KHON KAEN AGR. J. 48 (6): 1242-1253 (2020)./doi:10.14456/kaj.2020.110.

ผลกระทบของโอโซนต่อการสรีรวิทยาและผลผลิตของข้าว กข43

Effects of ozone on physiology and yield of rice RD43

ฤทัยรัตน์ โพธิ[1*], ชลดา เดชาเกียรติไกร ธีรการุณวงศ์[1] และปฏิวิชช์ สาระพิน[1]

Rutairat Phothi[1*], Chonlada Dechakiatkrai Theerakarunwong[1] and Pativit Sarapin[1]

บทคัดย่อ: การเพิ่มขึ้นของก๊าซโอโซนสัมพันธ์กับปัญหามลพิษทางอากาศซึ่งจะส่งผลกระทบในวงกว้างต่อระบบนิเวศ โอโซนเป็นมลพิษทุติยภูมิที่เกิดจากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล ระหว่างออกไซด์ของไนโตรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และสารอินทรีย์ระเหย กับแสงแดด มีการคาดการณ์ว่าโอโซนจะยังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในเขตเมือง รวมทั้งชนบท งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของระดับก๊าซโอโซนที่เพิ่มขึ้นต่อสรีรวิทยาและผลผลิตของข้าว กข43 โดยศึกษาผลกระทบของก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้นน 40 ppb ($O_3$40) ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่เริ่มมีผลกระทบต่อพืช และก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 80 ppb ($O_3$80) ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่คาดการณ์จะเกิดขึ้นในอนาคต และกลุ่มควบคุม (CF) เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ศึกษาความสูง พื้นที่ใบ จำนวนกอ คลอโรฟิลล์ จำนวนรวง ความยาวรวง และจำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าว กข43 พบว่าก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 80 ppb มีผลกระทบที่รุนแรงต่อข้าว กข43 โดยทั้งพื้นที่ใบ จำนวนกอ และคลอโรฟิลล์ลดลงร้อยละ 44.65 39.20 และ 29.59 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับผลผลิต ที่พบว่าจำนวนรวงลดลงร้อยละ 47.85 ความยาวรวงลดลงร้อยละ 20.31 และเมล็ดต่อรวงลดลงร้อยละ 35.83 ในกลุ่มการทดลองโอโซน 80 ppb
คำสำคัญ: โอโซน, ข้าว, ผลผลิต

ABSTRACT: I: Increased ozone is linked to increases an air pollution, causing a wide range of impacts that will affect ecology. Ozone, a secondary pollutant, produced via photochemical reaction between NO_X, CO, CH_4 and VOCs with sunlight. Further, the increasing of ozone trends significant in the most of country. This research aimed to study the effect of ozone to physiology and yield of rice cultivar RD43. The ozone concentrations at 40 ppm ($O_3$40); the initial concentration affect plant growth and 80 ppb ($O_3$80); the expected future concentration of ozone, compared to the control group were investigated for 3 weeks. The stem height, leaf area, tiller number, chlorophyll, panicle number, panicle length and spikelet per panicle were recorded. From the results, $O_3$80 significantly caused severe damage to rice RD43 by leaf area, tiller number, and chlorophyll decreased to 44.65 39.20 and 29.59% as compared to the control group ($p \leq 0.05$), respectively. Likewise, the results obtained from the rice production, the panicle number was decreased to 47.85%, the panicle length was decreased to 20.31% and spikelet per panicle was decreased to 35.83% under ozone concentration at 80 ppb. Keywords: ozone, rice, yield

Received March 20, 2020

Accepted June 25, 2020

[1] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ นครสวรรค์ 60000

[1]Faculty of Science and Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University, Nakhon Sawan 60000

*Corresponding author: rutairat.p@nsru.ac.th

แก่นเกษตร 48 ฉบับที่ 6 : 1242-1253 (2563)./doi:10.14456/kaj.2020.110.

บทนำ

ปัจจุบันก๊าซโอโซนในบรรยากาศมีค่าเกินมาตรฐานในหลายพื้นที่และมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในเขตเมืองและชนบท โดยการคาดการณ์ก๊าซโอโซนเฉลี่ยในบรรยากาศในปี 2050 อาจมีค่าเท่ากับ 60 – 100 ppb (IPCC, 2007) จากการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศ พบว่าก๊าซโอโซนเป็นมลพิษทางอากาศที่มีความสำคัญของประเทศไทยการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษในปี 2561 พบก๊าซโอโซนค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงสูงสุดของแต่ละจุดตรวจวัดเฉลี่ย 123 ppb ค่าสูงสุด 193 ppb (ค่ามาตรฐาน 100 ppb) ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงสูงสุดของแต่ละจุดตรวจวัดเฉลี่ย 97 ppb ค่าสูงสุด 149 ppb (ค่ามาตรฐาน 70 ppb) ซึ่งภาพรวมมีค่าเกินมาตรฐาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) โดยก๊าซโอโซนจัดเป็นมลพิษที่ควบคุมยากและสร้างความเสียหายให้กับผลผลิตทางการเกษตรในหลายพื้นที่ทั่วโลก ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในปัจจุบันอยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อพืช (Fiscus et al., 2005) โดยเฉพาะธัญพืชที่สำคัญ เช่น ข้าว (Phothi el al., 2016; Akhtar et al. 2010) และข้าวสาลี (Saitanis et al., 2014) ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นทำให้ผลผลิตลดลง เห็นได้ว่าพื้นที่เกษตรและกระบวนการผลิตพืชมีความเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากก๊าซโอโซน พืชมีความไวต่อการได้รับผลกระทบจากก๊าซโอโซน โดยแสดงอาการจากผลกระทบของก๊าซโอโซนที่ 40 ppb ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานก๊าซโอโซนที่มีต่อมนุษย์ เนื่องจากก๊าซโอโซนทำลายพืชโดยผ่านเข้าสู่พืชทางปากใบเป็นสาเหตุของอาการบาดเจ็บที่มองเห็นได้ (Felzer et al., 2007) อาการแก่ก่อนวัย ทำลายคลอโรฟิลล์ ส่งผลทางด้านสรีรวิทยา เช่น อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง ทำให้การเจริญเติบโต ความสูง พื้นที่ใบ (Sarkar and Agrawal, 2012) และผลผลิตลดลง (Phothi et al., 2016) นอกจากนี้ก๊าซโอโซนยังมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนของพืช โดยลดประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากไนโตรเจน (Wu et al., 2016) ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญของพืช มีบทบาทต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตของข้าว (Zhu et al., 2017) เนื่องจากไนโตรเจนมีหน้าที่หลักในการเร่งการเจริญเติบโตของลำต้นและใบ เพิ่มจำนวนกอ รวมทั้งผลผลิต

ข้าว (*Oryza sativa* L.) คือพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของโลก เป็นแหล่งของอาหารหลัก การผลิตข้าวให้ได้ผลผลิตสูงเพื่อรองรับการเจริญเติบโตของประชากรโลกจึงมีความท้าทายเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากข้าวมีความไวต่อมลพิษทางอากาศ Sanz et al. (2014) พบว่าการเพาะปลูกข้าวภายใต้สภาวะเครียดจากโอโซนส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว ทั้งนี้ผลกระทบขึ้นกับชนิดพันธุ์ของข้าวและปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย พันธุ์ข้าว กข43 เป็นพันธุ์ข้าวที่ได้รับการยอมรับว่ามีปริมาณน้ำตาลต่ำ และได้รับการส่งเสริมให้เกษตรกรเพาะปลูก เพื่อส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภค งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของโอโซนต่อสรีรวิทยา และผลผลิตของพันธุ์ข้าว กข43 ซึ่งจะทำให้ทราบถึงผลกระทบของก๊าซโอโซนต่อสรีรวิทยา ผลผลิตของข้าว กข43 และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์เพื่อจัดการการเพาะปลูกข้าวอย่างเหมาะสม เนื่องจากปัจจุบันมีพื้นที่บริเวณกว้างที่ตรวจพบก๊าซโอโซนเกินมาตรฐานโดยเฉพาะความเข้มข้นที่ส่งผลกระทบต่อพืชคือ 40 ppb จึงเป็นการเตรียมความพร้อมเพื่อการรองรับปัญหาดังกล่าวที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง การป้องกันปัญหาสามารถดำเนินการ เช่น การคัดเลือกพันธุ์พืชที่ทนต่อก๊าซโอโซน การหลีกเลี่ยงพื้นที่หรือฤดูกาลที่มีมลพิษสูง การเพาะปลูกพืชที่ให้ผลผลิตสูง

วิธีการศึกษา

1. การจัดเตรียมและเพาะปลูกต้นข้าว

เพาะเมล็ดพันธุ์ข้าว กข 43 ในถาดพลาสติกขนาดกว้าง 21 ยาว 26 เซนติเมตร เป็นเวลา 15 วัน โดยใช้เมล็ดพันธุ์จากศูนย์วิจัยข้าวชัยนาท จนได้ใบแท้แรกจึงเปลี่ยนย้ายภาชนะที่มีดินเหนียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว จำนวน 1 ต้นต่อ 1 กระถาง โดยใส่ปุ๋ยจำนวน 3 ครั้ง

1) ใส่ปุ๋ย 16-20-0 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากย้ายต้นกล้าปลูกในกระถาง 15 วัน (ต้นข้าวอายุ 30 วัน)

2) ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (ยูเรีย: 46-0-0) อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ ในระยะแตกกอ (ต้นข้าวอายุ 45 วัน)

3) ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (ยูเรีย: 46-0-0) อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ ในระยะสร้างรวงอ่อน (ต้นข้าวอายุ 55 วัน) (สถาบันวิจัยข้าว, 2548)

2. การรมก๊าซโอโซน

แบ่งต้นข้าว กข 43 ออกเป็น 3 กลุ่มทดลอง ได้แก่ กลุ่มควบคุม (CF) กลุ่มรมก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 40 ppb ($O_3$40) ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่เริ่มมีผลกระทบต่อพืช และกลุ่มรมก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 80 ppb ($O_3$80) ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นที่คาดการณ์จะเกิดขึ้นในอนาคต กลุ่มทดลองละ 4 ซ้ำ หลังจากนั้นนำต้นข้าว กข43 เพาะปลูกในโรงเรือนรมก๊าซ ขนาดกว้าง 1.5 ยาว 1.5 สูง 2 เมตร ซึ่งคลุมด้วยพลาสติกโปร่งแสง ตั้งภายนอกอาคาร พืชสามารถใช้แสงแดดจากธรรมชาติได้ มีช่องระบายอากาศ และพัดลมดูดอากาศจากภายนอกหมุนเวียนเข้าสู่โรงเรือนรมก๊าซ โดยมีการกรองอากาศก่อนเข้าโรงเรือนรมก๊าซด้วย Charcoal-Filter เพื่อให้อากาศที่เข้าสู่โรงเรือนรมก๊าซเป็นอากาศบริสุทธิ์ (ระดับก๊าซโอโซนไม่เกิน 10 ppb) และพ่นก๊าซโอโซนเมื่อต้นข้าวอยู่ในระยะแตกกอ (อายุ 46 วัน) ด้วยเครื่องผลิตโอโซน ปรับระดับก๊าซโอโซนโดยใช้วาล์วละเอียดที่ระดับ 40 ppb, 80 ppb และกลุ่มควบคุมซึ่งไม่มีการเพิ่มระดับก๊าซโอโซนในโรงเรือน รมก๊าซโอโซนวันละ 8 ชั่วโมง (เวลา 9.00 น. – 17.00 น.) เป็นเวลา 3 สัปดาห์ โดยตรวจวัดระดับก๊าซโอโซนด้วยเครื่อง Ozone Analyzer model 49 C (Thermo Environmental Instruments, USA)

3. การศึกษาผลกระทบของก๊าซโอโซนต่อข้าว กข43

ศึกษาการตอบสนองของข้าวต่อก๊าซโอโซนโดยศึกษา ความสูง พื้นที่ใบ จำนวนกอ และคลอโรฟิลล์ และศึกษาผลผลิตได้แก่ จำนวนรวง ความยาวรวง และจำนวนเมล็ดต่อรวง ดังนี้

3.1 วัดคลอโรฟิลล์ด้วยเครื่อง Chlorophyll meter (SPAD-502, soil and plant analysis development (SPAD), Minolta Camera Co., Osaka, Japan) โดยวัดที่ตำแหน่งที่ 2 ของใบข้าวที่เจริญเต็มที่แล้ว

3.2 พื้นที่ใบ วัดพื้นที่ใบพืชด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ LI-3100 (LI-COR, Lincoln, USA) โดยวัดที่ตำแหน่งที่ 2 ของใบข้าวที่เจริญเต็มที่แล้ว

3.3 จำนวนกอ นับจำนวนกอต่อต้น

3.4 ความสูงลำต้น วัดความสูงต้นข้าว จากโคนถึงปลายยอดโดยสายวัดความยาว

3.5 จำนวนรวง นับจำนวนรวงทั้งหมดของข้าว

3.6 ความยาวรวง วัดความยาวของรวงข้าวโดยรวมตั้งแต่คอรวงจนถึงปลายรวงด้วยไม้บรรทัด

3.7 เมล็ดต่อรวง นับจำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าว

4. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ศึกษาความแตกต่างทางสรีรวิทยา และผลผลิตโดย Analysis of Variance (ANOVA) ใช้ Dancan's multiple range tests เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลอง

ผลการศึกษา

ผลกระทบของก๊าซโอโซนต่อพื้นที่ใบของข้าว กข43

พื้นที่ใบของข้าว กข43 ได้รับผลกระทบจากก๊าซโอโซนทั้ง 40 และ 80 ppb หลังจากรมก๊าซโอโซนในสัปดาห์ที่ 2 มีค่า 64.65 55.15 และ 42.62 ตารางเซนติเมตร ในกลุ่มควบคุม โอโซน 40 ppb และโอโซน 80 ppb ตามลำดับ โดยพบว่าพื้นที่ใบในกลุ่มโอโซน 40 ppb และ โอโซน 80 ppb ลดลงร้อยละ 14.69 และ 34.08 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 3 พื้นที่ใบของข้าวทั้ง 3 ชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (**Table 1**) โดยในกลุ่มควบคุม โอโซน 40 ppb และโอโซน 80 ppb มีค่า 65.11 55.80 และ 36.04 ตารางเซนติเมตร ซึ่งพื้นที่ใบในกลุ่มโอโซน 40 ppb และ โอโซน 80 ppb ลดลงร้อยละ 14.30 และ 44.65 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

แก่นเกษตร 48 ฉบับที่ 6 : 1242-1253 (2563)./doi:10.14456/kaj.2020.110.

Table 1 Leaf area of rice RD43. Rice samples were fumigated by ozone for 3 weeks; charcoal-filter (CF), ozone 40 ppb ($O_3$40) and ozone 80 ppb ($O_3$80)

	Treatment	1 Week of exposure O^3	2 Weeks of exposure O^3	3 Weeks of exposure O^3
Leaf area	CF	65.57±5.05a	64.65±3.32a	65.11±2.23a
(CM^2)	$O_3$40	57.99±4.20a	55.15±7.55ab	55.80±1.87b
	$O_3$80	55.45±1.94a	42.62±2.29b	36.04±1.71c

The data represent the mean±SE. Different letters indicate significant differences among treatments at $p \leq 0.05$.

ผลกระทบของก๊าซโอโซนต่อจำนวนกอของข้าว กข43

โอโซนยับยั้งการแตกกอของข้าวโดยหลังจากรมก๊าซสัปดาห์ที่ 1 ต้นข้าว กข43 มีจำนวนกอ 7.00 6.00 และ 4.33 กอต่อต้น ในกลุ่มควบคุม โอโซน 40 ppb และ โอโซน 80 ppb ตามลำดับ หลักจากนั้นต้นข้าวมีการแตกกอเพิ่มขึ้นจำนวนมาก โดยในสัปดาห์ที่ 2 กลุ่มควบคุม และกลุ่มโอโซน 40 ppb มีจำนวนกอ 19.67 และ 16.33 กอต่อต้น (**Table 2**) โดยทั้ง 2 กลุ่มนี้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนในกลุ่มโอโซน 80 ppb นั้นพบว่ามีการแตกกอน้อยที่สุดโดยมีจำนวนกอ 12.00 กอต่อต้น หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 3 พบว่าต้นข้าวในชุดควบคุมมีจำนวนกอมากที่สุด (**Figure 1**) ซึ่งเกิดการแตกกอเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ 1 และ 2 เป็นจำนวนมาก โดยมีจำนวนกอเท่ากับ 24.67 ในขณะที่กลุ่มโอโซน 40 ppb และโอโซน 80 ppb มีจำนวนกอเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยมีจำนวนกอเท่ากับ 19.33 และ 15.00 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมพบว่าจำนวนกอลดลงร้อยละ 21.65 และ 39.20 ตามลำดับ

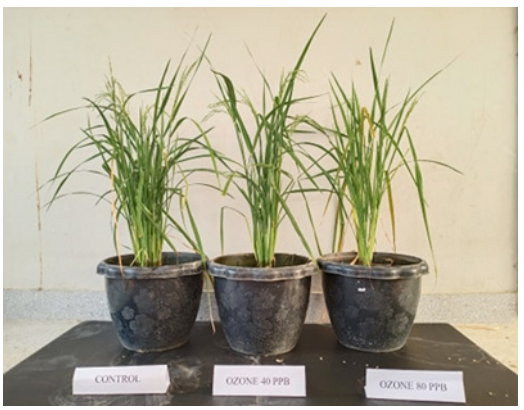

Figure 1 Rice RD43 after fumigation week 1 as: control (CF), ozone 40 ppb ($O_3$40) and ozone 80 ppb ($O_3$80)

Table 2 Tiller number of rice RD43. Rice samples were fumigated by ozone for 3 weeks; charcoal-filter (CF), ozone 40 ppb ($O_3$40) and ozone 80 ppb ($O_3$80)

	Treatment	1 Week of exposure O^3	2 Weeks of exposure O^3	3 Weeks of exposure O^3
Tiller number	CF	7.00±0.00a	19.67±1.20a	24.67±0.33a
	$O_3$40	6.00±0.00b	16.33±0.33a	19.33±0.33b
	$O_3$80	4.33±0.33c	12.00±1.54b	15.00±0.00c

The data represent the mean±SE. Different letters indicate significant differences among treatments at $p \leq 0.05$.

ผลกระทบของก๊าซโอโซนต่อความสูงของข้าว กข43

จากการศึกษาผลกระทบของก๊าซโอโซนต่อความสูงของข้าว กข43 พบว่าหลังรมก๊าซโอโซน 1 สัปดาห์ ต้นข้าวในกลุ่มควบคุม โอโซน 40 และโอโซน 80 ppb มีความสูงเท่ากับ 98.20 90.70 และ 103.47 เซนติเมตร หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 2 ความสูงของข้าว กข43 มีค่าเท่ากับ 105.43 103.80 และ 89.70 เซนติเมตร ตามลำดับ และในสัปดาห์ที่ 3 ความสูงของข้าวในกลุ่มควบคุม โอโซน 40 ppb และ 80 ppb มีค่าเท่ากับ 107.50 107.63 และ 97.57 เซนติเมตร ตามลำดับ (**Table 3**) โดยเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมความสูงเฉลี่ยของข้าวกลุ่มที่ได้รับโอโซน 80 ppb ลดลงร้อยละ 9.24 แต่โดยรวมความสูงเฉลี่ยทั้งหมดไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

Table 3 Stem height of rice RD43. Rice samples were fumigated by ozone for 3 weeks; charcoal-filter (CF), ozone 40 ppb ($O_3$40) and ozone 80 ppb ($O_3$80)

	Treatment	1 Week of exposure O^3	2 Weeks of exposure O^3	3 Weeks of exposure O^3
Stem height (CM)	CF	98.20±7.43a	105.43±2.56a	107.50±3.09a
	$O_3$40	90.70±6.85a	103.80±4.16a	107.63±2.48a
	$O_3$80	103.47±4.78a	89.70±6.32a	97.57±7.83a

The data represent the mean±SE. Different letters indicate significant differences among treatments at $p \leq 0.05$.

แก่นเกษตร 48 ฉบับที่ 6 : 1242-1253 (2563)./doi:10.14456/kaj.2020.110.

ผลกระทบของก๊าซโอโซนต่อคลอโรฟิลล์ของข้าว กข43

ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบข้าวพันธุ์ กข43 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อได้รับโอโซนความเข้มข้น 40 และ 80 ppb โดยหลังการรมก๊าซในสัปดาห์ที่ 1 คลอโรฟิลล์ในใบข้าว กข43 มีค่าเท่ากับ 44.18 41.00 และ 38.10 SPAD unit ในกลุ่มควบคุม โอโซน 40 และโอโซน 80 ppb ตามลำดับ (**Table 4**) หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 จะเห็นได้ชัดเจนถึงผลกระทบของก๊าซโอโซน 80 ppb ต่อคลอโรฟิลล์ของใบข้าว โดยใบข้าวแสดงอาการคลอโรซีส มีจุดสีน้ำตาล รวมทั้งบางส่วนของใบเป็นสีน้ำตาลทอง (**Figure 2**) โดยใบข้าว กข43 ที่ถูกรมด้วยก๊าซโอโซน 80 ppb มีคลอโรฟิลล์ 40.90 และ 34.70 SPAD unit ตามลำดับ ในขณะที่ใบข้าวในกลุ่มควบคุมมีคลอโรฟิลล์ 48.75 และ 49.28 SPAD unit ตามลำดับ โดยใบข้าวที่ได้รับก๊าซโอโซน 80 ppb มีคลอโรฟิลล์น้อยกว่าใบข้าวในกลุ่มควบคุมถึงร้อยละ 13.76 16.10 และ 29.59 ในสัปดาห์ที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

Figure 2 Leaf injury after fumigation week 3 as: control (a), ozone 40 ppb (b) and ozone 80 ppb (c)

Table 4 Leaf chlorophyll of rice RD43. Rice samples were fumigated by ozone for 3 weeks; charcoal-filter (CF), ozone 40 ppb ($O_3$40) and ozone 80 ppb ($O_3$80)

	Treatment	1 Week of exposure O^3	2 Weeks of exposure O^3	3 Weeks of exposure O^3
Leaf chlorophyll (SPAD)	CF	44.18±1.30a	48.75±0.58a	49.28±0.57a
	$O_3$40	41.00±043b	44.02±0.70b	40.25±1.39b
	$O_3$80	38.10±0.79b	40.90±0.44c	34.70±1.68c

The data represent the mean±SE. Different letters indicate significant differences among treatments at $p \leq 0.05$.

ผลกระทบของก๊าซโอโซนต่อผลผลิตข้าว

1) จำนวนรวงของข้าว กข43

หลังจากการรมก๊าซในสัปดาห์ที่ 2 ต้นข้าวเริ่มมีการออกรวงอ่อน โดยจำนวนรวงในกลุ่มควบคุม โอโซน 40 ppb และ 80 ppb มีค่าเท่ากับ 3.67 3.00 และ 2.33 รวงต่อต้น (**Figure 3a**) ซึ่งการออกรวงในระยะแรกนี้ทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าก๊าซโอโซนไม่มีผลกระทบต่อระยะเวลาในการออกรวงของข้าว และหลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 3 หลังการรมก๊าซพบข้าว กข43 มีจำนวนรวงเพิ่มขึ้น โดยในชุดควบคุม โอโซน 40 ppb และ 80 ppb มีจำนวนรวงเท่ากับ 7.67 6.00 และ 4.00 รวงต่อต้น (**Figure 3b**) แสดงให้เห็นว่าโอโซนมีผลต่อจำนวนรวง โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 80 ppb จำนวนรวงน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยลดลงถึงร้อยละ 47.85 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วนต้นข้าวที่รมด้วยก๊าซโอโซน 40 ppb นั้น จำนวนรวงก็ลดลงเช่นเดียวกัน แต่ไม่มีความแตกต่างสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

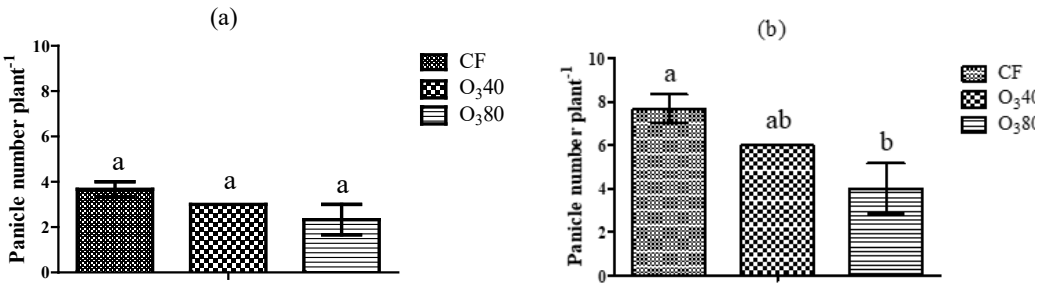

Figure 3 Panicle number per plant after 2 weeks (a) and 3 weeks of exposure O^3. Rice samples were allocated in 3 treatments; charcoal-filter (CF), ozone 40 ppb ($O_3$40) and ozone 80 ppb ($O_3$80). The data represent the mean±SE. Different letters indicate significant differences among treatments at $p \leq 0.05$.

2) ความยาวรวงของข้าว กข43

ก๊าซโอโซนมีผลต่อความยาวรวงของข้าว กข43 โดยพบว่าในสัปดาห์ที่ 2 ของการรมก๊าซโอโซน ต้นข้าวกลุ่มควบคุม ต้นข้าวที่รมด้วยโอโซน 40 ppb และต้นข้าวที่รมด้วยโอโซน 80 ppb มีค่าเฉลี่ยความยาวรวงเท่ากับ 27.33 24.83 และ 22.17 เซนติเมตร และสัปดาห์ที่ 3 ของการรมก๊าซโอโซน ต้นข้าวกลุ่มควบคุม ต้นข้าวที่รมด้วยโอโซน 40 ppb และ ต้นข้าวที่รมด้วยโอโซน 80 ppb มีค่าเฉลี่ยความยาวรวงเท่ากับ 30.33 27.50 และ 24.17 เซนติเมตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าทั้งโอโซน 40 และ 80 ppb ส่งผลต่อความสมบูรณ์ของรวงข้าว โดยทำให้ความยาวรวงของข้าว กข43 ลดลงร้อยละ 9.33 และ 20.31 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (**Figure 4**)

แก่นเกษตร 48 ฉบับที่ 6 : 1242-1253 (2563)./doi:10.14456/kaj.2020.110.

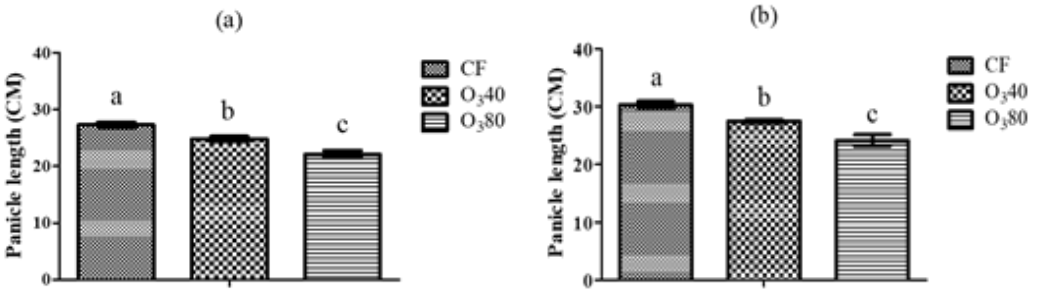

Figure 4 Panicle length after 2 weeks (a) and 3 weeks of exposure O^3. Rice samples were allocated in 3 treatments; charcoal-filter (CF), ozone 40 ppb ($O_3$40) and ozone 80 ppb ($O_3$80). The data represent the mean±SE. Different letters indicate significant differences among treatments at $p \leq 0.05$.

3) จำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าว กข43

ในสัปดาห์ที่ 3 หลังจากการรมก๊าซโอโซน ต้นข้าวเริ่มมีการสร้างรวงที่สมบูรณ์ เมล็ดข้าวเข้าสู่ระยะข้าวเป็นน้ำนม การศึกษาจำนวนเมล็ดต่อรวงพบว่าต้นข้าว กข43 มีจำนวนเมล็ดต่อรวงเท่ากับ 142.33 127.33 และ 91.33 เมล็ด ในต้นข้าวกลุ่มควบคุม ต้นข้าวที่รมด้วยโอโซน 40 ppb และต้นข้าวที่รมด้วยโอโซน 80 ppb โดยทั้ง 3 กลุ่มการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (**Figure 5**) เห็นได้ว่าก๊าซโอโซนส่งผลต่อจำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าว โดยจำนวนเมล็ดต่อรวงของต้นข้าวที่รมด้วยก๊าซโอโซน 40 ppb ลดลงร้อยละ 10.54 และในต้นข้าวที่รมด้วยก๊าซโอโซน 80 ppb ลดลงถึงร้อยละ 35.83 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

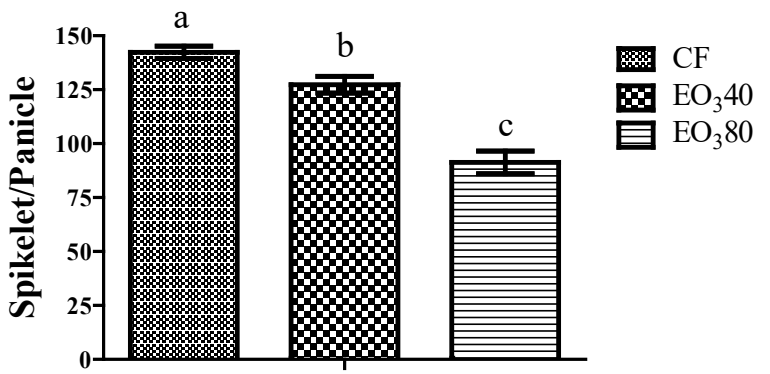

Figure 5 Spikelet/Panicle after 3 weeks of exposure O^3. Rice samples were allocated in 3 treatments; charcoal-filter (CF), ozone 40 ppb ($O_3$40) and ozone 80 ppb ($O_3$80). The data represent the mean±SE. Different letters indicate significant differences among treatments at $p \leq 0.05$.

วิจารณ์

จากการวิจัยพบว่าก๊าซโอโซนความเข้มข้น 40 และ 80 ppb ส่งผลกระทบต่อข้าว กข43 โดยพื้นที่ใบ จำนวนกอ คลอโรฟิลล์ รวมทั้งผลผลิต ได้แก่ จำนวนรวง ความยาวรวง และจำนวนเมล็ดต่อรวง ลดลง โดยผลกระทบต่าง ๆ นี้เกิดจากการที่ก๊าซโอโซนเข้าสู่พืชแล้วสลายตัวเป็นรีแอคทีฟออกซิเจนสปีชีส์ (ROS) (Umponstira et al., 2006) ซึ่งมีความเป็น พิษสูง สามารถทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบทางชีวเคมีของพืชและสามารถเคลื่อนย้ายระหว่างเซลล์ได้ เมื่อ ROS ทำปฏิกิริยากับไขมัน เป็นสาเหตุในการทำลายโครงสร้างของเซลล์ที่เป็นไขมัน (Foyer el al., 1994) และยังทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของโปรตีน เป็นสาเหตุในการทำลายโครงสร้างของเซลล์ (Calatayud and Barreno, 2001) พืชมีการตอบสนองโดยพบว่าสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น ซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (Superoxide dismutase; SOD) คาตาเลส (catalase; CAT) และ กลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดส (Glutathione peroxidase, GPx) จะเพิ่มมากขึ้น (Banerjee and Roychoudhury, 2019) นอกจากนี้โอโซนสามารถทำลายคลอโรฟิลล์ (Kumari, Agrawal and Tiwari, 2013) โดยงานวิจัยนี้พบว่าโอโซน 80 ppb ทำให้คลอโรฟิลล์ลดลงถึงร้อยละ 13.76 16.10 และ 29.59 ในสัปดาห์ที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ สอดคล้องกับ Phothi et al. (2016) พบว่าโอโซน 70 ppb ทำให้คลอโรฟิลล์ในใบข้าวขาวดอกมะลิ 105 ลดลงร้อยละ 16.57 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากในใบข้าวแล้วโอโซนยังเป็นสาเหตุให้คลอโรฟิลล์ในใบพืชหลายชนิดลดลง (Sarkar and Agrawal, 2012) และหากผลกระทบที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงจะสามารถสังเกตผลกระทบได้ เช่น อาการคลอโรซีส โดยใบพืชเป็นจุดสีน้ำตาล ใบเป็นสีน้ำตาลทอง และอาการแก่ก่อนวัยของใบพืช ซึ่งสามารถใช้ลักษณะอาการนี้ในการเป็นดัชนีชี้วัดการได้รับผลกระทบจากก๊าซโอโซนได้ (Sarkar and Agrawal, 2010) การลดลงของคลอโรฟิลล์เป็นสาเหตุสำคัญของการลดลงของการสังเคราะห์แสง โดยก๊าซโอโซนส่งผลต่อปฏิกิริยาของไรบูโลส 1, 5 บิสฟอสเฟตคาร์บอกซิเลส ออกซีจีเนส (Ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase oxygenase; RuBisCO) ยับยั้งการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการคาร์บอกซิเลชั่น (Kumari et al., 2015) และยังมีผลต่อการลดลงของไนโตรเจน (Shang et al., 2019) ทำให้เกิดการลดลงของพื้นที่ใบ (Kinose et al., 2017) ซึ่งจากงานวิจัยนี้พบว่าพื้นที่ใบของข้าว กข43 ในกลุ่มโอโซน 40 ppb และ โอโซน 80 ppb ลดลงร้อยละ 14.30 และ 44.65 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม สอดคล้องกับการศึกษาในพันธุ์ข้าว กข 47 พบว่าโอโซน 70 ppb ทำให้พื้นที่ใบของข้าวลดลงร้อยละ 58.36 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Phothi and Theerakarunwong, 2017) อีกปัจจัยที่สำคัญและเชื่อมโยงไปยังผลผลิตคือการแตกกอของข้าว ซึ่งในสภาวะเครียดจากก๊าซโอโซนจะยับยั้งการแตกกอของข้าว (Frei, 2015) ส่งผลให้จำนวนรวงข้าวลดลงตามมาด้วย นอกจากนี้การเกิดสภาวะเครียดทำให้พืชเกิดผลกระทบต่อระบบเมตาบอลิซึมสำหรับการออกดอกและผลผลิต (Banerjee and Roychoudhury, 2019) Ainsworth (2008) พบว่าโอโซน 62 ppb ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงร้อยละ 10 – 18 และ Feng et al. (2015) พบว่าโอโซน 100 ppb ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงร้อยละ 26 เห็นได้ว่าก๊าซโอโซนเป็นมลพิษทางอากาศที่สำคัญและจะเป็นอุปสรรคสำคัญสำหรับการเพาะปลูกพืช โดยเฉพาะพื้นที่เสี่ยงที่มีก๊าซโอโซนในปริมาณสูง เช่น พื้นที่เมือง ชานเมือง ที่มีการคมนาคม โรงงานอุตสาหกรรม จำนวนมาก ซึ่งปัจจุบันตรวจพบก๊าซโอโซนเกินกว่า 40 ppb ต่อเนื่องเป็นเวลาหลายชั่วโมงในหลายพื้นที่ จากผลการวิจัยเห็นได้ว่าแม้ก๊าซโอโซน 40 ppb จะมีผลกระทบน้อยกว่า 80 ppb แต่ก็ทำให้เกิดผลกระทบ โดยทำให้พื้นที่ใบ จำนวนกอ คลอโรฟิลล์ และผลผลิตของข้าว กข43 ลดลง และจากสถานการณ์ก๊าซโอโซนปัจจุบันอาจมีบางพื้นที่ได้รับผลกระทบ นอกจากนี้ก๊าซโอโซน 80 ppb ซึ่งมีผลกระทบที่รุนแรงนั้น ถึงแม้ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงในปัจจุบันยังไม่อยู่ในระดับนี้ แต่พบว่าค่าสูงสุดของก๊าซโอโซนรายชั่วโมงอยู่ในระดับสูงเกิน 80 ppb ในบ่อยครั้ง ดังนั้นควรศึกษาเพิ่มเติมในพื้นที่เกษตรจริง รวมทั้งศึกษาเพิ่มเติมในพันธุ์ข้าวและพืชชนิดอื่น ๆ โดยศึกษาผลกระทบต่อเนื่องและผลกระทบเฉียบพลันในกรณีโอโซนสูงเกินมาตรฐาน เพื่อใช้ประโยชน์ในการวางแผนเพาะปลูกและปรับปรุงเมล็ดพันธุ์ต่อไป

สรุป

จากการวิจัยพบว่าก๊าซโอโซนทั้ง 40 และ 80 ppb มีผลต่อสรีรวิทยาและผลผลิตของพันธุ์ข้าว กข43 ส่งผลให้พื้นที่ใบ จำนวนกอ คลอโรฟิลล์ และผลผลิตของข้าว กข43 ลดลง โดยเกิดผลกระทบที่รุนแรงในต้นข้าวที่ได้รับก๊าซโอโซน 80 ppb ในขณะที่ปริมาณก๊าซโอโซนในปัจจุบันตรวจพบเกินมาตรฐานในหลายพื้นที่ ซึ่งความเข้มข้น 40 ppb ซึ่งเป็นค่าที่พืชได้รับผลกระทบนั้น ตรวจพบได้บ่อยโดยเฉพาะช่วงสายและบ่ายที่มีแสงแดดจัด รวมทั้งมีสารตั้งต้นจากการคมนาคม หรืออุตสาหกรรมต่าง ๆ ดังนั้นปัจจัยด้านมลพิษทางอากาศจึงควรเป็นปัจจัยหนึ่งในการพิจารณาการเพาะปลูกพืช

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่สนับสนุนเครื่องมือและสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย และศูนย์วิจัยข้าวชัยนาทที่ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ข้าว

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2561. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2561. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยข้าว. 2548. การใช้แผ่นเทียบสี (Leaf Color Chart) เพื่อการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนในการปลูกข้าว

นาซลประทาน. แหล่งข้อมูล: http://www.ricethailand.go.th/rkb3/Eb_015.pdf. ค้นเมื่อ 23 มกราคม 2561.

Ainsworth, E.A. 2008. Rice production in a changing climate: a meta-analysis of responses to elevated carbon dioxide and elevated ozone concentration. Glob Change Biol. 14: 1642-1650.

Akhtar, N., M. Yamaguchi, H. Inada, D. Hoshino, T. Kondo, R.F. Fukami, and T. Izuta. 2010. Effects of ozone on growth, yield and leaf gas exchange rates of four Bangladeshi cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). Environ Pollut. 158: 2970-2976.

Banerjee, A. and A. Roychoudhury. 2019. Chapter 19 - Rice Responses and Tolerance to Elevated Ozone. In Hasanuzzaman M., M. Fujita, K. Nahar, and J. K. Biswas (Eds.). Advances in Rice Research for Abiotic Stress Tolerance. Woodhead Publishing.

Calatayud, A. and E. Barreno. 2001. Chlorophyll a fluorescence, antioxidant enzymes and lipid peroxidation in tomato in response to ozone and benomyl. Environ Pollut. 115: 283-289.

Felzer, B.S., T. Cronin, J.M. Reilly, J.M. Melillo, and X. Wang. 2007. Impacts of ozone on trees and crops. CR GEOSCI. 339: 784 - 98.

Feng, Z., E. Hu, X. Wang, L. Jiang, and X. Liu. 2015. Ground-level O_3 pollution and its impacts on food crops in China: A review. Environ Pollut. 199: 42-48.

Fiscus, E.L., F.L. Booker, and K.O. Burkey. 2005. Crop responses to ozone: uptake, modes of action, carbon assimilation and partitioning. Plant Cell Environ. 28: 997-1011.

Foyer, C.H., P. Descourvières, and K.J. Kunert. 1994. Protection against oxygen radicals: An important defence mechanism studied in transgenic plants. Plant Cell Environ. 17: 507–523.

Frei, M. 2015. Breeding of ozone resistant rice: Relevance, approaches and challenges. Environ Pollut. 197: 144-155.

IPCC. 2007. Climate Change. 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In Solomon S, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Kinose, Y., Y. Fukamachi, S. Okabe, H. Hiroshima, M. Watanabe, T. Izuta. 2017. Nutrient supply to soil offsets the ozone-induced growth reduction in Fagus crenata seedlings. Trees 31: 259–272.

Kumari, S., M. Agrawal, and S. Tiwari. 2013. Impact of elevated CO_2 and elevated O_3 on Beta vulgaris L.: Pigments, metabolites, antioxidants, growth and yield. Environ Pollut. 174: 279-288.

Kumari, S., M. Agrawal, and A. Singh. 2015. Effects of ambient and elevated CO_2 and ozone on physiological characteristics, antioxidative defense system and metabolites of potato in relation to ozone flux. Environ Exp Bot. 109: 276-287.

Phothi, R., C. Umponstira, C. Sarin, W. Siriwong, and N. Nabheerong. 2016. Combining effects of ozone and carbon dioxide application on photosynthesis of Thai jasmine rice (*Oryza sativa* L.) cultivar Khao Dawk Mali 105. Aust J Crop Sci. 10: 591-597.

Phothi, R. and D.C. Theerakarunwong. 2017. Effect of chitosan on physiology, photosynthesis and biomass of rice (*Oryza sativa* L.) under elevated ozone. Aust J Crop Sci. 11: 624-630.

Saitanis, C.J., S.M. Bari, K.O. Burkey, D. Stamatelopoulos, and E. Agathokleous. 2014. Screening of Bangladeshi winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars for sensitivity to ozone. Environ Sci Pollut Res Int. 21: 13560-13571.

Sanz, J., I. González-Fernández, H. Calvete-Sogo, J.S. Lin, R. Alonso, R. Muntifering, and V. Bermejo. 2014. Ozone and nitrogen effects on yield and nutritive quality of the annual legume Trifolium cherleri. Atmos. 94: 765-772.

Sarkar, A. and S.B. Agrawal. 2010. Elevated ozone and two modern wheat cultivars: An assessment of dose dependent sensitivity with respect to growth, reproductive and yield parameters. Environ Exp Bot. 69: 328-337.

Sarkar, A. and S.B. Agrawal. 2012. Evaluating the response of two high yielding Indian rice cultivars against ambient and elevated levels of ozone by using open top chambers. J Environ Manage. 95: S19-S24.

Shang, B., X. Yuan, P. Li, Y. Xu, and Z. Feng. 2019. Effects of elevated ozone and water deficit on poplar saplings: Changes in carbon and nitrogen stocks and their allocation to different organs. Forest Ecol Manag. 441: 89-98.

Umponstira, C., W. Pimpa, and S. Nanegrungsun. 2006. Physiological and biochemical responses of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) to ozone. SJST. 28: 861-869.

Wu, H., Q. Li, C. Lu, L. Zhang, J. Zhu, F.A. Dijkstra, and Q. Yu. 2016. Elevated ozone effects on soil nitrogen cycling differ among wheat cultivars. Appl Soil Ecol. 108 (Supplement C): 187-194.

Zhu, D.W., H.C. Zhang, B.W. Guo, K. Xu, Q.G. Dai, H.Y. Wei, H. Gao, Y.J. Hu, P.Y. Cui, and Z.Y. Huo. 2017. Effects of nitrogen level on yield and quality of japonica soft super rice. J. Integr. Agric. 16: 1018-1027.