نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال چهاردهم / شماره سوم / پاییز ۱۴۰۳/ مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۳۷ تا ۵۲

تأثیر متانول و نانو اکسید روی بر عملکرد و برخی صفات اگروفیزیولوژیکی گندم دیم

ابراهیم قادری[۱] و رئوف سید شریفی[۲*]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۴)

چکیده

خشکی یکی از رایج‌ترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک تحت شرایط دیم است. از این‌رو به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد متانول و نانو اکسید روی بر عملکرد و برخی صفات اگروفیزیولوژیکی گندم دیم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه‌ای در روستای خاتون آباد سراب در شمال غرب ایران، در سال ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. عوامل آزمایشی محلول‌پاشی نانو اکسید روی در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم درلیتر) و کاربرد متانول درچهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدحجمی) را شامل می‌شدند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین میزان انتقال ماده خشک از بخش هوایی (۰/۲۱ گرم از بوته) و سهم انتقال مجدد درعملکرد دانه (۲۳/۷ درصد)، انتقال ماده خشک از ساقه (۰/۱۷ گرم از بوته) و سهم مشارکت ذخایرساقه در عملکرد دانه (۱۰/۴ درصد) در بالاترین سطح از کاربرد نانو اکسید روی به‌دست آمد. نتایج مشابهی نیز در این صفات در بالاترین سطح از کاربرد متانول به‌دست آمد. محلول‌پاشی مقادیر بالای نانو اکسید روی و متانول، محتوای نسبی آب برگ پرچم در مراحل ظهورسنبله (۱۷ درصد) و پرشدن دانه (۱۱ درصد)، محتوای روی (۶۲ درصد)، پروتئین (۱۴ درصد) و عملکرد دانه را (۳۳درصد) در مقایسه با عدم کاربرد آنها افزایش داد. به‌نظر می‌رسد کاربرد ۰/۹ گرم در لیتر نانواکسید روی با ۳۰ درصدحجمی متانول به‌واسطه بهبود صفات فیزیولوژیک می‌تواند در افزایش عملکرد گندم تحت شرایط دیم پیشنهاد شود.

واژه‌های کلیدی: انتقال ماده خشک از ساقه، فنولوژی، هدایت الکتریکی، عملکرد

۱. به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: raouf_ssharifi@yahoo.com

مقدمه

گندم از اولین گیاهانی است که توسط انسان اهلی شده و زراعت آن در مناطق مختلف و شرایط آب و هوایی متفاوت صورت گرفته و غذای اصلی اغلب مردم جهان را تشکیل می‌دهد. عواملی نظیر هزینه‌های پایین، درآمد به نسبت مناسب و سازگاری با مناطق مختلف، موجب شده است که کشت این گیاه روز به روز گسترش یابد (۲۳).

خشکی بارزترین تهدید برای سامانه‌های کشاورزی است که در مناطق مختلف، حداقل در طول دوره‌ای از رشد، عملکرد و شرایط رشدی گیاهان زراعی را متاثر می‌سازد (۷) و این امر در مناطق تحت کشت گندم دیم، مشهودتر است. خشکی با کاهش سطح برگ و تثبیت دی‌اکسیدکربن، موجب کاهش فتوسنتز می‌شود (۲۰). لیلا و الخطیب (۲۵) اظهار داشتند که تعداد سنبله در واحد سطح، وزن دانه درسنبله، عملکرد زیستی و شاخص برداشت مهم‌ترین متغیرهای عملکردی گندم هستند که تحت تاثیر خشکی قرار می‌گیرند. استوی‌لوا و همکاران (۳۹) اظهار داشتند که خشکی، به‌واسطه‌ی کاهش طول سنبله، تعداد سنبله در واحد سطح و تعداد دانه در سنبله، عملکرد را به‌صورت معنی‌داری کاهش می‌دهد. در عین حال، یانگ و ژانگ (۴۴) بیان نمودند که به‌هنگام وقوع خشکی خفیف تا متوسط، انتقال مجدد مواد از برگ به دانه سرعت می‌گیرد که این امر تا حدودی می‌تواند اثر خشکی بر عملکرد را، جبران کند.

کاربرد روی و متانول می‌تواند مقاومت به خشکی را در گیاهان افزایش داده و صدمات ناشی از حضور این عامل تنش‌زا را، تا حدودی تعدیل کند (۱۹). خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، دارای مقادیر بالایی از pH بوده و در غالب موارد، چنین خاک‌هایی دسترسی پایینی برای روی قابل جذب گیاه نشان می‌دهند (۴). از طرفی pH بالا، کمبود رطوبت، میزان کم مواد آلی و دمای پایین، از دیگر عواملی است که می‌تواند مقادیر جذب روی را کاهش دهد (۹ و ۱۱). کمبود روی قابل جذب علاوه بر تاثیر بر رشد گیاه، موجب کاهش محتوای روی دلنه می‌شود که این کاهش در گندم، ممکن است به ۸۰ درصد نیز برسد (۴۵).

کاهش محتوای نسبی آب از اولین نشانه‌های بروز خشکی در گیاهان است که منجر به کاهش پتانسیل آب برگ و در نتیجه، بسته شدن روزنه‌ها می‌شود. در تمام گیاهان، از دست دادن بیش از حد آب، منجر به تغییرات اساسی در کارکرد طبیعی سلولی (۲۰)، از بین رفتن پیوستگی لیپید و پروتئین غشاهای سلولی، مختل شدن کارکردهای آنزیمی (۲۷) و افزایش تراوایی غشاهای پلاسمایی می‌شود که در نهایت منجر به نشت الکترولیت و افزایش هدایت الکتریکی می‌شود (۱۳ و۲۰). ستار و همکاران (۳۷) با به‌کارگیری سطوح مختلف روی (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌مولار) در بوته‌های گندم قرار گرفته در معرض تنش کم‌آبی، مشاهده کردند که تیمار روی، موجب افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب شد. لیو و همکارن (۲۶) گزارش نمودند که میزان دسترسی و حضور روی، نه تنها بر درصد و مقادیر پروتئین دانه تاثیرگذار است، بلکه حضور ریزمغذی روی نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای در فرآیندهای زایشی گیاه دارد (۴ و ۲۸). رحمان و همکاران (۳۴) اظهار داشتند که در شرایط کمبود روی، به‌واسطه افزایش نشت یونی از ریشه‌های گندم، هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. استفاده گسترده از نانو ذرات روی به‌دلیل خصوصیات قابل‌توجه فیزیکو شیمیایی از جمله سطح ویژه‌ی بالا (۴۲)، قابلیت جذب بالا، استفاده در مقادیر پایین‌تر و ایجاد آلودگی‌های کم‌تر زیست‌محیطی در سال‌های اخیر، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است (۹).دو و همکاران (۹) گزارش نمودند که نانو ذرات روی در مقایسه با سولفات روی، تأثیر معنی‌داری در افزایش ارتفاع بوته، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، وزن دانه و طول سنبله دارد و بیشترین غلظت روی در دانه و اندام هوایی، از به‌کارگیری نانو ذرات روی به‌دست آمد. ریضوان و همکاران (۳۵) در بررسی تاثیر مقادیر مختلف نانو ذرات روی (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در گندم، افزایش ارتفاع بوته، طول سنبله، وزن اندام هوایی و عملکرد دانه را در بوته‌های تیمار شده با روی گزارش کرده و اظهار داشتند که کاربرد روی با افزایش محتوای این عنصر در

جدول ۱. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

عمق خاک نمونه برداری (سانتی‌متر)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	کربن آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	منگنز	آهن	روی	بافت خاک
۰–۳۰	۰/۴۳	۷/۵	۰/۷۲	۰/۰۷	۸	۵۱۸	۱۱	۷/۵	۰/۷۳	لومی‌رسی

جدول ۲. دما و میزان بارندگی منطقه آزمایشی از کاشت تا برداشت

ماه	مهر۹۷	آبان۹۷	آذر۹۷	دی۹۷	بهمن۹۷	اسفند۹۷
میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)	۱۲/۱	۶/۶	۳/۳	−۱	−۰/۳	۰/۸
میزان بارندگی (میلی‌متر)	۱۰/۶	۹/۳	۱۶/۱	۲۰/۱	۵۵/۷	۲۱/۸
ماه	فروردین۹۸	اردیبهشت۹۸	خرداد۹۸	تیر۹۸		مرداد۹۸
میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)	۶	۹/۱	۱۶/۳	۱۹/۵		۲۱/۲
میزان بارندگی (میلی‌متر)	۳۲/۸	۳۲/۵	۲۹/۴	۰/۳		۰/۸

دانه‌ی گندم، نشت یونی را کاهش و صدمات ایجاد شده توسط تنش اکسیداتیو را تعدیل می کند.

در سال‌های اخیر استفاده از ترکیب جدیدی مانند متانول برای بالا بردن راندمان فتوسنتزی در گیاهان سه کربنه به‌منظور جبران بخشی از تلفات CO_2 به‌واسطه انجام تنفس نوری گسترش یافته است (۳۰). اگر گیاهان سه کربنه در شرایطی قرار گیرند که تنفس نوری کاهش و یا از آن جلوگیری شود، رشد این گیاهان تا ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت (۱۴). نمیک و همکاران (۲۹) اظهار داشتند محلول‌پاشی متانول موجب افزایش عملکرد و کاهش اثر تنش آبی می‌شود. در گندم دوروم تیمار با متانول، موجب دو برابرشدن عملکرد شد (۳۰). براساس گزارش‌های آقایی و همکاران (۱) افزایش غلظت دی اکسید کربن ضمن تعدیل اثر ناشی از تنش‌های محیطی، موجب افزایش تجمع کربوهیدرات، تسریع گلدهی، افزایش فشار تورگر و محتوای نسبی آب در گیاهان می‌شود. آنان اظهار داشتند که محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل، محتوای نسبی آب برگ پرچم و عملکرد دانه را به‌ترتیب ۷۷/۶ و ۴۶/۹ درصد افزایش ولی هدایت الکتریکی را ۱/۲ برابر نسبت به عدم محلول‌پاشی تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی کاهش داد.

با توجه به گستردگی سطح کشت گندم دیم در کشور و مواجه شدن بخشی از دوران رشد زایشی با محدودیت آبی در چنین مناطقی، و از طرفی نقش متانول و روی در تعدیل اثرات ناشی از محدودیت آبی و بررسی‌های محدود انجام شده در این راستا، موجب شد تا اثر نانواکسید روی و متانول بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گندم دیم مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در روستای خاتون آباد شهرستان سراب با مختصات جغرافیایی °۴۷ و ´۳۴ طول شرقی و °۳۷ درجه و ´۵۷ دقیقه عرض شمالی و با ارتفاع ۱۶۸۰ متری از سطح دریا در سال زراعی ۹۸–۱۳۹۷ اجرا شد. این منطقه کوهستانی، از زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل برخوردار است. بارندگی سالانه از ۲۵۰ تا ۴۸۰ میلی‌متر متغیر است. نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ و دما و میزان بارندگی منطقه آزمایشی از کاشت تا برداشت در جدول ۲ آورده شده است.

در این بررسی از گندم رقم "باران" با تیپ رشد زمستانه،

دانه سفید، متحمل به خشکی، مقاوم به سرما، ورس و ریزش دلنه، با میانگین ارتفاع بوته ۸۳ سانتی‌متر و وزن هزاردلنه ۳۷ گرم استفاده شد. این رقم به‌دلیل میانگین عملکرد بالا، کیفیت خوب نانوایی، مناسب کاشت در شرایط دیم مناطق سرد و معتدل کشور است (۳۶).

تیمارهای مورد استفاده کاربرد نانواکسیدروی در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی با غلظت‌های ۰/۳ ، ۰/۶ و ۰/۹ گرم در لیتر) و متانول درچهارسطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی) را شامل می‌شدند. محلول‌پاشی با متانول و نانو اکسیدروی در دو مرحله پنجه‌زنی و آبستنی بود. کاشت در ۱۵ مهرماه سال ۱۳۹۷ براساس تراکم مطلوب و توصیه شده این رقم (۳۸۰ بذر در مترمربع)، انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول دو متر بود. ده دیسک یک سانتیمتری از برگ پرچم در دو مرحله ظهورسنبله و پرشدن دانه تهیه و محتوای نسبی آب بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد (۲۲).

رابطه ۱ $$RWC=\frac{\text{وزن برگ خشک}-\text{وزن برگ تازه}}{\text{وزن برگ خشک}-\text{وزن برگ‌آماس}}\times 100$$

در همان شرایط مربوط به اندازه‌گیری محتوای نسبی آب، برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برگ پرچم، نمونه‌ها در بشرهای محتوی ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر (دارای EC مشخص) به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده و سپس توسط دستگاه EC متر (مدل Mi 180 Bench Meter) اندازه‌گیری شد. البته سعی شد نمونه‌های برگی از ابعاد یکسانی برخوردار باشند.

به‌منظور بررسی میزان انتقال مجدد ماده خشک از ساقه و کل اندام هوایی، سهم انتقال مجدد ماده خشک در عملکرد دانه و مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه، قبل از ظهور سنبله در خطوط اصلی هر واحد آزمایشی تعدادی بوتهٔ مشابه و یکنواخت علامت‌گذاری و از مرحله قبل از ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک، هرچهار روز یکبار و در هر مرحله سه بوته برداشت شد. بوته‌های برداشت شده به ساقه، برگ و دانه تفکیک و پس از خشک کردن (در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت یا بیشتر تا زمان تثبیت وزن خشک نهایی) توزین و میزان انتقال مجدد ماده خشک از ساقه و کل اندام هوایی، سهم مشارکت ذخایر ساقه و اندام هوایی در عملکرد دانه به استناد روابط ۲-۵ محاسبه شد (۳۱). در هریک از روابط زیر افت‌های تنفسی در نظر گرفته نشده و فرض شد که تنفس برای شرایط محیطی مورد استفاده در این بررسی یکسان است. دیگر محققان نیز در بررسی‌های مربوط به تنوع ژنتیکی انتقال مجدد در گندم، چنین فرضی را به کار گرفتند (۱۰).

رابطه ۲ میزان ماده خشک اندام هوایی (به جز دانه) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک – حداکثر میزان ماده خشک اندام هوایی در برداشت اول = میزان انتقال ماده خشک به دانه (میلی‌گرم در بوته)

رابطه ۳ $$\text{سهم فرآیند انتقال مجدد در عملکرد دانه (درصد)}=\frac{\text{میزان انتقال ماده خشک به دانه}}{\text{عملکرد دانه}}\times 100$$

رابطه ۴ وزن خشک ساقه در مرحله رسیدگی (میلی‌گرم از ساقه) – حداکثر وزن خشک ساقه پس از گرده افشانی(میلی‌گرم از ساقه) = انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای از ساقه به دانه (میلی‌گرم از ساقه)

رابطه ۵ $$\text{میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه (درصد)}=\frac{\text{انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای از ساقه به دانه}}{\text{عملکرد دانه}}\times 100$$

در پایان دوره رشد تعداد سنبله در واحد سطح و عملکرد دانه از سطحی معادل نیم مترمربع از هر واحد آزمایشی با رعایت اثرحاشیه‌ایی برآورد شد. برای براورد ارتفاع بوته و برخی اجزای عملکرد مانند تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله اصلی، ۱۰ بوته از خطوط اصلی هرکرت با رعایت اثرحاشیه‌ای برداشت، و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت در نظر گرفته شد. تجزیه داده‌ها با نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها با Excell و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون

دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی نانو اکسید روی و متانول بر محتوای نسبی آب در مرحله ظهور سنبله، میزان انتقال مجدد ماده خشک از بخش های هوایی، سهم انتقال مجدد از بخش‌های هوایی در عملکرد دانه، انتقال مجدد از ساقه، سهم مشارکت ذخایر ساقه، وزن هزاردانه در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شدند. اثر ترکیب تیماری نانو اکسید روی و متانول بر هدایت الکتریکی در هر دو مرحله ظهور سنبله و پرشدن دانه، ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، عملکرد دانه، تعداد سنبلچه در سنبله اصلی، شاخص برداشت، محتوای روی و پروتئین دانه در سطح احتمال یک درصد و بر طول سنبله در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شدند (جدول ۳).

هدایت الکتریکی برگ پرچم در مرحله ظهور سنبله و پرشدن دانه: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین هدایت الکتریکی در مرحله ظهور سنبله در سطح شاهد (عدم کاربرد نانواکسید روی و متانول) مشاهده شد که با ترکیب تیماری عدم کاربرد نانواکسید روی و ۱۰ درصد حجمی متانول، از نظر آماری در گروه مشترک قرار داشت (جدول ۴) ولی در مقایسه با بالاترین سطح از کاربرد نانو اکسید روی و متانول، از افزایش ۵۲/۶ درصدی برخوردار بود (جدول ۴).

همچنین مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری نانو اکسید روی و متانول بر هدایت الکتریکی در مرحله پرشدن دانه نشان داد که بیشترین هدایت الکتریکی در عدم کاربرد نانواکسید روی و متانول (۳۱۹ میکرو زیمنس برسانتی‌متر) و کمترین مقدار آن (۱۴۷/۸ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر) در کاربرد ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید روی با ۳۰ درصدحجمی متانول مشاهده شد (جدول ۴). بخشی از افزایش هدایت الکتریکی برگ پرچم می‌تواند ناشی از کاهش نزولات و افزایش دمای هوا در منطقه مورد کشت باشد (جدول ۲) که اثرات ناشی از محدودیت آبی و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن از جمله پراکسید هیدروژن، آنیون سوپراکسید و رادیکال‌های هیدروکسیل را در گیاهان افزایش می‌دهد. تجمع این ترکیبات می‌تواند منجر به پراکسیداسیون لیپیدی غشاء و افزایش هدایت الکتریکی شود (۲۳).

ضمن آنکه در شرایط محدودیت آبی، افزایش سنتز آبسیزیک اسید و اختلال در جذب عناصرغذایی هم، از دیگر دلایل افزایش گونه‌های فعال اکسیژن، پراکسیداسیون لیپیدی و صدمات وارده بر غشا است (۴۳) که منجر به افزایش نشتی غشا و هدایت الکتریکی آن می‌شود. نتایج مشابهی نیز توسط لَلدسوگوی و قانم (۳) مبنی بر اینکه تنش خشکی در گندم پراکسیداسیون لیپیدی و هدایت الکتریکی را افزایش داده و در نتیجه پایداری غشاهای سلولی را به‌صورت قابل‌توجهی کاهش می‌دهد گزارش شده است.

بخشی از بهبود هدایت الکتریکی با کاربرد نانو اکسید روی و متانول می‌تواند با افزایش محتوای نسبی آب در چنین ترکیبات تیماری مرتبط باشد (جدول ۵). دراین راستا حسین‌زاده و گنجعلی (۲۱) اظهار داشتند که کاربرد متانول تحت شرایط خشکی با افزایش محتوای نسبی آب و CO_2 درون سلولی برگ، موجب بهبود آسیمیلاسیون CO_2 و درنتیجه افزایش پایداری برگ نخود شد. به‌نظر می‌رسد میزان کم روی موجود در خاک مورد استفاده و pH بالای خاک (جدول ۱) از دیگر دلایلی است که می‌تواند ضرورت استفاده از این ماده را در بهبود پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه، از جمله هدایت الکتریکی نشان دهد. به علاوه، روی در تنظیم میزان روابط آبی گیاه در شرایط تنش بسیار مهم است. این عنصر کوآنزیم مهمی برای تولید تریپتوفان (یکی از پیش ماده‌های تولید اکسین) محسوب می‌شود (۴ و ۲۸) و قادر است با بهبود ظرفیت جذب و انتقال آب توسط گیاه، موجب بهبود وضعیت آبی گیاه در شرایط تنش شده (۵) و به تبع از آن، از ایجاد تنش اکسیداتیو که منجر به تولید گونه‌های فعال اکسیژن و تخریب ساختار غشایی که با افزایش هدایت الکتریکی همراه است، ممانعت کند.

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر نانو اکسیدروی و متانول بر برخی صفات فیزیولوژیک گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		هدایت الکتریکی برگ پرچم		محتوای نسبی آب برگ پرچم		میزان انتقال مجدد ماده خشک از بخش های هوایی	سهم انتقال مجدد از بخش‌های هوایی در عملکرد دانه	انتقال مجدد از ساقه	سهم مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه
		در مرحله ظهور سنبله	در مرحله پرشدن دانه	در مرحله ظهور سنبله	در مرحله پرشدن دانه				
تکرار	۲	۲/۴ ns	۷۰۹*	۴۱/۳ ns	۳۶/۴ ns	۰/۰۶۲**	۶۴۳**	۴۳۶**	۱۷۱**
نانواکسیدروی (A)	۳	۳۴۸۸/۵**	۲۰۲۸۷**	۸۹۹**	۷۱۵**	۰/۰۸۳**	۴۴۸**	۱۳۵**	۱۴۴**
متانول (B)	۳	۳۳۶/۷**	۳۱۷۱**	۱۶۲**	۵۱/۷ *	۰/۰۱۱**	۵۱/۶**	۳۱/۸**	۱۱/۵**
A×B	۹	۶۷/۳**	۸۳۵**	۲۸/۶ ns	۳۰/۲ ns	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۳۶ ns	۰/۶۹ ns	۰/۰۹ ns
اشتباه آزمایشی	۳۰	۱۷/۰۲	۲۳۵	۲۷/۱	۲۴/۲	۰/۰۰۰۳	۱/۳	۰/۵۵	۰/۵۰
ضریب تغییرات	–	۱۵/۴	۷/۴	۸/۱	۱۲/۸	۵/۴	۳/۶	۳/۱	۴/۸

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		ارتفاع بوته	تعداد دانه در سنبله	طول سنبله	تعداد سنبله در متر مربع	عملکرد دانه	تعداد سنبلچه در سنبله اصلی	وزن هزار دانه	شاخص برداشت	محتوای پروتئین دانه	محتوای روی دانه
تکرار	۲	۵/۷۷ ns	۱۹/۴ ns	۰/۵۳ ns	۱۱۴۳ ns	۳۴/۹ ns	۳/۱۷ ns	۱/۱۵ ns	۱۳/۱ ns	۹۰/۴**	۸۶۵**
نانو اکسید روی (A)	۳	۶۷/۴ ns	۱۹/۱ ns	۳/۴۲*	۱۰۲۴۱*	۱۷۹*	۳/۰۹ ns	۳۵/۳**	۷۰/۴ ns	۱۳/۱ **	۸۴۴**
متانول (B)	۳	۲۷۰**	۲۹/۳ ns	۲/۶۷*	۵۴۱۹ ns	۸۶/۹ ns	۴/۷۶ ns	۱۶/۵*	۴۳/۷ ns	۲/۱ **	۱۳/۷**
A*B	۹	۱۴۰**	۷۳/۹**	۲/۴۵*	۱۰۰۷۴**	۲۴۷**	۱۲/۱**	۶/۵ ns	۱۲۵**	۰/۳۲ **	۹/۳**
اشتباه آزمایشی	۳۰	۴۰/۸	۱۷/۹	۰/۶۵	۲۹۷۰	۷۰/۷	۲/۹۱	۶/۳۳	۳۴/۹	۰/۰۴۲	۲/۵۳
ضریب تغییرات	–	۸/۱	۱۵/۸	۱۲/۱	۲۰/۵	۱۶/۲	۱۵/۸	۶/۵	۱۵/۸	۷/۲	۸/۹

ns، * و** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد

جدول ۴. مقایسه میانگین برهمکنش روی و متانول بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات گندم

ترکیبات تیماری	هدایت الکتریکی برگ پرچم (میکروزیمنس بر سانتی‌متر)		ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در مترمربع	تعداد سنبلچه در سنبله اصلی	طول سنبله (سانتی‌متر)	شاخص برداشت (درصد)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
	در مرحله ظهور سنبله	در مرحله پرشدن دانه							
N0M0	۱۶۴ a	۳۱۹a	۵۸/۶e	۱۶/۷d	۲۱۰ d	۶/۷d	۴/۵e	۳۷/۷d	۲۵۸۹c
N0M1	۱۵۷ a	۲۵۷b	۷۴/۵abcd	۲۵/۶abc	۲۱۴ cd	۸cd	۶/۱bcd	۳۷/۷c	۲۵۹۱c
N0M2	۱۴۲ b	۲۳۷bc	۸۱/۵abcd	۲۷/۳abc	۲۱۵ cd	۹/۷bcd	۶/۶abcd	۳۷/۷c	۲۶۳۰bc
N0M3	۱۳۸ bc	۲۲۹cd	۸۳/۷abc	۳۰ab	۲۵۷ bc	۱۰/۳abc	۷/۶ab	۳۷/۸c	۲۶۷۵abc
N1M0	۱۳۲ cd	۲۱۹cde	۷۱/۴d	۲۰cd	۲۱۹ bcd	۱۰/۸abc	۵/۵de	۳۸bc	۲۸۳۸abc
N1M1	۱۲۷ de	۲۱۰def	۷۵/۴abcd	۲۵abc	۲۲۸ cd	۹/۹bc	۶/۱bcd	۳۸/۱bc	۲۶۷۵abc
N1M2	۱۲۳ ef	۲۰۶def	۸۲/۲abcd	۲۷/۳abc	۲۴۵ bcd	۱۰/۴abc	۷/۱abc	۳۸/۲bc	۲۸۶۸abc
N1M3	۱۲۲efg	۲۰۰efg	۸۵ab	۳۰/۷ab	۲۶۶ bc	۱۱/۹abc	۷/۶ab	۳۸/۴۶b	۲۹۶۰ab
N2M0	۱۲۱fgh	۱۹۵efgh	۷۲/۶cd	۲۴/۱bcd	۲۲۷ bcd	۱۰abc	۵/۸cde	۳۸/۲bc	۲۸۶۸abc
N2M1	۱۱۸ fgh	۱۹۰fgh	۷۷abcd	۲۵/۸abc	۲۳۵ bc	۱۱abc	۶/۵abcd	۳۸./۳b	۲۹۶۰abc
N2M2	۱۱۶ gh	۱۸۷fghi	۸۲/۲abcd	۲۷/۵abc	۲۵۷ bc	۱۲ab	۷/۱abc	۳۸/۴b	۳۱۲۰ab
N2M3	۱۱۵ i	۱۷۹ghi	۸۲/۲۵abcd	۳۲/۱۶ab	۲۶۸ abc	۱۲/۱ab	۷/۵ab	۳۸/۴b	۳۳۰۱ab
N3M0	۱۱۳ hi	۱۷۵ghi	۷۳/۳۳bcd	۲۴/۵۸bc	۲۳۸ bc	۱۱abc	۶/۵abcd	۳۸/۴b	۲۹۱۲abc
N3M1	۱۱۲hi	۱۷۰hij	۷۸/۳abcd	۲۶/۸abc	۲۵۷abc	۱۲/۴ab	۶/۱bcd	۳۹/۱ab	۲۹۶۳ab
N3M2	۱۱۱ hi	۱۶۳ij	۸۲/۲ab	۲۹/۸ab	۲۶۴ abc	۱۲/۹ab	۷/۸a	۳۹/۶a	۳۲۱۰a
N3M3	۱۰۸i	۱۴۷j	۸۶/۳a	۳۳/۱a	۳۰۰ a	۱۳/۳a	۷/۸a	۳۹/۸a	۳۴۵۲a

میانگین‌های با حروف مشابه در هرستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن با هم ندارند.
N0، N1، N2 و N3 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی با غلظت‌های ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم در لیتر نانواکسید روی.
M0، M1، M2 و M3 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول.

محتوای نسبی آب برگ پرچم در مراحل ظهور سنبله و پر شدن دانه

مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین محتوای نسبی آب در مرحله ظهور سنبله، در کاربرد مقادیر بالایی از متانول و نانو اکسید روی به‌دست آمد که در مقایسه با عدم کاربرد روی از افزایش ۳۲/۵ درصدی و عدم محلول‌پاشی با متانول از افزایش ۱۲/۴ درصدی برخوردار بود (جدول ۴). همچنین محتوای نسبی آب در مرحله پرشدن دانه در کاربرد مقادیر بالای متانول و نانو اکسید روی به‌ترتیب از افزایش ۱۲/۴ و ۲۶/۸ درصدی نسبت به عدم کاربرد متانول و نانو اکسید روی برخوردار بود (جدول ۵). بخشی از کاهش محتوای نسبی آب ناشی از کمی نزولات و افزایش دما (جدول ۱) در شرایط آزمایشی است، ولی به‌نظر می‌رسد دی اکسید کربن حاصل از اکسیداسیون سریع متانول در بافت‌های فتوسنتزکننده، موجب افزایش فعالیت

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر روی و متانول بر برخی صفات فیزیولوژیک گندم

تیمار		محتوای نسبی آب برگ پرچم		انتقال ماده خشک از کل اندام هوایی	سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه	انتقال ماده خشک از ساقه	مشارکت ذخایر ساقه درعملکرد دانه	وزن هزار دانه
		درمرحله ظهور سنبله	درمرحله پرشدن دانه					
		درصد		(گرم در بوته)	(درصد)	گرم از ساقه	(درصد)	(گرم)
سطوح نانو اکسید روی	صفر	۶۳/۲ d	۶۰/۶c	۰/۳۹a	۳۷/۵ a	۰/۷۳ a	۱۸/۲ a	۳۷b
	۰/۳	۷۲/۴ c	۶۷/۷b	۰/۳۵b	۳۵/۲ b	۰/۵۳ b	۱۶/۷ b	۳۷/۳b
	۰/۶	۷۷ b	۷۱/۷b	۰/۲۷c	۳۰/۴ c	۰/۱۵ c	۱۳/۸ c	۳۸/۶b
	۰/۹	۸۳/۸ a	۷۶/۹a	۰/۲۱d	۲۳/۶ d	۰/۱۷ d	۱۰/۳ d	۴۰/۸a
سطوح متانول	صفر	۶۹/۱ b	۶۵/۵b	۰/۳۴a	۳۴/۳ a	۰/۵۳ a	۱۶ a	۳۷/۱b
	۱۰	۷۳/۸ a	۶۸/۷ab	۰/۳۲b	۳۲b	۰/۴۰ b	۱۵ b	۳۷/۸ab
	۲۰	۷۵/۷ a	۷۰/۶a	۰/۲۹c	۳۰/۹ c	۰/۲۱ bc	۱۴/۴ c	۳۹/۳a
	۳۰	۷۷/۷ a	۷۳/۶۵a	۰/۲۷d	۲۹/۴ d	۰/۲۴ b	۱۳/۷ d	۳۹/۵a

میانگین‌های با حروف مشابه در هرستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن با هم ندارند.

کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو(۱۶) و کاهش تنفس نوری شده و به تبع از آن سرعت فتوسنتز افزایش می‌یابد (۱۸) و افزایش سرعت فتوسنتز تحت چنین شرایطی منجر به افزایش مواد اسمزی تولیدی در درون بافت‌ها شده و همین امر موجب می‌شود آب از خاک با نیروی بیشتری جذب شده و محتوای نسبی آب افزایش یابد (۳۰). محلول‌پاشی روی در شرایط دیم در بهبود محتوای نسبی آب گیاه موثر بود. به‌نظر می‌رسد روی قادر است با کمک به بهبود ظرفیت جذب و انتقال آب توسط گیاه، موجب بهبود وضعیت آبی گیاه در شرایط تنش شود (۵). در ضمن بخشی از بهبود محتوای نسبی آب با کاربرد روی می‌تولند با pH بالا، نزولات پایین و میزان کم مواد آلی در خاک مزرعه آزمایشی مرتبط باشد (جدول ۱) که می‌تولند مقادیر جذب روی را کاهش دهد ولی از آنجایی‌که روی نقش مهمی در بهبود ظرفیت جذب و انتقال آب توسط گیاه دارد (۵)، از این‌رو کاربرد روی موجب افزایش محتوی نسبی آب گیاه در شرایط آزمایشی شده است.

میزان انتقال مجدد ماده خشک و سهم آن در عملکرد دانه

تجزیه واریانس نشان داد میزان انتقال مجدد ماده خشک از کل اندام هوایی و ساقه، سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه و میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه تحت اثرات اصلی نانو اکسید روی و متانول در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد سطوح مختلف نانو اکسید روی و متانول، موجب کاهش میزان انتقال مجدد ماده خشک و سهم این فرایند در عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد شد. به‌طوری که کمترین مقادیر انتقال مجدد ماده خشک از کل اندام هوایی و سهم این فرایند در عملکرد دانه در سطوح بالایی از نانو اکسید روی (به‌ترتیب ۰/۲۱ گرم در بوته و۲۳/۶ درصد) و متانول (۰/۲۷ گرم در بوته و ۲۹/۴ درصد) و بیشترین مقدار آنها در عدم کاربرد متانول و نانو اکسید روی مشاهده شد (جدول ۵). همچنین بیشترین مقادیر انتقال مجددماده خشک از ساقه و مشارکت این فرایند در عملکرد دانه (به‌ترتیب ۰/۲۷ گرم

در بوته و ۱۸/۳ درصد) در سطح شاهد (عدم کاربرد متانول و روی) به‌دست آمد که در مقایسه با کاربرد ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید روی از افزایش به‌ترتیب ۶۰ و ۷۶ درصدی و در مقایسه با محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول به‌ترتیب از افزایش ۲۰ و ۱۶/۲ درصدی برخوردار بود (جدول ۵). به بیانی دیگر محلول‌پاشی نانو اکسید روی و متانول موجب کاهش انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از ساقه به دانه و سهم مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه شد. خیری‌زاده و همکاران (۲۴) کاهش انتقال مجدد ماده خشک از کل بوته و ساقه به دانه را با محلول‌پاشی نانو اکسید روی در گندم در هر دو شرایط عدم تنش و تنش آبی نسبت به شاهد گزارش کردند. به‌نظر می‌رسد متانول با تبدیل سریع به دی‌اکسیدکربن، موجب افزایش غلظت این ماده در درون سلول‌های برگی شده که با افزایش میزان فتوسنتز، منجر به کاهش سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه شده است. کاربرد روی نیز به‌دلیل pH بالا و میزان روی پایین خاک و نقشی که این ماده در فتوسنتز و سایر فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی دارد (۴۸)، ضمن تعدیل اثر تنش ناشی از شرایط دیم، موجب بهبود محتوای نسبی آب (جدول ۵) و فرایند فتوسنتزی شده است. ولی در شرایط عدم کاربرد روی و متانول به‌نظر می‌رسد سهم فتوسنتز به‌دلایل مختلفی از جمله کاهش محتوای نسبی آب (جدول ۵) تاحدودی کاهش می‌یابد در نتیجه بخش بیشتری از وزن دانه به‌واسطه انتقال بیشترماده خشک تأمین می‌شود. در این راستا یانگ و ژانگ (۴۴) بیان کردند که به‌هنگام وقوع خشکی خفیف تا متوسط، انتقال مجدد مواد از برگ به دانه سرعت می‌گیرد که این امر تا حدودی می‌تواند اثر کاهش سهم فتوسنتز در طول دوره پر شدن دانه بر عملکرد را، جبران کند. سید شریفی و نظرلی (۳۸) اظهار داشتند در شرایط تنش، فتوسنتز کاهش می‌یابد درنتیجه عملکرد تا حد زیادی به انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به دانه بستگی دارد و چون میزان انتقال ماده خشک و سهم این فرایند در عملکرد دانه، بیشتر تحت تأثیر روابط منبع و مخزن و شرایط محیطی قرار می‌گیرد، از این رو در حالت دسترسی مطلوب به منابع کافی همچون روی و محلول‌پاشی با متانول به‌دلیل سهولت دسترسی به دی‌اکسید کربن و کاهش تنفس نوری، فتوسنتز افزایش می‌یابد، درنتیجه تعادل منبع و مخزن تا حدود زیادی حفظ شده و مواد تولیدی منبع می‌تواند در مخزن مورد استفاده قرار گیرد. ولی در شرایط عدم کاربرد روی و متانول (به‌دلیل نقش موثر این مواد در بهبود فتوسنتز)، ممکن است تعادل منبع و مخزن به‌هم خورد که در چنین شرایطی معمولا قدرت مخزن بیشتر از منبع بوده و به دلیل روابط فیزیولوژیکی موجود بین منبع و مخزن، منبع میزان انتقال مجدد ماده‌ی خشک را افزایش می‌دهد تا شاید بتواند بخشی از نیاز شدید مخازن (دانه‌ها) را برآورده کند (۱ و ۲۴).

عملکرد کمی و کیفی و برخی صفات مرتبط

ارتفاع بوته

بیشترین ارتفاع بوته (۸۶/۳ سانتی‌متر) در کاربرد ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید روی با ۳۰ درصد حجمی متانول و کمترین آن (۵۸/۶ سانتی‌متر) در سطح شاهد (عدم کاربرد نانو اکسید روی و متانول) به‌دست آمد (جدول ۵). بخشی از کاهش ارتفاع بوته می‌تولند ناشی از کمی نزولات و افزایش دمای حاکم در طول دوره رشدی گندم باشد (جدول ۱).

ولی کاربرد روی و متانول توانست با افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۴) و تعدیل اثرات ناشی از محدودیت آبی تا حدودی از کاهش بیشتر ارتفاع بوته جلوگیری کند. در پژوهشی فاروق و همکاران (۱۳) اظهار داشتند که در شرایط محدودیت آبی، افزایش رقابت بین بخش هوایی و ریشه در گیاه برای جذب رطوبت، موجب می‌شود گیاه مواد فتوسنتزی بیشتری را به ریشه در مقایسه با اندام هوایی تخصیص داده و همین امر موجب کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام هوایی و در نهایت موجب کاهش ارتفاع بوته می‌شود. مصرف متانول نیز با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، ضمن کاهش تنفس نوری و افزایش میزان فتوسنتز، موجب افزایش رشد گیاه و در نهایت ارتفاع بوته می‌شود (۶).

تعداد سنبلچه درسنبله اصلی، تعداد دانه در سنبله و طول سنبله

بیشترین تعداد سنبلچه در سنبله اصلی (۱۳/۳۷)، تعداد دانه در سنبله (۳۳/۱۶) و طول سنبله (۷/۸۳ سانتی‌متر) در کاربرد مقادیر بالایی از نانو اکسید روی و متانول به‌دست آمد که در مقایسه با عدم کاربرد متانول و نانو اکسید روی به‌ترتیب از افزایش ۹۸، ۹۷ و ۷۴ درصدی برخوردار بود (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد شرایط حاکم از نظر بارندگی و دما در طول دوره رشدی گندم (جدول ۱) موجب شده است تا اثرات ناشی از تنش آبی بر گیاه تشدید شده و در چنین شرایطی گیاه از طریق کوتاه کردن دوره نمو و همچنین افزایش سرعت نمو سنبله موجب کاهش طول سنبله شود (۱۲). محدودیت آب همچنین از طریق تأثیر مستقیم منفی بر مریستم انتهایی، که تشکیل‌دهنده سنبله است، می‌تواند سبب کاهش طول سنبله شود (۱۷). بخشی از کاهش تعداد دانه در سنبله در شرایط تنش رطوبتی را می‌توان به افزایش نسبت اندام‌های عقیم قبل از پر شدن دانه، مرگ و میر گلچه‌ها و اختلال در گرده افشانی و پرشدن دانه در اثر خشکی نسبت داد (۱۵) ولی به‌نظر می‌رسد کاربرد متانول از طریق تأثیر بر ظرفیت فتوسنتزی گیاه به‌واسطه توان تولید دی‌اکسید کربن موجب می‌شود به‌واسطه افزایش تولید ماده خشک در گیاه، تعداد سنبلچه در سنبله اصلی و تعداد دانه در سنبله افزایش یابد که همین امر می‌تواند به افزایش طول سنبله منجر شود (۲). به‌نظر می‌رسد متانول با افزایش ظرفیت فتوسنتزی بوته‌ها و همچنین انتقال مواد فتوسنتزی به سمت سنبله‌های در حال رشد گندم ضمن جلوگیری از ریزش سنبله‌ها و تاثیر مثبت بر پرشدن آنها، موجب افزایش تعداد دانه شود.

وزن هزاردانه

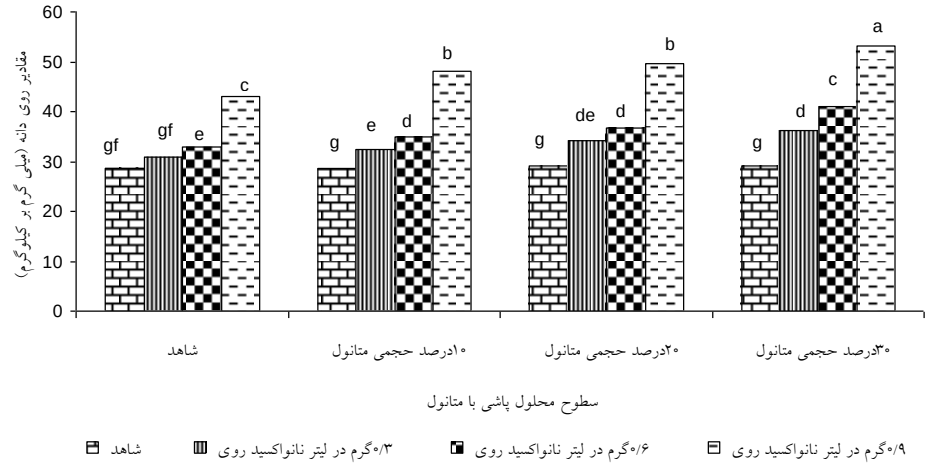
مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن هزاردانه در کاربرد مقادیر بالایی از نانو اکسید روی بدست آمد هر چند که اختلاف آماری معنی‌داری بین کاربرد ۰/۶ و ۰/۳ گرم در لیتر نانو اکسید روی با سطح شاهد وجود نداشت (جدول ۴). در بین سطوح مختلف متانول نیز، بالاترین وزن هزار دانه در کاربرد ۳۰ درصدحجمی متانول به‌دست آمد که در مقایسه با عدم کاربرد متانول از افزایش ۶/۴ درصدی برخوردار بود (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد متانول با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن درون سلول‌های برگی و کمک به انجام فتوسنتز و ماده‌سازی بیشتر، منجر به افزایش وزن هزار دانه شده است. بخشی از افزایش وزن هزار دانه در اثر محلول‌پاشی روی را می‌توان به نقش این ماده در بیوسنتز تنظیم کننده‌های رشد مثل IAA و متابولیسم کربوهیدرات و نیتروژن نسبت داد (۴).

تعداد سنبله در مترمربع

بیشترین تعداد سنبله در مترمربع (۳۰۰) در کاربرد ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید روی با ۳۰ درصد حجمی متانول و کمترین آن (۲۱۰) نیز در عدم کاربرد روی و متانول مشاهده شد (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد تأثیر متانول در افزایش فتوسنتز و کاهش تنفس نوری (۳۳)، موجب می‌شود به‌دلیل تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی تولیدی به‌ویژه پس از گرده‌افشانی به سنبله‌های درحال تکامل، از عدم تکامل سنبله و سنبلچه‌ها و سقط جنین پیشگیری کرده و تعداد سنبله و سنبلچه بارور را افزایش دهد. از طرفی نقش روی در بهبود مکانیسم‌های فتوسنتز (۴۸) می‌تواند از دیگر دلایل افزایش تعداد سنبله در واحد سطح باشد.

شاخص برداشت و عملکرد دانه

بیشترین شاخص برداشت در کاربرد ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید روی با ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول و کمترین آن در شرایط عدم کاربرد نانو اکسید روی و متانول مشاهده شد (جدول ۵). بخشی از افزایش شاخص برداشت در کاربرد چنین ترکیبات تیماری می‌تواند ناشی از اثر این عوامل بر بهبود عملکرد دانه باشد. چرا که بیشترین عملکرد دانه (۳۴۵۲/۱ کیلوگرم در هکتار) نیز، در بالاترین سطح از کاربرد نانو اکسید روی و متانول به‌دست آمد که با کاربرد ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید روی و ۲۰ درصد حجمی متانول تفاوت آماری معنی‌داری

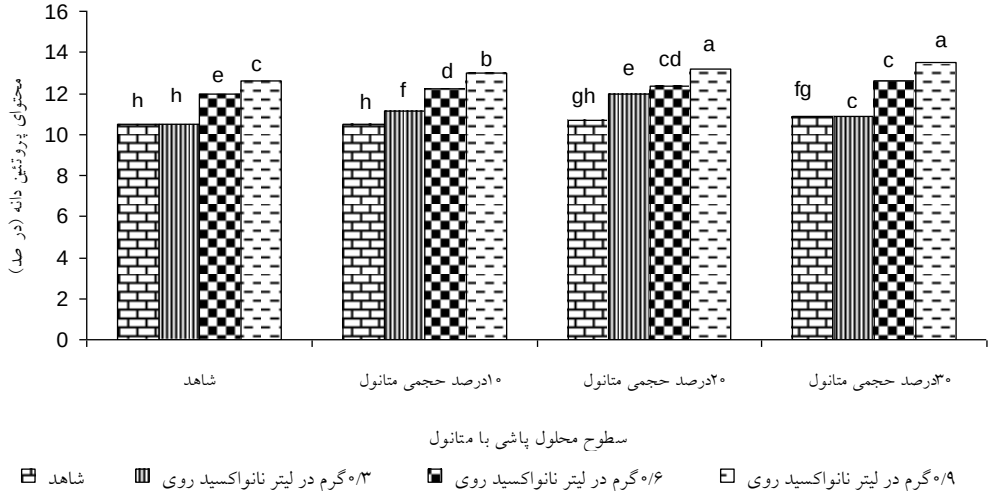


شکل ۱. اثرمحلول‌پاشی نانو اکسید روی و متانول بر محتوای روی دانه

نداشت. کمترین عملکرد دلنه در هکتار (۲۵۸۹/۸ کیلوگرم در هکتار) نیز در عدم کاربرد نانو اکسید روی و متانول مشاهده شد که با ترکیب تیماری عدم کاربرد متانول با محلول‌پاشی ۱۰ درصد حجمی متانول در گروه مشترک قرار داشت (جدول ۵). به‌طوری که افزایش عملکرد حدود ۸۶۲/۳ کیلوگرم در هکتار در شرایط دیم مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد بخشی از افزایش عملکرد در کاربرد نانو اکسید روی و متانول، می‌تواند ناشی از تأثیر فاکتورهای مورد بررسی در تعدیل اثرات ناشی از زراعت دیم باشد به طوری که افزایش محتوای نسبی آب و کاهش هدایت الکتریکی (جداول ۴ و ۵) در کاربرد چنین ترکیبات تیماری، گواه این مدعاست. به‌نظر می‌رسد شرایط دیم حاکم بر گندم مورد کشت (کمی نزولات و زیادی درجه حرارت در طول دوره رشد زایشی) (جدول ۱) می‌تواند اثرات ناشی از تنش اکسیداتیو ایجاد شده به‌واسطه محدودیت آبی را تشدید کرده و همین امر می‌تواند یکی از دلایل کاهش عملکرد دانه در چنین شرایطی باشد. بخشی از بهبود عملکرد دانه گندم به‌واسطه کاربرد متانول می‌تواند ناشی از افزایش غلظت دی‌اکسید کربن حاصل از اکسیداسیون سریع متانول در بافت‌های فتوسنتزکننده باشد که موجب افزایش فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو و کاهش تنفس نوری شده و به تبع از آن، میزان فتوسنتز و عملکرد دانه افزایش می‌یابد (۱۸). بخش دیگری از افزایش عملکرد ناشی از کاربرد نانو اکسید روی می‌تواند ناشی از اسیدیته بالا و مواد آلی و ریزمغذی کم روی در خاک مزرعه (جدول ۱) مورد کشت باشد که کاربرد روی با تأمین بخشی از کمبود این عنصر، ضمن افزایش اجزای عملکرد همچون تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در واحد سطح (جدول ۵)، موجبات بهبود عملکرد دانه در واحد سطح را فراهم می‌کند. تاندون (۴۱) افزایش عملکرد گندم بر اثر مصرف روی را ۷۸۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کرد. دولین و همکاران (۸) اظهار داشتند به‌دلیل نقش اساسی عنصر روی در گیاه که به‌طور مستقیم در بیوسنتز مواد رشدی همانند اکسین دخالت دارد، می‌تواند مواد خشک بیشتری را تولید و در دانه‌ها به‌عنوان مخزن ذخیره کرده و موجب افزایش وزن هزار دانه و عملکرد شوند.

محتوای روی و پروتئین دانه

مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری متانول و نانو اکسید روی بر محتوای روی و پروتئین دانه، نشان داد که بیشترین مقادیر این صفات (به‌ترتیب ۵۳/۲ میلی گرم بر کیلوگرم و ۱۳/۵ درصد) در بالاترین سطح از کاربرد متانول و نانو اکسید روی به‌دست آمد که در مقایسه با سطح شاهد به‌ترتیب از افزایش ۸۶/۶ درصدی در محتوای روی و ۲۸/۵ درصدی در محتوای پروتئین دانه برخوردار بود (شکل‌های ۱ و ۲).



شکل ۲. اثر محلول‌پاشی نانو اکسید روی و متانول بر محتوای پروتئین دانه

ضیائیان و ملکوتی (۴۷) نیز گزارش کردند که با مصرف عناصر ریزمغذی، میزان پروتئین دانه افزایش می‌یابد. تاکار و نایار (۴۰) گزارش کردند که کاربرد روی موجب افزایش اسیدهای آمینه لیزین و هیستیدین در گندم می‌شود و نتیجه گرفتند که با مصرف ۳۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، عملکرد گندم حدود ۵۰۰ کیلوگرم افزایش می‌یابد. مارشنر (۲۸) گزارش کرد که در شرایط کمبود روی، فعالیت آنزیم RNA پلیمراز و انتقال اسیدهای آمینه کاهش یافته و تجزیه و تخریب RNA شدت می‌یابد. در نتیجه سنتز پروتئین به شدت کاهش می‌یابد. بنابراین درصورت در دسترس بودن روی برای گندم، درصد پروتئین دانه افزایش می‌یابد. ییلماز و همکاران (۴۶) با استفاده از روش‌های مختلف مصرف سولفات روی در ارقام مختلف گندم مشاهده کردند که مصرف سولفات روی نه تنها عملکرد را به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌دهد بلکه با افزایش محتوای این عنصر در دانه گندم، موجب غنی شدن دانه می‌شود. وجود پروتئین‌ها در رژیم غذایی به‌عنوان عاملی برای تقویت جذب روی محسوب می‌شوند. افزایش مقدار پروتئین باعث افزایش درصد جذب روی مواد غذایی می‌شود. احتمالا آمینو اسیدهای آزاد شده هنگام تجزیه پروتئین‌ها از طریق باقی نگهداشتن روی در محلول، میزان جذب روی را افزایش می‌دهند (۳۲). مارشنر (۲۸) اظهار داشت مصرف روی علاوه بر افزایش عملکرد، در بالا بردن پروتئین و غلظت روی، مؤثر واقع می‌شود.

نتیجه‌گیری

بیشترین اجزای عملکرد و عملکرد کمی و کیفی دانه در کاربرد مقادیر بالایی از نانو اکسید روی و متانول (۰/۹ گرم در لیتر روی با ۳۰ درصدحجمی متانول) مشاهده شد. کمترین هدایت الکتریکی، انتقال مجدد ماده خشک به دانه، سهم انتقال مجدد ماده خشک در عملکرد دانه، انتقال مجدد مواد از ساقه به دانه و میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه در کاربرد ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید روی با ۳۰ درصد حجمی متانول مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد به‌منظور افزایش عملکرد و برخی صفات اگروفیزیولوژیکی گندم، می‌توان کاربرد ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید روی و ۳۰ درصد حجمی متانول را پیشنهاد کرد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول مقاله می‌باشد که نویسندگان وظیفه خود می‌دانند مراتب سپاس و تشکر خود را از یکایک همکاران ارجمند در بخش‌های مختلف دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اعلام دارند.

منابع مورد استفاده

1. Aghaei, F., R. Seyed Sharifi, S. Khomari and H. Narimani. 2020. Effects of methanol on grain yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under irrigation withholding conditions. *Crop Production* 13 (4): 151-172. (In Farsi).
2. Ahmadi, K., M. Rostami and S. R. Hosseinzadeh. 2018. Effects of application of methanol on yield and yield components of two cultivars of canola (*Brassica napus* L.) under rainfed conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research* 16(3): 629-640. (In Farsi).
3. Aldesuquy, H. and H. Ghanem. 2015. Exogenous salicylic acid and trehalose ameliorate short-term drought stress in wheat cultivars by up-regulating membrane characteristics and antioxidant defense system. *Journal of Horticulture* 2(2): 139.
4. Alloway, B. J. 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition. IZA and IFA, Brussels, Belgium and Paris.
5. Azooz, M. M. and P. Ahmad. 2015. Legumes under environmental stress: yield, improvement and adaptations. Published by John Wiley & Sons, Hoboken.
6. Benson, A. A. and A. M. Nonomura. 1994. The path of carbon in photosynthesis: methanol inhibition of glycolic acid accumulation. *Photosynthesis Research* 34: 196-202.
7. Chandra, D., R. Srivastava and A. K. Sharma. 2018. Influence of IAA and ACC deaminase producing Fluorescent Pseudomonads in alleviating drought stress in wheat (*Triticum aestivum*). *Agricultural Research* 7: 290-299.
8. Devlin, M., P. C. Bhowmik and S. J. Karczmarczyk. 1994. Influence of methanol on plant germination and growth. *Plant Growth Regulation* 22: 102-108.
9. Du, W., J. Yang, Q. Peng, X. Liang and H. Mao. 2019. Comparison study of zinc nanoparticles and zinc sulphate on wheat growth: From toxicity and zinc biofortification, *Chemosphere* 277: 109-116.
10. Ehdaie, B. and J. G. Wanies. 1996. Genetic variation for contribution of preanthesis assimilates to grain yield in spring wheat. *Journal of Genetic and Breeding* 50: 47-56.
11. Eisvand, H. R., H. Kamaei and F. Nazarian. 2018. Chlorophyll fluorescence, yield and yield components of bread wheat affected by phosphate biofertilizer, zinc and boron under late-season heat stress. *Photosynthetica* 56: 1287-1296.
12. Emam, Y. and M. Niknejad. 2011. An Introduction to the Physiology of Crop Yield. Shiraz University Press, Shiraz. (In Farsi).
13. Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S. M. A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 185-212.
14. Feibert, E. B., S. R. Games, K. A. Rykbost, A. R. Mitchell and C. Chock. 1995. Potato yield and quality not changed by foliar applied methanol. *Horticultural Science* 30(3): 494-495.
15. Flower, D. and M. M. Ludlow. 1986. Contribution of osmotic adjustment to the dehydration tolerance of water stressed pigeon pea (*Cajanus cajan* L. mill sp.) leaves. *Plant Cell and Environment* 9: 3-44.
16. Gafori, Sh., H. Mozafari and B. Sani. 2017. Effects of methanol foliar application on yield and yield components of rainfed lentil (*Lense culinaris* L.). *Journal of Crop Production Research* 9(2): 175-197. (In Farsi).
17. Gooding, M., R. Ellis, P. Shewry and J. Schofield. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. *Journal of Cereal Science* 37: 295-309.
18. Gout, E., S. Aubert, R. Bligny, F. Rebeille, A. R. Nonomura, A. Benson and R. Douce. 2000. Metabolism of methanol in plant cells. Carbon-13 nuclear magnetic resonance studies. *Plant Physiology* 123: 287-296.
19. Hadi, H., R. Seyed Sharifi and A. Namvar. 2016. Phytoprothectants and Abiotic Stresses. Urmia University, Urmia. (In Farsi).
20. Hasanuzzaman, M. 2020. Agronomic Crops: Stress Responses and Tolerance. Springer Nature, Singapore.
21. Hossinzadeh, S. R. and A. Ganjeali. 2011. Effects of methanol on morphological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought. *Enviromental Stresses in Crop Science* 4(2): 139-150. (In Farsi).
22. Karakas, O. A., C. Stushoff., M. Suefferheld and M. Rieger. 1997. salinity and drought tolerance of mannitol-accumulating transgenic tobacco. *Plant, Cell and Environment* 20: 609-616.
23. Khan, Kh. and P. R. Shewry. 2009. Wheat Chemistry and Technology. AACC International Publication.
24. Kheirizadeh Arough, Y., R. Seyed Sharifi, M. Sedghi and M. Barmaki, 2015. Effects of stabilizer water deficiet (biofertilizers and nano zinc oxide) on effective traits at accumulative assimilate of grain of *triticale* under water withholding. *Plant Ecophysiology* 9 (28): 37-51. (In Farsi).
25. Leilah, A. and S. Al-Khateeb. 2005. Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. *Journal of Arid Enviroment* 61: 483-496.
26. Liu, H. E., Q. Y. Wang, Z. Rengel and P. Zhao. 2015. Zinc fertilization alters flour protein composition of winter wheat genotypes varying in gluten content. *Plant Soil Environment* 61: 195-200.
27. Liu, M., G. Zhao, X. Huang, T. Pan, W. Chen, M. Qu, B. Ouyang, M. Yu and S. Shabala. 2023. Candidate regulators

of drought stress in tomato revealed by comparative transcriptomic and proteomic analyses. *Frontiers in Plant Science* 14: 1282718.
28. Marschner, P. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Elsevier, Amsterdam.
29. Nemecek-Marshall, M., R. C. MacDonald, J. J. Franzen, C. L. Wojciechowski and R. Fall. 1995. Methanol emission from leaves: enzymatic detection of gas-phase methanol and relation of methanol fluxes to stomatal conductance and leaf development. *Plant Physiology* 108: 1359-1368.
30. Nonomura, A. M. and A. A. Benson. 1992. The path of carbon in photosynthesis: improved crop yields with methanol. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 89: 9794-9798.
31. Papakosta, D. K. and A. A. Gagianas. 1991. Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses for Mediterranean wheat during grain filling. *Agronomy Journal* 83: 864-870.
32. Peck, A.W., G. K. McDonald and R. D. Graham. 2008. Zinc nutrition influences the protein composition of flour in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science* 47: 266-274.
33. Ramberg, H. A., J. S. S. Bradly, I. S. Olseon, J. N. Nishio, J. Markwell and J. C. Osterman. 2002. The role of menthal in promoting plant growth: an update, *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology* 1: 113-126.
34. Rehman, A., M. Farooq, L. Ozturk, M. Asif and K. H. M. Siddique. 2017. Zinc nutrition in wheat-based cropping systems. *Plant Soil* 422: 283-315.
35. Rizwan, M., S. Ali, B. Ali, M. Adrees, M. Arshad, A. Hussain, M. Zia Rehman and A. A. Waris. 2018. Zinc and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat. *Chemosphere* 214: 269-277.
36. Rostaii, M., M. Hassanpourhosni, H. Esmailzad, D. Sadeghzadeh, B. Sadeghzadeh, A. Amiri, R. Eslami, R. Rezaii, S. Golkari, K. Soleimani, Gh. AbediAsl, E. Rohi, H. Pashapour, R. Haghparast, M. Aghaee, M. M. Ahmadi, A. Daryaee, F. Afshari, M. Torabi, M. A. Dehghan, V. Mardokhi, R. Hoshyar, S. T. Dadrezaii and S. M. Hosseini. 2010. Baran a new winter bread wheat cultivar for dryland condition in cold and moderate regions of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops* 3(4): 233-242.
37. Sattar, A., X. Wang, S. Ul-Allah, A. Sher, M. Ijaz, M. Irfan, T. Abbas, S. Hussain, F. Nawaz, A. Al-Hashimi, O. Munqedhi and B. M. A. Skalicky. 2022. Foliar application of zinc improves morpho-physiological and antioxidant defense mechanisms and agronomic grain biofortification of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water stress. *Saudian Journal of Biological Science* 29(3): 1699-1706.
38. Seyed Sharifi, R. and H. Nazarly. 2013. Effects of seed priming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on grain yield, fertilizer use efficiency and dry matter remobilization of sunflower (*Helianthus annus* L.) with various levels of nitrogen fertilizer. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science* 3(23): 27-45. (In Farsi).
39. Stoilova, L. S., K. Demirevska, T. Tatyana Petrova, N. Tsenov and U. Feller. 2007. Antioxidative protection and proteolytic activity in tolerant and sensitive wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties subjected to long-term field drought. *Plant Growth Regulation* 58: 107-117.
40. Takkar, P. N. and V. K. Nayar. 1990. Reports of wheat grain grown on manganese deficient soil on method and rate of manganese sulphate application. *Fertilizer News* 36: 55-57.
41. Tandon, H. L. S. 1995. Micronutrients in Soils, Crops and Fertilizers. A Sourcebook–cum–Directory. Fertilizer Development and Consumption Organisation, New Delhi.
42. Taran, N., V. Storozhenko, N. Svietlova, L. Batsmanova, V. Shvartau and M. Kovalenko. 2017. Effect of zinc and copper nanoparticles on drought resistance of wheat seedlings. *Nanoscale Research Letter* 12 (1): 60.
43. Turan, M., M. Ekinci, S. Argin, M. Brinza and E. Yildirim. 2023. Drought stress amelioration in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings by biostimulant as regenerative agent. *Frontiers in Plant Science* 14(15): 121
44. Yang, J. and J. Zhang. 2006. Grain filling of cereals under soil drying. *New Physiology* 169: 223-236.
45. Yavas, I. and A. Unay. 2016. Effects of zinc and salicylic acid on wheat under drought stress. *Journal of Animal and Plant Science* 26: 1012-1018.
46. Yilmaz, A., H. Ekiz, B. Torun, I. Guttekin, S. Karanlik, S. A. Baggi and I. Cakmak. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc deficient calcarcous soils. *Journal of Plant Nutrition* 20: 461-471.
47. Ziaeian, A. H. and M. J. Malakouti. 2002. Effects of Fe, Mn, Zn and Cu fertilization on the yield and grain quality of wheat in the calcareous soils of Iran. *Plant Nutrition, Springer Netherlands* 92: 840-841.
48. Zozi, T., F. Steiner, R. Fey, D. D. Castagnara and E. P. Seidel. 2012. Response of wheat to foliar application of zinc. *Ciência Rural Universidade Federal de Santa Maria* 42(5): 784-787.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 14, No. 3, Fall 2024, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effects of Methanol and Nano Zinc Oxide on Yield and Some Agrophysiological Traits of Rainfed Wheat (*Triticum aestivum* L.)

E. Gaderi[1] and R. Seyed Sharifi[2] *

1 and 2. M.Sc. Student in Agronomy and Professor, Respectively, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
*: Corresponding Author, Email:.raouf_ssharifi@yahoo.com

(Received: February 13-2024; Accepted: May 24-2024)

Extended Abstract

Introduction

Water deficit is one of the most important factors limiting crop production under rainfed condition. Several methods have been proposed to increase the resistance of crops against water deficit. In this regard, foliar application of methanol and nano zinc oxide can improve the performance of crop plants under water limitation conditions. Zinc deficiency is recognized as a critical problem in plants, especially when grown on soils with high pH values. But, recent researches have shown that application of micronutrients, including Zn, in the form of nano-fertilizers is a viable criterion for growing plants under water deficit condition, as it increases resource use efficiency and reduces environmental pollution. Also, foliar-applied methanol can increase the concentration of CO_2 inside the plant tissue and promote photosynthesis rate and growth under water deficit conditions. On the other hand, water deficit is mitigated by stress modulators such as methanol and nano zinc oxide through a variety of mechanisms, including increased photosynthetic efficiency and nutrient acquisition in plants, and enhancement of the antioxidant system towards preventing damage from reactive oxygen species. Considering the above fact, the present study was undertaken to evaluate the effects of nano zinc oxide and methanol foliar application on grain yield and some physiological traits (i.e, relative water content, electrical conductivity of flag leaf, dry matter remobilization from plant's above-ground parts and hence contribution of photoassimilates remobilization in grain yield) of wheat under rainfed conditions.

Materials and Methods

A factorial experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications in Sarab in north-west of Iran, in 2018-2019. Experimental factors included nano zinc oxide foliar application at four levels (foliar application with water as control, 0.3, 0.6, and 0.9 g L^{-1}) and methanol application at four levels (foliar application with water as control, 10, 20, and 30% v/v). Methanol was prepared from Mojallal Co. and nano zinc oxide from Pishgaman Nanomaterials Co. Nano zinc oxide consisted of particles of less than 30 nm. Foliar application of nano zinc oxide and methanol were done in stages of tillering and boot stage. Relative water content (RWC) and electrical conductance (EC) of flag leaves was calculated based on the given formula Kheirizadeh Arough et al (2015):

$$RWC\ (\%) = [(FW-DW)/(TW-DW)] \times 100 \quad (1)$$

where FW is the fresh weight; DW is the dry weight; and TW is the turgid weight. From each plot, the samples of developed flag leaf were randomly selected and after placing them in aluminum foils, they were transferred to the laboratory very quickly, then the flag leaf samples were kept in flasks containing 25 ml of distilled water. It was then placed at room temperature for 24 hours and then the electrical conductivity was measured by an EC meter (Mi 180 Bench Meter).
Dry matter and remobilization of stem reserves to grain yield were evaluated as follows:
Dry matter remobilization from shoot (g $plant^{-1}$) = maximum of dry matter of shoot after anthesis (g $plant^{-1}$)

- shoot dry matter (grains excluded) in maturity (g plant^{-1}).

Contribution of dry matter remobilization to grain (%) = [dry matter remobilization from shoot (g plant^{-1}) /grain yield (g plant^{-1})] × 100.

Contribution of dry matter remobilization from stem to grain yield (g plant^{-1}) = [maximum of stem dry matter after anthesis (g plant^{-1}) - stem dry matter in maturity (g plant^{-1})] × 100.

Analysis of variance was done by SASv$_{9.12}$. The main effects and interactions were compared by LSD test at the 0.05 probability level.

Results and Discussion:

Mean comparison showed that the least of dry matter remobilization from above-ground parts (0.21 g plant^{-1}) and contribution of remobilization to grain yield (23.6%), dry matter remobilization from stem (0.17 g plant^{-1}) and contribution of stem reserves to grain yield (10.3%) were obtained at the highest level of nano zinc oxide application. Similar results were obtained in these traits at the highest level of methanol application. Foliar spraying of high rates of nano zinc oxide and methanol increased the relative water content of flag leaf in ear emergence (17%) and grain filling stages (11%), zinc content (62%), protein content (14%) and grain yield (33%) in comparison to control.

Conclusions

Results of this study taken together, it seems that application of 0.9 g L^{-1} nano zinc oxide with 30% v/v of methanol can be suggested for improvement of physiological traits and thereby increase in grain yield of wheat under rainfed conditions.

Keywords

Dry matter remobilization from stem, Electrical conductivity, Phenology, Yield