท่ากับ 3 ใบต่อต้น นิตยา และคณะ (2549) รายงานว่า ในฟางข้าวมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการ

เจริญเติบโตของพืชโดยในฟางข้าว 1 ตันมี ธาตุอาหารในโตรเจนประมาณ 5.4 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 1.1 กิโลกรัมและ โพแทสเซียม 145 กิโลกรัม ดังนั้น เมื่อใส่ฟางลงไปดินจึงเป็นการเพิ่มธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช

สภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูกข้าวที่ไม่มีปฏิสัมพันธ์กับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าว โดยสภาวะ C ต้นข้าวที่ปลูกในดินธรรมดาามีจำนวนใบเท่ากับ 5 ใบต่อต้น ดินใส่ฟางแห้งสับมีจำนวนใบเท่ากับ 4 ใบต่อต้น ดินใส่ฟางเผามีจำนวนใบเพิ่มขึ้นเป็น 5 ใบต่อต้น ในสภาวะ HT ดินธรรมดาามีจำนวนใบมากที่สุดเท่ากับ 5 ใบต่อต้น และเมื่อดินมีการเติมฟางแห้งสับและฟางเผาจำนวนใบมีค่าลดลงเท่ากับ 4 ใบต่อต้นและในสภาวะ HTC ดินธรรมดาามีจำนวนใบเท่ากับ 4 ใบต่อต้น ดินใส่ฟางแห้งสับมีจำนวนใบเพิ่มขึ้นเป็น 5 ใบต่อต้น และดินที่ใส่ฟางเผามีจำนวนใบเท่ากับ 4 ใบต่อต้น

1.4 จำนวนรวงต่อกระถาง

จำนวนรวงข้าวต่อกระถางใน 3 ดำรับการทดลอง คือ สภาวะ C, HT และ HTC แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยจำนวนรวงข้าวที่ปลูกสภาวะ HTC มีค่าเฉลี่ยจำนวนรวงต่อกระถางมากที่สุดคือ 45 รวงต่อกระถาง รองลงมาคือสภาวะ C มีค่าเท่ากับ 20 รวงต่อกระถาง และสภาวะ HT มีจำนวนรวงต่อกระถางน้อยที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 19 รวงต่อกระถาง (ตารางที่ 5) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้จำนวนรวงข้าวลดลง และพบว่าอุณหภูมิยังมียผลต่อการพัฒนาการการสืบพันธุ์ของข้าวซึ่งจะนำไปสู่การให้ผลผลิตที่ดีของข้าว ต้นข้าวที่อยู่ในระยะการออกรวงจะได้รับผลกระทบกระเทือนจากอุณหภูมิสูงมากที่สุด (บุญหงส์, 2547) และในสภาวะ HTC มีการควบคุมอุณหภูมิให้เพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียสและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นจากสภาวะปกติ 2 เท่า (700 พีพีเอ็ม) จึงส่งผลให้ต้นข้าวมีการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตส่งผลให้จำนวนกอเพิ่มขึ้นและส่งผลให้ข้าวออกรวงมากขึ้น (Imai *et al.*, 1985 ; Baker and Allen, 1993 ; Kim *et al.*, 1996 ; Ziska *et al.*, 1996 ; Kim *et al.*, 2001) โดยจำนวนรวงที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับจำนวนกอลำคือเมื่อข้าวมีจำนวนกอเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีจำนวนรวงเพิ่มสูงขึ้นด้วย (Baker, 2004) ซึ่งจากการทดลองของ Baker (2004) พบว่า ข้าวที่เพาะปลูกในสภาวะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น 700 พีพีเอ็ม ร่วมกับในช่วงอุณหภูมิกลางวันเพิ่มสูงขึ้น 35 องศาเซลเซียส และกลางคืน 31 องศาเซลเซียส มีจำนวนรวงมากที่สุดประมาณ 18 รวงต่อกอ เมื่อเปรียบเทียบกับที่สภาวะปกติ

ชนิดดินที่ใช้ในการปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิด คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา ที่ปลูกในสภาวะปกติมีค่าเฉลี่ยจำนวนรวงข้าวต่อกระถางเท่ากับ 33, 23 และ 28 รวงต่อกระถาง

ตามลำดับ (ตารางที่ 5) ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยค่าเฉลี่ยจำนวนรวงข้าวต่อกระถางที่ปลูกในดินธรรมชาติมีค่าเฉลี่ยจำนวนรวงข้าวต่อกระถางมากที่สุด และดินใส่ฟางเผา มีจำนวนรวงข้าวต่อกระถางน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ นิตยา และคณะ (2551) :ซึ่งรายงานว่าจำนวนรวงข้าวที่เพาะปลูกในดินที่ไม่มีการใส่ฟาง มีจำนวนรวงเท่ากับ 70 รวงต่อกระถาง ซึ่งมากกว่าข้าวที่เพาะปลูกในดินที่มีการใส่ฟางแห้งในอัตรา 400 และ 800 กิโลกรัมต่อไร่ซึ่งมีค่าเท่ากับ 64 และ 65 รวงต่อกระถาง

ตารางที่ 5 จำนวนใบและจำนวนรวงของต้นข้าวที่อายุ 120 วันหลังจากการเพาะปลูกภายใต้สภาวะแวดล้อมและชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวที่แตกต่างกัน

	Leaf number				Panicle number			
	C	HT	HTC	Average	C	HT	HTC	Average
BS	4	2	4	3a	23	21	56	33a
SW	3	3	3	3a	19	20	31	23c
SWA	4	2	4	3a	20	16	49	28b
Average	4a	3b	3b		20b	19b	45a	
F-test								
Envi			**				**	
Soil			ns				**	
Envi x Soil			ns				**	
%CV			18.63				18.42	

หมายเหตุ

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

Envi คือ สภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูก

C สภาวะอากาศปกติ

HT สภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียส

HTC สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียสร่วมกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น 700 พีพีเอ็ม

BS ดินธรรมดาที่ไม่มีการใส่ฟางแห้งสับและฟางเผา

SW ดินใส่ฟางแห้งสับ

SWA ดินใส่ฟางเผา

สภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูกที่ควบคุมมีปฏิสัมพันธ์กับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าว โดยสภาวะที่ควบคุมทั้ง 3 สภาวะมีความสัมพันธ์กับดินใส่ฟางแห้งสับ กล่าวคือ ข้าวที่ปลูกในดินที่ใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผาเมื่อมีการควบคุมสภาวะอากาศให้มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าสภาวะปกติ 2 เท่า และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าสภาวะปกติ 2 เท่า (700 พีพีเอ็ม) แล้วส่งผลให้จำนวนรวงข้าวต่อกระถางเพิ่มขึ้น โดยข้าวที่ปลูกในดินใส่ฟางแห้งสับและควบคุมสภาวะ C, HT และ HTC มีจำนวนรวงต่อกระถางเท่ากับ 19, 20 และ 31 รวงต่อกระถาง และข้าวที่ปลูกในดินใส่ฟางเผาและควบคุมสภาวะ C, HT และ HTC มีจำนวนรวงต่อกระถางเท่ากับ 20, 16 และ 49 รวงต่อกระถาง ตามลำดับ

1.5 น้ำหนักฟางข้าวสดและน้ำหนักฟางข้าวแห้ง

จากการศึกษาพบว่าน้ำหนักฟางข้าวสดและน้ำหนักฟางข้าวแห้งที่ปลูกในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะ คือ สภาวะ C, HT และ HTC มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยข้าวที่ปลูกในสภาวะ HTC มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักฟางข้าวสดและน้ำหนักฟางข้าวแห้งมากที่สุดเท่ากับ 380.88 และ 149.01 กรัมต่อกระถาง รองลงมาคือข้าวที่ปลูกในสภาวะ C มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักฟางข้าวสดและน้ำหนักฟางข้าวแห้งเท่ากับ 215.08 และ 77.14 กรัมต่อกระถาง และข้าวที่ปลูกในสภาวะ HT มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักฟางข้าวสดและน้ำหนักฟางข้าวแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 217.13 และ 65.52 กรัมต่อกระถาง (ตารางที่ 6) โดยข้าวที่ปลูกในสภาวะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นมีจำนวนกอข้าวต่อกระถางมาก จึงส่งผลให้น้ำหนักต้นพืชสดมากกว่าสภาวะอื่นๆด้วย (Baker, 2004) ซึ่งมวลชีวภาพที่เกิดเพิ่มขึ้นเมื่อต้นพืชมีความสมดุลระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงและการหายใจของพืช (Yamagishi, 1994; Sakai *et al.*, 2001) และจากงานวิจัยของ Cheng *et al.* (2009) ได้รายงานว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นจะสนับสนุนให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างมวลชีวภาพและเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้มวลชีวภาพทางด้านลำต้นเพิ่มมากขึ้น โดยจะมีการสะสมธาตุไนโตรเจนบริเวณข้อดอกกลดลงและเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตโดยเฉพาะส่วนใบและลำต้นจึงส่งผลให้น้ำหนักมวลชีวภาพแห้งเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Olszyk *et al.* (1999) กล่าวว่าที่สภาวะแวดล้อมปกติต้นข้าวมีมวลชีวภาพเหนือ

พื้นดินเท่ากับ 1,002 กรัมต่อตารางเมตร และเมื่อสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นต้นข้าวมีมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเพิ่มขึ้น 11 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติที่สภาวะอุณหภูมิปกติแต่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นข้าวมีมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเพิ่มขึ้น 21 เปอร์เซ็นต์ และที่สภาวะอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นแต่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปกติไม่ทำให้มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของข้าวเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักฟางข้าวสดและฟางข้าวแห้งต่อต้นพบว่า ที่สภาวะ HT มีค่าเฉลี่ยฟางข้าวสดและฟางข้าวแห้งเท่ากับ 19.11 และ 3.44 กรัมต่อต้น สภาวะ HTC มีค่าเท่ากับ 13.60 และ 5.23 กรัมต่อต้น และที่สภาวะ C มีค่าเท่ากับ 10.24 และ 3.67 กรัมต่อต้น

ชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิดคือ ดินธรรมดา ดินฟางและดินใส่ฟางเผา ไม่มีผลทำให้น้ำหนักฟางข้าวสดและฟางข้าวแห้งแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยน้ำหนักฟางข้าวสดและฟางข้าวแห้งที่ปลูกในดินธรรมดามีน้ำหนักมากที่สุดเท่ากับ 295.77 และ 103.99 กรัมต่อกระถาง รองลงมาคือดินใส่ฟางเผาซึ่งมีน้ำหนักเท่ากับ 260.45 และ 99.37 และข้าวที่ปลูกในดินใส่ฟางแห้งสับมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 256.87 และ 89.11 กรัมต่อกระถาง (ตารางที่ 6) เนื่องจากข้าวที่เพาะปลูกในชนิดดินที่มีการใส่ฟางแห้งสับและฟางเผาฟางข้าวที่ใส่ลงไปดินยังมีการย่อยสลายที่ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้ในระหว่างที่ข้าวมีการเจริญเติบโตยังเกิดกิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์สูง เนื่องจากการใส่ฟางลงในดินจะเร่งปฏิกิริยาการปลดปล่อยไนโตรเจนก่อให้เกิดสารประกอบคาร์บอนที่ไม่พึงปรารถนา ซึ่งมีผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืชและส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตลดลง (ทัศนีย์, 2543) ดังนั้นข้าวที่เพาะปลูกในดินธรรมดาจึงมีปริมาณน้ำหนักต้นข้าวสดสูงที่สุดและข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางแห้งสับมีน้ำหนักสดและแห้งน้อยที่สุด

สภาวะแวดล้อมที่ควบคุมอุณหภูมิที่แตกต่างกันไม่มีปฏิสัมพันธ์กับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าว โดยที่สภาวะปกติ ข้าวที่เพาะปลูกในดินธรรมดามีค่าเท่ากับ 250.64 กรัมต่อกระถาง และมีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 90.73 กรัมต่อกระถาง แต่เมื่อมีการเพิ่มฟางแห้งสับและฟางเผาลงในดินส่งผลให้น้ำหนักฟางข้าวสดลดลงแต่น้ำหนักฟางข้าวแห้งเพิ่มขึ้น และเมื่อมีการควบคุมสภาวะอุณหภูมิให้สูงขึ้นความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้น้ำหนักฟางข้าวสดและน้ำหนักฟางข้าวแห้งเพิ่มขึ้น

1.6 น้ำหนักรากสดและน้ำหนักรากแห้งต่อกระถาง

น้ำหนักรากสดและน้ำหนักรากแห้งที่ปลูกในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน คือ สภาวะ C, HT และ HTC ซึ่งมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักรากสดเท่ากับ 372.57 147.48 และ 327.94 กรัมต่อกระถาง มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักรากแห้งเท่ากับ 121.46, 28.90 และ 110.42 กรัมต่อกระถาง โดยน้ำหนักรากสดและน้ำหนักรากแห้งที่ปลูกในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยข้าวที่ปลูกในสภาวะ C มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักรากข้าวสดและน้ำหนักรากข้าวแห้งมากที่สุด รองลงมาคือข้าวที่ปลูกในสภาวะ HTC และข้าวที่ปลูกในสภาวะ HT มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักรากสดและแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 147.48 กรัมต่อกระถาง (ตารางที่ 6) โดยสภาวะที่มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ข้าวหยุดการเจริญเติบโตหรือมีการเจริญเติบโตลดลงรากข้าวจึงมีการเจริญเติบโตน้อย ซึ่งสอดคล้องกับ Olszyk *et al.* (1999) พบว่าที่สภาวะแวดล้อมปกติต้นข้าวมีมวลชีวภาพใต้พื้นดินเท่ากับ 214 กรัมต่อตารางเมตร และเมื่อสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นต้นข้าวมีการเจริญเติบโตและมีมวลชีวภาพใต้พื้นดินเพิ่มขึ้น 78 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ แต่ที่สภาวะอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นแต่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปกติมวลชีวภาพใต้พื้นดินของข้าวลดลง 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ

ชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิด คือ ดินธรรมดา ดินฟาง และดินใส่ฟางเผา มีผลทำให้น้ำหนักรากข้าวสดและน้ำหนักรากข้าวแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักรากสดของข้าวที่ปลูกในดินธรรมดา ดินฟาง และดินใส่ฟางเผา มีค่าเท่ากับ 242.08 285.78 และ 320.13 กรัมต่อกระถาง น้ำหนักรากข้าวแห้งมีค่าเท่ากับ 64.31 82.13 และ 114.34 กรัมต่อกระถาง ซึ่งดินใส่ฟางเผามีค่าเฉลี่ยน้ำหนักรากข้าวสดและน้ำหนักรากข้าวแห้งสูงที่สุด รองลงมาคือดินใส่ฟางแห้งสับและดินธรรมดา (ตารางที่ 6) โดยดินที่มีการเติมฟางแห้งลงในดินในช่วงแรกมีกิจกรรมการย่อยสลายฟางข้าวซึ่งจะส่งผลต่อรากข้าวคือ ทำให้รากข้าวมีสีดำคล้ำประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารของรากข้าวต่ำเนื่องจากเกิดขบวนการ Immobilization ของไนโตรเจนทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่สะสมหรือใส่ลงไปลดลงชั่วคราวและมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวในช่วงแรก (Broadbent, 1979)

สภาวะแวดล้อมที่ควบคุมอุณหภูมิที่แตกต่างกันไม่มีปฏิสัมพันธ์กับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าว ซึ่งส่งผลให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักรากสดและน้ำหนักรากข้าวแห้งไม่มีความแตกต่างโดยน้ำหนักรากข้าวสดที่เพาะปลูกในสภาวะ C ในดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา มีค่าน้ำหนักรากข้าวสดเท่ากับ 834.19, 397.96 และ 385.54 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ในสภาวะ HT ในดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา มีค่าน้ำหนักรากข้าวสดเท่ากับ 123.92 134.14 และ 184.39 กรัมต่อ

กระถาง ตามลำดับ และในสภาวะ HTC ในดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา มีค่าน้ำหนักรากข้าวสาคูเท่ากับ 268.13, 325.23 และ 390.45 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ น้ำหนักรากข้าวสาคูแห้งที่เพาะปลูกในสภาวะ C ในดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา มีค่าน้ำหนักรากข้าวสาคูแห้งเท่ากับ 90.73, 122.50 และ 151.16 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ในสภาวะ HT ในดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา มีค่าน้ำหนักรากข้าวสาคูแห้งเท่ากับ 19.33, 18.51 และ 48.87 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ และในสภาวะ HTC ในดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา มีค่าน้ำหนักรากข้าวสาคูแห้งเท่ากับ 82.86, 105.40 และ 143 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นและรากข้าวสาคูที่เพาะปลูกภายใต้สภาวะแวดล้อมและชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวสาคูที่แตกต่างกัน

		น้ำหนักต้นสด (กรัม)	น้ำหนักต้นแห้ง (กรัม)	น้ำหนักรากสด (กรัม)	น้ำหนักรากแห้ง (กรัม)
Environment	C	215.08b	77.14b	372.57b	121.46a
	HT	217.13b	65.52b	147.48c	28.90b
	HTC	380.88a	149.01a	327.94a	110.42a
Soil	BS	295.77a	103.19a	242.08b	64.31b
	SW	256.87a	89.11a	285.78a	82.13b
	SWA	260.45a	99.37a	320.13a	114.34a
F-test	Envi	**	**	**	**
	Soil	ns	ns	*	**
	Envi×Soil	ns	ns	ns	ns
	% CV	26.56	36.27	13.18	23.74

หมายเหตุ

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

Envi สภาวะแวดล้อมที่ควบคุม

C สภาวะอากาศปกติ

HT สภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียส

HTC สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียสร่วมกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น 700 พีพีเอ็ม

BS ดินธรรมดาที่ไม่มีการใส่ฟางแห้งสับและฟางเผา

SW ดินใส่ฟางแห้งสับ

SWA ดินใส่ฟางเผา

2. ผลผลิตของข้าว

2.1 จำนวนเมล็ดดีและน้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง

ค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดดีและน้ำหนักเมล็ดข้าวดีต่อรวงจากการปลูกข้าวในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะ คือ สภาวะ C, HT และ HTC มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยในสภาวะ C มีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดดีมากที่สุดเท่ากับ 77 เมล็ดต่อรวง รองลงมาคือ สภาวะ HT มีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดดีเท่ากับ 44 เมล็ดต่อรวง และสภาวะ HTC มีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดดีน้อยที่สุดเท่ากับ 15 เมล็ดต่อรวง และมีน้ำหนักเมล็ดข้าวดีต่อรวงเท่ากับ 2.10, 1.05 และ 0.37 กรัมต่อรวง (ตารางที่ 7) เนื่องจากในระหว่างที่ข้าวเจริญเติบโตและออกรวงสภาวะในการเพาะปลูกข้าวมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงส่งผลให้เกสรข้าวเป็นหมันและไม่สามารถเจริญเป็นเมล็ดได้ (Baker and Allen, 1993; Mutsui *et al.*, 1997) เนื่องจากเกสรของข้าวมีการตอบสนองที่รวดเร็วต่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิสูง (Kim *et al.*, 1996; Matsui *et al.*, 1997) ดังนั้นในสภาวะที่อุณหภูมิและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงจึงทำให้จำนวนเมล็ดดีมีปริมาณลดลง

จำนวนเมล็ดข้าวดีที่เพาะปลูกใน ดินธรรมดา ดินใส่ฟาง และดินใส่ฟางเผา มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดดีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยการเพาะปลูกข้าวในดินธรรมดามีและดินใส่ฟางแห้งสับมีจำนวนเมล็ดข้าวดีต่อรวงเท่ากันคือ 47 เมล็ดต่อรวงและในดินใส่ฟางเผามีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงเท่ากับ 42 เมล็ดต่อรวง ซึ่งในดินใส่ฟางเผามีค่าจำนวนเมล็ดดีน้อยกว่าดินธรรมดาและดินใส่ฟางเผาประมาณ 10.63 เปอร์เซ็นต์ โดยในช่วงที่ข้าวมีการเจริญเติบโตมีกิจกรรมการย่อยสลายฟางข้าวจึงส่งผลให้ข้าวชะงักการเจริญเติบโตในระยะแรก (Broadbent, 1979) โดยในการทดลองของ นิตยา และคณะ (2551) พบว่าดินที่มีการไถกลบฟางข้าวในอัตรา 400 กิโลกรัมต่อไร่ ให้จำนวนเมล็ดข้าวดีเท่ากับ 78 เมล็ดต่อรวง ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับดินที่ไม่มีการไถกลบฟางข้าวที่ให้ผลผลิตจำนวนเมล็ดดีเท่ากับ 76 เมล็ดต่อรวง และได้ให้ความเห็นว่าการใส่ฟางข้าวในอัตรา 0-800 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่มีผลต่อการให้ผลผลิตของข้าว

สภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูกที่แตกต่างกันมีปฏิสัมพันธ์กับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวที่ส่งผลให้ข้าวมีจำนวนเมล็ดลดลง โดยในสภาวะปกติข้าวที่ปลูกในดินทั้ง 3 ชนิด มีจำนวนเมล็ดที่ต้องร่วงลดลงและเมื่อมีการควบคุมสภาวะอากาศที่แตกต่างกันส่งผลให้จำนวนเมล็ดที่ต้องร่วงลดลง โดยที่สภาวะ C, HT และ HTC ดินธรรมดาจำนวนเมล็ดดีเท่ากับ 82, 44 และ 14 เมล็ดต่อรวง ดินใส่ฟางแห้งสับมีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงเท่ากับ 76, 41 และ 8 เมล็ดต่อรวง และดินใส่ฟางเผามีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงเท่ากับ 71, 47 และ 22 เมล็ดต่อรวง ตามลำดับ

2.2 จำนวนเมล็ดลีบและน้ำหนักเมล็ดลีบต่อรวง

จำนวนเมล็ดข้าวลีบที่เพาะปลูกในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะ คือ สภาวะ C สภาวะ HT และสภาวะ HTC มีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดลีบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยในสภาวะ HTC มีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดลีบมากที่สุดคือ 65 เมล็ดต่อรวง รองลงมาคือสภาวะ HT และที่สภาวะ C มีจำนวนเมล็ดลีบเท่ากับ 65 และ 18 เมล็ดต่อรวงตามลำดับ ด้านน้ำหนักเมล็ดข้าวลีบที่เพาะปลูกในสภาวะแวดล้อมทั้ง 3 สภาวะ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยข้าวที่ปลูกในสภาวะ HTC มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดลีบต่อรวงมากที่สุดเท่ากับ 0.28 กรัมต่อรวง รองลงมาคือสภาวะ HT มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดลีบเท่ากับ 0.27 กรัมต่อรวง และสภาวะ C มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดลีบน้อยที่สุดเท่ากับ 0.14 กรัมต่อรวง (ตารางที่ 7) โดยในสภาวะ HTC มีค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าสภาวะ C และ HT ซึ่งความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้เกสรข้าวเป็นหมันและไม่สามารถเจริญเป็นเมล็ดได้ (Baker and Allen, 1993 ; Mutsui *et al.*, 1997) ดังนั้นเมล็ดข้าวลีบที่เพาะปลูกในสภาวะ HTC จึงมีจำนวนเมล็ดข้าวลีบและน้ำหนักเมล็ดข้าวลีบสูง

จำนวนเมล็ดข้าวลีบที่เพาะปลูกในดินที่ใช้ปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิด คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟาง และดินใส่ฟางเผา มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และมีน้ำหนักเมล็ดลีบต่อรวงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยดินธรรมดามีค่าเฉลี่ยเมล็ดลีบเท่ากับ 47 เมล็ดต่อรวง และมีน้ำหนักเมล็ดลีบเท่ากับ 0.24 กรัมต่อรวง รองลงมาคือดินใส่ฟางแห้งสับมีค่าเฉลี่ยเมล็ดลีบเท่ากับ 45 เมล็ดต่อรวงและมีน้ำหนักเมล็ดลีบเท่ากับ 0.23 กรัมต่อรวง และดินใส่ฟางเผา มีค่าเฉลี่ยเมล็ดลีบน้อยที่สุดเท่ากับ 37 เมล็ดต่อรวง น้ำหนักเมล็ดลีบเท่ากับ 0.22 กรัมต่อรวงตามลำดับ (ตารางที่ 7) ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา มีค่าเฉลี่ยธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินสูงกว่าดินธรรมดา ซึ่งธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิดมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งด้านการเจริญเติบโตทางลำต้น และการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ (ยงยุทธ, 2552) ข้าว

ที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางเผาและดินใส่ฟางแห้งสับจึงมีค่าจำนวนเมล็ดลีบและน้ำหนักเมล็ดลีบน้อยกว่าดินธรรมดา

สภาวะแวดล้อมที่ควบคุมกับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวมีปฏิสัมพันธ์กัน โดยส่งผลให้ข้าวมีจำนวนเมล็ดลีบแตกต่างกัน โดยที่สภาวะปกติชนิดดินที่มีการใส่ฟางแห้งสับและฟางเผามีจำนวนเมล็ดลีบและน้ำหนักเมล็ดลีบลดลง และเมื่อมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้มีอุณหภูมิและความชื้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้จำนวนเมล็ดลีบและน้ำหนักเมล็ดลีบมีจำนวนเพิ่มขึ้น ซึ่งในดินธรรมดาที่สภาวะ C, HT และ HTC มีจำนวนเมล็ดลีบเท่ากับ 19, 59 และ 63 เมล็ดต่อรวง ดินใส่ฟางแห้งสับ ที่สภาวะ C, HT และ HTC มีจำนวนเมล็ดลีบเท่ากับ 19, 51 และ 66 เมล็ดต่อรวง ดินใส่ฟางเผา ที่สภาวะ C, HT และ HTC มีจำนวนเมล็ดลีบเท่ากับ 15, 29 และ 66 เมล็ดต่อรวงตามลำดับ

ตารางที่ 7 ปริมาณผลผลิตของข้าวภายใต้สภาวะแวดล้อมและชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวที่แตกต่างกัน

		Filled seed/ear (seed)	incomplete seed (seed/ear)	Filled seed weight (gram/ear)	Weight seed incom- plete (gram/ear)	Seed weight (gram/1000seed)	Rice yield (gram/rai)
Environment	C	77.04a	18.35c	2.10a	0.14b	25.74a	639.52a
	HT	44.28b	46.75b	1.05b	0.27a	23.90b	299.63b
	HTC	15.49c	65.38a	0.37c	0.28a	22.62c	160.81c
	BS	47.34a	47.42a	1.22a	0.24a	23.56b	452.89a
Soil	SW	42.36a	45.62a	1.07b	0.23a	23.91b	304.07b
	SWA	47.11a	37.40b	1.23a	0.22a	24.79a	343.00b
Envi		**	**	**	*	**	**
F-test	Soil	ns	*	ns	ns	*	**
	Envi×Soil	*	*	*	ns	ns	*
	% CV	14.94	21.50	16.21	41.24	4.02	29.79

หมายเหตุ

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

Envi สภาวะแวดล้อมที่ควบคุม

C สภาวะอากาศปกติ

HT สภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียส

HTC สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียสร่วมกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น 700 พีพีเอ็ม

BS ดินธรรมดาที่ไม่มีการใส่ฟางแห้งสับและฟางเผา

SW ดินใส่ฟางแห้งสับ

SWA ดินใส่ฟางเผา

2.3 น้ำหนัก 1000 เมล็ดดี

และน้ำหนักเมล็ดข้าว 1000 เมล็ดดีที่เพาะปลูกในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะ คือ สภาวะ C, HT และ HTC ทำให้น้ำหนักเมล็ดดี 1000 เมล็ดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยข้าวที่ปลูกในสภาวะ C มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดดี 1000 เมล็ดเท่ากับ 25.75 กรัม รองลงมาคือสภาวะ HT มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดดี 1000 เมล็ดเท่ากับ 23.91 กรัม และที่สภาวะ HTC มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ดเท่ากับ 22.63 กรัม โดยเมื่อในสภาวะแวดล้อมมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อให้ดอกข้าวไม่สมบูรณ์และเป็นหมันไม่สามารถเจริญเป็นเมล็ดได้ (Mutsui *et al.*, 1997) น้ำหนักเมล็ดดีต่อรวงจึงลดลง (ตารางที่ 7)

ชนิดของดินที่ใช้ปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิด คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟาง และดินใส่ฟางเผา ในสภาวะปกติ มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยในดินใส่ฟางเผามีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ดมากที่สุดเท่ากับ 24.79 กรัม ซึ่งดินใส่ฟางเผามีค่าเฉลี่ยธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชสูงที่สุด (ตารางที่ 7) จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนัก 1,000 เมล็ดดีสูงที่สุด รองลงมาคือดินธรรมดามีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดดี 1000 เมล็ดเท่ากับ 23.56 กรัม และข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางแห้งสับมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ดน้อยที่สุดเท่ากับ 23.91 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

สภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูกที่ควบคุมไม่มีปฏิสัมพันธ์กับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวในการทำให้น้ำหนักเมล็ดข้าว 1,000 เมล็ดดีโดยที่สภาวะ C ข้าวที่เพาะปลูกในดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้ง

สับ และดินใส่ฟางเผามีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ดเท่ากับ 25.45, 26.19 และ 25.57 กรัม สภาวะ HT ข้าวที่เพาะปลูกในดินธรรมดา ดินใส่ฟางสับ และดินใส่ฟางเผามีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ดเท่ากับ 23.31, 22.99 และ 25.41 กรัม สภาวะ HTC ข้าวที่เพาะปลูกในดินธรรมดา ดินใส่ฟางสับ และดินใส่ฟางเผามีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ดเท่ากับ 21.92, 22.55 และ 23.39 กรัม ตามลำดับ

2.6 ปริมาณผลผลิตต่อไร่

ผลผลิตจากการเพาะปลูกข้าวในสภาวะที่แตกต่างกัน คือ สภาวะ C, HT และ HTC มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ปริมาณผลผลิตต่อไร่ที่เพาะปลูกในที่สภาวะ C มีค่าเฉลี่ยปริมาณผลผลิตต่อไร่มากที่สุดเท่ากับ 639.52 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือสภาวะ HT มีค่าเฉลี่ยปริมาณผลผลิตต่อไร่ 299.63 กิโลกรัมต่อไร่ และ สภาวะ HTC มีค่าเฉลี่ยปริมาณผลผลิตต่อไร่น้อยที่สุด คือ 160.18 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 7) ซึ่งเมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นส่งผลให้ข้าวออกดอกเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นชักนำให้ดอกข้าวเป็นหมัน โดยที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 40-41 องศาเซลเซียส จะทำให้ข้าวไม่มีผลผลิตเนื่องจากการเจริญของดอกข้าวมีความไวต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น (Baker and Allen, 1993 ; Kim *et al.*, 1996 ; Mutsui *et al.*, 1997) นอกจากนั้นยังส่งผลให้ข้าวมีจำนวนเมล็ดข้าวสับเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากดอกข้าวเป็นหมันไม่สามารถเจริญเป็นเมล็ดได้ (Mutsuo *et al.*, 1997)

ดินที่ใช้ปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิด คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผาที่อยู่ในสภาวะปกติ มีค่าเฉลี่ยผลผลิตต่อไร่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยดินธรรมดามีค่าผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่สูงที่สุดเท่ากับ 452.89 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือดินใส่ฟางเผา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 343 กิโลกรัมต่อไร่ และดินใส่ฟางแห้งสับมีค่าเฉลี่ยผลผลิตต่อไร่น้อยที่สุดเท่ากับ 304.07 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 7) ซึ่งอาจเกิดจากดินใส่ฟางแห้งสับมีการย่อยสลายฟางไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดสภาพ reduction และเป็นพิษต่อข้าวโดยจะเร่งปฏิกิริยาปลดปล่อยออกซิเจนก่อให้เกิดสารประกอบคาร์บอนที่ไม่พึงปรารถนาซึ่งมีผลเสียต่อการเจริญเติบโตของข้าว (ทัศนีย์, 2543) ส่งผลให้ข้าวชะงักการเจริญเติบโตและเจริญเติบโตไม่เต็มและแตกกออ่อนที่จึงทำให้ผลผลิตน้อยลง (นิตยา และคณะ, 2551)

สภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูกที่ควบคุมกับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวมีปฏิสัมพันธ์กับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าว โดยข้าวที่เพาะปลูกในดินที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชนิด คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผาและถูกควบคุมภายใต้สภาวะที่ควบคุมให้แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะคือ C HT และ

HTC แล้วมีผลทำให้ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ลดลง โดยที่สภาวะ C ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเท่ากับ 80.18, 56.79 และ 54.27 กรัม สภาวะ HT ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเท่ากับ 33.98, 29.85 และ 26.05 กรัม สภาวะ HTC ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเท่ากับ 21.09, 45.76 และ 22.57 กรัม ตามลำดับ

3. ปริมาณธาตุอาหารในพืช

3.1 ฟอสฟอรัสในพืช

จากการศึกษาพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในพืชที่ปลูกในสภาวะแวดล้อมต่างกันทั้ง 3 สภาวะ คือ C, HT และ HTC มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยสภาวะ HT มีปริมาณฟอสฟอรัสในพืชมากที่สุด 0.213 เปอร์เซ็นต์ โดยในสภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นข้าวมีการเจริญเติบโตด้านความสูงมาก จึงมีการนำฟอสฟอรัสมาใช้ในการเจริญเติบโตสูงขึ้นจึงมีการสะสมปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุด โดยพืชมีความต้องการฟอสฟอรัส 0.3-0.5 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) เพื่อให้การเจริญเติบโตในระยะเติบโตแบบไม่อาศัยเพศ (Vegetative stage) เป็นไปตามปกติ ฟอสฟอรัสที่พืชนำเข้าเพื่อใช้ประโยชน์อยู่ในโครงสร้างต่าง ๆ ของพืช เช่น โครงสร้างของกรดนิวคลีอิก (DNA, RNA) ฟอสลิพิด Adenosine triphosphate (ATP) (ยงยุทธ, 2552) โดยความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบข้าวฟางที่ถือว่าเพียงพอมีความเข้มข้นเท่ากับ 0.20-0.60 เปอร์เซ็นต์ (Sanchez, 2007) นอกจากนั้นพืชยังมีการเก็บสะสมส่วนเกินของฟอสฟอรัสไว้ในแวคิลโอล (Kakie, 1996) โดยในสภาวะ HT มีการสะสมฟอสฟอรัสสูงกว่าสภาวะ C 44.89 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่าสภาวะ HTC 100.94 เปอร์เซ็นต์ โดยที่สภาวะ HTC มีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยที่สุดเท่ากับ 0.106 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัม ซึ่งในสภาวะ HTC ข้าวมีจำนวนรวงสูงปริมาณฟอสฟอรัสบริเวณลำต้นจึงเหลือน้อยเนื่องจากส่วนมากพืชจะนำไปสะสมไว้ที่เมล็ด (ยงยุทธ, 2552)

พืชที่ปลูกในดินทั้ง 3 ชนิด คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟาง และดินใส่ฟางเผา มีปริมาณฟอสฟอรัสในพืช ไม่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยข้าวที่ปลูกในดินธรรมดามีค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสในพืชสูงที่สุด คือ 0.164 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือดินใส่ฟางแห้ง 0.156 เปอร์เซ็นต์ และดินใส่ฟางเผา 0.148 เปอร์เซ็นต์ โดยในฟางแห้ง 1 ตันจะมีธาตุฟอสฟอรัสอยู่ประมาณ 1.1 กิโลกรัม (นิตยา และคณะ, 2549) แล้วพืชนำไปสะสมไว้ใช้ในการเจริญเติบโต โดยรูปของธาตุฟอสฟอรัสในดินที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้จะต้องอยู่ในรูปของอนุมูลของสารประกอบที่เรียกว่า ฟอสเฟตไอออน ($H_2PO_4^-$ และ HPO_4^-) พืชจึงจะนำไปใช้ประโยชน์และสะสมไว้ในต้นโดยปริมาณการ

คุณนำไปใช้ของพืชจะขึ้นอยู่กับความต้องการของพืชแต่ละชนิดและรูปของฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (ยงยุทธ, 2552)

สภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูกที่ควบคุมกับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวมีปฏิสัมพันธ์กับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าว โดยส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในพืชแตกต่างกัน โดยที่สภาวะ C ข้าวที่ปลูกในดินทั้ง 3 ชนิดมีค่าฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น ในดินธรรมชาติมีค่าเท่ากับ 0.12 เปอร์เซ็นต์ ดินใส่ฟางแห้งสับมีค่าเท่ากับ 0.15 เปอร์เซ็นต์ และดินใส่ฟางเผามีค่าเท่ากับ 0.17 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อมีการควบคุมอุณหภูมิให้เพิ่มสูงขึ้นและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นปริมาณฟอสฟอรัสในพืชมีค่าลดลง โดยในสภาวะ HT ข้าวที่ปลูกในดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา มีค่าฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.22, 0.21 และ 0.20 เปอร์เซ็นต์ ในสภาวะ HTC ข้าวที่ปลูกในดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา มีค่าฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.14, 0.10 และ 0.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3.2 โฟแทสเชียมในพืช

ปริมาณโฟแทสเชียมในพืชที่ปลูกในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะ คือ C, HT และ HTC มีค่าเท่ากับ 1.79, 1.78 และ 1.88 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณโฟแทสเชียมในพืชที่ปลูกในสภาวะแวดล้อมทั้ง 3 สภาวะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยโฟแทสเชียมมีหน้าที่ในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด กระบวนการสร้างแป้งและน้ำตาล กระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ซึ่งปริมาณโฟแทสเชียมที่พืชดูดได้ของข้าวไร่ ข้าวหน้าน้ำขัง คือ 24.0 และ 15.7 กิโลกรัมโฟแทสเชียมต่อไร่ และเนื่องจากปริมาณโฟแทสเชียมที่พืชดูดได้ส่วนหนึ่งสะสมอยู่ในเมล็ดและออกไปจากพื้นที่พร้อมกับการเก็บเกี่ยว ดังนั้นจึงมีปริมาณที่เหลือสะสมอยู่ในต้นพืชน้อย (ยงยุทธ, 2552) โดยสภาวะที่ HTC มีปริมาณโฟแทสเชียมมากที่สุดเนื่องจากมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นจึงมีการสังเคราะห์แสงและการหายใจเพิ่มมากขึ้นซึ่งโฟแทสเชียมมีบทบาทในกระบวนการอย่างน้อย 3 ขั้นตอน คือ ควบคุมปากใบเปิดเมื่อมีแสง จึงช่วยให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปสู่ใบได้สะดวก ส่งเสริมการสังเคราะห์ ATP ในกระบวนการโฟโตฟอสฟอริเลชัน (Photophosphorelation) มีบทบาทในการคงสภาพโครงสร้างของคลอโรพลาสต์และโพรพลาสต์ติก (Proplastids) ที่เหมาะสมกับกิจกรรมการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (ยงยุทธ, 2552) จึงส่งผลให้ปริมาณโฟแทสเชียมในพืชที่อยู่ภายใต้สภาวะ HTC มีปริมาณมากที่สุด

พืชที่ปลูกในดินทั้ง 3 ชนิด คือ ดินธรรมชาติ ดินใส่ฟาง และดินใส่ฟางเผา มีปริมาณโฟแทสเชียมในพืช แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยในดินใส่ฟางเผา มีค่าเฉลี่ยโฟแทสเชียมในพืชสูงที่สุด คือ 2.083 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือดินใส่ฟางแห้งมีปริมาณโฟแทสเชียมใน

พืช 1.932 เปอร์เซ็นต์ และดินใส่ฟางเผามีปริมาณโพแทสเซียมในพืชน้อยที่สุดคือ 1.423 เปอร์เซ็นต์ โดยในดินใส่ฟางแห้งสับและดินธรรมชาติมีปริมาณโพแทสเซียมน้อยกว่าดินใส่ฟางเผาพืชจึงดูดโพแทสเซียมไปใช้และเก็บสะสมได้น้อยกว่าดินใส่ฟางเผา เนื่องจากปริมาณโพแทสเซียมในดินใส่ฟางเผาทั้งก่อนปลูกข้าวและหลังปลูกข้าวมีปริมาณสูงที่สุด (ตารางที่ 8) ซึ่งหากในดินมีปริมาณโพแทสเซียมมากพืชจะดูดโพแทสเซียมไปใช้และสะสมได้มาก (ขงยุทธ และคณะ, 2541) โดยธาตุโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารชนิดหนึ่งที่มีความจำเป็นต่อพืชและทำให้พืชมีความอุดมสมบูรณ์โดยในน้ำหนักแห้งของพืช 1 กิโลกรัมจะประกอบไปด้วยโพแทสเซียมมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ (Leigh *et al.*, 1984)

สภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูกที่ควบคุมกับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวมีปฏิสัมพันธ์กับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าว โดยส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในพืชเพิ่มขึ้นแตกต่างกัน โดยข้าวที่เพาะปลูกในสภาวะ C และชนิดดินที่แตกต่างกัน คือข้าวที่เพาะปลูกในดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา มีค่าโพแทสเซียมในพืชเท่ากับ 1.47, 1.93 และ 1.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนข้าวที่เพาะปลูกในสภาวะ HT ใช้ดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา มีค่าโพแทสเซียมในพืชเท่ากับ 1.49, 1.86 และ 2.00 เปอร์เซ็นต์ และข้าวที่เพาะปลูกในสภาวะ HTC มีค่าโพแทสเซียมเท่ากับ 0.13, 0.99 และ 2.27 เปอร์เซ็นต์ ในดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา ตามลำดับ

3.3 ปริมาณคาร์บอนในพืช

ปริมาณคาร์บอนในพืชที่ปลูกในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะ คือ C, HT และ HTC มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยพืชที่ปลูกในสภาวะ HTC มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 37.87 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ สภาวะ C ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 36.72 เปอร์เซ็นต์ และพืชที่ปลูกในสภาวะ HT มีค่าเท่ากับ 36.65 เปอร์เซ็นต์ โดยในสภาวะ HTC มีปริมาณคาร์บอนในพืชสูงที่สุดเนื่องจากที่สภาวะ HTC มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าสภาวะปกติ 2 เท่า (700 พีพีเอ็ม) ส่งผลให้เกิดการหมุนเวียนคาร์บอนในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ สังเคราะห์เป็นสารอินทรีย์ คาร์บอนจากบรรยากาศจึงเคลื่อนย้ายเข้าสู่พืช (Robert, 1944) ดังนั้นข้าวที่ปลูกในสภาวะ HTC จึงมีปริมาณคาร์บอนสูงที่สุด ส่วนที่สภาวะ C และ HT มีปริมาณคาร์บอนในพืชน้อยกว่า HTC เนื่องจากในสภาวะที่ควบคุมมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่า นอกจากนั้นปริมาณคาร์บอนในดินที่ใช้ปลูกข้าวยังมีปริมาณคาร์บอนน้อยกว่าสภาวะ HTC ส่งผลให้ข้าวมีการสะสมคาร์บอนในพืชน้อย

ชนิดดินที่ใช้เพาะปลูกทั้ง 3 ชนิด คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟาง และดินใส่ฟางเผา มีผลทำให้ปริมาณคาร์บอนในพืชแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยพืชที่ปลูกในดินธรรมดามีปริมาณคาร์บอนในพืชสูงที่สุดเท่ากับ 38.35 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีปริมาณคาร์บอนในพืช 36.85 เปอร์เซ็นต์ และ 36.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยข้าวที่เพาะปลูกในดินธรรมดามีปริมาณคาร์บอนในพืชสูงที่สุดเนื่องจากการเจริญเติบโตมากที่สุด จึงมีการดูดธาตุอาหารจากดินไปใช้ในการเจริญเติบโตและส่งผลให้มีปริมาณคาร์บอนในพืชมากที่สุด นอกจากนั้นคาร์บอนในพืชยังมาจากการหมุนเวียนของคาร์บอนในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจซึ่งเริ่มจากพืชตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมาสังเคราะห์เป็นสารอินทรีย์ คาร์บอนจากบรรยากาศจึงเคลื่อนย้ายเข้าสู่พืช (สุบัตินิต, 2549)

สภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูกที่ควบคุมกับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน โดยในสภาวะปกติข้าวที่เพาะปลูกในดินที่ใช้ปลูกข้าวที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณคาร์บอนในพืชลดลงแต่เมื่อมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมทั้ง 3 สภาวะคือ C, HT และ HTC พบว่าปริมาณคาร์บอนในพืชเพิ่มสูงขึ้นโดยข้าวที่อยู่ภายใต้สภาวะ C และเพาะปลูกในดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผาปริมาณคาร์บอนในพืชที่เท่ากับ 37.83, 36.21 และ 36.12 เปอร์เซ็นต์ข้าวที่อยู่ภายใต้สภาวะ HT และเพาะปลูกในดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีปริมาณคาร์บอนในพืชที่เท่ากับ 38.79, 36.19 และ 34.97 เปอร์เซ็นต์ และข้าวที่อยู่ภายใต้สภาวะ HTC และเพาะปลูกในดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีปริมาณคาร์บอนในพืชที่เท่ากับ 38.42, 38.17 และ 37.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3.4 ไนโตรเจนในพืช

ปริมาณค่าเฉลี่ยไนโตรเจนในพืชที่ปลูกในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะ คือ สภาวะ C สภาวะ HT และสภาวะ HTC มีปริมาณค่าเฉลี่ยไนโตรเจนในพืชมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ซึ่งข้าวที่ปลูกในสภาวะ HTC มีปริมาณไนโตรเจนในพืชสูงที่สุดเท่ากับ 1.27 เปอร์เซ็นต์ โดยไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้อยู่ในรูป แอมโมเนียมไอออนและไนเตรต ซึ่งจะมิอยู่ในดินในปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อพืชดูดแอมโมเนียมเข้าไปในพืชแล้ว พืชจะใช้คาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการสังเคราะห์แสงในการสังเคราะห์แอมโมเนียมเป็นกรดอะมิโนโดยจะต้องใช้คาร์โบไฮเดรตทันทีเมื่อพืชดูดแอมโมเนียมเข้าไปมาก เพื่อลดการสะสมแอมโมเนียมในเซลล์ที่อาจจะเป็นพิษต่อพืชได้ (ขงยุทธ, 2552) รองลงมาคือสภาวะ HT มีปริมาณไนโตรเจนในพืชเท่ากับ 0.91 เปอร์เซ็นต์ และสภาวะ C มีปริมาณไนโตรเจนในพืช 0.76 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่มี

ความสำคัญต่อพืชในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของใบและลำต้นและเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของโปรตีนและกรดนิวคลีอิกโดยทั่วไปในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ 16 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ถ้าพืชขาดไนโตรเจนจะมีลักษณะแคระแกร็น มีลำต้นพอม กิ่งก้านลีบเล็ก โตช้าและใบมีสีเหลือง (สุบรรณิต, 2549)

ชนิดดินที่ใช้ในการปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิด คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟาง และดินใส่ฟางเผา มีปริมาณไนโตรเจนในพืชแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยข้าวที่ปลูกในดินธรรมดามีปริมาณไนโตรเจนน้อยที่สุดเท่ากับ 0.76 เปอร์เซ็นต์ ดินใส่ฟางแห้งสับ 0.81 เปอร์เซ็นต์ และดินใส่ฟางเผามีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุดเท่ากับ 0.99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยดินทั้ง 2 ชนิดมีการเติมอินทรีย์วัตถุลงในดินจึงส่งผลให้เกิดการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินซึ่งปัจจัยที่ช่วยในการย่อยสลายตัวของซากพืช คือ อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน ซึ่งค่าที่เหมาะสมจะอยู่ในอัตราส่วน 10:1 หากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงหรือต่ำกว่านี้ จะมีการดูดเอาไนโตรเจนจากดินมาใช้แทนส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชลดลง พืชจึงนำไนโตรเจนไปใช้และเก็บสะสมไว้ในพืชลดลง (บุญแสน, 2555) นอกจากนี้ในช่วงระหว่างที่ข้าวมีการเจริญเติบโตฟางข้าวที่มีการใส่ลงไปในดินมีการย่อยสลายช้าเนื่องจากฟางข้าวต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายหมดจึงมีธาตุไนโตรเจนที่ยังเหลืออยู่ในฟางข้าวที่ยังไม่มีการย่อยสลาย (Kaewpradit *et al.*, 2008) พืชที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางแห้งและดินใส่ฟางเผาจึงมีปริมาณไนโตรเจนในพืชน้อยกว่าดินธรรมดา

สภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูกที่ควบคุมกับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวมีปฏิสัมพันธ์กันโดยส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนในพืชลดลง โดยในสภาวะ C ข้าวที่เพาะปลูกในดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผามีค่าไนโตรเจนในพืชเท่ากับ 0.76, 0.83 และ 0.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สภาวะ HT ข้าวที่เพาะปลูกในดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผามีค่าไนโตรเจนในพืชเท่ากับ 1.0, 0.89 และ 0.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสภาวะ HTC ข้าวที่เพาะปลูกในดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผามีค่าไนโตรเจนในพืชเท่ากับ 1.61, 1.26 และ 0.95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3.5 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในพืช

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในข้าวที่ปลูกในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะทั้ง 3 สภาวะ คือ C, HT และ HTC มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในพืชแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) สภาวะ C ซึ่งมีค่าเท่ากับ 49.08 เปอร์เซ็นต์รองลงมาคือข้าวที่

ปลูกในสภาวะ HT 41.51 เปอร์เซ็นต์ และสภาวะ HTC 30.77 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดินที่ใช้เพาะปลูกข้าวในสภาวะต่าง ๆ พบว่าในสภาวะ HT มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงที่สุด รองลงมาคือ สภาวะ C และสภาวะ HTC โดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในพืชที่เพาะปลูกภายใต้สภาวะ C มีค่าสูงที่สุด เนื่องมาจากที่สภาวะ HT และ HTC ข้าวมีการชะงักการเจริญเติบโต และมีผลผลิตลดลงโดยมีผลมาจากอุณหภูมิและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นพืชจึงไม่มีการดูดธาตุอาหารไปใช้จึงมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในพืชน้อยกว่าที่สภาวะ C โดยเมื่อค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าที่เหมาะสมจะส่งเสริมให้พืชเจริญเติบโตได้ดี ออกดอกง่าย ผลอ่อนร่วงน้อย โตเร็วและผลแก่มีคุณภาพ (บุญแสน, 2555)

ชนิดดินที่ใช้ในการเพาะปลูกทั้ง 3 ชนิด คือ ธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา มีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยพืชที่ปลูกในดินที่ใส่ฟางเผา มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงที่สุดเท่ากับ 45.09 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือดินใส่ฟางแห้งสับมีค่าเท่ากับเท่ากับร้อยละ 38.26 เปอร์เซ็นต์และดินธรรมดามีค่าน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 38.01 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งชนิดดินที่ใช้ในการปลูกข้าว ดินที่ใส่ฟางเผา มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงที่สุด รองลงมาคือดินใส่ฟางแห้งสับและดินธรรมดาโดยมีค่าอยู่ในระดับที่มีประโยชน์ต่อพืช ซึ่งมีค่าประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์ (สุนทรี, 2529) จึงส่งผลให้พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในพืชที่ปลูกในดินใส่ฟางเผาจึงมีค่าสูงที่สุด โดยการใส่ฟางแห้งและการใส่ฟางเผาในดินจะเป็นการเพิ่มค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดิน ซึ่งจากงานวิจัยของ Maninder *et al.*, (2009) พบว่าการเพาะปลูกข้าวที่มีการใส่ฟางข้าวสาลีและปุ๋ยที่มีฟางข้าวเป็นองค์ประกอบส่งผลให้มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดินได้มากถึง 97.5 และ 23.5 ตามลำดับ

สภาวะแวดล้อมที่ควบคุมทั้ง 3 สภาวะ คือ สภาวะ C, HT และ HTC ไม่มีปฏิสัมพันธ์กับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าว คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา ที่มีผลทำให้ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนแตกต่างกัน โดยในสภาวะ C ข้าวที่เพาะปลูกในดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา มีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนในพืชเท่ากับ 50.33, 43.68 และ 53.22 เปอร์เซ็นต์ สภาวะ HT ข้าวที่เพาะปลูกในดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา มีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนในพืชเท่ากับ 40.56, 40.59 และ 43.39 เปอร์เซ็นต์ และที่สภาวะ HTC ข้าวที่เพาะปลูกในดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา มีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนในพืชเท่ากับ 23.14, 30.51 และ 38.67 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ปริมาณธาตุอาหารในพืชภายใต้สภาวะแวดล้อมและชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวที่แตกต่างกัน

		Phosphorus	Potassium	Total C	Total N	C/N ratio
	Treatment	(mg K/kg)	(mg K/kg)			
Environment	C	0.14b	1.79a	36.72b	0.76c	49.08a
	HT	0.21a	1.78a	36.65b	0.90b	41.51b
	HTC	0.10c	1.85a	37.87a	1.27a	30.77c
Soil	BS	0.16a	1.42b	38.35a	1.12a	38.01b
	SW	0.15a	1.93c	36.85b	0.99b	38.26b
	SWA	0.14a	2.08a	36.04b	0.81c	45.09a
F-test	Envi	**	ns	*	**	**
	Soil	ns	**	**	**	**
	Envi×Soil	*	*	ns	*	ns
%CV		59.6	28.50	29.23	11.75	22.52

หมายเหตุ

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

Envi สภาวะแวดล้อมที่ควบคุม

C สภาวะอากาศปกติ

HT สภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียส

HTC สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียสร่วมกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น 700 พีพีเอ็ม

BS ดินธรรมดาที่ไม่มีการใส่ฟางแห้งสับและฟางเผา

SW ดินใส่ฟางแห้งสับ

SWA ดินใส่ฟางเผา

4. คุณสมบัติของดิน

4.1 ค่าปฏิกิริยาดิน (pH)

จากการศึกษาค่าปฏิกิริยาดินพบว่าดินที่เพาะปลูกข้าวภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ต่างกันทั้ง 3 สภาวะ คือ C, HT และ HTC ทำให้ค่าปฏิกิริยาดินมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยในสภาวะ C มีค่าเฉลี่ยปฏิกิริยาดินสูงที่สุดเท่ากับ 7.54 รองลงมาคือสภาวะ HT มีค่าเท่ากับ 7.53 และสภาวะ HTC มีค่าเท่ากับ 7.14 เนื่องจากที่สภาวะ HTC มีการควบคุมสภาวะอากาศให้มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น คาร์บอนไดออกไซด์จึงมีการรวมตัวกับน้ำในดินกลายเป็นกรดคาร์บอนิกจึงส่งผลทำให้ค่าปฏิกิริยาดินของดินลดลง (บุญแสน, 2555)

ดินที่ใช้ในการเพาะปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิด คือดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา มีผลทำให้ค่าปฏิกิริยาดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยดินธรรมดามีค่าปฏิกิริยาดินสูงที่สุดเท่ากับ 7.43 รองลงมาคือดินใส่ฟางเผามีค่าเท่ากับ 7.41 ส่วนดินใส่ฟางแห้งสับมีค่าปฏิกิริยาดินน้อยที่สุดเท่ากับ 7.37 โดยเมื่อมีการเติมฟางข้าวสับและฟางข้าวเผาซึ่งเป็นอินทรีย์วัตถุชนิดหนึ่งลงในดิน และเมื่อเกิดกระบวนการผุพังเน่าเปื่อยของอินทรีย์วัตถุส่งผลให้เกิดกรดไนตริกและกรดซัลฟิวริก ค่าปฏิกิริยาดินในดินจึงลดลง (บุญแสน, 2555)

สภาวะแวดล้อมที่ควบคุมทั้ง 3 สภาวะมีปฏิสัมพันธ์กับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิด โดยพบว่าสภาวะแวดล้อมที่ต่างกันกับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวมีผลทำให้ค่าปฏิกิริยาดินแตกต่างกัน โดยในสภาวะ C ดินที่ใช้ในการเพาะปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิดมีค่าปฏิกิริยาดินเท่ากับ 7.54, 7.52 และ 7.57 สภาวะ HT ดินที่ใช้ปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิดคือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางเผามีค่าปฏิกิริยาดินเท่ากับ 7.56, 7.49 และ 7.56 สภาวะ HTC ดินที่ใช้ปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิดคือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางเผามีค่าปฏิกิริยาดินเท่ากับ 7.21, 7.11 และ 7.11 ตามลำดับ

4.2. ความหนาแน่นดิน

จากการศึกษาค่าความหนาแน่นดินพบว่า ค่าความหนาแน่นดินธรรมดาที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมแตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะ คือ C, HT และ HTC มีค่าความหนาแน่นดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยในสภาวะ HTC มีค่าความหนาแน่นดินมากที่สุดคือ 1.40 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร รองลงมาคือสภาวะ HT มีค่าความหนาแน่นดินเท่ากับ 1.08 กรัมต่อลูกบาศก์

เซนติเมตร และที่สภาวะ C ค่าความหนาแน่นดินน้อยที่สุดเท่ากับ 0.98 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยดินที่มีค่าความหนาแน่นดินเท่ากับ 1.0-1.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดินจะมีลักษณะหยาบ(บุญแสน, 2555)

ชนิดดินที่ใช้เพาะปลูกทั้ง 3 ชนิด คือดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา มีค่าความหนาแน่นดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยในดินที่ใส่ฟางแห้งสับมีค่าความหนาแน่นดินมากที่สุดเท่ากับ 1.31 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร รองลงมาคือดินธรรมดามีค่าความหนาแน่นดินเท่ากับ 1.15 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยดินที่มีค่าความหนาแน่นดินเท่ากับ 1.0-1.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดินมีลักษณะละเอียด ซึ่งดินที่มีการใส่ฟางแห้งสับเมื่อเกิดการย่อยสลายแล้วจะส่งผลให้ดินมีความร่วนซุย และดินใส่ฟางเผาซึ่งมีค่าความหนาแน่นดินน้อยที่สุดเท่ากับ 0.926 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดินมีลักษณะโปร่ง พูน อัตราการแทรกซึมสูงและขังน้ำได้ไม่นาน (บุญแสน, 2555) ซึ่งจากการทดลองของ Sanjay *et al.*, (2009) พบว่าดินที่มีการเพาะปลูกข้าวและธัญพืชที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมรวมกับการใส่ฟางข้าวที่ระดับ 0.30 เซนติเมตร จะมีค่าความหนาแน่นดินประมาณ 1.18-1.37 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

สภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูกที่ควบคุมกับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวมีปฏิสัมพันธ์กับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวในการทำให้ค่าความหนาแน่นดินลดลง ซึ่งดินที่ใช้เพาะปลูกข้าวภายใต้สภาวะ C โดยใช้ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีค่าความหนาแน่นดินเท่ากับ 1.12, 0.89 และ 0.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนที่สภาวะ HT ใช้ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีค่าความหนาแน่นดินเท่ากับ 1.13, 1.00 และ 0.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่สภาวะ HTC ใช้ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีค่าความหนาแน่นดินเท่ากับ 1.19, 2.04 และ 0.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ

4.3 ความชื้นในดินโดยน้ำหนักแห้ง

จากการศึกษาค่าเฉลี่ยความชื้นของดินที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมแตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะคือ C, HT และ HTC มีค่าความชื้นของดินไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยสภาวะปกติมีค่าความชื้นในดินเท่ากับ 0.16 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียสมีค่าเท่ากับ 0.13 เปอร์เซ็นต์ และสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียสร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น 700 พีพีเอ็ม มีค่าความชื้นในดินเท่ากับ 0.14 เปอร์เซ็นต์

ชนิดของดินที่ใช้เพาะปลูกทั้ง 3 ชนิด คือดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา มีค่าเฉลี่ยความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยในดินธรรมดามีค่าเท่ากับ 0.13 เปอร์เซ็นต์ ดินใส่ฟางแห้งสับมีค่าเท่ากับ 0.13 เปอร์เซ็นต์ และดินใส่ฟางเผามีค่าเท่ากับ 0.16 เปอร์เซ็นต์

สภาวะแวดล้อมที่ควบคุมทั้ง 3 สภาวะ คือสภาวะ C, HT และ HTC ไม่มีปฏิสัมพันธ์กับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิด กล่าวคือสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันกับชนิดดินที่ใช้เพาะปลูกไม่มีผลร่วมกันในการทำให้ค่าเฉลี่ยความชื้นในดินมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยที่สภาวะ C ชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าว คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผามีค่าความชื้นในดินเท่ากับ 0.16, 0.11 และ 0.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่สภาวะ HT ชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าว คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผามีค่าความชื้นในดินเท่ากับ 0.12, 0.11 และ 0.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับและที่สภาวะ HTC ชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าว คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผามีค่าความชื้นในดินเท่ากับ 0.18, 0.17 และ 0.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4.4 ปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดิน

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะ คือ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยสภาวะ HT มีค่าเฉลี่ยอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดเท่ากับ 2.24 ซึ่งปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่อยู่ในสภาวะ C มีค่าเท่ากับ 2.05 และที่สภาวะ HTC มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.36 ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มสูงขึ้น อุณหภูมิดินสูงขึ้น จึงเร่งให้เกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์ โดยช่วงที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์อยู่ในช่วงประมาณ 25-35 องศาเซลเซียส (ยงยุทธ และคณะ, 2541) และอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการย่อยสลายฟางข้าวอยู่ในช่วง 37-39 องศาเซลเซียส (บุญแสน, 2555) จึงส่งผลให้ดินที่อยู่ในสภาวะ HT มีค่าอินทรีย์วัตถุมากที่สุด

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจากการศึกษาพบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินในสภาวะแวดล้อมทั้ง 3 สภาวะ คือ C, HT และ HTC มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยในสภาวะ HT มีค่าเฉลี่ยอินทรีย์คาร์บอนในดินสูงที่สุดคือ 1.30 รองลงมาคือสภาวะ C มีค่าเฉลี่ยอินทรีย์คาร์บอนในดิน 1.19 และสภาวะ HTC มีค่าอินทรีย์คาร์บอนในดินน้อยที่สุดเท่ากับ 0.78 เนื่องจากที่สภาวะ HT มีอุณหภูมิสูงเหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์และย่อยสลายฟางข้าวซึ่งอยู่ในช่วง 37-39 องศาเซลเซียส (บุญแสน, 2555) ส่งผลให้จุลินทรีย์ย่อยสลายฟางข้าวได้ดีขึ้นและในสิ่งมีชีวิตมี

คาร์บอนเป็นองค์ประกอบซึ่งเมื่อย่อยสลายแล้วจะถูกถ่ายทอกลงสู่ดินในรูปอินทรีย์คาร์บอน (Sanjay *et al.*, 2009)

ชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิด คือดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา มีค่าเฉลี่ยอินทรีย์วัตถุแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ซึ่งในดินใส่ฟางเผามีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 2.45 รองลงมาคือดินใส่ฟางแห้งสับมีค่าอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 1.80 ส่วนในดินธรรมดามีค่าอินทรีย์วัตถุน้อยที่สุดเท่ากับ 1.40 เนื่องจากการเติมฟางแห้งสับและฟางเผาลงในดินจึงมีปริมาณอินทรีย์วัตถุน้อยกว่าดินที่ใส่ฟางเผาและฟางแห้งสับ ดินธรรมดาจึงมีปริมาณอินทรีย์วัตถุน้อย โดยฟางแห้งและฟางเผาเป็นสารอินทรีย์ชนิดหนึ่งซึ่งเมื่อย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดินกลายเป็นอินทรีย์วัตถุ ซึ่งจุลินทรีย์ในดินใช้เวลาในการย่อยสลายองค์ประกอบของพืชและสัตว์ได้ไม่เท่ากัน สารประกอบใดที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อน (มีแรงยึดเหนี่ยวมาก) จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ช้าหรือไม่สามารถย่อยสลายได้ ส่วนสารประกอบใดที่มีโครงสร้างไม่สลับซับซ้อน (มีแรงยึดเหนี่ยวน้อย) ก็จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายได้เร็ว (บุญแสน, 2555)

ชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิด คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา มีค่าเฉลี่ยอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยในดินใส่ฟางเผามีค่าเฉลี่ยอินทรีย์คาร์บอนสูงที่สุดเท่ากับ 1.42 รองลงมาคือดินใส่ฟางแห้งสับ 1.04 และดินธรรมดามีค่าอินทรีย์คาร์บอนน้อยที่สุดเท่ากับ 0.81 เนื่องจากดินธรรมดาไม่มีการใส่ฟางแห้งสับและฟางเผาซึ่งโดยทั่วไป พืชจะมีการคาร์บอนเป็นองค์ประกอบซึ่งจะมาจากการสังเคราะห์แสงของพืช ดังนั้นเมื่อพืชตายและถูกย่อยสลาย คาร์บอนในพืชจะถูกถ่ายทอกลงสู่ดิน (สุบัญญัติ, 2549) ในรูปของอินทรีย์คาร์บอน (Sanjay *et al.*, 2000) ดินที่ใส่ฟางแห้งสับและฟางเผาจึงมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าดินธรรมดา นอกจากนั้นปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินจะมีปริมาณลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพพื้นที่เนื่องจากการทำการเกษตร (Ellert and Gregorich, 1996; Mikhailova *et al.*, 2000) ซึ่งจากการทดลองของ Sanjay *et al.*, (2009) พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักและฟางข้าวลงในดินสามารถเพิ่มคาร์บอนในดินได้ถึง 71-76 เปอร์เซ็นต์

สภาวะแวดล้อมที่ควบคุมทั้ง 3 สภาวะคือ สภาวะ C, HT และ HTC มีปฏิสัมพันธ์กับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิด โดยพบว่าดินที่ใช้เพาะปลูกข้าวในสภาวะ C ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา มีปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 1.54, 2.07 และ 2.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สภาวะ HT ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา มีปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 1.58, 2.56

และ 2.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สภาวะ HTC ดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา มีปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 1.10, 0.77 และ 2.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สภาวะแวดล้อมที่ควบคุมกับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวมีปฏิสัมพันธ์กับสภาวะต่าง ๆ ที่ควบคุมซึ่งส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน โดยในสภาวะ C ดินที่ใช้เพาะปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิดคือ ดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินเท่ากับ 0.89, 1.20 และ 1.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับที่สภาวะ HT ดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินเท่ากับ 0.90, 1.48 และ 1.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับและที่สภาวะ HTC ดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินเท่ากับ 0.64, 0.45 และ 1.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4.5 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

จากการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในดินพบว่าที่สภาวะแวดล้อมต่างกันทั้ง 3 สภาวะ คือ C, HT และ HTC มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่อยู่ในสภาวะ HT มีค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสในดินสูงที่สุดคือ 59.43 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ สภาวะ C มีค่าเท่ากับ 55.12 เปอร์เซ็นต์ และสภาวะ HTC มีค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสในดินน้อยที่สุดคือ 37.235 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10) เนื่องจาก ฟอสฟอรัสจำพวกอินทรีย์ฟอสเฟตจะมีมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ ซึ่งในสภาวะ HT มีค่าอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดจึงมีค่าอินทรีย์ฟอสเฟตสูงที่สุด โดยพืชสามารถดูดฟอสเฟตไอออนได้ดีเพียง 2 รูปคือ P_2PO_4 และ HPO_4^{2-} เมื่อพืชดูดเข้าไปในเนื้อเยื่อแล้วจะไม่ผ่านกระบวนการรีดักชันเพื่อเปลี่ยนรูปแต่คงอยู่ในรูปสารอินทรีย์ฟอสเฟสและองค์ประกอบในสารอินทรีย์ เมื่อซากเหล่านี้ถูกย่อยสลายเป็นอินทรีย์วัตถุจึงมีสารฟอสเฟสอยู่ด้วย (ยงยุทธ, 2552) จึงพบว่าในสภาวะ HT จึงมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุด

ชนิดดินทั้ง 3 ชนิด คือ ดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีปริมาณฟอสฟอรัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ซึ่งในดินที่ใส่ฟางเผามีปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 59.65 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือดินใส่ฟางแห้งมีปริมาณฟอสฟอรัส 48.13 เปอร์เซ็นต์ และดินธรรมชาติ 44.01 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10)ซึ่งในฟางข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี ปริมาณ 1 ตันเมื่อมีการย่อยสลายจะมีธาตุฟอสฟอรัสประมาณ 1.1 กิโลกรัม (นิตยา และคณะ, 2549) ดินที่มีการใส่ฟางเผาและฟางแห้งสับจึงมีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่าดินธรรมชาติที่ไม่มีการใส่ฟาง

สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันมีปฏิสัมพันธ์กับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวโดยส่งผลให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสแตกต่างกัน ซึ่งในสภาวะ C ดินที่ใช้ในการเพาะปลูกข้าว เมื่อมีการใส่ฟางแห้งสับ และฟางเผาส่งผลให้ดินมีค่าฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับในสภาวะ HT และสภาวะ HTC โดยในสภาวะ C โดยใช้ดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา มีปริมาณฟอสฟอรัสในดินเท่ากับ 0.66, 120.35 และ 274.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในสภาวะ HT โดยใช้ดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา มีปริมาณฟอสฟอรัสในดินเท่ากับ 76.64, 133.53 และ 306.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่สภาวะ HTC โดยดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผา มีปริมาณฟอสฟอรัสในดินเท่ากับ 95.56, 46.12 และ 37.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4.6 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

ปริมาณโพแทสเซียมในดินที่อยู่สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะ คือ C, HT และ HTC มีปริมาณโพแทสเซียมที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ในดินที่เพาะปลูกข้าวที่อยู่ในสภาวะ HT มีปริมาณโพแทสเซียมในดินมากที่สุดเท่ากับ 172.07 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือสภาวะ C 153.86 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10) และสภาวะ HTC มีปริมาณโพแทสเซียมในดินน้อยที่สุดคือ 59.84 เปอร์เซ็นต์ เพราะสภาวะ HTC มีจำนวนกอและจำนวนรวงสูงที่สุด โดยพืชมีการดูดและสะสมไว้เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตนอกจากนั้นปริมาณโพแทสเซียมในดินที่ใช้เพาะปลูกข้าวในสภาวะ HTC มีค่าโพแทสเซียมในดินน้อยที่สุดดังนั้นจึงส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมในพืชมีมาก โดยธาตุโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารพืชชนิดหนึ่งที่มีความจำเป็นสำหรับพืชและเก็บสะสมไว้ในลำต้นจำนวนมากโดยผ่านการแพร่กระจายจากรากไปสู่เซลล์โดยมี Membrane เป็นตัวกลางในการลำเลียงโพแทสเซียมเข้าสู่พืช (Makus Gierth and Pasal Maser, 2007)

ชนิดดินทั้ง 3 ชนิด คือ ดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีค่าเฉลี่ยปริมาณโพแทสเซียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยในดินใส่ฟางเผามีค่าปริมาณโพแทสเซียมสูงที่สุดเท่ากับ 206.18 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือดินใส่ฟางแห้งสับ 100 มิลลิกรัม โพแทสเซียมต่อกิโลกรัม และดินธรรมชาติ 79.59 เปอร์เซ็นต์ โดยการสลายตัวของฟางข้าวจะส่งเสริมสภาพ Reduction ส่งผลให้ Fe^{++} และ Mn^{++} ในดินเพิ่มขึ้นและไปแทนที่โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ออกมาในดิน (Ponnamperuma, 1984)

ชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวมีปฏิสัมพันธ์กับสภาวะแวดล้อมที่ใช้ปลูกข้าวที่ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมในดินแตกต่างกัน โดยดินที่ใช้เพาะปลูกข้าว คือ ดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับ และดิน

ใส่ฟางเผา ที่อยู่ภายใต้สภาวะ C, HT และ HTC ส่งผลให้ค่าโพแทสเซียมในดินมีค่าลดลง ซึ่งดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผาที่อยู่ภายใต้สภาวะ C ดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผามีค่าโพแทสเซียมในดินเท่ากับ 47.73, 53.52 และ 64.12 มิลลิกรัมโพแทสเซียมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ที่สภาวะ HT ดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผามีค่าโพแทสเซียมในดินเท่ากับ 47.56, 54.31 และ 76.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่สภาวะ HTC ดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผามีค่าโพแทสเซียมในดินเท่ากับ 36.73, 36.55 และ 38.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4.7 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดิน

จากการศึกษาพบว่าปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะ คือ C, HT และ HTC มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยดินที่อยู่ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียสร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น 700 พีพีเอ็ม มีปริมาณคาร์บอนสูงที่สุดเท่ากับ 2.44 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือสภาวะแวดล้อมที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียสมีค่าเท่ากับ 1.43 เปอร์เซ็นต์ และสภาวะปกติซึ่งมีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 1.38 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10) โดยคาร์บอนในดินจะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศสามารถเข้าสู่ระบบนิเวศและในดินได้โดยการสังเคราะห์แสงที่ใบพืชและถูกสะสมอยู่ในลำต้น ใบ และราก โดยรากพืชจะมีผลต่อการเคลื่อนย้ายคาร์บอนจากบรรยากาศสู่ดิน (อรรถชัย, 2547)

ดินทั้ง 3 ชนิดที่ใช้เพาะปลูก คือ ดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยในดินใส่ฟางเผามีปริมาณคาร์บอนสูงที่สุดเท่ากับ 2.47 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือดินใส่ฟางแห้งสับซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.56 เปอร์เซ็นต์ และ ดินธรรมชาติซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.21 เปอร์เซ็นต์ โดยในพืชทุกชนิดมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบซึ่งอยู่ในรูปของสารอินทรีย์เมื่อพืชตายและถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ คาร์บอนจึงถูกถ่ายทอดลงสู่ดินในรูปของอินทรีย์คาร์บอน (สุบัตินิต, 2549) นอกจากนั้นการใส่ฟางแห้งสับและฟางเผาเป็นการเพิ่มคาร์บอนให้แก่ดินเนื่องจากในฟางข้าวมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 23-27 เปอร์เซ็นต์ เมื่อฟางถูกเผาด้วยความร้อนคาร์บอนในพืชบางส่วนถูกเผาไหม้และส่วนที่เหลืออยู่เป็น Biochar ซึ่งสามารถส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้น ช่วยบำรุงดิน และยังช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดิน (เครือมาศ, 2554)

สภาวะแวดล้อมที่ควบคุมให้แตกต่างกันมีปฏิสัมพันธ์กับชนิดดินในการทำให้อัตราการปล่อยคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้น โดยในสภาวะ C ชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าว คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนเท่ากับ 0.97, 1.16 และ 2.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สภาวะ HT ชนิดดินที่ใช้เพาะปลูกข้าว คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนเท่ากับ 0.97, 1.32 และ 1.99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่สภาวะ HTC ชนิดดินที่ใช้เพาะปลูกข้าว คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนเท่ากับ 1.69, 2.21 และ 3.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4.8 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

ปริมาณค่าเฉลี่ยไนโตรเจนในดินในสภาวะแวดล้อมการเพาะปลูกที่แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะ คือ C, HT และ HTC มีปริมาณค่าเฉลี่ยไนโตรเจนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยในสภาวะ HTC มีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.19 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ สภาวะ HT มีค่าปริมาณไนโตรเจนในดินเท่ากับ 0.10 เปอร์เซ็นต์ และที่สภาวะ C มีค่าปริมาณไนโตรเจนในดินน้อยที่สุดเท่ากับ 0.09 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในสภาวะ HTC มีการควบคุมความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิให้สูงขึ้น ข้าวจึงมีการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นเพื่อสร้างอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโต (Mustsue *et al.*, 1995) เมื่อพืชมีการเจริญเติบโตมากขึ้นจึงมีความต้องการธาตุไนโตรเจนสูงขึ้นพืชจึงดูดธาตุไนโตรเจนจากดินไปใช้และเก็บสะสมไว้ในพืชสูงขึ้น (ยงยุทธ, 2552)

ชนิดดินทั้ง 3 ชนิด คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผาในสภาวะปกติมีปริมาณค่าเฉลี่ยไนโตรเจนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยดินใส่ฟางแห้งสับมีปริมาณค่าเฉลี่ยไนโตรเจนในดินสูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.15 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือดินใส่ฟางเผาซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.14 เปอร์เซ็นต์ และดินธรรมดาซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.10 เปอร์เซ็นต์ โดยในฟางข้าวพันธุ์สุพรรณบุรีปริมาณ 1 ตันมีปริมาณธาตุไนโตรเจนประมาณ 5.4 กิโลกรัม (นิตยาและคณะ, 2549) และจากการทดลองของ Kaewpradit *et al.* (2009) พบว่าปริมาณไนโตรเจนในดินที่มีการใส่ฟางข้าวแล้วภายหลังการเพาะปลูกดินมีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.26 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งการใส่ฟางข้าวในดินจะช่วยควบคุมสมดุลของไนโตรเจนในดินและเพิ่มปริมาณไนโตรเจนให้แก่ดิน (Shindo and Nishio, 2005) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sanjay *et al.* (2009) ซึ่งรายงานว่าการใส่ฟางข้าวลงในดินนาร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี มีปริมาณไนโตรเจนในดินนาข้าวที่ระดับ 0-15 เซนติเมตร ประมาณ 0.70 กรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม

สภาวะแวดล้อมการเพาะปลูกที่แตกต่างกันไม่มีปฏิสัมพันธ์กับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าว กล่าวคือไม่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจนผลให้ปริมาณไนโตรเจนแตกต่างกันซึ่งทำให้ปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มสูงขึ้น โดยในสภาวะ C ชนิดดินที่ใช้เพาะปลูกข้าว คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.08 0.11 และ 0.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่สภาวะ HT ชนิดดินที่ใช้เพาะปลูกข้าว คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.07, 0.10 และ 0.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่สภาวะ HTC ชนิดดินที่ใช้เพาะปลูกข้าว คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.16, 0.20 และ 0.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4.9 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดิน

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดินที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะ คือ C, HT และ HTC มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยสภาวะ HT มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดินสูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 14.22 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือสภาวะ C 12.83 เปอร์เซ็นต์ และสภาวะ HTC มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยที่สุดเท่ากับ 12.75 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10)

ชนิดดินที่ใช้ในการเพาะปลูกทั้ง 3 ชนิด คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผา มีค่าเฉลี่ยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยในดินที่ใส่ฟางเผา มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงที่สุดเท่ากับ 16.84 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือดินใส่ฟางแห้งสับ มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 11.27 เปอร์เซ็นต์ โดยการใส่ฟางข้าวลงในดินจะส่งผลให้ดินมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงขึ้น (Rao and Mikkelsen, 1976) และดินธรรมดามีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยที่สุดเท่ากับ 11.68 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับ Sanjay *et al.*, (2009) ซึ่งพบว่าดินที่ใส่ปุ๋ยหมักและฟางข้าวมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 11.4 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชจะมีค่าประมาณ 10-12 (สุนทรี, 2529) ซึ่งค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มากกว่า 30 จะส่งผลให้พืชเกิดอาการขาดไนโตรเจนและส่งผลเสียต่อพืช คือ พืชจะออกดอกช้า ผลผลิตแก่ช้าและให้ผลผลิตมีปริมาณลดลง (บุญแสน, 2555)

สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันในการเพาะปลูกมีปฏิสัมพันธ์กับชนิดดินที่ใช้เพาะปลูกข้าวส่งผลให้ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนแตกต่างกัน โดยทำให้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อ

ไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้น โดยในสภาวะ C ดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีค่าเฉลี่ยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดินเท่ากับ 11.28 10.47 และ 16.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่สภาวะ HT ดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีค่าเฉลี่ยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดินเท่ากับ 13.25, 12.22 และ 17.18 เปอร์เซ็นต์ และที่สภาวะ HTC ใช้ดินธรรมชาติ ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีค่าเฉลี่ยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดินเท่ากับ 10.51, 11.12 และ 16.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

5. ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

5.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากการศึกษาผลของการเพิ่มสูงขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกข้าวครั้งนี้พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการปลูกข้าวในสภาวะแวดล้อมการเพาะปลูกที่แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะ คือ สภาวะ C, HT และ HTC มีค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยในสภาวะ HTC มีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดเท่ากับ 904.13 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก รองลงมาคือสภาวะ HT ซึ่งมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 432.13 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก และในสภาวะ C มีค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุดเท่ากับ 221.27 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก โดยค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายวันดังแสดงในภาพที่ 12 ซึ่งในสภาวะ HTC มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่เพิ่มสูง (ภาพที่ 15) ขึ้นกระตุ่นให้เกิดการสังเคราะห์แสงของข้าวถึงจุดสูงสุด ข้าวมีการแตกกอมากและรากข้าวมีการเจริญเติบโตได้ดี ส่งผลให้เกิดการหลั่ง Root exudate มากขึ้น ซึ่ง Root exudate เป็นสารอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่เมื่อถูกหมักและย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แล้วทำให้เกิดก๊าซมีเทน (Cheng *et al.*, 2005) นอกจากนั้นในสภาวะที่อุณหภูมิอากาศเพิ่มสูงขึ้นอุณหภูมิดินจะเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกันจึงส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มาจากดินในนาข้าวในรูปฟองอากาศ (Buble)

ตารางที่ 9 ปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนการเพาะปลูก

Treastment	Total C	Total N	C/N ratio	pH	Soil Carbon		Phosphorus (mg P/kg)	Potassium (mg K/kg)	Bulk density
					OM(%)	OC(%)			
BS	1.5	0.06	23.49	7.06	1.8	1.04	97.71	61.7	1.31
SW	1.63	0.09	19.44	7.18	2.02	1.17	101.21	88.02	1.24
SWA	1.57	0.09	18.75	7.17	1.97	1.14	105.08	98.12	1.32

หมายเหตุ

BS ดินธรรมดาที่ไม่มีการใส่ฟางแห้งสับและฟางเผา

SW ดินใส่ฟางแห้งสับ

SWA ดินใส่ฟางเผา

ตารางที่ 10 ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังการเพาะปลูก

	Treatments	Total C	Total N	C/N ratio	pH	Soil Carbon		Phosphorus (mg P/kg)	Potassium (mg K/kg)	Bulk density	Moisture Content
						OM(%)	OC(%)				
Environmental	C	1.38b	0.10b	12.83b	7.54a	2.05b	1.19b	55.12a	153.86b	0.98b	0.16a
	HT	1.43b	0.09b	14.22a	7.53a	2.24a	1.30a	59.43a	172.07a	1.01a	0.13a
	HTC	2.44a	0.19a	12.75b	7.14b	1.35c	0.78c	37.23b	59.84c	1.39a	0.14a
soil	BS	1.21c	0.10b	11.68b	7.43b	1.40c	0.81c	44.01b	79.59c	1.15b	0.12a
	SW	1.56b	0.14a	11.27b	7.37a	1.80b	1.04b	48.13b	100b	1.31a	0.13a
	SWA	2.47a	0.15a	16.84a	7.14a	2.45a	1.42a	59.65a	206.18a	0.92c	0.14a
F-test	Envi	**	**	**	**	**	**	**	**	*	ns
	Soil	**	**	**	*	**	**	*	**	*	ns
	Envi×Soil	*	ns	ns	*	*	*	*	**	*	ns
	% CV	5.99	17.85	4.65	0.42	22.31	9.59	11.56	4.750	15.78	31.94

หมายเหตุ

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

Envi สภาวะแวดล้อมที่ควบคุม

C สภาวะอากาศปกติ

HT สภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียส

HTC สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียสร่วมกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น 700 พีพีเอ็ม

BS ดินธรรมดาที่ไม่มีการใส่ฟางแห้งสับและฟางเผา

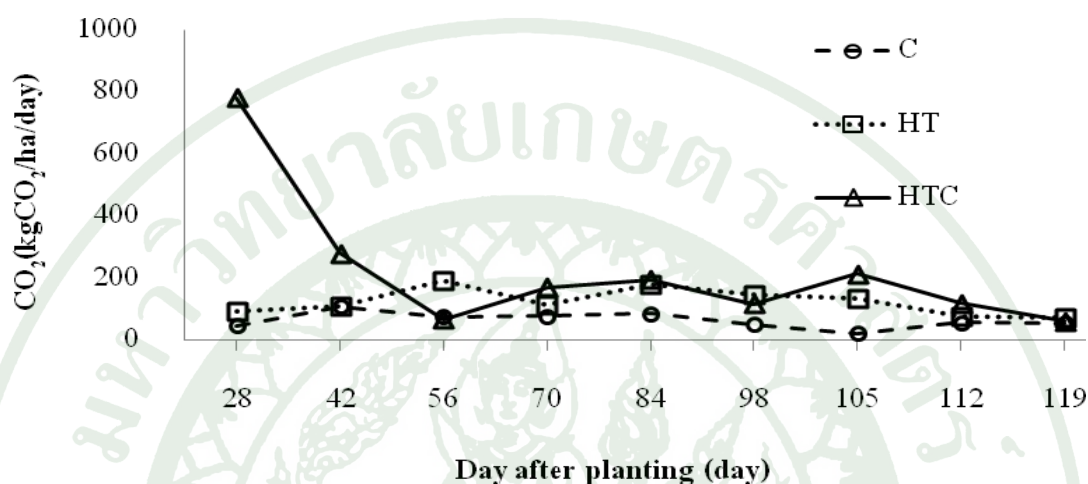
SW ดินใส่ฟางแห้งสับ

SWA ดินใส่ฟางเผา

การปลูกข้าวในดิน 3 ชนิด คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผาพบว่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยในดินใส่ฟางแห้งสับมีค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุด คือ 559.96 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก รองลงมาคือดินใส่ฟางเผา (546.13 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก) ส่วนดินธรรมดาพบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด คือ 451.69 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก (ภาพที่ 11) เนื่องจากการใส่ฟางแห้งสับและฟางเผาเป็นการเติมอินทรีย์วัตถุซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์ส่งผลให้เกิดกิจกรรมการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น (Kludze *et al.*, 1993) นอกจากนั้นดินที่มีการใส่ฟางแห้งสับมีค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุดจึงมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วยเนื่องจากกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินและจากกิจกรรมการผลิตก๊าซมีเทนโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะมีการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย (สุบัตินิต, 2549)

สภาวะแวดล้อมที่ควบคุมกับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวมีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน โดยมีผลทำให้ค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ซึ่งในดินที่ใช้ปลูกข้าวแต่ละชนิดเมื่อมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้แตกต่างกันมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีการเติมฟางแห้งสับและฟางข้าวเผาค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง โดยในสภาวะ C ชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าว คือดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผามีค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 23.17, 22.77 และ 20.00 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก ที่สภาวะ HT ชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าว คือดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และดินใส่ฟางเผามีค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 48.27, 40.73 และ 39.40 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก

แต่ร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก สภาวะ HTC ชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าว คือดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับ และ ดินใส่ฟางเผา มีค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 62.93, 102.79 และ 77.80 กิโลกรัม คาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก (ตารางที่ 11)



ภาพที่ 11 เปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการปลูกข้าวในสภาวะที่แตกต่างกัน โดย C คือ สภาวะอากาศปกติ HT คือ สภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียส และ HTC คือ สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียสรวมกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น 700 พีพีเอ็ม

5.2 ก๊าซมีเทน

จากการศึกษาผลของการเพิ่มสูงขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนพบว่าปริมาณก๊าซมีเทนในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะ คือ C, HT และ HTC มีค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยในสภาวะ HTC มีอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมากที่สุดเท่ากับ 904.13 กิโลกรัม คาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก รองลงมาคือสภาวะ HT ซึ่งมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 432.42 kg กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อการเพาะปลูก และในสภาวะ C มีค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนน้อยที่สุดเท่ากับ 221.27 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อการเพาะปลูก (ภาพที่ 3) เนื่องจากในสภาวะ HTC มีปริมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 5) ทำให้ข้าวมีการสังเคราะห์แสงและเจริญเติบโตได้ดี กระตุ้นให้ต้นข้าวมีการหลั่งสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล ในรูปกรดอินทรีย์ที่ละลายได้ และกรดอะมิโนออกมามาก ซึ่งสารเหล่านี้หลั่งออกมาจากบริเวณ

รากข้าวเรียกว่า root exudates เป็นสารตั้งต้นในการเกิดก๊าซมีเทน (Lindau *et al.*, 1991; Wang *et al.*, 1997; Murakami *et al.*, 1999) นอกจากนั้นการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของดินและปัจจัยทางสภาพแวดล้อม คือ ปริมาณน้ำในนาข้าว อุณหภูมิ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ และวิธีการปรับปรุงดิน เป็นต้น (Parashar *et al.*, 1991; Wang *et al.*, 1997; Minami and Neue, 1994)

ตารางที่ 11 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกข้าวในสภาวะการเพาะปลูกและชนิดดินที่แตกต่างกัน

	Treatment	CO ₂	CH ₄	GWP _s ^a	
		(kg C/ha/crop)	(kg C/ha/crop)	CO ₂	CH ₄
Environmental	C	221.27c	826.43b	221.27	23,139.90
	HT	432.42b	1,305.22a	432.42	36,546.30
	HTC	904.13a	1,362.82a	904.13	38,159.10
soil	BS	451.69a	1,129.87a	451.69	31,636.50
	SW	559.96a	1,252.50a	559.96	35,076.30
	SWA	546.13a	1,111.80a	546.13	31,130.40
F-test	Envi	**	**	-	-
	Soil	ns	ns	-	-
	Envi×Soil	ns	ns	-	-
	% CV	66.97	26.74	-	-

หมายเหตุ

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

a GWP ของ CO₂ และ CH₄ คือ 1 และ 23

Envi สภาวะแวดล้อมที่ควบคุม

C สภาวะอากาศปกติ

HT สภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียส

HTC สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียสร่วมกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น 700 พีพีเอ็ม

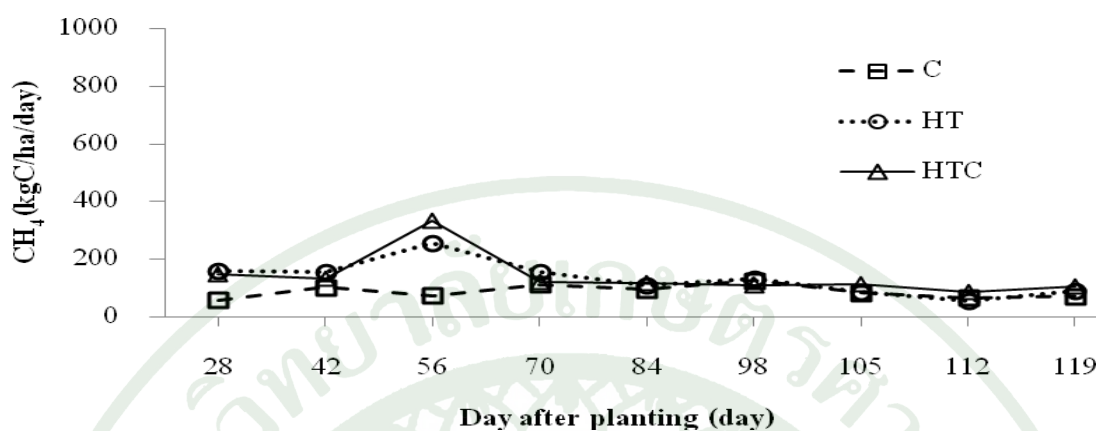
BS ดินธรรมดาที่ไม่มีการใส่ฟางแห้งสับและฟางเผา

SW ดินใส่ฟางแห้งสับ

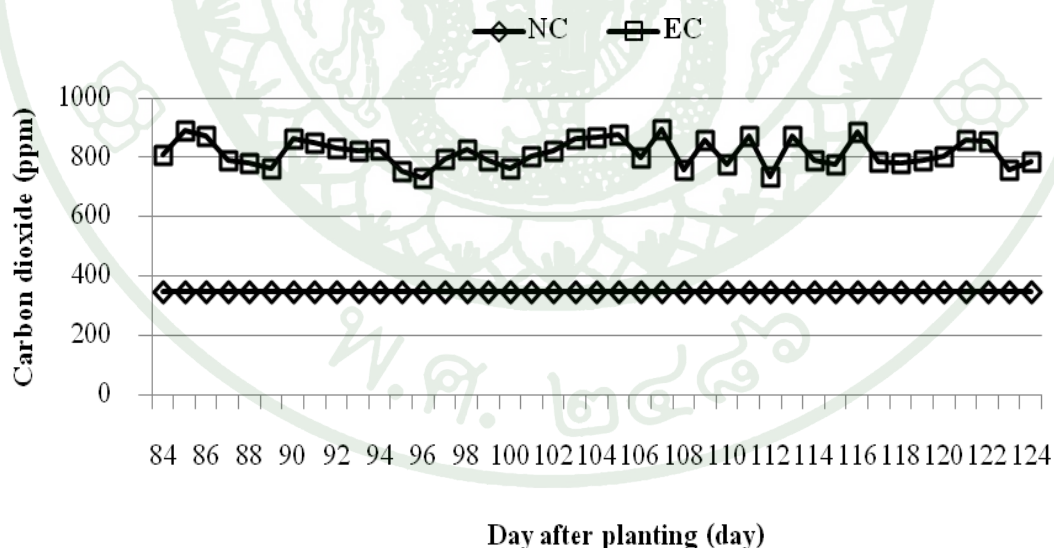
SWA ดินใส่ฟางเผา

ดินที่ใช้ในการเพาะปลูกข้าวทั้ง 3 ชนิด คือ ดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้พบว่าในดินใส่ฟางแห้งสับมีค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุด คือ 1252.50 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ต่อการเพาะปลูก รองลงมาคือดินธรรมดาและดินใส่ฟางเผาซึ่งมีค่าเท่ากับ 1129.87 และ 1111.80 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูกตามลำดับ (ตารางที่ 11) ทั้งนี้เมื่อมีการใส่ฟางข้าวลงในดินจะทำให้ดินมีปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้มีสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น เนื่องจากอินทรีย์วัตถุเป็นอาหารชนิดหนึ่งของจุลินทรีย์ ซึ่งเมื่อถูกย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจนจะส่งผลให้เกิดการผลิตก๊าซมีเทน (Kludze *et al.*, 1993) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mininder *et al.*, (2009) ที่พบว่าดินนาข้าวที่มีการใส่ฟางข้าวสาธิตมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 229.6 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์และดินที่ไม่มีการใส่ฟางมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนน้อยที่สุดเท่ากับ 21.5 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ โดยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตลอดการเพาะปลูกของดินแต่ละชนิด ดังแสดงในภาพที่ 12

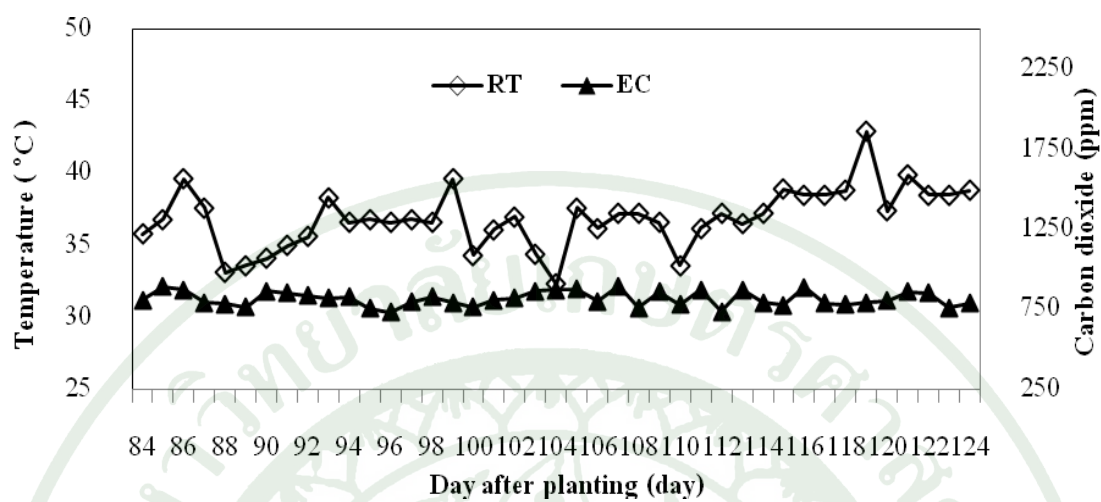
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสภาวะแวดล้อมที่ควบคุมกับชนิดดินที่ใช้ปลูกข้าวพบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกันกล่าวคือไม่ทำให้ค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนแตกต่างกัน โดยข้าวที่มีการเพาะปลูกภายใต้สภาวะ C ชนิดดินที่ใช้เพาะปลูก คือดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนใกล้เคียงกัน คือ 79.52 86.86 และ 81.52 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก ที่สภาวะ HT ชนิดดินที่ใช้เพาะปลูก คือดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 125.01, 147.29 และ 119.25 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก และที่สภาวะ HTC ชนิดดินที่ใช้เพาะปลูก คือดินธรรมดา ดินใส่ฟางแห้งสับและดินใส่ฟางเผามีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 134.42 141.65 และ 132.76 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก ตามลำดับ



ภาพที่ 12 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากการปลูกข้าวในสภาวะการเพาะปลูกที่แตกต่างกัน เมื่อ C คือ สภาวะอากาศปกติ HT คือ สภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียส HTC คือ สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น 2 องศาเซลเซียสรวมกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น 700 พีพีเอ็ม



ภาพที่ 13 การเปรียบเทียบระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะปกติและที่ควบคุมให้เพิ่มสูงขึ้น เมื่อ NC คือ Normal Condition EC คือ Elevated CO₂ Concentration



ภาพที่ 14 ค่าการควบคุมระดับอุณหภูมิและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

โดย RT คือ Rising temperature EC คือ Elevated CO₂ Concentration

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตของข้าวและแนวโน้มการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกข้าวภายใต้สภาวะอากาศที่ควบคุม สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การเจริญเติบโตของข้าวพบว่า ค่าเฉลี่ยความสูงของต้นข้าวที่สภาวะ C, HT และ HTC มีค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับ 88.80, 88.50 และ 82.66 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยความสูงของต้นข้าวที่สภาวะ HTC มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นข้าวลดลง 6.91 เปอร์เซ็นต์ ที่สภาวะ HT ลดลง 0.33 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติที่มีความสูงของลำต้นมากที่สุด

จำนวนกอข้าวที่สภาวะ C, HT และ HTC มีค่าเฉลี่ยจำนวนกอเท่ากับ 21, 19 และ 28 กอต่อกระถาง ซึ่งที่สภาวะ HTC ที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้นมีจำนวนกอข้าวเพิ่มขึ้น 33.33 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่สภาวะ HT มีจำนวนกอลดลง 9.52 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ

จำนวนใบต่อต้นที่สภาวะ C, HT และ HTC มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5, 4 และ 4 ใบตามลำดับ โดยที่สภาวะ HT และ HTC มีจำนวนใบลดลง 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับที่สภาวะปกติ

จำนวนรวงต่อกระถางที่แตกต่างกันในแต่ละสภาวะคือ C, HT, HTC มีค่าเท่ากับ 15, 14 และ 19 รวงต่อกอ โดยที่สภาวะ HT มีจำนวนใบลดลง 6.6 เปอร์เซ็นต์ และที่สภาวะ HTC มีจำนวนกอลดลง 66.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2. ผลผลิตของข้าวจากการศึกษาพบว่าจำนวนเมล็ดดีและน้ำหนักเมล็ดดีจากการเพาะปลูกในแต่ละสภาวะอากาศ คือที่สภาวะ C, HT และ HTC มีจำนวนเมล็ดดีเท่ากับ 77, 44 และ 15 เมล็ดต่อรวง ตามลำดับ และมีน้ำหนักเมล็ดดีเท่ากับ 2.10, 1.05 และ 0.37 กรัมต่อรวง ตามลำดับ โดยที่สภาวะ HT มีจำนวนเมล็ดดีลดลง 42.85 เปอร์เซ็นต์ และมีน้ำหนักเมล็ดดีลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ที่สภาวะ HTC มีจำนวนเมล็ดดีลดลง 80.51 เปอร์เซ็นต์ และมีน้ำหนักเมล็ดดีลดลง 82.38 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ

เมล็ดลิบต่อรวงพบว่าจำนวนเมล็ดลิบเท่ากับ 18, 46 และ 65 เมล็ดต่อรวง และมีน้ำหนักเมล็ดลิบเท่ากับ 0.14, 0.27 และ 0.28 กรัมต่อรวง ตามลำดับ ซึ่งที่สภาวะ HT มีจำนวนเมล็ดลิบเพิ่มขึ้น 155.55 เปอร์เซ็นต์ และมีน้ำหนักเมล็ดลิบเพิ่มขึ้น 92.85 เปอร์เซ็นต์ และที่สภาวะ HTC มีจำนวนเมล็ดลิบเพิ่มขึ้น 261.11 เปอร์เซ็นต์ และมีน้ำหนักเมล็ดลิบเพิ่มขึ้น 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ

ปริมาณผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ทั้ง 3 สภาวะ คือ สภาวะ C, HT และ HTC มีค่าเฉลี่ยผลผลิตต่อไร่เท่ากับ 639.52, 299.63 และ 160.81 กิโลกรัมต่อไร่ โดยที่สภาวะ HT และ HTC ทำให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตต่อไร่ลดลงเท่ากับ 53.14 และ 74.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับการเพาะปลูกในสภาวะปกติ

3. การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวพบว่าภายใต้สภาวะ C, HT และ HTC มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 221.27, 432.42 และ 904.13 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก ปลดปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 826.43, 1305.22 และ 1362.82 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก โดยที่สภาวะ HT ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น 95.42 และ 57.93 เปอร์เซ็นต์ สภาวะ HTC ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น 308.60 และ 64.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นต่อผลผลิตของข้าว ควรมีการศึกษาเพิ่มในฤดูที่แตกต่างกัน และศึกษาต่อเนื่องหลายฤดูกาลและศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับองค์ประกอบในเมล็ดข้าวและคุณภาพของเมล็ดข้าว
2. ควรมีการศึกษาปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการเพาะปลูกเพื่อหาแนวทางแก้ไขผลกระทบต่อข้าวที่เกิดขึ้นจากสภาวะแวดล้อมที่อุณหภูมิและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้น
3. ควรมีการศึกษาในระดับพื้นที่ใหญ่ขึ้น
4. การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกควรมีการควบคุมสภาวะอย่างต่อเนื่องเพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง
5. การเติมฟางข้าวในดินควรมีการทำก่อนการเพาะปลูกในระยะเวลายาวนานขึ้นเพื่อให้ฟางข้าวได้เกิดการย่อยสลายสมบูรณ์ก่อนการนำดินมาเพาะปลูก

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- คณะกรรมการวิชาสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีและชีวิต ศูนย์วิชาการบูรณาการ หมวศึกษาศึกษาทั่วไป
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2549. สิ่งแวดล้อมเทคโนโลยีและชีวิต. พิมพ์ครั้งที่ 8
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2541. คู่มือปฏิบัติการ ปฐพีวิทยา
เบื้องต้นและวิทยาศาสตร์ทางดิน. พิมพ์ครั้งที่ 11. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัย
เกษตร, กรุงเทพฯ.
- เกรียงยศ สัมครการ. 2554. แนวโน้มการสะสมคาร์บอนในดินที่ใช้ปลูกข้าวจากการใส่ฟางข้าวและฟาง
ข้าวเผา. **Veridian E-Journal**.4(1): 931-941.
- ชัยพล ทรงสุนทรวงศ์. 2546. มนุษย์กับสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ดวงพร กันธโชติ. 2545. นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์. 2543. ดินที่ใช้ปลูกข้าว. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และจรงค์ จันท์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดิน
และพืช. พิมพ์ครั้งที่ 7 ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นิตยา ชื่นสุข, ลัดดาวัลย์ วรรณสุข, และวาสนา อินแถลง. 2549. ผลของการจัดการฟางต่อการสะสมธาตุ
เหล็กในเมล็ด. รายงานผลงานปี 2549 ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการ
ข้าว.
- _____. ประพนอม มงคลบรรจง, เฉลิมชาติ ฤาไชยคาม, และวาสนา อินแถลง. 2551. การจัดการฟางข้าว
ในพื้นที่ทำนาอย่างต่อเนื่อง. **วารสารวิชาการข้าว** 2(1): 35-46.

บุญหงส์ จงคิด. 2547. **ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต**. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ประสิทธิ์ ทัพพุดิ และสุภฤกษ์ ตันศรีรัตนวงศ์. 2549. **คู่มือเตือนภัยพิบัติธรรมชาติ**. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์ดอกหญ้ากรู๊ป, กรุงเทพฯ.

ขงยุทธ โอสภสภ. 2552. **ธาตุอาหารพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 3 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วนิดา จินาสาสตร์. 2551. **มลพิษทางอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ**. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์แห่งมหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สุกานดา พัดพาดี. 2553. **โลกร้อน ผลกระทบต่อทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม**. เอกสารประกอบการสัมมนาโครงการบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน. 36 หน้า.

ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี สำนักวิจัยและพัฒนาการข้าว กรมการข้าว. 2552. **การจัดการศักยภาพการผลิตข้าวจังหวัดนครปฐม**. พิมพ์ครั้งที่ 1 โรงพิมพ์ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

สุบัณฑิต นิมรรัตน์. 2549. **จุลชีววิทยาทางดิน**. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

สุทัศน์ สุทธิฤทธิ์. 2532. **ก๊าซเรือนกระจก**, น. 3/1-3/14. ใน **ปรากฏการณ์เรือนกระจกโครงการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**, กรุงเทพฯ.

สมบุญ เตชะภินญาวัฒน์. 2548. **ชีววิทยาพืช**. สำนักพิมพ์จามจุรีโปรดักท์, กรุงเทพฯ.

ประพาส วีระแพทย์. 2521. **ความรู้เรื่องข้าว**. สาขาคัดพันธุ์ด้านทาสัตว์ข้าว. กองการข้าว กรมวิชาการเกษตร.

สุนทร อัครชนกุล. 2549. **บทปฏิบัติการปฐพีวิทยามูลฐาน**. พิมพ์ครั้งที่ 3 ภาคปฐพีวิทยา
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรรควุฒิ ทศน์สองชั้น. 2530. **เรื่องของข้าว**. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรรถชัย จินตะเวช. 2547. **การสะสมคาร์บอน**. เอกสารประกอบการสอนการจัดการ
ทรัพยากรธรรมชาติเพื่อการใช้ประโยชน์และการอนุรักษ์ความหลากหลายที่ยั่งยืน. คณะ
เกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 58 น.

อุทิศ กุญอินทร์. 2542. **นิเวศวิทยา: พื้นฐานเพื่อการป่าไม้**. โรงพิมพ์สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. **ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2552. **ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1**.
แหล่งที่มา: <http://www.ricethailand.go.th/brrd/tech/SP1.htm>. 25 กุมภาพันธ์ 2552

พุลศิริ ชูชีพ และนวลปรารักษ์ ไชยตะขบ. 2553. **สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาระบบนิเวศเกษตร**. **สถานะโลก
ร้อนต่อระบบนิเวศเกษตร**. แหล่งที่มา: http://www.rdi.ku.ac.th/kufair50/plant/25_plant/25_plant.html. 25 พฤษภาคม 2553

ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี. 2550. **เอกสารเผยแพร่พิธีสารมอลทรีออล**. แหล่งที่มา:
<http://www.chemtrack.org>. 15 มีนาคม 2554

บุญแสน เตียนกุลธรรม. 2555. **วิชาปฐพีวิทยา**. แหล่งที่มา: <http://www.nsruc.ac.th/e-learning/soil/lesson.php>. 15 สิงหาคม 2555

Alan, W. 1994. **Air pollution and climate change: The biological impact**. John Wiley
and Sons Inc, New York.

Allen, L.H., S.L. Albrecht, W. Colon, S.A. Covell, 1994. Effect of carbon dioxide and temperature on methane emission of rice. **IRRI Rice Res. Notes** 19, 43.

Bouwman, A.F. 1996. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 46: 53-70.

Baker, J. T. 2004. Yield responses of southern us rice cultivars to CO₂ and temperature. **Agricultural and forest Meteorology** 122: 129-137.

_____ and L.H. Jr Allen. 1993. Contrasting crop species response to CO₂ and temperature: rice, soybean, and citrus. pp. 239-260. Cited J. Rozema, H. Lambers, S.C. Van de Geijn, (Eds), **CO₂ and Biosphere** Elsevier, Amsterdam.

_____ L.H. Allen, and K.J. Boote. 1990. Growth and yield responses of rice to carbon dioxide concentration. **J. Agric. Sci** 115:313-320.

Broadbent, F.E. 1979. **Mineralization of organic nitrogen in paddy soil**. pp. 105-118. **Nitrogen and Rice**. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.

Chang, T.T., and E.A. Bardenas. 1976. The morphology and varietal characteristics of the rice plant. **IRRI Tech Bull** 4:40.

Cheng, W., H. Sakai, K. Yagi, T. Hasegawa. 2009. Interaction of elevated (CO₂) and night temperature on rice growth and yield. **Agricultural and Forest Meteorology** 149(1): 51-58.

_____ K. Yagi, H. Xu, H. Sakai, K. Kobayashi. 2005. **Chemical Geology** 218: 15-24

Chen, G.X., Huang, B., H. Xu, Y. Zhang, G.H. Huang, K.W. Yu, A.X. Hou, R. Du, S.J. Han, and O. Van Cleemput. 2000. Nitrous oxide emission from terrestrial ecosystems in China. **Chemosphere Global Change Science** (2): 373-378.

Denier van der Gon, H.A.C. 1996. **Methane Emission from Wetland Rice Fields**. Ph.D. Thesis.

Wageningen Agriculture University, Wageningen.

Ellert, B., E.G. Gregorich. 1996. Storage of carbon, nitrogen and phosphorus in cultivated and adjacent forested soil of Ontario. **Soil science** 161: 587-603

Erda, Lin, Li Yue and Dong Hongmin. 1997. Potential GHG mitigation option for agriculture in China. **Applied Energy** 56(3-4):423-432.

Hanson, R., and Hanson, T. 1996. Methane Bacteria, **American Society for Microbiology** 60(2): 439-471.

Houghton, J. 1997. **Global Warming the Complete Briefing**. second edition Cambridge University press, United Kingdom.

Hutsch, B.W. (2001). Methane oxidation in non-flooded soils as affected by crop production-invited paper. **European Journal of Agronomy** 14: 237-260.

Ghosh S., D. Majumdar, and M.C. Jain. 2003. Methane and Nitrus Oxide Emissions from an Irrigated rice of North India. **Chemosphere** 51(3):181-195

Intergovernmental Panel On Climate Change. 1995. **IPCC draft guidelines for national Greenhouse gas inventories**. Final draft. greenhouse gas inventories workbook. 2: 4.11-4.16.

Intergovernmental Panel On Climate Change. 1996. IPCC guidelines for national greenhouse inventories. **IPCC greenhouse gas inventory reference manual** 3: 453-473.

- Imai, K., D.F. Cleman, and T. Yanagisawa. 1985. Increase in atmospheric partial pressure of carbon dioxide and growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). **Japan Journal Crop Science** 54:413-418.
- Mer, J and P. Roger. 2007. Production, oxidation, emission and consumption of Methane by soils: A review. **Eur. J. Soil Biol** 37: 25-50.
- Jeffrey T.B., 2004. Yield responses of southern US rice cultivars to CO₂ and temperature. **Agricultural and Forest Meteorology** 112: 129-137.
- Houghton, J., 1997. **The impact on natural ecosystems**. Global warming the complete briefing. 127-131.
- Kakie, T. 1969. Phosphorus fraction in tobacco plant as affected by phosphate application. **Soil Science and Plant Nutrition** 15:81-85.
- Kaewpradit, W., B. Toomsan, G. Cadisch, P. Vityakon, V. Limpinuntana, P. Saenjan, S. Jogloy, A. Patanothai. 2008. Regulating mineral N release by mixing groundnut residues and rice straw under field conditions. **Eur. J. Soil Sci** 59:640-652.
- Kim, H.Y., T. Horie, H. Nakagawa, K. Wada. 1996. Effect of elevated CO₂ concentration and high temperature on growth and yield of rice II. The effect on yield and its components of Akihikari rice. **Japanis Jornal Crop Science** 65: 644-651.
- Kim, H.Y., M. Lieffering, S. Miura, K. Kobayashi, and M. Okada. 2001. Growth and nitrogen up take of CO₂ enriched rice under field condition. **New Phytol** 150: 223-229
- Kludze, H.K., R.D. Delanne and W.H. Jr. Patrick. 1993. Aerenchyma formation and methane and oxygen exchange in rice. **Soil Sci. Sec. Am. J** 57: 386-391

- Leigh, R.A. and R.G. Wyn Jones. 1984. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and function of this ion in the plant cell. **New Phytol** 97:1-13
- Gierth, M., and P. Maser. 2007. Potassium transporters in plants-Involvement in K^+ acquisition redistribution and homeostasis. **FEBS Letters** 581: 2348-2356.
- Matsui, T., Ofelia S.N., Ziska L.H., and Horie T., 1997, Effects of high temperature and CO_2 concentration on spikelet sterility in indica rice. **Field Crops Research** 51: 213-219.
- Matsuo, T, K. Kumasawa, R. Ishii, K. Ishihara, H. Hirata. 1995. Science of rice plant II. Physiology. **Food and Agriculture Policy Research Center.**
- Maninder K. K, B.S. Sidhu and D.K. Benbi. 2009. Effect of Organic material and rice cultivars on methane emission from rice field. **Journal of Environmental Biology** 31: 281-285.
- Malla, G., A. Bhatia, H. Pathak, S. Prasad, N. Jain, J. Singh, 2005. Mitigation nitrous oxide and methane emission from soil in rice wheat system of the Indo Gangetic plain with nitrification and inhibitors. **Chemosphere** 58(2): 141-147
- Mer, J. L., and P. Roger. 2000. Production oxidation emission and consumption of methane by soil: A review. **European Journal of Soil Biology** 37(1): 25-50
- Minami, K. and H.U. Neue. 1994. Rice paddies as methane source. **Climate Change** 27: 65-73.
- Mikhailova, E.A., B.R. Bryant, I.I. Vassencv, S.A. Schwager, and C.J. Post. 2000. Cultivation effect on soil carbon and nitrogen contents at depth in the Russian Chernozem. **Soil Science Am** 64: 738-745.

- Murakami, H., M. Kimura, and H. Wada. 1990. Microbial colonization and decomposition processes in rice rhizosphere. II. Decomposition of young and old roots. **Soil Science Plant Nutrition** 36: 441-450.
- Olszyk, D.M., H.G.S. Centeno, L.H. Ziska, J.S. Kern, R.B. Matthews. 1999. Global climate change rice productivity and methane emission: comparison of simulated and experimental results. **Agricultural and forest meteorology** 97: 87-101.
- Parashar, D.C., J. Rai, P.K. Gupta and N. Singh. 1991. Parameters affecting methane emission from paddy fields. **Ind. J. Radio Space Phys** 20: 12-17.
- Peng, S., R.C. Garcia Laza, A.L. Sanico, R.M. Visperas, and K.G. Cassman. 1996. Increased N use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice. **Field Crops Res.** 47: 243-252.
- Peter, D. 2005. **The Climate of a Post-Kyoto World**. World Resources Institute (WRI) 3(2).
- Ponnamperuma, F.N. 1984. **Straw as a source of nutrients for wetland rice**. pp. 117-135. **Organic Matter and Rice**. International Rice Research Institute, Los Bonos, Philippines.
- Rao, D.N., D.S. Mikkelsen, 1976. Effect of rice straw incorporation on rice plant growth and nutrition. **Agron. J** 68: 752-755.
- Robert, L. 1994. **Soil Microbiology**. John Wiley and Sons, Inc., America.
- Sanchez, C.A. 2007. **Phosphorus**. Cited A.V. Bajer and D.J. Pilbeam. **Handbook of Plant Nutrition**. CRC Press, Taylor and Francis Group, New York.
- Sanjay, K., G. J. Lauren, and J. M. Duxbury. 2009. Soil organic carbon and nitrogen stocks in Nepal long-term soil fertility experiments. **Soil and Tillage Research** 106: 95-103.

Thomas, G.W. 1996. **Soil pH and Soil Acidity**. Cited D.L. Sparks, **Soil Analysis: Modern Instrumental Techniques**. New York, Marcel Dekker.

Topp, G.C. 1993, **Soil Water Content**. Cited M.R. Carter. **Soil Sampling and Methods Analysis**. Canadian Society of Soil Science 541-557

Towprayoon, S., K. Smakgahn and Poonkaew. 2005. Mitigation of methane and nitrous oxide Emissions from drained irrigated rice field. **Chemosphere** 59: 1547-1556.

Matsui, T., S.N. Ofelia, H.Z. Lewis, H. Takeshi. 1997. Effects of high temperature and CO₂ concentration on spikelet sterility in indica rice. **Field Crop Research** 51:213-219.

Tyagi, L., B. Kumari and S.N. Singh. 2010. Water management-A tool for methane mitigation from Irrigated paddy fields. **Science of the Total Environment** 408: 1085-1090.

Watson, R. T., M. C. Zinyowera, R. H. Moss, and D.J. Dokken. 1996. **Climate Change 1996. Impacts, adaptation and mitigation of climate change**. Scientific technical analyses. Cambridge University Press. New York.

Wang, Z.P., R.D. Delaune, W.H. Patrick Jr. and P.H. Masscheleyn. 1993. Soil redox and pH effect on methane production in flooded rice soils. **Soil Science Society of America Journal** 57: 382-385.

Cheng, W., K. Yagi, H. Xu, H. Sakai, K. Kobayashi. 2005. Influence of elevated concentrations of atmospheric CO₂ on CH₄ and CO₂ entrapped in rice paddy soil. **Chemical Geology** 218: 15-24.

Wilfrid Laurier University. 2011. **Climate Change**. Available Source:

http://www.wlu.ca/page.php?grp_id=12304&p=16777, September 17, 2011.

- Shindo, H., and T. Nishio. 2005. Immobilization and remineralization of N following addition of wheat straw into soil: determination of gross N transformation rates by ^{15}N ammonium isotope dilution technique. **Soil Biol Biochem** 37:425–432.
- Yan, C., Z.H. Ding Liu, Q.S. Wang, G.H. Li, Y. He, and S.H. Wang. 2008. Temperature Difference Between the Air and Organs of Rice Plant and Its Relation to Spikelet Fertility. **Agricultural Science in China** 7(6):678-685.
- Ziska, L.H., W. Weerakoon, O.S. Namuco, R. Pamplona. 1996. The influence of nitrogen on the elevated CO_2 response of field-grown rice. **Aust. J. Plant Physiol** 23:45-52.

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาววิไล เสาธงน้อย
เกิดวันที่	31 ตุลาคม 2529
สถานที่เกิด	อำเภอคอนตูม จังหวัดนครปฐม
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เทคโนโลยีการผลิตพืช) มหาวิทยาลัยศิลปากร

