تأثیر تیمار سلنیم روی تحمل تنش خشکی در گیاه کلزا

رقیه حاجی بلند[۱*]، نسرین کیوان‌فر[۱]، ارشد جودمند[۲]، حسن رضائی[۳] و یوسف نژاد محمد [۴]

[۱] تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده علوم طبیعی، گروه زیست‌شناسی گیاهی

[۲] ارومیه، چهاربرج، آموزش و پرورش منطقه مرحمت آباد

[۳] تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی، گروه خاک‌شناسی

[۴] شاهین دژ، دانشگاه پیام نور شاهین دژ

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۱/۵/۹

چکیده

خشکی یکی از عوامل محدود کننده عملکرد در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) است. در این پژوهش، تأثیر تیمار سلنیم بر روی افزایش تحمل تنش خشکی در این گیاه بررسی شده است. در کشت مزرعه‌ای، گیاهان در دو نوبت با غلظت‌های ۵ و ۱۰ گرم در هکتار سلنیم (سدیم سلنات) بصورت کاربرد در خاک و محلول‌پاشی برگ‌ها تیمار شدند و در آزمایش گلخانه‌ای گیاهان با ۱۰۰ میکروگرم سلنیم به ازای گیاه بصورت کاربرد در بستر رشد (پرلیت) تیمار گردیدند. در آزمایش مزرعه‌ای، وزن خشک و عملکرد دانه به‌ویژه در شرایط تنش خشکی بصورت معنی‌داری تحت تأثیر تیمار محلول‌پاشی برگ افزایش یافت. نتایج آزمایش در شرایط گلخانه‌ای نشان داد که اثر سلنیم در افزایش تحمل خشکی و بهبود روابط آبی در گیاه کلزا مربوط به افزایش جذب آب به دلیل توسعه ریشه، افزایش فتوسنتز و تشکیل قندهای محلول بوده است.

واژه‌های کلیدی: *Brassica napus* L.، فتوسنتز، طول ریشه، پتانسیل آب

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۴۱۵۵۷۶۳، پست الکترونیکی: ehsan@tabrizu.ac.ir

مقدمه

خشکی یکی از مهمترین تنش های محیطی در گیاهان زراعی است که موجب محدود شدن رشد رویشی و زایشی و کاهش عملکرد می شود (۵، ۳۴ و ۳۵). اولین تأثیر تنش خشکی القای بستن روزنه هاست که برای محدود نمودن اتلاف آب انجام می شود ولی به نوبه خود موجب کاهش تثبیت خالص دی‌اکسیدکربن شده و رشد و تولید ماده خشک را کاهش می‌دهد (۲۵ و ۲۸). نشان داده شده که تفاوت مهم گیاهان مقاوم به تنش خشکی با گونه های حساس به آن، ابقای فتوسنتز و ادامه تولید فراورده های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی در گونه های مقاوم است. ادامه دادن به فتوسنتز در گونه های مقاوم به خشکی، علاوه بر حفظ توانایی تولید ماده خشک، امکان استفاده از مواد ساخته شده را به عنوان اسموتیکوم که موجب حفظ توانایی جذب آب از خاک خشک می شوند، فراهم می کند (۳۷).

گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) از مهمترین گونه های زراعی است که به دلیل دانه های روغنی آن کشت می گردد. ارقام اصلاح شده گیاه کلزا در حال حاضر مناطق کشت وسیعی را در کشور به خود اختصاص داده و سهم مهمی در تأمین روغن خوراکی در ایران دارد. در مناطق مختلف کشت کلزا در کشور، خشکی یکی از مهمترین تنش های محیطی است و کاهش بارندگی ها به‌ویژه در سال های اخیر، کم آبی را به یکی از معضل های کشت و کار این گیاه روغنی تبدیل کرده است (۳۱). کلزا در استان

های آذربایجان‌شرقی و غربی، بصورت کشت اصلی (ارقام بهاره) و یا دوم (ارقام پائیزه) کاشته شده و در هر دو مورد با معضل خشکی مواجه است. با این حال، به دلیل الگوی توزیع بارندگی در استان، کشت های پائیزه بیش از کشت های بهاره به‌ویژه در مراحل اولیه رشد در معرض تنش خشکی هستند.

سلنیم عنصری مفید برای گیاهان است و ضروری بودن آن برای رشد و نمو آنها اثبات نشده است (۴). عناصر مفید هرچند بطور مستقیم در متابولیسم گیاهان و تکمیل چرخه زندگی آنها دخالت ندارند، ولی در بهبود رشد رویشی و زایشی به‌ویژه در شرایط تنش های محیطی و یا زیستی نقش دارند (۸). بررسی های متعدد، اثر مفید سلنیم را بر روی رشد و عملکرد گیاهان اثبات کرده است. نقش مفید این عنصر در بهبود رشد در شرایط تنشی مانند سرما (۲۹) و نور ماوراءبنفش (۱۱ و ۱۲) نشان داده شده است. همچنین سلنیم نقش ضد پیری در گیاهان داشته و پیری ناشی از گلدهی در گیاهان یکساله را به تأخیر می اندازد (۶). اثر مفید سلنیم به طور عمده به افزایش فعالیت آنزیم های دفاع آنتی‌اکسیدان و افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدان نسبت داده شده است (۱۳ و ۳۶). با این حال، سازوکارهای دیگر اثر سلنیم بر روی تخفیف تنش های محیطی، بررسی های زیادی را به خود اختصاص نداده است.

کلزا متعلق به تیره کلم می باشد و اعضای این تیره قادر به جذب و تحلیل مقدار بیشتری گوگرد در مقایسه با بسیاری از گیاهان دیگر هستند (۴). به دلیل شباهت ساختاری بین گوگرد و سلنیم، جذب عنصر اخیر به گیاه، احیاء و الحاق آن به ترکیبات آلی از طریق مسیرهای مربوط به گوگرد انجام می گیرد (۴). انتظار می رود گیاهان متعلق به این تیره، پاسخ بیشتری به سلنیم افزوده شده به محیط رشد در مقایسه با دیگر تیره ها ازجمله گندمیان و تیره نخود نشان دهند (۴). گزارش شده است که سلنیم موجب افزایش رشد رویشی در دو رقم از گیاه کلم می شود (۹). تأثیر مفید این عنصر در رشد رویشی گیاه کلم در شرایط بهینه رشد مشاهده شده و نشان داده شده است که ارتباطی با افزایش توانایی سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانتی ندارد (۹). بررسی سابق مؤلفان نشان داده است که سلنیم موجب تحریک رشد رویشی و نیز تسریع گلدهی در گیاه کلزا در شرایط غیر تنشی می شود (۱۰).

سلنیم عنصری ضروری برای انسان و جانوران می باشد و مهمترین روش انتقال سلنیم به زنجیره غذایی دام و انسان، گیاهان علوفه ای و سبزیجات است (۱۸ و ۳۸). برای وارد نمودن سلنیم به رژیم غذایی انسان و دام و با توجه به هزینه ها و عوارض استفاده از مکمل های دارویی، غنی سازی محصولات کشاورزی اهمیت بیشتری دارد و در حال حاضر مطالعات زیادی در مورد غنی سازی فراورده های کشاورزی با این عنصر در سراسر دنیا انجام می گیرد (۳۰). بنابراین، صرف‌نظر از اثر مفید سلنیم در تحمل تنش های محیطی در گیاهان، استفاده از این عنصر به عنوان کود می تواند موجب ورود آن به زنجیره غذایی دام و انسان شود (۳۹). افزودن سلنیم به محیط رشد گیاه کلزا می تواند موجب بهبود کیفیت تغذیه ای دانه آن برای دام شده و نیز به دلیل مصرف خوراکی روغن آن برای انسان، اثرات سلامتی قابل توجهی داشته باشد (۳۰).

سلنیم افزوده شده به خاک می تواند توسط میکروارگانیسم ها و یا به صورت غیر زیستی تغییر و تبدیلاتی حاصل نماید (۲۲)، بنابراین استفاده از کود سلنیم باید با در نظر گرفتن امکان متابولیسم و تصعید آن انجام شده و علاوه بر رعایت ملاحظات زیست محیطی مقدار جذب آن در گیاهان و ورود آن به بخش های رویشی و دانه مورد توجه قرار گیرد. در شرایط رشد مزرعه ای، سلنیم در محدوده ۱ تا ۲۰ گرم در هکتار (۳۰) و در شرایط گلخانه ای در محدوده ۱۰ تا ۳۰۰ میکروگرم در لیتر بستر رشد (۱۳) و با استفاده از هر دو روش محلول‌پاشی برگ و کاربرد در

خاک در کشت های مزرعه‌ای و گلخانه ای مورد استفاده قرار گرفته است.

در مقایسه با سایر عوامل تنشی ازجمله نور ماوراءبنفش و سرما (۱۱ و ۱۲ و ۲۹)، تأثیر سلنیم در افزایش تحمل تنش خشکی بررسی های زیادی را به خود اختصاص نداده است. در دانه های گیاه زبان‌گنجشک تأثیر مثبت سلنیم در تحمل خشکی در طی جوانه‌زنی نشان داده شده است (۲۴). در گیاه سیب زمینی افزودن سلنیم در شرایط تنش خشکی، اثراتی روی فتوسنتز، تعرق و رشد غده داشته است ولی این تأثیرات با توجه به رقم و زمان سنجش این پارامترها در طی دوره رشد، منفی و یا مثبت بوده و منجر به جمع‌بندی خاصی نشده است (۷).

بررسی حاضر با هدف مطالعه تأثیر تیمار سلنیم در تحمل تنش خشکی در گیاه کلزا انجام شده است. با توجه به اینکه تشکیل دانه در شرایط رشد بلندمدت قابل مطالعه است، در این پژوهش تولید ماده خشک و عملکرد دانه در شرایط مزرعه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین به دلیل اینکه تحمل تنش خشکی می تواند از طریق بهبود روابط آبی و توانایی گیاهان در جذب آب افزایش یابد، در بررسی حاضر بر روی سازوکار فوق تأکید شده است.

مواد و روشها

این پژوهش در دو بخش مزرعه‌ای و آزمایشگاهی با گیاه کلزا رقم اکاپی (رقم پائیزه)(*Brassica napus* L. cv. Okapi) انجام شد. مقدار کاربرد سلنیم (بصورت سدیم سلنات) براساس مقادیری که پژوهشگران مختلف قبلا برای گونه های مختلف در آزمایش مزرعه ای (۳۰) و گلخانه (۱۲) بکار برده و اثرات مفید آن را مشاهده نموده بودند، انتخاب گردید.

کشت مزرعه‌ای: آزمایش مزرعه‌ای در زمینی به مساحت ۲۲۵ مترمربع (۱۵×۱۵ متر مربع) در روستای قرمز خلیفه از توابع شهرستان میاندوآب اجرا شد. بعد از آماده سازی زمین، بر طبق روال کشت مکانیزه گیاه کلزا، از کودهای فسفاته (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و اوره (۵۰ کیلوگرم در هکتار) استفاده گردید. بذرپاشی در مهر ۱۳۸۸ و به مقدار ۷/۵ کیلوگرم در هکتار انجام شد. سلنیم به دو صورت محلول‌پاشی روی برگ ها و کاربرد در خاک (افزودن به آب آبیاری) اعمال گردید. آبیاری به روش سطحی و با استفاده از نهر آبیاری انجام شد. اولین تیمار سلنیم قبل از زمستان، در مرحله ۴-۵ برگی (مرحله طوقه ای) گیاه انجام شد. مرحله دوم تیمار در فروردین ماه سال بعد (۱۳۸۹) زمانی که گیاه به ساقه رفته بود، اعمال گردید. تیمار تنش خشکی به مدت دو ماه (اردیبهشت و خرداد) به دو صورت آبیاری (بر طبق نیاز آبی کلزا) و فقدان کامل آبیاری اعمال شد. آزمایش در قالب طرح آماری کرت های خرد شده با ۴۸ کرت مساوی اجرا گردید و در آن دو تیمار نحوه اعمال سلنیم (کاربرد برگی یا خاک)، سه سطح سلنیم (صفر، ۵ و ۱۰ گرم در هکتار) و دو سطح آبیاری (آبیاری و فقدان آبیاری) با ۴ تکرار اعمال شد. گیاهان بصورت دستی تنک شدند و تعداد بوته ها قبل از آغاز تیمار در هر کرت ۱۷۳ و فاصله آنها از هم ۱۵ سانتی‌متر بود. برای کنترل علف های هرز از علف‌کش ترفلان استفاده گردید. برداشت گیاهان در هفته اول تیرماه ۱۳۸۹ و به روش دستی انجام شد.

کشت گلخانه‌ای: دانه های گیاه کلزا در پرلیت کاشته شده و در تاریکی به مدت سه روز وادار به جوانه‌زنی شدند. پس از سه روز، دانه‌رست‌های جوان به روشنایی منتقل شدند. دانه‌رست‌های یک هفته ای به گلدان های ۲/۵ لیتری هر کدام به تعداد ۳ عدد منتقل شده و محلول غذایی هوگلند (۱۴) به مقدار ۱۰۰ میلی لیتر در ابتدای دوره رشد و ۲۵۰ میلی لیتر (در هفته) در طی مراحل بعدی آن به گلدان ها افزوده شد. دو سطح از تیمار سلنیم شامل صفر و ۳۰۰ میکروگرم سلنیم در هر گلدان (۱۰۰ میکروگرم به ازای گیاه و ۱۲۰ میکروگرم به ازای لیتر بستر) به تدریج و در طی هفته سوم و چهارم به گلدان ها اضافه شد. با توجه

به عوارض مربوط به محلول‌پاشی سلنیم در محیط‌های بسته، در آزمایش گلخانه ای تنها از روش کاربرد در بستر (پرلیت) استفاده گردید. اعمال دو رژیم آبیاری متفاوت از هفته سوم آغاز شد. آبیاری در حد ظرفیت مزرعه ای و ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه ای از هفته سوم تا پنجم به مدت دو هفته اعمال شد، سپس تیمار خشکی به صورت ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه ای به مدت دو هفته دیگر ادامه یافت. در این آزمایش دو تیمار مختلف آبیاری، پس از توزین روزانه گلدان‌ها و با حجم های متناسب از محلول غذایی و یا آب تا رسیدن به ظرفیت مزرعه ای مورد نظر اعمال گردید. بنابراین، هر دو گروه گیاهان شاهد و دچار تنش خشکی، مقادیر مساوی از محلول غذایی را دریافت کرده و تنها از نظر مقدار آب افزوده شده از هم متفاوت بودند. آزمایش در طرح بلوک های کامل تصادفی و با دو عامل شامل دو سطح سلنیم و دو سطح از آبیاری اجرا شد. گیاهان در شرایط گلخانه با شدت نور متوسط ۳۰۰ $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ در دوره روشنایی/تاریکی ۷/۱۷ ساعته و رطوبت نسبی ۵۰/۳۰ درصد رشد داده شدند.

شش هفته پس از جوانه‌زنی، پارامترهای فلوئورسانس کلروفیل و تبادل گاز اندازه‌گیری شد و بعد گیاهان برداشت شدند. وزن خشک گیاهان پس از قرار گرفتن در آون در دمای ۷۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت تعیین شد و طول ریشه به روش شمارش شبکه ای (۳۲) اندازه‌گیری شد.

سنجش رنگیزه های برگ: به‌منظور سنجش مقدار رنگیزه‌ها، برگ ها با آب دوبار تقطیر شستشو شده و بر روی کاغذ صافی خشک شدند. پس از اندازه‌گیری وزن تر (تقریباً ۲۰۰ میلی‌گرم)، استخراج عصاره از بافت مورد نظر با استفاده از حلال یا بافر استخراج مربوطه بر روی یخ و در هاون چینی سرد انجام شد. غلظت کلروفیل و کاروتنوئیدها به وسیله اسپکتروفتومتر، بعد از ۲۴ ساعت استخراج در استون ۱۰۰ درصد تعیین شد. جذب در ۶۶۲، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شده و غلظت کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها طبق فرمول‌های مربوطه محاسبه گردید (۱۷). سنجش فلاونوئیدهای برگ در عصاره متانلی انجام شد. پس از استخراج، عصاره به مخلوطی شامل نیترات آلومینیوم ۱۰ درصد، آستات پتاسیم یک مولار و متانل اضافه شده و به مدت ۴۰ دقیقه در همان شرایط قرار گرفت، سپس جذب در ۴۱۵ نانومتر قرائت گردید. از کوئرستین برای ترسیم منحنی استاندارد استفاده شد (۲۶).

برای سنجش آنتوسیانین، عصاره حاصل از استخراج در حلال متانول/اسید کلریدریک ۹۸ : ۲ (v/v)، به مدت ۲۰ دقیقه در g ۱۰۰۰ سانتریفوژ گردید. ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول روشناور با ۴۹/۵ میلی‌لیتر از بافر یک میلی‌مول MES(۲ اِن مورفولینو اتان سولفونیک اسید) با pHهای ۱ و ۴/۵ در بالن ژوژه‌های ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و پس از ۳۰ دقیقه جذب در nm ۵۱۰ تعیین شد. مقدار آنتوسیانین بر اساس $mg\ cyanidin\text{-}3\text{-}glucoside\ g^{-1}\ FW$ گزارش گردید (۲۳).

سنجش پارامترهای فلوئورسانس کلروفیل و تبادل گاز: برای تعیین فلوئورسانس کلروفیل، از دستگاه فلوئورسانس‌سنج (OPTI-SCIENCES, ADC, UK) استفاده گردید. پارامترهای فلوئورسانس کلروفیل شامل نسبت فلوئورسانس متغیر (F_v) به فلوئورسانس پایه (F_0) (F_v/F_0) و نسبت فلوئورسانس متغیر به فلوئورسانس بیشینه (F_m) یا کارآیی بیشینه فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m) تعیین شد. برای اندازه‌گیری پارامترهای مختلف تبادل گاز فتوسنتزی از دستگاه (LCA_4, ADC, UK) استفاده گردید. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل شدت فتوسنتز (A) بر حسب $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$، تعرق (E) برحسب $mmol\ m^{-2}s^{-1}$ و مقاومت روزنه‌ای (g_s) برحسب $mol\ m^{2}s^{-1}$ سنجش گردید.

سنجش قندهای محلول و نشاسته: برای استخراج عصاره گیاهی جهت سنجش کربوهیدرات‌ها، از بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مول (pH=۷/۵) استفاده شد. محلول

روشناور برای سنجش قند محلول کل با استفاده از معرف آنترون سولفوریک و رسوب حاصل برای سنجش نشاسته با استفاده از معرف یدین- HCl مورد استفاده قرار گرفت. رسوب در دی متیل سولفوکسید و هیدروکلریک اسید ۸ نرمال (۱:۴ V/V) حل شد و در g ۱۲۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ گردید. معرف یدین، عصاره گیاهی و آب مقطر به نسبت ۱:۱:۵ در سل شیشه‌ای ریخته شده و بعد از ۱۵ دقیقه جذب نمونه ها در nm ۶۰۰ در دمای اتاق قرائت شد. نتایج برحسب $mg\ g^{-1}\ FW$ ارائه گردید. برای تهیه محلول‌های استاندارد از غلظت‌های صفر تا ۱۰ میلی‌گرم نشاسته استفاده شد. برای سنجش قند محلول کل معرف آنترون سولفوریک و عصاره گیاهی به نسبت ۵:۱ در لوله‌های آزمایش شیشه‌ای ریخته شد و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در درون حمام آب گرم قرار گرفت. پس از سرد شدن، جذب در ۶۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای تهیه محلول‌های استاندارد از غلظت‌های ۰ تا ۱۸ میلی‌گرم گلوکز استفاده شد و نتایج برحسب $\mu g\ eq.\ glucose\ g^{-1}\ FW$ بیان گردید (۱۹).

پتانسیل اسمزی برگ‌ها با استفاده از دستگاه اسمزسنج (Micro-Osmometer, Heman Roebling Messtechnik, Germany) اندازه گیری شد. پس از استفاده از محلول استاندارد، برگ ها در هاون چینی و بر روی یخ سائیده شده و شیره سلولی پس از سانتریفوژ، برای اندازه‌گیری فشار اسمزی (بر اساس میلی اسمول در کیلوگرم) در دستگاه قرار گرفت. تبدیل داده های میلی اسمول به مگاپاسکال با استفاده از ضرب داده ها در عدد ۰/۰۰۲۵۸ (با استفاده از قانون وانت هوف) انجام شد.

سنجش مقدار کل پروتئین محلول و آمینو اسیدها: پروتئین‌های محلول پس از استخراج در بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی مولار (pH=۶/۸) با استفاده از معرف تجاری برادفورد (Sigma) و آلبومین گاوی (Merck) به‌عنوان استاندارد سنجش شد (۳). استخراج آلفا آمینواسیدها نیز در بافر فسفات بشرح بالا انجام شد و پس از سانتریفوژ، با استفاده از معرف نین هیدرین جذب نمونه ها در ۵۷۰ نانومتر قرائت گردید. از گلیسین برای ترسیم منحنی استاندارد استفاده شد (۱۶).

تجزیه آماری داده ها: تجزیه و تحلیل آماری با کمک نرم‌افزار سیگما استات (نسخه ۳/۰۲) و با استفاده از تست توکی در سطح پنج درصد انجام گردید.

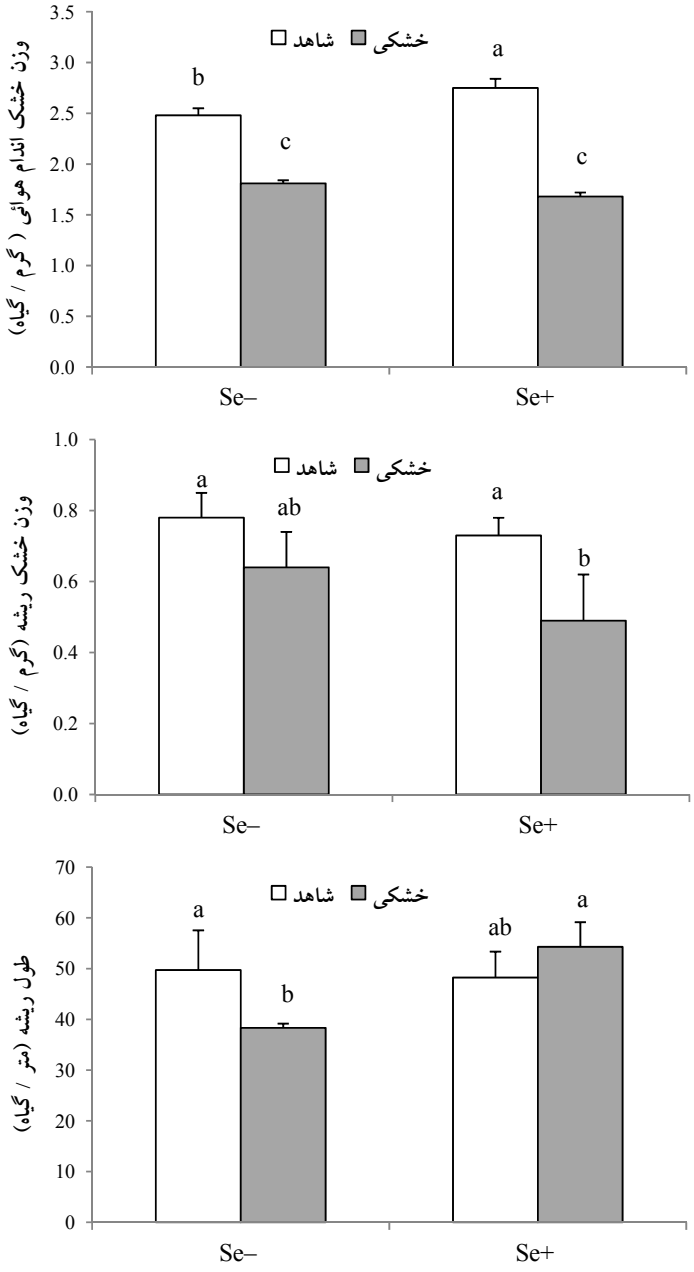
نتایج

وزن خشک اندام هوایی و عملکرد دانه تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت ولی این کاهش معنی دار نبود. تیمار گیاهان با سلنیم بصورت محلول‌پاشی برگ ها، موجب افزایش غیرمعنی‌دار تولید ماده خشک در گیاهان آبیاری شده و افزایش معنی‌دار آن در گیاهان تحت تنش خشکی گردید (جدول ۱).

سلنیم به صورت محلول‌پاشی برگ ها موجب افزایش معنی‌دار در عملکرد دانه شد که این تأثیر در گیاهان آبیاری شده تنها ۳۰ درصد بود، ولی در گیاهان تحت تنش خشکی به ۱۳۶ درصد رسید. تیمار سلنیم به صورت کاربرد در خاک نیز موجب افزایش عملکرد دانه شد و این افزایش در مورد گیاهان تحت تنش خشکی (۶۴ درصد) بیش از گیاهان آبیاری شده (۴۰ درصد) بود (جدول ۱).

در آزمایش گلخانه‌ای، وزن خشک اندام هوایی در اثر اعمال تنش خشکی به صورت معنی‌دار کاهش یافت، این تأثیر در هر دو گروه گیاهان تیمار شده با سلنیم و گیاهان تیمار نشده مشاهده گردید. تیمار سلنیم در گیاهان شاهد موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی گردید ولی در گیاهان تحت تنش خشکی این تأثیر مشاهده نشد (شکل ۱). پاسخ پارامترهای رشد ریشه به سلنیم متفاوت بود، به نحوی که وزن خشک آن در تیمار همزمان خشکی و سلنیم کاهش یافت، در حالی که طول آن تا ۴۲ درصد در مقایسه با آن در غیاب سلنیم افزایش نشان داد. افزایش

طول ریشه در تیمار همزمان خشکی و سلنیم بصورت تغییر در مورفولوژی ریشه و تشکیل ریشه های ظریف با انشعابات بیشتر، در طی تعیین طول ریشه بخوبی با چشم قابل تشخیص بود و این ریشه ها به سهولت از ریشه گیاهان در سایر تیمارها متمایز می نمودند.



شکل ۱- وزن خشک اندام هوایی، ریشه و طول ریشه در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) که تحت دو تیمار آبیاری شامل شاهد و خشکی بدون یا با افزودن سلنیم در بستر پرلیت به مدت شش هفته رشد کرده است. تفاوت میان داده‌های هر شکل که با حروف یکسان مشخص شده‌اند، معنی‌دار نبوده است ($P<0.05$).

در برگ ها مقدار کلروفیل a و b تحت تأثیر تنش خشکی بصورت اندک و یا معنی‌دار کاهش یافت ولی تیمار سلنیم مقدار این دو رنگیزه را تحت تأثیر قرار نداد. مقدار فلاونوئیدهای برگ تحت تأثیر هیچ کدام از تیمارهای

خشکی و سلنیم قرار نگرفت ولی کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌های برگ تحت تیمار همزمان خشکی و سلنیم بصورت معنی‌دار افزایش یافت (جدول ۲).

جدول ۱- تأثیر مقادیر مختلف تیمار سلنیم در رشد رویشی و عملکرد دانه در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط کشت مزرعه‌ای با دو تیمار مختلف آبیاری. تفاوت بین داده‌های هر کدام از پارامترهای عملکرد رویشی و عملکرد دانه که با حروف یکسانی مشخص شده‌اند، معنی‌دار نبوده است ($P<0.05$).

	وزن خشک اندام هوایی (کیلوگرم /کرت)			
	کاربرد در خاک		محلول‌پاشی برگ	
	تنش خشکی	آبیاری	تنش خشکی	آبیاری
بدون سلنیم	۳/۴۵±۰/۸۹ b	۳/۵۳±۰/۷۶ b	۳/۵۹±۰/۲۶ b	۳/۷۰±۰/۳۵ b
۵ گرم در هکتار	۳/۶۵±۰/۹۱ b	۴/۰۷±۰/۴۴ b	۴/۶۱±۰/۴۱ ab	۳/۹۴±۰/۵۵ b
۱۰ گرم در هکتار	۴/۱۱±۰/۶۴ b	۳/۸۰±۰/۶۵ b	۵/۷۰±۰/۴۳ a	۴/۴۵±۰/۵۳ ab
	وزن دانه (کیلوگرم /کرت)			
	تنش خشکی	شاهد	تنش خشکی	شاهد
بدون سلنیم	۰/۴۵±۰/۰۷ c	۰/۵۸±۰/۰۷ c	۰/۴۴±۰/۱۹ c	۰/۵۴±۰/۲۰ c
۵ گرم در هکتار	۰/۶۶±۰/۲۴ b	۰/۸۳±۰/۰۶ ab	۰/۹۵±۰/۰۹ b	۰/۷۷±۰/۱۰ b
۱۰ گرم در هکتار	۰/۷۴±۰/۱۲ b	۰/۸۱±۰/۱۳ ab	۱/۰۴±۰/۱۳ a	۰/۷۰±۰/۱۲ b

جدول ۲- تغییرات مقدار رنگیزه‌های برگ شامل کلروفیل a و b (mg g^{-1} FW)، کاروتنوئیدها (mg g^{-1} FW)، فلاونوئیدها (mg g^{-1} FW) و آنتوسیانین (mg cyanidin-3-glucoside g^{-1} FW) در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) که تحت دو تیمار آبیاری شامل شاهد و خشکی بدون یا با افزودن سلنیم در بستر پرلیت به مدت شش هفته رشد کرده است. تفاوت میان داده‌های مربوط به یک ستون که با حروف یکسانی مشخص شده‌اند، معنی‌دار نبوده است ($P<0.05$).

تیمار آبیاری	تیمار سلنیم	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئیدها	فلاونوئیدها	آنتوسیانین‌ها
شاهد	-Se	۲/۰۸±۰/۱۹ a	۰/۶۵±۰/۰۶ ab	۱۴۹±۱۱ ab	۱۷۲±۹ a	۲/۵۸±۰/۳۷ b
	+Se	۲/۰۸±۰/۲۵ a	۰/۶۸±۰/۰۸ a	۱۵۵±۱۱ ab	۱۷۰±۱۱ a	۲/۶۳±۰/۴۷ b
خشکی	-Se	۱/۸۵±۰/۲۲ a	۰/۵۴±۰/۰۳ b	۱۳۴±۱۴ b	۱۷۹±۱۷ a	۲/۴۲±۰/۲۵ b
	+Se	۱/۷۹±۰/۵۳ a	۰/۵۸±۰/۰۵ ab	۱۵۷±۲ a	۱۶۶±۲۳ a	۳/۸۴±۰/۵۲ a

جدول ۳. پارامترهای فلوئورسانس کلروفیل شامل نسبت فلوئورسانس متغیر به پایه (F_v/F_0) و کارآیی بیشینه فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m) و پارامترهای تبادل گاز شامل سرعت فتوسنتز تثبیت (μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$)، سرعت تعرق (mmol H_2O $m^{-2}s^{-1}$) و گشودگی روزنه‌ها (mol $m^{-2}s^{-1}$) در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) که تحت دو تیمار آبیاری شامل شاهد و خشکی بدون یا با افزودن سلنیم در بستر پرلیت به مدت شش هفته رشد کرده است. تفاوت میان داده‌های مربوط به یک ستون که با حروف یکسانی مشخص شده‌اند، معنی‌دار نبوده است ($P<0.05$).

تیمار آبیاری	تیمار سلنیم	F_v/F_0	F_v/F_m	سرعت فتوسنتز	سرعت تعرق	گشودگی روزنه‌ها
شاهد	-Se	۴/۹۱±۰/۲۶ a	۰/۸۳±۰/۰۱ a	۷/۹۸±۰/۱۴ c	۰/۶۳±۰/۰۳ b	۰/۵۷±۰/۲۹ ab
	+Se	۵/۲۲±۰/۱۹ a	۰/۸۴±۰/۰۱ a	۸/۲۷±۰/۷۴ bc	۰/۷۷±۰/۰۴ ab	۱/۲۲±۰/۶۸ a
خشکی	-Se	۵/۱۷±۰/۲۲ a	۰/۸۴±۰/۰۱ a	۹/۶۲±۰/۷۸ ab	۰/۷۸±۰/۰۱ ab	۰/۳۵±۰/۰۲ b
	+Se	۵/۱۴±۰/۲۱ a	۰/۸۴±۰/۰۱ a	۱۰/۸±۰/۹۱ a	۰/۸۵±۰/۰۶ a	۰/۵۸±۰/۲۶ ab

جدول ۴- غلظت قندهای محلول کل (mg eq. glucose g^{-1} FW)، نشاسته (mg g^{-1} FW)، پروتئین محلول (mg g^{-1} FW)، آمینواسید کل (µmol g^{-1} FW) و پتانسیل اسمزی (MPa) در برگ‌های گیاه کلزا (Brassica napus L.) که تحت دو تیمار آبیاری شامل شاهد و خشکی بدون یا با افزودن سلنیم در بستر پرلیت به مدت شش هفته رشد کرده است. تفاوت میان داده‌های مربوط به یک ستون که با حروف یکسانی مشخص شده‌اند، معنی‌دار نبوده است ($P<0.05$).

تیمار آبیاری	تیمار سلنیم	قندهای محلول	نشاسته	پروتئین	آمینو اسید کل	پتانسیل اسمزی
شاهد	-Se	۷/۶۵±۰/۸۸ b	۲/۳۵±۰/۲۴ a	۱۱/۴۲±۱/۳۲ c	۴/۹۴±۰/۲۰ c	−۰/۳۷۴±/۰۴ b
	+Se	۱۱/۵۱±۰/۸۵ a	۱/۵۸±۰/۰۵ b	۱۵/۴۲±۱/۲۱ ab	۷/۲۱±۰/۰۹ b	−۰/۳۴۳±/۰۲ b
خشکی	-Se	۱۲/۲۳±۲/۰ a	۱/۶۶±۰/۲۰ b	۱۲/۹۶±۱/۰۱ bc	۵/۱۸±۰/۳۰ c	−۰/۴۴۶± ۰/۰۴ a
	+Se	۱۲/۸۹±۲/۰ a	۱/۳۶±۰/۲۰ b	۱۵/۶۲±۱/۲۰ a	۱۱/۳۹±۰/۸۳ a	−۰/۳۳۸±۰/۰۴ b

پارامترهای فلوئورسانس کلروفیل تحت تأثیر هیچ کدام از دو تیمار اعمال شده قرار نگرفت ولی پارامترهای تبادل گاز برگ تغییرات قابل توجهی تحت تأثیر هر دو تیمار نشان دادند. خشکی تنها موجب کاهش اندکی در گشودگی روزنه ها شد، به نحوی که تعرق نه تنها محدود نشد بلکه افزایش مختصری نیز نشان داد (جدول ۳). محدود شدن تعرق احتمالا در شدت‌های بالاتر خشکی زمانی که گشودگی روزنه ها بیش از مقدار مشاهده شده در این بررسی کاهش یابد، رخ می‌دهد. سلنیم موجب افزایش اندک در درجه گشودگی روزنه ها و تعرق تحت هر دو رژیم آبیاری شد ولی تأثیر آن در افزایش سرعت تثبیت دی اکسید کرین (فتوسنتز) چشمگیرتر بود. با وجود اینکه تأثیر سلنیم در افزایش سرعت فتوسنتز در درون هر کدام از دو گروه با رژیم آبیاری متفاوت، معنی دار نبود ولی کمترین مقدار فتوسنتز در گیاهان آبیاری شده و بدون تیمار سلنیم و بیشترین مقدار آن در گیاهان تحت تیمار همزمان خشکی و سلنیم مشاهده شد (جدول ۳).

مقدار قندهای محلول برگ ها تحت تأثیر هر دو تیمار سلنیم و خشکی به صورت معنی داری افزایش یافت ولی این تأثیر در درون گروه گیاهان تحت تنش خشکی معنی‌دار نبود. تأثیر معکوس در مقدار نشاسته برگ ها مشاهده شد که تحت تأثیر هر دو تنش خشکی و سلنیم کاهش یافت ولی مشابه مقدار قندهای محلول، در گیاهان تحت تنش خشکی اثر سلنیم معنی‌دار نبود (جدول ۴).

مقدار کل آمینواسیدهای برگ تحت تأثیر هر دو تیمار خشکی و سلنیم افزایش یافت که این افزایش برای تیمار سلنیم در هر دو گیاهان آبیاری شده و تحت تنش خشکی معنی‌دار بود ولی تأثیر خشکی تنها در گیاهان تیمار شده با سلنیم معنی‌دار بود (جدول ۴).

بحث

کاهش اثر تنش های مختلف محیطی تحت تاثیر تیمار سلنیم در بررسی های مختلف نشان داده شده است. در بررسی حاضر افزایش معنی‌دار وزن خشک گیاهان در شرایط تنش خشکی نیز نشان دهنده تاثیر این عنصر در افزایش تحمل گیاهان است. تحریک رشد ناشی از سلنیم تحت تنش های مختلف محیطی به افزایش فعالیت آنزیم های آنتی‌اکسیدان نسبت داده شده است (۱۳).

داده های این بررسی نشان داد که سلنیم با تأثیر بر مورفولوژی ریشه ها یعنی تشکیل ریشه های ظریف‌تر نیز عمل می‌کند. تغییر در مورفولوژی ریشه بصورت افزایش نسبت ریشه های ظریف و گسترش انشعابات می تواند در گیاهان رشد یافته در خاک، اثر مهمی در تعادل آبی داشته و موجب افزایش جذب از خاک خشک گردد.

کاروتنوئیدها علاوه بر اثر به‌عنوان آنتی‌اکسیدان، در خاموش کردن الکترونهای مازاد در طی فتوسنتز در گیاهانی که تحت تنش های مختلف ازجمله خشکی قرار گرفته اند مؤثر بوده و موجب کاهش آسیب های ناشی از الکترونهای

پرانرژی می شوند (۲۰). این تأثیر سلنیم می تواند از دلایل دیگر بهبود رشد گیاهان در شرایط مزرعه ای حتی در شرایط آبیاری کافی باشد. افزایش مقدار بتاکاروتن در برگ های گیاه علف‌چمنی مهمترین تأثیر سلنیم در این گیاه بوده و به عنوان سازوکار تأثیر مثبت سلنیم قلمداد شده است (۱۳). انباشتگی آنتوسیانین در برگ ها موجب افزایش تحمل به خشکی بلندمدت می شود (۱۵).

افزایش فتوسنتز می‌تواند دلیل دیگری برای اثر مثبت سلنیم در تخفیف اثر تنش خشکی در بررسی حاضر قلمداد گردد. ابقای فتوسنتز در شرایط تنش خشکی که موجب حفظ قدرت تولید ماده خشک و رشد می شود، یکی از مهمترین سازوکارهای تحمل در گیاهان مقاوم در مقایسه با گونه های حساس قلمداد شده است (۳۷).

تغییر در مقدار قند های محلول در طی تنش خشکی و تحت تأثیر سلنیم می تواند سازوکار عمل سلنیم را در بهبود روابط آبی گیاه کلزا نشان دهد. مطالعه روی شش ژنوتیپ گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) که سازگاری زیادی با شرایط خشکی دارد، نشان داده است که کاهش رطوبت قابل دسترس خاک از صد به ۲۵ درصد موجب افزایش دوبرابری در انباشتگی کربوهیدرات های محلول در برگ می شود (۱) که نقش مهم این ترکیبات را در ایجاد مقاومت به کم آبی اثبات می‌کند. در بررسی حاضر، سلنیم از طریق افزایش فتوسنتز موجب افزایش تشکیل قندهای محلول گردید که احتمالا علاوه بر تحریک رشد عمومی و حمایت از رشد طولی ریشه ها، به عنوان اسموتیکوم در حفظ تعادل آبی مؤثر بوده است. کاهش نشاسته در برگ ها تحت تأثیر سلنیم نیز نشان می دهد که مسیر متابولیسم کربوهیدرات ها به سمت قندهای محلول سوق داده شده است که در حفظ تعادل آبی و حمایت از رشد جاری مؤثرتر از نشاسته است. همچنین پتانسیل اسمزی گیاهان در شرایط تیمار همزمان خشکی و سلنیم کمتر از سایر ترکیب های تیماری بود که نشان‌دهنده افزایش جذب آب همزمان با افزایش انباشتگی قندهای محلول بوده و این پاسخ با افزایش قابل توجه در طول ریشه و سطح جذب آب ریشه ها همراه بود. البته تأثیر سلنیم در افزایش قندهای محلول و نشاسته در غده های گیاه سیب زمینی نیز گزارش شده است (۳۳) ولی تأثیر متفاوت آن روی قند های محلول و نشاسته گزارش نشده است.

نشان داده شده که کاربرد آمینو اسید آرژینین به عنوان گهرمایه آنزیم نیتریک اکسید سنتاز که موجب تولید نیتریک اکسید به عنوان یک مولکول علامتی می شود، موجب تخفیف اثر تنش خشکی در گیاه گوجه فرنگی می گردد و این کار را از طریق افزایش انباشت پرولین و آمینو اسیدهای آزاد انجام می‌دهد (۲). مقدار پروتئین برگ نیز تحت تأثیر سلنیم به صورت معنی‌داری افزایش یافت ولی خشکی تأثیری در این پارامتر نداشت. افزایش مقدار پروتئین ها در گیاهان قرار گرفته تحت تنش خشکی می تواند از تحریک رشد مشاهده شده توسط سلنیم حمایت نموده و نشان‌دهنده تحریک متابولیسم ازت در کنار تحریک متابولیسم کربن در گیاهان تحت تیمار سلنیم است. سازوکار اثر سلنیم روی سنتز پروتئین‌ها مشخص نیست و ممکن است حداقل یکی از دلایل آن، افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز باشد. افزایش فعالیت این آنزیم در گیاه گندم تحت تأثیر سلنیم گزارش شده است (۲۱).

تاکنون مطالعه ای در مورد نقش مثبت سلنیم در عملکرد دانه گیاه کلزا منتشر نشده است. نتایج این بررسی پیشنهاد می‌کند که کود سلنیم در محدوده عناصر کم مصرف، موجب افزایش عملکرد دانه در گیاه کلزا می شود. همچنین انتظار می‌رود کود سلنیم، موجب افزایش مقدار سلنیم در دانه و روغن استحصال شده از آن گردد. غنی سازی فراورده های گیاهی با سلنیم روشی برای افزایش کیفیت تغذیه ای محصولات کشاورزی با هدف بهبود و ارتقای

تغذیه در انسان است (۱۸ و ۳۰). سلنیم عنصری ضروری برای دام و انسان است و تنها راه ورود آن به زنجیره غذایی انسان، محصولات گیاهی و دامی است (۲۷، ۳۸ و ۳۹).

در گیاهان رشد یافته در مزرعه، کاربرد سلنیم در خاک اثر اندکی در مقایسه با محلول‌پاشی برگ ها داشت، به نحوی که تأثیر آن از نظر آماری معنی‌دار نبود. با اینحال تأثیر کاربرد خاکی سلنیم روی عملکرد دانه مشابه اثر محلول‌پاشی برگ ها بود. احتمال دارد تأثیر مثبت سلنیم در عملکرد رویشی به غلظت های بیشتر این عنصر در مقایسه با تولید دانه نیاز داشته باشد. با توجه به اینکه میکروارگانیسم های خاک موجب تغییر و تبدیل سلنیم و حتی تصعید آن و یا تثبیت این عنصر روی کانی ها و مواد آلی می شوند (۲۲)، غلظت سلنیم فعال و مؤثر ممکن است در روش کاربرد خاک کاهش یابد.

شواهد این بررسی نشان می‌دهد که اثر سلنیم در افزایش تحمل خشکی و بهبود روابط آبی در گیاه کلزا غیرمستقیم بوده و مربوط به جلوگیری از اتلاف آب نبوده است. بلکه تیمار سلنیم موجب تشکیل ریشه های ظریف‌تر و منشعب‌تر شده و با افزایش در گشودگی روزنه ها موجب تحریک بیش از پیش جذب آب شده است. همچنین، افزایش فتوسنتز و تشکیل قندهای محلول به عنوان اسموتیکوم از افزایش جذب آب حمایت کرده است.

با این حال افزایش ظرفیت دفاع آنتی‌اکسیدانی تحت تأثیر تیمار سلنیم نیز یکی دیگر از سازوکارهای ممکن است، به‌طوری‌که افزایش کاروتنوئیدهای برگ نیز نقش سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان را تأیید می‌کند. افزایش تولید و انباشتگی پرولین تحت تیمار سلنیم نیز محتمل است و ممکن است بخشی از افزایش مشاهده شده در مقدار آمینو اسیدهای کل برگ به پرولین مربوط بوده باشد. به‌هرحال، بررسی های بیشتری در این زمینه لازم است.

منابع

۱. ثمن، م. سپهری، ع. احمد وند، گ. ۱۳۹۰. تجمع ماده خشک و تولید متابولیت های سازگار در شش ژنوتیپ نخود تحت سطح مختلف رطوبت خاک. مجله زیست شناسی ایران. جلد ۲۴: ۳۸۹-۳۷۳.

۲. نصیبی، ف. منوچهری کلانتری، خ. و یعقوبی، م.م. ۱۳۹۰. مقایسه اثر پیش تیمار سدیم نیترو پروساید و آرژینین بر برخی پاسخهای فیزیولوژیکی گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicun esculentum*) تحت تنش کم آبی. مجله زیست شناسی ایران. جلد ۲۴: ۸۴۷-۸۳۳.

3. Bradford, M.M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal Biochem 72: 248–254.
4. Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Ma, J.F., Rengel, Z., Zhao, F. (2012) Beneficial elements. In: P. Marschner (Ed.) Marschner's mineral nutrition of higher plants, 3nd Edition. Academic Press Inc. pp. 249–269.
5. Chaves, M.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S. (2003) Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. Func Plant Biol 30: 239–264.
6. Djanaguiaman, M., Devi, D.D., Shanker, A.K., Sheeba, J.A. (2005) Selenium- an antioxidataive protectant in soybean during senescence. Plant Soil 272: 27-86.
7. Germ, M., Kreft, I., Stibilj, V., Urbanc-Berčič, O. (2007) Combined effects of selenium and drought on photosynthesis and mitochondrial respiration in potato. Plant Physiol Biochem 45: 162–167.
8. Hajiboland, R. (2012) Effects of micronutrient deficiencies on plants stress responses. In: A. Parvaiz, M.N.V. Prasad, (Eds.) Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability. Springer Verlag, pp. 282–326.
9. Hajiboland, R., Amjad, L. (2007) Does antioxidant capacity of leaves play a role in growth response to selenium at different sulfur

nutritional status? Plant Soil Environ. 53: 207–215.

10. Hajiboland, R., Keivanfar, N. (2012) Selenium supplementation stimulates vegetative and reproductive growth in canola (*Brassica napus* L.) plant. Acta Agric Sloven 99: 13–19.
11. Heijari, J., Kivimäenpää, M., Hartikainen, H., Julkunen-Tiitto R., Wulff, A. (2006) Responses of strawberry (*Fagaria×ananassa*) to supplemental UV-B radiation and selenium under filed conditions. Plant Soil 28: 27-39.
12. Hartikainen, H., Xue, T. (1999) The promotive effect of selenium on plant growth as triggered by ultraviolet irradiation. J Environ Qual 28: 1272–1275.
13. Hartikainen, H., Xue T., Piironen V. (2000) Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass. Plant Soil 225: 193–200.
14. Hoagland, D.R., Arnon, D.I. (1950) The water culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experimental Station Circular 347, Berkeley, CA.
15. Hughes, N.M., Reinhardt, K., Feild, T.S., Gerardi, A.R. Smith, W.K. (2010) Association between winter anthocyanin production and drought stress in angiosperm evergreen species. J Exp Bot 6: 1699–1709.
16. Hwang, M., Ederer, G.M. (1975) Rapid hippurate hydrolysis method for presumptive identification of group B streptococci. J Clin Microbiol 1: 114–115.
17. Lichtenthaler, H.K., Wellburn, A.R. (1985) Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents. Biochem Soc Transact 11: 591–592.
18. Lyons, G., Stangoulis, J., Graham, R. (2003) High-selenium wheat: biofortification for better health. Nutr Res Rev 16: 45–60.
19. Magné, C., Saladin, G., Clément, C. (2006) Transient effect of the herbicide flazasulfuron on carbohydrate physiology in *Vitis vinifera*. Chemosphere 62: 650–657.
20. Müller, P., Li, X.-P., Niyogi, K. K. (2001) Non-photochemical quenching. A response to excess light energy. Plant Physiol 125: 1558–1566.
21. Nowak, J., Kaklewski, K., Ligocki, M. (2004) Influence of selenium on oxidoreductive enzymes activity in soil and in plants. Soil Biol Biochem 36: 1553–1558.
22. Pezzarossa, B., Gorini, F., Petruzzelli, G. (2011) Heavy metal and selenium distribution and bioavaiability in contaminated sites: A tool for phytoremediation. In: H. Magdi Selim (Ed.) Dynamics and bioavailability of heavy metals in the root zone. Taylor & Francis Group, U.K. pp. 93–128.
23. Plessi, M., Bertelli, D., Albasini, A. (2007) Distribution of metals and phenolic compounds as a criterion to evaluate variety of berries and related jams. Food Chem 100: 419–427.
24. Pukacka, S., Ratajczak, E., Kalemba, E. (2011) The protective role of selenium in recalcitrant *Acer Saccharium* L. seeds subjected to desiccation. J Plant Physiol 168: 220–225.
25. Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., Vivekanandan, M. (2004) Drought-induced responses of photosynthesis and metabolism in higher plants. J Plant Physiol 161: 1189–1202.
26. Sarikurkcu, C., Tepe, B., Daferera, D., Polissiou, M., Harmandar, M. (2008) Studies on the antioxidant activity of the essential oil and methanol extract of *Marrubium globosum* subsp. Globosum (Lamiaceae) by three different chemical assays. Biores Technol 99: 4239–4246.
27. Schrauzer, G.N., White, D.A. (1978) Selenium in human nutrition: Dietary intakes and effects of supplementation. Bioinor Chem 8: 303–318.
28. Seki, M., Umezawa, T., Urano, K., Shinozaki, K. (2007) Regulatory metabolic networks in drought stress responses. Curr Opin Plant Biol 10: 296–302.
29. Seppänen, M., Turakainen, M., Hartikainen, H. (2003). Selenium effects on oxidative stress in potato. Plant Sci 165: 311–319.
30. Seppänen, M.M., Kontturi, J., Lopez Heras, I., Madrid, Y., Cámara, C., Hartikainen, H. (2010) Agronomic biofortification of *Brassica* with selenium—enrichment of SeMet and its identification in Brassica seeds and meal. Plant Soil 337:273–283.
31. Sharghi, Y., Shirani Rad, A. H., Ayeneh Band, A., Noormohammadi, G., Zahedi, H. (2011) Yield and yield components of six canola (*Brassica napus* L.) cultivars affected by planting date and water deficit stress. Afr J Biotechnol 10: 9309–9313.
32. Tennant, D. (1975) A test of a modified line Intersect method of estimating root length. J Ecol 63: 995–1001.
33. Turakainen, M., Hartikainen, H., Seppänen, M.M. (2004) Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch. J Agric Food Chem. 52: 5378–5382.

34. Verhagen, J., Put, M., Zaal, F., van Keulen, H. (2004) Climate change and drought risks for agriculture. Environ Poll 39: 49–59.
35. Waraich, E.A., Amad, R., Ashraf, M.Y., Ahmad, M. (2011) Improving agricultural water use efficiency by nutrient management. Acta Agr Scand 61: 291–304.
36. Xue, T., Hartikainen, H. (2000) Association of antioxidative enzymes with the synergistic effect of selenium and UV radiation in enhancing plant growth. Agric Food Sci Finland 9: 177–186.
37. Yordanov, I., Velikova, V., Tsonev, T. (2003) Plant responces to drought and stress tolerance. Bulg J Plant Physiol 29: 187–206.
38. Zeng, H. (2009) Selenium as an essential micronutrient: roles in cell cycle and apoptosis. Molecules 14: 1263–1278.
39. Zhu, Y.G., Pilon-Smits, E.A., Zhao, F.J., Williams, P.N., Meharg, A.A. (2009) Selenium in higher plants: understanding mechanisms for biofortification and phytoremediation. Trends Plant Sci 14: 436–42.

Effect of Selenium Treatment on Drought Tolerance of Canola Plants

Hajiboland R.[1], Keivanfar N.[1], Joudmand A.[2], Rezae H.[3] and Nezhad Mohammad Y.[4]

[1] Plant Science Dept., Faculty of Natural Science, University of Tabriz, Tabriz, I.R. of Iran

[2] Education Department of Chahar-Borj, Chahar-Borj, West Azarbaijan Province, I.R. of Iran

[3] Soil Science Dept., Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, I.R. of Iran

[4] University of Payame-Noor, Shahin-Dezh branch, Shahin-Dezh, I.R. of Iran

Abstract

Drought is one of the most important yield limiting factors for canola (*Brassica napus* L. cv. Okapi). In this research, we studied the effect of selenium (Se) treatment on increasing tolerance to drought in canola plants under field and greenhouse conditions. In the field experiment, plants were treated with Se (5 and 10 $g.ha^{-1}$ as sodium selenate) two times using both soil application and leaf spraying application ways. In greenhouse grown plants, Se (100 µg for each plant) was added to the growth medium (perlite) directly. In the field grown plants, vegetative biomass and seed yield of drought-stressed plants were significantly increased by Se application as leaf spraying. Results of the greenhouse experiment showed that, Se ameliorated growth reduction of drought-stressed canola plants through increasing plants ability for water uptake. Formation of more fine roots and increasing photosynthesis that lead to production of more soluble sugars as osmoticum for supporting water uptake, were mechanisms for this response.

Key words: *Brassica napus* L., Photosynthesis, Root length, Water potential