نشریه علمی ـ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد دوازدهم، شماره ۱(۴۵)، بهار ۱۳۹۷، صفحه ۳۶-۲۱

واکنش گندم (*Triticum aestivum* L.) به مصرف سلنیوم در شرایط آبیاری نرمال و تنش کمبود آب

محمدرضا دادنیا [۱]*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۳۰ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۱۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱/۲۸

چکیده

به‌منظور بررسی واکنش واریته کرج ۱ گندم نسبت به محلول‌پاشی سلنیوم (از منبع سدیم سلنات) روی برگ در اوایل گلدهی در شرایط کم آبی آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ در کرج انجام شد. تیمارهای آبیاری در دو سطح شامل آبیاری نرمال (I_1) و قطع آبیاری در اواسط گلدهی (۱۱۰ روز پس از کاشت) (I_2) که در کرت اصلی و سلنیوم در شش غلظت به‌صورت خالص صفر (S_0)، ۵ (۳/۱۲ میکروگرم سدیم سلنات) (S_1)، ۱۰ (۶/۲۴ میکروگرم سدیم سلنات (S_2)، ۱۵ (۹/۳۶ میکروگرم سدیم سلنات) (S_3)، ۲۰ (۱۲/۵ میکروگرم سدیم سلنات) (S_4) و ۲۵ (۱۵/۶۲میکروگرم سدیم سلنات) (S_5) گرم به ازای هکتار در کرت فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که کمبود آب میزان سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گلوتاتیون پراکسیداز و نشانگر مالون دی‌آلدئید را افزایش داد. محلول‌پاشی سلنیوم، در شرایط تنش آبی میزان آنزیم‌های آنتی اکسیدانت (ضد اکساینده) را افزایش و در غلظت ۲۰ گرم در هکتار به حداکثر رسید و میزان مالون دی‌آلدئید کاهش یافت و موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد ولی، افزایش آنتی‌اکسیدانت‌ها و کاهش مالون دی‌آلدئید در شرایط نرمال کمتر بود. به‌عبارت دیگر، اثر منفی مالون دی‌آلدئید بر اجزای عملکرد، پایداری غشای سلول و آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در شرایط تنش رطوبتی نسبت به شرایط نرمال بیشتر بود. افزایش معنی‌دار پایداری غشای سیتوپلاسمی، عملکرد دانه، وزن دانه و سلنیوم دانه در ۱۵ و به‌خصوص ۲۰ گرم سلنیوم در هکتار در مقایسه با مقادیر بیشتر و کمتر این عنصر در تنش کم آبی و شرایط نرمال نشان داد سرکوب رادیکال‌های آزاد اکسیژن انجام، و القای سازوکار دفاع آنزیمی گیاه در مقابل صدمات اکسیداتیو اثرگذار بوده بنـابراین، استفاده از ترکیبات حفاظتی برون‌زا مانند سلنیوم می‌تواند ظرفیت آنتی اکسیدانی گیاه را در برابر تنش افزایش دهد.

واژگان کلیدی: سلنیوم، کمبود آب، گندم، مالون دی‌آلدئید.

۱- استادیار گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

* نگارنده‌ی مسئول *rezadadnia@yahoo.com*

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

سلنیوم (Se) یک عنصر ریز مغذی با خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدسرطان و آنتی‌ویروسی است که برای سلامت انسان و حیوانات ضروری می‌باشد ولی برای گیاهان عالی ضروری شناخته نشده است (Murphy *et al.*, 2014). سلنیوم از عناصر واسطه مهم محسوب و درحلال‌های آلی محلول نبوده و از یوریدین تری‌فسفات (Uridine tri phosphate) در خاک به‌وجود آمده به‌طوری‌که این فرآیند توسط آنزیم سلنیت اکسیداز (Selenite oxidase) تسریع می‌شود. فعالیت آنزیم یاد شده موجب افزایش رشد ریشه می‌گردد واحتمالاً تجمع آن ناشی از کاهش آب است و این مسأله زمانی اتفاق می‌افتد که گیاه درمعرض تنش قرار می‌گیرد، لذا مقدار اوریدین تری فسفات زیادی در برگ‌ها تجمع می‌یابد. با این‌حال تحقیقات نشان داده‌اند که افزودن کودهای سلنیوم‌دار به خاک باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌گردد (Chen *et al.*, 2014). گیاهان عالی از نظر جذب و عکس‌العمل به مقادیر مختلف سلنیوم متفاوت عمل می‌کنند و این عکس‌العمل بستگی به تجمع سلنیوم در اندام‌های هوایی و بخش اقتصادی گیاه دارد (Hayes *et al.*, 2012). گندم در بین گیاهان زراعی به غلظت سلنیوم بسیار حساس می‌باشد به‌طوری‌که محدوده بالای ۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک (حد بحرانی ۳/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در زمانی که با خاک مخلوط شود برای گیاه سمی است. فرم‌های تجاری سلنیوم شامل سلنیت سلنیوم (Na_2O_3Se) و سلنات سلنیوم (Na_2O_4Se) بوده ولی سلنیت به دلیل محلولیت بیشتر در آب و محلول خاک به مراتب برای گیاه سمی‌تر است (Kharel *et al.*, 2015). سمیت سلنیوم می‌تواند از طریق سولفات و فسفات کاهش پیدا کرده به‌طوری‌که کاربرد این ترکیبات می‌تواند منجر به تعدیل غلظت سلنیوم در بافت شود (Scharf *et al.*, 2015). یک مسئله مهم در کاربرد میکرو المنت‌ها غلظت نرمال است زیرا مقادیر بیش از حد این عناصر در گیاه ایجاد سمیت می‌کند و کیفیت و کمیت دانه را کاهش می‌دهد (Tabrizi *et al.*, 2015). اگرچه کاربرد سلنیوم به‌صورت محلول‌پاشی با غلظت ۲۷ گرم در هکتار به‌عنوان نیاز گیاه در نظرگرفته می‌شود مطالعات اخیر نشان می‌دهند این غلظت آستانه سمیت برای گندم به‌شمار می‌رود زیرا تحت این شرایط سلنیوم به‌جای سولفور با آمینواسیدها پیوند می‌یابد و در کار آنزیم‌ها اختلال ایجاد می‌کند (Kumar *et al.*, 2015). مصرف زیاد سلنیوم منجر به بروز سمیت و کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌گردد به‌طوری‌که علایم سمیت در هر گیاه متفاوت از گیاهان دیگر می‌باشد. در غلات علایم مسمومیت به‌صورت ظهور رنگ سفید در اطراف برگ‌ها می‌باشد که با افزایش سن گیاه این نشانه‌ها بیشتر می‌شوند (Seppänen *et al.*, 2015). ارزیابی میزان عملکرد دانه می‌تواند به‌عنوان یک معیار در جهت تعیین غلظت مناسب سلنیوم در افزایش مقاومت به کمبود آب به شمار رود به‌طوری‌که یک عامل مهم در این راستا می‌تواند تعیین میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت باشد (Glover *et al.*, 2014). بررسی اثر محلول‌پاشی سلنیوم در زمان‌های متفاوت، در رشد دو گیاه گندم و جو که اولی حساس و دومی نیمه مقاوم به خشکی بود نشان داد تنش خشکی سبب کاهش پتانسیل کل آب برگ و پتانسیل اسمزی هر دو گیاه شده و در نهایت این مسأله منجر به کاهش مقدار فتوسنتز و رشد گیاه می‌گردد به‌طوری‌که انجام آبیاری مجدد تا حدودی سبب افزایش پتانسیل کل می‌گردد ولی

Archive of SID

www.SID.ir

کاربرد سلنیوم در اوایل گلدهی پتاسیل کل را همانند شاهد افزایش می‌دهد (Boldrin *et al.*, 2014). مطالعات به‌منظور بررسی اثر سلنیوم در مرحله گلدهی بر فاکتورهای متابولیکی در رابطه با عملکرد گندم نشان داد که همراه با کاربرد سلنیوم در اواخر گلدهی پایداری غشای سیتوپلاسمی و همچنین رشد و توسعه سطح برگ به‌طور معنی‌دار نسبت به کاربرد در اوایل گلدهی کاهش می‌یابد (Meriga *et al.*, 2015). غنی‌سازی زراعی محصولات با استفاده از کودهای حاوی سلنیوم یک استراتژی مناسب برای افزایش تحمل به خشکی در گیاهان است. سلنیوم با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی درگیاه موجب افزایش تحمل تنش می‌شود (Broadley *et al.*, 2015). در شرایط تنش خشکی، سلنیوم دارای نقش مهمی از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت و کاهش خسارت سلولی از طریق کاهش مالون دی‌آلدئید تحت تنش خشکی می‌باشد. در مطالعات بسیاری رابطه مستقیمی بین ماده خشک و کاربرد سلنیوم دیده شد و کاربرد سلنیوم مقاومت به تنش خشکی را افزایش داد (Boldrin *et al.*, 2014). در آزمایشی آبیاری کامل با مصرف و عدم محلول‌پاشی سلنیوم و تنش خشکی با مصرف و عدم محلول‌پاشی سلنیوم انجام گرفت. نتایج نشان داد که فتوسنتز خالص در شرایط تنش خشکی کاهش و محلول‌پاشی سلنیوم موجب کاهش تعرق، افزایش فتوسنتز خالص و میزان عملکرد کوانتومی در فتوسیستم دو شد زیرا سلنیوم سیستم دفاعی گیاه و آنتی اکسیدانت‌ها را بالا برده و میزان تجمع نشاسته و قندها را افزایش می‌دهد (Glover *et al.*, 2014). گیاهان برای کاهش دادن اثر مخرب گونه‌های اکسیژن فعال (Reactive Oxygen Species- ROS) سازوکارهای متفاوتی دارند. از جمله این سازوکارها می‌توان به سیستم دفاع آنتی اکسیدانیو و سیستم غیردفاعی به‌وسیله مارکرهای شیمیایی نظیر مالون دی‌آلدئید اشاره کرد (Dong *et al.*, 2013). این سیستم شامل سیستم آنزیمی و غیرآنزیمی است. آنزیم‌های آنتی اکسیدانت مانند کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز در پاکسازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول نقش دارند ولی مالون دی‌آلدئید به صورت عکس عمل کرده و باعث تجمع پراکسید هیدروژن در سلول می‌شود. ادامه این روند سبب افزایش تنفس و سپس آسیب دیدن میتوکندری‌ها و قطعه قطعه شدن آنها شده و در نهایت غشای سلول آسیب دیده و در اثر پارگی غشاء محتویات داخل سلول به بیرون تراوش می‌کند (Solari *et al.*, 2014; Zwer and Klepper, 2014). در پاسخ به افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت افزایش می‌یابد (Reese *et al.*, 2015). اولین آنزیم پاکسازی کننده سوپر اکسید دیسموتاز است که تبدیل رادیکال سوپر اکسید به پراکسید هیدروژن که یک مولکول با خاصیت غیررادیکالی است را بر عهده دارد. پراکسید هیدروژن تولید شده توسط آنزیم کاتالاز و یا گلوتاتیون پراکسیداز تبدیل به آب و اکسیژن می‌شود ولی مالون دی‌آلدئید در این راستا مانع از فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز شده و سلول را به سمت زوال می‌برد (Glover *et al.*, 2014). به نظر می‌رسد این آنزیم‌ها و محلول‌پاشی سلنیوم عامل حفاظت کننده گیاه در برابر تنش خشکی محسوب شود. لذا، بررسی پاسخ فیزیولوژیکی محصولات زراعی به سلنیوم ضروری به نظر می‌رسد. بررسی مکانیسم سازگاری به تنش کمبود آب، می‌تواند بینش جدیدی درباره واکنش آنزیم‌های آنتی اکسیدانت به سلنیوم را در گیاه ایجاد کند و

Archive of SID

www.SID.ir

مقاومت گیاه را به تنش بهبود بخشد (Comba *et al.*, 2014). هدف از انجام این تحقیق، واکنش گندم کرج ۱ به مصرف سلنیوم و بررسی سیستم آنتی‌اکسیدانت در شرایط تنش کمبود آب بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ در کرج با مختصات جغرافیایی مکان آزمایش طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب ′۱۲ و °۴۶، ′۴۱ و °۳۲، ارتفاع از سطح دریا ۱۸۰۰ متر و آب و هوای منطقه نیمه مرطوب انجام شد. نتایج تجزیه خاک در جدول ۱ آورده شده است. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا گردید. تیمارهای آبیاری در دو سطح بدون تنش (I_1) و قطع آبیاری در اواسط گلدهی (۱۱۰ روز بعد از کاشت) (I_2) در کرت اصلی و سلنیوم (سدیم سلنات ۵۰ درصد) (جدول ۲) به صورت محلول‌پاشی در اوایل گلدهی در شش غلظت صفر (S_0)، ۵ (۳/۱۲ میکروگرم سدیم سلنات به ازای هر گیاه) (S_1)، ۱۰ (۶/۲۴ میکروگرم سدیم سلنات به ازای هر گیاه) (S_2)، ۱۵ (۹/۳۶ میکروگرم سدیم سلنات به ازای هر گیاه) (S_3)، ۲۰ (۱۲/۵میکروگرم سدیم سلنات به ازای هر گیاه) (S_4) و ۲۵ (۱۴/۶۲میکروگرم سدیم سلنات به ازای هر گیاه) (S_5) گرم در هکتار در کرت فرعی قرار گرفت. محلول‌پاشی برگ توسط عنصر سلنیوم یک مرتبه در مرحله اوایل گلدهی (۱۰ تا ۱۵ درصد گلدهی، ۹۰ روز بعد از کاشت) صورت گرفت. همزمان با قطع آبیاری، تیمارهای تنش به‌وسیله داربست و نایلون محصور شدند تا از ورود آب به کرت در اثر بارندگی احتمالی جلوگیری به عمل آید. در هر کرت فرعی برای هر تیمار سلنیوم بذورگندم در ۵ خط به طول ۵ متر با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و روی خطوط به فاصله ۲ سانتی‌متر کاشته شد و یک خط جهت تخمین عملکرد، دو خط به‌عنوان حاشیه و دو خط برای اندازه‌گیری صفات استفاده شد. فواصل بین کرت‌های اصلی در هر تکرار ۱ متر و بین تکرارها ۳ متر و بین هر تیمار یک خط نکاشت در نظر گرفته شد. بذرگندم رقم کرج ۱ از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه و میزان تراکم ۳۰۰ بذر در متر مربع در نظر گرفته شد. کاشت در ۱۰ آبان ماه ۱۳۹۳ انجام و محصول در ۱۰ تیر ماه ۱۳۹۴ برداشت گردید. پس از کرت بندی در زمان کاشت، مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود دی آمونیوم فسفات به‌طور دستی به هر کرت داده شد.

برای ارزیابی میزان سلنیوم دانه ابتدا ۲۰ عدد دانه از هر تیمار برداشت و در داخل آون (دمای ۷۰ درجه سلسیوس) به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. در مرحله بعد دانه‌ها در کلریدریک اسید شش نرمال حل شده و میزان سلنیوم دانه با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله‌ای بر اساس میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک تعیین شد (Yilmaz *et al.*, 1997).

اندازه‌گیری پایداری غشای سیتوپلاسمی (Cytoplasmic Membrane Stability- CMS) یک مرتبه و ۲۰ روز بعد از محلول‌پاشی سلنیوم به روش کومبا و همکاران (Comba *et al.*, 2014) انجام گرفت. جهت تعیین وزن دانه پس از جمع آوری دانه‌ها، از هر کرت دو نمونه ۵۰۰ تایی انتخاب، توزین و مجموع وزن آنها به‌عنوان وزن هزار دانه در نظر گرفته شد. نهایتاً وزن کل اندام‌های هوایی گیاه محاسبه و به عنوان عملکرد بیولوژیکی بر حسب گرم در مترمربع مشخص گردید. پس از برداشت تمام اندام هوایی گیاه از مساحت یک مترمربع دانه‌ها جدا، توزین و عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد.

Archive of SID

www.SID.ir

برای ارزیابی آنزیم‌ها پس از شستشوی برگ‌ها (۴ برگ برای هر تیمار) حدوداً ۲۰ روز بعد از اعمال تنش، تهیه نمونه به روش پاگلیا و ولنتاین (Paglia and Valentine, 1987) انجام گرفت و فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) به روش هایدون و همکاران (Hyadun *et al.*, 2013) اندازه‌گیری شد. برای گلوتاتیون پراکسیداز (GPX) تهیه نمونه بر اساس روش لی و کیم (Lee and Kim, 2001) انجام و اندازه‌گیری به روش دیزی و همکاران (Dazy *et al.*, 2008) انجام گرفت. برای تعیین فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) تهیه نمونه بر اساس روش لی و کیم (Lee and Kim, 2001) و اندازه‌گیری به روش دیزی و همکاران (Dazy *et al.*, 2008) انجام گرفت. مقدار مالون دی‌آلدئید (MDA) با روش پزاروزا و همکاران (Pezzarossa *et al.*, 2014) اندازه‌گیری شد.

پس از برداشت تمام اندام هوایی گیاه از مساحت یک مترمربع دانه‌ها جدا، توزین و عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. جمع‌آوری داده‌ها و تجزیه واریانس کلیه صفات مورد بررسی به‌وسیله نرم‌افزار SAS (ویرایش ۹/۱) انجام شد و میانگین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مورد بررسی نشان داد که اثر سلنیوم و تیمارهای آبیاری و اثرات متقابل تیمارهای مورد بررسی در فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت و مالون دی‌آلدئید معنی‌دار بود (جدول ۳) .

عملکرد دانه

بر اساس نتایج به‌دست آمده عملکرد دانه در شرایط تنش در حدود ۴۵ درصد نسبت به شرایط نرمال کاهش یافت. محلول‌پاشی گیاه توسط عنصر سلنیوم در غلظت مطلوب (۲۰ گرم در هکتار) باعث افزایش ۳۸ درصدی عملکرد (۲۶۳۸/۴۹ کیلوگرم در هکتار) و در غلظت ۲۵ گرم در هکتار باعث کاهش ۱۱/۵ درصدی عملکرد دانه تحت شرایط تنش نسبت به شاهد (۱۶۲۵/۴۹ کیلوگرم در هکتار) شد. همچنین، در شرایط نرمال، سلنیوم در غلظت ۲۰ گرم در هکتار میزان عملکرد را نسبت به شاهد در حدود ۲۱ درصد و معادل نصف شرایط تنش افزایش داد (شکل ۱). گزارش شده است سلنیوم در شرایط تنش اثر خود را بیشتر اعمال می‌کند (Kapolna *et al.*, 2013) و افزایش عملکرد در شرایط تنش تحت تاثیر سلنیوم عمدتاً به همین عامل مربوط می‌شود. مشخص شده که عملکرد دانه در شرایط خشکی و کم آبی می‌تواند شاخص‌های مناسبی جهت بررسی ژنوتیپ‌ها به کم آبی باشد (Pezzarossa *et al.*, 2014).

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که تغییرات عملکرد دانه هم جهت با میزان سلنیوم انجام می‌شود (Kapolna *et al.*, 2013) به‌طوری که میزان افزایش در تیمارهای سلنیوم S_1 تا S_3 در شرایط نرمال و تنش کم آبی کمتر دیده شد (شکل ۱). گزارش شده است سلنیوم در شرایط کمبود آب اثر خود را به نحو بارزتر از شرایط نرمال نشان می‌دهد (Radic *et al.*, 2015). افزایش حدود ۱۰۰۰ و ۷۷۸ کیلوگرمی عملکرد دانه در تیمار ۲۰ گرم سلنیوم در هکتار (شکل ۱) نسبت به شاهد به‌ترتیب در شرایط تنش و نرمال نشان می‌دهد که سلنیوم در شرایط تنش بیشتر توانسته است همراه با افزایش رشد رویشی موجب افزایش عملکرد و تولید دانه شده که گویای فتوسنتز بیشتر توسط گیاه می‌باشد (Pezzarossa *et al.*, 2014).

Archive of SID

www.SID.ir

گلوور و همکاران (Glover *et al.*, 2014) در آزمایشی مشاهده نمودند در شرایط تنش رطوبتی با مصرف ۲۰ گرم سلنیوم در هکتار، عملکرد دانه نسبت به شرایط نرمال بیشتر شد، آنها این امر را به قابلیت مقادیر بیشتر آنزیم‌های آنتی اکسیدانت و خنثی کردن اثر مالون دی‌آلدئید برای استخراج آب از خاک و وجود ذخایر بیشتر اسیمیلات‌ها در ساقه در دوران پر شدن دانه در شرایط کمبود آب را به سلنیوم نسبت داده و اظهار داشتند این شرایط در غلظت بحرانی سلنیوم (۲۰ گرم در هکتار) به وقوع می‌پیوندد. پس طبیعی به‌نظر می‌رسد که در غلظت‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۵ گرم سلنیوم در هکتار نسبت به تیمار ۲۰ گرم در هکتار عملکرد دانه روند کاهشی به خود بگیرد (شکل ۱). نکته مهم معنی‌دار شدن اثر متقابل ۱۵ و ۲۰ گرم سلنیوم در هکتار است (جدول ۳). به‌عبارت دیگر معنی‌دار شدن مقادیر سلنیوم گویای این حقیقت است که اسیدهای چرب و لیپیدها حساسیت زیادی به اکسیژن دارند و به سرعت اکسید می‌شوند ولی سلنیوم در غلظت مناسب این روند را به تاخیر می‌اندازد (Kharel *et al.*, 2015).

وزن هزار دانه

در یک بررسی اثر غلظت سلنیوم در مرحله گلدهی بر فاکتورهای متابولیکی (تبدیل دهیدروژناز به ترانس آمیناز و سپس تیروزین) در رابطه با پتانسیل عملکرد گندم نتایج نشان داد که غلظت سمی سلنیوم به‌طور معنی‌دار وزن دانه را کاهش می‌دهد. کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله و همچنین کاهش رشد و در نهایت، کاهش معنی‌دار ماده خشک کل را سبب گردید (Hajiboland and Keivanfar, 2014). بنابراین، در این راستا می‌توان به افزایش وزن دانه از ۲۸/۱۶ گرم در شاهد به ۳۹/۸۸ گرم در تیمار S_4 (حدود ۱۱ گرم افزایش نسبت به شاهد) در شرایط تنش اشاره کرد ولی با افزایش میزان سلنیوم به ۲۵ گرم در هکتار (S_5) وزن هزار دانه به ۲۶/۵۲ گرم کاهش پیدا کرد. این مقادیر در شرایط نرمال به‌ترتیب برای شاهد ۴۰/۳۱ گرم، تیمار S_4، ۴۵/۹۴ گرم (حدود ۵/۶ گرم افزایش) و در S_5، ۳۶/۹۸ گرم بود. به‌عبارت دیگر اثر سلنیوم در شرایط تنش نسبت به نرمال به‌خصوص در تیمار ۲۰ گرم سلنیوم در هکتار بیشتر بود (شکل ۲). بنابراین، در پژوهش حاضر نیز احتمالاً کاربرد سلنیوم از طریق تحریک رشد ریشه، افزایش جذب آب ریشه‌ها و فراهمی بالاتر رطوبت خاک موجب افزایش بیشتر وزن دانه در شرایط تنش کم آبی نسبت به شرایط نرمال شد و این میزان افزایش در غلظت ۲۰ گرم در هکتار مشهودتر بود. گزارش شده است که سلنیوم دارای قابلیت تنظیم وضعیت آب گیاه تحت شرایط تنش خشکی می‌باشد و اثرات محافظتی این عنصر در شرایط تنش از طریق افزایش ظرفیت جذب آب توسط سیستم ریشه حادث می‌شود (Kapolna *et al.*, 2013).

گزارش شده است استفاده از سلنیوم، ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت نگهداری آب در خاک و جذب و انتقال عناصر در گیاه افزایش می‌یابد (Boldrin *et al.*, 2014). مراحل نمو زایشی مانند گلدهی، گرده افشانی و پر شدن دانه‌ها حساس‌ترین مراحل به تنش خشکی می‌باشند لذا هرگونه کاهش در تأمین آب سبب کاهش جذب عناصر شده و منجر به کاهش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی و انتقال آنها به دانه‌ها می‌شود (Scharf *et al.*, 2015). اثر مثبت سلنیوم بر وزن دانه می‌تواند به افزایش فراهمی نیتروژن و جلوگیری از آب‌شویی آن نسبت داده شود

Archive of SID

www.SID.ir

(Reese *et al.*, 2015). در نتیجه افزایش وزن دانه را می‌توان به اثرات بهبود دهنـده سلنیوم در گیـاه نسبت داد.

غلظت سلنیوم دانه

غلظت سلنیوم شاخص مناسبی به‌منظور تعیین پتانسیل عملکرد غلات می‌باشد (Radic *et al.*, 2015). توانایی گیاه برای جذب آب از عمق زمین و بی‌نیاز بودن آن از آب باران در نواحی خشک، یک مزیت به شمار می‌آید به‌طوری‌که سلنیوم این مزیت را به حداکثر می‌رساند (Pezzarossa *et al.*, 2014). افزایش غلظت سلنیوم در دانه و بروز حالت آلودگی سلنیوم منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه می‌گردد که این امر در شرایط کمبود آب تشدید می‌گردد و این یک عامل مهم برای رسیدن میزان سلنیوم دانه از ۰/۰۳۴ در شاهد به ۰/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک در S_4 در شرایط تنش می‌باشد (شکل ۳). به نظر می‌رسد افزایش محتوای سلنیوم دانه تحت شرایط تنش کم آبی به دلیل واکنش پروتئین با رادیکال‌های آزاد و در نتیجه تخریب اسید آمینه، موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین و در نتیجه کاهش سنتز پروتئین و همچنین تجمع اسیدهای آمینه آزاد از جمله پرولین مرتبط باشد (Boldrin *et al.*, 2014) .

هدایت الکتریکی

در اثر تنش کم آبی دیواره سلولی تخریب شده و مایع سلولی و واکوئلی به داخل محیطی تراوش نموده و باعث غلیظ شدن و بالا رفتن هدایت الکتریکی محلول می‌شود (Waraich *et al.*, 2014). بدین ترتیب هرچه مایع غلیظ‌تر باشد نشانه آن است که سلول‌های بیشتری تخریب شده و در اثر تنش کم آبی دیواره سلولی تخریب شده و مایع سلولی و واکوئلی به فضای بین سلولی تراوش نموده و باعث غلیظ شدن و بالا رفتن هدایت الکتریکی محلول می‌شود (Waraich *et al.*, 2014). بدین ترتیب هر چه مایع غلیظ‌تر باشد آن تیمار مقاومت کمتری نسبت به کمبود آب دارد (Seppänen *et al.*, 2015). پس اعداد به‌دست آمده در جدول ۴ عمدتاً به این نکته اشاره دارد. محلول‌پاشی برگ توسط عنصر سلنیوم میزان نشت یون از دیواره غشای سیتوپلاسمی چه در شرایط تنش و چه در شرایط نرمال نسبت به شاهد را کاهش داد.

هدایت الکتریکی ۸۷۱/۳۹، ۸۴۶/۵۹، ۷۶۱/۸۸، ۶۸۹/۲۲ و ۱۱۰۱/۷۷ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر در شرایط نرمال و ۱۴۱۱/۶۰، ۱۷۲۶/۴۸، ۱۴۷۶/۳۰، ۹۴۹/۳۷ و ۱۹۹۵/۲۷ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر در شرایط تنش به‌ترتیب در تیمارهای S_1 تا S_5 تحت تاثیر سلنیوم بود. همانطور که مشاهده می‌شود در شرایط تنش میزان هدایت الکتریکی در تیمارهای S_0، ۱۸۶۷/۴۶ میلی زیمنس بر سانتی‌متر در شرایط تنش و در شرایط نرمال ۹۱۵/۷۶ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر بود به‌عبارت دیگر میزان نشت یون از دیواره غشای سیتوپلاسمی در شرایط تنش در حدود ۵۱ درصد افزایش یافته است (جدول ۴). محلول‌پاشی برگ توسط عنصر سلنیوم میزان نشت یون از دیواره غشای سیتوپلاسمی چه در شرایط تنش و چه در شرایط نرمال نسبت به شاهد را کاهش داد و هدایت الکتریکی از ۸۷۱/۳۹ تا ۱۱۰۱/۷۷ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر در شرایط نرمال و از ۱۴۱۱/۶۰ تا ۱۹۹۵/۲۷ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر در شرایط تنش به‌ترتیب در تیمارهای S_1 تا S_5 تحت تاثیر سلنیوم بود. این اعداد نشان می‌دهند که سلنیوم نشت یون از دیواره سلول را کاهش داده است. گزارش شده که سلنیوم قادر است از

Archive of SID

www.SID.ir

قطعه قطعه شدن میتوکندری در اثر کمبود آب و کنترل فرآیند تنفس تا حدودی مؤثر باشد و این فرآیند قادر است از تخریب غشای سلول و افزایش هدایت الکتریکی جلوگیری کند (Seppänen *et al.*, 2015). لذا کنترل هدایت الکتریکی به‌وسیله سلنیوم در این تحقیق منطقی به‌نظر می‌رسد.

مالون دی‌آلدئید

مقدار مالون دی‌آلدئید ۸/۵۱، ۷/۸۹، ۶/۷۱، ۵/۴۴ و ۶/۸۹ نانومول بر میلی‌گرم پروتئین برگ در شرایط نرمال و ۱۳/۲۸، ۱۲/۷۴، ۱۱/۰۵، ۹/۳۲ و ۱۳/۲۱ نانومول بر میلی‌گرم پروتئین برگ در شرایط تنش به‌ترتیب در تیمارهای S_1 تا S_5 تحت تاثیر سلنیوم بود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود میزان هدایت الکتریکی و مالون دی‌آلدئید در غلظت مطلوب سلنیوم (۲۰ گرم در هکتار) در شرایط نرمال و تنش به‌طور معنی‌دار کاهش نشان داده است (جدول ۴). پس می‌توان این چنین استنباط کرد که گیاه می‌تواند تحت تاثیر غلظت بحرانی سلنیوم در شرایط محلول‌پاشی (۲۰ گرم در هکتار) در هنگام مواجه شدن با تنش کم آبی از طریق افزایش پایداری غشای سیتوپلاسمی و کاهش میزان مالون دی‌آلدئید مقاومت به خشکی را در خود افزایش دهد. همچنین، میزان مالون دی‌آلدئید از ۸/۵۱ به ۶/۸۹ نانومول بر میلی‌گرم پروتئین برگ در شرایط نرمال و ۱۳/۲۸ و ۱۳/۲۱ نانومول بر میلی‌گرم پروتئین برگ در شرایط تنش در تیمار های S_1 و S_5 بود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود میزان هدایت الکتریکی و مالون دی‌آلدئید در غلظت مطلوب سلنیوم (۲۰ گرم در هکتار) در شرایط نرمال و تنش به‌طور معنی‌دار کاهش نشان داده است (جدول ۴). پس می‌توان این‌چنین استنباط کرد که گیاه می‌تواند تحت تاثیر غلظت بحرانی سلنیوم در شرایط محلول‌پاشی (۲۰ گرم در هکتار) در هنگام مواجه شدن با تنش کم آبی از طریق افزایش پایداری غشای سیتوپلاسمی و کاهش میزان مالون دی‌آلدئید مقاومت به خشکی را در خود افزایش دهد. مطالعات نشان می‌دهند کاهش رطوبت قابل دسترس خاک از ۱۰۰ به ۲۵ درصد موجب افزایش دو برابری در انباشتگی کربوهیدرات‌های محلول در برگ می‌شود که نقش مهم این ترکیبات را در ایجاد مقاومت به کم آبی اثبات می‌کند به این ترتیب که سلنیوم قادر است از طریق افزایش پایداری غشای سیتوپلاسمی و کاهش مالون دی‌آلدئید موجب افزایش تشکیل قندهای محلول گردد که احتمالاً علاوه بر تحریک رشد عمومی و حمایت از رشد طولی ریشه در حفظ تعادل آبی مؤثر بوده است (Pukacka *et al.*, 2014; Zwer and klepper, 2014). کاهش نشاسته در برگ‌ها تحت تأثیر سلنیوم باعث سوق دادن مسیر سازوکار کربوهیدرات‌ها به سمت قندهای محلول شده به‌طوری‌که در حفظ تعادل آبی و حمایت از رشد جاری مؤثرتر از نشاسته عمل می‌کند (Glover *et al.*, 2014; Ros *et al.*, 2014). همچنین، پتانسیل اسمزی گیاهان در شرایط تیمار همزمان خشکی و سلنیوم کمتر از سایر ترکیب‌های تیماری بود که نشان‌دهنده افزایش جذب آب همزمان با افزایش انباشتگی قندهای محلول بوده و این پاسخ با افزایش قابل توجه در طول ریشه و سطح جذب آب ریشه‌ها تحت تاثیر سلنیوم همراه بود. لذا چنین استنباط می‌گردد افزایش پایداری غشای سیتوپلاسمی و کاهش مالون دی‌آلدئید در شرایط کم آبی (جدول ۴) به همین عامل مربوط می‌شود (Ros *et al*, 2014).

آنزیم‌های آنتی اکسیدانت

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که تنش کم آبی سبب القای پاسخ‌های فیزیولوژیکی و فعال‌سازی

Archive of SID

www.SID.ir

آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در برگ شده است. میزان سلنیوم در فرآیند محلول‌پاشی روی برگ اغلب برای ارزیابی اثر تنش‌های محیطی از جمله کم آبی تعیین می‌شود (Radic *et al*, 2015). میزان سوپراکسید دیسموتاز، گلوتاتیون پراکسیداز و کاتالاز در برگ یک فرآیند وابسته به رادیکال‌های آزاد است. رادیکال‌های آزاد اکسیژن به اسیدهای چرب غیراشباع حمله کرده، در نتیجه منجر به تغییر ساختار و عمل غشای و در نهایت شکل‌گیری تولیدات سنتزی مانند آلدئیدها می‌شود (Meriga *et al.*, 2015).

طبق نتایج این تحقیق در برگ‌های تحت تنش محتوی سوپر اکسید دیسموتاز (۶۸۰/۲۴، ۷۳۹/۶۶، ۸۰۴/۹۱، ۸۵۹/۹۷ و ۸۴۷/۰۸ واحد بر گرم پروتئین برگ)، گلوتاتیون پراکسیداز (۱۹/۴۴، ۲۳/۷۹، ۲۸/۸۵، ۳۲/۹۴ و ۲۷/۰۸ واحد بر گرم پروتئین برگ) و کاتالاز (۱۹۵/۷۹، ۲۱۷/۲۵، ۲۶۱/۹۳، ۲۹۹/۸۰ و ۲۵۱/۴۶ واحد بر گرم پروتئین برگ) در غلظت‌های متفاوت سلنیوم (S_1 تا S_5) افزایش قابل توجهی نسبت به شاهد، ۵۹۱/۷۸ واحد بر گرم پروتئین برگ برای سوپراکسید دیسموتاز، ۱۶/۹۶ واحد بر گرم پروتئین برگ برای گلوتاتیون پراکسیداز و ۱۶۳/۹۶ واحد بر گرم پروتئین برگ برای کاتالاز نشان داد (جدول ۴). یعنی در برگ تیمارهای تحت تنش محتوی سوپر اکسید دیسموتاز ۱۹/۷٪، گلوتاتیون پراکسیداز ۲۸/۲۲٪ افزایش و کاتالاز ۲۲/۱۴٪ در غلظت‌های متفاوت سلنیوم (S_1 تا S_5) افزایش یافت. این میزان افزایش در غلظت سمی سلنیوم (۲۵ گرم در هکتار) به حداکثر رسید که نشان دهنده ایجاد تنش در گیاه در این غلظت از سلنیوم و کاهش مقاومت گیاه تحت این شرایط بود. می‌توان چنین استنباط کرد احتمالاً تحت تاثیر سلنیوم در شرایط کم آبی سوپراکسید دیسموتاز مانع از تخریب میتوکندری، گلوتاتیون پر اکسیداز سبب هضم رادیکال‌های آزاد اکسیژن و کاتالاز اثر مالون دی‌آلدئید را تا حدودی خنثی می‌کند (Chen *et al*., 2014).

در شرایط غلظت سمی سلنیوم دلیل افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را می‌توان به تجمع رادیکال اکسیژن در مرحله رشد زایشی و کاهش جذب آب و املاح و در نتیجه کاهش فتوسنتز برگ و تولید شیره پرورده نسبت داد. این وضعیت موجب از بین رفتن اندام‌های زایشی و در نتیجه افزایش آسیب پذیری برگ در شرایط کم آبی گردید. در بررسی اثر تیمارهای سلنیوم بر روی عملکرد ارقام گندم مشاهده شد که فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در شرایط تنش سلنیوم همانند عملکرد دانه کاهش یافتند ولی میزان این عنصر در غلظت بحرانی به‌عنوان یک عامل جبران کننده در این راستا تلقی می‌گردد (Waraich *et al*, 2014).

تنظیم اسمزی، محافظت از ماکرومولکول‌های سلولی، ذخیره نیتروژن، ثابت نگه داشتن pH سلول، سمیت‌زدایی سلول‌ها و مهار رادیکال آزاد جزو اعمال پیشنهادی برای تجمع آنزیم‌های آنتی اکسیدانت تحت شرایط تنش‌های محیطی محسوب می‌شوند (Holland and Schepers, 2014; Scharf *et al*, 2014). همچنین، سلنیوم اکسیداسیون فسفولیپیدها و پروتئین‌ها را در غشای سلولی کاهش می‌دهد که اثر تخریبی ROS را کاهش داده و منجر به افزایش مقدار پروتئین می‌شود. به علاوه پاسخ به سمیت سلنیوم منجر به اثر آن بر سازوکار گیاه شده (Bogale *et al.*, 2014) و در پاسخ سازگاری گیاه به تنش کم آبی نقش بازی می‌کند. پروتئین‌ها به‌وسیله اتصال به سلنیوم باعث کاهش دخالت این عنصر در

Archive of SID

www.SID.ir

متابولیسم گیاه در شرایط تنش شده و در نتیجه سبب سازگاری بیشتر گیاه به تنش در غلظت‌های بالاتر از ۱۰ گرم در هکتار می‌شوند (Broadley *et al.*, 2015; Solari *et al*, 2014). بنابراین، تغییرات صفات مورد مطالعه تحت تاثیر غلظت‌های متفاوت سلنیوم در این تحقیق ناشی از عوامل ذکر شده می‌باشد (جدول۴). پس این استنباط به‌وجود می‌آید که افزایش آنزیم‌های آنتی اکسیدانت یک عامل مهم در کاهش میزان رادیکاهای آزاد اکسیژن تحت تاثیر سلنیوم باشد.

نتیجه‌گیری کلی

مصرف سلنیوم به‌صورت محلول‌پاشی موجب افزایش آنتی اکسیدان‌ها و کاهش فعالیت رادیکال‌های آزاد در گیاه می‌شود، این عمل به نوبه خود موجب افزایش پایداری غشای سلولی و بهبود پتانسیل آبی گیاه و در نهایت افزایش عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش کمبود آب می‌گردد. تأثیر سلنیوم در شرایط تنش بر روی گیاه گندم بیشتر شرایط آبی بوده است و با توجه به شرایط آب و هوایی و خاک مورد آزمایش مقدار ۲۰ گرم در هکتار می‌تواند مفید باشد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table 1- Physical and chemical traits in experimented soil

عمق خاک Soil depth (cm)	بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی EC ds / m	اسیدیته pH	کلسیم Ca meq/l	منیزیم Mg meq/l	روی Zn mg / kg	مس Cu mg / kg	منگنز Mn mg/ kg	سلنیوم Se mg/ kg	پتاسیم K mg/ kg	فسفر P mg/ kg	نیتروژن N %	مواد آلی OM %
0-30	Silty loam	1.37	7.35	40	10	1.96	0.64	5.72	0.15	392	16	0.172	3.44

جدول ۲- مشخصات سدیم سلنات مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Useable Sodium selenate traits in experiment

نام شرکت Name of organization	نیتروژن آلی Organic N %	فسفر P%	پتاسیم K%	آهن Fe%	منگنز Mn%	مس Cu%	روی Zn%	اسیدیته pH	سدیم سلنات Sodium Selenate (50%)
Humi Tech Germany	4.2	2.8	0.78	0.51	0.53	0.47	0.71	6.43	90

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد نظر

Table 3- Analysis of variance in studied traits

منابع تغییرات S.O.V.		درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square			
			مالون دی آلدئید MDA	گلوتاتیون پر اکسیداز GPX	سوپر اکسید دیسموتاز SOD	کاتالاز CAT
Replication	تکرار	3	178.31 ns	125.64 ns	23.88 ns	29.66 ns
Irrigation	آبیاری	1	3502.26**	4779.04**	7412.67**	2661.19**
Error	خطا	3	288.45	311.79	249.18	207.32
Selenium	سلنیوم	5	4155.79**	4368.17**	6659.41**	4551.78**
Irrigation×Selenium	سلنیوم×آبیاری	5	2462.38**	2918.99**	4547.13**	2856.25**
Error	خطا	30	205.89	230.47	479.36	487.55
C.V. (%)	ضریب تغییرات		5.84	6.12	6.79	8.71

ns و**: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

ns and ** : not-significant and significant at 1% probability level respectively

ادامه جدول ۳

Table 3- Continued

منابع تغییرات S.O.V		درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square			
			میزان سلنیوم دانه selenium grain rate	پایداری غشاء سلول CMS	وزن هزار دانه Thousand grain weight	عملکرد دانه Grain yield
Replication	تکرار	3	248.15 ns	38.25 ns	98.11 ns	14.23 ns
Irrigation	آبیاری	1	3202.78**	1078.50**	2445.74**	1725.48 **
Error	خطا	3	389.11	195.51	142.69	71.25
Selenium	سلنیوم	5	4329.25**	2645.69**	3468.27 **	2512.36 **
Irrigation×Selenium	سلنیوم×آبیاری	5	1744.38**	1361.01**	153955.**	1697.44 **
Error	خطا	30	248.66	98.46	178.41	205.92
C.V. (%)	ضریب تغییرات		7.94	6.39	5.43	7.02

ns و**: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

ns and ** : not-significant and significant at 1% probability level respectively

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل کمبود آب × سلنیوم بر صفات مورد مطالعه گندم

Table 4- Mean comparisons of water deficit × selenium interaction on wheat traits studied

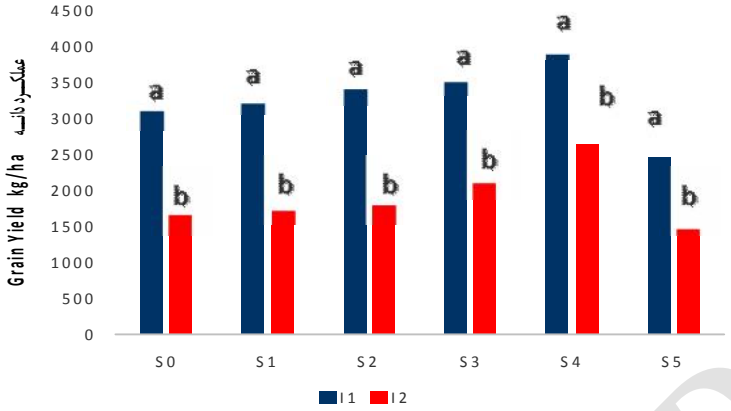
تیمار Treatment	پایداری غشاء سلول CMS (ds/cm)	کاتالاز Catalase (unit/g pro)	سوپر اکسید دیسموتاز SOD (unit/g pro)	گلوتاتیون پر اکسیداز GPX (unit/g pro)	مالون دی آلدئید MDA (nmol/mg pro)
$I_1 \times S_0$	915.76e	131.87e	459.75e	11.78e	9.32de
$I_1 \times S_1$	871.39ef	147.12d	526.89d	13.92d	8.51e
$I_1 \times S_2$	846.59ef	171.55c	578.33cd	16.48cd	7.89ef
$I_1 \times S_3$	761.88f	194.49bc	631.99c	19.13c	6.71f
$I_1 \times S_4$	689.22fg	212.89b	701.36bc	22.78b	5.44g
$I_1 \times S_5$	1101.77de	157.28cd	558.23cd	15.89cd	6.89f
$I_2 \times S_0$	1867.46ab	163.96cd	591.87cd	16.96cd	14.79a
$I_2 \times S_1$	1411.60c	195.79bc	680.24c	19.44c	13.28ab
$I_2 \times S_2$	1726.48b	217.25b	739.66b	23.79b	12.74b
$I_2 \times S_3$	1476.30c	261.93ab	804.91ab	28.85ab	11.05c
$I_2 \times S_4$	949.37e	299.80a	859.97a	32.94a	9.32de
$I_2 \times S_5$	1995.27a	251.46ab	847.08a	27.08ab	13.21ab

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه نیستند بر اساس آزمون دانکن (α=0.05) با همدیگر اختلاف معنی‌دار دارند.

Means in each column followed by different letter (s) are significantly different at 5% probability level, using Dancan's Test.

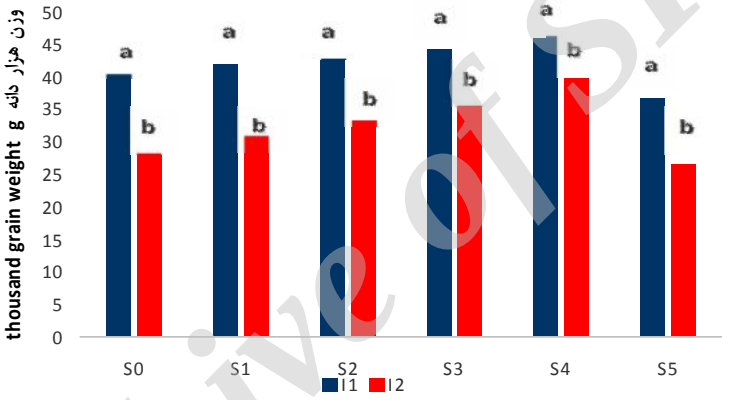
Archive of SID

www.SID.ir



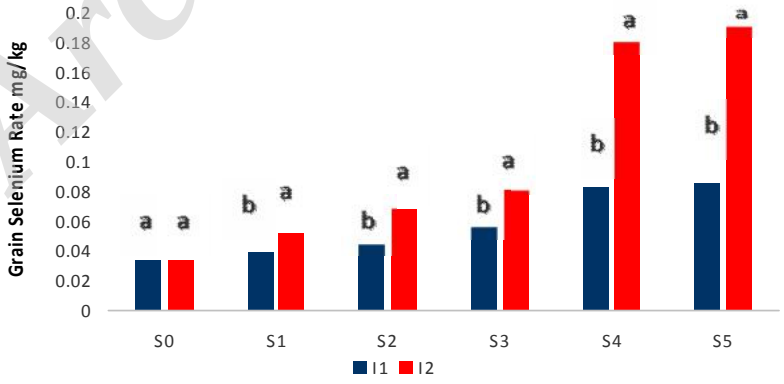
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آبیاری و سلنیوم بر عملکرد دانه

Figure 1- Comparison interaction of irrigation treatments and selenium on grain yield



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آبیاری و سلنیوم بر وزن هزار دانه

Figure 2- Comparison interaction of irrigation treatments and selenium on thousand grain weight



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آبیاری و سلنیوم بر میزان سلنیوم دانه

Figure 3- Comparison interaction of irrigation treatments and selenium on selenium grain rate

بدون تنش (I_1)، قطع آبیاری در اواسط گلدهی (I_2)

Without stress (I_1), Irrigation cuting off at mid flowering (I_2)

Archive of SID

www.SID.ir

References منابع مورد استفاده

- Bogale, A., K. Tesfaye, and T. Geleto. 2014. Morphological and physiological attributes associated to drought tolerance of Ethiopian durum wheat genotypes under water deficit condition. *Environment Science*. 4(2): 150-158.
- Boldrin, P.F., V. Faquin, S.J. Ramos, and L.R.G. Guilherme. 2013. Soil and foliar application of selenium in rice biofortification. *Journal of Food Composition and Analysis*. 31(2): 238-244.
- Broadley, M., P. Brown, I. Cakmak, J.F. Ma, Z. Rengel, and F. Zhao. 2015. Beneficial elements. In: P. Marschner (Ed.) Marschner's mineral nutrition of higher plants, 5nd Edition. Academic Press Inc. pp: 488-504.
- Chen, L.S., Y.P. Iang, L.T. Yang, and G.H. Yang. 2014. Photosynthesis systems of plants in response to selenium toxicity. *African Journal of Biotechnology*. 9: 9237-9247.
- Comba, M.E., M.P. Benavides, and N.L. Tomaro. 2014. Effect of selenium on antioxidant and membrane defense system in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*. 31: 275-286.
- Dazy, M., J. Ferard, and J. Masfaraud. 2008. Ecological recovery of vegetation on a coke-factory soil: Role of plant antioxidant enzymes and possible implication in site restoration. *Chemosphere*. 74: 57-63.
- Dong, J.Z., Y. Wang, S.H. Wang, L.P. Yin, and M.Z. Zhanga. 2013. Selenium increases chlorogenic acid, chlorophyll and malondialdehyde of wheat leaves. *Journal Science Food Agricalture*. 93: 310-315.
- Glover, J.D., J. Borevitz, E.C. Brummer, and E.S. Buckler. 2014. Increasing starch and ecosystem security through perennial grain breeding and selenium. *Science* (Washington, DC). 335: 364-379.
- Hajiboland, R., and N. Keivanfar. 2014. Selenium supplementation stimulates vegetative and reproductive growth in wheat plant. *Acta Agriculture Sloven.* 104: 189-201.
- Hayes, R.C., K.M. Murphy, S. Crane, and M.R. Norton. 2012. Perennial cereal crops: An initial assessment of wheat derivatives with selenium. *Field Crops Research.* 133: 68-89.
- Holland, K.H., and J.S. Schepers. 2014. Derivation of a variable rate selenium application model for antioxidants of wheat. *Agronomy Journal.* 108: 847- 861.
- Hyadun, K.R., D.R. Parker, K.D. Tran, and J.T. Trumble. 2013. Effects of selenium accumulation on superoxide dismutase in wheat. *Environment Pollution.* 172: 70-75.
- Kapolna, E., P.R. Hillestrom, K.H.P. Laursen, S. Husted, and E.H. Larsen. 2013. Effect of foliar application of selenium on its uptake and speciation in wheat. *Food Chemistry*. 115: 1357- 1363.
- Kharel, A.E., R. Wilson, and K. Andraws. 2015. Role of selenite and selenate on antioxidant enzymes in cereals. *Chemistry*. 55: 309-318.
- Kumar, M., A.J. Bijo, R.S. Baghe, and C.R.K. Reddy. 2015. Selenium and cadmium induced toxicity in wheat by regulating antioxidant system and DNA methylation. *Plant Physiology Biochemistry*. 59: 441-452

Archive of SID

www.SID.ir

- Lee, D.H., and Y.S. Kim. 2001. The inductive response of the antioxidant enzymes by water deficit stress and selenium in C_4 plants. *Plant Physiology.* 770: 151-174.
- Meriga, B., A. Ediga, and P.B. Kavikishor. 2015. Differential tolerance to selenium toxicity in wheat cultivars: Involvement of antioxidative enzymes and possible role of selenium resistant cell membrane. *Academic Journal of Plant Sciences.* 7: 168-175.
- Murphy, L.A., P.G. Reeves, and S.S. Jones. 2014. Selenium and quality characteristics expressed in wheat breeding lines. *Food Systemic Journal.* 32: 52-63
- Paglia, D.E., and W.N. Valentine. 1987. Studies on quantitative and qualitative traits of glutathione peroxidase. *Journal Lab Medical.* 70: 158-166.
- Pezzarossa, B., F. Gorini, and G. Petruzzelli. 2014. Selenium distribution and bio availability in contaminated sites: dynamics and bioavailability of malondialdehyde in the leaf zone. Taylor and Francis Group. UK pp 93-128.
- Pukacka, S., E. Ratajczak, and E. Kalemba. 2014. The protective role of selenium in recalcitrant wheat seeds subjected to malondialdehyde in response to desiccation. *Journal Plant Physiology.* 176: 478-490.
- Radic, S., M. Babic, D. Skobic, and B. Pevalek-Kozlina. 2015. Effects of selenium foliar and antioxidants in wheat ecotoxicology. *Environmental Safety*. 82: 563-572.
- Reese, C., D. Long, D. Clay, S. Clay, and D. Beck. 2015. Antioxidants and water stress impact oxygen radicals on red spring wheat. *Journal of Terrestrial Observations.* 5: 106-114.
- Ros, G.H., M.C. Hanegraaf, and W.H. van Riemsdijk. 2014. Predicting soil N mineralization: relevance of organic matter fractions and soil propertieson selenium accumulation. *Soil Biochemistry.* 54: 951-964.
- Scharf, P.C., D.K. Shannon, and N.R. Latchern. 2015. Sensor based selenium application producer chosen rates on wheat demonstrations. *Agronomy Journal.* 107: 445-458.
- Seppänen, M.M., J. Kontturi, J. Madrid, and H. Hartikainen. 2015. Agronomic biofortification of wheat with selenium enrichment and its identification in Brassica seeds and meal. *Plant Soil.* 340: 501-510.
- Solari, F., R.B.F. Erguson, and V.I. Adamchuk. 2014. An active sensor algorithm for Se applications based on a cell membrane sufficiency index framework to malondialdehyde. *Agronomy Journal.* 106: 745-755.
- Tabrizi, A.A., G. Nour Mohammadi, and H.R. Mobasser. 2015. Effects of different cropping systems on fertility of paddy soil. *Journal of Crop Ecophysiology.* 9(2): 191-202. (In Persian).
- Waraich, E.A., R. Amad, M.Y. Ashraf, and M. Ahmad. 2014. Improving agricultural by cytoplasmic membrane stability by selenium management. *Acta Agriculture Scandinavica.* 65: 74-86.
- Yilmaz, A., H. Ekiz, B. Torun, and I. Cakmak. 1997. Effect of different selenium concentration in wheat seed cultivars grown on water deficient in calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition*. 20: 461- 471.
- Zwer, P.K., and B. Klepper. 2012. Maalondialdehyde activity due selenium and destroy of membrane in crops. *Crop Science.* 210: 1905-1911.

Archive of SID

www.SID.ir

Wheat Response *(Triticum aestivum* L.*)* to Selenium under Normal Irrigation and Water Deficit Conditions

Mohammad Reza Dadnia[1*]

Received: July 2017 , Revised: 13 February 2018, Accepted: 17 April 2018

Abstract

To evaluate the effect of selenium (from sodium selenate) on increasing efficiency at water deficit condition a research was conducted in Karaj 1 wheat cultivar in 2014-2015 cropping year with split plot based on completely randomize block design with four replications in Karaj. Irrigation treatments with two levels, normal (I_1) and interruption of irrigation at mid flowering (110 days after planting) (I_2), which were assigned to main plots and selenium foliar application with six concentrations: 0 (S_0), 5 (3.12 micro g.) (S_1), 10 (6.24 micro g.) (S_2), 15 (9.36 micro g.) (S_3), 20 (12.5 micro g.) (S_4) and 25 (15.62 micro g,) of sodium selenate per plant (S_5) $g.ha^{-1}$ to sub plots. The results showed that water deficit increased the rate of superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase and malondialdehyde marker. Foliar application of selenium, increased contents of antioxidant (anti oxidation) enzymes under stress condition and was maximum in 20 g. selenium per ha^{-1}. Content of malondialdehyde was decreased and caused significant increase in grain yield. Increasing antioxidants and reduction of malondialdehyde at normal condition was lower. On the other hand, negative effect of malondialdehyde on yield components, cellular membrane stability and antioxidant enzymes at humidity stress condition was higher than normal condition. Significant increase of cytoplasmic membrane stability, grain yield, grain weight and selenium content of seed was obtained when 15 and 20 g. selenium ha^{-1} were used as compared with those of higher and lower rates of selenium usage under water deficit and normal irrigation. Suppression of free oxygen radicals, and enzyme induction defense mechanisms against oxidative damage has been effective. Therefore, use of exogenous compounds such as selenium may increase the antioxidant capacity of plant against stress.

Key words: Malondialdehyde, Selenium, Water deficite, Wheat.

1- Assistant Prof., Derpartment of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
* *Corresponding Author: rezadadnia@yahoo.com*

Archive of SID

www.SID.ir