Archive of SID

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دوازدهم، شماره سوم، پائیز ۱۳۹۸
۷۶۳-۷۷۹
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.1398.1302

مقاله پژوهشی

اثر کودهای گوگرد و روی بر خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد دانه ذرت (*Zea mays* L.) تحت تنش خشکی

یوسف سهرابی[1*]، امیر احمدی[2]، غلامرضا حیدری[1]، عادل سی‌وسه مرده[1]

۱. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان
۲. دانش‌آموخته گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۲/۱۶

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد کود گوگرد و روی بر خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد دانه ذرت تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی در بهار سال ۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان اجرا گردید. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. آبیاری در سه سطح آبیاری کامل، تنش ملایم و تنش شدید خشکی، به‌عنوان سطوح فاکتور اصلی در نظر گرفته شد و مصرف کود گوگرد در دو سطح (عدم مصرف کود گوگرد و مصرف ۳۰ کیلوگرم در هکتار) و کاربرد کود روی در دو سطح (عدم مصرف کود روی و مصرف یک کیلوگرم در هکتار)، به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد تنش خشکی باعث کاهش محتوی نسبی آب برگ، فتوسنتز و عملکرد دانه ذرت گردید و با افزایش شدت تنش خشکی، مقادیر این صفات به میزان بیشتری کاهش یافت. کاربرد کود گوگرد و روی باعث افزایش مقادیر این صفات و کاهش درصد آسیب به غشای سلولی گردید؛ اما اثرات مثبت روی بر این صفات کمتر از گوگرد بود. کاربرد کود گوگرد در شرایط آبیاری کامل و تنش شدید خشکی به ترتیب عملکرد دانه ذرت را ۵۰ و ۴۵ درصد افزایش داد. حداکثر عملکرد دانه به میزان ۱۳۰۵/۲۱ گرم در مترمربع در شرایط آبیاری مطلوب و مصرف کود گوگرد و حداقل آن به میزان ۵۱۹/۶۱ گرم در مترمربع در شرایط تنش شدید خشکی هم‌زمان با عدم مصرف گوگرد حاصل گردید. نتایج نشان داد استفاده از کود گوگرد اگرچه نتوانست به‌طور کامل مانع از تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه ذرت شود ولی تا حدود زیادی اثر آن را تعدیل نمود و بنابراین کاربرد کود گوگرد و روی به‌ویژه گوگرد می‌تواند در شرایط آبیاری مطلوب و کم‌آبیاری، مفید و قابل توصیه باشد.

واژه‌های کلیدی: **آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، تغذیه گیاهی، ذرت دانه‌ای، فتوسنتز، کم‌آبیاری**

مقدمه

غلات، مهم‌ترین گیاهان غذایی کره زمین و تأمین‌کننده ۷۰ درصد غذای مردم دنیا می‌باشند و به‌طورکلی ۷۵ درصد کل انرژی و نیمی از پروتئین موردنیاز بشر از غلات تأمین می‌شود (Emam, 2003). در بین غلات، ذرت از گیاهان ارزشمند زراعی است که تنوع، سازگاری بالا و ارزش غذایی فراوانش آن را در ردیف مهم‌ترین گیاهان زراعی جهان قرار داده است (Noormohammadi, 1997). به علت اهمیت زیاد ذرت در تأمین غذای دام‌ها و پرندگان و مصارف دارویی و صنعتی، سطح زیر کشت آن افزایش‌یافته و همچنین تکنیک زراعت آن در کشورهای مناسب برای تولید ذرت بهبود یافته است (Khodabandeh, 1995). از طرفی، رشد و نمو گیاهان در بسیاری مناطق دنیا، توسط تنش‌های محیطی محدود می‌گردد که سبب اختلاف بین عملکرد بالقوه و واقعی در محصولات زراعی می‌شود. یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تنش کمبود آب در مراحل رشد است

* نگارنده پاسخگو: یوسف سهرابی. پست الکترونیک: u.sohrabi1300@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

(Harrison et al., 2014). خشکی‌های فصلی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده توسعه کشت و تولید ذرت در دنیا می‌باشند و خشکی به‌طور متوسط، ۱۷ درصد از عملکرد سالانه ذرت دانه‌ای جهان را کاهش می‌دهد و حتی در بعضی از سال‌ها کاهش محصول بیش از ۷۰ درصد نیز در اثر خشکی گزارش شده است (Ribaut et al., 2012).

اثرات سوء ناشی از تنش آب بر رشد و نمو و عملکرد ذرت بستگی به زمان وقوع تنش، مراحل نمو، ژنوتیپ گیاه، ارقام، روش کشت گیاه، کیفیت خاک، سطح کمبود و تغییرات شرایط محیطی دارد (Sepehr et al., 2004). در مطالعه اثرات تنش‌های محیطی روی میزان آب برگ در گیاهان زراعی به این نتیجه رسیدند تنش‌های غیرزنده مانند خشکی و شوری مقدار آب را در سلول‌های گیاهی کاهش می‌دهند (Verslues, 2006). تنش خشکی از طریق کاهش آب واکوئل و اندازه سلول سبب کاهش آب برگ می‌شود. علت کاهش آب برگ باز شدن روزنه‌ها و خروج آب به‌صورت تعرق از گیاه است و ازآنجایی‌که رطوبت در دسترس گیاه و ریشه‌ها کم است، رشد ریشه‌های گیاه افزایش می‌یابد تا جذب آب افزایش یابد ولی چون رطوبت خاک کم است این امر نمی‌تواند آب خارج‌شده از گیاه را تأمین نماید درنتیجه، آب برگ کاهش می‌یابد. بروز این فرایندها از فتوسنتز گیاه ممانعت نموده، باعث تغییر در محتوای کلروفیل و صدمه به ساختارهای فتوسنتزی می‌شود (Per et al., 2018). تنش خشکی سبب آسیب به غشا و بروز فعالیت‌های متابولیکی غیرعادی می‌شود (Tripathy, 2000). یکی از دلایلی که تنش‌های محیطی مثل خشکی، رشد و توانایی فتوسنتزی گیاه را کاهش می‌دهند، اختلال در تعادل میان تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و مکانیسم‌های دفاعی برطرف‌کننده این رادیکال‌ها است که به تجمع گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو، خسارت به پروتئین‌ها، لیپیدهای غشا و سایر اجزای سلولی منجر می‌گردد (Per et al., 2018). در مطالعه اثر تنش اسمزی بر تجمع اسمولیت‌ها در ذرت بیان شد پراکسیداسیون لیپیدی معمولاً به‌عنوان نشانه تنش اکسیداتیو به کار می‌رود (Valentovic et al., 2006) که درنتیجه آن، یکپارچگی غشای سلول‌های گیاهی به‌هم‌خورده و خروج محلول‌ها از اندامک‌ها و سلول‌ها سبب به هم خوردن تعادل متابولیکی سلول‌ها می‌شود (Wang et al., 2003).

گیاهان برای کاهش دادن اثرات مخرب گونه‌های فعال اکسیژن، به سیستم‌های دفاعی ازجمله، سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی متکی هستند (Agarwal et al., 2004). از آنتی‌اکسیدانت‌های آنزیمی می‌توان کاتالاز و پراکسیداز را نام برد (Suna et al., 2018). کاتالاز در تمام سلول‌های گیاهی یافت می‌شود و سلول‌های گیاهی را از سمیت پراکسید هیدروژن که درنتیجه فعالیت‌های متابولیکی سلول تولید می‌شوند، حفظ می‌کند (Luna et al., 2005). پراکسیداز نیز حجم زیادی از پراکسید هیدروژن را تجزیه می‌کند (Gulen et al., 2004). محققین در مطالعه تأثیر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت ذرت، افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز را گزارش کرده‌اند (Li-Ping et al., 2006).

کمبود مواد غذایی در خاک و عدم دسترسی کافی به مواد غذایی از عواملی هستند که اثرات تنش خشکی بر گیاه را تشدید می‌کنند. وجود مقادیر کافی عناصر غذایی در خاک و دسترسی مناسب گیاه به این عناصر می‌تواند در بهبود رشد و عملکرد گیاه بسیار مؤثر باشد. ازجمله عناصر موردنیاز گیاه می‌توان به عناصر پرمصرف و کم‌مصرفی مانند گوگرد و روی اشاره نمود که نقش بسزایی در تغذیه و فرآیندهای رشد گیاه دارند. کمبود گوگرد باعث کاهش بهره‌وری و کیفیت محصول می‌شود و از طرفی بر سلامت گیاه اثرگذار خواهد بود (Schnug, 1997). گوگرد در سنتز پروتئین نقش داشته و بخشی از آمینواسیدهای سیستئین، متیونین و پروتئین‌های حاصل از آن‌ها است. این آمینواسیدها، پیش‌ساز سایر ترکیبات گوگرددار، نظیر کوآنزیم‌ها می‌باشند. گوگرد به‌طور مستقیم در واکنش‌های متابولیکی گیاه نقش دارد (Khoshgoftarmanesh, 2007).

تقریباً ۴۰ درصد از جمعیت جهان از کمبود ریزمغذی‌ها رنج می‌برند (گرسنگی پنهان) که شامل روی نیز هست که کمبود آن مخصوصاً در خاک‌های مناطق خشک دنیا، به‌طور وسیعی مشاهده می‌گردد و حدود ۵۰ درصد از خاک‌های دنیا که در زراعت غلات مورداستفاده قرار می‌گیرد فاقد مقدار کافی روی برای مصرف این گیاهان هستند (Sanjay, 2004). گزارش شده است که از بین عناصر ریزمغذی، کمبود روی بیشترین مشکل را برای تولید محصول ایجاد می‌کند (Cakmak et al., 1996). نقش روی در بسیاری از سیستم‌های آنزیمی گیاهان به‌عنوان یک پل ارتباطی برای اتصال آنزیم به سوبسترا شناخته شده است (Abdl-hady, 2007). همچنین روی نقشی اساسی در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی سلول مثل فتوسنتز، متابولیسم اکسین و انتقال فسفات در گیاه دارد (Echavarri et al.,

www.SID.ir

Archive of SID

2008). بررسی‌ها نشان داده است برخلاف نظر متخصصان تغذیه در استفاده از شکل دارویی ریزمغذی‌ها که دارای آثار جانبی هستند، غنی‌سازی گیاه از طریق مصرف کودهای محتوی ریزمغذی‌ها یکی از بهترین و مناسب‌ترین راه‌ها برای تأمین عناصر ضروری بدن است (Malakouti and Lotfollahi, 2000).

با توجه به نیاز آبی ذرت و همچنین قرار گرفتن ایران در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، کمبود آب برای تولید مناسب ذرت از معضلات مهم کشور به شمار می‌آید (Dehshiri and Bahrampour, 2015). لذا نظر به اهمیت زراعت ذرت در کشور و روند رو به افزایش سطح زیر کشت آن و تمایل به افزایش تولید ذرت دانه‌ای در ایران، می‌توان با استفاده بهینه از منابع آبی و بهبود مکانیسم‌های مقاومت به تنش خشکی، سطح بیشتری از اراضی زراعی را زیر کشت برد. این مطالعه جهت بررسی تأثیر مصرف کودهای گوگرد و روی در تعدیل اثرات تنش خشکی روی ذرت و ارزیابی امکان تولید محصولی با عملکرد مناسب تحت شرایط کم‌آبیاری به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان انجام شد. بر اساس میانگین داده‌های هواشناسی (دوره ۱۲ ساله) میزان نزولات سالیانه در منطقه، ۴۹۲/۱ میلی‌متر در سال است. به‌منظور اجرای آزمایش، کرت‌های آزمایشی به مساحت حدود ۱۸/۷۵ مترمربع شامل پنج خط کاشت به طول پنج‌متر، بافاصله خطوط ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بذرها روی خطوط کاشت ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شدند (Nasri and Khalatbari, 2017). کشت در ۲۰ خردادماه ۱۳۸۹ به‌صورت کپه‌ای (سه عدد بذر ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ تهیه‌شده از بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر) انجام گرفت و پس از استقرار کامل گیاه (مرحله‌ی ۵-۴ برگی)، بوته‌های اضافه تنک شدند. نتایج تجزیه خاک مزرعه محل انجام آزمایش در جدول (۱) آمده است.

این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. آن‌ها سطوح آبیاری شامل شاهد (بعد از هر آبیاری، زمانی که پتانسیل آب خاک به ۲- بار رسید، آبیاری بعدی صورت گرفت)، تنش کمبود آب ملایم (آبیاری در پتانسیل آب خاک ۷- بار) و تنش کمبود آب شدید (آبیاری در پتانسیل آب خاک ۱۲- بار) بود (Amani et al., 2017) و سطوح فاکتورهای کودی شامل: (الف) کود گوگرد در دو سطح (بدون کود و مصرف ۳۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد خالص به‌صورت خاک کاربرد)، (ب) کود روی در دو سطح (بدون کود و مصرف یک کیلوگرم در هکتار کود روی به‌صورت محلول‌پاشی برگی) بودند که به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

بعداز انجام عملیات تنک کردن و یک‌بار آبیاری یکنواخت برای همه کرت‌ها جهت اطمینان از استقرار کامل بوته‌ها تیمارهای آبیاری اعمال گردید. برای تعیین میزان رطوبت خاک مزرعه، ابتدا منحنی رطوبتی خاک توسط دستگاه Pressure plate تعیین گردید و سپس با استفاده از روش وزنی، پتانسیل آب خاک تعیین شد و زمان آبیاری تیمارهای شاهد و تحت تنش خشکی مشخص گردید (شکل ۱) و از مرحله‌ی ۱۰-۹ برگی اعمال شد. جهت جلوگیری از اثرات سطوح آبیاری و کودها روی یکدیگر فاصله بین کرت‌ها و بلوک‌ها دو متر و فاصله بین کرت‌های فرعی (تیماری کودی) یک و نیم متر در نظر گرفته شد. زمان مصرف کودهای گوگرد و روی به این صورت بود که کود گوگرد قبل از کاشت در زیر خطوط کاشت با خاک دارای رطوبت کافی مخلوط گردید و محلول‌پاشی روی در مرحله شش برگی و چهارده برگی یعنی قبل و بعد از شروع تیمارهای تنش انجام گرفت. محصول ذرت در اول آبان ماه برداشت گردید.

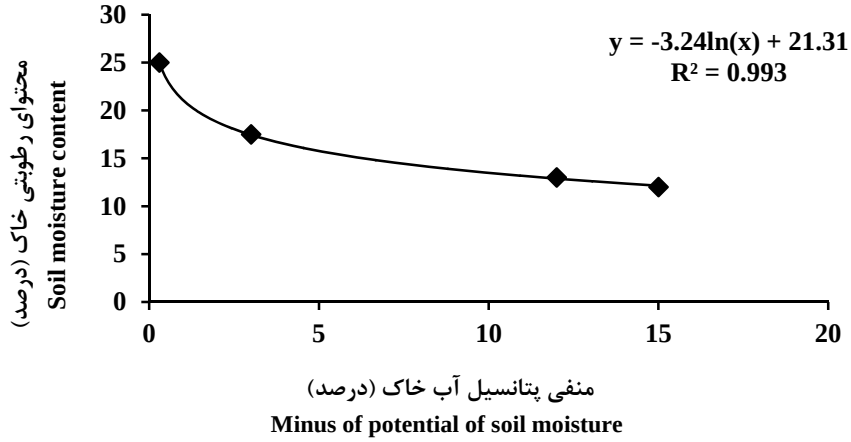
جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physiological and chemical characteristic of experimental location soil

بافت خاک	عمق		pH گل	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	گوگرد	روی	آهن	مس
Soil texture	Depth	EC	اشباع	N	P	K	S	Zn	Fe	Cu
لومی شنی	(cm)	(ds/m)		(%)	---------- (ppm) ----------					
Sandy loam	0-30	0.61	7.9	0.21	5.14	82.95	0.12	5.56	12.19	2.3

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. منحنی رطوبتی خاک مورد آزمایش **Fig. 1. Moisture curve of experimental soil**

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

در مرحله پایان گلدهی و شروع دانه‌بندی به‌طور روزانه، ساعات ۱۲-۱۰ در هر واحد آزمایشی پنج قطعه دو سانتی‌متری از قسمت میانی برگ پرچم تهیه و وزن‌تر آن‌ها با ترازوی با دقت یک‌هزارم گرم اندازه‌گیری گردید. سپس به مدت ۴ ساعت در داخل آب مقطر درون لوله‌های آزمایش قرار داده شدند. پس‌ازآن، سطح آن‌ها به‌آرامی با استفاده از کاغذ خشک‌کن خشک گردید و وزن تورژسانس آن‌ها تعیین شد. سپس نمونه‌های برگ در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. درنهایت محتوای نسبی آب برگ از طریق رابطه (۱) به دست آمد (Schonfeld et al., 1988).

$$RWC\ (\%) = \frac{\text{وزن خشک}-\text{وزن تورژسانس}}{\text{وزن خشک}-\text{وزن‌تر}} \times 100 \qquad [۱]$$

شاخص سبزینگی برگ

میزان شاخص سبزینگی برگ تیمارهای آزمایشی در شروع دانه‌بندی با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج SPAD ساخت شرکت کونیکا مینولتا سینسینگ ژاپن اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری میزان SPAD کلروفیل، ۱۰ برگ در هر واحد آزمایشی به مدت دو ثانیه درون چمبر دستگاه قرار داده شد و میانگین اعداد قرائت‌شده گزارش گردید.

میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ

به‌منظور اندازه‌گیری میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ ($\mu mol\ CO_2\ m^{-2}s^{-1}$) از دستگاه IRGA، مدل LCA4 ساخت کمپانی ADC کشور انگلستان استفاده شد.

پایداری غشای سلولی

اندازه‌گیری نشت یونی به‌روش لیو و همکاران (Luo et al., 2005) انجام شد.

$$EL\ (\%) = (EL0/EL1) \times 100 \qquad [۲]$$

در این معادله، EL، EL0 و EL1 به ترتیب نشت یونی، نشت یونی اولیه و نهایی است.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز

پروتئین برگ پرچم به روش برادفورد (Bradford, 1976) اندازه‌گیری شد. برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز از روش چنس و ماهلی (Chance and Maehly, 1995) استفاده گردید. تغییرات جذب در ۲۴۰ نانومتر به مدت ۶۰ ثانیه در ۲۵ درجه با استفاده از اسپکتروفوتومتر قرائت شد. سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز به روش مک‌آدام و همکاران (Mac Adam et al., 1992) صورت گرفت. مقدار جذب در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر به مدت ۱۸۰ ثانیه در ۲۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از اسپکتروفوتومتر قرائت گردید. در مورد هر دو آنزیم، تغییرات آنزیمی برحسب تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین بیان شد.

عملکرد دانه

به‌منظور تعیین عملکرد، پس از حذف اثر حاشیه‌ای، چهار مترمربع از هر کرت در مرحله رسیدگی با ظهور علائم رسیدگی، زمانی که رطوبت بذر حدود ۱۶-۱۵٪ بود برداشت گردید و پس از توزین و تعمیم آن به هکتار به‌صورت عملکرد در واحد هکتار بیان گردید.

www.SID.ir

Archive of SID

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری (SAS ۹,۱ انجام گرفت. میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال خطای پنج درصد مقایسه شدند. شکل‌ها و معادلات مربوط به روابط بین متغیرهای موردبررسی با استفاده از نرم‌افزار Excel تهیه گردید. با توجه به اینکه خطای کرت فرعی از کرت اصلی برای صفت محتوی نسبی آب برگ بزرگ‌تر بود، این خطا به اجزاء آن یعنی RB، RC، RAB، RAC و RBC تفکیک گردید (جدول ۲).

جدول ۲. تجزیه واریانس با خطای تفکیک‌شده برای صفت محتوی نسبی آب برگ ذرت که خطای کرت فرعی آن از خطای کرت اصلی بیشتر است.

Table 2. Analysis of variance with separated error for the relative water content trait of corn leaves, whose subplot error is greater than the original master plot error.

			میانگین مربعات (MS)
Source of variation	منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	محتوی نسبی آب برگ RWC
Block	بلوک	3	89.75
Irrigation levels	سطوح آبیاری	2	1682.77**
First error	خطای اول	6	132.41
Sulfur fertilizer	کود گوگرد	1	351.68*
Zinc fertilizer	کود روی	1	39.68
Irrigation levels×Sulfur	سطوح آبیاری×گوگرد	2	109.88
Irrigation levels×Zinc	سطوح آبیاری×روی	2	2.67
Sulfur×Zinc	گوگرد×روی	1	774.01**
Irrigation×Sulfur×Zinc	آبیاری×گوگرد×روی	2	148.21
Block×Sulfur	بلوک×گوگرد	3	197.47
Block×Zinc	بلوک×روی	3	223.06
Block×Irrigation×Sulfur	بلوک× آبیاری×گوگرد	6	233.03
Block×Irrigation×Zinc	بلوک× آبیاری×گوگرد	6	231.63
Block× Sulfur×Zinc	بلوک×گوگرد×روی	3	60.64
Block×Irrigation×Sulfur×Zinc	بلوک× آبیاری×گوگرد×روی	6	54.52
Coefficient of variation (%)	ضریب تغییرات (٪)		9.32

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار، در سطح احتمال خطای ۵ درصد و ۱ درصد است.

* and **, significant at P < 0.05 and P < 0.01, respectively.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

نتایج نشان داد تأثیر سطوح آبیاری و اثر هم‌زمان کاربرد کودهای گوگرد و روی بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال ۹۹ درصد و اثر کود گوگرد در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح آبیاری نشان داد گیاهان تحت آبیاری نرمال با میانگین ۸۸.۶۱ درصد، بیشترین محتوای نسبی آب برگ را داشتند و با افزایش تنش از میزان محتوای نسبی آب برگ کاسته شد، به‌طوری‌که تنش خشکی شدید (۱۲- بار) با میانگین ۶۸/۲۷ درصد، بیشترین کاهش را داشت (شکل ۲الف). کاهش آب برگ تحت شرایط تنش خشکی در گیاهان مختلف، در ارقام متحمل و حساس گندم به تنش خشکی (Chopra et al., 2006) و یونجه (Aranjuelo, 2007) گزارش شده است. گیاهان برای مقاومت در برابر تنش خشکی به جذب آب و تجمع محلول‌ها و تغییر دادن دیواره سلولی (سخت و ضخیم شدن دیواره سلولی) مبادرت می‌ورزند و برای جلوگیری از دهیدراسیون ناشی از کاهش آب از طریق به‌کارگیری

www.SID.ir

Archive of SID

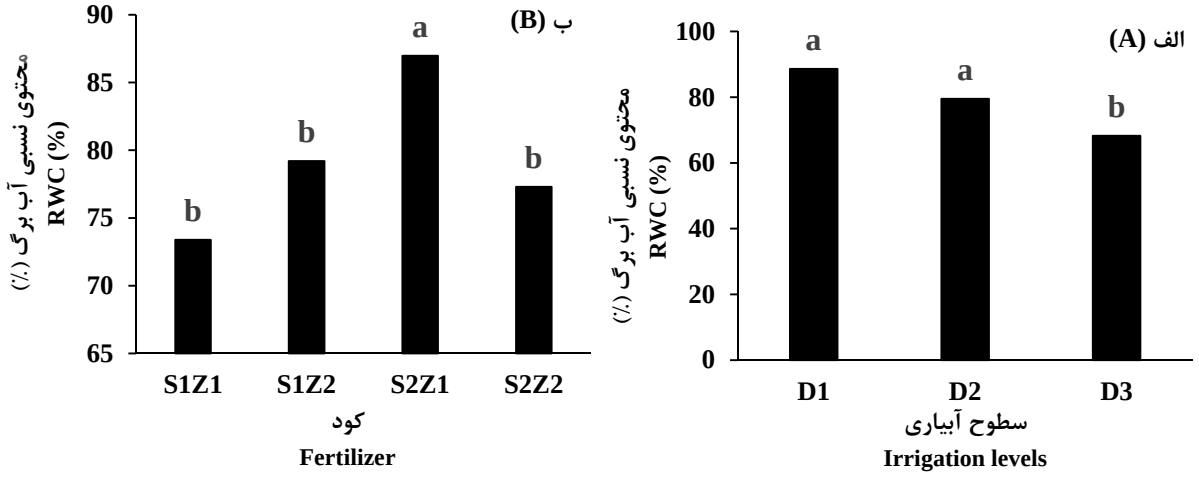
پروتئین‌های محافظتی و مکانیسم‌هایی که سبب مقاومت در برابر آسیب‌های وارده به سلول می‌شود و یا از طریق تعمیر آسیب‌های وارده به سلول با تنش خشکی مقابله می‌کنند. گیاه در برخورد با تنش خشکی، در مرحله اول با جذب آب و تغییر پتانسیل آب، بین تعرق و جذب آب تعادل ایجاد می‌کند و با ادامه تنش با تغییر در رشد ریشه و افزایش نسبت ریشه به ساقه، افزایش ظرفیت نگهداری آب بافت‌ها، افزایش نفوذپذیری ریشه به آب و افزایش ضخامت کوتیکول برگ‌ها میزان آب خود را کنترل می‌کند و برای حفظ آب در سلول های خود تغییراتی در ساختمان و متابولیت‌های خود مانند سخت شدن دیواره سلولی، تجمع موادی مانند پرولین و گلایسین بتائین و ثابت نگه‌داشتن فشار تورگر انجام می‌دهد (Verslues et al., 2006). در آزمایش حاضر، به نظر می‌رسد کاهش آب برگ به دلیل باز شدن روزنه‌ها و خروج آب به‌صورت تعرق از گیاه است و از طرف دیگر با خارج شدن آب از خاک و عدم جایگزینی آن، آب قابل‌استفاده گیاه در خاک کاهش می‌یابد و ریشه‌ها نمی‌توانند آب کافی را برای انجام فعالیت‌های متابولیکی گیاه از خاک جذب کنند و به عبارت بهتر، جذب آب کمتر از هدررفت آب است و آب خارج‌شده از گیاه جبران نمی‌گردد. به دنبال این مسئله، گیاه برای جلوگیری از هدررفت بیشتر آب روزنه‌های خود را می‌بندد که سبب کاهش یا توقف جریان آب از خاک به گیاه و به دنبال آن کاهش فشار تورگر و محتوی رطوبت نسبی آب برگ می‌شود (Beck et al., 2007). مقایسه میانگین اثر هم‌زمان کودهای گوگرد و روی نشان داد تیمار مصرف کود گوگرد و عدم مصرف روی با میانگین ۸۶/۹۸ درصد، بیشترین و تیمار عدم مصرف کودهای گوگرد و روی با میانگین ۷۳.۳۹، کمترین درصد آب برگ را دارا بودند (شکل ۲ب). پژوهشگران بیان کردند مصرف گوگرد به‌تنهایی باعث افزایش میزان جذب عناصر غذایی و فعالیت گیاه شده و گیاه آب بیشتری جذب می‌کند (Kochakzadh et al., 2001). حدود ۲۰ درصد از گوگرد آلی احیاشده گیاه در بخش تیول (SH-) محلول در آب است. گروه‌های تیول در پروتئین‌ها از تشکیل پت‌های دی سولفید، جلوگیری کرده و از این طریق، مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی، گرما و یخبندان را افزایش می‌دهد (Khoshgoftarmanesh, 2007). به نظر می‌رسد کاهش میزان آب برگ در تیمار مصرف هم‌زمان کودهای گوگرد و روی نسبت به مصرف گوگرد به‌تنهایی احتمالاً به دلیل فعالیت زیاد گیاه درنتیجه مصرف هم‌زمان گوگرد و روی و به‌تبع آن، مصرف بیشتر آب باشد که چون توسط ریشه جبران نمی‌شود به‌صورت کاهش محتوی آب برگ، خود را نشان می‌دهد (شکل ۲ب). عناصر گوگرد و روی هردو، نقش‌های مهمی در فعالیت‌های آنزیمی و متابولیکی گیاه ایفا می‌کنند و حضور کافی این عناصر در گیاه منجر به افزایش فعالیت‌های حیاتی گیاه می‌گردد (Echavarri, 2008; Rengel, 1995). گوگرد در سنتز پروتئین نقش دارد و جزئی از آمینواسیدهای سیستئین، متیونین و پروتئین‌های حاصل از آن‌ها است. این آمینواسیدها، پیش‌ساز سایر ترکیبات گوگرددار، نظیر کوآنزیم ها می‌باشند (Khoshgoftarmanesh, 2007). عنصر روی نیز نقش‌های متابولیکی مهمی را در گیاه ایفا می‌کند. نقش روی در بسیاری از سیستم‌های آنزیمی گیاهان به‌عنوان یک پل ارتباطی برای وصل کردن آنزیم به سوبسترا شناخته شده است (Abdl-hady, 2007). برخی از آنزیم‌ها مانند کربونیک آنهیدراز، کربوکسی پپتیداز، الکل دی هیدروژناز، فسفاتاز قلیایی، فسفولیپاز و RNA دیمراز، حاوی روی هستند. همچنین برخی از آنزیم‌ها ازجمله دی‌هیدروژناز، ایزومراز و ترانس‌فسفولاز توسط روی فعّال می‌شوند (Echavarri, 2008).

میزان فعالیت آنزیم کاتالاز

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر سطوح آبیاری، اثر هم‌زمان دوگانه سطوح آبیاری و کود گوگرد و اثر هم‌زمان سه‌گانه سطوح آبیاری و کودهای گوگرد و روی بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز گیاه ذرت در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر هم‌زمان سطوح آبیاری، کود گوگرد و کود روی بر فعالیت کاتالاز نشان داد مصرف گوگرد و روی باعث کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز تحت شرایط تنش خشکی گردید (شکل 3). کم‌آبیاری به‌شدت فعالیت‌های آنزیمی را کاهش می‌دهد. برای مثال این سازوکار در ذرت، موجب کاهش فعالیت آنزیم احیاکننده نیترات (نیترات رداکتاز) نسبت به آنزیم اکسیدکننده پراکسیداز می‌شود (Kasraei, 2012). همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهان تحت شرایط عدم مصرف کود و آبیاری کامل حاصل گردید. در حالت کلی، در شرایط تنش خشکی (متوسط و شدید) نیز، بالاترین مقادیر فعالیت کاتالاز در گیاهان ذرت دیده شد که برای آن‌ها کودی مصرف نگردیده بود.

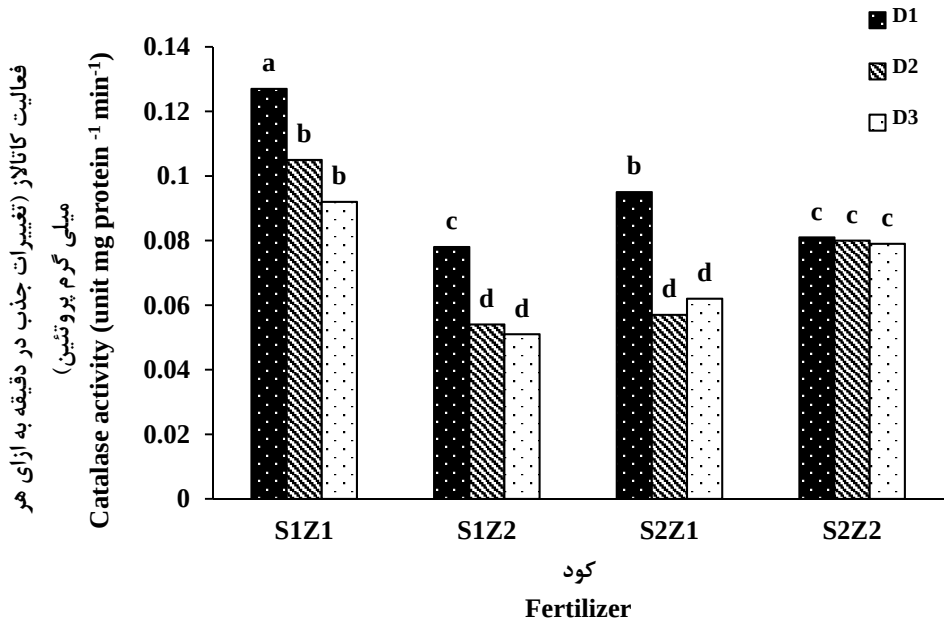
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری (D1 آبیاری کامل، D2 آبیاری در ۷- بار و D3 آبیاری در ۱۲- بار) (A) و اثر متقابل کود گوگرد (S1 عدم مصرف گوگرد و S2 مصرف ۳۰ کیلوگرم گوگرد) و کود روی (Z1 عدم مصرف روی و Z2 مصرف یک کیلوگرم روی) (B)، بر محتوای نسبی آب برگ ذرت.

Fig. 2. Comparison of means for effects of irrigation levels (D1: full irrigation, D2: irrigation in -7 bar and D3: irrigation in the -12 bar) and interaction effect between sulfur fertilizer (S1: non-consumption of sulfur and S2: consume 30 kg of sulfur) and zinc fertilizer (Z1: non-consumption and Z2: consume 1 kg of zinc) on Leaf Relative Water Content (LRWC) of corn.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر هم‌زمان سطوح آبیاری (D1 آبیاری کامل، D2 آبیاری در ۷- بار و D3 آبیاری در ۱۲- بار)، کود گوگرد (S1 عدم مصرف گوگرد و S2 مصرف ۳۰ کیلوگرم گوگرد) و کود روی (Z1 عدم مصرف روی و Z2 مصرف یک کیلوگرم روی)، بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در ذرت.

Fig. 3. Comparison of means for interaction effect between irrigation levels (D1: full irrigation, D2: irrigation in -7 bar and D3: irrigation in the -12 bar), sulfur fertilizer (S1: non-consumption of sulfur and S2: consume 30 kg of sulfur) and zinc fertilizer (Z1: non-consumption and Z2: consume 1 kg of zinc) on activity catalase enzyme rate in corn.

در این آزمایش، تغییرات فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و مصرف سطوح کودی بیانگر اثر بیشتر تیمار مصرف گوگرد بر فعالیت آنزیم کاتالاز بود (شکل ۳). کاربرد کود گوگرد یا کود روی و یا کاربرد هم‌زمان آن‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

فعالیت کاتالاز را نسبت به شاهد بدون کود کاهش داد (شکل ۴). در بیان علت این امر می‌توان اظهار داشت کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز ممکن است به دلیل کاهش میزان تولید H_2O_2 درنتیجه کاربرد این کودها باشد. حدود ۲۰ درصد از گوگرد آلی احیاء شده گیاه در بخش تیول (SH-) محلول در آب است. تری پپتید گلوتاتیون بیش از ۹۰ درصد بخش تیول را تشکیل می‌دهد (Rengel, 1995). گلوتاتیون و اسکوربات که هر دو آنتی‌اکسیدان می‌باشند در کلروپلاست قرار دارند و در کاهش سمیت رادیکال‌های اکسیژن و پراکسیدهیدروژن نقش کلیدی بر عهده دارند (Mittler, 2002). در مطالعه‌ای روی تأثیر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و پایداری غشا در ذرت بیان شد فعالیت کاتالاز در طول دوره گلدهی و خمیری دانه با افزایش تنش خشکی کاهش یافت (Li-Ping et al., 2006). در طی این مراحل فعالیت کاتالاز در تنش شدید، کمتر از تنش ملایم و در تنش ملایم کمتر از شاهد بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر هم‌زمان کودهای گوگرد و روی نشان داد عدم مصرف کود بیشترین افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز را در پی داشته است، درحالی‌که مصرف کود تأثیر معنی‌داری روی فعالیت آن نداشت (شکل ۴). فعالیت کاتالاز در گیاهان تحت تیمارهای مختلف کود روی و تنش خشکی تفاوت معنی‌داری نداشته است (Wang and Yin, 2007).

جدول ۳. تجزیه واریانس مقادیر صفت پایداری غشای سلولی ذرت در شرایط کاربرد و عدم کاربرد کودهای گوگرد و روی، تحت سطوح مختلف آبیاری.

Table 3. Analysis of variance for physiological traits and grain yield of corn under application of sulfur and zinc fertilizers and different irrigation levels.

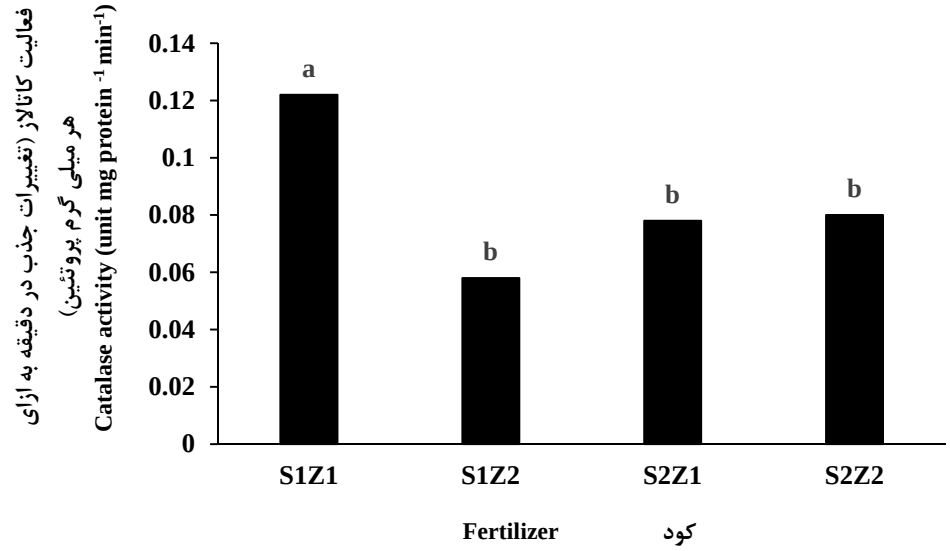
		میانگین مربعات (MS)					
Source of variance منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase	آسیب به غشای سلولی Damage percentage to cell membrane	شاخص سبزینگی SPAD index	فتوسنتز Photosynthesis	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block	3	0.0001	0.1152	20.36	67.70	59.15	158138.27
سطوح آبیاری Irrigation levels	2	0.0404*	2.4970**	13.81	691.71**	2328.52**	1680312.13*
خطای اول First error	6	0.0060	0. 8270	93.14	50.71	52.25	204787.53
کود گوگرد Sulfur fertilizer	1	0.0024	0.2206	929.19**	801.65**	3206.89**	818633.80**
کود روی Zinc fertilizer	1	0.0002	0.0005	350.87**	0.33	726.34**	5329.44
سطوح آبیاری×گوگرد Irrigation levels×Sulfur	2	0.0056	0.0057*	26.001	7.38	12.18	91100.60*
سطوح آبیاری×روی Irrigation levels×Zinc	2	0.0054	0.8752*	8.98	5.02	5.73	9363.64
گوگرد×روی Sulfur×Zinc	1	0.0511**	0.0304	68.28*	3.50	3.53	5455.04
آبیاری×گوگرد×روی Irrigation×Sulfur×Zinc	2	0.0163**	0.2679	0.63	4.54	11.84	371.10
خطای کل Total error	27	0.0024	0.1957	13.79	9.40	23.19	21949.81
ضریب تغییرات (٪) Coefficient variation (%)		*21.42*	*27.84*	*23.62*	*7.62*	*16.03*	*19.55*

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار، در سطح احتمال خطای ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشد.

* and **, significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر هم‌زمان کود گوگرد (S1 عدم مصرف گوگرد و S2 مصرف ۳۰ کیلوگرم گوگرد) و کود روی (Z1 عدم مصرف روی و Z2 مصرف یک کیلوگرم روی)، بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در ذرت.

Fig. 4. Comparison of means for interaction effect between sulfur fertilizer (S1: non-consumption of sulfur and S2: consume 30 kg of sulfur) and zinc fertilizer (Z1: non-consumption and Z2: consume 1 kg of zinc) on catalase enzyme activity rate in corn.

فعالیت آنزیم پراکسیداز

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به فعالیت آنزیم پراکسیداز نشان داد که اثر اصلی سطوح آبیاری در سطح احتمال ۹۹ درصد و اثر هم‌زمان سطوح آبیاری و کود گوگرد و اثر هم‌زمان سطوح آبیاری و کود روی، در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). نتایج گویای آن است که مصرف گوگرد در شرایط آبیاری نرمال باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز شد ولی در شرایط تنش خشکی ملایم و شدید تا حدودی باعث کاهش آن گردید، هرچند که این کاهش نسبت به شرایط عدم مصرف آن معنی‌دار نبود (شکل ۵الف). کاربرد روی در شرایط آبیاری فعالیت پراکسیداز را افزایش داد (Wang et al., 2007). در مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری و کود روی نیز تقریباً نتایج مشابهی به دست آمد با این تفاوت که در شرایط تنش ملایم خشکی، کاربرد روی نسبت به عدم کاربرد آن به‌طور معنی‌داری فعالیت آنزیم پراکسیداز را در ذرت کاهش داد (شکل ۵ب).

در بیان علت این امر ممکن است مصرف کود روی در کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن نقش داشته باشد و نیاز به فعالیت پراکسیداز جهت تجزیه آن‌ها را کاهش دهد؛ بنابراین احتمالاً کاربرد این کود باعث کاهش اثرات تنش خشکی در ذرت شده است و نیاز به تولید پراکسیداز را کاهش داده است. افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در مطالعه تأثیر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت ذرت گزارش شد (Li-Ping et al., 2006). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به‌جز کاتالاز در مطالعات مختلف در پاسخ به شرایط تنش، مشخص می‌کند این آنزیم‌ها از طریق تجزیه گونه‌های فعال اکسیژن نقش مهمی در محافظت گیاه از آسیب‌های سمی این گونه‌های اکسیژن دارند، اما نتایج نشان داده است افزایش شدت تنش خشکی باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت می‌شود (Apostolova et al., 2006).

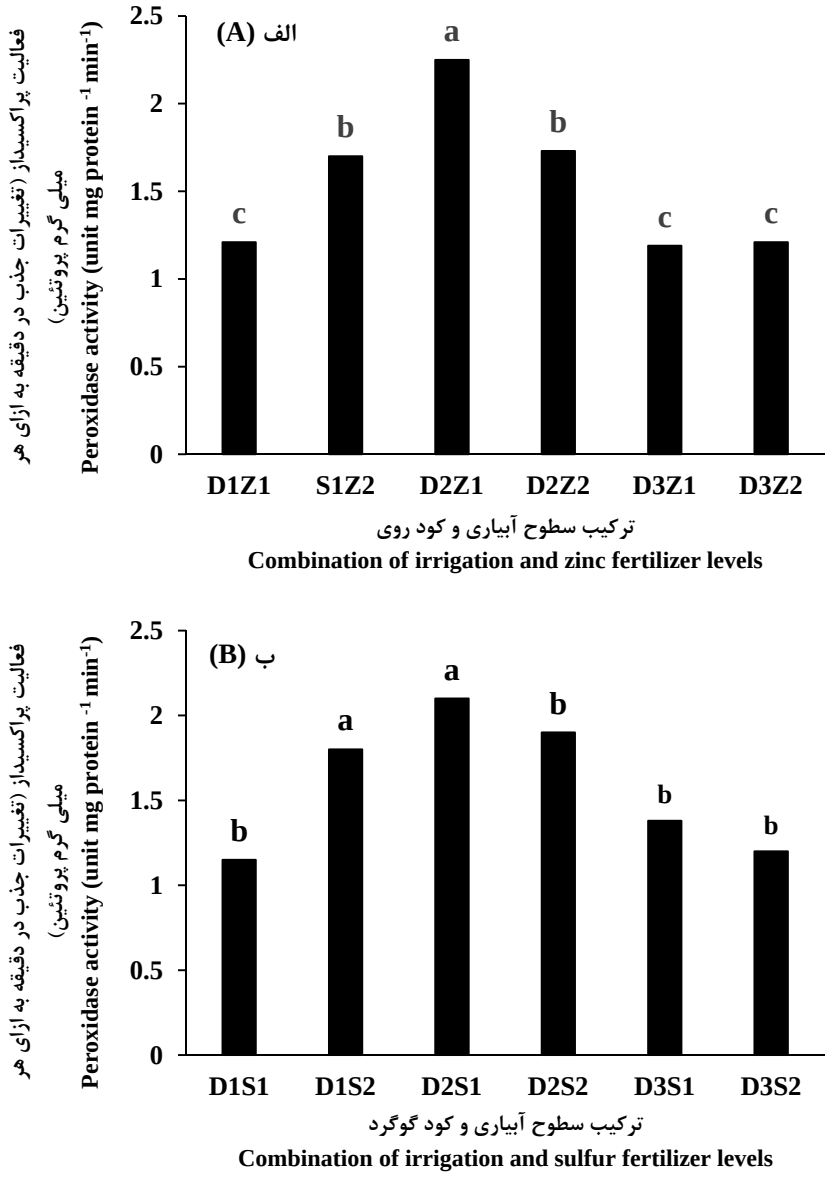
درصد آسیب به غشای سلولی

نتایج این بررسی نشان داد اثرات اصلی کاربرد کودهای گوگرد و روی در سطح احتمال ۹۹ درصد و کاربرد هم‌زمان کودهای گوگرد و روی در سطح احتمال ۹۵ درصد این صفت را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۳). مقایسه میانگین صفت درصد آسیب به غشای سلولی در شکل ۱۰ ارائه شده است. گیاهان تحت تیمار عدم مصرف گوگرد و روی با میانگین ۲۴/۰۲ درصد، بیشترین آسیب به غشا و گیاهان تحت تیمار مصرف کودهای گوگرد و روی با میانگین ۹/۸۱ درصد، کمترین آسیب به غشا را دارا بودند. در این میان، تیمارهای مصرف کود روی و عدم مصرف گوگرد و مصرف کود گوگرد و عدم مصرف روی کمتر از تیمار شاهد و بیشتر از تیمار مصرف هم‌زمان کودهای

www.SID.ir

Archive of SID

گوگرد و روی، آسیب به غشا را نشان دادند (شکل ۶). نقش اصلی روی در حفظ استحکام دیواره‌های سلولی است (Cakmak et al., 1998). این توانایی، با محافظت پروتئین‌های دیواره و لیپیدها از اثرات مخرب رادیکال‌های سوپراکسید و مشتقات واکنش‌های رداکس سوپراکسید دیسموتاز (SOD) صورت می‌گیرد که می‌تواند رادیکال‌های آزاد را از بین ببرد.

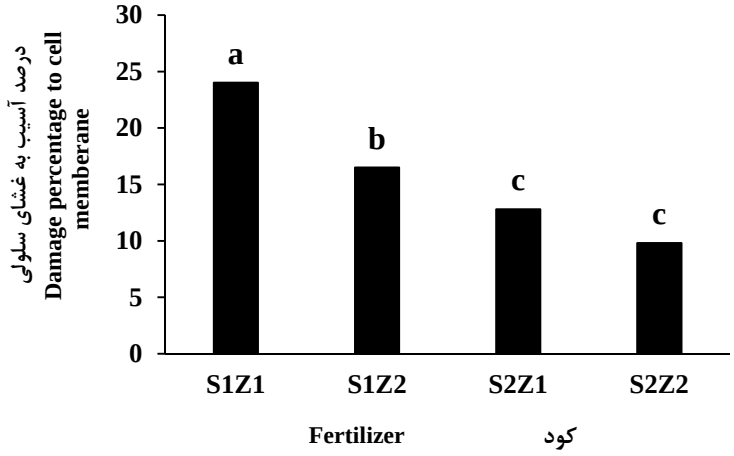


شکل ۵. مقایسه میانگین اثر هم‌زمان سطوح آبیاری (D1 آبیاری کامل، D2 آبیاری در ۷- بار و D3 آبیاری در ۱۲- بار) و کود گوگرد (S1 عدم مصرف گوگرد و S2 مصرف ۳۰ کیلوگرم گوگرد) (A) و اثر هم‌زمان سطوح آبیاری و کود روی (Z1 عدم مصرف روی و Z2 مصرف یک کیلوگرم روی) (B)، بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز ذرت.

Fig. 5. Comparison of means for interaction effect between irrigation levels (D1: full irrigation, D2: irrigation in -7 bar and D3: irrigation in the -12 bar) and sulfur fertilizer (S1: non-consumption of sulfur and S2: consume 30 kg of sulfur) (A), and interaction effect between irrigation levels and zinc fertilizer (Z1: non-consumption and Z2: consume 1 kg of zinc) (B) on enzyme rate in corn.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل کود گوگرد (S1 عدم مصرف گوگرد و S2 مصرف ۳۰ کیلوگرم گوگرد) و کود روی (Z1 عدم مصرف روی و Z2 مصرف یک کیلوگرم روی)، بر پایداری غشای سلولی ذرت.

Fig. 6. Comparison of means for interaction effect between sulfur fertilizer (S1: non-consumption of sulfur and S2: consume 30 kg of sulfur) and zinc fertilizer (Z1: non-consumption and Z2: consume 1 kg of zinc) on in corn.

با توجه به مطالب بیان‌شده، برتری تیمار مصرف کود روی و عدم مصرف گوگرد نسبت به شاهد به نقش روی در پروتئین‌های غشا و همچنین کاهش خسارت رادیکال‌های آزاد اکسیژن برمی‌گردد. برتری تیمار مصرف گوگرد و عدم مصرف روی نیز به نقش گوگرد در پروتئین‌های غشا و اثر گوگرد بر لیپیدها مربوط است. برتری زیاد تیمار مصرف کودهای گوگرد و روی به اثر هم‌زمان آن‌ها در غشا به‌واسطه ترکیبات تتراهدرال و نقش کاتالیزوری و ساختمانی آن‌ها در واکنش‌های آنزیمی است (Cakmak et al., 1998).

شاخص سبزینگی برگ

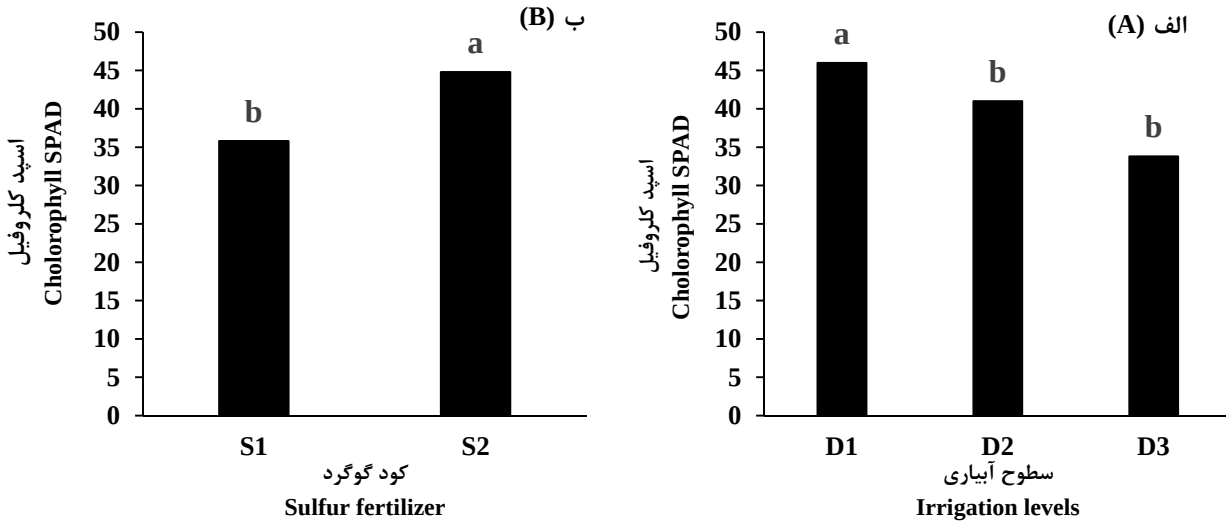
نتایج تجزیه واریانس میزان کلروفیل بر اساس عدد SPAD نشان داد اثرات اصلی سطوح آبیاری و کود گوگرد در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسات میانگین سطوح آبیاری بیانگر آن است که افزایش میزان تنش خشکی در ذرت باعث کاهش شاخص کلروفیل SPAD شده است، به‌طوری‌که تنش شدید خشکی سبب کاهش ۲۸/۹۸ درصدی عدد SPAD کلروفیل نسبت به شاهد گردیده است (شکل ۷الف). کاهش کلروفیل معمولاً به آسیب غشا سلولی و غشاهای تیلاکوئیدی و حساسیت برگ‌ها نسبت داده‌می‌شود (Zhao et al., 2007). درنتیجه می‌توان اظهار داشت با افزایش آسیب به غشا و افزایش میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی میزان تخریب کلروفیل افزایش پیدا کرده است و میزان کلروفیل SPAD کاهش یافته است. مقایسه میانگین سطوح مصرف کود گوگرد نشان داد مصرف کود گوگرد باعث افزایش عدد SPAD به میزان ۱۷/۸۸ درصد شده است (شکل ۷ب) که می‌تواند به علت نقش این عنصر در متابولیسم نیتروژن و ساخت کلروفیل در گیاه باشد.

میزان فتوسنتز

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به فتوسنتز نشان داد اثر ساده سطوح آبیاری، کاربرد کود گوگرد و کاربرد کود روی در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). نتایج مقایسات میانگین بیانگر آن است که تنش شدید خشکی اثر زیادی بر فتوسنتز داشته است (شکل ۸)، به‌طوری‌که باعث کاهش 2442. درصدی میزان فتوسنتز شده است. شواهد بیانگر تأثیر مستقیم تنش رطوبتی بر بیوشیمی کلروپلاست نظیر کاهش فعالیت فتوسیستم I و II، بازدارندگی سیکل کالوین و کاهش فسفوریلاسیون نوری است. کاهش فتوسنتز می‌تواند به عوامل روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای نسبت داده شود (Wajid et al., 2007). بسته شدن روزنه‌ها از اولین پاسخ‌های گیاه به تنش خشکی است و به نظر می‌رسد عمده‌ترین دلیل کاهش فتوسنتز در اثر تنش خشکی باشد، زیرا بسته شدن روزنه، قابلیت دسترسی سلول‌های مزوفیلی را به دی‌اکسید کربن محدود کند (Moradi et al., 2005).

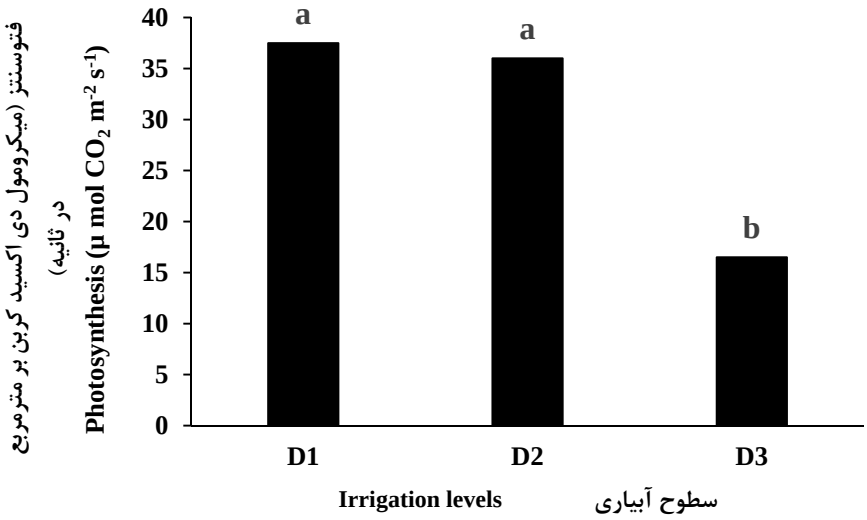
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری (D1 آبیاری کامل، D2 آبیاری در ۷- بار و D3 آبیاری در ۱۲- بار) (A) و کود گوگرد (S1 عدم مصرف گوگرد و S2 مصرف ۳۰ کیلوگرم گوگرد) (B)، بر SPAD کلروفیل برگ ذرت.

Fig. 7. Comparison of means for effects of irrigation levels (D1: full irrigation, D2: irrigation in -7 bar and D3: irrigation in the -12 bar)(A), and sulfur fertilizer (S1: non-consumption of sulfur and S2: consume 30 kg of sulfur) on cholorophyll SPAD in leaves of corn.



شکل ۸. مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری (D1 آبیاری کامل، D2 آبیاری در ۷- بار و D3 آبیاری در ۱۲- بار) بر میزان سرعت فتوسنتز ذرت.

Fig. 8. Comparison of means for effects of irrigation levels (D1: full irrigation, D2: irrigation in -7 bar and D3: irrigation in the -12 bar) on photosynthesis rate in corn.

مقایسه میانگین داده‌های مربوط به اثر کود گوگرد بر میزان فتوسنتز گیاه ذرت نشان می‌دهد مصرف کود گوگرد باعث افزایش ۴۳.۷۴ درصدی میزان فتوسنتز نسبت به عدم مصرف آن شده است (شکل 9الف). با مصرف گوگرد، نسبت بین نیتروژن و گوگرد در گیاه تغییر کرده و گیاه توانایی کافی برای جذب فوتون‌های دریافتی و استفاده از آن‌ها در فتوسنتز را به نحو بهتری خواهد داشت. در این تیمارها با افزایش شار فوتون‌ها، امکان استفاده از انرژی آن‌ها جهت فعالیت فتوسنتزی میسر شده و گیاه دیرتر به اشباع نوری می‌رسد. همچنین مصرف کود روی نیز باعث افزایش ۲۲.۹۳ درصدی میزان فتوسنتز نسبت به عدم مصرف آن شده است (شکل ۹ب).

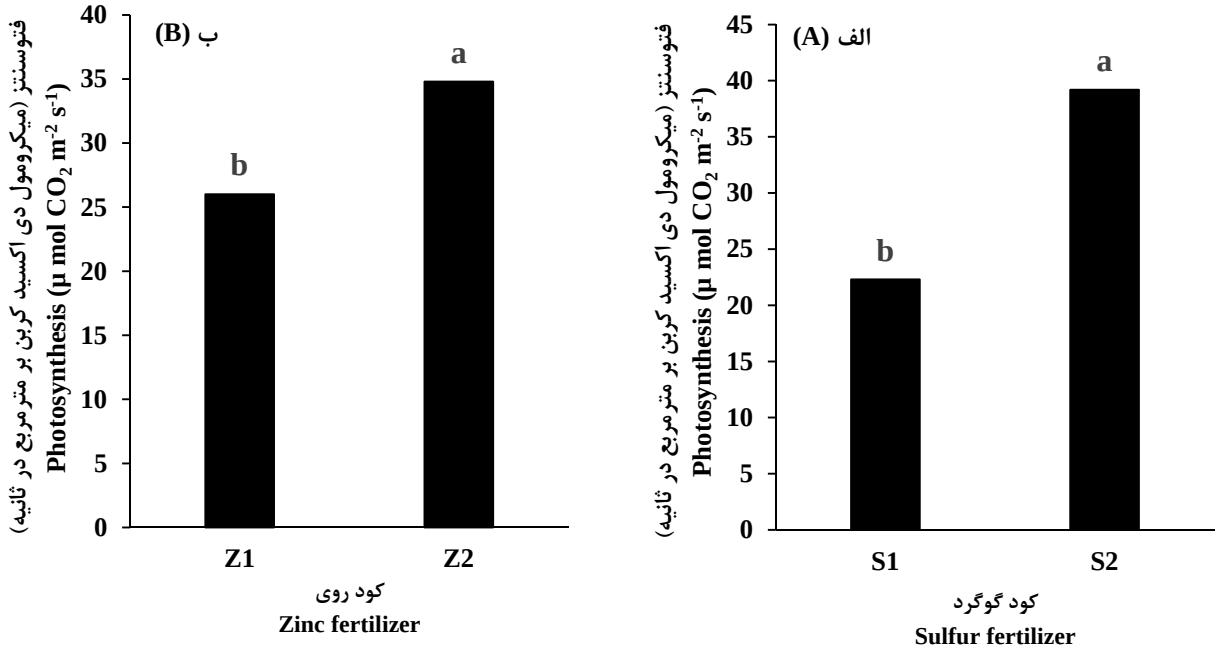
www.SID.ir

Archive of SID

کود روی ممکن است از طریق افزایش جذب پتاسیم (K) توسط ریشه و افزایش غلظت آن در سلول‌های محافظ روزنه، باعث تورژسانس سلول‌های محافظ روزنه شود و درنتیجه به باز شدن روزنه‌ها و افزایش فتوسنتز و تعرق منجر گردد (Sharma et al., 1995). با مطالعه تأثیر کود روی و رطوبت خاک بر پارامترهای فتوسنتزی و کلروفیل گیاه ذرت به این نتیجه رسیدند رطوبت نسبی و پتانسیل آب برگ تحت تأثیر تیمارهای کود روی قرار نگرفتند، ولی کاربرد روی تحت شرایط بدون تنش خشکی، باعث افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی، هدایت روزنه‌ای و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II گردید (Wang et al., 2009).

عملکرد دانه

اثر ساده کاربرد کود گوگرد در سطح احتمال خطای یک درصد و اثر ساده سطوح آبیاری و اثر هم‌زمان سطوح مختلف آبیاری و کاربرد کود گوگرد به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال خطای پنج درصد عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۳). تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه گردید به‌طوری‌که حداکثر عملکرد دانه به میزان 1305.21 گرم در مترمربع در شرایط آبیاری مطلوب و مصرف کود گوگرد و حداقل آن به میزان ۵۱۹.۶۱ گرم در مترمربع در شرایط تنش شدید خشکی هم‌زمان با عدم مصرف گوگرد حاصل گردید (جدول ۴). کاهش عملکرد در تیمار تنش شدید را می‌توان به علت کاهش محتوای نسبی آب برگ، کاهش سطح برگ و فتوسنتز (شکل‌های ۱ و ۷) دانست که باعث کاهش تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه (داده‌ها ارائه نشده است) گردید. در تنش شدید، روزنه‌ها بسته شد و این امر جذب دی‌اکسید کربن و تولید ماده خشک را کاهش داد و تداوم تنش کاهش شدید میزان فتوسنتز جاری را به دنبال داشت (شکل ۸). دلیل کاهش وزن دانه ممکن است به علت کاهش تعداد سلول‌های آندوسپرمی تولیدشده در مرحله پر شدن دانه باشد؛ زیرا که بیشترین اثر تنش خشکی روی وزن دانه، در مدت پر شدن دانه است و تنش‌هایی که بعد از کاکل دهی به وقوع می‌پیوندند باعث کوچک شدن دانه‌ها می‌شود. از طرف دیگر عدم نمو دانه پس از گرده‌افشانی و باروری را می‌توان از دلایل کاهش عملکرد دانه ذکر کرد (Mahrokh et al., 2016).



شکل ۹. مقایسه میانگین اثر ساده کود گوگرد (S1 عدم مصرف گوگرد و S2 مصرف ۳۰ کیلوگرم گوگرد) (A) و کود روی (Z1 عدم مصرف روی و Z2 مصرف یک کیلوگرم روی) (B)، بر میزان سرعت فتوسنتز ذرت.

Fig. 9. Comparison of means for effect of sulfur fertilizer (S1: non-consumption of sulfur and S2: consume 30 kg of sulfur) (A), and zinc fertilizer (Z1: non-consumption and Z2: consume 1 kg of zinc) (B), on photosynthesis rate in corn.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج حاکی از آن بود که مصرف گوگرد در شرایط تنش شدید خشکی باعث افزایش ۵.۳۸ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شرایط عدم مصرف آن گردید (جدول ۴). محققین اظهار داشته‌اند پراکسیداسیون لیپیدی غشا، ناشی از تنش خشکی، یکپارچگی غشای سلول‌های گیاهی را از بین می‌برد و سبب نشت محلول‌ها از اندامک‌ها و سلول‌ها و به هم خوردن تعادل متابولیکی سلول‌ها می‌شود (Valentovič et al., 2006). لذا بخشی از افزایش عملکرد حاصل از مصرف گوگرد به دلیل افزایش پایداری غشا و به‌تبع آن بهبود فعالیت‌های متابولیکی سلول‌های گیاه و همچنین افزایش محتوای نسبی آب برگ و فتوسنتز (شکل‌های ۲، ۶ و ۹) و درنتیجه، افزایش مقادیر اجزای عملکرد بود که ممکن است با جذب مواد مغذی بیشتر درنتیجه مصرف گوگرد و قوی بودن بلال به‌عنوان مقصد اصلی مواد فتوسنتزی نیز در ارتباط باشد. کاربرد کود گوگرد از طریق افزایش جذب عناصر توسط گیاه قبل از تشدید تنش و حتی بعدازآن باعث افزایش فتوسنتز و تولید ماده خشک بیشتر گردید و از این طریق، اثرات تنش خشکی بر عملکرد گیاه را کاهش داد.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح آبیاری و کود گوگرد بر صفت عملکرد دانه گیاه ذرت

Table 4. Comparison of means for interaction effects of irrigation levels on grain yield trait in corn plant

Irrigation levels	سطوح آبیاری	Sulfur fertilizer	کود گوگرد	عملکرد دانه Grain yield g/m²
Normal irrigation (Irrigation in -2 bar)	آبیاری نرمال (آبیاری در ۲- بار)	Non-aplication	عدم مصرف	870.70[b]
		Aplication (30 kg/ha)	مصرف (30 kg/ha)	1305.21[a]
Moderate drought stress (Irrigation in -7 bar)	تنش ملایم خشکی (آبیاری در ۷- بار)	Non-aplication	عدم مصرف	650.72[c]
		Aplication (30 kg/ha)	مصرف (30 kg/ha)	840.89[b]
Severe drought stress (Irrigation in -12 bar)	تنش شدید خشکی (آبیاری در ۱۲- بار)	Non-aplication	عدم مصرف	360.72[d]
		Aplication (30 kg/ha)	مصرف (30 kg/ha)	519.61[c]

حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای پنج درصد است.

Different letters in each column indicate a significant difference at the 5% probability level.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاضر نشان داد تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ، فتوسنتز و به‌تبع آن‌ها کاهش عملکرد دانه ذرت گردید و افزایش شدت تنش خشکی، این صفات را به میزان بیشتری کاهش داد. کاربرد کود گوگرد باعث افزایش مقادیر این صفات و کاهش درصد آسیب به غشای سلولی و همچنین کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز گردید. مصرف کود روی نیز باعث افزایش میزان فتوسنتز گیاه و کاهش درصد آسیب به غشای سلولی شد اما اثر مثبت آن بر این صفات کمتر از گوگرد بود. تأثیر مثبت کاربرد کود روی در کاهش اثرات تنش خشکی، بیشتر در تنش ملایم خشکی ملاحظه گردید و در شرایط تنش شدید خشکی، نتوانست تأثیر مثبت قابل‌ملاحظه‌ای داشته باشد. همچنین، نتایج نشان داد حداکثر عملکرد دانه ذرت در تیمار آبیاری کامل و مصرف کود گوگرد به دست آمد. این درحالی‌که بود که کمترین عملکرد دانه در ذرت‌های تحت تیمار عدم مصرف کود و در شرایط تنش شدید خشکی به دست آمد. کاربرد گوگرد در همه سطوح آبیاری موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت گردید. درواقع می‌توان اظهار داشت استفاده از کود گوگرد و روی اگرچه باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت گردید، اما نتوانست از کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش جلوگیری نماید و در حقیقت تا حدودی اثر تنش خشکی بر گیاه را تعدیل نمود.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

Abdl-hady, B.A., 2007. Effect of zinc application on growth and nutrient uptake of barley plant irrigaited with saline water. Journal of Applied Science Research. 3(6), 431-436.

Agarwal, S., Pandey, V., 2004. Antioxidant enzyme resposes to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. Plant Biology. 48, 555-560.

Amani, N., Sohrabi, Y., Heidari, Gh., 2017. Yield and some physiological characteristics in maize by application of bio and chemical fertilizers under drought levels. Agricultural Science and Sustainable Production. 27(2), 65-83.

Apostolova, P., Yaneva, I., 2006. Antioxidative defence in winter wheat plants during early cold acclimation. Journal of Plant Physiology. Special Issue, 101-108.

Aranjuelo, I., Irigoyen, J.J., Dıaz, M.S., 2007. Effect of elevated temperature and water availability on co_2 exchange and nitrogen fixation of nodulated alfalfa plants. Environmental and Experimental Botany. 59, 99-108.

Beck, E.H., Fettig, S., Knake, C., Hartig, K., Bhattarai, T., 2007. Specific and unspecific responses of plants to cold and drought stress. Journal of Bioscience. 32, 501-510.

Blum, A., 1996. Crop response to drought and the interpretation adaptation. Plant Growth Regulation. 20, 135-148.

Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry. 72, 248-254.

Cakmak, I., Marschner, H., 1998. Enhanced superoxide radical production in roots of zinc deficient plants. Journal of Experimental Botany. 39, 1449-1460.

Cakmak, I., Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Erenoglu, B., Braun, H.J., 1996. Zinc deficiency as a critical nutritional problem in wheat production in central Anatolia. Plant and Soil. 180, 165-172.

Chance, B., Maehly A.C., 1995. Assay of catalase and peroxidase. In: Colowick, S.P., Kaplan, N.D. (eds.). Methods in Enzymology. Academic Press. New York 2, 764-791.

Chopra, R.K., Selote, D.S., 2006. Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought resistant than susceptible wheat cultivar under field conditions. Environmental and Experimental Botany. 60, 276-283.

Delshiri, M.R., Bahrampour, T., 2015. Genotype×environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. Cereal Research Journal. 5(1), 83-94. [In Persian with English Summary].

Echavarri, B., Sorino, M., Cistue, L., Valles, M. P., Castillo, M., 2008. Zinc sulphate improved microspore embryogenesis in barley. Plant Cell Tissue and Organ Culture. 93, 295-301.

Emam, Y., 2003. Cereal Cultivation. Shiraz University Press. 173p. [In Persian].

Gulen, H., Eris, A., 2004. Effect of heat stress on peroxidase activity and total protein content in strawberry plants. Plant Science. 166, 739-744.

Harrison, M.T., Tardieu, F., Dong, Z., Messina, C.D., Hammer, G.L., 2014. Characterizing drought stress and trait influence on maize yield under current and future conditions. Global Change Biology. 20, 867-878.

Kasraie, P., Nasri, M., Khalatbari, M., 2012. The effects of time spraying amino acid on water deficit stress on yield, yield component and some physiological characteristics of grain corn (TWC647). Annals of Biological Research. 3(9), 4282-4286.

Khodabandeh, N., 1995. Cereals. Tehran University Press. [In Persian].

Khoshgoftarmanesh, A.D., 2007. Plant Nutrition. Publication Center, Isfahan University. [In Persian].

Kochakzadh, Y., Mslskoti, M.G., Khavari, K., 2001. Evaluate the role sulfur, Thiobacillus, regulators solution phosphate and organic matter in the soil phosphate supply P for corn. Journal of Soil and Water. 12(14), 250-243. [In Persian with English Summary].

Li-Ping, B., Fang-Gong, S., Ti-Da, G., Zhao-Hui, S., Yin-Yan, L., Guang-Sheng, Z., 2006. Effect of soil drought stress on leaf water status, membrane permeability and enzymatic antioxidant system of maize. Pedosphere. 16, 326-332.

Luna, C.M., Pastori, G.M., Driscoll, S., Groten, K., Bernard, S., Foyer, C.H., 2005. Drought controls on H_2O_2 accumulation, catalase (CAT) activity and CAT gene expression in wheat. Journal of Experimental Botany. 56, 417-423.

www.SID.ir

Archive of SID

Luo, Q.Y., Yu, B.J., Liu, Y.L., 2005. Differential sensitivity to chloride and sodium ions in seedlings of Glycine max and Glycine soja under NaCl stress. Plant Physiology. 162, 1003-1012

Mac Adam, J.W., Nelson, C.J., Sharp, R.E., 1992. Peroxidase Activity in the leaf elongation zone of tallfescue. Plant Physiology. 99, 872-878.

Mahrokh, A., Nabi Pour, M., Roshanfekr Dezfuli, H.A., Choukan, R., 2016. Evaluation of relationship between auxin and cytokinine hormones on yield and yield components of maize under drought stress condition. Iranian Journal of Field Crops Research. 14(2), 266-278. [In Persian with English Summary].

Malakouti, M.M., Lotfollahi, M.A., 1999. The role of zinc on the improvement of the quality and yield of agricultural crops and enhancement of people's health- Zinc the neglected elements. Agricultural Education Distributor, Ministry of Agriculture. Karaj, Iran, 193p. [In Persian].

Mittler, R., 2002. Oxidative stress, antioxidant and stress tolerance. Annual Review of Plant Science. 7, 405-415.

Moradi, A.S., Ahmadi, P., Goodi, M., 2005. Photosynthesis and stomatal conductance reactions to severe stress and mild drought at different growth stages. The first National Conference on Cereals. Research Institute of Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian].

Moradi, P., Ford-Lioyd, B., Pritchard, J., 2017. Metabolomic approach reveals the biochemical mechanisms underlying drought stress tolerance in thyme. Analytical Biochemistry. 527, 49-62.

Nasri, M., Khalatbari, M., 2017. Effect of thiobacillus Bacteria and sulfur on yield and bioshimical characterestics of grain corn (Maxima hybrid) under deficit irrigation condition in Varamin region. Crop Physiology Journal. 8(29), 89-103. [In Persian with English summary].

Noormohammadi, G.H., Saiadat, A., Kashani, A., 1997. Cereal Cultivation. University of Shahid Chamran of Ahwaz. 394 p. [In Persian].

Qi, B.Z., 1989. The effect of sulphur nutrient of some physiological parameters in relation to carbon and nitrogen metabolism in wheat and maize. Acta Agronomica Sinica. 15, 31-35.

Per, T.S., Iqbal, M., Khan, R., Anjum, N.A., Masood, A., Hussaina, S.J., Khan, N., 2018. Jasmonates in plants under abiotic stresses: Crosstalk with other phytohormones matters. Environmental and Experimental Botany. 145, 104-120.

Ping, B., Fang-Gong, S., Ti-Da, G., Zhao-Hui, S., Yin-Yan, L., Guang-Sheng, Z., 2006. Effect of soil drought stress on leaf water status, membrane permeability and enzymatic antioxidant system of maize. Pedosphere. 16, 326-332.

Rengel, Z., 1995. Sulfhydryl groups in root-cell plasma membranes of wheat genotypes differing in Zn efficiency. Physiologia Planturam. 95, 604-612.

Ribaut, J.M., Betran, J., Monneveux, P., Setter, T., 2012. Drought tolerance in maize. In: Bennetzen, J.L., Hake, S.C. (Eds.), Handbook of Maize: Its Biology. Springer, New York, pp. 11-34.

Sairam, R.K., Srivastava, G.C., 2002. Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. Plant Science. 162, 897-907.

Sanjay, A., Singh, M., 2004. Interaction effect of zinc and nitrogen on growth and yield of barley (*Hordeum vulgare* L.) on typic ustipsamments. Asian Journal Plant Science. 3(1), 101-103.

Schnug, E., 1997. Significance of sulphur for the quality of domesticated plants. In: Cram, W.J., De Kok, L.J., Brunold, C., Rennenberg, H. (Eds.), Sulphur Metabolism in Higher Plants: Molecular, Ecophysiological and Nutritional Aspects; Backhuys Publishers: Leiden., pp. 109-130.

Schonfeld, M.A., Johnson, R.C., Carver, B.F., Mornhinweg, D.W., 1988. Water relations inwinter wheat as drought resistance indicators. Crop Science. 28, 526-531.

Sepehr, A., Modarressanavi, A.M., Ghareyazi, B., Yamini, Y., 2002. Effect of water deficit and different nitrogen rates on growth and development stages, yield and yield component of maize (*Zea mays* L.). 4, 120-135. [In Persian with English summary].

Sharma, P.N., Tripathi, A., Bisht, S.S., 1995. Zinc requirement for stomatal opening in cauliflower. Plant Physiology. 107, 751-756.

Tripathy, J. N., Zhang, J., Robin, S., Nguyen, T.T., Nguyen, H.T., 2000. QTLs for cell-

www.SID.ir

Archive of SID

membrane stability mapped in rice (*Oryza sativa* L.) under drought stress. Plant Breeding, Genetics and Biochemistry Division. 100, 1197-1202.

Valentovič, P., Luxova, M., Kolarovic, L., Gasparikova, O., 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. Plant, Soil and Environment. 52(4), 186-191.

Verslues. P.E., Agarwal, M., Agarwal, S.K., Zhu, J., Zhu, J.K., 2006. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. The Plant Journal. 45, 523-539.

Wajid, A., Hussain, K., Maqsood, M., Ahmad, A., Hussain, A., 2007. Influence of drought on water use efficiency in wheat in semi-arid regions of Panjab. Soil and Environments. 26(1), 64-68.

Wang, H., Yin, J.J., 2007. Effects of zinc deficiency and drought on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea Mays* L.). Agricultural Sciences in Chian. 6(8), 988-995.

Wang, H., Liu, R.L., Jin, J.Y., 2009. Effects of zinc and soil moisture on photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence parameters of maize. Biologia Plantarum. 53(1), 191-194.

Wang, W., Vinocur, B., Altman, A., 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. Food and Environmental Quality Sciences, Planta. 218, 1-14.

Zhao, H., Dai, T., Jing, Q., Jiang, D., Cao, W., 2007. Leaf senescence and grain filling affected by post-anthesis high temperatures in two different wheat cultivars. Plant Growth Regultion. 51, 149-158.

www.SID.ir