

تأثیر آبیاری تکمیلی و تلقیح بذر با کودهای زیستی بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک گندم دیم رقم رصد

فرامرزی یقینی^۱، رئوف سیدشریفی^{۱*}، سعید خماری^۱ و معرفت قاسمی^۲

^۱ گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ^۲ بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی اردبیل، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۶/۱۱)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر آبیاری تکمیلی و تلقیح بذر با کودهای زیستی بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک گندم دیم رقم رصد، آزمایش فاکتوری در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات جهاد کشاورزی اردبیل در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل آبیاری تکمیلی در سه سطح، یک آبیاری در مرحله چکمه‌ای شدن (I_1)، یک آبیاری در مرحله سنبله‌دهی (I_2) و عدم آبیاری یا کشت دیم (I_3) و کودهای زیستی در چهار سطح بدون کاربرد کودهای زیستی به‌عنوان شاهد (B_1)، تلقیح بذر با آزوسپریلیوم (B_2)، کاربرد میکوریزا (B_3)، کاربرد توأم میکوریزا و آزوسپریلیوم (B_4) بودند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که انجام یک آبیاری در مرحله چکمه‌ای شدن و سنبله‌دهی و کاربرد توأم میکوریزا با آزوسپریلیوم، عملکرد دانه را به ترتیب ۳۵/۲۷ و ۲۸/۹ درصد در مقایسه با عدم کاربرد کوهای زیستی تحت شرایط دیم افزایش داد. کاربرد توأم آزوسپریلیوم و میکوریزا و یک آبیاری در مرحله چکمه‌ای شدن، فلورسانس حداکثر (F_m)، فلورسانس متغیر (F_v)، شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ پرچم را در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط دیم افزایش داد. شرایط دیم موجب افزایش هدایت الکتریکی و فلورسانس حداقل (F_0) شد.

واژه‌های کلیدی: محتوای نسبی آب، محدودیت آبی، میکوریزا، هدایت الکتریکی

مقدمه

یکتایی هستند (Gill and Tuteja, 2010)، که در صورت ضعف مکانیسم‌های حفاظتی منجر به تخریب سلولی به‌وسیله اکسیداسیون لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک خواهند شد (Beltagi, 2008).

یکی از روش‌های مطالعه واکنش گیاهان به عوامل تنش‌زای محیطی، بررسی فلورسانس کلروفیل است (Sun, 2013). مقدار فلورسانس کلروفیل، کارایی زنجیره انتقال الکترون را از فتوسیستم II به فتوسیستم I، سالم بودن غشا تیلاکوئید و

محدودیت آبی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد در نواحی خشک و نیمه‌خشک به حساب می‌آید که با آسیب به غشا سلولی و افزایش نفوذپذیری و نشت الکترولیت‌ها به درون پروتوپلاسم، موجب کاهش محتوای نسبی آب (Francois, 2007) و تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. گونه‌های فعال اکسیژن شامل رادیکال‌های آزاد (سوپراکسید دیسموتاز) و اشکال غیررادیکالی (هیدروژن پراکسید و اکسیژن

مواد غذایی، موجب شد که محتوای نسبی آب و شاخص کلروفیل افزایش یابد. نتایج مشابهی نیز توسط Saed-Moucheshii و همکاران (۲۰۱۲) مبنی بر افزایش محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل و دیگر صفات فیزیولوژیکی ارقام گندم گزارش شده است. خلیلزاده و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند. در شرایط تنش، کاربرد کودهای زیستی با افزایش شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب، عملکرد کوانتومی و کاهش هدایت الکتریکی برگ موجب افزایش عملکرد دانه در گندم شد. نتایج بررسی‌های Idris (۲۰۰۳) نشان داد که تلقیح بذر با ازتوباکتر موجب افزایش وزن هزار دانه می‌شود. Prakash و Ramachandran (۲۰۰۵) اظهار داشتند افزایش دسترسی به آب در دستگاه فتوسنتزی موجب جریان بهتر الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I می‌شود. دادخواه و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که در شرایط آبیاری F_m مقدار بیش‌تری نسبت به شرایط دیم در نخود داشت. خلیلزاده و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند کاربرد کودهای زیستی در شرایط مطلوب آبیاری، به دلیل افزایش محتوای نسبی آب نسبت به سایر تیمارها موجب افزایش فلورسانس حداکثر شد. Angadi و Entz (۲۰۰۲) گزارش کردند که محتوای نسبی آب در آفتابگردان در شرایط تنش خشکی کاهش یافت. Shaharoon و همکاران (۲۰۰۶) اظهار داشتند که تلقیح با باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش محتوای نسبی آب شد. فعله‌کری و همکاران (۱۳۹۳) بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ گندم را در آبیاری تکمیلی در مرحله گرده‌افشانی گزارش کردند.

با توجه به گستردگی مناطق تحت کشت گندم دیم و مواجه‌شدن بخشی از دوران رشدی این گیاه با محدودیت آبی و از طرفی به دلیل اهمیت کودهای زیستی در تعدیل بخشی از اثر خشکی و بررسی‌های محدود انجام‌شده در خصوص برهمکنش توأم این دو عامل (آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی)، موجب شد تا تأثیر آن‌ها بر عملکرد، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیکی گندم دیم رقم رصد مورد ارزیابی قرار گیرد.

عملکرد کوانتومی یا نسبت F_v/F_m را نشان می‌دهد (Qiang et al., 2020). حبیب‌پور کاشفی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند تنش خشکی موجب افزایش فلورسانس حداکثر (F_0) و کاهش فلورسانس حداکثر (F_m)، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m)، شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ شد. بسته‌شدن روزنه‌ها اولین اثر خشکی بوده که از طریق اختلال در ساختار مواد فتوسنتزی، موجب کاهش عملکرد می‌شود (Molnar et al., 2002; Yang et al., 2007).

از راه کارهای مؤثر در کاهش یا تعدیل اثر ناشی از کمبود آب، استفاده از آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی است، آبیاری تکمیلی مصرف مقدار محدودی آب در گیاه زراعی در زمان نبود بارندگی است تا آب کافی برای افزایش و ثبات عملکرد دانه تأمین شود (Oweis and Hachum, 2004). حمزه‌ای و سیدی (۱۳۹۲) گزارش کردند که انجام آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و پرشدن دانه جو، عملکرد دانه را به ترتیب ۴۵ و ۹۰ درصد نسبت به شرایط دیم افزایش داد. Behl و همکاران (۲۰۰۳) اظهار داشتند که تلقیح دوگانه میکوریز و ازتوباکتر موجب افزایش رشد، گسترش سطح برگ پرچم و عملکرد دانه گندم شد. کاربرد کودهای زیستی در شرایط تنش نیز ضمن تعدیل یا کاهش اثر ناشی از تنش آبی و جبران میکروارگانیسم‌های ازدست‌رفته خاک، موجب افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (سیدشریفی و نامور، ۱۳۹۴). Kheirizadeh Arough و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند کاربرد کودهای زیستی در شرایط کمبود آب با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش گونه‌های فعال اکسیژن و هدایت الکتریکی برگ، موجب افزایش محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، عملکرد کوانتومی و درنهایت افزایش عملکرد دانه در تربیتکاله شد. Hosseini و همکاران (۲۰۱۷) اظهار داشتند که محتوای نسبی آب و شاخص کلروفیل گندم رقم چمران با افزایش محدودیت آبی کاهش یافت ولی کاربرد میکوریز به دلیل کمک به گسترش ریشه‌های طولی‌تر و توانایی بالای این ریشه‌ها در جذب آب و

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

شن	سیلت	رس	pH	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	آهک	کربن آلی	نیترژن
درصد				میلی‌گرم بر کیلوگرم	میلی‌گرم بر کیلوگرم			درصد	
۳۱	۳۰	۳۹	۷/۷۶	۱۲/۲	۴۹۵	۱/۵۴	۵	۰/۸۵۸	۰/۰۸

جدول ۲- مشخصات جوی در طول دوره رشدی گندم (شش‌ماهه دوم سال ۱۳۹۵ و چهارماهه اول ۱۳۹۶)

پارامتر	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
بارندگی	۴/۸	۴۰/۳	۲۸/۹	۳/۴	۳۵/۲	۹/۴	۳/۳	۳۲/۹	۲/۴	۹/۳
میانگین حداقل دما	۶/۱	۱/۷	۴/۶	-۵/۱	-۸/۲	-۱/۴	۲/۱	۷/۴	۱۰	۱۲/۸
میانگین حداکثر دما	۱۸/۴	۱۲/۵	۳/۵	۵/۸	۰/۲	۹/۴	۱۴/۳	۲۱/۴	۲۴/۵	۲۶/۱
میانگین دمای روزانه	۱۲/۲	۷/۱	۰/۶	۰/۴	-۴	۴	۸/۲	۱۴/۴	۱۷/۳	۱۹/۵
میانگین رطوبت	۷۶	۷۵	۶۵	۶۴	۸۲	۶۹	۶۹	۶۲/۶	۶۸	۶۰/۶
مجموع ساعات آفتابی	۲۰۱/۳	۱۵۱/۴	۱۷۰/۸	۲۱۰/۹	۱۲۰/۹	۲۰۹/۱	۲۰۲/۷	۲۳۲/۶	۳۳۱/۷	۳۲۸/۳

مأخذ: اداره کل هواشناسی استان اردبیل

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک گندم دیم رقم رصد، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه ایستگاه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. محل اجرای آزمایش دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد است. ارتفاع از سطح دریا ۱۳۵۰ متر با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش و مشخصات جوی در طی دوره رشدی گندم در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

عامل اول شامل آبیاری تکمیلی و کشت دیم در سه سطح آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌ای شدن (I_1) بر مبنای کد ۴۵ از تقسیم‌بندی BBCH، آبیاری تکمیلی در مرحله سنبله‌دهی (I_2) بر مبنای کد ۶۱ از تقسیم بندی BBCH و عدم آبیاری یا کشت دیم (I_3) و عامل دوم شامل کاربرد کودهای زیستی در چهار سطح، بدون کاربرد کودهای زیستی به‌عنوان شاهد (B_1)، تلقیح

بذر با آزوسپریلیوم (B_2)، کاربرد میکوریز *Glomus intraradices* (B_3)، کاربرد توأم میکوریز و آزوسپریلیوم (B_4) بود. آبیاری در مرحله چکمه‌ای شدن همانند آبیاری در مرحله سنبله‌دهی بوده و در هر دو مرحله به‌صورت کرتی از یک شیوه معمول و متداول عرف زارعین محلی استفاده شد و سعی شد در هر دو مرحله از مقدار آب برابری برای آبیاری استفاده شود. اعمال سطوح آبیاری تکمیلی براساس بررسی‌های حمزه‌ای و سیدی (۱۳۹۲) در جو، و مطالعات Tadayon و همکاران (۲۰۱۲) در گندم در نظر گرفته شد. فاصله زمانی بین آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌ای شدن تا آبیاری تکمیلی در مرحله سنبله‌دهی حدود دو هفته بود. مرحله چکمه‌ای شدن در تاریخ ۸ تا ۱۰ خردادماه (حدود ۱۹۳ تا ۱۹۵ روز بعد از کاشت) اتفاق افتاد و مرحله سنبله‌دهی نیز به فاصله زمانی تقریباً دو هفته بعد از مرحله چکمه‌ای و حدود ۲۰۷ تا ۲۱۰ روز بعد از کاشت اتفاق افتاد.

اندازه‌گیری پارامترهای فلورسانس کلروفیل برگ شامل F_0 (حداقل فلورسانس از برگ سازگار شده با تاریکی)، F_m (حداکثر فلورسانس در برگ سازگار شده با تاریکی)، F_v

آسیب وارده بر غشای سلولی و کاهش مقاومت و یا تولید گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو باشد. گونه‌های فعال اکسیژن منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و تغییر در نفوذپذیری غشا (نشت یونی) و خسارت به سلول می‌گردند که در نتیجه آن غشای سلولی پاره شده و موجب افزایش نشت یونی به بیرون از سلول و افزایش هدایت الکتریکی می‌شود (Mohammadkhani and Heidari, 2007). عملکرد دانه از دو خط اصلی هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای از سطحی معادل ۰/۲ مترمربع برداشت شد.

برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS و Excel و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

شاخص کلروفیل (SPAD): نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش اثرات آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر شاخص کلروفیل برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری (از ۱۹۴ تا ۲۱۸ روز بعد از کاشت) معنی‌دار بود (جدول ۳). روند شاخص کلروفیل نشان داد که مقدار این شاخص در مراحل اولیه نمونه‌برداری بالا بود ولی با نزدیک شدن به مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی و همچنین پیرشدن برگ‌ها روند نزولی داشت (شکل ۱a). به طوری که از ۱۹۴ روز بعد از کاشت (یا در مرحله چکمه‌ای شدن) تا ۲۱۸ روز بعد از کاشت (مرحله سفت شدن دانه)، تغییرات شاخص کلروفیل روند نزولی داشته است (شکل ۱b). میزان این کاهش تحت شرایط دیم بیشتر از آبیاری تکمیلی در مراحل چکمه‌ای شدن و سنبله‌دهی بوده است. بیش‌ترین شاخص کلروفیل (۵۷/۲) در ۱۹۴ روز بعد از کاشت (یا در مرحله چکمه‌ای شدن) در کاربرد توأم میکوریز با آزوسپریلیوم و کمترین آن (۳۰/۵) در مراحل انتهایی رشد یا ۲۱۸ روز بعد از کاشت در حالت عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط دیم به دست آمد (شکل ۱c). نتایج مشابهی نیز مبنی بر اینکه با کمبود آب به خصوص در دوره گرده‌افشانی و پرشدن دانه گندم، شاخص

(فلورسانس متغیر از برگ سازگار شده با تاریکی) بود. برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل برگ پرچم در مزرعه از ۱۹۸ روز پس از کاشت (چهار روز بعد از مرحله چکمه‌ای شدن)، هر چهار روز یکبار توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل از هر تیمار به‌طور تصادفی شش برگ پرچم توسعه‌یافته (در فاصله زمانی ساعت ۱۰-۸ صبح) انتخاب و بعد از ۱۵ دقیقه تاریکی توسط کلیس‌های مخصوص F_0 ، F_m و F_v اندازه‌گیری شدند (Kheirizadeh Arough *et al.*, 2016). شاخص کلروفیل با دستگاه کلروفیل‌متر، بعد از ظهور برگ پرچم به فواصل زمانی هر چهار روز یکبار تا مرحله رسیدگی اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری درصد محتوای نسبی آب برگ پرچم در ۲۰۲ روز پس از کاشت (هشت روز بعد از مرحله چکمه‌ای شدن)، از هر کرت چهار برگ پرچم توسعه‌یافته به‌طور تصادفی انتخاب و بعد از قراردادن در فویل‌های آلومینیومی، داخل کیسه‌های پلاستیکی و روی یخ قرار داده و خیلی سریع به آزمایشگاه منتقل شدند. بدین صورت که نمونه‌های برگ پرچم بلافاصله بعد از نمونه‌برداری توزین شد تا وزن تر آنها به دست آید. سپس، برای مدت پنج ساعت در آب مقطر، قرار داده شدند. بعد از گذشت پنج ساعت، وزن آماس‌یافته اندازه‌گیری و وزن خشک نیز از توزین نمونه‌ها بعد از قرار دادن نمونه‌های آماس‌یافته در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، حاصل شد. محتوای نسبی آب برگ پرچم با استفاده از رابطه پیشنهادی Kostopoulou و همکاران (۲۰۱۰) و به شرح زیر محاسبه شد.

$$RWC = (F_w - D_w) / (T_w - D_w) \times 100$$

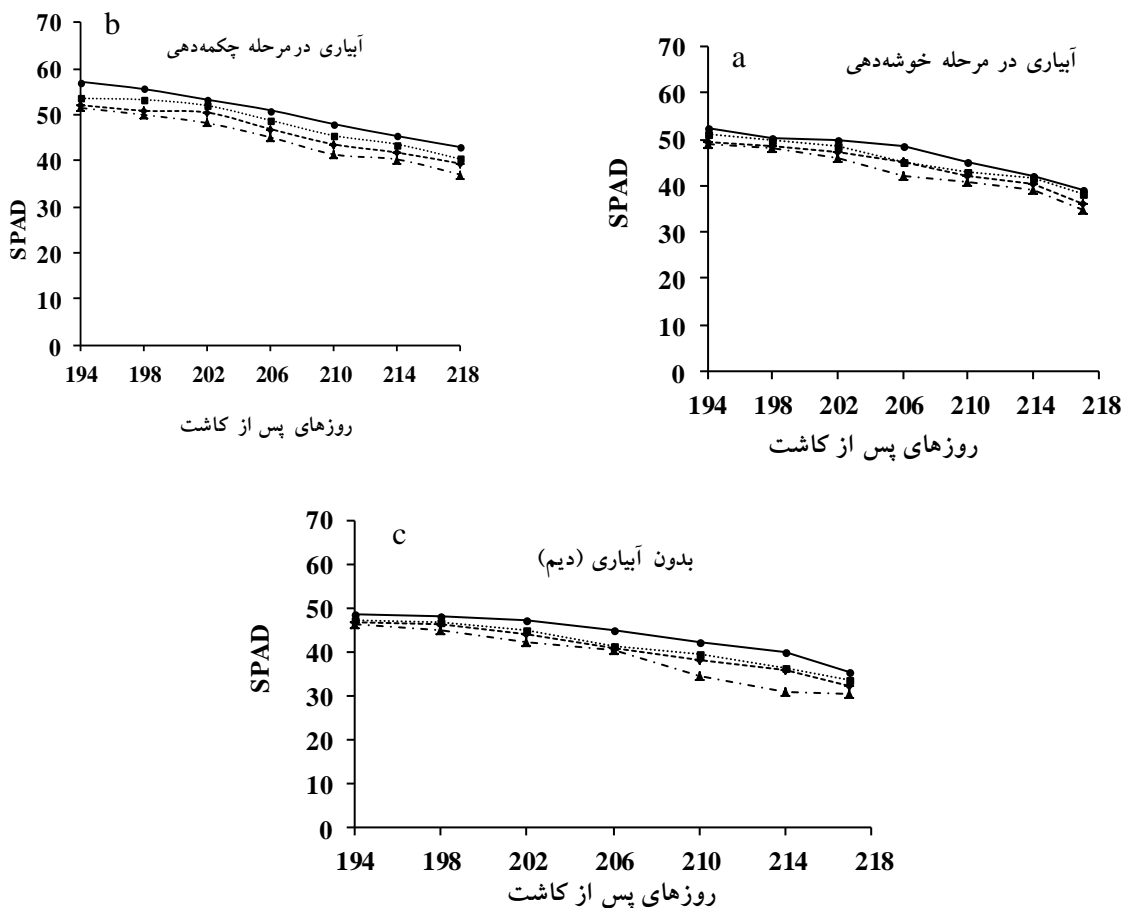
در این رابطه RWC محتوای نسبی آب، F_w وزن تر، T_w وزن آماس‌یافته و D_w وزن خشک است.

برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برگ پرچم در همان شرایط مربوط به اندازه‌گیری درصد محتوای نسبی آب، برگ پرچم در بشرهای محتوی ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفته و سپس میزان هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد. افزایش هدایت الکتریکی می‌تواند روشی مناسب در جهت ارزیابی

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر کود زیستی و آبیاری تکمیلی بر شاخص کلروفیل (SPAD) برگ پرچم گندم در مراحل مختلف یادداشت برداری

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
مراحل نمونه برداری (روز بعد از کاشت)								
۲۱۸	۲۱۴	۲۱۰	۲۰۶	۲۰۲	۱۹۸	۱۹۴		
۶۴۳/۵**	۷۶۰/۳**	۸۴۵/۷**	۹۷۲/۳**	۱۰۹۹/۴**	۱۱۲۷/۵**	۱۲۱۸/۴**	۲	تکرار
۱۵۴/۱**	۱۵۹/۹**	۱۱۶/۱**	۱۱۲**	۱۲۳**	۱۰۳**	۱۲۵/۷**	۲	آبیاری
۴۰/۶**	۵۱/۴**	۶۰/۲**	۵۰/۱**	۳۷/۷**	۲۴/۶**	۲۶/۴**	۳	کود زیستی
۷/۶۴**	۴/۵**	۱/۳۲*	۱/۸**	۴/۴**	۱/۸**	۲/۰۶**	۶	آبیاری × کود زیستی
۰/۵۲۷	۰/۶	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۴۳	۰/۳۵	۰/۴۱	۲۲	خطای آزمایشی

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد



—▲— شاهد —●— آزوسپریلیوم —■— میکوریز —◆— میکوریز و آزوسپریلیوم

شکل ۱- روند تغییرات شاخص کلروفیل (SPAD) برگ پرچم در شرایط سطح ثابت آبیاری و سطوح کودهای زیستی

کلروفیل عدد کوچکتری را نشان می دهد توسط Abdoli و Saeidi (۲۰۱۳) گزارش شده است. به بیانی دیگر با افزایش

شدن یا در ۱۹۴ روز پس از کاشت و بیشترین این مقدار (۲۲۰/۷) در ۲۲۲ روز پس از کاشت در حالت عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط دیم به دست آمد (شکل ۲ a, c). دلیل افزایش هدایت الکتریکی در شرایط تنش آبی می‌تواند ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو باشد. گونه‌های فعال اکسیژن منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و تغییر در نفوذپذیری غشا (نشت یونی) و خسارت به سلول می‌شود که در نتیجه آن غشای سلولی پاره شده و موجب افزایش نشت یونی به بیرون از سلول می‌شود (Mohammadkhani and Heidari, 2007). Sandhya و همکاران (۲۰۱۰) اظهار داشتند که تلقیح با باکتری‌های محرک رشد در شرایط تنش خشکی در ذرت موجب کاهش نشت الکترولیت‌ها می‌شود. Kheirizadeh Arough و همکاران (۲۰۱۶) کاهش هدایت الکتریکی برگ تربیتکاله در اثر کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط تنش خشکی را، به نقش باکتری‌های محرک رشد در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو و حذف گونه‌های فعال اکسیژن نسبت دادند.

محتوای نسبی آب برگ (RWC): نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش اثرات آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر محتوای نسبی آب برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری (از ۱۹۴ تا ۲۲۲ روز بعد از کاشت) معنی‌دار بود (جدول ۵). بررسی روند تغییرات محتوای نسبی آب برگ پرچم (شکل ۳a, b, c) نشان داد که این تغییرات در تیمارهای آبیاری و کاربرد کودهای زیستی روند نزولی نسبتاً مشابهی داشت، به طوری که در مراحل اولیه نمونه‌برداری بالا بوده است و سپس تا انتهای فصل رشد به دلیل نزدیک شدن به مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی و همچنین پیرشدن برگ‌ها روند نزولی داشت. بیشترین محتوای نسبی آب برگ پرچم (۹۷/۰۷ درصد) در ۲۰۲ روز بعد از کاشت (یا یک هفته بعد از آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌ای شدن) در کاربرد توأم آزوسپریلیوم و میکوریز و کمترین آن (۴۱ درصد) در حالت عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط دیم (یا در ۲۱۴ روز پس از کاشت) یا چهار روز بعد از مرحله سنبله‌دهی به دست آمد.

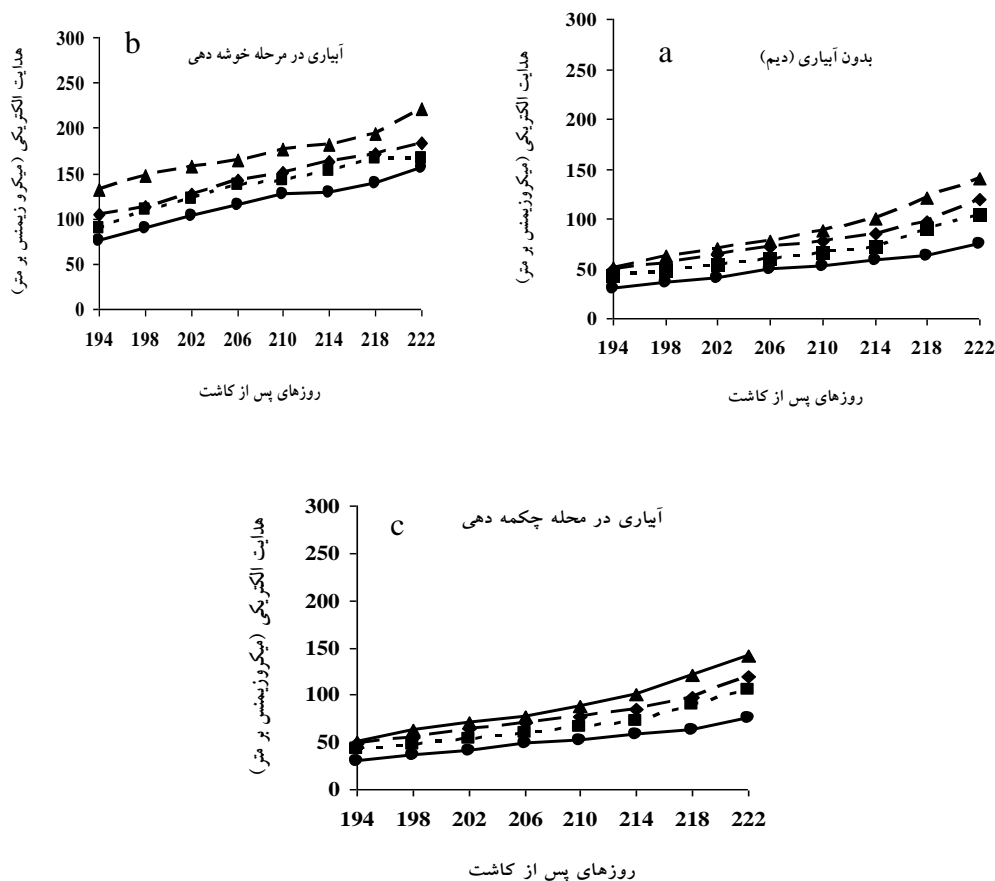
محدودیت آبی، SPAD عدد کوچکتتری را نشان داد که ممکن است نتیجه تخریب کلروفیل به واسطه محدودیت شدید آبی باشد که به کاهش نور ساخت خالص منجر می‌شود (Legg et al., 2000). همچنین افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز طی تنش کم آبی می‌تواند عامل کاهش میزان کلروفیل در طی تنش آبی باشد (Ranjan et al., 2001). فعله‌گری و همکاران (۱۳۹۳) اظهار داشتند گیاهان در تیمار انجام آبیاری تکمیلی در گندم دیم، از شاخص کلروفیل برگ پرچم بالاتری نسبت به عدم آبیاری برخوردار بودند. نریمانی و همکاران (۱۳۹۷) با انجام یک بار آبیاری تکمیلی در مراحل چکمه‌ای شدن و سنبله‌دهی گندم، افزایش محتوای نسبی آب و افزایش شاخص کلروفیل برگ گندم را نسبت به شرایط دیم مشاهده کردند. عده‌ای افزایش محتوای کلروفیل را در گیاهان میکوریزی در مقایسه با عدم کاربرد میکوریز به بهبود جذب فسفر نسبت دادند (Demir, 2004). Kheirizadeh Arough و همکاران (۲۰۱۶) اثر مفید کاربرد میکوریز و باکتری‌های محرک رشد در افزایش شاخص کلروفیل در شرایط محدودیت آبی را، به نقش کودهای زیستی در کاهش ساخت اتیلن درونی نسبت دادند که با کاهش ساخت اتیلن، تجزیه کلروفیل به طور معنی‌داری کاهش و شاخص کلروفیل افزایش می‌یابد.

هدایت الکتریکی برگ پرچم: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش اثرات آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر هدایت الکتریکی برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری (از ۱۹۴ تا ۲۲۲ روز بعد از کاشت) معنی‌دار بود (جدول ۴). بررسی روند تغییرات هدایت الکتریکی در پاسخ به تیمارهای آبیاری و کودهای زیستی در طول فصل رشد نشان داد که با گذشت زمان هدایت الکتریکی برگ پرچم در اثر کاربرد کودهای زیستی نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد کودهای زیستی) در اکثر مراحل نمونه‌برداری به خصوص در دو مرحله انتهایی نمونه‌برداری کاهش یافت (شکل‌های ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین میزان هدایت الکتریکی برگ پرچم (۳۰/۱۵) در کاربرد توأم میکوریز و آزوسپریلیوم در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌ای

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر کود زیستی و آبیاری تکمیلی بر هدایت الکتریکی (EC) برگ پرچم گندم

میانگین مربعات								درجه آزادی	منابع تغییر
مراحل نمونه برداری (روز بعد از کاشت)									
۲۲۲	۲۱۸	۲۱۴	۲۱۰	۲۰۶	۲۰۲	۱۹۸	۱۹۴		
۹۹۰۶/۴۵**	۸۰۴۹/۲**	۶۶۵۷/۳۶**	۵۷۲۶/۳۶**	۴۸۵۸/۳۳**	۳۹۵۱**	۳۱۶۵/۷**	۲۳۴۷**	۲	تکرار
۱۵۵۵۴/۲۵**	۱۶۸۸۹/۷۴**	۲۸۰۲۵/۷۴**	۱۸۴۰۲/۳۹**	۱۷۱۷۶/۸**	۱۵۰۷۵**	۱۲۳۶۶/۳**	۹۸۰۷**	۲	آبیاری
۱۰۱/۴۳ ^{ns}	۲۶/۰۹ ^{ns}	۸۱/۹۱ ^{ns}	۱۰۶/۵۲ ^{ns}	۹۶/۴۵ ^{ns}	۱۳۱/۶۷*	۱۹۸/۳**	۲۰۹**	۳	کود زیستی
۶۲۹۲/۵۲**	۵۱۴۳/۹۳**	۴۶۸۶/۹۳**	۳۷۶۲/۳۶**	۲۹۱۲/۴**	۲۸۶۷**	۲۴۷۱/۱**	۲۱۹۱**	۶	آبیاری × کود زیستی
۶۱/۳۲	۵۹/۸۴	۶۱/۳۳	۵۹/۰۶	۵۲/۹۳	۴۷/۹۳	۴۰/۴۱	۳۳/۲۷	۲۲	خطای آزمایشی

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد



—▲— شاهد —◆— آزوسپیریلیوم - -■- - میکوریز —●— آزوسپیریلیوم + میکوریز

شکل ۲- روند تغییرات هدایت الکتریکی (EC) برگ پرچم در شرایط ثابت آبیاری و سطوح مختلف کودهای زیستی

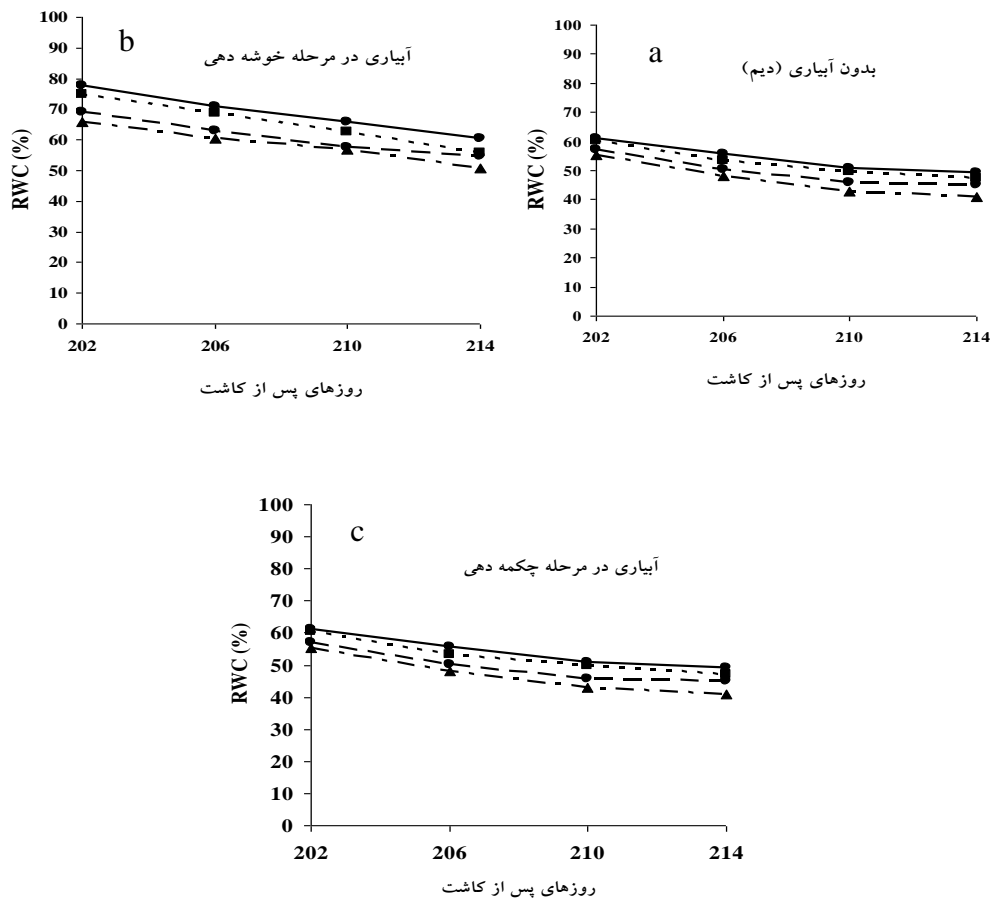
پرچم به عنوان یک واکنش کوتاه مدت به تنش و معیاری از توان حفظ قدرت منبع در شرایط تنش خشکی مورد استفاده قرار می گیرد (Ahmadi et al., 2010). نتایج مشابهی نیز توسط

کاهش محتوای نسبی آب برگ در اثر تنش خشکی در واقع یکی از تغییرات فیزیولوژیکی است که گیاه در مواجهه با تنش خشکی از خود بروز می دهد. تغییرات محتوای رطوبتی برگ

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر کود زیستی و آبیاری تکمیلی بر محتوای نسبی آب (RWC) برگ پرچم گندم

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییر
مراحل نمونه برداری (روز بعد از کاشت)					
۲۱۴	۲۱۰	۲۰۶	۲۰۲		
۱۴۶۰/۶۸**	۱۷۲۵/۸**	۲۰۵۱/۳۱**	۲۵۹۵/۳۲**	۲	تکرار
۱۰۷۷/۵۵**	۱۸۱۸/۵**	۲۱۷۴/۸۵**	۳۰۶۴/۸۹**	۲	آبیاری
۳۰۹/۶۱**	۲۴۵/۹۵**	۳۱۲/۸۶**	۲۲۱/۰۸**	۳	کود زیستی
۴۶/۱۸۲**	۱۷/۰۷۳*	۳۲/۸۸**	۱۳/۶۹ ^{ns}	۶	آبیاری × کود زیستی
۴/۰۷۴	۵/۴۲۷	۶/۶۴۹	۸/۳۳۴	۲۲	خطای آزمایشی

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد



شکل ۳- روند تغییرات محتوای نسبی آب (RWC) برگ پرچم در شرایط ثابت آبیاری و سطوح مختلف کودهای زیستی

باکتری‌های محرک رشد در شرایط محدودیت آبی، گزارش شده است.

Kheirizadeh Arough و همکاران (۲۰۱۶) مبنی بر افزایش محتوای نسبی آب برگ پرچم در تربیتکاله با کاربرد میکوریز و

جدول ۶- تجزیه واریانس تأثیر کود زیستی و آبیاری تکمیلی بر شاخص فلورسانس کلروفیل (F_0) برگ پرچم گندم

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییر
مراحل نمونه برداری (روز بعد از کاشت)							
۲۱۸	۲۱۴	۲۱۰	۲۰۶	۲۰۲	۱۹۸		
۱/۰۸ ^{ns}	۱۳/۱۹ ^{ns}	۲/۷۸ ^{ns}	۵/۰۸ ^{ns}	۴/۷۷ ^{ns}	۹۲/۸۶ ^{**}	۲	تکرار
۶۰۲۱۲/۲۵ ^{**}	۴۷۵۳۷/۵ ^{**}	۴۴۱۳۷/۵ ^{**}	۴۱۹۴۸/۱ ^{**}	۳۸۳۵۵/۱ ^{**}	۲۹۸۹۴/۴ ^{**}	۲	آبیاری
۸۷۶۳/۵۵ ^{**}	۴۲۶۰۰/۲ ^{**}	۱۲۲۰۰/۲ ^{**}	۱۰۹۹۲/۹۲ ^{**}	۸۲۱۸/۹ ^{**}	۶۸۵۶/۲۹ ^{**}	۳	کود زیستی
۶۴۳/۳۶ ^{**}	۵۵۵/۱۲ ^{**}	۷۰۷/۱۲ ^{**}	۶۴۳/۹ ^{**}	۵۱۴/۹ ^{**}	۱۱۲/۴۴ ^{**}	۶	آبیاری × کود زیستی
۳۹/۶	۴۱/۴۸	۳۱/۴۸	۱۱/۵۳۸	۱۰/۲۹	۹/۳۱	۲۲	خطای آزمایشی

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

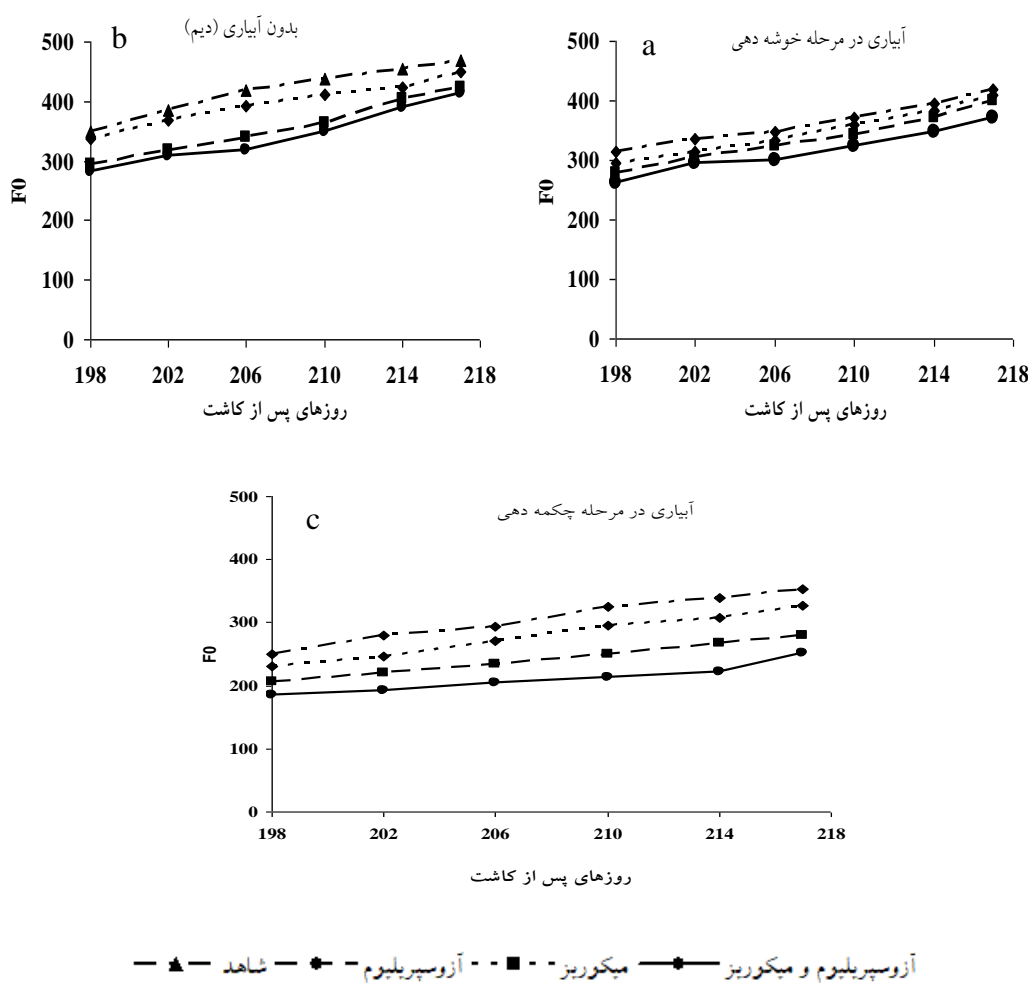
جدول ۷- تجزیه واریانس تأثیر کود زیستی و آبیاری تکمیلی بر شاخص فلورسانس کلروفیل (F_m) برگ پرچم گندم

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییر
مراحل نمونه برداری (روز بعد از کاشت)							
۲۱۸	۲۱۴	۲۱۰	۲۰۶	۲۰۲	۱۹۸		
۳۵۷/۸۶ ^{ns}	۲۱۰۳/۵۲۸ ^{ns}	۳۸۰/۱۹ ^{ns}	۲۴۸۶/۴ [*]	۲۱۰۳/۷ ^{**}	۴۵۴۳/۳۶ ^{**}	۲	تکرار
۱۱۰۸۳۰/۷۸ ^{**}	۲۵۵۹۳۸/۱۹ ^{**}	۲۲۸۵۸۸/۳۶ ^{**}	۲۸۰۷۵۲/۴ ^{**}	۲۱۳۸۳۵/۱ ^{**}	۷۹۶۲۴۷/۷ ^{**}	۲	آبیاری
۴۰۶۸۱/۵۲ ^{**}	۴۹۳۱۸/۳۳ ^{**}	۶۴۶۴۹/۲۹ ^{**}	۹۱۸۴۵/۹ ^{**}	۴۸۷۳۹/۱ ^{**}	۲۱۳۴۱۲/۲ ^{**}	۳	کود زیستی
۴۶۳۲/۶۳ ^{**}	۸۰۱/۴۱۷ ^{**}	۴۰۹۱/۵۴ ^{**}	۴۶۸۹/۶ ^{**}	۱۱۳۹/۷ ^{**}	۱۳۱۷۳/۲ ^{**}	۶	آبیاری × کود زیستی
۱۶۲/۶۲	۶۶۱/۷	۱۲۰/۰۱۳	۴۸۵/۴	۲۴۷/۷	۱۸۰/۳۳	۲۲	خطای آزمایشی

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

واکنش فتوسینتیم II موجب افزایش F_0 می شود. نتایج مشابهی نیز توسط Qiang و همکاران (۲۰۲۰) مبنی بر افزایش مقدار F_0 با افزایش محدودیت آبی در برنج گزارش شده است. از آنجایی که کاربرد توأم آزوسپریلیوم و میکوریز و آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه ای شدن نسبت به سایر تیمارها در مراحل انتهایی نمونه برداری (۲۱۴ روز بعد از کاشت) دارای محتوای آب نسبی بیش تری است (شکل ۳C)، به نظر می رسد این ترکیب تیماری توانسته است به نحو مناسب تری از رطوبت خاک استفاده کند. شاید اهمیت رطوبت نسبی از این نظر باشد که بین این ویژگی ها و تعداد زیادی از ویژگی های فیزیولوژیک گیاه از جمله سرعت تبادل کربن و میزان هدایت روزنه ای ارتباط مستقیمی وجود دارد، در نتیجه شرایط فتوسنتزی بهتری

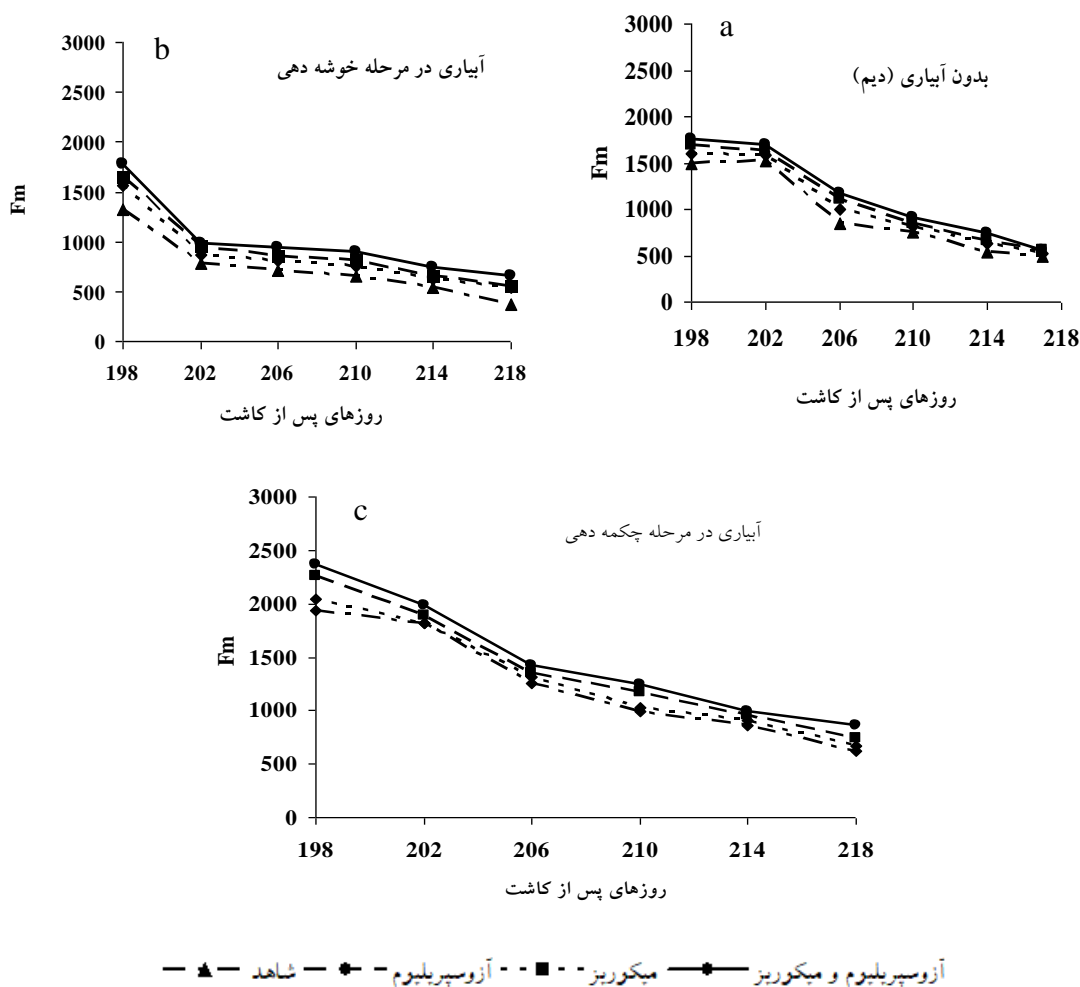
فلورسانس کلروفیل (F_0 , F_m و F_v): نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش اثرات آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر شاخص های کلروفیل برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه برداری (از ۱۹۴ تا ۲۲۲ روز بعد از کاشت) معنی دار بود (جدول های ۶ و ۷). بررسی روند تغییرات فلورسانس حداقل (F_0) در پاسخ به آبیاری تکمیلی و کاربرد کودهای زیستی در طول فصل رشد (شکل ۴a, b, c) نشان داد که فلورسانس حداقل (F_0) همواره در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه ای شدن کمتر از شرایط دیم بود که به نظر می رسد کاربرد توأم آزوسپریلیوم و میکوریز موجب کاهش میزان فلورسانس حداقل شده است. Arous و همکاران (۱۹۹۸) اظهار داشتند خسارت محدودیت آبی با خسارت به مرکز



شکل ۴- روند تغییرات فلورسانس کلروفیل (F₀) برگ پرچم در شرایط سطح ثابت آبیاری و سطوح مختلف کودهای زیستی

رژیم‌های مختلف آبیاری بر چند ژنوتیپ ذرت تفاوت‌های معنی‌داری را در فلورسانس کلروفیل (F_v، F_m، F₀) بین ارقام ذرت و رژیم‌های مختلف آبیاری گزارش کردند. شاید اهمیت محتوای نسبی آب از این نظر باشد که بین این ویژگی‌ها و تعداد زیادی از ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه از جمله سرعت تبادل کربن و میزان هدایت روزنه‌ای ارتباط مستقیمی وجود دارد، در نتیجه شرایط فتوسنتزی بهتری داشته و مانع از افزایش بیش از حد فلورسانس حداقل شده است (Prakash and Ramachandran, 2005). Hewedy (۱۹۹۹) اثر مفید کاربرد آزوسپریلیوم را به مشارکت آن‌ها در افزایش رشد گیاه به‌واسطه تثبیت زیستی نیتروژن، محلول‌کردن فسفات نامحلول خاک و تولید هورمون‌های گیاهی نسبت دادند که مجموعه این عوامل با تحریک در جذب بیشتر مواد غذایی توسط گیاه، منجر به

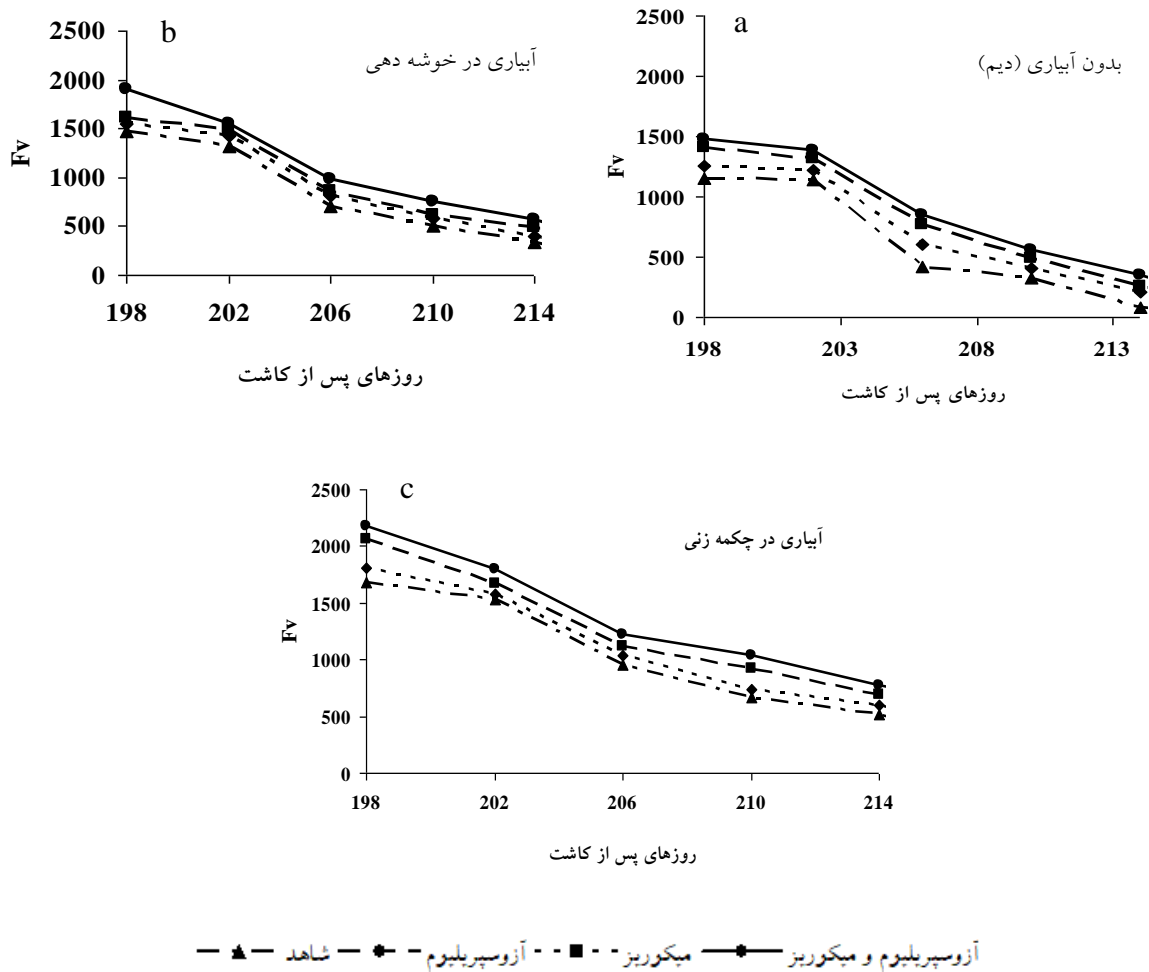
داشته و مانع از افزایش بیش از حد فلورسانس حداقل شده است (Prakash and Ramachandran, 2005). بیش‌ترین فلورسانس حداقل (۶۶/۴۶۸) در ۲۱۸ روز پس از کاشت یا هشت روز بعد از سنبله‌دهی تحت شرایط دیم و عدم کاربرد کودهای زیستی و کم‌ترین آن (۰۵/۱۸۶) از ترکیب تیماری کاربرد توأم آزوسپریلیوم و میکوریز و آبیاری تکمیلی در ۱۹۸ روز بعد از کاشت یا چهار روز بعد از مرحله چکمه‌ای شدن به‌دست آمد. نتایج مشابهی نیز توسط دیگر محققان مبنی بر تأثیر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد (خلیل‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶) و انجام آبیاری تکمیلی (نریمانی مردان و همکاران، ۱۳۹۷) که منجر به افزایش محتوای نسبی و مقدار کلروفیل و کاهش فلورسانس حداقل (F₀) می‌شود گزارش شده است. عشقی‌زاده و احسان‌زاده (۱۳۸۸) در بررسی تأثیر



شکل ۵- روند تغییرات فلورسانس کلروفیل (F_m) برگ پرچم در شرایط سطح ثابت آبیاری و سطوح مختلف زیستی

نمونه‌برداری یا ۲۱۸ روز پس از کاشت، بیش‌ترین میزان فلورسانس حداکثر (۸۵۷/۳۳) در کاربرد توأم آزوسپریلیوم و میکوریز و آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌ای شدن و کم‌ترین آن (۴۹۵) به عدم کاربرد کودهای زیستی در شرایط دیم مربوط می‌شد. نتایج نشان داد بیش‌ترین مقدار فلورسانس متغیر (۶۰۵) در مراحل انتهایی نمونه‌برداری یا هشت روز بعد از سنبله‌دهی (۲۱۸ روز بعد از کاشت) در کاربرد توأم آزوسپریلیوم و میکوریز و آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌ای شدن، و کم‌ترین آن (۲۶) در همین مرحله از نمونه‌برداری، در حالت عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط دیم مشاهده شد (شکل ۶a, b, c). اصولاً مقدار فلورسانس کلروفیل در زمانی که پذیرنده الکترون (کوینون) در حالت احیا باشد زیاد است و به این علت مقدار F_v نیز در این حالت زیاد می‌شود، ولی زمانی که کوینون در

بهبود فتوسنتز و در نتیجه افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شود. نتایج اندازه‌گیری فلورسانس حداکثر (F_m) نشان داد که در شرایط دیم کاهش قابل توجهی در فلورسانس حداکثر و تخریب فتوشیمیایی نسبت به شرایط آبیاری در مرحله چکمه‌ای شدن مشاهده شد (شکل ۵a, b, c). با گذشت زمان فلورسانس حداکثر کاهش یافت. به طوری که در مراحل اولیه نمونه‌برداری یا ۱۹۸ روز بعد از کاشت (چهار روز بعد از چکمه‌ای شدن)، بیش‌ترین فلورسانس حداکثر (۲۳۶۷) در کاربرد توأم میکوریز و آزوسپریلیوم و آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌ای شدن و کم‌ترین آن (۱۵۰۰) در همین مرحله از نمونه‌برداری (۱۹۸ روز بعد از کاشت)، در شرایط دیم و عدم کاربرد کودهای زیستی به دست آمد ولی با گذشت زمان فلورسانس حداکثر کاهش یافت، به طوری که در مراحل نهایی



شکل ۶- روند تغییرات فلورسانس کلروفیل (F_v) برگ پرچم در شرایط ثابت آبیاری و سطوح مختلف کودهای زیستی

و کارایی کواتومی فتوستتز خالص کاهش یافته است. وزن هزار دانه: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش اثرات آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۸). آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌ای شدن و کاربرد توأم میکوریز و آزوسپریلیوم بیش‌ترین وزن هزار دانه و ترکیب تیماری کشت دیم در عدم کاربرد کودهای زیستی، کمترین وزن هزار دانه را به خود اختصاص داد (جدول ۹). سلطانیان و تدین (۱۳۹۵) گزارش کردند که قارچ میکوریز از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی و نیز افزایش فتوستتز موجب می‌شود مواد غذایی و شیره پرورده بیشتری در اختیار بذر قرار داده و در نهایت موجب افزایش وزن هزار دانه می‌شوند. از طرفی انجام آبیاری تکمیلی نیز به دلیل دسترسی بیشتر گیاه به آب و

حالت اکسیداسیون است مقدار فلورسانس کلروفیل a کم می‌شود، در این حالت میزان F_v کاهش می‌یابد (Paknejad et al., 2007). Shahbazi و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی پارامترهای فلورسانس گندم در شرایط تنش خشکی اظهار داشتند که نسبت F_v/F_m رابطه مثبتی با تحمل به خشکی دارد و از آن به‌عنوان یک معیار مکمل در انتخاب تحمل به خشکی در گندم نام بردند. نتایج مشابهی نیز توسط Xiao و همکاران (۲۰۱۹) مبنی بر اینکه محدودیت آبی در برنج موجب می‌شود نسبت F_v/F_m کاهش یابد گزارش شده است. از این رو در این بررسی به‌نظر می‌رسد در تیمارهایی که F_v/F_m کمتر است، دستگاه فتوستتزی در آن‌ها به خشکی حساس‌تر است و تنش کم‌آبی با اختلال در انتقال الکترون در واکنش مربوط به تجزیه آب فتوسیستم II (واکنش هیل) به بروز این پدیده کمک کرده

جدول ۸- تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی بر عملکرد دانه و وزن هزار دانه گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		عملکرد دانه	وزن هزار دانه
تکرار	۲	۵۹۲۱۸۳/۳۶ ^{ns}	۳/۰۸۳ ^{ns}
آبیاری	۲	۱۸۲۵۲۵/۸۲ ^{ns}	۲۲/۴۷۱ ^{**}
کود زیستی	۳	۳۲۹۲۸۷/۸۸ ^{ns}	۷/۰۴۵ [*]
آبیاری × کود زیستی	۶	۳۵۴۶۶۶/۸ ^{**}	۱۳۹/۴ ^{**}
خطای آزمایشی	۲۲	۳۱۳۲۰۴/۳۳	۲۵/۴۴۳

ns. * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۹- مقایسه میانگین برهمکنش اثرات آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم رقم رصد

عوامل آزمایشی	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عوامل آزمایشی	
			کود زیستی	آبیاری تکمیلی
مرحله چکمه‌ای شدن	۴۰/۲۶ ^c	۳۸۴۲ ^{ef}	عدم استفاده (شاهد)	
	۴۱/۹۴ ^c	۴۰۵۹/۳ ^{bc}	آزوسپریلیوم	
	۴۴/۷۳ ^{bc}	۴۰۸۰/۳ ^b	میکوریز	
مرحله سنبله‌دهی	۵۱/۶۹ ^a	۴۲۰۰/۳ ^a	آزوسپریلیوم + میکوریز	
	۴۵/۲۴ ^{bc}	۳۶۰۰ ^g	عدم استفاده (شاهد)	
	۴۷/۴۴ ^{ab}	۳۸۰۷ ^e	آزوسپریلیوم	
بدون آبیاری یا شاهد	۴۸/۷۸ ^{ab}	۳۹۶۷ ^{cd}	میکوریز	
	۴۴/۸۶ ^{bc}	۴۰۰۵ ^{bc}	آزوسپریلیوم + میکوریز	
	۴۱/۰۴ ^c	۳۱۰۵ ^h	عدم استفاده (شاهد)	
LSD 5%	۴۷/۶۴ ^{ab}	۳۷۶۰ ^f	میکوریز	
	۵۱/۰۴ ^a	۳۸۷۰ ^{de}	آزوسپریلیوم + میکوریز	
	۵/۰۳	۱۰۱/۷۸		

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون LSD هم ندارند.

افزایش وزن هزار دانه شده است. مزارعی و همکاران (۱۳۹۶) اظهار داشتند که در شرایط تنش خشکی کاربرد میکوریز با افزایش سطح ریشه‌ها موجب دسترسی بیشتر به مواد معدنی و آب می‌شود، ضمن آنکه افزایش محتوای نسبی آب و کلروفیل برگ نیز می‌تواند با بهبود سطح برگ و فعالیت فتوسنتزی گیاه موجب افزایش وزن هزار دانه شود.

عملکرد دانه: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان

مواد غذایی در دسترس، منجر به بهبود وزن هزار دانه می‌شود (نریمانی مردان و همکاران، ۱۳۹۷). به نظر می‌رسد بخشی از افزایش وزن هزار دانه با کاربرد کودهای زیستی و انجام آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌ای شدن ناشی از افزایش شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ (شکل‌های ۱ و ۳) باشد که ضمن کمک به حفظ سطح سبز برگ، توانایی فتوسنتز و تولید را افزایش داده (فعله‌کری و همکاران، ۱۳۹۳) و منجر به

هدایت الکتریکی و افزایش محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل و شاخص نیتروژن برگ، موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد.

در این بررسی نیز به نظر می‌رسد انجام آبیاری تکمیلی و کاربرد کودهای زیستی ضمن کاهش هدایت الکتریکی برگ پرچم (شکل ۲)، موجب افزایش شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ پرچم (شکل‌های ۱ و ۳) و بهبود وضعیت فلورسانس کلروفیل برگ پرچم (شکل‌های ۴، ۵ و ۶) و در نهایت موجب افزایش عملکرد دانه (جدول ۹) شده است.

نتیجه‌گیری

بیش‌ترین عملکرد دانه در کاربرد توأم آزوسپریلیوم و میکوریز و آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌ای شدن به دست آمد. کاربرد توأم آزوسپریلیوم و میکوریز و آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌ای شدن گندم رقم رصد با بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، افزایش شاخص کلروفیل و محتوای آب نسبی برگ در طول فصل رشد، موجب افزایش عملکرد دانه گندم در شرایط محدودیت آبی شد. براساس نتایج آزمایش حاضر، به نظر می‌رسد به‌منظور بهبود عملکرد گندم در شرایط تنش، استفاده از کودهای زیستی و انجام آبیاری تکمیلی عاملی مناسب باشد.

داد که برهمکنش اثرات آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر عملکرد دانه معنی دار بود (جدول ۸). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی با کاربرد توأم کودهای زیستی بیشترین عملکرد دانه (۴۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و کشت دیم در حالت عدم کاربرد کودهای زیستی (با میانگین ۳۱۰۵ کیلوگرم در هکتار)، کمترین مقدار را به خود اختصاص داد (جدول ۹). Mahmood Nadeem و همکاران (۲۰۱۴) دلیل افزایش عملکرد در کاربرد توأم میکوریز با باکتری‌های محرک رشد تحت شرایط تنش‌های محیطی را، به تعادل هورمون‌های گیاهی، تولید تنظیم‌کنندگان رشد گیاهی، سهولت دسترسی گیاه به مواد غذایی و مقاومت در برابر پاتوژن‌های گیاهی نسبت دادند. افزایش عملکرد در کاربرد توأم کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌ای مطابق نتایج پژوهش Tinglu و همکاران (۲۰۰۵) بود. آنها اظهار داشتند سبزبودن برگ‌های بالایی بوته به‌خصوص برگ پرچم موجب می‌شود که در صورت برخورداری از رطوبت کافی، فتوسنتز بیشتری داشته و مواد بیشتری را بطرف دانه‌های در حال پرشدن منتقل کنند که در نهایت موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود. فلعه‌گری و همکاران (۱۳۹۵) دلیل افزایش عملکرد دانه در تیمار آبیاری تکمیلی در مرحله ظهور سنبله و گرده‌افشانی را به بقا دانه‌های گرده و جلوگیری از سقط جنین و گرده‌افشانی موفق نسبت دادند. نریمانی و همکاران (۱۳۹۷) اظهار داشتند که انجام آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌ای شدن با کاهش

منابع

- حبیب‌پور کاشفی، ا.، قرینه، م. ح.، شافعی‌نیا، ع. ر. و روزرخ، م. (۱۳۹۴) اثر سطوح زئولیت بر فلورسانس کلروفیل لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش خشکی. فصلنامه علمی پژوهشی گیاهان زراعی ۷: ۱۹-۳۲.
- حمزه‌ای، ج. و سیدی، م. (۱۳۹۲) واکنش عملکرد و اجزای عملکرد ارقام جو به آبیاری تکمیلی در شرایط دیم. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار ۴: ۱۵۹-۱۶۸.
- خلیل‌زاده، ر.، سیدشریفی، ر. و جلیلیان، ج. (۱۳۹۶) تأثیر سایکوسل و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک گندم در شرایط محدودیت آبی. فرآیند و کارکرد گیاهی ۶: ۲۴۷-۲۶۶.
- دابخوا، ن.، عبادی، ع.، پرمون، ق.، قلی‌پوری، ع. و جهانبخش، س. (۱۳۹۳) اثر محلول‌پاشی سولفات روی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد دانه نخود در سطوح مختلف آبیاری. زراعت دیم ایران ۳: ۱۴۱-۱۶۰.

- سلطانیان، م. و تدین، ع. (۱۳۹۵) اثر هم‌زیستی قارچ میکوریزای آریوسکولار بر عملکرد دانه و اجزاء عملکرد کتان (*Linum ussitatissimum L.*) در شرایط تنش خشکی. اکوفیزیولوژی گیاهی ۸: ۹۸-۱۰۶.
- سیدشریفی، ر. و نامور، ع. (۱۳۹۴) کودهای زیستی در زراعت. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
- عشقی‌زاده، ح. ر. و احسان‌زاده، پ. (۱۳۸۸) تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری بر چند ژنوتیپ ذرت: I. فلورسانس کلروفیل، خصوصیات رشد و عملکرد دانه. علوم گیاهان زراعی ایران ۴۰: ۱۳۵-۱۴۴.
- فعله‌گری، ح.، قبادی، م. ا.، محمدی، غ. ر.، جلالی هنرمند، س. و قبادی، م. (۱۳۹۳) تأثیر آبیاری تکمیلی و سطوح نیتروژن بر عملکرد دانه و برخی صفات مورفوفیزیولوژیک دو رقم گندم دیم. مجله علوم پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی ۶: ۲۸-۴۲.
- فعله‌گری، ح.، قبادی، م. ا.، محمدی، غ. ر. و جلالی هنرمند، س. (۱۳۹۵) بررسی صفات فیزیولوژیکی ارقام گندم تحت سطوح مختلف نیتروژن و آبیاری. فناوری تولیدات گیاهی ۸: ۶۷-۱۰۹.
- مزارعی، ا.، سیروس‌مهر، ع. ر. و بابایی، ز. (۱۳۹۶) تأثیر قارچ میکوریزا بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی خارمریم (*Silybum marianum L. Gaertn*) تحت تنش خشکی. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۳۳: ۶۲۰-۶۳۵.
- نریمانی مردان، ح.، سیدشریفی، ر.، خلیل‌زاده، ر. و امین‌زاده، غ. ر. (۱۳۹۷) تأثیر نانو اکسید آهن بر عملکرد، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک گندم در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی. نشریه زیست‌شناسی گیاهی ایران ۱۰: ۲۱-۴۰.
- Abdoli, M. and Saeidi, M. (2013) Evaluation of water deficiency at the post anthesis and source limitation during grain filling on grain yield, yield formation, some morphological and phonological traits and gas exchange of bread wheat cultivar. *Albanian Journal of Agricultural Sciences* 12: 255-265.
- Ahmadi, A., Emam, Y. and Pessarakli, M. (2010) Biochemical changes in maize seedling exposed to drought stress conditions at different nitrogen levels. *Journal of Plant Nutrition* 33: 541-556.
- Angadi, S. V. and Entz, M. H. (2002) Water relations of standard height and dwarf sunflower cultivars. *Crop Science* 42: 152-159.
- Araus, J. L., Amaro, T., Voltas, J., Nakkoul, H. and Nachit, M. M. (1998) Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean condition. *Field Crop Research* 55: 209-223.
- Behl, R. K., Sharma, H., Kumar, V. and Narula, N. (2003) Interaction between mycorrhiza, *Azotobacter chroococcum* and root characteristics of wheat varieties. *Journal of Agronomy and Crop Science* 89: 151-155.
- Beltagi, M. S. (2008) Exogenous ascorbic acid (vitamin C) induced anabolic changes for salt tolerance in chick pea (*Cicer arietinum L.*). *African Journal of Plant Science* 2: 118-123.
- Demir, S. (2004) Influence of Arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. *Turkish Journal Biology* 28: 85-90.
- Francois, B. B. (2007) Effect of salinity on germination and seedling growth of canola. PhD Thesis. Agricultural Science at University of Stellenbosch.
- Gill, S. and Tuteja, N. (2010) Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 48: 909-930.
- Hewedy, A. M. (1999) Influence of single and multi-bacterial fertilizer on the growth and fruit yield of tomato. *Egypt Journal of Applied Science* 14: 508-523.
- Hosseini, F., Mosaddegi, M. R. and Roger Dexter, A. (2017) Effect of *fungus priformospora indica* on physiological characteristics and root morphology of wheat under combined drought and mechanical stresses. *Plant Physiology and Biochemistry* 118: 107-120.
- Idris, M. (2003) Effect of integrated use of mineral and organic N and *Azotobacter* on the yield, yield components and N-nutrition on wheat. *Pakistan Journal of Biological Science* 6: 539-543.
- Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R. and Seyed Sharifi, R. (2016) Bio fertilizers and zinc effects on some physiological parameters of triticale under water limitation condition. *Journal of Plant Interactions* 11: 167-177.
- Kostopoulou, P., Barbayiannis, N. and Basile, N. (2010) Water relations of yellow sweet clover under the synergy of drought and selenium addition. *Plant and Soil* 330: 65-71.
- Legg, B. J., Day, W. D., Lawlor, W. and Parkinson, K. J. (2000) The effects of drought on barley growth: models and measurements showing the relative importance of leaf area and photosynthetic rate. *The Journal of Agricultural Science* 92: 703-716.
- Mahmood Nadeem, S., Ahmad, M., Zahir Ahmad, Z., Javaid, A. and Ashraf, M. (2014) The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments.

- Biotechnology Advances 32: 429-448.
- Mohammadkhani, N. and Heidari, R. (2007) Effect of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. Pakistan Journal Biology Science 10: 3835-3840.
- Molnar, I., Gaspar, L., Stehli, L., Dulai, S., Sarvari, E., Kiraly, I., Galiba, G. and MolnarLang, M. (2002) The effects of drought stress on the photosynthetic processes of wheat and of *Aegilops biuncialis* genotypes originating from various habitats. In: Proceeding of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology. Acta Biologica 46: 115-116.
- 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. Syria for Presentation at the 4th International Crop Science Congress, Icarda, Aleppo.
- Paknejad, F., Majidi Heravan, E., Noor Mohammadi, Q., Siyadat, A. and Vazan, S. (2007) Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. American Journal of Biochemistry and Biotechnology 5: 162-169.
- Prakash, M. and Ramachandran, K. (2005) Effects of moisture stress and antitranspirant on leaf chlorophyll, soluble protein and photosynthetic rate in brinjal plants. Journal of Agronomy 184: 153-156.
- Qiang, X., Xiaopeng, M., Tingbo, L., Meng, B., Zelin, W. and Jingran, Niu. (2020) Effects of water stress on fluorescence parameters and photosynthetic characteristics of drip irrigation in rice. Water Journal 1-19.
- Ranjan, R., Bohra, S. P. and Jeel, A. M. (2001) Book of Plant Senescence. Jodhpur, Agrobios, New York.
- Saed-Moucheshii, A., Heidari, B., Zareei, M., Emam, Y. and Pessaraki, M. (2012) Changes in antioxidant enzymes activity and physiological traits of wheat cultivars in response to Arbuscular mycorrhizal symbiosis in different water regimes. Iran Agricultural Research 31: 35-47.
- Sandhya, V., Ali, S. K. Z., Grover, M., Reddy, G. and Venkateswarlu, B. (2010) Effect of plant growth promoting *Pseudomonas* spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. Plant Growth Regulation 62: 21-30.
- Shahbazi, H., Bihamta, M. R., Taeb, M. and Darvish, F. (2009) Chlorophyll fluorescence attribute inheritance and correlation with terminal drought stress in wheat. Journal of Agriculture Sciences 3: 53-65.
- Shaharoon, B., Arshad, M., Zahir, A. Z., and Khalid, A. (2006) Performance of *Pseudomonas* spp. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. Soil Biochemistry 38: 2971-2975.
- Sun, L. F. (2013) Rice roots of drought stress on the photosynthetic fluorescence characteristic influence. Master's Thesis, Henan Agricultural University, Zhengzhou, China.
- Tadayon, M. R., Ebrahimi, R. and Tadayyon, A. (2012) Increased water productivity of wheat under supplemental irrigation and nitrogen application in a semi-arid region. Journal of Agricultural Science and Technology 14: 995-1003.
- Tinglu, F., Stewart, B. A., William, A. P., Yong, W., Shangyou, S., Junjie, L. and Clay, A. R. (2005) Supplemental irrigation and water-yield relationships for plastic culture crops in the Loess Plateau of China. Agronomy Journal 97: 177-188.
- Xiao, M., Li, Y., Wang, J., Hu, X., Wang, L. and Miao, Z. (2019) Study on the law of nitrogen transfer and conversion and use of fertilizer nitrogen in paddy fields under water-saving irrigation mode. Water Journal 2: 211-218.
- Yang, Y., Liu, Q., Han, C., Qiao, Y. Z., Yao, X. Q. and Yin, H. J. (2007) Influence of water stress and low irradiance on morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* seedlings. Photosynthetica 45: 613-619.

Effect of supplementary irrigation and seed inoculation with bio fertilizers on yield and some physiological traits of rainfed wheat (Rasad cultivar)

Faramarz Yaghini¹, Raouf Seyed Sharifi^{1*}, Saeid Khomari¹, Marefat Ghasemi²

¹ Department of Agronomy and plant breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

² Horticulture Crop Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. AREEO. Aardabil. Iran

(Received: 14/10/2019, Accepted: 01/09/2020)

Abstract

In order to study the effects of supplementary irrigation and seed inoculation by bio fertilizer on yield and some physiological traits of rainfed wheat (Rasad cultivar), a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in Agricultural Research Station of Ardabil in 2016. The factors experimental included supplementary irrigation at three levels, one supplementary irrigation at booting stage (I₁), one supplementary irrigation at heading (I₂) and no irrigation as rain fed (I₃), and biofertilizers in four levels without application of bio fertilizers as control (B₁), seed inoculation with Azospirillum (B₂), mycorrhizal application (B₃), both application mycorrhizal and Azospirillum (B₄). Means comparison showed that application of both bio fertilizers (mycorrhiza and Azospirillum) and once supplementary irrigation at booting stage and once supplementary irrigation at heading increased the grain yield up to 35.27 and 28.9% respectively in comparison with application of bio fertilizers under rainfed conditions. Both application mycorrhiza and Azospirillum and one supplementary irrigation at booting stage increased maximum fluorescence (Fm), variable fluorescence (Fv), chlorophyll index and relative water content of flag leaf in comparison with no application of bio fertilizers under rainfed condition. Rainfed conditions increased electrical conductivity and minimum fluorescence (F₀).

Keywords: Relative water content, Electrical conductivity, Mycorrhiza, Water limitation

Corresponding author, Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir