نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۷۹-۱۶۷
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 31, No. 1, Spring 2017, P. 167-179
ISSN: 2008 - 4730

تاثیر سلنیوم بر روی عملکرد و ویژگی‌های رویشی کلم تکمه‌ای کشت شده در هیدروپونیک

رزیتا خادمی آستانه[1*] - سید جلال طباطبائی[2]- صاحبعلی بلندنظر[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۰۶

چکیده

سلنیوم (Se) یکی از عناصر مفید در گیاهان بوده که نه تنها رشد و نمو گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد، بلکه بعنوان یک عنصر مفید برای تغذیه انسان می‌باشد. به منظور ارزیابی تاثیر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر ویژگی‌های رویشی و عملکرد کلم تکمه‌ای (*Brassica oleracea* var. Gemmifera) آزمایشی با شش سطح سلنیوم (۰، ۲، ۴، ۸، ۱۶و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر از منبع سلنات سدیم) در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. نتایج نشان داد که خصوصیات رویشی گیاهان با افزایش غلظت سلنیوم تا ۸ میلی‌گرم در لیتر افزایش و بعد از آن کاهش یافت. عملکرد گیاه نیز بطور معنی‌داری ($P\leq0.01$) تحت تاثیر تیمارهای سلنیومی قرار گرفت، بطوریکه با افزایش غلظت سلنیوم در محلول غذایی از ۰ تا ۸ میلی‌گرم در لیتر عملکرد افزایش و سپس کاهش یافت. حداکثر عملکرد در غلظت ۸ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد که نسبت به شاهد۴۰ درصد افزایش عملکرد داشت. بنظر می‌رسد افزایش سطح برگ یکی از دلایل عمده در افزایش عملکرد در اثر افزودن سلنیوم به محلول غذایی باشد. بر اساس یافته‌های این تحقیق سلنیوم را می‌توان حداکثر تا غلظت ۸ میلی‌گرم در لیتر به منظور بهبود رشد و نمو گیاه به محلول‌های غذایی اضافه نمود.

واژه‌های کلیدی: آبکشت، تعداد جوانه، سطح برگ

مقدمه

سلنیوم یکی از عنصرهای شیمیایی غیرفلزی و کمیاب است و عنصری برای بسیاری از موجودات زنده ضروری است. با این حال از سلنیوم به عنوان یک عنصر ضروری برای گیاهان نام برده نشده است (۲۷). امروزه سلنیوم به دلیل حضور در سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی و تعادل هورمونی بعنوان یک عنصر اساسی برای سلامتی انسان و حیوان شناخته شده است (۲۴ و ۲۸ و ۳۱). گیاهان واکنش‌های فیزیولوژیک متنوعی را در برابر سلنیوم از خود بروز می‌دهند و برخی از گونه‌ها مقدار زیادی سلنیوم را در خود جمع می‌کنند، در حالی که بسیاری از گونه‌های گیاهی نسبت به وجود مقادیر زیاد سلنیوم در خاک و آب حساس بوده و سلنیوم برای آنها عنصری سمی محسوب می‌شود (۲۷). مقدار میانگین مورد نیاز مصرف سلنیوم برای انسان ۴۵ ماکروگرم و حد مجاز توصیه شده ۵۵ ماکروگرم و سطح قابل تحمل ۴۰۰ ماکروگرم می‌باشد (۵). اما سمیت حاد در حیوانات زمانی اتفاق می‌افتد که انسان یا دام از گیاهانی با غلظت ppm ۱۰۰۰ تغذیه نمایند. جذب و ذخیره سلنیوم توسط گیاهان به فرم شیمیایی، غلظت و به فاکتورهایی مثل pH، شوری و محتوای کربنات‌کلسیم و

توانائی گیاهان وابسته است (۲۸ و ۳۲). گیاهان به غلظت‌های بالای سلنیوم حساس هستند چرا که باعث کاهش رشد گیاه و ماده خشک گیاهی می‌گردد، با این حال غلظت‌های پایین سلنیوم موجب بهبود رشد در برخی از گیاهان شده است (۱۰ و ۱۷). غلظت پایین سلنیوم اثر مفیدی روی رشد، مقاومت به تنش در گیاهان، با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آنها دارد (۲۸). سلنیوم مقاومت گیاهان را در شرایط تنش بالا می‌برد (۶) و توانائی افزایش رشد گیاهان تحت تنش را احتمالا از طریق حفظ آنزیم‌های کلروپلاست انجام می‌دهد (۸). سلنیوم در غلظت پایین رشد و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را در گیاهان تک لپه و دولپه افزایش می‌دهد. پاسخ مثبت به کاربرد سلنیوم در کاهو (۳۳)، سیب‌زمینی (۲۹)، خردل‌هندی (۲۶)، تلخه (۱۴)، چچم (*Loliumperenne*)، (۱۳)، سویا (*Glycinemax* L.) (۶)، سیب‌زمینی (۲۹) و برگ چای سبز (۱۵) مشاهده شده است. تحقیقات نشان می‌دهدکه رابطه‌ی مثبتی بین غلظت سلنیوم و فعالیت گلوتاتیون پروکسیداز وجود دارد که این دلیلی برای به تاخیرانداختن پیری و

۱ و ۳- دانشجوی دکتری و استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(*- نویسنده مسئول: (Email: R.khademi@tabrizu.ac.ir)
۲- استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران
DOI: 10.22067/jhorts4.v0i0.48532

افزایش رشد گیاهان در حال پیر شدن است (۳۴). سلنیوم در غلظت‌های کم در به تاخیر انداختن پیری و افزایش رشد گیاهان در حال پیری کاهو موثر است (۱۱). نتایج بررسی‌ها نشان داده است که کاربرد تیمارهای سلنیومی با توجه به افزایش سطح برگ گیاهان و در نتیجه فراهم‌آوری بالاتر آسمیلاتها موجب افزایش رشد گیاه می‌گردد (۲۵). همچنین نتایج بررسی‌ها حاکی از آن است که تمام ویژگی‌های رویشی گیاهان با توجه به غلظت سلنیوم و ظرفیت تجمع گیاهان متاثر از کاربرد سلنیوم شده و افزایش می‌یابد. از آنجائیکه تحقیقی در خصوص تاثیر سلنیوم بر کلم تکمه‌ای انجام نشده است، بنابراین بنظر می‌رسد که مصرف این عنصر می‌تواند رشد و نمو و عملکرد این گیاه را تحت تاثیر قرار دهد.

مواد و روش‌ها

آزمایش درمحیط کنترل شده، گلخانه تحقیقاتی هیدروپونیک گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، در زیر نور طبیعی اجرا گردید. گلخانه مورد استفاده دارای پوشش پلی اتیلن تک لایه و مجهز به سیستم سرمایش به منظور کنترل دما در ماه‌های گرم سال و سیستم مه‌پاش به منظور کنترل رطوبت می‌باشد که دمای روزانه۳ ±۲۰ و دمای شبانه ۳±۱۶ تنظیم گردید. بذور کلم بروکسل رقم Gemmifera را به منظور جوانه‌زنی در ظروف پتری در دمای آزمایشگاه قرار داده و پس از جوانه‌زنی، گیاهچه‌ها به لیوان‌های پلاستیکی و در مرحله چهار برگی به گلدان‌های بزرگتر که هردو حاوی پرلایت بودند، منتقل شدند. زمانی که گیاهان به حد مناسبی از رشد رسیدند (مرحله چهار برگی) به سیستم فلوتینگ انتقال یافتند. در این سیستم ریشه‌های گیاهان در محلول‌غذایی شناور بوده و بستر کشتی استفاده نمی‌شود. محلول‌غذایی تغییر یافته هوگلند (جدول ۱) تهیه و به مقدار ۱۲ لیتر به هر ظرف (ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر و قطر دهانه ۳۲ سانتی‌متر) اضافه گردید.

جدول۱- ترکیبات محلول غذایی تغییر یافته هوگلند

Table 1- The compounds modified Hoagland nutrient solution

عنصر Mineral (mg/l mg/L	منبع کودی Fertilizer source	غلظت عنصر(میلی گرم بر لیتر) Mineral concentration(mg /L)
K	KNO_3	200
Ca	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	80
N	NH_4NO_3	250
P	KH_2PO_4	15
Mg	$MgSO_4.7H_2O$	60
B	H_3BO_3	5
Mn	$MnSO_4.4H_2O$	4
Zn	$ZnSO_4.5H_2O$	4
Cu	$CuSO_4.5H_2O$	2
Mo	$H_2MoO_4.H_2O$	1
Fe	FeEDTA	7

پس از گذشت حدود ۱۰ هفته از رشد گیاهان تیمارهای سلنیوم اعمال شد. تیمارها شامل شش سطح سلنیوم (۰، ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲ میلی‌گرم در لیتر) با استفاده از نمک سلنات سدیم (Na_2SeO_4) که با غلظت بالا بصورت محلول پایه تهیه و به محلول‌های غذایی اضافه شدند. کاهش در اندازه محلول‌غذایی داخل گلدان‌ها با اضافه نمودن روزانه محلول تازه جبران و Ec و pH محلول‌های غذایی بصورت هفتگی کنترل می‌شد. با توجه به شدت نور، محلول غذایی حداکثر تا یک هفته تعویض کامل می‌گشت.

پس از گذشت ۱۴ هفته از رشد گیاهان، زمانی که قطر کلم ها تقریبا به ۲/۵ تا ۵ سانتی‌متر رسید، گیاهان برداشت و به آزمایشگاه انتقال داده شدند.

اندازه‌گیری خصوصیات رویشی

سطح برگ: به منظور تعیین سطح برگ گیاهان از دستگاه سطح برگ‌سنج مدل (Li-Cor-Model Li 1300 USA) استفاده شد.

ارتفاع ساقه و تعداد برگ: در پایان آزمایش طول ساقه توسط متر نواری با دقت ۰/۱ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. تعداد برگ نیز شمارش گردید..

وزن تر و خشک برگ، ساقه و ریشه: وزن تر برگ‌ها و ساقه‌های جدا شده توسط ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. وزن خشک نیز هم بعد از قرارگیری در آون مدل (Shimaz Co., Iran) به مدت ۴۸ ساعت برای ساقه‌ها و ۷۲ ساعت برای برگ‌ها در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و ثابت ماندن وزن، سنجیده شد. شایان ذکر است که

برگ‌ها قبل از قرارگیری در آون به منظور تسریع در خشک شدن خرد شدند.

اندازه‌گیری خصوصیات رویشی

عملکرد، وزن تر و خشک و تعداد جوانه: جوانه‌ها در پایان آزمایش برداشت و توسط ترازو با دقت ۰/۱ گرم وزن شدند که به عنوان عملکرد و وزن تر جوانه هر گیاه گزارش گردید. وزن خشک جوانه‌ها بعد از قرارگیری در پاکت‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون مدل (Shimaz Co., Iran) با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و ثابت ماندن وزن، بدست آمد. همچنین به منظور محاسبه تعداد جوانه، در پایان آزمایش تعداد جوانه هر گیاه برداشت و شمارش گردید.

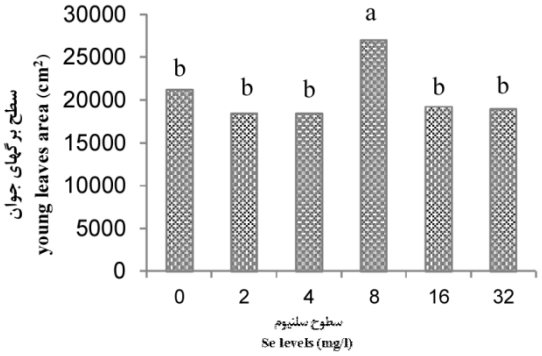
غلظت سلنیوم در برگ: عصاره حاصل از مرحله هضم با استفاده از دستگاه اسپکتوفوتومتر در طول موج ۵۱۳ نانومتر اندازه‌گیری شد و در نهایت غلظت در ماده خشک گیاهی محاسبه گردید.

تجزیه‌های آماری

آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۶ تیمار و ۴ تکرار انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از برنامه آماری SPSS و مقایسه میانگین تیمارها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. رسم نمودارها و اشکال با کمک نرم‌افزار Microsoft Office Excel 2003 انجام گرفت.

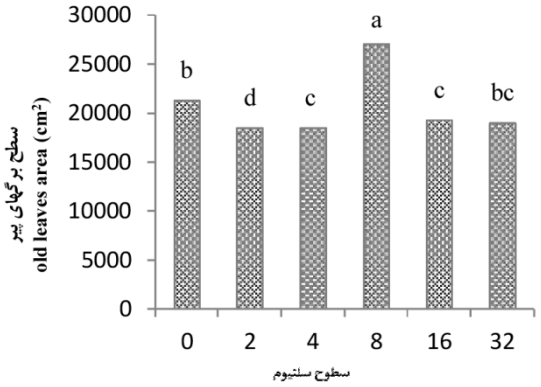
نتایج و بحث

اثر سلنیوم بر خصوصیات رویشی، نتایج این تحقیق نشان داد که خصوصیات رویشی گیاه کلم تکمه‌ای بطور معنی‌داری تحت تاثیر تیمارهای سلنیومی قرار گرفت (جدول ۲). سطح برگ (جوان و پیر) در سطوح مختلف سلنیوم، اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال ۱ درصد نشان داد. با افزایش سلنیوم سطح برگ‌های جوان و پیر در مقایسه با شاهد کاهش یافت (به استثناء سطح ۸ میلی‌گرم در لیتر). محلول غذایی حاوی ۸ میلی‌گرم در لیتر بیشترین میزان توسعه برگ‌ها را در میان تیمارها داشت (شکل۱ و ۲). اما سایر سطوح شامل ۲، ۴، ۶، ۱۶ و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم تاثیر کمتری را بر روی سطح برگ‌ها در مقایسه با شاهد نشان دادند و این سطوح در تاثیر بر روی برگ‌های جوان با هم اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند.



شکل ۱- اثرسطوح مختلف سلنیوم بر سطح برگ‌های جوان کلم تکمه ای

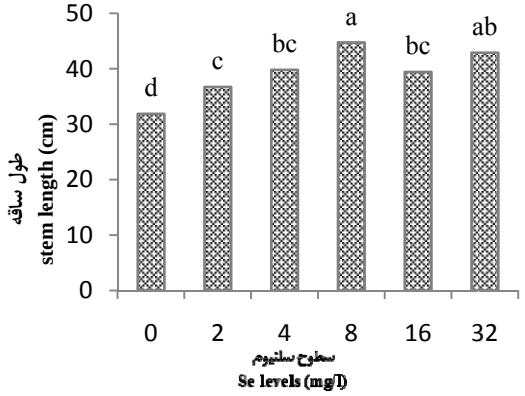
Figure 1- Effects of Se different levels on young leaves area in Brussels sprouts



شکل ۲- اثرسطوح مختلف سلنیوم بر سطح برگ‌های پیر کلم تکمه ای

Figure 2- Effects of Se different levels on old leaves area in Brussels sprouts

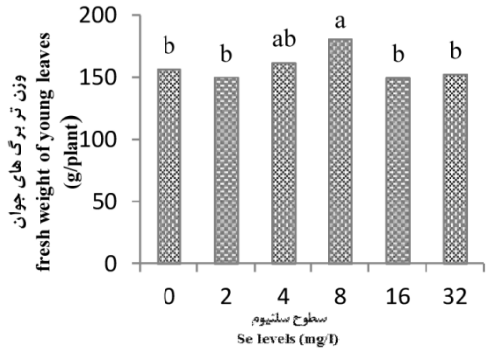
طول ساقه در سطوح مختلف سلنیوم اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال ۱ درصد در مقایسه با شاهد نشان می‌دهد. با افزایش سطوح سلنیوم تا سطح ۸ میلی‌گرم در لیتر طول ساقه افزایش و در سطح ۱۶ میلی‌گرم در لیتر کاهش و سپس در سطح ۳۲ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت. سطح ۸ میلی‌گرم در لیتر بیشترین میزان طول ساقه را داشت. سطوح ۸ و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر با هم اختلاف معنی-داری را نشان ندادند. کمترین میزان طول ساقه را گیاه شاهد نشان داد (شکل۳). قطر ساقه در این تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان نداد.



شکل ۳- اثر سطوح مختلف سلنیوم بر طول ساقه کلم تکمه ای

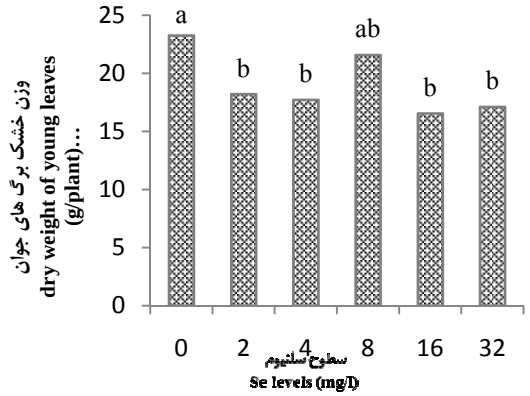
Figure 3- - Effects of Se different levels on stem length in Brussels sprouts

وزن‌تر برگ‌های جوان در سطوح مختلف سلنیوم اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد (شکل۴). بیشترین وزن‌تر برگ‌های جوان در سطح ۸ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم مشاهده شد. سطح ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم اختلاف معنی‌داری را با سطح ۸ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم نداشت و همچنین سایر سطوح و شاهد نیز با هم و سطح ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم اختلاف معنی‌داری را نداشتند (جدول ۲). وزن خشک برگ‌های جوان نیز در سطح احتمال ۵ درصد در سطوح مختلف سلنیوم معنی‌دار گردید (شکل ۵). گیاهان شاهد بالاترین میزان وزن خشک برگ‌های جوان و بدون اختلاف معنی‌دار با سطح ۸ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم را نشان دادند. سایر سطوح با هم و سطح ۸ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۲). وزن‌تر و خشک برگ‌های پیر در سطوح مختلف سلنیوم اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال ۱ درصد نشان داد (شکل۶ و ۷). سطح ۸ و ۱۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم بالاترین میزان وزن‌تر برگ‌های پیر را داشت. همچنین در سطح ۸ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم بالاترین میزان وزن خشک برگ‌های پیر مشاهده شد. پایین‌ترین میزان وزن‌تر برگ‌های پیر را سطح ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم و پایین‌ترین میزان وزن خشک برگ‌های پیر را گیاه شاهد نشان داد (شکل ۵).

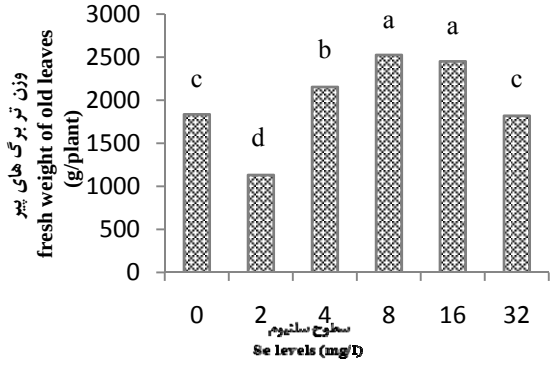


شکل ٤- اثر سطوح مختلف سلنیوم بر وزن تر برگ‌های جوان کلم تکمه ای

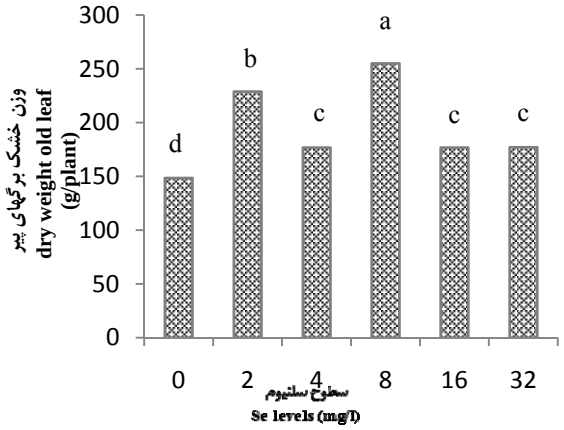
Figure 4- Effects of Se different levels on fresh weight young leaves in Brussels sprouts



شکل ۵- اثر سطوح مختلف سلنیوم بر وزن خشک برگ‌های جوان کلم تکمه ای
Figure 5- Effects of Se different levels on dry weight of young leaves in Brussels sprouts



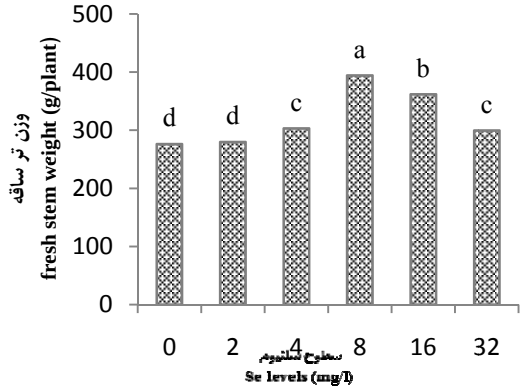
شکل ٦- اثر سطوح مختلف سلنیوم بر وزن تر برگ‌های پیر کلم تکمه ای
Figure 6- Effects of Se different levels on fresh weight old leaves in Brussels sprouts



شکل ۷- اثرسطوح مختلف سلنیوم بر وزن خشک برگ‌های پیر کلم تکمه ای
Figure 7- Effects of Se different levels on dry weight old leaves in Brussels sprouts

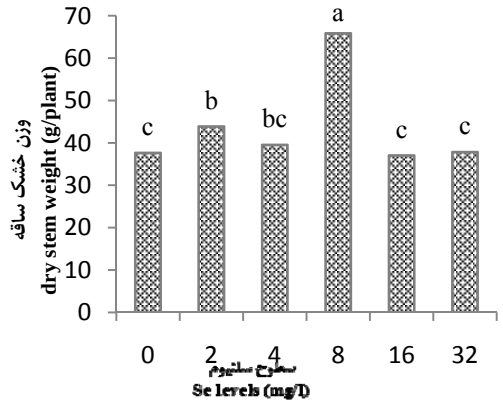
وزن‌تر ساقه در سطوح مختلف سلنیوم اختلاف معنـی‌داری را در سطح احتمال ۱ درصد نشان داد (شکل ۸). با افزایش سـطح سـلنیوم وزن‌تر ساقه در مقایسه با شاهد افزایش یافت. بیشترین وزن‌تر سـاقه در سطح ۸ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم مشاهده شد. پایین‌تـرین میـزان

وزن‌تر ساقه را شاهد و سطح ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم نشان داد که این دو با هم اختلاف معنی‌داری را نداشتند (جدول ۲). همچنین وزن خشک ساقه در سطح احتمال ۱ درصد در سطوح مختلف سلنیوم معنی‌دار ردید (شکل ۹). تیمار ۸ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم بالاترین میزان وزن خشک ساقه را داشت. سطوح ۱۶ و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم با شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۲).



شکل ۸- اثرسطوح مختلف سلنیوم بر وزن ترساقه کلم تکمه ای

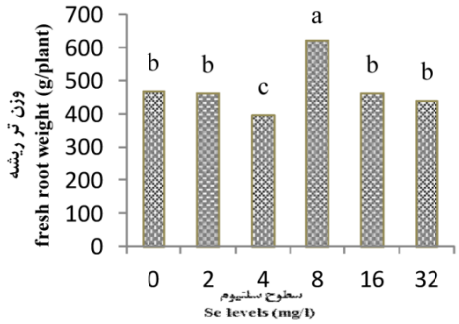
Figure 8- Effects of Se diffrents levels on fresh stem weight in Brussels sprouts



شکل ۹- اثر سطوح مختلف سلنیوم بر وزن خشک ساقه کلم تکمه ای

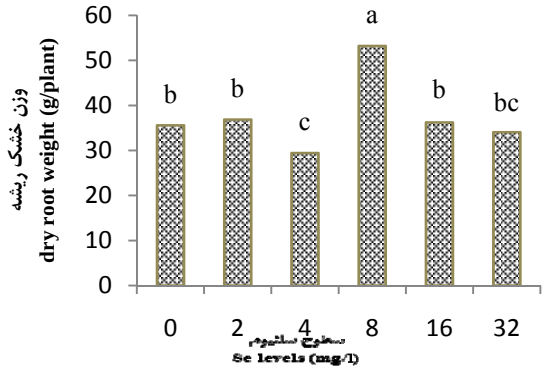
Figure 9- Effects of Se different levels on dry stem weight in Brussels sprouts

اثر سطوح مختلف سلنیوم بر وزن‌تر و خشک ریشه کلم تکمه‌ای در در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (شکل۱۰ و ۱۱). بیشترین وزن تر و خشک ریشه در سطح ۸ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم و پایین‌ترین میزان وزن‌تر و خشک ریشه در سطح ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم مشاهده شد. سایر سطوح اختلاف معنی‌داری را نسبت به هم نداشتند (جدول ۲).



شکل ۱۰- اثر سطوح مختلف سلنیوم بر وزن تر ریشه کلم تکمه ای

Figure 10- Effects of Se different levels on fresh root weight in Brussels sprouts

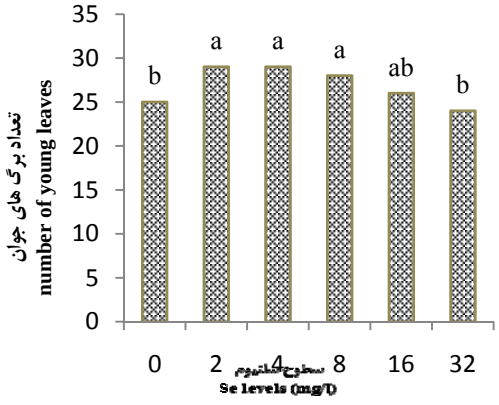


شکل۱۱- اثر سطوح مختلف سلنیوم بر وزن خشک ریشه کلم تکمه ای

Figure 11- Effects of Se different levels on dry root weight in Brussels sprouts

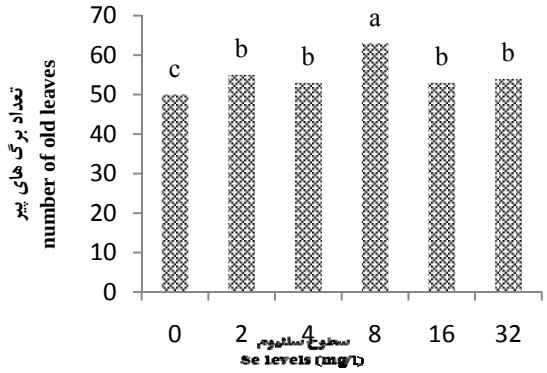
تعداد برگ جوان تحت تاثیر کاربرد سطوح مختلف سلنیوم اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد (جدول ۲). بیشترین تعداد برگ جوان را سطوح ۲، ۴ و ۸ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم و کمترین تعداد برگ جوان در گیاه شاهد و سطح ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم مشاهده شد. سطح ۱۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم اختلاف معنی‌داری را با بالاترین و پایین‌ترین تعداد برگ جوان نشان نداد (شکل ۱۲). تعداد برگ پیر در سطوح مختلف سلنیوم اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال ۱ درصد در مقایسه با شاهد نشان می‌دهد. سطح ۸ میلی‌گرم در لیتر بیشترین تعداد برگ پیر و گیاه شاهد کمترین تعداد برگ پیر را داراست. سایر سطوح (۲، ۴، ۱۶ و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر) اختلاف معنی‌داری را با هم نشان ندادند (شکل۱۳).

اثر سلنیوم بر عملکرد، نتایج این تحقیق در خصوص تاثیر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر روی عملکرد گیاه کلم تکمه‌ای نشان داد که خصوصیات کمی شامل تعداد جوانه‌ها، وزن‌تر و خشک جوانه‌ها بطور معنی‌داری تحت تاثیر تیمارهای سلنیومی قرار گرفته است (جدول ۳). با افزایش سطوح سلنیوم اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد در تعداد جوانه کلم تکمه‌ای مشاهده گردید. بالاترین تعداد جوانه کلم تکمه‌ای را سطوح ۸ و ۱۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم و کمترین تعداد را سطح ۲، ۴ و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم نشان داد (شکل ۱۴). همانطور که جدول تجزیه واریانس (۳) نشان می‌دهد، وزن‌ترجوانه یا همان عملکرد کل و وزن خشک جوانه با افزایش سطوح سلنیوم تا سطح ۱۶ میلی‌گرم در لیتر افزایش معنی‌داری داشت و در سطح ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم به کمترین مقدار خود رسید که در این سطح اختلاف معنی‌داری را با تیمار شاهد نشان نداد. وزن-تر یا عملکرد و همچنین وزن خشک جوانه هردو اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال ۱ درصد نشان دادند (شکل۱۵ و ۱۶).



شکل ۱۲- اثر سطوح مختلف سلنیوم بر تعداد برگ‌های جوان کلم تکمه ای

Figure 12- Effects of Se different levels on number of young leaves in Brussels sprouts



شکل ۱۳- اثر سطوح مختلف سلنیوم بر تعداد برگهای پیر کلم تکمه ای

Figure 13- Effects of Se different levels on number of old leaves in Brussels sprouts

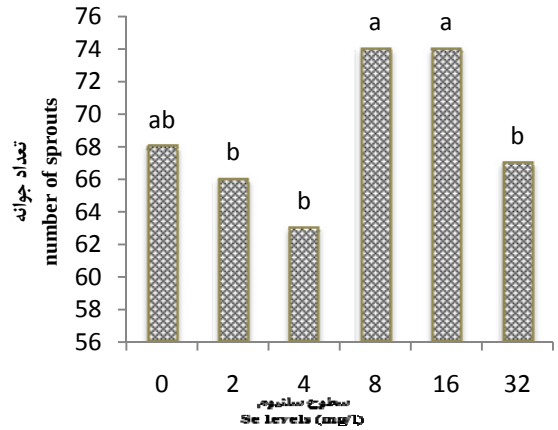
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف سلنیوم بر خصوصیات رویشی کلم تکمه ای

Table 2- ANOVA of Se different levels effects on vegetative characteristics of Brussels sprouts

صفات characteristics	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Means of Squares	اشتباه آزمایشی Experimental error
سطح برگ جوان young leaf area	5	437768.468**	1256041.226
سطح برگ پیر old leaf area	5	84220000**	93280000
طول ساقه stem length	5	83.760**	165.54
وزن تر برگ جوان fresh weight young leaves	5	564.813*	3529.594
وزن خشک برگ جوان dry weight young leaves	5	29.233*	187.322
وزن تر برگ پیر fresh weight old leaves	5	1054496.62**	397253.162
وزن خشک برگ پیر dry weight old leaves	5	6320.917**	3684.328
وزن تر ساقه fresh stem weight	5	9228.500**	9228.5
وزن خشک ساقه dry stem weight	5	499.036**	190.995
وزن تر ریشه fresh root weight	5	23451.800**	23451.5
وزن خشک ریشه dry root weight	5	263.265**	228.508
تعداد برگ جوان number of young leaf	5	18.542*	88.25
تعداد برگ پیر number of old leaf	5	74.442**	72.75

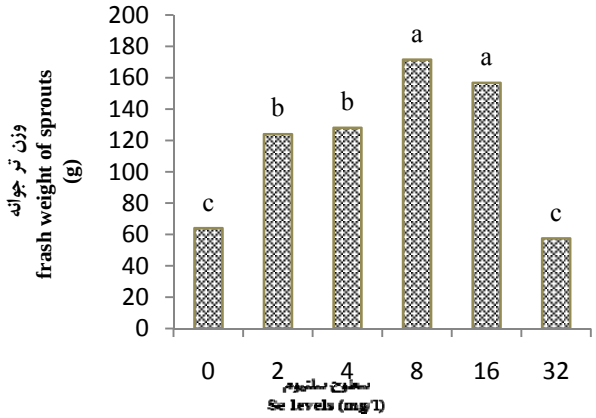
** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ns اختلاف غیر معنی‌دار

**significant differentns in leves 1%, * significant differents in levels 5%, ns non significant differents



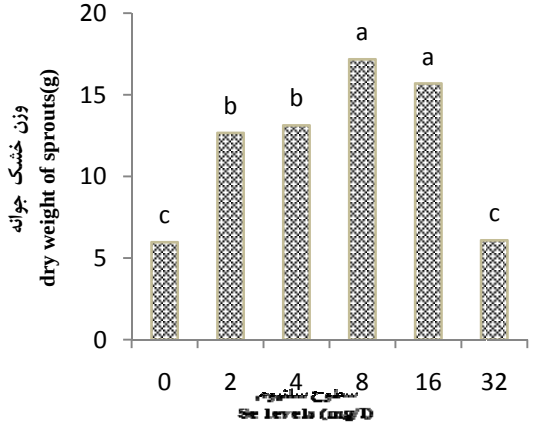
شکل ١٤- اثر سطوح مختلف سلنیوم بر تعداد جوانه کلم تکمه ای

Figure 14- Effects of Se different levels on number of sprouts in Brussels sprouts



شکل ١٥- اثر سطوح مختلف سلنیوم بر وزن تر جوانه کلم تکمه ای

Figure 15- Effects of Se differents levels on fresh weight sprouts in Brussels sprouts



شکل ١٦- اثر سطوح مختلف سلنیوم بر وزن خشک جوانه کلم تکمه ای

Figure 16- Effects of Se different levels on dry weight sproutsin Brussels sprouts

جدول ۳- تجزیه واریانس تاثیر سطوح مختلف سلنیوم بر خصوصیات کمی کلم تکمه ای

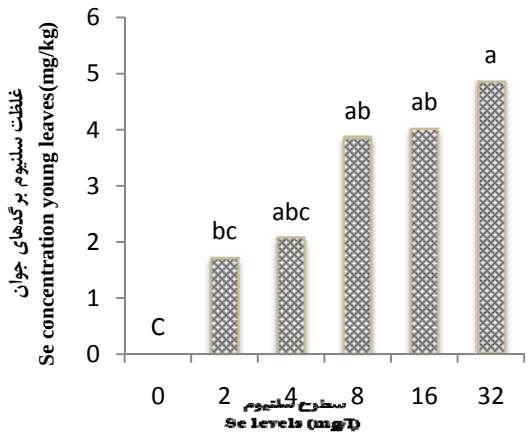
Table 3-ANOVA of Se different levels effects on quantitycharacteristics Brussels sprouts

صفات characteristics	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Means of Squares	اشتباه آزمایشی Experimental error
تعداد جوانه number of sprouts	5	77.242*	731.750
وزن تر جوانه fresh weight sprouts	5	8855.642**	3232.75
وزن خشک جوانه dry weight sprouts	5	90.457**	41.619

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ns اختلاف غیر معنی‌دار

**significant differentns in leves 1%, * significant differents in levels 5%, ns non significant differents

غلظت سلنیوم، نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت سلنیوم در برگ‌های گیاه کلم تکمه‌ای بطور معنی‌داری تحت تاثیر تیمارهای سلنیومی قرار گرفته است (جدول ۴). با افزایش سطوح سلنیوم غلظت سلنیوم در برگ‌های جوان افزایش یافت و در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری را نشان داد. بالاترین غلظت سلنیوم در برگ‌های جوان در سطح ۳۲ میلی‌گرم در لیترسلنیوم مشاهده شد. سطوح ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم پایین‌ترین غلظت سلنیوم در برگ‌های جوان را بدون هیچ اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان دادند (شکل ۱۷). با توجه به جدول تجزیه واریانس (۴) با افزایش سطوح سلنیوم غلظت سلنیوم در برگ‌های پیر نیز افزایش یافت و اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال ۱ درصد نشان داد. بالاترین غلظت سلنیوم در برگ‌های پیر را سطوح ۸ و ۱۶ و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم نشان داد و گیاه شاهد نیز پایین‌ترین غلظت سلنیوم را در برگ‌های پیر نشان داد (شکل ۱۸).



شکل ۱۷- اثرسطوح مختلف سلنیوم بر غلظت سلنیوم برگ‌های جوان کلم تکمه‌ای

Figure 17- Effects of Se different levels on selenium concentration young leaves in Brussels sprouts

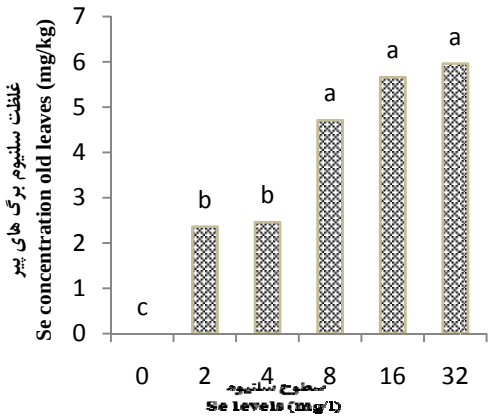
جدول ٤- تجزیه واریانس تاثیر سطوح مختلف سلنیوم بر مقادیر سلنیوم در برگ‌های جوان و پیر کلم تکمه ای

Table 4-ANOVA of Se different levels effects on Se content in young and old leaves of Brussels sprouts

صفات characteristics	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Means of Squares	اشتباه آزمایشی Experimental error
غلظت سلنیوم برگ جوان selenium concentration young leaf	5	6.546*	8.170
غلظت سلنیوم برگ پیر selenium concentration old leaf	5	10.723**	2.907

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ns اختلاف غیر معنی‌دار

**significant differentns in leves 1%, * significant differents in levels 5%, ns non significant differents



شکل ۱۸- اثرسطوح مختلف سلنیوم بر غلظت سلنیوم برگهای پیرکلم تکمه‌ای

Figure 17- Effects of Se different levels on selenium concentration old leaves in Brussels sprouts

نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد سلنیوم تا سطح ۸ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش و سطوح بالاتر موجب کاهش سطح برگ‌های جوان و پیر کلم تکمه‌ای گردید. تحقیقات نشان می‌دهد که کاربرد سلنیوم موجب افزایش جذب پتاسیم می‌گردد (۱۶). این افزایش پتاسیم طبق تحقیقات باعث باز و بسته شدن روزنه‌ها و افزایش فشار تورژسانس و در نتیجه افزایش سطح برگ می‌گردد (۲۱). بر اساس تحقیقات بیان شده است که فشار اسمزی با تجمع پتاسیم در سلول باعث توسعه سلول و برگ می‌شود (۹). سطح برگ از خصوصیات مهم در رشد گیاه می‌باشد، به طوری که هرچه سطح برگ افزایش یابد مقدار فتوسنتز یا همان ماده‌سازی افزایش می‌یابد. به دنبال ماده‌سازی بیشتر میزان ماده خشک گیاهی نیز افزایش می‌یابد. گزارش شده است که افزایش غلظت پتاسیم در منطقه ریشه می‌تواند کارآیی فتوسنتزی برگ را افزایش دهد که این ممکن است باعث افزایش کلروپلاست هر سلول، تعداد سلول‌های هر برگ و در نهایت افزایش سطح برگ شود (۲۲)، همچنین تحقیقات نشان داده است که افزایش پتاسیم در فلفل باعث افزایش طول ساقه گیاه می‌شود. افزایش در سطح برگ و طول ساقه در تحقیق حاضر ممکن است ناشی از افزایش غلظت پتاسیم در گیاه باشد. گزارش شده است که کاربرد سلنیوم باعث افزایش معنی‌دار در تولید وزن خشک بخش رویشی و وزن خشک بذر در کلزا می‌شود (۱۲). کاربرد سلنیوم تا میزان مشخصی باعث افزایش وزن خشک ساقه در گیاه می‌گردد (۱۲ و ۲۳). دلیل بالاتر بودن ویژگی‌های رویشی در تیمار ۸ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم، بالا بودن سطح برگ در این تیمار و در نتیجه فراهم‌آوری بالاتر آسمیلاتها برای رشد گیاه می‌باشد (۲۵). افزایش غلظت سلنیوم تا میزان مشخصی باعث افزایش قابل توجه محتوای سلنیوم در محصولات مختلف می‌شود که نتیجه‌ی آن افزایش در عملکرد گیاهان از طریق حفاظت کلروفیل خواهد بود (۷ و ۲۳ و ۳۴). گیاهان به منظور حفاظت در مقابل گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) دارای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسیددیسموتاز (SOD) و کاتالاز (CAT) هستند، سلنیوم باعث افزایش فعالیت این دو آنزیم در غلظت‌های پایین می‌شود و احتمالا تولید برگ را در گیاهان از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش می‌دهد (۲۳). اثرات افزایش رشد بوسیله‌ی سلنیوم ممکن است در نتیجه‌ی افزایش تجمع نشاسته در کلروپلاست (۱۸) و حفاظت محتوای سلول باشد (۳۴). گزارش شده است که در گندم کاربرد سلنیوم در خاک (۰/۰۵، ۰/۱۰ و ۰/۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) باعث افزایش عملکرد و همچنین باعث افزایش قابل توجه در تولید ماده خشک دانه، کاه و کلش و ریشه می‌شود (۷). تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که سلنیوم نه تنها باعث افزایش رشد و نمو گندم می‌شود بلکه ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را در گیاهان تحت شرایط تنش دمای پایین افزایش می‌دهد و می‌تواند باعث حذف گونه‌های فعال اکسیژن شود (۶). این مطالعه نیز مطابق با یافته‌های قبلی است و نشان می‌دهد که کاربرد سلنیوم تا غلظت ۸ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش وزن تر برگ پیر، برگ جوان، ساقه و همچنین وزن خشک برگ پیر و ساقه می‌گردد. بر اساس تحقیقات مشخص گردیده که غلظت ۰/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیوم اثرات مثبت بر روی رشد غده‌های سیب‌زمینی دارد (۲۵). همچنین گزارش شده است که کلم‌های تیمار شده با سلنیوم فعالیت تنفس بالایی در برگ دارند که ممکن است با افزایش عملکرد رابطه داشته باشد (۳). محققان بیان کردند که از اثرات سلنیوم بر روی ویژگی‌های زایشی، تسریع مراحل زایشی و افزایش عملکرد بذر در گیاه کلزا می‌باشد (۱۲). همچنین نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که تیمار سلنیوم باعث افزایش در فتوسنتز، کاهش پیری برگ، افزایش تولید و انتقال آسمیلاتها در کاهو می‌گردد که نتیجه آن افزایش در عملکرد کاهو است (۳۴) که با نتایج آزمایش ما مطابقت دارد. کاربرد محلول‌پاشی سلنیوم بر روی گیاه کلزا، باعث بهبود عملکرد تحت شرایط تنش می‌شود (۳۵). نتایج آزمایشی نشان داد که کاربرد سلنیوم در غلظت پایین (۳ و ۶ میلی‌گرم

در لیتر) باعث افزایش عملکرد گیاهچه‌های گندم تحت شرایط تنش دمای پایین از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان می‌گردد (۱). همچنین محققان گزارش کردند که محتوای سلنیوم با افزایش غلظت سلنیوم در محلول غذایی هم در شیکوره و هم در کاهو افزایش می‌یابد و همچنین کاربرد سلنیوم در محلول غذایی گیاهان کاهو و شیکوره باعث افزایش در غلظت سلنیوم برگ‌ها می‌گردد که در نتیجه منجر به تاثیرات مثبت بر روی عملکرد گیاه خواهد بود (۱۸). گزارش شده است که اندام‌های هوایی دریافت کننده سلنات هستند (۲). نقش آنتی‌اکسیدانی سلنیوم وابسته به غلظت آن در محیط رشد و در بافت‌های گیاهی است، در غلظت‌های پایین فعالیت سلنیوم به صورت آنتی‌اکسیدانت است که منجر به کاهش فعالیت پروکسیداسیون لیپید می‌گردد، در حالیکه در غلظت‌های بالا موجب افزایش فعالیت - پروکسیداسیون لیپید در گندم (۱۹) و چچم (۴) می‌شود. فعالیت - پروکسیداسیون لیپید در برگ‌ها بستگی به غلظت سلنیوم در شاخه و فرم شیمیایی بکار رفته سلنیوم دارد.

نتیجه‌گیری کلی

بررسی ویژگی‌های رویشی کلم تکمه‌ای نشان داد که اثر افزایش سلنیوم بر وزن‌تر و خشک برگ، ساقه، ریشه، تعداد برگ و سطح برگ معنی‌دار است. سطح برگ، وزن‌تر و خشک برگ، ساقه و ریشه با افزایش سلنیوم تا سطح ۸ میلی‌گرم در لیتر افزایش و سپس کاهش یافت که به‌دلیل بالا بودن غلظت سلنیوم و اثرات سمیت آن بر روی کلم تکمه‌ای می‌باشد. طول ساقه در این تیمار معنی‌دار گردید اما قطر ساقه در این تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. در ویژگی‌های کمی نیز تعداد جوانه‌ها بطور معنی‌داری ($P\leq0.05$) تحت تاثیر تیمارهای سلنیومی قرار گرفت و بالاترین تعداد جوانه را، دو سطح ۸ و ۱۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم نشان داد. همچنین با افزایش سطوح سلنیوم عملکرد، وزن تر و خشک جوانه افزایش معنی‌داری را در سطح احتمال ۱ درصد نشان داد. سطوح ۸ و ۱۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم بالاترین وزن‌تر جوانه یا همان عملکرد کل و وزن خشک جوانه و سطح ۳۲ میلی‌گرم در لیتر و شاهد کمترین مقادیر را به خود اختصاص دادند. در نهایت نتایج تحقیق نشان داد که تیمار سلنیوم موجب افزایش غلظت سلنیوم در برگ‌ها شد و از لحاظ آماری معنی‌دار گردید.

منابع

1- Abbas S. 2012. Effects of low temperature and selenium application on growth and the physiological changes in sorghum seedlings, Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 8:268-286.
2- Arvy M. P. 1993. Selenate and selenite uptake and translocation in bean plants (Phaseolus vulgaris), Journal of Experimental Botany, 44:1083-1087.
3- Broyer T. C., Lee D. C., and Asher C. J. 1966. Selenium Nutrition of Green Plants. Effect of Selenite Supply on Growth and Selenium Content of Alfalfa and Subterranean Clover, Plant and Physiology, 41:1425-1428.
4- Cartes P., Gianfreda L. and Mora M. L. 2005. Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms, Plant and Soil, 276:359-367.
5- Dietary Reference Intakes (DRIs): Recommended Intakes for Individuals, Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, National Academies, 2004, retrieved 2009
6- Djanaguiraman M., Devi D. D., Shanker A. K., Sheeba A. and Bangarusamy U. 2005. Selenium-an antioxidative protectant in soybean during senescence, Plant and Soil, 272:77-86.
7- Ducsay L., Ložek O. and Varga L. 2009. The influence of selenium soil application on its content in spring wheat, Plant and Soil Environment, 55(2):80-84.
8- Ekelund N. G. A. and Danilov, R. A. 2001.The influence of selenium on photosynthesis and light-enhanced dark respiration (LEDR) in the flagellate Euglena gracilis after exposure to ultraviolet radiation, Aquatic Science, 63:457-465.
9- Elumalai R. P., Nagpal P. and Reed J.W. 2002.A mutation in the Arabidopsis KT2/KUP2 potassium transporter gene affect a shoot cell expansion, Journal of Plant and Cell, 14:119-31.
10- Geoffroy L., Gilbin R., Simona O., Floriani M., Adama H., Pradines C., Cournac L. and Garnier-Laplace, J. 2007. Effect of selenate on growth and photosynthesis of Chlamydomonasreinhardtii, Aquatic Toxicology, 83:149-158.
11- Germ M. and Joe O. 2005. Selenium treatment affected respiratory potential in Eruca sativa, Acta Agriculture Slovenia, 85:329-335.
12- Hajiboland R. and Keivanfar N. 2011. Selenium supplementation stimulates vegetative and reproductive growth in canola (Brassica napus L.) plants, Acta Agriculture Slovenia, 99(1): 13-19.
13- Hartikainen H. and Xue T. 1999. The promotive effect of selenium on plant growth as trigged by ultraviolet irradiation, Journal of Environmental Quality, 28:1272-1275.
14- Hartikainen H., Xue T. and Piironen V. 2000. Selenium as an antioxidant and prooxidantin ryegrass, Plant. Soil, 225:193-200.
15- Hu Q. H., Xu J. and Pang G. X. 2003. Effect of selenium on the yield and quality of green tea leaves harvested in

early spring, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51:3379-3381.
16- Kopsell D.A., Randle W.M. and Mills H.A. 2000. Quantitative, chemically specific imaging of selenium nutrient accumulation in leaf tissue of rapid-cycling Brassica oleracea responds to increasing sodium selenate concentrations, Journal of Plant Nutrition, 23:927-935.
17- Lefsrud M.G., Kopsell D.E., Kopsell D.A., Randle D.E. and Kale W.M. 2006. Carotenoids are unaffected By whereas biomass production, elemental concentrations and selenium accumulation respond to changes in selenium fertility, Journal of Agriculture and Food Chemistry, 54:1764-1771.
18- Malorgio F., Diaz k., Ferrante A. 2009. Effects of selenium addition on minimally processed leafy vegetables grown in a floating system, Journal of Science Food Agriculture, 89:2243-2251.
19- Nowak J., Kaklewski K., Ligocki M. 2004. Influence of selenium on oxidoreductive enzymes activity in soil and in plants, Soil Biology Biochemistry, 36:1553-1558.
20- Pennanen A., Xue T. and Hartikainen H. 2002. Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irridiation stress, Journal Applied of Botany, 76:66-76.
21- Philippar K., Fuchs I., Luthen H., Hoth S., Bauer C.S. and Haga, K. 1999. Auxin induced k+ channel expression represents an essential step in coleoptiles growth and gravi- tropism. Proc. Natl, Academic Science USA, 96:1286-91.
22- Possingham J. V. 1980. Plastid replication and development in the life cycle of higher plants, Plant Physiology, 19:671-678.
23- Ramos S.J., Faguin V., Guilherme L.R.G., Castro E.M., Ávila 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 and Soil Environment, 12:584-588.
24- Rayman M. P. 2000. The importance of selenium to human health, Lancet, 356(9225):233.
25- Rubio J. S., Garcia-Sanchez F., Rubio F. and Martinez V. 2009. Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K^+ and Ca^{2+} fertilization, Journal of Horticulture Science, 119:79-87.
26- Singh M., Singh H. and Bhandari D. K. 1980. Interaction of selenium and sulphur on the growth and chemical composition of raya, Soil Science, 129:238-244.
27- Terry N., Zayed A. M., De Souza M. P. and Tarun A. S. 2000.Selenium in higher plants. Annual, Review Plant Molecular Biology, 51:401-432.
28- Turakainen M. 2007. Selenium and its effects on growth, yield and tuber quality in potato, Section Crop Science Publication, 30:1-50.
29- Turakainen M., Hartikainen H. and Seppänen M.M. 2004. Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch, Journal of Agriculture and Food Chemistry, 52:5378-5382.
30- Turakainen M., Hartikainen H., Sarjala T. and Seppänenn M.M. 2008. Impact of selenium enrichment on seed potato tubers, Agriculture Food Science, 17:278-288.
31- White P. J., Broadley M. R. 2009. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets-iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine, Phytology, 182 (1):49-84.
32- Wu L. 2004. Review of 15 years of research on ecotoxicology and remediation of land contaminated by agricultural drainage sediment rich in selenium, Ecotology Environmen Safety, 57:257-269.
33- Xue T. L. and Hartikainen H. 2000. Association of antioxidative enzymes with the synergistic effect of selenium and UV irradiation in enhancing plant growth, Agriculture Food Science Finland, 9:177-186.
34- Xue, T., Hartikainen, H., and Piironen, V. 2001. Antioxidative and growth-promoting effect of selenium in senescing lettuce. Plant and Soil. 27: 55-61.
35- Zahedi H., Noormohammadi Gh., Hossein Shirani Rad A. 2009. The effect zeolite and foliar application of selenium on growth yield and yield components of three canola cultivars under drought stress, Journal World Applied Science, 7(2):255-262.