

تأثیر سلنیم بر وزن خشک، فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز و غلظت برخی عناصر کم مصرف گندم در شرایط شور

مهری صادقی^۱، امیرحسین خوشگفتارمنش^{۱*} و بهاره دانش بخش^۲

به ترتیب گروه خاکشناسی و مرکز پژوهشی کشت بدون خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۵/۰۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۰۱)

چکیده:

سلنیم در گروه عناصر مفید برای گیاه قرار دارد اما غلظت‌های زیاد آن سمی بوده و سبب کاهش رشد گیاه می‌شود. اطلاعات کمی درباره تأثیر سلنیم بر شدت خسارت ناشی از شوری در گندم وجود دارد. از این رو پژوهش حاضر با هدف بررسی برهمکنش شوری و سلنیم بر وزن خشک ریشه و شاخساره، فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز و غلظت و جذب برخی عناصر کم مصرف در ریشه و شاخساره گندم انجام گرفت. در این پژوهش، دو رقم گندم با کارایی مختلف از لحاظ عناصر غذایی کم مصرف (کویر و بک کراس روشن) با چهار سطح سلنیم (۰، ۲۰، ۴۰ و ۱۵۰ میکرومولار) و دو سطح شوری (۰ و ۱۰ میلی مولار) تیمار شدند. نتایج نشان داد که اثر کاربرد سطوح مختلف سلنیم بر وزن خشک شاخساره گندم به رقم گیاه و سطح شوری بستگی دارد. کاربرد ۲۰ میکرومولار سلنیم سبب افزایش وزن خشک شاخساره گندم بک کراس روشن در شرایط شور شد. در رقم گندم کویر سطح ۴۰ میکرومولار سلنیم عملکرد وزن خشک شاخساره را در شرایط غیرشور افزایش داد. اثر سلنیم بر فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز بسته به رقم گندم و غلظت سلنیم مصرفی متفاوت بود. به طور کلی مصرف سطوح ۲۰ و ۴۰ میکرومولار سلنیم در شرایط شور باعث افزایش فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز ریشه در هر دو رقم گندم مورد مطالعه شد. همچنین سطح ۲۰ میکرومولار سلنیم فعالیت آنزیمی شاخساره گیاه را در هر دو رقم گندم در شرایط شور افزایش داد. براساس نتایج پژوهش حاضر، تغذیه سلنیم بر عملکرد گندم به ویژه در شرایط شور، تأثیر مثبتی دارد اما این تأثیر به رقم گیاه و غلظت سلنیم مصرفی بستگی دارد.

کلمات کلیدی: آنزیم آنتی اکسیدانت، تنش غیر زیستی، عناصر غذایی مفید، غلات

مقدمه:

کمتر از ۰/۱ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه می‌باشد. البته غلظت‌های سمی سلنیم (بیش از ۲ میلی گرم سلنیم در کیلوگرم) نیز در برخی گیاهان رشد کرده در خاک‌های غنی از این عنصر گزارش شده است (Baker and Pilbeam, 2007). سلنیم نقش مهمی در ساختار ترکیبات مختلف گیاهی دارد. سلنوپروتئین‌های درون سلولی از جمله گلوکاتایون پراکسیدازها، تیوردوکسین ردکتاز و سلنوفسفات سنتتاز، ترکیباتی هستند که سلنیم در آنها وجود دارد. برخی از آنها نقش مهمی به عنوان آنتی‌اکسیدانت ایفا می‌کنند (Liu et al., 2009). مهم‌ترین نقش

احتمال سمیت و کمبود سلنیم نیز مانند سایر عناصر، در حیوانات و انسان وجود دارد. حد کمبود و سمیت این عنصر برای دام و انسان بسیار به هم نزدیک است. در شرایط طبیعی، کمبود یا سمیت سلنیم به ندرت در انسان و دام ایجاد می‌شود، اما در شرایط کمبود آن در خاک، احتمال کمبود این عنصر در گیاه، دام و انسان در سطح محدود وجود دارد (Clark et al., 1998). نتایج مطالعه‌ای نشان می‌دهد که در بیشتر مناطق جهان، غلظت سلنیم در خاک نسبتاً کم بوده و غلظت آن در بیشتر گیاهان

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سلنیم بر عملکرد وزن خشک ریشه و شاخساره و شدت خسارت اکسیداتیو ناشی از تنش شوری در دو رقم گندم (با کارایی مختلف از لحاظ عناصر کم مصرف) انجام شد.

مواد و روش‌ها:

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل مستقل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی مرکز پژوهشی کشت بدون خاک دانشگاه صنعتی اصفهان انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح مختلف سلنیم (۰، ۲۰، ۴۰ و ۱۵۰ میکرومولار از منبع سلنات سدیم)، دو سطح شوری (۰ و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم) و دو رقم گندم با کارایی مختلف از نظر عناصر کم مصرف (کویر به عنوان رقم ناکارآ و بک کراس روشن به عنوان رقم کارآ) (Khoshgoftarmanesh et al., 2009; Daneshbakhsh et al., 2013) بود. برای تهیه بوته‌های گندم از جعبه کاشت (۷۰×۵۰ سانتی‌متر) حاوی ماسه سترون استفاده شد. ابتدا بذور ارقام مختلف گندم به‌طور سطحی توسط محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد سترون شده و پس از ضدعفونی شدن با محلول قارچ‌کش به صورت ردیفی در ماسه با فواصل یک سانتی‌متری کاشته شدند.

حدود دو هفته بعد از کاشت، بوته‌های گندم از جعبه‌های کاشت به محلول غذایی انتقال داده شدند. ترکیب محلول غذایی مورد استفاده در محیط آبکشت در جدول ۱ ارائه شده است. از غلظت ۱/۰ میلی مولار (MES) 2-[N-morpholino]-ethanesulfonate برای بافرکردن pH محلول غذایی استفاده شد. در سیستم کاشت، از تشت‌های پلی اتیلنی با ظرفیت ۸ لیتر به صورت واحدهای مجزای آزمایشی استفاده شد. در هر ظرف نیز ۳ تکرار که هر تکرار شامل ۹ بوته گندم بود در نظر گرفته شد. محلول غذایی تشت‌ها هر هفته تعویض شد.

یک هفته پس از انتقال بوته‌ها به محلول غذایی سطوح صفر و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم (بصورت تدریجی در مدت یک هفته) بعنوان تیمار شوری اعمال شد. سطوح مختلف سلنیم نیز طی یک هفته پس از انتقال بوته‌ها از منبع سلنات

زیستی سلنیم در ارتباط با فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز است. در واقع، سلنیم کوفاکتور آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز می باشد (Baker and Pilbeam, 2007). این آنزیم سلول را در برابر صدمات ناشی از تنش اکسیداتیو محافظت می‌کند. تنش های محیطی مختلف، باعث ایجاد گونه‌های فعال اکسیژن در سلول‌های گیاه می‌شوند. از انواع مختلف این تنش‌ها می‌توان به تغییرات دمایی، شوک مکانیکی، اشعه فرابنفش (UV)، قرار گرفتن در معرض اوزون، کمبود آب، غلظت زیاد فلزات سنگین (Boscolo et al., 2003) و شوری اشاره کرد. در شرایطی که سلول‌ها تحت تنش‌های محیطی قرار دارند تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) افزایش می‌یابد (Boscolo et al., 2003).

شوری یکی از مهمترین تنش‌های غیر زیستی در مناطق خشک و نیمه خشک بویژه مناطق مرکزی ایران است. خاک‌های تحت تأثیر شوری، حدود ۷ درصد خاک‌های دنیا را تشکیل می‌دهند (Feng et al., 2002). در ایران نیز، وسعت خاک‌های شور حدود ۴۴/۵ میلیون هکتار است که در حدود ۲۷ درصد کل اراضی کشور را شامل می‌شوند (Banaei, 2000). اثرهای شوری به طور عمده شامل کاهش پتانسیل اسمزی آب در محیط خاک و احتمال وقوع سمیت یون‌های ویژه در گیاهان و جانداران است (Hajrasuliha et al., 1991). شوری خاک باعث انباشته شدن یون‌های Na^+ و Cl^- در گیاه شده و از طریق اثرهای متقابل رقابتی و یا نفوذپذیری انتخابی یون‌ها در غشاء، بر جذب سایر عناصر غذایی اثر گذاشته (Grattan and Grieve, 1992)، باعث کاهش رشد گیاه می‌شود. یکی دیگر از اثرهای شوری در گیاه، تولید اسیدهای چرب غیراشباع در غشاء سلولی است که به ساختمان غشاء سلولی صدمه زده و به این ترتیب موجب افزایش نفوذپذیری غشاء سلول‌های ریشه و خروج ترکیبات از ریشه گیاه می‌شود. در مقابل، تعدادی از آنزیم‌های آنتی اکسیدانت از جمله گلوکاتایون پراکسیداز سلول‌های گیاه را در برابر صدمات ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن محافظت می‌کنند (Maribel and Satoshi, 1998). در این راستا نقش سلنیم به عنوان یک عامل موثر در تولید این آنزیم و در افزایش تحمل گیاه در برابر تنش‌های اکسیداتیو بسیار مهم و حیاتی است.

جدول ۱- ترکیب محلول غذایی محیط آبهکشت برای گیاه گندم

عناصر کم مصرف	عناصر پر مصرف
۰/۱ M ZnSO ₄	۱/۵mM NH ₄ NO ₃
۱μM H ₃ BO ₃	۲mM Ca(NO ₃) ₂
μM MnSO ₄ ۰/۵	۰/۱mM KCl
μM CuSO ₄ ۰/۲	۱mM MgSO ₄
μM (NH ₄)Mo ₇ O ₂₄ ۰/۰۲	۰/۸۸mM K ₂ SO ₄
μM Fe EDTA ۱۶۱	۰/۲۵mM KH ₂ PO ₄
μM NiCl ₂ ۰/۱	
μM HEDTA (N-2-hydroxyethyl-ethylenediamine-N,N',N'-triacetate) ۱۰۰	
mM MES (2-[N-morpholino]-ethanesulfonate) ۱	

تعیین فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز (GPX): تمام مراحل استخراج آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز در دمای ۴ درجه سلسیوس انجام گرفت. مقدار ۰/۲ گرم از ریشه و شاخساره تازه گیاه که در زمان برداشت در نیتروژن مایع سائیده شده و در فریزر نگهداری شده بودند، با یک میلی‌لیتر از بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار و ترایتون ۱ درصد همگن شد و به مدت یک ساعت در یخچال نگهداری شد و پس از آن به مدت ۱۵ دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ در دمای ۴ درجه سلسیوس با دور ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. محلول صاف رویی جهت تعیین فعالیت آنزیم جداسازی شد.

جهت تعیین فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز با روش نیکل و کانینگهام، ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی با ۳ میلی لیتر بافر قرائت حاوی گایاکول ۲۵ میلی‌مولار و آب اکسیژنه ۱۰ میلی‌مولار مخلوط شده و شدت جذب نمونه در طول موج ۴۷۰ نانومتر در این محلول توسط دستگاه طیف‌سنج در زمان صفر و ۷۰ ثانیه اندازه‌گیری شد (Nickel and Cunningham, 1969). فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز طبق فرمول زیر محاسبه گردید:

$$A = (\Delta \text{abs} \div t) \times c \times v \times (1 \div m) \times 10^6$$

A: فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز (میکرومول بر دقیقه بر گرم وزن مرطوب)

Δabs : اختلاف شدت جذب نمونه در طول موج ۴۷۰ نانومتر

سدیم به محلول غذایی اضافه شد.

حدود دو ماه پس از انتقال بوته‌ها به محلول غذایی، گیاهان برداشت شده و با آب مقطر شسته شد. سپس ریشه و شاخساره هر گیاه از محل طوقه جدا شد و هر کدام به طور جداگانه به پاکت‌های کاغذی منتقل شدند. سپس نمونه‌های گیاهی به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در خشک‌کن تهویه‌دار خشک شدند. پس از آن وزن خشک ریشه و شاخساره هر تیمار اندازه‌گیری شد. نمونه‌های خشک شده برای انجام آزمایش‌های مورد نظر، آسیاب شده و در ظروف پلاستیکی نگهداری شدند.

اندازه‌گیری غلظت و جذب آهن و روی: برای هضم نمونه‌های گیاهی، ۰/۵ گرم از بافت گیاهی پودر شده (ریشه و شاخساره) به مدت ۱۲ ساعت در ۵ میلی‌لیتر اسیدنیتریک ۱۴ نرمال و ۱۰ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳۰٪ حجمی قرار داده شد و پس از حرارت دادن به مدت دو ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس، محلول هضم شده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ عبور داده شد و با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد (Mengel and Kirkby, 1987). غلظت روی و آهن در عصاره‌های ریشه و شاخساره توسط دستگاه جذب اتمی (پرکین المر مدل ۳۰۳۰) اندازه‌گیری شد و مقدار کل (جذب) آهن و روی شاخساره از حاصلضرب غلظت در وزن خشک شاخساره محاسبه گردید.

در زمان‌های صفر و ۷۰ ثانیه

t: زمان قرائت جذب دوم بر حسب دقیقه

c: ضریب تصحیح آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز (۱۰۰۰۰×۶/۲۶)

v: حجم کوئت بر حسب لیتر

m: وزن ریشه بر حسب گرم

تجزیه آماری نتایج حاصل شده با استفاده از نرم‌افزار

رایانه‌ای SAS (SAS, 1988) و رسم شکل‌ها با Microsoft

office Excel 2007 انجام شد.

نتایج:

وزن خشک ریشه: تأثیر سلنیم بر وزن خشک ریشه بسته به رقم گندم، تیمار شوری و سطح سلنیم مصرفی متفاوت بود (شکل ۱). در رقم کویر تأثیر سلنیم بر عملکرد وزن خشک ریشه در شرایط شور و غیرشور متفاوت بود، به گونه‌ای که در شرایط غیر شور با افزایش غلظت سلنیم محلول غذایی، عملکرد وزن خشک ریشه افزایش یافت در حالی که در شرایط شور کاربرد سلنیم، سبب کاهش عملکرد وزن خشک ریشه شد. در رقم بک کراس روشن در شرایط شور تفاوت معنی‌داری بین سطوح سلنیم از نظر عملکرد وزن خشک ریشه مشاهده نشد. در شرایط غیرشور، برخلاف رقم کویر، عملکرد وزن خشک ریشه در سطوح صفر و ۲۰ میکرومولار به طور معنی‌داری بیشتر از سطوح ۴۰ و ۱۵۰ میکرومولار سلنات سدیم بود.

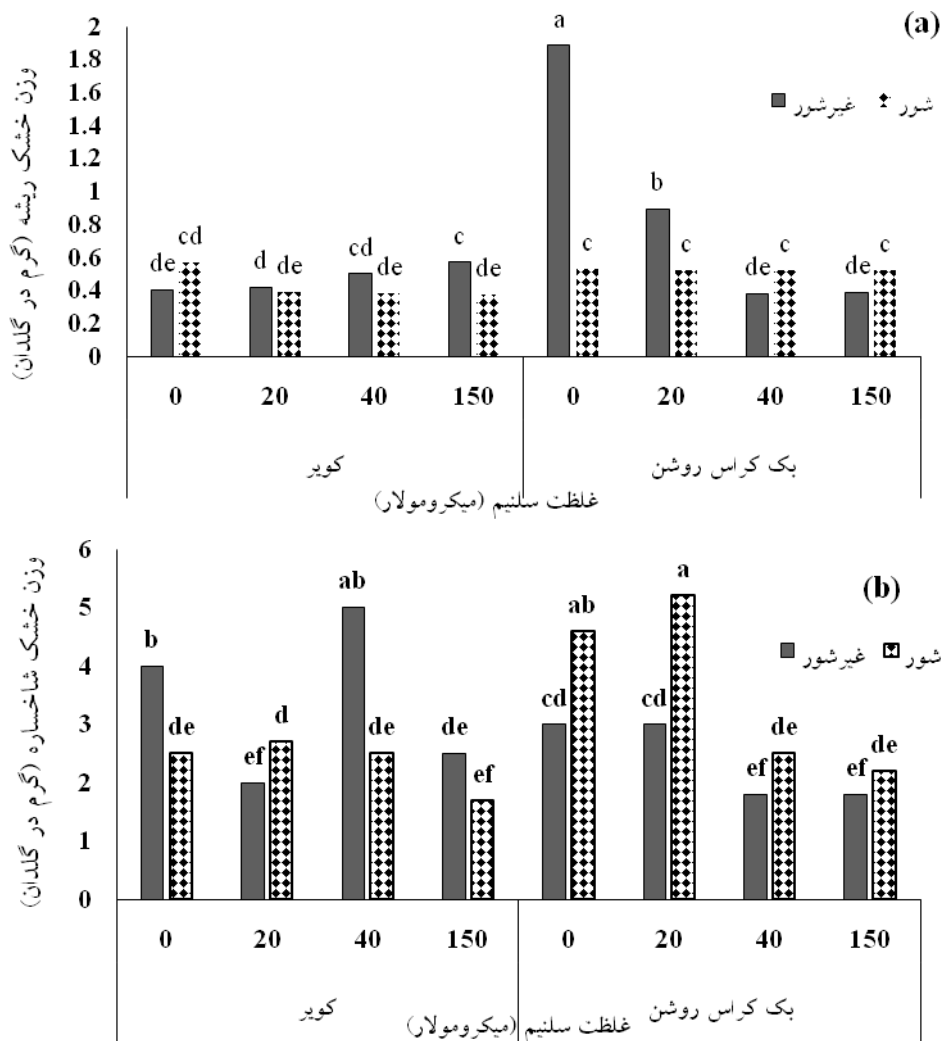
عملکرد وزن خشک شاخساره: تأثیر سلنیم بر عملکرد شاخساره بسته به رقم گندم و تیمار شوری متفاوت بود (شکل ۱). در رقم گندم کویر، بیشترین عملکرد وزن خشک شاخساره در شرایط غیر شور و مربوط به سطح ۴۰ میکرومولار سلنیم بود، در حالی که در شرایط شور سطح ۱۵۰ میکرومولار سلنیم کمترین وزن خشک شاخساره را داشت. در رقم بک کراس روشن در هر دو سطح شوری، عملکرد وزن خشک شاخساره در سطوح صفر و ۲۰ میکرومولار سلنیم نسبت به سایر سطوح سلنیم مصرفی (۴۰ و ۱۵۰ میکرو مولار) بیشتر بود. در شرایط شور تأثیر کاربرد سطوح مختلف سلنیم بر

عملکرد وزن خشک شاخساره هر دو رقم گندم کویر و بک کراس روشن روند مشابهی داشت، به گونه‌ای که بالاترین عملکرد در سطوح صفر و ۲۰ میکرومولار سلنیم و کمترین عملکرد در سطوح ۴۰ و ۱۵۰ میکرومولار سلنیم مشاهده شد. به طور کلی تأثیر سلنیم بر رشد ریشه در مقایسه با شاخساره کمتر بود.

فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز (GPX) در ریشه: در هر دو رقم گندم، در شرایط غیرشور بیشترین فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز ریشه در سطوح صفر و ۱۵۰ میکرومولار سلنیم، و کمترین فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز ریشه در سطوح ۲۰ و ۴۰ میکرومولار سلنیم مشاهده شد (شکل ۲). این روند در شرایط شور متفاوت بود به طوری که با افزایش غلظت سلنیم محلول غذایی از صفر به ۴۰ میکرومولار، فعالیت آنزیم افزایش یافت و پس از آن در سطح ۱۵۰ میکرومولار سلنیم، فعالیت آنزیم کاهش یافت.

فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز (GPX) در شاخساره: به طور کلی در هر دو رقم گندم، بیشترین فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز در تیمار شور مشاهده شد (شکل ۲). در رقم کویر در هر دو تیمار شوری، بیشترین فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز شاخساره با افزودن ۲۰ میکرومولار سلنیم به محلول غذایی مشاهده شد (شکل ۲). در رقم بک کراس روشن در شرایط غیر شور بیشترین فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز شاخساره در تیمار ۴۰ و ۱۵۰ میکرومولار سلنیم بود، ولی در شرایط شور بیشترین فعالیت آنزیم در سطح ۲۰ میکرومولار سلنیم مشاهده شد.

غلظت آهن ریشه: در رقم کویر، غلظت آهن ریشه در تیمار ۱۵۰ میکرو مولار سلنیم و ۱۰۰ میلی مولار شوری به طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود (جدول ۲). در این رقم گندم غلظت آهن ریشه در شرایط شور، در تمامی سطوح سلنیم به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار بدون سلنیم بود. در شرایط غیر شور در این رقم گندم، بیشترین غلظت آهن در سطح ۲۰ میکرومولار سلنیم مشاهده شد. در رقم گندم بک کراس روشن، با افزایش غلظت سلنیم در تیمار غیر شور

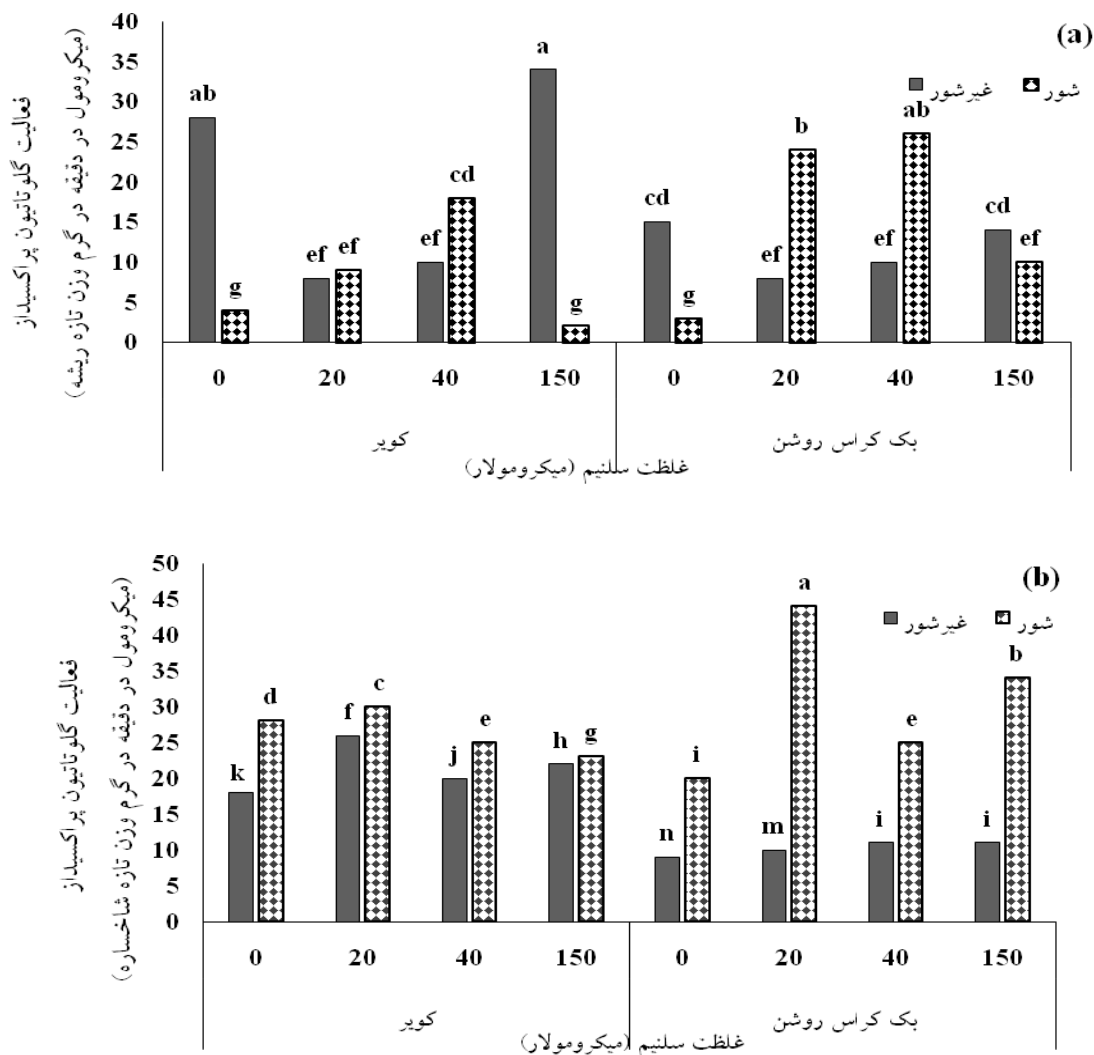


شکل ۱- برهمکنش شوری و سلنیم بر عملکرد وزن خشک ریشه و شاخساره دو رقم گندم مورد مطالعه (گرم در گلدان) سلنیم (Se) در غلظت‌های به ترتیب ۰، ۲۰، ۴۰ و ۱۵۰ میکرومولار از منبع سلنات سدیم و شوری (S) در دو سطح صفر و ۱۰۰ میلی‌مولار از منبع کلرید سدیم بکار گرفته شد. وجود حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد (LSD, P < 0.05).

جدول ۲- تأثیر شوری و سلنیم بر غلظت آهن ریشه دو رقم گندم مورد مطالعه

میانگین		رقم‌های گیاهی	سلنیم (μM)				شوری (mM)	رقم گیاهی
شوری (mM)			۱۵۰	۴۰	۲۰	۰		
۱۰۰	۰	۲۰/۰۷ ^A ۱۵/۱۶ ^B	۱۳/۳۲ ^h	۱۴/۱۹ ^h	۲۳/۸۵ ^b	۱۷/۴۷ ^f	۰	کویر
۱۹/۸۳ ^A	۱۵/۴۱ ^B		۳۱/۳۷ ^a	۲۲/۵۵ ^c	۲۴/۳۲ ^b	۱۳/۴۹ ^h	۱۰۰	
			۲۱/۱۶ ^d	۱۵/۸۰ ^g	۱۰/۳۳ ^j	۷/۱۲ ^k	۰	بک‌کراس
			۱۹/۳۴ ^e	۲۱/۴۷ ^d	۱۱/۸۵ ⁱ	۱۴/۲۰ ^h	۱۰۰	
میانگین			۲۱/۳۰ ^A	۱۸/۵۰ ^B	۱۷/۵۹ ^C	۱۳/۰۷ ^D		

حروف کوچک برای مقایسه اثر متقابل سه گانه و حروف بزرگ برای مقایسه اثر اصلی رقم، سلنیم و شوری استفاده شده است. وجود حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد (LSD, P < 0.05).



شکل ۲- برهمکنش شوری و سلنیم بر فعالیت آنزیم گلو تاتیون پراکسیداز ریشه و شاخساره دو رقم گندم مورد مطالعه (میکرومول در دقیقه در گرم وزن تازه) سلنیم (Se) در غلظت‌های به ترتیب ۰، ۲۰، ۴۰ و ۱۵۰ میکرومولار از منبع سلنات سدیم و شوری (S) در دو سطح صفر و ۱۰۰ میلی‌مولار از منبع کلرید سدیم بکار گرفته شد. وجود حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد (LSD, $P < 0.05$).

سلنیم بود، در حالی که در این رقم گندم در شرایط شور، غلظت آهن شاخساره در سطوح ۲۰ و ۱۵۰ میکرومولار سلنیم به طور معنی‌داری نسبت به تیمار بدون سلنیم افزایش یافت.

غلظت روی ریشه: غلظت روی ریشه در رقم بک کراس روشن به طور معنی‌داری بیشتر از کویر بود (جدول ۴). در هر دو رقم گندم مورد مطالعه در شرایط شور، با افزایش غلظت سلنیم محلول غذایی غلظت روی ریشه کاهش یافت به طوری که بیشترین غلظت روی ریشه مربوط به تیمار بدون سلنیم بود. در رقم گندم کویر در شرایط غیر شور بالاترین غلظت روی ریشه در محلول غذایی بدون سلنیم مشاهده شد و با افزایش غلظت سلنیم

غلظت آهن ریشه افزایش یافت ولی در تیمار شور، فقط در سطوح ۴۰ و ۱۵۰ میکرومولار سلنیم غلظت آهن ریشه نسبت به تیمار بدون سلنیم معنی‌دار نشان داد.

غلظت آهن شاخساره: در رقم گندم کویر بین غلظت آهن شاخساره در سطوح مختلف سلنیم در تیمار غیرشور اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، در حالی که در تیمار شور، غلظت آهن شاخساره در سطح ۴۰ میکرومولار سلنیم به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار بدون سلنیم بود (جدول ۳). در رقم گندم بک کراس روشن، در تیمار غیر شور، غلظت آهن شاخساره در تیمار بدون سلنیم به طور معنی‌داری بیشتر از سایر سطوح

جدول ۳- تأثیر شوری و سلنیم بر غلظت آهن در شاخساره دو رقم گندم مورد مطالعه

میانگین		رقم‌های گیاهی	سلنیم (μM)				شوری (mM)	رقم گیاهی
شوری (mM)	رقم گیاهی		۱۵۰	۴۰	۲۰	۰		
۱۰۰	۰	۰/۹۸ ^B	۰/۸۵ ^{fg}	۰/۹۳ ^{efg}	۰/۹۳ ^{efg}	۰/۷۱ ^g	۰	کویر
۱/۳۳ ^B	۱/۶۱ ^A	۱/۱۵ ^{defg}	۱/۴۵ ^{cdef}	۰/۹۷ ^{efg}	۰/۸۱ ^g	۱۰۰	گندم	
		۱/۹۶ ^A	۲/۳۸ ^b	۱/۶۸ ^{cd}	۱/۹۸ ^{bc}	۳/۴۰ ^a		۰
			۱/۹۱ ^{bc}	۱/۵۲ ^{cde}	۱/۸۱ ^{bc}	۱/۰۲ ^{efg}	۱۰۰	
			۱/۵۷ ^A	۱/۳۹ ^A	۱/۴۲ ^A	۱/۴۸ ^A		میانگین

حروف کوچک برای مقایسه اثر متقابل سه گانه و حروف بزرگ برای مقایسه اثر اصلی رقم، سلنیم و شوری استفاده شده است. وجود حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد ($P < 0/05$, LSD).

جدول ۴- تأثیر شوری و سلنیم بر غلظت روی ریشه دو رقم گندم مورد مطالعه

میانگین		رقم	سلنیم (μM)				شوری (mM)	رقم
شوری (mM)	رقم		۱۵۰	۴۰	۲۰	۰		
۱۰۰	۰	۰/۳۱ ^B	۰/۲۹ ^{fgh}	۰/۲۹ ^{gh}	۰/۳۰ ^{fgh}	۰/۳۷ ^d	۰	کویر
۰/۲۸ ^B	۰/۵۹ ^A	۰/۲۴ ^{lj}	۰/۲۴ ^{lj}	۰/۲۸ ^h	۰/۳۲ ^{fg}	۰/۳۶ ^{de}	۱۰۰	
		۰/۵۷ ^A	۰/۸۴ ^b	۱/۱۲ ^a	۰/۰۷۴ ^c	۰/۷۶ ^c	۰	بک‌کراس
			۰/۲۳ ^j	۰/۲۳ ^{ij}	۰/۲۷ ^{hi}	۰/۳۳ ^{ef}	۱۰۰	
			۰/۴۰ ^C	۰/۴۸ ^A	۰/۴۱ ^C	۰/۴۵ ^B		میانگین

حروف کوچک برای مقایسه اثر متقابل سه گانه و حروف بزرگ برای مقایسه اثر اصلی رقم، سلنیم و شوری استفاده شده است. وجود حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد ($P < 0/05$, LSD).

جذب آهن ریشه در شرایط غیر شور در تیمار بدون سلنیم و در شرایط شور در غلظت ۴۰ میکرومولار سلنیم مشاهده شد (شکل ۳). در رقم گندم کویر در شرایط غیر شور، مقدار جذب آهن ریشه در سطح ۲۰ میکرومولار سلنیم، و در شرایط شور، در سطح ۱۵۰ میکرومولار سلنیم به طور معنی‌داری بیشتر از سایر سطوح سلنیم بودند.

جذب آهن شاخساره: مقدار جذب آهن شاخساره در رقم بک‌کراس روشن بیشتر از رقم کویر بود (شکل ۳). در رقم گندم کویر، در هر دو سطح شوری، جذب آهن شاخساره در سطح ۴۰ میکرو مولار سلنیم بیشتر از سایر سطوح سلنیم بود ولی این افزایش معنی‌دار نبود. در رقم بک‌کراس روشن تأثیر

در محلول غذایی، غلظت روی ریشه کاهش یافت. در رقم بک‌کراس روشن غلظت روی ریشه در شرایط غیر شور در سطح ۴۰ میکرومولار به طور معنی‌داری بیشتر از سایر سطوح سلنیم بود.

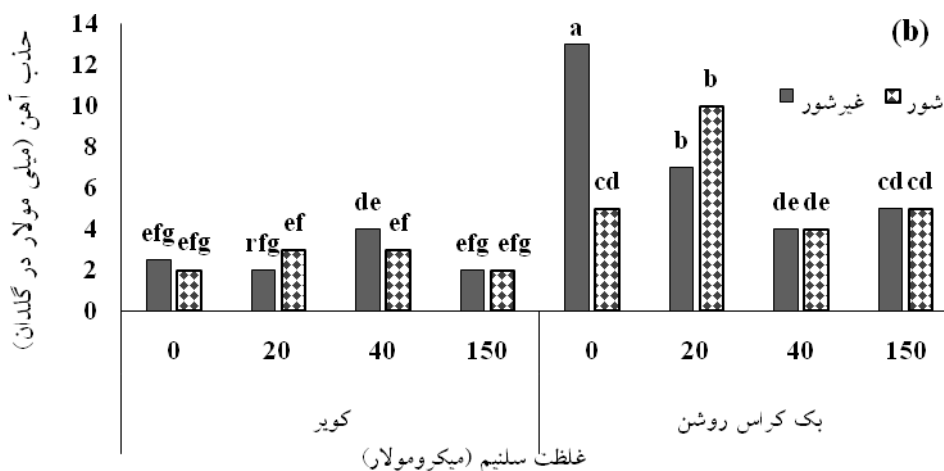
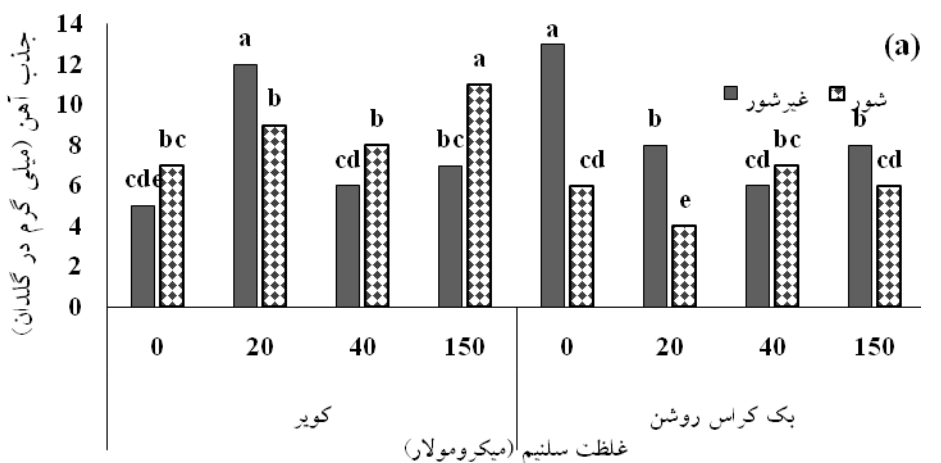
غلظت روی شاخساره: در رقم گندم کویر، کاربرد سطوح مختلف سلنیم در محلول غذایی اثر معنی‌داری بر غلظت روی شاخساره نداشتند (جدول ۵). در رقم بک‌کراس روشن در هر دو سطح شوری، غلظت روی شاخساره در تیمار بدون سلنیم به طور معنی‌داری بیشتر از سایر سطوح سلنیم بود. در این رقم در هر دو سطح شوری، با افزایش غلظت سلنیم محلول غذایی، غلظت روی شاخساره افزایش یافت ولی این افزایش معنی‌دار نبود.

جذب آهن ریشه: در رقم گندم بک‌کراس روشن، بیشترین

جدول ۵- تأثیر شوری و سلنیم بر غلظت روی شاخساره دو رقم گندم مورد مطالعه

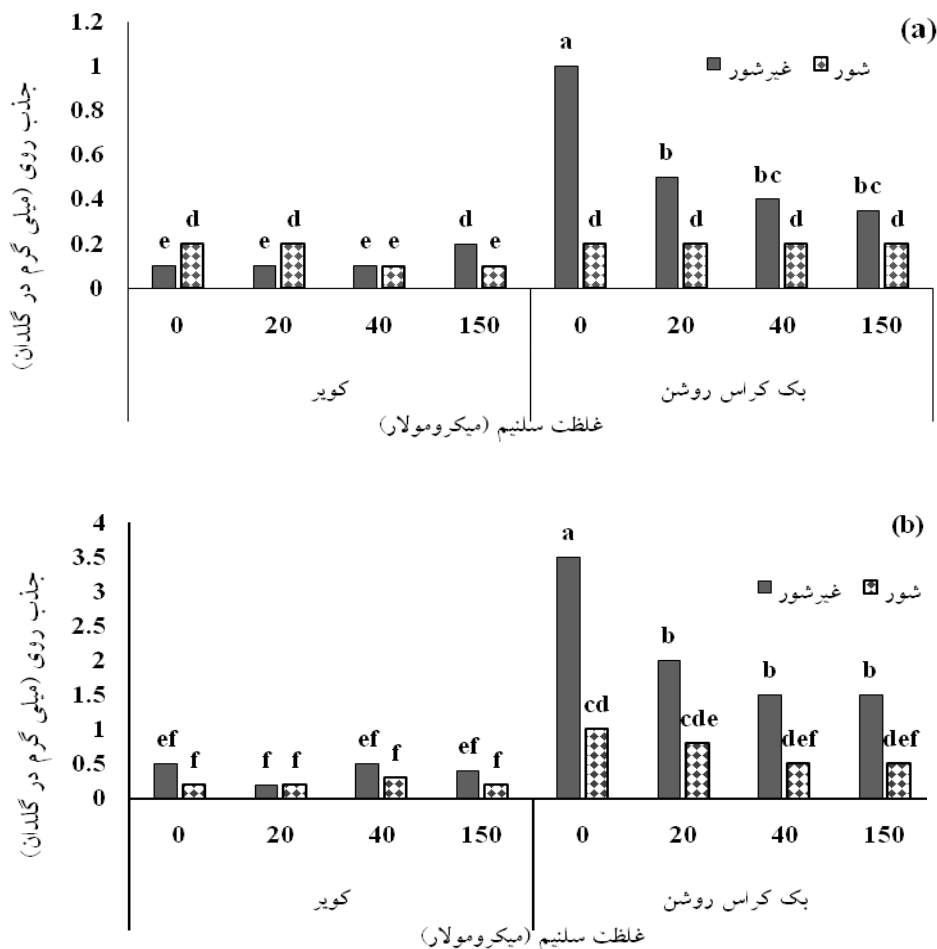
میانگین		رقم‌های گیاهی	سلنیم (μM)				شوری (mM)	رقم گیاهی
شوری (mM)	۱۰۰		۰	۱۵۰	۴۰	۲۰		
۰/۱۶ ^B	۰/۴۴ ^A	۰/۱۴ ^B	۰/۱۸ ^{cd}	۰/۱۳ ^d	۰/۱۴ ^d	۰/۱۴ ^d	۰	کویر
			۰/۱۵ ^d	۰/۱۲ ^d	۰/۱۳ ^d	۰/۱۳ ^d	۱۰۰	
۰/۱۶ ^B	۰/۴۴ ^A	۰/۴۵ ^A	۰/۶۶ ^b	۰/۶۲ ^b	۰/۶۱ ^b	۱/۰۲ ^a	۰	گندم
			۰/۱۶ ^d	۰/۱۵ ^d	۰/۱۵ ^d	۰/۲۵ ^c	۱۰۰	
			۰/۲۹ ^B	۰/۲۵ ^B	۰/۲۶ ^B	۰/۳۸ ^A	میانگین	

حروف کوچک برای مقایسه اثر متقابل سه گانه و حروف بزرگ برای مقایسه اثر اصلی رقم، سلنیم و شوری استفاده شده است. وجود حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد (LSD, P < 0/05).



شکل ۳- برهمکنش رقم، شوری و سلنیم بر جذب آهن ریشه و شاخساره دو رقم گندم مورد مطالعه (میلی گرم در گلدان). سلنیم (Se) در غلظت-های ۰، ۲۰، ۴۰ و ۱۵۰ میکرو مولار از منبع سلنات سدیم و شوری (S) در دو سطح صفر و ۱۰۰ میلی مولار از منبع کلرید سدیم بکار گرفته شد. وجود حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد (LSD, P < 0/05).

کاربرد سلنیم بر جذب آهن شاخساره، در شرایط شور و غیر شور متفاوت بود به گونه‌ای که در شرایط غیر شور تیمار بدون



شکل ۴- برهمکنش رقم، شوری و سلنیم بر جذب روی ریشه و شاخساره دو رقم گندم مورد مطالعه (میلی گرم در گلدان). سلنیم (Se) در غلظت‌های به ترتیب ۰، ۲۰، ۴۰ و ۱۵۰ میکرومولار از منبع سلنات سدیم و شوری (S) در دو سطح صفر و ۱۰۰ میلی‌مولار از منبع کلرید سدیم بکار گرفته شد. وجود حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد (LSD, $P < 0.05$).

کمترین جذب روی در سطح ۱۵۰ میکرومولار سلنیم بود. **جذب روی شاخساره:** در رقم گندم بک کراس روشن، در هر دو سطح شوری، بیشترین جذب روی شاخساره مربوط به تیمار بدون سلنیم بود و با افزایش غلظت سلنیم محلول غذایی جذب روی شاخساره کاهش یافت. در رقم گندم کویر، بین سطوح مختلف سلنیم در دو سطح شوری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴).

بحث:

بطور کلی کاربرد سلنیم تا غلظت ۲۰ میکرومولار اثر مثبت بر رشد گندم داشت اما با افزایش غلظت سلنیم محلول غذایی از ۲۰ تا ۱۵۰ میکرومولار، عملکرد وزن خشک شاخساره کاهش

سلنیم به طور معنی‌داری بیشترین جذب آهن را داشت، در حالی که در شرایط شور بیشترین جذب آهن شاخساره مربوط به سطح ۲۰ میکرومولار سلنیم بود.

جذب روی ریشه: بیشترین جذب روی ریشه رقم بک کراس روشن در شرایط غیر شور مربوط به تیمار بدون سلنیم بود و با افزایش غلظت سلنیم تا ۱۵۰ میکرومولار، جذب روی ریشه به طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۴). در این رقم گندم، در شرایط شور، جذب روی ریشه در تیمار بدون سلنیم به طور معنی‌داری بیشتر از سطوح ۴۰ و ۱۵۰ میکرومولار سلنیم بود. در رقم گندم کویر در شرایط غیر شور، تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف سلنیم مشاهده نشد در حالی که در شرایط شور بیشترین جذب روی ریشه در محلول بدون سلنیم و

فعالیت پراکسیدازی در شرایط تنش افزایش می‌یابد و Satyendr و همکاران (۱۹۹۹) نیز گزارش کردند بین فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و افزایش تنش شوری همبستگی مثبت وجود دارد. بر اساس نتایج بدست آمده از مطالعه رحمانی و همکاران (۱۳۸۱)، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز در ارقام متحمل گندم در شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نسبت به شاهد افزایش یافت. به طور کلی مطالعات حاکی از آن است که گیاهان متحمل به شوری ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی بالاتری دارند و محتوای آنتی‌اکسیدانت خود را در شرایط تنش (مثل شوری) افزایش می‌دهند در حالی که گیاهان حساس به شوری قادر به انجام چنین عملی نیستند (Yazici et al., 2007). محققان دیگر نیز در مطالعات خود نشان دادند که فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز در شرایط تنش شوری در گیاهان نخود و پنبه افزایش یافت (Gossett et al., 1996).

در هر دو رقم گندم فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز شاخساره در شرایط شور در سطح ۲۰ میکرومولار سلنیم بیشتر از سایر سطوح سلنیم مصرفی بود. این نتایج نشان دهنده تأثیر مثبت غلظت ۲۰ میکرومولار سلنیم در افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانتی هر دو رقم گندم در شرایط شور دارد، که این امر می‌تواند موجب افزایش مکانیسم دفاعی و تحمل گیاه به تنش اکسیداتیو ناشی از شوری و کاهش خسارات شود. در همین ارتباط، نتایج سایر محققان نیز نشان می‌دهد تأثیر سلنیم بر فعالیت آنتی‌اکسیدانتی گیاه بسته به غلظت عنصر متفاوت بوده به طوری که در غلظت‌های کم سلنیم، تأثیر آن بر فعالیت آنتی‌اکسیدانتی گیاه مثبت ولی در غلظت‌های زیاد، اثر آن منفی است (Hartikainen et al., 2000).

غلظت عناصر آهن، روی در ریشه بیشتر از شاخساره بود. قابلیت دسترسی یون‌های فلزی در بخش‌های مختلف گیاه متفاوت است. معمولاً غلظت فلزات در ریشه بیشتر از سایر بخش‌ها است. در واقع ریشه بعنوان یک حامل برای جذب و انتقال فلزات عمل می‌کند (Vassilev et al., 1998). انباشتگی بیشتر عناصر کم‌مصرف در ریشه نسبت به شاخساره در سورگوم (Abo-Kassem et al., 1997; Pettersson, 1976)، در

معنی‌داری نشان داد. در همین ارتباط، نشان داده شده است که غلظت‌های بالاتر از ۴۰ میکرومولار سلنیم از منبع سلنیت سدیم رشد ریشه و شاخساره گیاه گندم را کاهش داد اگرچه به نظر می‌رسد ریشه حساسیت کمتری به غلظت‌های بالاتر سلنیم نسبت به شاخساره دارد (Hurd-Karreir, 1937). در رقم گندم یک کراس روشن بیشترین عملکرد وزن خشک شاخساره در شرایط شور و غیر شور، به ترتیب در تیمارهای ۲۰ و صفر میکرومولار سلنیم مشاهده شد. در رقم گندم کویر نیز بیشترین عملکرد وزن خشک گیاه در شرایط شور در تیمار ۲۰ میکرومولار سلنیم مشاهده شد. این نتایج نشان دهنده تأثیر مثبت غلظت ۲۰ میکرومولار سلنیم در کاهش خسارت اکسیداتیو ناشی از شوری و افزایش عملکرد وزن خشک شاخساره گیاه در هر دو رقم گندم است.

فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز ریشه در رقم یک کراس روشن بالاتر از رقم کویر بود. با اعمال شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، فعالیت آنزیم در ریشه در مقایسه با شرایط غیرشور بطور معنی‌داری کاهش یافت. در این رابطه نتایج مطالعه‌ای نشان داد که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت به غلظت نمک در محیط و ژنوتیپ گیاه بستگی دارد (Barabas et al., 2000). شوری علاوه بر ایجاد تنش اسمزی و سمیت یونی، عامل ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاه بوده و سبب تولید گونه‌های فعال اکسیژن در بافت گیاه می‌شود (Venema et al., 2000; Gilmour et al., 1988). در شرایط تنش اکسیداتیو سلول گیاهی به طور طبیعی با مکانیسم دفاعی آنتی‌اکسیدانتی رادیکال‌های آزاد را خنثی می‌کند، ولی در بعضی از شرایط بر اثر افزایش تولید رادیکال‌های آزاد ممکن است تعادل بین اکسیدانتها و آنتی‌اکسیدانتها به هم خورده و موجب کاهش آنتی‌اکسیدانتها شود (Moustafa et al., 2001). این امر می‌تواند توجیهی در رابطه با فعالیت کمتر آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز ریشه در شرایط تنش شوری باشد. فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز شاخساره در شرایط تنش شوری افزایش یافت. در این رابطه Kalir و همکاران (۱۹۸۴) و Sheoron و Gupta (۱۹۷۹) نیز بیان داشتند در رقم‌های حساس به شوری

دادند که سلنیم اثری بر غلظت روی در گیاه نداشت.

نتیجه گیری کلی:

اثر کاربرد سطوح مختلف سلنیم بر عملکرد گندم به رقم گیاه و سطح شوری بستگی دارد به طوری که در رقم گندم بک کراس روشن در شرایط شور، سطح ۲۰ میکرومولار سلنیم و در رقم گندم کویر سطح ۴۰ میکرومولار سلنیم در شرایط غیر شور تأثیر مثبتی بر عملکرد گیاه داشت. اثر سلنیم بر فعالیت آنتی اکسیدانتی گیاه بسته به رقم گندم و غلظت سلنیم مصرفی متفاوت بود. به طور کلی مصرف سطوح ۲۰ و ۴۰ میکرومولار سلنیم در شرایط شور باعث افزایش فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز ریشه در هر دو رقم گندم مورد مطالعه شد. همچنین سطح ۲۰ میکرومولار سلنیم فعالیت آنزیمی شاخساره گیاه را در هر دو رقم گندم در شرایط شور افزایش داد. به طور کلی می توان چنین نتیجه گیری نمود که مصرف سلنیم در غلظت-های کم (۲۰ و ۴۰ میکرومولار) اثر مثبت بر ظرفیت آنتی اکسیدانتی گیاه در شرایط تنش شوری داشته و باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش و در نتیجه بهبود رشد، عملکرد و جذب عناصر غذایی در گیاه می شود. در حالی که مصرف غلظت های زیاد سلنیم (۱۵۰ میکرومولار) خود عامل ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاه بوده و بر رشد و عملکرد گیاه اثر منفی دارد.

گیاهان حساس نظیر لویا (Obata and Umebayashi, 1997)، خیار (Pettersson, 1976) و گوجه فرنگی (Ouariti et al., 1997) گزارش شده است.

غلظت آهن ریشه با افزایش غلظت سلنیم افزایش یافت در حالی که سطوح مختلف سلنیم اثر معنی داری بر غلظت آهن شاخساره نداشت. در این رابطه نتایج مطالعه ای نشان داد که تأثیر سلنیم بر غلظت آهن در شاخساره روند مشخصی نداشت ولی غلظت آهن در ریشه با افزایش غلظت سلنیم افزایش یافت (Adly et al., 1988). نتایج مطالعه ای دیگر نیز نشان داد که غلظت آهن در کلم چینی با افزایش سلنیم به مقدار قابل توجهی کاهش یافت (He et al., 2004).

به طوری کلی غلظت روی ریشه و شاخساره و غلظت آهن شاخساره در رقم بک کراس روشن بیشتر از رقم کویر بود. نتایج بدست آمده از مطالعات قبلی نیز نشان می دهد غلظت عناصر مختلف بسته به گونه گیاهی متفاوت است (Jan et al., 2008). همچنین Flaten (۲۰۰۲) گزارش کرد که غلظت عناصر در گیاه بسته به سن گیاه، ژنوتیپ و شرایط رشد متفاوت است. شوری باعث کاهش غلظت آهن شاخساره و روی ریشه و شاخساره گیاه شد. بیشترین غلظت روی شاخساره در تیمار بدون سلنیم مشاهده شد و کاربرد سطوح مختلف سلنیم (۲۰، ۴۰ و ۱۵۰ میکرومولار) اثری بر غلظت روی شاخساره گیاه نداشت. در این رابطه Adly و همکاران (۱۹۸۸) نشان

منابع:

- رحمانی، م. و مجیدی هروان، ا. (۱۳۸۱) تأثیر نقش شوری ناشی از کلرور سدیم بر پروفیل الکتروفورزی پروتئین ها و آنزیم های گندم. نهال و بذر ۱۸: ۲۵۱-۲۴۱.
- Abo-Kassem, E. M., Sharaf, A. and Mohamed, Y. A. H. (1997) Effect of different cadmium concentration on growth, photosynthesis and ion relation of wheat. Egyptian Journal of Physiological Sciences 21: 41-51.
- Adly, F., Al-Attar, M. Martin, H. and Nickless, G. (1988) Uptake of selenium, tellurium and interaction with some essential metals (Mn, Fe, Cu and Zn) by *Lolium perenne*. Chemosphere 17: 1863-1869.
- Baker, A. V. and Pilbeam, D. M. J. (2007) Handbook of Plant Nutrition. Taylor and Francis Group Press, Boca Raton, FL.
- Banaei, M. H. (2000) Soil Resource and Use Map of Iran.
- Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran.
- Barabas, N. K., Omarov, R. T., Erdei, L. and Lips, S. H. (2000) Distribution of the Mo-enzymes aldehyde oxidase, xanthine, dehydrogenase and nitrate reductase in maize (*Zea mays* L.) nodul roots as effected by nitrogen and salinity. Plant Science 155: 49-58.
- Boscolo, R. S. P., Menossi, M. and Jorge, R. A. (2003) Aluminum-induced oxidative stress in maize. Phytochemistry 62: 181-189.
- Clark, L. C., Dalkin, B., Krongrad, A., Combs, G. F., Trunbull, B. W., Slate, E. H., Witherington, R., Herlong, J. H., Janosko, E., Carpenter, D., Borosso, C., Falk, S. and Rounder, J. (1998) Decreased incidence of prostate cancer with selenium supplementation: results of a double-blind cancer prevention trial. British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery 81: 730-734.
- Daneshbakhsh, B., Khoshgoftarmanesh, A. H., Shariatmadari, H., Cakmak, I. (2013) Effect of zinc

- rice and degree of milling and loss of selenium. *Journal of Food Engineering* 94: 69-74.
- Maribel, L. D. S. and Satoshi, T. (1998) Effect of salt stress on antioxidant defense system, lipid peroxidation and chlorophyll content in green bean. *Plant Science* 6: 869-873.
- Mengel, K. and Kirkby, E. A. (1987) *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
- Moustafa, M., Moustafa, R. M., Belacy, A. and Abou-EI-EIA, S. H. (2001) Effect of acute exposure to the radio frequency fields of cellular phones on plasma lipid peroxide and antioxidase activities in human erythrocytes. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 26: 605-608.
- Nickel, R. S. and Cunningham, B. A. (1969) Improved peroxidase assay method using Ieuco 2,3,6-trichloroindophenol and application to comparative measurements of peroxidase catalysis. *Annals of Biomedical Engineering* 27: 292-299.
- Obata, H. and Umebayashi, M. (1997) Effects of cadmium on mineral nutrient concentrations in plants differing in tolerance for cadmium. *Journal of Plant Nutrition* 20: 97-105.
- Ouariti, O., Gouia, H. and Ghorbal, M. H. (1997) Responses of bean and tomato plants to cadmium: growth, mineral nutrition and nitrate reduction. *Plant Physiology and Biochemistry* 35: 347-354.
- Pettersson, O. (1976) Heavy metal ion uptake by plants from nutrient solutions with metal ion, plant species and growth period variations. *Plant and Soil* 45: 445-459.
- Satyendra, N. R., Stephan, W. B., Gossett, D. R. and Lucas, M. C. (1999) Antioxidant response to salt stress during fiber development in cotton ovules. *Journal of Cotton Science* 30: 11-15.
- Sheoran, I. S. and Gupta, P. (1979) Effect of water stress on the enzymes of nitrate metabolism in two *Brassica* species. *Physiologia Plantarum* 18: 1881-1882.
- Vassilev, A., Berova, M. and Zlatev, Z. (1998) Influence of cadmium on growth, chlorophyll content and water relations in young barley plants. *Biologia Plantarum* 41: 601-606.
- Venema, J. H., Villeius, L. and Van Hassett, P. R. (2000) Effect of acclimation to suboptimal temperature on chilling-induced photo-damage: comparison between a domestic and a high altitude wild lycopersican species. *Plant Science* 152: 153-163.
- Yazici, I., Turkan, I., Sekmen, A. H. and Demiral, T. (2007) Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. *Environmental and Experimental Botany* 61: 49-57.
- nutrition on salinity induced oxidative damages in wheat genotypes differing in zinc deficiency tolerance. *Acta Physiologiae Plantarum* 35: 881-889.
- Feng, G., Zhang, F. S., Li, X. L., Tian, C. Y. and Teng, C. (2002) Improved tolerance of maize plants to salt stress by *Arbuscular mycorrhiza* is related to higher accumulation of soluble sugars in roots: *Mycorrhiza* 12: 158-190.
- Flaten, T. P. (2002) Aluminium in tea-concentrations, speciation and bioavailability. *Coordination Chemistry Reviews* 228(2): 385-395.
- 12- Gilmour, S. J., Hajera, R. K. and Thomashow, M. F. (1988) Cold acclimation in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiology* 87: 745-750.
- Gossett, D. R., Banks, S., Millholon, E. P. and Lucase, M. C. (1996) Antioxidant responses to NaCl stress in a control and NaCl-tolerant cotton cell line growth in the presence of Paraquate, Buthinonesulfoxine and exogenous Gluthation. *Plant Physiology* 112: 803-809.
- Grattan, S. R. and Grieve, C. M. (1992) Mineral element acquisition and growth response of plants grown in saline environments. *Agriculture Ecosystems & Environment* 38: 275-300.
- Hajrasuliha, S., Cassel, D. K. and Rezaeinejad, Y. (1991) Estimation of chlorid ion concentration in saline soils from measurement of electrical conductivity of saturated soil extracts. *Geoderma* 49: 117-127.
- Hartikainen, H., Xue, T. and Pironen, V. (2000) Selenium as an antioxidant and pro-oxidant in rye grass. *Plant and Soil* 225: 193-200.
- He, P. P., Lv, X. Z. and Wang, G. Y. (2004) Effects of Se and Zn Supplementation on the antagonism against Pb and Cd in vegetables. *Environment International* 30: 167-172.
- Hurd-Karreir, A. (1937) Comparative toxicity of seleniatesan (dselenite) wheat. *American Journal of Botany* 24: 720-728.
- Jan, M., Szakova, J., Drabek, O., Balik, J. and Kokoska, L. (2008) Determination of certain micro and macro elements in plant stimulants and their infusions. *Food Chemistry* 111: 520-525.
- Kalir, A., Omri, G. and Mayber, P. (1984) Peroxidase and catalase activity in leaves of *Halimione Portulacoides* exposal to salinity. *Physiologia Plantarum* 62: 238-244.
- Khoshgoftarmanesh, A. H., Sadrarhami, A., Sharifi, H. R., Afiuni, D. and Schulin, R. (2009) Selecting Zinc-Efficient Wheat Genotypes with High Grain Yield Using a Stress Tolerance Index. *Agronomy Journal* 101: 1409-1416.
- Liu, K., Cao, X., Bai, Q., Wen, H. and Gu, Z. (2009) Relationships between physical properties of brown