نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد شانزدهم، شماره ۲(۶۲)، تابستان ۱۴۰۱، صفحه ۱۷۸-۱۶۳

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/JCEP.2022.1913989.1731

تأثیر تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی نانواکسید روی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی توده‌های پنیرباد (*Withania coagulans* L.)

مهدی سیدی[۱]، سیدامیرعباس موسوی میرکلائی[۲*] و حسین زاهدی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۱۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۲۶

چکیده

به‌منظور ارزیابی تأثیر تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی نانواکسید روی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی توده‌های پنیرباد، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل‌های آزمایش شامل رژیم‌های مختلف آبیاری (شاهد= آبیاری مطلوب)، (تنش متوسط) و (تنش شدید) و توده‌های بذر پنیرباد (فنوج، خاش، سراوان و سرباز) و محلول‌پاشی نانواکسیدروی و بدون کاربرد آن، در سال ۹۸-۱۳۹۷ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. بیشترین سطح برگ (۵۸۳/۹۲ سانتی‌متر مربع) مربوط به توده سرباز در آبیاری شاهد و کمترین سطح برگ (۲۴۵/۸۸ سانتی‌متر مربع) مربوط به توده خاش در تنش کم‌آبی شدید بود. براساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین وزن خشک گیاه (۱/۷۶ گرم) مربوط به توده سرباز و آبیاری شاهد و کمترین وزن خشک گیاه (۰/۶۳ گرم) مربوط به توده فنوج و تنش کم‌آبی شدید بود. همچنین، بیشترین مقدار کلروفیل a (۲/۵۵ میکرومول بر گرم) مربوط به توده خاش در آبیاری شاهد و محلول‌پاشی نانواکسیدروی بود. بیشترین مقدار کلروفیل b (۱/۲۶ میکرومول بر گرم) مربوط به توده فنوج در آبیاری شاهد و محلول‌پاشی نانواکسیدروی بود که تفاوت معنی‌داری با سایر توده‌ها نداشت. همچنین، کمترین مقدار کلروفیل b (۰/۶۲ میکرومول بر گرم) مربوط به توده خاش در تنش کم‌آبی شدید و بدون محلول‌پاشی نانواکسیدروی بود. توده سرباز بیشترین مقدار آنتوسیانین (۰/۳ میکرو مول بر گرم) را در تیمار کم‌آبی شدید و عدم محلول‌پاشی نانواکسیدروی به خود اختصاص داد که تفاوت معنی‌داری با توده سراوان نداشت و کمترین مقدار آنتوسیانین (۰/۱۴۶ میکرومول بر گرم) مربوط به توده فنوج در تیمار کم‌آبی شدید همراه با محلول‌پاشی نانواکسیدروی بود. بنابراین، تنش کم‌آبی شدید سبب کاهش مقدار صفات مورد آزمایش گردید. توده سرباز نسبت به سایر توده‌ها نسبت به شرایط تنش کم‌آبی شدید تحمل بهتری نشان داد. استفاده از محلول‌پاشی نانواکسیدروی سبب بهبود رشد گیاه و افزایش برخی از صفات مورد آزمایش در شرایط تنش گردید.

واژگان کلیدی: پنیرباد، تنش کم‌آبی، نانواکسید روی، کلروفیل، آنتوسیانین.

۱- دانشجوی دکتری آگروتکنولوژی، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران.

۲- استادیار، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران.

۳- استادیار، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

*** نگارنده‌ی مسئول** a.amousavi2000@gmail.com

مقدمه

ایران از لحاظ جغرافیایی، اقلیمی، آب و هوایی موقعیت ویژه‌ای در دنیا دارد و رویشگاه بسیاری از گونه‌های گیاهی از جمله گیاهان دارویی است. در ایران اکثر تحقیقات بر روی شناسایی و استخراج اسانس این گیاهان اختصاص داشته و مطالعه محدودی روی تنوع ژنتیکی آنها صورت گرفته است. (Omidbeigi, 2006). یکی از گیاهان دارویی مهم که نیاز به بررسی دقیق متابولیت‌های تولید شده آن، برای تولید اقتصادی در کشور احساس می‌شود، گیاه پنیرباد است. پنیرباد (*Withania coagulans* L.) گیاهی است گرمسیری، که بومی مناطق جنوب شرق کشور به‌ویژه استان سیستان و بلوچستان هست. پنیرباد جزو پوشش گیاهی شهرستان‌های سراوان، ایرانشهر، سرباز، سیب و سوران، زابلی و حوالی زاهدان به‌شمار می‌رود و در دشت و دامنه کوه می‌روید. کلیه بخش‌های گیاه اعم از برگ و ساقه، ریشه، میوه و بذر، دارای خواص دارویی است (Mirjalili *et al.*, 2011). مشتقات این گیاه از گذشته‌های دور به‌عنوان یک داروی مؤثر در درمان بسیاری از بیماری‌ها مورد استفاده بوده است (Gupta, 2012). تاکنون بیش از ۷۹ متابولیت اولیه و ثانویه از بخش‌های مختلف این گیاه با استفاده از روش‌های HPLC، اسپکترومتری و NMR شناسایی شده است(Sidhu *et al.*, 2010). ماده مؤثره پنیرباد که در تمام اندام‌های گیاه اعم از ساقه، برگ، میوه، ریشه و بذر وجود دارد، ویتانولید است که دو نوع عمده آن، ویتافرین A و D است (Dhar *et al.*, 2006).

تنش کم‌آبی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محدودکننده رشد و بقای گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک در جهان است. یکی از موضوع‌های بزرگ و مهم در برنامه‌های اصلاح گیاهان بهبود و افزایش تحمل ژنوتیپ‌ها به کم‌آبی در زمین‌های خشک است (Kirigwi *et al.*, 2004). تنش کم‌آبی شایع‌ترین تنش محیطی است که رشد و تولید گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Aliu *et al.*, 2015). کم‌آبی به‌عنوان مهم‌ترین فاکتور کنترل‌کننده عملکرد محصولات، تقریباً روی کلیه فرآیندهای گیاه تأثیرگذار است. اثر تنش آبی به مرحله تنش، مدت زمان تنش و مقدار کمبود آب بستگی دارد (Wang *et al.*, 2016). عموماً گیاهان در دوره‌ای از رشد رویشی و زایشی در معرض کم‌آبی ملایم یا شدید قرار می‌گیرند. گیاهان نسبت به تنش کمبود آب به اشکال مختلفی پاسخ می‌دهند که این پاسخ‌ها شامل تغییرات در تمام جنبه‌های رشدی گیاه از جمله آناتومی، مورفولوژی، فیزیولوژی و اعمال بیوشیمیایی گیاه می‌شود (Hosseinzadeh *et al.*, 2016).

ازجمله ویژگی‌های جالب‌توجه نانومواد، سبک و کوچک بودن، استفاده در مقادیر کم و صرفه‌جویی در میزان مواد مصرفی است. با توجه به قطر نانو ذرات در مقایسه با ذرات معمول، اثرگذاری بیشتر این ذرات را توجیه می‌کند (Monica and Cremonini, 2009). عنصر روی از جمله عناصر کم‌مصرف برای گیاهان است و دارای نقش‌های فیزیولوژیک متعدد از جمله سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها، متابولیسم رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، افزایش توان فتوسنتزی و اعمال متابولیکی سلول و محافظت غشا است (Karami *et al.*, 2016). اگرچه نیاز گیاهان به این عنصر کم است، با این‌وجود چنانچه مقدار کافی از آن در دسترس نباشد، گیاهان از تنش‌های فیزیولوژیک حاصل از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنزیمی و

دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با روی در امان نخواهند بود، به‌طوری‌که در شرایط کمبود عنصر روی، بروز خسارت‌های اکسایشی ناشی از تهاجم رادیکال‌های آزاد مانند اکسیژن فعال با ایجاد اختلال در عملکرد غشاهای سلولی و تولید رادیکال‌های هیدروکسیل و سوپراکسید به سلول خسارت وارد می‌کند (Baybordi and Mamedov, 2010). محلول‌پاشی کلات روی باعث افزایش عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در گندم گردید (Dargahi *et al*., 2014). هنگامی‌که گیاه با تنش مواجه می‌گردد رادیکال‌های آزاد سنتز شده موجب سمیت در گیاه و مرگ سلول می‌شوند. عنصر روی موجب افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شده و نقش مهمی در تعدیل رادیکال‌های آزاد و آثار تخریبی آنها در سیستم‌های غشایی دارند که تحمل گیاهان را به تنش خشکی افزایش می‌دهند (Narimani *et al*., 2018).

کشت زراعی توده‌های بومی گیاهان دارای اهدافی است که از آن جمله می‌توان به افزایش تولید، مقابله با بیماری‌ها و بهبود کیفیت اشاره نمود (Shelef *et al*., 2017). تاکنون از گیاه پنیر باد در داخل کشور استفاده صنعتی به عمل نیامده و بهره‌گیری از آن تنها جنبه محلی داشته، لذا برای رسیدن به این مطلوب نیازمند شناسایی عکس‌العمل گیاه نسبت به تنش‌های محیطی ازجمله کم آبی، اندازه‌گیری خصوصیات علوفه‌ای به جهت بهره‌گیری از شاخ و برگ آن برای تعلیف دام که دانش ما در مورد آن محدود و تا امروز به طور کامل شناسایی نشده است. علاوه بر این، اکثر تحقیقات روی گونه *W. somnifera* بوده و در گونه *W. coagulans* مطالعات بسیار محدودی انجام‌شده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی روی بر خصوصیات مرفوفیزیولوژیکی توده‌های پنیرباد صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر طی سال‌های ۹۸-۱۳۹۷ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران، واقع در کیلومتر ۱۶ اتوبان تهران-کرج انجام شد. بذر گیاه پنیرباد در بهمن‌ماه ۱۳۹۶ توسط مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سیستان و بلوچستان واقع در شهرستان زابل از ۴ منطقه جمع‌آوری و به آزمایشگاه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس منتقل شد. آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد که عامل‌ها شامل رژیم‌های مختلف آبیاری (شاهد=آبیاری مطلوب)، (تنش متوسط) و (تنش شدید) و توده‌های بذر پنیرباد (فنوج، خاش، سراوان و سرباز) و محلول‌پاشی نانواکسیدروی و بدون کاربرد آن بودند. قبل از اجرای آزمایش، گلدان‌های پلاستیکی متحدالشکل، به ارتفاع ۱۴ سانتی‌متر، قطر دهانه بزرگ ۱۰ سانتی‌متر و قطر دهانه کوچک ۶/۵ سانتی‌متر تهیه شدند. خاک مورد استفاده از مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهیه گردید. گلدان‌ها به اتاقک رشد با دمای ۱±۲۵ درجه سلسیوس، روشنایی ۱۲۰۰۰ لوکس و دوره ۸ ساعت شب و ۱۶ ساعت روز منتقل شدند. پس از شناسایی پروتکل کلی جوانه‌زنی توده‌های پنیرباد، بذرهای هر یک از توده‌ها جهت جوانه‌زنی و تولید گیاهچه به سینی‌های کشت حاوی نسبت ۲:۴ کوکوپیت به پیت‌ماس منتقل شدند. پس از مرحله ۴ برگی، گیاهچه‌های تولید شده (یک ماه پس از کشت درون سینی) به گلدان منتقل شدند. بعد از

استقرار کامل گیاهچه‌ها در گلدان (دو هفته)، آزمایش به مرحله اجرا درآمد. رژیم‌های مختلف آبیاری بعد از جوانه‌زنی و استقرار کامل گیاهچه در گلدان تا ۶ ماه با استفاده از دستگاه TDR (Spectrum Technologies, Inc., Aurora, IL, United States) به‌صورت آبیاری تا حد ظرفیت گلدان پس از تبخیر ۲۰٪ آب قابل استفاده خاک (شاهد)، ۴۰٪ درصد آب قابل استفاده خاک (تنش متوسط) و ۶۰٪ درصد آب قابل استفاده خاک (تنش شدید) درصد اعمال شد. رطوبت‌سنج TDR در عمق ۱۴سانتی‌متری گلدان قرار گرفت. برای ارزیابی دقت حسگرها از خاک نمونه‌برداری و تعیین رطوبت آن شد. هم‌زمان با داده‌برداری از رطوبت خاک با استفاده از TDR اقدام به ثبت داده‌ها (هر ۲۴ ساعت یک‌بار به مدت ۱۵ روز) شد. نمونه خاک از عمق معادل طول میله (۲۴ تا ۳۰ سانتی‌متر) هر یک از حسگرها با استفاده از مته خاک صورت گرفت و مقدار رطوبت با روش توزین اندازه‌گیری شد. چگالی ظاهری (به‌طور میانگین ۱/۵۳) هر یک از نمونه‌های خاک بعد از پایان این مرحله با سه تکرار از روشSand Bottle و در همان عمق اندازه‌گیری شد تا برای تبدیل رطوبت وزنی به رطوبت حجمی مورد استفاده قرار گیرد. محلول‌پاشی روی در دو سطح (کاربرد و عدم کاربرد) از منبع نانواکسیدروی به مقدار ۱۰ گرم در لیتر، در ۲ مرحله، ۱۰ روز قبل از اعمال تنش و ۱۰ روز پس از اعمال تنش انجام گردید.

سنجش سطح برگ و وزن خشک:

جهت اندازه‌گیری سطح برگ تعداد ۱۰ گیاه انتخاب و سپس با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ مدل (Delta- T Devices ساخت کشور انگلستان) اندازه‌گیری شد. همچنین، وزن خشک گیاهان با استفاده از آون و در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت و با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین گردید.

سنجش کلروفیل، کاروتنویید و آنتوسیانین: کلروفیل (a و b)، کاروتنوئید و آنتوسیانین در برگ‌ها و لپه‌ها وجود دارند. ۰/۲ گرم از بافت زنده (لپه یا برگ منجمد شده) در نیتروژن مایع قرار داده و پودر گردید (یا در هاون چینی ساییده می‌شود). سپس به نمونه پودر شده ۲ میلی‌لیتر از بافر اضافه نموده و به مدت ۳ دقیقه با دور ۱۲۰۰۰ سانتریفیوژ شد. پس از آن یک میلی‌لیتر از سوپرنانت حاصله را (مایع شفافی که پس از سانتریفیوژ در سطح فوقانی محلول حاصل می‌شود) برداشته و به‌وسیله بافر حجم آن به ۳ میلی‌لیتر رسانده شد. اندازه‌گیری به‌وسیله اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۴۷۰، ۵۳۷، ۶۴۷ و ۶۶۳ نانومتر انجام گرفت (Modares Sanavi *et al.*, 2016). در این اندازه‌گیری از کووت یک سانتی‌متری استفاده شد. اعداد حاصل‌شده از اسپکتروفتومتر با استفاده از روابط ذیل به مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنویید و آنتوسیانین تبدیل گردید.

رابطه ۱:

$$Anthosyanin= 0.08172A_{537}-0.00697A_{647}-0.00222A_{663}$$

رابطه ۲:

$$Chla=0.01373A_{663}-0.000897A_{537}-0.003046A_{647}$$

رابطه ۳:

$$Chlb=0.02405A_{647}-0.004305A_{537}-0.005507A_{663}$$

رابطه ۴:

$$carotenoid = \frac{(A_{\cdots}-(\cdots(chl_a+chl_b)-\cdots\times Anthocyanin))}{\cdots}$$

در این روابط AX مقدار جذب عصاره در کووت به طول یک سانتی‌متر در طول موج X است (Modares Sanavi et *al.*, 2016).

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۳ تجزیه شدند. قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، آزمون نرمالیته انجام و پس از اطمینان از توزیع نرمال باقیمانده‌ها، تجزیه واریانس از طریق مدل خطی عمومی (GLM) انجـام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

سطح برگ: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که سطح برگ در سطح احتمال پنج درصد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر توده قرار گرفت. همچنین، در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر محلول‌پاشی و تنش کم‌آبی قرار گرفت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین سطح برگ (۵۸۳/۹۲ سانتی‌متر مربع) مربوط به توده سرباز در آبیاری شاهد (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۲۰٪ آب قابل استفاده خاک) بود که با توده سراوان در کم‌آبیاری متوسط (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۴۰٪ آب قابل استفاده خاک) تفاوت آماری معنی‌داری نداشت. کمترین سطح برگ (۲۴۵/۸۸ سانتی‌متر مربع) مربوط به توده خاش در کم‌آبیاری شدید (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۶۰٪ آب قابل استفاده خاک) بود که با بقیه توده‌ها در همین سطح آبیاری از نظر آماری مشابه بود. توده‌های سرباز، خاش، فنوج در کم‌آبیاری متوسط و سراوان و خاش و فنوج در آبیاری مطلوب، سطح برگ یکسانی به لحاظ آماری داشتند. سطح برگ مشابهی در توده سراوان با کم‌آبیاری متوسط (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۴۰٪ آب قابل استفاده خاک) و فنوج در آبیاری شاهد مشاهده شد (شکل۱- الف). همچنین، بیشترین سطح برگ در آبیاری مطلوب همراه با محلول‌پاشی نانواکسیدروی (۶۰۶/۸۴ سانتی‌متر مربع) و کمترین آن در تیمار تنش کم‌آبی شدید (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۶۰٪ آب قابل استفاده خاک) بدون محلول‌پاشی نانواکسیدروی (۲۴۱/۶۹ سانتی‌متر مربع) حاصل گردید. سطح برگ در آبیاری مطلوب و کم‌آبیاری متوسط (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۴۰٪ آب قابل استفاده خاک) بدون استفاده از نانواکسیدروی از نظر آماری برابر بود (شکل ۱- ب). یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش آماس و در نتیجه کاهش تقسیم و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها است و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاهان را می‌توان از اندازه کوچک‌تر برگ‌ها یا ارتفاع گیاه تشخیص داد (Salahvarzi *et al.*, 2008). کاهش تقسیم سلولی در اثر افزایش مقدار اسید آبسیزیک، تأمین نشدن آسیمیلات مورد نیاز برای رشد برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز از مهم‌ترین علل احتمالی کاهش سطح برگ بر اثر تنش کم‌آبی ذکر شده است (Tesfaye *et al.*, 2006). مقدار سطح برگ در تیمار شاهد (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۲۰٪ آب قابل استفاده خاک) همراه با کاربرد نانواکسید روی (۶۰/۱۷ درصد) بیشتر از تیمار کم آبیاری شدید و بدون کاربرد نانواکسید روی بود (شکل ۱). کاربرد نانو اکسید روی سبب بهبود رشد اندام هوایی در نخود گردید (Burman *et al.*, 2013). محلول پاشی روی سبب افزایش رشد اندام هوایی و ریشه گردید (Prasad *et al.*, 2012).

وزن خشک گیاه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که وزن خشک گیاه در سطح احتمال یک درصد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر توده و تنش کم‌آبی قرار گرفت. همچنین، اثر

متقابل توده× تنش کم‌آبی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین وزن خشک گیاه (۱/۷۶ گرم) مربوط به توده سرباز و آبیاری مطلوب و کمترین وزن خشک گیاه (۰/۶۳ گرم) مربوط به توده فنوج و تنش کم‌آبی شدید (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۶۰٪ آب قابل استفاده خاک) بود که با همین توده در کم‌آبیاری متوسط (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۴۰٪ آب قابل استفاده خاک) تفاوت آماری معنی‌داری نداشت (شکل ۲). توده‌های سراوان و خاش در کم‌آبیاری شدید و فنوج در آبیاری مطلوب و کم‌آبیاری متوسط، وزن خشک یکسانی به لحاظ آماری داشتند. همچنین، توده‌های سراوان و خاش در کم‌آبیاری شدید و سراوان در کم‌آبیاری متوسط و فنوج در آبیاری مطلوب دارای وزن خشک بوته یکسانی از نظر آماری بودند. وزن خشک گیاه در توده‌های سراوان و خاش در کم‌آبیاری متوسط و سراوان در آبیاری مطلوب تفاوت آماری معنی‌داری نداشت. از لحاظ آماری وزن خشک گیاه در توده سروان با کم‌آبیاری شدید و متوسط و خاش در کم‌آبیاری متوسط یکسان بود. اختلاف آماری معنی‌داری بین توده‌های سرباز در کم‌آبیاری شدید و متوسط و سراوان و خاش در آبیاری مطلوب مشاهده نشد. در شرایط تنش، کاهش ماده خشک می‌تواند به دلیل فشار آماس سلول ناشی از کاهش سطح برگ گیاه باشد (Lawlor and Cornic, 2002). بدین معنی که تنش آبی باعث کاهش آماس سلولی و به نوبه خود سبب کند شدن روند فعالیت‌های سلولی گشته و مواد لازم نمی‌تواند در قسمت‌های مختلف سلول از جمله واکوئل ذخیره شود و به همین علت ماده خشک برگ کاهش می‌یابد. پژوهشگران با بررسی اثر تنش کم‌آبی بر عملکرد پیکره رویشی و اسانس گیاه مرزه به این نتیجه رسیدند که وزن تر و وزن خشک کل گیاه تحت تنش کاهش یافت (Bahernik *et al*.,2003). کاهش معنی‌دار ماده خشک در اثر افزایش تنش کم‌آبی، دلالت بر تحت تأثیر قرار گرفتن ریشه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای گیاه در اثر این پدیده محیطی دارد. در واقع با پیشرفت تنش کم‌آبی همچنان که فتوسنتز برگ کاهش پیدا می‌کند، نیاز قندی برای تنظیم اسمزی در گیاهان زیاد شده و به دنبال آن رشد ریشه به‌طور اجتناب‌ناپذیری متوقف می‌گردد (Mokhtari and Bradaran, 2011). عنصر روی با بهبود فتوسنتز گیاه موجب افزایش اسیمیلاسیون کربن شده و از این طریق سبب افزایش ماده خشک می گردد (Khursheed *et al.*, 2018).

کلروفیل a: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر توده، محلول‌پاشی و رژیم‌های آبیاری قرار گرفت. همچنین، اثر متقابل دوجانبه توده×محلول‌پاشی و اثر متقابل توده×رژیم‌های آبیاری و اثر متقابل محلول‌پاشی×رژیم‌های آبیاری و اثر متقابل سه‌جانبه توده×محلول‌پاشی×رژیم‌های آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین مقدار کلروفیل a (۲/۵۵ میکرومول بر گرم) مربوط به توده خاش و آبیاری شاهد (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۲۰٪ آب قابل استفاده خاک) و محلول‌پاشی نانواکسیدروی بود که تفاوت آماری معنی‌داری با توده‌های فنوج (۲/۴۷ میکرومول بر گرم) و سراوان (۲/۴۸میکرومول بر گرم) همراه با کاربرد نانواکسیدروی در همین سطح آبیاری و توده‌های سرباز (۲/۲ میکرومول بر

گرم) و فنوج (۲/۴۷ میکرومول بر گرم) بدون استفاده از نانواکسیدروی و توده خاش (۲/۴۸ میکرومول بر گرم) همراه با نانواکسیدروی در کم‌آبیاری متوسط (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۴۰٪ آب قابل استفاده خاک) نداشت (شکل ۳). همچنین، کمترین مقدار کلروفیل a (۱/۶۹ میکرومول بر گرم) در توده خاش با تنش کم‌آبیاری شدید (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۶۰٪ آب قابل استفاده خاک) بدون محلول‌پاشی نانواکسیدروی حاصل گردید که با توده فنوج (۱/۷۵ میکرومول بر گرم) با عدم کاربرد نانواکسید روی در همین سطح تنش تفاوت آماری معنی‌داری نداشت (شکل۳). کاربرد نانو ذرات روی سبب افزایش غلظت کلروفیل a در بادام‌زمینی گردید (Prasad *et al.*, 2012). محلول پاشی نانواکسید روی سبب افزایش شاخص کلروفیل در شرایط تنش خشکی در گندم گردید (Sadati *et al.*, 2020).

کلروفیل b: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر توده و محلول‌پاشی و تنش کم‌آبی قرار گرفت. همچنین اثر متقابل محلول‌پاشی× تنش کم‌آبی و اثر متقابل سه‌جانبه توده× محلول‌پاشی× تنش کم‌آبی در سطح احتمال یک درصد بر کلروفیل b معنی‌دار شد (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین مقدار کلروفیل b مربوط به توده فنوج (۱/۲۶ میکرومول بر گرم) در آبیاری شاهد (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۲۰٪ آب قابل استفاده خاک) و محلول‌پاشی نانواکسیدروی بود که با توده‌های خاش (۱/۲۱ میکرومول بر گرم) و سرباز (۱/۲۰ میکرومول بر گرم) با محلول‌پاشی نانواکسیدروی و فنوج (۱/۲۲ میکرومول بر گرم) بدون کاربرد نانواکسیدروی در همین رژیم‌آبیاری و همچنین با توده فنوج (۱/۲۳ میکرومول بر گرم) و خاش (۱/۱۸ میکرومول بر گرم) با مصرف نانواکسیدروی در کم‌آبیاری متوسط (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۴۰٪ آب قابل استفاده خاک) و توده فنوج (۱/۲۰ میکرومول بر گرم) با کاربرد نانواکسیدروی در کم‌آبیاری شدید تفاوت آماری معنی‌داری نداشت (شکل ۴). همچنین، کمترین مقدار کلروفیل b مربوط به توده خاش (۰/۶۲ میکرومول بر گرم) در رژیم کم‌آبیاری شدید (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۶۰٪ آب قابل استفاده خاک) و بدون محلول‌پاشی نانو اکسید روی بود که با محتوای کلروفیل b در توده‌های فنوج (۰/۶۴ میکرومول بر گرم) و سراوان (۰/۶۶ میکرومول بر گرم) از نظر آماری مشابهت داشت (شکل۴). نتایج تحقیقات پژوهشگران در بررسی اثر تنش کم‌آبی بر مقدار کلروفیل a و b گیاه کاسنی نشان داد که با افزایش سطوح تنش کم‌آبی از مقدار کلروفیل a و b در برگ‌ها کاسته شد (Jazizadeh and Mortezainejad, 2016). محققین دریافتند که تنش کم‌آبی غلظت کلروفیل b را نسبت به کلروفیل a بیشتر کاهش داده است (Idhan *et al.*, 2018). تخریب کلروفیل‌ها در اثر تنش کم‌آبی به علت افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول است که این رادیکال‌ها سبب پراکسیداسیون و تجزیه این رنگ‌دانه‌ها می‌شوند (Schutz and Fangmier, 2001). کاربرد نانو ذرات اکسید روی سبب افزایش کلروفیل a و b در گندم گردید (Adrees *et al.*, 2021). همچنین، تحقیقات نشان داد که کاربرد نانو اکسید روی سبب افزایش رنگیزه‌های کلروفیل گردید (Abdel Latef *et al.*, 2016).

آنتوسیانین: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که آنتوسیانین در سطح احتمال یک درصد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر توده، محلول‌پاشی و در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری قرار گرفت. همچنین، اثر متقابل محلول‌پاشی×رژیم‌های آبیاری و اثر متقابل سه‌جانبه توده×محلول‌پاشی×رژیم‌های آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر محتوی آنتوسیانین برگ معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، توده سرباز بیشترین مقدار آنتوسیانین (۰/۳ میکرومول بر گرم) را در تیمار کم‌آبیاری شدید (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۶۰٪ آب قابل استفاده خاک) و عدم محلول‌پاشی نانواکسیدروی به خود اختصاص داد که تفاوت معنی‌داری با توده سراوان (۰/۲۹۸ میکرومول بر گرم) در همین سطح تنش کم‌آبیاری نداشت (شکل ۵). همچنین، کمترین مقدار آنتوسیانین (۰/۱۴۶ میکرو مول بر گرم) مربوط به توده فنوج در تیمار کم‌آبی شدید (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۶۰٪ آب قابل استفاده خاک) همراه با محلول‌پاشی نانواکسیدروی بود که با توده‌های خاش (۰/۱۵۱ میکرومول بر گرم) و سراوان (۰/۱۷ میکرومول بر گرم) در همین سطح تنش و محلول‌پاشی، توده فنوج (۰/۱۶۹ میکومول بر گرم) در کم‌آبیاری متوسط (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۴۰٪ آب قابل استفاده خاک) با کاربرد نانواکسیدروی و خاش (۰/۱۶۳ میکرومول بر گرم) و فنوج (۰/۱۶ میکرومول بر گرم) در آبیاری شاهد (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۲۰٪ آب قابل استفاده خاک) و عدم کاربرد نانواکسید روی تفاوت آماری معنی‌داری نداشت (شکل ۵). نتایج تحقیقات پژوهشگران در بررسی اثر تنش کم‌آبی بر مقدار آنتوسیانین در گیاه کاسنی نشان داد که با افزایش سطوح تنش کم‌آبی بر مقدار آنتوسیانین افزوده شد (Jazizadeh and Mortezainejad, 2016). به عبارتی کاهش محتوای آب خاک در سطوح مختلف باعث افزایش مقدار آنتوسیانین گردید. افزایش در مقدار آنتوسیانین همراه با کمبود آب احتمالاً می‌تواند به دلیل اثرات مثبت آنتوسیانین بر حذف رادیکال‌های آزاد باشد. بدین مفهوم که در شرایط تنش در گیاه برخی از ترکیبات مانند متابولیت‌های ثانویه، آنتی‌اکسیدان‌ها و آنتوسیانین به مقدار قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند این افزایش به دلیل نقش حفاظت نوری آنتوسیانین به‌وسیله حذف مستقیم رادیکال‌های آزاد در طول تنش است. نظر بر این است که تولید متابولیت‌های ثانویه برای سازگاری گیاه نسبت به عوامل نامساعد و تنش‌های محیطی صورت گرفته و به‌منزله به کار افتادن یک نوع جریان دفاعی در جهت استمرار تعادل فعالیت‌های حیاتی به‌حساب می‌آید (Kruk *et al*., 2005). افزایش آنتوسیانین طی تنش در برگ گیاه *Craterostigma* توسط محققین گزارش شده که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Hoekstra *et al*., 2001). نتایج نشان‌دهنده افزایش مسیر اصلی فلاوونویید است که منجر به تولید آنتوسیانین می‌شود. آنها به عنوان ترکیبات فعال فیزیولوژیکی، عوامل محافظت‌کننده در مقابل تنش و به‌عنوان جذب کننده‌ها نقش مهمی در مقاومت گیاهان دارند (Tattini *et al*., 2004). افزایش روی میزان آنتوسیانین‌ها را افزایش داده و این ترکیبات به عنوان سیستم محافظتی گیاه در برابر تنش اکسیداتیو از افزایش پراکسیداسیون لیپیدها جلوگیری می‌کنند (Dehabadi and Asrar, 2010).

کاروتنوئید: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر محلول‌پاشی و تنش کم‌آبی قرار گرفت. همچنین، اثر متقابل محلول‌پاشی× تنش کم‌آبی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین مقدار کاروتنوئید (۱/۶۳میکرو مول بر گرم) مربوط به تیمار تنش کم‌آبی شدید (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۶۰٪ آب قابل استفاده خاک) و عدم محلول‌پاشی نانو اکسید روی بود (شکل ۶). همچنین، کمترین مقدار کاروتنوئید (۰/۹۲ میکرو مول بر گرم) مربوط به تیمار آبیاری شاهد (آبیاری تا حد ظرفیت زراعی بعد از تخلیه ۲۰٪ آب قابل استفاده خاک) و عدم محلول‌پاشی نانواکسید روی بود (شکل ۶). کاروتنوئیدها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی از طریق خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد فرآیند اکسیداسیون را متوقف می‌کنند و نقش مهمی در تعدیل اثرات سوء تنش در برگ‌ها دارند (Mittler, 2004). پژوهشگران گزارش دادند که با افزایش سطوح تنش کم‌آبی بر مقدار کاروتنوئید برگ افزوده شد (Jazizadeh and Mortezainejad, 2016). کاروتنوئیدها ترکیبات تتراترپنی می‌باشند که به‌عنوان حامی رنگیزه‌های فتوسنتزی و غیرفتوسنتزی شناخته شده‌اند که می‌توانند انرژی اضافی طول موج‌های کوتاه را بگیرند و اکسیژن یکتایی را به اکسیژن سه‌تایی تبدیل کرده و با گرفتن رادیکال‌های اکسیژن تولید شده نقش آنتی‌اکسیدانی خود را بروز دهند (Inze and Montagu, 2000). در تنش‌های شدید، مقدار کاروتنوئید به‌عنوان حمایت کننده‌ی کلروفیل‌ها در برابر اکسیداسیون نوری افزایش می‌یابد تا مانع تخریب بیشتر کلروفیل‌ها گردد (Mohammadkhani and Heidari, 2007). محلول‌پاشی نانو اکسید روی سبب افزایش کاروتنوئیدها در شرایط تنش خشکی در گندم گردید (Sadati *et al*., 2020).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج پژوهش مشخص شد بیشترین مقادیر صفات سطح برگ و وزن خشک در آبیاری مطلوب همراه با محلول‌پاشی نانو اکسید روی و کمترین مقادیر این صفات در تنش کم آبی شدید و عدم محلول‌پاشی نانو اکسید روی حاصل گردید.

بیشترین مقادیر صفات کلروفیل a، b و آنتوسیانین در تیمار تنش کم‌آبی شدید و عدم محلول‌پاشی نانو اکسید روی و کمترین مقادیر این صفات در تیمار آبیاری شاهد و محلول‌پاشی نانو اکسید روی بود. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که محلول‌پاشی نانو اکسید روی سبب بهبود صفات مرفو فیزیولوژیکی در گیاه گردیده و تا حدی اثرات خسارت‌زای تنش خشکی را بهبود داده است.

جدول ۱- میانگین مربعات صفات مختلف توده های پنیرباد تحت تاثیر رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی نانواکسیدروی

Table 1- Mean square for different traits of W.*coagulans* landraces under the effect of irrigation regimes and foliar application of zinc oxide nano particles

منبع تغییرات S.O.V.		درجه آزادی df	سطح برگ Leaf area	وزن خشک Dry matter
توده	Landrace (L)	3	28.14372*	1.5373**
محلول‌پاشی	Spray (S)	1	38.250824**	0.0005^{ns}
رژیم‌های آبیاری	Irrigation regimes (I)	2	09.376489**	**0.7449
توده×محلول‌پاشی	(S×L)	3	65.1714^{ns}	0.0239^{ns}
توده×رژیم‌های آبیاری	(I×L)	6	05.12422*	0.0600*
محلول‌پاشی×رژیم‌های آبیاری	(I×S)	2	32.39209**	0.0481^{ns}
توده×محلول‌پاشی×رژیم‌های آبیاری	(I×S×L)	6	72.3579^{ns}	0.0157^{ns}
خطا	Error	48	62.5134	0.0215
ضریب تغییرات	(C.V.) ٪		08.17	14.32

ns، * و ** به‌ترتیب نشانه عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

ns,* and ** = not significant, significant at probability level of 0.05 and 0.01, respectively.

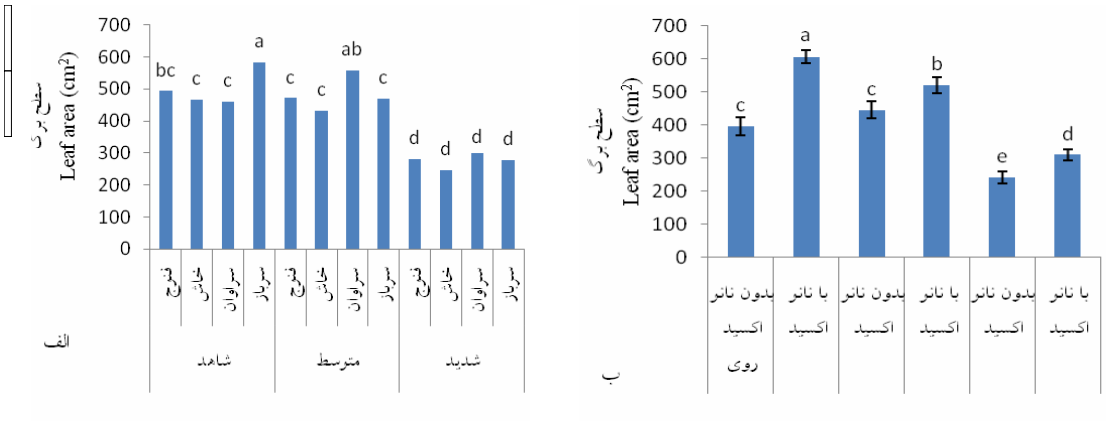
جدول ۲- میانگین مربعات صفات مختلف توده های پنیرباد تحت تاثیر تنش کم آبی و محلول‌پاشی نانو اکسید روی

Table 2- Mean square of different traits of w.*coagulans* under the affect of water deficit stress and foliar application of zinc oxide nano particles

منبع تغییرات S.O.V.		درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	آنتوسیانین Anthocyanin	کاروتنوئید Carotenoid
توده	Landrace (L)	3	0.033**	0.076**	0.0114	0.04^{ns}
محلول‌پاشی	Spray (S)	1	0.919**	1.006**	0.0041**	1.04**
رژیم‌های آبیاری	Irrigation regimes (I)	2	0.992**	0.434**	0.0013*	0.76
توده×محلول‌پاشی	(S×L)	3	0.029**	0.009^{ns}	0.0002^{ns}	0.02^{ns}
توده×رژیم‌های آبیاری	(I×L)	6	0.023**	0.009^{ns}	0.0007^{ns}	0.01^{ns}
محلول‌پاشی×رژیم‌های آبیاری	(I×S)	2	0.392**	0.174**	0.0270**	0.90**
توده×محلول‌پاشی×رژیم‌های آبیاری	(I×S×L)	6	0.028**	0.016**	0.0012**	0.01^{ns}
خطا	Error	48	0.004	0.005	0.0003	0.02
ضریب تغییرات	(C.V.) ٪		2.728	6.848	9.0877	5.73

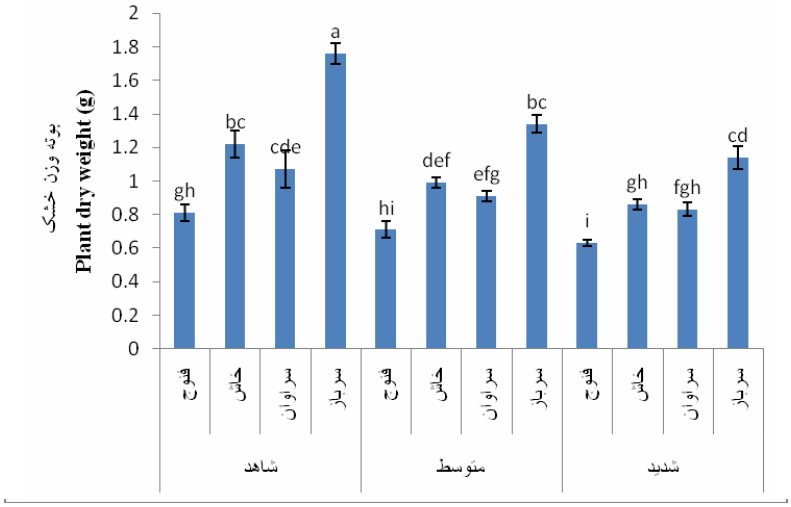
ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and ** are non-significant and significant at the 5 and 1% probability level respectively.



شکل ۱- مقایسه میانگین‌های ترکیب تیماری رژیم‌های آبیاری و توده (الف)، رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی نانواکسیدروی (ب) بر سطح برگ

Figure 1- Mean comparison the interaction of irrigation regimes and landrace (a), irrigation regimes and foliar application of zinc oxide nano particles (b) on leaf area

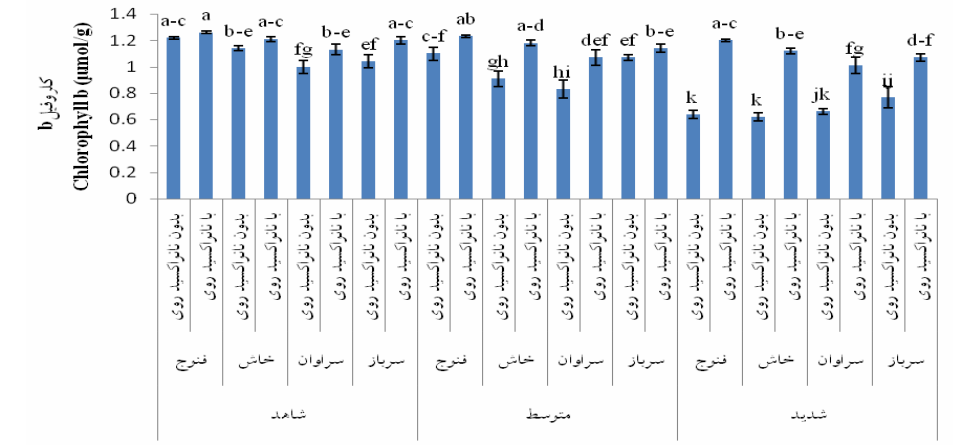


شکل ۲- مقایسه میانگین ترکیب تیماری رژیم‌های آبیاری و توده بر وزن خشک بوته

Figure 2- Mean comparison the interaction of water deficit stress and landrace on plant dry weight

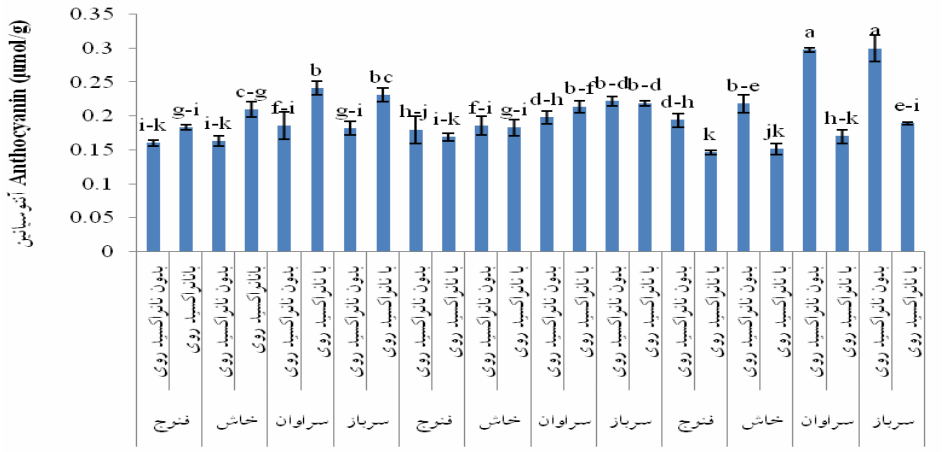
شکل ۳- مقایسه میانگین ترکیب تیماری رژیم‌های آبیاری، توده و محلول‌پاشی نانواکسیدروی بر کلروفیل a

Figure 3- Mean Comparison for interaction of irrigation regimes, landrace and foliar application of zinc oxide nano particles on chlorophyll a



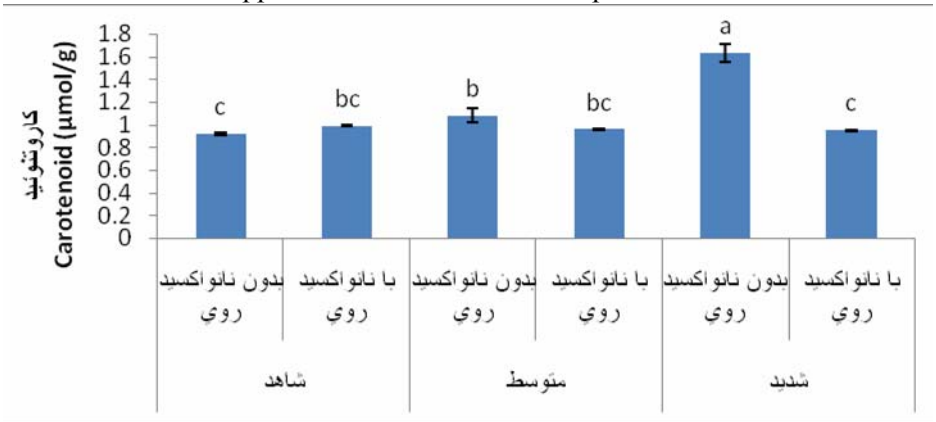
شکل ۴- مقایسه میانگین ترکیب تیماری رژیم‌های آبیاری، توده و محلول‌پاشی نانواکسیدروی بر کلروفیل b

Figure 4- Mean comparison for interaction of irrigation regimes, landrace foliar application of zinc oxide nano particles on chlorophyll b



شکل ۵- مقایسه میانگین ترکیب تیماری تنش کم آبی، توده و محلول پاشی نانو اکسید روی بر آنتوسیانین

Figure 5- Mean comparison the interaction of water deficit stress, landrace and foliar application of zinc oxide nano particles



شکل۶- مقایسه میانگین ترکیب تیماری تنش کم آبی و محلول پاشی نانو اکسید روی بر کاروتنوئید

Figure 6- Mean comparison the interaction of water deficit stress foliar application of zinc oxide nano particles on carotenoid

References منابع مورد استفاده

- Abdel Latef, A.A.H., M.F. Abu Alhmad, and K.E. Abdelfattah. 2016. The possible roles of priming with ZnO nanoparticles in mitigation of salinity stress in lupine (*Lupinus termis*) plants. *Journal of Plant Growth Regulation*. 36(1): 60–70.
- Adrees, M., Z.S. Khan, M. Hafeez, M. Rizwan, K. Hussain, and M. Asrar. 2021. Foliar exposure of zinc oxide nanoparticles improved the growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) and decreased cadmium concentration in grains under simultaneous Cd and water deficient stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 208 (11): 1627.
- Aliu, S., I. Rusinovci, S. Fetahu, B. Gashi, E. Simeonovska, and L. Rozman. 2015. The effect of salt stress on the germination of maize (*Zea mays* L.) seeds and photosynthetic pigments. *Acta Agriculturae Slovenica.* 105: 85-94.
- Bahernik, Z., M.B. Rezaei, M. Ghorbani, F. Asgari, and M.K. Araghi. 2003. Study of metabolic changes resulting from drought stresses in *Satureja hortensis*. *Research of Medicinal and Aromatic Plants of Iran.* 20: 275-263 (In Persian).
- Baybordi, A., and G. Mamedov. 2010. Evaluation of application methods for efficiency of zinc and iron for Canola (*Brssica napus* L.). *Notulae Scientia Biologicae*. 2(1): 94-103.
- Burman, U., M. Saini, and P. Kumar. 2013. Effect of zinc oxide nanoparticles on growth and antioxidant system of chickpea seedlings. *Toxicological and Environmental Chemistry*. 95(4): 605-612.
- Dargahi, M., R. Sadrabadi Haghighi, and K. Klarstaghi Bakhsh. 2014. The effect of zinc chelate foliar application on yield and yield components of wheat cultivars. *Journal of Crop Ecophysiology.* 8 (2): 137-148.
- Dehabdai, S.Z., and Z. Asrar. 2010. Investigation of the effect of excess zinc on induction of oxidative stress and accumulation of some elements in peppermint. *Iranian Journal of Biology*. 2 (22): 218-228. (In Persian).
- Dhar, R., V. Verma, K. Suri, R. Sangwan, N. Satti, A. Kumar, R. Tuli, and G. Qazi. 2006. Phytochemical and genetic analysis in selected chemotypes of *Withania somnifera*. Phytochemistry. 67: 2269–2276.
- Gupta, P. 2012. *Withania coagulans*, an overview. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*. 12(2): 68-71.
- Hoekstra, F.A., E.A. Golovina, and J. Buitink. 2001. Mechanisms of plant desiccation tolerance. *Trends in Plant Science*. 6: 431-438.
- Hosseinzadeh, S.R., H. Amiri, and A. Ismaili. 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica.* 54(1): 87-92.
- Idhan, A. S., N. Noerfitryani, M. Reta, and M. Kadir. 2018. Paddy chlorophyll concentrations in drought stress condition and endophytic fungi application. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 156: 012040. doi:10.1088/1755-1315/156/1/012040
- Inze, D., and M.V. Montagu. 2000. Oxidative stress in plants. doi:10.1201/b12593

- Jazizadeh, A., and F. Mortezainejad. 2016. Effects of drought stress on physiological and morphological characteristics of chicory plant for introduction in urban green space. *Plant Process and Function*. 6(21): 290-279. (In Persian).
- Karami, S., S.A.M. Modarres-Sanavy, S. Ghanehpour, and H. Keshavarz. 2016. Effect of foliar zinc application on yield and, physiological traits and seed vigor of two soybean cultivars under water deficit. *Notulae Scientia Biologicae*. 8(2): 181-191.
- Khursheed, M.Q., Z.R. Salih, and T.Z. Saber. 2018. Response of barely (*Hordeum vulgare* L.) plants to foliar fertilizer with different concentration of hogland solution. *Rafidain Journal of Science.* 27(2): 1-7.
- Kirigwi, F.M., M. van Ginkel, R. Trethowan, R.G. Seaes, S. Rajaram, and G.M. Paulsen. 2004. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. *Euphytica*. 135: 361-371.
- Kruk, I., E. Aboul, H.Y. Enein, T. Michalska, K. Lichszteld, and A. Kladna. 2005. Scavenging of reactive oxygen species by the plant phenols *genistein* and *oleuropein*. *Lumineseence.* 20: 81-89.
- Lawlor, D.W., and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*. 25: 275–294.
- Mirjalili, M.H., E. Moyano, M. Bonfill, R.M. Cusido, and J. Palazon. 2011. Overexpression of the *Arabidopsis thaliana*squalene synthase gene in *Withania coagulans* hairy root cultures. *Biologia Plantarum*. 55(2): 357-360.
- Mittler, R. 2004. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*. 7: 405-410.
- ModaresSanavi, S.A.M., M. Panahi, and A. KhatamianOskooi. 2016. New laboratory techniques in agricultural sciences. Jihad Daneshgahi Publications. 196 p. (In Persian).
- Mohammadkhani, N., and R. Heidari. 2007. Effects of water stress on respiration, photosynthetic pigments and water content in tow maize cultivar. *Pakistan Journal Biological Science*. 10: 4022-4028.
- Mokhtari, A., and R. Bradaran. 2011. Effect of drought stress on some growth characteristics of sage (*Satureja hortensis*). Regional Conference on Plant Ecophysiology, Shushtar, Iran. (In Persian).
- Monica, R.C., and R. Cremonini. 2009. Nanoparticles and higher plants. *Caryologia*. 62: 161-165.
- Narimani, H., R. SeyedSharifi, R. Khalilzadeh, and Gh. Aminzadeh. 2018. Effects of nano particles iron oxide on yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under rain fed and supplementary irrigation conditions. *Iranian Journal of Plant Biology.* 10(3): 21-40. (In Persian).
- Omidbeigi, R. 2006. Production and processing of medicinal plants. Behnashr Publications, Mashhad, Iran. (In Persian).

- Prasad, T.N., P. Sudhakar, Y. Sreenivasulu, P. Latha,V. Munaswamy, K.R. Reddy, T.S. Sreeprasad, P.R. Sajanlal, and T. Pradeep. 2012. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition*. 35 (6): 905–927.
- Sadati, S.Y.R., S.J.G., Kahriz, A. Ebadi, and M. Sedghi. 2020. The effect of nano-zinc foliar application on yield and some physiological traits of wheat under drought stress. *Crop Physiology Journal*. 12 (46): 45-64. (In Persian).
- Salahvarzi, Y., A. Tehranifar, and A. Gazanchian. 2008. Investigation of green physiomorphological changes of endemic and exotic Turfgrasses in drought stress and re-irrigation. *Iranian Horticultural Sciences and Techniques*. 9: 204-193. (In Persian).
- Schutz, H., and E. Fangmier. 2001. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO_2 and water limitation. *Environmental Pollution.* 114: 187-194.
- Shelef, O., P.J. Weisberg, and F.D. Provenza. 2017. The value of native plants and local production in an era of global agriculture. *Frontiers in Plant Science.* 8. doi:10.3389/fpls.2017.02069
- Sidhu, O.P., S. Annarao, S. Chatterjee, R. Tuli, R. Roy, and C.L. Khetrapal. 2010. Metabolic alterations of *Withania somnifera* (L.) dunal fruits at different developmental stages by NMR spectroscopy. *Phytochemical Analysis.* 22(6):492-502.
- Tattini, M., C. Galardi, P. Pinelli, R. Massai, D. Remorini, and G. Agati. 2004. Differential accumulation of flavonoids and hydroxycinnamates in leaves of *Ligustrum vulgare* under excess light and drought stress. *New Phytologist*. 163: 547-561.
- Tesfye, K., S. Walke, and M. Tsubo. 2006. Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in semi-arid conditions. *European Journal of Agronomy*. 25: 60-70.
- Wang, X., X. CAI, C. Xu, Q. Wang, and S. Dai. 2016. Drought-responsive mechanisms in plant leaves revealed by proteomics. *International Journal of Molecular Sciences.* 17: 1-30.

Research Article DOI: 10.30495/JCEP.2022.1913989.1731

The Effect of Water Deficit Stress and Foliar Application of Zinc Oxide Nano Particles on Morphophysiological Characteristics of Landraces *Withania coagulans* L.

Mehdi Seyedi [1], Seyed Amir Abbas Mousavi Mirkalaei[2*] and Hossein Zahedi[1]

Received: November 2020 , Revised: 14 May 2021, Accepted: 16 May 2021

Abstract

In order to evaluate the effect of water deficit stress and foliar application of zinc oxide nano particles on morphophysiological characteristics in *Withania coagulans* L. landraces, a factorial experiment in a completely randomized design with 3 replications was setup. The experiment included various irrigation regimes (control), (medium stress), (severe stress), four landraces (Fanuj, Khash, Saravan and Sarbaz), with and without foliar application of zinc oxide nano particles. The experiment was conducted in green house of the faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, during 2018-2019. The highest leaf area (538.92 cm^2) was related to Sarbaz in control irrigation and the lowest leaf area (245.88 cm^2) was related to Khash in severe water deficit stress. Based on the comparison results, the mean of maximum plant dry weight (1.76 g) was related to Sarbaz and control irrigation and the lowest plant dry weight (0.63 g) was related to Fanuj and severe water deficit stress. Also, the highest amount of chlorophyll a (2.55 $\mu mol.g^{-1}$) was related to Khash, control irrigation and foliar application of zinc oxide nano particles. The highest amount of chlorophyll b (1.26 $\mu mol.g^{-1}$) was related to Fanuj, control irrigation and foliar application of zinc oxide nano particles, which was not significantly different from other landraces. Also, the lowest amount of chlorophyll b (0.62 $\mu mol.g^{-1}$) was related to Khash, severe water deficit stress and without foliar application of zinc oxide nano particles. Sarbaz had the highest amount of anthocyanin (0.3 $\mu mol.g^{-1}$) in the treatment of severe water deficit stress and lack of foliar application of zinc oxide nano particles, which was not significantly different from Saravan. Also, the lowest amount of anthocyanin (0.146 $\mu mol.g^{-1}$) was related to Fanuj in the treatment of severe water deficit stress with foliar application of zinc oxide nano particles. Severe water deficit stress reduced the amount of traits tested. Also, the Sarbaz showed good tolerance to water deficit stress conditions compared to other landraces. The foliar application of zinc oxide nano particles also improved plant growth and increased some of the tested traits under stress conditions.

Key words: Anthocyanin, Chlorophyll, *Withania coagulans*, Water deficit, Zinc oxide nano particles.

1- Ph.D. Student in Agrotechnology, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran.
2- Assistant Professor, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran.
3- Assistant Professor, Eslamshahr Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
**Corresponding Author: a.amousavi2000@gmail.com*