

بررسی تأثیر محلول پاشی نانوکلات روی بر برخی پارامترهای فیزیولوژیک و عملکرد پروتئین و دانه سویا در تنش کم آبیاری

سیما جورابی^۱، حمیدرضا عیسوند^{۱*}، احمد اسماعیلی^۱ و علی حیدر نصرالهی^۲

^۱ گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، گروه مهندسی آبیاری، دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۱۰/۲۲)

چکیده

به منظور بررسی اثر نانوکلات روی بر پارامترهای فتوسنتزی، فعالیت آنزیم گلوتامین سینتتاز، پروتئین، عملکرد و اجزای عملکرد دانه سویا تحت تنش کم آبیاری، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. چهار سطح آبیاری (شامل آبیاری ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی) به عنوان فاکتور اصلی و محلول پاشی نانوکلات روی در دو سطح شاهد (آب مقطر) و محلول پاشی نانوکلات روی (حاوی ۲۰ درصد یون روی قابل جذب) به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که با کاهش آب مورد نیاز گیاه صفاتی نظیر سرعت فتوسنتز خالص، تعرق، هدایت روزنه‌ای، فعالیت گلوتامین سینتتاز، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه، عملکرد دانه، درصد پروتئین دانه و عملکرد پروتئین دانه سویا کاهش یافت. در مقابل غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای و شاخص سبزیگی برگ در شرایط تنش افزایش نشان داد. در شرایط نرمال رطوبتی (۱۰۰ رطوبت خاک) کاربرد نانوکلات روی تأثیری بر شاخص سبزیگی برگ، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و عملکرد پروتئین و دانه وجود نداشت. اما در شرایط تنش کم آبیاری، محلول پاشی نانوکلات روی به ترتیب سبب افزایش ۴/۲، ۱۳/۸، ۱۷/۳، ۴۵/۷ و ۳۹/۳ درصدی صفات مذکور شد. همچنین در شرایط تنش کم آبیاری محلول پاشی نانوکلات روی باعث کاهش غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای و هدایت روزنه‌ای برگ‌ها شد. به طور کلی، اثر محلول پاشی نانوکلات روی در تخفیف اثر تنش کم آبیاری و بهبود عملکرد سویا مثبت بود. بنابراین استفاده از آن ممکن است بتواند مقاومت گیاه را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: دانه در غلاف، تنش خشکی، شاخص سبزیگی برگ، مرحله زایشی، وزن صد دانه

مقدمه

محصولات غذایی جهت تغذیه انسان و دام از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (Liu and Li, 2010). تغییرات آب و هوایی در کنار افزایش روزافزون جمعیت جهان سبب کاهش منابع آب مورد نیاز کشاورزی شده است (Ghasemi-Golezani et al., 2015). هر ساله در سراسر جهان تنش خشکی ناشی از کمبود آب تأثیر منفی قابل توجهی بر

سویا از نظر تولید روغن خوراکی در جهان مقام اول را دارد (Liu and Li, 2010; Kobraee and Shamsi, 2013). براساس آمار سازمان خواروبار جهانی تولید دانه این گیاه در سال ۲۰۱۶ میلادی ۳۵۱/۳ میلیون تن بوده است (FAO, 2018). سویا به دلیل دارا بودن پروتئین و روغن غیراشباع زیاد در دانه در تولید

تولیدات کشاورزی دارد. در تنش خشکی فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم دچار اختلال می‌گردد و تنش خشکی با تأثیر بر میزان فتوسنتز جاری برگ و کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در نهایت باعث کاهش عملکرد می‌شود (Flowers et al., 2000). میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است. تداوم فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک مقاومت به تنش هستند (Bertolli et al., 2012). تنش خشکی با تولید گونه‌های اکسیژن فعال، کاهش تولید و افزایش تجزیه کلروفیل را در پی دارد (Sharifa and Muriefah, 2015). از دیگر شاخص‌های مقاومت گیاهان به تنش خشکی آنزیم گلوتامین سینتاز است. میزان فعالیت این آنزیم در فرایند متابولیسم نیتروژن در شرایط تنش می‌تواند در ایجاد مقاومت‌های ناشی از تأمین پروتئین‌های آنزیمی برگ نقش مؤثری داشته باشد (Nagy et al., 2013).

در تحقیقی Karymi و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که تنش خشکی سبب کاهش عملکرد، پروتئین محلول و محتوای کلروفیل برگ دو رقم سویا شد. یافته‌های کامروا و همکاران (۱۳۹۶) نیز نشان داد که تحت تأثیر تنش خشکی در مرحله زایشی محتوای کلروفیل ژنوتیپ‌های مختلف سویا به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. نتایج Shamsi و Kobraee (۲۰۱۳) در بررسی اثرات تنش کم‌آبی در مرحله زایشی سویا نشان‌دهنده اثر منفی تنش بر صفات مرتبط با عملکرد همچون تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و عملکرد دانه بود. یافته‌های دیگر نیز اثر منفی شدید کمبود آب در طی دوره گلدهی و پرشدن دانه بر عملکرد سویا را تأیید می‌نمایند (Ghasemi-Golezani et al., 2015; Bertolli et al., 2012; Manavalan et al., 2009).

در شرایط تنش کم‌آبی قابلیت انحلال و جذب عناصر غذایی توسط ریشه کاهش می‌یابد (کمایی و همکاران، ۱۳۹۷). از این رو، اکثر زمین‌های واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک علاوه بر کمبود آب از نظر باروری نیز در سطح پایینی قرار دارند (Mousavi et al., 2007). کاربرد عناصر غذایی بر مقاومت گیاهان در مقابل تنش خشکی می‌افزاید (Kobraee

برخلاف اثرات فیزیولوژیک متعدد روی در گیاهان، کمبود روی در سطح وسیعی از اراضی کشاورزی جهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک پدیده‌ای بسیار شایع است. یکی از دلایل عمده کمبود روی در خاک وجود آهن زیاد و pH بالای خاک است (رضائی چپانه و همکاران، ۱۳۹۶؛ کمایی و همکاران، ۱۳۹۷) که سبب کاهش قابلیت انحلال و فراهمی آن برای ریشه می‌شود (Mousavi et al., 2007). برای غلبه بر این مشکل محلول‌پاشی عنصر روی راهکار مطلوبی به‌شمار می‌آید. تماس مستقیم محلول با سطح برگ و مسیر کوتاه آن برای انتقال به مراکز فعال فتوسنتزی برگ و افزایش راندمان جذب از طریق برگ نسبت به ریشه سبب افزایش کاربرد روز افزون محلول‌پاشی عناصر غذایی شده است (Yassen et al., 2010). در این راستا مشاهدات کمایی و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد که محلول‌پاشی عنصر ریزمغذی روی سبب بهبود صفات شاخص سبزی‌نگی برگ، پایداری غشای سلول و عملکرد دانه گندم در شرایط تنش گرمای آخر فصل شد. نتایج Shaban و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان داد که محلول‌پاشی روی در شرایط تنش خشکی، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه، درصد پروتئین دانه و عملکرد پروتئین را در گیاه نخود افزایش داد.

امروزه با بهره‌گیری از فناوری نانو در طراحی و ساخت نانوکودها، فرصت‌های جدیدی به‌منظور افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و به‌حداقل رساندن هزینه‌های حفاظت از محیط زیست پیش روی انسان گشوده شده است (Pandey et al., 2010; Dimkpa et al., 2017).

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در موقعیت ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا ۱۱۴۸ متر در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل چهار سطح آبیاری ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه به عنوان فاکتور اصلی و محلول پاشی نانوکلات روی در دو سطح شاهد (آب مقطر) و محلول پاشی نانوکلات روی (نانوکلات روی حاوی ۲۰ درصد یون روی قابل جذب) به عنوان فاکتور فرعی بود. نیاز آبی گیاه بر اساس کمبود رطوبت خاک نسبت به نقطه ظرفیت زراعی محاسبه شد به این صورت که در هر آبیاری رطوبت خاک ناحیه ریشه گیاه روز قبل از آبیاری اندازه‌گیری شده و اختلاف آن با نقطه ظرفیت زراعی به عنوان نیاز خالص یا عمق خالص آبیاری برای تیمار بدون تنش آبی منظور گردید. پیش از کشت آنالیز خاک مزرعه پس از نمونه‌گیری از عمق صفر الی ۳۰ سانتی متری از سطح خاک انجام شد. بر اساس نتایج آزمون خاک بافت خاک رسی، اسیدیته خاک ۷/۸، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ۰/۵۵ دسی‌زیمنس بر سانتی متر، درصد مواد آلی ۱/۱ درصد و آهک آن ۱۶/۵ درصد بود. غلظت عناصر اندازه‌گیری شده خاک در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده و توصیه کودی آزمایشگاه خاکشناسی، از کود پوسیده گوسفندی به میزان ۵ تن در هکتار استفاده شد. با در نظر گرفتن تثبیت نیتروژن توسط گره‌ها، کود اوره (نیتروژن ۴۶ درصد) بر اساس توصیه آزمایشگاه خاکشناسی به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار پیش از کشت مصرف شد. همچنین ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ۲۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هر هکتار نیز همراه با عملیات آماده‌سازی زمین به خاک اضافه شد. هر واحد آزمایشی به مساحت ۱۵ متر مربع (۳ × ۵) و شامل پنج جویچه به طول ۵ متر بود. فاصله بین کرت‌های اصلی و فرعی به ترتیب ۳ و ۱/۵ متر و فاصله بین بلوک‌ها ۵ متر در نظر گرفته شد. فاصله

ویژه ناشی از اندازه خود باعث تغییرات مورفولوژیک و فیزیولوژیک بسیاری در گیاهان می‌شوند. کارایی نانوذرات توسط ترکیب شیمیایی، اندازه، سطح، واکنش پذیری و غلظت مصرفی تعیین می‌گردد و تأثیرات آنها نیز وابسته به شاخصه‌های یاد شده است (Khodakovskaya et al., 2012; Garcia-Gomez et al., 2017). در چند سال اخیر یافته‌های نوینی در زمینه اثرات نانوذرات و جذب آنها توسط گیاه ارائه شده و یافته‌ها نشان داده که کاربرد نانوذرات حاوی عناصر میکرو از جمله روی، مس و بر در شرایط تنش خشکی می‌تواند نقش مؤثری در بهبود عملکرد سویا داشته باشد (Dimkpa et al., 2017). نتایج رضائی چپانه و همکاران (۱۳۹۶) نیز حاکی از اثر مثبت کاربرد نانوکلات روی بر صفات تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و درصد روغن گلرنگ در شرایط تنش خشکی بود.

با توجه شرایط خشک و نیمه‌خشک غالب نواحی غربی ایران از جمله لرستان تولید سویا با موانع متعدد از جمله گرما و کمبود آب آبیاری مواجه است. همچنین درصد آهک و pH بالا در این مناطق سبب کاهش کارایی جذب عناصر میکرو از جمله روی می‌گردد. علاوه بر نقش مهم عنصر روی در رشد و نمو گیاهان در رژیم غذایی انسان نیز نقش اساسی دارد. بنابراین، غنی‌شدن محصولات کشاورزی از عنصر روی می‌تواند در بهبود کیفیت تغذیه بشر نقش به‌سزایی داشته باشد. اگر چه ترکیبات متعدد حاوی روی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kobraee and Shamsi, 2013)، اما امروزه کاربرد ترکیبات کلاته به دلیل حلالیت و قابلیت جذب بهتر مورد توجه ویژه قرار گرفته است. علاوه بر آن با توسعه فناوری‌های نانو، جهت افزایش کارایی جذب و انتقال، تولید نانوکلاته‌های عناصر کم مصرف از جمله روی در حال گسترش است (رضائی چپانه و همکاران، ۱۳۹۶). لذا در این مطالعه اثر محلول پاشی نانوکلات روی در شرایط تنش کم آبیاری بر پارامترهای فتوسنتزی، فعالیت آنزیم گلوتامین سینتتاز، عملکرد و اجزای عملکرد دانه، درصد و عملکرد پروتئین سویا مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۱- نتایج آنالیز خاک مزرعه مورد مطالعه (عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر از سطح خاک)

آهن	منگنز	روی	مس	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
۴/۱۰	۱۰/۱	۰/۶۲	۱/۳	۶/۸	۳۲۴

(ppm)

در معادلات ۲ و ۳ dn، عمق خالص آب آبیاری (θ_{fc} ، (mm)، رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت زراعی، θ_i رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری، p_b جرم مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3) و Z_r عمق ریشه (mm) و dg: عمق ناخالص آبیاری (mm) است. محاسبه عمق ناخالص آبیاری با در نظر گرفتن راندمان ۹۵ درصدی صورت گرفت (Allen et al., 1998).

نانوکلات روی ۲۰ درصد از شرکت دانش بنیان فن‌آور سپهر پارمیس تهران تهیه شد. این ترکیب با عنوان "کلات روی ۲۰ درصد به صورت یون‌های آزاد با تغییرات در ساختمان اتمی با فن‌آوری نانو" به عنوان اختراع به ثبت رسیده است. قطر نانوذرات در شرایط کریستاله با میکروسکوپ الکترونی روبشی ۶۸ نانومتر تعیین شد. نانوکلات روی مورد استفاده به رنگ سفید با چگالی ۱/۱ گرم در سانتی متر مکعب و اسیدیته ۲ بود. محلول پاشی نانوکلات روی به ترتیب در دو مرحله ۵۰ درصد گلدهی (R1-R2) (۱۰ تیر ماه) و ۵۰ درصد غلاف‌دهی سویا (R2-R3) (۲۵ تیر ماه) به میزان دو لیتر در ۱۰۰۰ لیتر آب در هکتار و با سمپاش دستی تا مرحله چکه کردن آب از سطح برگ صورت گرفت. جهت عدم تداخل تیمار محلول پاشی با کرت مجاور از حفاظ پلاستیکی بین کرت‌ها استفاده شد. محلول پاشی در ساعات اولیه صبح صورت گرفت. در تیمار شاهد محلول پاشی با آب مقطر صورت گرفت.

شاخص سبزی‌نگی در مرحله ۵۰ درصد غلاف‌دهی در بیست و هفتمین روز پس از اعمال تیمارهای تنش (۲ مرداد ماه) و با اندازه‌گیری روی برگ بالغ و جوان بالای ساقه از ۱۵ بوته با دستگاه کلروفیل متر (Konica Minolta Spad-502) ثبت و میانگین اعداد برای هر کرت در نظر گرفته شد. به منظور اندازه‌گیری پارامترهای تبادلات گازی برگ، ۲۷ روز پس از اعمال تیمار آبیاری (۲ مرداد ماه) از یک بوته یک برگ جوان

بوته‌های سویا روی ردیف‌های کاشت ۵/۵ سانتی متر و فاصله ردیف‌ها ۶۰ سانتی متر بود. تاریخ کاشت مؤثر (آبیاری اول) ۱۷ اردیبهشت ۱۳۹۵ بود. پیش از کشت، بذور سویا (رقم کوثر) با کود بیولوژیک حاوی باکتری *Bradyrhizobium japonicum* تلقیح شدند و کنترل علف‌های هرز در طول دوره رشد به صورت دستی انجام شد.

تیمارهای تنش کم آبیاری از آغاز گلدهی (۶ تیرماه ۱۳۹۵) تا رسیدگی کامل (۱۴ شهریورماه ۱۳۹۵) اعمال شد. تیمارهای آبیاری براساس کمبود رطوبت خاک تعیین شد که برنامه‌ریزی آن براساس زمان و عمق آبیاری بود. به منظور تعیین زمان مناسب آبیاری در روزهای پس از آبیاری و معمولاً از روز چهارم به بعد رطوبت خاک ناحیه ریشه به روش وزنی محاسبه شد. از این رو پیش از اینکه رطوبت خاک بیش از حد تیمار مورد نظر تخلیه شود، آبیاری صورت گرفت (Allen et al., 1998). حجم آب مورد نیاز برای هر تیمار آبیاری با در نظر گرفتن مساحت هر کرت و اعمال ضرایب تنش مربوطه از طریق معادله ۱ محاسبه شد. عمق خالص و ناخالص آبیاری نیز با هدف جایگزین نمودن رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه به ترتیب از طریق معادله‌های ۲ و ۳ تعیین گردید. سیستم توزیع آب در مزرعه شامل خطوط لوله بود که کنتور حجمی برای اندازه‌گیری حجم آب به لوله توزیع متصل بود و حجم آب ورودی به هر کرت به وسیله کنتور حجمی کنترل شد.

$$V = d_g \times A \times f \quad \text{معادله (۱)}$$

که در این معادله A: سطح هر کرت (متر)، dg: عمق ناخالص آب آبیاری (میلی‌متر)، V: حجم آب آبیاری (لیتر) و f: ضریب تنش است.

$$dn = (\theta_{fc} - \theta_i) \times p_b \times Z_r \quad \text{معادله (۲)}$$

$$dg = dn / E \quad \text{معادله (۳)}$$

انتخاب و تعداد دانه در هر غلاف شمارش شد. وزن ۱۰۰ دانه نیز از طریق توزین نمونه‌ها با ترازوی دارای دقت ۰/۰۱ گرم تعیین شد. جهت تعیین درصد پروتئین دانه از هر کرت ۵۰ گرم دانه جدا شد. پس از آسیاب کردن نمونه‌ها با روش میکروکلدال غلظت نیتروژن دانه تعیین و با ضرب غلظت نیتروژن در عدد ۵/۷۱ غلظت پروتئین دانه به دست آمد. عملکرد پروتئین نیز از حاصل ضرب عملکرد دانه در درصد پروتئین دانه تعیین شد (Karymi et al., 2016).

آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها قبل از آنالیز آماری داده‌ها انجام شد. در ادامه تجزیه داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. مقایسات میانگین صفات در سطح احتمال پنج درصد و با آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel 2007 استفاده شد.

نتایج و بحث

اثرات متقابل سطوح تنش کم‌آبایی و محلول‌پاشی نانوکلات روی بر صفات سرعت فتوسنتز خالص، تعرق، هدایت روزنه‌ای و دی‌اکسید کربن زیر روزنه معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش سطوح تنش کم‌آبایی، سرعت فتوسنتز خالص کاهش یافت و استفاده از نانوکلات روی تأثیر معنی‌داری بر میزان فتوسنتز نداشت. بیشترین و کمترین مقادیر سرعت فتوسنتز خالص به ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه به دست آمد (شکل ۱ a). کاهش سرعت فتوسنتز خالص در اثر تنش به عوامل متعددی وابسته است که می‌توان به اثر تنش بر تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی (Flowers et al., 2000) اشاره کرد. در این راستا عنوان شده است که در شرایط تنش کم‌آبایی افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال موجب تجزیه کلروفیل می‌گردد (Sharifa and Muriefah, 2015). از سوی دیگر، Lal و Edwards (۱۹۹۶) گزارش کردند که کاهش سرعت فتوسنتز در طول دوره تنش خشکی ممکن است صرف نظر از تأثیر عوامل روزنه‌ای به علت کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو باشد.

با افزایش تنش کم‌آبایی تعرق به طور معنی‌داری کاهش

کاملاً توسعه یافته بالای گیاه انتخاب شد و پارامترهای تبادلات گازی برگ شامل سرعت فتوسنتز خالص (میکرومول دی‌اکسید کربن تثبیت شده بر متر مربع در ثانیه)، تعرق (میلی‌مول آب بر متر مربع در ثانیه)، غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه (میکرو مول دی‌اکسید کربن بر مول) و هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول آب بر متر مربع بر ثانیه) با دستگاه IRGA (مدل LC4) شرکت ADC BioScientific Ltd ساخت کشور انگلستان تعیین شد. اندازه‌گیری‌ها در ساعت ۱۰ تا ۱۲ روز آفتابی انجام گرفت.

برای تعیین میزان فعالیت گلوتامین سنتتاز مقدار ۰/۲ گرم از نمونه تازه برگ جوان کاملاً توسعه یافته بخش فوقانی گیاه در تاریخ ۵ مرداد ماه برداشت و با نیتروژن مایع پودر شد. سپس بافر تریس هیدروکلریک اسید ۵۰ میلی‌مولار (pH= ۸)، آدنوزین تری فسفات (ATP) ۶/۳ میلی‌مولار، گلوتامین ۱۰۰ میلی‌مولار، منیزیم سولفات ۴۴ میلی‌مولار به عصاره آنزیمی اضافه شد. پس از نگهداری مخلوط واکنش به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد نسبت‌های مساوی از آهن کلرید ۱۰ درصد محلول در کلریدریک اسید ۰/۲ مولار، تری‌کلرو استیک اسید ۲۴ درصد و کلریدریک اسید ۵۰ درصد اضافه شد و جذب در طول موج ۵۴۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر CECIL مدل ۳۰۰۰ (Cambridge, UK) خوانده و فعالیت آنزیمی بر حسب میکرومول ۷-گلوتامیل هیدروکسامات تعیین شد (Berteli et al., 1995).

جهت اندازه‌گیری طول غلاف در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در هر کرت به طور تصادفی ۲۰ غلاف با موقعیت یکسان در روی بوته انتخاب و طول غلاف اندازه‌گیری و میانگین در نظر گرفته شد. پس از جداسازی دانه‌ها از سطح برداشت شده در نهایت عملکرد دانه در هر کرت تعیین گردید. به منظور جلوگیری از ریزش بذور برداشت نهایی همزمان با رسیدگی کامل در تاریخ ۲۴ شهریور ماه ۱۳۹۵ انجام شد. پس از حذف خطوط حاشیه برداشت به مساحت سه متر مربع از هر کرت انجام شد. جهت اندازه‌گیری تعداد غلاف در بوته غلاف‌های ۱۵ بوته از هر کرت شمارش و میانگین آنها در نظر گرفته شد. همچنین به طور تصادفی ۳۰ غلاف از هر کرت

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات سطوح کم آبیاری و محلول پاشی نانوکلات روی بر پارامترهای تبادلات گازی، شاخص سبزینگی و فعالیت گلوتامین سنتتاز برگ سویا رقم کوثر

صفات (میانگین مربعات)							درجه آزادی	منابع تغییر
گلوتامین سنتتاز	شاخص سبزینگی	تعرق	دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای	هدایت روزنه‌ای	سرعت فتوسنتز خالص	نسبت تغییرات (%)		
۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۴/۷ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۱۳۸ ^{ns}	۳ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۲	تکرار	
۰/۰۱۰۸ ^{**}	۱۱/۰ ^{ns}	۰/۰۴۱ ^{**}	۲۳۶۳ [*]	۷۴ ^{**}	۱/۳۰ ^{**}	۳	سطوح آبیاری (I)	
۰/۰۰۰۳	۴/۶	۰/۰۱۸	۶۶۲	۷	۰/۰۵	۶	خطای کرت اصلی	
۰/۰۰۳۰ [*]	۱۱/۵ [*]	۰/۰۴۲ ^{ns}	۳۳۸۰۲ ^{**}	۲۷۰ ^{**}	۰/۱۲ ^{ns}	۱	محلول پاشی روی (Zn)	
۰/۰۰۱۵ [*]	۱۲/۹ ^{**}	۰/۱۸۵ ^{**}	۴۹۴۱ ^{**}	۳۷ ^{**}	۰/۱۵ [*]	۳	I × Zn	
۰/۰۰۰۲	۱/۰	۰/۰۱۵	۴۵۴	۳	۰/۰۲	۸	خطای کرت فرعی	
۶/۶	۶/۵	۱۵/۲	۲/۱	۱۶/۸	۵/۱	-	ضرب تغییرات (%)	

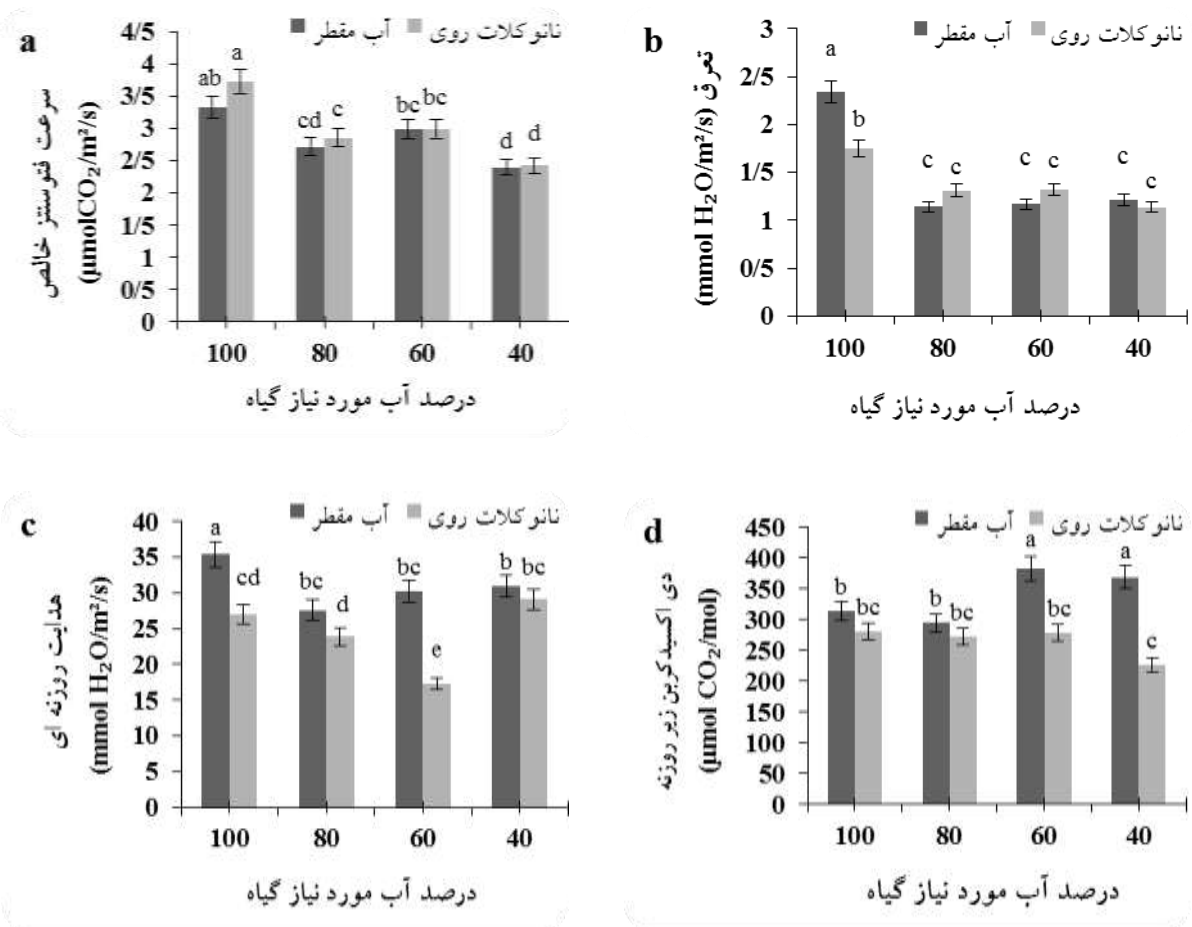
ns, * و ** به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

از عوامل کلیدی در متابولیسم دی اکسید کربن برگ است و در تیمارهای دارای غلظت بالاتر کلروفیل انرژی لازم برای تثبیت دی اکسید کربن افزایش می یابد (Flowers et al., 2000; Manavalan et al., 2009). همچنین، یافته‌ها نشان داده در شرایط تنش هر چه تبادلات گازی از طریق روزنه‌ها افزایش یابد تخلیه دی اکسید کربن تجمع یافته ناشی از تنفس در اتاقک‌های زیر روزنه‌ای برگ راحت تر صورت می گیرد (Lal and Edwards, 1996). در این آزمایش به نظر می رسد که یکی از دلایل عمده کاهش غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای در تیمار نانوکلات روی در شرایط تنش، تأثیر این تیمار بر محتوای رنگیزه برگ باشد که در نتیجه آن متابولیسم کربن در مقایسه با تیمار آب مقطر با سهولت بیشتری صورت گرفته و به دنبال آن تجمع دی اکسید کربن در اتاقک زیر روزنه کاهش یافته است.

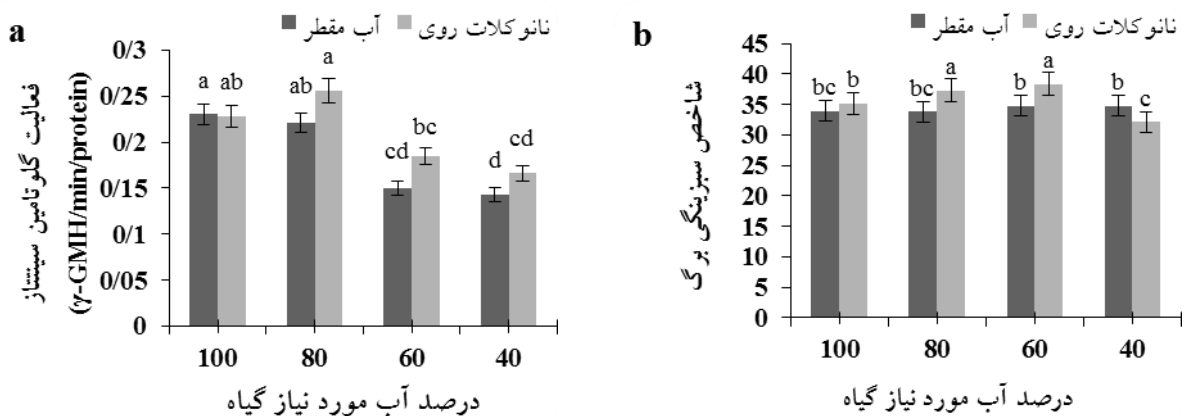
اثرات متقابل سطوح تنش کم آبیاری و محلول پاشی نانوکلات روی بر فعالیت گلوتامین سنتتاز و شاخص سبزینگی برگ سویا معنی دار بود (جدول ۲). فعالیت گلوتامین سنتتاز برگ با افزایش تنش کم آبی و فارغ از کاربرد و یا عدم کاربرد نانوکلات روی به طور معنی داری کاهش نشان داد (شکل ۲ a). آنزیم گلوتامین سنتتاز یک شاخص مهم در تعیین

یافت. کاربرد نانوکلات روی در شرایط تنش کم آبیاری تأثیر معنی داری بر تعرق برگ سویا نداشت؛ اما در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه تعرق برگ‌های تیمار شده با نانوکلات روی در مقایسه با شاهد به طور معنی داری کمتر بود (شکل ۱ b). کاهش تعرق برگ در شرایط تنش به عنوان یکی از پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاه شناخته می شود (Flowers et al., 2000) و در این آزمایش نیز چنین پاسخی در برگ‌های سویا مشاهده شد. به طور کلی، با اعمال تنش کم آبیاری هدایت روزنه‌ای در گیاه سویا کاهش یافت. در هر یک از سطوح آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، هدایت روزنه‌ای در اثر محلول پاشی نانوکلات روی کاهش یافت اما در شدیدترین سطح تنش کم آبیاری (۴۰ درصد نیاز آبی خاک) استفاده از نانوکلات روی تفاوت معنی داری بر هدایت روزنه‌ای نداشت (شکل ۱ c).

غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای در اثر محلول پاشی روی در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی خاک تفاوت معنی داری نداشت. اما در سطوح ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه، غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای در اثر کاربرد نانوکلات روی به طور معنی داری کاهش داشت (شکل ۱ d). کاهش غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد. به اعتقاد محققان، غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی یکی



شکل ۱- اثرات متقابل تیمارهای کم آبیاری و محلول پاشی نانوکلات روی بر پارامترهای تبادلات گازی برگ سویا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن ندارند. میله‌های عمودی نشان‌دهنده انحراف معیار است.



شکل ۲- اثرات متقابل تیمارهای آبیاری و محلول پاشی نانوکلات روی بر فعالیت گلوتامین سینتاز (a) و شاخص سبزیگی برگ (b) سویا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن ندارند. میله‌های عمودی نشان‌دهنده انحراف معیار است.

مقاومت به تنش خشکی است (Nagy *et al.*, 2013). در هر یک از سطوح تنش کم آبیاری فعالیت گلوتامین سینتتاز با کاربرد نانوکلات روی تغییر معنی داری نداشت. بنابراین نتایج حاضر نشان دهنده عدم تأثیر نانوکلات روی بر این شاخص مقاومت به خشکی در برگ سویا بوده است. همچنین نتایج گزارشات نشان داد که تحت تأثیر تنش خشکی میزان آنزیم گلوتامین سینتتاز به طور معنی داری در ژنوتیپ‌های سویا (نصراصفهانی و مددکار حق‌جو، ۱۳۹۴) و گندم (Nagy *et al.*, 2013) کاهش یافته که هم‌راستا با نتایج به دست آمده در بررسی حاضر هستند. با افزایش سطوح تنش کم آبیاری، تغییر معنی داری در شاخص سبزیگی برگ تیمار شاهد مشاهده نشد. اما در تیمار محلول‌پاشی نانوکلات روی، شاخص سبزیگی برگ در سطوح ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی به طور معنی داری بالاتر از سایر تیمارهای مورد بررسی بود (شکل ۲ b). افزایش شاخص سبزیگی برگ در تیمار محلول‌پاشی نانوکلات روی در شرایط تنش خشکی در سایر مطالعات نیز مشاهده شده است (افشانی و همکاران، ۱۳۹۴؛ کامروا و همکاران، ۱۳۹۶؛ کمائی و همکاران، ۱۳۹۷). پژوهشگران بیان داشتند که تأثیر مثبت روی در کاهش تخریب کلروفیل و افزایش ضخامت برگ در شرایط تنش در افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ اثرگذار است (جمشیدی و همکاران، ۱۳۹۶). در همین راستا عنوان شده است که عنصر روی با تأثیر مثبت بر تولید هورمون‌های رشد از جمله اکسین سبب افزایش تولید کلروفیل در برگ می‌گردد (Pandey *et al.*, 2010; Marschner, 1995). بنابراین در این آزمایش نیز به نظر می‌رسد که افزایش ضخامت و کاهش تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ سویا یکی از عوامل مؤثر در افزایش شاخص سبزیگی برگ تیمار محلول‌پاشی نانوکلات روی بوده است.

اثرات متقابل سطوح تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی نانوکلات روی بر صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد دانه سویا معنی دار بود (جدول ۳). تعداد غلاف در بوته سویا با افزایش تنش کم آبیاری کاهش یافت. در سطوح ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی تعداد غلاف در

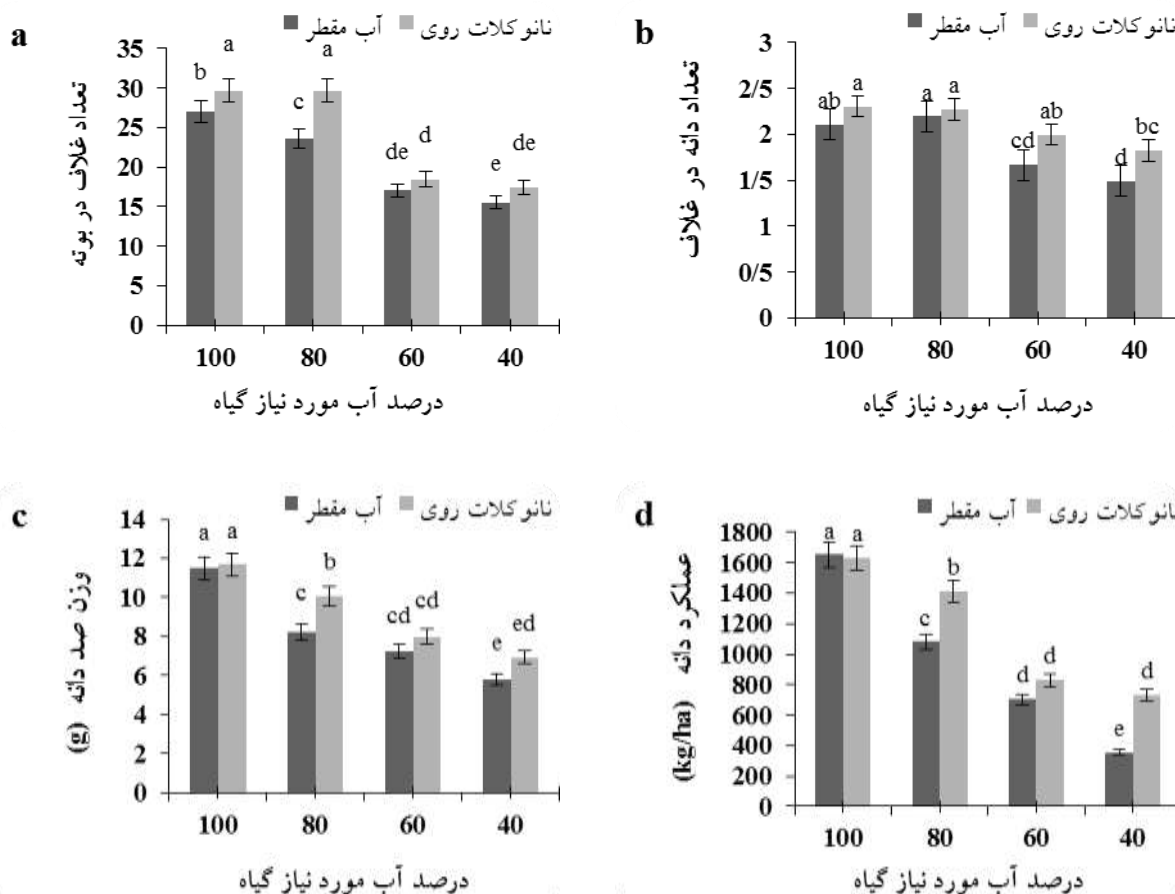
بوته با تیمار نانوکلات روی به طور معنی داری افزایش نشان داد. اما در سطوح بالاتر تنش تفاوتی از این نظر مشاهده نشد (شکل ۳ a). تعداد دانه در غلاف تحت تأثیر افزایش سطوح تنش کم آبیاری به طور معنی داری کاهش نشان داد و در سطوح ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی خاک، تعداد دانه در غلاف تیمار محلول‌پاشی نانوکلات روی به طور معنی داری افزایش داشت (شکل ۳ b). با افزایش تنش کم آبیاری وزن صد دانه سویا کاهش یافت. تنها در سطح ۸۰ درصد نیاز آبی، وزن صد دانه تیمار نانوکلات روی به طور معنی داری بالاتر بود و در سایر سطوح تفاوتی بین محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی نانوکلات روی از این نظر وجود نداشت (شکل ۳ c). تحت تأثیر افزایش تنش کم آبی عملکرد دانه سویا به طور معنی داری کاهش یافت. تأثیر تنش کم آبیاری در تیمارهای محلول‌پاشی نانوکلات روی یکسان نبود به طوری که در دو سطح ۸۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی، عملکرد دانه تیمار محلول‌پاشی نانوکلات روی نسبت به شاهد به طور معنی داری بالاتر بود (شکل ۳ d). به طور کلی نتایج نشان داد که تأثیر تنش کم آبیاری بر عملکرد دانه سویا از طریق اثر منفی آن بر اجزای عملکرد همچون تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه بود. اما کاربرد نانوکلات روی با تأثیر مثبت بر اجزای عملکرد دانه سویا، عملکرد را سطوح تنش ۸۰ الی ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه افزایش داد (شکل ۳). مشابه این یافته‌ها، نتایج سایر مطالعات نیز نشان‌دهنده اثر بازر تنش خشکی در مرحله زایشی بر عوامل مؤثر در عملکرد دانه و نقصان آن است (Sharifa and Muriefah, 2015; Karymi *et al.*, 2016). همچنین سایر مطالعات نشان داده که استفاده از ریزمغذی‌ها در تنش سبب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد می‌گردد (Thalooth *et al.*, 2006; Yadavi *et al.*, 2014) که با نتایج حاضر منطبق است.

در مطالعات انجام شده روی گونه‌های مختلفی مانند کلزا (افشانی و همکاران، ۱۳۹۴)، گلرنگ (رضائی‌چپانه و همکاران، ۱۳۹۶)، ماش (Thalooth *et al.*, 2006)، نخود (Shaban *et al.*, 2012) و سویا (کامروا و همکاران، ۱۳۹۶؛ نصراصفهانی و مددکار حق‌جو، ۱۳۹۴؛ Sharifa and Muriefah, 2015) نتایج

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات سطوح کم آبیاری و محلول پاشی نانوکلات روی بر طول غلاف، ارتفاع بوته، عملکرد و اجزای عملکرد سویا رقم کوثر

صفات (میانگین مربعات)							درجه آزادی	منابع تغییر
عملکرد پروتئین	درصد پروتئین دانه	عملکرد دانه	وزن صد دانه	تعداد دانه در غلاف	تعداد غلاف در بوته	عملکرد		
۱۰۰۰۹ ^{ns}	۹ ^{ns}	۲۸۹۳۹ ^{ns}	۱/۷ ^{ns}	۰/۰۲۱ ^{ns}	۱ ^{ns}	۲	تکرار	
۱۰۷۰۵۶۱ ^{**}	۲۵۲۹ ^{**}	۱۴۵۳۹۳۵ ^{**}	۳۰/۲ ^{**}	۰/۴۸۱ ^{**}	۲۱۹ ^{**}	۳	سطوح آبیاری (I)	
۲۰۳۵	۱۰	۷۹۴۰	۰/۶	۰/۰۲۴	۸	۶	خطای کرت اصلی	
۳۵۱۶۸ [*]	۳۸ ^{ns}	۲۵۲۲۷۹ ^{**}	۵/۶ ^{**}	۰/۳۳۱ ^{**}	۵۴ ^{**}	۱	محلول پاشی روی (Zn)	
۱۴۷۳۱ [*]	۱۰ [*]	۵۱۹۲۴ [*]	۱/۷ [*]	۰/۲۲۲ [*]	۶ [*]	۳	I × Zn	
۱۲۳۴	۳	۹۲۴۰	۰/۲	۰/۰۲۱	۱	۸	خطای کرت فرعی	
۸/۶	۷/۳	۱۴/۷	۹/۰	۸/۰	۷/۹	-	ضریب تغییرات (%)	

ns, * و ** به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد



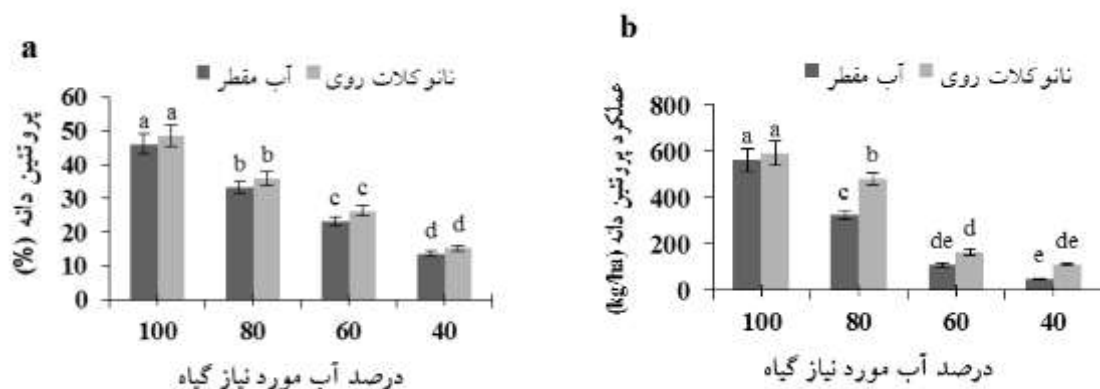
شکل ۳- اثرات متقابل تیمارهای آبیاری و محلول پاشی نانوکلات روی بر تعداد دانه در غلاف (a)، تعداد غلاف در بوته (b)، وزن صد دانه (c) و عملکرد دانه (d) سویا. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن ندارند. میله‌های عمودی نشان‌دهنده انحراف معیار است.

(۱۳۹۶) نیز نشان‌دهنده اثر مثبت کاربرد نانوکلات روی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ در شرایط تنش خشکی بود. هم‌راستا با نتایج بررسی‌های دیگر در این آزمایش نیز اثر مثبت محلول‌پاشی روی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه سویا در شرایط تنش کم‌آب‌یاری مشاهده شد. به اعتقاد محققان عنصر روی با فعال‌سازی آنزیم‌های ضروری تحریک تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین شده و از این طریق علاوه بر تحریک رشد شاخه‌های فرعی در شرایط تنش سبب تحریک تشکیل بذر می‌گردد. همچنین مقاومت ناشی از مصرف روی در برابر تنش کم‌آبی از طریق افزایش قدرت جذب آب توسط گیاه از عوامل مؤثر در بهبود عملکرد در شرایط تنش به‌شمار می‌آید (Pandey et al., 2010; Marschner, 1995). هر چند فتوستتز جاری برگ در تیمارهای نانوکلات روی تفاوتی با تیمار آب‌مقطر نداشت اما به نظر می‌رسد که دوام فتوستتز برگ‌های تحت تیمار نانوکلات روی در طول دوره تنش بر فراهمی مواد پرورده گیاه جهت تأمین نیاز مقاصد فتوستتزی فعال (دانه) تأثیر بسزایی داشته و نقش بسزایی در بهبود عملکرد دانه سویا داشته است.

اثرات متقابل سطوح تنش کم‌آب‌یاری و محلول‌پاشی نانوکلات روی بر صفات درصد پروتئین دانه و عملکرد پروتئین سویا معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش شدت تنش کم‌آب‌یاری درصد پروتئین دانه سویا در هر دو تیمار محلول-پاشی به‌طور معنی‌داری کاهش نشان داد. اما بین تیمارهای محلول‌پاشی نانوکلات روی در هر سطح تنش از این نظر تفاوتی مشاهده نشد (شکل ۴ a). نتایج افشانی و همکاران (۱۳۹۴) نیز حاکی از اثر منفی تنش بر درصد پروتئین دانه بود. در همین رابطه، محققان عنوان داشته‌اند که کاهش رطوبت خاک در طی مرحله گلدهی و دانه‌بندی، آمینواسیدهای آزاد را افزایش داده و در مقابل تولید آمینواسیدهای مورد نیاز ترکیبات پروتئینی را محدود کرده و از این طریق بر درصد پروتئین دانه اثر می‌گذارد (Labanauskas et al., 1981). هر چند در گزارشات پیشین اثر مثبت کاربرد برگ روی بر درصد پروتئین دانه گزارش شده است (افشانی و همکاران، ۱۳۹۴؛

مشابهی مبنی بر کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی گزارش شده است. یکی از دلایل عمده کاهش تعداد غلاف در بوته ناشی از کاهش توسعه شاخه‌های جانبی در اثر افزایش بازدارنده رشد آبسزیک اسید در شرایط تنش است (Pandey et al., 2010). همچنین بررسی‌ها نشان داده که عدم توسعه لوله‌های گرده و کاهش دوام گل‌ها در اثر تنش خشکی سبب کاهش تعداد دانه غلاف می‌گردد (Sharifa and Muriefah, 2015). کاهش وزن دانه در شرایط تنش به کاهش مواد پرورده گیاهی در اثر کاهش فتوستتز جاری برگ و ذخیره‌های هیدروکربنی گیاه نسبت داده شده (Lal and Edwards, 1996) و عنوان شده که گیاه با قرارگیری در تنش خشکی برای فرار از اثرات تنش اقدام به کوتاه‌کردن زندگی خود می‌کند. بنابراین به دلیل کوتاه‌تر شدن طول دوره پرشدن دانه، وزن نهایی دانه‌ها کاهش می‌یابد (افشانی و همکاران، ۱۳۹۴). به نظر می‌رسد در آزمایش حاضر کاهش اجزای عملکرد و عملکرد دانه با کاهش فتوستتز جاری برگ در اثر افزایش شدت تنش منطبق باشد. بنابراین می‌توان بیان داشت که تأثیر منفی خشکی بر تولید مواد پرورده جاری در مرحله زایشی یکی از دلایل مهم در کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه سویا بوده است.

مطابق با یافته‌های Shamsi و Kobraee (۲۰۱۳)، اگر چه تنش کم‌آب‌یاری به‌ویژه در مرحله زایشی بر صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و عملکرد دانه گیاه سویا اثر منفی داشت. اما محلول‌پاشی نانوکلات روی سبب کاهش اثرات مخرب تنش خشکی بر خصوصیات مرتبط با عملکرد دانه سویا شد. همچنین نتایج Thalooh و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد که کاربرد برگ ترکیب سولفات روی، رشد و عملکرد ماش را تحت تنش خشکی بهبود داد. مطالعه ارقام لوبیا توسط Yadavi و همکاران (۲۰۱۴) در شرایط تنش کم‌آب‌یاری نشان‌دهنده کاهش اثرات تنش خشکی در اثر کاربرد برگ روی بر عملکرد دانه بود. همچنین گزارش شده که با کاربرد برگ روی، عملکرد دانه و بیومس نخود افزایش یافته است (Shaban et al., 2012). گزارش رضائی‌چیان و همکاران



شکل ۴- اثرات متقابل تیمارهای آبیاری و محلول پاشی نانو کلات روی بر درصد پروتئین دانه (a)، و عملکرد پروتئین (b) سویا. میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن ندارند. میله های عمودی نشان دهنده انحراف معیار است.

(شکل ۴ ب).

نتیجه گیری

یافته های مطالعه حاضر نشان داد که تشدید کمبود آب سبب کاهش سرعت فتوسنتز خالص، تعرق، هدایت روزنه ای، فعالیت آنزیم گلوتامین سینتتاز، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه، عملکرد دانه، درصد پروتئین دانه و عملکرد پروتئین دانه سویا شد. تیمار محلول پاشی نانوکلات روی در شرایط تنش سبب کاهش مقاومت روزنه ای و غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه ای برگ شد و در مقابل شاخص سبزیگی برگ، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و عملکرد دانه سویا را در مقایسه با تیمار آب مقطر افزایش داد. با توجه به نتایج به دست آمده، اگر چه بیشترین عملکرد دانه در شرایط عدم تنش رطوبتی و عدم محلول پاشی روی به دست آمد اما به نظر می رسد که استفاده از نانوکلات روی در سطوح ۸۰ الی ۴۰ درصد نیاز آبی سویا در شرایط اقلیمی خرم آباد به منظور بهبود تولید قابل توصیه باشد.

اما در این پژوهش (Shaban *et al.*, 2012; Marschner, 1995). نانوکلات روی بر درصد پروتئین دانه اثر معنی داری نداشت. آنزیم گلوتامین سینتتاز به عنوان یک آنزیم مهم در متابولیسم نیتروژن به شمار می آید و نقش مؤثری در فراهمی این عنصر برای تولید ترکیبات نیتروژن دار از جمله پروتئین دارد (Nagy *et al.*, 2013). در آزمایش حاضر کاهش فعالیت آنزیم گلوتامین سینتتاز در اثر تنش کم آبیاری با کاهش درصد پروتئین دانه سویا منطبق بود. همچنین عدم تأثیر معنی دار نانوکلات روی در هر سطح تنش بر فعالیت این آنزیم نیز مشابه نتایج درصد پروتئین دانه بود. بنابراین می توان گفت که در این آزمایش عدم تأثیر روی بر فعالیت آنزیم گلوتامین سینتتاز یکی از دلایل عدم تأثیر آن بر درصد پروتئین دانه بوده است. همانند درصد پروتئین، عملکرد پروتئین دانه سویا نیز با افزایش شدت تنش کم آبیاری در هر دو تیمار محلول پاشی به -طور معنی داری کاهش یافت و تنها در سطح تنش ۸۰ درصد نیاز آبی اثر محلول پاشی نانوکلات روی نسبت به آب مقطر بر عملکرد پروتئین دانه مثبت و معنی دار بود

منابع

افشانی، س.، امیرنیا، ر. و هادی، ه. (۱۳۹۴) بررسی اثر محلول پاشی آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزای پاییزه (*Brassica napus L.*) در شرایط کم آبیاری. نشریه پژوهش های زراعی ایران ۱۳: ۵۲-۴۳.

جمشیدی، پ.، برادران فیروزآبادی، م.، علوم، ح. و نقوی، ه. (۱۳۹۶) بررسی محلول پاشی کود روی و کلسیم بر عملکرد و صفات فیزیولوژیکی گلرنگ تحت تنش سرب. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۱۵: ۳۷۹-۳۸۸.

رضائی‌چیان، ا.، خرم‌دل، س.، مولودی، آ. و رحیمی، ا. (۱۳۹۶) اثر کود نانوکلات روی و تلقیح با قارچ میکوریزا بر برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۱۵: ۱۸۴-۱۶۸.

کامروا، س.، بابائیان جلودار، ن. ع. و باقری، ن. ع. (۱۳۹۶) تأثیر تنش خشکی بر صفات کلروفیل و پرولین در ژنوتیپ‌های مختلف سویا (*Glycine max*). پژوهش‌نامه اصلاح گیاهان زراعی ۹: ۱۰۴-۹۵.

کمائی، ح.، عیسوند، ح. ر. و نظریان، ف. (۱۳۹۷) اثرات تاریخ کاشت، کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول پاشی عناصر روی و بور بر صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم نان (رقم افلاک). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۱۶: ۱۷۹-۱۶۵.

نصراصفهانی، م. و مددکار حق‌جو، م. (۱۳۹۴) پاسخ گیاه سویا (*Glycine max*) به تنش خشکی در رابطه با شاخص‌های رشد و برخی آنزیم‌های کلیدی متابولیسم کربن و نیتروژن. زیست‌شناسی گیاهی ایران ۷: ۸۹-۷۷.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998) Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Kobraee, S. and Shamsi, K. (2013) Impact of micronutrients foliar application on soybean yield and its components under water deficit condition. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences 3: 39-45.

Berteli, F., Corrales, E., Guerrero, C., Ariza, M. J., Pliego, F. and Valpuesta, V. (1995) Salt stress increases ferredoxin-dependent glutamate synthase activity and protein level in the leaves of tomato. Physiology Plant 93: 259-264.

Bertolli, S. C., Rapchan, G. L. and Souza, G. M. (2012) Photosynthetic limitations caused by different rates of water-deficit induction in *Glycine max* and *Vigna unguiculata*. Photosynthetica 50: 329-336.

Dimkpa, C. O., Bindraban, P. S., Fugice, J., Agyin-Birikorang, S., Singh, U. and Hellums, D. (2017) Composite micronutrient nanoparticles and salts decrease drought stress in soybean. Agronomy for Sustainable Development 37: 5-9.

FAO. (2009) FAO Land and plant nutrition management service. Available online at: <http://www.fao.org/>. Accessed 12 Jan 2017.

Flowers, T. J., Troke, P. F. and Yeo, A. R. (2000) The mechanism of salt tolerance in halophytes Annual Journal of Plant Physiology 28: 89-121.

Garcia-Gomez, C., Obrador, A., Gonzalez, D., Babin, M. and Fernandez, M. D. (2017) Comparative effect of ZnO NPs, ZnO bulk and ZnSO₄ in the antioxidant defenses of two plant species growing in two agricultural soils under greenhouse conditions. Science of the Total Environment 589: 11-24.

Ghasemi-Golezani, K., Bakhshi, J. and Dalil, B. (2015) Rate and duration of seed filling and yield of soybean affected by water and radiation deficits. Acta Agriculturae Slovenica 105: 225-232.

Karymi, S., Modarres sanavy, S. A. M., Ghanehpour, S. and Keshavarz, H. (2016) Effect of foliar zinc application on yield, physiological traits and seed vigor of two soybean cultivars under water deficit. Notulae Scientia Biologicae 8: 181-191.

Khodakovskaya, M. V., De Silva, K., Biris, A. S., Dervishi, E. and Villagarcia, H. (2012) Carbon nanotubes induce growth enhancement of tobacco cells. ACS Nano 6: 2128-2135

Labanauskas, C. K., Shouse, P., Stolzy, L. H. and Handy, M. F. (1981) Protein and free amino acids in field-grown cowpea seeds as affected by water stress at various growth stages. Plant Soil 63: 355-368.

Lal, A. and Edwards, G. E. (1996) Analysis of inhibition of photosynthesis under water stress in the C₄ species *Amaranthus cruentus* and *Zea mays*: electron transport, CO₂ fixation and carboxylation capacity. Australian Journal of Plant Physiology 23: 403-410.

Liu, M. and Li, D. (2010) An analysis on total factor productivity and influencing factors of soybean in China. Journal of Agricultural Science 2: 158-167.

Manavalan, L. P., Guttikonda, S. K., Phan Tran, L. S. and Nguyen, H. T. (2009) Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. Plant and Cell Physiology 50: 1260-1276.

Marschner, H. (1995) Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd Ed. Academic Press, New York.

Mousavi, S. R., Galavi, M. and Ahmadvand, G. (2007) Effect of Zinc and manganese foliar application on yield, quality and enrichment on potato. Asian Journal of Plant Sciences 6: 1256-1260.

- Nagy, Z., Nemeth, E., Guoth, A., Bona, L., Wodala, B. and Pecsvaradi, A. (2013) Metabolic indicators of drought stress tolerance in wheat: glutamine synthetase isoenzymes and rubisco. *Plant Physiology and Biochemistry* 67: 48-54.
- Shaban, M., Lak, M. and Hamidvand, Y. (2012) Response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars to integrated application of zinc nutrient with water stress. *International Journal of Agricultural Crop Science* 4: 1074-1082.
- Sharifa, S. and Muriefah, A. (2015) Effects of paclobutrazol on growth and physiological attributes of soybean (*Glycine max*) plants grown under water stress conditions. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences* 2: 81-93.
- Pandey, A. C., Sanjay, S. S. and Yadav, R. S. (2010) Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum* L. *Journal of Experience Nano Science* 5: 488-497.
- Thalooth, A. T., Tawfik, M. M. and Magda, M. H. (2006) Comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. *World Journal of Agricultural Sciences* 2: 37-46.
- Yadavi, A., Aboueshaghi, R. S., Dehnavi, M. M. and Balouchi, H. (2014) Effect of micronutrients foliar application on grain qualitative characteristics and some physiological traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences* 4: 124-131.
- Yassen, A., Abou El-Nour, E. and Shedeed, S. (2010) Response of wheat to foliar spray with urea and micronutrients. *Journal of American Science* 6: 14-22.

Effects of Zn nano-chelate foliar application on some physiological traits and grain yield of soybean under water deficit stress

Sima Joorabi¹, Hamid Reza Eisvand^{1*}, Ahmad Ismaili¹, Ali Heidar Nasrolahi²

¹ Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University

² Dept. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University

(Received: 29/07/2018, Accepted: 12/01/2019)

Abstract

In order to investigate Zn nano-chelate foliar application effects on photosynthetic parameters, glutamine synthetase, protein, grain yield and yield components of soybean under water deficit, a split-plot experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications at Research Farm, Faculty of Agriculture, University of Lorestan, in 2016. The treatments consisted of different irrigation regimes (100, 80, 60 and 40% of plant water requirement) in the main plots and zinc nano-chelate foliar application (Control or distilled water and zinc as zinc nano-chelate containing 20% zinc absorbable ion) in the subplots. The results showed that by decreasing water requirement, some traits such as photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, glutamine synthetase, the number of pods per plant, the number of grain per pod, 100-grain weight, grain yield, protein percentage of grain and protein yield decreased as well. In contrast, internal CO₂ concentration (C_i) and SPAD value increased in stress condition. In normal condition, zinc nano-chelate treatment had no effects on SPAD value, the number of seed per pod, 100-seed weight, seed and protein yield. In water deficit conditions, zinc nano-chelate foliar application increased the mentioned traits by 4.2, 13.8, 17.3, 45.7 and 39.3 percent, respectively. In addition, in water deficient, zinc nano-chelate decreased C_i and stomatal conductance of leaves. In general, zinc nano-chelate application mitigated effects of water deficit and it was positive for improving soybean yield. Therefore, its application may improve tolerance of soybean.

Keywords: Chlorophyll index, Drought stress, Number of seed per pod, Reproductive phase, 100-Seed weight.