فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۲، مهر و آبان‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۱۰۹-۱۲۴
https://doi.org/10.22034/13.62.109

مقاله پژوهشی

تأثیر قارچ میکوریز و اسید هیومیک بر محتوای اسمولیت‌های سازگار، هدایت روزنه‌ای، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و برخی صفات گندم نان در شرایط محدودیت آبی

شهرام شاهمارزاده و رئوف سید شریفی*

گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۳/۰۱)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر قارچ میکوریز و اسید هیومیک بر محتوای اسمولیت‌های سازگار، هدایت روزنه‌ای، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و برخی صفات گندم نان در شرایط محدودیت آبی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. عامل‌های مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل آبستنی و خوشه‌دهی به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت شدید و ملایم آبی معادل با کد ۴۳ و ۵۵ مقیاس HCBB) و کاربرد قارچ میکوریز و اسید هیومیک در هشت سطح (کاربرد میکوریز *Glomus intraradices*، میکوریز *G. mosseae*، کاربرد توأم دو قارچ، کاربرد اسید هیومیک، کاربرد میکوریز *G. intraradices* با اسید هیومیک، کاربرد *G. mosseae* با اسید هیومیک، کاربرد همزمان دو قارچ و اسید هیومیک، عدم کاربرد میکوریز و اسید هیومیک به‌عنوان شاهد) بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد توأم دو قارچ با اسید هیومیک، هدایت روزنه‌ایی و محتوای نسبی آب را (به‌ترتیب ۶۰ و ۴۷/۱ درصد) نسبت به عدم کاربرد میکوریز و اسید هیومیک افزایش داد. همچنین محدودیت شدید آبی، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز را همراه با عملکرد دانه در مقایسه با عدم کرت‌های تلقیح نشده بدون کاربرد اسید هیومیک، به‌ترتیب ۳۸، ۲۵/۴، ۸۳ و ۲۴ درصد در همین سطح از آبیاری افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: اسمولیت‌های سازگار، اسید هیومیک، محدودیت آبی، میکوریز

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) از مهمترین منابع تأمین‌کننده نیاز غذایی انسان است که در محدوده وسیعی از شرایط اقلیمی تولید می‌شود. در حال حاضر کمبود منابع آبی از مهمترین محدودیت‌های بخش کشاورزی بوده و نظر بر این است که تنش آبی بر بیش از ۶۰ درصد اراضی کشاورزی اثرگذار است (اسدی، ۱۳۹۶).

افزایش جمعیت و کاهش منابع آبی قابل دسترس به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک و نیاز به منابع غذایی بیشتر برای تغذیه جمعیت رو به رشد، ضرورت استفاده از راهکارهای لازم برای بهبود عملکرد تحت شرایط کم آبی را امری اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. یکی از راهکارهای مناسب برای مقابله با محدودیت آبی، کاربرد کودهای زیستی و آلی است (سید شریفی و نامور، ۱۳۹۴). قارچ‌های میکوریز در خاک‌های

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: raouf_ssharifi@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.109]

معدنی فاقد هوموس و فقیر از نظر فسفر، نیتروژن و سایر عناصر غذایی، نقش مهمی در تأمین عناصر غذایی برای گیاه میزبان داشته و شستشوی این مواد را با توسعه منطقه جذب سطحی مواد غذایی، کاهش می‌دهند. این قارچ‌ها می‌توانند فسفر غیرقابل جذب را به‌فرم قابل دسترس گیاه تبدیل نموده و در افزایش عملکرد و بهبود مقاومت در برابر خشکی نقش اساسی ایفا نمایند (Smith and Read, 2008). همچنین ریسه‌های میکوریز امکان دسترسی بهتر گیاه به آب را با واکنش‌هایی از قبیل افزایش هدایت هیدرولیکی آب در داخل گیاه، تنظیم اسمزی و کمک به پایداری پتانسیل آب سلولی، میسر می‌سازند (Auge, 2004; Davies *et al*., 2002).

گیاهان میکوریزی سطح بالایی از هدایت روزنه‌ای نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی دارند و با سنتز تنظیم‌کننده‌های اسمزی مانند قندهای محلول و پرولین، تأثیر مثبتی در تعدیل اثر تنش، جذب یون‌های معدنی محلول (Sanchez-Blanco *et al*., 2001) و تعادل آبی گیاه در شرایط تنش و بدون تنش دارند ولی بیشترین تأثیر آنها در شرایط تنش است (Auge, 2001).

در بررسی اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزی آربوسکولار در شرایط تنش رطوبتی در گندم، گزارش شده است که همزیستی مایکوریزایی در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش خشکی می‌تواند رشد رویشی و زایشی گیاه را افزایش دهد (Abo-Ghalia and Khalafallah, 2008). برخی نیز اظهار داشتند که میکوریز از طریق ایجاد شبکه گسترده هیفی در داخل خاک و در محیط ریزوسفر، موجب جذب عناصر فسفر، نیتروژن، روی، مس و انتقال این عناصر به گیاه میزبان می‌شود (Asrar and Elhindi, 2011). بررسی‌های Mohammad و همکاران (۱۹۹۸) نشان داد استفاده از قارچ میکوریز در گندم، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شد. برخی پژوهشگران نشان دادند که گیاهان میکوریزی در دوره‌های خشکی، بهتر از گیاهان غیرمیکوریزی CO_2 را جذب می‌نمایند و در پتانسیل‌های پایین‌تر خاک نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی، روزنه‌های خود را باز نگه می‌دارند (Trent *et al*., 1998). آگاهی و همکاران (۱۴۰۱) در ارزیابی کارایی همزیستی دو نوع قارچ *G. mosseae* با *G. intraradices* بر عملکرد و برخی صفات عدس دیم، کاربرد توأم دو نوع قارچ را بهتر از کاربرد تک‌تک آنها گزارش کردند. در ارتباط با تأثیر محدودیت آبی و قارچ میکوریز بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و اسمولیت‌های سازگار، Kheirizadeh Arough و همکاران (۲۰۱۶) بیشترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، پلی‌فنول اکسیداز، محتوی پرولین و قندهای محلول در تریتیکاله را، در کاربرد میکوریز در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی گزارش کردند. محققان گزارش کردند کمبود آب سبب کاهش عملکرد دانه کنجد شد، ولی زمانی‌که بذرهای این گیاه با قارچ میکوریز همزیست شدند عملکرد دانه به‌دلیل کاهش اثرات ناشی از تنش آبی، به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت (Gholinezhad *et al*., 2020).

یکی دیگر از ترکیباتی که در اصلاح ساختار خاک و بهبود مقاومت گیاهان در شرایط محدودیت آبی نقش مهمی دارد اسید هیومیک است که از تجزیه مواد آلی در خاک حاصل می‌شود. این ماده شبیه یک چسب آلی عمل کرده و ذرات مواد معدنی خاک را به‌هم چسبانده و ضمن ایجاد گرانول‌های درشت‌تر، فضای مناسبی برای موجودات داخل خاک و نفوذ بهتر هوا و آب در منطقه ریشه فراهم می‌کند (Ayas and Gulser, 2005). مولکول‌های اسید هیومیک با پیوند با مولکول‌های آب، تا حدود زیادی تبخیر آب از خاک و تعرق از گیاه را، کاهش داده و به حفظ آب در درون گیاه کمک می‌کنند (Bronick and Lai, 2005). همچنین اسید هیومیک موجب سرعت بخشیدن به تقسیم سلولی و رشد بیشتر ریشه گیاه شده و این موضوع می‌تواند اثر مخرب تنش خشکی را کاهش دهد (Maccarthy, 2001). برخی معتقدند اسید هیومیک با افزایش نفوذپذیری سلول‌های ریشه، به جذب بهتر مواد غذایی و توسعه بیشتر گیاه کمک می‌نماید (Dursun *et al*., 2002). در همین راستا، برخی محققان گزارش کردند که اسید هیومیک سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گندم دوروم، باروری سنبله و محتوی پروتئین دانه شد (Delfine *et al*.,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.109]

2005). نتایج بررسی دیگری نشان داد اسید هیومیک، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه گندم نان را افزایش داد (Kaya *et al.*, 2005). اظهار شده است که اسید هیومیک دسترسی به فسفر و سایر عناصر غذایی را افزایش داده و موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گندم بهاره شد (Jones *et al.*, 2004). برخی اظهار داشتند محلول‌پاشی اسید هیومیک موجب افزایش وزن هزار دانه، ارتفاع بوته و عملکرد دانه گندم شد (Manal *et al.*, 2016). بررسی‌های Mahmoodi Zoeek و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد محلول‌پاشی اسید هیومیک درگندم از طریق مداخله در فعالیت آنزیمی به‌منظور افزایش توان ساخت پروتئین در گیاه، شرایط مناسبی را برای گیاه جهت بهبود فتوسنتز و افزایش عملکرد دانه فراهم می‌سازد. دیگر محققان نیز گزارش کردند کاربرد ورمی‌کمپوست و اسید هیومیک با توسعه اندام‌های هوایی و افزایش فتوسنتز، موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۴). برخی محققان علل افزایش عملکرد دانه گندم در کاربرد اسید هیومیک و میکوریز را، به بهبود شاخص کلروفیل و مؤلفه‌های پرشدن دانه نسبت دادند (شاهمارزاده و همکاران، ۱۴۰۰).

اهمیت گندم به عنوان یکی از گیاهان راهبردی کشور و نقش محدودیت آبی در کاهش عملکرد این گیاه در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک و از طرفی تأثیر اسید هیومیک و قارچ‌های میکوریزی در تعدیل بخشی از اثرات ناشی از محدودیت آبی و بررسی‌های محدود انجام‌شده در خصوص برهمکنش توأم این عوامل، از جمله مواردی بودند که موجب شد تا اثر قارچ‌های میکوریزی و اسید هیومیک بر محتوای اسمولیت‌های سازگار، هدایت روزنه‌ای، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و برخی صفات گندم در شرایط محدودیت آبی مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. عامل‌های آزمایشی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل، قطع آبیاری در مراحل آبستنی و خوشه‌دهی به ترتیب معادل کد ۴۳ و ۵۵ مقیاس BBCH) و کاربرد میکوریز و اسید هیومیک در هشت سطح (کاربرد میکوریز *Glomus intraradices*، میکوریز *G. mosseae*، کاربرد توأم دو قارچ، کاربرد اسید هیومیک، کاربرد میکوریز *G. intraradices* با اسید هیومیک، کاربرد *G. mosseae* با اسید هیومیک، کاربرد همزمان دو قارچ و اسید هیومیک، عدم کاربرد میکوریز و اسید هیومیک به‌عنوان شاهد) بود. اسید هیومیک با غلظت یک در هزار (بر اساس توصیه شرکت تولیدکننده) در دو مرحله پنجه‌زنی و قبل از آبستنی (معادل کد ۳۰ و ۴۴ مقیاس BBCH) محلول‌پاشی شد. اسید هیومیک مورد استفاده دارای ۶۰ درصد اسید هیومیک، پنج درصد فولویک اسید، یک درصد نیتروژن، یک درصد کلسیم، ۰/۱۵ درصد منیزیم، ۱۲ درصد پتاسیم و ۰/۵ درصد آهن بود. دو نوع قارچ *G. mosseae* و *G. dicesintrara* از شرکت زیست‌فناوران توران تهیه و به روش استاندارد و توصیه‌شده (Gianinazzi *et al.*, 2001) و به مقدار ۲۰ گرم در هر مترمربع خاک (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به هنگام کاشت بذر استفاده شد. تعداد اسپور زنده در هر گرم قارچ مورد استفاده حدود ۱۰۰ اسپور بود. عملیات خاک‌ورزی شامل شخم توسط گاوآهن برگردان‌دار، دیسک و لولر بود. در این بررسی از گندم رقم کاسکوژن که از ارقام تیپ پاییزه، سازگار با آب و هوای مناطق سردسیری و حساس به کم‌آبی است استفاده شد (قائمی بایگی و همکاران، ۱۳۹۲). هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول دو متر با فاصله بین ردیفی ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع بود. بین هر واحد آزمایشی دو پشته به صورت نکاشت برای جلوگیری از نشت آب به کرت‌های مجاور در نظر گرفته شد. آبیاری‌ها بسته به شرایط محیطی، نیاز گیاه زراعی، عرف متداول زراعین منطقه و همچنین اعمال قطع آبیاری در مراحل آبستنی و خوشه‌دهی انجام گرفت. علف‌های هرز مزرعه با دست کنترل شد. نتایج حاصل از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-11-19]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.109]

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

بافت خاک	pH	عصاره اشباع	آهک	رس	سیلت	شن	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر	پتاسیم	روی
		٪							mkg/g		
لومی	۷/۸	۴۹	۱۴/۴	۲۳	۴۲	۳۵	۰/۶۲	۰/۰۶	۸/۲۹	۲۰۲	۱۸

جدول ۲- ویژگی‌های اقلیمی در طول دوره رشدی (ماخذ: اداره کل هواشناسی استان اردبیل)

ماه‌های سال	بارندگی	میانگین دما (c °)	جمع ساعات آفتابی	متوسط رطوبت (٪)
مهر	۴۳/۶	۱۱/۸	۲۰۱/۳	۷۲
آبان	۹/۷	۱۱/۷	۱۶۶/۵	۶۴
آذر	۶/۵	۳	۱۷۷/۳	۷۰
دی	۱۶/۵	۴/۶	۱۶۵/۴	۶۷
بهمن	۵۴/۸	۰/۶	۱۲۸/۷	۷۷
اسفند	۲۶/۵	۷	۱۵۷/۵	۷۳
فروردین	۹/۳	۹	۱۷۰/۹	۶۶
اردیبهشت	۶۰/۳	۱۲/۳	۱۹۶/۳	۷۱
خرداد	۲۸/۲	۱۶/۸	۱۴۸/۶	۷۱
تیر	۳/۹	۲۱/۵	۳۴۴/۲	۶۰

ویژگی‌های اقلیمی در طول دوره رشدی گندم در جدول ۲ آورده شده است.

دو هفته بعد از قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی (BBCH 65)، نسبت به اندازه‌گیری برخی صفات نظیر شاخص سطح برگ، محتوای پرولین و قندهای محلول، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز بر روی برگ پرچم اقدام شد. در این راستا برای ارزیابی شاخص سطح برگ نمونه‌برداری از ۲۰ سانتی‌متر از سه خط اصلی هر واحد آزمایشی (در مجموع از سطحی معادل ۰/۱۲ مترمربع) و با رعایت اثر حاشیه‌ای انجام شد. سپس از تقسیم سطح برگ به سطح زمین اشغالی، مقدار شاخص سطح برگ برآورد شد (سیدشریفی و قلی‌نژاد، ۱۴۰۰). محتوای پرولین برگ پرچم با استفاده از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳)، قندهای محلول به‌روش Dubios و همکاران (۱۹۵۶) اندازه‌گیری شد. هدایت روزنه‌ای به وسیله دستگاه پرومتر (Porometer AP4, Delta-T Devices ltd., Cambridge, UK) و محتوای نسبی آب برگ پرچم با روش Kostopoulou و همکاران (۲۰۱۰) و براساس رابطه زیر اندازه‌گیری شد.

رابطه ۱

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

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

برای سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، ابتدا ۰/۲ گرم نمونه تر برگ پرچم در هاون چینی در مجاورت نیتروژن مایع پودر و با یک میلی‌لیتر بافر تریس-کلریدریک ۰/۰۵ مولار با pH= ۷/۵ هموژن شد. همگنای حاصل را به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ کرده و محلول شناور رویی برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز بر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.109]

اساس روش Sudhakar و همکاران (۲۰۰۱) استفاده شد. در پایان دوره رشد عملکرد دانه از سطحی معادل یک مترمربع از خطوط اصلی هر کرت بعد از حذف اثرحاشیه‌ای اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک و ضرب عدد به‌دست آمده در ۱۰۰ برآورد شد. در زمان برداشت برای ارزیابی ارتفاع بوته (فاصله از سطح خاک تا انتهای سنبله)، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از بین بوته‌های رقابت‌کننده و با رعایت اثر حاشیه‌ای از خطوط اصلی هر واحد آزمایشی انتخاب و میانگین داده‌های حاصل از آن به عنوان ارزش این صفت در آن واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. بعد از آزمون نرمال‌بودن داده‌ها، برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ استفاده و میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) درسطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد اسید هیومیک و میکوریز در سطوح مختلف آبیاری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز، پلی‌فنل اکسیداز و کاتالاز به‌ترتیب ۶۴/۴۶، ۸۲/۸۴ و ۵۴/۵ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین در دقیقه در شرایط آبیاری تا مرحله آبستنی و کاربرد توأم هر دو نوع میکوریز با اسید هیومیک و کمترین فعالیت این آنزیم‌ها (به‌ترتیب ۴۳/۳، ۶۱/۲۲ و ۲۵/۴ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین در دقیقه) در عدم‌کاربرد میکوریز و اسید هیومیک در شرایط آبیاری کامل بدست آمد (جدول ۵). محدودیت آبی به‌دلیل کاهش هدایت روزنه‌ایی (جدول ۴) موجب بسته‌شدن روزنه‌ها شده و تغییراتی در چرخه انتقال الکترون در فتوسیستم‌های I و II به وجود می‌آید. در این راستا به‌دلیل کاهش میزان تولید قند، انرژی حاصل از فوتون‌های جذب‌شده در کلروپلاست صرف تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود. گونه‌های مختلف اکسیژن همانند O_2، H_2O_2 (OH^-) و رادیکال هیدروکسیل می‌توانند به‌طور مستقیم موجب خسارت به چربی‌های موجود در غشاء سلول، غیرفعال‌کردن آنزیم‌ها و خسارت به اسیدهای نوکلئیک شوند (Stepien and Klobus, 2005). ولی کاربرد کودهای بیولوژیکی به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مثل کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز (جدول ۵) در شرایط محدودیت آبی (Abdel Latef, 2010) موجب تحمل بهتر گیاهان به تنش‌های محیطی (Ahmad and Prasad, 2012) و کاهش آثار مخرب تنش‌های اکسایشی می‌شود (Mandhania *et al.*, 2006). اسید هیومیک نیز می‌تواند با بهبود جذب نیتروژن، سبب افزایش فعالیت آنزیم‌ها و پروتئین‌های شرکت‌کننده در چرخه فتوسنتزی نظیر سیتوکروم، فردوکسین، پلاستوسیانین و آنزیم روبیسکو شده و از این طریق رشد را افزایش دهد (Dordas and Sioulas, 2008). برخی محققان نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز را در کاربرد میکوریز عنوان کردند (Porcel and Ruiz-Lozano, 2004). به نظر می‌رسد قارچ میکوریز از طریق افزایش تجمع ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی نظیر پرولین و قندهای محلول (جدول ۵) به جذب آب کمک نموده و با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (جدول ۵) قادرند ضمن حذف گونه‌های فعال اکسیژن، خسارت ناشی از خشکی را تعدیل نمایند (Zhu *et al.*, 2010 a,b). نتایج مشابهی نیز توسط دیگر محققان مبنی بر اینکه کاربرد قارچ‌های میکوریز با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان را در برابر گونه‌های فعال اکسیژنی تولیدشده در شرایط تنش، محافظت می‌کند گزارش شده است (Abo-Ghalia and Khalafallah, 2008).

پرولین و قندهای محلول برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ترکیب تیماری کاربرد میکوریز با اسید هیومیک در سطوح مختلف آبیاری بر محتوای پرولین و قندهای محلول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین محتوای پرولین (۸/۵۲ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ) و قندهای محلول (۹۱/۸۴ میلی‌گرم بر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.109]

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر میکوریز و اسید هیومیک بر عملکرد و برخی صفات گندم در سطوح مختلف آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		پراکسیداز	پلی‌فنل اکسیداز	کاتالاز	پرولین	قند محلول	وزن هزاردانه
تکرار	۲	۱۳۲۵/۳**	۸۶۸/۴**	۴۱۴/۹**	۲/۸**	۳۴۳۷**	۶۹۰/۸**
سطوح آبیاری (I)	۲	۳۰۶/۶**	۲۰۸/۶**	۵۵۸/۴**	۲۲/۲**	۲۱۸۲/۲**	۲۴/۱**
سطوح میکوریزوهیومیک (B)	۷	۲۹۷/۹**	۳۲۸/۳**	۶۷۷/۲**	۱۷/۵**	۲۷۱۱/۱**	۲۴/۱**
$I_1 \times B$	۷	۷۹/۸**	۱۰۴/۰۴**	۱۹۴/۳**	۴/۴**	۷۵۸/۳**	۸۳/۵**
$I_2 \times B$	۷	۱۲۱/۹**	۱۴۲/۷**	۳۰۳/۷**	۸/۲**	۱۲۰۰/۱**	۷۹/۵**
$I_3 \times B$	۷	۱۱۱/۷**	۹۴/۰۱**	۲۱۴/۹**	۵/۷**	۸۸۰/۲**	۵۹/۴۳**
اثر متقابل	۱۴	۷/۷**	۶/۲**	۱۷/۸**	۰/۳۹**	۶۳/۷*	۰/۵**
خطا	۴۶	۲/۹	۰/۹	۴/۶	۰/۱۲	۲۹/۵	۰/۱۷
ضریب تغییرات	-	۳/۲	۱۳	۵/۴	۶/۱	۸/۷	۸/۲

ns، *، ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ادامه جدول ۳-

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		محتوای نسبی آب برگ	هدایت ای‌روزنه	شاخص برداشت	شاخص سطح برگ	ارتفاع بوته	عملکرد دانه
تکرار	۲	۱۰۰۳/۵**	۳۱۶/۰۷**	۰/۷	۰/۹۹۴ **	۳۴۶۸/۳**	۵۷۶۵۹۷/۸**
سطوح آبیاری (I)	۲	۷۰۷/۸**	۴۳۳/۳**	۹۲/۴**	۱/۶۲**	۵۲۵/۶**	۱۲۵۴۶۵/۳**
سطوح میکوریزوهیومیک (B)	۷	۱۰۷۸**	۶۱۳/۴**	۲۲/۳**	۱/۰۸۴ **	۵۰۴/۵**	۴۲۵۵۸/۱**
$I_1 \times B$	۷	۱۴/۵ ns	۷/۱ns	۴/۸ns	۰/۰۱۱ns	۱۸۶/۵**	۲۶۹۵۰/۲**
$I_2 \times B$	۷	۲۲/۳	۹/۴	۳/۱	۰/۰۲۷	۲۰۱/۴**	۱۵۸۳۵/۱**
$I_3 \times B$	۷	۶/۴	۷/۲	۷/۱	۷/۶	۱۴۴/۰۳**	۷۲۵۵/۳**
اثر متقابل	۱۴	۷/۷**	۶/۲**	۱۷/۸**	۰/۳۹**	۱۳/۶**	۳۷۴۱/۳**
خطا	۴۶	۲/۹	۰/۹	۴/۶	۰/۱۲	۳/۵	۳۵۱/۳
ضریب تغییرات	-	۳/۲	۱۳	۵/۴	۶/۱	۳/۱	۴/۲

ns، *، ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

گرم وزن تر) در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی با کاربرد توأم هر دو نوع میکوریز با اسید هیومیک و کمترین آنها (به‌ترتیب ۳/۳۴ میکروگرم برگرم وزن تر برگ و۳۱/۷۷ میلی‌گرم برگرم وزن تر) در شرایط آبیاری کامل و عدم کاربرد اسید هیومیک و میکوریز بدست آمد (جدول ۵). به نظر می‌رسد محدودیت آبی منجر به افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز و هیدرولیز نشاسته به قندهای ساده و کندشدن انتقال قندها از برگ به سایر مراکز رشد می‌شود (Zhang *et al.*, 2010)، از این رو با افزایش محدودیت آبی بر مقدار کربوهیدرات‌های محلول افزوده می‌شود. همچنین بخشی از افزایش محتوای پرولین در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.109]

جدول۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح آبیاری، میکوریز و اسید هیومیک بر محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ایی و شاخص برداشت گندم

	تیمارهای آزمایشی	شاخص سطح برگ	شاخص برداشت	هدایت روزنه‌ای	محتوای نسبی آب
سطوح آبیاری	آبیاری کامل	۲/۴۲^{a}	۴۱/۶ ^{a}	۴۸ ^{a}	۷۹/۴ ^{a}
	قطع آبیاری در آبستنی	۱/۹^{c}	۳۹/۹ ^{b}	۴۳/۴ ^{c}	۶۶/۱^{c}
	قطع آبیاری در سنبله‌دهی	۲/۲۲^{b}	۴۱ ^{a}	۴۷/۹ ^{b}	۷۴/۲^{b}
	LSD	۰/۰۹۵	۱/۰۲	۱/۸	۲/۷
سطوح میکوریز و اسید هیومیک	شاهد	۱/۶۸ ^{e}	۳۷/۰۶^{d}	۳۳/۸^{f}	۵۸/۶ ^{f}
	هیومیک اسید	۱/۸۲ ^{e}	۴۰/۹ ^{ac}	۳۶/۴ ^{ef}	۶۴/۱^{e}
	میکوریز *G. mossea*	۲^{d}	۴۰^{c}	۳۹/۱^{de}	۶۹/۳ ^{d}
	میکوریز *G. intraradices*	۲/۱۴ ^{cd}	۳۹/۴ ^{c}	۴۱/۷ ^{cd}	۷۴/۹ ^{c}
	میکوریز *G. mosseae* با *G. radicesintra*	۲/۱۷ ^{c}	۴۱/۳ ^{a}	۴۲/۴ ^{c}	۷۵/۳ ^{c}
	اسید هیومیک با میکوریز *G. mosseae*	۲/۴۳ ^{b}	۴۰/۵ ^{c}	۴۷/۴^{b}	۷۶/۷ ^{bc}
	اسید هیومیک با میکوریز *G. intraradices*	۲/۵۶ ^{ab}	۳۹/۹^{c}	۴۹/۹^{b}	۸۰/۲ ^{b}
	اسید هیومیک با میکوریز *G. mosseae* و *G. intraradices*	۲/۶۵ ^{a}	۴۲/۳ ^{a}	۵۴/۱ ^{a}	۸۶/۳ ^{a}
	LSD	۰/۱۵۶	۱/۶	۲/۹	۴/۴

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

کاربرد میکوریز را می‌توان به اثر این تیمارها در افزایش قندهای محلول نسبت داد. از آنجایی‌که یکی از مسیرهای تولید پرولین، گلوتامات است، به عبارتی پرولین از گلوتامین در برگ‌ها سنتز می‌شود (Jabasingh and Babu, 2013). از این رو با افزایش تولید قندهای محلول، میزان تولید گلوتامات افزایش می‌یابد و سنتز پرولین نیز تشدید می‌شود. از طرفی طی تنش کم آبی به دلیل تخریب کربوهیدرات‌های نامحلول، سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیرفتوسنتزی و متوقف‌شدن رشد، این ترکیبات در گیاه افزایش می‌یابد. همچنین گزارش شده است که در شرایط تنش، قندها از سلول‌ها به روش تنظیم اسمزی و نگهداری تورژسانس، و همچنین پایداری غشاها و پروتئین‌ها محافظت می‌کنند که نتیجه آن، کاهش میزان نشاسته و افزایش قندهای محلول است (Bartels and Sunkar, 2005). برخی محققان اظهار داشتند که گیاهان برخوردار از میکوریز با استفاده از روابط آبی و تغذیه بهتر نسبت به گیاهان بدون میکوریز، قادرند از شرایط خشکی به طور موقت فرار کنند و کمتر دچار آسیب شوند، در نتیجه میزان پرولین و قندهای محلول با کاربرد میکوریز نسبت به گیاهان بدون میکوریز افزایش نشان می‌دهد (Ruiz-Lozano, 2003). در این راستا نتایج بررسی‌های برخی محققان نشان داده است که کاربرد میکوریز هم در شرایط آبیاری کامل در طول دوره رشدی گیاه و هم در شرایط محدودیت آبی، منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (همچون کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز) و اسمولیت‌های سازگار (همچون پرولین و قندهای محلول) شده است هر چند که میزان این افزایش، در غالب آزمایش‌ها در شرایط محدودیت آبی بیشتر از آبیاری کامل بوده است (نریمانی و همکاران ۱۴۰۲؛ Kheirizadeh Arough *et al*., 2016). همچنین نتایج بررسی محققان نشان داده است که کاربرد اسید هیومیک به‌طور معنی‌دار تمامی شاخص‌های متابولیسمی از جمله قند محلول، کربوهیدات‌های کل، اسیدهای آمینه کل و پرولین را در گندم تغییر می‌دهد (El-Bassiouny and Bekheta, 2005).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.109]

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر میکوریز و اسید هیومیک بر عملکرد و برخی صفات گندم در سطوح مختلف آبیاری

ترکیب تیماری	پراکسیداز	پلی‌فنل اکسیداز	کاتالاز	پرولین	قند محلول	ارتفاع بوته	وزن هزاردانه	عملکرد دانه
	تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین در دقیقه			(میکروگرم بر گرم وزن تر برگ)	(میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	(سانتی‌متر)	(گرم)	گرم در مترمربع)
I_1×F	۴۳/۳۰^{n} (e)	۶۱/۲۲^{r} (g)	۲۵/۴۳^{q} (e)	۳/۳۴^{q} (h)	۳۱/۷۷^{s} (e)	۵۰/۷۲^{mkl} (e)	۴۱/۲۲^{mn} (c)	۶۸۱/۱۹^{jk} (f)
I_1×A	۴۵/۲۲^{lmn}(de)	۶۳/۳۳^{pq} (bc)	۲۷/۴۳^{opq} (e)	۳/۸۶^{opq} (g)	۳۵/۱۲^{rs} (e)	۵۸/۲۳^{ij} (d)	۴۱/۹۸^{kl} (c)	۷۷۹/۳^{ef} (e)
I_1×B	۴۸^{jkl} (cd)	۶۸/۲۳^{m} (e)	۳۱/۵۶^{mn} (d)	۴/۳۶^{mno} (f)	۴۸/۱۲^{op} (d)	۶۵/۱۷^{efg} (c)	۴۲/۵۴^{ijk} (c)	۷۸۷/۴۸^{ef} (e)
I_1×A,B	۴۹/۵۶^{ij} (c)	۷۱/۳۳^{jkl} (d)	۳۴^{lm} (cd)	۴/۷۸^{lm} (e)	۵۴/۱۷^{mno}(cd)	۶۷/۷۱^{cde}(bc)	۴۴^{ef} (b)	۹۱۵/۳۲^{b} (bc)
I_1×H	۵۱/۵۲^{hi} (bc)	۷۲/۰۳^{ijk} (cd)	۳۵/۸۸^{kl} (c)	۵/۳۳^{jkl} (d)	۵۸/۷۷^{klmn}(bc)	۶۸/۰۶^{cde} (b)	۴۴/۷۱^{cd} (ab)	۸۴۴/۲^{d} (d)
I_1×H,A	۵۰/۰۶^{hij} (c)	۷۳/۳۳^{hi} (bc)	۴۰/۳۳^{hij} (b)	۵/۸۲^{hij} (c)	۶۶/۴۸^{hijk} (b)	۷۱/۵۷^{ab} (a)	۴۵/۵۳^{ab} (b)	۸۸۸/۹۷^{bc} (c)
I_1×H,B	۵۴/۷۲^{fg} (b)	۷۴/۱۳^{gh} (b)	۴۳/۲۸^{gh} (b)	۶/۰۹^{ghi} (b)	۶۴/۰۷^{ijkl} (b)	۷۲/۸۲^{a} (a)	۴۵/۸۷^{a} (a)	۹۴۶/۶۸^{a} (ab)
I_1×H,A,B	۵۹/۵۲^{cd} (a)	۷۹/۲۲^{cd} (a)	۴۹/۰۸^{cde} (a)	۷^{de} (a)	۷۸/۶۴^{cdef} (a)	۷۳/۶۲^{a} (a)	۴۶^{a} (a)	۹۵۱/۲۷^{a} (a)
I_2×F	۴۴/۵۱^{mn} (f)	۶۲/۱۳^{qr} (g)	۲۶/۹۱^{pq} (e)	۳/۶۲^{pq} (g)	۳۳/۲۱^{s} (f)	۴۸/۸^{ml} (e)	۴۰/۱۱^{o} (c)	۶۵۷/۰۶^{kl} (d)
I_2×A	۴۶/۱۱^{klmn}(ef)	۶۴/۵۳^{op} (f)	۲۸/۵۴^{nop} (e)	۴^{nop} (f)	۳۷/۱^{qrs} (ef)	۵۰/۱۶^{ml} (e)	۴۱^{n} (bc)	۷۴۰/۶^{gh} (c)
I_2×B	۴۷/۳۲^{jkl} (de)	۶۶/۸۲^{mn} (e)	۳۰/۸۱^{mno}(cd)	۴/۱۸^{nop}(f)	۴۵/۶۲^{op} (de)	۵۶/۵۴^{ij} (d)	۴۲/۰۷^{kl} (b)	۷۳۴/۰۱^{h} (c)
I_2×A,B	۴۸/۸۹^{ijk} (d)	۷۰/۱۳^{l} (d)	۳۳/۸۳^{lm} (d)	۴/۵۳^{mn}(e)	۵۱/۳۶^{no} (cd)	۵۷/۶۴^{ij} (d)	۴۳/۰۸^{ghij}(ab)	۷۳۶/۱۹^{h} (c)
I_2×H	۵۲/۶۳^{gh} (c)	۷۲/۵۳^{ij} (c)	۳۸/۷۷^{ijk} (c)	۵/۶۱^{ijk}(d)	۶۱/۳۸^{jklm}(bc)	۶۰/۹۱^{hi} (c)	۴۲/۸۵^{hij} (b)	۷۶۸/۱۸^{fg} (b)
I_2×H,A	۵۶/۲۷^{ef} (b)	۷۵/۳۳^{efg} (b)	۴۵/۲۴^{fg} (b)	۶/۶۲^{efg}(c)	۷۱/۲۴^{fghi} (b)	۶۵/۱^{efg} (c)	۴۳/۵۶^{fgh} (ab)	۷۹۲/۰۸^{ef} (b)
I_2×H,B	۵۹/۷۳^{cd} (a)	۸۰/۱۳^{cd} (a)	۵۰/۱۶^{bcde} (a)	۷/۵۴^{cd}(b)	۸۱/۵۵^{bcde} (a)	۶۹/۲۳^{bcd} (a)	۴۴/۲۶^{de} (a)	۸۷۵/۲۸^{c} (a)
I_2×H,A,B	۶۱/۲۳^{bc} (a)	۸۰/۵۹^{bc} (a)	۵۳/۱۳^{ab} (a)	۷/۸۱^{bc}(a)	۸۶/۵^{abc} (a)	۷۰/۸۴^{abc} (a)	۴۵/۱۳^{bc} (a)	۸۷۵/۲۸^{c} (a)
I_3×F	۴۶/۷۲^{klm} (e)	۶۶/۰۳^{no} (f)	۲۹/۷۲^{nop} (f)	۴/۹۲^{m} (d)	۴۰/۹۷^{pqr} (e)	۴۸/۲۳^{m} (f)	۳۸/۸۹^{t} (f)	۶۴۵/۰۵^{l} (e)
I_3×A	۵۰/۸۹^{hi} (e)	۷۰/۷۳^{kl} (e)	۳۷/۲۳^{jkl} (e)	۵/۱۴^{kl} (d)	۵۷/۲۱^{lmn} (d)	۴۹/۶۶^{ml} (ef)	۴۰/۹۶^{n} (e)	۶۵۹/۹۲^{kl}(de)
I_3×B	۵۵/۱۱^{fg} (d)	۷۴/۸۳^{fgh} (d)	۴۱/۵^{hi}(d)	۶/۳۸^{fgh} (c)	۶۹^{ghij} (c)	۵۳/۴۲^{k} (d)	۴۱/۷۵^{lm}(d)	۶۹۹/۰۷^{ij} (c)
I_3×A,B	۵۷/۳۲^{def} (d)	۷۶/۴۳^{e} (cd)	۴۷^{ef} (c)	۶/۸۴^{ef} (c)	۷۵/۷۸^{defg} (bc)	۵۱/۷۳^{kl} (de)	۴۲^{kl} (d)	۷۱۴/۵۲^{hi} (c)
I_3×H	۵۸/۹۲^{cde} (bc)	۷۵/۹۳^{ef} (cd)	۴۸/۲۳^{def} (bc)	۷/۲۲^{de} (bc)	۷۳/۴۵^{efgh} (c)	۴۶/۵۲^{ij} (g)	۴۲/۴۴^{jkl} (bc)	۶۷۷/۴۴^{jk} (d)
I_3×H,A	۶۰/۱۶^{c} (b)	۷۸/۷۳^{d} (b)	۵۱/۴^{abcd} (ab)	۸^{abc} (ab)	۸۳/۷۶^{abcd}(ab)	۶۲/۷۶^{gh} (b)	۴۲^{hij} (b)	۷۰۱/۴۳^{ij} (c)
I_3×H,B	۶۳/۷۵^{ab} (a)	۸۲/۰۳^{ab} (a)	۵۲^{abc} (a)	۸/۳۲^{ab} (a)	۸۹/۸۶^{ab} (a)	۶۳/۷۱^{fgh}(ab)	۴۳/۱۱i^{gh} (b)	۷۴۱/۴۴^{gh} (b)
I_3×H,A,B	۶۴/۴۶^{a} (a)	۸۲/۸۴^{a} (a)	۵۴/۵۱^{a} (a)	۸/۵۲^{a} (a)	۹۱/۸۴^{a} (a)	۶۶/۲۳^{def} (a)	۴۳/۷۲^{efg} (a)	۸۰۰/۲۷^{l}(a)
LSD	۲/۸۰	۱/۵۵	۳/۰۹	۰/۵۸	۸/۹۳	۳/۰۸	۰/۶۸	۳۰/۸۱

I_1، I_2 و I_3 به ترتیب آبیاری کامل، آبیاری تا مرحله خوشه‌دهی، آبیاری تا مرحله چکمه‌ای‌شدن (آبستنی).

H: اسید هیومیک، A: میکوریز گونه *(Glomus mosseae)*، B: میکوریز گونه *(Glomus intraradices)*، F: شاهد

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، اختلاف آماری معنی‌داری با هم براساس آزمون LSD در سطح احتمال یک و پنج درصد ندارند. حروف بیرون پرانتز مقایسه میانگین اثرات متقابل کلی و حروف درون پرانتز مقایسه میانگین به روش برش‌دهی را نشان می‌دهد.

محتوای نسبی آب برگ: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تنها اثرات اصلی کاربرد کودهای زیستی و آلی و همچنین سطوح آبیاری بر محتوای نسبی آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). اثر قطع آبیاری در مرحله

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-11-19]

[DOI: 10.22034/13.62.109]

آبستنی بر محتوای نسبی آب برگ پرچم نسبت به قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبیاری کامل بارزتر بود (جدول ۴). بیشترین محتوای نسبی آب برگ پرچم در کاربرد اسید هیومیک و میکوریز (۸۶/۳۵ درصد) و همچنین در شرایط آبیاری کامل (۷۹/۴ درصد) و کمترین مقدار آن (به‌ترتیب ۵۸/۶۸ و ۶۶/۱ درصد) در عدم استفاده از اسید هیومیک و میکوریز و در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی بدست آمد (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد که محتوای نسبی آب برگ رابطه نزدیکی با پتانسیل آب گیاه و جذب آب از خاک دارد و از آنجایی‌که در شرایط محدودیت آبی، پتانسیل آب خاک و در نتیجه جذب آب کاهش می‌یابد (Abdelraheem *et al*., 2019)، کاهش محتوای نسبی آب برگ در این شرایط قابل انتظار است. برخی پژوهش‌گران معتقدند که بین میزان رطوبت خاک و محتوای نسبی رطوبت برگ یک رابطه مستقیم وجود دارد، به‌طوری‌که کاهش میزان رطوبت خاک و ایجاد تنش کم‌آبی، موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود (Khan *et al*., 2007). به نظر می‌رسد بخشی از کاهش محتوای نسبی آب در شرایط محدودیت شدید آبی (قطع آبیاری در مرحله آبستنی)، ناشی از کاهش جذب آب از خاک باشد که ضمن کاهش دسترسی به آب، موجب می‌شود محتوای نسبی آب برگ کاهش یابد (Munns, 2002) ولی کاربرد میکوریز به‌علت نقش کمکی میسیلیوم‌های قارچ برای ریشه‌ها، و همچنین با کمک به انباشت پرولین و قندهای محلول (جدول ۵) منجر به افزایش در جذب آب و مواد غذایی (عامریان و همکاران، ۱۳۹۳)، و افزایش محتوای نسبی آب برگ می‌شود. برخی محققان معتقدند میکوریز از طریق افزایش سطح جذب آب از طریق میسیلیوم‌های قارچ، موجب جذب بیشتر آب و بهبود روابط آبی گیاه میزبان می‌شود (عامریان و همکاران، ۱۳۹۳). البته کاربرد توأم هر دو نوع قارچ در بهبود محتوای نسبی آب، اثر به مراتب بهتری نسبت به کاربرد تک تک آنها داشت. در این راستا آگاهی و همکاران (۱۴۰۱) در ارزیابی کارایی همزیستی دو نوع قارچ *G. mosseae* با *G. intraradices* بر عملکرد و برخی صفات عدس دیم، کاربرد توأم دو نوع قارچ را بهتر از کاربرد تک‌تک آنها گزارش کردند. در رابطه با کاربرد اسید هیومیک محققان اظهار داشتند که این ماده از طریق قدرت کلات‌کنندگی عناصر غذایی و کاهش تبخیر و تعرق و در نتیجه تأمین بیشتر آب و مواد غذایی برای گیاه، می‌تواند محتوای رطوبت نسبی برگ را افزایش دهد (Rady *et al*., 2016). نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش محتوای نسبی آب برگ ذرت با کاربرد اسید هیومیک، توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است (Ayas and Gulser, 2005).

شاخص سطح برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری، کاربرد کودهای زیستی و آلی بر شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین شاخص سطح برگ (۲/۲۲) در شرایط آبیاری کامل بدست آمد که در مقایسه با قطع آبیاری در مرحله آبستنی از افزایش ۱۶/۸ درصدی برخوردار بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد با افزایش شدت تنش، میزان پتانسیل فشاری آب داخل برگ‌ها که از عوامل افزایش‌دهنده رشد سطح برگ معرفی شده است کاهش می‌یابد (Shao *et al*., 2008) و همین امر می‌تواند یکی از دلایل اصلی کاهش سطح برگ در شرایط محدودیت شدید آبی (قطع آبیاری در مرحله آبستنی) در مقایسه با آبیاری کامل باشد. در ضمن مصادف‌شدن مرحله اندازه‌گیری شاخص سطح برگ با ماه‌های گرم سال و همچنین کاهش نزولات (جدول ۲) در این دوره رشدی گیاه، از دیگر دلایلی است که موجب می‌شود اثرات ناشی از محدودیت آبی مضاعف شده و تحت چنین شرایطی، شاخص سطح برگ کاهش یابد (جدول ۴). نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج بررسی دیگر محققان (Basal and Szabo, 2020) مبنی بر اینکه تنش ملایم و شدید خشکی موجب کاهش سطح برگ می‌شود مطابقت دارد. همچنین کاربرد توأم هر دو نوع میکوریز با اسید هیومیک در مقایسه با عدم کاربرد آنها، از افزایش ۵۷ درصدی برخوردار بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد قارچ‌های میکوریز به دلیل بهبود دسترسی گیاه به آب و افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۴) و جذب بهتر عناصر به‌ویژه نیتروژن و فسفر می‌توانند موجب افزایش سطح برگ (Giri and Mukerji,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-11-19]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.109]

2004) و به تبع از آن، موجب افزایش شاخص سطح برگ شوند. نتایج مشابهی نیز بر اینکه کاربرد کودهای زیستی شاخص سطح برگ گندم را نسبت به عدم کاربرد این کودها افزایش می‌دهد توسط دیگر محققان گزارش شده است (Cakmakci *et al*., 2007).

هدایت روزنه‌ای: مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که بیشترین هدایت روزنه‌ای در استفاده توأم از اسید هیومیک و میکوریز (۵۴/۱۳ $mmolH_2O.m^{-2}.s^{-1}$) و در شرایط آبیاری کامل (۴۸/۰۳ $mmolH_2O.m^{-2}.s^{-1}$) بدست آمد که در مقایسه با عدم استفاده از اسید هیومیک و میکوریز و قطع آبیاری در مرحله آبستنی به‌ترتیب از افزایش ۶۰ و ۱۰/۴۸ درصدی برخوردار بود (جدول ۴). بخشی از کاهش هدایت روزنه‌ای در شرایط محدودیت آبی و عدم کاربرد کودهای زیستی و آلی با محتوای نسبی آب در ارتباط است. به بیانی دیگر محتوای نسبی آب یکی از مهمترین شاخصه‌های بیلان آبی گیاه و عامل موثر در تنظیم هدایت روزنه‌ای و در نتیجه سرعت فتوسنتز گیاه است (Tarumingkeng and Coto, 2003) و از آنجایی‌که محتوای نسبی آب در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی در مقایسه با آبیاری کامل از کاهش ۲۰/۱ درصدی و در حالت عدم کاربرد کودهای زیستی و آلی در مقایسه با کاربرد توأم اسید هیومیک با کودهای آلی و زیستی از کاهش ۴۷/۱ درصدی برخوردار بود از این‌رو بدیهی است که در چنین سطحی از تیمارهای مورد بررسی نیز، هدایت روزنه‌ای کاهش یابد. همچنین به نظر می‌رسد در شرایط محدودیت آبی، تجمع آبسیزیک اسید در سلول‌های محافظ روزنه و انتقال پیام از ریشه به برگ و کاهش محتوای نسبی برگ (جدول ۴)، از مهمترین دلایل بسته‌شدن روزنه‌ها و یا کاهش هدایت روزنه‌ای است (Steiner *et al*., 2014). ولی گسترش میسیلیوم‌های قارچ میکوریز به داخل خاک در چنین شرایطی، به دلیل سهولت دسترسی گیاه به حجم بیشتر و منافذ ریزتر خاک، این امکان را فراهم می‌کند تا میزان جذب آب افزایش یافته و آب کافی برای فعالیت‌های فیزیولوژیکی در گیاهان از جمله هدایت روزنه‌ایی فراهم شود (Bitterlich *et al*., 2018). برخی محققان اظهار داشتند که در شرایط محدودیت آبی با کاربرد میکوریز، گیاه آب بیشتری را در اختیار بخش‌های هوایی قرار داده و احتمالاً به علت فرآیندهایی مانند کاهش تولید و انتقال آبسیزیک اسید به سلول‌های محافظ روزنه (Sapeta *et al*., 2013)، هدایت روزنه‌ای را افزایش می‌دهد و بررسی محتوای نسبی آب (جدول ۴) در چنین شرایطی گواه این مدعاست. از طرفی کاربرد همزمان دو نوع قارچ از هدایت روزنه‌ایی بالاتری در مقایسه با کاربرد تک تک آنها برخوردار بود. نتایج مشابهی نیز توسط دیگر محققان مبنی بر بهبود کارایی همزیستی دو نوع قارچ در مقایسه با کاربرد جداگانه قارچ‌های میکوریزی در افزایش عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی عدس دیم گزارش شده است (آگاهی و همکاران، ۱۴۰۱).

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اسید هیومیک و قارچ میکوریز در سطوح مختلف آبیاری بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین وزن هزار دانه (۴۶ گرم) در ترکیب تیماری آبیاری کامل و استفاده توأم اسید هیومیک و گونه‌های میکوریز بدست آمد که در مقایسه با عدم مصرف اسید هیومیک و میکوریز در شرایط قطع آبیاری در مرحله چکمه‌ای‌شدن از افزایش ۱۸/۲ درصدی برخوردار بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد محدودیت شدید آبی به دلیل افزایش رقابت برای آب و مواد غذایی موجب کاهش ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شده و همین امر می‌تواند منجر به کاهش وزن هر دانه و در نهایت به تقلیل وزن هزار دانه منجر شود. درحالی‌که کاربرد میکوریز و اسید هیومیک به خصوص در شرایط محدودیت شدید آبی با کمک به افزایش اسمولیت‌های سازگاری همچون پرولین و قندهای محلول (جدول ۵) و کمک به جذب بهتر آب توسط گیاه و افزایش محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ایی (جدول ۴)، منجر به تعدیل اثرات ناشی از محدودیت آبی، بهبود فرایند فتوسنتزی و به تبع از آن، منجر به افزایش رشد دانه و وزن هزار دانه می‌شود. شهبازی (۱۳۹۲) در بررسی اثر اسید هیومیک بر روی گندم افزایش ۶/۵ درصدی وزن هزار دانه را نسبت به عدم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.109]

کاربرد آن گزارش کرد. افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه در ارقام گندم با کاربرد میکوریز توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (Singh *et al*., 2004).

ارتفاع بوته: تجزیه واریانس نشان داد اثر کاربرد اسید هیومیک و گونه‌های قارچ میکوریز در سطوح مختلف آبیاری بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بالاترین ارتفاع بوته (۷۳/۶ سانتی‌متر) در شرایط آبیاری کامل و استفاده توأم اسید هیومیک و گونه‌های میکوریز بدست آمد که در مقایسه با عدم کاربرد میکوریز و اسید هیومیک در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، از افزایش ۵۲ درصدی برخوردار بود (جدول ۵). تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده ارتفاع بوته است و به نظر می‌رسد کاربرد میکوریز و اسید هیومیک با تأمین تدریجی عناصر غذایی موجب افزایش ارتفاع بوته شده‌اند (Nardi *et al*., 2002). اسید هیومیک با تأثیر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و همچنین با قدرت کلات‌کنندگی و افزایش جذب عناصر غذایی، سبب افزایش رشد و ارتفاع بوته می‌شود (Nardi *et al*., 2002). برخی محققان اظهار داشتند اسید هیومیک از طریق افزایش محتوای نیتروژن، موجب افزایش رشد و ارتفاع بوته گیاه شد (Ayas and Gulser, 2005). نتایج یک بررسی نشان داد که ارتفاع بوته گندم از جمله صفاتی هست که بیشترین پاسخ را به اسید هیومیک نشـان می‌دهد (Ulukan, 2008).

شاخص برداشت: معنی‌دارشدن اثرات اصلی سطوح مختلف آبیاری و کاربرد اسید هیومیک و قارچ میکوریز بر شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد (جدول ۳)، و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین شاخص برداشت در بین سطوح مختلف آبیاری، به آبیاری کامل در طول دوره رشد تعلق داشت که در مقایسه با قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله آبستنی از افزایش ۲۵/۴ درصدی برخوردار بود. در بین کاربرد کودهای زیستی و آلی نیز بیشترین شاخص برداشت (۴۲/۳۷ درصد) به کاربرد توأم میکوریز و اسید هیومیک و کمترین آن به عدم کاربرد این کودها تعلق داشت (جدول ۴). بخشی از بهبود شاخص برداشت در شرایط آبیاری کامل و کاربرد کودهای زیستی و آلی را می‌توان به اثرات ناشی از کاربرد این کودها در بهبود وزن هزاردانه و افزایش عملکرد دانه نسبت داد (جدول ۵). نتایج مشابهی نیز توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است (Manal *et al*., 2016).

عملکرد دانه: اثر اسید هیومیک و قارچ میکوریز در سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین عملکرد دانه (۹۵۱/۲ گرم در مترمربع) در شرایط آبیاری کامل و استفاده توأم اسید هیومیک و گونه‌های میکوریز بدست آمد که در مقایسه با عدم مصرف اسید هیومیک و قارچ میکوریز در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله چکمه‌ای شدن به ترتیب از افزایش ۳۹ و ۴۷/۴ درصدی برخوردار بود (جدول ۵).

بخشی از کاهش عملکرد در شرایط محدودیت شدید آبی با کاربرد اسید هیومیک و میکوریز می‌تواند ناشی از اثرات این عوامل در بهبود محتوای نسبی آب و همچنین هدایت روزنه‌ای (جدول ۴) و به‌تبع از آن در بهبود فرایند فتوسنتزی باشد که با تولید مواد فتوسنتزی بیشتر، می‌تواند بخشی از کاهش عملکرد را در غیاب عدم کاربرد کودهای زیستی و الی جبران نماید. بخش دیگری از بهبود عملکرد با کاربرد کودهای زیستی و آلی می‌تواند ناشی از اثر این عوامل در افزایش اسمولیت‌های سازگار همچون پرولین و قندهای محلول باشد به‌طوری‌که کاربرد توأم کودهای زیستی و آلی در شرایط محدودیت شدید آبی محتوای این اسمولیت‌های سازگار را به ترتیب ۷۳ و ۱۲۴ درصد در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و آلی در همین سطح از سطوح آبیاری افزایش داد. بدیهی است که افزایش همچون اسمولیت‌هایی به بهبود توان جذب آبی حتی در شرایط محدودیت شدید آبی کمک نموده و در این راستا بررسی محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ای حاکی از افزایش به ترتیب ۴۷/۱ و ۶۰ درصدی این صفات در حالت کاربرد توأم کودهای زیستی و آلی نسبت به عدم کاربرد آنهاست.

از طرفی محدودیت آبی همانند دیگر تنش‌های وارده بر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.109]

گیاه با ایجاد تنش اکسیداتیو و افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن منجر به تشدید تنش و کاهش عملکرد دانه می‌شود ولی بررسی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط محدودیت شدید آبی (قطع آبیاری در مرحله آبستنی) به شرط کاربرد کودهای زیستی (میکوریز) و آلی (اسید هیومیک) حاکی از افزایش ۸۳/۵، ۳۸ و ۲۵/۴ درصدی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و آلی در همین سطح از سطوح آبیاری بود. در ضمن افزایش محتوای اسمولیت‌های سازگار همچون پرولین و قندهای محلول با کاربرد کودهای زیستی و آلی (جدول ۵) در شرایط محدودیت آبی موجب می‌شود که اثرات ناشی از تنش آبی تا حدودی تعدیل شود. به بیانی دیگر افزایش فعالیت این آنزیم‌ها و اسمولیت‌های سازگار زمینه مناسبی را برای کاهش اثرات ناشی از تنش اکسیداتیو فراهم نموده و موجب می‌شود که از افت شدید عملکرد دانه حتی در شرایط کاربرد کودهای زیستی و الی در مقایسه با عدم کاربرد این کودها جلوگیری نماید و در این راستا بررسی عملکرد دانه در شرایط محدودیت شدید آبی نشان داد که کاربرد کودهای زیستی و آلی در مقایسه با عدم کاربرد این کودها از افزایش ۲۴ درصدی در همین سطح از سطوح آبیاری برخوردار بود.

نتیجه‌گیری

کاربرد توأم میکوریز و اسید هیومیک در سطوح مختلف آبیاری منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، محتوای پرولین، قندهای محلول و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز در مقایسه با تیمار شاهد شد. بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و استفاده توأم اسید هیومیک و گونه‌های میکوریز بدست آمد که در مقایسه با عدم مصرف اسید هیومیک و قارچ میکوریز در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله آبستنی به ترتیب از افزایش ۳۹ و ۴۷/۴ درصدی برخوردار بود. همچنین در شرایط محدودیت شدید آبی (قطع آبیاری در مرحله آبستنی) کاربرد توأم اسید هیومیک و گونه‌های میکوریز توانست عملکرد دانه را ۲۴ درصد در مقایسه با عدم کاربرد اسید هیومیک و گونه‌های میکوریز در این سطح از آبیاری افزایش دهد. به‌نظر می‌رسد که کاربرد میکوریز و اسید هیومیک در شرایط محدودیت آبی به واسطه بهبود صفات اگروفیزیولوژیکی، می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب برای افزایش عملکرد گندم به‌کار برده شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول مقاله است که نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از همکاران دخیل ارجمند در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اعلام می‌دارند.

منابع

اسدی، محمد (۱۳۹۶). تحلیل اقتصادی راهبرهای کم آبیاری برای مدیریت منابع آب کشاورزی (مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت قزوین). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

آگاهی، روانبخش، سیدشریفی، رئوف، و نریمانی، حامد (۱۴۰۱). تأثیر میکوریزا و نانواکسید آهن و روی بر گره‌زایی و عملکرد کمی و کیفی عدس دیم. *نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی*، *۶۵*(۳)، ۱۱۰-۹۳.

سیدشریفی، رئوف، و نامور، علی (۱۳۹۴). کودهای زیستی در زراعت. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی.

سیدشریفی، رئوف، و قلی‌نژاد، اسماعیل (۱۴۰۰). ارزیابی صفات زراعی و مورفوفیزیولوژیکی گیاهان زراعی. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی.

شاهمارزاده، شهرام، سیدشریفی، رئوف، و صدقی، محمد (۱۴۰۰). تأثیر مایکوریزا و اسید هیومیک بر محتوای کلروفیل و مؤلفه‌های پرشدن دانه گندم در سطوح مختلف آبیاری. *اکوفیزیولوژی گیاهی*، *۱۴*(۴۷)، ۵۶-۴۵.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.109]

شهبازی، شهرزاد (۱۳۹۲). بررسی تأثیر کودهای آلی اسید هیومیک و ورمی‌کمپوست بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم گندم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

شهبازی، شهرزاد، فاتح، اسفندیار، و آینه‌بند، امیر (۱۳۹۴). مطالعه اثر هیومیک اسید و ورمی‌کمپوست بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم گندم نواحی گرمسیری. *مجله تولیدات گیاهی (مجله علمی کشاورزی)*، ۳۸(۲)، ۱۰۹-۹۹.

عامریان، محمدرضا، یوسف‌ثانی، مریم‌السادات، و کوچکی، علیرضا (۱۳۹۳). تأثیرتلقیح با گونه‌های میکوریزا و سطوح آبیاری بر خصوصیات رشد، عملکرد، کارایی مصرف آب و برخی صفات گیاه ذرت. *نشریه بوم‌شناسی کشاورزی*، ۶(۱)، ۱۶۱-۱۵۲. doi: 0.22067/JAG.V6I1.35682

قائمی بایگی، مریم، رائینی سرجاز، محمود، و موسوی بایگی، محمد (۱۳۹۲). برآورد ضریب گیاهی و تبخیر – تعرق گندم رقم گاسکوژن در مشهد با استفاده از روش تراز انرژی. *فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری*، ۳(۱۱)، ۶۸-۵۸.

نریمانی، حامد، سیدشریفی، رئوف، و صدقی، محمد (۱۴۰۲). تأثیر پوترسین، ورمی‌کمپوست و میکوریزا بر عملکرد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و روند تغییرات برخی صفات فیزیولوژیک تریتیکاله در رژیم‌های مختلف آبیاری. *نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*، ۱۳(۳)، ۷۸-۴۹.

Abdel Latef, A. A. (2010). Changes of antioxidative enzymes in salinity tolerance among different wheat cultivars. *Cereal Research Communications*, *38*, 43-55. DOI: 10.1556/CRC.38.2010.1.5

Abdelraheem, A., Esmaeili, N., Connell, M., & Zhang, J. (2019). Progress and perspective on drought and salt stress tolerance in cotton. *Industrial Crops and Products*, *130*, 118-129. https://doi: 10.1016/j. ind crop.2018.12.070

Abo-ghalia, H. H. & Khalafallah, A. A. (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*, 570-580.

Ahmad, P. & Prasad, M. N. V. (2012). Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability. Springer, New York Dordrecht Heidelberg London.

Asrar, A. W. A. & Elhindi, K. M. (2011). Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *18*, 93-98. https://doi.org /10.1016/j.sjbs.2010.06.007

Auge, R. M. (2004). Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Canadian Journal Soil Science*, *84*, 373-381. doi: 10.1016/j.sjbs.2010.06.007

Ayas, H. & Gulser, F. (2005). The Effect of sulfur and humic on yield components and macronutrient contents of spinach. *Journal of Biological Sciences*, *5*(6), 801-804.

Bartels, D. & Sunkar, R. (2005). Drought and salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *24*, 23-58.

Basal, O. & Szabo, A. (2020). Ameliorating drought stress effects on soybean physiology and yield by hydrogen peroxide. *Agriculture Conspectus Scientificus*, *85*(3), 211-218.

Bates, I. S., Waldern, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207.

Bitterlich, M., Franken, P., & Graefe, J. (2018). Arbuscular mycorrhiza improves substrate hydraulic conductivity in the plant available moisture range under root growth exclusion. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 301-309. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00301

Bronick, E. J. & Lai, R. (2005). Soil structure and management: A review. *Geoderma, 124*, 3-22.

Cakmakci, R., Erat, M., Erdogan, U., & Donmez, M. F. (2007). The influence of plant growth–promoting rhizobacteria on growth and enzyme activities in wheat and spinach plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 170*, 288-295. https://doi.org/10.1002/jpln.200625105

Davies, F. T., Olalde-Portugal, V., Aguilera-Gomez, L., Alvarado, M. J., Ferrera-Cerrato, R. C., & Boutton, T. W. (2002). Alleviation of drought stress of chili ancho pepper (*Capsicum annuum* L .cv.' San Luis') with arbuscular mycorrhizal indigenous to Mexico. *Science Horticulturae*, *92*(3), 347-359. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00293-X

Delfine, S., Tognetti, R., Desiderio, E., & Alvino, A. (2005). Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agronomy Sustainable*, *25*, 183-191. DOI: 10.1051/agro :2005017

Dordas, C. & Sioulas, S. (2008). Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis and water efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. *Industrial Crops and Products*, *27*(1), 78-85. https:// doi. org/ 10.1016/j.indcrop.2007.07.020

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.109]

Dubios, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Roberts, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Annals of Chemistry*, *28*, 350-356. DOI:10.1021 /AC60111A017

Dursun, A., Guvenc, I., & Turan, M. (2002). Effects of different levels of humic acid on seedling growth and macro and micronutrient contents of tomato and eggplant. *Acta Agro- Botanica*, *56*, 81-88. DOI:10.5586/aa.2002.046

El-bassiouny, H. S. & Bekheta, M. A. (2005). Effect of salt stress on relative water content, lipid peroxidation, polyamines, amino acids and ethylene of two wheat cultivars. *International Journal of Agriculture and Biology*, *7*(3), 363-368.

Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R., Siavash Moghaddam, S., & Popovic-Djordjevic, J. (2020). Effect of mycorrhizal inoculation in reducing water stress in sesame (*Sesamum indicum* L.). The assessment of agrobiochemical traits and enzymatic antioxidant activity. *Journal of Agricultural Water Management*, *238*, 106234-106245. https://doi.org /10.1016/j.agwat. 2020.106234

Gianinazzi, S., Schuepp, H., Barea, J. M., & Haselwandter, K. (2001). Mycorrhizal Technology in Agriculture: From Genes to Bioproducts. Birkhauser, Basel. ISBN: 376436858.

Giri, B. & Mukerji, K. G. (2004). Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in Susana aegyptiaca and *Sesbania grandiflora* under field conditions, evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. *Mycorrhiza*, *14*, 307-312. DOI: 10.1007/s00572-003-0274-1

Jabasingh, C. & Babu, S. (2013). Proline content of *Oryza sativa* L. under water stress. *Journal of Academia and Industrial Research*, *2*(7), 442-445.

Jones, C. A., Jacobsen, J. S., & Mugaas, A. (2004). Effect of humic acid on phosphorus availability and spring wheat yield. *Fact. Fertilizer*, 32.

Kaya, M., Atak, M., Ciftci, C. Y., & Unver, S. (2005). Effect of zinc and humic asid applications on yield and some yield components of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Graduate School and Natural Applied Science*, *9*(3), 315-321. doi: 10.18178/joaat.4.1.36-39

Khan, H. U., Link, W., Hocking, T., & Stoddard, F. (2007). Evaluation of physiological traits for improving drought tolerance in faba bean (*Vicia faba* L.) *Plant and Soil*, *292*(1-2), 205-217. https://doi: 10.1007/s11104-007-9217-5.

Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., & Seyed Sharifi, R. (2016). Bio fertilizers and zinc effects on some physiological parameters of triticale under water-limitation condition. *Journal of Plant Interactions*, *11*(1), 167-177. DOI:10.1080/17429145.2016.1262914

Kostopoulou, P., Barbayiannis, N., & Basile, N. (2010). Water relations of yellow sweet clover under the synergy of drought and selenium addition. *Plant and Soil*, *330*, 65-71. DOI:10.1007/s11104-009-0176-x

Maccarthy, P. (2001). The principles of humic substances. *Soil Science*, *166*, 738-751.

Mahmoodi Zoeek, R., Nasri, M., & Oveysi, M. (2015). Effects of humic acid sprying on yield and nutrients transition to wheat grain in drought stress condition. *Agronomic Research in Semi Desert Regions*, *12*(2), 119-131.

Manal, F. M., Thalooth, A. T., Amal, A. G., Magda, H. M., & Elewa, T. A. (2016). Evaluation of the effect of chemical fertilizer and humic acid on yield and yield components of wheat plants (*Triticum aestivum*) grown under newly reclaimed sandy soil. *International Journal of ChemTech Research*, *9*(8), 154-161.

Mandhania S., Madan, S., & Sawhney, V. (2006). Antioxidant defense mechanism under salt stress in wheat seedlings. *Biologia Plantarum*, *50*, 227-231. DOI: 10.1007/s10535-006-0011-7

Mohammad, M. J., Pan, W. L. & Kennedy, A. C. (1998). Seasonal mycorrhizal colonization of winter wheat and its effect on wheat growth under dryland field conditions. *Mycorrhiza*, *8*, 139-144. DOI:10.1007/ s005720050226

Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, *25*, 239-250. DOI: 10.1046/j.0016-8025.2001. 00808.x

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., & Vianello, A. (2002). Physiological effect of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, *34*, 1527-1536. ttps://doi.org /10.1016/S0038-0717(02)00174-8

Porcel, R. & Ruiz-Lozano, J. M. (2004). Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. *Journal of Experimental Botany*, *55*, 1743-1750. https://doi.org/10.1093/jxb/erh188

Rady, M. M., Abd El-Mageed, T. A., Abdurrahman, H. A., & Mahdi, A. H. (2016). Humic acid application improves field performance of cotton (*Gossypium barbadense* L.) under saline conditions. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, *26*(2), 487-493.

Ruiz-Lozano, J. M. (2003). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress, new perspectives for molecular studies. *Mycorrhiza*, *13*, 309-317. doi: 10.1007/s00572-003-0237-6.

Sapeta, H., Miguel Costa, J., Lourenco, T., Maroco, J., van der Linde, P., & Oliveira, M. (2013). Drought stress response in *Jatropha curcas*: Growth and physiology. *Environmental and Experimental Botany*, *85*, 76-84. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.08.012

Sanchez-Blanco, M. I., Ferrandez, T., Morales, M., Morata, A., & Alarcon, J. J. (2001). Variations in water status, gas exchange and growth in *Rosmarinus officinalis* plant infected with *Glomus deserticola* under drought condition. *Journal of Plant Physiology*, *161*, 673-682. doi.org/10.1078/0176-1617-01191

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.109]

Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A., & Zhao, C. X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, *331*, 215-225. https://doi.org/10 .1016/j. crvi. 2008. 01.002

Singh, R., Behl, R. K., Singh, K. P., Jainand, P., & Narula, N. (2004). Performance and gene effects for wheat yield under inoculation of arbuscular mycorrhiza fungi and Azotobacter chroococcum. *Haryana Agricultural University. Hisar, India*. *Plant Soil Environment*, *50*(9), 409-415. DOI:10.17221/4052-PSE

Smith S. E. & Read, D. J. (2008). Mycorrhizal Symbiosis. 3rd Ed. London Academic Press.

Stepien, P. & Klobus, G. (2005). Antioxidant defense in the leaves of C_3 and C_4 plant under salinity stress. *Plant Physiology, 125*, 31-40.

Steiner, M., Toth, E. G., Juhasz, A., Dioszegi, M. S., & Hrotko, K. (2014). Stomatal responses of drought and heat stressed linden (*Tilia* sp.) leaves. *Horticulture and Landscape Engineering*, *6*, 7-10. http://dx.doi.org/10.15414/2014.9788055212623.07-10

Sudhakar, C., Lakshmi, A., & Giridara Kumar, S. (2001). Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science*, *167*, 613-619. DOI:10.1016/S0168-9452(01)00450-2

Tarumingkeng, R. C. & Coto, Z. (2003). Effects of drought stress on growth and yield of soybean. @2003 Kisman, Science Philosophy PPs 702, Term paper, Graduate School, Borgor Agricultural University (Institute Pertainian Borgor), December 2003.

Trent, J. D., Wallace, L. L., Svejcar, T. J., & Christensen, S. (1998). Effect of grazing on growth carbohydrate pools and mycorrhizae in winter wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, *68*, 115-120.

Ulukan, H. (2008). Effect of soil applied humic acid at different sowing times on some yield components in wheat hybrids. *Infernational Journal of Botany*, *4*(2), 164-175. DOI:10.1080 /01904167.2017.138 5807

Zhang, K. M., Yu, H. J., Shi, K., Zhou, Y. H., Yu, J. Q., & Xia, X. J. (2010). Photoprotective roles of anthocyanins in *Begonia semperflorens*. *Plant Science*, *179*(3), 202-208. DOI: 10.1016/j.plantsci.2010.05.006

Zhu, X. C., Song, F. B., & Xu, H. W. (2010a). Arbuscular mycorrhizae improves low temperature stress in maize via alterations in host water status and photosynthesis. *Plant and Soil*, *331*(1-2), 129-137. DOI:10.1007/s11104-009-0239-z

Zhu, X., Song, F., & Xu, H. (2010b). Influence of arbuscular mycorrhiza on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activity of maize plants under temperature stress. *Mycorrhiza*, 20, 325-332. doi: 10.1007/s00572-009-0285-7.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.109]

Effects of mycorrhiza and humic acid on compatible osmolytes, stomatal conductance, antioxidant enzymes activity and some traits of bread wheat under water limitation conditions

Shahram Shahmarzadeh and Raouf Seyed Sharif*

Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
(Received: 2024/02/20, Accepted: 2024/05/21)

Abstract

In order to study the effects of mycorrhiza and humic acid on compatible osmolytes, stomatal conductance, antioxidant enzyme activity, and some traits of bread wheat under water limitation conditions, an experiment as factorial was conducted based on a randomized complete block design with three replications at the research farm of the Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili in 2018-2019. Factors experiment included irrigation at three levels (full irrigation, irrigation withholding at 50% of heading and booting stages as moderate and severe water limitations (BBCH 43 and 55, respectively) and application of mycorrhiza and humic acid at eight levels (application of *Glomus intraradices*, *Glomus moseae*, both applications *G. intraradices* and *G. moseae*, humic acid, humic acid with *G. intraradices*, humic acid and *G.moseae*, humic acid with *G. intraradices* and *G. moseae*, without humic acid, *G. moseae* and *G. intraradices* as control). Means comparison showed that both application of *G. intraradices* and *G. moseae* with humic acid increased stomatal conductance and relative water content (60 and 47.1%, respectively) compared to no application of mycorrhiza and humic. Also, under severe water limitation conditions, the activities of catalase, peroxidase, and polyphenol oxidase enzymes, along with grain yield, increased by 38, 25.4, 83 and 24% as compared to the uninoculated plots with no humic acid application at the same irrigation level.

Keywords: Chlorophyll index, Compatible osmolytes**,** Hhumic acid, Mycorrhiza, Water limitation.

Corresponding author, Email: feizian.m@lu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-11-19]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.109]