اثر محلول‌پاشی سلنیوم بر برخی صفات فیزیولوژیکی و ریخت‌شناسی دو رقم گندم (کویر- روشن) تحت تنش کادمیوم

فاطمه دریایی [۱]، بتول کرامت* و محمد جواد آروین [۲]

[۱]گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

[۲]گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی،دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

(تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۰۹/۰۵ ، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۰۶/۱۵)

چکیده:

کادمیوم، به عنوان یکی از فلزات سنگین آلاینده محیط زیست، بر فعّالیت‌های فیزیولوژیکی و ریخت‌شناسی گیاهان تأثیر می‌گذارد. سلنیوم یک عنصر ضروری و دارای اثرات مفید در افزایش تحمّل به تنش‌های محیطی در گیاهان است. در این بررسی از غلظت های صفر، ۳۵۰ و ۷۰۰ میکرومولار کلریدکادمیوم به‌صورت اضافه نمودن به خاک و غلظت‌های صفر، ۱/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر سلنات‌سدیم به‌روش محلول‌پاشی برگی در دو رقم گندم (کویر و روشن) استفاده گردید. آزمایش در دی ماه سال ۱۳۹۱ در گلخانهٔ بخش زیست شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان، در قالب طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار اجرا و محلول‌پاشی سلنیوم در دو مرحلهٔ رشد اولیهٔ گیاه و گلدهی سنبله انجام شد. نتایج حاصل نشان داد که تنش کادمیوم، باعث کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، افزایش نشت یونی، همچنین کاهش وزن تر و خشک اندام‌های هوایی، کاهش تعداد و وزن دانه و نیز کاهش ارتفاع و وزن سنبله گردید، درحالیکه کاربرد سلنیوم بویژه غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر، باعث کاهش میزان نشت یونی و افزایش ۳۵ درصدی میزان کلروفیل a در رقم کویر و ۱۷ درصدی آن در رقم روشن در مقایسه با شاهد گردید. همچنین، تیمار مذکور سبب افزایش صفات یاد شده در سنبله در شرایط تنش و غیرتنش شد. داده‌های حاصل از سنجش عناصر سلنیوم و کادمیوم دانه نشان داد که تحت غلظت ۷۰۰ میکرومولار کادمیوم و غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم، گندم رقم کویر توانسته است در مقایسه با رقم روشن، به میزان ۴۲ درصد سلنیوم بیشتری را در دانه‌های خود ذخیره کند. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که کاربرد سلنیوم سبب کاهش معنی‌دار صدمات ناشی از تنش کادمیوم در گیاه گندم (بویژه رقم کویر) گردیده است.

کلمات کلیدی: : فلز سنگین، رنگدانه‌ها، محلول‌پاشی، گندم.

مقدمه:

تنش فلز سنگین یکی از تنش‌های اصلی است که باعث کاهش تولیدات کشاورزی شده، از فتوسنتز گیاه ممانعت نموده، باعث تغییر در محتوای کلروفیل و صدمه به ساختارهای فتوسنتزی می‌شود (Baszynski *et al*., 1980). کلروفیل‌ها تحت تأثیر این فلزات اکسیده و کلروزه می‌شوند (Baszynski *et al*., 1980). خاک‌ها، سنگ‌ها و کود های معدنی بخصوص کودهای فسفره مقادیری از کادمیوم را در خود دارند (Babula *et al*., 2009). این فلز همچنین به شکل ذرّات کوچکی در هوا و آب نیز وجود دارد (Jagodin *et al*., 1995). کادمیوم هیچگونه کارکرد

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: bkeramat@uk.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

بیولوژیکی نداشته و بیشترین سمّیت را برای گیاهان و حیوانات ایجاد می‌نماید (Baszynski *et al*., 1980). بیشترین مقدار کادمیوم قابل تحمّل برای انسان که توسط FAO معرفی شده است، ۷۰ میکروگرم در روز می‌باشد (Alloway, 1990). تجمّع کادمیوم بسته به گونه گیاه و اندام‌ها یا بافت‌ها در همان گیاه متفاوت است. تفاوت در تجمّع کادمیوم فقط مربوط به گونه گیاه نمی‌باشد، بلکه با نوع رقم، سنّ برگ و رشد ظاهری گیاه نیز ارتباط دارد (Baszynski *et al*., 1980). کادمیوم در عرض غشاء، از طریق کانال‌ها یا ناقل‌های کاتیون‌های دوظرفیتی، جذب سلول‌های گیاه می‌شود. گزارش شده است که کادمیوم از طریق پوست ریشه جذب و سپس از طریق سیم‌پلاستی یا آپوپلاستی وارد آوند چوبی شده و با چندین لیگاند مثل اسیدهای آلی یا فیتوکلاتین‌ها ترکیب می‌شود (Babula *et al*., 2009).تجمّع کادمیوم در خانواده‌های گیاهی نیز متفاوت است. بعنوان مثال در خانواده نخود تجمّع کم و در گندمیان، لاله‌سانان، کدوئیان و چتریان تجمّع متوسط گزارش شده است. خانواده اسفناج، شب‌بو، سیب زمینی و آفتاب‌گردان، توانایی بالایی برای نگهداری کادمیوم دارند (Babula *et al*., 2009). در گیاهان کاهو، اسفناج و تنباکو میزان غلظت کادمیوم در برگ‌های پیر بیش از برگ‌های جوان است (Rainbow, 2002). کادمیوم همچنین از طریق کانالهای کلسیمی وارد گیاه می‌شود، ولی انتقال آنها به کُندی صورت می‌گیرد. انتقال کادمیوم از ریشه به بخش‌های هوایی از طریق آوند چوبی صورت گرفته و بوسیلهٔ تعرّق از برگها تحریک می‌شود (Babula *et al*., 2009). روی و کادمیوم از نظر شیمیایی بسیار شبیه‌اند، بنابراین کادمیوم می‌تواند جذب و اعمال متابولیسمی Zn را نیز تقلید کند، ولی برخلاف روی، این عنصر برای گیاهان و همچنین حیوانات سمّی است (Bradley *et al*., 1985). آلودگی کادمیوم فرآیندهای فتوسنتزی را به‌شدّت تحت تأثیر قرار داده و موجب کاهش فتوسنتز می‌گردد. کاهش فتو سنتز به‌علّت تخریب فراساختار کلروپلاست، جلوگیری از بیوسنتز کلروفیل، مسدود کردن مسیر انتقال الکترون و یا بازدارندگی آنزیم‌های چرخه کالوین است (Babula *et al*., 2009). مطالعات انجام شده بر روی گیاهان از جمله کلم برگ و نخود نشان‌دهندهٔ نقش کادمیوم در تغییر بیوماس می‌باشد (Rainbow, 2002).

Filek و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که در گیاهچه‌های کلزا کادمیوم منجر به تخریب غشاهای داخلی کلروپلاست می‌شود. افزایش سلنیوم (۲ میکرومولار) موجب بازسازی فراساختمان کلروپلاست‌ها و سازمان‌دهی مجدّد ساختمان تیلاکوئیدها و استروما و افزایش در اندازه کلروپلاست‌ها، اسیدهای چرب غیراشباع و سیالیّت غشای سلولی در کلزا می‌شود. سلنیوم به‌فرم سلنات یا سلنیت جذب گیاهان شده و به سلنومتیونین (Se-Met)، و یا سلنوسیستئین (Se-Cys) به‌ویژه در دانه‌های غلّات و حبوبات تبدیل و منتقل می‌شود (Lyons *et al*., 2005). سلنیوم در مقادیر کم برای حیوانات ضروری است. کمبود آن سبب سوء تغذیه ماهیچه‌ای، بویژه در حیوانات اهلی شده که به بیماری ماهیچهٔ سفید مشهور است (Mistry *et al*., 2012). سلنیوم برای انسان نیز فواید بسیاری داشته و از بروز برخی بیماریها جلوگیری می کند. کمبود سلنیوم با بیماریهای پارکینسون و آلزایمر مرتبط است. سلنیوم چشم‌ها را در برابر آب مروارید محافظت می‌کند. سلنیوم به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان روند پیری را کُند می‌کند. همچنین سلنیوم کاهش‌دهندهٔ بیماریهای قلبی است. سلنیوم از به‌هم چسبیدن پلاکتها که باعث تشکیل لخته در شریانها می‌شود، جلوگیری نموده و از سکته قلبی ممانعت می‌نماید. در بیماران مبتلا به آرتریت روماتیسمی، نشان داده شده است که میزان سلنیوم در خون آنها کاهش یافته است. بدلیل اهمّیت Se در رژیم غذایی، FAO ورود سلنیوم را به محصولات گیاهی که در رژیم غذایی استفاده می‌شوند، الزامی می‌داند. از جمله در گندم، جو، برنج، سیب زمینی (Tamas *et al*., 2010). سلنات، فرمی از Se است که قابل جذب برای گیاهان می‌باشد و فقط در شرایط قلیایی با تهویه کافی موجود است. خاکهای غنی از Se، با مقدار زیاد سلنات، در شرایط آب و هوای خشک نیز یافت می‌شود (Hilton *et al*., 1980). معمولاً گیاهان بیشتر سلنیوم را در اندام‌های هوایی و برگ ذخیره می‌کنند تا در ریشه و اندام‌های زیرزمینی‌شان. مشخص شده است که گیاه نخود، نسبت به گیاهان دیگر سلنیوم بیشتری را در برگهای خود انباشته می‌کند (Belzile *et al*., 2006). سلنیوم یک جزء مهمّ

Archive of SID

www.SID.ir

گلوتاتیون پراکسیداز (GSH-PX) است که در مکانیسم‌های دفاع داخل سلولی برعلیه تنش اکسیداتیو، توسط جلوگیری از تشکیل گونه‌های فعّال اکسیژن شرکت می‌کند. این عنصر دارای خصوصیّات آنتی‌اکسیدانی است و می‌تواند مکانیسم‌های محافظی که کاهش‌دهندهٔ تنش اکسیداتیو هستند را از طریق راههای آنزیماتیک و غیرآنزیماتیک و کاهش تولید رادیکالهای آزاد اکسیژن فعّال کند (Paciolla *et al*., 2011). سلنیوم نقش مهمّی در خنثی کردن تنش‌های غیرزنده در گیاهان دارد و با استفاده از برداشت کادمیوم از جایگاههای فعّال متابولیکی سلول و کاهش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن با تنش کادمیوم مقابله می‌کند (Clements *et al*., 2002). گزارش شده است که سلنیوم در گونه‌های گندم نان و گندم ماکارونی تیمار شده با ۴ میکروگرم سلنیوم در گرم خاک و ۸ میکروگرم کادمیوم در گرم خاک، باعث کاهش اثرات منفی ناشی از تنش کادمیوم گردیده است (Tamas *et al*., 2010). همچنین در تحقیقی که توسط Ducsay و Lozek در سال (۲۰۰۶)، روی گیاهک گندم رشد یافته در محیط کشت و تحت تیمارهای سلنات‌سدیم (۲ میکرومولار) و کلریدکادمیوم (۶۰۰ میکرومولار) انجام گرفت، کاهش اثرات منفی کادمیوم بر رشد ریشه و اندامهای هوایی و نیز جلوگیری از کاهش بیوماس مشاهده گردید، که نشان‌دهندهٔ تأثیر سلنیوم بر کاهش اثرات منفی کادمیوم در این آزمایش می‌باشد.

با توجّه به اهمیّت اقتصادی گندم، در این پژوهش به بررسی احتمالی نقش سلنیوم در جهت افزایش تحمّل گیاه به خسارات ناشی از تنش کادمیوم پرداخته شد، همچنین میزان تجمّع سلنیوم در دانه‌های دو رقم گندم که از لحاظ تغذیه‌ای حائز اهمیت است، مورد توجّه می‌باشد.

مواد و روش‌ها:

گیاه مورد مطالعه در این پژوهش، گندم (رقم‌های کویر و روشن) می‌باشد. بذرهای مورد نظر از مرکز تحقیقات غلاّت دانشگاه اصفهان تهیه گردید. این پژوهش در دی‌ماه ۱۳۹۱ و در گلخانهٔ بخش زیست‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شد. جهت انجام آزمایش، تعداد ۳۶۰ گلدان (۱۸۰ گلدان برای هر رقم یا ۲۰ گلدان برای هر تیمار که پس از بهینه‌سازی غلظتها، این تعداد به ۱۰ گلدان برای هر تیمار کاهش یافت) با اندازهٔ متوسط که به نسبت ۲ به ۱ از شن و خاک پُر شده بودند، مورد استفاده قرار گرفت. قبل از کاشت بهینه‌سازی غلظت‌ها و نیز تجزیه خاک انجام شد. بذرها به‌مدّت ۶ ساعت در آب خیسانده، سپس در هر گلدان تعداد ۱۰ بذر کاشته شد و گلدانها تحت شرایط گلخانه‌ای (دمای ۲۶ تا ۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۶۰ درصد، شرایط نوری: ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی و شدّت نور ۵۰۰ لوکس نگهداری شدند. در ادامه گلدانها هر ۲ روز یکبار آبیاری و به‌منظور تأمین املاح مورد نیاز گیاه، هر ۱۵ روز یک مرتبه، با محلول کود کامل (با رقّت ۴ میلی‌لیتر در لیتر آب) و همچنین محلول کود اوره (با رقّت ۵ گرم در لیترآب) به‌صورت محلول‌پاشی تغذیه شدند. کود کامل در آزمایشات مختلف به‌جای محلول هوگلند و به‌روش محلول‌پاشی مورد استفاده قرار گرفته و کارایی آن برای رشد و نمو گیاهان کاملاً مشخص شده بود. این کود شامل ترکیبات: ازت ۴ درصد، فسفر ۴ درصد، پتاس ۴ درصد، آهن ۰/۱ درصد، روی ۰/۲ درصد، منگنز ۰/۰۵ درصد، مس ۰/۰۵ درصد، منیزیوم ۰/۰۵ درصد، بور ۰/۰۲ درصد، مولیبدن ۰/۰۲ درصد می‌باشد. محلول‌پاشی سلنات سدیم دو مرتبه تکرار شد. مرتبهٔ اوّل، محلول‌پاشی بر روی گیاهان ۱۸ سانتی‌متری بود که در این مرحله برگهای ردیف سوّم رشد یافته و براساس سیستم کُدبندی غلاّت (زیداکس) مرحله ۱۳ می‌باشد و مرتبهٔ دوّم، محلول‌پاشی بر روی سنبله‌های گلدار انجام گرفت. ابتدا گیاهچه‌ها تحت تیمار سلنات‌سدیم (Na_2SeO_4) با غلظت‌های صفر، ۱/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر یا پی‌پی‌ام به‌صورت محلول‌پاشی برگی قرار گرفته و پس از گذشت سه روز تیمار کلریدکادمیوم ($CdCl_2$) با غلظت‌های صفر، ۳۵۰ و ۷۰۰ میکرومولار در ۳ روز متوالی و هر روز ۱۲۰ میلی‌لیتر به‌صورت آبیاری اعمال شد. بعد از ۲ هفته، یک سری از نمونه‌ها برای انجام آزمایشات فیزیولوژیکی برداشت و در نیتروژن مایع منجمد و بقیهٔ گلدانها تا مرحلهٔ دانه‌دهی در گلخانه نگهداری شدند. در فاز گلدهی، گیاهان توسط محلول سلنات‌سدیم بار

Archive of SID

www.SID.ir

دیگر محلول‌پاشی و در مرحلهٔ برداشت، سنبله‌ها برای آنالیزهای مورد نظر جدا شده و به آزمایشگاه منتقل گردیدند.

سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی: اندازه‌گیری مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b، کاروتنوئیدها و با استفاده از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) انجام پذیرفت. ۰/۲ گرم از برگ‌های منجمد شده انتهای گیاه (جوان‌ترین برگ بالغ) با ۱۵ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد سائیده شده و پس از صاف کردن، جذب آنها با اسپکتروفتومتر UV- Visible مدل Cary-50 ساخت شرکت Varian در طول موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲۰ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد و غلظت رنگیزه‌ها بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر و برای کاروتنوئیدها میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

اندازه‌گیری آنتوسیانین: برای سنجش آنتوسیانین از روش Wanger (۱۹۷۹) استفاده شد. ۰/۱ گرم از بافت مورد نظر را در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص واسید کلریدریک خالص به نسبت حجمی ۱:۹۹) کاملاً سائیده و عصاره در لوله‌های آزمایش سرپیچ‌دار ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی گراد قرار گرفت. سپس به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰۰g سانتریفوژ و جذب محلول بالایی در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه گیری شد. محاسبه غلظت با استفاده از ضریب خاموشی $M^{-1}cm^{-1}$ ۳۳۰۰۰ انجام و نتایج بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر ارائه گردید.

اندازه‌گیری نشت یونی: برای سنجش میزان آسیب به غشا، میزان نشت یونی از روش Ben Hamed و همکاران (۲۰۰۷) استفاده شد. ۰/۲ گرم از بافت سالم و تازه اندام هوایی گیاه را بعد از شستشو با آب مقطر (برای شستشوی یون های احتمالی از سطح گیاه) درون لوله‌ی آزمایش درپیچ‌دار قرار داده و ۱۰ میلی‌لیتر آب یون‌گیری شده به آن اضافه گردید. سپس لوله‌های آزمایش را به مدّت ۲ ساعت درون حمّام آب گرم با دمای ۳۲ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده و میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_1) با استفاده از EC متر مُدل Metrhom ساخت سوئیس اندازه‌گیری شد. سپس لوله های آزمایش در دمای ۱۲۱ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدّت ۲۰ دقیقه اتوکلاو گردیده و بعد از خنک شدن لوله‌ها تا ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد، میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_2) مجدّداً اندازه گیری گردید.

$$\text{درصد نشت یونی} = \frac{Ec_1}{Ec_2}\times 100$$

اندازه‌گیری وزن تر: برای اندازه‌گیری وزن تر اندام هوایی گیاه (کل بوته)، پس از برداشت سنبله‌ها ، نمونه‌های مورد نظر به آزمایشگاه منتقل شده و وزن آنها بر حسب گرم با ترازوی Sartorius مدل BPSIID با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه گیری شد.

اندازه‌گیری وزن خشک: برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی، (در مرحلهٔ برداشت سنبله) ابتدا نمونه‌ها بطور کامل در ورقهٔ آلومینیومی پیچیده شده و به مدّت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و خشک شدند. پس از خشک شدن نمونه‌ها، وزن آنها اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک اندام هوایی، وزن هر یک از نمونه‌ها برحسب گرم با ترازوی Sartorius مدل BPSIID با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

اندازه گیری وزن سنبله، وزن دانه و شمارش تعداد دانه‌ها: برای اندازه‌گیری این صفات، ابتدا وزن سنبلهٔ جدا شده از خوشه و سپس وزن هر دانه از هر رقم گندم را با استفاده از ترازوی Sartorius مدل BPSIID با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه گیری نموده و سپس تعداد دانه در هر سنبله شمارش شد.

اندازه‌گیری طول ساقه و ارتفاع سنبله: بر این اساس، پس از برداشت سنبله‌ها، ارتفاع ساقه و ارتفاع سنبلهٔ جدا شده از ساقه را بر حسب سانتی‌متر اندازه گیری نموده و سپس ار تفاع ساقه (بدون سنبله) با همان روش اندازه گیری شد.

اندازه‌گیری عناصر کادمیوم و سلنیوم: برای سنجش این عناصر از ۴ تیمار کادمیوم ۷۰۰ میکرومولار ، سلنیوم ۳ میلی‌گرم در لیتر ، تیمار سلنیوم ۳ میلی‌گرم در لیتر به همراه کادمیوم ۷۰۰ میکرومولار و شاهد استفاده گردید. ابتدا دانه‌ها را از لما و پالئا جدا و سپس در هاون چینی به‌طور کامل پودر کرده و مقدار ۰/۵ گرم از هر نمونه وزن و در لولهٔ آزمایش ریخته شد. به هر کدام از لوله‌ها ۴ میلی‌لیتر اسیدنیتریک اضافه شده و پس از گذشت ۴۸ ساعت، برای تسریع در حل‌پذیری ترکیبات و نیز کمک به یونی کردن عناصر، لوله‌های آزمایش

Archive of SID

www.SID.ir

بر روی هیتر در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و در زیر هود قرار گرفتند تا زمانیکه حجم محلول به ۰/۵ میلی‌لیتر رسید و اسید به صورت بخار از لوله‌ها خارج شد. پس از آن حجم محتوی لوله‌ها با آب مقطّر به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و محلول حاصل با استفاده از کاغذ صافی واتمن شمارهٔ ۱ صاف شد. غلظت کادمیوم و سلنیوم هر نمونه با دستگاه جذب اتمی GTALLO مدل Varian و با استفاده از محلول استاندارد بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک محاسبه شد (Ryan, 2001).

آنالیز آماری: این تحقیق در قالب طرح کاملا تصادفی و با سه تکرار در هر تیمار انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام پذیرفت.

نتایج:

نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی رقم کویر در جدول ۱ و رقم روشن در جدول ۲ آورده شده‌اند. نتایج حاصل از تأثیر تیمار سلنیوم و کادمیوم بر محتوای کلروفیل a در رقم‌های کویر و روشن به‌ترتیب (شکل ۱) و کلروفیلb (شکل ۲) نشان داده شده است. داده های بدست آمده از این پژوهش در هر دو رقم گندم نشان داد که در شرایط تنش، هر دو غلظت ۳۵۰ و ۷۰۰ میکرومولار کادمیوم باعث کاهش محتوای کلروفیل a و کلروفیلb گردیده که این کاهش در غلظت ۷۰۰ میکرومولار در هر دو رقم در مقایسه با گیاهان شاهد، معنی‌دار بود. در شرایط بدون تنش در رقم کویر، کاربرد سلنیوم در غلظت‌های ۱/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر، باعث افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل a و b نسبت به گیاهان شاهد گردید، امّا در رقم روشن، فقط کلروفیل b افزایش معنی‌دار نشان داد. در شرایط تنش، کاربرد سلنیوم باعث افزایش معنی‌دار در محتوای کلروفیل a و b در مقایسه با گیاهان تحت تیمار کادمیوم در ارقام مختلف گندم گردیده است. بررسی داده‌های حاصل از اندازه‌گیری کاروتنوئیدها در رقم کویر و رقم روشن نشان می‌دهد که محتوای کاروتنوئیدها در گیاهان تحت تیمار کادمیوم در مقایسه با گیاهان شاهد، کاهش یافته که این کاهش در غلظت ۷۰۰ میکرومولار کادمیوم معنی‌دار می‌باشد. کاربرد سلنیوم در غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش معنی‌دار محتوای کاروتنوئید در هر دو رقم گندم در مقایسه با گیاهان شاهد گردید. در غلظت ۳۵۰ میکرومولار کادمیوم کاربرد سلنیوم با غلظت ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر تأثیر معنی‌داری بر افزایش محتوای کاروتنوئید در ارقام گندم در مقایسه با گیاهانی که فقط تحت تیمار کادمیوم بودند، نداشت (شکل ۳).

نتایج بدست آمده از سنجش محتوای آنتوسیانین در شکل ۴ نشان داده شده و همانطور که مشاهده می‌شود، کاربرد کادمیوم باعث افزایش محتوای آنتوسیانین در گیاهان تحت تیمار نسبت به گیاهان شاهد گردیده است که این افزایش در غلظت ۷۰۰ میکرومولار کادمیوم معنی‌دار می‌باشد. در شرایط بدون تنش، کاربرد سلنیوم باعث افزایش معنی‌دار محتوای آنتوسیانین در گیاهان تحت تیمار سلنیوم در مقایسه با گیاهان شاهد گردید. در شرایط تنش، کاربرد سلنیوم باعث افزایش محتوای آنتوسیانین در گیاهان مورد نظر نسبت به گیاهان تیمار شده با کادمیوم شده که این افزایش در غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم معنی‌دار می‌باشد.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان نشت یونی در شکل ۵ (رقم کویر و روشن) آورده شده و بیانگر آن است که در گیاهان تحت تنش کادمیوم، شاخص نشت نسبت به گیاهان شاهد، از مقدار بالاتری برخوردار بوده که این میزان در هر دو غلظت ۳۵۰ و ۷۰۰ میکرومولار کادمیوم معنی‌دار می‌باشد. در شرایط بدون تنش، کاربرد سلنیوم سبب کاهش میزان نشت یونی گردیده که این کاهش در رقم روشن در غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم معنی‌دار می‌باشد. در شرایط تنش، کاربرد سلنیوم سبب کاهش شاخص نشت می‌شود، که این کاهش در هر دو غلظت ۱/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم در هر دو رقم گندم معنی‌دار می‌باشد.

نتایج حاصل از تأثیر تیمارهای سلنیوم و کادمیوم بر صفات ریخت‌شناسی در سنبله‌ها در جدول (۳ و ۴) و نتایج حاصل از تجزیه واریانس این داده‌ها در جدول (۱و ۲) به‌ترتیب مربوط

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در گندم رقم کویر

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات											
		کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	آنتوسیانین	نشت یونی	ارتفاع اندام هوایی	ارتفاع ساقه	ارتفاع سنبله	وزن سنبله	وزن دانه	تعداد دانه	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی
کادمیوم	۲	۱۰۷/۵۰**	۴۶/۳۶**	۴/۰۵**	۰/۰۷۰*	۸۱۹/۷۴**	۵۹۰/۴۳**	۵۸۷۲۷/۴۴ns	۷/۰۲**	۰/۰۳۵**	۰/۰۱**	۹۷/۱۰**	۱۱/۶۸**	۱/۷۷**
سلنیوم	۲	۲۵/۰۳**	۴۵/۱۵**	۰/۱۸ns	۰/۳۹۰**	۲۳۷/۳۴**	۲۶۴/۵۰**	۶۳۲۰۵/۴۲ns	۵/۶۹**	۰/۰۰۳*	۵/۸۲*	۱۶/۱۰**	۱/۳۸**	۰/۲۰**
کادمیوم* سلنیوم	۴	۱/۵۶*	۷/۵۰**	۱/۵۰*	۰/۰۳۰*	۹۶/۲۳*	۸۲/۰۹**	۱۸۹۹۸۲/۶۶*	۱/۴۹*	۰/۰۰۳*	۷/۸۰*	۱۰/۳۱*	۰/۳۹**	۰/۰۸**
خطا	۰/۳۶	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۰۹	۳۱/۷۴	۶/۰۸	۶۱۱۳۵۲/۵۹	۰/۱۰	۰/۰۰۱	۲/۶۰	۲/۹۶	۰/۰۲	۰/۰۱	

*و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ درصد و در سطح ۵ درصد

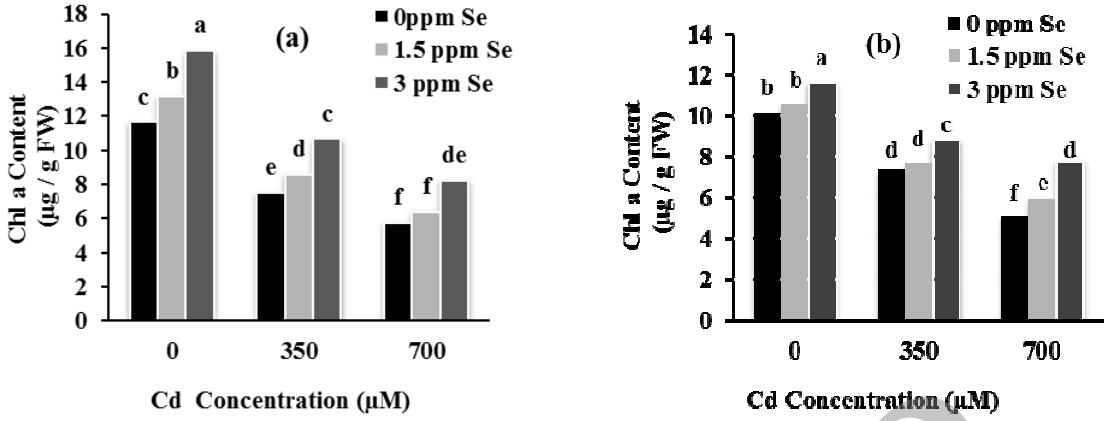
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در گندم رقم روشن

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات												
		کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	آنتوسیانین	نشت یونی	ارتفاع اندام هوایی	ارتفاع ساقه	ارتفاع سنبله	وزن سنبله	وزن دانه	تعداد دانه	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی
کادمیوم	۲	۳۹/۶*	۲۴/۸۰**	۳/۵۰*	۰/۰۲۰ns	۷۸۴/۰**	۲۱/۶*	۱۷/۸*	۰/۷۰ns	۰/۰۲۰**	۰/۰۲۰**	۳۶/۰**	۵/۳۰**	۱/۰۰۰**
سلنیوم	۲	۱۲/۵**	۲۳/۲۰**	۰/۱۲ns	۰/۳۳۰**	۳۸۹/۰**	۲۲/۴*	۱۱/۲ns	۱/۶۰**	۰/۰۰۴ns	۰/۰۴۰**	۷/۱**	۱/۶۰ns	۰/۰۲۰ns
کادمیوم*سلنیوم	۴	۲/۴*	۶/۱۰**	۰/۳۰*	۰/۰۲۰*	۴۳/۵*	۱۷/۱*	۱۵/۹*	۰/۵۹*	۰/۰۰۳*	۰/۰۰۳*	۴/۲*	۰/۳۰**	۰/۲۰۰*
خطا	۱۸	۰/۸	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۰۰۶	۱۵/۴	۵/۷	۵/۴	۰/۲۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱/۴	۰۲/	۰۰۵/

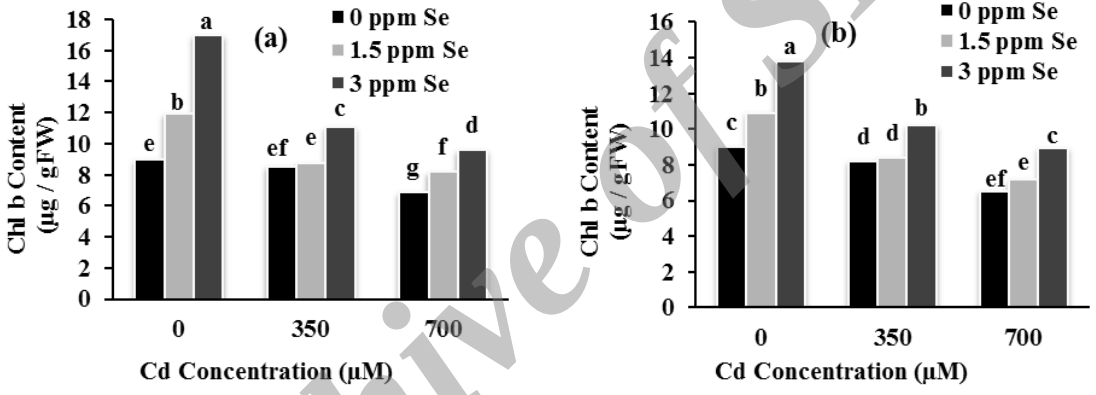
*و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ درصد و در سطح ۵ درصد

Archive of SID

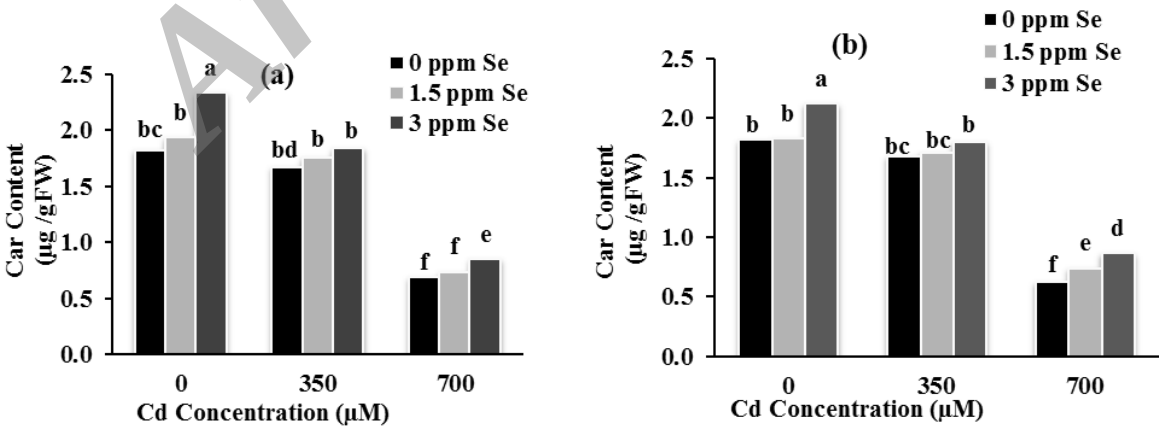
www.SID.ir



شکل ۱- اثر متقابل تیمارهای سلنیوم و کادمیوم بر محتوای کلروفیل a در رقم کویر (a) و رقم روشن (b). مقایسه میانگین ها بر اساس آزمون دانکن و با سه تکرار انجام شد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P\leq 0.05$ است.



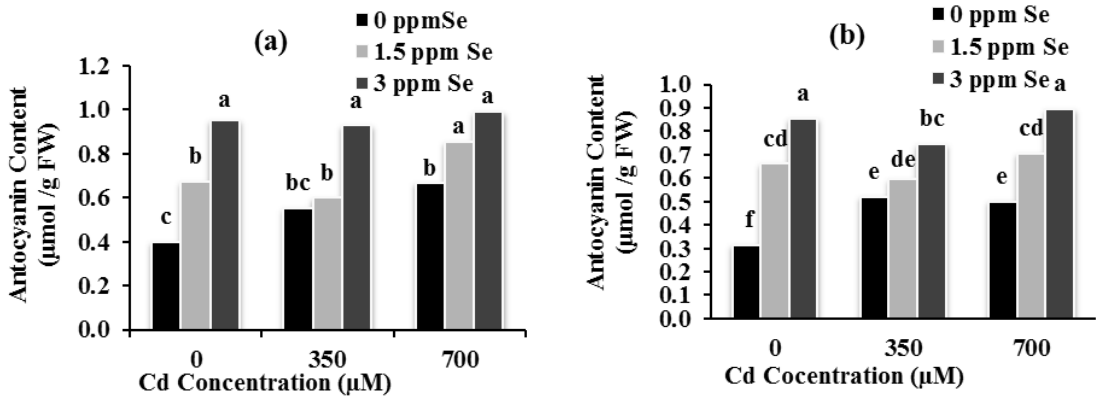
شکل ۲- اثر متقابل تیمار سلنیوم و کادمیوم بر محتوای کلروفیل b در رقم کویر (a) و رقم روشن (b). مقایسه میانگین ها بر اساس آزمون دانکن و با سه تکرار انجام شد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P\leq 0.05$ است.



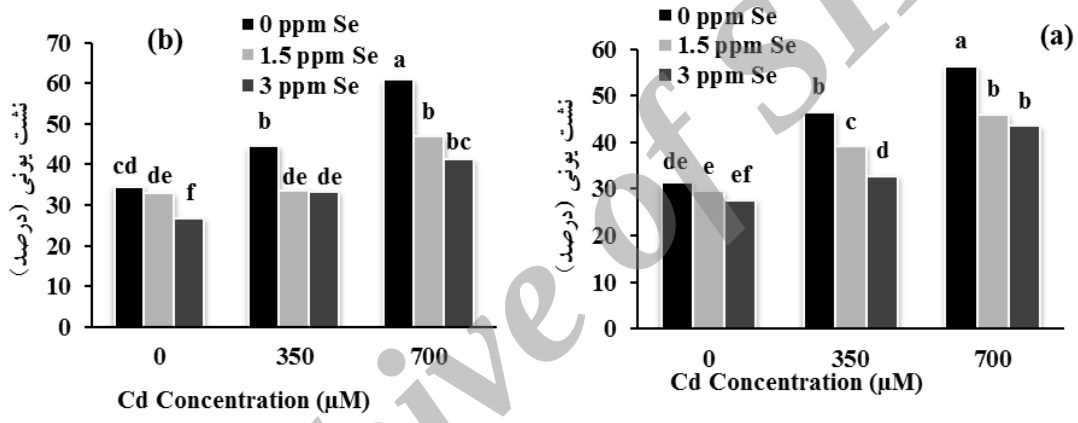
شکل ۳- اثر متقابل تیمار سلنیوم و کادمیوم بر محتوای کاروتنوئید در رقم کویر (a) و رقم روشن (b). مقایسه میانگین ها بر اساس آزمون دانکن و با سه تکرار انجام شد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۴- اثر متقابل تیمار سلنیوم و کادمیوم بر محتوای آنتوسیانین در در رقم کویر (a) و رقم روشن (b). مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن و با سه تکرار انجام شد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P\leq 0.05$ است.



شکل ۵- اثر متقابل تیمار سلنیوم و کادمیوم بر شاخص نشت یونی در رقم کویر (a) و رقم روشن (b).. مقایسه میانگین ها بر اساس آزمون دانکن و با سه تکرار انجام شد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های صفات مورفولوژی در گندم رقم کویر.

کادمیوم (µM)	سلنیوم (mg/L)	وزن تر اندام هوایی (g)	وزن خشک اندام هوایی(g)	ارتفاع اندام هوایی (cm)	ارتفاع ساقه (cm)	طول سنبله (cm)	وزن سنبله (g)	وزن دانه (g)	تعداد دانه
۰	۰	۲/۲۴^{c}	۰/۹۶^{b}	۵۳/۵۶^{b}	۴۸/۲۳^{b}	۵/۳^{c}	۰/۳۰۸^{c}	۰/۰۳۵^{b}	۹/۰۰^{c}
۰	۱/۵	۳/۰۲^{b}	۰/۹۹^{b}	۵۴/۳۰^{b}	۴۸/۵۰^{b}	۵/۸^{b}	۰/۳۲۷^{b}	۰/۰۳۵^{b}	۱۰/۶^{b}
۰	۳	۴/۰۷^{a}	۱/۵۸^{a}	۷۱/۳۳^{a}	۶۳/۸۳^{a}	۷/۵^{a}	۰/۳۶۳^{a}	۰/۰۳۸^{a}	۱۲/۳^{a}
۳۵۰	۰	۱/۱۱^{f}	۰/۴۲^{d}	۵۲/۰۰^{d}	۴۷/۰۷^{d}	۴/۹^{d}	۰/۲۱۶^{f}	۰/۰۲۸^{d}	۶/۰۰^{e}
۳۵۰	۱/۵	۱/۲۷^{e}	۰/۴۴^{d}	۵۲/۰۶^{d}	۴۷/۰۳^{d}	۵/۰^{c}	۰/۲۳۰^{e}	۰/۰۲۹^{d}	۶/۶۰^{e}
۳۵۰	۳	۱/۵۱^{d}	۰/۶۴^{c}	۵۳/۰۰^{b}	۴۷/۶۷^{c}	۵/۳^{c}	۰/۲۸۶^{d}	۰/۰۳۲^{c}	۸/۳۰^{dc}
۷۰۰	۰	۱/۰۰^{f}	۰/۳۲^{f}	۴۲/۳۳^{f}	۳۸/۹۳^{f}	۳/۴^{f}	۰/۱۸۶^{h}	۰/۰۱۵^{f}	۳/۰۰^{h}
۷۰۰	۱/۵	۱/۱۰^{f}	۰/۳۴^{f}	۴۳/۳۳^{e}	۳۹/۴۳^{e}	۳/۹^{e}	۰/۲۰۳^{g}	۰/۰۲۳^{e}	۴/۰۰^{g}
۷۰۰	۳	۱/۳۲^{e}	۰/۳۷^{e}	۴۳/۹۳^{e}	۳۹/۱۶^{e}	۴/۷^{d}	۰/۲۰۷^{g}	۰/۰۲۹^{d}	۵/۳۰^{f}

مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن و با سه تکرار انجام شد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های صفات مورفولوژی در گندم رقم روشن.

کادمیوم (µM)	سلنیوم (mg/L)	وزن تر اندام هوایی (g)	وزن خشک اندام هوایی(g)	ارتفاع اندام هوایی (cm)	ارتفاع ساقه (cm)	طول سنبله (cm)	وزن سنبله (g)	وزندانه (g)	تعداد دانه
۰	۰	۱/۹۹^{c}	۰/۸۵^{c}	۵۲/۶۶^{c}	۴۸/۰۳^{b}	۴/۶^{c}	۰/۳۰۶^{b}	۰/۰۴۳^{b}	۶/۳^{c}
۰	۱/۵	۲/۱۸^{b}	۰/۹۲^{b}	۵۳/۱۶^{b}	۴۸/۳۳^{b}	۴/۸^{b}	۰/۳۱۳^{b}	۰/۰۴۴^{b}	۷/۰^{b}
۰	۳	۳/۱۵^{a}	۱/۰۱^{a}	۵۳/۸۳^{a}	۴۸/۶۰^{a}	۵/۲^{a}	۰/۳۲۰^{a}	۰/۰۴۸^{a}	۸/۰^{a}
۳۵۰	۰	۰/۹۸^{e}	۰/۳۷^{e}	۵۰/۲۶^{e}	۴۶/۲۳^{c}	۴/۰^{d}	۰/۱۹۹^{d}	۰/۰۳۲^{d}	۴/۳^{e}
۳۵۰	۱/۵	۱/۱۲^{d}	۰/۳۹^{e}	۵۱/۵۳^{d}	۴۷/۳۰^{b}	۴/۲^{d}	۰/۲۶۲^{c}	۰/۰۳۱^{d}	۵/۰^{d}
۳۵۰	۳	۲/۱۱^{b}	۰/۴۷^{d}	۵۲/۱۳^{c}	۴۷/۶۰^{b}	۴/۵^{c}	۰/۲۶۷^{c}	۰/۰۳۸^{c}	۶/۰^{c}
۷۰۰	۰	۰/۸۹^{g}	۰/۲۷^{h}	۴۷/۲۰^{f}	۴۳/۴۰^{e}	۳/۸^{e}	۰/۱۹۱^{d}	۰/۰۲۲^{f}	۲/۰^{g}
۷۰۰	۱/۵	۰/۹۳^{f}	۰/۳۰^{g}	۴۹/۲۳^{e}	۴۵/۰۶^{d}	۴/۱^{d}	۰/۲۰۹^{c}	۰/۰۲۶^{e}	۳/۳^{f}
۷۰۰	۳	۰/۹۷^{e}	۰/۳۴^{f}	۵۰/۵۰^{de}	۴۵/۶۶^{d}	۴/۸^{b}	۰/۲۳۲^{c}	۰/۰۳۰^{d}	۴/۰^{e}

مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن و با سه تکرار انجام شد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P\leq 0.05$ است

به رقم کویر و روشن نشان می‌دهد که همهٔ صفات ریخت‌شناسی شامل وزن تر اندام هوایی گیاه، وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته (اندام هوایی)، ارتفاع ساقه، ارتفاع سنبله، وزن سنبله و اجزای عملکردی (وزن دانه و تعداد دانه) در شرایط تنش کاهش یافته‌اند که این کاهش در غلظت ۷۰۰ میکرومولار کادمیوم معنی‌دار است. در شرایط بدون تنش، کاربرد سلنیوم بویژه در غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش معنی‌دار این صفات گردیده، همچنین در شرایط تنش کاربرد سلنیوم به ویژه در غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر توانسته است، اثرات منفی ناشی از تیمار کادمیوم را کاهش دهد. نتایج بدست آمده از سنجش عناصر در جدول ۵ و نتایج حاصل از تجزیه واریانس آنها در جداول ۶ آورده شده و نشان می‌دهد که در شرایط تنش (غلظت ۷۰۰ میکرومولار کادمیوم)، رقم کویر در مقایسه با رقم روشن به میزان ۲۰ درصد کادمیوم بیشتری در دانه‌های خود ذخیره کرده است، همچنین کاربرد سلنیوم در غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر در شرایط بدون تنش، سبب افزایش انباشتگی سلنیوم در دانه‌های رقم کویر به میزان ۴۲ درصد نسبت به رقم روشن گردیده است.

داده‌ها نشان می‌دهد که سلنیوم در شرایط تنش و غیرتنش باعث افزایش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، آنتوسیانین و نیز کاهش نشت یونی گردیده است. همچنین، صفات ریخت‌شناسی مربوط به سنبله نیز تحت تیمار سلنیوم افزایش یافته‌اند. بنابراین، سلنیوم در شرایط غیر تنش نیز اثرات مثبتی بر صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی ارقام گندم داشته که سهم بهره‌مندی رقم کویر از این اثرات مثبت بیشتر بوده است.

بحث:

در این تحقیق نتایج حاصل از آنالیز رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان داد که تنش ناشی از کادمیوم در گیاهان مورد آزمایش باعث کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی شده، همچنین سلنیوم سبب افزایش محتوای کلروفیل در هر دو رقم گندم گردیده است. هرگاه گیاهان در معرض تنش محیطی قرار گیرند، کلروپلاست آنها تخریب شده و فتوسنتز را به سمت گسیختگی هدایت می کند. افزایش سلنیوم در سطوح مناسب می‌تواند تا حدّی تخریب کلروپلاست‌ها را کاهش و محتوای کلروفیل‌ها را افزایش دهد (Filek *et al.*, 2010). گزارش شده است که در حضور سلنیوم دسترسی گیاه به آهن بیشتر شده که می‌تواند در حفظ محتوای کلروفیل مؤثر باشد (Cao *et al.*, 2011). در این تحقیق، سلنیوم و کادمیوم در همهٔ غلظت‌های استفاده شده، باعث افزایش محتوای آنتوسیانین گردیده است. نقش

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های بدست آمده از سنجش عنصر کادمیوم و سلنیوم در دانه گندم رقم کویر و روشن ..

رقم	کادمیوم (میکرومولار)	سلنیوم (میلی‌گرم در لیتر)	کادمیوم (میکروگرم بر گرم وزن تر)	سلنیوم (میکروگرم بر گرم وزن تر)
کویر	۰	۰	۰/۰۲۲^{c}	۰/۰۰۱۷^{d}
کویر	۷۰۰	۰	۰/۳۱۰^{a}	۰/۰۳۷۰^{a}
کویر	۷۰۰	۳	۰/۰۷۵^{b}	۰/۰۲۸۰^{b}
روشن	۰	۰	۰/۰۲۰^{c}	۰/۰۰۱۷^{d}
روشن	۷۰۰	۰	۰/۲۶۰^{a}	۰/۰۲۶۰^{b}
روشن	۷۰۰	۳	۰/۱۴۰^{b}	۰/۰۲۲^{bc}

مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن و با سه تکرار انجام شد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس میزان کادمیوم و سلنیوم در دانه گندم رقم کویر

		رقم کویر		رقم روشن	
منابع تغییرات	درجه آزادی	کادمیوم دانه	سلنیوم دانه	کادمیوم دانه	سلنیوم دانه
کادمیوم	۱	۰/۰۴۹**	۰/۰۲۷**	۰/۰۶۴**	۰/۰۱۶**
سلنیوم	۱	۰/۰۳۶**	۰/۰۴۸**	۰/۰۱۰**	۰/۰۲۹**
کادمیوم × سلنیوم	۱	۰/۰۲۳**	۰/۰۳۶**	۰/۰۰۵**	۰/۰۲۴**
خطا	۸	۳/۱ × ۱۰$^{-۶}$	۷/۸ ×۱۰$^{-۷}$	۵ ×۱۰$^{-۷}$	۹/۸ ×۱۰$^{-۷}$

***و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ درصد و معنی‌دار در سطح ۱ درصد**

آنتوسیانین در فرونشانی رادیکال‌های آزاد به خوبی شناخته شده است. آنتوسیانین‌ها در پاسخ به بسیاری از تنش ها از جمله تنش فلزات سنگین، تولید می‌شوند (Babula *et al*., 2009).

نقش آنتوسیانین‌ها در تجمّع فلزات سنگین کاملاً مشخص نشده است. احتمالاً، آنتوسیانین‌ها باعث تسهیل در ورود فلزات سنگین به واکوئل‌ها شده و از این طریق می‌تواند باعث جذب بیشتر فلز سنگین توسط گیاه شود (Babula *et al*., 2009). تجمّع فلزات سنگین در بخش‌های جانبی می‌تواند راه حفاظتی مناسبی برای گیاه باشد. به این طریق گیاه می‌تواند خود را در برابر علف خواری محافظت کند و تشکیل کمپلکس با آنتوسیانین‌ها می‌تواند مکانیسمی باشد که گیاه می‌تواند فلز بیشتری در بخش‌های جانبی تجمّع نماید. گزارش شده است که کادمیوم باعث تشویق سنتز آنزیم گلوتاتیون‌S-ترانسفراز گردیده و از این طریق در بیوسنتز آنتوسیانین نقش دارد (Babula *et al*., 2009).

Dixit و همکاران در سال (۲۰۰۶) گزارش کردند که فلز سنگین کادمیوم از طریق تأثیر بر فعالیّت فنیل‌آلانین آمونیالیاز که یک آنزیم کلیدی در مسیر بیوسنتز آنتوسیانین است باعث افزایش محتوای آنتوسیانین در برگهای سرخس آبزی آزولا گردیده است. سلنیوم نیز با افزایش فعالیّت آنزیم گلوتاتیون‌S-ترانسفراز، نقش مهمّی در بالا بردن محتوای آنتوسیانین در گیاه مورد آزمایش دارد. سلنیوم کاهش فعالیّت H^{+}-Ca^{2+}- ATP_{as} را در ریشه مرتفع نموده و فعالیّت صعودی Na^{+}- k^{+}-ATP_{ase} را کاهش می‌دهد و با افزایش جذب کلسیم بوسیلهٔ کانال‌های کلسیمی، سبب افزایش استحکام غشای پلاسمایی می‌شود (Lyons *et al*., 2009). بنابراین در گیاهان تیمار شده با سلنیوم تخریب غشای پلاسمایی و برون رفت یونها از سلول نسبت به گیاهان شاهد کمتر دیده شده و کوچک بودن عدد شاخص نشت یونی این ادّعا را ثابت می‌کند (Broadley *et al*., 2010). کادمیوم با غیر فعّال کردن آنزیم‌های غشایی از جمله فعالیّت

Archive of SID

www.SID.ir

ATP_{ase}، سبب آسیب و گسستگی غشای پلاسمایی می‌گردد. همچنین از آسیبهای جدّی تنش کادمیوم، خسارت به غشاء و رهاسازی یونها از سلول به فضای بین سلولی است. این پدیده نتیجه تجمعّ رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که منجر به پراکسیداسیون لیپید، نفوذپذیری غشاء و خسارت به سلول می‌شود که نتیجه آن افزایش در شاخص نشت یونی است (Hartikainen *et al.*, 2000). Mg^{2+}–ATP_{ase} و H^+- K^+- Ca^{2+} آنزیم‌هایی کلیدی‌اند که انتقال یونهای آلی و غیرآلی محلول را در درون و بیرون سلولهای گیاهی، تسهیل میکنند. کاهش شدید فعالیت H^+- Ca^{2+}- ATP_{ase} در اثر تنش کادمیوم در ریشه‌ها، نشان‌دهندهٔ این است که ATP_{ase} در ریشه‌ها بوده و از جمله هدفهای ابتدایی سمیّت کادمیوم می‌باشند. افزایش سلنیوم، سمیّت کادمیوم را بوسیلهٔ افزایش فعالیّت H^+– ATP_{ase} و Ca^{2+}– ATP_{ase} در ریشه ها کم می‌کند (Lyons *et al.*, 2009). پمپ پروتونی ATP_{ase} یک آنزیم کلیدی است که تقریباً در غشای پلاسمایی همهٔ تیپ‌های سلولهای گیاهی جای گرفته و یک نقش اساسی در پمپ کردن H^+ و انتقال همزمان آن با یون های آلی و غیرآلی محلول بازی می‌کند. Duby و همکارش گزارش داد، Ca^{2+}– ATP_{ase} یک ترکیب مهم در تنظیم سیگنالینگ Ca^{2+} و هموستازیس آن در سلولهای گیاهی است که نوعی پاسخ به گونه‌ای از تنش‌های اِبیوتیک (غیر زنده) به‌شمار می‌رود نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که Se می‌تواند به‌طور مؤثری سنتز ATP_{ase} را تحت نفوذ خود قرار دهد و بدین‌وسیله حفظ تمامیّت لیپیدهای غشای سلولی و نوسان PH و هموستازی Ca^{2+} را برعهده گرفته و Ca^{2+} با یونهای Cd^{2+} برای ورود بداخل سلول‌های گیاهی از طریق کانال‌های یونی رقابت کند (Duby and Boutry, 2009). داده های بدست آمده از این پژوهش نشان داد که تیمار کادمیوم در هر دو غلظت ۳۵۰ و ۷۰۰ میکرومولار، باعث کاهش رشد و کاهش کلیهٔ صفات ریخت‌شناسی گیاه گردیده است. گزارش شده است که کلروزگی و نکروزگی برگها از نشانه‌های سمیّت کادمیوم است. ریشه‌ها قهوه‌ای شده و از رشد گیاه جلوگیری می‌شود. کاهش ارتفاع گیاه و طول ریشه‌ها نیز از اثرات مضرّ آن است (popova *et al.*, 2009). مطالعات انجام شده در گیاهان از جمله کلم‌برگ و گیاه نخود نشان‌دهندهٔ نقش کادمیوم در تغییر بیوماس می‌باشد. یون کادمیوم در بخش‌های مختلف گیاه تجمّع یافته و از این طریق باعث کاهش رشد و مهار فتوسنتز می‌گردد. بدنبال کاهش فتوسنتز، بیوماس نیز کاهش می‌یابد (Babula *et al.*, 2009). علاوه بر رشد طولی ریشه، کادمیوم باعث مهار رشد اندام هوایی و بیوماس در بخشهای مختلف گیاه می‌شود. دانشمندان گزارش کرده‌اند که غلظت ۰/۵ میکرومولار کادمیوم در محلول غذایی، به طور قابل توجهی، محتوای Zn^{2+} و Mn^{2+} را در ریشه و اندام هوایی گندم کاهش می‌دهد و بدنبال آن بیوماس گیاه نیز به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد (Babula *et al.*, 2009). بنظر می‌رسد، بدلیل اتصال لیگاندهای آلی که در حضور فلزات سنگین سنتز می‌شوند، با کاتیونهایی مثل Fe^{2+} و Mn^{2}، عملکرد این کاتیونهای ضروری دچار اختلال می شود. گزارش شده است که کاهش محتوای Fe^{2+} و Mn^{2+} در بخش‌های گیاه می‌تواند با کاهش رشد طولی گیاه ارتباط داشته باشد (Babula *et al.*, 2009). Lagriffoul (۱۹۹۸) گزارش کرد که وزن خشک برگها و ریشه‌های گندم در حضور کادمیوم کاهش می‌یابد. گزارشاتی نیز وجود دارد که بعلّت تغییر در وضعیت آبی گیاه، بیوماس کاهش می‌یابد. کاهش در جذب و یا از دست رفتن آب بدنبال آسیب غشایی، یکی از دلایل اصلی کاهش وزن گیاه می‌باشد (Rady, 2011). در برخی گیاهان، تیمار سلنیوم از طریق افزایش فعالیّت زنجیره انتقال الکترون، رشد گیاه و رشد دانه‌های تیمار شده با سلنیوم را افزایش داده که این افزایش فعالیّت زنجیره انتقال الکترون در برگهای نخود نیز مشاهده می‌شود (Ozbolt *et al.*, 2008). شاید یکی از دلایل اصلی افزایش رشد در گیاهانی که با غلظت مناسب سلنیوم تیمار شده‌اند، خنثی شدن تنش پیری توسط افزایش آنتی‌اکسیدانهای تولید شده است(Hartikainen *et al.*, 2000). Likewise در سال (۲۰۰۷) گزارش داد که کاربرد سلنیوم بصورت محلول‌پاشی در آفتابگردان و با غلظت ۳۰۰g ha^{-1} (گرم بر هکتار) باعث جلوگیری از رشد گلها و کاهش محصول و

Archive of SID

www.SID.ir

بذر گردیده ولی رشد گیاه را افزایش داده است. همچنین، در بررسی‌هایی که تاکنون بر روی گیاهان مختلف از جمله سیب‌زمینی (Poggi *et al.*, 2000)، برنج (Fang *et al.*, 2008)، سویا (Yang *et al.*, 2002) و چندین گونهٔ گیاهی دیگر انجام شده است، نتیجه این بود که در همهٔ این گیاهان کاربرد سلنیوم بصورت محلول‌پاشی باعث افزایش رشد گردیده است. در پژوهشی که توسط Lin در سال (۲۰۱۲) بر روی گیاه برنج انجام گرفت، تیمار گیاهچه‌ها با محلول ۵۰ میکرومولار کلریدکادمیوم باعث کلروزیس و نکروزیس برگ، قهوه‌ای شدن ریشه‌ها، جلوگیری از رشد ریشه، کاهش طول ریشه، کاهش ارتفاع گیاه و کاهش بیوماس شده ولی استفاده از سلنیوم با غلظت ۳ میکرومولار بصورت محلول‌پاشی، بازدارندگی رشد گیاه توسط کادمیوم و نیز کاهش ارتفاع گیاه، طول ریشه و وزن خشک ریشه را تخفیف می‌دهد (Chen *et al.*, 2010). Pennanen در سال (۲۰۰۲) ثابت کرد که سلنیوم انباشتگی نشاسته را در گیاه افزایش داده و از اینرو رشد گیاه افزایش می‌یابد. جذب سلنیوم به پتانسیل احیاء NADPH و GSH نیاز دارد. این عمل در کلروپلاست اتفاق افتاده و می‌تواند حالت اکسیداسیون و احیای کلروپلاست را تغییر داده و بر تولید بیوماس تأثیر گذارد (Hartikainen *et al.*, 2000). سلنیوم می‌تواند، ممانعت از رشد و همچنین نشانه‌های کلروزیس و نکروزیس برگ را که بوسیلهٔ تنش کادمیوم در گیاه برنج ایجاد شده‌اند را کاهش دهد (Lyons *et al.*, 2009). افزایش جذب سلنیوم در گیاهان تیمار شده با کادمیوم نشان‌دهندهٔ تمایل این عنصر به خنثی‌کردن کاهش مقادیر Zn و Mn در اثر تنش کادمیوم و نیز افزایش مقدار Zn ریشه و Cu ریشه و برگ می‌باشد که این دلیلی بر اختلاف در روش‌های رشد گیاهان در گونه‌های گیاهی و تقابل بین فلزات و یونهای موجود در خاکهای زراعی است (Oliver *et al.*, 1997).

نتیجه‌گیری:

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش بنظر می‌رسد که سلنیوم بویژه در غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر توانسته است اثرات سمّی کادمیوم بر گیاه گندم (مخصوصاً در رقم کویر) را کاهش داده و باعث بهبود شرایط رشد و نمو گیاه و تجمّع این عنصر در دانه گردد.

منابع:

Alloway, B. (1990) Cadmium In: Heavy Metals in Soil. New Yersey 100–124.

Babula, P., Ryant, P. and Adam, V. (2009) The role of sulphur in cadmium ions detoxification demonstrated in *invitro* modle: Dionaea muscipula. Environment Chemistry 7: 353-361.

Baszynski, T., Wajda, L., Krol, M., Wolinska, D., Krupa, Z., Tukendorf, A. (1980) Photosynthetic activities of cadmium-treated tomato plants. Physiologia Plantarum 48: 365–370.

Belzile, N., Wu, G., Chen, Y., Appanna, V. (2006) Detoxification of selenite and mercury by reduction and mutual protection in the assimilation of both elements by *Pseudomonas fluorescens*. Science Total Environmental 367: 704-714.

Ben Hamed, K., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A., Abdelly, L. (2007) Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. Plant Growth Regulation 53: 185-194.

Bradley, W.r., Duquesnay, C. and Sprague, J.B. (1985) Acclimation of rainbow trout, salmo gairdneri Richardson, to Zinc: Kinetics and mechanism of enhanced tolerance induction. Journal of Fish Biology 27:367-379.

Broadley, R., Martin, F. and John, A. (2010) Selenium biofortification of high yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilization. Plant and Soil 332: 5–18.

Cao, F., Cai, Y., Cheng, W. D., Zhang, G. P. and Wu, F. B. (2011) Modulation of exogenous glutathione in phytochelatins and photosynthetic performance against Cd stress in the two rice genotypes differing in Cd tolerance. Biology Trace Elemental Research 143: 1159–1173.

Chen, F., Wang, F., Wu, F. B., Mao, W. H., Zhang, G. P. and Zhou, M. X. (2010) Modulation of exogenous glutathione in antioxidant defense system against Cd stress in the two barley genotypes differing in Cd tolerance. Plant Physiology Biochemistry 48: 663–672.

Clemens, M., Palmgren, G. and Kramer, U. (2002) A long way ahead: understanding and engineering plant metalaccumulation. Trends in Plant Science 7: 309–315.

Archive of SID

www.SID.ir

Oliver, D. P., Wilhelm, N. S., Farlane, J. D., Tiller, K.G. and Cozens, G. D. (1997) Effect of soil and foliar applications of zinc on cadmium concentration in wheat grain. Australian Journal Exprimental Agricultural 37: 677–681.

Ozbolt, L., Kreft, S., Kreft, I., Germ, M. and Stibilj, V. (2008) Distribution of selenium and phenolics in buckwheat plants grown from seeds soaked in Se solution and under different levels of UV-B radiation. Food Chemistry 110: 691-696.

Paciolla, C., Leonardis, S. and Dipierro, S. (2011) Effects of selenite and selenate on the antioxidant systems in Senecio scandens *L.* Plant Biosystology. 145: 253-259.

Pennanen, A., Xue, T. and Hartikainen, H. (2002) Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irridiation stress. Journal Applied Botany. 76: 66–76.

Popova, L. P., Maslenkova, L. T., Yordanova, R. Y., Ivanova, A. P., Krantev, A. P. and Janda, T. (2009) Exegenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedling. Plant Physiologia Biochemistry 47: 224-231.

Poggiv, F., Arcioni, A. and Filippini, P. (2000) Foliar application of selenite and selenate to potato (Solanum tuberosum): Effect of a ligand agent on selenium content of tubers. Journal Agricultural Food Chemistry 48: 4749-4751.

Rady, M. (2011) Effect of 2, 4-epibrassinolide on growth, yield, antioxidant system and cadmium content of bean. Science Direct. 39: 180- 186.

Rainbow, P. S. (2002) Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: why and so what? Environmental Pollutant 120: 497–507.

Ryan, J., Estefan, G. and Rashid, A. (2001) Soil and plant analysis laboratory manual. Syria, Scientific publishers.

Tamas, M., Mandoki, Z. and Pipkin, D. (2010) The role of selenium content of wheat in the human nutrition. Acta Universal. Izvestija TSHA 34: 505-512.

Wanger, G. (1979) Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids and anthocyanin in protoplast. Plant Physiol 64: 88-93

Yang, X., Tian, Y., Ha, P. and Gu, L. (2003) Determination of the selenomethionine content in grain and human blood. Advance Food Nutrition 47: 73–112.

Dixit, P., Mukherjee, K., Ramachandran V. and Eapen, S. (2011) Glutathione transferase from Trichoderma virens enhances cadmium tolerance without enhancing its accumulation in transgenic *Nicotiana tabacum.* Plant and Soil 325: 198-207.

Ducsay, L. and Lozek, O. (2006) Effect of selenium foliar application on its contentin winter wheat grain. Plant Soil Environment 52: 78–82.

Duby, G. and Boutry, M. (2009) The plant plasma membrane proton pump ATPase: a highly regulated P-type ATPase with multiple physiological roles. Europe Journal Physiology 457: 645–655.

Fang, Y., Angl, I., Zhaol, Y. and Zhou, M. X. (2008) Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. Agricultural Food Chemistry 56: 2079-2084.

Filek, M., Gzyl-Malcher, B., Zembala, M., Bednarska, E., Laggner, P., Kriechbaum, M. (2010) Effect of selenium on characteristics of rape chloroplasts modified by cadmium. Plant Physiology 167: 28-33.

Hartikainen, H., Xue, T. and Piironen, V., (2000) Selenium as an anti-oxidant and pro -oxidant in ryegrass. Plant and Soil 225: 193-200.

Hilton, J. Hodson, W. and Slinger, V. (1980) The requirement and toxicity of selenium in rainbow trout (Salmo gairdneri). Journal Nutrition 110: 2527 –2535.

Jagodin, B., Govorina, V., Vinogradova, S., Zamaraev, A. and Chapovskaja, G. (1995) Cadmium and lead accumulation in some agricultural crops, grown in podzolic soils. Izvestija TSHA 2: 85–99.

Lagriffoul, M. and Delhaize, E. (1998) Comparison of plant uptake and plant toxicity of various ions in wheat. Plant and Soil 172: 167–173.

Likewise, J. (2007) Comparative effect of Al, Se, and Mo toxicity on NO_3– assimilation in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. Environmental Managemet 83: 207-212.

Lin, L., Weihui, Z., Huaxin, D., Fangbin, C., Zhang, G. and Wu, F. (2012) Selenium reduces cadmium uptake and mitigates cadmium toxicity in rice. Journal of Hazardous Materials 10, 162-167.

Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Method Enzymatic 148: 350-382.

Lyons, G. H., Lewis, J., Lorimer, M. F, Holloway, R. E, Brace, D. M. and Graham R. D (2009) High-selenium wheat: agronomic biofortification strategies to improve human nutrition. Food Agricultural Environment 2: 171–8.

Mistry, D., Hiten, D., Fiona, B. and Pipkin, D. (2012) Selenium in reproductive health. Journal of Obst and Gynecology 209: 90-97.

Archive of SID

www.SID.ir