ارزیابی اثر قارچ‌های *Glomus mosseae* و *Piriformospora indica* بر فلورسانس، مقدار و شاخص کلروفیل گیاه ذرت (*Zea mays* L.) در سطوح متفاوت فسفر و آبیاری

شهریار کاظمی[۱]، اسفندیار فرهمندفر[۲]، همت‌اله پیردشتی*[۳]، مجتبی محمودی[٤]، ولی‌اله بابایی‌زاد[٥]

[۱]بخش علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران، [۲] گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۳] گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، [٤] بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران، [٥] گروه گیاهپزشکی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰٤/۱۲، تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۷/۱۸)

چکیده

به‌منظور بررسی کارایی همزیستی قارچ‌های شبه‌میکوریزا *Piriformospora indica* و میکوریزا *Glomus mosseae* بر بهبود میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و شاخص‌های فلورسانس در ذرت (رقم سینگل‌کراس ۷۰٤) در سطوح مختلف آبیاری و فسفر، پژوهشی مزرعه‌ای در سال ۱۳۹٤ در دو منطقه قراخیل (قائم‌شهر) و بایع‌کلا (نکا) به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. روش‌های مختلف آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) در کرت‌های اصلی و چهار سطح تلقیح (بدون تلقیح، تلقیح با قارچ میکوریز، تلقیح با قارچ شبه‌میکوریزا و تلقیح همزمان دو قارچ) به‌همراه سه سطح کود فسفره (عدم مصرف، ۵۰ و ۱۰۰ درصد مورد نیاز) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. مطابق نتایج، با اعمال تیمارهای کم‌آبیاری میزان کلروفیل a، b، a+b و حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) در مقایسه با تیمار آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری در هر دو ایستگاه کاهش یافت. همچنین، نتایج این پژوهش حاکی از اثربخشی مثبت تلقیح قارچ (به‌ویژه تیمار تلقیح همزمان) بر کارایی کوانتومی فتوسیستم II از طریق افزایش معنی‌دار میزان فلورسانس حداکثر بود. هرچند، کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌شده فتوسیستم II (Y(NPQ)) با اعمال تیمارهای کم‌آبی افزایش یافت، اما تیمارهای تلقیح با قارچ سبب کاهش معنی‌دار میزان این شاخص گردید. میزان کاهش در تیمار تلقیح همزمان از ۲۲ درصد در ایستگاه قراخیل تا حدود ۳۳ درصد در ایستگاه بایع‌کلا متغیر بود. در مجموع، نتایج بیانگر کارایی مطلوب این قارچ‌ها در کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی روی میزان رنگیزه‌های برگ و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II از طریق کاهش آسیب به مراکز واکنشی فتوسیستم بود.

واژه‌های کلیدی: میکوریز، شبه‌میکوریزا، رنگیزه‌های فتوسنتزی، حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II.

مقدمه

سطح زیرکشت ذرت (*Zea mayz* L.) در ایران در سال ۱۳۹۲ در حدود ۰/۴۳ میلیون هکتار با میانگین عملکرد ۵۹۸۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (FAO, 2015). از سوی دیگر، میزان آب مورد نیاز ذرت بسته به شرایط محیطی و غذایی بین شش الی ۱۲ هزار متر مکعب در هکتار برآورد شده است

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: h.pirdashti@sanru.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.4.3]

(Golbashy *et al*., 2010). علیرغم اینکه بیش از ۹۰ درصد از حجم آبی در کشور صرف تولیدات کشاورزی می‌شود، اما بیشترین حجم تلفات آب نیز مربوط به همین بخش بوده (عربی یزدی و همکاران، ۱۳۸۸) و ٦٥ درصد آن به‌علت شیوه‌های غلط آبیاری هدر می‌رود. از طرفی وقوع بارندگی‌های پراکنده و رگباری با ایجاد جریان‌های سطحی هدر رفت زیاد آب را به همراه دارد، توجه به مدیریت صحیح آب و خاک را روشن می کند (خیری شلمزاری و برومندنسب، ۱۳۹۲). از این‌رو، بیشترین تلاش‌ها در جهت تولید بیشتر محصول در شرایط کم آبی خواهد بود. به عبارت دیگر، باید محصول بیشتری در ازای هر قطره آب تولید کرد (Zhao *et al*., 2007). دیدگاه اصلی در روش کم‌آبیاری، استفاده از آب صرفه‌جویی شده برای توسعه کشت، ذخیره آن برای استفاده در مراحل حساس رشد گیاه و یا استفاده از آن برای کشت محصولات اقتصادی‌تر نظیر گیاهان وجینی است (Fereres and Soriano, 2007). با این وجود، استفاده از روش‌های‌کاهش‌یافته یا کم‌آبیاری امکان قرار گرفتن گیاه در شرایط تنش آبی را افزایش داده و موجب بروز اثرات متعددی در صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه می‌گردد (Sing *et al*., 2014). همچنین، بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاهان حساس به کمبود آب نظیر ذرت، پیش از مشاهده هر گونه علائم کم‌آبی، دچار اختلال می‌شوند (لک، ۱۳۹۲). تنش خشکی باعث کاهش حداکثر عملکرد کوانتومی (Fv/Fm) و فلورسانس متغیر(Fv) فتوسیستمII می‌گردد (Yamasaki et al. 2002). در گیاه لوبیا نیز تنش خشکی باعث افزایش فلورسانس حداقل (Fo)، کاهش فلورسانس حداکثر (Fm) و در نتیجه کاهش کارایی کوانتومی گردید (Zlatev and Yardanov, 2004). بر این اساس، جهت کاهش آسیب‌های تنش، استفاده از روابط همزیستی و میکوریزایی به‌عنوان یک راهکار موثر مطرح شده است (یعقوبیان و همکاران، ۱۳۹۱). در همین راستا، استفاده از قارچ‌های *G. mosseae* و *P. indica* یکی از روش‌های مناسب برای کاهش اثرات زیانبار خشکی معرفی شده است (Yaghoubian *et al*., 2014). در همین زمینه Oyetunji و همکاران (۲۰۰۷) طی مطالعه ای که روی گیاه کاساوا انجام دادند به این نتیجه رسیدند که تلقیح قارچ‌های میکوریزای آربوسکولار *G. mosseae* و *گلوموس کلاروم* کارایی کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m) را چه در شرایط مطلوب رطوبتی و چه در شرایط تنش خشکی به صورت معنی‌داری افزایش می‌دهد، هرچند اثر مثبت آن در شرایط تنش بیشتر از شرایط مطلوب بود. در حقیقت این قارچ‌ها از کاهش بیشتر کارایی کوانتومی فتوسیستم II در اثر تنش خشکی جلوگیری کرده‌اند. همچنین در گیاه فلفل (*Piper nigrum* L.) تلقیح شده با قارچ میکوریزا، کلروفیل a و b به طور معنی‌داری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی افزایش یافت (Demir, 2004).

از سوی دیگر، موفقیت در تولید ذرت بستگی به کاربرد مطلوب نهاده‌های کشاورزی از جمله کودهای شیمیایی فسفره دارد (Mobasser *et al*., 2012). فسفر بعد از نیتروژن به‌عنوان دومین عنصر محدودکننده رشد گیاهان محسوب می‌شود و به مقدار زیاد و در دو شکل آلی و غیرآلی در خاک وجود دارد (Khan *et al*., 2009). با این وجود، تنها بخش بسیار ناچیزی (حدود ۰/۱ درصد) از فسفر موجود در خاک برای گیاهان قابل استفاده می‌باشد (Zhu *et al*., 2011). امروزه کشاورزان برای تأمین کمبود فسفر و اطمینان از حداکثر بهره‌وری گیاه، سالانه نزدیک به ۳۰ میلیون تن کود شیمیایی فسفاته مصرف می‌کنند، که از این مقدار قریب ۸۰ درصد آن در خاک تثبیت شده و یا به خاطر جذب، آبشویی و تبدیل به شکل‌های آلی، غیرقابل استفاده برای گیاه می‌باشند، که نتیجه آن بروز اثرات منفی اقتصادی و زیست‌محیطی خواهد بود (Bakhshandeh *et al*., 2015). از این‌رو، امروزه با توجه به کمبود تولید و افزایش هزینه‌های نهاده‌های مصرفی در بخش کشاورزی و همچنین افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی، استفاده از کودهای زیستی در جهت بهبود تأمین عناصر غذایی برای رسیدن به کشاورزی پایدار امری ضروری می‌باشد (Park *et al*., 2010). بنا به تعریف، کود زیستی متشکل از یک یا چند نوع ریزجاندار مفید به همراه مواد نگهدارنده و یا فرآورده‌های متابولیکی آن‌ها است که به‌منظور تأمین عناصر غذایی گیاهان استفاده می‌شود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.4.3]

(Vessey, 2003). قارچ‌های میکوریزا و شبه‌میکوریزا از جمله قارچ‌های سودمند محسوب می‌شوند که با فراهم نمودن سطح جذب‌کننده وسیع‌تر برای انتقال عناصر غذایی موجود در خاک به ریشه گیاهان، سبب بهبود رشد گیاه می‌گردند (یعقوبیان و همکاران، ۱۳۹۱).

انرژی حاصل از نور بعد از جذب به‌وسیله مولکول‌های کلروفیل برگ، در طول زنجیره انتقال الکترون منتقل می‌شود و برای اجرای فرایند فتوسنتز (فرایند شیمیایی) مصرف می‌گردد و انرژی اضافی یا به‌صورت گرما هدر می‌رود (فرایند غیرفتوشیمیایی) یا به‌صورت نور قرمز بازتاب داده می‌شود که فلورسانس کلروفیل نامیده می‌شود (Baker, 2008). این سه فرایند به‌صورت رقابتی اتفاق می‌افتند و می‌توان از طریق آن، به اطلاعاتی در مورد تغییرات در کارایی فتوشیمیایی و هدررفت گرمایی دست یافت (حسنی و همکاران، ۱۳۹۳). فلورسانس کلروفیل به‌عنوان بازتاب واکنش‌های اولیه فتوسنتز، یک شاخص فیزیولوژیک معتبر برای مشخص نمودن تغییرات القایی در دستگاه فتوسنتزی می‌باشد که عملیات ارزیابی آن، بدون تخریب بافت گیاهی و در کمترین زمان ممکن صورت می‌گیرد (Mehata *et al*., 2010). تاکنون از فلورسانس کلروفیل برای مطالعه واکنش گیاهان در شرایط تنش‌های مختلف از جمله خشکی (Zlatev, 2009) و شوری (Bo *et al*., 2009) استفاده گردیده است. تنش کم‌آبی به دلیل آسب به زنجیره انتقال الکترون، جذب تشعشعات فعال فتوسنتزی را توسط پوشش گیاهی محدود کرده و کارایی تابش را نیز کاهش می دهد (Rohacek *et al*., 2008). تحت تأثیر تنش خشکی، فعالیت‌های فتوشیمیایی گیاه بازداشته می‌شود، محتوی کلروفیلی برگ تغییر می‌کند و فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین در فرایند فتوسنتز کاهش می‌یابد (Monakhova and Chernyadev, 2002). در تعداد زیادی از گونه‌های گیاهی، کاهش در تولید محصول تحت شرایط تنش خشکی غالباً به کاهش در ظرفیت فتوسنتزی مربوط می‌باشد (Bacelar *et al*., 2007). براساس پژوهش‌های انجام شده، جریان الکترون در فتوسنتز، شاخصی برای میزان کلی فتوسنتز می‌باشد، به‌طوری‌که اندازه‌گیری حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)، تخمین میزان جریان الکترون و نحوه عمل فتوسنتز را امکان پذیر می‌سازد (Maxwell and Johnson, 2005).

شناخت اثرات تنش‌های محیطی بر ذرت اگر بر شناخت روابط گیاه و محیط و بر اساس صفات فیزیولوژیکی استوار گردد، کمک شایان توجهی به تعیین مسیر برنامه‌های به‌زراعی برای دستیابی به عملکرد بالا خواهد نمود (لک، ۱۳۹۲). بر اساس آنچه گفته شد و با توجه به اینکه کمبود آب آبیاری یکی از مشکلات عمده پیش روی زراعت کشور است و به دلیل اهمیت روز افزون شیوه‌های جدید دوستدار طبیعت در به حداقل رساندن تاثیرات مخرب تنش‌های محیطی بر گیاهان، نیاز به مطالعات در این زمینه و کاربردی شدن یافته‌های پژوهش‌های علمی، بیش از همیشه احساس می‌شود. بنابراین، این تحقیق با هدف ارزیابی کارایی رابطه میکوریزایی بر بهبود سیستم فتوسنتزی رقم ۷۰٤ ذرت در آبیاری کاهش‌یافته طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹٤ در دو مکان واقع در ایستگاه تحقیقات زراعی قراخیل (قائم‌شهر) با طول جغرافیای ۵۲ درجه و ٤٦ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ۲۷ دقیقه، ارتفاع از سطح دریا ۱٤/۷ متر و ایستگاه تحقیقاتی بابع‌کلا (نکا) با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۳ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳٦ درجه ٤۱ دقیقه، ارتفاع از سطح دریا چهار متر به صورت آزمایش اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در کرت اصلی سه سطح آبیاری ۵۰ ، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (بدون تنش) در نظر گرفته شد. سطوح مختلف آبی از مرحله شش برگی پس از استقرار کامل گیاه و بعد از تنک کردن مزرعه و رسیدن به تراکم مطلوب تا پایان رشد اعمال گردید. آبیاری در تیمار بدون تنش (شاهد) معادل نیاز آبی گیاه انجام شد. نیاز آبی گیاه با تعیین میزان تبخیر روزانه با استفاده از تشتک تبخیر تعیین و سپس با استفاده از ضریب تشتک تبخیر و ضریب گیاهی، حجم آب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.4.3]

جدول ۱- آمار هواشناسی در طول دوره رشد ذرت (بازه زمانی اول اردیبهشت تا سی و یکم شهریور ۱۳۹٤)

منطقه	متوسط ساعات آفتابی	مجموع بارندگی (میلی‌متر)	متوسط رطوبت نسبی (درصد)	درجه حرارت حداقل (سانتی‌گراد)	درجه حرارت حداکثر (سانتی‌گراد)	میزان تشعشع (مگاژول بر مترمربع در روز)
ایستگاه قراخیل	۷/۳٤	۱۸٦/٦	۷٤	۱۹/۹٦	۲۹/۷۸	۲۰/٦
ایستگاه بایع‌کلا	۸/۲۵	۱٤۷/۵	۷۰/٦	۱۹/۹۸	۲۹/۹۷	۲۳/٤

مصرفی مورد نیاز در هر مرحله از آبیاری تعیین گردید (مسجدی و همکاران، ۱۳۸۷). بر این اساس، میزان مجموع آب آبیاری و بارش باران (جدول ۱) در طول فصل رشد برای آبیاری کامل و کم‌آبیاری با ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، به ترتیب برای ایستگاه تحقیقات زراعی قراخیل، ۵۳٤۷/۷۳، ٤۳۳۰/۵ و ۳۳۱۳/۳۳ مترمکعب در هکتار و برای ایستگاه تحقیقاتی بایع‌کلا، ۵۸۰۸/۸، ٤۷۰۵/٦ و ۳٦۰۲/۳۹ مترمکعب در هکتار در به‌دست آمد. آبیاری کرت‌ها با لوله‌های پلی‌اتیلن انجام و حجم آب ورودی به کرت‌ها با کنتور آب کنترل شد. چهار سطح کود زیستی شامل شاهد (بدون تلقیح)، تلقیح با قارچ میکوریز *G. mosseae*، تلقیح با قارچ شبه‌میکوریزا *P. indica* و تلقیح همزمان دو قارچ به همراه سه سطح کود شیمیایی فسفره شامل عدم مصرف، ۵۰ و ۱۰۰ درصد موردنیاز در کرت‌های فرعی به صورت فاکتوریل قرار گرفتند.

هر کرت فرعی ۱۱ مترمربع شامل پنج خط کاشت با فاصله بین ردیف‌ها ۷۰ سانتی متر و روی ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر بود. بین کرت‌های اصلی دو ردیف نکاشت، بین دو کرت فرعی یک ردیف نکاشت و بین تکرارها دو متر باقی گذاشته شد. عملیات تهیه بستر شامل شخم برگردان، رتیواتور، دیسک و تسطیح بهاره بود. بر اساس آزمون خاک قبل از کاشت (جدول ۲)، نیمی از کود اوره (۹۰ کیلوگرم در هکتار)، تمامی کود فسفاته (به‌ترتیب ۱۵۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار برای ایستگاه های بایع‌کلا و قراخیل) و پتاسه (به‌ترتیب ۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار برای ایستگاه‌های بایع‌کلا و قراخیل) از منبع سوپرفسفات‌تریپل و سولفات پتاسیم در هنگام کاشت و بقیه کود اوره به صورت سرک در مرحله هشت برگی و گلدهی مورد استفاده قرار گرفت. در این آزمایش از بذر ذرت هیبرید سنگل‌کراس ۷۰٤ استفاده شد. این رقم دیررس (۱۳۵-۱۲۵ روزه)، تک‌بلال و دندان‌اسبی است (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۳). به‌منظور افزایش همزیستی مایه تلقیح با بذر از بذور ضدعفونی‌نشده استفاده شد. کاشت در اواخر اردیبهشت با دست انجام و علف‌های هرز به‌صورت دستی وجین شدند.

غلظت کلروفیل و میزان کاروتنوئیدها: برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل برگ، در مرحله کاکل‌دهی مقدار ۰/۵ گرم از برگ پرچم (به صورت تازه) کاملا خرد شده و در هشت میلی‌لیتر متانول غوطه‌ور شده در تاریکی و دمای اتاق قرار گرفت. بعد از گذشت ۲٤ ساعت، سانتریفیوژ نموده و میزان نور جذبی محلول در طول موج‌های ٦٦۵/۲، ٦۵۲/٤ و ٤۷۰ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Analytic jena- SPEKOL 1300) قرائت و ثبت شد. در نهایت میزان کلروفیل *a*، *b*، کلروفیل کل و کارتنوئید به ترتیب با استفاده از روابط ۱ تا ٤ محاسبه و بر حسب میکرو گرم بر گرم وزن تر برگ گزارش شد (Porra, 2002).

$C_a = 16.72\ A_{665.2} - 9.16\ A_{652.4}$ [رابطه ۱]

$C_b = 34.09\ A_{652.4} - 15.28\ A_{665.2}$ [رابطه ۲]

$C_{(a+b)} = c_a + c_b$ [رابطه ۳]

$Car = (1000\ A_{470} - 1.8\ C_a - 85.02\ C_b)/198$ [رابطه ٤]

در این رابطه‌ها C_a، C_b و $C_{(a+b)}$ به‌ترتیب کلروفیل a، b و کلروفیل کل و $A_{665.2}$، $A_{652.4}$، A_{470} میزان نور جذبی محلول در طول موج‌های ٦٦۵/۲، ٦۵۲/٤ و ٤۷۰ نانومتر می‌باشد.

فلورسانس کلروفیل: برای بررسی کارایی سیستم نوری فتوسنتز (PSII) و نشان دادن اثرات مستقیم و غیرمستقیم تنش‌های محیطی بر عملکرد سیستم نوری II از دستگاه فلورومتر (PAM 2500 Model, Wals, Germany) بر اساس روش Genty و همکاران (۱۹۸۹) استفاده شد. بدین‌منظور، برگ پرچم با استفاده از گیره‌های مخصوص دستگاه به مدت ۱۵

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.4.3]

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

منطقه	بافت خاک	کربن آلی	ماده آلی	نیتروژن کل	اسیدیته کل اشباع	هدایت الکتریکی	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
		(درصد)					میلی گرم بر کیلوگرم	
ایستگاه قراخیل	سیلتی رسی لوم	۱/۲۳	۲/۱۱	۰/۱۶۵	۷/۵	۱/۱	۱۳	۱۶۲
ایستگاه بایع‌کلا	سیلتی رسی	۱/۳۹	۲/۳۸	۰/۱۱۵	۷/۷	۰/۸	۹	۳۵۳

دقیقه در تاریکی قرار گرفتند. فلورسانس حداقل (F_o) با همه مراکز واکنشی باز فتوسیستم II، توسط نور با شدت پایین (۰/۱ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) و فلورسانس حداکثر (F_m) با تابش پالس اشباع نوری (۸۰۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) به مدت یک ثانیه در برگ‌های سازگار به تاریکی تعیین شد. در مرحله بعد نور مرئی سفید رنگ (۶۸۵ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه) به صورت متوالی به برگ تابانده و بعد از آن میزان فلورسانس پایدار (F_t) ثبت و مجددا پالس اشباع نوری (۸۰۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) اعمال و میزان فلورسانس حداکثر (F_m) در برگ‌های سازگار به روشنایی تعیین شد. سپس پرتوی نور مرئی قطع و با تابش نور قرمز دور فلورسانس حداقل در مرحله روشنایی (F_o) ثبت گردید. فرکانس نوری برای اندازه‌گیری F_o و F'_o، ۶۵۰۰ هرتز و برای F_m و F'_m، ۲۰ کیلو هرتز بود. با استفاده از پارامترهای تعیین شده در برگ‌های سازگار به تاریکی و روشنایی، میزان فلورسانس حداقل (F_o)، فلورسانس حداکثر (F_m)، فلورسانس متغیر (F_v)، حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m)، کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌شده فتوسیستم II (Y(NPQ))، کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی غیرتنظیم‌شده فتوسیستم II (Y(NO)) و خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ) اندازه‌گیری گردید (Klughammer and Schreiber, 2008; Li *et al*., 2008).

در مرحله برداشت، پس از جدا کردن دانه‌ها با شیلر و تعیین درصد رطوبت دانه توسط رطوبت‌سنج (kJT-270 Model, NIR Composition analyzer, Kett, Japan)، میزان عملکرد نهایی دانه بر حسب تن در هکتار محاسبه شد. سپس بهره‌وری مصرف آب، به‌ترتیب از نسبت عملکرد دانه بر مجموع میزان آب آبیاری و بارندگی در طول فصل رشد محاسبه گردید (عباسی و همکاران، ۱۳۹۴). در پایان، داده‌ها پس از آزمون نرمال بودن، با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C تجزیه و تحلیل و میانگین صفات مورد بررسی توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. پیش از انجام آنالیز میانگین مربعات و به‌منظور تعیین یکنواختی و متجانس بودن واریانس اشتباه آزمایش‌های مختلف، از آزمون بارتلت استفاده گردید (دری و همکاران، ۱۳۹۴).

نتایج و بحث

از آنجایی‌که آزمون همگنی واریانس آزمایش (بارتلت) دلالت بر عدم یکنواختی واریانس آزمایش برای صفات مورد بررسی (به غیر از کاروتنوئید و فلورسانس حداقل) در دو منطقه داشت، از این رو، صفات مورد مطالعه در هر مکان به‌طور مجزا مورد بررسی قرار گرفتند.

بر اساس تجزیه و تحلیل میانگین مربعات صفات مورد مطالعه، تیمار کم‌آبیاری اثر معنی‌داری بر همه صفات مورد مطالعه در هر دو ایستگاه (به غیر از میزان کاروتنوئید در ایستگاه بایع‌کلا) داشت. تلقیح با قارچ نیز موجب اختلاف معنی‌داری بر همه صفات مورد بررسی به غیر از نسبت کلروفیل a/b در ایستگاه قراخیل و میزان کاروتنوئید در ایستگاه بایع‌کلا گردید. همچنین با اعمال تیمار کود فسفره اختلاف معنی‌داری از لحاظ صفات فلورسانس حداقل، فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر، حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II، عملکرد دانه و بهره‌وری آب در هر دو ایستگاه و میزان کاروتنوئید در ایستگاه قراخیل مشاهده گردید. همچنین، اثرات متقابل کم‌آبیاری و تیمار تلقیح بر صفات میزان کاروتنوئید،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.4.3]

فلورسانس حداقل، فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر و خاموشی غیرفتوشیمیایی، در ایستگاه قراخیل و بر فلورسانس حداقل، فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر، کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی غیرتنظیم‌شده فتوسیستم II، خاموشی غیرفتوشیمیایی، عملکرد دانه و بهره‌وری آب در ایستگاه بایع کلاً اثر معنی‌داری داشت (داده‌ها نشان داده نشد).

رنگیزه‌های فتوسنتزی: بر اساس یافته‌ها، با اعمال تیمارهای کم‌آبیاری در هر دو ایستگاه میزان کلروفیل a، b و a+b در مقایسه با تیمار آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. میزان صفات یاد شده در تیمار کم‌آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در ایستگاه قراخیل، به‌ترتیب ۱۹/۱، ۳۸/٦ و ۲۳/۹ درصد کمتر از روش آبیاری کامل بود. در ایستگاه بایع‌کلا نیز این کاهش به‌ترتیب، ۲۰/٦، ۳٦/۳ و ۲٤/٤ درصد کمتر از روش آبیاری کامل بود. نسبت کلروفیل a/b در ایستگاه بایع‌کلا نیز در تیمارهای کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار آبیاری کامل بود که نشان‌دهنده کاهش بیشتر کلروفیل b در مقایسه با کلروفیل a در شرایط کم‌آبی است. همچنین، بین تیمارهای کم آبیاری با ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه نیز تفاوت معنی‌داری از لحاظ صفات یاد شده وجود داشت (جدول ۳).

تیمار تلقیح با قارچ‌های میکوریزا و شبه‌میکوریزا نیز میزان برخی صفات مورد بررسی را در مقایسه با روش عدم تلقیح به‌طورمعنی‌داری افزایش داد. بر این اساس، بیشترین میزان کلروفیل a، b و a+b از تیمار تلقیح همزمان قارچ‌های *P. indica* و *G. mosseae* حاصل شد (جدول ۳). از سوی دیگر، بیشترین میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل در تیمار عدم تلقیح در ایستگاه بایع‌کلا نیز به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمار تلقیح همزمان قارچ‌های *P. indica* و *G. mosseae* بود (جدول ٤). همچنین، بیشترین میزان کارتنوئید در ایستگاه قراخیل معادل ۱/۹٦ میکروگرم بر وزن تر برگ از ترکیب تیماری عدم تلقیح در آبیاری کامل به‌دست آمد. میزان این رنگیزه با اعمال تیمارهای کم‌آبیاری روندی کاهشی داشت (جدول ۳). با این وجود، سطوح مختلف تیمار تلقیح با قارچ اثر معنی‌داری بر میزان کارتنوئید در ایستگاه بایع‌کلا نداشت. سطوح کاربرد کود فسفره (۱۰۰ و ۵۰ درصد میزان مورد نیاز) نیز تأثیر معنی‌داری بر صفات میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل، نسبت کلروفیل a/b و کارتنوئید در هر دو ایستگاه نداشت (جدول ۳).

فلورسانس کلروفیل: مطابق نتایج، با اعمال تیمارهای کم آبیاری در هر دو ایستگاه حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) در مقایسه با تیمار آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. میزان آن در ایستگاه قراخیل ۹/۲ درصد و در ایستگاه بایع‌کلا ۱۰/٤ درصد کمتر از روش آبیاری کامل بود. از سوی دیگر، میزان کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌شده فتوسیستم II (Y(NPQ)) و کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی غیرتنظیم‌شده فتوسیستم II (Y(NO)) در ایستگاه قراخیل با کاهش دور آبیاری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که میزان آن‌ها در تیمار کم‌آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، به‌ترتیب ٦٦/٦ و ۳۰ درصد بیشتر از تیمار آبیاری کامل بود (جدول ٤). از سوی دیگر، در ایستگاه بایع‌کلا نیز کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌شده فتوسیستم II (Y(NPQ)) با کاهش میزان آبیاری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و از ۰/۱۳ در آبیاری کامل به ۰/۱۵ و ۰/۲۰ در کم‌آبیاری با ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه رسید (جدول ٤).

تیمار تلقیح با قارچ‌های میکوریزا و شبه‌میکوریزا در مقایسه با روش عدم تلقیح در ایستگاه قراخیل، میزان کارایی کوانتومی فتوسیستم II را ٤/۳ درصد افزایش و میزان کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌شده فتوسیستم II (Y(NPQ)) و کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی غیرتنظیم‌شده فتوسیستم II را به‌ترتیب ۱۱/۸ و ۱۵/٤ درصد کاهش داد (جدول ٤). همچنین، کاربرد ۱۰۰ و ۵۰ درصد فسفر مورد نیاز به‌ترتیب سبب افزایش ۲/۸ و ۱/۳ درصدی کارایی کوانتومی فتوسیستم II در مقایسه با تیمار بدون کاربرد کود فسفره گردید (جدول ٤). همچنین، حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m) در ایستگاه بایع‌کلا نیز از تلقیح همزمان قارچ‌های *P. indica* و *گلوموس موسه* به‌دست آمد که ٦/۹ درصد بیشتر از تیمار عدم تلقیح بود (جدول ٤). سطوح کاربرد کود فسفره (۱۰۰ و ۵۰ درصد میزان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.4.3]

جدول ۳- مقایسه میانگین تیمارهای کم‌آبیاری، همزیستی قارچ و کاربرد کود فسفره بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در دو ایستگاه

تیمار	سطح	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	کلروفیل a/b	کارتنوئید	عملکرد دانه	بهره‌وری آب
		(µg/g FW)					(Kg/ha)	(Kg/m^3)
کم‌آبیاری	آبیاری کامل	۱۱/۹۱ a	۳/۹۳ a	۱۵/۸٤ a	۳/۰٦ b	۱/۸۹ a	۸۷۵۸ a	۱/٦٤ c
	۷۵ درصد نیاز آبی گیاه	۱۰/٦۷ b	۳/۲۹ b	۱۳/۹٦ b	۳/۲۸ b	۱/۷۷ b	۸٦۳۷ a	۱/۹۹ b
	۵۰ درصد نیاز آبی گیاه	۹/٦۳ c	۲/٤۱ c	۱۲/۰۵ c	٤/۲۱ a	۱/۷۲ b	۷٦۲۱ b	۲/۳۰ a
تلقیح قارچ	عدم تلقیح	۱۰/۰۸ c	۲/۸۸ c	۱۲/۹٦ c	۳/٦٤ a	۱/۸۲ a	۸۱۸۰ b	۱/۹۳ b
	تلقیح *G. mosseae*	۱۰/۷٤ b	۳/۳۲ ab	۱٤/۰٦ b	۳/٤۰ a	۱/۸۲ a	۷۹٤۲ b	۱/۸٦ b
	تلقیح *P. indica*	۱۰/۹٤ ab	۳/۲۰ b	۱٤/۱٤ ab	۳/٦٤ a	۱/۸۲ a	۸۳٤٦ b	۱/۹۹ ab
	تلقیح همزمان	۱۱/۱۹ a	۳/٤٤ a	۱٤/٦۳ a	۳/۳۹ a	۱/۷۳ b	۸۸۸٦ a	۲/۱۱ a
کود فسفره	عدم مصرف	۱۰/٦٦ a	۳/۲۰ a	۱۳/۸۵ a	۳/۵۵ a	۱/۸۱ a	۷۷۵۵ b	۱/۸٤ b
	۵۰ ٪ میزان مورد نیاز	۱۰/۷۸ a	۳/۲۸ a	۱٤/۰۷ a	۳/٤۱ a	۱/۷۹ a	۸٤٤۰ a	۲/۰۰ a
	۱۰۰ ٪ میزان مورد نیاز	۱۰/۷۷ a	۳/۱۵ a	۱۳/۹۳ a	۳/۵۹ a	۱/۷۹ a	۸۸۲۱ a	۲/۰۸ a
	ایستگاه تحقیقاتی بایع‌کلا، نکا							
کم‌آبیاری	آبیاری کامل	۱۲/۰۳ a	۳/۸۱ a	۱۵/۸۵ a	۳/۲۱ b	۱/۷۸ ab	۱۰۳۲۰ a	۱/۷۷ c
	۷۵ درصد نیاز آبی گیاه	۱۰/٤۳ b	۲/۷۷ b	۱۳/۲۰ b	۳/۸٦ a	۱/۸۰ a	۸۹۰۸ b	۱/۸۹ b
	۵۰ درصد نیاز آبی گیاه	۹/۵۵ c	۲/٤۳ c	۱۱/۹۹ c	٤/۱۵ a	۱/٦۵ b	۸۰۷۳ c	۲/۲٤ a
تلقیح قارچ	عدم تلقیح	۱۰/۳٤ b	۲/۵۷ b	۱۲/۹۲ c	٤/۲۹ a	۱/۷۸ a	۸۹۸٤ b	۱/۹۳ c
	تلقیح *G. mosseae*	۱۰/۵۷ b	۲/۸۰ b	۱۳/۳۸ bc	۳/۹۲ a	۱/٦۹ a	۸۸٦۲ b	۱/۹۱ b
	تلقیح *P. indica*	۱۰/٦۹ ab	۳/۲۱ a	۱۳/۹۰ b	۳/٤٤ b	۱/۸۰ a	۹۰۰٤ b	۱/۹۵ b
	تلقیح همزمان	۱۱/۰۹ a	۳/٤٤ a	۱٤/۵۲ a	۳/۳۲ b	۱/۷۰ a	۹۵۵٤ a	۲/۰۸ a
کود فسفره	عدم مصرف	۱۰/٤٦ a	۲/۹۸ a	۱۳/٦۲ a	۳/۷٦ a	۱/۷٦ a	۸۵۱٦ b	۱/۸٤ c
	۵۰ ٪ میزان مورد نیاز	۱۰/۷۲ a	۳/۰۷ a	۱۳/۸۰ a	۳/٦۹ a	۱/۷٦ a	۹۳٤۳ a	۲/۰۲ b
	۱۰۰ ٪ میزان مورد نیاز	۱۰/٦۵ a	۲/۸۷ a	۱۳/٦۲ a	۳/۷۷ a	۱/۷۱ a	۹٤٤٤ a	۲/۰٤ a

***در هرستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار ندارند.**

مورد نیاز) نیز، سبب افزایش معنی‌دار حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m) نسبت به سطح عدم مصرف کود شیمیایی در ایستگاه بایع‌کلا گردید. با این وجود، تأثیر معنی داری بر کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌شده فتوسیستم II (Y(NPQ)) نداشت (جدول ٤).

مطابق نتایج، بیشترین میزان فلورسانس حداکثر و فلورسانس متغیر در هر دو ایستگاه از ترکیب تیماری آبیاری کامل و تلقیح همزمان قارچ‌های *P. indica* و *G. mosseae* حاصل شد. بر این اساس، تیمار تلقیح همزمان به‌طور معنی-داری میزان فلورسانس حداکثر و فلورسانس متغیر را در همه‌ی رژیم‌های آبیاری افزایش داد. از سوی دیگر، بیشترین میزان فلورسانس حداقل در ایستگاه قراخیل نیز از تیمار عدم تلقیح در روش آبیاری کامل به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای تلقیح با قارچ در سطوح مختلف آبیاری بود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.4.3]

جدول ٤- مقایسه میانگین تیمارهای کم‌آبیاری، همزیستی قارچ و کاربرد کود فسفره بر برخی شاخص‌های فلورسانس در دو ایستگاه

تیمار	سطح	F_o	F_m	F_v	F_v/F_m	Y(NPQ)	Y(NO)	NPQ
ایستگاه تحقیقات زراعی قراخیل، قائم‌شهر								
کم آبیاری	آبیاری کامل	۱/۳۰ a	٥/۳۰ a	٤ a	۰/۷٥ a	۰/۱۲ c	۰/۱۰ b	۱/٤٤ b
	۷٥ درصد نیاز آبی گیاه	۱/۲۲ c	٤/٥٤ b	۳/۲۸ b	۰/۷۲ b	۰/۱٦ b	۰/۱۳ a	۱/٦۱ a
	٥۰ درصد نیاز آبی گیاه	۱/۲٥ b	٤/۱٤ c	۲/۸۸ c	۰/٦۹ c	۰/۲۰ a	۰/۱۳ a	۱/٥۰ b
تلقیح قارچ	عدم تلقیح *G. mosseae*	۱/۲٤ b	٤/٥۹ c	۳/۳٥ c	۰/۷۲ b	۰/۱٥ b	۰/۱۳ a	۱/٥٦ b
	تلقیح *G. mosseae*	۱/۲٤ b	٤/٥۹ c	۳/۳٥ c	۰/۷۲ b	۰/۱٥ b	۰/۱۳ a	۱/٥٦ b
	تلقیح *P. indica*	۱/۲٦ ab	٤/۷٦ b	۳/٤۹ b	۰/۷۲ b	۰/۱٦ ab	۰/۱۲ ab	۱/٥۳ b
	تلقیح همزمان	۱/۲٤ b	٤/۹۸ a	۳/۷٤ a	۰/۷۳ a	۰/۱٥ b	۰/۱۱ b	۱/٦۷ a
کود فسفره	عدم مصرف	۱/۲٥ b	٤/٤٥ c	۳/۲۰ c	۰/۷۱ b	۰/۱٦ a	۰/۱۲ b	۱/٥۰ a
	٥۰ ٪ میزان مورد نیاز	۱/۲٥ b	٤/٦٥ b	۳/٤۰ b	۰/۷۲ ab	۰/۱٦ a	۰/۱۲ a	۱/٥۲ a
	۱۰۰ ٪ میزان مورد نیاز	۱/۲۸ a	٤/۹۸ a	۳/۷۰ a	۰/۷۳ a	۰/۱٦ a	۰/۱۲ a	۱/٥۲ a
ایستگاه تحقیقاتی بایع‌کلا، نکا								
کم آبیاری	آبیاری کامل	۱/۲٦ a	٥/٥۲ a	٤/۲٦ a	۰/۷۷ a	۰/۱۳ c	۰/۱۰ b	۱/۳۲ b
	۷٥ درصد نیاز آبی گیاه	۱/۲٦ a	٤/٦۲ b	۳/۳٥ b	۰/۷۲ b	۰/۱٥ b	۰/۱۳ a	۱/٥۲ a
	٥۰ درصد نیاز آبی گیاه	۱/۲٦ a	٤/۱۲ c	۲/۸٥ c	۰/٦۹ c	۰/۲۰ a	۰/۱٤ a	۱/۳۹ b
تلقیح قارچ	عدم تلقیح	۱/۲٦ ab	٤/٦٤ b	۳/۳۷ b	۰/۷۲ b	۰/۱۸ a	۰/۱۳ a	۱/۲۱ c
	G. mosseae	۱/۳۰ a	٤/٦٥ b	۳/۳٥ b	۰/۷۱ b	۰/۱٦ bc	۰/۱۳ a	۱/٤۲ b
	P. indica	۱/۲۷ a	٤/۷٥ b	۳/٤۷ b	۰/۷۲ b	۰/۱٦ b	۰/۱۲ ab	۱/٤٥ b
	تلقیح همزمان	۱/۲۲ b	٤/۹۷ a	۳/۷٥ a	۰/۷۷ a	۰/۱٤ c	۰/۱۱ b	۱/٥٥ a
کود فسفره	عدم مصرف	۱/۲٤ b	٤/٤۰ c	۳/۱٥ c	۰/۷۱ b	۰/۱٦ a	۰/۱۲ a	۱/۳۷ a
	٥۰ ٪ میزان مورد نیاز	۱/۲٥ b	٤/۷۲ b	۳/٤۷ b	۰/۷۳ a	۰/۱٦ a	۰/۱۲ a	۱/٤۲ a
	۱۰۰ ٪ میزان مورد نیاز	۱/۳۰ a	٥/۱٤ a	۳/۸٤ a	۰/۷٤ a	۰/۱٦ a	۰/۱۲ a	۱/٤٤ a

*** در هرستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار ندارند.**

(جدول ٥). با این وجود، در هر یک از رژیم‌های آبیاری در ایستگاه بایع‌کلا میزان فلورسانس حداکثر و فلورسانس متغیر در تیمار تلقیح بیشتر از عدم تلقیح بود. از سوی دیگر، میزان فلورسانس حداقل از ۱/۱۸ تا ۱/۳۹ متغیر بود و تیمار تلقیح همزمان به‌طور غیرمعنی‌داری کمتر از سایر سطوح تلقیح در برهمکنش با تیمار کم‌آبیاری بود (جدول ٦).

میزان خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ) در هر دو ایستگاه نیز متأثر از برهمکنش تیمارهای آبیاری و تلقیح با قارچ بود. بر این اساس، میزان این صفت در تیمار عدم تلقیح با اعمال کم آبیاری کاهش یافت. با این وجود، این روند در تیمارهای تلقیح افزایشی بود، به‌طوری‌که بیشترین میزان خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ) از ترکیب تیماری تلقیح همزمان در روش آبیاری با ۷٥ درصد نیاز آبی به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری در مقایسه با آبیاری کامل افزایش یافت (جدول ٥ و ٦). بر این اساس، بیشترین میزان خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ) در ایستگاه بایع‌کلا از برهمکنش تلقیح همزمان در آبیاری با ۷٥ درصد نیاز آبی گیاه به‌دست آمد که ٤۰/٤ درصد، بیشتر از تیمار عدم تلقیح در همین سطح آبیاری بود (جدول

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.4.3]

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای کم‌آبیاری و تلقیح با قارچ بر برخی شاخص‌های فلورسانس در ایستگاه قراخیل

کم‌آبیاری	تلقیح قارچ	F_o	F_m	F_v	کارتنوئید	NPQ
آبیاری کامل	عدم تلقیح	۱/۳٦ a	٥/۲۲ b	۳/۸٦ b	۱/۹٦ a	۱/۳۸ de
	تلقیح *G. mosseae*	۱/۲۰ c	٥/۱۳ b	۳/۹۳ b	۱/۹٤ ab	۱/٥۳ b-d
	تلقیح *P. indica*	۱/۳۰ b	٥/٥۷ a	٤/۲٦ a	۱/۸۸ a-c	۱/۳۸ de
	تلقیح همزمان	۱/۳۳ ab	٥/٦۸ a	٤/۳٥ a	۱/۷۹ c-e	۱/٤۷ c-e
۷۵ درصد نیاز آبی گیاه	عدم تلقیح	۱/۳۰ ab	٤/٥۱ d	۳/۲۰ d	۱/۸٤ a-d	۱/۳٤ ef
	تلقیح *G. mosseae*	۱/۲۰ c	٤/۳۷ d-f	۳/۱۷ de	۱/۷٦ c-f	۱/٦۱ bc
	تلقیح *P. indica*	۱/۱۹ c	٤/٤۷ de	۳/۲۷ d	۱/۷٥ c-f	۱/٥۸ bc
	تلقیح همزمان	۱/۱۷ c	٤/۸۰ c	۳/٦۲ c	۱/۷٤ d-f	۱/۸۹ a
۵۰ درصد نیاز آبی گیاه	عدم تلقیح	۱/۱۸ c	۳/٦۱ g	۲/٤۳ g	۱/٦۹ ef	۱/۱٦ f
	تلقیح *G. mosseae*	۱/۳۱ ab	٤/۲٦ ef	۲/۹٥ ef	۱/۷٤ d-f	۱/٥۳ b-d
	تلقیح *P. indica*	۱/۳۰ b	٤/۲۳ f	۲/۹۳ f	۱/۸۲ b-e	۱/٦٤ bc
	تلقیح همزمان	۱/۲۲ c	٤/٤٥ de	۳/۲۳ d	۱/٦٥ f	۱/٦٥ b

*** در هرستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار ندارند.**

جدول ٦- مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای کم‌آبیاری و تلقیح با قارچ بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در ایستگاه بایع‌کلا

کم‌آبیاری	تلقیح قارچ	Fo	Fm	Fv	Y(NO)	NPQ	عملکرد دانه (Kg/ha)	بهره‌وری آب (Kg/m^3)
آبیاری کامل	عدم تلقیح	۱/۲۳ b-d	٥/۳۱ b	٤/۰۸ b	۰/۱۰ de	۱/۲٦ e	۱۰۲٦۰ a	۳/۰۲ def
	تلقیح *G. mosseae*	۱/۳۹ a	٥/٥٦ a	٤/۱۷ b	۰/۱۰ e	۱/۳۹ cd	۱۰۱۲۰ ab	۲/۹٥ ef
	تلقیح *P. indica*	۱/۲٥ b-d	٥/٥۲ ab	٤/۲۷ b	۰/۰۹ e	۱/۳۳ de	۱۰۲٥۰ ab	۲/۹۲ f
	تلقیح همزمان	۱/۱۸ d	٥/۷۰ a	٤/٥۲ a	۰/۰۹ e	۱/۳۱ de	۱۰۳۰۰ a	۲/۹۰ f
۷۵ درصد نیاز آبی گیاه	عدم تلقیح	۱/۳۰ bc	٤/٦۹ c	۳/۳۹ cd	۰/۱٤ a-c	۱/۲٦ e	۸٦۷۹ c	۳/۲۰ cd
	تلقیح *G. mosseae*	۱/۲۸ bc	٤/٥۱ c	۳/۲۲ d	۰/۱۳ a-c	۱/٥٥ b	۸٦٤٥ c	۳/۲۰ c
	تلقیح *P. indica*	۱/۲٦ b-d	٤/٥۹ c	۳/۳۳ cd	۰/۱۳ b-d	۱/٥۰ bc	۸٦۰۷ c	۳/۲٥ cde
	تلقیح همزمان	۱/۲۱ cd	٤/٦۷ c	۳/٤٥ c	۰/۱۱ c-e	۱/۷۷ a	۹۷۰۱ b	۳/۱٥ c
۵۰ درصد نیاز آبی گیاه	عدم تلقیح	۱/۲۷ b-d	۳/۹۲ de	۲/٦٥ e	۰/۱٦ a	۱/۱۰ f	۷٦٥۲ d	۳/۷٦ b
	تلقیح *G. mosseae*	۱/۲۳ b-d	۳/۸۸ e	۲/٦٤ e	۰/۱٤ ab	۱/۳۳ de	۷۸۲٤ d	۳/۸۷ b
	تلقیح *P. indica*	۱/۳۰ ab	٤/۱۳ d	۲/۸۳ e	۰/۱۳ b-d	۱/٥٤ b	۸۱٥٥ cd	٤/۱٥ a
	تلقیح همزمان	۱/۲٦ b-d	٤/٥٤ c	۳/۲۷ cd	۰/۱۱ c-e	۱/٥۸ b	۸٦٦۰ c	٤/۱۱ a

*** در هرستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار ندارند.**

٦). همچنین، بین تیمارهای کم‌آبیاری با ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه نیز تفاوت معنی‌داری از لحاظ صفات یاد شده در هر دو ایستگاه وجود داشت (جدول ٤). همچنین، در همه‌ی سطوح تیمار آبیاری در ایستگاه بایع‌کلا میزان کارایی کوانتومی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.4.3]

غیرفتوشیمیایی غیرتنظیم‌شده فتوسیستم II (Y(NO)) در تیمار عدم تلقیح بیشتر از سطوح تلقیح با قارچ بود. بر این اساس بیشترین میزان این صفت از برهمکنش تیمار عدم تلقیح در آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی حاصل شد.

عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب: بر اساس یافته‌ها، بهره‌وری مصرف آب در ایستگاه قراخیل با کاهش دور آبیاری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که میزان آن‌ها در تیمار کم‌آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، ۴۰/۲ درصد بیشتر از تیمار آبیاری کامل بود. مطابق نتایج، بین تیمار کم‌آبیاری با ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری از لحاظ عملکرد دانه وجود نداشت. با این وجود، میزان این صفت در ایستگاه قراخیل با کاهش ۱۳ درصدی در تیمار آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی، به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمار آبیاری کامل بود (جدول ۳). همچنین، تلقیح همزمان قارچ‌های میکوریزا و شبه‌میکوریزا میزان عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در ایستگاه قراخیل را به‌ترتیب در حدود ۸/۶ و ۹/۳ درصد نسبت به تیمار عدم تلقیح بهبود بخشید (جدول ۳). همچنین، کاربرد ۱۰۰ و ۵۰ درصد فسفر مورد نیاز به‌ترتیب سبب افزایش ۱۳/۷ و ۸/۸ درصدی عملکرد دانه و ۱۳ و چهار درصدی بهره‌وری مصرف آب در مقایسه با تیمار بدون کاربرد کود فسفره گردید (جدول ۳ و ٤). از سوی دیگر، بیشترین عملکرد دانه در ایستگاه بایع‌کلا معادل ۱۰۳۰۰ کیلوگرم در هکتار از برهمکنش تیمارهای آبیاری کامل و تلقیح همزمان قارچ‌های *P. indica* و *G. mosseae* به‌دست آمد. از سوی دیگر، بیشترین میزان بهره وری آب در این ایستگاه در سطوح مختلف تیمار تلقیح با قارچ در روش کم‌آبیاری بر اساس ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارهای آبیاری بود. بیشترین میزان بهره‌وری آب در ایستگاه بایع‌کلا معادل ٤/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب از ترکیب تیماری تلقیح *P. indica* در کم‌آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه ثبت شد (جدول ٦).

نتایج سایر پژوهشگران نیز حاکی از کاهش میزان رنگیزه های کلروفیل و کارتنوئید تحت تنش کم‌آبی است (حیدری و کرمی، ۱۳۹۲؛ یداللهی ده‌چشمه و همکاران، ۱۳۹۳؛ Yordanov *et al*., 2003). در پژوهش‌های دیگر گزارش شد که تنش کم آبی به‌طور معنی‌داری محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید در گندم را کاهش داد (صادقی شعاع و همکاران، ۱۳۹۱؛ Shamsi, 2010). در پژوهشی دیگر نیز نشان داده شد که تنش اکسیداتیو ناشی از خشکی به شدت بر غلظت کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها تأثیر گذاشته و از مراحل فتوسنتز و تنفس و در نتیجه از رشد گیاه جلوگیری می‌کند (Yao *et al*., 2009). پژوهشگران کاهش غلظت کلروفیل تحت تنش را به واسطه‌ی اثر کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی و در نتیجه تجزیه کلروفیل دانستند (Voleti *et* Paknejad *et al*., 2007; *al*., 1998). همچنین، گزارش شد که کمبود آب باعث تجزیه کلروفیل شده و گلوتامات که پیش ماده کلروفیل و پرولین است، در اثر این تنش به پرولین تبدیل شده و در نتیجه از محتوی کلروفیل کاسته می‌گردد (Lawlor and Cornic, 2002). با این وجود، Inze و Montagu (۲۰۰۰) در پژوهش خود با بررسی تنش اکسیداتیو بر گیاهان، گزارش کردند که میزان کارتنوئیدها تحت تنش افزایش می‌یابد.

پژوهشگران افزایش نسبت کلروفیل a/b در شرایط تنش خشکی را گزارش کردند (احمدی و سی و سه مرده، ۱۳۸۳؛ Ashraf *et al*., 1994) که با نتایج این پژوهش در هر دو ایستگاه مطابقت دارد. آن‌ها علت این افزایش را کاهش بیشتر غلظت کلروفیل b در مقایسه با کلروفیل a دانستند که چنین رابطه‌ای در تحقیق حاضر نیز مشاهده شد. همچنین، Antolin و همکاران (۱۹۹۵) گزارش کردند با افزایش تنش خشکی، میزان کلروفیل برگ کاهش ولی نسبت کلروفیل a به b افزایش می‌یابد و افزایش این نسبت موجب تیره شدن برگ‌ها خواهد شد. Estill و همکاران (۱۹۹۱) بیان داشتند که این تفاوت به‌واسطه تغییر در سیستم‌های فتوسنتزی در جهت نسبت کمتر فتوسیستم II به فتوسیستم I تحت تنش خشکی است. اگرچه با پیرشدن تدریجی برگ، غلظت کلروفیل a و b تحت تنش خشکی به یک نسبت کاهش یافت (احمدی و سی و سه مرده، ۱۳۸۳).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.4.3]

در پژوهش حاضر نیز میزان کاروتنوئید در ایستگاه بایع‌کلا با اعمال تیمار کم‌آبیاری بر اساس ۷۵ درصد نیاز آبی به‌طور غیرمعنی‌داری در مقایسه با روش آبیاری کامل افزایش یافت، اما با کاهش بیشتر میزان آبیاری (در تیمار آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی)، میزان این صفت کاهش یافت. نتایج مشابهی توسط نعمت‌الهی و همکاران (۱۳۹۲) گزارش شد که بیان داشتند در شرایط تنش خشکی، به علت کاهش آسیمیلاسیون کربن و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن، گیاه دچار تنش اکیسداتیو می‌شود. آن‌ها همچنین نقش کارتنوئیدها در دفاع آنتی‌اکسیدانی را بسیار مهم دانستند و ثابت کردند، گونه‌هایی که دارای محتوی کارتنوئید بالاتری هستند، در تنش اکسیداتیو ناشی از تنش آب، دفاع مؤثرتری خواهند داشت.

یافته‌های پژوهش حاضر حاکی از افزایش میزان کلروفیل برگ در تیمار تلقیح با قارچ بود. در همین راستا، یعقوبیان و همکاران (۱۳۹۱) نیز نشان دادند که همزیستی میکوریزایی و شبه‌میکوریزایی باعث افزایش میزان کلروفیل برگ گندم شد. این نتایج با گزارش‌های Aboghalia و Khalafallah (۲۰۰۸) و Beltrano و Ronco (۲۰۰۸) در گیاه گندم هم مطابقت دارد. جمع‌آوری بهتر گونه‌های اکسیژن فعال در تیمارهای تلقیح با قارچ، سبب کاهش تخریب رنگیزه‌های نوری و کلروفیل برگ می‌شود. علاوه بر این همزیستی قارچی از طریق جذب بهتر فسفر که به عنوان حامل انرژی در طی فتوسنتز است، اثر مثبتی بر مقدار کلروفیل برگ و رشد رویشی گیاه دارد (یعقوبیان و همکاران، ۱۳۹۱).

مطابق نتایج، با کاهش میزان آبیاری در ایستگاه قراخیل، میزان فلورسانس حداقل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد گیاه پس از قرارگیری در شرایط تنش‌زا و به‌منظور حفظ کارایی کوانتومی در فتوسیستم II (Zlatev and Yardanov, 2004)، میزان فلورسانس حداقل خود را کاهش می‌دهد. کاهش میزان فلورسانس حداقل بدین معناست که تثبیت کربن یا به عبارتی انتقال الکترون سریع‌تر آغاز شده است (Andrews *et al*., 1995). این در حالی است که Araus و همکاران (۱۹۹۸) بیان نمودند که تنش خشکی اثر معنی‌داری در فلورسانس حداقل ایجاد نمی‌کند که با نتایج پژوهش حاضر در ایستگاه بایع‌کلا مطابقت دارد. دلیل تفاوت نتایج در دو منطقه ممکن است به تفاوت در میزان بارندگی و میزان تشعشع دریافتی توسط گیاه در دو ایستگاه مربوط باشد. بر این اساس، میزان تشعشع در طول دوره رشد ذرت در ایستگاه بایع‌کلا با ۲۳/٤ مگا ژول بر مترمربع در روز و حدود ۱۲ درصد بیشتر از ایستگاه قراخیل بود (جدول ۱). در همین راستا، نتایج پژوهش Havaux و همکاران (۱۹۹۸) نشان داد که معمولاً تنش گرمایی به تنهایی و یا در ترکیب با تنش خشکی می‌تواند موجب انهدام و یا تخریب فتوسیستم II شده و نه‌تنها فلورسانس حداقل را کاهش نمی‌دهد بلکه ممکن است میزان آن را افزایش دهد.

مطابق با یافته‌های پژوهش حاضر، کاهش میزان فلورسانس حداکثر تحت تنش خشکی پیش‌تر برای لوبیا (Zlatev and Yardanov, 2004) و گندم (Zlatev, 2009) گزارش شده بود. همچنین، نتایج پژوهش حاضر حاکی از اثر مثبت تلقیح قارچ بر کارایی کوانتومی فتوسیستم II از طریق افزایش معنی‌دار میزان فلورسانس حداکثر است. مطابق گزارش Gitelson و همکاران (۱۹۹۹)، به تدریج و با افزایش احیا شدن مولکول‌های کوئینون (گیرنده الکترون فتوسیستم II)، فلورسانس افزایش می‌یابد. این روند تا احیای کامل مولکول‌های آن ادامه یافته و در چنین حالتی مرکز فتوسیستم در حالت احیای کامل بوده و دارای بیش‌ترین میزان فلورسانس حداکثر می‌باشد. آن‌ها گزارش کردند که هرچه سیستم دیرتر بسته شود، یعنی قادر باشد تعداد الکترون‌های بیشتری را بپذیرد، فلورسانس حداکثر آن بالاتر و سیستم کاراتر خواهد بود. به‌عبارتی، تحت تنش مختصر خشکی، تیمار همزیستی میکوریزا و شبه‌میکوریزا (به‌ویژه تیمار تلقیح همزمان) توانسته اثر مثبتی بر میزان فلورسانس متغیر و در نتیجه کارایی کوانتومی فتوسیستم II بر جای گذارد. کاهش میزان فلورسانس متغیر تحت تنش پیش‌تر توسط پژوهشگران گزارش شده بود (Yamasaki *et al*., 2002; Zlatev, 2009).

همسو با یافته‌های پژوهش حاضر گزارش گردید که هرچه میزان محتوی کلروفیل برگ بالاتر باشد، شرایط کلروفیل برای انتقال الکترون از فتوسیستم II بهتر خواهد بود و در نتیجه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.4.3]

موجب بالا رفتن عملکرد کوانتومی خواهد شد (Paknejad *et al*., 2007). بر این اساس، با توجه به اینکه میزان محتوای کلروفیل (کلروفیل a+b) در تیمار آبیاری بر اساس ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با آبیاری کامل کمتر بود، بنابراین احتمالاً یکی از دلایل کاهش پتانسیل عملکرد کوانتومی در سطح کم‌آبیاری افزایش بازدارندگی نوری به‌دلیل کاهش محتوای کلروفیل است. همچنین، پایین‌تر بودن نسبت Fv/Fm حاکی از کارایی کمتر فتوسیستم II و کاهش آن می‌تواند به دلیل افزایش در میزان F_o یا کاهش F_m و یا هر دو می‌باشد (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۲). نتایج این پژوهش نیز نشان داد کاهش این نسبت، ناشی از کاهش فلورسانس حداکثر بود. به‌عبارتی، محدودیت آبی اعمال شده موجب کاهش کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II در اثر کاهش فلورسانس حداکثر شد. بر این اساس، در ایستگاه بایع‌کلا به‌دلیل بیشتر بودن تعداد ساعات آفتابی و میزان تشعشع (جدول ۱) که منجر به تحمیل محدودیت آبی بیشتر در تیمارهای کم‌آبیاری گردید، میزان فلورسانس حداکثر و کارایی کوانتومی فتوسیستم II کاهش بیشتری در مقایسه با ایستگاه قراخیل داشت. این نتایج با نتایج ممنوعی و سید شریفی (۱۳۸۹) همخوانی دارد که دریافتند، کم آبیاری اثر معنی‌داری بر کارایی سامانه فتوسنتزی II گذاشته و با کاهش آبیاری مقدار F_v/F_m کاهش می‌یابد. Basu و همکاران (۱۹۹۸) با بررسی روی سیب زمینی نشان دادند که تنش خشکی سبب کاهش نسبت F_v/F_m شد. اما در بررسی دیگری روی گندم زمستانه، تغییری در نسبت F_v/F_m تحت شرایط تنش مشاهده نشد (Shangguan *et al*., 2000). پژوهشگران گزارش کردند که نسبت F_v/F_m به میزان ۰/۸۵ در شرایط بدون تنش به دست می‌آید و مقادیر کمتر از ۰/۸۵، حاکی از وجود انواع تنش های زنده و غیر زنده روی گیاهان می‌باشد (Kalaji and Gue, 2008). از آنجا که نتایج پژوهش حاضر نشان داد نسبت F_v/F_m حتی در گیاهان شاهد که در وضعیت آبی مناسبی بودند، کمتر از ۰/۸۵ بود، بنابراین می‌توان تأثیر برخی شرایط نامناسب کشت نظیر بالا بودن اسیدیته اشباع خاک (جدول ۲)، بر گیاه را محتمل دانست. در همین راستا، اسیدیته اشباع خاک مناسب جهت کشت ذرت، ٦/٥ تا ۷ گزارش شده است (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۹).

محققان بیان داشتند که اگرچه فتوسیستم II تا حد زیادی نسبت به خشکی مقاوم است، اما خشکی می‌تواند مانع انتقال الکترون در فتوسیستم II شده و سبب کاهش کارایی فتوستنز شود (Yordanov *et al*., 2003; Perez *et al*., 2007). کاهش در این نسبت می‌تواند به دلیل توسعه آهسته فرایندهای خاموشی فتوشیمیایی و آسیب نوری به مراکز واکنش باشد که هر دوی آن‌ها حداکثر کارایی کوانتومی فتوشیمیایی فتوسیستم دو را کاهش می‌دهند (Baker and Rosenqvist, 2004). هر چه اثر تخریبی تنش محیطی بر گیاه بیشتر باشد، از مقدار F_v/F_m به میزان بیشتری نسبت به شرایط مساعد فتوسنتزی کاسته می‌شود (قدمی فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۹٤)، که منطبق با نتایج حاصل در این پژوهش در تیمارهای عدم تلقیح است. در همین راستا، Sayed (۲۰۰۳) نیز بیان داشت که ژنوتیپ‌های با نسبت بالای F_v/F_m در شرایط تنش شدید کارایی فتوسنتزی بالاتری دارند. این در حالی است که Galle و همکاران (۲۰۰۲) نتایج متفاوتی ارایه نمودند. آن‌ها با اعمال تنش خشکی در کشت گلدانی گیاه گندم مشاهده کردند که تغییری در نسبت F_v/F_mبرگ‌های سازگار شده به تاریکی ایجاد نشد و نتیجه گرفتند که در طی تنش، کارآیی کوانتوم فتوسیستم II (F_v/F_m) کاهش نمی‌یابد. از سوی دیگر، یعقوبیان و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی گیاه گندم گزارش کردند که همزیستی میکوریزی می تواند اثرات مضر تنش خشکی روی عملکرد کوانتومی فتوسیستم II را کاهش دهد و در نتیجه باعث القای مقاومت به خشکی در گیاه شود. همچنین، پژوهشگران نیز گزارش کردند که در گیاهان بدون همزیستی میکوریزی، تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار کارایی کوانتومی فتوسیستم II (از ۸۳/. به ٦١/.) شد ولی در گیاهان تلقیح شده با قارچ *P. indica* کاهش معنی داری مشاهده نشد (Sun *et al*., 2010). در پژوهشی دیگر گزارش شد که تلقیح قارچ *G. mosseae* کارایی کوانتومی فتوسیستم II را در شرایط تنش خشکی بیشتر از شرایط مطلوب افزایش می‌دهد و در واقع از کاهش بیشتر این شاخص

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.4.3]

در اثر تنش خشکی جلوگیری می‌کند (Oyetunji *et al*., 2007)

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌شده فتوسیستم II (Y(NPQ)) با اعمال تیمارهای کم‌آبی افزایش می‌یابد که با یافته‌های Li و همکاران (۲۰۰۸) نیز همخوانی دارد. با این وجود، تیمارهای تلقیح با قارچ سبب کاهش معنی‌دار میزان این شاخص از ۲۲ درصد در ایستگاه قراخیل تا حدود ۳۳ درصد در ایستگاه بایع‌کلا گردید. در نتیجه‌ی آن، میزان کارایی کوانتومی فتوسیستم II در ایستگاه بایع‌کلا حدود سه درصد بیشتر از ایستگاه قراخیل بود که می توان آن را یکی از دلایل اصلی افزایش حدود ۱۱ و ۱۳ درصدی عملکرد دانه با تلقیح همزمان در تیمارهای کم‌آبیاری با ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی در مقایسه با آبیاری کامل در ایستگاه بایع‌کلا دانست. چراکه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II نسبت نور استفاده شده در فرایند فتوسنتز به کل نور جذب شده توسط کلروفیل را نشان می‌دهد و به‌طور مستقیم به سرعت اسیمیلاسیون CO_2 در برگ وابسته است و کاهش آن بیانگر کاهش سرعت فرآیند فتوسنتزی است (Li *et al*., 2008). از آنجایی‌که مهمترین تأثیر رابطه همزیستی با قارچ‌های میکوریزا و شبه‌میکوریزا، افزایش جذب عناصر معدنی به‌ویژه فسفر در گیاه میزبان می‌باشد (یعقوبیان و همکاران، ۱۳۹۲)، لذا دلیل مهم تفاوت در میزان اثربخشی همزیستی با قارچ در دو ایستگاه ممکن است به میزان فسفر قابل جذب خاک مربوط باشد که در ایستگاه بایع‌کلا در حدود ۳۱ درصد کمتر از ایستگاه قراخیل بود (جدول ۲). این تأثیر به‌ویژه در زمین‌های زراعی که فسفر محلول در خاک کم بوده یا در اثر خشکی ضریب پخشیدگی این عنصر بسیار کاهش یافته است، مشهودتر می‌باشد (اصلانی و همکاران، ۱۳۹۰).از سوی دیگر، قارچ‌های یاد شده حاوی مقدار قابل‌توجهی اسید فسفاتاز هستند که پتانسیل محلول‌سازی فسفر در خاک و فراهمی آن برای گیاه میزبان را دارند (Malla *et al*., 2004). بنابراین این قارچ‌ها در خاک‌های غنی از ماده آلی اثر بهتری دارند (یعقوبیان و همکاران، ۱۳۹۲). همان‌گونه که در ایستگاه بایع‌کلا با بیشتر بودن حدود ۱۲ درصدی میزان ماده آلی خاک در مقایسه با ایستگاه قراخیل (جدول ۲) اثربخشی بیشتری در همزیستی با قارچ مشاهده شد.

شاخص کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی غیرتنظیم‌شده فتوسیستم II (Y(NO)) تحت تنش کم‌آبی افزایش یافت. با این وجود، تیمار تلقیح همزمان موجب کاهش معنی‌دار آن نسبت به تیمار عدم تلقیح گردید. خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ) نیز با اعمال تیمار کم‌آبی با ۷۵ درصد نیاز آبی افزایش و سپس با کاهش بیشتر میزان آبیاری (تیمار کم‌آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی) افزایش یافت. در واقع، با افزایش بیشتر سطوح تنش، خاموشی غیرفتوشیمیایی نتوانست مازاد انرژی را دفع نماید و در نتیجه مولکول اکسیژن به‌عنوان پذیرنده الکترون عمل نموده و پس از اکسید، تولید رادیکال‌های آزاد می‌کند که این امر خشارت اکسیداتیو به غشاهای فیزیولوژیک را در پی دارد (اسدی‌نسب و همکاران، ۱۳۹۳). خاموشی غیرفتوشیمیایی در واقع شاخص مربوط به هدررفت گرمایی است و گستره‌ی معمول آن برای گیاه بین ۰/۵ تا ۳/۵ می‌باشد (Chaves *et al*., 2009) که در پژوهش حاضر از ۱/۰٦ تا ۲/۳٤ متغیر بود. افزایش این پارامتر بیانگر ظرفیت بالای چرخه گزانتوفیل و توانایی گیاه در دفع تنش از طریق هدر دادن انرژی به‌صورت گرما می‌باشد (Ort and Baker, 2002). افزایش این شاخص تحت تنش در ذرت (مومنی و همکاران، ۱۳۹۱)، چغندرقند (اسدی‌نسب و همکاران، ۱۳۹۳)، کلزا (Atlassi *et al*., 2009) و گندم (Abdeshahian *et al*., 2010) گزارش شده بود.

مطابق نتایج، هرچند میزان عملکرد دانه با کاهش میزان آبیاری مطابق نتایج سایر پژوهشگران (مسجدی و همکاران، ۱۳۸۷؛ لک، ۱۳۹۲)، کاهش یافت اما کاهش بیشتر عملکرد دانه از حدود ۲۲ درصد در ایستگاه بایع‌کلا به ۱۳ درصد در ایستگاه قراخیل در تیمار کم‌آبیاری با ۵۰ درصد نیاز گیاه را می‌توان به تفاوت‌های اقلیمی مانند کاهش حدود ۲۱ درصدی میزان بارندگی و افزایش حدود ۱۱ درصدی ساعات آفتابی در ایستگاه بایع‌کلا در طول فصل رشد ذرت در مقایسه با ایستگاه قراخیل دانست (جدول ۱) که منجر به افزایش میزان تبخیر آب و در نهایت کاهش بیشتر عملکرد شد. همچنین، در این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.4.3]

پژوهش تلقیح همزمان قارچ‌های *P. indica* و *G. mosseae* موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در هر دو ایستگاه گردید، به‌طوری‌که میزان این صفات در ایستگاه قراخیل در حدود ۸/۶ درصد بیشتر از تیمار عدم تلقیح بود. در ایستگاه قراخیل نیز، بیشترین میزان عملکرد دانه معادل ۱۰۳۰۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به ترکیب تیماری آبیاری کامل و تلقیح همزمان قارچ‌ها بود. نتایج مشابهی توسط سایر پژوهشگران گزارش شد (Verma *et al.*, 1998; Faramarzi *et al.*, 2012). همچنین، ثابت شد که تلقیح همزمان قارچ‌های *P. indica* و *G. mosseae*، عملکرد دانه گندم را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش می‌دهد (یعقوبیان و همکاران، ۱۳۹۲). در همین راستا گزارش شده است که تلقیح با قارچ سبب افزایش میزان عناصر مورد نیاز در گیاهان تلقیح شده می‌گردد. این امر به‌ویژه در شرایط تنش برای گیاهان دارای اهمیت زیادی است. همچنین گزارش شد که قارچ‌های *P. indica* و *G. mosseae* فراهمی عناصری مانند فسفر و نیتروژن در خاک را افزایش می دهد (Oelmuller *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2011). افزایش عملکرد دانه با کاربرد کود شیمیایی فسفره نیز در پژوهش حاضر ثبت گردید. در همین راستا، گزارش شد که عملکرد دانه ذرت متأثر از برهمکنش مدیریت‌های زراعی و عوامل محیطی بوده و تنش خشکی و کمبود عناصر غذایی از مهم‌ترین این عوامل می‌باشند (رفیعی، ۱۳۸۱). از سوی دیگر، بین کاربرد فسفر به‌میزان ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز گیاه در هر دو ایستگاه، اختلاف معنی‌داری از لحاظ عملکرد دانه مشاهده نشد که می‌توان آن را به قانون شلفورد نسبت داد که می‌گوید افزایش مقدار هر عنصر نیز برای موجودات محدودکننده است (اردکانی، ۱۳۸۶).

یافته‌های پژوهش حاضر در خصوص افزایش بهره‌وری مصرف آب با کاهش میزان آبیاری، با نتایج مجیدیان و همکاران (۱۳۸۷) مطابقت دارد. مطابق نتایج، کاربرد کود فسفره نیز موجب افزایش معنی‌دار بهره‌وری مصرف آب گردید. در همین راستا، کریمی و همکاران (۱۳۸۵) بیان کردند که علاوه بر آب، تأمین و عرضه عناصر غذایی گیاه و به‌صورت متعادل برای نیل به عملکرد مطلوب محصولات کشاورزی ضرورت دارد. آن‌ها افزایش کارایی مصرف آب را مرتبط با مصرف بهینه کود دانستند. همچنین، افزایش کارایی آب در گیاهان همزیست-شده با قارچ توسط پژوهشگران گزارش شده بود (Aliabadi Farahani *et al.*, 2008 ; Nagarathna *et al.*, 2007).

به‌طور کلی، کاهش میزان کلروفیل و برخی شاخص‌های مرتبط با فلورسانس نظیر کارایی کوانتومی فتوسیستم II و افزایش کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌شده فتوسیستم II و کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی غیرتنظیم‌شده فتوسیستم II نشان‌دهنده‌ی بروز تنش در گیاه در اثر کاربرد روش‌های کم‌آبیاری است. با این وجود، میزان بهره‌وری مصرف آب در روش‌های کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری بیشتر از روش آبیاری کامل بود. همچنین، با توجه به اینکه در پژوهش حاضر تأثیر تلقیح با قارچ‌های *P. indica* و *G. mosseae* بر برخی از صفات اندازه‌گیری شده تأثیر مثبت قابل‌توجهی نسبت به تیمار شاهد داشته است، بنابراین به‌نظر می‌رسد همزیستی با قارچ می‌تواند اثرات مضر تنش کم‌آبی روی میزان رنگیزه‌های برگ و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II را از طریق کاهش آسیب به مراکز واکنشی فتوسیستم کاهش داده و در نتیجه باعث القای مقاومت به خشکی در گیاه شود.

منابع

احمدی، ع. و سی و سه مرده، ع. (۱۳۸۳) اثر تنش خشکی بر کربوهیدرات‌های محلول، کلروفیل و پرولین در چهار رقم گندم سازگار با شرایط متفاوت اقلیمی ایران. مجله علوم کشاورزی ایران ۵(۳): ۷۶۳-۷۵۳.

اردکانی، م ر. (۱۳۸۶) اکولوژی. انتشارات دانشگاه تهران.

اسدی‌نسب، ن. حسیبی، پ. روشنفکر، ح. و مسکرباشی، م. (۱۳۹۳) اثر تنش شوری بر رشد، فتوسنتز، تبادلات گازی و فلئورسانس کلروفیل در ارقام چغندرقند در مرحله گیاهچه‌ای تحت شرایط کنترل شده. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۱۲(٤): ۶۳۱-۶۲۱.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.4.3]

اصلانی، ز. حسنی، ع. رسولی صدقیانی، م. سفیدکن، ف. و برین، م. (۱۳۹۰) تأثیر دو گونه قارچ آربوسکولار مایکوریزا (*Glomus mosseae* و *Glomus intraradices*) بر رشد، مقادیر کلروفیل و جذب فسفر در گیاه ریحان تحت شرایط تنش خشکی. فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۷(۳): ۴۸۶-۴۷۱.

حسنی، ز. پیردشتی، ه. یعقوبیان، ی. و نوری، م ز. (۱۳۹۳) کاربرد تکنیک فلورسانس کلروفیل برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به سرمای هوا و آب در گیاه برنج. مجله سلول و بافت ۵(۲): ۲۰۶-۱۹۵.

حیدری، م. و کرمی، ا. (۱۳۹۲) تأثیر تنش خشکی و سویه‌های مایکوریزا بر عملکرد و رنگیزه‌های فتوسنتزی آفتابگردان. مجله تنش‌های محیطی در گیاهان زراعی ۶(۱): ۲۶-۱۷.

خیری شلمزاری، ک. و برومندنسب، س. (۱۳۹۲) تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب A200 روی خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک سیلتی لوم. علوم و مهندسی آبیاری ۳۶(۴): ۷۱-۶۳.

دری، م ع. کامکار، ب. اقدسی، م. و کمشی‌کمر، ا. (۱۳۹۴) اثر تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی ماریتیغال در شرایط آب و هوایی استان گلستان. نشریه تولید گیاهان زراعی ۸(۴): ۸۶-۶۷.

رفیعی، م. (۱۳۸۱) اثرات تنش کمبود آب، روی و فسفر بر شاخص‌های رشد و عملکرد کمی و کیفی ذرت دانه‌ای. پایان‌نامه دکتری تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات اهواز، ایران.

صادقی شعاع، م. پاک‌نژاد، ف. شهباز پناهی، ب. نصری، م. و میرالی، م. (۱۳۹۱) بررسی تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری بر پارامترهای فلورسانس، محتوی کلروفیل و رطوبت نسبی ژنوتیپ‌های گندم. دوازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران.

طباطبایی، س ع. شاکری، ا. و نصیری، ح. (۱۳۹۳) تأثیر شیوه‌های مختلف آبیاری و مقادیر کود دامی بر ذرت دانه‌ای رقم سینگل‌کراس ۷۰۴. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۱۲(۴) ۷۷۵-۷۶۶.

عباسی، ف. ناصری، ا. سهراب، ف. باغانی، ج. عباسی، ن. و اکبری، م. (۱۳۹۴) ارتقای بهره‌وری مصرف آب. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

عربی یزدی، ا. علیزاده، ا. و محمدیان، ف. (۱۳۸۸) بررسی ردپای اکولوژیک آب در بخش کشاورزی ایران. نشریه آب و خاک ۲۳ (۴): ۱۵-۱.

قاسمی، م. ارزانی، ک. یدالهی، ع. حکم‌آبادی، ح. (۱۳۹۲) اثر تنش خشکی بر فلورسانس، مقدار و شاخص کلروفیل چهار پایه دانهالی پسته. نشریه پژوهش آب در کشاورزی ۲۷(۴): ۴۸۶-۴۷۵.

قدمی فیروزآبادی، ع. شاهنظری، ع. رائینی سرجاز، م. زارع ابیانه، ح. (۱۳۹۴) اثر کم‌آبیاری تنظیم شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه بر عملکرد، فلورسانس کلروفیل و پارامترهای رشد آفتابگردان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی ۲۹(۲): ۱۶۹-۱۵۸.

کریمی، ا. همایی، م. معز اردلان، م. لیاقت، ع م. و رییسی، ف. (۱۳۸۵) اثر کود -آبیاری بر عملکرد و کارآیی مصرف آب در ذرت به روش آبیاری قطره‌ای- خطی. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی ۱۲(۳): ۵۷۵-۵۶۱.

لک، ش. (۱۳۹۲) ارزیابی صفات فیزیولوژیکی مؤثر بر عملکرد دانه ذرت در سطوح مختلف آبیاری، نیتروژن و تراکم بوته. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی ۵(۱۹): ۳۳-۱۷.

مجیدیان، م. قلاوند، ا. کریمیان، ن ع. و کامکار حقیقی، ع ا. (۱۳۸۷) تأثیر تنش رطوبت، کود شیمیایی نیتروژنه، کود دامی و تلفیقی از کود نیتروژن و کود دامی بر عملکرد، اجزاء عملکرد و راندمان استفاده از آب ذرت سینگل کراس ۷۰۴ . مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۲(۴۵): ۴۳۲-۴۱۷.

مسجدی، ع. شکوه‌فر، ع. و علوی فاضل، م. (۱۳۸۷) تعیین مناسب‌ترین دور آبیاری ذرت تابستانه و بررسی اثر تنش خشکی بر محصول

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.4.3]

با استفاده از اطلاعات تشتک تبخیر کلاس A. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ٤٦(ب): ٥٥١-٥٤٣.

ممنوعی، ا. و سیدشریفی، ر. (۱۳۸۹) بررسی اثر کمبود آب بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و میزان پرولین در شش ژنوتیپ جو و رابطه آن با دمای آسمانه (Canopy) و عملکرد. مجله زیست شناسی گیاهی۲(۵): ٦٢-٥١.

مومنی، ن. آروین، م ج. خواجویی‌نژاد، غ. کرامت، ب. دانشمند، ف. (۱۳۹۱) اثر کلرید سدیم و سالیسیلیک اسید بر برخی شاخص‌های فتوسنتزی و تغذیه معدنی گیاه ذرت. زیست‌شناسی گیاهی ۵(۱۵): ۳۰-۱۵.

نعمت‌اللهی، ا. جعفری، ع. باقری، ع. (۱۳۹۲) اثر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید روی رنگدانه‌های فتوسنتزی و جذب عناصر غذایی ارقام زراعی آفتابگردان. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی ۵(۱۲): ۵۱-۳۷.

نورمحمدی، ق. سیادت، س ع. کاشانی، ع. (۱۳۸۹) زراعت غلات. انتشارات دانشگاه شهید چمران.

یداللهی ده‌چشمه، پ. باقری، ع ا. امیری، ا. و اسمعیل‌زاده بهابادی، ص. (۱۳۹۳) اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی کیتوزان بر عملکرد و رنگیزه‌های فتوسنتزی در آفتابگردان. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی ۲۱: ۸۳-۷۳.

یعقوبیان، ی. پیردشتی، ه. محمدی گل‌تپه، ا. فیضی اصلی، و. و اسفندیاری، ع. (۱۳۹۱) ارزیابی واکنش گندم دیم رقم آذر ۲ به همزیستی با قارچ‌های میکوریزای آربوسکولار و شبه میکوریزا در سطوح مختلف تنش خشکی. بوم‌شناسی کشاورزی ٤(۱): ۷۳-٦۳.

یعقوبیان، ی. خلیل عالمی، س. پیردشتی، ه. محمدی گل‌تپه، ا. فیضی‌اصل، و. و اسفندیاری، ع. (۱۳۹۲) اثر قارچ‌های *Glomus mosseae* و *Piriformospora indica* و سطوح مختلف مواد آلی بر روابط بین صفات مرتبط با عملکرد گندم. تحقیقات غلات ۳(۳): ۲۲٦-۲۱۱.

Abdeshahian, M. Nabipour, M. and Meskarbashee, M. (2010) Chlorophyll fluorescence as criterion for the diagnosis salt stress in wheat (*Triticum aestivum*) plants. International Journal of Biomedical Engineering and Technology 3(4): 184-186.

Aboghalia, H. H. and Khalafallah, AA. (2008) Responses of wheat plants associated with arbuscular mycorrhizal fungi to short-term water stress followed by recovery at three growth stages. Journal of Applied Sciences Research 4(5): 570-580.

Aliabadi Farahani, H. Lebaschi, H. Hussein, M. Shiranirad, A. Valadabadi, A. and Daneshian, J. (2008) Effect of arbuscul mycorrhizal fungi different levels of phosphorus and drought stress on water use efficiency relative water content and praline accumulation rate of coriander (*Coriandrum Sativum* L.). Journal of Medicinal Plants Research 2(6): 125-131.

Andrews, J. R. Fryer, M. J. and Baker, N. R. (1995) Characterization of chilling effects on photosynthetic performance of maize crops during early season growth using chlorophyll fluorescence. Journal of Experimental Botany 46: 1195-1203.

Antolin, M. C. Yoller, J. and Sanchez-Diaz, M. (1995) Effect of temporary drought on nitrate-fed and nitrogen fixing alfalfa plants. Plant Science 107:159-165.

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 conditions. Field Crops Research 55: 209-223.

Ashraf, M. Y. Azmi, A. R. Khan, A. H. and Ala, S. A. (1994) Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. Acta Physiologiae Plantarum 16(3): 18 5-191

Atlassi Pak, V. Nabipour, M. and Meskarbashee, M. (2009) Effect of salt stress chlorophyll content, fluorescence, Na and K content in rape plants (*Brassica napus* L.). Asian Joutnal of agricultural 3(2):28-37.

Bacelar, E. A. Santaos, D. L. Moutinho-Pereira, J. M. Lopes, J. I. Goncalves, B. C. Ferreira, T. C. and Correia, C. M. (2007) Physiological behaviour, oxidative damage and antioxidative protection of olive trees grown under different irrigation regimes. Plant and Soil 292: 1–12.

Baker, N. R. (2008) Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis *in vivo*. Annual Review of Plant Physiology 59: 89-113.

Baker, N. R. and Rosenqvist, E. (2004) Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. Journal of Experimental Botany 55: 1607-1621.

Bakhshandeh, E. Rahimian, H. Pirdashti, H. and Nematzadeh, G. A. (2015) Evaluation of phosphate-solubilizing bacteria on the growth and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) cropped in northern Iran. Journal of Applied Microbiology 119: 1371-1382.

Basu, P. S. Ashoo, S. Sukumaran, N. P. and Sharma, A. (1998) Changes in photosynthetic rate and chlorophyll florescence in potato leaves induced by water stress. Photosynthetica 35: 13-19.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.4.3]

Beltrano, J. and Ronco, M. G. (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.

Bo, Sh. Jing, J. Wei Dong, Y. Yeyang, F. and Jieyun, Zh. (2009) QTL analysis of chlorophyll fluorescence parameters in rice seedling under salt stress. Chin. J. Rice. Sci 23(3): 319-322.

Chaves, M. Flaxes, J. and Pinheiro, C. (2009) Photosynthesis under drought and salt stress regulation mechanism from whole plant to cell. Annals of Botany 103: 551-556.

Demir S. (2004). Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological, growth parameters of pepper. Turkish Journal of Biology 28: 85-90.

Estill, K. Delany, R. H. Smith, W. K. and Ditterline, R. L. (1991) Water relations and productivity of alfalfa leaf chlorophyll variants. Crop Science 31: 1229 –1233.

FAO. (2015) FAOSTAT/Productionstat/ Crops [Online]. Available at http://Faostat.Fao.Org/Site/567/Default. aspx. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Faramarzi, A. Noormohamadi, G. Ardakani, M. R. Darvish, F. and Khorshidi Benam, M. B. (2012) Effect of mycorrhiza inoculation and application of different phosphorus fertilizer levels on yield and yield components of corn (cv. KSC647) in Miyaneh region, Iran. Journal of Food, Agriculture & Environment 10 (1): 320-322.

Fereres, E. and Soriano, M. A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Journal of Experimental Botany 58: 147–159.

Galle, A. Csiszar, J. Tari, I. and Erdei, L. (2002) Changes in water and chlorophyll fluorescence parameters under osmotic stress in wheat cultivars. Proceedings of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology. Budapest, Hungray.

Genty, B. Briantais, J. M. and Baker, N. R. (1989) The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and photochemical quenching of chlorophyll fluorescence. Biochimica et Biophysica Acta 990: 87–92.

Gitelson, A. A. Buschmann, C. and Lichtenthaler, H. K. (1999) The chlorophyll fluorescence ratio F735/F700 as an accurate measure of the chlorophyll content in plants. Remote Sensing of Environment 69: 296-302.

Golbashy, M. Ebrahimi, M. Khavari Khorasani, S. and Choucan, R (2010) Evaluation of drought tolerance of some corn (*Zea mays* L.) hybrids in Iran. African Journal of Agricultural Research 5(19): 2714-2719.

Havaux, M. Emez, M. and Lannoye, R. (1998) Selection de varieties de ble dur (*Triticum durum* Desf.) et de ble tender (*Triticum aestivum* L.) adapted a la secberesse par I mesure de I extinction de la et de ble tender (*Triticum aestivum* L.) adapted a la secberesse par I mesure de I extinction de la fluorescence de la chlorophylle in viva. Agronomie 8(3): 193-199.

Inze, D. and Montagu, M. V. (2000) Oxidative stress in plants. T J International Ltd, Padstow, Cornawall. Great Britain.

Kalaji, H. M. and Guo, P. (2008) Chlorophyll fluorescence: a useful tool in barley plant breeding programs. In: Photochemistry Research in Progress (eds. Sanchez, A. Guttierez, S. J.) Pp. 439-463. Nova, New York.

Khan, A. A. Jilani, G. Akhtar, M. S. Naqvi, S. M. S. and Rasheed, M. (2009) Phosphorus solubilizing bacteria: occurrence, mechanisms and their role in crop production. Journal of Agricultural and Biological Science 1:48-58.

Klughammer, C. and Schreiber, U. (2008) Complementary PSII quantum yields calculated from simple fluorescence parameters measured by PAM fluorometry and the saturation pulse method. PAM Application Notes 1: 27-35.

Lawlor, D. W. and Cornic, G. (2002) Photosynthenic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell and Environment 25:275-294.

Li, G. M. Liu, B. B. Wu, Y. and Zou, Z. R. (2008) Interactive effects of drought stresses and elevated CO2 concentration on photochemistry efficiency of cucumber seedlings. Journal of Integrative Plant Biology 50(10): 1307-1317.

Malla, R. A. Singh, M. D. Zeyaullah, V. Yadav, A. Verma, A. and Rai, M. (2002) *Piriformospora indica* and plant growth promoting rhizobacteria: an appraisal. Frontiers of Fungal Diversity inIndia (Prof. Kamal Festscrift). International Book Distributing Co. Lucknow, India.

Maxwell, K. and Johnson, G. N. (2005) Chlorophyll fluorescence-a practical guide. Journal of Experimental Botany 51(345): 659-668.

Mehata, P. Jajoo, A. Mathur, S. and Bharti, S. (2010) Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on photosystem II in wheat leaves. Plant Physiology and Biochemistry 48(1): 16-20.

Mobasser, H. R. Moradgholi, A. Mehraban, A. and Koohkan, S. (2012) Investigation of mycorrhizal effect on agronomic traits and protein percent of corn varieties in Sistan. International Journal of AgriScience 2(2): 108-119.

Monakhova, O. F. and Chernyadev, I. I. (2002) Protective role of kartolin-4 in wheat plants exposed to soil drought. Applied Environmental Microbiology 38: 373–380.

Nagarathna, T. K. Prasad, T. G. Bagyaraj, D. J. and Shadakshar, Y. G. I. (2007) Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus levels on growth and water use efficiency in sunflower at different soil moisture stress. Journal of Agricultural Technology 3(2): 221-229.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.4.3]

Oelmuller, R. Sherameti, I. Tripathi, S. and Varma, A. (2009) *Piriformospora indica*, a cultivable root endophyte with multiple biotechnological applications. Symbiosis 49:1-17.

Ort, D. R Baker, N. R. (2002) A photoprotective role for O_2 as an alternative electron sink in photosynthesis. Current Opinion in Plant Biology 5: 193–198.

Oyetunji, O. J. Ekanayake, I. J. and Osonubi, O. (2007) Chlorophyll fluorescence analysis for assessing water deficit and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Advances in Biological Research 1(3-4):108-117.

Paknejad, F. Nasri, M. Tohidi Moghadam, H. R Zahedi, H. and Jami Alahmad, M. (2007) Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. Journal of Biological Sciences 7:841-847.

Park, J. Bolan, N. Megharaj, M. and Naidu, R. (2010) Isolation of phosphate-solubilizing bacteria and characterization of their effects on lead immobilization. Pedologist 53:67-75.

Perez, J. G. Syvertsen, J. P. Botia, P. and Sanchez, F. G. (2007) Leaf water relations and net gas exchange responses of salinized *Carrizo citrange* seedlings during drought stress and recovery. Annals of Botany 100: 335–345.

Porra, R J. (2002) The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. Photosynthesis Research 73: 149-156.

Roháček, K. Soukupová, J. and Barták, M. (2008) Chlorophyll fluorescence: A wonderful tool to study plant physiology and plant stress. In Schoefs B, (eds). Plant Cell Compartments - Selected Topics. Research Signpost, Kerala, India.

Sayed, O. H. (2003) Chlorophyll flourscence as a tool in cereal research. Photosynthetica 3: 321-330.

Shamsi, K. (2010) The effect of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrate and cholorophyll of bread wheat cultivars. Journal of Animal and Plant 3: 1051-1060.

Shangguan, F. J. Shao, M. and Dyckmans, J. (2000) Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat. Journal of Plant Physiology 156: 45-51.

Singh M.P., Chaturvedi A. K. and Shah D. (2014). Photosynthetic carbon assimilation and grain yield in contrasting rice genotypes under elevated CO_2 in face and otc. 4th International Rice Congress. Thailand.

Sun, Ch. Johnson, J. M. Cai, D. Sherameti, I. Oelmüller, R. and Lou, B. (2010) Piriformospora indica confers drought tolerance in Chinese cabbage leaves by stimulating antioxidant enzymes, the expression of drought-related genes and the plastid-localized CAS protein. Journal of Plant Physiology 167:1009-1017.

Verma, S. Varma, A. Rexer, K. H. Kost, G. Sarbhoy, A. Bisen, P. Butehorn, B. and Franken, P. (1998) *Piriformospora indica* gen. et sp. Nov., A new root-colonizing fungus. Mycologia 95: 896-903.

Vessey, J. K. (2003) Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil 255: 571-86.

Voleti, S. R. Singh, V. P. and Uprety, P.C. (1998) Chlorophyll and proline as affected by moisture stress in young and mature left tissues of Brassica carinata hybrids and their plants. Journal of Agronomy and Crop Science 180:123-126.

Wang, F. R. Mao, K. K. Li, G. L. Wu, C. C. Zhang, H. J. and Li, D. Y. (2011) *Piformospora indica* and its related species Sebacina vermifera promote growth and development and phosphorus nutrition in tomato. Journal of Zhejiang University. Agriculture & Life Science 37(1): 61-68.

Yaghoubian, Y. Mohammadi Goltapeh, E. Pirdashti, H. Esfandiari, E. Feiziasl, V. Kari Dolatabadi, H. Varma, A. and Haryani Hassim, M. (2014) Effect of *Glomus mosseae* and *Piriformospora indica* on growth and antioxidant defence responses of wheat plants under drought stress. Agricultural Research 3(3): 239-245.

Yamasaki, T. Yamakawa, T. Yamane, Y. Koike, H. Satoh, K. and Katoh, S. (2002) Temperature acclimation of photosynthesis and related changes in photosystem II electron transport in winter wheat. Plant Physiology 128: 1087-1097.

Yao, X. Chu, J. and Wang, G. (2009) Ef-fects of drought stress and selenium Supply on growth and physiological characteristics of wheat seedlings. Acta Physiologiae Plantarum 31: 1031–1036.

Yordanov, I. Velikova, V. and Tsonev, T. (2003) Plant responses to drought and stress tolerance. Bulgarian Journal of Plant Physiology Special Issue: 187-206.

Zhao, T. J. Liua, Y. Yan, Y. B. Feng, F. Liu, W. Q. and Zhou, H. M. (2007) Identification of the amino acids crucial for the activities of drought responsive element binding factors (DREBs) of *Brassica napus*. Federation of European Biochemical Societies 581: 3044-3050.

Zlatev, Z. (2009) Drought-induced changes in chlorophyll fluorescence of young wheat plants. Biotechnology & Biotechnological Equipment 23(4): 438-441.

Zlatev, Z. and Yardanov, I. T. (2004) Effect of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. Bulgarian Journal of Plant Physiology 30 (3-4): 3– 18.

Zhu, F. Qu, L. Hong, X. and Sun, X. (2011) Isolation and characterization of a phosphate-solubilizing halophilic bacterium *Kushneria* sp. YCWA18 from Daqiao Saltern on the coast of Yellow Sea of China. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.4.3]