

اثر محلول پاشی نانوکود و متانول بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک گندم دیم در شرایط آبیاری تکمیلی

الهام بیرانوند^۱، علی خورگامی^۱، مسعود رفیعی^{۲*}، رضا میردریگوند^۱ و سیدحسین وفایی^۳

^۱ گروه کشاورزی، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

^۲ بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

^۳ گروه گیاهپزشکی، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۰۳/۰۳)

چکیده

آبیاری تکمیلی موجب تعدیل خسارات ناشی تنش خشکی در زراعت دیم می‌گردد. کاربرد نانوکود فارمکس و متانول به صورت محلول-پاشی نیز می‌تواند از جمله راه کارهای مدیریتی مؤثر در بهبود تولید تحت شرایط دیم به شمار روند. بدین منظور اثر آبیاری تکمیلی، محلول-پاشی نانوکود و محلول پاشی متانول در آزمایشی به صورت اسپلیت-فاکتوریل با چهار تکرار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار پرولین (به ترتیب ۳۱ و ۲۶ درصد) و آنزیم آنتی اکسیدان پراکسیداز (به ترتیب ۴/۶ و ۱۰/۵ درصد) با آبیاری تکمیلی کاهش یافت و جذب عناصر غذایی ضروری پر مصرف و کم مصرف و در نهایت عملکرد دانه افزایش نشان داد. در شرایط عدم آبیاری تکمیلی، تفاوتی میان دو تیمار عدم محلول پاشی و محلول پاشی نانوکود از نظر مقدار پراکسیداز در تمامی سطوح محلول پاشی متانول مشاهده نشد؛ اما مقدار پراکسیداز در شرایط آبیاری تکمیلی در تیمار عدم محلول پاشی نانوکود در تمامی سطوح محلول پاشی متانول بیشتر از تیمار محلول پاشی نانوکود بود. با کاربرد متانول در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی از مقدار پرولین و پراکسیداز کاسته شد. محلول پاشی نانوکود با افزایش مقدار نیتروژن اندام هوایی (۷۶ درصد) و مقدار نیتروژن دانه (۱۶ درصد) موجب افزایش مقدار پروتئین دانه (۳/۳ درصد) شد. جذب عناصر توسط گیاه و غنی سازی دانه گندم بستگی به نوع عنصر ضروری و غلظت متانول در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی داشت. در مجموع، آبیاری تکمیلی، محلول پاشی نانوکود و محلول پاشی متانول، عملکرد دانه گندم در شرایط دیم را افزایش داد، لیکن در شرایط آبیاری تکمیلی، عملکرد دانه با افزایش محلول پاشی متانول تا سطح ۲۰ درصد افزایش یافت و با مصرف بیشتر متانول روند کاهشی داشت؛ اما در شرایط عدم آبیاری تکمیلی، عملکرد دانه با افزایش محلول پاشی متانول افزایش نشان داد.

کلمات کلیدی: پراکسیداز، پرولین، عملکرد دانه، غنی سازی دانه، جذب عناصر

مقدمه

تنش کمبود آب ناشی از نامناسب بودن مقدار و توزیع بارندگی در شرایط دیم، روی فرایندهای رشدونمو گیاهان مؤثر است که

کاهش تعداد دفعات کاربرد کود می‌شود (نادری و دانش شهرکی، ۱۳۹۰). محلول‌پاشی نانوذرات آهن با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برای لوبیا چشم‌بلبلی تعداد غلاف (۴۷ درصد)، وزن هزار دانه (۷۵ درصد)، مقدار آهن برگ‌ها (۳۴ درصد) و مقدار کلروفیل (۱۰ درصد) را به‌طور قابل توجهی نسبت به شاهد افزایش می‌دهد (Delfani et al., 2014). در بررسی اثرات نانوذرات اکسید آهن و مقایسه آن با سولفات آهن و کلات آهن با EDTA بر روی رشد و محصول دو رقم لوبیا چیتی، محققین به این نتیجه رسیدند که تیمار نانوذره ۰/۱ درصد و روش دوبار محلول‌پاشی قبل و بعد از گلدهی بیشترین تأثیر را بر اجزای عملکرد نشان داد (فراهانی، ۱۳۹۲).

دلیل تغییرات اجزای گیاهی، تعداد بیشتر ذرات در واحد وزن و سطح ویژه ذرات نانو مقیاس است که باعث تماس بیشتر کود با گیاه و در نتیجه افزایش جذب مواد مغذی می‌گردد. علاوه بر این، نانوذرات با اندازه کمتر از ۱۰۰ نانومتر، احتمالاً بازده عناصر را بیشتر و حلالیت آن را در آب مؤثرتر می‌کند، بنابراین فعالیت نانوذرات افزایش یافته و در نتیجه عملکرد گیاه را بهبود می‌بخشد (Joseph and Morrisson, 2006). در بررسی جذب و غلظت عناصر غذایی آهن، روی، مس و منگنز در گیاه گندم گزارش شد که نانو اکسید آهن نسبت به اکسید معمولی آهن برتری معنی‌داری داشت (Mazaherinia et al., 2010). محلول‌پاشی کلات نانوذرات آهن اثرات قابل توجه و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر ارتفاع بوته، تعداد سنبله، وزن ۱۰۰۰ دانه، تعداد دانه در سنبله، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم داشته است (Harsinia et al., 2014). استفاده از کود حاوی ذرات نانو در مقایسه با مقدار مساوی کود شیمیایی NPK باعث افزایش ارتفاع گیاه گندم شد و گیاهان تیمار شده با این کود دارای غلظت بیشتری از عناصر به‌خصوص نیتروژن بودند (Zhang et al., 2006).

به گزارش ایقائی اسکوئی (۱۳۹۷)، اثر عامل نانوکود بر صفات لوبیا شامل تعداد روز تا ظهور سه برگچه اول، ظهور سه برگچه سوم، گلدهی، پرشدن غلاف، رسیدگی، دوره پرشدن

به‌صورت تغییرات بیوشیمیایی، فیزیولوژیک و مورفولوژیک بروز می‌کند (Wang et al., 2001). اما مکانیسم‌های دفاعی متعددی در گیاهان وجود دارد که موجب تحمل به تنش کمبود آب می‌شوند؛ همچون تنظیم اسمزی، هومئوستازی یون، و سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی و هورمونی (Mahajan and Tuteja, 2005) که به بقا و رشد گیاهان تحت شرایط محیطی شدید پیش از مرحله رشد زایشی‌شان کمک می‌کنند. تنش خشکی موجب ایجاد رادیکال‌های فعال اکسیژن در اثر تنش اکسیداتیو می‌شود که این رادیکال‌ها بر مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی اثر گذاشته و همچنین موجب پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی می‌شوند (امینی و حداد، ۱۳۹۲) و در نتیجه بر نشت الکترولیت اثر سوء می‌گذارند. با کاهش رطوبت خاک، مقدار پرولین برگ‌ها افزایش می‌یابد و نقش کلیدی در تنظیم اسمزی بازی می‌نماید (Ghorbanli and Niakan, 2006; Cha-um and Kirdmanee, 2009; Gholdani, 2012).

آبیاری تکمیلی مصرف مقدار محدودی آب در گیاه زراعی در زمان نبود بارندگی است تا آب کافی برای رشد گیاه به‌منظور افزایش و ثبات عملکرد تأمین شود (Oweis and Hachum, 2004). بر این اساس، بیشترین اجزای عملکرد و عملکرد دانه گندم در تیمار آبیاری تکمیلی پس از کاشت (توکلی، ۱۳۸۵)، آبیاری تکمیلی در مرحله رویشی رشد گندم (Abderrazzak et al., 2013)، آبیاری تکمیلی در مرحله کاشت و سنبله‌دهی (روستایی، ۱۳۹۴) گزارش شده است. این نتایج متفاوت، به دلیل آبیاری تکمیلی در زمان‌های مختلف نبود بارندگی است.

از مهم‌ترین کاربردهای نانو در زمینه‌ها و گرایش‌های کشاورزی در بخش آب و خاک می‌توان به استفاده از نانو کودها برای تغذیه گیاهان اشاره نمود (رضایی و همکاران، ۱۳۸۸). ذرات کودی می‌توانند با غشاهایی در مقیاس نانو پوشیده شوند که رهاسازی آهسته و مداوم عناصر غذایی را تسهیل می‌کند (Liu et al., 2006). استفاده از نانوکودها منجر به افزایش کارایی عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، به حداقل رساندن اثرات منفی ناشی از مصرف بیش از حد کود و

این پژوهش با هدف بررسی احتمال اثر هم‌افزایی کاربرد همزمان آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی نانوکود و محلول‌پاشی متانول بر جذب عناصر و عملکرد گندم تحت شرایط دیم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی به صورت اسپلیت-فاکتوریل با چهار تکرار ایستگاه تحقیقاتی کامالوند خرم‌آباد در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در شرایط دیم اجرا شد. عامل آبیاری تکمیلی (بدون آبیاری تکمیلی و آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی) در کرت‌های اصلی و عامل‌های محلول‌پاشی نانوکود (عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۳ میلی‌لیتر بر لیتر نانوکود فارمکس) و محلول‌پاشی متانول (عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی) (Harsinia et al., 2014) به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. محلول‌پاشی متانول و نانو-کود دو بار در مرحله رشد رویشی از شروع ساقه رفتن (Harsinia et al., 2014) با فاصله ۱۰ روز با استفاده از سمپاش ۲۰ لیتری انجام شد. کرت‌های شاهد به منظور یکنواختی کرت‌های آزمایشی با آب معمولی محلول‌پاشی شد.

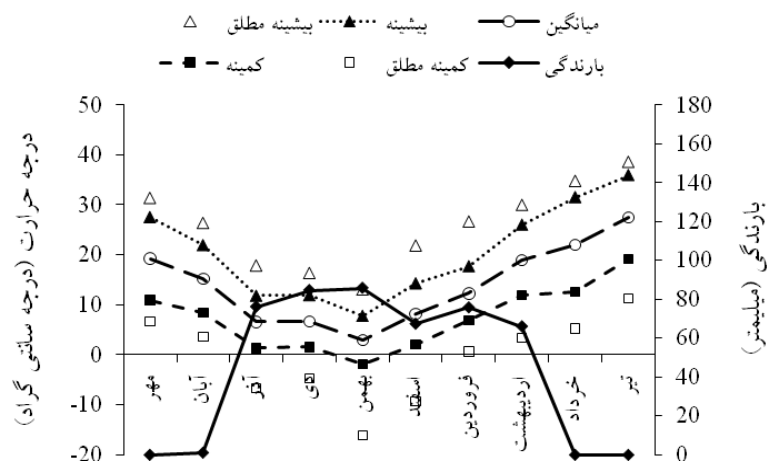
مشخصات هواشناسی محل آزمایش براساس آمار ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد در شکل ۱ ارائه گردیده است. طبق طبقه‌بندی اقلیمی منطقه خرم‌آباد دارای اقلیم نیمه‌گرمسیری با تابستان گرم و خشک است. براساس آمار بلندمدت متوسط حداقل، حداکثر و متوسط حرارت به ترتیب ۹/۲، ۲۵/۲ و ۱۷/۲ درجه سانتی‌گراد دارای اقلیم معتدل سرد با تابستان خشک طبق طبقه‌بندی دومارتن با متوسط بارش سالیانه ۵۲۵ میلی‌متر و میانگین رطوبت نسبی ۴۶/۷ درصد است.

مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک و نانوکود فارمکس استفاده شده در آزمایش به ترتیب در جداول ۱ و ۲ آمده است. کاشت بذر گندم رقم کوه‌دشت در ۱۶ آبان‌ماه انجام گرفت. براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) مقدار ۵۰ کیلوگرم کود اوره به‌همراه ۵۰ کیلوگرم کود فسفات آمونیوم و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به صورت

دانه، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، طول غلاف کوتاه و تعداد دانه چروکیده در سطح احتمال یک درصد و بر قطر ساقه، طول غلاف بلند و وزن صد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی-دار بود.

استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد از جمله محلول‌پاشی متانول، یکی از راه‌هایی است که باعث افزایش تثبیت دی‌اکسید کربن در گیاهان زراعی در واحد سطح می‌شود. نقش عمده متانول جلوگیری از کاهش اثر تنش‌های القاشده به گیاهان زراعی در انجام تنفس نوری آنها است (Downic et al., 2004). محلول‌پاشی متانول بر روی گیاهان دارای کمبود آب باعث افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌های آنها می‌شود، درحالی‌که در گیاهان دارای آب کافی که متانول تیمار شدند، مقدار کلروفیل کمی کاهش پیدا می‌کند. البته گزارش شده است که تیمارکردن توتون با متانول سبب افزایش محتوای کلروفیل برگ شد (Ramirez et al., 2006). در گیاهانی که با تنش خشکی مواجه هستند محلول‌پاشی متانول سبب جلوگیری از کاهش بیوماس در آنها می‌شود (Safarzade et al., 2005).

آرین‌فر و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی محلول‌پاشی متانول در گندم گزارش دادند محلول‌پاشی متانول با غلظت ۲۰ درصد حجمی بیش از سایر تیمارهای محلول‌پاشی متانول بر عملکرد و اجزای عملکرد مؤثر بود و موجب افزایش عملکرد دانه و طول پدانکل گندم شد، در صورتی‌که محلول‌پاشی ۳۰ درصد متانول سبب کاهش ۶/۹ درصد عملکرد دانه گندم در مقایسه با تیمار شاهد شد. نتایج تحقیقات Sadeghi-Shoae و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که محلول‌پاشی متانول در غلظت‌های مختلف متانول تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش از جمله عملکرد دانه، عملکرد پروتئین، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته و ارتفاع بوته داشت. بنابر اظهارات احيایی و همکاران (۱۳۸۷)، محلول‌پاشی با غلظت ۳۰ درصد بیشتر از سایر تیمارها بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود مؤثر بود، به طوری‌که موجب افزایش تعداد غلاف، وزن هزار دانه، وزن دانه، تعداد دانه در بوته و شاخص برداشت شد.



شکل ۱- آمار هواشناسی سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ (منبع: ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد)

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

مس	روی	منگنز	آهن	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	کربن آلی	بافت خاک
								رسی سیلتی
								(درصد)
								(میلی گرم بر کیلوگرم)
۱/۳۶	۱/۴۶	۷/۶۸	۴/۲۴	۳۵۵	۶/۹	۰/۱۲	۰/۹۸	

جدول ۲- مشخصات نانوکود فارمکس مورد استفاده

Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	ZnO	SO ₃	MgO	SiO ₂	F	CaO	ترکیب
۰/۱۹	۰/۲۸۸	۰/۳۳	۰/۸۰۲	۰/۸۳	۹/۶۳	۱۵/۵۸	۳۳/۷۴	غلظت
								(w/w/.)
کل	SrO	CoO	NiO	CuO	K ₂ O	MoO ₃	Na ₂ O	ترکیب
۱۰۰	۰/۰۳۶	۰/۰۳۹	۰/۰۴۶	۰/۰۵۱	۰/۰۶۹	۰/۰۷۵	۰/۱۶	غلظت
								(w/w/.)

برای کنترل علف‌های هرز از علف‌کش گرانستار و تایپک در مرحله انتهای پنجه‌زنی و ابتدای ساقه‌دهی استفاده شد. مقدار آب آبیاری تکمیلی برای هر پلات اصلی براساس فرمول $V_w = (FC - \theta) \times BD \times A \times D / Ea$ محاسبه گردید که در آن V_w ، حجم آب آبیاری (مترمکعب)؛ FC ، درصد وزنی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه (۲۸ درصد)؛ θ ، درصد وزنی رطوبت خاک در زمان آبیاری؛ BD ، وزن مخصوص ظاهری خاک مزرعه (۱/۲۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب)؛ A ، مساحت پلات اصلی آزمایش؛ D ، عمق نفوذ ریشه در خاک در مرحله سنبله‌دهی (متر) و Ea ، راندمان کاربرد آب آبیاری (۹۰٪).

یکنواخت پاشیده شد و به‌وسیله دیسک سبک مخلوط گردید. کودها پس از پخش در مزرعه توسط دیسک با خاک مخلوط شد. پس از آماده‌شدن بستر براساس نقشه طرح، کاشت بذور انجام شد. هر کرت در برگیرنده پنج خط کاشت ۵ متری با فاصله خطوط ۱۷ سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌های اصلی دو متر، کرت‌های فرعی یک متر و بین تکرارها دو متر در نظر گرفته شد. کلیه عملیات زراعی مطابق معمول منطقه و براساس توصیه‌های تحقیقاتی انجام پذیرفت. بقیه کود نیتروژن در مرحله ساقه رفتن به مقدار ۵۰ کیلوگرم کود اوره به‌صورت سرک در اسفندماه هر سال در مرحله رشد سریع مصرف شد.

متانول قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات ساده عامل‌ها نشان داد که آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی نانوکود موجب کاهش به‌ترتیب ۳۱ و ۲۶ درصدی مقدار پرولین اندام هوایی و به‌ترتیب ۴/۶ و ۱۰/۵ درصدی مقدار آنزیم پراکسیداز اندام هوایی شد. محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول موجب کاهش ۱۲ درصدی مقدار پرولین اندام هوایی و محلول‌پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول موجب کاهش ۵/۳ درصدی مقدار آنزیم پراکسیداز اندام هوایی نسبت به عدم محلول‌پاشی متانول شد (جدول ۴).

مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری تکمیلی در نشان داد که با کاربرد متانول در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی از مقدار پرولین و پراکسیداز کاسته شد، به‌طوری‌که در شرایط آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول موجب کاهش به‌ترتیب ۱۶ و ۱۰ درصدی مقدار پرولین و پراکسیداز اندام هوایی نسبت به عدم محلول‌پاشی متانول شد (جدول ۵).

تنظیم اسمزی یک فرآیند فیزیولوژیک است که در طی آن گیاه با انباشت یک سری مواد اسمزی مانند پرولین و قندهای محلول در سلول‌ها، پتانسیل اسمزی بافت‌های تحت تنش را کاهش می‌دهد تا فشار تورژسانس سلول‌ها در حد مطلوب باقی بماند (Bahramichegeni et al., 2013). پراکسیدازها در جذب H_2O_2 و پراکسیدازهای آلی که تحت شرایط تنش مختلف تشکیل می‌شوند اهمیت دارد (Tian and Li, 2006). در آزمایشی تنش خشکی موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، پلی‌فنل اکسیداز و محتوی پرولین گردید (Khalilzadeh et al., 2016).

عناصر ضروری در اندام هوایی و دانه: نتایج تجزیه

واریانس ساده صفات بیوشیمیایی در اندام هوایی و دانه نشان داد که اثر نانوکود بر مقدار نیتروژن اندام هوایی، اثرات آبیاری تکمیلی، نانوکود و متانول بر مقدار فسفر و روی اندام هوایی و مقدار نیتروژن و فسفر دانه، اثرات آبیاری تکمیلی و متانول بر مقدار پتاسیم دانه، اثر نانوکود و متانول بر مقدار پتاسیم در اندام هوایی، اثر متانول و نانوکود بر مقدار آهن و روی در دانه و اثر متانول بر مقدار آهن اندام هوایی معنی‌داری بود (جدول ۳).

درصد) بود. پس از محاسبه مقدار آب لازم، کرت‌های اصلی با استفاده از پمپ آب که از دبی خروجی مشخص برخوردار بود تا رسیدن به حد ظرفیت مزرعه آبیاری می‌شد. برای تعیین طول مدت (t) آبیاری هر پلات از رابطه $t = V / Q$ استفاده شد که در آن V، حجم آب آبیاری برحسب لیتر و Q، دبی خروجی پمپ آب برحسب لیتر در ثانیه بود. با توجه به محصور بودن کرت‌های آزمایشی هدررفت آب صفر بود. به‌منظور توزیع یکنواخت آب در هر پلات، ابتدا و انتهای کرت‌ها مسدود گردید. برای تعیین درصد رطوبت خاک قبل از هر آبیاری، از دستگاه رطوبت‌سنج استفاده شد.

در مرحله گلدهی نمونه‌هایی از برگ‌های جوان گیاه از هر کرت جهت انجام تجزیه‌های بیوشیمیایی جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل گردید و سنجش مقدار عناصر ضروری نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی (Ryan et al., 2007) و آنزیم پراکسیداز (Mae-Adam and Nelson, 1992) و پرولین (Bates et al., 1973) صورت گرفت. در زمان برداشت عملکرد دانه سه ردیف وسط هر کرت آزمایشی با رعایت یک‌چهارم متر حاشیه از طرفین اندازه‌گیری و براساس ۱۲ درصد رطوبت محاسبه شد. همچنین، نمونه‌هایی از دانه هر کرت جهت انجام تجزیه‌های بیوشیمیایی به آزمایشگاه منتقل گردید و مقدار عناصر ضروری نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی (Ryan et al., 2007) و مقدار کربوهیدرات‌ها (Kochert, 1978) و پروتئین (Kjeldal, 1998) در دانه اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 صورت گرفت.

نتایج و بحث

اسیدآمینو پرولین و آنزیم پراکسیداز اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس ساده صفات نشان داد که مقدار اسیدآمینو پرولین و آنزیم پراکسیداز اندام هوایی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی نانوکود و محلول‌پاشی متانول و اثر متقابل آبیاری تکمیلی در محلول‌پاشی

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات بیوشیمیایی اندام هوایی گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		پرویلین	پراکسیداز	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن
تکرار	۲	۰/۰۱	۴۱/۲	۰/۷۴*	۰/۰۰۰۷	۰/۱۲۴	۴۷۳/۹
آبیاری تکمیلی (A)	۱	۳۵/۴**	۴۴۶**	۰/۲۱	۰/۰۴۴**	۰/۴۹۲	۱۱۴/۷
خطای ۱	۲	۰/۰۳	۸۵/۵	۰/۱۶	۰/۰۰۱	۰/۰۵۱	۲۷۲/۸
نانوکود (B)	۱	۲۶/۴**	۲۲۱۳**	۱۵/۷**	۰/۱۰۸**	۱۹/۲**	۲۵۰۲/۷
متانول (C)	۳	۲/۷۱**	۱۳۷/۷	۰/۱۰	۰/۰۴۹**	۲/۱۵۹**	۱۱۲۹*
(B) × (A)	۱	۰/۱۶	۱۵۹/۶	۰/۰۳	۰/۰۰۸	۰/۷۰۱	۲۸۷/۱
(C) × (A)	۳	۰/۶۶**	۴۵۴**	۰/۶۸۷*	۰/۰۱۲*	۱/۰۸۴*	۱۳۶۵۳**
(C) × (B)	۳	۰/۰۶	۸۸/۴	۰/۱۵	۰/۰۰۶	۰/۴۱	۱۱۹۹/۴
(C) × (B) × (A)	۳	۰/۰۳۵	۵۶/۱	۰/۱۲	۰/۰۰۲	۰/۴۶	۱۰۸۰/۶
خطای ۲	۲۸	۰/۰۳۸	۵۴/۶	۰/۱۵	۰/۰۰	۰/۲۴	۱۱۱۲/۱
ضریب تغییرات (%)		۳/۰۳	۵/۴	۱۸/۷۰	۲۱/۵	۲۷/۲	۱۸/۰۴

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات بیوشیمیایی دانه گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		پرویلین	پراکسیداز	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن
تکرار	۲	۰/۰۲۲	۸/۱۳ E-۰۵	۰/۰۰۰۳	۲/۲۷	۷۲/۸	۳۵/۰
آبیاری تکمیلی (A)	۱	۱/۵۷ **	۰/۱۱ **	۰/۰۰۸۲ **	۱۱۱**	۲۳۴/۱	۷۲/۵
خطای ۱	۲	۰/۱۹۲	۰/۰۴۸	۰/۰۰۰۲	۱۰/۵	۵۷/۱	۴۵/۲
نانوکود (B)	۱	۱/۲۳ **	۰/۱۱ **	۱/۸۸ E-۰۵	۵۸*	۴۲۰ *	۲۲/۶
متانول (C)	۳	۰/۴۷ **	۰/۰۸۱ **	۰/۰۰۳۱ *	۲۵/۱	۳۳۴ *	۷۵/۰
(B) × (A)	۱	۰/۰۴۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۹/۱	۰/۰۸	۱۵۰ *
(C) × (A)	۳	۰/۳۲	۰/۰۴ *	۰/۰۰۰۱	۷/۰۲	۳۰/۷	۴۶/۶
(C) × (B)	۳	۰/۰۲۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲۶ *	۶/۸۵	۶۶/۹	۹۳/۵
(C) × (B) × (A)	۳	۰/۰۶۲	۰/۰۱۱	۰/۰۰۴۳ *	۲۰/۰۷	۱۵/۱	۶۸/۱
خطای ۲	۲۸	۰/۰۶۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۰۶	۱۳/۱۳	۸۲/۳	۳۱/۶
ضریب تغییرات (%)		۱۱/۹۰	۲۳/۷	۵/۱۶	۵/۹۱	۲۱/۷	۷/۱۵

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

پتاسیم دانه به طور معنی داری تحت تأثیر متقابل محلول پاشی نانوکود در محلول پاشی متانول قرار گرفتند. پتاسیم دانه تحت تأثیر متقابل سه گانه آبیاری تکمیلی در نانوکود در متانول نیز

عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آهن اندام هوایی و فسفر دانه به طور معنی داری تحت تأثیر متقابل آبیاری تکمیلی در محلول پاشی متانول قرار گرفتند و مقدار روی اندام هوایی و

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی اندام هوایی و دانه گندم

تیمارها	پرویلین (میلی گرم بر کیلوگرم)	پراکسیداز (میکروگرم پروتئین بر دقیقه)	نیتروژن (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)	آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)	روی	
آبیاری	۷/۳۳ a	۱۳۹/۲۶ a	۲/۰۲	۰/۲۵ b	۱/۹۳	۱۸۳/۶۷	۴۷/۱ b	
تکمیلی	۵/۶۱ b	۱۳۳/۱۶ b	۲/۱۵	۰/۳۱ a	۱/۷۳	۱۸۶/۷۶	۵۰/۵۲ a	
محلول پاشی	۷/۲۱ a	۱۴۳/۰۱ a	۱/۵۱ b	۰/۲۴ b	۱/۱۹ b	۱۷۷/۹۹	۴۲/۹ b	
نانوکود	۵/۷۳ b	۱۲۹/۴۲ b	۲/۶۵ a	۰/۳۳ a	۲/۴۷ a	۱۹۲/۴۳	۵۴/۶ a	
شاهد	۶/۷۸ b	۱۳۹/۴۹	۲/۰۷	۰/۲۴ c	۱/۴۶ b	۱۸۱/۱ b	۴۷/۶ ab	
محلول پاشی	۶/۹۸ a	۱۳۸/۶۶	۱/۹۷	۰/۲۲ c	۱/۵۲ b	۱۸۰/۹ b	۴۷/۱ b	
متانول	۶/۰۹ c	۱۳۲/۵۲	۲/۱۲	۰/۳۶ a	۲/۳۷ a	۱۷۹/۱ b	۵۰/۲ a	
	۶/۰۴ c	۱۳۴/۲۰	۲/۱۸	۰/۳۱ b	۱/۹۷ ab	۱۹۹/۷ a	۵۰/۱ a	
LSD (5%)							۰/۱۶۶	۲/۹۶۴

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی دار ندارند (LSD /5%).

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی دانه گندم

تیمارها	نیتروژن (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم	آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)	روی	کربوهیدرات (درصد)	پروتئین	
آبیاری	۲/۰ b	۰/۴۰ b	۰/۴۹ b	۵۹/۷۵ b	۳۹/۵۸	۷۹/۸۸	۱۲/۹۴	
تکمیلی	۲/۳۶ a	۰/۵۳ a	۰/۵۲ a	۶۲/۷۹ a	۴۴/۰۰	۷۷/۴۲	۱۲/۷۵	
محلول پاشی	۲/۰۲ b	۰/۴۲ b	۰/۵۱	۶۰/۰۱ b	۳۸/۸۳ b	۷۷/۹۶	۱۲/۶۴ b	
نانوکود	۲/۳۴ a	۰/۵۱ a	۰/۵۱	۶۲/۳۸ a	۴۴/۷۵ a	۷۹/۳۳	۱۳/۰۵ a	
محلول پاشی	۱/۸۸ b	۰/۳۵ b	۰/۴۸ c	۵۹/۳۳	۳۶/۰۰ b	۷۹/۷۵	۱۲/۹۸	
متانول	۲/۲۸ a	۰/۴۶ a	۰/۵۱ ab	۶۱/۳۳	۴۰/۱۷ b	۸۱/۳۳	۱۲/۶۱	
(درصد)	۲/۲۷ a	۰/۵۲ a	۰/۵۲ bc	۶۱/۵۸	۴۸/۶۷ a	۷۵/۵۰	۱۲/۷۳	
حجمی)	۲/۲۸ a	۰/۵۳ a	۰/۵۳ a	۶۲/۸۳	۴۲/۳۳ ab	۷۸/۰۰	۱۳/۰۸	
LSD (5%)							۰/۲۲۰	۷/۶۴۴

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی دار ندارند (LSD /5%).

قرار گرفت (جدول ۳).

به ویژه عناصر کم تحرک در خاک همچون فسفر گردیده و انتقال عناصر از اندام هوایی به دانه را بهبود بخشیده است. محلول پاشی نانوکود موجب افزایش معنی دار ۷۶ درصدی مقدار نیتروژن اندام هوایی، ۴۰ درصدی مقدار فسفر اندام هوایی، ۱۰۶ درصدی مقدار پتاسیم اندام هوایی و ۲۷ درصدی مقدار روی اندام هوایی و ۱۶ درصدی مقدار نیتروژن دانه، ۲۳

آبیاری تکمیلی موجب افزایش معنی دار ۲۴ درصدی مقدار فسفر اندام هوایی، ۷/۳ درصدی مقدار روی اندام هوایی و ۱۸ درصدی نیتروژن دانه، ۳۲ درصدی فسفر دانه و ۵ درصدی پتاسیم دانه نسبت به شرایط دیم شد (جدول ۳). ملاحظه می شود که تأمین آب موجب افزایش جذب اغلب عناصر

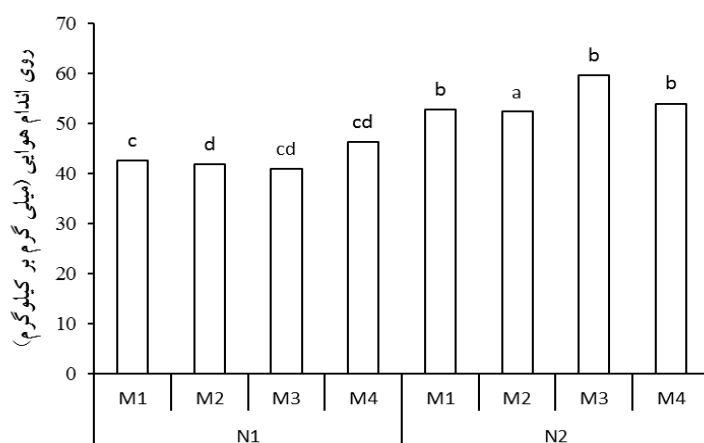
جدول ۵- مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی اندام هوایی و دانه گندم تحت تأثیر متقابل دوگانه آبیاری تکمیلی در محلول‌پاشی متانول

پروتئین پروتئین	فسفر دانه	آهن اندام هوایی	مس اندام هوایی	پرولین اندام‌هوایی	پتاسیم اندام‌هوایی	فسفر اندام‌هوایی	نیتروژن اندام‌هوایی	پراکسیداز اندام‌هوایی	تیمارها	آبیاری تکمیلی
(درصد)	(درصد)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	(درصد)	(درصد)	(میکروگرم پروتئین بر دقیقه)	محلول‌پاشی متانول (درصد حجمی)	
۱۳/۲ ^{ab}	۰/۳۹ ^c	۱۶۲/۲ ^c	۴۴/۹ ^a	۶/۷۴ ^b	۲/۰۶ ^{ab}	۰/۲۶ ^{bc}	۲/۱۶ ^{abc}	۱۳۲/۳ ^{bc}	شاهد	
۱۳/۶ ^a	۰/۳۵ ^c	۱۵۷/۲ ^c	۴۳/۱ ^{ab}	۶/۷۱ ^b	۲/۰۵ ^{ab}	۰/۲۹ ^{bc}	۲/۳۳ ^{ab}	۱۳۰/۸ ^c	۱۰	شاهد
۱۲/۶ ^{bc}	۰/۴۳ ^c	۲۱۵/۵ ^{ab}	۳۶/۵ ^b	۸/۰۸ ^a	۱/۸۰ ^{ab}	۰/۲۲ ^c	۱/۸۷ ^{bc}	۱۴۹/۸ ^a	۲۰	
۱۲/۳ ^c	۰/۴۱ ^c	۱۹۹/۶ ^b	۳۸/۴ ^{ab}	۷/۷۹ ^a	۱/۸۱ ^{ab}	۰/۲۳ ^c	۱/۷ ^c	۱۴۳/۹ ^{ab}	۳۰	
۱۲/۹ ^{abc}	۰/۶۶ ^a	۲۳۷/۲ ^a	۳۹/۶ ^{ab}	۵/۳۵ ^c	۱/۸۷ ^{ab}	۰/۳۵ ^{ab}	۲/۱۹ ^{abc}	۱۳۶/۰ ^{bc}	شاهد	
۱۲/۳ ^c	۰/۳۴ ^c	۲۰۰/۹ ^{ab}	۳۷/۳ ^{ab}	۵/۴۷ ^c	۲/۶۹ ^a	۰/۴۳ ^a	۱/۹۱ ^{bc}	۱۳۴/۱ ^{bc}	۱۰	آبیاری تکمیلی
۱۲/۶ ^{bc}	۰/۴۸ ^{bc}	۱۴۶/۳ ^c	۴۴/۰ ^{ab}	۵/۸۸ ^{bc}	۱/۲۴ ^b	۰/۲۲ ^c	۲/۰۶ ^{bc}	۱۲۷/۴ ^c	۲۰	
۱۳/۱ ^{abc}	۰/۶۲ ^{ab}	۱۶۲/۶ ^c	۴۰/۷ ^{ab}	۵/۷۶ ^{bc}	۱/۱۱ ^b	۰/۲۵ ^c	۲/۴۳ ^a	۱۳۵/۰ ^{bc}	۳۰	
۲۹/۸۲۲	۰/۱۶۴	۳۶/۹۳۹	۷/۶۸۸	۱/۰۰۴۹	۱/۰۱۹	۰/۰۹۳	۰/۴۷۳	۱۲/۹۰۳	LSD (0.05)	

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (LSD /۵).

برای برخی دیگر غلظت ۳۰ درصد حجمی) افزایش می‌یابد. میانگین اثر متقابل آبیاری تکمیلی در محلول‌پاشی متانول نشان داد که واکنش عناصر ضروری در اندام هوایی و دانه به محلول‌پاشی متانول در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی متفاوت بود. در شرایط بدون آبیاری تکمیلی (دیم)، بیشترین مقدار نیتروژن و فسفر اندام هوایی از محلول‌پاشی سی درصد متانول (به ترتیب ۳۷ و ۲۵ درصد افزایش نسبت به شاهد) و بیشترین پتاسیم و آهن اندام هوایی و فسفر دانه از محلول‌پاشی ۱۰ درصد متانول (به ترتیب ۱۴، ۸ و ۲۲ درصد افزایش نسبت به شاهد) به دست آمد. اما در شرایط آبیاری تکمیلی، بیشترین مقدار نیتروژن اندام هوایی از عدم محلول‌پاشی متانول و بیشترین مقدار فسفر، پتاسیم و آهن اندام هوایی و فسفر دانه از محلول‌پاشی ۳۰ درصد متانول (به ترتیب صفر، ۷۳، ۱۴۱، ۴۶ و ۹۴ درصد افزایش نسبت به شاهد) حاصل شد (جدول ۳). این نتایج بیانگر این واقعیت است که تأمین آب از طریق آبیاری تکمیلی در شرایط دیم با محلول‌پاشی متانول اثر متقابل داشته، و جذب عناصر توسط گیاه و غنی‌سازی دانه گندم بستگی به نوع عنصر و غلظت متانول در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی دارد.

درصدی مقدار فسفر دانه، ۳/۷ درصدی آهن دانه و ۱۵/۲ درصدی روی دانه نسبت به عدم کاربرد نانوکود شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد محلول‌پاشی نانوکود نقش مؤثری در تأمین عناصر ضروری گیاه داشته و موجب غنی‌سازی دانه گندم از نظر برخی عناصر ضروری می‌گردد (نادری و دانش شهرکی، ۱۳۹۰؛ Zhang et al., 2006; Liu et al., 2006). با افزایش غلظت محلول‌پاشی متانول بر مقدار تمامی عناصر ضروری در اندام هوایی و دانه افزوده شد. در میان سطوح محلول‌پاشی متانول، کاربرد ۳۰ درصد حجمی متانول موجب افزایش معنی‌دار ۵/۴ درصدی مقدار نیتروژن اندام هوایی و ۱۰ درصدی آهن اندام هوایی و ۲۱ درصدی نیتروژن دانه، ۵۲ درصدی فسفر دانه، ۹ درصدی پتاسیم دانه و ۵/۹ درصدی آهن دانه شد. کاربرد ۲۰ درصد حجمی متانول موجب افزایش معنی‌دار ۵۰ درصدی مقدار فسفر اندام هوایی، ۶۲ درصدی مقدار پتاسیم اندام هوایی و ۵/۵ درصدی روی اندام هوایی و ۳۵/۲ درصدی روی دانه نسبت به عدم محلول‌پاشی متانول گردید (جدول ۴). مشاهده می‌شود که جذب عناصر توسط گیاه با محلول‌پاشی متانول تا غلظتی مشخص بسته به نوع عنصر (برای برخی عناصر غلظت ۲۰ درصد حجمی و



شکل ۲- مقایسه میانگین روی اندام هوایی تحت تأثیر متقابل آبیاری تکمیلی در نانوکود. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (LSD /۵).

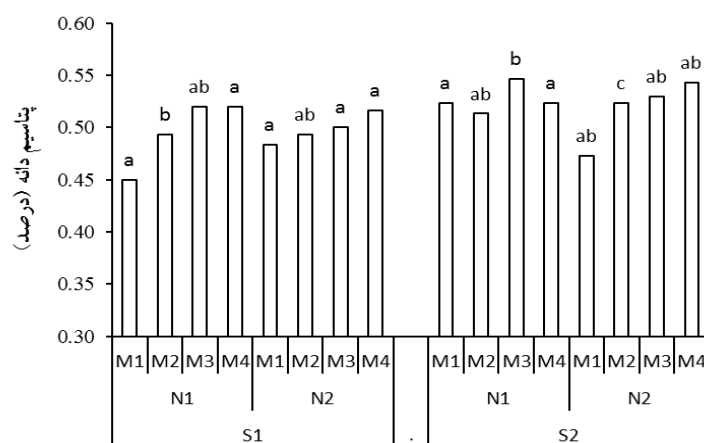
معنی‌داری شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات ساده عامل‌ها نشان داد که محلول‌پاشی نانوکود موجب افزایش ۳/۳ درصدی مقدار پروتئین دانه گردید (جدول ۴). دلیل افزایش مقدار پروتئین دانه را می‌توان در افزایش ۷۶ درصدی مقدار نیتروژن اندام هوایی و ۱۶ درصدی مقدار نیتروژن دانه (احمدی و سی و سه مرده، ۱۳۸۳) ناشی از محلول‌پاشی نانوکود جستجو نمود (Zhang *et al.*, 2006).

مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری تکمیلی در محلول‌پاشی نانوکود نشان داد که محلول‌پاشی نانوکود در شرایط دیم موجب افزایش ۶/۳ درصدی مقدار کربوهیدرات‌های دانه شد. محلول‌پاشی نانوکود در شرایط آبیاری تکمیلی موجب کاهش مقدار کربوهیدرات‌های دانه گردید (شکل ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری تکمیلی در محلول‌پاشی متانول نشان داد که با کاربرد متانول در شرایط دیم از مقدار پروتئین دانه کاسته شد، اما در شرایط آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول موجب افزایش ۶/۱ درصدی مقدار پروتئین دانه نسبت به عدم محلول‌پاشی متانول شد (جدول ۵).

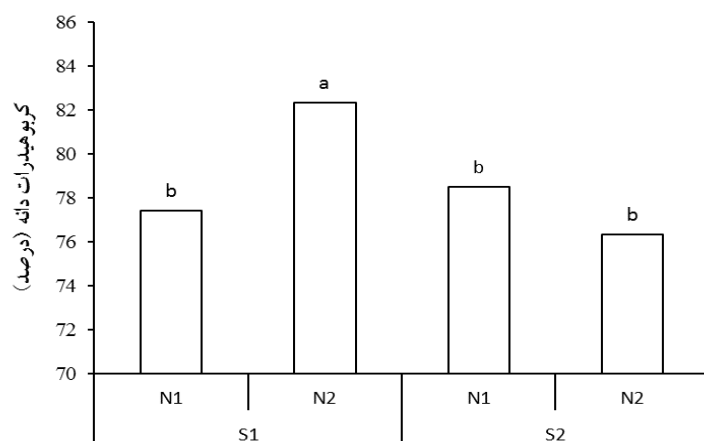
با توجه به همبستگی منفی میان مقدار کربوهیدرات‌ها و پروتئین دانه (احمدی و سی‌وسه‌مرده، ۱۳۸۳)، به‌نظر می‌رسد تغییر در مقدار کربوهیدرات‌های دانه به مقدار جذب نیتروژن و در نتیجه پروتئین دانه تحت تأثیر وضعیت آب بستگی دارد. در شرایط دیم، حتی با محلول‌پاشی نانوکود یا متانول، جذب

مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی نانوکود در محلول‌پاشی متانول بر مقدار روی در اندام هوایی نشان داد که در شرایط عدم محلول‌پاشی نانوکود، بیشترین مقدار روی در اندام هوایی از محلول‌پاشی ۳۰ درصد متانول و در شرایط محلول‌پاشی نانوکود از محلول‌پاشی ۲۰ درصد متانول (به‌ترتیب ۹ و ۱۳ درصد افزایش نسبت به شاهد) حاصل شد (شکل ۲). این نتیجه نشان دهنده نیاز به غلظت محدودی از متانول در حضور نانوکود برای حداکثر جذب روی است. مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه بر مقدار پتاسیم دانه نشان داد که بیشترین مقدار پتاسیم دانه در شرایط دیم، از عدم محلول‌پاشی نانوکود و متانول حاصل شد، اما در شرایط آبیاری تکمیلی، از محلول‌پاشی تنهای نانوکود یا محلول‌پاشی تنهای ۳۰ درصد متانول به‌دست آمد (شکل ۳). به‌عبارت دیگر، در شرایط تنش خشکی، محلول‌پاشی نانوکود و متانول تأثیر مثبتی در جذب پتاسیم ندارد و در صورت تأمین آب، محلول‌پاشی توأم نانوکود و متانول اثر بازدارنده بر جذب پتاسیم داشته است.

کربوهیدرات‌ها و پروتئین دانه: نتایج تجزیه واریانس ساده صفات نشان داد که پروتئین دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده محلول‌پاشی نانوکود قرار گرفت. اثر متقابل آبیاری تکمیلی در محلول‌پاشی نانوکود بر کربوهیدرات‌های دانه و اثر متقابل آبیاری تکمیلی در محلول‌پاشی متانول بر پروتئین دانه



شکل ۳- مقایسه میانگین مقدار پتاسیم دانه تحت تأثیر متقابل آبیاری تکمیلی در نانوکود در متانول. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (LSD / ۵٪).



شکل ۴- مقایسه میانگین مقدار کربوهیدرات‌های دانه تحت تأثیر متقابل آبیاری تکمیلی در متانول. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (LSD / ۵٪).

روشن ضمیر، ۱۳۹۳). اصلانی و همکاران (۱۳۸۸) کاهش معنی‌داری را در مقدار فسفر برگ گیاه ریحان با افزایش دور آبیاری از چهار روز به ۱۲ روز گزارش کردند. در آزمایشی استفاده از کود حاوی ذرات نانو در مقایسه با مقدار مساوی کود شیمیایی NPK باعث افزایش ارتفاع گیاه گندم شد و گیاهان تیمار شده با این کود دارای غلظت بیشتری از عناصر به‌خصوص نیتروژن بودند (Zhang et al., 2006).

روند تغییرات عملکرد دانه و پراکسیداز: روند تغییرات

عملکرد دانه گندم تحت تأثیر متقابل سطوح آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی متانول به‌روش برش‌دهی براساس محلول‌پاشی نانوکود نشان داد که در تیمار عدم محلول‌پاشی نانوکود (شکل

نیتروژن و در نتیجه پروتئین دانه کاهش می‌یابد، لذا مقدار کربوهیدرات‌های دانه افزایش نشان می‌دهد. بالعکس، در صورت تأمین آب با آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی نانوکود با افزایش مقدار نیتروژن و در نتیجه پروتئین دانه، مقدار کربوهیدرات‌های دانه را کاهش می‌دهد. محلول‌پاشی متانول، البته تا غلظت ۲۰ درصد حجمی نیز در صورت تأمین آب، جذب نیتروژن و در نتیجه مقدار پروتئین دانه را بهبود می‌بخشد.

در میان عناصر غذایی فسفر و پتاسیم به‌عنوان دو عنصر پرمصرف دارای نقش اساسی و مهم در رشد گیاه است که جذب آن در شرایط کمبود آب کاهش می‌یابد (سیروس مهر و

(N1) در تمامی سطوح محلول پاشی متانول بیشتر از تیمار محلول پاشی نانوکود (شکل ۲، N2) بود.

در هر دو تیمار عدم محلول پاشی نانوکود (شکل ۲، N1) و محلول پاشی نانوکود (شکل ۲، N2)، مقدار پراکسیداز در شرایط عدم آبیاری تکمیلی در تمامی سطوح محلول پاشی متانول بیشتر از شرایط آبیاری تکمیلی بود، با این تفاوت که در تیمار عدم محلول پاشی نانوکود، مقدار پراکسیداز با افزایش محلول پاشی متانول با شیب بیشتری کاهش نشان داد؛ اما در تیمار محلول پاشی نانوکود، با شیب کمتری کاهش یافت. این نتایج نشان می دهد که در تیمار عدم محلول پاشی نانوکود، محلول پاشی متانول نقش بیشتری در مکانیسم آنتی اکسیدانی پراکسیداز دارد؛ اما در تیمار محلول پاشی نانوکود، افزایش محلول پاشی متانول اثر هم افزا داشته و موجب تعدیل بیشتر تنش خشکی شده و لذا نقش آنتی اکسیدانی پراکسیداز ضعیف تر می شود.

نتایج تحقیقات مختلف نیز حاکی از کاهش پراکسیداز (حشمتی و همکاران، ۱۳۹۵) و افزایش عملکرد دانه (تاتاری و همکاران، ۱۳۹۱؛ Ghobadi et al., 2012; Shawkat Al-Mahmada et al., 2014) در گیاه گندم در اثر آبیاری تکمیلی در زراعت دیم است و کاربرد نانوکود (نادری و دانش شهرکی، ۱۳۹۰؛ Mazaherinia et al., 2010; Liu et al., 2006) متانول تا غلظتی مشخص (آرین فر و همکاران، ۱۳۹۴) بر عملکرد دانه گندم می افزاید، که با یافته های حاصل از این پژوهش مطابقت دارد.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش مشخص شد که مقدار پرولین، و آنزیم آنتی اکسیدان پراکسیداز با آبیاری تکمیلی کاهش یافت و جذب عناصر غذایی ضروری پرمصرف و کم مصرف و در نهایت عملکرد دانه افزایش نشان داد. افزایش غلظت ترکیب اسمزی پرولین و فعالیت آنزیم آنتی اکسیدان پراکسیداز در شرایط دیم (تنش خشکی) نشان دهنده سعی گیاه گندم در تعدیل تنش خشکی بود. محلول پاشی نانوکود با

(N1، ۲) و محلول پاشی نانوکود (شکل ۲، N2)، عملکرد دانه با افزایش محلول پاشی متانول از یک رابطه پلی نومیال معنی دار و مثبت در هر دو شرایط عدم آبیاری تکمیلی (به ترتیب $R^2=0.989^{**}$ و $R^2=0.956^{**}$) و آبیاری تکمیلی (به ترتیب $R^2=0.999^{**}$ و $R^2=0.952^{**}$) پیروی نمود.

عملکرد دانه در تیمار عدم محلول پاشی نانوکود (شکل ۲، N1) در تمامی سطوح محلول پاشی متانول و آبیاری تکمیلی، کمتر از تیمار محلول پاشی نانوکود (شکل ۲، N2) بود. در هر دو تیمار عدم محلول پاشی نانوکود (شکل ۲، N1) و محلول پاشی نانوکود (شکل ۲، N2)، عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی در تمامی سطوح محلول پاشی متانول بیشتر از شرایط عدم آبیاری تکمیلی بود، با این تفاوت که در شرایط آبیاری تکمیلی، عملکرد دانه با افزایش محلول پاشی متانول تا سطح ۲۰ درصد افزایش یافت (به ترتیب ۲۵۳۲ و ۲۸۶۳ کیلوگرم در هکتار) و با مصرف بیشتر متانول روند کاهشی داشت؛ اما در شرایط عدم آبیاری تکمیلی، عملکرد دانه با افزایش محلول پاشی متانول افزایش نشان داد و در سطح ۳۰ درصد متانول به حداکثر مقدار رسید (به ترتیب ۲۴۸۲ و ۲۵۰۳ کیلوگرم در هکتار).

برخلاف عملکرد دانه، روند تغییرات پراکسیداز تحت تأثیر متقابل سطوح آبیاری تکمیلی و محلول پاشی متانول به روش برش دهی براساس محلول پاشی نانوکود نشان داد که در تیمار عدم محلول پاشی نانوکود (شکل ۲، N1) و محلول پاشی نانوکود (شکل ۲، N2)، مقدار پراکسیداز با افزایش محلول پاشی متانول از یک رابطه خطی معنی دار و منفی در هر دو شرایط عدم آبیاری تکمیلی (به ترتیب $R^2=0.691^*$ و $R^2=0.524^*$) و آبیاری تکمیلی (به ترتیب $R^2=0.558^*$ و $R^2=0.865^{**}$) پیروی نمود.

تفاوتی میان دو تیمار عدم محلول پاشی نانوکود (شکل ۲، N1) و محلول پاشی نانوکود (شکل ۲، N2) از نظر مقدار پراکسیداز در تمامی سطوح محلول پاشی متانول در شرایط عدم آبیاری تکمیلی مشاهده نشد، اما در شرایط آبیاری تکمیلی، مقدار پراکسیداز در تیمار عدم محلول پاشی نانوکود (شکل ۲،

محلول پاشی متانول بیشتر از تیمار محلول پاشی نانوکود بود. در مجموع، آبیاری تکمیلی، محلول پاشی نانوکود و محلول پاشی متانول، عملکرد دانه گندم در شرایط دیم را افزایش داد، لیکن در شرایط آبیاری تکمیلی، عملکرد دانه با افزایش محلول پاشی متانول تا سطح ۲۰ درصد افزایش یافت و با مصرف بیشتر متانول روند کاهشی داشت؛ اما در شرایط عدم آبیاری تکمیلی، عملکرد دانه با افزایش محلول پاشی متانول افزایش نشان داد.

افزایش مقدار نیتروژن اندام هوایی و مقدار نیتروژن دانه موجب افزایش مقدار پروتئین دانه شد. آبیاری تکمیلی با محلول پاشی متانول اثر متقابل نشان داد و جذب عناصر توسط گیاه و غنی سازی دانه گندم بستگی به نوع عنصر و غلظت متانول در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی داشت. در شرایط عدم آبیاری تکمیلی تفاوتی میان دو تیمار عدم محلول پاشی و محلول پاشی نانوکود از نظر مقدار پراکسیداز در تمامی سطوح محلول پاشی متانول مشاهده نشد، اما مقدار پراکسیداز در شرایط آبیاری تکمیلی در تیمار عدم محلول پاشی نانوکود در تمامی سطوح

منابع

- آرین فر، ا. ر.، خورگامی، ع. و سیاح فر، م. (۱۳۹۴) اثر محلول پاشی متانول و عناصر ریزمغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم آبی. سومین همایش ملی گیاهان دارویی و کشاورزی پایدار، صفحه ۱۲.
- احمدی، ع. و سیوسی مرده، ع. (۱۳۸۳) اثر تنش خشکی بر کربوهیدرات های محلول، کلروفیل و پرولین در چهار رقم گندم سازگار با شرایط متفاوت اقلیمی ایران. مجله علوم کشاورزی ایران ۳۵: ۸۱۳-۸۲۵.
- احیایی، ح.، پارسا، م. و نصیری محلاتی، م. (۱۳۸۹) اثر محلول پاشی متانول و دور آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم نخود. نشریه پژوهشی های حبوبات ایران ۱: ۴۸-۳۷.
- اصلانی، ز.، حسنی، ع.، صدقیانی، م.، سفیدکن، ف.، برین، م. و غیبی، س. (۱۳۸۸) تأثیر همزیستی با قارچ میکوریزا بر برخی پارامترهای فیزیولوژیک گیاه ریحان تحت شرایط تنش خشکی. مجله تنش های محیطی در علوم زیستی ۲: ۱۱۷-۱۰۹.
- امینی، ز. و حداد، ر. (۱۳۹۲) نقش رنگیزه های فتوسنتزی و آنزیم های آنتی اکسیدان در مقابل تنش اکسیداتیو. مجله پژوهش های سلولی و مولکولی (مجله زیست شناسی ایران) ۲۶: ۲۵۱-۲۶۵.
- ایقائی اسکوئی، آ. (۱۳۹۷) ارزیابی اثرات نانوذرات آهن (سبز، شیمیایی، مغناطیسی) بر مراحل رشدی و عملکرد کمی و کیفی ژنوتیپ های لوبیا. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم.
- تاتاری، م.، احمدی، م. م. و عباسی علی کمر، ر. (۱۳۹۱) اثر آبیاری تکمیلی بر رشد و عملکرد گندم دیم. نشریه پژوهش های زراعی ایران ۱۰: ۴۴۸-۴۵۵.
- توکلی، ع. ر. (۱۳۸۰) به گزینی مدیریت تک آبیاری در زراعت گندم دیم. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی ۲: ۵۰-۴۱.
- توکلی، ع. (۱۳۸۵) ارزیابی زراعی و اقتصادی مدیریت تک آبیاری گندم در شرایط خشکسالی. مجله علمی کشاورزی ۲۹: ۲۹-۱۷.
- حشمتی، س.، امینی دهقی، م. و فتحی امیرخیز، ک. (۱۳۹۵) بررسی اثر کود شیمیایی و زیستی فسفر بر فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان و برخی صفات بیوشیمیایی گلرنگ بهاره تحت تنش کمبود آب. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی ۸: ۲۰۳-۲۱۳.
- رضایی، ر. س.، حسینی، م.، شعبانعلی فمی، ح. و صفا، ل. (۱۳۸۸) شناسایی و تحلیل موانع توسعه فناوری نانو در بخش کشاورزی ایران از دیدگاه محققان. فصلنامه علمی پژوهشی سایت فناوری ۲: ۲۶-۱۷.
- روستایی، م. (۱۳۹۴) اثر آبیاری تکمیلی بر عملکرد دانه و برخی خصوصیات زراعی ژنوتیپ های گندم نان در منطقه مراغه. مجله به نژادی نهال و بذر ۳۱: ۲۲۵-۲۰۵.

سیروس مهر، ع. ر. و روشن ضمیر، ف. (۱۳۹۳) تأثیر تنش کم آبی و کود فسفر بر روی برخی از خصوصیات فیزیولوژیک و درصد اسانس ریحان (*Ocimum basilicum* L.). نشریه زراعت پژوهش و سازندگی ۱۰۵: ۱۴۰-۱۳۴.

فراهانی، ن.، سنگی، م.، دری، ح.، بامداد، ف. و مهدیه، م. (۱۳۹۲) بررسی اثر نانوذرات اکسید آهن و مقایسه آن با سایر منابع آهن بر رشد و عملکرد لوبیا. پنجمین همایش ملی حبوبات ایران ۴۵۸-۴۵۵.

نادری، م. ر. و دانش شهرکی، ع. (۱۳۹۰) کاربرد فناوری نانو در بهینه سازی فرمولاسیون کودهای شیمیایی. ماهنامه فناوری نانو ۴: ۲۰-۳۲.

- Abderrazzak, B., Daoui, K., Kajji, A., Dahan, R. and Ibriz, M. (2013) Effects of supplemental irrigation and nitrogen applied on yield and yield components of bread wheat at the sais region of Morocco. *American Journal of Experimental Agriculture* 3: 904-913.
- Bahramichegeni, Z., Amiri, H. and LariYazdi, H. (2013) Effect of drought stress on some physiological parameters of basil. *Agricultural Science and Technology* 419-430.
- Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.
- Cha-um, S. and Kirdmanee, Ch. (2009) Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. *Agricultural Sciences in China* 8: 51-58.
- Delfani, M., Firouzabadi, M. B., Farrokhi, N. and Makarian, H. (2014) Some physiological responses of black-eyed pea to iron and magnesium nanofertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 45: 530-540.
- Downic, A. S., Miyazaki, H., Bohnert, P., John, J., Coleman, M. and Parry Haslam, R. (2004) Expression profiling of the response of *Arabidopsis thaliana* to methanol stimulation. *Phytochemistry* 65: 2305-2316.
- Ghobadi, M., Felekhari, E. H., Mohammadi, G. R. and Jalali Honarmand, S. (2012) The effects of supplemental irrigation and N-applications on yield and yield component in two wheat cultivars in Kermanshah condition. *Annals of Biological Research* 3: 2127-2133.
- Gholdani, M. (2012) Effect of irrigation intervals on some morphophysiological traits of basil (*Ocimum basilicum* L.) ecotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10: 412-420.
- Ghorbanli, M. and Niakan, M. (2006) The effect of drought stress on soluble sugar, total protein, proline, phenolic compound, chlorophyll content and rate reductase activity in soybean (*Glycine max* L.cv.Gorgan3). *Materials and Energy* 18: 537-550.
- Harsinia, M. G., Habibib, H. and Talaei, G. H. (2014) Study the effects of iron nano chelated fertilizers foliar application on yield and yield components of new line of wheat cold region of kermanshah provence. *Agricultural Advances* 3: 95-102.
- Joseph, T. and Morrisson, M. (2006) Nanoforum: Nanotechnology in Agriculture and Food. *Eur. Nanotechnol. Gateway*.
- Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R. and Jalilian, J. (2016) Antioxidant status and physiological responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) to cycocel application and bio fertilizers under water limitation condition. *Journal of Plant Interactions* 11: 130-137.
- Kjeldal, S. E. (1998) An investigation of several psychological factors impinging on the perception of fresh fruits and vegetables. Unpublished Ph.D Thesis, University of New England, Australia.
- Kochert, G. (1978) Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. In: *Hand book of Physiological Method Helebust* (ed. Craig, J. S.) Pp. 56-97. Cambridge University Press, Cambridge.
- Liu, X., Feng, Z., Zhang, S., Zhang, J., Xiao, Q. and Wang, Y. (2006) Preparation and testing of cementing nano-subnano composites of slower controlled release of fertilizers. *Scientific Agriculture* 39: 1598-1604.
- Mae-Adam, J. W. and Nelson Sharp, C. J. (1992) Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall Fese Ue. *Journal of Plant Physiology* 99: 872-878.
- Mahajan, S. and Tuteja, N. (2005) Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives in Biochemistry and Biophysics*, 444: 139-158.
- Mazaherinia, M., Astaraei, A. R., Fotovat, A. and Monshi, A. (2010) Effect of nano iron oxide particles on Fe, Mn, Zn, Cu concentrations in weath plant. *World Applied Science Journal* 7: 156-162.
- Oweis, T. and Hachum, A. (2004) Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity for dry farming systems in West Asia and North Africa. ICARDA. Aleppo. Syria for Presentation at the 4th International Crop Science Congress 26th Sept. to 1st Oct.
- Ramirez, I. F., Dorta, V., Espinoza, E., Jimenez, A. and Pena-Cortes, A. (2006) Effect of foliar and root applications of methanol on the growth of *Arabidopsis*, tobacco and tomato plant. *Journal of Plant Growth Reyul* 25: 30-44.

- Ryan, J., Estefan, G. and Rashid, A. (2007) Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. ICARDA.
- Sadeghi-Shoae, M., Pak Nejad, F., Kashani, A., Vazan, S. and Nooralvandi, T. (2012) Methanol and its period of foliar application on sugar beet in different available water. Tropentory, September 19-21, Gottingen.
- Safarzade Vishyahi, M. N., Normohammadi, G. and Maghidi Haravan, I. (2005) Effect of methanol on peanut function and yield components. Journal of Crop Science 20: 88-103.
- Shawkat Al-Mahmada, D. and Khalaf, A. S. (2014) Effect of preceding crops and supplementary irrigation on yield and yield components of two varieties of common wheat (*Triticum aestivum* L.). American Journal of Experimental Agriculture 4: 1944-1957.
- Tian, X. and Li, Y. (2006) Nitric oxide treatment alleviates drought stress in wheat seedlings. Biologia Plantarum 50: 775-778.
- Wang, W., Vinocur, B., Shoseyov, O. and Altman, A. (2001) Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: Physiological and molecular considerations. Acta Horticulturae 560: 285-292.
- Zhang, H., Kol, G. J. and Nkod, Z. Z. (2006) Effect of limited irrigation on yield and water use efficiency of two sequence replaced winter wheat in Loess Plateau. African Journal of Biotechnology 13: 1493-1497.

Effect of foliar application of nano fertilizer and methanol on morphophysiological properties of rainfed wheat in terms of supplementary irrigation

Elham Beiranvand¹, Ali Khorgami¹, Masoud Rafiee^{2*}, Reza Mir Derikvand¹, Saied Hossein Vafaiee³

¹ Department of Agriculture, Khorramabad branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran

² Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran

³ Department of Plant Protection, Khorramabad branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran
(Received: 12/09/2021, Accepted: 24/05/2022)

Abstract

Supplementary irrigation moderates the damage caused by drought stress in rainfed agriculture. Meanwhile, the application of nano fertilizers and methanol as the foliar application can be considered as effective management strategies to improve production under dryland conditions. For this purpose, the effect of supplementary irrigation, nano fertilizer spraying, and methanol foliar spraying was investigated in a split-factorial experiment with four replications. The results showed that the amount of proline (31% and 26%, respectively) and antioxidant enzyme peroxidase (4.6% and 10.5%, respectively) decreased with supplementary irrigation and showed the absorption of high and low consumption essential nutrients and finally increased grain yield. In the absence of supplemental irrigation, no difference was observed between the two treatments of non-foliar spraying and foliar application of peroxidase at all levels of methanol foliar spraying; However, the amount of peroxidase in the conditions of supplementary irrigation in the non-foliar application of nano fertilizer at all levels of methanol foliar application was higher than the foliar application of nano fertilizer. Proline and peroxidase levels were reduced by methanol application in both rainfed and supplementary irrigation conditions. Foliar application of nano fertilizer increased the amount of grain protein (3.3%) by increasing the amount of nitrogen (76%) in the shoot and the amount of grain nitrogen (16%). Element uptake by plants and wheat grain enrichment depended on the type of element and the concentration of methanol in both dryland and supplementary irrigation conditions. In general, supplementary irrigation, nano fertilizer foliar application, and methanol foliar application increased wheat grain yield in dryland conditions, but in supplementary irrigation conditions, grain yield increased by 20% with increasing methanol foliar application and with more consumption Methanol had a decreasing trend; However, in the absence of supplementary irrigation, grain yield increased with increasing methanol foliar application.

Keywords: Grain enrichment, Grain yield, Nutrient uptake, Peroxidase, Proline

Corresponding author, Email: rafieemasoud@yahoo.com