

تأثیر آبیاری تکمیلی و کودهای بیولوژیک بر عملکرد، انتقال ماده خشک و برخی صفات فیزیولوژیک جو تحت شرایط دیم

ندا عبادی^۱، رئوف سیدشریفی^{۲*} و حامد نریمانی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۳۱)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر آبیاری تکمیلی و کودهای بیولوژیک بر عملکرد، انتقال ماده خشک و برخی صفات فیزیولوژیک جو تحت شرایط دیم، آزمایش فاکتوریلی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۵ انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل سه سطح آبیاری (عدم آبیاری یا کشت دیم (I_۱)، آبیاری تکمیلی در ۵۰ درصد مراحل غلاف رفتن (I_۲) و ظهور سنبله (I_۳)) و کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کودهای زیستی به عنوان شاهد (Q_۱)، کاربرد میکوریزا (Q_۲)، ازتوباکتر (Q_۳)، کاربرد توأم ازتوباکتر و میکوریزا (Q_۴)) بودند. نتایج نشان داد که آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن و کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (Fv/Fm)، شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ پرچم را نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط دیم افزایش داد. شرایط دیم و عدم کاربرد کودهای زیستی موجب افزایش هدایت الکتریکی و سهم مشارکت فرایند انتقال مجدد ماده خشک در عملکرد دانه شد. بیشترین و کمترین عملکرد دانه (۲۶۸/۲ و ۲۰۶/۵ گرم در مترمربع) به ترتیب در آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن با کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر و عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط دیم به دست آمد. از این رو به نظر می‌رسد که کاربرد کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی می‌تواند به واسطه بهبود برخی صفات فیزیولوژیک، عملکرد دانه جو تحت شرایط دیم را افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: کودهای زیستی، محدودیت آبی، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II، محتوای نسبی آب

۱ و ۲. به ترتیب دانشجویان کارشناسی ارشد و استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: raouf_ssharifi@yahoo.com

مقدمه

در این راستا اندازه‌گیری مقدار فلورسانس کلروفیل می‌تواند ارزیابی مناسبی از عملکرد کواتومی و جریان الکترون در فتوسیستم II را نشان دهد (۳۴) و برخی شاخص‌های دیگر نیز مانند شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب و هدایت الکتریکی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم با کمبود آب ارتباط دارند (۴۲) و به‌عنوان یک معیار تحمل به تنش آبی در گیاهان استفاده می‌شود (۷). گیاهان متحمل به خشکی با جذب آب از پروتوپلاست، آب بیشتری را در خود نگهداری می‌کنند، بنابراین از محتوای آب نسبی بالاتری برخوردار هستند (۴۲). غشای سلولی نیز از نخستین اندام‌هایی است که تحت شرایط تنش، آسیب می‌بیند و تراوایی آن افزایش یافته و نشت الکترولیتی از سلول موجب مرگ آن می‌شود. بایلی و همکاران (۴) اظهار داشتند تنش خشکی شدید موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش نفوذپذیری غشا (هدایت نسبی برگ) شد.

عملکرد نهایی دانه را دو فرایند فیزیولوژیک، یعنی فتوسنتز جاری و انتقال مجدد ماده انباشته شده قبل از گلدهی تشکیل می‌دهند (۱۲). در غلات طی دوره‌ای از رشد، تجمع برخی از مواد تولید شده در فتوسنتز بیشتر از میزان مصرف آن برای رشد توسط گیاه است. در این حالت این مواد مازاد بیشتر در ساقه انباشته شده و در مراحل بعدی رشد که معمولاً از ۲-۳ هفته پس از گلدهی شروع می‌شود، به دانه انتقال می‌یابد که به این فرایند انتقال مجدد می‌گویند (۲۹). آسنت و وان هرواردن (۳) اظهار داشتند که در هر محیطی سهم انتقال ماده خشک در عملکرد دانه به روابط منبع و مخزن در طول دوره پر شدن دانه مربوط می‌شود. خلیل‌زاده و همکاران (۱۷) اظهار داشتند کاربرد کودهای زیستی به دلیل افزایش طول دوره رشد و توانایی منبع در تخصیص بهتر منابع به مخازن موجب می‌شود که فتوسنتز جاری برای مدت زمان طولانی‌تر فعال شده و تحت چنین شرایطی به دلیل افزایش فتوسنتز جاری در عملکرد دانه، میزان انتقال ماده خشک از کل بوته و ساقه به دانه کاهش می‌یابد.

با توجه به گستردگی مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور و مواجه شدن بخشی از دوران رشدی جو دیمی با محدودیت آبی

خشکی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محدود کننده عملکرد در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا است (۳۱)، که به‌طور مستقیم رشد، بقا و فعالیت‌های حیاتی گیاه مانند فتوسنتز، فعالیت آنزیم‌ها و در نهایت عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۷). یکی از راه‌کارهای تعدیل یا کاهش اثر ناشی از محدودیت آبی در زراعت دیم، انجام آبیاری تکمیلی است. آبیاری تکمیلی کاربرد اندازه محدودی آب در زمان توقف بارندگی و یا در شرایط محدودیت آب به‌خصوص در انتهای دوره رسیدن گیاه است تا با تأمین آب کافی برای تداوم رشد بوته‌ها، منجر به تولید عملکردی پایدار و رضایت‌بخش در غلات دیم شود (۴۳). حمزه‌ای و سیدی (۱۴) گزارش کردند که انجام آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه جو، عملکرد دانه را به ترتیب ۴۵ و ۹۰ درصد نسبت به شرایط دیم افزایش داد.

امروزه یکی از شیوه‌های مناسب کشاورزی مدرن برای بهبود حاصلخیزی خاک و جبران میکروارگانسیم‌های از دست رفته به‌واسطه اثر تنش‌های محیطی، کاربرد کودهای زیستی است (۳۸). میکوریزا و ازتوباکتر از مهم‌ترین کودهای زیستی محسوب می‌شوند که با افزایش فراهمی عناصر غذایی به‌ویژه در خاک‌های معدنی فاقد هوموس و فقیر از نظر فسفر، نیتروژن و سایر عناصر غذایی، نقش مهمی در تغذیه گیاهان ایفا می‌کنند (۱۱). کاسان و همکاران (۱۰) تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد در رشد و عملکرد ذرت و سویا را، به توانایی این باکتری‌ها در تولید هورمون‌های اکسین و جیبرلین نسبت دادند. کاربرد میکوریزا نه تنها رشد گیاه و جذب مواد معدنی را افزایش می‌دهد، بلکه در شرایط تنش خشکی مقاومت بالایی را نیز به گیاه القا می‌کند (۸). بهل و همکاران (۷) اظهار داشتند که تلقیح دوگانه میکوریزا و ازتوباکتر موجب افزایش رشد، گسترش سطح برگ پرچم و عملکرد دانه گندم شد.

واکنش گیاهان به کمبود آب بر اساس ویژگی‌های ژنتیکی، بیوشیمیایی و مورفوفیزیولوژیکی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و

مایه تلقیحی استفاده شد که هر گرم آن دارای 10^7 عدد باکتری زنده و فعال بود. همچنین از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذر استفاده شد. تمام بذرها به مدت دو ساعت در مایه تلقیح در شرایط تاریکی قرار گرفتند. تلقیح با قارچ میکوریزا به روش استاندارد و توصیه شده جیانیناز و همکاران (۱۳) انجام شد. در این راستا ۲۰ گرم قارچ در هر مترمربع خاک (۲۰۰ کیلوگرم در هر هکتار) استفاده شد. دو هفته بعد از ظهور سنبله (۲۱۵ روز بعد از کاشت) فلورسانس کلروفیل، شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب و هدایت الکتریکی روی برگ پرچم اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل برگ پرچم در مزرعه، توسط دستگاه (chlorophyll fluorometer; Optic Science-OS-30 USA) از هر تیمار به‌طور تصادفی چهار برگ پرچم (در فاصله زمانی ساعت ۱۰-۸ صبح) انتخاب و بعد از ۳۰ دقیقه تاریکی توسط کلیپس‌های مخصوص، شاخص Fv/Fm اندازه‌گیری شد (۳۷). شاخص کلروفیل، توسط دستگاه (SPAD-502; Konica Minolta Sensing, Inc., Japan) از هر تیمار به‌طور تصادفی چهار برگ پرچم و از سه قسمت هر برگ پرچم اندازه‌گیری شد و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان شاخص کلروفیل در نظر گرفته شد.

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب، نمونه‌های برگ پرچم بلافاصله بعد از نمونه‌برداری توزین و وزن تر آنها یادداشت شد و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شدند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت، وزن آماس یافته اندازه‌گیری و وزن خشک نیز از توزین نمونه‌ها بعد از قرار دادن نمونه‌های آماس یافته در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، حاصل شد (۳۷). محتوای نسبی آب بافت از رابطه ۱ محاسبه شد:

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

در این رابطه RWC محتوای نسبی آب، FW وزن تر، TW وزن آماس یافته و DW وزن خشک است.

برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC)، نمونه‌های برگ پرچم در بشرهای محتوی ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت

و از طرفی به دلیل نقش کودهای زیستی (میکوریزا و ازتوباکتر) در کاهش یا تعدیل بخشی از اثرات ناشی از محدودیت آبی و بررسی‌های محدود انجام شده در این راستا، موجب شد تا تأثیر کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی در مراحل زایشی بر عملکرد، انتقال ماده خشک و برخی صفات فیزیولوژیک جو مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در روستای ویند کلخوران اردبیل با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. آبیاری در سه سطح (عدم آبیاری یا کشت دیم (I_1))، آبیاری تکمیلی در ۵۰ درصد مرحله غلاف رفتن (I_2))، آبیاری تکمیلی در ۵۰ درصد مرحله ظهور سنبله (I_3)) و کودهای زیستی در چهار سطح (شاهد (بدون کاربرد کود) (Q_1))، کاربرد میکوریزا (Q_2))، ازتوباکتر (Q_3))، کاربرد توأم ازتوباکتر و میکوریزا (Q_4)) بودند. لازم به ذکر است که آبیاری در ۵۰ درصد مرحله غلاف رفتن (حدود ۱۸۹ روز بعد از کاشت) و آبیاری در مرحله ظهور سنبله (حدود ۲۰۵ روز بعد از کاشت) انجام شد. قارچ میکوریزا مورد استفاده از نوع *G. moseae* بود که از شرکت زیست فناوری توران تهیه شد. ازتوباکتر مورد استفاده سویه خالص *Azotobacter chroococum strain 5* بود که از مؤسسه خاک و آب تهیه شد. مشخصات هواشناسی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

مزرعه آزمایشی در سال قبل آیش بود. جو رقم سهند در تاریخ ۱۰ آبان ۱۳۹۵ با تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع کشت شد. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کشت به طول دو متر و فاصله بین ردیفی ۲۰ سانتی‌متر بود. به‌منظور اطمینان از عدم تداخل آب آبیاری به کرت‌های مجاور، فاصله بین کرت‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. برای تلقیح بذر با باکتری مورد نظر، از

جدول ۱. پارامترهای هواشناسی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵

پارامترها	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
میانگین حداقل درجه حرارت (°C)	۲/۷	-۵/۱	-۳/۹	-۸/۶	-۰/۸	۲/۸	۸	۱۱/۴	۱۴/۵
میانگین حداکثر درجه حرارت (°C)	۱۲/۱	۴	۵/۸	۰/۵	۹	۱۲/۸	۲۰/۱	۲۵/۵	۲۶/۴
میانگین رطوبت نسبی متوسط (%)	۶۴/۷	۵۸/۳	۵۰/۹	۷۱/۳	۵۷/۹	۵۹/۵	۵۴/۶	۵۴/۴	۴۹/۹
بارندگی ماهانه (mm)	۷۴/۸	۱۰۴/۷	۵/۷	۸۲/۶	۱۷	۴۲/۱	۲۶/۷	۱۰/۹	۹/۷
تبخیر	۳۵/۴	۰	۰	۰	۰	۲۱/۲	۱۴۱/۲	۱۹۳/۸	۲۱۳/۶

جدول ۲. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده

مشخصه	آهک	رس	سیلت	شن	کربن آلی	نیترژن	فسفر			pH	درصد اشباع	بافت
							پتاسیم	روی	(میلی گرم بر کیلوگرم)			
میزان	۱۵	۲۳	۴۲	۳۵	۰/۶۲	۰/۰۶۲	۱۹/۸	۲۱۲	۲۸	۷/۸	۴۷	سیلتی لومی

دانه) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک است.

$$CDMAG = DMT / GY \times 100 \quad (۳)$$

در این رابطه CDMAG سهم فرایند انتقال مجدد ماده خشک کل در تشکیل دانه برحسب درصد، DMT میزان انتقال ماده خشک برحسب گرم در مترمربع و GY عملکرد دانه برحسب گرم در مترمربع است.

$$SDMT = SDMM - SDMA \quad (۴)$$

در این رابطه SDMT میزان انتقال ماده خشک از ساقه برحسب گرم در مترمربع، SDMM حداکثر وزن خشک ساقه در برداشت اول و SDMA وزن خشک ساقه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک است.

$$CSAG = SDMT / GY \times 100 \quad (۵)$$

در این رابطه CSAG سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه برحسب درصد، SDMT میزان انتقال ماده خشک از ساقه برحسب گرم در مترمربع و GY عملکرد دانه برحسب گرم در مترمربع است. عملکرد دانه از سطحی معادل نیم مترمربع از ردیف‌های اصلی هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه‌ای برآورد شد. برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS و Excel استفاده

۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفت و سپس میزان هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC متر (مدل Mi 180 Bench Meter) برحسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. برای برآورد میزان انتقال مجدد از اندام‌های رویشی گیاه به دانه، از یک هفته قبل از پر شدن (۱۹۷ روز بعد از کاشت) تا دو هفته بعد از پر شدن دانه (۲۱۱ روز بعد از کاشت) هر چهار روز یک‌بار برداشت نمونه انجام شد و یک بار نیز در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (۲۳۲ روز بعد از کاشت) برداشت نمونه انجام شد. در هر بار نمونه‌برداری ۲۰ سانتی‌متر از خطوط اصلی کاشت برداشت شده و به ساقه، برگ و سنبله تفکیک شدند. بوته‌ها به مدت ۷۲ ساعت به منظور تثبیت وزن خشک نهایی در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند، میزان انتقال ماده خشک، سهم فرایند انتقال مجدد از بخش رویشی به دانه و میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه با استفاده از روابط ۲ تا ۵ برآورد شد (۶ و ۲۳):

$$DMT = DMA - DMM \quad (۲)$$

که در آن DMT میزان انتقال ماده خشک کل برحسب گرم در مترمربع، DMA حداکثر میزان ماده خشک اندام هوایی در برداشت اول و DMM میزان ماده خشک اندام هوایی (به‌جز

شد و میانگین‌ها با آزمون LSD مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که حداکثر کارایی فتوسیستم II، شاخص کلروفیل، هدایت الکتریکی، محتوای نسبی آب، انتقال ماده خشک از کل بوته، سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه و میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه تحت تأثیر کودهای زیستی و سطوح آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (Fv/Fm)

نتایج نشان داد که بیشترین کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (۰/۸۴۷) در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن و کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر و کمترین آن (۰/۶۴۲) در شرایط دیم و عدم کاربرد کودهای زیستی به‌دست آمد (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی تجمع کوئینون ب (Quinine b) غیراحیا افزایش می‌یابد که این امر نشان‌دهنده عدم انتقال الکترون از کوئینون آ (Quinine a) احیا به کوئینون ب است در چنین شرایطی تجمع کوئینون آ نیز افزایش می‌یابد علت این امر هنوز به‌طور کامل مشخص نیست، ولی ممکن است کاهش آسمیلاسیون CO₂ در اثر بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی، منجر به مصرف نشدن محصولات حاصل از زنجیره انتقال الکترون NADPH و ATP شده و از این طریق میزان فرودکسین احیا افزایش یافته و به‌دنبال افزایش فرودکسین احیا شده، تولید رادیکال‌های فعال افزایش یافته و از این طریق، تغییر و یا تخریب پروتئین‌های غشای تیلاکوئید صورت گیرد. بنابراین تخریب پروتئین‌های غشای تیلاکوئید، مانع انتقال الکترون از جایگاه پذیرنده فتوسیستم II می‌شود و این امر موجب کاهش سرعت انتقال الکترون، افزایش فلورسانس کلروفیل و کاهش عملکرد فتوسیستم II می‌شود (۳۲). بررسی‌های انجام شده توسط میاشیتا و همکاران (۲۵) نشان داد که فلورسانس کلروفیل، حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم

II و سرعت تعرق با افزایش تنش خشکی در لوبیا کاهش یافت. ملکوتی و همکاران (۲۱) گزارش کردند که با بسته شدن روزنه‌ها به‌علت تنش خشکی یا دمای زیاد، دی‌اکسید کربن قابل دسترس کاهش می‌یابد و به‌دنبال کاهش تولید و ذخیره فرآورده‌های انتقال الکترون یعنی ATP و NADPH در واکنش‌های نوری فتوسنتز، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II کاهش پیدا می‌کند. به بیانی دیگر کاهش نسبت Fv/Fm در شرایط تنش خشکی می‌تواند بیانگر کاهش انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I تحت تأثیر تنش خشکی باشد. یوردانو و همکاران (۴۷) بیان داشتند که هرچند فتوسیستم II تا حد زیادی نسبت به کم آبی مقاوم است، ولی خشکی می‌تواند مانع انتقال الکترون در فتوسیستم II شود؛ از این‌رو از کارایی فتوسنتز کاسته می‌شود. هر چه اثر تخریبی تنش محیطی بر گیاه بیشتر باشد، از مقدار Fv/Fm به‌میزان بیشتری نسبت به شرایط مساعد فتوسنتزی کاسته می‌شود، که منطبق با نتایج حاصل در این پژوهش است. از نسبت Fv/Fm به‌طور گسترده برای نشان دادن تنش ناشی از اختلال ایجاد شده در مراکز فتوشیمیایی استفاده شده است، چرا که کاهش Fv/Fm می‌تواند نتیجه فرایندهای کاهشی و خسارت نوری به مراکز واکنش فتوسیستم II باشد که هر دو باعث کاهش حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II می‌شوند (۵). ممنوعی و سیدشریفی (۲۲) در بررسی تأثیر محدودیت آبی بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل ارقام مختلف جو بیان کردند که به‌دلیل افزایش فلورسانس کمینه و کاهش فلورسانس بیشینه یا حداکثر، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II طی تنش کم آبی کاهش یافت.

شاخص کلروفیل

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر این شاخص (۵۸/۶) در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن با کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر و حداقل آن (۳۰/۳) در شرایط دیم و عدم کاربرد کودهای زیستی به‌دست آمد (جدول ۴). ماریوس و همکاران (۲۴) بیان داشتند که باکتری‌های محرک رشد به‌دلیل

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس تاثیر آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر عملکرد دانه، انتقال ماده خشک و برخی صفات فیزیولوژیک جو

منابع تغییر	درجه آزادی	مستند به تغییرات فیزیولوژیک آبیاری تکمیلی	تجزیه و تحلیل	میانگین	مربعات میانگین
تکرار	۲	۰/۰۰۹**	۶۲/۱۳**	۲۵۷/۵**	۱۲۵۵/۷**
آبیاری	۲	۰/۰۵۵**	۱۱۵۴/۳۷**	۵۰۲/۱**	۶۳۹/۷**
کودزیستی	۳	۰/۰۰۶**	۱۱۷/۴۸**	۷۶/۵۰**	۷۳/۸**
آبیاری × کود زیستی	۶	۰/۰۰۰۱**	۱/۵۱**	۵/۹۷*	۲۸/۹**
خطا	۲۲	۰/۰۰۰۰۴	۰/۳۸	۲/۱۸	۸۷/۴

عملکرد دانه	میانگین	مربعات میانگین
عملکرد دانه	۲۶۰۳۷/۱**	۶۸۰/۹**
سهم نسبی فتوسنتز جاری در عملکرد	۶۱۴/۹**	۲۵۷۲۲/۶**
میزان فتوسنتز جاری	۱۰۰۷۵/۴**	۴۸۶/۳**
سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه	۶۶۴/۶**	۸۹/۰۴**
میزان انتقال مجدد از ساقه	۱۶۱۸**	۶۸۰/۹**
سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه	۶۵/۳**	۱۵۷**
میزان انتقال ماده خشک	۱۳۹/۳**	۱۰۰۵/۶**
نسبت نسبی آبیاری	۷۳/۸**	۱۲۵۵/۷**
میزان انتقال	۲۸/۹**	۲۵۷/۵**
نسبت نسبی فتوسنتز جاری	۲۸/۹**	۶۲/۱۳**
میزان انتقال	۲۸/۹**	۱۱۵۴/۳۷**
نسبت نسبی فتوسنتز جاری	۲۸/۹**	۱۱۷/۴۸**
میزان انتقال	۲۸/۹**	۱/۵۱**

*، ** و *** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی داری

جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین حداکثر کارایی فتوسنتزی فتوسنتز II (Fv/Fm) و حداکثر فلورسانس (Fm) برگ پرچم تحت تأثیر آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی

عملکرد داده	میزان فتوسنتز جاری	میزان انتقال	انتقال ماده خشک کل		میزان فتوسنتز جاری در عملکرد	نسبت فتوسنتز جاری در عملکرد	سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه		محتوای نسبی آب	هدایت الکتریکی	شاخص کلروفیل	کارایی فتوسنتزی فتوسنتز نو	صفات تیمارها
			میزان انتقال	مجموعه از ساقه			سهم نسبی فتوسنتز جاری در عملکرد	سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد					
۲۰۶/۵ ^b	۱۰۴/۸ ^b	۸۰/۸ ^a	۱۰۱/۶ ^{ab}	۲۹/۴ ^b	۵۰/۵ ^a	۲۶/۵ ^f	۲۸/۲ ^{gh}	۳۰/۱۳ ⁱ	۰/۶۴۲ ^j	I _۱ -Q _۱			
۲۱۷/۴ ^{fg}	۱۲۵/۵ ^f	۷۱/۰ ^{ab}	۹۱/۶ ^{bc}	۵۶/۶ ^{fg}	۴۲/۳ ^{abc}	۵۷/۹ ^e	۳۵/۲ ^c	۳۵/۵ ^{hi}	۰/۶۸۴ ^h	I _۱ -Q _۲			
۲۱۶/۱ ^g	۱۲۲/۸ ^g	۷۳/۰ ^{ab}	۹۳/۷ ^b	۵۵/۶ ^g	۴۴/۳ ^{ab}	۵۵/۶ ^e	۳۶/۳ ^{cd}	۳۴/۳ ^{cd}	۰/۶۷۱ ⁱ	I _۱ -Q _۳			
۲۲۲/۳ ^{ef}	۱۳۲/۰ ^{ef}	۶۸/۳ ^c	۹۰/۲ ^c	۵۸/۳ ^{ef}	۴۱/۶ ^{cd}	۶۰/۱ ^{de}	۳۷/۴ ^{cd}	۳۷/۴ ^{cd}	۰/۷۱۱ ^g	I _۱ -Q _۴			
۲۲۶/۵ ^b	۱۶۶/۰ ^{bc}	۵۴/۱ ^g	۸۰/۴ ^{ef}	۶۶/۵ ^b	۳۶/۴ ^g	۶۳/۵ ^{cd}	۳۲/۲ ^{de}	۴۹/۶ ^{de}	۰/۷۷۸ ^d	I _۱ -Q _۱			
۲۵۱/۶ ^b	۱۷۵/۹ ^b	۵۰/۶ ^h	۷۶/۲ ^d	۶۸/۸ ^b	۳۱/۱ ^g	۶۵/۲ ^{bc}	۳۰/۷ ^{ef}	۵۴/۵ ^{ab}	۰/۸۲۸ ^b	I _۱ -Q _۲			
۲۵۱/۳ ^b	۱۷۲/۹ ^b	۵۱/۵ ^b	۷۸/۳ ^{cd}	۶۷/۹ ^b	۳۲/۰ ^{fg}	۶۳/۷ ^{cd}	۳۱/۴ ^{def}	۵۳/۱ ^{ce}	۰/۷۹۷ ^c	I _۱ -Q _۳			
۲۶۸/۳ ^a	۲۰۰/۰ ^{ab}	۴۲/۰ ^{ef}	۶۸/۱ ^d	۷۲/۹ ^a	۲۶/۰ ^{gh}	۶۶/۲ ^{bc}	۲۹/۰ ^{gh}	۵۸/۶ ^{de}	۰/۸۴۷ ^a	I _۱ -Q _۴			
۲۲۴/۵ ^{de}	۱۳۷/۰ ^{ef}	۶۵/۵ ^d	۸۷/۴ ^{cd}	۵۹/۹ ^{de}	۴۰/۰ ^{def}	۶۶/۴ ^{bc}	۲۸/۸ ^{de}	۳۸/۳ ^{cd}	۰/۷۱۸ ^g	I _۱ -Q _۱			
۳۳۰/۵ ^{cd}	۱۴۵/۶ ^d	۵۸/۹ ^f	۸۴/۸ ^{ef}	۶۲/۱ ^{cd}	۳۷/۸ ^{ef}	۶۹/۵ ^{ab}	۲۷/۳ ^{gh}	۴۴/۹ ^{ef}	۰/۷۴۲ ^f	I _۱ -Q _۲			
۲۲۸/۰ ^{ef}	۱۴۲/۱ ^{de}	۶۲/۳ ^e	۸۵/۹ ^{de}	۶۱/۳ ^{cd}	۳۸/۷ ^{ef}	۶۹/۴ ^{ab}	۲۷/۷ ^{gh}	۴۲/۶ ^{de}	۰/۷۳۳ ^f	I _۱ -Q _۳			
۲۳۱/۱ ^c	۱۴۸/۴ ^d	۵۶/۹ ^f	۸۲/۶ ^{ef}	۶۲/۳ ^c	۳۶/۷ ^f	۷۲/۳ ^a	۲۵/۶ ^{hi}	۴۸/۵ ^{de}	۰/۷۶۷ ^c	I _۱ -Q _۴			
۶/۱۲۵	۶/۳۴	۲/۰۹	۲/۳۶	۲/۵۸	۲/۵۸	۵/۰۰۶	۰/۸۲۷	۱/۰۵۰	۰/۰۱۱۲	LSD			

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم در سطح احتمال یک درصد ندارند. I_۱، I_۲، I_۳، I_۴ به ترتیب عدم آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله غلاف رفتن و آبیاری در مرحله ظهور سنبه، Q_۱، Q_۲، Q_۳ و Q_۴ به ترتیب شاهد، میکوریزا، ازتوباکتر، نول میکوریزا و ازتوباکتر

بهبتر شدن روابط آبی و کاهش تلفات آب، موجب افزایش محتوای نسبی آب در گیاه شد.

هدایت الکتریکی

نتایج نشان داد که هدایت الکتریکی برگ پرچم در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن و ظهور سنبله با کاربرد کودهای زیستی نسبت به شرایط دیم و عدم کاربرد کودهای زیستی کاهش یافت. بیشترین هدایت الکتریکی (۳۸/۲۷) در حالت عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط دیم و کمترین آن (۲۵/۶۱) در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله ظهور سنبله و در کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر به دست آمد (جدول ۴) که از اختلاف ۴۹/۴ درصدی نسبت به یکدیگر برخوردار بودند. تحت شرایط تنش رطوبتی یکی از اولین بخش‌های گیاهی که آسیب می‌بیند غشای پلاسمایی است (۲۰). دلیل افزایش هدایت الکتریکی در شرایط تنش، 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 می‌شوند که در نتیجه آن غشای سلولی پاره شده و موجب افزایش نشت یونی به بیرون از سلول می‌شود (۱۵) ولی کاربرد کودهای زیستی موجب کاهش هدایت الکتریکی شد. در این راستا اورتیز و همکاران (۲۸) کاهش نشت الکترولیت شبدر تلقیح شده با سویه‌های باکتری محرک رشد را تحت شرایط تنش گزارش کردند. کوچوا و جورجیوف (۱۹) نیز در ارزیابی مقاومت به خشکی ارقام جو بیان کردند که تخریب کمتری در غشاهای سلولی ارقام مقاوم‌تر به خشکی مشاهده می‌شود و علت ثبات غشای سلولی در طول دوره تنش خشکی در چنین ارقامی را به میزان پرولین آزاد موجود در سلول نسبت دادند و اظهار داشتند که در ارقام حساس دیواره سلولی در اثر تنش خشکی تخریب شده و مایع سلولی و واکوئلی به داخل فضای بین سلولی تراوش کرده و موجب غلیظ شدن و بالا رفتن هدایت الکتریکی محلول می‌شوند.

سهولت دسترسی گیاه به آب و مواد غذایی بیشتر، موجب افزایش میزان ساخت رنگیزه‌ها در گیاهان می‌شوند. تنش خشکی تأثیر مستقیم بر کاهش شاخص کلروفیل برگ و در نتیجه عملکرد گیاه دارد (۱۵) و علت کاهش شاخص کلروفیل احتمالاً با رادیکال‌های آزاد ایجاد شده در طی تنش خشکی مرتبط باشد که موجب از بین رفتن کلروفیل می‌شوند. استون و همکاران (۴۴) نیز یکی از عوامل اصلی کاهش تنش خشکی در کاهش عملکرد دانه ذرت را به کاهش محتوای کلروفیل نسبت دادند که با کاهش دریافت تابش خورشید موجب کاهش عملکرد می‌شود.

محتوای آب نسبی

نتایج نشان داد که محتوای آب نسبی برگ پرچم در شرایط دیم و عدم کاربرد کودهای زیستی نسبت به آبیاری تکمیلی در مرحله ظهور سنبله و کاربرد کودهای زیستی کاهش یافت. طوری که بیشترین محتوای نسبی آب برگ پرچم (۷۲/۲) درصد) در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله ظهور سنبله و کاربرد توأم کودهای زیستی (میکوریزا و ازتوباکتر) و کمترین آن (۴۶/۵) درصد) در شرایط دیم و عدم کاربرد کودهای زیستی به دست آمد (جدول ۴) که از اختلاف ۵۵/۲۶ درصدی نسبت به یکدیگر برخوردار بودند. سیدیق و همکاران (۴۱) کاهش محتوای نسبی آب برگ‌های گندم با افزایش تنش رطوبتی را، به کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش جذب آب از ریشه‌ها در شرایط خشکی نسبت دادند. شاهارونا و همکاران (۴۰) اظهار داشتند که تلقیح با باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش ۱۶-۵ درصدی محتوای نسبی آب در شرایط عدم تنش نسبت به شاهد شد. در گزارش‌های خیری‌زاده آروق و همکاران (۱۸) نشان داده شد که پتانسیل آب و محتوای آب نسبی برگ‌ها تحت تأثیر قارچ میکوریزا به دلیل افزایش اسمولیت‌های سازگار (پرولین و قندهای محلول) افزایش معنی‌داری از خود نشان دادند. ساندهیا و همکاران (۳۶) اظهار داشتند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد به دلیل

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کودهای زیستی و سطوح آبیاری بر سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه

تیمار	سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه (درصد)	تیمار	سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه (درصد)
Q _۱	۳۱/۰۰۲ ^a	I _۱	۳۵/۱ ^a
Q _۲	۲۶/۸ ^b	I _۲	۲۰/۲ ^c
Q _۳	۲۸/۰۲ ^b	I _۳	۲۷/۴ ^b
Q _۴	۲۴/۶ ^c	-	-
LSD	۱/۷۱		۱/۴۸

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم در سطح احتمال یک درصد ندارند، I_۱، I_۲ و I_۳: به ترتیب عدم آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله غلاف رفتن و آبیاری در مرحله ظهور سنبله، Q_۱، Q_۲، Q_۳ و Q_۴: به ترتیب شاهد، میکوریزا، ازتوباکتر، توأم میکوریزا و ازتوباکتر هستند.

انتقال ماده خشک و سهم آن در عملکرد دانه

بیشترین انتقال ماده خشک از کل بوته (۱۰۱/۶ گرم در مترمربع)، سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه (۵۰/۵ درصد) و میزان انتقال مجدد از ساقه (۸۰/۸ گرم در مترمربع) در حالت عدم کاربرد کودهای زیستی و تحت شرایط دیم و کمترین مقادیر این صفات (به ترتیب ۶۸/۱ گرم در مترمربع، ۲۶/۰۶ درصد و ۴۴/۰۹ گرم در مترمربع) در حالت کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر و آبیاری در مرحله غلاف رفتن به دست آمد (جدول ۴). از آنجایی که میزان انتقال ماده خشک و سهم این فرایند در عملکرد دانه، بیشتر تحت تأثیر روابط منبع و مخزن و شرایط محیطی قرار می‌گیرد (۳۹). از این رو به نظر می‌رسد کاربرد میکوریزا و ازتوباکتر به دلیل تعدیل اثر ناشی از محدودیت آبی، چون موجب بهبود فتوسنتز جاری شده است (جدول ۴)، در نتیجه تعادل منبع و مخزن تا حدود زیادی حفظ شده و مواد تولیدی منبع توانسته است در مخزن مورد استفاده قرار گیرد، ولی در شرایط محدودیت آبی، چون سهم فتوسنتز جاری کاهش یافته است (جدول ۴) در نتیجه تعادل منبع و مخزن به هم خورده و قدرت مخزن بیشتر از منبع شده است، از این رو به دلیل روابط فیزیولوژیکی موجود بین منبع و مخزن، منبع میزان انتقال ماده خشک را افزایش می‌دهد تا شاید بتواند بخشی از نیاز شدید مخازن (دانه‌ها) را برآورده کند (۱). نتایج مشابهی نیز توسط یانگ و ژانگ (۴۶) مبنی بر اینکه اعمال تنش و تحریک پیری در گیاه منجر به افزایش انتقال مجدد مواد

ذخیره‌ای ساقه به دانه می‌شود گزارش شده است. در این راستا پاپاکوستا و گایاناس (۳۰) اظهار داشتند تنش خشکی پس از گلدهی فتوسنتز را محدود می‌کند، در چنین شرایطی عملکرد تا حد زیادی به انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به دانه بستگی دارد.

سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه (۳۵/۱ درصد) در شرایط دیم و کمترین آن (۲۰/۲ درصد) در حالت آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن به دست آمد (جدول ۵). پلات و همکاران (۳۳) گزارش کردند که تنش خشکی احتمالاً به دلیل مشارکت ذخایر ساقه در تنظیم اسمزی میزان انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها را افزایش می‌دهد و افزایش انتقال کربوهیدرات‌ها از جمله واکنش‌هایی است که گیاهان مختلف برای کاهش پتانسیل اسمزی خود و در نتیجه افزایش جذب آب و مقابله با تنش خشکی از خود بروز می‌دهند (۲). محدودیت منابع جاری طی تنش خشکی یا حذف آنها (به ویژه برگ‌ها) موجب بهبود میزان انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها از بخش‌های مختلف ساقه به دانه‌های در حال رشد می‌شود. در همین ارتباط جان‌محمدی و همکاران (۱۶) بیان کردند که با کاهش تعدادی از منابع فتوسنتزی احتمال می‌رود به علت تقاضای مخزن، مواد فتوسنتزی که قبل از دوره گلدهی به صورت کربوهیدرات‌های غیرساختاری در ساقه‌ها ذخیره شده

اثر کاربرد کودهای زیستی است که به وسیله ایجاد چرخه مواد غذایی و قابل دسترس ساختن آنها، افزایش حفظ سلامتی ریشه در طول دوره رشد در رقابت با پاتوژن‌های ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی موجب رشد بهتر گیاهی می‌شوند (۳۵). بخشی از بهبود عملکرد دانه در شرایط کاربرد کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی را می‌توان به بهبود شاخص کلروفیل و کارایی فتوشیمیایی فوتوسیستم II نسبت داد (جدول ۴) که منجر به افزایش فتوستتز جاری و در نهایت عملکرد دانه شده است. در این راستا رایت و همکاران (۴۵) اظهار داشتند که کربن اضافی تثبیت شده توسط گیاهان میکوریزی شده به قارچ‌های میکوریزا تخصیص می‌یابد و این قارچ‌ها با ایفای نقش مخزن اضافی برای آسیمیلات‌ها، موجب تحریک فتوستتز گیاه میزبان شده و از این طریق به بهبود عملکرد کمک می‌کنند. طی تحقیقی نشان داده شده است که آبیاری تکمیلی در مقایسه با تیمار بدون آبیاری (شاهد) به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه جو را افزایش داد (۱۴). کالدیرینی و اورتیز موناستریو (۹) علت افزایش عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله گرده‌افشانی را به افزایش تعداد مناسب سنبلچه در سنبله و گلچه در سنبلچه تحت چنین شرایطی نسبت دادند.

نتیجه‌گیری

کاربرد کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی در شرایط دیم ضمن بهبود عملکرد کوانتومی یا کارایی فتوشیمیایی فوتوسیستم II، موجب افزایش شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب و کاهش هدایت الکتریکی شد. از طرفی کاربرد کودهای زیستی در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی، موجب بهبود فتوستتز جاری و کاهش سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه شد. به‌نظر می‌رسد کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی می‌تواند به‌عنوان روش مناسبی برای بهبود فتوستتز و تعدیل اثر ناشی از محدودیت آبی تحت شرایط دیم باشد.

بودند، به دانه‌ها منتقل شده و به این ترتیب بخشی از کاهش وزن دانه را جبران کند. مقایسه میانگین اثر سطوح کودهای زیستی نشان داد که بیشترین سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه (به‌ترتیب ۳۱/۰۰۲ و ۲۴/۶ درصد) به‌ترتیب در حالت عدم کاربرد کودهای زیستی و کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر به‌دست آمد (جدول ۵).

فتوستتز جاری

مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری کودهای زیستی و سطوح آبیاری نشان داد که بیشترین میزان فتوستتز جاری (۲۰۰/۰۴ گرم در مترمربع) و سهم نسبی فتوستتز جاری در عملکرد (۷۳/۹ درصد) در حالت کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر و آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن و کمترین مقادیر این صفات در حالت عدم کاربرد کودهای زیستی و تحت شرایط دیم به‌دست آمد (جدول ۴). فتوستتز جاری فرایندی است که ضمن آن مواد فتوستتزی حاصل از اندام‌های سبز گیاه به‌ویژه برگ پرچم از مرحله گرده‌افشانی تا رسیدگی به‌سمت دانه حرکت و بیشترین سهم در پر شدن و رشد دانه را دارد (۲۶). به‌نظر می‌رسد کودهای زیستی به‌دلیل گسترش سطح برگ و جلوگیری از پیری زودرس برگ‌ها موجب افزایش میزان فتوستتز جاری می‌شوند.

عملکرد دانه

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۲۶۸/۲ گرم در مترمربع) در آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن با کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر و کمترین آن تحت شرایط دیم و عدم کاربرد کودهای زیستی به‌دست آمد (جدول ۴). به بیانی دیگر انجام آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن با کاربرد ازتوباکتر و میکوریزا توانست عملکرد دانه را ۲۹/۸ درصد نسبت به زراعت دیم و عدم کاربرد کودهای زیستی افزایش دهد. به‌نظر می‌رسد بخشی از افزایش عملکرد احتمالاً ناشی از وجود جمعیت‌های میکروبی در خاک یا ریزوسفر بر

منابع مورد استفاده

1. Abasspour, S. 2011. Effects of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on grain yield and some agronomic characteristics of triticale. MSc Thesis. University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil Iran. (In Farsi).
2. Anderson, C. M., and B. D. Kohorn. 2001. Inactivation of Arabidopsis SIP1 leads to reduced levels of sugars and drought tolerance. *Journal of Plant Physiology* 158: 1215-1219.
3. Asseng, S., and A. F. Van Herwaarden. 2003. Analysis of the benefits to wheat yield from assimilates stored prior to grain filling in a range of environments. *Plant and Soil* 56: 217-239
4. Baili, P., G. Sui Fang, D. Geti, H. Sunzhao, Y. Lu Yin and S. Zhou Guang. 2006. Effect of soil drought stress on leaf water status, membrane permeability and enzymatic antioxidant system of maize. *Pedosphere* 16(3): 326-332.
5. Baker, N. R. and E. Rosenqvist. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany* 55: 607-621.
6. Barnett, K. H. and P. B. Pearce. 1983. Source-Sink ratio alteration and its effect on physiological parameters in maize. *Crop Science* 23: 294-299.
7. Behl, R. K., H. Sharma, V. Kumar and K. P. Singh. 2003. Effect of dual inoculation of mycorrhiza and Azotobacter on above flag leaf characters in wheat. *Archive of Agronomy and Soil Science* 49(1): 25-31.
8. Beltrano, J and M. G. Ronco. 2008. Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: effect on growth and cell membrane stability. *Brazilian Society of Plant Physiology* 20(1): 29-37.
9. Calderini, D. F. and I. Ortiz-Monasterio. 2003. Grain position affects grain macronutrient and micronutrient concentrations in wheat. *Crop Science* 43: 141-151.
10. Cassan, F., D. Perrig, V. Sgroy, O. Masciarelli, C. Penna and V. Luna. 2009. Azospirillum brasilense Az39 and *Bradyrhizobium Japonicum* E109, inoculated singly or in combination, promote seed germination and early seedling growth in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.). *European Journal of Soil Biology* 45: 28-35.
11. Cooper, K. M. and P. B. Tinker. 2003. Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhiza. Uptake and translocation of phosphorus zinc and sulphur. *New Phytologist* 81: 43-52.
12. Dordas, C. A and C. Sioulas. 2009. Dry matter and nitrogen accumulation, partitioning, and retranslocation in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as affected by nitrogen fertilization. *Field Crops Research* 110: 35-43.
13. Gianinazzi, S., H. Schuepp, J. M. Barea and K. Haselwandter. 2001. Mycorrhizal Technology in Agriculture: from Genes to Bioproducts. Birkhauser, Basel. ISBN: 376436858. Also in: Mycorrhiza. 13: 53-54. Lovato, P. Book review.
14. Hamzei, J. and M. Seyedi. 2012. Response of yield and yield components of barley cultivars to supplementary irrigation under roun fed condition. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 23(4): 159-168
15. Hadi, H., R. Seyed Sharifi and A. Namvar. 2016. Phytoprotectants and Abiotic Stresses. Uremia University Press.
16. Janmohammadi, M., A. Ahmadi and K. Pustini. 2010. The effect of reducing leaf area and nitrogen on wheat flag leaf stomatal characteristics and performance under irrigation. *Journal of Crop Production* 3(4): 177-194. (In Farsi).
17. Khalilzadeh, R., R. Seyed Sharifi and J. Jalilian. 2018. Growth, physiological status and yield of salt-stressed wheat (*Triticum aestivum* L.) plants as affected by application of bio fertilizer and cycocel. *Arid Land Research and Management* 32(1): 1-18.
18. Kheirizadeh Arough, Y., R. Seyed Sharifi, M. Sedghi and M. Barmaki. 2016. Effect of zinc and bio Fertilizers on antioxidant enzymes Activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in triticale under salinity condition. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 44(1): 116-124.
19. Kocheva, K. and G. Georgiev. 2003. Evaluation of the reaction of two contrasting barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars in response to osmotic stress with PEG 6000. *Journal of Plant Physiology* 3: 290-294.
20. Liang, Y., Q. Chen, W. Liu, Z. Zhang and R. Ding. 2003. Exogenous silicone (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid per oxidation in roots or salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Physiology* 99: 872-878.
21. Malakouti, M. J., F. Moshiri and M. N. Ghaibi. 2005. Optimum levels of nutrients in soil and some agronomic and horticultural crops. *Soil and Water Research Institute Technical Bulletin* 405 p.
22. Mamnoei, E. and R. Seyed Sharifi. 2010. Study the effects of water deficit on chlorophyll fluorescence indices and the amount of proline in six barley genotypes and its relation with canopy temperature and yield. *Journal of Plant Biology* 5: 51-62. (In Farsi).
23. Maria, R., P. Guitman, A. Arnoz and J. Barneix. 2006. Effect of source-sink relations and nitrogen nutrition on senescence and N remobilization in the flag leaf of wheat. *Physiologia Plantarum* 82(2): 278-284.
24. Marius, S., A. Octavita, U. Eugen and A. Vlad. 2005. Study of a microbial inoculation on several biochemical

- indices in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Genetics and Molecular Biology* 12(2): 11-17.
25. Miyashita, K., S. Tanakamaru, T. Maitani and K. Kimura. 2005. Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. *Environmental and Experimental Botany* 53: 205-214.
26. Murchie, E. H., J. Yang, S. Hubbart, P. Horton and S. Peng. 2002. Are there associations between grain-filling rate photosynthesis in flag leaves of field grown rice? *Journal of European Science* 53: 2217-2224.
27. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* 25(2): 239-250.
28. Ortiz, N., E. Armadaa, E. Duque, A. Roldán and R. Azcón. 2015. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought toleranc under natural soil conditions: Effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. *Journal of Plant Physiology* 174: 87-96.
29. Oweis, T and A. Hachum. 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.
30. 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
31. Passioura, J. B. 2007. The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. *Journal of Experimental Botany* 58(2): 113-117.
32. Piper, F. I., L. J. Corcuera, M. Alberdi and C. Lusk. 2007. Differential photosynthetic and survival responses to soil drought in two evergreen Nothofagus species. *Annals of Forest Science* 64: 447-452.
33. Plaut, Z., B. J. Butow, C. S. Blumenthal and C. V. Wrigkey. 2004. Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under postanthesis water deficit and elevated temperature. *Field Crops Research* 86: 185-198.
34. Reddy, A. R., K. V. Chaitanya and M. Vivekanandan. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology* 161: 1189-1202.
35. Roesty, D., R. Gaur and B. N. Johri. 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bio-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial community structure in rain-fed wheat fields. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 1111-1120.
36. Sandhya, V., S. Z. Ali, M. Grover, G. Reddy and B. Venkateswarlu. 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(1): 21-30.
37. Seyed Sharifi, R., R. Khalilzadeh and J. Jalilian. 2016. Effects of biofertilizers and cycocel on some physiological and biochemical traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Archives of Agronomy and Soil Science* (1): 1-12.
38. Seyed Sharifi, R. and A. Namvar. 2016. Biofertilizers in Agronomy. University of Mohaghrgh Ardabili Press.
39. 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 Prodction Science*. 3(23): 27-45. (In Farsi).
40. Shaharoon, B. M., Z. Arshad, A. Zahir and A. Khalid. 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 Biology and Biochemistry* 2971-2975.
41. Siddique, M. R. B., A. Hamid and M. S. Islam. 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. *Botany Bull Acadmy Sciencee* 41: 35-39.
42. Silva, M. A., J. L. Jifon, J. A. G. Da Silva and V. Sharma. 2007. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19: 193-201.
43. Stone, L. R. and A. J. Schlegel. 2006. Yield-water supply relationships of grain sorghum and winter wheat. *Agronomy Journal* 98(5): 1359-1366.
44. Stone, P. J., D. R. Wilson, J. B. Reid and G. N. Gillespie. 2001. Water deficit effects on sweet corn: I. Water use, radiation use efficiency, growth and yield. *Australian Journal of Agricultural Research* 52: 103-113.
45. Wright, D. P., J. D. Scholes and D. J. Read. 1998. Effects of VA mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of *Trifolium repense* L. *Plant, Cell and Environment* 21: 209-216.
46. Yang, J. and J. Zang. 2006. Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytologist* 169: 223-236.
47. Yordanov, I., V. Velikova and T. Tsonev. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgarian Journal of Plant Physiology Special Issues* 187-206.

Effects of Supplementary Irrigation and Biofertilizers on Grain Yield, Dry Matter Remobilization and Some Physiological Traits of Barley (*Hordeum vulgare* L.) under Rainfed Condition

N. Ebadi¹, R. Seyed Sharifi^{2*} and H. Narimani¹

(Received: October 31-2018; Accepted: September 22-2019)

Abstract

In order to study the effects of supplementary irrigation and biofertilizers on grain yield, dry matter remobilization and some physiological traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) under rainfed condition, a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications at in 2017. Factors included irrigation at three levels (no irrigation as rainfed (I₁), supplementary irrigation at 50% heading (I₂) and booting stages (I₃) and biofertilizers application at four levels (without biofertilizers as control (Q₁), application of mycorrhiza (Q₂), Azetobacter (Q₃), both application of mycorrhiza and Azetobacter (Q₄). The results showed that supplementary irrigation at heading stage with both application of mycorrhiza and Azetobacter increased efficiency of PSII photochemistry (Fv/Fm), chlorophyll index and relative water content of flag leaf compared to non-application of biofertilizers under rainfed condition. Rainfed condition and no application of biofertilizers increased electrical conductivity and contribution of dry matter remobilization in grain yield. The highest and the lowest grain yields (268.2 and 206.5 g m⁻² respectively) were obtained at supplementary irrigation at heading stage with both application of mycorrhiza and Azetobacter, and no application of biofertilizers under rainfed condition. In conclusion, it seems that application of biofertilizers and supplementary irrigation can increase grain yield of barley under rainfed condition due to improving some physiological traits.

Keywords: bio fertilizers, water limitation, efficiency of PSII photochemistry, relative water content.

1 and 2. MSc Students and Professor of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

*: Corresponding Author, Email: raouf_ssharifi@yahoo.com