نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، ص. ۳۵۴-۳۴۱

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 2, Summer. 2017, p. 341-354

واکنش خصوصیات زراعی گندم و جو به منابع و مقادیر مختلف سلنیوم در شرایط دیم

نورعلی ساجدی[۱*]- حمید مدنی[۲]- عبدالله ساجدی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۰۸

چکیده

به‌منظور بررسی واکنش خصوصیات زراعی گندم و جو به محلول‌پاشی با منابع و مقادیر مختلف سلنیوم، آزمایشی در سه تکرار طی سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک اجرا شد. عوامل آزمایش شامل دو منبع سلنات و سلنیت سدیم، در مقادیر ۰، ۱۸ و ۳۶ گرم در هکتار و دو گونه گندم و جو بودند. نتایج نشان داد که طول سنبله بدون ریشک در گندم ۱۰/۴ درصد بیشتر از جو بود ولی طول سنبله با ریشک در جو ۱۱/۲ درصد بیشتر از گندم بود. شاخص برداشت سنبله در جو ۲۱/۷ درصد بیشتر از گندم بود. با محلول‌پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم، وزن دانه در سنبله نسبت به شاهد ۴/۹ درصد افزایش یافت. بیشترین وزن دانه در سنبله از محلول‌پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیت سدیم حاصل شد. با مصرف ۱۸ و ۳۶ گرم در هکتار سلنیت سدیم، وزن دانه در سنبله به‌ترتیب به میزان ۱۳/۷ و۵/۱ درصد افزایش نشان داد. با محلول‌پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب ۶ و ۸/۴ درصد افزایش یافت. نتایج نشان داد که در گندم بیشترین عملکرد بیولوژیک (۵۷۸۴/۶۶ کیلوگرم در هکتار) از مصرف ۱۸ گرم در هکتار سلنیت سدیم حاصل شد. در جو بیشترین عملکرد بیولوژیک (۵۸۸۹/۸۳ کیلوگرم در هکتار) از مصرف ۱۸ گرم در هکتار سلنات سدیم حاصل شد. در گندم بیشترین عملکرد دانه (۱۷۵۷/۴۵ کیلوگرم در هکتار) از محلول‌پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنات سدیم حاصل شد که نسبت به شاهد به میزان ۹ درصد افزایش نشان داد. در گیاه جو بیشترین عملکرد دانه از محلول‌پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنات یا سلنیت سدیم حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: آبیدر، آذر ۲، زیست توده، ویژگی‌های سنبله

مقدمه

گیاهان با تنش‌های محیطی زیادی روبه‌رو هستند که به شدت رشد، متابولیسم و عملکرد آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهند، خشکی یک عامل مهم غیرزنده است که تولید محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهد، واکنش گیاهان به تنش آب، به شدت تنش، مدت و مرحله رشد گیاه وابسته است (Rodrigo *et al*., 2013). یکی از اوّلین واکنش‌های گیاهان در شرایط تنش خشکی، تجمع گونه‌های اکسیژن فعال می‌باشد (Apel and Hirt, 2004). در سطح سلولی، غشاها و پروتئین‌ها می‌توانند از طریق کاهش در آبگیری و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن آسیب ببینند (Artlip and Wisniewski, 2002). گیاهان، با استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی سلول را در برابر اثرات سمّی گونه‌های فعال اکسیژن حفاظت می‌کند (Foyer and Noctor, 2000). تحقیقات نشان داده است که سلنیوم گیاهان را از طریق تأثیر بر فعالیت آنزیم‌ها و سایر پروتئین‌های وابسته به سلنیوم در مقابل آسیب سلولی ناشی از رادیکال‌های آزاد حفاظت می‌کند (Chen and Sung, 2001). سلنیوم یکی از عناصر کم مصرف ضروری برای حیوانات و انسان‌ها می‌باشد (Tapiero *et al*., 2007)، اما به‌عنوان یک عنصر ضروری برای گیاهان طبقه‌بندی نشده است، اگرچه تأثیر مفید بودن آن برای گیاهانی که مقادیر زیادی از سلنیوم را ذخیره می‌کنند به اثبات رسیده است (Shanker, 2006). جذب و تجمع سلنیوم به شکل شیمیایی، غلظت، عوامل خاکی مانند اسدیته، شوری و مقدار کربنات کلسیم، غلظت یون‌های رقیب و توانایی گیاه برای جذب و متابولیسم سلنیوم بستگی دارد (Hartikainen *et al*., 2000). مهمترین عامل، شکل و غلظت

۱و ۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
۳- کارشناس ارشد، شناسایی و مبارزه با علف‌های هرز، عضو باشگاه پژوهشگران جوان، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: N-Sajedi@iau-arak.ac.ir
DOI: 10.22067/gsc.v15i2.50642

سلنیوم در خاک است، فرم غالب و معدنی سلنیوم در خاک‌های هوازی به‌صورت سلنات و سلنیت می‌باشد (Li *et al*., 2008). جذب سلنات به سهولت درگیاه انجام و در مقادیر بیشتری در اندام‌های هوایی نسبت به ریشه تجمع می‌یابد (Wang *et al*., 2013). تحقیقات زیادی نشان داده است که سلنیوم در رشد و بالا بردن تحمل گیاه در برابر تنش‌هایی که به گیاه وارد می‌شود بسیار مفید می‌باشد (Kong *et al*., 2005). افزایش رشد گیاه به‌وسیله سلنیوم به این علت است که ذخیره نشاسته را در کلروپلاست افزایش می‌دهد، اخیراً نشان داده شده که سلنیوم می‌تواند وضعیت آب گیاه را در شرایط کمبود آب تنظیم نماید و به این وسیله نقش حفاظتی خود را در گیاه ایفا نماید (Xue *et al*., 2001). گزارش شده است که رشد بوته‌های خیار با کاربرد ۶ میکرو مولار سلنیت سدیم و مصرف ۶ تا ۲۰ میکرو مولار سلنات سدیم تحریک شد، همچنین با کاربرد سلنیت سدیم فعالیت ریشه افزایش یافت (Hawrylak-Nowak *et al*., 2015). گزارش شده است که با کاربرد سلنیوم در شرایط تنش کمبود آب، مقدار مالون دی آلدئید و پراکسید هیدروژن در گیاه جو رقم ریحان-۰۳ بدون تغییر باقی ماند که علت آن افزایش کارایی اسکونج حاصل از افزایش معنی‌دار آنزیم‌های کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز بود (Habibi, 2013). سلنیوم می‌تواند پیری را به تأخیر اندازد و رشد گیاهچه‌های بالغ را تحریک کند (Hawrylak-Nowak *et al*., 2009). استفاده از سلنیوم در گندم سیاه در شرایط تنش کمبود آب به‌طور معنی‌دار هدایت روزنه‌ای را افزایش داد، کارایی فتوشیمیایی واقعی بیشتری در فتوسیستم II در گیاهان تیمار شده با سلنیوم در شرایط تنش کمبود آب حاصل شد، که این امر احتمالاً به دلیل بهبود مدیریت آب در طی تیمار با سلنیوم بوده است (Tadina *et al*., 2007). تأمین سلنیوم برای رشد گیاهچه‌های گندم در طی شرایط خشکی مطلوب می‌باشد، به هر حال، رشد و واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاهچه‌ها بسته به غلظت‌های سلنیوم متفاوت بود (Yao *et al*., 2009). بنابراین هدف از انجام این مطالعه بررسی تأثیر محلول‌پاشی منابع و مقادیر سلنیوم بر خصوصیات زراعی گندم و جو در شرایط کشت دیم بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی واکنش خصوصیات زراعی گندم و جو به محلول‌پاشی با منابع و مقادیر مختلف سلنیوم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک با طول جغرافیایی۴۰ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و۳۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۷۳۰ متر از سطح دریا اجرا شد. خصوصیات اقلیمی منطقه کشت در جدول ۱ ارایه شده است.

تیمارهای آزمایش شامل منابع مختلف سلنیوم (سلنات و سلنیت سدیم)، مقادیر مختلف سلنیوم خالص (۰، ۱۸ و ۳۶ گرم در هکتار) و دو گونه گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم آذر ۲ و جو (*Hordeum vulgare* L.) رقم آبیدر بود. مقادیر نمک سلنات سدیم برای مقادیر فوق به‌ترتیب، ۴۳/۰۷ و ۸۶/۱۴ گرم در هکتار و نمک سلنیت سدیم به میزان ۰، ۵۹/۹۴ و ۱۱۹/۸۸ گرم در هکتار محاسبه شد.

جدول ۱- داده‌های هواشناسی شهرستان اراک در فصل زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳

Table 1- Metrological data in Arak city during growing season 2014-2015

ماه‌های سال	Months	متوسط دما Mean of temperature (C°)	بارندگی Precipitation (mm)	رطوبت نسبی Relative humidity (%)	تبخیر Evaporation (mm)
مهر ۹۳	October	18	47	39.5	194.8
آبان۹۳	November	8.3	24.9	60	38.1
آذر۹۳	December	5.5	13.4	66	-
دی ۹۳	January	3.6	8.9	60.9	-
بهمن ۹۳	February	7.3	18.1	48.5	-
اسفند ۹۳	March	5.9	41.8	55	-
فروردین ۹۴	April	12.2	68.2	48	135.6
اردیبهشت۹۴	May	18.4	9.8	33	247.6
خرداد ۹۴	June	24.8	4.5	24	331.5

جو رقم آبیدر توسط موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور برای مناطق سرد و معتدل سرد معرفی شده است (Ansarimaleki *et al*., 2009). جو رقم آبیدر از طبقه بذر گواهی شده ۲ تولید سال ۱۳۹۳ شهرستان الیگودرز با ۹۸ درصد خلوص و با سم دیفنوکونازول ۳ درصد ضدعفونی شده بود. رقم گندم آذر ۲ از بذر مادری تولید سال ۱۳۹۳ از شهرستان الیگودرز با ۹۸ درصد خلوص و با سم دیفنوکونازول ۳ درصد ضدعفونی شده بود. رقم آذر ۲ دارای تیپ رشد زمستانه، زودرس، متحمل به زنگ زرد، حساس به سیاهک‌ها، متوسط ارتفاع آن ۷۰–۸۵ سانتی متر، مقاوم به ورس، ریزش، سرما و خشکی، میزان پروتئین ۱۰/۵ درصد، میانگین وزن هزار دانه آن ۳۳–۳۶ گرم می‌باشد (Roustaie, 2001).

مقدار سلنیوم اندازه‌گیری شده در طی تحقیقات انجام شده توسط نگارنده در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹ در خاک مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک به‌ترتیب ۰/۲۷ و ۰/۲۳، ۰/۲۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در سال ۱۳۹۳ غیر قابل قرائت بود (Sajedi *et al*., 2011; Sajedi and Gholinezhad, 2012; Sajedi, 2015). خاک‌هایی که مقدار سلنیوم در آنها کمتر از ۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد، به‌عنوان خاک‌های کمبود دار شناخته می‌شوند (Amweg *et al*., 2003).

قبل از کاشت ۱۱۵/۷ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل به زمین اضافه شد و همراه با کاشت با خاک مخلوط شد. کشت در تاریخ ۱۳۹۳/۷/۱۸ به‌صورتی دستی انجام شد. میزان بارندگی‌ها پس از کاشت از اداره هواشناسی اراک ثبت شد. اولین بارندگی مؤثر در مورخ ۹۳/۷/۲۹ به میزان ۳۸ میلی‌متر اتفاق افتاد که نقش مهمی در سبز شدن محصول ایفا نمود. هر کرت آزمایشی شامل ۱۲ خط کاشت با فاصله ۱۵ سانتی‌متر بین ردیف در نظر گرفته شد. طول خطوط کاشت شش متر و بین دو کرت ۶۰ سانتی‌متر به‌صورت نکاشت باقی ماند.

در مورخ ۱۳۹۳/۱۲/۲۳ میزان ۴۶/۲ کیلوگرم در هکتار کود اوره به‌صورت سرک در سطح مزرعه پخش شد. اولین مرحله محلول‌پاشی سلنات و سلنیت سدیم در ساعت ۵ بعد از ظهر با استفاده از سمپاش ۲۰ لیتری در مرحله ظهور پنجمین گره در ساقه (ZGS Z43 = Zadoks growth stages) که گیاه تاج پوشش مناسب را برای افزایش کارایی جذب محلول داشت، انجام شد. دومین مرحله محلول‌پاشی با سلنات و سلنیت سدیم ساعت ۶ بعد از ظهر در مرحله ظهور ۷۵ درصد سنبلک‌های گل آذین (ZGS Z57= Zadoks growth stages) انجام شد (Zadox *et al*., 1974; Emam, 2004). در زمان رسیدگی کامل، صفات زراعی از میانگین ۱۵ بوته محاسبه شدند. برای محاسبه عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در تاریخ ۹۳/۴/۲۴ سطحی معادل یک متر مربع برداشت شد. برداشت به‌صورت کف بر و پس از حذف سه خط حاشیه و نیم متر از دو انتهای هر کرت انجام گرفت. برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS استفاده شد، برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

تفاوت طول سنبله گندم و جو در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد طول سنبله بدون ریشک در گندم ۱۰/۴ درصد بیشتر از جو بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه منابع سلنیوم در گیاه نشان داد که در گندم، با مصرف سلنات سدیم طول سنبله ۲/۵ درصد نسبت به مصرف سلنیت سدیم افزایش نشان داد. همچنین در جو با مصرف سلنیت سدیم طول سنبله بدون ریشک به میزان ۱/۹ درصد نسبت به مصرف سلنات سدیم افزایش یافت. اثر متقابل مقادیر مختلف سلنیوم در گندم و جو نشان داد که با افزایش مقدار سلنیوم در گندم و جو، طول سنبله بدون ریشک افزایش نشان داد ولی معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج اثر متقابل سه‌گانه تیمارها نشان داد که در گندم بیشترین طول سنبله بدون ریشک به‌ترتیب از مصرف ۳۶ گرم در هکتار سلنات سدیم و ۱۸ گرم در هکتار سلنیت سدیم حاصل شد. در جو بیشترین میانگین طول سنبله بدون ریشک از تیمار مصرف ۳۶ گرم در هکتار سلنیوم از منبع سلنیت سدیم حاصل شد که نسبت به تیمار عدم مصرف سلنیت سدیم، طول سنبله به میزان ۹/۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵).

نتایج نشان داد که گندم و جو از نظر طول سنبله با ریشک در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۲). با توجه به نتایج، طول سنبله با ریشک در جو ۱۱/۲ درصد بیشتر از گندم بود (جدول ۳). نظر به اینکه ریشک دارای کلروپلاست و روزنه می‌باشد لذا باعث بهبود فتوسنتز در گیاه می‌شود و در نتیجه عملکرد در شرایط نامساعد محیطی افزایش می‌یابد. دلیل این امر این است که ریشک‌ها از نظر موقعیت قرار گرفتن ارتباط فیزیکی و آوندی نزدیکی با دانه دارند و در هنگام تشکیل دانه از نظر فعالیت فتوسنتزی در اوج کارایی خود می‌باشند و می‌توانند تأثیر به‌سزایی در تحمل گیاه به خشکی داشته باشند (Nour-mohamadi *et al*., 2004). با وجود این که اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه تیمارها بر طول سنبله با ریشک معنی‌دار نبود ولی تیمارها در گروه‌های مختلف قرار گرفتند.

جدول۲- میانگین مربعات صفات اندازه گیری شده

Table 2- Mean of squares of measured traits

منابع تغییر	Sources of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	طول سنبله بدون ریشک Spike length without awn	طول سنبله با ریشک Spike length with awn	وزن سنبله با ریشک Spike weight with awn	وزن دانه در سنبله Grain weight per spike	شاخص برداشت سنبله Harvest index of spike	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Grain yield	وزن ساقه stem weight	عملکرد کاه Straw yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
تکرار	Replication	2	0.328 ns	1.11 ns	0.088**	0.0016 ns	33.57*	32.37 ns	147250.13 ns	0.009*	96024.21 ns	202313.38 ns
منابع سلنیوم	Selenium sources (SS)	1	0.009 ns	0.36 ns	0.0004 ns	0.0009 ns	0.23 ns	0.31 ns	67626.86 ns	0.011*	340159.17 ns	
مقادیر سلنیوم	Selenium rates (SR)	2	0.061 ns	0.19 ns	0.006 ns	0.009*	1.47 ns	٭33.24	383195.27٭	0.009*	424766.40 ns	711126.78 ns
منابع × مقادیر	SS × SR	2	0.233 ns	0.49 ns	0.006 ns	0.012*	9.77 ns	7 ns	72032.84 ns	0.002 ns	457109.29 ns	1408774.96*
گیاه (گندم و جو)	Plant (P) (wheat and barley)	1	5.191**	21.84**	0.073*	0.036**	1819.44**	135.60**	297404.80٭	0.001 ns	673053.42*	808986.32 ns
منابع سلنیوم × گیاه	SS × P	1	0.262 ns	0.44 ns	0.029 ns	0.012*	12.006 ns	32.45ns	1397.38 ns	0.020**	835703.74*	75652.50 ns
مقادیر سلنیوم × گیاه	SR× P	2	0.004 ns	0.18 ns	0.002 ns	0.0019 ns	8.68 ns	24.15ns	45889.39 ns	0.002 ns	100617.66 ns	905447.40 ns
منابع × مقادیر × گیاه	SS × SR ×P	2	0.487 ns	1.02 ns	0.025 ns	0.007 ns	19.88 ns	21.03ns	21322.46 ns	0.005 ns	137457.75 ns	26108.65 ns
خطا	Error	22	0.262	0.63	0.0102	0.025	6.97	1.64	69513.76	0.002	147376.60	249967.14 ns
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)			6.75	4.08	11.82	8.26	3.64	9.08	15.19	4.80	10.89	10.44

ns، *و ** و به ترتیب غیر معنی دار، معنی داری در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

ns, * and ** non significant, significant at 0.05 and 0.01 level of probability, respectively.

نتایج اثر متقابل دوگانه نشان داد که با مصرف مقادیر مختلف سلنات سدیم طول سنبله با ریشک کاهش ولی با مصرف ۱۸ گرم در هکتار سلنیت سدیم طول سنبله با ریشک به میزان ۴ درصد افزایش نشان داد. احتمالاً دلیل این موضوع می‌تواند ترکیب سریعتر سلنیت سدیم نسبت به سلنات سدیم با آنزیم‌ها و ترکیبات مؤثر در افزایش فتوسنتز و عوامل تعدیل‌کننده شرایط تنش‌زا باشد (Lyons *et al*., 2005). یا با کاربرد سلنیت سدیم فعالیت ریشه افزایش می‌یابد (Hawrylak-Nowak *et al*., 2015) لذا ریشه می‌تواند در جذب آب و مواد غذایی به اندام‌های هوایی کارآمد تر باشد همچنین نتایج اثر متقابل گندم و جو در مقادیر مختلف سلنیوم نشان داد که در گندم با مصرف ۳۶ گرم در هکتار، طول سنبله با ریشک نسبت به شاهد ۵/۱ درصد و در جو با مصرف ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم، طول سنبله با ریشک نسبت به شاهد ۱/۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). نتایج اثر متقابل سه‌گانه تیمارها نشان داد که در گندم، بیشترین طول سنبله با ریشک (۱۴/۵۷ سانتی‌متر) از مصرف ۳۶ گرم در هکتار سلنات سدیم حاصل شد که طول سنبله با ریشک را نسبت به شاهد ۵ درصد افزایش داد (جدول ۵).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که گندم و جو از نظر وزن سنبله با ریشک در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار نشان دادند (جدول ۲ وزن سنبله با ریشک در گندم ۱۱ درصد بیشتر از جو بود (جدول ۳). با وجود این که اثر متقابل دوگانه منابع سلنیوم بر گیاه و اثر مقادیر مختلف سلنیوم بر گندم و جو و اثر متقابل سه‌گانه تیمارها بر وزن سنبله با ریشک معنی‌دار نبود ولی تیمارها در گروه‌های مختلف قرار گرفتند. در گندم با مصرف سلنات سدیم نسبت به سلنیت سدیم، وزن سنبله با ریشک به میزان ۶/۸ درصد افزایش یافت. از طرفی در جو با مصرف سلنیت سدیم نسبت به سلنات سدیم، وزن سنبله با ریشک به میزان ۶/۴ درصد افزایش نشان داد. این امر بیانگر واکنش مختلف گیاهان نسبت به منابع مختلف یک عنصر غذایی می‌باشد. مقایسه میانگین اثر مقادیر مختلف سلنیوم بر گیاه نشان داد که در گندم با مصرف ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم، وزن سنبله با ریشک به میزان ۵/۶ درصد نسبت به عدم مصرف سلنیوم افزایش نشان داد اما با افزایش مقدار سلنیوم به ۳۶ گرم در هکتار، وزن سنبله با ریشک نسبت به شاهد تغییری پیدا نکرد. در جو، افزایش مقدار سلنیوم تأثیری بر وزن سنبله با ریشک نداشت (جدول ۴). اثر متقابل سه‌گانه تیمارها نشان داد که در گندم بیشترین وزن سنبله با ریشک به‌ترتیب از تیمارهای ۳۶ و ۱۸ گرم در هکتار سلنات سدیم و ۱۸ گرم در هکتار سلنیت سدیم حاصل شد که با تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار نداشتند (جدول ۵).

اثر ساده مقادیر سلنیوم، اثر متقابل منابع در مقادیر سلنیوم و منابع بر نوع گونه در سطح احتمال ۵ درصد و اثر گونه بر وزن دانه در سنبله در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با محلول‌پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم، وزن دانه در سنبله نسبت به شاهد ۴/۹ درصد افزایش و با مصرف ۳۶ گرم در هکتار وزن دانه در سنبله نسبت به شاهد به میزان ۵/۱ درصد کاهش نشان داد. به‌نظر می‌رسد که با مصرف مقادیر بیشتر سلنیوم از طریق ایجاد سمیت و اختلال در انتقال مواد فتوسنتزی به مخازن زایشی باعث کاهش وزن دانه می‌شود (جدول ۳). نتایج این تحقیق با نتایج کاشین و همکاران (Kashin and Shubina, 2011) در گندم مطابقت دارد. نتایج آنها نشان داد که پیش تیمار بذر با ۲۵ میلی گرم در کیلوگرم به‌صورت بذر مصرف توام با محلول‌پاشی ۲۵ گرم در هکتار سلنیوم از منبع سلنیت سدیم، وزن دانه به میزان ۴/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد.

نتایج نشان داد که وزن دانه در سنبله جو بیشتر از گندم بود (جدول ۳). علت این امر این است که تعداد دانه در سنبلچه جو کمتر از گندم بود در چنین شرایطی به‌نظر می‌رسد که سهم هر مخزن زایشی برای دریافت مواد حاصل از فتوسنتز افزایش می‌یابد. از طرفی چون طول ریشک در جو بیشتر از گندم بود لذا ریشک نقش مهمی در افزایش متوسط وزن دانه دارد. در رطوبت‌های پایین که کارایی تولید و انتقال فراورده‌های فتوسنتزی از برگ پرچم به دانه در حال رشد کاهش می‌یابد، ریشک می‌تواند نقش مؤثری در افزایش وزن خشک دانه ایفا نماید (Nour-mohamadi *et al*., 2004).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل منابع در مقادیر سلنیوم نشان داد که بیشترین وزن دانه در سنبله از محلول‌پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیت سدیم حاصل شد. با مصرف ۱۸ و ۳۶ گرم در هکتار سلنیت سدیم، وزن دانه در سنبله به‌ترتیب به میزان ۱۳/۷ و ۵/۱ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). گزارش شده است که تیمار گیاهان سیب‌زمینی با سلنیوم باعث افزایش عملکرد غده شد. گزارش شده است که سلنیوم تخصیص مواد فتوسنتزی را برای رشد غده‌ها افزایش می‌دهد، لذا غده‌ها کربوهیدرات بیشتری را در خود ذخیره می‌کنند (Turakainen *et al*., 2004). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل منابع سلنیوم در گیاه نشان داد که بیشترین وزن دانه در سنبله از محلول‌پاشی سلنیت سدیم در گیاه جو حاصل شد که نسبت به محلول‌پاشی سلنات سدیم، وزن دانه در سنبله به میزان ۶/۴ درصد افزایش نشان داد ولی در گندم بیشترین وزن دانه در سنبله از محلول‌پاشی سلنات سدیم حاصل شد که وزن دانه در سنبله را نسبت به محلول‌پاشی سلنیت سدیم به میزان۵/۳ درصد افزایش داد (جدول ۴).

گندم و جو از نظر شاخص برداشت سنبله در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری داشتند. همچنین اثر متقابل سه‌گانه تیمارها بر شاخص برداشت سنبله در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). شاخص برداشت سنبله در جو ۲۱/۷ درصد بیشتر از گندم بود. دلیل افزایش شاخص برداشت در جو به علت وزن بیشتر دانه در جو نسبت به گندم بود (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین های اثر منابع و مقادیر سلنیوم بر صفات اندازه گیری شده در گندم و جو

Table 3- Mean comparisons of effect sources and rates of selenium on the measured traits in wheat and barley

تیمارهای آزمایشی	Experimental treatment	طول سنبله بدون ریشک Spike length without awn (cm)	طول سنبله با ریشک Spike length with awn (cm)	وزن سنبله با ریشک Spike weight with awn (g)	وزن دانه در سنبله Grain weight per spike (g)	شاخص برداشت سنبله harvest index of spike (%)	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})	وزن ساقه stem weight (g)	عملکرد کاه Straw yield (kg ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha^{-1})
منابع سلنیوم	Selenium sources										
سلنات سدیم	Selenate (S1)	4.64a	14.79a	0.86a	0.60a	72.41a	33.19a	1691.91a	0.54a	3424.9a	5116.75a
سلنیت سدیم	Selenite (S2)	7.60a	14.59a	0.85a	0.61a	72.57a	33.03a	1778.59a	0.54a	3619.3a	5397.93a
مقادیر سلنیوم	Selenium rates										
بدون مصرف سلنیوم	Without application (Se1)	7.56a	14.54a	0.85a	0.61ab	72.46a	34.18a	1776.31a	0.55ab	3412.9a	5188.38ab
۱۸ گرم در هکتار	18 g/ ha (Se2)	7.70a	14.74a	0.88a	0.64a	72.86a	34.12a	1889.92 a	0.59a	3739.4a	5629.25a
۳۶ گرم در هکتار	36 g/ha (Se3)	7.60a	14.78a	0.83a	0.58b	72.16a	31.03b	1539.62 b	0.53b	3414.9a	4954.48b
گیاه	Genus										
گندم	Wheat (W)	8.00a	13.91b	0.90a	0.59b	65.38b	31.32b	1644.36b	0.56a	3658.9a	5303.22a
جو	Barley (B)	7.24b	15.47a	0.81b	0.64a	79.60a	34.90a	1826.14a	0.55a	3385.5b	5211.45a

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون و برابر عامل، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند

Means followed by the same letters in each column and equal of factor, are non- significantly different (P = 0.05) according to Duncan's multiple range test.

نتایج بیانگر این است در شرایط تنش خشکی گیاه جو در فاز زایشی مواد فتوسنتزی بیشتری را نسبت به گندم به دانه اختصاص داده است و از این طریق باعث افزایش وزن دانه می‌شود. نتایج اثر متقابل مقادیر مختلف سلنیوم در گندم و جو بر شاخص برداشت سنبله نشان داد که در تمام مقادیر مصرف سلنیوم شاخص برداشت سنبله در جو بیشتر از گندم بود. همچنین با افزایش مقادیر مختلف سلنیوم، شاخص برداشت گندم کاهش ولی شاخص برداشت جو افزایش غیر معنی‌داری داشت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمارها نشان داد که در کلیه سطح مختلف و منابع سلنات یا سلنیت، شاخص برداشت سنبله در جو بیشتر از گندم بود (جدول ۵).

اثر مقادیر مختلف سلنیوم بر شاخص برداشت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. همچنین از نظر شاخص برداشت، گندم و جو در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار نشان دادند (جدول ۲). نتایج نشان داد، با مصرف سلنیوم شاخص برداشت کاهش یافت. با توجه به نتایج، به نظر می‌رسد که با محلول‌پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم عملکرد بیولوژیک بیشتر از عملکرد دانه افزایش یافته است و در نتیجه شاخص برداشت کاهش می‌یابد. بیشترین شاخص برداشت در تیمار شاهد حاصل شد که با تیمار محلول‌پاشی با ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم اختلاف معنی‌دار نشان نداد (جدول ۳). با مصرف ۳۶ گرم در هکتار سلنیوم، شاخص برداشت نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. به نظر می‌رسد که در مقادیر بالای سلنیوم به علت اثرات سمیت و اختلال در فرآیندهای رشد و نموی باعث کاهش رشد و نمو در نتیجه شاخص برداشت می‌شود و در نتیجه عملکرد دانه کاهش می‌یابد. گزارش شده است که غلظت‌های بالای سلنیوم تنش اکسیداتیو را در گیاهان افزایش می‌دهد و در نتیجه اکسیداسیون لیپیدها در گیاهان افزایش می‌یابد (Hartikainen *et al*., 2000). نتایج نشان داد که شاخص برداشت جو بیشتر از گندم بود که با توجه به نتایج علت آن وزن دانه در سنبله بیشتر در جو نسبت به گندم و عملکرد بیولوژیک کمتر جو نسبت به گندم می‌باشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل منابع و مقادیر سلنیوم نشان داد که با مصرف مقادیر مختلف سلنات شاخص برداشت به‌طور معنی‌دار کاهش یافت ولی با مصرف ۱۸ گرم در هکتار سلنیت سدیم شاخص برداشت افزایش یافت ولی غیرمعنی‌دار بود (جدول ۴). با وجود اینکه اثر متقابل سه‌گانه تیمارها بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود ولی تیمارها در گروه‌های متفاوت قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در جو بیشترین شاخص برداشت از تیمار محلول‌پاشی با ۱۸ گرم در هکتار سلنیت سدیم حاصل شد (جدول ۵).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد دانه در سطح احتمال ۵ درصد تحت تأثیر مقادیر مختلف سلنیوم قرار گرفت. همچنین در شرایط دیم گندم و جو از نظر عملکرد دانه در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار داشتند (جدول ۲). نتایج بیانگر افزایش ۶/۳ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد با محلول‌پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم بود ولی با افزایش مقادیر سلنیوم به میزان ۳۶ گرم در هکتار، عملکرد دانه کاهش نشان داد. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج رودریگو و همکاران (Rodrigo *et al*., 2013) مطابقت دارد. آنها طی انجام آزمایشی در سال۲۰۱۲-۲۰۱۱ گزارش نمودند که با محلول‌پاشی ۱۰ گرم در هکتار، عملکرد دانه به‌طور معنی‌دار افزایش یافت اما با کاربرد ۴۰ گرم در هکتار عملکرد دانه کاهش یافت. گزارش شده است که پیش تیمار بذر با ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم توام با محلول‌پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم و همچنین پیش تیمار بذر با آب مقطر توام با محلول‌پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم و پیش تیمار بذر با آب مقطر به تنهایی عملکرد دانه را نسبت به شاهد به‌ترتیب ۱۶/۷، ۱۹، ۱۷/۹ و ۱۱ درصد افزایش داد (Sajedi, 2015).

نتایج مقایسه میانگین صفات نشان داد که عملکرد جو ۱۱ درصد بیشتر از گندم بود. به‌نظر می‌رسد دلیل افزایش عملکرد جو ناشی از افزایش بیشتر شاخص برداشت سنبله و وزن دانه نسبت به گندم می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین دوگانه منابع و مقادیر سلنیوم بیانگر این است که با محلول‌پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم از منابع سلنات و سلنیت سدیم، عملکرد دانه نسبت به عدم مصرف هر یک از منابع افزایش یافت (جدول ۴). در آزمایشی گزارش شده است که با افزایش مقدار سلنیوم تا میزان ۵۰ گرم در هکتار عملکرد دانه برنج افزایش یافت. آنها گزارش نمودند که کاربرد سلنیوم باعث افزایش نرخ فتوسنتز، غلظت دی‌اکسید کربن بین سلولی و کارایی تعرق در گیاه و در نتیجه باعث بهبود فتوسنتز شد و از این طریق منجر به افزایش عملکرد دانه در گیاه برنج گردید (Zhng *et al*., 2014).

نتایج نشان داد که در گندم بیشترین عملکرد دانه معادل ۱۷۵۷/۴۵ کیلوگرم در هکتار از محلول‌پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنات سدیم حاصل شد که نسبت به شاهد عملکرد دانه به میزان ۹ درصد افزایش نشان داد. در گیاه جو بیشترین عملکرد دانه از محلول‌پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنات یا سلنیت سدیم حاصل شد. افزایش عملکرد دانه در این تیمار مربوط به افزایش وزن دانه در سنبله بود (جدول ۵).

جدول 4- مقایسه میانگین های اثر منابع و مقادیر سلنیوم بر صفات اندازه گیری شده در گندم و جو

Table 4- Mean comparisons of effect selenium sources and rates on the measured traits in wheat and barley

تیمارهای آزمایشی	Experimental treatment	طول سنبله بدون ریشک Spike length without awn (cm)	طول سنبله با ریشک Spike length with awn(cm)	وزن سنبله با ریشک Spike weight with awn (g)	وزن دانه در سنبله Grain weight per spike (g)	شاخص برداشت سنبله harvest index of spike (%)	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})	وزن ساقه stem weight (g)	عملکرد کاه Straw yield (kg ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha^{-1})
منابع سلنیوم × مقادیر سلنیوم	Selenium sources × Selenium rates										
بدون مصرف سلنات سدیم	S1Se1	7.74a	14.88a	0.88a	0.64ab	73.14a	34.96a	1758.46a	0.550b	3227.1bc	4985.5bc
۱۸ گرم در هکتار سلنات سدیم	S1Se2	7.64a	14.71a	0.86a	0.61abc	71.78a	33.92ab	1908.01a	0.563ab	3865.8a	5773.85a
۳۶ گرم در هکتار سلنات سدیم	S1Se3	7.54a	14.78a	0.83a	0.56c	73.21a	30.70b	1409.24b	0.516b	3181.9b	4591.13c
بدون مصرف سلنیت سدیم	S2Se1	7.38a	14.21a	0.82a	0.58bc	71.78a	33.41ab	1794.05a	0.558ab	3597.3ab	5391.30ab
۱۸ گرم در هکتار سلنیت سدیم	S2Se2	7.76a	14.78a	0.89a	0.66a	73.94a	34.32ab	1871.75 a	0.618a	3612.9ab	5484.66ab
۳۶ گرم در هکتار سلنیت سدیم	S2Se3	7.67a	14.77a	0.84a	0.61abc	72.00a	31.37ab	b1670.01a	0.558ab	3647.9ab	5317.83ab
منابع سلنیوم × گیاه	Selenium sources × genus										
سلنات سدیم× گندم	S1W	8.10a	14.12b	0.93a	0.59b	65.88b	32.35bc	1594.761a	0.57a	3409.3b	5004.08b
سلنات سدیم × جو	S1B	7.17b	15.46a	0.78b	0.62ab	78.94a	34.54ab	1789.07a	0.51b	3440.6b	5229.61ab
سلنیت سدیم × گندم	S2W	7.90a	13.70b	0.87ab	0.56c	64.89b	30.54c	1693.88a	0.56ab	3908.4a	5602.36a
سلنیت سدیم × جو	S2B	7.31b	15.48a	0.83ab	0.66a	80.26a	35.77a	1863.3a	0.59a	3330.2b	5193.50ab
مقادیر سلنیوم × گیاه	Selenium rates × Genus										
گندم × بدون مصرف سلنیوم	Se1W	7.96a	13.69b	0.88ab	0.58bc	66.17b	32.56bc	1679.66 bc	0.54ab	3507.5ab	5187.15ab
جو× بدون مصرف سلنیوم	Se1B	7.16b	15.40a	0.82ab	0.64ab	78.75a	35.93ab	1872.85ab	0.56ab	3316.8b	5189.61ab
گندم × ۱۸ گرم در هکتار سلینوم	Se2W	8.06a	13.90b	0.93a	0.62ab	65.81b	31.05c	1740.23bc	0.59a	3981.1a	5721.26a
جو× ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم	Se2B	7.34b	15.59a	0.82ab	0.66a	79.91a	37.19a	2039.55a	0.58a	3497.7b	5537.25ab
گندم × ۳۶ گرم در هکتار سلنیوم	Se3W	7.98a	14.14b	0.88ab	0.57c	64.17b	30.36c	1513.21c	0.55ab	3488.1ab	5001.26ab
جو× ۳۶ گرم در هکتار سلنیوم	Se3B	7.23b	15.41a	0.78b	0.63ab	80.15a	31.71c	1566.34 bc	0.51b	3341.4b	4907.70b

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون و برابر عامل، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند

Means followed by the same letters in each column and equal of factor, are non- significantly different (P = 0.05) according to Duncan's multiple range test.

S1 : سلنات سدیم، S2 : سلنیت سدیم، Se1 : عدم مصرف سلنیوم، Se2 : مصرف سلنیوم به میزان ۱۸ گرم در هکتار،Se3 : مصرف سلنیوم به میزان ۳۶ گرم در هکتار، W : گندم، B : جو

اثر ساده منابع و مقادیر سلنیوم بر وزن ساقه در گندم و جو در سطح احتمال ۵ درصد و اثر متقابل منابع سلنیوم در گندم و جو در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین صفات نشان داد که با محلول‌پاشی سلنیت سدیم نسبت به سلنات سدیم وزن ساقه در گیاه به میزان ۵/۵ درصد افزایش نشان داد. همچنین نتایج نشان داد که با محلول‌پاشی ۱۸ و ۳۶ گرم در هکتار، وزن ساقه در گیاه نسبت به شاهد به‌ترتیب ۷/۲ درصد افزایش و۳/۷ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳). سلنیوم در غلظت‌های کم تأثیر مثبتی روی رشد گیاهان می‌گذارد، اما در غلظت‌های بالا سمّی است. سمّیت سلنیوم می‌تواند منجر به تشدید اکسیداسیون و نیز اختلالات متابولیکی در سلول شود (Hartikainen *et al*., 2000). سلنیوم در غلظت‌های بالا به علت جایگزینی در مکان گوگرد در ساختمان آمنیواسیدها و تغییر ساختار سه‌بعدی پروتئین‌ها و اختلال در فعالیت آنزیم‌ها، سمّی می‌باشد (Alda *et al*., 2011). گزارش شده است که سلنیوم در غلظت‌های کم رشد و پتانسیل اکسیداتیو گیاهان تک لپه و دو لپه را افزایش می‌دهد. مطالعات روی چاودار و کاهو نشان داد که اگر چه سلنیوم در غلظت‌های بین ۱ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای گیاه خطرناک است و زیست توده را کاهش می‌دهد، اما در غلظت‌های کم یعنی ۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک می‌تواند اثرات مفیدی داشته باشد (Xue *et al*., 2001). نتایج اثر متقابل منابع سلنیوم در گیاه نشان داد که محلول‌پاشی منابع سلنیوم در گندم تأثیری بر وزن ساقه نداشت ولی در جو با محلول‌پاشی سلنیت سدیم نسبت به سلنات سدیم، وزن ساقه نسبت به شاهد ۱۵/۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). نتایج اثر متقابل سه‌گانه تیمارها نشان داد که بیشترین وزن ساقه در گیاه از محلول‌پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیت سدیم حاصل شد (جدول ۵).

گندم و جو از نظر عملکرد کاه در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار نشان دادند. همچنین اثر متقابل منبع و مقادیر سلنیوم بر عملکرد کاه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین صفات نشان داد که عملکرد کاه در گندم به میزان ۲۵۸/۸ کیلوگرم در هکتار بیشتر از جو بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیشترین عملکرد کاه با مصرف ۱۸ گرم در هکتار سلنات سدیم حاصل شدکه نسبت به شاهد، عملکرد کاه را به میزان ۵۴۸/۷ کیلوگرم در هکتار افزایش داد. محلول‌پاشی مقادیر مختلف سلنیت تأثیری بر عملکرد کاه نشان نداد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمارها نشان داد که در گندم بیشترین عملکرد کاه از محلول‌پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیت سدیم و در جو بیشترین عملکرد کاه از ۱۸ گرم در هکتار سلنات سدیم حاصل شد (جدول ۵).

با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثر مقادیر سلنیوم بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با محلول‌پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم، عملکرد بیولوژیک به میزان ۸/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت اما با محلول‌پاشی ۳۶ گرم در هکتار سلنیوم عملکرد بیولوژیک کاهش یافت (جدول ۳). این نتایج با نتایج فارگاسووا (Fargasova, 2003) در خردل و راموس و همکاران (Ramos *et al*., 2010) درکاهو مطابقت دارد. آنها گزارش نمودند که سلنیوم در غلظت‌های بالا باعث اثرات سمیّت می‌شود و زیست توده را کاهش می‌دهد.

گزارش شده است که با افزایش غلظت سلنیوم در محلول غذایی از ۴ به ۸ میکرومول در لیتر از منابع سلنات و سلنیت سدیم، عملکرد بیولوژیک در کاهو به‌ترتیب ۵/۶۷ و ۳/۳۹ درصد افزایش یافت (Ramos *et al*., 2011). گزارش شده است که با محلول‌پاشی مقادیر ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیت سدیم بیوماس گیاهچه‌های گندم به‌طور نامحسوسی افزایش یافت و همبستگی مثبت با مقادیر سلنیت سدیم نشان داد، بیوماس جو با افزایش مقادیر سلنیوم به‌طور نامحسوسی افزایش یافت. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین بیوماس گیاهچه‌های یولاف و سلنیت سدیم وجود داشت (Alda *et al*., 2011). نتایج اثر متقابل منابع و مقادیر سلنیوم نشان داد که مصرف ۱۸ گرم در هکتار سلنات سدیم، عملکرد بیولوژیک را به میزان ۱۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد اما مصرف سلنیت سدیم تأثیری بر عملکرد بیولوژیک نداشت. اثر متقابل منابع سلنیوم در گندم و جو نشان داد که با مصرف سلنیت سدیم نسبت به سلنات سدیم، عملکرد بیولوژیک در گندم به میزان ۱۱/۹ درصد افزایش یافت اما مصرف منابع سلنیوم تأثیری بر عملکرد بیولوژیک جو نشان نداد (جدول ۴).

جدول ۵- مقایسه میانگین های اثر منابع و مقادیر سلنیوم بر صفات اندازه گیری شده در گندم و جو

Table 5- Mean comparisons of effect sources and rates of selenium on the measured traits in wheat and barley

تیمارهای آزمایشی	منابع سلنیوم × مقادیر × گیاه	Experimental treatment	Selenium sources × Selenium rates × genus	طول سنبله بدون ریشک Spike length without awn (cm)	طول سنبله با ریشک Spike length with awn (cm)	وزن سنبله با ریشک Spike weight with awn (g)	وزن دانه در سنبله Grain weight per spike (g)	شاخص برداشت سنبله Harvest index of spike (%)	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})	وزن ساقه stem weight (g)	عملکرد کاه Straw yield (kg ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha^{-1})
بدون مصف سلنات سدیم× گندم		S1Se1 W		8.07a	13.87cd	0.90a	0.62abc	68.67b	34.21a-c	1611.06ab	0.54bc	3101.5d	4712.53bc
بدون مصرف سلنات سدیم× جو		S1Se1B		7.41abc	15.89a	0.86ab	0.67ab	77.60a	35.71 ab	1905.86 ab	0.55bc	3352.7a-c	5258.50abc
۱۸ گرم در هکتار سلنات سدیم × گندم		S1Se2W		8.01a	13.93cd	0.94a	0.60bcd	63.99bc	32..34bcd	ab1757.45	0.61ab	3900.4abc	5657.86ab
۱۸ گرم در هکتار سلنات سدیم × جو		S1Se2B		7.26abc	15.49ab	0.79ab	0.63abc	79.57a	35.71ab	2058.56a	0.51bc	3831.3a-d	5889.83a
۳۶ گرم در هکتار سلنات سدیم × گندم		S1Se3W		8.23a	14.57bcd	0.96a	0.56dc	64.98bc	30.51bcd	1415.83b	0.56bc	3226.0bcd	4641.86bc
۳۶ گرم در هکتار سلنات سدیم × جو		S1Se3B		6.85c	14.99abc	0.70b	0.56dc	79.66a	30.89 bcd	1402.66b	0.47c	3137.7d	4540.40c
بدون مصرف سلنیت سدیم× گندم		S2Se1 W		7.85ab	13.51d	0.86ab	0.55dc	63.66c	30.92bcd	1748.26ab	0.54bc	3913.5ab	5661.76ab
بدون مصرف سلنیت سدیم× جو		S2Se1B		6.92bc	14.91abc	0.78ab	0.61a-d	79.90a	35.90 ab	1839.83ab	0.57ab	3281.0bcd	5120.83abc
۱۸ گرم در هکتار سلنیت سدیم × گندم		S2Se2W		8.11a	13.87cd	0.93a	0.63abc	67.64bc	29.75d	1722.9ab	0.57ab	4061.7a	5786.66a
۱۸ گرم در هکتار سلنیت سدیم × جو		S2Se2B		7.41abc	15.69ab	0.86ab	0.69ab	80.24a	38.89a	2020.56a	0.66a	3164.1dc	5184.7abc
۳۶ گرم در هکتار سلنیت سدیم × گندم		S2Se3W		7.74abc	13.72d	0.81ab	0.51d	63.36c	30.21dc	1610.60ab	0.55abc	3750.1a-d	5360.66abc
۳۶ گرم در هکتار سلنیت سدیم × جو		S2Se3B		7.61abc	15.83a	0.86ab	0.70a	80.64a	32.53bcd	1729.37ab	0.56bc	3545.6a-d	5275.00abc

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون و برابر عامل بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند

Means followed by the same letters in each column and equal of factor, are non- significantly different (P = 0.05) according to Duncan's multiple range test.

S1: سلنات سدیم، S2 : سلنیت سدیم، Se1 : عدم مصرف سلنیوم، Se2 : مصرف سلنیوم به میزان ۱۸ گرم در هکتار، Se3: مصرف سلنیوم به میزان ۳۶ گرم در هکتار، W : گندم، B : جو

نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک در گندم (۵۷۸۴/۶۶ کیلوگرم در هکتار) از مصرف ۱۸ گرم در هکتار سلنیت سدیم و در جو (۵۸۸۹/۸۳ کیلوگرم در هکتار) از مصرف ۱۸ گرم در هکتار سلنات سدیم حاصل شد (جدول ۵). گزارش شده است که کاربرد سلنیوم در شرایط مطلوب رطوبتی باعث بهبود تجمع بیوماس در جو شد. با این وجود سلنیوم تأثیر معنی‌داری در تجمع ماده خشک در شرایط تنش خشکی نداشت اما سلنیوم به‌کاربرده شده در گیاهان در شرایط کمبود آب اثرات حفاظتی بهتری را در برابر خسارت اکسیداتیو نشان داد که دلیل این امر افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز و کاهش سطح پراکسیداسیون لیپیدها بود. این نتایج پیشنهاد می‌کند که کاربرد سلنیوم می‌تواند سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی را در شرایط تنش خشکی بهبود دهد و ممکن است برای مناطق خشک و نیمه‌خشک توصیه شود (Habibi, 2013). گزارش شده است که کاربرد مقادیر مختلف سلنیت سدیم به‌صورت خاک مصرف (۰، ۱۵۰، ۳۰۰، ۴۵۰ و ۶۰۰ گرم سلنیوم در هکتار) و محلول‌پاشی (۰، ۱۱، ۵۷، ۱۱۴،۱۷۱ و ۲۲۸ گرم سلنیوم در هکتار) اثرات معنی‌داری بر عملکرد دانه و بیوماس و غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز، مس و روی در دانه ذرت ایجاد نکرد (Wang *et al.*, 2013).

به‌طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که با محلول‌پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنات یا سلنیت سدیم طی دو مرحله، از طریق بهبود صفات زراعی، عملکرد دانه و زیست توده در گندم و جو به‌طور معنی‌دار افزایش می‌یابد.

سپاسگزاری

از حوزه معاونت پژوهش دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک که امکان انجام این تحقیق را فراهم نمودند و همچنین از تمامی همکارانی که در اجرای هر چه بهتر این تحقیق ما را یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Alda, S., Camelia, M., Cristina-Elena, T., Mirela, P., Diana R., and Delia, D. 2011. The influence of sodium selenite on biometric parameters of wheat, barley and oat seedlings. Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology 15(4): 8- 12.
2. Amweg, E. L., Stuart, D. L., and Weston, D. P. 2003. Comparative bioavailability of selenium to aquatic organisms after biological treatment of agricultural drainage water. Aquatic Toxicology 63: 13-25.
3. Ansarimaleki, Y., Noormandmoayed, F., Nadermahmoodi, K., Azimzadeh, S. M., Roohi, E., Hesami, A., Soleimani, K., Abediasl, G., Pashapoor, H., Pooralibaba, H. R., Dehgan, M. A., Patpoor, M., Eskandari, I., and Salekzamani, A. 2009. Abidar a new barley cultivar for moderate and cold areas of Iran. Seed and Plant 25-1 (1): 227-230.
4. Apel, K., and Hirt, H. 2004. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress and signal transduction. Annual Review Plant Biology 55: 373-399.
5. 5-Artlip, T. S., and Wisniewski, M. E. 2002. Induction of Proteins in Response to Biotic and Abiotic Stresses. In: PESSARAKLI, M. (Ed.) Handbook of Plant and Crop Physiology. New York: Marcel Dekker p.657-679.
6. Chen, C. C., and Sung, J. M. 2001. Priming bitter gourd seeds with selenium solution enhanced germinability and antioxidative responses under sub-optimal temperature. Physiologia Plantarum 111:9-16.
7. Emam, Y. 2004. Cereal Production. Shiraz University Press. p175.
8. Fargasova, A. 2003. Toxicity comparison of some possible toxic metals (Cd, Cu, Pb, Se, Zn) on young seedlings of *Sinapis alba* L. Plant, Soil and Environmental 50: 33-38.
9. Foyer, C. H., and Noctor, G. 2000. Oxygen processing in photosynthesis: Regulation and signaling. New Phytologist 146: 359- 388.
10. Habibi, Gh. 2013. Effect of drought stress and selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley. Acta agriculturae Slovenica 101(1): 31-39.
11. Hartikainen. H., Xue, T., and Piironen, V. 2000. selenium as an antioxidant and pro-oxidant in ryegrass. Plant and Soil 225:193–200.
12. Hawrylak-Nowak, B., Matraszek, R., and Pogorzelec, M. 2015. The dual effects of two inorganic selenium forms on the growth, selected physiological parameters and macronutrients accumulation in cucumber plants. Acta Physiologiae Plantarum 37 (41): 1-13.
13. Kashin, V. K., and Shubina, O. I. 2011. Biological Effect and Selenium Accumulation in Wheat under Conditions of Selenium Deficient Biogeochemical Province. Chemistry for Sustainable Development 19: 145-150.
14. Kong, L., Wang, M., and Bi, D. 2005. Selenium modulates the activities of antioxidant enzymes, osmotic homeostasis and promotes the growth of sorrel seedlings under salt stress. Plant Growth Regulation 45: 155-163.
15. Li, H., McGrath, S., and Zhao, F. 2008. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. New Phytologist 178: 92-102.

16. Lyons, G., Ortiz-Monasterio., I. Stangoulis, J., and Graham, R. 2005. Selenium concentration in wheat grain: Is there sufficient genotypic variation to use in breeding? Plant and Soil 269: 369-380.
17. 17-Nour-mohamadi, G., Siadat A., and Kashani, A. 2004. Agronomy (Cereal crops). Shahid Chamran University Press. Pp446.
18. 18-Ramos, S. J., Faquin,V., Guilherme, L. R. G., Castro, E. M., Avila, F.W., Carvalho, G. S., Bastos, C. E. A., and Oliveira, C. 2010. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. Plant, Soil and Environment 56 (12): 584-588.
19. 19- Rodrigo, S., Santamaria1, O., Lopez-Bellido, F. J., and Poblaciones, M. J. 2013. Agronomic selenium biofortification of two-rowed barley under Mediterranean conditions. Plant, Soil and Environment 59(3): 115-120.
20. 20- Roustaie, M. 2001. Bread wheat Azar 2 Cultivar. Papers collection week of researches finding shift of dryland agricultural research institute, East Azarbyjan agriculture organization No. 648.
21. 21-Sajedi, N. A., 2015. Effects of hydro priming and priming with different rates of selenium along with foliar application on yield and yield components of rain fed wheat. Iranian Journal of Field Crops Research 13(1): 203-210.
22. 22-Sajedi, N. A. and Gholinezhad, A. 2012. Response of yield and yield component of dry land wheat cultivars to salicylic acid and selenium. Iranian Journal of Field Crops Research 10(3): 614-621.
23. 23- Sajedi, N. A., Madani, H., and Naderi, A. 2011. Effect of microelements and selenium on superoxide dismutase enzyme, malondialdehyde activity and grain yield maize (*Zea mays* L.) under water deficit stress. Notulae Botanicae Horti AgrobotaniciCluj-Napoca 39 (2):153-159.
24. 24- Shanker, A. K. 2006. Countering UV-B stress in plants: does selenium have a role? Plant and Soil 282: 21-26.
25. 25-Tadina, N., Germ, M., Kreft, I., Breznik, B., and Gaberseik, A. 2007. Effects of water deficit and selenium on common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) plants. Photosynthetica, 45: 472- 476.
26. 26-Tapiero, H., Townsend, D. M., and Tew, K. D. 2003. Dossier: Oxidative stress pathologies and antioxidants: The antioxidant role of selenium and seleno-compounds. Biomedicine and Pharmacotherapy 57: 134-144.
27. 27-Turakainen, M., Hartikainen, H., and Seppanen, M. M. 2004. Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch. Journal of Agricultural and Food Chemistry 52: 5378-5382.
28. 28- Wang, J., Wanga, Z., Maoa, H., Zhaoa, H., and Huanga, D. 2013. Increasing Se concentration in maize grain with soil -or foliar-applied selenite on the Loess Plateau in China. Field Crops Research 150: 83-90.
29. 29- Xue, T. L., Hartikainen, H., and Piironen, V. 2001. Antioxidative and growth-promoting effects of selenium on senescing lettuce. Plant and Soil 237: 55-61.
30. 30-Yao, X. Q., Chu, J. Z., and Wang, G.Y. 2009. Effects of selenium on Wheat seedlings under Drought Stress. BiologicalTrace Element Research 130: 283-290.
31. 31- Zadox, J. C., Chang, T. T., and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of creals. Weed Res 14: 415-421.
32. 32-Zhng, M., Tang, Sh., Huang, X., Zhang, F., Pang, Y., and Huang, Q. 2014. Selenium uptake, dynamic changes in selenium content and its influence on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in rice (*Oryza sativa* L.). Environmental and Experimental Botany 107: 39-45.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 2, Summer. 2017, p. 341-354

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، ص. ۳۵۴-۳۴۱

Response of Agronomic Traits of Wheat and Barley to Sources and Different Rates of Selenium in Rainfed Condition

N. A. Sajedi[1*]- H. Madani[2]- A. Sajedi[3]

Received: 15-10-2015
Accepted: 28-05-2016

Introduction: Environmental stresses affect growth, metabolism and crops yield. Drought is an important stress and it decreases crop productivity. Drought stress symptoms vary, depending on intensity and duration of drought and growth stage of the plant. The first response of plant to drought stress is producing the active oxygen species (ROS) in cell that these cause injury to membranes and proteins. Selenium (Se) application could have beneficial effect on growth and stress tolerance of plants by increasing their activity of antioxidants and reduce the reactive oxygen species over production. Selenium is essential for growth and activities of human and animals. Absorption and accumulation of selenium in plant depend on chemical compound and concentration of selenium in soil. Recent studies have demonstrated that Se increases resistance and antioxidant capacity of plants to various stress. It is reported that selenium application in barley plant no changes the amounts of malondialdehyde and hydrogen peroxide under water deficit stress. The current paper studies the response of agronomic traits of wheat and barley to sources and different rates of selenium in rain fed condition.

Materials and Methods: In order to investigate response of agronomic traits of wheat and barley to sources and different rates of selenium in rainfed condition, an experiment was carried out as factorial based on randomized complete block design with three replications at the Research Station of Islamic Azad University, Arak Branch, during 2014-2015. Experimental factors were included selenium sources at two levels, Sodium selenate and Selenite, Selenium rates at three levels of zero, 18 and 36 g ha^{-1} and two crop plants of wheat and barley. The wheat rain fed seed Azar 2 cultivar and Barley cultivar Abidar were hand planted at 15 cm spacing in 6 m rows, with one meter borders between the plots. Foliar application of Se was performed at rate of 18 and 36 g ha^{-1} at appearance of 5th node of stem or Zadoks growth stage (ZGS) 43 and at appearance of 75% florescence spikelets or Zadoks growth stage (ZGS) 57. At harvesting time, one m^2 was harvested from the middle of each plot and the grain and biological yield was evaluated. The data were analyzed SAS software. Means were compared using Duncan's Multiple Range test at $P\leq0.05$

Results and Discussion: The results showed that, the spike length without awn of wheat was 10.4% more than barley, but in barley the spike length without awn was 11.2% more than wheat. The spike harvest index in barley was 21.7% more than wheat. Foliar application of 18 g ha^{-1} selenium increased the grain weight per spike by 4.9% compared with control. The maximum grain weight per spike was obtained from foliar application 18 g ha^{-1} sodium selenite. Foliar application of 18 and 36 g ha^{-1} selenium as sodium selenite increased the grain weight per spike by 13.7 and 5.1% compared with control, respectively. Foliar application of 18 g ha^{-1} Se increased grain and biological yield by 6 and 8.4% compared with control, respectively. The results showed that, the highest biological yield (5784kg ha^{-1}) in wheat was obtained in application of 18 g ha^{-1} selenium as sodium selenite treatment. The highest biological yield (5889 kg ha^{-1}) in barley was record from application of 18 g ha^{-1} selenium as sodium selenate. The grain yield of barely was 10% more than wheat in rain fed condition. The highest grain yield (1757 kg ha^{-1}) in wheat was record from foliar application of 18 g ha^{-1} sodium selenite that, grain yield increased by 9% compared with control. In barley, the highest grain yield was obtained in foliar application of 18 g ha^{-1} sodium selenite or selenite treatments. It is reported that, the foliar application of selenium under stress conditions was found that increase the antioxidant enzyme activity, consequently reducing oxidative stress and the free radicals which have a decisive effect on plant cells. Some reports showed that selenium could increase

1 and 2- Associate Professor, Department of Agronomy and plant Breeding, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran
3- MSc in identify and weeds control, Member Young Researchers Club, Arak Branch, Islamic Azad University, Iran
(*- Corresponding Author Email: N-Sajedi@iau-arak.ac.ir)

the tolerance of plants to stressful environments.

Conclusions: In general, it could be concluded that foliar application of 18 $g\ ha^{-1}$ selenium as sodium selenate or selenite in stem elongation stage in wheat and barley in rain fed condition was led to obtain optimum grain and biological yield.

Keywords: Azar 2, Abidar, Biological yield, Spike traits