รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการผลของโทรโปสเฟียร์ริกโอโซนต่อข้าวในประเทศไทย

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ อัมพรสถิร และคณะ

กันยายน 2552

สัญญาเลขที่.....

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการผลของโทรโปสเฟียร์ริกโอโซนต่อข้าวในประเทศไทย

คณะผู้วิจัย

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนินทร์ อัมพรสถิร
2. ดร. นิวัฒน์ นภีรงค์

สนับสนุนโดยกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยนเรศวร

โครงการผลของโทรโปสเฟียร์ริกโอโซนต่อข้าวในประเทศไทย

ชนินทร์ อัมพรสถิร [1] และ นิวัฒน์ นภีรงค์ [2]

1. ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสาตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

2. ศูนย์วิจัยข้าว จังหวัดพิษณุโลก

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของก๊าซโอโซนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา สารต่อต้านอนุมูลอิสระ และผลผลิตของข้าว โดยการคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่มีความไว (sensitive) และต้านทาน (resistant) ต่อก๊าซโอโซน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง การทดลองที่1 ทดสอบการตอบสนองไวของพันธุ์ข้าวจากพันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกในประเทศไทยทั้งหมด 24 พันธุ์ การทดลองที่ 2 นำข้าวทั้ง 2 พันธุ์มาศึกษาผลกระทบทางด้านสรีรวิทยา ชีวเคมี และผลผลิตที่เกิดขึ้น โดยทดสอบด้วยก๊าซโอโซนที่ charcoal – filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) โอโซนความเข้มข้น 40 ppb และ 70 ppb เป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน การทดลองที่ 3 นำข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มาศึกษาผลกระทบทางชีวเคมีและผลผลิตในตู้รมก๊าซแบบหลังคาเปิด OTC (Open Top Chamber) โดยกำหนดเป็นกลุ่มควบคุม (CF) และกลุ่มทดลองที่ได้รับก๊าซโอโซนที่มีอยู่ตามธรรมชาติในบริเวณนั้น (NF) ผลการศึกษาพบว่าพันธุ์ข้าวที่มีความไวได้แก่พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และต้านทานได้แก่พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 โดยโอโซนมีผลกระทบต่อสรีรวิทยา สารต่อต้านอนุมูลอิสระและผลผลิต ของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ และยังพบว่าก๊าซโอโซนที่มีอยู่ตามธรรมชาติในบริเวณพื้นที่ทดลอง มีผลกระทบต่อสรีรวิทยาและผลผลิตของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1

คำสำคัญ: มลพิษทางอากาศ, โทรโปสเฟียร์ริกโอโซน, การตอบสนองไว, ความต้านทาน

The effects of tropospheric ozone on rice (*Oryza sativa L.*) in Thailand

Chanin Umponstira[1] and Nivat Nabheerong[2]

1. Department of Natural Resources and Environment, Facculty of Agriculture Natural Resources and Environment Naresuan University
2. Phitsanulok Rice Research Center

Abstract

This research was aim to investigate the effects of ozone on physiology, antioxidants and yield of rice. The experiment was divided into 3 parts. The preliminary experiment was performed intending to screen sensitivity of rice cultivars as sensitive and resistant to ozone. 24 selected cultivars of rice which were normally grown by the farmers were subjected to ozone sensitivity test. The second experiment was carried on by growing two selective cultivars in ozone fumigated chambers at 40 and 70 ppb 8 hours/days through period of their growth. The final experiment was conducted in the open top chambers which samples were set as Charcoal Filter (CF) and Non- Charcoal Filter (NF) groups. The results found that selected cultivar,Suphanburi1, was considered as sensitive and Suphanburi 90 were more resistant cultivar, Ozone had significant effects on physiology, antioxidant and yield of rice. The field experiment which physiology and yield were also affected by ambient ozone in the experimental sites.

Keywords: Air pollution, tropospheric ozone, sensitive, resistance

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	**บทนำ**	1
	ความสำคัญ และที่มาของปัญหา	1
	วัตถุประสงค์	2
	ขอบเขต	2
	ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิด	3
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2	**เอกสารที่เกี่ยวข้อง**	5
	การเกิดโอโซน	5
	ผลของก๊าซโอโซนที่ต่อมนุษย์	6
	ผลกระทบมลพิษทางอากาศที่มีต่อพืช	7
	ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อข้าว	9
	กลไกของก๊าซโอโซนในการเข้าสู่พืช	10
	ผลกระทบของก๊าซโอโซนทางสรีรวิทยาต่อพืช	12
	การตรวจวัดมลพิษทางอากาศในประเทศไทย	13
	ข้าวและลักษณะพันธุ์	14
3	**การดำเนินการวิจัย**	19
	ระยะเวลาที่ทำการวิจัยและสถานที่ทดลอง	19
	แผนการทดลอง	19
	ระยะการทดลองที่ 1	19
	ระยะการทดลองที่ 2	20
	ระยะการทดลองที่ 3	21

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	วิธีการวิเคราะห์	21
	อุปกรณ์และเครื่องมือ	25
	แผนการดำเนินการ	27
	งบประมาณของโครงการวิจัย	28
4	ผลการทดลอง	30
	การทดลองระยะที่ 1	30
	การทดลองระยะที่ 2	32
	การทดลองระยะที่ 3	68
5	บทสรุปและอภิปรายผล	92
	สรุปผลการทดลอง	92
	อภิปรายผลการทดลอง	93
	ข้อเสนอแนะ	102
บรรณานุกรม		103

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	ค่ามาตรฐานของการสัมผัสก๊าซโอโซน.....	7
2	ระดับคุณภาพอากาศจากโอโซนค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง.....	7
3	แผนดำเนินงาน.....	27
4	งบประมาณของโครงการวิจัย.....	28
5	ผลการทดสอบคัดเลือกพันธุ์ข้าวโดยรมก๊าซโอโซน 70 ppb 8 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 15 วัน ในข้าว 24 พันธุ์ (n = 6).....	31
6	น้ำหนักแห้งและอัตราส่วนต้นต่อรากของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และสุพรรณบุรี 90 ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน, ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน,ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน ทดลองในความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb) n = 6 ตัวอักษร a-c ในแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05.....	33
7	ปริมาณ SOD ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และสุพรรณบุรี90 ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน, ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน, ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน ทดลองในความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb) n = 3 ตัวอักษร a-c ในแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05.....	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

8 ปริมาณ H_2O_2 ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และสุพรรณบุรี90 ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน, ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน, ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน ทดลองในความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb) n = 3 ตัวอักษร a-c ในแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05..... 61

9 ปริมาณ Total ascorbate ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และสุพรรณบุรี90 ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน, ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน ทดลองในความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb) n = 3 ตัวอักษร a-c ในแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05..... 64

10 น้ำหนักแห้งและอัตราส่วนต้นต่อรากของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 6 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05)..... 71

11 ปริมาณ SOD ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน และ ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 6 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05)..... 73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

12 ปริมาณ H_2O_2 ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน และระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)..... 75

13 ปริมาณ Total ascorbate ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน และระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF(โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซ โอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)..... 77

14 ปริมาณผลผลิตของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน และระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF(โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 6 78

15 น้ำหนักแห้งและอัตราส่วนต้นต่อรากของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 6 82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
16	ปริมาณ SOD ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF(โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3 ตัวอักษร a-b ในแนวนอนที่แตกต่างกันแสดงข้อมูลที่ แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$.....	84
17	ปริมาณ H_2O_2 ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$).....	86
18	ปริมาณ Total ascorbate ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 อายุ 14 วัน, อายุ 30 วัน, อายุ 60 วัน, ทดลองกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$).....	88
19	ปริมาณผลผลิตของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรีระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซ โอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 6	90

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	กลไกการเข้าสู่พืชของก๊าซโอโซนผ่านปากใบ.....	12
2	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งทั้งหมดตามระยะเวลาการเจริญเติบโต (23,30,60,90 และ120 วัน) ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10ppb) n = 6 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05) a =สุพรรณบุรี1 b =สุพรรณบุรี90.....	38
3	พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ใน chamber ที่ความเข้มข้นของโอโซน 70 ppb และ CF.....	39
4	พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ใน chamber ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb และ CF.....	40
5	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ใบที่เกิดอาการบาดเจ็บตามระยะเวลาการเจริญเติบโต (23,30,60,90 และ120 วัน) ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) n =6 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05) a =สุพรรณบุรี1 b =สุพรรณบุรี90.....	44
6	อาการบาดเจ็บที่มองเห็นได้ (visible injury) ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 อายุ 60 วัน ที่ได้รับโอโซนความเข้มข้น 40 ppb (a) 70 ppb (b) และ CF ได้รับโอโซนน้อยกว่า 10 ppb (c).....	45
7	อาการบาดเจ็บ (visible injury) ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10ppb).....	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
8	อาการบาดเจ็บ (visible injury)ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb)	46
9	ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบตามระยะเวลาการเจริญเติบโต (23,30,60,90 และ120 วัน) ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) n = 6 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05) a =สุพรรณบุรี1 b =สุพรรณบุรี90.....	47
10	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเกิดใบแก่ก่อนวัยตามระยะเวลาการเจริญเติบโต (23,30,60,90 และ120 วัน) ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) n = 6 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05) a =สุพรรณบุรี1 b =สุพรรณบุรี90.....	48
11	ค่าเฉลี่ยจำนวนต้น/กอ ตามระยะเวลาการเจริญเติบโต (23,30,60,90 และ 120 วัน) ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) n = 6 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05) a =สุพรรณบุรี 1 b =สุพรรณบุรี 90.....	50
12	ค่าเฉลี่ยคลอโรฟิลล์เอ + บีตามระยะเวลาการเจริญเติบโต (23,30,60,90 และ 120 วัน) ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) n = 6 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05) a =สุพรรณบุรี1 b =สุพรรณบุรี90.....	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
13	ค่าเฉลี่ยปริมาณแคโรทีนอยด์ตามระยะเวลาการเจริญเติบโต (23,30,60,90 และ 120 วัน) ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) n = 6 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05) a =สุพรรณบุรี1 b =สุพรรณบุรี90.....	54
14	ปริมาณการทำงานของซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมูเตส ของข้าวพันธุ์ สุพรรณบุรี1 (a) และ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี90 (b) ตามช่วงอายุ (23,30,60,90และ 120 วัน) ที่ความเข้มข้นของ โอโซน 40 ppb, 70 ppb เทียบกับกลุ่ม CF (แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต P≤0.05).....	58
15	ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1(a) และ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี90 (b) ตามช่วงอายุ (23,30,60,90 และ 120 วัน) ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb เทียบกับกลุ่ม CF (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05).....	62
16	ปริมาณรวมของแอสคอเบต ของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1(a) และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี90 (b) ตามช่วงอายุ (23,30,60,90 และ 120 วัน) ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb เทียบกับกลุ่ม CF (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05).....	65
17	จำนวนรวงต่อกอ, จำนวนเมล็ดต่อรวง, จำนวนเมล็ดต่อกอ และ Harvest index ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และสุพรรณบุรี90 n = 10 ค่าเฉลี่ย ± SE **(ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกัน แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ p≤0.05) a จำนวนรวงต่อกอ b จำนวนเมล็ดต่อรวง c จำนวนเมล็ดต่อกอ d Harvest index**.....	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
18	น้ำหนัก 100 เมล็ด และจำนวนเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และสุพรรณบุรี90 n = 10 ค่าเฉลี่ย ± SE (ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกัน แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05) a น้ำหนัก 100 เมล็ด b เปอร์เซ็นต์เมล็ดที่ไม่สมบูรณ์.....	68
19	น้ำหนักแห้งและอัตราส่วนต้นต่อรากของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซน ตามธรรมชาติ (NF) n = 6 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05).....	72
20	ปริมาณ SOD ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน และระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3(* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05).....	74
21	ปริมาณ H_2O_2ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน และระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วันทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3(* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05).....	76
22	ปริมาณ Total ascorbate ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 อายุ 14 วัน, อายุ 30 วัน, อายุ 60 วัน, ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05).....	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
23	ปริมาณ ผลผลิตของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน และระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 6	79
24	ปริมาณน้ำหนักแห้งตามช่วงระยะเจริญเติบโตของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 6	83
25	ปริมาณ SOD ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับ ก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05).....	85
26	ปริมาณ H_2O_2 ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05).....	87
27	ปริมาณ Total ascorbate ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05).....	89

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ หน้า

28 ปริมาณ ผลผลิตของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับ ก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 6 ตัวอักษร a-b ในแนวนอนที่แตกต่างกันแสดงข้อมูล ที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ P≤0.05..... 91

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

มลพิษทางอากาศมีสาเหตุสำคัญอันเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์ อาทิเช่น การปลดปล่อยอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และการคมนาคม เป็นต้น โดยทั่วไปอากาศประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน 79 %, ออกซิเจน 20 %, คาร์บอนไดออกไซด์ 0.1 % และ ก๊าซอื่นๆ เช่น โอโซน และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของอากาศโดยการปนเปื้อน หรือ การเพิ่มขึ้นของ ก๊าซ และฝุ่นละออง ย่อมก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทั้งทางกายภาพ และชีวภาพ (Alloway and Ayres, 1993) ทั้งนี้ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดภาวะมลพิษทางอากาศได้แก่

1. เกิดจากปฏิกริยาทางเคมีของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้จากเครื่องยนต์สันดาบภายใน อาทิเช่น เครื่องยนต์ที่มีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จะปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO) ซึ่งจะเป็นปัจจัยพื้นฐานต่อการเกิดก๊าซโอโซนระดับพื้นล่างที่เป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์เมื่อมีระดับความเข้มข้นสูงขึ้น ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซึ่งมีความสามารถในการจับฮีโมโกลบิน ได้ดีกว่าออกซิเจน ทำให้เกิดสภาวะการขาดออกซิเจนที่ร่างกายต้องการ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่เกิดจากเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันปะปนอยู่ ทำให้เกิดสภาพฝนกรดเมื่อผสมผสานกับความชื้นในอากาศ

2. สภาพทางอุตุนิยมวิทยา และภูมิประเทศ ในบางฤดูกาลการกระจายและเจือจางของก๊าซสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามฤดูกาล อาทิเช่น ในช่วงระหว่างฤดูหนาว ทางตอนเหนือของประเทศไทยจะได้รับอิทธิพลของความกดอากาศสูงจากประเทศจีน ซึ่งทำให้ก๊าซที่ปล่อยออกมาจากปล่องระบายไม่สามารถลอยตัวสูงขึ้นและผสมผสานเจือจางกับมวลอากาศชั้นบนสภาพดังกล่าวก่อให้เกิดสภาพมลพิษทางอากาศ พื้นที่กรณีศึกษาได้แก่โรงผลิตกระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตในพื้นที่ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงและมีสภาพภูมิประเทศที่เป็นหุบเขาและปิดกั้นการถ่ายเทและกระจายตัวของก๊าซ ในเขตเมืองปัจจัยดังกล่าวนี้รวมถึงการก่อสร้างอาคารสูงที่ปิดกั้นทิศทางของกระแสลมซึ่งช่วยในการกระจายและเจือจางของก๊าซในขณะเดียวกันเมื่อสารมลพิษถูกพัดพาจากแหล่งต้นกำเนิดโดยกระแสลม ผลกระทบของมลพิษทางอากาศอาจจะเกิดขึ้นในพื้นที่อื่นที่ห่างไกลจากแหล่งต้นกำเนิดก็ได้

3. สภาพทางเศรษฐกิจและสังคม ในเขตพื้นที่ที่มีการอยู่อาศัยอย่างหนาแน่นของประชากร ที่มีฐานะทางเศรษฐกิจดีอันได้แก่พื้นที่ชั้นในของเขตเมือง ที่ต้องอาศัยพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งมีองค์ประกอบของสาร ไฮโดรคาร์บอนทั้งจากการคมนาคมขนส่ง และกิจกรรมอื่นๆ ซึ่งจะเป็นแหล่งกำเนิดของภาวะมลพิษทางอากาศ ในทางกลับกันปัญหาดังกล่าวจะลดน้อยลงในเขตที่มีประชากรหนาแน่นน้อยกว่า

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางการเกษตร แต่เนื่องจากปัจจุบันพบว่าเกิดปัญหามลพิษทางอากาศ อันเนื่องมาจากการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม การใช้สารเคมีและยาปราบศัตรูพืช การจราจรที่แออัด ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่เกี่ยวเนื่องและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและภาคเกษตรกรรม ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทย ที่ใช้บริโภคกันอย่างแพร่หลาย และจากปัญหามลพิษทางอากาศในปัจจุบัน พบว่าสามารถทำให้ผลผลิตของข้าวมีปริมาณลดลงและต้นข้าวได้รับผลกระทบต่อมลพิษทางอากาศมากขึ้น เช่น ก๊าซโอโซน (O_3) ,ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) , ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นต้น (Wahid et al., 1995)

วัตถุประสงค์

1. วัตถุประสงค์เชิงจุดมุ่งหมาย
   1.1 เพื่อทราบผลของก๊าซโอโซนที่มีต่อสรีระวิทยาของพันธุ์ข้าวในประเทศไทย
   1.2 เพื่อทราบผลของก๊าซโอโซนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของสารต่อต้านอนุมูลอิสระของพันธุ์ข้าวในประเทศไทย
2. วัตถุประสงค์เชิงกิจกรรม
   เพื่อทราบผลกระทบของโทรโปสเฟียร์ริกโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตทางการเกษตรโดยใช้ข้าวเป็นพืชนำร่องในระดับพื้นที่แปลงทดลอง

ขอบเขต

1. การคัดเลือกพันธุ์ข้าวเจ้าชนิดต่างๆ ประมาณ 24 สายพันธุ์ เพื่อเลือกตัวแทนชนิดและสายพันธุ์ที่ตอบสนองไว (sensitive) ต่อก๊าซโอโซนเพื่อนำมาใช้ ในการทดลองระดับภาคสนาม
2. การนำพันธุ์ข้าวที่สนองตอบไวเข้าไปทดสอบสภาพของมลพิษทางอากาศในบริเวณพื้นที่เพาะปลูกข้าวในจังหวัดปทุมธานีและกรุงเทพมหานคร

กรอบแนวความคิด

1. โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักที่จะศึกษาผลกระทบของโทรโปสเฟียร์ริกโอโซนต่อพันธุ์ข้าวในประเทศไทยทั้งนี้เนื่องจากมลพิษที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากโทรโปสเฟียร์ริกโอโซนซึ่งเป็นมลพิษระดับทุติยภูมิไม่สามารถแก้ไขหรือป้องกันได้เนื่องจากไม่มีแหล่งปลดปล่อยที่แน่นอนรวมทั้งอาจจะเกิดจากปฏิกริยาทางธรรมชาติได้ด้วยและปัญหาดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นซึ่งสามารถพบได้จากรายงานในประเทศที่พัฒนาแล้วถึงการลดลงของผลผลิตทางการเกษตรที่มีผลต่อรายได้ของประเทศ

2. การเปลี่ยนแปลงสภาพบรรยากาศของโลกเป็นส่วนหนึ่งของผลที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากมลพิษทางอากาศที่ได้จากกิจกรรมของมนุษย์ การป้องกันและระวังปัญหาของมลพิษทางอากาศเป็นสิ่งที่กระทำได้ยากยิ่งอันเนื่องมาจากสภาพตามธรรมชาติของอากาศที่มีการหมุนเวียนถ่ายเทและเคลื่อนที่ ซึ่งมีงานวิจัยเป็นจำนวนมากในประเทศตะวันตกที่ให้ความสนใจในระดับสูงในการประเมินผลกระทบของมลพิษทางอากาศ จากประสบการณ์ตรงที่ได้มีโอกาสเข้าร่วมในการประชุมที่เกี่ยวกับงานวิจัยทางด้านผลกระทบของมลพิษทางอากาศในขณะที่ศึกษาอยู่ในต่างประเทศพบว่ามีการนำเสนอข้อมูลถึงปริมาณการปลดปล่อย (emission) ของมลพิษทางอากาศทั่วโลกแต่มีการกล่าวถึงปริมาณก๊าซพิษที่ได้จากกลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนา (developing countries) พบว่ามีปริมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณทั้งหมดและมีข้อสังเกตถึงการขาดความสนใจหรือไม่พร้อมที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยได้รับเชิญให้นำเสนอข้อคิดเห็นในหัวข้อดังกล่าวนี้ ทั้งนี้ก็ได้นำเสนอถึงข้อคิดเห็นจากข้อมูลที่ได้จากการประชุมนั้นว่าการกล่าวอ้างดังกล่าวอาจจะไม่เป็นธรรมต่อประชาชนในกลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนานี้เท่าใดเนื่องจากมีจำนวนประชากรถึง 3 ใน4 ส่วนของโลกที่อาศัยอยู่ในส่วนนี้ และเมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่าอัตราการผลิตก๊าซเสียต่อหน่วยประชากรอาจจะน้อยกว่าในกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้วก็ได้ และความต้องการพัฒนาประเทศให้มีความเท่าเทียมกับประเทศที่พัฒนาแล้วทำให้ต้องมีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติมากขึ้น อย่างไรก็ตามจากประสบการณ์ดังกล่าวนี้อาจจะเป็นสิ่งหนึ่งที่ชี้ให้เห็นว่ามุมมองของปัญหามลพิษทางอากาศมิได้มีกรอบจำกัดอยู่ในประเทศหนึ่งประเทศใดเท่านั้น ในที่สุดอาจจะถูกนำมาเป็นเครื่องมือในการต่อร้องและกีดกันทางการค้าได้ การเตรียมความพร้อมของประเทศในการแสวงหาข้อมูลโดยการทำการวิจัยถึงผลกระทบของมลพิษทางอากาศจึงเป็นสิ่งสำคัญ และจำเป็นที่ต้องเริ่มดำเนินการ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำมาใช้เพื่อตรวจสอบผลกระทบของโทรโปสเฟียร์ริกโอโซนต่อพันธุ์ข้าวในประเทศไทย

2. ผลสำเร็จของงานวิจัยนี้คือสามารถจำแนกระดับการตอบสนองทางสรีระวิทยาและสารต่อต้านอนุมูลอิสระของพันธุ์ข้าวในประเทศไทย

3. การพัฒนาระบบเฝ้าระวังมลพิษของโทรโปสเฟียร์ริกโอโซนต่อผลผลิตทางการเกษตร โดยใช้พันธุ์ข้าวที่เหมาะสมในประเทศไทยเป็นตัวทดสอบ

4. การพัฒนาเทคโนโลยีของระบบตู้รมก๊าซสำหรับแปลงทดลอง (Open Top Chamber) ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้สำหรับงานวิจัยทางด้านมลพิษทางอากาศต่อสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย

5. หน่วยงานที่สามารถนำผลงานไปใช้อันได้แก่ กรมวิชาการเกษตร กรมควบคุมมลพิษ มหาวิทยาลัย หน่วยงานบริหารระดับท้องถิ่น และเกษตรกร

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

การเกิดโอโซน

ก๊าซโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ (stratosphere) เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ทำหน้าที่ป้องกันแสงอุลตราไวโอเลต (รังสี UV) จากดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นรังสีที่มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โดยโอโซนมีหน้าที่ดูดกลืนรังสีอุลตราไวโอเลต ดังนั้นก๊าซโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ จึงเป็นก๊าซที่มีประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดในโลก ซึ่งปัจจุบันลดลงจนเป็นปัญหาระดับโลก

ในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ (troposhere) โดยปกติจะมีปริมาณโอโซนน้อยมาก ประมาณ 0.02 ppm เท่านั้นซึ่งยังไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x = NO + NO_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO_2) และไฮโดรคาร์บอน นอกจากนี้ยังเกิดจากการเคลื่อนที่จากชั้นสตราโตสเฟียร์ (Denise & Xiaoping, 2001)ในปัจจุบันปริมาณก๊าซโอโซนในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x)ในอากาศเกิดการแตกตัวให้ออกซิเจนอะตอมอิสระซึ่งจะไปรวมกับก๊าซออกซิเจน(O_2)โมเลกุลในอากาศกลายเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยธาตุออกซิเจน 3 อะตอม เรียกว่าก๊าซโอโซน (O_3) ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซโอโซนในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์จำเป็นต้องมีแสงแดดเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเรียกปฏิกิริยานี้ว่าปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล (photochemical reaction) ดังแผนภาพดังนี้

$$NO_x + \text{สารประกอบไฮโดรคาร์บอน} \xrightarrow{O_2 + \text{แสง}} O_3$$

โฟโตเคมีคัลออกซิแดนท์ (photochemical oxidants) เป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างไฮโดรคาร์บอนและไนโตรเจนออกไซด์ โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งเกิดเป็นโอโซน และอัลดีไฮด์ (aldehydes) เป็นต้น (สุธีลา และคณะ, 2544) NO_x เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์, อุปกรณ์ก่อสร้าง, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, เครื่องทำความร้อน, เปลวไฟจากหอกลั่น, หม้อต้ม และจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม ส่วน VOC_s นั้นเกิดจากอินทรีย์สารต่าง ๆ ที่ระเหยง่ายจากแหล่งกำเนิด เช่น ปั๊มน้ำมัน รถยนต์ ถังเก็บสารเคมีบางชนิด และกระบวนการผลิต

อุตสาหกรรม นอกจากนั้นยังมี VOC_s จำนวนไม่น้อยเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติโดยการปลดปล่อยจากพืชและจุลินทรีย์ต่าง ๆ การป้องกันการเกิดโอโซนระดับพื้นล่างจึงเน้นที่การควบคุมการเกิด NO_x เป็นหลัก (Welfare et al., 1996)

ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อมนุษย์

โอโซนมีผลต่อมนุษย์ โดยเร่งปฏิกิริยาของเม็ดโลหิตแดง ที่มีต่อการรับรังสีเอ็กซเรย์และทำลายโครโมโซม เมื่อเม็ดโลหิตขาวในต่อมทอนซิลรับก๊าซโอโซน มลพิษนี้จะลดการผลิตอินเทอร์เฟอร์รอน โอโซนความเข้มข้นสูงจะทำให้ผนังเม็ดเลือดแดงเปราะและเกิดผลร้ายต่อระบบเอนไซม์ในเซลล์ (วงพันธ์ และคณะ, 2543) ผลต่อสุขภาพระยะสั้นมีผลทำให้เกิดความระคายเคืองต่อตา จมูก และคอ ทำให้หายใจสั้น วิงเวียน และปวดศีรษะได้ นอกจากนี้ยังพบว่าเป็นสาเหตุของการสูญเสียประสาทรับรู้กลิ่นด้วย ผู้ป่วยที่มีโรคทางระบบหายใจ เช่น โรคหอบหืด ไม่ควรสัมผัสโอโซนเนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของปอดจะลดลง แม้แต่ผู้ที่สุขภาพแข็งแรงเมื่อได้รับโอโซนการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายจะบกพร่องส่งผลให้เกิดการเจ็บป่วยมากขึ้น ส่วนผลต่อสุขภาพระยะยาว การได้รับโอโซนเป็นระยะเวลานาน ๆ อาจทำอันตรายต่อปอด ทำให้เนื้อเยื่อปอดอักเสบ พบได้บ่อยในคนงานเชื่อมโลหะไฟฟ้า ระบบเมตตาบอลิซึมผิดปกติ และอาจรุนแรงจนทำให้เซลล์ตาย เซลล์ต่าง ๆ แทบทุกระบบจะทำงานผิดปกติเกิดเป็นโรคต่าง ๆ ได้ มากมาย ทั้งกลุ่มในโรคประสาท กลุ่มโรคหัวใจและหลอดเลือด กลุ่มโรคเกี่ยวกับความดันโลหิต กลุ่มโรคมะเร็งของอวัยวะต่าง ๆ และกลุ่มโรคเกี่ยวกับภูมิต้านทาน เช่น โรคภูมิแพ้ หอบหืด โรคข้ออักเสบรูมาตอยด์ ทำให้เลนส์ตาเกิดการพร่ามัว นำไปสู่โรคนัยย์ตาและกล้ามเนื้อนัยย์ตาเสื่อม (autoimmune diseases) โดยการได้รับผลกระทบจะมีปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจทำให้เกิด ผลร่วม เช่นการสูบบุหรี่หรือความแตกต่างของสภาพแวดล้อมในการดำรงชีวิต เช่นสภาพอากาศ ลักษณะของสถานที่ประกอบอาหาร และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ (Colbeck & Mackenzie, 1994)

ตาราง 1 ค่ามาตรฐานของการสัมผัสก๊าซโอโซน (Colbeck & Mackenzie, 1994)

ระยะเวลาที่สัมผัส	ปริมาณโอโซน
สุขภาพมนุษย์	
1 ชั่วโมง	76 – 100 ppb
8 ชั่วโมง	50 – 60 ppb
มาตรฐานการป้องกันพืช	
1 ชั่วโมง	100 ppb
24 ชั่วโมง	33 ppb
ฤดูการเพาะปลูก	30 ppb

ตาราง 2 ระดับคุณภาพอากาศจากโอโซนค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (Colbeck & Mackenzie, 1994)

คุณภาพอากาศ	ปริมาณโอโซน
ดี	< 50 ppb
ดีปานกลาง	50 – 89 ppb
พอใช้	90 – 179 ppb
ไม่ดี	≥ 180 ppb

ผลกระทบของมลพิษทางอากาศต่อพืช

พืชเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์แสงและสร้างอาหารได้ด้วยตัวเอง โดยใช้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยเริ่มต้นในการผลิต ปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะเป็นสารตั้งต้นในขบวนการสังเคราะห์แสง โดยมีปากใบ (stomata) เป็นช่องทางในการรับก๊าซ ในสภาวะอากาศมีการปนเปื้อนของก๊าซมลพิษในปริมาณมาก เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน เป็นต้น ปากใบ ที่เป็นเป้าหมายแรกที่สัมผัสต่อก๊าซมลพิษจะตอบสนองโดย การปิดปากใบ (closure) หรือลดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ (gas exchange) ซึ่งจะพบได้ทั่วไป ในพืชหลายชนิด พฤติกรรมดังกล่าวจะส่งผลกระทบถึงปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จำเป็นต่อการสร้างอาหารของพืช (Musselman และ Minnick, 2000) โอโซนถูกจัดเป็นก๊าซพิษสำคัญสำหรับพืช เมื่อความเข้มข้นอยู่ในระดับสูงและพืชได้รับการสัมผัสยาวนาน (Haeagle,1989) ในบรรยากาศชั้น

โทรโพสเฟียร์ และเพิ่มขึ้นอย่างมากและเลยจุดเริ่มต้นของสภาวะวิกฤติที่ 40 นาโนลิตรต่อลิตร บ่อยครั้งในระยะเวลาสิบปีที่ผ่านมา (Schraudner และคณะ 1997) ในบรรดาก๊าซพิษหลัก ๆ พบว่า โอโซนเพียงชนิดเดียว สามารถทำความเสียหายต่อพืชอย่างมากตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น (Haeagle, 1989) จากงานวิจัยของ Pearson และคณะ (1996) พบว่า วัชพืช ในกลุ่ม *Plantago major* หลายสายพันธุ์ที่เจริญเติบโตในตู้รมก๊าซโอโซน(ozone fumigated chamber) ที่ความเข้มข้น 35 และ 70 ppb มีอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เจริญเติบโตในตู้รมก๊าซที่ปราศจากก๊าซพิษ (clean air chambers) การตอบสนองต่อมลพิษทางอากาศของพืชโดยการลดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซจะเป็นการลดปริมาณ (flux) ของก๊าซพิษที่ผ่านปากใบ (Lyons และคณะ 1999) อย่างไรก็ตามพืชมีความจำเป็นต้องการ การสังเคราะห์แสง จึงไม่สามารถหลีกเลี่ยงการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ เมื่อก๊าซพิษได้สัมผัสเซลล์ภายในบริเวณปากใบขบวนการป้องกันตัวเองแบบรับ (passive defence) ของพืชก็จะตอบสนองโดยปฏิกริยาทางชีวเคมีในเนื้อเยื่อที่จะลดความเป็นพิษ (detoxification) ของก๊าซพิษ (Musselman และ Massman 1999 Massman และคณะ 2000) โดยมีสารประกอบหลายประเภทที่จะถูกผลิตเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะบริเวณที่เป็นของเหลวในผนังเซลล์ (apoplastic fluid) เพื่อใช้ในขบวนการลดความเป็นพิษ เมื่อพืชได้รับการกระตุ้นจากสารมลพิษ อาทิเช่น ascorbate, dehydroascorbate, polyamines, phenolics, glutathione, Cu/Zn superoxide dismutase, glutathione S-transferase และ peroxidases เป็นต้น (Turksányi และคณะ 2000)

นอกจากนี้ผลกระทบของมลพิษทางอากาศยังส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงของพืช (photosynthesis) และเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้พืชมีอัตราการเจริญเติบโตที่ลดลง จากการศึกษาของ Pell และคณะ (1997) ที่พบว่า black cherry และ hybrid poplar ที่ได้รับก๊าซโอโซนมีการลดลงของอัตราการสังเคราะห์แสงโดยเฉพาะปริมาณของ Rubisco อย่างไรก็ตามผลของการลดลงของอัตราการสังเคราะห์แสงดังกล่าวอาจจะไม่แสดงทันทีในปีแรกแต่จะมีผลในระยะยาว (chronic effects) หรือในปีถัดไปตลอดเวลาที่ได้รับก๊าซพิษ (Lethiec, Dixon และ Garrec 1994) เช่นเดียวกับ Gimeno และคณะ (1999) พบว่าแตงโม (water melon) ที่ปลูกในตู้รมก๊าซแบบหลังคาเปิด (open top chamber) ซึ่งได้รับก๊าซพิษจากอากาศทั่วๆไป มีอัตราการการใช้ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าตัวอย่างที่ปลูกในตู้รมก๊าซที่ได้รับการกรองอากาศ และจากการศึกษาของ Kume และคณะ (2000) พบว่า ในพื้นที่ป่าสนเสื่อมโทรมอันเนื่องมาจากผลกระทบของมลพิษทางอากาศ ก่อให้เกิดการลดลงของอัตราการสังเคราะห์แสง ปริมาณของ intercellular CO_2 และอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ

อาการบาดเจ็บ (lesion) ทางใบของพืช ที่ได้รับก๊าซพิษจะสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าเมื่อพืชชนิดนั้นๆมีการตอบสนองไว (sensitive) ต่อก๊าซพิษ หรือได้รับก๊าซพิษที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งจะแสดงออกโดยการถูกทำลายของคลอโรฟิลล์ เป็นจุดๆ (chlorotic spots) หรือใบมีอาการหงิกงอ (necrotic spots) (Flagler, 1998) นอกจากนี้ ใบของพืชที่ได้รับก๊าซพิษยังมีการแก่ตัวเร็วขึ้น (foliar senescence) (Pell, Schlagnhaufer และ Arteca 1997 Pell และคณะ 1999) จากการศึกษาของ Klumpp, Domingos และKlumpp (1996) พบอาการบาดเจ็บทางใบของไม้พันธุ์ Gladiolus ที่พบในเขตป่าดิบชื้นเนื่องจากได้รับปริมาณของฟลูออไรด์ที่ถูกปลดปล่อย สู่บรรยากาศจากโรงงานผลิตปุ๋ยเคมีในเขตพื้นที่ใกล้เคียง และยังมีพืชอีกหลายชนิดแม้ว่าจะไม่แสดงอาการที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าแต่ก็สามารถตรวจวัดได้จาการเปลี่ยนแปลงทาง สรีระวิทยา เช่น ต้นแอปเปิ้ล (*Malus domestica* Bork. Cv. Golden Delicious) ไม่แสดงอาการบาดเจ็บทางใบ (visible leaf injury) จากก๊าซโอโซน แต่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสง (Soja, Pfeifer and Soja 1998) อย่างไรก็ตามพืชบางชนิดอาจจะไม่แสดงอาการภายนอก (visible symptom) แต่ภาวะมลพิษจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตในระยะยาว (Schraudner, Langebartels และ Sandermann 1997)

ผลกระทบของโอโซนที่มีต่อข้าว

ในข้าวพันธุ์ IRRI-6 และ Basmati-385 ซึ่งเป็นข้าวพื้นเมืองของปากีสถานที่มีความ sensitive นำมาทดสอบกับโอโซนโดยออกแบบการทดลองเป็น 3 treatments คือ Charcoal - filtered air chamber (FA) , unfiltered air chamber (UFA) และ Unchambers outside plots (OP) ความเข้มข้นของโอโซน เฉลี่ย 35.6 nl litre $^{-1}$ ความเข้มข้นของโอโซน ใน FA เฉลี่ยไม่เกิน 5 nl litre $^{-1}$ เนื่องจากประสิทธิภาพในการกรองของ Charcoal – filtered พบว่าโอโซน มีผลกระทบต่อผลผลิตของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ในการเปรียบเทียบระหว่าง treatment FA และ UFA ใน UFA จะลดผลผลิตใน IRRI-6 และ Basmati-385 ดังนี้ เมล็ดต่อรวง 8.7 และ 6.4 เปอร์เซ็นต์, น้ำหนัก 1000 เมล็ด 3.5 และ 6.6 เปอร์เซ็นต์ , น้ำหนักเมล็ดต่อต้น 37 และ 42 เปอร์เซ็นต์, น้ำหนักฟาง 42 และ 47 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักราก 32 และ 38 เปอร์เซ็นต์, จำนวนรวงต่อต้น 28 และ 34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ใน treatment OP จะให้ผลที่ใกล้เคียงกับ UFA โดยให้ผลผลิตต่ำกว่าเล็กน้อย เนื่องจากมีการสัมผัสกับก๊าซโอโซน ในสภาพแวดล้อมโดยตรง (Wahid และคณะ 1995) ในข้าวของญี่ปุ่นพันธุ์ Koshi – hikari และ Nippon – bare มีความ sensitive กับโอโซนความเข้มข้น 20 – 100 nl litre $^{-1}$ โดยลดน้ำหนักแห้งของลำต้น ราก จำนวนรวง ($p<0.01$) เมล็ดต่อรวง และน้ำหนัก 1000 เมล็ด ($p<0.05$) ลดลง และเมื่อได้รับก๊าซนี้เป็นระยะเวลานานจะมีผลในการลดพื้นที่ใบของ

พืช (Kobayashi และคณะ 1995) การเพิ่มความเข้มข้นของโอโซนในข้าวพันธุ์ IR 74 เมื่อเทียบกับกลุ่ม control จะทำให้เกิดอาการเสียหายที่ใบ ลดน้ำหนักฟาง ($p<0.01$) ลดจำนวนใบ น้ำหนักของลำต้น ($p<0.05$) อัตราส่วน root : shoot ลดลง (Olszyk และ Wise, 1997) จากการศึกษาผลกระทบของข้าวจากโอโซนในแคลิฟอร์เนียทั้งหมด 3 พันธุ์ คือ M7, M9 และ S201 พบว่าโอโซน 0.2 ppm จะลดจำนวนต้นกล้าของ M9 และลดน้ำหนักของเมล็ด 13, 30, 24% นอกจากนี้โอโซนยังทำให้ความสูง จำนวนรวง ลดลงอีกด้วย พิษของโอโซนที่มีต่อพืชมีความไวมากกว่าก๊าซชนิดอื่น ๆ เช่น SO_2 ผลกระทบของพืชในการศึกษาใน Chamber พบว่า พืชที่อยู่ตรงกลางจะให้ผลผลิตดีกว่าพืชที่อยู่รอบนอก (Ray, 1983)

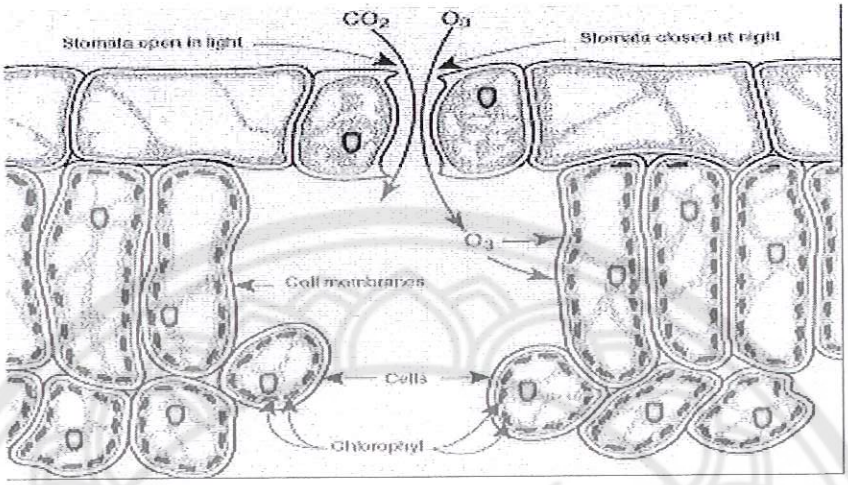
กลไกของก๊าซโอโซนในการเข้าสู่พืช

เนื่องจากปากใบเป็นบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างและอากาศภายนอก ดังนั้นการที่พืชเปิดปากใบเพื่อแลกเปลี่ยนก๊าซทำให้พืชได้รับก๊าซโอโซนจากอากาศรอบ ๆ ผ่านทางปากใบที่เปิดซึ่งเป็นทางเดียวกับการเข้าสู่พืชของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งพืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง สำหรับกลไกของก๊าซโอโซนในการเข้าสู่พืชแสดงดังภาพ 1 (Agriculture& Agi-food Canda, 2003. Online) เมื่อ ก๊าซโอโซนเข้ามาในพืชแล้วจะละลาย และเกิดปฏิกิริยากับองค์ประกอบที่อยู่ใน apopalstic fluid ซึ่งเป็นของเหลวที่อยู่รอบ mesophyll cells และ palisade cells สำหรับองค์ประกอบที่อยู่ใน apopalstic fluid ได้แก่ แอสคอร์เบท, SOD, POD, PX และ polymine เป็นต้น จากนั้นก๊าซโอโซนจะสลายตัวอย่างรวดเร็วและเปลี่ยนเป็นสารอนุพันธ์เหล่านี้เรียกว่า รีแอกทิฟ ออกซิเจนสปีชีส์(Reactive Oxigen Speciesหรือ RPS) ได้แก่ ซูปเปอร์ออกไซด์ (O_2) ไฮดรอกซี แรดิเคิล(HO) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และ single oxygen (O_2) เป็นต้น (Dizengremel;2001) ซึ่ง ROS สามารถทำลายส่วนประกอบของ plasmamembranesเช่น โปรตีนและไขมัน ดังนั้น เพื่อป้องกันความเสียหายต่อ plasmamembranes cytoplasmic components จึงต้องทำลายโมเลกุลของก๊าซโอโซน และROS ตั้งแต่ใน apoplastic fluid ซึ่งเป็นจุดแรกที่ก๊าซโอโซนเข้าสู่พืช (namaria et al.,2000) การที่โมเลกุลของก๊าซโอโซนสลายตัวอย่างรวดเร็วใน apoplastic fluid ทำให้ความเข้มข้นของ ก๊าซโอโซนในช่องว่างระหว่างเซลล์(intercellular space)มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ โดยปกติแล้วในพืชจะเกิดจากกลไกในพืช เช่น การสังเคราะห์แสงและการหายใจ รวมทั้งมีการผลิต ROS ใน chloroplasts และ mitochrondia ซึ่งเมื่อเกิด ROS ขึ้นจะไปกระตุ้นการทำงานของสารแอนติออก-

ซิแดนท์เพื่อกำจัด แต่พืชมีกลไกทางชีวเคมีเพียงพอที่จะปกป้องเซลล์จากการทำลายนี้ ส่วน ROS ที่เกิดจากก๊าซโอโซนพืชจะตอบสนองโดยกระตุ้นกลไกการป้องกันจากส่วนประกอบต่างๆ ของเซลล์ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัด ROS (Scebba et al.,2003)

ROS แต่ละชนิดมีความเป็นพิษต่อเซลล์แตกต่างกันรวมทั้งชนิดของสารแอนติออกซิแดนท์ที่มากำจัด ROS แต่ละชนิดแตกต่างกันด้วย โดย O_2 เป็นสารเริ่มต้นของการเกิดของ ROS อื่น ได้แก่ H_2O_2และ HO ซึ่ง เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง O_2 และ H^+ ส่วน HO เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง O_2 และ H_2O_2สำหรับ H_2O_2 มีความเป็นพิษน้อยกว่า ROS อื่นและสามารถกระจายได้อย่างรวดเร็วจากแหล่งกำเนิดไปยังเซลล์ต่างๆผ่านเนื้อเยื่อจึงทำหน้าที่ส่งสัญญาณเพื่อไปกระตุ้นการทำงานของยีนที่เกี่ยวข้องในการต่อสู้กับ ROS นอกจากนี้ H_2O_2 จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่มี sulfhydryl group เป็นองค์ประกอบ เช่น Cu/Zn-SOD และ Fe-SOD ซึ่ง H_2O_2 เคลื่อนที่ผ่านอย่างรวดเร็วตลอดเนื้อเยื่อโดยการแพร่(diffusion) และลดการสังเคราะห์แสงโดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์บางชนิดใน Calvin Cycle เช่น fructose bisphosphatse , ribulose phosphate kinase และ ribulose bisphosphate cboxylase/oxygenenase(Nouchi, 1993)

ROS อีกชนิดหนึ่งที่มีความเป็นพิษสูงคือ HO เนื่องจากสามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้อีกทั้งยังเป็นสาเหตุสำคัญในการเกิดปฏิกิริยา peroxidation กับไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์เรียกปฏิกิริยาที่เกิดว่า ลิปิด เปอร์ออกซิเดชั่น (lipid peroxidation) รวมทั้งทำให้เกิดการทำลายไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์ ทำลาย DNA และทำให้เอนไซม์บางชนิดไม่สามารถทำงานได้ ส่วน O_2 มีระยะเวลาที่อยู่ภายในเซลล์สั้นมากเพียง $0.1*10^{-6}$ วินาที ทำให้ยากต่อการตรวจวัด เนื่องจากถูกกำจัดอย่างรวดเร็วโดยแอสคอร์เบทในผนังเซลล์ก่อนที่จะเข้าสู่เนื้อเยื่อ O_2 มีผลกระทบต่อเกิดลิปิดเปอร์ออกซิ-เดชั่นกับเนื้อเยื่อไขมันไม่อิ่มตัวและ Oxidize กรดอะมิโนบางชนิด เช่น methione , trytophan และ histidine



ภาพ 1 กลไกการเข้าสู่พืชของก๊าซโอโซนผ่านปากใบ
ที่มา griculture & Agi-food Canada (2003)

ผลกระทบของก๊าซโอโซนทางสรีรวิทยาต่อพืช

เมื่อก๊าซโอโซนเข้าสู่พืชแล้วสลายตัวเป็น ROS หลายชนิด โดย ROS เหล่านี้มีความเป็นพิษสูงเนื่องจากสามารถทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบทางชีวของพืช อีกทั้งยังสามารถเคลื่อนที่ไปมาระหว่างเซลล์ได้ สำหรับตัวอย่างความเป็นพิษของ ROS ได้แก่ เมื่อ ROS ทำปฏิกิริยากับไขมันซึ่งเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์เกิดเป็น lipid peroxy radicals และ lipid hydroperoxides เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่า lipid peroxidation ซึ่งเป็นสาเหตุในการทำลายโครงสร้างของเซลล์ที่เป็นไขมัน (Foyer , Descourvieres & Kunert , 1994) นอกจากนี้ ROS ยังเกิดปฏิกิริยากับ sulfhydryl group ซึ่งเป็นองค์ประกอบของโปรตีนเกิดเป็น รีแอกทีฟ ออกซิเจน อินเตอร์มิเดีย (Reactive Oxigen Intermediate หรือ ROI) ซึ่งเป็นสาเหตุในการทำลายโครงสร้างของเซลล์ทำให้เซลล์ตาย ลดการสังเคราะห์แสง ลดมวลชีวภาพ (Calatyud & Barreno, 2003) และลดค่าการแลกเปลี่ยนก๊าซของปากใบ (stomatal conductnce) อีกทั้งยังเปลี่ยนแปลงความไวต่อ biotic และ abiotic stress อื่นๆ เช่น อุณหภูมิความแห้งแล้ง การติดเชื้อ การได้รับโลหะหนัก และการได้รับมลพิษทางอากาศอื่น เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ เป็นต้น (Sharma & Davis, 1994)

ความเป็นพิษของ ROS ซึ่งเป็นสารอนุมูลอิสระที่เกิดจากก๊าซโอโซนจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่พืชมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยประกอบกัน ได้แก่ ระยะเวลาที่ได้รับและระดับความเข้มข้นก๊าซโอโซน ชนิด ช่วงอายุและการปรับตัวของพืช การได้รับความเครียดอื่นร่วมด้วย รวมทั้งกลไกการป้องกันภายในพืชเองทั้งกระบวนการทางสรีระและชีวเคมี เช่น การผลิตสารแอนติ-

ออกซิแดนท์ การปิดปากใบ เป็นต้น เมื่อพืชได้รับก๊าซโอโซนเฉียบพลันในระยะสั้นที่ระดับความเข้มข้นสูง (cute stress) ก่อให้เกิดความเสียหายที่มองเห็นได้ (visible injury) นอกจากนี้การได้รับก๊าซโอโซนเป็นระยะเวลานานที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (chronic stress) สามารถพบความเสียหายที่มองเห็นได้น้อยหรืออาจจะไม่พบความเสียหายแต่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการทางสรีรวิทยาและทางชีวเคมีของพืช (Koch et al., 1998)

ความเร็วในการตอบสนองต่อก๊าซโอโซนของพืชจะเปลี่ยนแปลงตามช่วงอายุของพืชที่ได้รับก๊าซโอโซน เช่น ข้าวสาลีจะตอบสนองเร็วมากต่อก๊าซโอโซนในช่วงอายุที่เปลี่ยนจากระยะวัฒนภาค (vegetative stage) ไปสู่ระยะสืบพันธุ์ (reproductive stage) อีกทั้งการได้รับก๊าซโอโซนช่วงระยะดอกบาน (anthesis) และช่วงข้าวตั้งท้อง (grain filling) มีผลกระทบอย่างมากต่อผลผลิตเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงระยะก่อนดอกบาน และการได้รับก๊าซโอโซนมีผลกระทบมากต่อผลผลิตในมะเขือเทศช่วงกำลังออกดอกและเริ่มออกผลรวมทั้งถั่วในช่วงกำลังออกฝัก (pod development) (Fuhrer, Skarby & Ashmore, 1997) นอกจากนี้พืชที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วกว่าจะมีการตอบสนองต่อก๊าซโอโซนเร็วกว่าพืชที่มีการเจริญเติบโตช้ากว่า เช่น black-poplar(*Populus nigra* L.) ซึ่งมีการเจริญเติบโตเร็วกว่า European ash (*Fraxinus excelsior* L.) พบว่าสามารถตอบสนองต่อก๊าซโอโซนเร็วกว่าด้วย(Bortior, Temmerman & Ceulemans , 2000)

การตรวจวัดมลพิษทางอากาศในประเทศไทย

การตรวจวัดมลพิษทางอากาศต้องใช้วิธีการที่ซับซ้อนและเครื่องมือที่มีราคาสูง ซึ่งการตรวจวัดในประเทศไทยดังกล่าวปัจจุบันดำเนินการโดยกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม โดยมีระบบตรวจวัดทั้งแบบประจำที่ (fix station) และเคลื่อนที่ (mobile unit) โดยมีการรายงานการตรวจวัดในลักษณะต่อเนื่อง และเชื่อมต่อโดยตรงต่อศูนย์ควบคุมจากส่วนกลาง ทั้งนี้ข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาผลของโทรโปสเฟียร์ริกโอโซนในระดับภาคสนามด้วย อย่างไรก็ตามการศึกษาและวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการของผลกระทบของมลพิษทางอากาศมีที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพที่ไม่ใช่มนุษย์ในประเทศไทยยังมีน้อย ประกอบกับบางส่วนไม่ได้เผยแพร่ผลการวิจัย ดังนั้นผลที่ได้จากโครงการวิจัยนี้จะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจริงของโทรโปสเฟียร์ริกโอโซน

ข้าวและลักษณะพันธุ์

ข้าวเป็นธัญพืชที่สำคัญของประชากรกว่าครึ่งโลกที่ใช้เป็นอาหารหลัก ได้มีการปลูกและใช้บริโภคกันมากในประเทศแถบทวีปเอเชีย เช่น อินเดีย ปากีสถาน เนปาล บังกลาเทศ พม่า ไทย มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ จีน เกาหลี และญี่ปุ่น

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้า (Grass family ; Gramineae) มีลำต้นเป็นไม้เนื้ออ่อน (Herbaceous or non - woody plant) มีใบเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว (Monocotyledon) รากเป็นระบบรากฝอย (Fibrous root system) สามารถเติบโตได้ดีในเขตร้อน ซึ่งเป็นเขตมรสุม แต่ก็มีความ สามารถเจริญเติบโตได้ดีแม้ในเขตอบอุ่น ข้าวจึงนับได้ว่าเป็นพืชที่มีความสามารถในการพัฒนาและปรับตัวให้เหมาะสมกับภูมิประเทศและภูมิอากาศได้อย่างกว้างขวางชนิดหนึ่งของโลกข้าวสามารถแบ่งตามการเพาะปลูก เป็น 3 ชนิดคือ ข้าวไร่ ข้าวนาสวน และข้าวขึ้นน้ำ (จำรัส,2523) และแบ่งตามลักษณะความไวต่อแสง ก็จะได้ข้าวที่ไวต่อแสงและไม่ไวต่อแสง โดยข้าวที่ไวต่อแสงจะมีอายุการเก็บเกี่ยวที่ไม่แน่นอน เพราะจะออกดอกในช่วงเดือนที่มีความยาวของกลางวันสั้นกว่ากลางคืน ในประเทศไทยช่วงดังกล่าวเริ่มเดือนตุลาคม ฉะนั้น ข้าวพวกนี้ต้องปลูกในฤดูฝนเท่านั้น ส่วนข้าวที่ไม่ไวต่อแสง จะสามารถปลูกได้ทุกฤดูกาล (เยาวนุช และ วันชัย, 2543)

ลักษณะที่สำคัญของข้างแบ่งออกได้เป็นลักษณะที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโต และลักษณะที่เกี่ยวกับการขยายพันธุ์ ดังนี้

1. ลักษณะที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโต

ลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของต้นข้าว ได้แก่ ราก ลำต้น และใบ

1.1 รากเป็นส่วนที่อยู่ใต้ผิวดิน ใช้ยึดลำต้นกับดินเพื่อไม่ให้ต้นล้ม แต่บางครั้งก็มีรากพิเศษเกิดขึ้นที่ข้อซึ่งอยู่เหนือพื้นดินด้วย ต้นข้าวไม่มีรากแก้ว แต่มีรากฝอยแตกแขนงกระจายอยู่ใต้ผิวดิน แต่ละแขนงของรากฝอยก็มีรากขนอ่อน รากของต้นข้าวนอกจากจะเกิดที่โคนต้นแล้วรากก็จะเกิดขึ้นที่ข้อซึ่งอยู่ใต้ดินและอยู่ใต้น้ำด้วย ต้นข้าวใช้รากสำหรับดูดเอาอาหารจากดินซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ และน้ำ อาหารเหล่านี้จะถูกส่งไปที่ใบเพื่อเปลี่ยนเป็นแป้ง โดยการสังเคราะห์แสง

1.2 ลำต้นมีลักษณะเป็นโพรงตรงกลางและแบ่งออกเป็นปล้อง ๆ โดยมีข้อกั้นระหว่างปล้อง ความยาวของปล้องนั้นแตกต่างกัน จำนวนปล้องจะเท่ากับจำนวนใบของต้นข้าว ปกติมีประมาณ 25 - 30 ปล้อง แต่จะมีใบติดอยู่ที่ต้นให้เห็นเพียง 5 – 7 ใบ ปล้องซึ่งอยู่ที่โคนต้นจะสั้นกว่าและหนากว่าปล้องซึ่งอยู่ที่ปลายของลำต้น นอกจากนี้ปล้องซึ่งอยู่ที่โคนจะมีขนาดโตกว่าปล้อง

ที่อยู่ตรงส่วนปลาย ที่ข้อซึ่งเป็นส่วนที่แบ่งลำต้นออกเป็นปล้อง ๆ นั้นมีตาสำหรับการเจริญเติบโตเป็นหน่อข้อละหนึ่งตา ต้นข้าวจะถูกห่อหุ้มด้วยกาบใบ

1.3 ใบ ต้นข้าวมีใบสำหรับการสังเคราะห์แสง เพื่อเปลี่ยนแร่ธาตุ อาหาร น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นแป้ง เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างเมล็ดของต้นข้าวใบประกอบด้วยกาบใบและแผ่นใบ กาบใบและแผ่นใบเชื่อมติดกันด้วยข้อต่อของใบ กาบใบ คือ ส่วนที่ติดอยู่กับข้อของลำต้นและห่อหุ้มต้นข้าวไว้ แต่ละข้อมีเพียงหนึ่งกาบใบเท่านั้น แผ่นใบ คือ ส่วนที่อยู่เหนือข้อต่อของใบมีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ ซึ่งพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์จะมีลักษณะของใบแตกต่างกัน

2. ลักษณะที่เกี่ยวกับการขยายพันธุ์

ต้นข้าวมีการขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดซึ่งเกิดจากการผสมระหว่างเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย ดังนั้นลักษณะที่สำคัญเกี่ยวกับการขยายพันธุ์ ได้แก่ รวง ดอกข้าว และเมล็ดข้าว

2.1 รวงข้าว (panicle) หมายถึงช่อดอกของข้าว (inflorescence) ซึ่งเกิดขึ้นที่ข้อของปล้องสุดท้ายของต้นข้าว ระยะระหว่างข้อบนของปล้องสุดท้ายกับข้อต่อของใบธง เรียกว่า คอรวง รวงข้าวประกอบด้วยก้านใหญ่ต่อจากคอรวงขึ้นไป แล้วแตกแขนงเรียกว่าระแง้ปฐมภูมิ และมีการแตกแขนงไปอีกเป็นระแง้ทุติยภูมิซึ่งจะมีดอกข้าวและก้านดอกติดอยู่

2.2 ดอกข้าว หมายถึงส่วนเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียสำหรับผสมพันธุ์ ดอกข้าวประกอบด้วยเปลือกนอกใหญ่สองแผ่นประสานกัน เพื่อห่อหุ้มส่วนที่อยู่ภายในไว้ เปลือกนอกใหญ่แผ่นนอกเรียกว่าเลมมา (lemma) ส่วนเปลือกนอกใหญ่แผ่นในเรียกว่าพาเลีย (palea) ทั้งสองเปลือกนี้ ภายนอกอาจมีขนหรือไม่มีขนก็ได้ ที่ปลายของเลมมาจะมีส่วนแหลมยื่นออกมาเรียกว่าหาง ดอกข้าวจะเริ่มบานจากปลายรวงลงมาสู่โคนของรวงข้าว และรวง ๆ หนึ่งจะใช้เวลาประมาณ 7 วัน เพื่อให้ดอกทุกดอกบานและมีการผสมเกสร

2.3 เมล็ดข้าว หมายถึงส่วนที่เป็นแป้งที่เรียกว่าเอ็นโดสเปิร์ม (endosperm) และส่วนที่เป็นคัพภะ ซึ่งห่อหุ้มไว้โดยเปลือกนอกใหญ่สองแผ่น เอ็นโดสเปิร์มเป็นแป้งในเมล็ดข้าวที่บริโภค คัพภะเป็นส่วนที่มีชีวิตและงอกออกมาเป็นต้นข้าวเมื่อเอาไปเพาะ การที่ละอองเกสรตัวผู้ตกลงบนที่รับละอองเกสรของเกสรตัวเมียนั้น เรียกว่าการผสมเกสร หลังจากการผสมเกสร ละอองเกสรตัวผู้ก็จะงอกลงไปในเกสรตัวเมีย เพื่อนำนิวเคลียสจากจากเกสรตัวผู้ลงไปผสม เพื่อรวมตัวกับไข่และนิวเคลียสอื่น ๆ ในรังไข่ นิวเคลียสที่ได้รวมตัวกับไข่ก็จะเจริญเติบโตเป็นเอ็มบริโอส่วนนิวเคลียสที่ได้รวมตัวกับนิวเคลียสอื่น ๆ ก็จะเจริญเติบโตเป็นแป้งที่เรียกว่าเอ็นโดสเปิร์ม หลังจากการผสมเกสรประมาณ 30 วัน เมล็ดข้าวก็จะแก่พร้อมจะเก็บเกี่ยวได้ (ประพาส, 2526)

3. พันธุ์ข้าวที่นำมาทดลอง

พันธุ์ข้าวที่นำมาใช้ในการทดลองทั้งหมด 24 พันธุ์ แบ่งตามความไวต่อช่วงแสงและไม่ไวต่อช่วงแสงดังนี้

3.1 พันธุ์ข้าวเจ้าที่ไม่ไวต่อช่วงแสง

กข5 มีอายุประมาณ 140 - 160 วัน สูง 145 ซม. ต้านทานโรคไหม้และโรคขอบใบแห้งปานกลาง ไม่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล หนอนกอ โรคใบหงิก โรคคอรวงเน่า และโรคใบจุดสีน้ำตาล นวดยากและไม่เหมาะที่จะปลูกในฤดูนาปรัง

กข7 มี อายุประมาณ 120 - 130 วัน สูง 115 ซม. ทนดินเปรี้ยวได้พอสมควร ปลูกในสภาพไร่ได้ ต้านทานโรคไหม้และโรคขอบใบแห้งปานกลาง ไม่ต้านทานโรคใบหงิก โรคใบสีส้ม แมลงบั่ว เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และหนอนกอ เมล็ดร่วงง่ายต้องระมัดระวังในการเก็บเกี่ยว

กข11 มีอายุประมาณ 130 - 140 วัน สูง 105 - 115 ซม. ต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาลปานกลาง ไม่ต้านทานโรคใบหงิก โรคขอบใบแห้ง เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล แมลงบั่ว และนวดยาก

กข17 อายุประมาณ 140 วัน สูง 130 ซม. เหมาะสำหรับพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางที่มีระดับน้ำปกติ 50 – 100 ซม. ให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวขึ้นน้ำพันธุ์พื้นเมือง 40 – 50 เปอร์เซ็นต์ ต้านทานโรคขอบใบแห้งปานกลาง ไม่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

กข21 อายุประมาณ 120 - 130 วัน สูง 100 - 125 ซม. ต้านทานโรคขอบใบแห้งและโรคใบหงิก ในสภาพธรรมชาติไม่ต้านทานโรคใบสีส้ม และโรคไหม้ ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ถ้าใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมากข้าวจะล้ม

กข23 อายุประมาณ 120 - 130 วัน สูง 115 - 120 ซม. ต้านทานโรคขอบใบแห้งและโรคใบหงิก ในสภาพธรรมชาติต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และต้านทานเพลี้ยจักจั่นสีเขียวปานกลางไม่ต้านทานโรคใบสีส้ม โรคไหม้ และโรคกาบใบแห้ง

ปทุมธานี1 มีอายุประมาณ 104 – 125 วัน ต้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง และต้านทานค่อนข้างสูงต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ผลผลิตสูง เมื่อหุงสุกมีสีอ่อน ๆ เป็นข้าวนุ่มค่อนข้างเหนียวคล้ายพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ105

สุพรรณบุรี1 มีอายุประมาณ 120 – 125 วัน ต้านทานโรคไหม้ โรคใบหงิก โรคขอบใบแห้ง เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยกระโดดหลังขาว

สุพรรณบุรี2 มีอายุประมาณ 90 – 110 วัน ต้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง โรคใบหงิก โรคใบสีส้ม และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

สุพรรณบุรี60 อายุประมาณ 120 วัน สูง 135 ซม. ต้านทานโรคไหม้และโรคขอบใบแห้ง เพลี้ยจักจั่นสีเขียว เพลี้ยกระโดดหลังขาว ไม่ต้านทานโรคใบจุดสี

สุพรรณบุรี90 อายุประมาณ 120 วัน สูง 120 ซม. ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โรคใบหงิก โรคใบสีส้ม โรคไหม้ และโรคขอบใบแห้ง

พิษณุโลก2 มีอายุประมาณ 119 – 121 วัน ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยกระโดดหลังขาว ผลผลิตสูง คุณภาพเมล็ดดี คุณภาพการสีดีมาก ข้าวสุกร่วนแข็ง

สุรินทร์1 อายุประมาณ 140 วัน สูง 142 ซม. ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยกระโดดหลังขาว เพลี้ยจักจั่นสีเขียว คุณภาพเมล็ดดี ล้มง่ายมาก

ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี อายุประมาณ 120 วัน สูง 126 ซม. มีลักษณะรูปร่างเมล็ดและคุณภาพในการหุงต้มคล้ายข้าวขาวดอกมะลิ105 เป็นพันธุ์ข้าวหอมต้นเตี้ยไม่ไวต่อช่วงแสง ค่อนข้างต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง และเพลี้ยกระโดดหลังขาว ไม่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

ข้าวเจ้าหอมคลองหลวง1 อายุประมาณ 118 - 125 วัน สูง 110 ซม. เป็นข้าวหอมต้นเตี้ย ไม่ไวต่อช่วงแสง มีคุณภาพในการหุงต้มและรับประทานคล้ายข้าวขาวดอกมะลิ105 ค่อนข้างต้านทานต่อโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง และเพลี้ยกระโดดหลังขาว ค่อนข้างไม่ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (โรคใบหงิก) และเพลี้ยจักจั่นสีเขียว (โรคใบสีส้ม) ตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนดี

3.2 พันธุ์ข้าวเจ้าที่ไวต่อช่วงแสง

กข15 เก็บเกี่ยวประมาณ 10 พฤศจิกายน ทนแล้ง ปลูกเป็นข้าวไร่ได้ ข้าวสุก นุ่มเหนียว และหอมคล้ายข้าวขาวดอกมะลิ 105

กข19 เก็บเกี่ยวประมาณ 15 ธันวาคมสูง 130 ซม. เหมาะสำหรับพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางที่มีระดับน้ำไม่เกิน 1 เมตร ต้านทานโรคขอบใบแห้งปานกลาง ไม่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

กข27 เก็บเกี่ยวประมาณ 10 ธันวาคม สูง 160 ซม. ต้านทานโรคใบหงิก โรคกาบใบแห้ง โรคไหม้ระยะคอรวง ในสภาพธรรมชาติไม่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โรคใบ สีส้ม และโรคขอบใบแห้ง ทนน้ำท่วมได้ดีพอสมควรเมื่อปักดำแล้วประมาณเดือนครึ่ง

ปทุมธานี60 เก็บเกี่ยวประมาณ 25 พฤศจิกายน สูง 160 ซม. ต้านทานโรคกาบใบเน่าและโรคใบหงิก ในสภาพธรรมชาติ ไม่ต้านทานโรคไหม้ โรคใบสีส้ม โรคขอบใบแห้ง เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และหนอนกอ

เก้ารวง88 เก็บเกี่ยวประมาณ 21 พฤศจิกายน สูง 140 ซม. ต้านทานเพลี้ยจักจั่นสีเขียว โรคใบจุดสีน้ำตาล โรคขอบใบแห้ง ไม่ต้านทานโรคไหม้ และโรคใบสีส้ม เมล็ดข้าวมีน้ำหนักดี ถ้าเก็บเกี่ยวล่าช้ามักจะคอหักรวง

ขาวดอกมะลิ105 เก็บเกี่ยวประมาณ 20 – 25 พฤศจิกายน สูง 140 ซม. ปลูกได้ในที่นาดอนทั่วไป ทนแล้ง ทนดินเปรี้ยว ทนดินเค็ม และต้านทานไส้เดือนฝอยรากปมไม่ต้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง โรคใบสีส้ม โรคใบหงิก เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่น สีเขียว และหนอนกอ ข้าวสุกนุ่ม เหนียว และหอม

ขาวตาแห้ง17 เก็บเกี่ยวประมาณ 20 ธันวาคม ค่อนข้างต้านทานแมลงบั่ว ข้าวสุกร่วน ค่อนข้างแข็ง และขึ้นหม้อ

ขาวปากหม้อ148 เก็บเกี่ยวประมาณ 3 ธันวาคม สูง 140 ซม. เป็นข้าวไวต่อแสงที่ตอบสนองการใช้ปุ๋ย เมล็ดข้าวเปลือกมีน้ำหนักดี และมีคุณภาพการสีและการหุงต้มดีไม่ต้านทานโรคใบสีส้ม โรคขอบใบแห้ง และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

เหลืองประทิว123 เก็บเกี่ยวประมาณ 19 ธันวาคม ต้านทานโรคขอบใบแห้ง โรคใบหงิก และทนดินเปรี้ยว ข้าวสุกร่วน ค่อนข้างแข็ง (เอกสงวน, 2542)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ระยะเวลาที่ทำการวิจัย และสถานที่ทดลอง

1. ระยะเวลาวิจัย 24 เดือน

2 ดำเนินการทดลองการคัดเลือกสายพันธุ์ที่ตอบสนองไว ณ ห้องทดลองวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

3. ดำเนินการนำพันธุ์พืชที่ตอบสนองไว ทดสอบสภาพมลพิษทางอากาศในเขตจังหวัดปทุมธานี และพื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานคร

การวางแผนการทดลอง

การทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomize Complete Block Design : RCBD) โดยการทดลองมี 2 บล็อก โดย 1 บล็อก ประกอบด้วยการทดลองโอโซน 40 ppb, 70 ppb และ และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb)

วิธีการดำเนินการวิจัย

การทดลองระยะที่ 1 การทดสอบเบื้องต้นสำหรับพันธุ์ข้าวที่ตอบสนองต่อก๊าซโอโซน ระยะเวลาทดลอง 6 เดือน

1. การจัดเตรียมต้นกล้าข้าว โดยเริ่มต้นด้วย พันธุ์ข้าวเจ้า จำนวน 24 สายพันธุ์ โดยการเพาะเมล็ดแต่ละชนิดในถาดพลาสติก ขนาด 10*12 นิ้ว จนได้ใบแท้แรกจึงเปลี่ยนย้ายลงกระถางพลาสติกในดินนา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว 2 ต้น ต่อ กระถาง จำนวน 6 กระถางต่อสายพันธุ์ และอนุบาลต่อประมาณ 15 วัน จึงย้ายนำมาไว้ใน ตู้รมก๊าซ (Fumigation chambers) จำนวน 6 ตู้ ที่ติดตั้งอุปกรณ์ที่ให้ความเข้มแสงสำหรับการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic photon flux density) 700-1000 μmol m^{-2} s^{-1} ณ ระดับ 15 เซนติเมตร เป็นเวลา 2 วัน ก่อนได้รับการรมก๊าซ

2. ต้นกล้าจะถูกเพาะเลี้ยงในตู้รมก๊าซโอโซน 70 ส่วนต่อพันล้านส่วน (ppb) จำนวน 3 ตู้ และเจริญเติบโตในตู้ที่ได้รับอากาศบริสุทธิ์ที่ผ่านการกรองผ่านผงถ่าน (Charcoal filter) จำนวน 6 ตู้ ทั้งหมด เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง ต่อ วัน (8.00-15.00 น) รวมระยะเวลารมก๊าซ 30 วัน

3. พืชทุกต้นได้รับการสังเกตอาการและจดบันทึกรายวัน

4. หลังจากครบระยะเวลา 30 วัน ใบของต้นข้าวชนิดที่แสดงอาการภายนอก (visible symptom) ทั้ง chlorosis และ necrosis จะถูกนับและนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของความเสียหาย โดยสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ ของความเสียหาย} = \frac{\text{จำนวนใบที่เสียหาย}}{\text{จำนวนใบทั้งหมด}} \times 100$$

5. พืชทุกต้นจะถูกเก็บเกี่ยว และล้างรากเพื่อเตรียมอบแห้งในตู้อบแห้งควบคุมอุณหภูมิ ที่ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24 ชั่วโมง หรือแห้งสนิท การอบแห้งจะแยกส่วนระหว่างส่วนเหนือผิวดิน (shoot) และราก (root)

6. ชั่งหาน้ำหนักแห้งและจดบันทึก

7. การประเมินผลทางสถิติโดยการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มการทดลองของแต่ละชนิด โดยใช้วิธี ANOVA

การทดลองระยะที่ 2 การประเมินผลก๊าซโอโซนที่มีต่อสรีระวิทยาและสารต้านอนุมูลอิสระของพืชที่ได้รับการคัดเลือก ระยะเวลาการทดลอง 6 เดือน

1 เมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีการลดลงของน้ำหนักแห้งมากที่สุดและน้อยที่สุดร่วมทั้งพันธุ์ข้าวหอมมะลิและจะถูกเลือกและนำมาใช้ในการทดลองระยะที่ 2

2 การจัดเตรียมต้นกล้าดำเนินการเหมือนระยะที่ 1 โดยใช้จำนวนต้นกล้า จำนวน 24 ต้น ต่อ ตู้รมก๊าซ

3. ต้นกล้าถูกจัดแบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 จะถูกเก็บเกี่ยวสำหรับการหาน้ำหนักแห้งเริ่มต้น (initial dry weight) ก่อนเริ่มการให้ก๊าซ กลุ่มที่ 2 – 4 จะถูกเก็บเกี่ยวทุกๆ 30 วัน หรือ ตลอดช่วงการเจริญเติบโตของต้นข้าว สำหรับการหาน้ำหนักแห้ง (dry weight) ทั้งนี้ข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของก๊าซโอโซนที่มีต่ออัตราการเจริญเติบโต (growth rate)

4. วัดเปอร์เซ็นต์ของความเสียหาย ดำเนินการเหมือนการทดลองที่ 1

5. การวัดหาพื้นที่ของใบโดยใช้ leave area meter โดยใบที่เพิ่งขยายตัวสูงสุด (fully youngest expanded leaves) ของแต่ละต้นจะถูกเลือกเพื่อนำมาตรวจวัด

6. ตรวจวัดปริมาณของ superoxidedismultase, hydrogenperoxide และ total ascorbate

7. ตรวจวัดปริมาณของ chlorophyll a, b และ carotenoid โดย Photometry (Lichtentalter ,1987)

8 ศึกษาผลผลิตในสัปดาห์ที่ 16

1. จำนวนรวง
2. จำนวนเมล็ดต่อรวง
3. จำนวนเมล็ดต่อต้น

9. การประเมินผลทางสถิติโดยใช้วิธี ANOVA

การทดลองระยะที่ 3 การทดสอบภาคสนาม ระยะเวลาการทดลอง 12 เดือน

1. ต้นกล้า (seedlings) ของสายพันธุ์ที่ได้รับการคัดเลือกจะถูกนำไปเลี้ยงในบริเวณที่ตั้งของหน่วยตรวจสอบคุณภาพอากาศของ กรมควบคุมมลพิษ บริเวณพื้นที่เพาะปลูกข้าวในจังหวัดปทุมธานีและกรุงเทพมหานคร

1.1 น้ำหนักแห้ง (dry weight)

1.2 ตรวจวัดปริมาณของ superoxidedismultase, hydrogenperoxide และ total ascorbate

1.5 ศึกษาผลผลิตในสัปดาห์ที่ 16

1. จำนวนรวง
2. จำนวนเมล็ดต่อรวง
3. จำนวนเมล็ดต่อต้น

2. การประเมินผลทางสถิติโดยใช้วิธี ANOVA

วิธีการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ปริมาณ SOD โดยวิธีของ Winterbourn และคณะ (1975)

วิเคราะห์ปริมาณ SOD ในสารละลายตัวอย่าง

1. เตรียมหลอดทดลองโดยเติมสารละลายผสมระหว่าง 0.1 mM EDTA และ 0.3 mM NaCN ปริมาตร 0.2 ml ตามด้วย 0.1 ml ของ 1.5 mM NBT

2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตร 200 µl ใส่หลอดทดลอง สำหรับหลอดทดลองที่เป็น blank ให้เติม 67 mM phosphate buffer (pH 7.8) ปริมาตร 200 µl

3 . ปรับสารละลายในหลอดทดลองให้มีปริมาตร 3 ml ด้วย 67 mM phosphate buffer (pH 7.8) ตั้งหลอดทดลองไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 นาที

4. เติม 0.5 ml ของ 0.12 mM Riboflavin และนำไปตั้งไว้ใต้แสงไฟที่มีความเข้มแสงสม่ำเสมอประมาณ 700-1000 µmol S^{-1}

5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 nm

สร้างกราฟมาตรฐาน SOD โดยใช้หลักการการเกิด Photoreduction ของ NBT ดังนั้นจึงสร้างกราฟมาตรฐานระหว่าง % Inhibition NBT Reduction และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน SOD (µg/3 ml) จากนั้นพิจารณาว่าที่ ½ Max % Inhibition NBT Reduction มีความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน SOD เท่าใด แล้วนำไปคำนวณ units/g fw ของ SOD โดย 1 units SOD มีค่าเท่ากับปริมาณ SOD ซึ่งไปยับยั้งการเกิด Photoreduction ของ NBT 50 %

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานของ SOD ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.5, 1.0, 5.0 และ 10.0 mg/ml

2. เตรียม SOD assay reagent ประกอบด้วยสารละลายผสมระหว่าง 0.1 mM EDTA และ 0.3 mM NaCN ปริมาตร 0.2 ml ตามด้วย 0.1 ml ของ 1.5 mM NBT และ 67 mM phosphate buffer (pH 7.8) โดยเติม 67 mM phosphate buffer (pH 7.8) ให้มีปริมาตรสุดท้ายคือ 3 ml หลังจากนั้นตั้งหลอดทดลองไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 นาที

3. เติมเติม 0.5 ml ของ 0.12 mM Riboflavin และนำไปตั้งไว้ใต้แสงไฟที่มีความเข้มแสงสม่ำเสมอประมาณ 700-1000 µmol $m^{-2} S^{-1}$ เป็นเวลา 12 นาที

4. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 nm และคำนวณ % Inhibition NBT Reduction จาก

$$\% \text{ Inhibition NBT Reduction} = [(abs_{blank} - abs_{SOD})/ abs_{blank}]*100$$

โดยที่ abs_{blank} คือค่าการดูดกลืนแสงของ blank ที่ความยาวคลื่น 560 nm

abs_{SOD} คือค่าการดูดกลืนแสงของ SOD ที่ความยาวคลื่น 560 nm

สร้าง Inhibition NBT Reduction curve โดยแกน x เป็นความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน SOD (µg/3 ml) ส่วนแกน y เป็น % Inhibition NBT Reduction ใช้ค่าปริมาณ SOD ที่ ½ Max % Inhibition NBT Reduction ไปคำนวณหา units/ g fw

การวิเคราะห์ปริมาณ Total ascorbate (ASA+DHA) โดยวิธีของ Takahama & Oniki (1992)

1. การเตรียมสารละลาย

สารละลาย A : assay buffer ได้แก่ 0.25 mM phosphate buffer (pH 6.8)

สารละลาย B : 100 mM DTT

สารละลาย C : 1 mg Ascorbate Oxidase ละลายใน 170 µl Assay buffer (พันกระดาษให้มืด)

2. วัดค่าการดูดกลืนแสงของ ASA ที่ความยาวคลื่น 265 nm จากการเติมสารละลายตัวอย่างปริมาตร 50 µl และสารละลาย A ปริมาตร 945 µl ใน cuvette และวัดค่าการดูดกลืนแสง (abs.A) จากนั้นเติมสารละลาย C ปริมาตร 5 µl ตั้งทิ้งไว้ 2 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง (abs.C) โดยค่าการดูดกลืนแสงของ ASA = abs.A - abs.C

3. วัดค่าการดูดกลืนแสงของ DHA ที่ความยาวคลื่น 265 nm จากการเติมสารละลายตัวอย่างปริมาตร 50 µl และสารละลาย A ปริมาตร 945 µl ใน cuvette และวัดค่าการดูดกลืนแสง (abs.A) จากนั้นเติมสารละลาย B ปริมาตร 5 µl ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง (abs.B) โดยค่าการดูดกลืนแสงของ ASA = abs.A - abs.B

4. คำนวณค่าความเข้มข้นของ ASA และ DHA จากกฎของเบียร์ (Beer 's Law) และใช้ค่า $\sum$ = 14.3 nm^{-1} cm^{-1} ซึ่งเป็นค่าสำหรับแอสคอร์เบทที่ความยาวคลื่น 256 nm จากนั้นเปลี่ยนหน่วยเป็น nmol g^{-1} fw โดย

ความเข้มข้นของ Total ascorbate = ผลรวมระหว่างความเข้มข้นของ ASA และ DHA

การวิเคราะห์ปริมาณ H_2O_2 โดยวิธีของบริษัท OXIS International (2003)

วิเคราะห์ปริมาณ H_2O_2 ในตัวอย่างข้าวญี่ปุ่น

1. เตรียม working reagent ซึ่งประกอบด้วย

สารละลาย A ได้แก่ 25 mM Ammonium iron (II) Sulfate **และ** 2.5 M H_2SO_4 **ปริมาตร** 1 ml

สารละลาย B ได้แก่ 100 mM Sorbital **และ** 125 uM Xyrenol orange tetrasodium salt **ปริมาตร** 100 ml

นำสารละลาย A จำนวน 1 ปริมาตรผสมกับสารละลาย B จำนวน 100 ปริมาตร

2. เตรียมหลอดทดลองที่มี working reagent ปริมาตร 3.0 ml เติมสารละลายตัวอย่างปริมาตร 0.3 ml สำหรับหลอดทดลองที่เป็น blank เติม 2.5 M H_2SO_4 ปริมาตร 0.3 ml จากนั้นเติมสารละลาย B ปริมาตร 3.0 ml แล้วตั้งหลอดทดลองไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

3. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 nm

สร้างกราฟมาตรฐาน เตรียมสารละลายมาตรฐาน H_2O_2 ที่มีความเข้มข้น 25 mM โดยปิเปต 285 µl ของ 30 เปอร์เซ็นต์ H_2O_2 ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 ml และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เจือจางสารละลายมาตรฐานของ H_2O_2 ให้ได้ความเข้มข้นเท่ากับ 100 µM ซึ่งเป็นความเข้มข้นสูงสุด จากนั้นก็เจือจางให้ได้ความเข้มข้นของสานละลายมาตรฐาน H_2O_2 และค่าการดูดกลืนแสง ซึ่ง blank สำหรับสารละลายมาตรฐาน H_2O_2 คือ 2.5 M H_2SO_4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 nm สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน H_2O_2 และค่าการดูดกลืนแสงคำนวณค่าความเข้มข้นของ H_2O_2 ในสารละลายสกัดจากกราฟมาตรฐานนี้ เมื่อได้ความเข้มข้นของ H_2O_2 ในสารละลายตัวอย่างแล้วจึงเปลี่ยนหน่วยเป็น nmol g^{-1} fw

การตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยวิธีของ Photometer (Coursey, 1983)

1. ตัวอย่างใบข้าว 1 กรัมบดในโกร่งบดให้ใบข้าวละเอียด สกัดตัวอย่างด้วย 80% acetone (aq) 40 มิลลิลิตร

2. กรองตะกอนออกด้วยเครื่อง Bucher funnel กระดาษกรอง Whatman No. 1 ค่อย ๆ เติม Acetone จนไม่มีสีเขียวบนกระดาษกรอง

3. รินสารละลายลงใน Flask และปรับปริมาตรด้วย acetone ใน volumetric flask ให้ได้ 100 มิลลิลิตร

4. นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร (chlorophyll A) 645 นาโนเมตร (chlorophyll B) และ 470 นาโนเมตร (carotinoid) ด้วยเครื่อง spectrophotometer เปรียบเทียบกับ blank ซึ่งใช้ 80% Acetone

5. คำนวณหาค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์

5.1 C_a ปริมาณคลอโรฟิลล์ A (ug/ml) = $12.7\ A_{663} - 2.69\ A_{645}$

5.2 C_b ปริมาณคลอโรฟิลล์ B (ug/ml) = $22.9\ A_{663} - 4.68\ A_{645}$

5.3 C_c ปริมาณแคโรทีนอยด์ C (ug/ml) = $(1000\ A_{470} - 3.27C_a)/229$

5.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด = (chlorophyll A)+(chlorophyll B)

5.5 ปริมาณคลอโรฟิลล์ A : B Ratio = (chlorophyll A/B)

กำหนดให้ A = ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากความยาวครื่น (นาโนเมตร)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

อุปกรณ์ที่มีอยู่แล้ว

1. เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องหลายหัววัด 1. เครื่อง (ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)
2. เครื่องตรวจวัดการเปิดหรือปิดของปากใบ การแลกเปลี่ยนก๊าซ (Porometer) จำนวน 1 เครื่อง (ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาชีววิทยา)
3. เครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสง จำนวน 1 เครื่อง (ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาชีววิทยา)
4. เครื่องวัดขนาดของใบพืช จำนวน 1 เครื่อง (ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร)
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่งจำนวน 1 เครื่อง (ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)
6. ตู้อบแห้งควบคุมอุณหภูมิ จำนวน 1 เครื่อง (ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)
7. อุปกรณ์ผลิตและควบคุมแรงดันอากาศในระบบท่อ (Air compressor) จำนวน 1 ชุด (ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)
8. เครื่องวัดความเข้มของแสง จำนวน 1 เครื่อง (ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)
9. เครื่องวัดค่าความชื้นสัมพันธ์ของอากาศ จำนวน 1 เครื่อง (ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)
10. Spectrophotometer จำนวน 1 เครื่อง (ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)
11. เครื่องปั่นความเร็วรอบสูง (centrifuge) จำนวน 1 เครื่อง (ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาจุลชีววิทยา)
12. ตู้เก็บรักษาตัวอย่างพืชควบคุมอุณหภูมิ จำนวน 1 ตู้ (ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)

13. ห้องขนาด 5*10 เมตร จำนวน 1 ห้อง (ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
14. เครื่องตรวจวัดก๊าซโอโซน (Ozone monitor range 0-1000 ppb)
15. เครื่องผลิตก๊าซโอโซน (Ozone generator)
16. ตู้รมก๊าซแบบติดตั้งในห้อง (indoor fumigation chambers)

ตาราง 3 แผนดำเนินงาน

แผนงานวิจัย	ปีที่ 1		ปีที่ 2		ชื่อนักวิจัยที่รับผิดชอบ	ครุภัณฑ์ที่ใช้
	เดือนที่ 1-6	เดือนที่ 7-12	เดือนที่ 1-6	เดือนที่ 7-12		
1.การคัดเลือก (screening) เบื้องต้นสำหรับชนิดของพันธุ์ข้าวที่มีคุณสมบัติการตอบสนองไว (sensitive) หรือ ด้านทาน (resistance) ต่อมลพิษทางอากาศในตู้รมก๊าซที่สร้างขึ้น	--------				ดร.ชนินทร์ อัมพสถิร	1. เครื่องผลิตก๊าซโอโซน 2. เครื่องตรวจวัด ก๊าซโอโซน
2.การทดสอบและประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นทางสรีระวิทยาและสารต่อต้านอนุมูลอิสระต่อชนิดและสายพันธุ์ที่ได้รับการคัดเลือก		--------			ดร.ชนินทร์ อัมพสถิร	
3. การทดสอบผลกระทบของมลพิษทางอากาศในระดับภาคสนามในพื้นที่ต่างๆ ที่มีหน่วยตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษติดตั้งอยู่ ในเขตจังหวัดปทุมธานีและกรุงเทพฯ			---------	---------	ดร.ชนินทร์ อัมพสถิร ดร.นิวัฒน์ นภีรงค์	Open top chambers

ตาราง 4 งบประมาณของโครงการวิจัย

งบประมาณของปีที่ 1

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
ก. หมวดค่าใช้สอย	
ค่าเบี้ยเลี้ยง	10,000
ค่าที่พัก	10,000
ค่าพาหนะ	10,000
ค่าถ่ายเอกสารและล้างอัดรูป	5,000
รวม	35,000
ข. หมวดค่าตอบแทน	
ค่าตอบแทนผู้ช่วยวิจัย ซึ่งไม่มีส่วนร่วมในผลงาน (อัตรา 300/วัน) จำนวน 120 วัน	36,000
ค่าตอบแทนคณะผู้วิจัย ไม่เกินร้อยละ 10/โครงการ	20,000
-หัวหน้าโครงการ (80% ของผลงาน)	16,000
-ผู้ร่วมวิจัย (20%ของผลงาน)	4,000
รวม	56,000
ค. ค่าวัสดุ	
ค่าวัสดุเก็บตัวอย่างพืช	3,000
ค่าสารเคมีสำหรับงานวิเคราะห์สารต่อต้านอนุมูลอิสระในพืช	70,000
ค่าอุปกรณ์พลาสติกและเครื่องแก้ว	50,000
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	8,000
ค่าวัสดุอื่นๆ	3,390
รวม	134,390
รวมงบประมาณที่เสนอขอสำหรับปีที่ 1	225,390
หมายเหตุ สามารถถั่วจ่ายได้ทุกรายการ	

ตาราง 4 งบประมาณของโครงการวิจัย (ต่อ)

งบประมาณของปีที่ 2

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
ก. **หมวดค่าใช้สอย**	
ค่าเบี้ยเลี้ยง	20,000
ค่าที่พัก	20,000
ค่าพาหนะ	20,000
ค่าถ่ายเอกสารและล้างอัดรูป	10,000
รวม	70,000
ค. หมวดค่าตอบแทน	
ค่าตอบแทนผู้ช่วยวิจัย ซึ่งไม่มีส่วนร่วมในผลงาน (อัตรา 300/วัน) จำนวน 240 วัน	72,000
ค่าตอบแทนคณะผู้วิจัย ไม่เกินร้อยละ 10/โครงการ	25,200
-หัวหน้าโครงการ (80% ของผลงาน)	20,160
-ผู้ร่วมวิจัย (20%ของผลงาน)	5,040
รวม	97,200
ค. หมวดค่าวัสดุ	
ค่าวัสดุคอมพิวเตอร์	10,000
ค่าสารเคมีสำหรับงานวิเคราะห์สารอนุมูลอิสระพืช	60,000
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	30,000
ค่าวัสดุอื่นๆ	10,000
รวม	110,000
รวมงบประมาณที่เสนอขอสำหรับ ปีที่ 2	277,200
หมายเหตุ สามารถถั่วจ่ายได้ทุกรายการ	

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลองระยะที่ 1

การทดสอบคัดเลือกพันธุ์ข้าว

จากการทดสอบพันธุ์ข้าว 24 พันธุ์ คือ กข5, กข7, กข11, กข15, กข17, กข19, กข21, กข23, กข27, ป ทุมธานี1, ป ทุมธานี60, สุพรรณบุรี1, สุพรรณบุรี2, สุพรรณบุรี60, สุพรรณบุรี90, พิษณุโลก2, สุรินทร์1, เก้ารวง88, หอมสุพรรณบุรี, เจ้าหอมคลองหลวง1, ขาวดอกมะลิ105, ขาวตาแห้ง17, ขาวปากหม้อ148, เหลืองประทิว123 โดยการรมก๊าซโอโซนความเข้มข้น 70 ppb ใน chamber เป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 15 วัน เพื่อคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่ตอบสนองไว และพันธุ์ข้าวที่มีความต้านทานต่อก๊าซโอโซน จำนวน 2 พันธุ์ จากการแตกกอ น้ำหนักลำต้น, น้ำหนักราก, น้ำหนักแห้งทั้งหมด และอาการบาดเจ็บ พบว่าพันธุ์ข้าวเกือบทั้งหมดมีการแตกกอ, น้ำหนักแห้งของลำต้น, น้ำหนักแห้งของราก และน้ำหนักแห้งทั้งหมดลดลง ยกเว้นพันธุ์ข้าว กข19, สุพรรณบุรี90 และเหลืองประทิว123 ที่มีการแตกกอและน้ำหนักแห้งทั้งรากลำต้น และน้ำหนักแห้งทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับโอโซน ส่วนอาการบาดเจ็บเกิดขึ้นในข้าวทุกพันธุ์ในปริมาณที่สูงเกินกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองดังกล่าวและข้อมูลเบื้องต้นของพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์ จึงคัดเลือกพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 1 เป็นตัวแทนของพันธุ์ข้าวที่มีการตอบสนองไวต่อก๊าซโอโซน เนื่องจากได้รับผลกระทบต่อโอโซนมากและเป็นพันธุ์ข้าวที่เกษตรกรนิยมปลูกในปัจจุบัน และเลือกพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 90 เป็นตัวแทนของพันธุ์ข้าวที่มีความต้านทานต่อก๊าซโอโซน เนื่องจากได้รับผลกระทบน้อย และเป็นข้าวที่นิยมปลูกในปัจจุบันเช่นเดียวกัน รายละเอียดดังตาราง 5

ตาราง 5 ผลการทดสอบคัดเลือกพันธุ์ข้าวโดยรมก๊าซโอโซน 70 ppb 8 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 15 วัน ในข้าว 24 พันธุ์ (n = 6)

พันธุ์	ค่าเฉลี่ยผลกระทบของโอโซนต่อข้าว (%)				
	การแตกกอ (%)	น้ำหนักลำต้น (%)	น้ำหนักราก	น้ำหนักรวม (%)	อาการบาดเจ็บ (%)
กข5	- 4.80	- 28.31	- 58.95	- 43.4	87.94
กข7	0	- 18.67	- 15.55	- 19.61	86.32
กข11	- 4.86	- 21.78	- 25.46	- 27.53	79.72
กข15	- 9.43	- 32.14	- 48.28	- 39.25	78.2
กข17	-9.43	+8.19	-2.93	-3.93	89.29
กข19	+11	+ 15.19	+14.66	+13.12	70.26
กข21	- 13.62	-27.23	-37.81	-31.78	84.86
กข23	- 15.02	-38.69	-67.85	-54.48	81.22
กข27	- 26.5	-42.71	-47.78	-46.66	77.59
ปทุมธานี1	- 13.05	-23.23	-26.74	-25.68	75.83
ปทุมธานี60	- 11.66	-17.68	-29.28	-22.92	84.82
สุพรรณบุรี1*	0	-26.56	-40.61	-32.48	80.99
สุพรรณบุรี2	- 17.99	-28.46	-46.28	-35.74	83.12
สุพรรณบุรี60	- 13.62	-46.52	-57.52	-50.99	64.04
สุพรรณบุรี90**	+ 27.67	+17.23	+ 50.03	+ 26.28	79.69
พิษณุโลก2	+ 5.11	-7.62	-17.13	-12.13	84.5
สุรินทร์1	+ 28.76	-7.86	-12.87	-10.08	83.63
เก้ารวง88	0	-32.35	-56.22	-43.19	82.65
หอมสุพรรณบุรี	- 22.33	+1.77	-22.9	-8.67	83.47
เจ้าหอมคลองหลวง1	-5.67	-10.83	-37.53	-20.81	82.19
ขาวดอกมะลิ105	-5.67	-32.62	-56.92	-43.59	76.73
ขาวตาแห้ง17	0	-35.72	-53.53	-44.05	89.37
ขาวปากหม้อ148	-33.33	-51.18	-49.5	-53.06	61.76
เหลืองประทิว123	+ 54.64	+10.42	+12.76	+ 6.52	81.02

หมายเหตุ * พันธุ์ที่ถูกคัดเลือกเพื่อทดสอบพันธุ์ sensitive

** พันธุ์ที่ถูกคัดเลือกเพื่อทดสอบพันธุ์ resistant

การทดลองระยะที่ 2

1. **น้ำหนักแห้ง (Biomass)**

จากการศึกษาน้ำหนักแห้งของพันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ได้แก่พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 1 และ สุพรรณบุรี 90 ที่ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb), โอโซน 40 ppb และ 70 ppb แบ่งเป็น 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือ ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน), ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน ,ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน พบว่าในพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ได้รับผลกระทบจากก๊าซโอโซน โดยมีน้ำหนักแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการทดลองรมก๊าซโอโซนทั้ง 2 ความเข้มข้น โดยในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งทั้งหมดลดลง 34.41 และ 68.61 เปอร์เซ็นต์ (40 ppb และ 70 ppb) เมื่อเปรียบเทียบกับ CF และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีน้ำหนักแห้งทั้งหมดลดลง 16.81 และ 51.42 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยอัตราส่วนต้นต่อรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ในโอโซน 40 และ 70 ppb มีค่าสูงกว่า CF ถึง 38.23 และ 75.21 เปอร์เซ็นต์ และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 90 มีค่าเฉลี่ยอัตราส่วนต้นต่อรากเพิ่มขึ้น 32.65 และ 34.72 เปอร์เซ็นต์ (40 และ 70 ppb) เมื่อเปรียบเทียบกับ CF ดังตาราง 6

ตาราง 6 น้ำหนักแห้งและอัตราส่วนต้นต่อรากของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และสุพรรณบุรี 90 ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน, ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน, ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน ทดลองในความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb) n = 6 ตัวอักษร a-c ในแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

น้ำหนักแห้ง (g)						
ระยะเวลาการเจริญเติบโต	สุพรรณบุรี 1			สุพรรณบุรี 90		
	CF	40 ppb	70 ppb	CF	40 ppb	70 ppb
อายุ 23 วัน						
shoot	0.02	-	-	0.02	-	-
root	0.01	-	-	0.01	-	-
total	0.04	-	-	0.03	-	-
shoot/root (unit)	1.59	-	-	1.35	-	-
อายุ 30 วัน						
shoot	0.09 ^{a}	0.08 ^{b}	0.06 ^{c}	0.07 ^{a}	0.06 ^{ab}	0.05 ^{b}
root	0.05 ^{a}	0.04 ^{a}	0.04 ^{a}	0.03 ^{a}	0.03 ^{a}	0.03 ^{a}
total	0.14 ^{a}	0.12 ^{a}	0.1 ^{b}	0.1 ^{a}	0.09 ^{a}	0.09 ^{a}
shoot/root (unit)	2.04 ^{a}	2.11 ^{a}	1.55 ^{b}	1.97 ^{a}	1.96 ^{a}	1.71 ^{a}
อายุ 60 วัน						
shoot	2.66 ^{a}	0.86 ^{b}	0.25 ^{c}	1.71 ^{a}	1.36 ^{b}	0.36 ^{c}
root	1.21 ^{a}	0.24 ^{b}	0.07 ^{c}	0.55 ^{a}	0.35 ^{b}	0.14 ^{c}
total	3.87 ^{a}	1.11 ^{b}	0.32 ^{c}	2.26 ^{a}	1.71 ^{b}	0.50 ^{c}
shoot/root (unit)	2.20 ^{b}	3.53 ^{a}	3.41 ^{a}	3.11 ^{b}	3.89 ^{a}	2.48 ^{b}

ตาราง 6 (ต่อ) น้ำหนักแห้งและอัตราส่วนต้นต่อรากของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และสุพรรณบุรี 90 ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน, ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน,ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน ทดลองในความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb) n = 6 ตัวอักษร a-c ในแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

น้ำหนักแห้ง (g)						
ระยะเวลาการเจริญเติบโต	สุพรรณบุรี 1			สุพรรณบุรี 90		
	CF	40 ppb	70 ppb	CF	40 ppb	70 ppb
อายุ 90 วัน						
shoot	9.08 ^{a}	7.23 ^{b}	1.56 ^{c}	9.51 ^{a}	7.85 ^{b}	3.16 ^{c}
root	3.33 ^{a}	1.72 ^{b}	0.35 ^{c}	2.66 ^{a}	1.65 ^{b}	0.53 ^{c}
total	12.41 ^{a}	8.95 ^{b}	1.92 ^{c}	12.17 ^{a}	9.5 ^{b}	3.68 ^{c}
shoot/root (unit)	2.82 ^{b}	4.26 ^{a}	4.84 ^{a}	3.64 ^{c}	4.86 ^{b}	6.01 ^{a}
อายุ 120 วัน						
shoot	25.27 ^{a}	20.2 ^{b}	9.11 ^{c}	20.38 ^{a}	18.31 ^{a}	12.24 ^{b}
root	5.23 ^{a}	2.78 ^{b}	0.81 ^{c}	3.61 ^{a}	2.13 ^{b}	1.53 ^{c}
total	30.50 ^{a}	22.98 ^{b}	9.92 ^{c}	23.99 ^{a}	20.44 ^{b}	13.78 ^{c}
shoot/root (unit)	3.96 ^{c}	6.34 ^{b}	12.31 ^{a}	4.06 ^{c}	7 ^{b}	8.43 ^{a}

1.1 ระยะต้นกล้าก่อนการรมก๊าซ (อายุ 23 วัน)

ก่อนการรมก๊าซพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีน้ำหนักแห้งแตกต่างกันเล็กน้อยโดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีน้ำหนักแห้งของลำต้น ราก และน้ำหนักแห้งทั้งหมดเท่ากับ 0.02, 0.01 และ 0.04 กรัม และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 0.02, 0.01 และ 0.03 กรัม ตามลำดับ อัตราส่วนต้นต่อรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 1.59 และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 1.35 ซึ่งพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักของลำต้น น้ำหนักแห้งของราก น้ำหนักแห้งทั้งหมด และอัตราส่วนต้นต่อรากมากกว่าพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 90

1.2 ระยะแตกกอ (อายุ 30 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนใน chamber ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) เป็นเวลา 7 วัน พบว่าน้ำหนักแห้งลำต้นของต้นข้าวทั้ง 2 พันธุ์ลดลงโดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีน้ำหนักแห้งของลำต้นเท่ากับ 0.09, 0.08 และ 0.06 กรัม และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีน้ำหนักแห้งของลำต้นเท่ากับ 0.07, 0.06 และ 0.05 กรัม ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

น้ำหนักแห้งของรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 0.05 (CF) และ 0.04 กรัม (40 ppb และ 70 ppb) และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากันในทั้ง 3 ระดับของโอโซน คือ 0.03 กรัม

น้ำหนักแห้งทั้งหมดในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 0.14, 0.12 และ 0.1 กรัม ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb) และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 0.10 (CF) และ 0.09 กรัม (40 ppb และ 70 ppb)

อัตราส่วนต้นต่อรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 2.04, 2.11 และ 1.55 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 1.98, 1.96 และ 1.71 ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

1.3 ระยะกำเนิดช่อดอก (อายุ 60 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) พบว่าน้ำหนักลำต้นของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.66, 0.86 และ 0.25 กรัม และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีน้ำหนักแห้งของลำต้นเท่ากับ 1.71, 1.36 และ 0.36 กรัม ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

น้ำหนักแห้งของรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 1.13, 0.26 และ 0.07 กรัม และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 0.55, 0.35 และ 0.14 กรัม ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

น้ำหนักแห้งทั้งหมดในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 3.79, 1.12 และ 0.32 กรัม และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 2.26, 1.71 และ 0.5 กรัม ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

อัตราส่วนต้นต่อรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 2.41, 3.34 และ 3.43 กรัม และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่า 3.18, 3.96 และ 2.56 กรัม ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

1.4 ระยะออกดอก (อายุ 90 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) พบว่าน้ำหนักลำต้นของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.08, 7.23 และ 1.56 กรัม และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีน้ำหนักแห้งของลำต้นเท่ากับ 9.51, 7.85 และ 3.16 กรัม ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

น้ำหนักแห้งของรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 3.33, 1.72 และ 0.35 กรัม และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 2.66, 1.65 และ 0.53 กรัม ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

น้ำหนักแห้งทั้งหมดในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 12.41, 8.95 และ 1.92 กรัม และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 12.17, 9.5 และ 3.68 กรัม ตามลำดับ (CF,40 ppb และ 70 ppb)

อัตราส่วนต้นต่อรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 2.82, 4.26 และ 4.84 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 3.64, 4.86 และ 6.01 ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

1.5 ระยะเก็บเกี่ยว (อายุ 120 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) พบว่าน้ำหนักลำต้นของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.27, 20.2 และ 9.11 กรัม และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีน้ำหนักแห้งของลำต้นเท่ากับ 20.38, 18.31 และ 12.24 กรัม ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

น้ำหนักแห้งของรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 5.23, 2.78 และ 0.81 กรัม และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 3.61, 2.13 และ 1.53 กรัม ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

น้ำหนักแห้งทั้งหมดในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 30.50, 22.98 และ 9.92 กรัม และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 23.99, 20.44 และ 13.78 กรัม ตามลำดับ (CF,40 ppb และ70 ppb)

อัตราส่วนต้นต่อรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 3.96, 6.34 และ 12.31 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 4.06, 7 และ 8.43 ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

1.6 น้ำหนักแห้งของลำต้น (Shoot dry weight) ตามระยะเวลาการเจริญเติบโต

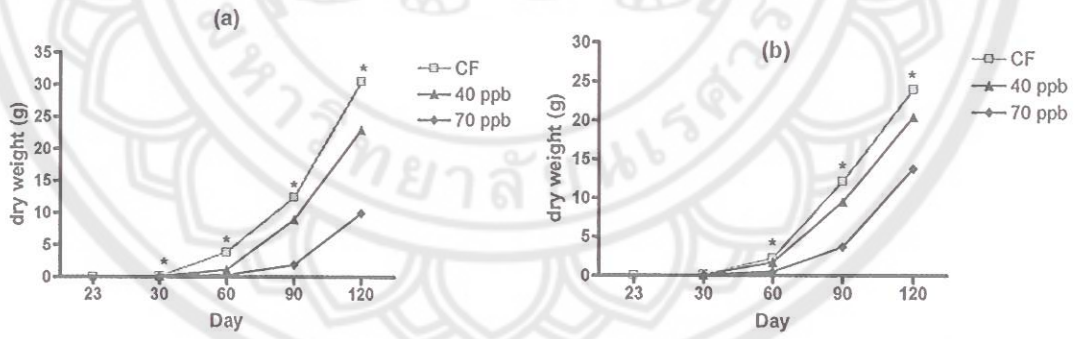
จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน), ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะสร้างช่อดอกอายุ 60 วัน, ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน พบว่าน้ำหนักแห้งของลำต้นมีอัตราที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโต โดยพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีการเพิ่มของน้ำหนักแห้งในทิศทางเดียวกันคือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระยะเวลา 23 – 60 วัน และเพิ่มขึ้นสูงในระยะเวลา 60 – 120 วัน ซึ่ง CF มีน้ำหนักแห้งของลำต้นมากที่สุด รองลงมาคือโอโซน 40 ppb และ 70 ppb โดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของลำต้นลดลง 30.35 และ 68.62 เปอร์เซ็นต์ (40 และ 70 ppb) และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของลำต้นลดลง 13.7 และ 51.51 เปอร์เซ็นต์ (40 และ 70 ppb) เมื่อเปรียบเทียบกับ CF ดังภาพ 9b จะเห็นว่าที่ความเข้มข้นของโอโซน 70 ppb ทำให้ลดค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของลำต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้ง 2 พันธุ์

1.7 น้ำหนักแห้งของราก (Root dry weight) ตามระยะเวลาการเจริญเติบโต

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน), ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะสร้างช่อดอกอายุ 60 วัน, ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน พบว่าน้ำหนักแห้งของรากมีอัตราที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโต โดยข้าวทั้ง 2 พันธุ์ มีการเพิ่มของน้ำหนักแห้งในทิศทางเดียวกันคือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระยะเวลา 23 – 60 วัน และเพิ่มขึ้นสูงในระยะเวลา 60 – 120 วัน ซึ่ง CF มีน้ำหนักแห้งของลำต้นมากที่สุด รองลงมาคือโอโซน 40 ppb และ 70 ppb โดยที่ความเข้มข้นของโอโซนทั้ง 3 ระดับ ให้ผลที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 พบว่ามีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของรากทั้งหมดลดลง 47.36 และ 71.57 เปอร์เซ็นต์ (40 และ 70 ppb) โดยลดลงมากที่สุดในระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน ซึ่งลดลงถึง 77.07 และ 93.61 เปอร์เซ็นต์ ใน 40 และ 70 ppb และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของรากทั้งหมดลดลง 30.14 และ 54.53 เปอร์เซ็นต์ (40 และ 70 ppb)

1.8 น้ำหนักแห้งทั้งหมด (Total dry weight) ตามระยะเวลาการเจริญเติบโต

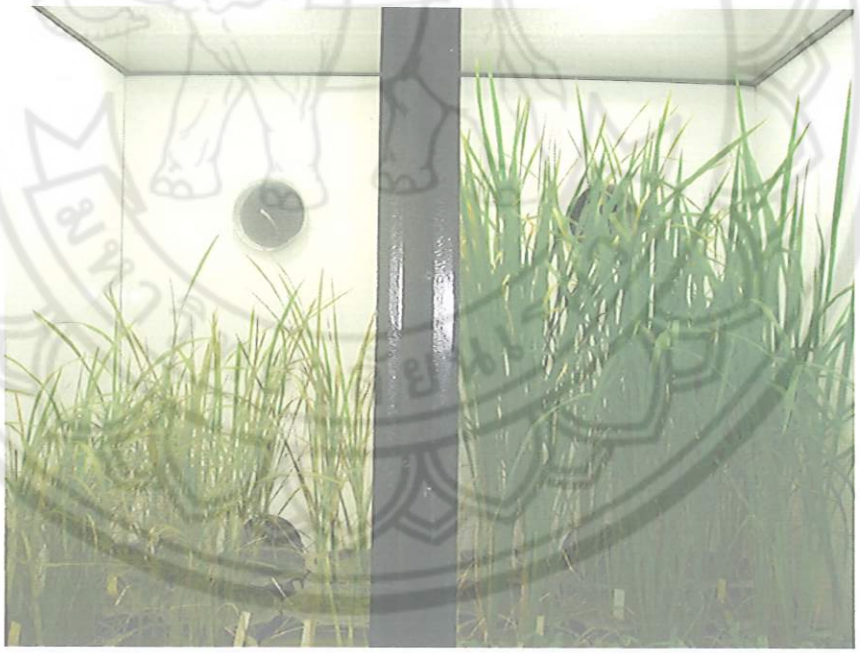
จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือ ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน), ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะสร้างช่อดอกอายุ 60 วัน, ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน พบว่าน้ำหนักแห้งทั้งหมดมีอัตราที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโต โดยข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีการเพิ่มของน้ำหนักแห้งในทิศทางเดียวกันคือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระยะเวลา 23 – 60 วัน และเพิ่มขึ้นสูงในระยะเวลา 60 – 120 วัน ซึ่งมีน้ำหนักแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการทดลองรมก๊าซโอโซนทั้ง 2 ความเข้มข้น โดยในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งทั้งหมดลดลง 34.41 และ 68.61 เปอร์เซ็นต์ (40 ppb และ 70 ppb) เมื่อเปรียบเทียบกับ CF ดังภาพ 2a และพันธุ์ ข้าวสุพรรณบุรี90 มีน้ำหนักแห้งทั้งหมดลดลง 16.81 และ 51.42 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 2b ซึ่งทั้ง 2 พันธุ์มีเปอร์เซ็นต์การลดใน 70 ppb มากที่สุด โดยเฉพาะในระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน ลดลงถึง 91.63 เปอร์เซ็นต์ ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และ 77.82 เปอร์เซ็นต์ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90



ภาพ 2 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งทั้งหมดตามระยะเวลาการเจริญเติบโต (23,30,60,90 และ120 วัน) ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) n = 6 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$) a =สุพรรณบุรี1 b =สุพรรณบุรี90

1.9 อัตราส่วนน้ำหนักแห้งลำต้นต่อราก (Shoot : Root ratio) ตามระยะเวลาการเจริญเติบโต

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน), ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะสร้างช่อดอกอายุ 60 วัน, ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน พบว่าอัตราส่วนของลำต้นต่อรากมีอัตราที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโต โดยข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนของลำต้นต่อรากค่อนข้างแปรปรวนในระยะ 23 – 60 วัน แต่ในระยะ 90 – 120 วัน พบว่าที่ความเข้มข้นของโอโซน 70 ppb มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ 40 ppb และ CF โดยค่าเฉลี่ยอัตราส่วนต้นต่อรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ที่ 40 และ 70 ppb มีค่าสูงกว่า CF ถึง 38.23 และ 75.21 เปอร์เซ็นต์ และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเฉลี่ยอัตราส่วนต้นต่อรากเพิ่มขึ้น 32.65 และ 34.72 เปอร์เซ็นต์ (40 และ 70 ppb) เมื่อเปรียบเทียบกับ CF



70 ppb CF

ภาพ 3 พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ใน chamber ที่ความเข้มข้นของโอโซน 70 ppb และ CF

40 ppb CF

ภาพ 4 พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ใน chamber ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb และ CF

2. **อาการบาดเจ็บที่มองเห็นได้** (Visible injury)

ดัชนีที่ชี้วัดอาการบาดเจ็บที่มองเห็นได้ประเมินจากการลดจำนวนใบ,การเกิดอาการบาดเจ็บที่ใบ การเกิดใบแก่ก่อนวัย และการลดลงของพื้นที่ใบ จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) แบ่งเป็น 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือ ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน), ระยะแตกกอ อายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน, ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน พบว่าในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ได้รับผลกระทบจากก๊าซโอโซนโดยมีอาการบาดเจ็บที่มองเห็นได้ในการทดลองรมก๊าซโอโซนทั้ง 2 ความเข้มข้นเมื่อเปรียบเทียบกับ CF โดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีอัตราการเกิดอาการบาดเจ็บมากกว่าสุพรรณบุรี90

2.1 ระยะต้นกล้า (อายุ 23 วัน)

ก่อนการรมก๊าซโอโซนในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 พบว่าข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบเท่ากันคือ 2 ใบ และมีค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบใกล้เคียงกันคือพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบเท่ากับ 0.51 ตารางเซนติเมตร และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.5 ตารางเซนติเมตร

2.2 ระยะแตกกอ (อายุ 30 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 พบว่าข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีจำนวนใบเท่ากันในทุกความเข้มข้นของโอโซนคือมีจำนวนใบ 2 ใบ

อาการบาดเจ็บที่ใบไม่แสดงอาการใน CF แต่เกิดอาการสูงมากในทั้ง 40 และ 70 ppb โดยเฉพาะในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีเปอร์เซ็นต์การบาดเจ็บเท่ากับ 58.33 และ 100 เปอร์เซ็นต์และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (40 ppb และ 70 ppb)

พื้นที่ใบเป็นไปในทิศทางเดียวกันในทั้ง 2 พันธุ์ โดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่า 0.55, 0.48 และ 0.41 ตารางเซนติเมตร และสุพรรณบุรี90 มีค่า 0.51, 0.45 และ 0.41 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

2.3 ระยะกำเนิดช่อดอก (อายุ 60 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 พบว่าพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบเท่ากับ 21, 17 และ 4.7 ใบ (CF, 40 ppb และ 70 ppb) และสุพรรณบุรี90 มีค่าเฉลี่ยที่ CF และ 40 ppb เท่ากันคือ 20 ใบ และที่ 70 ppb มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบเท่ากับ 11 ใบ

เปอร์เซ็นต์ใบที่เกิดอาการบาดเจ็บในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 0, 89.5 และ 93.33 เปอร์เซ็นต์ และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 0, 76.52 และ 90.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

เปอร์เซ็นต์การเกิดใบแก่ก่อนวัยมีค่าสูงที่ความเข้มข้นของโอโซน 70 ppb โดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 0, 13.4 และ 68.3 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 0, 15.9 และ 39.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

พื้นที่ใบลดลงอย่างมากที่ความเข้มข้นของโอโซน 70 ppb โดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 51.67, 41.1 และ 14.2 ตารางเซนติเมตร และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 51.52, 45.91 และ 25.75 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

3.4 ระยะออกดอก (อายุ 90 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 พบว่าจำนวนใบลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่ความเข้มข้นของโอโซน 70 ppb ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28, 27 และ 15 ใบ ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb) และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบที่ใกล้เคียงกันคือ 28 ใบ (CF และ 40 ppb) และ 26 ใบที่ความเข้มข้น 70 ppb

เปอร์เซ็นต์ใบที่เกิดอาการบาดเจ็บในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 82 และ 99 เปอร์เซ็นต์ และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 80 และ 97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (40 ppb และ 70 ppb)

เปอร์เซ็นต์การเกิดใบแก่ก่อนวัยมีค่าสูงที่ความเข้มข้นของโอโซน 70 ppb โดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 25 และ 51 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 24 และ 28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (40 ppb และ 70 ppb)

พื้นที่ใบลดลงอย่างมากที่ความเข้มข้นของโอโซน 70 ppb โดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 60.05, 51.65 และ 29.21 ตารางเซนติเมตร และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 54.3, 51.97 และ 29.44 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

3.5 ระยะเก็บเกี่ยว (อายุ 120 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 พบว่าในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.6, 18.6 และ 16.9 ใบ และสุพรรณบุรี90 มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบเท่ากับ13.5, 15.6 และ 22.3 ใบ ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

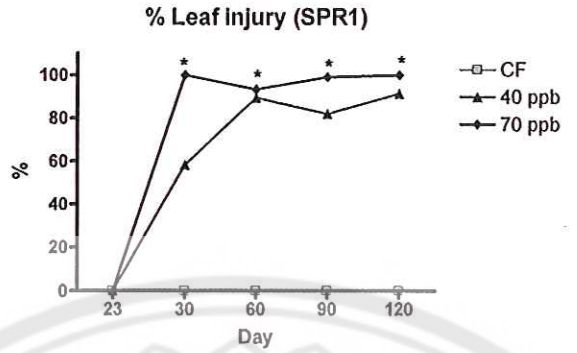
เปอร์เซ็นต์ใบที่เกิดอาการบาดเจ็บแสดงอาการสูงมากในพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 และ 70 ppb โดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 91.44 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 91.19 และ 99.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (40 ppb และ 70 ppb)

เปอร์เซ็นต์การเกิดใบแก่ก่อนวัยแสดงอาการที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 และ 70 ppb โดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 26.1 และ 29.27 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 25.95 และ 18.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (40 ppb และ 70 ppb)

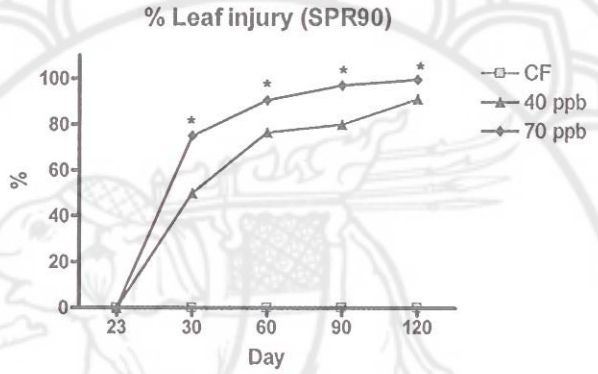
พื้นที่ใบลดลงใน CF โดยมีพื้นที่ใบน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 และ 70 ppb โดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 32.63, 34.29 และ 26.02 ตารางเซนติเมตร และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 36.91, 36.4 และ 29.03 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

2.6 เปอร์เซ็นต์ใบที่เกิดอาการบาดเจ็บ (Visible injury) ตามระยะเวลาการเจริญเติบโต

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือ ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน), ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน, ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน พบว่าข้าวทั้ง 2 พันธุ์ มีเปอร์เซ็นต์ใบที่เกิดอาการบาดเจ็บอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 และ 70 ppb โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 70 ppb มีค่าเฉลี่ยอาการบาดเจ็บเกิดขึ้นเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ คือ 98.08 และ 90.57 เปอร์เซ็นต์ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และสุพรรณบุรี90 และที่โอโซนความเข้มข้น 40 ppb พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1มีค่าเฉลี่ยอาการบาดเจ็บเกิดขึ้น 80.32 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเฉลี่ยอาการบาดเจ็บเกิดขึ้น 74.43 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 5



a



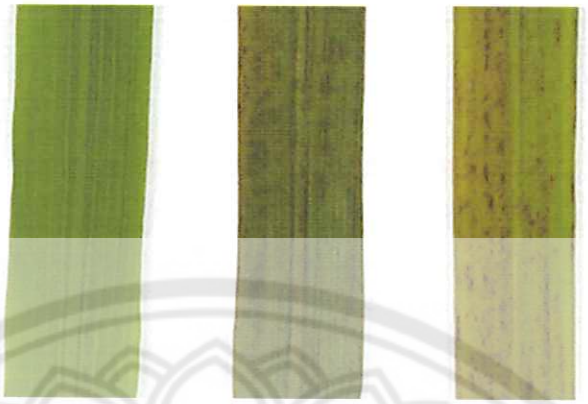
b

ภาพ 5 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ใบที่เกิดอาการบาดเจ็บตามระยะเวลาการเจริญเติบโต (23,30,60,90 และ120 วัน) ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) n =6 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)

a =สุพรรณบุรี1 b =สุพรรณบุรี90

ภาพ 6 อาการบาดเจ็บที่มองเห็นได้ (visible injury) ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 อายุ 60 วัน ที่ได้รับโอโซนความเข้มข้น 40 ppb (a) 70 ppb (b) และ CF ได้รับโอโซนน้อยกว่า 10 ppb (c)

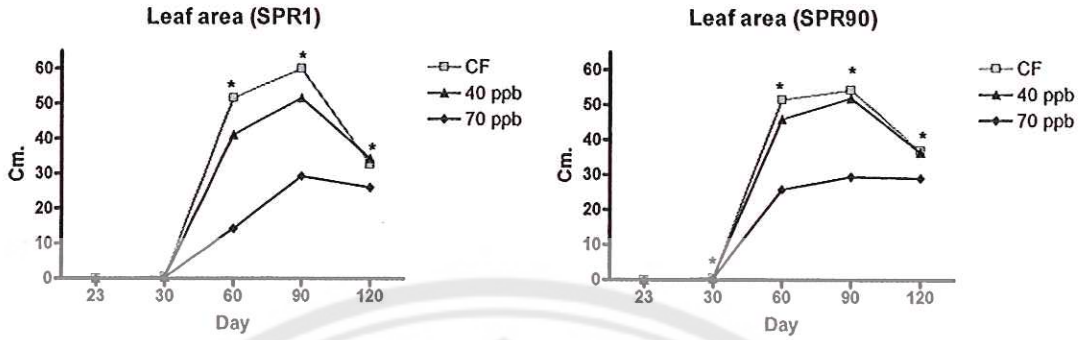
ภาพ 7 อาการบาดเจ็บ (visible injury) ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb)



ภาพ 8 อาการบาดเจ็บ (visible injury)ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb)

2.7 พื้นที่ใบ (Leaf area) ตามระยะเวลาการเจริญเติบโต

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือ ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน) ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน ,ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน พบว่าข้าวทั้ง 2 พันธุ์ มีพื้นที่ใบลดลงอย่างชัดเจนที่ความเข้มข้นของโอโซน 70 ppb โดยพันธุ์สุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ CF คือ 10.79 และ 42.42 เปอร์เซ็นต์ (40 และ 70 ppb) ดังภาพ 9a และในสุพรรณบุรี90 มีพื้นที่ใบที่โอโซน 40 ppb ลดลง 6.81 เปอร์เซ็นต์ และที่โอโซน 70 ppb ลดลง 33.89 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 9b โดยในทั้ง 2 พันธุ์มีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นในระยะเวลา 30 – 90 วัน และลดลงเมื่อระยะเวลา 120 วัน

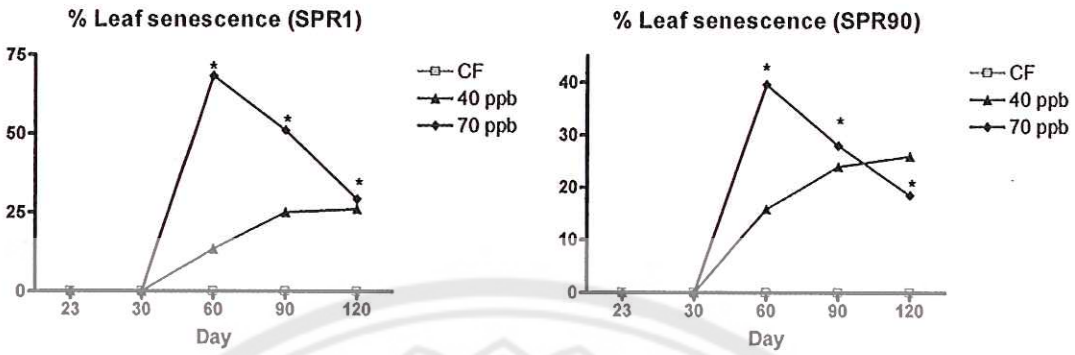


a b

ภาพ 9 ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบตามระยะเวลาการเจริญเติบโต (23,30,60,90 และ120 วัน) ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppbและ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) n = 6
(* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)
a =สุพรรณบุรี1 b =สุพรรณบุรี90

2.8 เปอร์เซ็นต์การเกิดใบแก่ก่อนวัย (Leaf senescence) **ตามระยะเวลาการเจริญเติบโต**

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือ ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน), ระยะแตกกออายุ 30 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน พบว่าข้าวมีเปอร์เซ็นต์ใบที่เกิดอาการแก่ก่อนวัยมากที่สุดที่ความเข้มข้นของโอโซน 70 ppb รองลงมาคือ 40 ppb โดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยใบแก่ก่อนวัยทั้งหมด 21.5 และ 21.95 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 10a และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่า 21.95 และ 28.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (40 และ 70 ppb) และที่ 120 วันเกิดใบแก่ก่อนวัยที่ 40 ppb มากที่สุดคือ 25.95 และใน 70 ppb คือ 18. 53 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 10b



a b

ภาพ 10 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเกิดใบแก่ก่อนวัยตามระยะเวลาการเจริญเติบโต (23,30,60,90 และ120 วัน) ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) n = 6 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)
a =สุพรรณบุรี1 b =สุพรรณบุรี90

3. การแตกกอ

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือ ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน), ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะสร้างช่อดอกอายุ 60 วัน ,ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน พบว่ามีการ แตกกอลดลงใน 40 ppb และ 70 ppb ในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ซึ่งการแตกกอเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเกิดผลผลิตของข้าวซึ่งได้รับผลกระทบจากโอโซน

3.1 ระยะต้นกล้าก่อนการรมก๊าซ (อายุ 23 วัน)

การทดลองในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ก่อนการรมก๊าซโอโซน พบว่าข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีการแตกกอ ไม่มีการแตกกอในข้าวทั้ง 2 พันธุ์

3.2 ระยะแตกกอ (อายุ 30 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับคือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ไม่มีการแตกกอในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ทั้ง 3 ระดับของโอโซน

3.3 ระยะกำเนิดช่อดอก (อายุ 60 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 พบว่าการแตกกอในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ย 3.8, 2.3 และ 1 ต้น/กอ และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.5, 3.3 และ 2 ต้น/กอ ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

3.4 ระยะออกดอก (อายุ 90 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 พบว่าการแตกกอในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ย 4.8, 4.7 และ 2 ต้น/กอ และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5, 5 และ 4.2 ต้น/กอ ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

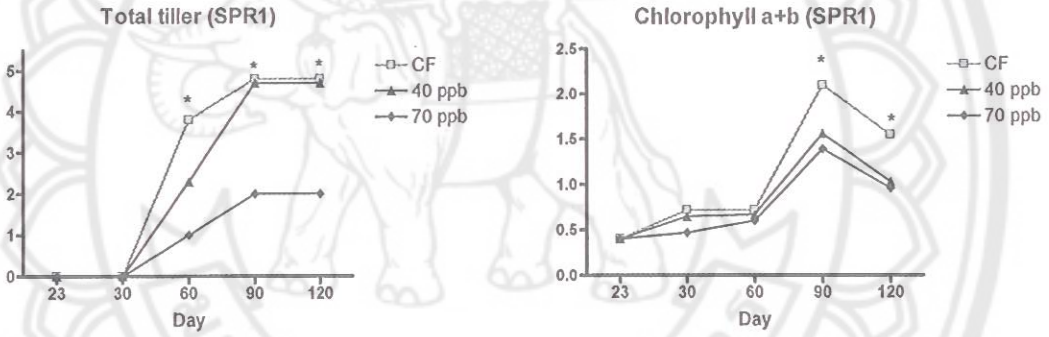
3.5 ระยะเก็บเกี่ยว (อายุ 120 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 พบว่าการแตกกอในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ย 4.8, 4.7 และ 2 ต้น/กอ และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5, 5 และ 4.2 ต้น/กอ ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

3.6 การแตกกอ (Tiller) ตามระยะเวลาการเจริญเติบโต

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือ ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน) ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิด

ช่อดอกอายุ 60 วัน ,ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน พบว่าการแตกกอมีอัตราที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโต โดยต้นข้าวมีการแตกกอเมื่ออายุมากกว่า 30 วัน และแตกกอเพิ่มขึ้นจนถึงระยะ 90 วัน แล้วจึงค่อนข้างคงที่ ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีการแตกกอน้อยมากใน 70 ppb เมื่อเปรียบเทียบกับ CF แล้วลดลงถึง 46 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใน 40 ppb ลดลงเพียง 10.89 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 11a และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 90 มีการแตกกอต่างกันเล็กน้อย โดยค่าเฉลี่ยการแตกกอลดลง 0.91 และ 15.24 เปอร์เซ็นต์ (40 และ 70 ppb) เมื่อเปรียบเทียบกับ CF ดังภาพ 11b ในข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีความแตกต่างของจำนวนกอมากที่สุดในระยะกำเนิดช่อดอก อายุ 60 วัน โดยที่ 70 ppb ลดลงถึง 73.68 เปอร์เซ็นต์ ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และ 42.86 เปอร์เซ็นต์ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 90



a b

ภาพ 11 ค่าเฉลี่ยจำนวนต้น/กอ ตามระยะเวลาการเจริญเติบโต (23,30,60,90 และ120 วัน) ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) n = 6 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)

a =สุพรรณบุรี 1 b =สุพรรณบุรี 90

4. ปริมาณคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll)

จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ ของพันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ได้แก่ สุพรรณบุรี 1 และสุพรรณบุรี 90 โดยการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือ ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน), ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน ,ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ+บี, แคโรทีนอยด์ และอัตราส่วนคลอโรฟิลล์เอต่อคลอโรฟิลล์บีในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ได้รับผลกระทบจากก๊าซโอโซน

4.1 ระยะต้นกล้า (อายุ 23 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) ก่อนการรมก๊าซโอโซน พบว่าพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์เอ + บี และแคโรทีนอยด์ มีค่าเท่ากับ 0.49 และ 0.1 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.57 และ 0.1 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

4.2 ระยะแตกกอ (อายุ 30 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ CF, 40 ppb และ 70 ppb พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ + บีในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 0.72, 0.65 และ 0.47 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 0.74, 0.61 และ 0.59 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

ปริมาณแคโรทีนอยด์ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 0.09, 0.09 และ 0.08 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 0.1, 0.08 และ 0.87 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

4.3 ระยะกำเนิดช่อดอก (อายุ 60 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ CF, 40 ppb และ 70 ppb พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ + บีในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 0.72, 0.67 และ 0.6 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 0.75, 0.71 และ 0.64 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

ปริมาณแคโรทีนอยด์ในข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีค่าเท่ากันในทุกความเข้มข้นคือ 0.1 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

4.4 ระยะออกดอก (อายุ 90 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ CF, 40 ppb และ 70 ppb พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ+บีในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1มีค่าเท่ากับ 2.1, 1.56 และ 1.39 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 1.76, 1.75 และ 1.35 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

ปริมาณแคโรทีนอยด์ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 0.62, 0.46, และ 0.34 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 0.53, 0.51 และ 0.38 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

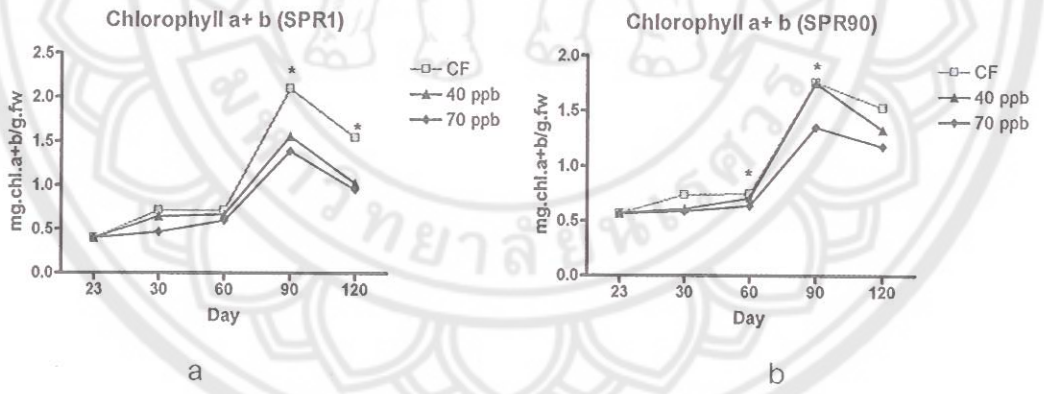
4.5 ระยะเก็บเกี่ยว (อายุ 120 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ CF, 40 ppb และ 70 ppb พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ + บีในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 1.55, 1.03 และ 0.96 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 1.53, 1.33 และ 1.18 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

ปริมาณแคโรทีนอยด์ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 0.51, 0.38, และ 0.34 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเท่ากับ 0.53, 0.48 และ 0.34 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb)

4.6 คลอโรฟิลล์เอ + บี (Chlorophyll a + b) ตามระยะเวลาการเจริญเติบโต

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือ ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน), ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน ,ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ + บี ในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ มีปริมาณแตกต่างกันใน 3 ระดับของโอโซนโดยที่ CF มีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือ 40 ppb และ 70 ppb ซึ่งพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ + บีเฉลี่ยลดลง 18.92 และ 30.89 เปอร์เซ็นต์ (40 และ 70 ppb) เมื่อเปรียบเทียบกับ CF ดังภาพ 12a ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 แสดงผลเช่นเดียวกันโดยมีค่าเฉลี่ยทั้งหมดลดลง 8.87 และ 20.1 เปอร์เซ็นต์ (40 และ 70 ppb) เมื่อเปรียบเทียบกับ CF ดังภาพ 12a โดยในทุกความเข้มข้นของโอโซน มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ + บี เหมือนกันคือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระยะ 23 – 60 และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะ 60 – 90 วัน และลดลงเมื่อถึงระยะเวลาเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน ดังภาพ 12b



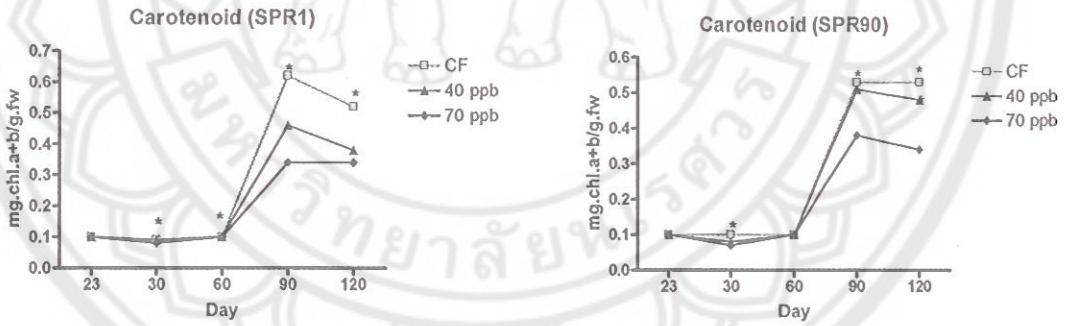
ภาพ 12 ค่าเฉลี่ยคลอโรฟิลล์เอ + บีตามระยะเวลาการเจริญเติบโต (23,30,60,90 และ120 วัน) ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) n = 6

(* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)

a =สุพรรณบุรี1 b =สุพรรณบุรี90

4.7 แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ตามระยะเวลาการเจริญเติบโต

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือ ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน), ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน ,ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ในข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีค่าใกล้เคียงกันในทุกความเข้มข้นของโอโซนในระยะเวลา 23 – 60 วัน และเพิ่มขึ้นในปริมาณสูงเมื่อข้าวอายุ 90 วัน และลดลงเล็กน้อยเมื่อข้าวอายุ 120 วัน โดยความเข้มข้นของโอโซนให้ผลที่แตกต่างกัน ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ค่าเฉลี่ยปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลง 13.26 และ 23.45 เปอร์เซ็นต์ (40 และ 70 ppb) โดยเฉพาะที่ระยะเวลา 90 วันปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงถึง 24.9 และ 44.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังภาพ 13a และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90มีปริมาณแคโรทีนอยด์โดยเฉลี่ยลดลง 7.78 และ 19.41 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงมากที่สุดในระยะ 120 วัน โดยลดลง 8.72 และ 34.94 เปอร์เซ็นต์ (40 และ 70 ppb) ตามลำดับ ดังภาพ 13b



a b

ภาพ 13 ค่าเฉลี่ยปริมาณแคโรทีนอยด์ตามระยะเวลาการเจริญเติบโต (23,30,60,90 และ120 วัน) ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) n = 6
(* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)
a =สุพรรณบุรี1 b =สุพรรณบุรี90

5. ซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมูเตส (SOD)

5.1 ระยะต้นกล้าก่อนการรมก๊าซ (อายุ 23 วัน)

ก่อนการรมก๊าซโอโซนข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณการทำงานของ SOD ที่แตกต่างกันโดยข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 มีปริมาณ SOD สูงกว่าข้าวพันธ์สุพรรณบุรี 90 คือมีค่าเท่ากับ 259.78 และ 248.39 unit/g.fw ตามลำดับ

5.2 ระยะแตกกอ (อายุ 30 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนในตู้chamber ที่มีความเข้มข้นของก๊าซโอโซน 3 ระดับคือ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 40 ppb และ 70 ppb รมก๊าซโอโซนเป็นเวลา 7 วัน (อายุ 24-30วัน)

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 SOD มีปริมาณการทำงานสูงสุดที่กลุ่ม 40 ppb รองลงมาคือ 70 ppb และCF โดยมีค่าเท่ากับ 370.3, 349.81 และ 302.58 unit/g.fw ตามลำดับ

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 SOD มีปริมาณการทำงานสูงสุดที่กลุ่ม 70 ppb รองลงมาคือ 40 ppb และCF โดยมีค่าเท่ากับ 371.10, 357.82 และ 314.60 unit/g.fw ตามลำดับ

5.3 ระยะกำเนิดช่อดอก (อายุ 60 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนในตู้chamber ที่มีความเข้มข้นของก๊าซโอโซน 3 ระดับคือ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 40 ppb และ 70 ppb รมก๊าซโอโซนเป็นเวลา 60 วัน

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 SOD มีปริมาณการทำงานสูงสุดที่กลุ่ม 40 ppb รองลงมาคือ 70 ppb และ CF โดยมีค่าเท่ากับ 401.89, 372.37 และ 350.23 unit/g.fw ตามลำดับ

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 SOD มีปริมาณการทำงานสูงสุดที่กลุ่ม 70 ppb รองลงมาคือ 40 ppb และCF โดยมีค่าเท่ากับ 422.34, 397.88 และ 340.96 unit/g.fw ตามลำดับ

5.4 ระยะกำเนิดออกดอก (อายุ 90 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนในตู้chamber ที่มีความเข้มข้นของก๊าซโอโซน 3 ระดับคือ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 40 ppb และ 70 ppb รมก๊าซโอโซนเป็นเวลา 90 วัน

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 SOD มีปริมาณการทำงานสูงสุดที่กลุ่ม 40 ppb รองลงมาคือ 70 ppb และ CF โดยมีค่าเท่ากับ 401.89, 372.37 และ 350.23 unit/g.fw ตามลำดับ

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 SOD มีปริมาณการทำงานสูงสุดที่กลุ่ม 70 ppb รองลงมาคือ 40 ppb และCF โดยมีค่าเท่ากับ 422.34, 397.88 และ 340.96 unit/g.fw ตามลำดับ

5.5 ระยะกำเนิดออกดอก (อายุ 120 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนในตู้chamber ที่มีความเข้มข้นของก๊าซโอโซน 3 ระดับคือ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 40 ppb และ 70 ppb รมก๊าซโอโซนเป็นเวลา 120 วัน

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 SOD มีปริมาณการทำงานสูงสุดที่กลุ่ม 40 ppb รองลงมาคือ 70 ppb และ CF โดยมีค่าเท่ากับ 327.25, 316.07 และ 250.08 unit/g.fw ตามลำดับ

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 SOD มีปริมาณการทำงานสูงสุดที่กลุ่ม 70 ppb รองลงมาคือ 40 ppb และCF โดยมีค่าเท่ากับ 367.10, 314.81 และ 280.23 unit/g.fw ตามลำดับ

5.6 ปริมาณการทำงานของซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมูเตสตามช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโต

จากการศึกษาการทำงานของ SOD ของพันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ได้แก่พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 1 และสุพรรณบุรี 90 ที่ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb), โอโซน 40 ppb และ 70 ppb แบ่งเป็น 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือ ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน), ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน ,ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน พบว่าในพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณการทำงานของ SOD ดังแสดงในตาราง 7

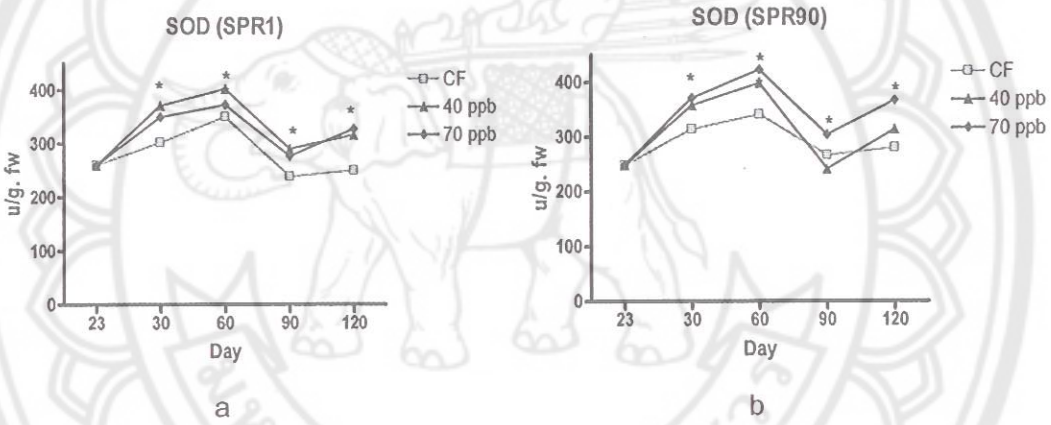
ตาราง 7 ปริมาณ SOD ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และสุพรรณบุรี90 ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน, ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน, ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน ทดลองในความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb) n = 3 ตัวอักษร a-c ในแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

SOD (unit/g.fw)						
ระยะเวลาการเจริญเติบโต	สุพรรณบุรี 1			สุพรรณบุรี 90		
	CF	40 ppb	70 ppb	CF	40 ppb	70 ppb
อายุ 23 วัน	259.78	-	-	248.39	-	-
อายุ 30 วัน	302.58^{c}	370.89^{a}	349.81^{b}	314.60^{c}	357.82^{b}	371.10^{a}
อายุ 60 วัน	350.23^{b}	401.89^{a}	372.37^{b}	340.95^{b}	397.88^{a}	422.34^{a}
อายุ 90 วัน	238.48^{b}	290.14^{a}	276.64^{a}	266.31^{b}	241.43^{b}	303.84^{a}
อายุ 120 วัน	250.08^{b}	316.07^{a}	327.25^{a}	280.23^{a}	314.81^{b}	367.10^{a}

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 มีปริมาณการทำงานของ SOD เพิ่มมากขึ้นในช่วงอายุพืช 23-60 วัน และในช่วง90 วัน จะมีปริมาณการทำงานของเอนไซม์ลดลง และจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่ออายุ 120 วัน โดยความเข้มข้นที่40 ppb จะมีปริมาณการทำงานของเอนไซม์สูงสุดรองลงมา คือ 70 ppb และ CF ตามลำดับ ในช่วงอายุของพืช ยกเว้นในช่วงอายุ120 วัน ความเข้มข้นที่ 70 ppb จะมีปริมาณการทำงานของเอนไซม์สูงกว่า 40 ppb และในทุกช่วงอายุจะมีปริมาณการทำงานของ SOD ของกลุ่ม CF 40 ppb และ 70 ppb แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังภาพ 14 a เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของการทำงานของเอนไซม์ในกลุ่ม 40 ppb เมื่อเทียบกับกลุ่ม CF มีค่าเท่ากับ 22.58, 14.75, 21.67 และ26.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ช่วงอายุของพืช 30, 60, 90 และ 120 วัน) และที่70 ppb เมื่อเทียบกับกลุ่ม CF มีค่าเท่ากับ 15.61, 6.32,16.00 และ 30.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ช่วงอายุของพืช 30, 60, 90 และ 120 วัน) โดยในกลุ่ม 40 ppb และกลุ่ม 70 ppb จะมีปริมาณการทำงานของเอนไซม์แตกต่างกับกลุ่ม CF มากที่สุดในช่วงอายุ 120 วัน ตามลำดับ

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี90 มีปริมาณการทำงานของ SOD เพิ่มมากขึ้นในช่วงอายุพืช 23-60 วัน และในช่วง90 วัน จะมีปริมาณการทำงานของเอนไซม์ลดลง และจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่ออายุ 120 วัน โดยความเข้มข้นที่70 ppb จะมีปริมาณการทำงานของเอนไซม์สูงสุดรองลงมา คือ 40 ppb

และ CF ตามลำดับ ในช่วงอายุของพืช ยกเว้นในช่วงอายุ 90 วัน ความเข้มข้นที่ 40 ppb จะมีปริมาณการทำงานของเอนไซม์สูงกว่า CF และในทุกช่วงอายุจะมีปริมาณการทำงานของ SOD ของกลุ่ม CF, 40 ppb และ 70 ppb แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังภาพ 14 b เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นและการลดลงของการทำงานของเอนไซม์ในกลุ่ม 40 ppb เมื่อเทียบกับกลุ่ม CF มีค่าเท่ากับ 13.74, 16.70, -9.34 และ12.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ช่วงอายุของพืช 30, 60, 90 และ 120 วัน) และที่70 ppb เมื่อเทียบกับกลุ่ม CF มีค่าเท่ากับ 17.96, 23.87, 14.09 และ 31.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ช่วงอายุของพืช 30, 60, 90 และ 120 วัน) โดยในกลุ่ม 40 ppb และกลุ่ม 70 ppb จะมีปริมาณการทำงานของเอนไซม์แตกต่างกับกลุ่ม CF มากที่สุดในช่วงอายุ 60 และ 120 วัน ตามลำดับ



ภาพ 14 ปริมาณการทำงานของซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมูเตส ของข้าวพันธุ์ สุพรรณบุรี1 (a) และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี90 (b) ตามช่วงอายุ (23,30,60,90และ 120 วัน) ที่ความเข้มข้นของ โอโซน 40 ppb, 70 ppb เทียบกับกลุ่ม CF (แสดงข้อมูล ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ$P \leq 0.05$)

6. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

6.1 ระยะต้นกล้าก่อนการรมก๊าซ (อายุ 23 วัน)

ก่อนการรมก๊าซโอโซนข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณของ H_2O_2 ที่แตกต่างกันโดยข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 มีปริมาณของ H_2O_2 สูงกว่าข้าวพันธ์สุพรรณบุรี 90 คือมีค่าเท่ากับ 0.86 และ 0.84 ppb ตามลำดับ

6.2 ระยะแตกกอ (อายุ 30 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนในตู้ chamber ที่มีความเข้มข้นของก๊าซโอโซน 3 ระดับคือ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 40 ppb และ 70 ppb รมก๊าซโอโซนเป็นเวลา 7 วัน (อายุ 24-30วัน)

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 H_2O_2 มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม 40 ppb รองลงมาคือ CF และ 70 ppb โดยมีค่าเท่ากับ 2.05, 1.76 และ 1.73 ppb ตามลำดับ

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 H_2O_2 มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม 70 ppb รองลงมาคือ 40 ppb และ CF โดยมีค่าเท่ากับ 2.03, 1.20 และ 1.18 ppb ตามลำดับ

6.3 ระยะกำเนิดช่อดอก (อายุ 60 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนในตู้ chamber ที่มีความเข้มข้นของก๊าซโอโซน 3 ระดับคือ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 40 ppb และ 70 ppb รมก๊าซโอโซนเป็นเวลา 60 วัน

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 H_2O_2 มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม 40 ppb รองลงมาคือ CF และ 70 ppb โดยมีค่าเท่ากับ 2.50, 1.37 และ 1.28 ppb ตามลำดับ

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 H_2O_2 มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม 70 ppb รองลงมาคือ 40 ppb และ CF โดยมีค่าเท่ากับ 2.70, 2.27 และ 1.24 ppb ตามลำดับ

6.4 ระยะกำเนิดออกดอก (อายุ 90 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนในตู้ chamber ที่มีความเข้มข้นของก๊าซโอโซน 3 ระดับคือ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 40 ppb และ 70 ppb รมก๊าซโอโซนเป็นเวลา 90 วัน

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 H_2O_2 มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม 70 ppb รองลงมาคือ CF และ 40 ppb โดยมีค่าเท่ากับ 1.40, 0.60 และ 0.28 ppb ตามลำดับ

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 H_2O_2 มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม 70 ppb รองลงมาคือ 40 ppb และ CF โดยมีค่าเท่ากับ 1.67, 0.69 และ 0.55 ppb ตามลำดับ

6.5 ระยะกำเนิดออกดอก (อายุ 120 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนในตู้chamber ที่มีความเข้มข้นของก๊าซโอโซน 3 ระดับคือ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 40 ppb และ 70 ppb รมก๊าซโอโซนเป็นเวลา 120 วัน

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 H_2O_2 มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม 70 ppb รองลงมาคือ 40 ppb และ CF โดยมีค่าเท่ากับ 2.28, 1.77 และ 0.85 ppb ตามลำดับ

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 H_2O_2 มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม 70 ppb รองลงมาคือ 40 ppb และ CF โดยมีค่าเท่ากับ 2.86, 2.10 และ 1.52 ppb ตามลำดับ

6.6 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตามช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโต

จากการศึกษาการทำงานของ H_2O_2 ของพันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ได้แก่พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 1 และสุพรรณบุรี 90 ที่ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb), โอโซน 40 ppb และ 70 ppb แบ่งเป็น 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือ ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน), ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน ,ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน พบว่าในพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณการทำงานของ H_2O_2 ดังแสดงในตาราง 8

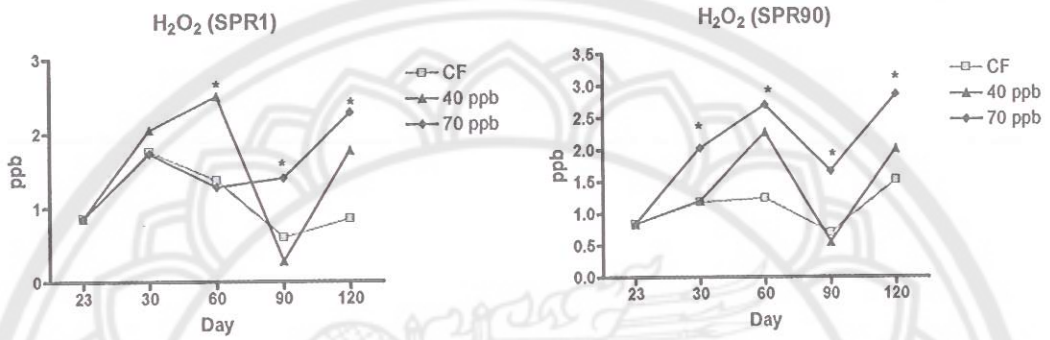
ตาราง 8 ปริมาณ H_2O_2 ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และสุพรรณบุรี90 ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน, ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน, ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน ทดลองในความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb) n = 3 ตัวอักษร a-c ในแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

H_2O_2 (ppb)						
ระยะเวลาการเจริญเติบโต	สุพรรณบุรี 1			สุพรรณบุรี 90		
	CF	40 ppb	70 ppb	CF	40 ppb	70 ppb
อายุ 23 วัน	0.86	-	-	0.84	-	-
อายุ 30 วัน	1.76^{a}	2.05^{a}	1.73^{a}	1.18^{b}	1.20^{b}	2.03^{a}
อายุ 60 วัน	1.37^{b}	2.50^{a}	1.28^{b}	1.24^{b}	2.27^{a}	2.70^{a}
อายุ 90 วัน	0.60^{c}	0.28^{a}	1.40^{a}	0.70^{b}	0.55^{b}	1.66^{a}
อายุ 120 วัน	0.85^{c}	1.77^{a}	2.28^{a}	1.52^{b}	2.01^{b}	2.86^{a}

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 มีปริมาณ H_2O_2 ในทั้ง 3 กลุ่ม เพิ่มมากขึ้นในช่วงอายุพืช 30 วัน และในช่วง 60 วัน กลุ่ม CF และ 70 ppb จะมีปริมาณลดลงแต่กลุ่ม 40 ppb ยังคงมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นในช่วงเวลา 90 วัน ปริมาณ H_2O_2 ของกลุ่ม 40 ppb จะต่ำกว่าทั้งกลุ่ม CF และ 70 ppb โดยกลุ่ม CF ยังคงมีปริมาณลดลงแต่ 70 ppb มีปริมาณเพิ่มขึ้นในทั้ง 3 กลุ่ม โดยกลุ่ม 70 ppb จะมีปริมาณสูงสุด รองลงมาเป็น 40 ppb และ CF ตามลำดับและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังภาพ 15 a เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นและลดลงของกลุ่ม 40 ppb เมื่อเทียบกับกลุ่ม CF มีค่าเท่ากับ 16.40, 82.98, -52.45 และ 108.97 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และ 70 ppb เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม CF มีค่าเท่ากับ -1.77,-6.21,135 และ 170.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ช่วงอายุของพืช 30, 60, 90 และ 120 วัน)

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี90 มีปริมาณ H_2O_2 ในทั้ง 3 กลุ่ม เพิ่มมากขึ้นในช่วงอายุพืช 60 วัน โดยกลุ่ม 70 ppb จะมีปริมาณสูงสุด และในช่วง90 วัน ทั้ง3 กลุ่มจะมีปริมาณ H_2O_2 ลดลง โดยในกลุ่ม 40 ppb จะมีปริมาณลดลงมากที่สุด และในช่วงสุดท้ายคือ 120 วัน ในทั้ง 3 กลุ่ม โดยกลุ่ม 70 ppb ยังคงมีปริมาณสูงสุด รองลงมา 40 ppb และกลุ่มCF ตามลำดับ และในทุกช่วงอายุจะมีปริมาณการทำงานของ H_2O_2 ของกลุ่ม CF, 40 ppb และ 70 ppb แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ดังภาพ 15 b เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นและลดลงของกลุ่ม 40 ppb เมื่อเทียบกับกลุ่ม CF มีค่าเท่ากับ 2.19, 83.83, -20.73 และ 32.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ 70 ppb เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม CF มีค่าเท่ากับ 72.87,118.05, 139.73 และ 87.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ช่วงอายุของพืช 30, 60, 90 และ 120 วัน)



a b

ภาพ 15 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1(a) และ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 (b) ตามช่วงอายุ (23,30,60,90 และ 120 วัน) ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb, 70 ppb เทียบกับกลุ่ม CF (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)

7. ปริมาณรวมของแอสคอเบต (Total ascorbate)

7.1 ระยะต้นกล้าก่อนการรมก๊าซ (อายุ 23 วัน)

ก่อนการรมก๊าซโอโซนข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณของ Total ascorbate ที่แตกต่างกันโดยข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี90 มีปริมาณของ Total ascorbate สูงกว่าข้าวพันธ์สุพรรณบุรี1 คือมีค่าเท่ากับ 2190.49 และ 1948.38 nmol. g^{-1} fw ตามลำดับ

7.2 ระยะแตกกอ (อายุ 30 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนในตู้ chamber ที่มีความเข้มข้นของก๊าซโอโซน 3 ระดับคือ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 40 ppb และ 70 ppb รมก๊าซโอโซนเป็นเวลา 7 วัน (อายุ 24-30วัน)

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 Total ascorbate มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม 70 ppb รองลงมาคือ 40 ppb และCF โดยมีค่าเท่ากับ 2716.02, 2234.92 และ 1675.91 nmol .g^{-1} fw ตามลำดับ

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 Total ascorbate มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม 70 ppb รองลงมาคือ 40 ppb และCF โดยมีค่าเท่ากับ 2864.50, 2712.87 และ 1491.76 nmol .g^{-1} fw ตามลำดับ

7.3 ระยะกำเนิดช่อดอก (อายุ 60 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนในตู้ chamber ที่มีความเข้มข้นของก๊าซโอโซน 3 ระดับคือ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 40 ppb และ 70 ppb รมก๊าซโอโซนเป็นเวลา 60 วัน

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 Total ascorbate มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม 40 ppb รองลงมาคือ 70 ppb และCF โดยมีค่าเท่ากับ 6849.20, 4483.21 และ 3714.13 nmol .g^{-1} fw ตามลำดับ

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 Total ascorbate มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม 70 ppb รองลงมาคือ 40 ppb และCF โดยมีค่าเท่ากับ 8225.90, 6821.36 และ 5419.29 nmol .g^{-1} fw ตามลำดับ

7.4 ระยะกำเนิดออกดอก (อายุ 90 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนในตู้ chamber ที่มีความเข้มข้นของก๊าซโอโซน 3 ระดับคือ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 40 ppb และ 70 ppb รมก๊าซโอโซนเป็นเวลา 90 วัน

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 Total ascorbate มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม 40 ppb รองลงมาคือ 70 ppb และCF โดยมีค่าเท่ากับ 2672.04, 2656,69 และ 2201.61 nmol .g^{-1} fw ตามลำดับ

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 Total ascorbate มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม 70 ppb รองลงมาคือ 40 ppb และCF โดยมีค่าเท่ากับ 3255.01, 2479.96 และ 1255.42 nmol .g^{-1} fw ตามลำดับ

8.5 ระยะกำเนิดออกดอก (อายุ 120 วัน)

จากการทดลองรมก๊าซโอโซนในตู้chamber ที่มีความเข้มข้นของก๊าซโอโซน 3 ระดับคือ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) 40 ppb และ 70 ppb รมก๊าซโอโซนเป็นเวลา 120 วัน

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 Total ascorbate มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม CF รองลงมาคือ40 ppb และ 70 ppb โดยมีค่าเท่ากับ 1956.36, 1716.75 และ 1557.69 nmol g^{-1} fw ตามลำดับ

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 Total ascorbate มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม 40 ppb รองลงมาคือ CF และ 40 ppb โดยมีค่าเท่ากับ 3160.98, 2451.59 และ 1462.55 nmol .g^{-1} fw ตามลำดับ

7.6 ปริมาณ Total ascorbate ตามช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโต

จากการศึกษาปริมาณของ Total ascorbate ของพันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ได้แก่พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 1 และสุพรรณบุรี 90 ที่ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb), โอโซน 40 ppb และ 70 ppb แบ่งเป็น 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือ ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน), ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน ,ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน พบว่าในพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณการทำงานของ H_2O_2 ดังแสดงในตาราง 9

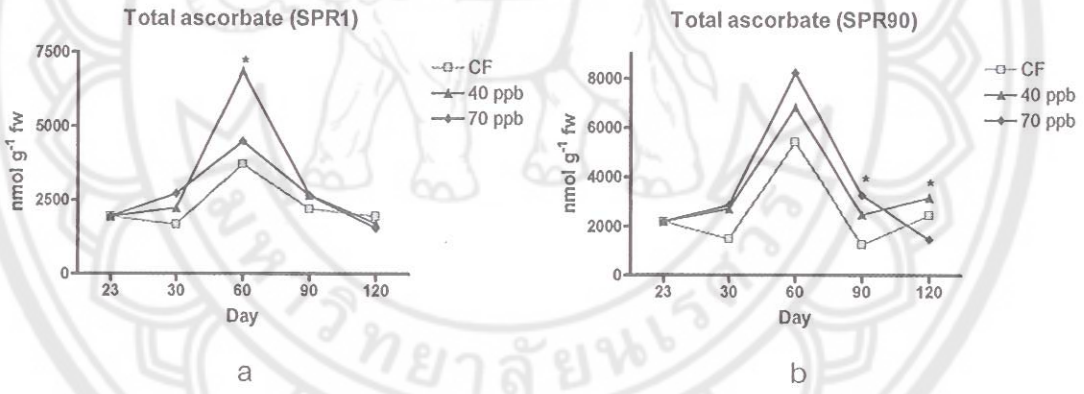
ตาราง 9 ปริมาณ Total ascorbate ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และสุพรรณบุรี90 ระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน, ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน ทดลองในความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb) n = 3 ตัวอักษร a-c ในแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

Total ascorbate (nmol .g^{-1} fw)						
ระยะเวลาการเจริญเติบโต	สุพรรณบุรี 1			สุพรรณบุรี 90		
	CF	40 ppb	70 ppb	CF	40 ppb	70 ppb
อายุ 23 วัน	1948.38	-	-	2190.50	-	-
อายุ 30 วัน	1675.91^{a}	2234.92^{a}	2716.02^{a}	1491.76^{a}	2712.87^{a}	2864.50^{a}
อายุ 60 วัน	3741.14^{b}	6849.20^{a}	4483.20^{b}	5419.29^{b}	6821.36^{a}	8225.90^{a}
อายุ 90 วัน	2201.61^{c}	2672.04^{b}	2656.69^{a}	1255.42^{b}	2479.98^{b}	3255.01^{a}
อายุ 120 วัน	1956.36^{c}	1716.75^{b}	1557.69^{a}	2451.59^{b}	3160.98^{b}	1462.54^{a}

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 มีปริมาณ Total ascorbate ในทั้ง 3 กลุ่ม มีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 23 -60 วัน และจะสูงสุดในช่วง 60 วัน จากนั้นจะลดต่ำลงในช่วง 90-120 วัน โดยที่ช่วง 30 วัน กลุ่ม 40 ppb มีปริมาณ Total ascorbate ต่ำกว่า 70 ppb แต่ในช่วง 60 วัน กลุ่ม 40 ppb จะมีปริมาณ Total ascorbate สูงกว่าและแตกต่างกลับกลุ่ม 70 ppb และกลุ่ม CF ในปริมาณที่สูงมากและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังภาพ16 a เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นและลดลงของกลุ่ม 40 ppb เมื่อเทียบกับกลุ่ม CF มีค่าเท่ากับ 33.35, 83.08, 21.37 และ -12.25 เปอร์เซ็นต์

ตามลำดับ และ 70 ppb เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม CF มีค่าเท่ากับ 62.06, 19.83, 20.67 และ -20.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ช่วงอายุของพืช 30, 60, 90 และ 120 วัน)

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี90 มีปริมาณ Total ascorbate ในทั้ง 3 กลุ่ม มีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 23 -60 วัน และจะสูงสุดในช่วง 60 วัน(ยกเว้น CF ที่จะลดลงเล็กน้อยในช่วง 30 วัน) จากนั้นจะลดต่ำลงในช่วง 90 วัน โดยทั้ง3 กลุ่มจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออายุ 120 วัน ที่กลุ่ม 70 ppb มีปริมาณ Total ascorbate สูงขึ้นมากในทุกช่วงอายุรองลงมาเป็นกลุ่ม 40 ppb และกลุ่ม CF แต่ในช่วง 120 วัน ปริมาณ Total ascorbate ของกลุ่ม 70 ppb จะลดต่ำลงกว่ากลุ่ม 40 ppb และกลุ่ม CF และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังภาพ 16 b เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นและลดลงของกลุ่ม 40 ppb เมื่อเทียบกับกลุ่ม CF มีค่าเท่ากับ 81.86, 25.87,97.54 และ 28.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ 70 ppb เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม CF มีค่าเท่ากับ 92.02, 51.79, 159.28 และ -40.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ช่วงอายุของพืช 30, 60, 90 และ 120 วัน)



ภาพ 16 ปริมาณรวมของแอสคอเบต ของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1(a) และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี90 (b) ตามช่วงอายุ (23,30,60,90 และ 120 วัน) ที่ความเข้มข้น ของโอโซน 40 ppb, 70 ppb เทียบกับกลุ่ม CF (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)

8. ผลผลิต (Yield)

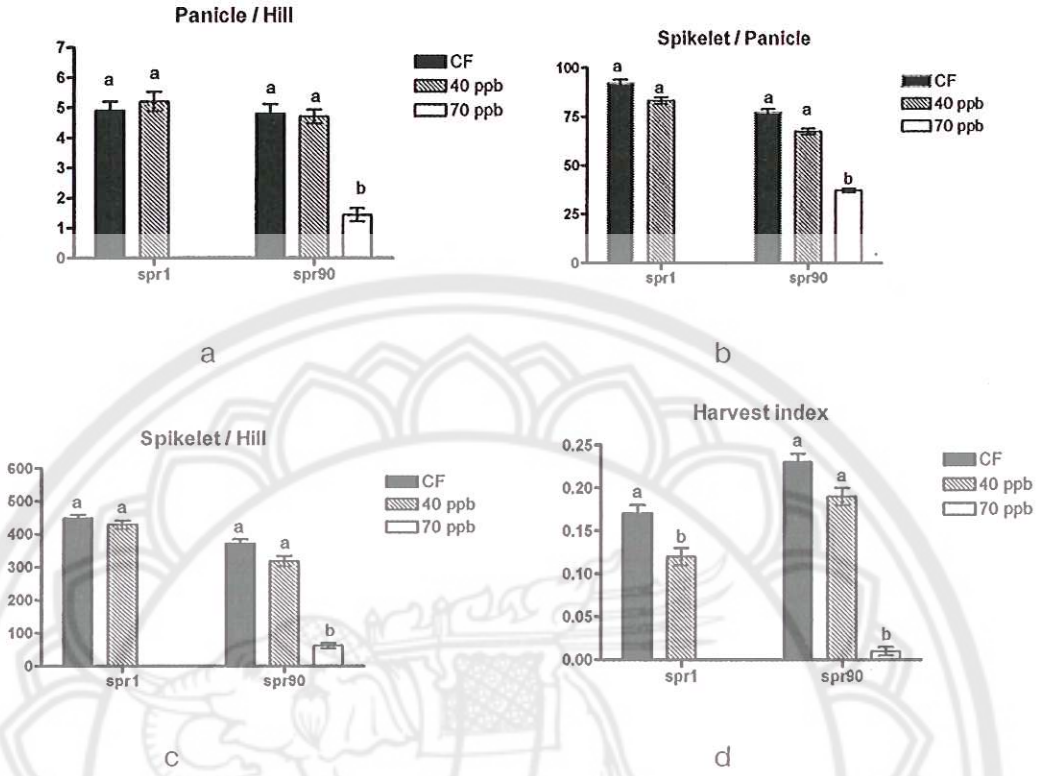
จากการศึกษาผลผลิตของข้าว 2 พันธุ์ได้แก่ สุพรรณบุรี1 และสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb), 40 ppb และ70 ppb โดยศึกษาจำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง, จำนวนเมล็ดต่อกอ, เปอร์เซ็นต์เมล็ดไม่สมบูรณ์, น้ำหนัก 100 เมล็ด และ Harvest index ได้ผลการทดลองดังนี้

จำนวนรวงต่อกอในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb คือ 5.2 รวง รองลงมาคือ CF เท่ากับ 4.9 รวง และใน 70 ppb ไม่มีการออกรวง ซึ่งจำนวนรวงใน 40 ppb มีมากกว่า CF เท่ากับ 6.12 เปอร์เซ็นต์ และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเฉลี่ยจำนวนรวงเท่ากับ 4.8, 4.7 และ 1.44 รวง ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb) โดยที่ 40 และ 70 ppb มีค่าเฉลี่ยจำนวนรวงน้อยกว่า CF เท่ากับ 2.08 และ 69.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังภาพ 17a

จำนวนเมล็ดต่อรวงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน CF และ 40 ppb ของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน 70 ppb โดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 92.1, 83.19 เมล็ด และ ไม่เกิดผลผลิต โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ โอโซน 40 ppb ลดจำนวนเมล็ดต่อรวง 9.66 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่า 77.22, 67.49 และ 37.31 เมล็ด ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb) โดยที่โอโซน 40 และ 70 ppb จะลดจำนวนเมล็ดต่อรวง 12.6 และ 51.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ CF ดังภาพ 17b

จำนวนเมล็ดต่อกอไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน CF และ 40 ppb ของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน 70 ppb โดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 448, 429 เมล็ด และ ไม่เกิดผลผลิต โดยที่โอโซน 40 ppb ลดจำนวนเมล็ดต่อต้น 4.24 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่า 371, 318 และ 61.8 เมล็ด ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb) โดยที่โอโซน 40 และ 70 ppb จะลดจำนวนเมล็ดต่อต้น 14.29 และ 83.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ CF ดังภาพ 17c

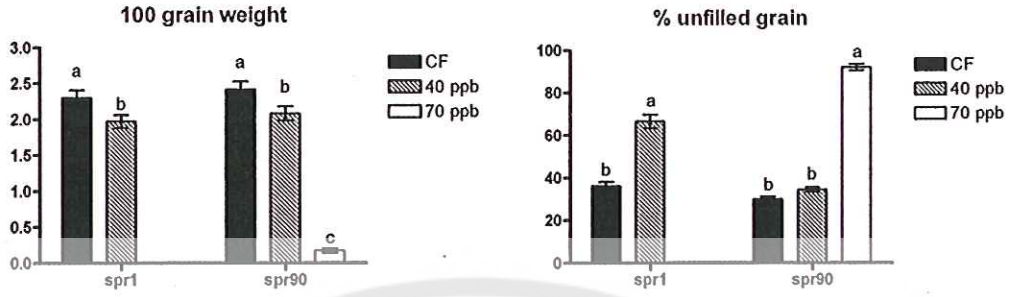
น้ำหนักแห้งของเมล็ดต่อน้ำหนักแห้งทั้งหมด (Harvest index) ในข้าวทั้ง 2 พันธุ์มี Harvest index มากที่สุดใน CF รองลงมาคือ 40 ppb และน้อยที่สุดคือ 70 ppb โดยเฉพาะในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.17, 0.12 และ ไม่เกิดผลผลิต โดยที่ 40 ppb จะลด Harveat index เท่ากับ 29.09 เปอร์เซ็นต์ และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.23, 0.19 และ 0.01 ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์โอโซน 40 และ 70 ppb จะลดลง 15.56 และ 96.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังภาพ 17d



ภาพ 17 จำนวนรวงต่อกอ, จำนวนเมล็ดต่อรวง, จำนวนเมล็ดต่อกอ และ Harvest index ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และสุพรรณบุรี90 n = 10 ค่าเฉลี่ย ± SE (ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกัน แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ≤0.05)
a จำนวนรวงต่อกอ b จำนวนเมล็ดต่อรวง c จำนวนเมล็ดต่อกอ d Harvest index

น้ำหนักแห้งเมล็ด 100 เมล็ด มีค่าต่างกันใน 3 ความเข้มข้นของโอโซน โดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.3, 1.97 กรัม และไม่เกิดผลผลิต ตามลำดับ จะเห็นว่าโอโซน 40 ppb จะลดน้ำหนัก 100 เมล็ด 14.45 เปอร์เซ็นต์ และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.41, 2.08 และ 0.17 กรัม ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb) โดยที่ความเข้มข้น 40 และ 70 ppb จะทำให้น้ำหนัก 100 เมล็ดลดลง 13. 86 และ 93.11 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 18a

เปอร์เซ็นต์เมล็ดที่ไม่สมบูรณ์มีมากที่สุดที่ความเข้มข้นของโอโซน 70 ppb โดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 36.02, 66.51 เปอร์เซ็นต์ และ ไม่เกิดผลผลิต และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีค่า 29.83, 34.37 และ 92.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (CF, 40 ppb และ 70 ppb) ดังภาพ 18b



a b

ภาพ 18 น้ำหนัก 100 เมล็ด และจำนวนเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และสุพรรณบุรี90 n = 10 ค่าเฉลี่ย ± SE (ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกัน แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$) a น้ำหนัก 100 เมล็ด b เปอร์เซ็นต์เมล็ดที่ไม่สมบูรณ์

การทดลองระยะที่ 3

การทดลองภาคสนามที่จังหวัดปทุมธานี

1. **น้ำหนักแห้ง** (Biomass)

จากการศึกษาน้ำหนักแห้งของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 1 ในพื้นที่การทดลองที่ จ. ปทุมธานี โดยทำการปลูกเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) กับกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ช่วงระยะเวลา ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน

1.1 ต้นกล้าอายุ 14 วัน

จากการทดลองเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่จังหวัดปทุมธานี ในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 14 วัน พบว่าน้ำหนักแห้งลำต้นของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีน้ำหนักแห้งของลำต้นเท่ากับ 0.146 และ 0.614 กรัม ตามลำดับ

น้ำหนักแห้งของรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 0.086 และ 0.310 กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

น้ำหนักแห้งทั้งหมดในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 0.232 และ 0.924 กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

อัตราส่วนต้นต่อรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 7.623 และ 2.178 กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

1.2 ระยะแตกกออายุ 34 วัน

จากการทดลองเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่จังหวัดปทุมธานี ในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 34 วัน พบว่าน้ำหนักแห้งลำต้นของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีน้ำหนักแห้งของลำต้นเท่ากับ 2.753 และ 3.698 กรัม ตามลำดับ

น้ำหนักแห้งของรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 3.138 และ 4.033 กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

น้ำหนักแห้งทั้งหมดในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 0.232 และ 0.924 กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

อัตราส่วนต้นต่อรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 5.892 และ 7.732 กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

1.3 ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน

จากการทดลองเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่จังหวัดปทุมธานี ในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 48 วัน พบว่าน้ำหนักแห้งลำต้นของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีน้ำหนักแห้งของลำต้นเท่ากับ 5.285 และ 4.685 กรัม ตามลำดับ

น้ำหนักแห้งของรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 6.605 และ 6.732 กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

น้ำหนักแห้งทั้งหมดในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 11.890 และ 11.417 กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

อัตราส่วนต้นต่อรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 0.963 และ 1.161กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

1.4 ระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน

จากการทดลองเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่จังหวัดปทุมธานี ในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 120 วัน พบว่าน้ำหนักแห้งลำต้นของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีน้ำหนักแห้งของลำต้นเท่ากับ 13.935 และ 9.1252 กรัม ตามลำดับ

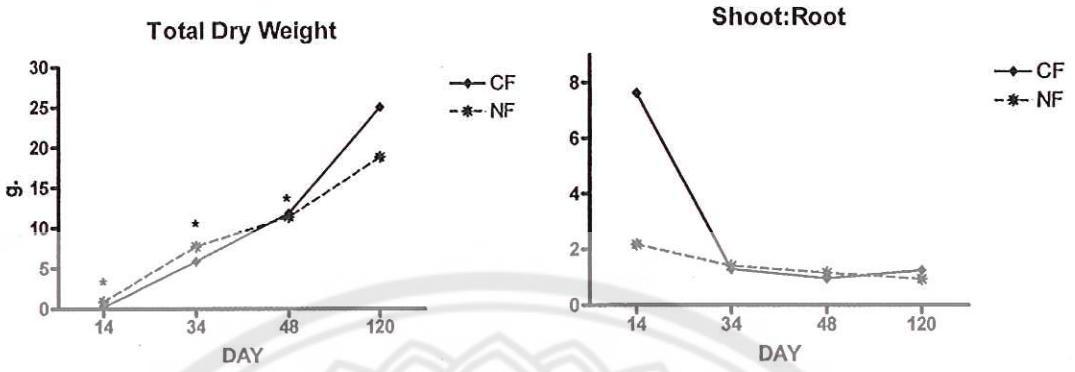
น้ำหนักแห้งของรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 11.133 และ9.699 กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

น้ำหนักแห้งทั้งหมดในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 25.069 และ 18.825 กรัม ตามลำดับ (CF, NF) ดังภาพ 19a

อัตราส่วนต้นต่อรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 1.251 และ 0.940 กรัม ตามลำดับ (CF, NF) ดังภาพ 19b

ตาราง 10 น้ำหนักแห้งและอัตราส่วนต้นต่อรากของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 6 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)

ระยะเวลาการเจริญเติบโต	Dry Weight (g)							
	Shoot		Root		Total		Shoot/Root	
	CF	NF	CF	NF	CF	NF	CF	NF
อายุ 14	0.146 ± 0.007	0.614 ± 0.098*	0.086 ± 0.026	0.31 ± 0.032	0.232 ± 0.024	0.924 ± 0.070*	7.623 ± 7.488	2.178 ±0.661
อายุ 34	2.753 ± 1.142	3.698 ± 0.155*	3.138 ± 0.804	4.033 ± 1.067	5.892 ± 0.892	7.732 ± 1.103*	1.296 ± 0.396	1.406 ± 0.732
อายุ 48	5.285 ± 1.159	4.685 ± 0.318*	6.605 ± 1.302	6.732 ± 1.999	11.89 ± 1.263	11.417 ± 2.002*	0.963 ± 0.289	1.161 ± 0.131
อายุ 120	13.935 ± 2.904	9.125 ± 2.029	11.133 ± 2.300	9.699 ± 2.008	25.069 ± 5.204	18.825 ± 4.037	1.251 ± 1.262	0.94 ± 1.010



a b

ภาพ 19 ปริมาณน้ำหนักแห้งและอัตราส่วนระหว่างส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดินตามช่วงระยะเจริญเติบโตของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้า อายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 6 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)

a) น้ำหนักแห้ง b) อัตราส่วนต้นต่อราก

2. ซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมูเตส (SOD)

2.1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน

จากการทดลองเปรียบเทียบ SOD ของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่จังหวัดปทุมธานี กลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 14 วัน พบว่าพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 SOD มีปริมาณการทำงานสูงสุดที่กลุ่ม NF รองลงมาคือ CF โดยมีค่าเท่ากับ 3836 และ3340 unit/g.fw ตามลำดับ

2.2 ระยะแตกกออายุ 34 วัน

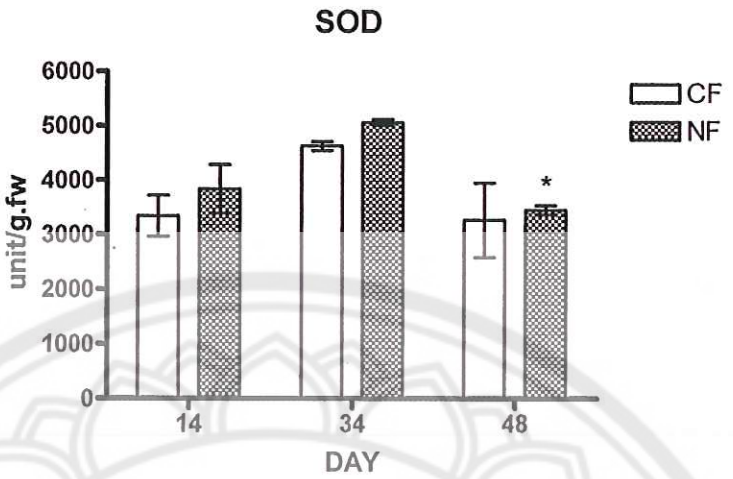
จากการทดลองเปรียบเทียบ SOD ของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่จังหวัดปทุมธานี กลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 34 วัน พบว่าพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 SOD มีปริมาณการทำงานสูงสุดที่กลุ่ม NF รองลงมาคือ CF โดยมีค่าเท่ากับ 5058 และ 4625 unit/g.fw ตามลำดับ

2.3 ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน

จากการทดลองเปรียบเทียบ SOD ของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่จังหวัดปทุมธานี กลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 34 วัน พบว่าพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 SOD มีปริมาณการทำงานสูงสุดที่กลุ่ม NF รองลงมาคือ CF โดยมีค่าเท่ากับ 3449 และ 3265 unit/g.fw ตามลำดับ

ตาราง 11 ปริมาณ SOD ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน และ ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่าง กันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)

ระยะเวลาการเจริญเติบโต	SOD (unit/g.fw)	
	CF	NF
อายุ 14	3340 ± 375.24	3836 ± 446.73
อายุ 34	4625 ± 84.07	5058 ± 59.21
อายุ 48	3265 ± 681.62	3449* ± 83.29



ภาพ 20 ปริมาณ SOD ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน และระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)

3. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

3.1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน

จากการทดลองเปรียบเทียบ H_2O_2ของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่จังหวัดปทุมธานี กลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 14 วัน พบว่า พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 H_2O_2 มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม NF รองลงมาคือ CF โดยมีค่าเท่ากับ 1.53 และ 0.70 ppb ตามลำดับ

3.2 ระยะแตกกออายุ 34 วัน

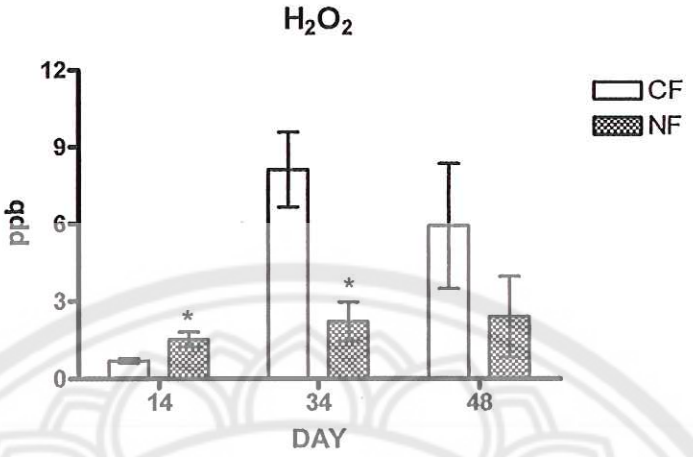
จากการทดลองเปรียบเทียบ H_2O_2ของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่จังหวัดปทุมธานี กลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 34 วัน พบว่า พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 H_2O_2 มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม NF รองลงมาคือ CF โดยมีค่าเท่ากับ 8.12 และ 2.21 ppb ตามลำดับ

3.3 ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน

จากการทดลองเปรียบเทียบ H_2O_2ของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่จังหวัดปทุมธานี กลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 48 วัน พบว่า พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 H_2O_2 มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม CF รองลงมาคือ NF โดยมีค่าเท่ากับ 5.93 และ 2.40 ppb ตามลำดับ ดังตาราง 12, ภาพ 21

ตาราง 12 ปริมาณ H_2O_2 ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน และระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3 (* แสดงข้อมูลที่แตกต่าง กันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)

ระยะเวลาการเจริญเติบโต	H_2O_2 (ppb)	
	CF	NF
อายุ 14	0.7 ± 0.09	1.53 * ± 0.29
อายุ 34	8.12 ± 1.46	2.21 * ± 0.75
อายุ 48	5.93 ± 2.43	2.4 ± 1.56



ภาพ 21 ปริมาณ H_2O_2ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน และระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วันทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3 (*แสดงข้อมูลที่แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)

4. ปริมาณรวมของแอสคอเบต (Total ascorbate)

4.1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน

จากการทดลองเปรียบเทียบ Total ascorbate ของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่จังหวัดปทุมธานี กลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 14 วัน พบว่า พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 Total ascorbate มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม NF รองลงมาคือ CF โดยมีค่าเท่ากับ 24.12 และ 13.84 nmol g^{-1} fw ตามลำดับ

4.2 ระยะแตกกออายุ 34 วัน

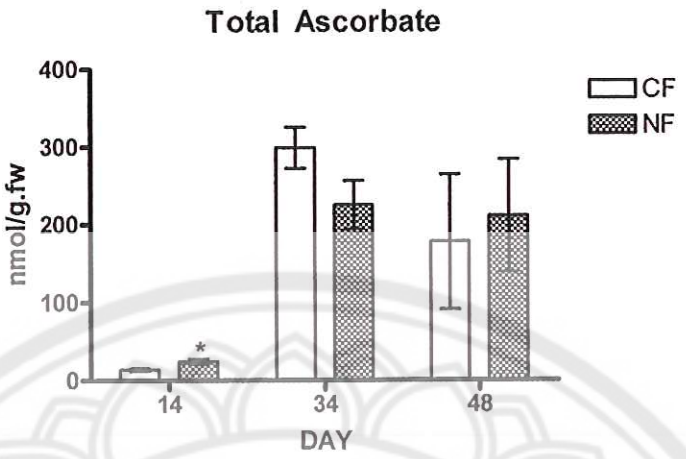
จากการทดลองเปรียบเทียบ Total ascorbate ของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่จังหวัดปทุมธานี กลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 34 วัน พบว่า พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 Total ascorbate มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม CF รองลงมาคือ NF โดยมีค่าเท่ากับ 298.67 และ 224.74 nmol g^{-1} fw ตามลำดับ

4.3 ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน

จากการทดลองเปรียบเทียบ Total ascorbate ของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่จังหวัดปทุมธานี กลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 34 วัน พบว่า พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 Total ascorbate มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม NF รองลงมาคือ CF โดยมีค่าเท่ากับ 210.97 และ 177.52 nmol g^{-1} fw ตามลำดับ ดังตาราง 13, ภาพ 22

ตาราง 13 ปริมาณ Total ascorbate ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน และระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF(โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซ โอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3 (* แสดงข้อมูลที่ แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)

ระยะเวลาการเจริญเติบโต	Total ascorbate (nmol g^{-1} fw)	
	กลุ่มควบคุม (CF)	กลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF)
อายุ14	13.84 ± 1.70	24.12* ± 3.47
อายุ 34	298.67 ± 26.36	224.74 ± 31.38
อายุ 48	177.52 ± 86.74	210.97 ± 72.41



ภาพ 22 ปริมาณ Total ascorbate ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 อายุ 14 วัน, อายุ 34 วัน, อายุ 48 วัน, ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3 (* แสดงข้อมูลที่ แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)

5. ผลผลิต (Yield)

จากการศึกษาผลผลิตของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่จังหวัดปทุมธานี ที่เปรียบเทียบกันระหว่างกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) โดยศึกษาจำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดต่อกอ ได้ผลการทดลองดังนี้ (ตาราง 14)

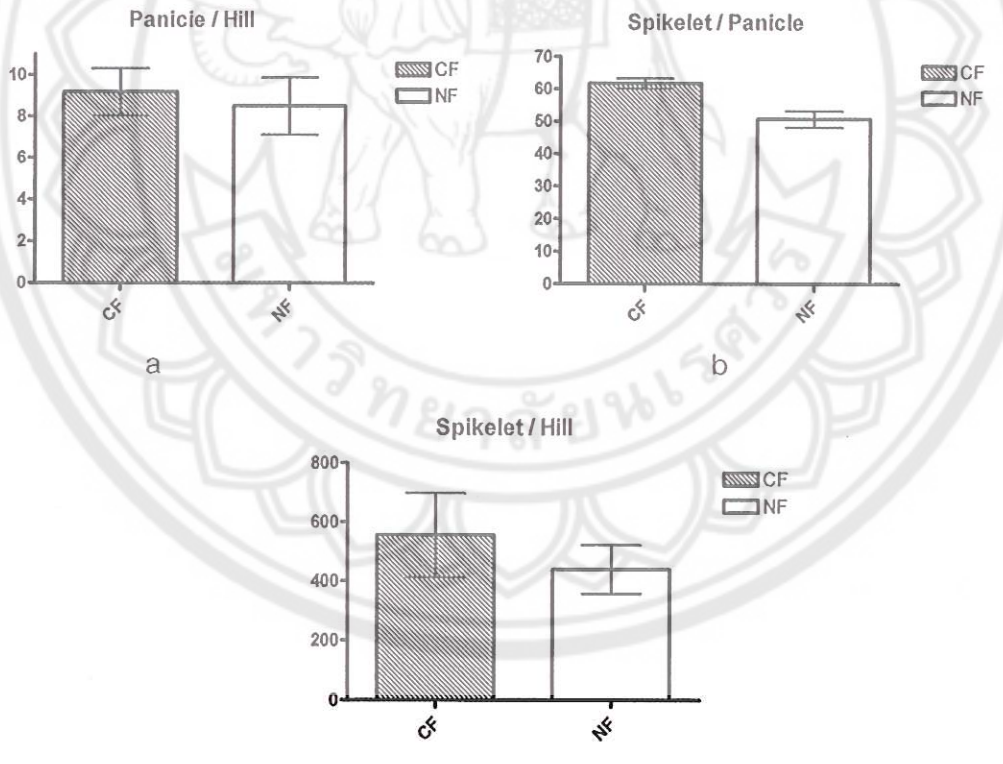
จำนวนรวงต่อกอในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดที่กลุ่มควบคุม CF คือ 9.17 รวง รองลงมาคือ NF เท่ากับ 8.50 รวง ตามลำดับ ดังภาพ 23a

จำนวนเมล็ดต่อรวงพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดที่กลุ่มควบคุม CF คือ 61.69 เมล็ด รองลงมาคือ NF เท่ากับ 50.77 เมล็ด ตามลำดับ ดังภาพ 23b

จำนวนเมล็ดต่อกอพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดที่กลุ่มควบคุม CF คือ 555.17 เมล็ด รองลงมาคือ NF เท่ากับ 440.00 เมล็ด ตามลำดับ ดังภาพ 23c

ตาราง 14 ปริมาณผลผลิตของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน และระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF(โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 6

ผลผลิต (Yield)	โอโซน	
	กลุ่มควบคุม (CF)	กลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF)
จำนวนรวงต่อกอ	9.17 ±1.14	8.50 ±1.38
จำนวนเมล็ดต่อรวง	61.69 ± 1.57	50.77 ± 2.53
จำนวนเมล็ดต่อกอ	555.17 ±142.74	440.00 ±82.53



ภาพ 23 ปริมาณ ผลผลิตของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 6
a)จำนวนรวงต่อกอ b)จำนวนเมล็ดต่อรวง c) จำนวนเมล็ดต่อกอ

การทดลองภาคสนามที่คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

1. น้ำหนักแห้ง (Biomass)

จากการศึกษาน้ำหนักแห้งของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 1 ในพื้นที่การทดลองที่คณะเกษตรศาสตร์ โดยทำการปลูกเปรียบระหว่างกลุ่มควบ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) กับกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ช่วงระยะเวลา ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน , และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน

1.1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน

จากการทดลองเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่คณะเกษตรศาสตร์ ในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) กับกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 14 วัน พบว่าน้ำหนักแห้งลำต้นของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีน้ำหนักแห้งของลำต้นเท่ากับ 1.203 และ 1.500 กรัม ตามลำดับ

น้ำหนักแห้งของรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 2.765 และ 2.423 กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

น้ำหนักแห้งทั้งหมดในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 3.968 และ 3.923 กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

อัตราส่วนต้นต่อรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 0.971 และ 0.839 กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

1.2 ระยะแตกกออายุ 34 วัน

จากการทดลองเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของข้าวสุพรรณบุรี 1 ปลูกที่คณะเกษตรศาสตร์ ในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) กับกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 34 วัน พบว่าน้ำหนักแห้งลำต้นของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีน้ำหนักแห้งของลำต้นเท่ากับ 5.758 และ 3.823 กรัม ตามลำดับ

น้ำหนักแห้งของรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 6.855 และ 2.172 กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

น้ำหนักแห้งทั้งหมดในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 12.613 และ 5.995 กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

อัตราส่วนต้นต่อรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 1.677 และ 1.944 กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

1.3 **ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน**

จากการทดลองเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของข้าวสุพรรณบุรี 1 ปลูกที่คณะเกษตรศาสตร์ ในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) กับกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 48 วัน พบว่าน้ำหนักแห้งลำต้นของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีน้ำหนักแห้งของลำต้นเท่ากับ 24.418 และ 22.865 กรัม ตามลำดับ

น้ำหนักแห้งของรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 30.047 และ 21.737 กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

น้ำหนักแห้งทั้งหมดในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 54.465 และ 44.602 กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

อัตราส่วนต้นต่อรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 0.982 และ 1.057 กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

1.4 ระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน

จากการทดลองเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของข้าวสุพรรณบุรี 1 ปลูกที่คณะเกษตรศาสตร์ ในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) กับกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 120 วัน พบว่าน้ำหนักแห้งลำต้นของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 1 มีน้ำหนักแห้งของลำต้นเท่ากับ 78.267 และ 81.317 กรัม ตามลำดับ

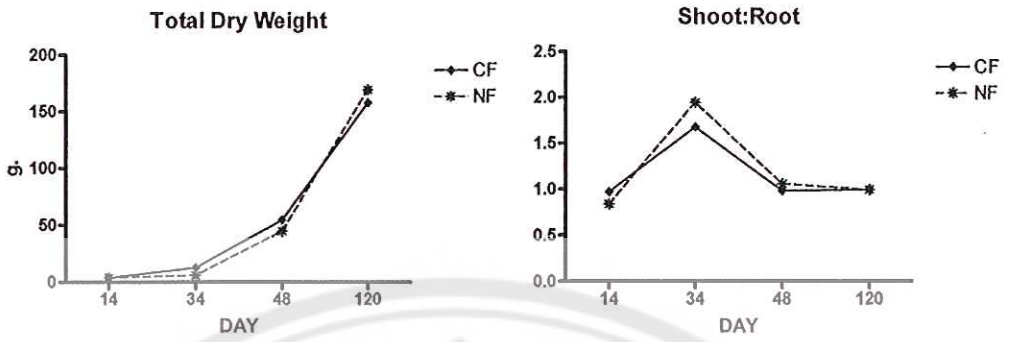
น้ำหนักแห้งของรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 79.583 และ87.917 กรัม ตามลำดับ (CF, NF)

น้ำหนักแห้งทั้งหมดในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 157.850 และ 169.233 กรัม ตามลำดับ (CF, NF) ดังภาพ 24a

อัตราส่วนต้นต่อรากในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 0.997 และ 0.993 กรัม ตามลำดับ (CF, NF) ดังตาราง 15,ภาพ 24b

ตาราง 15 น้ำหนักแห้งและอัตราส่วนต้นต่อรากของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วันระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 6

ระยะเวลาการเจริญเติบโต	Dry Weight (g)							
	Shoot		Root		Total		Shoot/Root	
	CF	NF	CF	NF	CF	NF	CF	NF
อายุ 14	1.203 ± 0.380	1.5 ± 0.405	2.765 ± 1.360	2.423 ± 0.107	3.968 ± 1.210	3.923 ± 0.354	0.971 ± 0.646	0.839 ± 0.337
อายุ 34	5.758 ± 1.998	3.823 ± 0.632	6.855 ± 2.318	2.172 ± 0.334	12.613 ± 3.415	5.995 ± 0.703	1.677 ± 1.208	1.944 ± 0.497
อายุ 48	24.418 ± 2.323	22.865 ± 2.504	30.047 ± 4.984	21.737 ± 0.450	54.465 ± 5.687	44.602 ± 2.403	0.982 ± 0.332	1.057 ± 0.123
อายุ 120	78.267 ± 20.452	81.317 ± 10.883	79.583 ± 21.119	87.917 ± 17.203	157.850 ± 41.315	169.233 ± 27.754	0.997 ± 0.067	0.993 ± 0.083



a b

ภาพ 24 ปริมาณน้ำหนักแห้งและอัตราส่วนระหว่างส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดินตามช่วงระยะเจริญเติบโตของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้า อายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 6

a) น้ำหนักแห้ง b) อัตราส่วนต้นต่อราก

2. ซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมูเตส (SOD)

2.1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน

จากการทดลองเปรียบเทียบ SOD ของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่คณะเกษตรศาสตร์ ในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) กับกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 14 วัน พบว่าพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 SOD มีปริมาณการทำงานสูงสุดที่กลุ่ม NF รองลงมาคือ CF โดยมีค่าเท่ากับ 3799 และ2826 unit/g.fw ตามลำดับ

2.2 ระยะแตกกออายุ 34 วัน

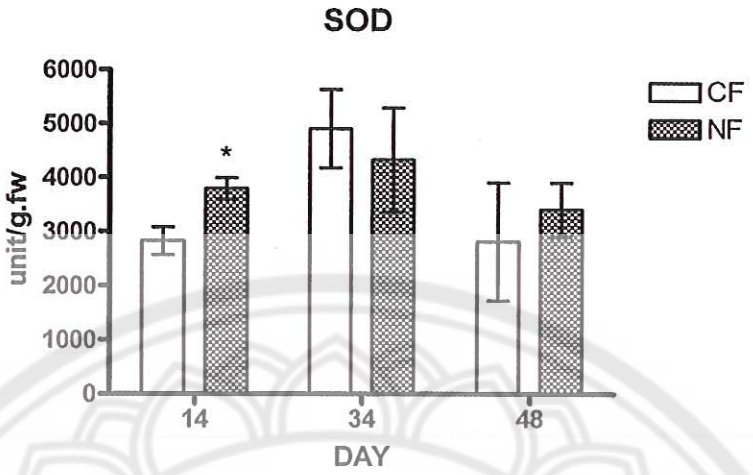
จากการทดลองเปรียบเทียบ SOD ของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่คณะเกษตรศาสตร์ ในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) กับกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 34 วัน พบว่าพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 SOD มีปริมาณการทำงานสูงสุดที่กลุ่ม CF รองลงมาคือ NF โดยมีค่าเท่ากับ 4604 และ 4328 unit/g.fw ตามลำดับ

2.3 ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน

จากการทดลองเปรียบเทียบ SOD ของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่คณะเกษตรศาสตร์ ในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) กับกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 48 วัน พบว่าพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 SOD มีปริมาณการทำงานสูงสุดที่กลุ่ม NF รองลงมาคือ CF โดยมีค่าเท่ากับ 3404 และ 2813 unit/g.fw ตามลำดับ ดังภาพ 25, ตาราง16

ตาราง 16 ปริมาณ SOD ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซ โอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3
(* แสดงข้อมูลที่ แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)

ระยะเวลาการเจริญเติบโต	SOD (unit/g.fw)	
	กลุ่มควบคุม (CF)	กลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF)
อายุ14	2826 ± 255.70	3799* ± 194.30
อายุ 34	4604 ± 726.55	4328 ± 966.45
อายุ 48	2813 ± 1090.56	3404 ± 496.22



ภาพ 25 ปริมาณ SOD ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับ ก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3 (* แสดงข้อมูลที่ แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)

3. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

3.1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน

จากการทดลองเปรียบเทียบ H_2O_2ของข้าวสุพรรณบุรี1 ที่ปลูกที่คณะเกษตรศาสตร์ กลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) กับกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 14 วัน พบว่า พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 H_2O_2 มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม NF รองลงมาคือ CF โดยมีค่าเท่ากับ 2.40 และ 0.26 ppb ตามลำดับ

3.2 ระยะแตกกออายุ 34 วัน

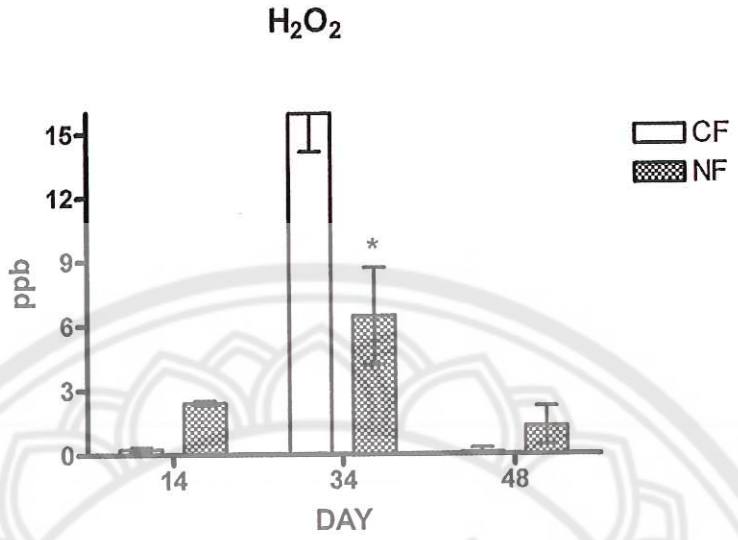
จากการทดลองเปรียบเทียบ H_2O_2ของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่คณะเกษตรศาสตร์ ในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) กับกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 34 วัน พบว่า พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 H_2O_2 มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม CF รองลงมาคือ NF โดยมีค่าเท่ากับ 15.96 และ 6.46 ppb ตามลำดับ

3.3 ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน

จากการทดลองเปรียบเทียบ H_2O_2ของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่คณะเกษตรศาสตร์ ในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb)กับกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 48 วัน พบว่า พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 H_2O_2 มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม NF รองลงมาคือ CF โดยมีค่าเท่ากับ 1.33 และ 0.12 ppb ตามลำดับ ดังภาพ 26, ตาราง 17

ตาราง 17 ปริมาณ H_2O_2 ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3
(* แสดงข้อมูลที่ แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)

ระยะเวลาการเจริญเติบโต	H_2O_2 (ppb)	
	กลุ่มควบคุม (CF)	กลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF)
อายุ14	0.26 ± 0.09	2.40 ± 0.11
อายุ 34	15.96 ± 1.79	6.46* ± 2.25
อายุ 48	0.12 ± 0.20	1.33 ± 0.91



ภาพ 26 ปริมาณ H_2O_2 ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3 (* แสดงข้อมูลที่ แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)

4. ปริมาณรวมของแอสคอเบต (Total ascorbate)

4.1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน

จากการทดลองเปรียบเทียบ Total ascorbate ของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่คณะเกษตรศาสตร์ ในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) กับกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 14 วัน พบว่า พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 Total ascorbate มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม NF รองลงมาคือ CF โดยมีค่าเท่ากับ 20.94 และ 13.71 nmol g^{-1} fw ตามลำดับ

4.2 ระยะแตกกออายุ 34 วัน

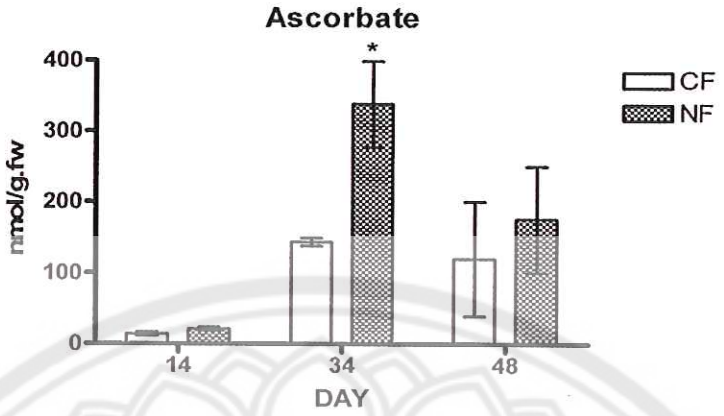
จากการทดลองเปรียบเทียบ Total ascorbate ของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกคณะเกษตรศาสตร์ ในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) กับกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 34 วัน พบว่า พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 Total ascorbate มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม NF รองลงมาคือ CF โดยมีค่าเท่ากับ 338.59 และ 143.17 nmol g^{-1} fw ตามลำดับ

4.3 ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน

จากการทดลองเปรียบเทียบ Total ascorbate ของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกคณะเกษตรศาสตร์ ในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) กับกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) เป็นเวลา 48 วัน พบว่า พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 Total ascorbate มีปริมาณสูงสุดที่กลุ่ม NF รองลงมาคือ CF โดยมีค่าเท่ากับ 175.44 และ 119.85 nmol g^{-1} fw ตามลำดับ ดังภาพ 27, ตาราง 18

ตาราง 18 ปริมาณ Total ascorbate ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 อายุ 14 วัน, อายุ 30 วัน, อายุ 60 วัน, ทดลองกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3 (* แสดงข้อมูลที่ แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)

ระยะเวลาการเจริญเติบโต	Total ascorbate (nmol g^{-1} fw)	
	กลุ่มควบคุม (CF)	กลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF)
อายุ 14	13.71 ± 2.71	20.94 ± 2.43
อายุ 34	143.17 ± 5.52	338.59 * ± 60.61
อายุ48	119.85 ± 80.59	175.44 ± 74.99



ภาพ 27 ปริมาณ Total ascorbate ของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 3 (* แสดงข้อมูลที่ แตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$)

5. ผลผลิต (Yield)

จากการศึกษาผลผลิตของข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกที่คณะเกษตรศาสตร์ ที่เปรียบเทียบกันระหว่างกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) โดยศึกษาจำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดต่อกอ ได้ผลการทดลองดังนี้

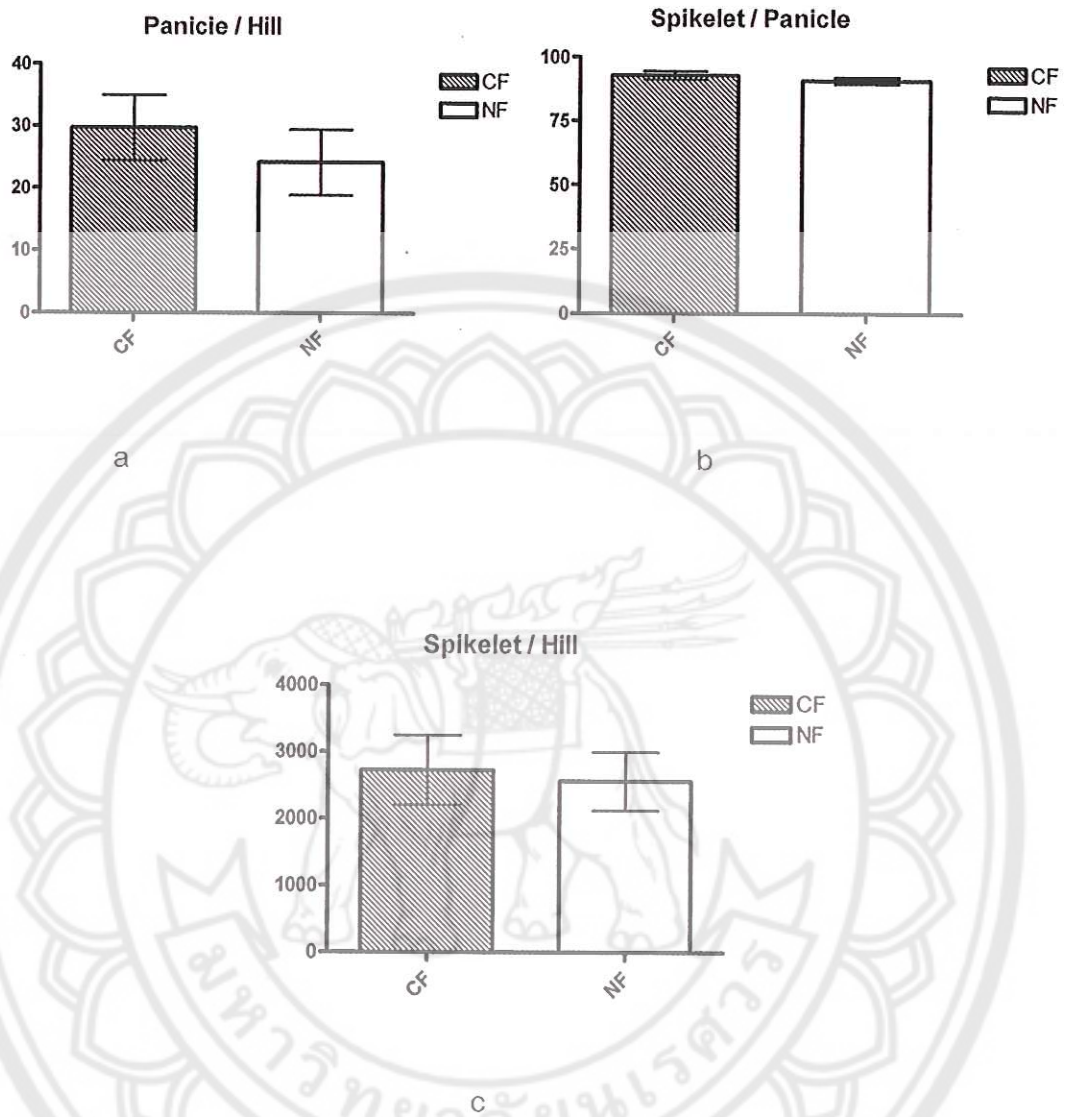
จำนวนรวงต่อกอในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดที่กลุ่มควบคุม CF คือ 29.67 รวง รองลงมาคือ NF เท่ากับ 24.17 รวง ตามลำดับ ดังภาพ 28a

จำนวนเมล็ดต่อรวงพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดที่กลุ่มควบคุม CF คือ 92.85 เมล็ด รองลงมาคือ NF เท่ากับ 90.87 เมล็ด ตามลำดับ ดังภาพ 28b

จำนวนเมล็ดต่อกอพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดที่กลุ่มควบคุม CF คือ 2723.67 เมล็ด รองลงมาคือ NF เท่ากับ 2562.40 เมล็ด ตามลำดับ ดังภาพ 28c

ตาราง 19 ปริมาณผลผลิตของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรีระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ทดลองกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซ โอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 6

ผลผลิต (Yield)	โอโซน	
	CF	NF
จำนวนรวงต่อกอ	29.67 ±5.25	24.17 ±5.38
จำนวนเมล็ดต่อรวง	92.85 ± 1.62	90.87 ± 1.31
จำนวนเมล็ดต่อกอ	2723.67 ±523.66	2562.40 ±437.77



ภาพ 28 ปริมาณ ผลผลิตของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ทดลองในกลุ่มควบคุม charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) และกลุ่มที่ได้รับก๊าซโอโซนตามธรรมชาติ (NF) n = 5 a)จำนวนรวงต่อกอ b)จำนวนเมล็ดต่อรวง c) จำนวนเมล็ดต่อกอ

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

ระยะการทดลองที่ 1

พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 เป็นพันธุ์ข้าวที่ได้รับผลกระทบจากโอโซนมากที่สุด ส่วนในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 เป็นพันธุ์ข้าวที่ทนต่อก๊าซโอโซนมากที่สุด

ระยะการทดลองที่ 2

1.โอโซนมีผลทำให้น้ำหนักแห้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์ การแตกกอ ความสูง และผลผลิตของข้าวลดลง

2.โอโซนมีผลทำให้เกิดอาการบาดเจ็บที่มองเห็นได้ และเกิดอาการแก่ก่อนวัยในใบข้าว

3.โอโซนมีผลทำให้ปริมาณของ SOD, H_2O_2 และ Total ascorbate เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และอายุของต้นข้าวมีผลต่อปริมาณ SOD, H_2O_2 และ Total ascorbate โดยจะเพิ่มสูงขึ้นในระยะแรกจนถึงระยะกำเนิดช่อดอก ช่วงออกดอกจะมีปริมาณลดต่ำลง และจะเพิ่มขึ้นอีกในระยะเก็บเกี่ยว

4.ปริมาณของ SOD, H_2O_2 และ Total ascorbate จะมีความสัมพันธ์กัน โดยในช่วงที่มีปริมาณของ SOD เพิ่มขึ้น จะมีปริมาณของ H_2O_2 และปริมาณ Total ascorbate เพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน

5.โอโซนความเข้มข้น 70 ppb ก่อให้เกิดผลกระทบต่อข้าวมากกว่าโอโซนความเข้มข้น 40 ppb

ระยะการทดลองที่ 3

1. น้ำหนักแห้งรวม จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อกอ และจำนวนเมล็ดต่อรวงได้รับผลกระทบจากก๊าซโอโซนมีอยู่ในบรรยากาศในขณะทดลอง (NF) ในพื้นที่คณะเกษตรศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยนเรศวร และจังหวัดปทุมธานีมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (CF)

2. โอโซนในตามธรรมชาติ (NF) มีผลทำให้ปริมาณของ SOD, H_2O_2 และ Total ascorbate เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และอายุของต้นข้าวมีผลต่อปริมาณ SOD, H_2O_2 และ Total ascorbate โดยจะเพิ่มสูงขึ้นในระยะแรกจนถึงระยะแตกกอ และลดลงในระยะกำเนิดช่อดอก

อภิปรายผลการทดลอง

การทดลองระยะที่ 1

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของก๊าซโอโซนที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและผลผลิตของข้าว โดยการคัดเลือกพันธุ์ข้าวจากพันธุ์ข้าวทั้งหมด 24 พันธุ์ ทดสอบด้วยก๊าซโอโซน 40 และ 70 ppb 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นระยะเวลา 30 วัน เพื่อคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่ตอบสนองไวต่อก๊าซโอโซน จากการหาน้ำหนักแห้ง (dry weight) น้ำหนักราก น้ำหนักลำต้น และน้ำหนักแห้งทั้งหมด กลุ่มเปรียบเทียบเป็นกลุ่มทดลองที่มีความเข้มข้นของก๊าซโอโซนไม่เกิน 10 ppb (charcoal-filtered ; CF) พบว่าพันธุ์ข้าวทั้ง 24 พันธุ์ได้รับผลกระทบจากก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้น 40 และ 70 ppb พบว่าน้ำหนักแห้งของรากและลำต้น และน้ำหนักแห้งทั้งหมดลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (CF) โดยมีน้ำหนักแห้งทั้งหมด (Total dry weight) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการทดลองดังกล่าวจึงคัดเลือกข้าวพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่นำมาทดสอบความไวต่อโอโซนและพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ซึ่งได้รับเป็นพันธุ์ที่ผลกระทบต่อก๊าซโอโซนน้อย

การทดลองระยะที่ 2

จากผลการทดลองของการตอบสนองทางสรีรวิทยาและทางชีวเคมีต่อก๊าซโอโซนของข้าว จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 3 ระดับ คือ 40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) ตลอด 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน), ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน ในพันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ คือสุพรรณบุรี1 และสุพรรณบุรี90 พบว่าพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ได้รับผลกระทบจากโอโซนโดยมีน้ำหนักแห้งทั้งหมด (biomass), ปริมาณคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) และผลผลิต (yield) ลดลง นอกจากนี้ยังทำให้เกิดอาการบาดเจ็บที่มองเห็นได้ (visible injury) และอาการแก่ก่อนวัยของใบ (leaf senescence) โดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่นำมาทดสอบความไวต่อโอโซนได้รับผลกระทบจากโอโซนมากกว่าพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ซึ่งได้รับผลกระทบน้อยกว่าพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 แต่ก็ไม่สามารถต้านทานพิษของโอโซนได้จึงได้รับผลกระทบในลักษณะเดียวกัน ดังต่อไปนี้

1. น้ำหนักแห้ง (Biomass)

โอโซนทำให้น้ำหนักแห้งในพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ลดลง โดยโอโซนที่ระดับความเข้มข้นสูงจะมีผลกระทบกับข้าวสูงกว่าโอโซนระดับความเข้มข้นต่ำ นอกจากนี้ระยะเวลาก็มีส่วนสำคัญในการได้รับผลกระทบจากโอโซน โดยการได้รับโอโซนเป็นระยะเวลานานมีผลต่อพันธุ์ข้าวมากกว่าการสัมผัสในระยะเวลาสั้น ๆ ดังผลการทดลองในระยะต้นกล้าอายุ 30 วัน พันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติใน 3 ระดับของโอโซน (40 ppb, 70 ppb และ charcoal-filtered ; CF) เนื่องจากได้รับโอโซนในระยะเวลาสั้นเพียง 7 วัน (อายุ 23 – 30 วัน) ทำให้ยังไม่มีการลดลงของน้ำหนักแห้ง แต่ในระยะ 60 – 120 วัน น้ำหนักแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)ซึ่งค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 และ 70 ppb ลดลง 34.41 และ 68.61 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 และ 70 ppb ลดลง 16.81 และ 51.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการได้รับโอโซนเป็นเวลาต่อเนื่องเป็นปัจจัยที่ทำให้พันธุ์ข้าวมีน้ำหนักแห้งลดลง เนื่องจากโอโซนมีผลต่อการสังเคราะห์แสงโดยทำลาย cell membrane และรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง เป็นสาเหตุให้อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชที่สัมผัสก๊าซโอโซนลดลง ซึ่งการเจริญเติบโตของพืชก็จะลดลงด้วย เนื่องจากโอโซนมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตอาหารและพลังงาน (Simon, 1974) ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของพืชลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยในข้าวพันธุ์ IR74 เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของโอโซนเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่าน้ำหนักฟาง และน้ำหนักของลำต้นลดลง (Olszyk & Wise, 1997) และในข้าวสาลีฤดูหนาวพันธุ์ Nandu ทดลองด้วยโอโซนความเข้มข้น 65 ppb เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และโอโซนความเข้มข้น 110 ppb เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่าการสังเคราะห์แสงลดลงใน 2 ระดับของโอโซน สอดคล้องกับการลดลงของ chlorophyll fluorescence โดยต้นข้าวที่ปลูกในความเข้มข้นของโอโซน 110 ppb จะมีการสังเคราะห์แสงลดลงมากกว่าโอโซนความเข้มข้น 65 ppb (Meyer et al, 1999) นอกจากนี้จากการทดลองรมก๊าซโอโซนความเข้มข้น 43 ppb เป็นเวลา 133 วัน ในข้าวพันธุ์ IR6 และ Basmati385 พบว่าพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีการสังเคราะห์แสงและน้ำหนักแห้งลดลง เช่นเดียวกับในข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ Koshihikari และ Nipponbare ทดลองที่โอโซนความเข้มข้น 20 – 100 ppb ทำให้น้ำหนักแห้งของลำต้นและรากลดลง (Kobayashi et al, 1995) และจากการศึกษาในต้นกล้าของพืชตระกูลสน ponderosa เป็นเวลา 30 วัน ที่ความเข้มข้นของโอโซน 0.15 ppm พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงลดลง 10 เปอร์เซ็นต์ (Miller et al., 1969) ในการทดลองผลของโอโซนในผักกาดใน 4 พื้นที่ทดลองพบว่าโอโซนทำให้น้ำหนักแห้งของลำต้นและรากลดลง 30, 17, 24 และ 18 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอีกจำนวนมากที่พบว่าโอโซนมีผลทำให้น้ำหนักแห้งลดลงในพืชหลายชนิด (Zheng et al.,

1998) จึงสามารถบ่งชี้ได้ว่าก๊าซโอโซนมีผลต่อน้ำหนักแห้งเนื่องจากกระบวนการสังเคราะห์แสงและคลอโรฟิลล์ถูกทำลาย ทำให้น้ำหนักแห้งลดลง โดยโอโซนปริมาณสูงจะทำให้พืชมีน้ำหนักแห้งลดลงมากกว่าโอโซนความเข้มข้นต่ำ

โอโซนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนต้นต่อรากในพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ โดยมีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นของโอโซน 70 ppb รองลงมาคือความโอโซนเข้มข้น 40 ppb และ CF ซึ่งการเพิ่มอัตราส่วนต้นต่อรากแสดงถึงการลดน้ำหนักแห้งของรากมากกว่าน้ำหนักแห้งของลำต้น โดยเป็นลักษณะการทำลายของโอโซนเนื่องจากรากจะได้รับผลกระทบจากโอโซนมากกว่าต้น สอดคล้องกับการทดลองในข้าวพันธุ์ IR74 พบว่าอัตราส่วนต้นต่อรากเพิ่มขึ้นเมื่อพืชได้รับโอโซน (Olszyk & Wise, 1997) อัลฟาฟาพันธุ์ Apica มีความยาวและน้ำหนักแห้งของรากลดลงอย่างมากเมื่อได้รับโอโซน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนต้นต่อราก (Renaud et al., 1997) ในบีซและแอซเมื่อทดลองกับโอโซน 10 ppm พบว่ามีอัตราส่วนต้นต่อรากเพิ่มขึ้น (Landolt et al., 2000) โดยทั่วไปพืชจะได้รับผลกระทบที่รากมากกว่าลำต้น (Cooley & Manning.,1987) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนต้นต่อรากจะมีผลกระทบกับพืชในการลำเลียงน้ำและแร่ธาตุ เนื่องจากรากเป็นส่วนสำคัญในการกระบวนการนี้ เมื่อขนาดและประสิทธิภาพของรากลดลง จะทำให้มีผลกระทบกับการเจริญเติบโตของพืชด้วย (Spence et al., 1990)

2. การแตกกอ

การแตกกอเป็นลักษณะหนึ่งของการเจริญเติบโตที่สำคัญของต้นข้าว โดยเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดผลผลิตด้วย นั่นคือถ้าต้นข้าวมีการแตกกอน้อย ผลผลิตก็จะน้อยลงตามไปด้วย จากการทดลองพบว่าโอโซนมีผลทำให้การแตกกอลดลงในพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ โดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีการแตกกอน้อยมากในโอโซนความเข้มข้น 70 ppb เมื่อเปรียบเทียบกับ CF แล้วลดลงถึง 46 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในโอโซนความเข้มข้น 40 ppb ลดลง 10.89 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับในข้าวสาลีฤดูหนาวของปากีสถานคือ Pak81 และ Chakwal86 เมื่อทดลองกับโอโซนความเข้มข้น 25 และ 45 ppb การแตกกอจะลดลง 25.9 และ 31.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Wahid et al, 1995) ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb และ CF การแตกกอไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยลดลง 0.91 และ 15.24 เปอร์เซ็นต์ ในความเข้มข้นของโอโซน 40 และ 70 ppb และเมื่ออายุ 120 วันการแตกกอไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทั้ง 3 ความเข้มข้นของโอโซน แสดงถึงต้นข้าวที่ได้รับโอโซนเริ่มมีการพัฒนาโดยมีการแตกกอเพิ่มขึ้นในระยะ 90 – 120 วัน เนื่องจากต้นข้าวเริ่มมีความทนต่อโอโซนและมีความแข็งแรงมากขึ้นจึงทำให้มีการแตกกอเพิ่มขึ้นซึ่ง CF ไม่มีการแตกกอเพิ่มขึ้นแล้วเนื่องจากมีการแตกกอเต็มที่แล้วตาม

ระยะเวลาการเจริญเติบโตแสดงให้เห็นว่าโอโซนมีผลกระทบต่อการแตกกอในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มากกว่าพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90

3. อาการบาดเจ็บที่มองเห็นได้ (Visible injury)

3.1 อาการบาดเจ็บที่มองเห็นได้ (Visible injury)

อาการบาดเจ็บที่ใบเป็นลักษณะสำคัญเมื่อพืชได้รับผลกระทบจากโอโซน การเกิดอาการบาดเจ็บจะสัมพันธ์กับการทำลายคลอโรฟิลล์ซึ่งมีผลเกี่ยวเนื่องถึงการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโต โอโซนมีผลทำให้เกิดอาการบาดเจ็บที่ใบในพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ โดยเกิดมากที่สุดที่ความเข้มข้นของโอโซน 70 ppb รองลงมาคือความเข้มข้น 40 ppb และไม่เกิดอาการบาดเจ็บในตู้ควบคุมโดยทุกระยะเวลาที่ได้รับโอโซนข้าวทั้ง 2 พันธุ์เกิดอาการบาดเจ็บที่ใบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาการบาดเจ็บที่ใบเกิดขึ้นสูงมากในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ โดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 เกิดอาการบาดเจ็บ 98.08 และ 80.32 เปอร์เซ็นต์ (40 และ 70 ppb) และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 เกิดอาการบาดเจ็บ 90.57 และ 74.43 เปอร์เซ็นต์ (40 และ 70 ppb) แสดงให้เห็นว่าอาการบาดเจ็บที่ใบเป็นอาการที่พืชแสดงออกอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับโอโซน ซึ่งเป็นลักษณะของการถูกทำลายที่ง่ายต่อการนำไปใช้ในการประเมินความเสียหายจากโอโซนในสภาพแวดล้อมจริง โดยโอโซนทำให้เกิดผลกระทบกับพืชหลายสปีชีส์ สอดคล้องกับการทดลองในใบยาสูบ 7 เครื่องหมายการค้า ที่ความเข้มข้นของโอโซน 90 และ 135 ppb เป็นเวลา 20 วัน 8 ชั่วโมงต่อวัน พบว่าในยาสูบทั้ง 7 ชนิดเกิด necrotic และ chlorotic (Saitanis et al., 2001) ใน black cherry พันธุ์ Ridgeway12 ซึ่งมีความไวต่อโอโซนเกิดอาการบาดเจ็บ 40.9 เปอร์เซ็นต์ และ Monongehela National Foreat7 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ต้านทานต่อโอโซนเกิดอาการบาดเจ็บ 9.2 เปอร์เซ็นต์ (Ferdinand et al., 2000) และพื้นที่ประเทศกรีกกลางเดือนตุลาคม ปี 1998 พบว่าพืชจำพวกผักกาดหอม และ chicory เกิดความเสียหาย 100 เปอร์เซ็นต์ โดยเกิดอาการเป็นจุดสีแดง และอาการ necrotic ทำให้ผลผลิตไม่สามารถขายได้เกิดความเสียหายกับเกษตรกรเป็นอย่างมาก (Velissariou, 1999) ในอิตาลี white clover เกิดอาการบาดเจ็บ 75 – 100 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างปี 1994 – 1997 (UN/ECE, 1999)

3.2 การเกิดใบแก่ก่อนวัย (Leaf senescence)

โอโซนทำให้ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ เกิดอาการแก่ก่อนวัย โดยเริ่มเกิดอาการเมื่อต้นข้าวอายุ 60 – 120 วัน โอโซนความเข้มข้น 70 ppb ทำให้เกิดอาการแก่ก่อนวัยมากที่สุด พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 เกิดการแก่ก่อนวัย 21.95 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 เกิดอาการแก่ก่อนวัย 28.71 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือโอโซนความเข้มข้น 40 ppb พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 เกิดอาการแก่ก่อนวัย 21.5 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 เกิดการแก่ก่อนวัย 21.95 เปอร์เซ็นต์ ใน CF ไม่ทำให้เกิดอาการแก่ก่อนวัย การเกิดใบแก่ก่อนวัยในโอโซน 3 ระดับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเกิดใบแก่ก่อนวัยในโอโซนความเข้มข้น 70 ppb เกิดขึ้นสูงมากในอายุ 60 และ 90 วัน โดยเฉพาะในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 และในอายุ 120 วัน เริ่มเกิดอาการแก่ก่อนวัยน้อยลง เนื่องจากพืชมีการพัฒนาในการต้านทานพิษของโอโซนได้มากขึ้น สอดคล้องกับการทดลองโอโซน 90 และ 135 ppb จำนวน 20 วัน เป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน ทำให้เกิดใบแก่ก่อนวัย (Saitanis et al., 2001) ซึ่งหลาย ๆ งานวิจัยรายงานว่าโอโซนทำให้เกิดอาการแก่ก่อนวัยซึ่งเกิดจากการทำลายคลอโรฟิลล์ (Pleijel et al., 1994 ; Welfare et al., 1996)

3.3 พื้นที่ใบ (Leaf area)

พื้นที่ใบเป็นส่วนสำคัญในการแลกเปลี่ยนก๊าซเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง จากการทดลองพบว่าโอโซนมีผลทำให้พื้นที่ใบในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ลดลงในทุกระยะเวลาที่รมก๊าซโอโซนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยโอโซนความเข้มข้น 70 ppb ทำให้พื้นที่ใบลดลงมากที่สุด ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ลดลง 42.42 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ลดลง 33.89 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือโอโซนความเข้มข้น 40 ppb พันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ลดลง 10.79 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ลดลง 6.81 เปอร์เซ็นต์ แต่ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 90 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างโอโซนความเข้มข้น 40 ppb และ CF แสดงให้เห็นว่าพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 มีความทนทานต่อก๊าซโอโซนมากกว่าพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ซึ่งการลดลงของพื้นที่ใบสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kobayashi et al (1995) ศึกษาในข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ Koshihikari และ Nipponbare พบว่าเมื่อได้รับก๊าซนี้เป็นระยะเวลานานจะมีผลทำให้พื้นที่ใบของพืชลดลง

4. คลอโรฟิลล์เอ + บี และแคโรทีนอยด์

โอโซนทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ + บี และแคโรทีนอยด์ลดลงในพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ โดยในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ลดลงมากกว่าพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 แสดงให้เห็นว่าพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีความไวต่อการได้รับโอโซนมากกว่าสุพรรณบุรี 90 ซึ่งโอโซนความเข้มข้น 70 ppb จะทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงมากกว่าโอโซนความเข้มข้น 40 ppb ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Price et al., (1990) พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบีลดลง 20 – 40 เปอร์เซ็นต์ ในข้าวบาร์เล่ย์ที่ได้รับโอโซนความเข้มข้น 200 ppb และจากการทดลอง ในต้นสน ponderosa ที่ 3 ระดับความเข้มข้นของโอโซน พบว่าคลอโรฟิลล์เอจะลดลงมากในโอโซนความเข้มข้น 0.3 ppm ส่วนในโอโซนความเข้มข้น 0.15 ppm มีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงเพียงเล็กน้อย และปริมาณคลอโรฟิลล์บีถูกทำลายทั้งในโอโซนความเข้มข้น 0.3 และ 0.15 ppm ซึ่งคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมีความสัมพันธ์ระหว่างการได้รับโอโซนและระยะเวลา (Andersona, 2003) นอกจากนี้พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลงมีส่วนเกี่ยวข้องกับอายุของใบซึ่งเกี่ยวเนื่องกับหลาย ๆ งานวิจัย และอาการแก่ก่อนวัยของพืชจากโอโซนเป็นผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ และอัตราการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ลดลง (Welfare et al., 1996)

5. SOD, H_2O_2 และ Total ascorbate

จากการทดลองพบว่า ก๊าซโอโซนทำให้ปริมาณ SOD, H_2O_2 และ Total ascorbate ของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี90 เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อพืชอยู่ในสภาวะ oxidative stress จากการสัมผัสก๊าซโอโซนทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นภายในเซลล์ เช่น superoxide radical (O_2^-) และ hydroxy freeradical (OH^-) เป็นต้น เอนไซม์ SOD จะมีปริมาณการทำงานเพิ่มขึ้นเพื่อกำจัดอนุมูลอิสระดังกล่าว จึงทำให้มีปริมาณของ H_2O_2 เพิ่มสูงขึ้นด้วย (Chernikova et al.2002) ในช่วงอายุที่ต่างกัน ปริมาณของ SOD, H_2O_2 และ Total ascorbate จะแตกต่างกัน โดยในช่วงอายุที่พบในปริมาณสูงที่สุดจะเป็นระยะกำเนิดช่อดอก (อายุ 60 วัน) อาจเพราะเซลล์ต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นในช่วงที่ข้าวเริ่มสร้างช่อดอก ซึ่งในขั้นตอนการผลิตพลังงานของเซลล์สามารถเกิดอนุมูลอิสระขึ้นได้ ทำให้ช่วงเวลานี้มีปริมาณการทำงานของของเอนไซม์เพิ่มสูงขึ้น (Rao, Paliyath and Ormrod, 1996) ซึ่งอายุของพืชก็มีความสัมพันธ์กับปริมาณของ SOD จากการทดลองของ Lyons ใช้ *Plantago major* ซึ่งเป็นวัชพืชชนิดหนึ่ง ทดสอบที่ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ 70 ppb เป็นเวลา 7 ชั่วโมง/วัน เก็บตัวอย่างเมื่อพืชมีอายุได้ 14 , 28 และ 42 วัน SOD จะเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 14 วัน จากนั้นจะลดลงในช่วง 28 วัน และจะเพิ่มขึ้นอีกเมื่อพืชมีอายุ 42 วัน (Lyons, Ollerenshaw and Jeremy,1999) ในบางช่วงกลุ่ม 40 ppb จะมีปริมาณ SOD, H_2O_2 และ Total

ascorbate สูงกว่ากลุ่ม 70 ppb อาจเป็นเพราะว่า พืชมีความแตกต่างกันออกไปในแต่ละสปีชีส์ พันธุ์พืชในแต่ละท้องถิ่น การปรับตัวของพืช ปัจจัยภายนอกจากสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำ อุณหภูมิ และการปิดเปิดของปากใบ พืชมีกระบวนการในการการป้องกันตนเองจากมลพิษต่างๆโดยการปิดปากใบ เพื่อให้ได้รับมลพิษน้อยลง อาจเป็นไปได้ที่ช่วงออกดอก พืชจะปิดปากใบเพื่อป้องกันก๊าซโอโซนที่จะผ่านเข้าสู่เซลล์ Herbinger ได้ทดลองโดยใช้ข้าวสาลี พบว่าความแห้งแล้งจะทำให้ปากใบปิด ทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซลดลง ปริมาณของ Total ascorbate ลดลง และพบว่าในช่วงที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซลดลง ปริมาณของ antioxidant system จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยทดสอบกับก๊าซโอโซนที่ ambient และ ambient + 50 ppb เก็บตัวอย่างในระยะพืชเริ่มกำเนิดช่อดอกและช่วงที่ข้าวออกดอก (Mauzeralland Wang, 2001) ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี90 มีปริมาณ SOD, H_2O_2 และ Total ascorbate สูงกว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 เนื่องจากว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี90 อาจมีกระบวนการในการป้องกันตนเองจากก๊าซโอโซนดีกว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 ซึ่งจะสัมพันธ์กับอาการบาดเจ็บที่สังเกตเห็นได้ในระยะแรก แต่เมื่อข้าวทั้ง 2 พันธุ์ได้รับก๊าซโอโซนเป็นระยะยาวนานอาการบาดเจ็บของทั้ง2 พันธุ์จะไม่แตกต่างกันมากนัก

5. ผลผลิต (Yield)

5.1 จำนวนรวงต่อกอ, จำนวนเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดต่อกอ และ Harvest index

จำนวนรวง, จำนวนเมล็ดต่อรวง และจำนวนเมล็ดต่อกอในพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb และ CF แต่มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเข้มข้นของโอโซน 70 ppb ($p \leq 0.05$) ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 70 ppb ไม่เกิดผลผลิตเลย แสดงถึงความไวต่อการได้รับก๊าซโอโซนของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 น้ำหนักแห้งของเมล็ดต่อน้ำหนักแห้งทั้งหมดของต้นข้าว (harvest index) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้ง 3 ความเข้มข้นของโอโซนในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 โดยที่ความเข้มข้นโอโซน 40 ppb ลดลง 29.09 เปอร์เซ็นต์ และไม่เกิดผลผลิตเลยในโอโซนความเข้มข้น 70 ppb ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ CF และโอโซนความเข้มข้น 40 ppb แต่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในโอโซนความเข้มข้น 70 ppb ($p \leq 0.05$) โดยความเข้มข้นของโอโซน 40 และ 70 ppb จะลดลง 15.56 และ 96.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงการลดลงของน้ำหนักเมล็ดในพันธุ์ข้าวที่ได้รับโอโซน ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยในข้าวพันธุ์ IR6 และ Basmati385 ทดสอบกับโอโซนความเข้มข้น 35.6 ppb พบว่าโอโซนมีผลกระทบต่อผลผลิตของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ โดยเมล็ดต่อรวงลดลง 8.7 และ 6.4 เปอร์เซ็นต์ และจำนวนรวงต่อกอลดลง 28 และ 34 เปอร์เซ็นต์

ตามลำดับ (Wahid et al., 1995) ในข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ Koshihikari และ Nipponbare ทดลองกับโอโซนความเข้มข้น 20 – 100 ppb พบว่าจำนวนรวงและเมล็ดต่อรวงลดลง (Kobayashi et al, 1995) ในข้าวสาลีฤดูหนาวพันธุ์ Riband เมื่อนำมาทดลองกับโอโซนความเข้มข้น 30 ppb และ 80 ppb พบว่าจำนวนเมล็ดต่อรวงลดลง 8 เปอร์เซ็นต์ สำหรับข้าวสาลีฤดูหนาวในปากีสถานคือ Pak81 และ Chakwal86 เมื่อทดลองกับโอโซนความเข้มข้น 25–45 ppb ทำให้จำนวนรวงต่อกอลดลง 20 และ 22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Wahid et al, 1994)

5.2 น้ำหนักแห้งเมล็ด 100 เมล็ด และจำนวนเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์

โอโซนทำให้น้ำหนักแห้ง 100 เมล็ดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้ง 3 ระดับของโอโซนในพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ โดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 ppb จะลดน้ำหนัก 100 เมล็ด 14.45 เปอร์เซ็นต์ และในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 40 และ 70 ppb จะทำให้น้ำหนัก 100 เมล็ดลดลง 13.86 และ 93.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยโอโซนมีผลกระทบต่อการสะสมคาร์โบไฮเดรตทำให้น้ำหนักแห้งของเมล็ดลดลงโดยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ได้รับผลกระทบมากกว่าพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 และโอโซนยังทำให้เกิดเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 มีค่าเท่ากับ 36.02, 66.51 เปอร์เซ็นต์ และไม่เกิดผลผลิต และพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี90 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน CF และ 40 ppb แต่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน 70 ppb ($p \leq 0.05$) คือ 29.83, 34.37 และ 92.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยการทดลองนี้สอดคล้องกับในข้าวพันธุ์ IR6 และ Basmati385 ที่ความเข้มข้นของโอโซน 35.6 ppb พบว่าน้ำหนัก 1000 เมล็ดลดลง 3.5 และ 6.6 เปอร์เซ็นต์ (Wahid et al., 1994) ในข้าวแคลิฟอร์เนียพันธุ์ M7, M9 และ S201 พบว่าโอโซนความเข้มข้น 0.2 ppm ทำให้น้ำหนักของเมล็ดลดลง 13, 30, 24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในข้าวสาลีพันธุ์ Neuda มีน้ำหนัก 1000 เมล็ดลดลง 22 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับโอโซนความเข้มข้น 110 ppb และลดลง 11 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับโอโซนความเข้มข้น 65 ppb ในข้าวสาลีฤดูหนาวพันธุ์ Riband เมื่อนำมาทดลองกับโอโซนความเข้มข้น 30 ppb และ 80 ppb จะเพิ่มจำนวนเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ 9 เปอร์เซ็นต์ (Ollerenshaw & Lyons, 1999)

การทดลองระยะที่ 3

จากผลการทดลองของการตอบสนองทางสรีรวิทยาและทางชีวเคมีต่อก๊าซโอโซนของข้าวสุพรรณบุรี 1 ใน 4 ช่วงอายุได้แก่ ต้นข้าวระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน จากการทดลองรมก๊าซโอโซนที่ charcoal-filtered ; CF (กรองก๊าซโอโซนได้ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์) และก๊าซโอโซนความเข้มข้นที่มีอยู่ในบรรยากาศในขณะทดลอง non charcoal-filtered ; NF (ไม่มี charcoal-filtered สำหรับกรองก๊าซโอโซน) ตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโต คือระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ระยะแตกกออายุ 34 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 48 วัน ได้รับผลกระทบจากก๊าซโอโซนในด้านต่างๆ ได้แก่ น้ำหนักแห้งทั้งหมด (biomass), ปริมาณคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ส่วนในปริมาณ SOD (superoxide dismutest), ปริมาณ H_2O_2 (hydrogen peroxide) ปริมาณ ASA (Total ascorbate) มีปริมาณที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วนในระยะเก็บเกี่ยว อายุ 120 วัน ผลผลิต (yield) โดยจำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ จำนวนรวงทั้งหมด จำนวนเมล็ดต่อรวงและจำนวนเมล็ดต่อกอลดลงจากกลุ่มควบคุม

น้ำหนักแห้ง

ผลการทดลองในระยะต้นกล้าอายุ 14 วัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติของโอโซน (โอโซนความเข้มข้นที่มีอยู่ในบรรยากาศในขณะทดลอง ;NF และ charcoal-filtered ; CF) เนื่องจากได้รับโอโซนในระยะเวลาสั้น ทำให้ยังไม่มีการลดลงของน้ำหนักแห้ง แต่ในระยะ 34 – 120 วัน น้ำหนักแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี1 ที่โอโซนในระดับธรรมชาติ (NF) ลดลง ในพื้นที่จังหวัดปทุมธานีและมหาวิทยาลัยนเรศวร

ผลผลิต

พบว่าก๊าซโอโซนมีผลทำให้จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ จำนวนรวงทั้งหมด จำนวนเมล็ดต่อรวง และจำนวนเมล็ดต่อกอลดลง ส่วนน้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด และเมล็ดไม่สมบูรณ์ พบว่าก๊าซโอโซนมีผลต่อน้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ดลดลง 10.16 และ 12.79 เปอร์เซ็นต์และก๊าซโอโซนยังทำให้เกิดเมล็ดไม่สมบูรณ์เพิ่มมากขึ้น 39.79 และ 6.72 เปอร์เซ็นต์ ในกลุ่มการทดลอง (NF) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (CF) ในพื้นที่การทดลองที่ จังหวัดปทุมธานี และ คณะเกษตรศาสตร์ ฯ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ข้อเสนอแนะ

1. **ควรทำการทดลองในหลายความเข้มข้นของโอโซนที่อาจเกิดขึ้นจริงในสภาพแวดล้อมปัจจุบันและในอนาคต**
2. ควรมีการทดลองในข้าวหลาย ๆ พันธุ์ที่เกษตรนิยมปลูกในปัจจุบัน เพื่อทราบถึงความต้านทานและความไวต่อการได้รับก๊าซโอโซนในพันธุ์ข้าวนั้น ๆ เพื่อเป็นทางเลือกในการเลือกปลูกข้าวในพื้นที่ที่มีโอโซนในปริมาณสูง เช่นพื้นที่ปลูกข้าวรอบ ๆ กรุงเทพมหานคร
3. ควรมีการศึกษาเบื้องต้น เช่น อาการบาดเจ็บที่มองเห็นได้ การแตกกอ และความสูงในพื้นที่ปลูกข้าวที่มีโอโซนในปริมาณสูง

บรรณานุกรม

เอกสารอ้างอิง

ประพาส วีรแพทย์ (2526). **ความรู้เรื่องข้าว.**(หน้า 108) กรุงเทพฯ:ไทยวัฒนาพานิช.

เยาวนุช เวศน์ธารา และ วันชัย ตันติวิทยาพิทักษ์. (2543).**ข้าววัฒนธรรมแห่งชีวิต.** (พิมพ์ครั้งที่ 2) กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แปลนโมทีฟ.

สุธีลา ตุลยะเสถียร, โกศล วงศ์สวรรค์ และสถิต วงศ์สวรรค์. (2544). **มลพิษสิ่งแวดล้อม.** กรุงเทพฯ : รวมสาส์น (1997) จำกัด.

เอกสงวน ชูวิสิฐกุล. (2542). **เอกสารแนะนำข้าวและธัญพืชเมืองหนาวพันธุ์ดี 75 พันธุ์.** กรุงเทพฯ : ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ .

Agrawal, M., Krizek, D.T., Argawal, S.B., Kramer, G.F., Lec, E.H., Mirecki, R.M., Rowland, R.A. (1993). Influence of inverse day/night temperature on ozone sensitivity and selected morphological and physiological responses of cucumber. J. Am. Soc. Hortic. Sci., 118, 649 – 654.

Alloway, B.J. and Ayres, D.C. 1993. Chemical Principles of Environmental Pollution. Blackie Acadamic and Professional. Glasgow.

Andersona, P.D., Brent P, James L.J.H., Mary, K.S & James C.P. (2003). Chloroplastic responeses of ponderosa pine (*Pinus ponderosa*) seedlings to ozone exposure. Environment international., 29 : 407 – 413.

Calatayud, Domingo J. Iglesias, Manuel Talón and Eva Barreno (2003). Effects of 2-month ozone exposure in spinach leaves on photosynthesis, antioxidant systems and lipid peroxidation Plant Physiology and Biochemistry., (41),(9), 839-845.

Colbeck, I. & Mackenzie, A.R. (1994). Air pollution by photochemical oxidants. Netherlands ; Elsevier Science BV.

Cooley and William J. Manning (1987). The impact of ozone on assimilate partitioning in plants: A review Environmental Pollution, 47,(2) 95-113.

Chernikova, T. et al.(2002), "Ozone tolerance and antioxidant enzyme activity in soybean cultivars." Photosynthesis research., Vol.64, pp. 15-26.

Dizengremel I. (2001). Effects of ozone on the carbon metabolism of forest trees Plant Physiology and Biochemistry., 39,(9) 729-742.

Ferdinand, J., Fredericksen, T., Kouterick, K. & Skelly, J. (2000) Leaf morphology and ozone sensitivity of two open pollinated genotypes of black cherry (*Prunus serotina*) seedlings. Environmental Pollution., 108 : 297 – 302.

Flagler, R.Ed. 1998. Recognition of Air Pollutant Injury to Vegetation: A Pictorial Atlas. 2nd Edition, Air & Waste Management Association, Pittsburgh, PA.

Foyer, C.H., Descourvieres, P. & Kunert, K.J. (1994). Protection against oxygen radicals : an important defence mechanism studied in transgenic plant. Plant cell Environ., 17: 507 – 523. Genes in *Arabidopsis*. Plant Physiology., 105 (4), 1089-1096.

Gimeno, B.S., Bermejo, V., Reinert, R.A., Zheng, Y. and Barbes, J.D. 1999. Adverse effects of ambient ozone on watermelon yeild and physiology at rural site in Eastern Spain, New Phytologist, 144:245-260.

Haeagle, A.S.,(1989). Ozone and crop yield. Phytopathol., 27:397-423.

Klumpp, A., Domingos, M. and Klumpp, G. 1996. Assessment of the vegetation risk by fluoride emissions from fertiliser industries at Cubatao,Brazil, Science of The Total Environment 192 (3): 219-228.

Kobayashi,K., Okada,M.,Nouchi,I. 1995. Effects of ozone on dry matter partitioning and yield of Japanese cultivars of rice (*Oryza sativa L.*). Agriculture, Ecosystems and Environment, 53: 109-122.

Koch R. (*2004*). Oxidative stress and antioxidant defenses in ethanol-induced cell injury Molecular Aspects of Medicine, 25,(1-2), 191-198.

Kume, A., Tsuboi, N., Satomura, T., Suzuki, M., Chiwa, M., Nakane, N., Sakarai, N., Horikoshi, T., Sakugawa, H. 2000. Physiological charateristics of Japanese red pine, *Pinus densiflora* Sieb., Et Zucc., in declined forests at Mt. Gokurakuji in Hiroshima Prefecture, Japan, *Trees-Structure and Function*, 14(6): 305-311.

Landolt, U. Bühlmann, P. Bleuler and J. B. Bucher (2000). Ozone exposure–

response relationships for biomass and root/shoot ratio of beech (Fagus sylvatica), ash (Fraxinus excelsior), Norway spruce (Picea abies) and Scots pine (*Pinus sylvestris*). **Environmental Pollution.**, 109,(3), 473-478.

Lethiec, D., Dixon, M. and Garrec, J.P. 1994. The effect of slightly elevated ozone concentrations and mild drought stress on the physiology and growth of Norway spruce, *Picea abies* L. Karst and beech, *Gagus sylvatica* L.in open top chambers, New Phytologis.t., 128:671-678.

Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids-pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology., 148:350-382.

Lyons,T., Ollerenshaw, J .H., and Jeremy ,D.B., (1999). "Impacts of ozone on *Plantago major* : apoplastic and symplastic antioxidant status." New Phytol., Vol.141, , pp. 253-263.

Massman, W.J., Musselman, R.C. and Lefohn, A.S. 2000. A conceptual ozone dose-response model to develop a standard to protect vegetation, Atmospheric Environment., 34: 745-759.

Mauzerall, D.L., and Wang, X., (2001) "Protecting agricultural crops from the effects of tropospheric ozone exposure: reconciling science and standard setting in the United States,Europe, and Asia." Annu. Rev. Energy Environ., Vol.26, pp. 237-68.

Meyer, U., Kollner, B., Willenbrink, J. & Krause, G.H.M. (1999). Effects of different ozone exposure regimes on photosynthesis, assimilates and thousand grain weight in spring wheat. Agriculture, Ecosystems and Environment., 78 : 49-55.

Miller, P.R., Parmeter, J.R., Flick, B.H. & Martinez, C.W. (1969). Ozone dosage response in Ponderosa pine seedlings. J Air Pollut Control Assoc.; 19: 435-438.

Nouchi et al. (1993). Studies on the role of active oxygen in ozone injury to plant cells.I. Generation of active oxygen in rice protoplasts exposed to ozone. Plant Science., 95(2), 197-205.

Ollerenshaw, J.H. & Lyons, T. (1999). Impacts of ozone on the growth and yield of field – grown winter wheat.. **Environment Pollution.**, 106 : 67 – 72.

Olszyk and Claudia Wise (1997). Interactive effects of elevated CO_2 and O_3 on rice and flacca tomato Agriculture, **Ecosystems & Environment.**, 66(1) 1-10.

Pearson, S., Davison, A.W., Reiling, K., Ashenden, T. and Ollerenshaw, J.H. 1996. The effects of different ozone exposures on three contrasting populations of *Plantago major*, New Phytologist., 132: 493-502.

Pell, E.J., Schlagnhaufer, C.D. and Arteca, R.N. 1997. Ozone-induced oxidative stress: Mechanism of action and reaction, Physiologia Plantarum., 100: 264-273.

Pell, E.J., Sinn, J.P., Brendley, B.W., Samueslson, L., Vinten-Johansen, C., Tien, M. and Skillman, J. 1999. Differential response of four tree species to ozone-induced acceleration of foliar senescence, Plant, Cell and Environment, 22: 580-582.

Pleijel, H., Skarby, L., Ojanpera, K. & Sellden, G. (1994). Exposure of oats, Avena Sativa L. to Filtered and unfiltered air in open-top chambers: effects on grain yield and quality. **Environmental Pollution.**, 86: 129 – 134.

Price, A., Young, A., Beekett, P., Britton, G. & Lea,P., (1990). The effects of ozone on plant pigments., In: Balscheffsky, M.(Ed.), Current Research in photosynthesis, vol. 4. Kluwer Academic Publishers, Dordreeht, pp. 595 – 598.

Ray, T.C., Kats, G., Dawson, P., Wolf, J. & Bytnerowic, A. (1983). Effects of ozone or SO_2 on growth and yield of rice. California Air Resources Board contract., no A1 – 111 –32.

Renaud J. P., Allard G. & Maufette Y. (1997). Effects of ozone on yield, growth, and root starch concentrations of two alfalfa (*Medicago Sativa* L.) cultivars, Environmental Pollution., vol 95 no 3 273-281.

Rao, M.V., Paliyath, G., and Ormrod, D.P., (1996). "Ultraviolet-B and ozone-induced biochemical changes in antioxidant enzyme of *Arabidopsis thaliana*." Plant Physiol., Vol.110, pp. 125-136.

Saitanis, C.J., Karandinos, A.N.R. & Karandinos, M.G. (2001). Effects of ozone on chlorophyll and quantum yield of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) varieties. Chemosphere., 42 945-953.

Schruadner, M., Langebartels, C. & Sandermann, H. (1997). Chang in the biochemical status of plants cell induced by the environmental pollutants ozone. Physiollogia plantarum., 100: 274 – 280.

Sharma, K.Y., & Davis, R.K. (1994). Ozone-Induced Expression of stress-Related

Simon, E.W. (1974). Phospholipids and plant membrane permeability. New Phyto., 73, 377-420.

Soja, G., Pfeier, U. and Soja, AM. 1998. Photosynthesis parameters as early indicators of ozone injury in apple leaves, Physiologia Plantarum., 104: 639-645.

Spence, Edward J. Rykiel and Peter J. H. Sharpe (1990). Ozone alters carbon allocation in loblolly pine: Assessment with carbon-11 labeling. Environmental Pollution., 64, (2) 93-106.

Turksänyi, E., Lyons, T., PlÖchl, M and Barnes, J.D. 2000. Does ascorbate in the mesophyll cell walls form the first line of defence against ozone? Testing the concept using broad bean (Vica faba L.), Journal of Experimental Botany., 51: 901-910.

UN/ECE, (1999). Trends in impacts of long-range transboundary air pollution. Technical Report prepared by the International Cooperative Programmes of the Working Group on Effects. NERC, UK., p. 81.

Velissariou, D., (1999). Toxic effects and losses of commercial value of lettuce and other vegetables due to photochemical air pollution in agricultural areas of Attica, Greece. In: Fuhrer, J. Achermann, B. (Eds.), Critical Levels for Ozone Level II. Environmental Documentation No. 115. Swiss Agency for Environment, Forest and Landscape, Bern, Switzerland, pp. 253 - 256.

Wahid, A., Maggs, R., Shamsi, S.R.A., Bell, J.N.B. & Ashmore, M.R. (1994). Effects of

Air pollution on rice yield in the the Pakistan Punjab. **Environment Pollution.**, 90:323-329.

Wahid, A., Maggs, R., Shamsi, S.R.A., Bell, J.N.B. & Ashmore, M.R . (1995). Air pollution and its impacts on wheat yield in the Pakistan Punjab. **Environment Pollution.**, 88: 147 – 154

Welfare, K. et al., "Addition and antagonistic effects of ozone and salinity on the growth, ion content and gas exchange of five varieties of Rice (*Oryza Sativa* L.)." **Environmental Pollutant.**, Vol.92 , 1996, pp. 257-266.

Welfare, K., Flower, T.J., Taylor, G. & Yeo, A.R. (1996). Addition and Antagonistic effects of ozone and salinity on the growth, ion content and gas exchange of five varieties of Rice (*Oryza Sativa* L.).**Environmental Pollutant.**, 92.(3): 257-266.

Zheng Y., Stevenson KJ., Barrowcliffe R., Chen S., Wang H. & Barnes JD. (1998) Ozone levels in chongqing : a potential threat to crop plants commonly grown in the region. **Environmental Pollution.**, 99 : 299-308