

อภิปรายผล สรุปผล และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผล

โอโซนเป็น secondary pollutant ที่ป้องกันได้ยาก เนื่องจากโอโซนไม่ใช่ก๊าซที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดสู่อากาศโดยตรง แต่โอโซนจะเกิดจาก ปฏิกิริยาของออกไซด์ของไนโตรเจน( $\text{NO}_x$ ) และไอระเหยของสารประกอบอินทรีย์ (VOCs) โอโซนจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงที่สภาวะอากาศร้อนและมีแสงแดดจัด ส่วนในธรรมชาติก๊าซโอโซนสามารถเกิดได้จากการเกิดฟ้าแลบหรือฟ้าผ่า (Welfare et al., 1996) ก๊าซโอโซนส่งผลกระทบต่อพืชมากมายทั้งทางด้าน physiology และ biochemistry โอโซนจัดเป็นสารที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่รุนแรง ผ่านเข้าสู่เซลล์ทางปากใบไปอยู่ในส่วนของ apoplast cells และถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ reactive oxygen species (ROS) เช่น superoxide radical ( $\text{O}_2^-$ ), hydroxy freeradical ( $\text{OH}^\cdot$ ) และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ROS ดังกล่าวส่งผลกระทบต่อพืชมากมายรวมถึงกิจกรรมของเอนไซม์ภายในเซลล์ด้วย (Torsethaugn et al., 1997) จากการทดลองในข้าว 2 พันธุ์คือ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (ข้าวพันธุ์ที่มีการตอบสนองไวต่อก๊าซโอโซน) และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 (ข้าวพันธุ์ที่มีการตอบสนองต่ำต่อก๊าซโอโซน) โดยแบ่งพืชเป็น 3 กลุ่ม คือ charcoal-filtered ; CF (โอโซนน้อยกว่า 10 ppb) ,กลุ่ม 40 ppb และกลุ่ม 70 ppb โดยเก็บตัวอย่าง 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต คือระยะต้นกล้าอายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน), ระยะแตกกออายุ 30 วัน, ระยะกำเนิดช่อดอกอายุ 60 วัน, ระยะออกดอกอายุ 90 วัน และระยะเก็บเกี่ยวอายุ 120 วัน เนื่องจากที่ 40 ppb เป็นความเข้มข้นของโอโซนที่จุดวิกฤตซึ่งเริ่มมีผลกระทบต่อพืช ซึ่งจากงานวิจัยของ Maggs & Ashmor (1998) ต้นข้าวที่สัมผัสก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้น 40-42 ppb เป็นเวลา 8 วัน พบว่ามีน้ำหนักแห้ง ผลผลิต และอัตราการเจริญเติบโตลดลงที่ 70 ppb เป็นความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ยังสามารถเกิดขึ้นได้ในชั้นโทรโพสเฟียร์ และมีงานวิจัยจำนวนมากที่ได้ใช้ความเข้มข้นที่ 70 ppb เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงทั้งทางสรีระวิทยาและทางด้านชีวเคมีของพืชจากการวิจัยพบความเสียหายที่เกิดจากการได้รับก๊าซโอโซนที่ 70 ppb เป็นเวลา 7 วันพบว่าสามารถทำให้พืชเกิดอาการใบเหี่ยวหรือมีใบแก่เกิดขึ้น มีอาการเกิดเป็นรอยจุดและรอยด่างตามใบและเส้นขอบใบ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อที่เกิดขึ้นทางชีวเคมีภายในเซลล์ด้วย (Lyons et al., 1999)

**ความสัมพันธ์ของปริมาณการทำงานของ SOD, ปริมาณ  $H_2O_2$  และปริมาณ Total ascorbate ตามระยะเวลาการเจริญเติบโต**

อายุ 23 วัน (ก่อนการรมก๊าซโอโซน) ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (ตอบสนองไวต่อก๊าซโอโซน) มีปริมาณการทำงานของ SOD สูงกว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 (ตอบสนองต่ำต่อก๊าซโอโซน) ทำให้ปริมาณของ  $H_2O_2$  ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยเอนไซม์ SOD (Xuan & Tiedemann, 2002) ในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 1 มีปริมาณสูงกว่าสุพรรณบุรี 90 แต่ไม่แตกต่างกันมากนัก อาจเป็นเพราะเซลล์ไม่ได้อยู่ในสภาวะเครียดเนื่องจากยังไม่ได้สัมผัสกับก๊าซโอโซน แต่ปริมาณของ Total ascorbate ของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีปริมาณน้อยกว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

อายุ 30 วัน (ระยะแตกกอ) ระยะนี้ต้นข้าวสัมผัสกับก๊าซโอโซนเป็นเวลา 7 วัน ปริมาณการทำงานของ SOD จะเพิ่มขึ้นจากช่วง 23 วันในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ทั้ง 3 กลุ่ม คือ CF, 40 ppb และ 70 ppb ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 จะมีปริมาณการทำงานของ SOD ของกลุ่ม 40 ppb สูงกว่ากลุ่ม 70 ppb และ CF ทำให้มีปริมาณของ  $H_2O_2$  ในกลุ่ม 40 ppb สูงกว่ากลุ่ม CF และ 70 ppb แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อพืชอยู่ในสภาวะ oxidative stress จากการสัมผัสกับก๊าซโอโซนทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นภายในเซลล์ เช่น superoxide radical ( $O_2^-$ ) และ hydroxy freeradical ( $OH^\cdot$ ) เป็นต้น เอนไซม์ SOD จะมีปริมาณการทำงานเพิ่มขึ้นเพื่อกำจัดอนุมูลอิสระดังกล่าว จึงทำให้มีปริมาณของ  $H_2O_2$  เพิ่มสูงขึ้น (Chernikova, 2000) ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ใช้พืชพันธุ์ไม้ขนาดเล็ก (Clover species) 2 species ให้สัมผัสกับก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้นประมาณ 150 ppb เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปริมาณของ SOD เพิ่มขึ้น 50% ปริมาณของ  $O_2^-$  และ  $H_2O_2$  ที่สะสมอยู่ในใบมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ปริมาณของ APX จะเพิ่มขึ้น 24 % และพบว่าเกิดอาการเสียหายของใบขึ้น แต่อาการเสียหายของใบและปริมาณการทำงานของ SOD ปริมาณ  $H_2O_2$  และ Total ascorbate จะมีความแตกต่างกันในทั้ง 2 species (Scebba et al., 2003) แต่ปริมาณของ Total ascorbate ของกลุ่ม 40 ppb มีปริมาณต่ำกว่ากลุ่ม 70 ppb อาจเนื่องจากเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการกำจัด  $H_2O_2$  มีหลายชนิด และอาจเป็นเพราะพืชได้รับก๊าซโอโซนในระยะเวลาสั้นๆ เพียงแค่ 7 วัน ทำให้มีปริมาณของ Total ascorbate เปลี่ยนแปลงอย่างไม่คงที่

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 จะมีปริมาณการทำงานของ SOD ของกลุ่ม 70 ppb สูงกว่ากลุ่ม 40 ppb และ CF แตกต่างกับข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ทำให้มีปริมาณของ  $H_2O_2$  ในกลุ่ม 70 ppb มีปริมาณที่แตกต่างกับกลุ่ม 40 ppb และ CF อย่างมีนัยสำคัญ และปริมาณของ Total ascorbate มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับปริมาณของ  $H_2O_2$  แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งใน

การใช้ข้าว barley 2 พันธุ์ (Alg-R, Alg-S) เมื่ออยู่ในสภาวะ oxidative stress จะมีปริมาณการทำงานของ SOD ในส่วนของ อะโซพลาสเซลล์ เพิ่มขึ้น 150% และ 300% เมื่อเทียบกับกลุ่ม CF ตามลำดับ (Vanacker, 1998) และในงานวิจัยที่ใช้พืชตระกูลถั่ว โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 กลุ่ม คือ NF, NF+40 ppb และ NF+60 ppb ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของก๊าซไอโซนที่กลุ่ม NF+40 ppb และ NF+60 ppb สามารถที่จะส่งผลกระทบต่อความเสียหายกับพืชแตกต่างกัน เช่น น้ำหนักแห้ง การสังเคราะห์สารประกอบภายในเซลล์ และเอนไซม์ต่างๆ เป็นต้น (Kanoun et al., 2001)

อายุ 60 วัน (ระยะกำเนิดช่อดอก) ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีปริมาณ SOD เพิ่มขึ้นจากช่วง 30 วัน และเป็นช่วงที่มีปริมาณการทำงานของเอนไซม์ในทั้ง 3 กลุ่มสูงที่สุด โดยกลุ่ม 40 ppb มีปริมาณที่สูงแตกต่างกับกลุ่ม 70 ppb และ CF อย่างมีนัยสำคัญ จึงทำให้  $H_2O_2$  ของกลุ่ม 40 ppb มีปริมาณสูงที่สุด และแตกต่างกับกลุ่ม 70 ppb และ CF อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อมีปริมาณของ  $H_2O_2$  สูงในเซลล์ เซลล์จำเป็นจะต้องผลิตเอนไซม์เพื่อกำจัดหรือลดปริมาณของสารที่จะมาทำอันตรายกับเซลล์ จึงทำให้ปริมาณของ Total ascorbate ในช่วงนี้ของกลุ่ม 40 ppb มีปริมาณสูงสอดคล้องกับปริมาณการทำงานของ SOD และ ปริมาณของ  $H_2O_2$  ซึ่งจะมีปริมาณแตกต่างกับกลุ่ม 70 ppb และ CF อย่างมีนัยสำคัญ dose-response มีผลกระทบต่อข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในระยะกำเนิดช่อดอก ซึ่งที่ 40 ppb จะมีผลกระทบมากกว่าที่ 70 ppb อย่างชัดเจน ทำให้ที่ความเข้มข้น 40 ppb พืชมีอาการตอบสนองทางด้านชีวเคมีต่อก๊าซไอโซนสูงกว่าที่ความเข้มข้น 70 ppb dose-response นั้นมีความแตกต่างกันออกไปในแต่ละสปีชีส์ พันธุ์พืชในแต่ละท้องถิ่น การปรับตัวของพืช ปัจจัยภายนอกจากสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำ อุณหภูมิ และการปิดเปิดของปากใบ (Mauzerall and Wang, 2001)

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 ปริมาณการทำงานของ SOD เพิ่มขึ้นคล้ายกับข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 แต่กลุ่มที่มีปริมาณการทำงานสูงที่สุดเป็นกลุ่ม 70 ppb และ 40 ppb ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองกลุ่มจะมีปริมาณการทำงานแตกต่างกับกลุ่ม CF อย่างมีนัยสำคัญ จึงทำให้พืชมีปริมาณของ  $H_2O_2$  ในกลุ่ม 70 ppb สูงที่สุดกว่าทุกช่วงอายุ รองลงมาเป็น 40 ppb ซึ่งทั้งสองกลุ่ม จะมีปริมาณ  $H_2O_2$  ที่แตกต่างกับกลุ่ม CF อย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นเอนไซม์ APX ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการกำจัด  $H_2O_2$  จะถูกผลิตขึ้นมาเพื่อกำจัดสารดังกล่าวในปริมาณที่สูงมากขึ้น ทำให้เราพบ Total ascorbate ของกลุ่ม 70 ppb ในปริมาณที่สูง ซึ่งมีความสอดคล้องกับปริมาณการทำงานของ SOD และ ปริมาณ  $H_2O_2$  ที่เกิดขึ้น ปริมาณของ Total ascorbate ทั้งสามกลุ่มแตกต่าง

กันอย่างไม่มียีนสำคัญทางสถิติ ช่วงเวลากำเนิดช่อดอกเป็นช่วงเวลาที่มียีนปริมาณการทำงานของเอนไซม์ SOD ,ปริมาณ  $H_2O_2$  และ ปริมาณของ Total ascorbate เพิ่มขึ้นมากที่สุดกว่าทุกช่วง อาจเพราะเซลล์ต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นในช่วงที่ข้าวเริ่มสร้างช่อดอก ซึ่งในขั้นตอนการผลิตพลังงานของเซลล์สามารถเกิดอนุมูลอิสระขึ้นได้ ทำให้ช่วงเวลานี้มียีนปริมาณการทำงานของเอนไซม์เพิ่มขึ้น (Rao et al.,1996) อายุของพืชก็มีความสัมพันธ์กับปริมาณของ SOD จากการทดสอบใช้ *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 et al.,1998) และในขณะที่ข้าว barley อยู่ในสภาวะ oxidation stress นั้น พบว่ามีปริมาณของ  $H_2O_2$  เพิ่มขึ้นมากในบริเวณใบและบริเวณที่เซลล์ได้รับความเสียหาย ซึ่งส่งผลกระทบต่อการผลิตน้ำตาลของข้าวด้วย (Vanacker, 1998)

อายุ 90 วัน (ระยะออกดอก) ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในช่วงอายุ 90 วันจะมีปริมาณการทำงานของเอนไซม์ SOD ลดลง จากช่วง 60 วัน โดยที่กลุ่ม 40 ppb ยังคงมีปริมาณการทำงานที่สูงที่สุดรองลงมาเป็นกลุ่ม 70 ppb ซึ่งทั้งสองกลุ่มจะมีความแตกต่างกลับกลุ่ม CF อย่างมีนัยสำคัญ แต่ปริมาณของ  $H_2O_2$  ของกลุ่ม 40 ppb กลับมีปริมาณลดลงต่ำกว่ากลุ่ม 70 ppb และกลุ่ม CF และทั้ง 3 กลุ่ม มีปริมาณที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ มีเพียงกลุ่ม 70 ppb ที่มีปริมาณของ  $H_2O_2$  ที่สูงขึ้นมากกว่าในช่วงอายุ 60 วัน และปริมาณของ Total ascorbate ในช่วงนี้ก็ลดลงด้วยแต่จะไม่มี ความแตกต่างทางสถิติของทั้ง 3 กลุ่ม ที่ความเข้มข้น 40 ppb อาจไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในซิมพลัสติกเซลล์ (symplastic cells) ซึ่งภายในส่วนของ symplastic cells ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆที่สำคัญของเซลล์ และมีปริมาณของเอนไซม์ที่สามารถกำจัด  $H_2O_2$  ได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะอยู่ส่วนต่างๆของเซลล์เช่น cytosol และ chloroplast เช่น เอนไซม์คะตะเลส เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและเอนไซม์แอสคอเบตเปอร์ออกซิเดส มาช่วยในการกำจัดปริมาณ  $H_2O_2$  (Lyons et al., 1999) จึงทำให้ในช่วงที่ข้าวออกดอก มีปริมาณของ  $H_2O_2$  ที่กลุ่ม 40 ppb ลดลงต่ำกว่ากลุ่มอื่น พืชมีกระบวนการในการการป้องกันตนเองจากมลพิษต่างๆ โดยการปิดปากใบ เพื่อให้ได้รับมลพิษน้อยลง อาจเป็นไปได้ที่ช่วงนี้พืชจะปิดปากใบเพื่อป้องกันก๊าซโอโซนที่จะผ่านเข้าสู่เซลล์ Herbiner ได้ทดลองโดยใช้ข้าวสาลี พบว่าความแห้งแล้งจะทำให้ปากใบปิด ทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซลดลง ปริมาณของ Total ascorbate ลดลง และพบว่าในช่วงที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซลดลง ปริมาณของ antioxidant system จะเกิดการ

เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยทดสอบกับก๊าซไอโซนที่ ambient และ ambient + 50 ppb เก็บตัวอย่างในระยะพืชเริ่มกำเนิดช่อดอกและช่วงที่ข้าวออกดอก (Herbinger et al., 2002)

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี90 จะมีปริมาณการทำงานของเอนไซม์ SOD ที่ลดลงต่ำกว่าช่วง 60 วันเช่นเดียวกับข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 แต่กลุ่มที่มีปริมาณการทำงานของเอนไซม์สูงที่สุดคือกลุ่ม 70 ppb ซึ่งจะมีความแตกต่างกับกลุ่ม 40 ppb และ CF ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้ปริมาณของ  $H_2O_2$  ในช่วงนี้มีปริมาณที่ลดลงด้วย และกลุ่มที่พบปริมาณสูงที่สุดเป็นกลุ่ม 70 ppb แตกต่างกับกลุ่ม 40 ppb และกลุ่ม CF อย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณของ Total ascorbate ก็มีปริมาณที่ลดลงจากช่วง 60 วัน โดยที่กลุ่ม 70 ppb จะมีปริมาณสูงที่สุด Yue-Xuan & Tiedemann (2002) ทดสอบกับ fungicides (AZO) พบว่าในช่วง 3 วันหลังการสัมผัสก๊าซไอโซนปริมาณของ  $H_2O_2$  ลดลงต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ส่วนปริมาณของ SOD ก็ลดลงซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของ  $O_2^-$  ที่มีปริมาณลดลงเช่นกัน และในช่วงวันที่ 4 ปริมาณ  $H_2O_2$  จะเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งน่าจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการปิดเปิดปากใบของพืชด้วย

อายุ 120 วัน (ระยะเก็บเกี่ยว) ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 ในช่วงนี้ปริมาณของ SOD จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากช่วง 90 วัน กลุ่ม 70 ppb จะมีปริมาณการทำงานสูงที่สุดแต่แตกต่างกับกลุ่ม 40 ppb เพียงเล็กน้อยแตกต่างกับกลุ่ม CF อย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณของ  $H_2O_2$  จะมีความสอดคล้องกับปริมาณการทำงานของ SOD และทั้งสามกลุ่มจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ปริมาณของ Total ascorbate ที่กลุ่ม 70 ppb จะต่ำกว่ากลุ่ม 40 ppb และกลุ่ม CF อาจเป็นเพราะ ปริมาณของ ascorbate เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง เนื่องจากพืชได้รับการสัมผัสไอโซนเป็นระยะเวลายาวนานทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง (Calatayud et al., 2003) จึงมีผลต่อปริมาณของ ascorbate ซึ่งปริมาณของ ascorbate นั้นเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ คาร์บอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง (Herbinger et al., 2002) การทดสอบโดยใช้ใบยาสูบ ที่ได้รับความเข้มข้นของไอโซน 100-150 ppb เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง ปริมาณของ APX ใน mRNA จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วงกลางวันพืชโดนแสงมากกว่าตอนกลางคืน (Sharma, 1997) เมื่อมีปริมาณของ Total ascorbate ในช่วง 120 วันต่ำลง ทำให้ปริมาณของ  $H_2O_2$  ในทั้งสามกลุ่มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงนี้ ปริมาณ  $H_2O_2$  ที่เพิ่มขึ้นเกิดเนื่องจาก พืชได้สัมผัสกับก๊าซไอโซนเป็นระยะเวลายาวนานทำให้เกิดความเสียหายในส่วนต่างๆของเซลล์รวมไปถึงการทำงานของเอนไซม์ต่างๆที่จะมาทำหน้าที่ในการกำจัด  $H_2O_2$  ลดปริมาณลงทำให้มีปริมาณการ

สะสมของ  $H_2O_2$  เพิ่มขึ้น และ ปริมาณของ  $H_2O_2$  สามารถเกิดได้จากการเกิดปฏิกิริยา lipid-peroxidation ด้วย ซึ่งสามารถเห็นได้จากความเสียหายและอาการที่เกิดขึ้นกับพืช

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี90 จะมีปริมาณการทำงานของ SOD เพิ่มขึ้นจากช่วง 90 วัน กลุ่ม 70 ppb จะมีปริมาณการทำงานที่สูงที่สุดและทั้งสามกลุ่มจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้มีปริมาณของ  $H_2O_2$  เพิ่มขึ้นมีความสอดคล้องกับปริมาณของ SOD แต่ปริมาณของ Total ascorbate กลับมีปริมาณที่สูงที่สุดที่กลุ่ม 40 ppb โดยที่กลุ่ม 70 ppb มีปริมาณต่ำที่สุดพิจารณาจากปริมาณสะสมของ  $H_2O_2$  ในระยะสุดท้ายนี้มีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น อาจเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ APX ที่กลุ่ม 70 ppb ทำงานลดลง ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัด  $H_2O_2$  ลดลงด้วย เกิดความเสียหายต่อเซลล์พืช ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งที่สามารถมองเห็นได้ เช่น เกิดอาการเหี่ยว แก่ก่อนวัย เป็นลายจุดที่ใบ และผลผลิตลดลง เป็นต้น (Pearson et al., 1995) และการที่ Total ascorbate ของกลุ่ม 70 ppb ลดต่ำกว่าอีก 2 กลุ่มนั้น อาจเป็นเพราะว่าปริมาณของ ascorbic acid (AA) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาของ เอนไซม์ APX มีปริมาณลดลง ซึ่งปริมาณของ AA จะแตกต่างกันออกไปตาม species, สภาพแวดล้อม และอายุของพืช ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของ APX ด้วย ปริมาณของ AA จึงเป็นปัจจัยจำกัดอย่างหนึ่งของ Halliwell-Foyer-Asada cycle ซึ่งพบว่าถ้า AA มีปริมาณมีน้อย ปริมาณการทำงานของ APX และ GR จะลดลงด้วย (Calatayud et al., 2003) การที่พืชสัมผัสโอโซนความเข้มข้นสูงในระยะเวลาสั้นๆ จะเกิดผลกระทบมากกว่าการสัมผัสก๊าซโอโซนในความเข้มข้นต่ำๆระยะเวลายาวนานซึ่งในการสัมผัสที่ความเข้มข้นต่ำมีผลต่อกระบวนการทางกายภาพและชีวเคมีที่ซับซ้อนสูงกว่าในขณะที่ความเข้มข้นสูงๆสามารถเกิดความเสียหายที่มองเห็นได้มากกว่า (Kangasjarvi et al., 1994) ปริมาณการทำงานของ SOD และปริมาณของ  $H_2O_2$  ที่เพิ่มขึ้นในช่วง 120 วันนี้ สอดคล้องกับการทดลองของ Tom Lyons ที่มีปริมาณการทำงานของ SOD ใน residual leaf extract ของวัชพืชชนิดหนึ่ง เพิ่มขึ้นในช่วง 42 วัน และจากงานวิจัยยังพบว่าช่วงอายุดังกล่าวมีอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซที่เพิ่มขึ้นซึ่งน่าจะส่งผลกระทบต่อปริมาณเอนไซม์ภายในเซลล์เนื่องจากโอโซนสามารถเข้าสู่เซลล์ได้เพิ่มมากขึ้น (Lyons et al., 1999)

## สรุปผลการทดลอง

### 1. ซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมูเตส (SOD)

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี90 จะมีปริมาณ SOD สูงกว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และจะมีปริมาณสูงสุดที่ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนกลุ่ม 70 ppb รองลงมาเป็นกลุ่ม 40 ppb และ กลุ่ม CF จะมีปริมาณน้อยที่สุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทั้ง 3 กลุ่ม โดยในช่วงเวลาที่ทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณของ SOD สูงที่สุดเป็น ระยะกำเนิดช่อดอก (อายุ 60

วัน) รองลงมาเป็นระยะแตกกอ (อายุ 30 วัน), ระยะเก็บเกี่ยว (อายุ 120 วัน) และระยะออกดอก (อายุ 90 วัน) และจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกช่วงอายุ ในกลุ่มความเข้มข้นของก๊าซไอโซนกลุ่มเดียวกันข้าวทั้ง 2 พันธุ์จะมีปริมาณของ SOD แตกต่างกัน และในกลุ่มความเข้มข้นของก๊าซไอโซนกลุ่มเดียวกันในระยะเวลาที่ต่างกัน ก็จะมีปริมาณของ SOD ที่ต่างกันด้วย นั่นคือปริมาณของ SOD ของข้าวแต่ละพันธุ์จะมีความสัมพันธ์กับ ช่วงอายุของพืช และความเข้มข้นของก๊าซไอโซนที่พืชได้รับ

## 2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ )

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 จะมีปริมาณ  $H_2O_2$  สูงกว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และจะมีปริมาณสูงสุดที่ความเข้มข้นของก๊าซไอโซนกลุ่ม 70 ppb รองลงมาเป็นกลุ่ม 40 ppb และ กลุ่ม CF จะมีปริมาณน้อยที่สุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทั้ง 3 กลุ่ม โดยในช่วงเวลาที่ทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณของ  $H_2O_2$  สูงที่สุด คือระยะกำเนิดช่อดอก (อายุ 60 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (อายุ 120 วัน) รองลงมาเป็นระยะแตกกอ (อายุ 30 วัน) และระยะออกดอก (อายุ 90 วัน) และจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในกลุ่มความเข้มข้นของก๊าซไอโซนกลุ่มเดียวกัน ข้าวทั้ง 2 พันธุ์จะมีปริมาณของ  $H_2O_2$  แตกต่างกัน และจะแตกต่างกันในทุกช่วงอายุของพืช และในกลุ่มความเข้มข้นของก๊าซไอโซนกลุ่มเดียวกันในระยะเวลาที่ต่างกัน ก็จะมีปริมาณของ  $H_2O_2$  ที่แตกต่างกันด้วย นั่นคือปริมาณของ  $H_2O_2$  ของข้าวแต่ละพันธุ์จะมีความสัมพันธ์กับ ช่วงอายุของพืช และความเข้มข้นของก๊าซไอโซนที่พืชได้รับ

## 3. ปริมาณรวมของแอสคอเบต (Total ascorbate)

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 จะมีปริมาณ total ascorbate สูงกว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และจะมีปริมาณสูงสุดที่ความเข้มข้นของก๊าซไอโซนกลุ่ม 40 ppb และกลุ่ม 70 ppb ซึ่งจะแตกต่างกับ กลุ่ม CF อย่างมีนัยสำคัญ โดยในช่วงเวลาที่ทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณของ total ascorbate สูงที่สุด คือระยะกำเนิดช่อดอก (อายุ 60 วัน) ซึ่งจะแตกต่างกับอีก 3 ช่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญ ในกลุ่มความเข้มข้นของก๊าซไอโซนกลุ่มเดียวกันข้าวทั้ง 2 พันธุ์จะมีปริมาณของ total ascorbate ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่จะแตกต่างกันในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโต และในกลุ่มความเข้มข้นของก๊าซไอโซนกลุ่มเดียวกันในระยะเวลาที่ต่างกัน ก็จะมีปริมาณของ total ascorbate ที่แตกต่างกันด้วย นั่นคือปริมาณของ total ascorbate ของข้าวแต่ละพันธุ์จะมีความสัมพันธ์กับ ช่วงอายุของพืช และความเข้มข้นของก๊าซไอโซนที่พืชได้รับ

#### 4. ความสัมพันธ์ของปริมาณการทำงานของ SOD , ปริมาณ $H_2O_2$ และ Total ascorbate

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 จะมีปริมาณการทำงานของ SOD , ปริมาณ  $H_2O_2$  และ Total ascorbate เพิ่มขึ้น ตั้งแต่ช่วงแรกจนถึงระยะกำเนิดช่อดอก โดยที่กลุ่ม 40 ppb จะเป็นกลุ่มที่มีการตอบสนองต่อก๊าซโอโซนสูงที่สุด และในช่วงออกดอกปริมาณการทำงานของ SOD , ปริมาณ  $H_2O_2$  และ Total ascorbate ลดลงต่ำกว่าช่วงกำเนิดช่อดอก ยกเว้นปริมาณ  $H_2O_2$  ที่กลุ่ม 70 ppb ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ในช่วงสุดท้ายระยะเก็บเกี่ยว ปริมาณการทำงานของ SOD และ ปริมาณ  $H_2O_2$  จะเพิ่มสูงขึ้นกว่าระยะออกดอก โดยที่กลุ่ม 70 ppb เป็นกลุ่มที่มีการตอบสนองสูงที่สุด ยกเว้นปริมาณ Total ascorbate ที่ยังคงลดลงในทั้ง 3 กลุ่ม

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี90 จะมีปริมาณการทำงานของ SOD , ปริมาณ  $H_2O_2$  และ Total ascorbate เพิ่มขึ้น ตั้งแต่ช่วงแรกจนถึงระยะกำเนิดช่อดอก และในช่วงออกดอกปริมาณการทำงานของ SOD , ปริมาณ  $H_2O_2$  และ Total ascorbate จะลดลงต่ำกว่าช่วงกำเนิดช่อดอก ในช่วงสุดท้ายระยะเก็บเกี่ยว ปริมาณการทำงานของ SOD , ปริมาณ  $H_2O_2$  และ Total ascorbate จะเพิ่มสูงขึ้นกว่าระยะออกดอก โดยที่กลุ่ม 70 ppb จะเป็นกลุ่มที่มีการตอบสนองต่อก๊าซโอโซนสูงที่สุดในทุกช่วงอายุ ยกเว้นในระยะเก็บเกี่ยวที่กลุ่ม 70 ppb จะมีปริมาณที่ลดลงต่ำกว่ากลุ่ม CF และ กลุ่ม 40 ppb

#### ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการทดลองปลูกข้าวในพื้นที่จริง ซึ่งควรเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณของก๊าซโอโซนค่อนข้างสูง เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของก๊าซโอโซนที่จะเกิดขึ้น เนื่องจากในพื้นที่จริงอาจมีปัจจัยภายนอกหลายอย่างที่ทำให้แตกต่างกับการทดลองในห้องทดลอง
2. ควรทดลองหาปริมาณเอนไซม์ตัวอื่นๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการที่เกิดขึ้นซึ่งจะทำให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของการทำงานของเอนไซม์มากยิ่งขึ้น
3. ควรทดลองปลูกในทั้ง 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในแต่ละฤดู
4. ควรมีการทดลองปลูกในข้าวพันธุ์อื่นๆ ที่เกษตรกรนิยมปลูก เพื่อจะได้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับข้าวพันธุ์นั้นๆ ในแต่ละพื้นที่ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรในการตัดสินใจที่จะเลือกปลูกข้าวแต่ละพันธุ์