دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
دوره سیزدهم، شماره چهل و هفتم، ۱۴۰۰

تاثیر مایکوریزا و اسید هیومیک بر محتوای کلروفیل و مولفه‌های پر شدن دانه گندم (*Triticum aestivum L.*) در سطوح مختلف آبیاری

شهرام شاهمارزاد[۱]، رئوف سید شریف[۲]، محمد صدقی[۳]

دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۲ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۵

چکیده

به‌منظور بررسی تاثیر مایکوریزا و اسید هیومیک بر عملکرد، محتوای کلروفیل و مولفه‌های پر شدن دانه گندم در سطوح مختلف آبیاری، آزمایشی 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. فاکتورهای مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل به عنوان شاهد، قطع آبیاری در مرحله آبستنی و قطع آبیاری در مرحله خوشه‌دهی)، کاربرد مایکوریزا و اسید هیومیک در هشت سطح (کاربرد مایکوریزا *G intraradiceslomus*، مایکوریزا *G mosseae*، کاربرد توام *G intraradices* با *G mosseae*، کاربرد اسید هیومیک، کاربرد مایکوریزا *G cesintraradi* با اسید هیومیک، کاربرد *G mosseae* با اسید هیومیک، کاربرد *G intraradices* با *G mosseae* و اسید هیومیک، عدم کاربرد مایکوریزا و اسید هیومیک به عنوان شاهد) بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد توام *G intraradices* با *G mosseae* و اسید هیومیک در مرحله آبیاری کامل، محتوای آنتوسیانین (۷۱ درصد)، محتوای کلروفیل *a* و *b*، کلروفیل کل (به‌ترتیب ۱۰/۸، ۱۲ و۱۷ درصد)، سرعت پر شدن دانه (۱۸ درصد)، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه (به‌ترتیب ۷/٦ و ۸ درصد)، طول سنبله (٤٨ درصد)، تعداد دانه در سنبله (٦٨ درصد) و عملکرد دانه (٤٧ درصد) را در مقایسه با قطع آبیاری در مرحله آبستنی و عدم استفاده از مایکوریزا و اسید هیومیک افزایش داد. کاربرد توام *G intraradices* با *G mosseae* و اسید هیومیک تحت محدودیت شدید آبی (شرایط قطع آبیاری در مرحله چکمه‌ای شدن) سرعت پرشدن دانه (۵ درصد)، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه (به ترتیب ۳ و۵/۳ درصد)، محتوای کلروفیل *a* و *b*، کلروفیل کل (به‌ترتیب ۹/۵، ۵/۸ و۷/۵ درصد) و عملکرد دانه را (۱٤/۱ درصد) در مقایسه با عدم کاربرد میکوریز و اسید هیومیک تحت چنین شرایطی افزایش داد. بر اساس نتایج این بررسی به نظر می‌رسد که کاربرد مایکوریزا و اسید هیومیک می‌تواند عملکرد گندم در شرایط محدودیت شدید آبی را بواسطه بهبود مولفه‌های پر شدن دانه و محتوای کلروفیل افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، رنگدانه‌های فتوسنتزی، محدودیت آبی، کودهای زیستی.

شاهمارزاده، ش.، ر. سید شریفی و م. صدقی. ۱٤۰۰. تاثیر مایکوریزا و اسید هیومیک بر محتوای کلروفیل و مولفه‌های پر شدن دانه گندم (*Triticum aestivum* L.) در سطوح مختلف آبیاری. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۱۳(٤۷): ۵۹-٤۵.

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

۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. مسئول مکاتبات raouf_ssharifi@yahoo.com

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

مقدمه

گندم یکی از مهمترین گیاهان زراعی است که به‌دلیل ارزش غذایی بالا، تنوع و مرغوبیت فراورده‌های آن و تامین بیش از نصف پروتئین مصرفی، سالانه در سطح وسیعی کشت می شود. ولی محدودیت آبی یکی از تنش‌های محیطی موثر در کاهش عملکرد گندم محسوب می‌شود که می‌تواند آثار مخرب و زیان‌آوری در کاهش کلروفیل (موناخوا و چرنیادو، ۲۰۰۲)، کمبود مواد فتوسنتزی لازم برای پرشدن دانه و کاهش طول دوره پر شدن دانه‌ها (محسنی و همکاران، ۱٤۰۰) داشته باشد.

یکی از راه کارهای مناسب برای بهبود عملکرد در شرایط محدودیت آبی، استفاده از قارچ‌های مایکوریزایی است که می تواند با تاثیر بر تعادل آبی گیاه در شرایط تنش و بدون تنش، به بهبود عملکرد گیاه کمک کند (سید شریفی و نامور، ۱۳۹٤). این قارچ‌ها با استفاده از مکانیسم‌های مختلفی از جمله بهبود وضعیت تغذیه‌ای و آبی گیاه، تولید هورمون‌های محرک رشد، تغییر در مورفولوژی ریشه و افزایش سطح جذب توسط گسترش ریسه‌های خود در خاک و تحریک تبادلات گازی از طریق افزایش ظرفیت مقصد (دود و پرزا-آلفوسه آ، ۲۰۱۲)، کمک به انحلال فسفات غیر محلول و تثبیت شده در خاک با ترشح آنزیم فسفاتاز، موجب افزایش فتوسنتز و بهبود رشد و عملکرد دانه می‌شوند (جمز و همکاران، ۲۰۰۸). آل کراکی و همکاران (۲۰۰٤) گزارش کردند گیاهان مایکوریزایی نسبت به گیاهان غیر مایکوریزایی آب را از خاک کامل‌تر تخلیه کرده و موجب می‌شوند تا کاربرد مایکوریزا اثر محدودیت آبی بر روی گندم را به حداقل برسانند. موچشی و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند با کاربرد قارچ مایکوریزا محتوای کلروفیل a،b و کلروفیل کل در تیمارهای تلقیح شده به ترتیب ۱۳/۷، ۳۳/۵ و ۱۷/٤ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح با قارچ مایکوریزا) افزایش یافت. افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل در گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا نسبت به تیمار شاهد در بررسی‌های اسرار و همکاران (۲۰۱۲) نیز عنوان شده است. خیری‌زاده و همکاران (۱۳۹٦) بیان کردند که قارچ مایکوریزا با بهبود وزن و حجم ریشه، ضمن افزایش سرعت و طول پر شدن دانه، منجر به افزایش عملکرد تریتیکاله در شرایط محدودیت آبی شد. ابوقلیا و خلف‌الله (۲۰۰۸) در بررسی اثر تلقیح گندم با تلفیقی از گونه های مختلف قارچ مایکوریزایی در شرایط مختلف رطوبتی، دریافتند که همزیستی مایکوریزایی در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش خشکی، می‌تواند رشد رویشی و زایشی گیاه را افزایش دهد.

کاربرد اسید هیومیک یکی دیگر از روش‌های نوین توصیه شده در مناطقی با محدودیت آبی است که با افزایش نفوذپذیری غشای سلولی ریشه، توانایی جذب آب و مواد غذایی در ریشه را افزایش داده و با افزایش محتوای نسبی آب برگ، اثر سوء تنش را تعدیل می‌کند (اگیج و همکاران، ۲۰۱۵). این ماده همچنین با اصلاح فیزیکی و بهبود دانه-بندی و ایجاد فضای بیش‌تر برای نفوذ آب در خاک، ضمن کمک به ریشه‌زایی بهتر و نگهداری بیش‌تر آب در خاک، با انحلال و آزاد سازی عناصر ماکرو و میکرو و بهبود رشد سریع باکتری‌های مفید در خاک، موجب افزایش مقاومت به محدودیت آبی و افزایش هورمون‌های اکسین، سیتوکنین و جیبرلین در گیاه می‌شود (عبدل موقود و همکاران ۲۰۰۷). اسید هیومیک با افزایش قابلیت جذب آب و عناصر نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلسیم، منگنز، روی و آهن، ضمن افزایش محتوای کلروفیل و انتقال مواد فتوسنتزی، موجب بهبود رشد و عملکرد در گیاهان می‌شود (یوان و همکاران، ۲۰۱۷). مانال و همکاران (۲۰۱٦) اظهار داشتند محلول‌پاشی اسید هیومیک موجب افزایش وزن هزار دانه، ارتفاع بوته و عملکرد دانه گندم شد. داودی فرد و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که کاربرد اسید هیومیک در گندم در شرایط تنش با تاثیر بر برخی فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه مانند محتوای کلروفیل، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد گیاه شد.

گندم یکی از غلات استراتژیک در کشور است که در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک، محدودیت آبی از علل اصلی کاهش عملکرد این گیاه محسوب می‌شود. از آنجایی که اسید هیومیک و قارچ مایکوریزایی در تعدیل بخشی از اثرات ناشی از محدودیت آبی نقش دارند فلذا هدف از این آزمایش بررسی تاثیر اسید هیومیک و قارچ مایکوریزایی بر عملکرد و مولفه‌های پر شدن دانه در سطوح مختلف آبیاری بود.

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 با مختصات جغرافیایی ٤۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا، در سال زراعی ۱۳۹۸- ۱۳۹۷ اجرا شد. نتایج حاصل از تجزیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ و شرایط اقلیمی در طول دوره رشدی گندم در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

مشخصه	pH	بافت	آهک	رس	سیلت	شن	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر	پتاسیم	روی
مقادیر	۷/۸			٪			میلی گرم بر کیلوگرم				
		لومی	۱٤/٤	۲۳	٤۲	۳۵	۰/٦۲	۰/۰٦	۸/۲۹	۲۰۲	۱/۸

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

پارامترهای اقلیمی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد
بارندگی (mm)	۹	۳۵/۸	۳۲/۹	۲۸/٤	۵۹/۷	۲۵/۹	٤۰	۲۹/۵	۱۳	۰/۱	۰
میانگین دما (C °)	۱٤/۱	۷/٦	۵/۷	۱/۸	۲/۷	٤/۱	۸	۱۲,٤	۱۷/٦	۱۸/۸	۱۹/۷
جمع ساعات آفتابی	۱۹۳/٤	۱۲۲/۳	۱۰۱	۱۸۳/۵	۱۷۲/٦	۱۷۳/٦	۱٦۳	۲۵۸/۱	۲۸۷/۷	۳٦٦	۳۱٤/۱
متوسط رطوبت نسبی (٪)	۷٦	۸۱	۷۹	٦۸	۷۲	۷۱	۷۳	٦۳	۵۸	٦۲	٦۱

فاکتورهای آزمایشی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله آبستنی و قطع آبیاری در مرحله خوشه‌دهی به‌ترتیب معادل با کد ٤۹ و ۵۹ بر اساس مقیاس BBCH)، کاربرد مایکوریزا و اسید هیومیک در هشت سطح (کاربرد مایکوریزا *G intraradices*، مایکوریزا *G mosseae*، کاربرد توام *G intraradices* با *G mosseae*، کاربرد اسید هیومیک، کاربرد مایکوریزا *G intraradices* با اسید هیومیک، کاربرد *G mosseae* با اسید هیومیک، کاربرد *G intraradices* با *G mosseae* و اسید هیومیک، عدم کاربرد مایکوریزا و اسید هیومیک به عنوان شاهد) بود. اسید هیومیک با غلظت یک در هزار در دو مرحله پنجه‌زنی و آبستنی (معادل کد ٤۹ و ۵۹ مقیاس BBCH) محلول‌پاشی شد. قارچ‌های مایکوریزایی از شرکت زیست فناوران توران تهیه و به هنگام کاشت به مقدار ۲۰ گرم در هرمتر مربع خاک (۲۰۰ کیلوگرم درهکتار) و به روش استاندارد و توصیه شده جیانینازی و همکاران (۲۰۱۲) استفاده شد. تعداد اسپور زنده در هرگرم قارچ مورد استفاده حدود ۱۰۰ اسپور بود. در این بررسی از گندم رقم کاسکوژن که از ارقام رایج و متداول کاشت در منطقه است استفاده شد. بذر این رقم از مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان اردبیل تهیه شد. این رقم پا بلند، با تیپ رشد زمستانه و مقاوم به سرما و خوابیدگی و در گروه ارقام با کیفیت نانوایی بسیار خوب قرار دارد. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول دو متر و فاصله‌ی بین ردیفی ۲۰ سانتی‌متر بود. کاشت در عمق ۵-٤ سانتی‌متری با تراکم ٤۰۰ بذر در متر مربع (که تراکم مطلوب و توصیه شده برای این رقم است) انجام شد. بین هر واحد آزمایشی یک متر و نیم فاصله نکاشت به منظور جلوگیری از نشت آب به کرت‌های مجاور در نظر گرفته شد. در طول اجرای آزمایش، کود خاصی در مزرعه استفاده نشد. قبل از کاشت در ردیف‌های اصلی هر واحد آزمایشی، تعدادی کیسه های پلاستیکی به قطر ٤۰ سانتی‌متر در عمق ٤۰ سانتی‌متری خاک و هم سطح با دیگر خطوط کاشت قرار داده شد تا امکان براورد دقیق وزن و حجم ریشه در سطح مشخصی از مزرعه فراهم شود. تراکم کاشت در این کیسه‌ها مشابه تراکم دیگر قسمت‌های کاشته شده در نظر گرفته شد. برای تعیین وزن و حجم ریشه‌ها پس از خارج سازی ریشه‌ها از خاک در زمان رسیدگی، ریشه‌ها برای خشک شدن در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت یا بیشتر (تا زمان تثبیت وزن خشک نهایی) قرار داده شد و سپس وزن خشک ریشه با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد. حجم ریشه با استفاده از حجم مشخصی از آب در استوانه مدرج اندازه‌گیری شد، طوری که اختلاف حجم ایجاد شده پس از ورود ریشه‌ها در آب استوانه مدرج به عنوان حجم ریشه منظور شد (سیدشریفی و قلی نژاد، ۱٤۰۰).

محتوای کلروفیل برگ با استفاده از روش آرنون (۱۹٦۷) اندازه‌گیری شد. برای این منظور ۰/۲ گرم از بافت برگ پرچم را با استون ۸۰ درصد به تدریج له کرده تا کلروفیل وارد محلول استونی شود و در نهایت حجم محلول با استون ۸۰ درصد به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ٤۰۰۰ دور سانتریفوژ شد و سپس جذب نوری محلول رویی در طول موج‌های ٤۷۰، ٦٤۵ و ٦٦۳ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. محتوای کلروفیل بر اساس روابط ۱ تا ۳ و به شرح زیر برآورد شدند.

رابطه (۱)

$$\text{کلروفیل a} = (۱۹/۳ \times A_{۶۶۳} - ۰/۸۶ \times A_{۶۴۵})\ V/۱۰۰\ W$$

رابطه (۲)

$$\text{کلروفیل b} = (۱۹/۳ \times A_{۶۴۵} - ۳/۶ \times A_{۶۶۳})\ V/۱۰۰\ W$$

رابطه (۳)

کلروفیل b + کلروفیل a = کلروفیل کل

در این روابط V حجم استون استفاده شده و W وزن نمونه گیاهی استفاده شده است.

برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین از روش واگنر (۱۹۷۹) استفاده شد. ۰/۱ گرم از بافت تازه در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص کلریدریک اسید به نسبت حجمی ۹۹ به ۱) به طور کامل سائیده و عصاره حاصل به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و جذب محلول روشناور در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

به منظور تعیین سرعت پر شدن دانه، شش روز پس از سنبله دهی در فواصل زمانی هر پنج روز یک‌بار، سه بوته از بین بوته‌های رقابت کننده به‌طور تصادفی از خطوط اصلی هر واحد آزمایشی با رعایت اثر حاشیه‌ای برداشت و پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا دانه‌ها از سنبله جدا و شمارش شده و سپس به مدت دو ساعت در آون الکتریکی در دمای ۱۳۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد شد (رونانیلی و همکاران ۲۰۰۴). به منظور برآورد، تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی (دو تکه‌ای) بر اساس رویه DUD و برنامه Proc NLLN نرم افزار SAS به صورت رابطه زیر استفاده شد.

رابطه (۴)

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t<t_0 \\ a + bt & t>t_0 \end{cases}$$

در این رابطه GW وزن دانه، t زمان، b سرعت پر شدن دانه، t0پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدا است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می کند: مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه است وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t0 که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است به صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله $t0 > t$ ، سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد (الیس و پیتافیلهو، ۱۹۹۲). برای تعیین دوره موثر پر شدن دانه از رابطه زیر استفاده شد.

رابطه (۵)

$$EFP = MGW / b$$

در این رابطه EFP دوره موثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و GFR سرعت پر شدن دانه است. در پایان دوره رشد تعداد ۱۰ بوته به ظاهر یکنواخت و مشابه از خطوط اصلی هر واحد آزمایشی با رعایت اثر حاشیه‌ای برای برآورد صفات طول سنبله و تعداد دانه در سنبله برداشت شد و میانگین داده‌های حاصل به عنوان ارزش آن صفت در تجزیه و تحلیل داده‌ها به کار گرفته شد. عملکرد دانه در مزرعه از سطحی معادل یک مترمربع از خطوط اصلی هر کرت بعد از حذف اثرحاشیه‌ای اندازه‌گیری شد. برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم افزارهای SAS و Excel استفاده شد. میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

کلروفیل a،b و کلروفیل کل: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر مایکوریزا و اسید هیومیک در سطوح مختلف آبیاری بر محتوای کلروفیل a،b و کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین محتوای کلروفیل a،b و کلروفیل کل (به‌ترتیب ۲/۴۶، ۱/۲، ۳/۶۶ میلی‌گرم بر وزن تر برگ) در شرایط آبیاری کامل و کاربرد توأم هر دو نوع مایکوریزا با اسید هیومیک و کم‌ترین این مقادیر (۲/۲۲، ۱/۰۷۲، ۳/۳۱ میلی‌گرم بر وزن تر برگ) در شرایط قطع آبیاری در مرحله‌ی چکمه‌ای شدن و عدم کاربرد اسید هیومیک و مایکوریزا بدست آمد (جدول ۴). به نظر می‌رسد در شرایط تنش غلظت تنظیم کننده‌های رشد مانند آبسیزیک اسید و اتیلن افزایش می‌یابد که تحریک کننده فعالیت آنزیم کلروفیلاز هستند و به این ترتیب کلروفیل تحت تأثیر این آنزیم تجزیه و محتوای آن کاهش می‌یابد (اورابی و همکاران، ۲۰۱۰) از طرف دیگر در شرایط محدودیت آبی، انتقال الکترون در فتوسیستم دو مختل شده و الکترون اضافی ناشی از فتولیز آب، موجب تولید گونه‌های فعال اکسیژن و متعاقب آن پراکسیداسیون لیپیدها، پروتئین‌ها و کاهش محتوای کلروفیل می‌شود (جیائو و همکاران ۲۰۱۰).

یانگ و همکاران (۲۰۱۴) علت افزایش محتوای کلروفیل در گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا نسبت به گیاهان شاهد را، به

جذب آب و عناصر غذایی بیشتر در گیاهان تلقیح شده نسبت به شاهد نسبت دادند. در این راستا بررسی وزن و حجم ریشه (جدول ٤) بیانگر آن است که گیاهان برخوردار از مایکوریزا و اسید هیومیک حتی در شرایط محدودیت آبی از وزن و حجم ریشه بالاتری در مقایسه با گیاهان شاهد برخوردار بودند و به نظر می‌رسد گسترش وزن و حجم ریشه در خاک امکان جذب آب و مواد غذایی بیشتری را برای گیاه فراهم نموده و همین امر می‌تواند از دلایل افزایش محتوای کلروفیل تحت چنین شرایطی باشد. بخشی از افزایش محتوای کلروفیل در کاربرد اسید هیومیک می‌تواند ناشی از اثر این ماده در جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم، آهن و منیزیم باشد که با افزایش نفوذپذیری غشای سلولی به بهبود جذب عناصر غذایی کمک می‌کند (اسری و همکاران ۲۰۱۵)، از این‌رو ممکن است که اسید هیومیک با افزایش جذب عناصر دخیل در ساخت کلروفیل، موجب افزایش کلروفیل و در نهایت فتوسنتز شود. ابوعلی و مدی (۲۰۰۹) علت افزایش ۲۷/۸– ۱۰/۵۳ درصدی محتوای کلروفیل a و ۳۸/٦– ۳۳ درصدی کلروفیل b در اثر کاربرد اسید هیومیک در گندم را، به نقش اسید هیومیک در سهولت جذب آب و مواد غذایی بیشتر نسبت دادند که می‌تواند ساخت رنگیزه–ها را افزایش و انتقال مواد فتوسنتزی در گیاه را تسهیل نماید. وانگ و همکاران (۲۰۰۸) دلیل افزایش محتوای کلروفیل در کاربرد قارچ‌های میکوریزا را، به افزایش جذب آهن و روی نسبت دادند که در بیوسنتز کلروفیل و توسعه کلروپلاست نقش اساسی دارد. افتخاری و همکاران (۲۰۱۰) نیز علت افزایش محتوای کلروفیل در گیاهان تلقیح شده با قارچ های مایکوریزای نسبت به گیاهان فاقد مایکوریزا را، به جذب بیشتر عناصر غذایی ضروری از قبیل آهن، مس و منیزیم نسبت دادند. تانگ و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی تأثیر قارچ مایکوریزا بر ذرت گزارش کردند که تلقیح موجب افزایش سنتز کلروفیل و فتوسنتز شد و علت را به افزایش جذب نیتروژن توسط گیاهان تلقیح داده شده با مایکوریزا نسبت دادند.

محتوای آنتوسیانین برگ: کاربرد مایکوریزا با اسید هیومیک در سطوح مختلف آبیاری بر محتوای آنتوسیانین برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین محتوای آنتوسیانین (۰/۰۰۰۰۱۳۳ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) در استفاده توأم هر دو نوع مایکوریزا و اسید هیومیک در شرایط آبیاری کامل و کم‌ترین آن (۰/۰۰۰۰۰۷۸ میکرومول برگرم وزن تر برگ) در عدم کاربرد مایکوریزا و اسید هیومیک در شرایط قطع آبیاری در مرحله‌ی چکمه‌ای شدن بدست آمد (جدول ٤). به بیانی دیگر در همان ترکیبات تیماری که محتوای کلروفیل بیشتر بود محتوای آنتوسیانین نیز بیشتر بود. یکی از دلایل کاهش محتوای کلروفیل، تولید گونه‌های فعال اکسیژن و متعاقب آن پراکسیداسیون لیپیدها و پروتئین‌ها است (جیائو و همکاران، ۲۰۱۰) ولی افزایش مقدار آنتوسیانین در گیاهان مایکوریزایی با کمک به افزایش سیستم آنتی‌اکسیدانی به منظور کاهش رادیکال‌های آزاد (پنگ و همکاران، ۲۰۱۱)، منجر به افزایش محتوای کلروفیلی می‌شود. ضمن آنکه گیاهان برخوردار از مایکوریزا حتی در شرایط محدودیت آبی به دلیل برخورداری از وزن و حجم ریشه بالاتر (جدول ٤) از امکان جذب آب بالاتری در مقایسه با گیاهان فاقد مایکوریزا برخوردارند و همین امر نیز می‌تواند اثرات ناشی از محدودیت آبی را تا حدودی تعدیل نموده و از تشدید تنش اکسیداتیو و افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن که یکی از عوامل موثر در کاهش محتوای آنتوسیانین است ممانعت نماید. نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش تجمع آنتوسیانین در کاربرد قارچ مایکوریزا در گیاه ریحان (لی و اسکاژل، ۲۰۰۹) و ذرت (خورشیدی و همکاران، ۲۰۱۳) گزارش شده است.

خصوصیات شبه جیبرلینی مواد هیومیکی نیز سبب تحریک آنزیم آلفا آمیلاز، افزایش کربوهیدرات و آنتوسیانین می‌شود. افزایش میزان آنتوسیانین با استفاده از اسید هیومیک توسط محققان زیادی گزارش شده است (عبد الزازق و همکاران، ۲۰۱۰، خطاب و شبان، ۲۰۱٤).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر مایکوریزا و اسید هیومیک با سطوح آبیاری بر محتوای کلروفیل، آنتوسیانین، مولفه‌های پر شدن دانه و عملکرد گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات											
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	آنتوسیانین	سرعت پر شدن دانه	طول دوره پر شدن	حداکثر وزن تک بذر	دوره موثر پر شدن دانه	حجم ریشه	وزن خشک ریشه	تعداد دانه در سنبله	طول سنبله	عملکرد دانه
تکرار	۲	۰/۰۲۹**	۰/۰۱**	۰/۰۷٤**	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱۵**	۳/٤۰**	۸٦۲/۸**	۰/۰۰۱۹**	۰/۰۰۰۰۰۰۱	٤٤٦۹/٦۹**	٤۱٤/٦۲**	۱۹٦۲/۰۵**	۵۲/۸۰**	۵۷٦۵۹۷/۸**
آبیاری	۲	۰/۰۱٦**	۰/۰۰۷**	۰/۰٤٤**	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۱۲**	۲/۱۲**	٤/٤۱**	۰/۰۰۰۱۵**	۰/۷۲**	۱٦۲٦**	۳۳۹/۷٤**	۳۸٦/۹۳**	٦/۵۹**	۱۲۵٤٦۵/**
مایکوریزا و هیومیک	۷	۰/۰۲۱**	۰/۰۰۷**	۰/۰۵۱**	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۱۵**	۱/۲۱**	۰/۸۵**	۰/۰۰۰۰۱۹**	۱/۳۲**	۲۰۲۰/۹۰**	٤۷۱/۳۱**	٤۳۷/٦٤**	۵/۲۱**	٤۲۵۵۸/۱**
اثر متقابل	۱٤	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰٤**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۹۹**	۳/۱٤**	۰/۲۸**	۰/۰۰۰۰۰۳**	۰/٤٤**	۲۵/۸۵**	۱۱/۲۳**	۱۸/۱۸**	۰/۱۲٦**	۳۷٤۱/۳**
خطا	٤٦	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰٦	۰/۰۰۰۲۷	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰٤۵	۳/۲۱	۰/۰۱۰۸	۰/۰۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱	۱۲/۲۹	۳/۲٦۲٤۳۸	۲/۵٤	۰/۰۲۸	۳۵۱/۳

*, ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ٤-مقایسه میانگین اثر مایکوریزا و اسید هیومیک با سطوح آبیاری بر محتوای کلروفیل، آنتوسیانین و برخی صفات مرتبط با عملکرد دانه گندم

ترکیب تیماری	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	حجم ریشه (در۰/۲ متر مربع)	وزن خشک ریشه (۰/۲ متر مربع)	آنتوسیانین (میکرومول بر گرم وزن تر برگ)	طول سنبله (سانتی‌متر)	تعداد دانه در سنبله	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)
I_1×F	^{k}۲/۳۳٦	^{gh}۱/۱۰۵	^{lm}۳/٤۷	^{lm}۵۲	^{ijk}۱۲/۲	^{mno}۰/۰۰۰۰۰۸٤	^{n}٦/۵	^{l}۳٦	^{jk}٦۸۱/۱۹
I_2×F	^{l}۲۰/۳۳۵	^{g}۱/۰۹۲	^{o}۳/٤	^{n}٤۵/۵	^{jkl}۱۱/۱۳	^{p}۰/۰۰۰۰۰۷۹	^{no}٦/٤	^{l}۳٦	^{kl}٦۵۷/۰٦
I_3×F	^{m}۲/۲۲۰	^{hi}۱/۰۷۲	^{p}۳/۳۱	^{n}٤۵	^{l}۸/٤۳	^{p}۰/۰۰۰۰۰۷۸	^{o}٦/۲	^{l}۳۵	^{l}٦٤۵/۰۵
I_1×A	^{ij}۲/۳۸۲	^{g}۱/۱۰۷	^{kl}۳/٤۸	^{kl}۵٦/٦٦	^{gh}۱٦/۹٦	^{mn}۰/۰۰۰۰۰۸۵	^{ij}۷/۲	^{hij}٤۱	^{ef}۷۷۹/۳
I_2×A	^{k}۲/۳٦۳	^{ij}۱/۰۸۳	^{mn}۳/٤٤	^{mn}۵۰	^{ijk}۱۲/۷٦	^{no}۰/۰۰۰۰۰۸۳	^{n}٦/۵	^{kl}۳۷	^{gh}۷٤۰/٦
I_3×A	^{l}۲/۳٤٦	^{i}۱/۰۸٦	^{no}۳/٤۳	^{n}٤۵/٦٦	^{kl}۱۰	^{op}۰/۰۰۰۰۰۸۲	^{no}٦/٤	^{kl}۳۷	^{kl}٦۵۹/۹۲
I_1×B	^{efg}۲/٤۲۰	^{fg}۱/۱۱٦	^{ghi}۳/۵۳	^{hi}۷۰/۳۳	^{e}۲۲/۸٦	^{ij}۰/۰۰۰۰۰۹۵	^{h}۷/۵	^{fg}٤۵	^{ef}۷۸۷/٤۸
I_2×B	^{hi}۲/۳۹۳	^{g}۱/۱۰۹	^{jk}۳/۵	٦۰^{k}	^{hg}۱۷/۵۳	^{kl}۰/۰۰۰۰۰۹	^{klm}٦/۸	^{ij}٤۰	^{h}۷۳٤/۰۱
I_3×B	^{jk}۲/۳۷٦	^{g}۱/۱۰۷	^{kl}۳/٤۸	^{klm}۵۵	^{ij}۱۳/۵	^{mno}۰/۰۰۰۰۰۸٤	^{mn}٦/۵٦	^{jk}۳۹	^{ij}٦۹۹/۰۷
I_1×A,B	^{bcd}۲/٤۳۹	^{c}۱/۱٤۲	^{de}۳/۵۸	^{def}۸٤/۳	^{bc}۲۸/۹	^{def}۰/۰۰۰۰۱۰۳	^{def}۸/۰۰	^{d}۵۲	^{b}۹۱۵/۳۲
I_2×A,B	^{gh}۲/٤۰۸	^{efg}۱/۱۱۷	^{ij}۳/۵۲	^{ij}٦٦	^{gh}۱۷/٤	^{jk}۰/۰۰۰۰۰۹	^{kl}٦/۹	^{hi}٤۲	^{h}۷۳٦/۱۹
I_3×A,B	^{ij}۲/۳۸٦	^{g}۱/۱۰۷	^{kl}۳/٤۹	^{jk}٦۰/۳۳	^{hi}۱٤/۷	^{lm}۰/۰۰۰۰۰۸	^{lmn}٦/٦٦	^{ij}٤۰	^{hi}۷۱٤/۵۲
I_1×H	^{abc}۲/٤٤۷	^{c}۱/۱٤	^{cd}۳/۵۹	^{bcd}۸٤/۳۳	^{cd}۲۸/۲	^{efg} ۰/۰۰۰۰۱۰۲	^{bcd}۲۳/۸	^{d} ۵۳/۳	^{d}۸٤٤/۲
I_2×H	^{defg}۲/٤۲۳	^{def}۱/۱۲۳	^{fghi}۳/۵٤	^{ih}۷۱/٦	^{ef} ۲۲/۷۳	^{gh}۰/۰۰۰۰۹۹۳	^{hi}۷/٤	^{fg}٤۵	^{fg}۷٦۸/۱۸
I_3×H	^{fg}۲/٤۱	^{efg}۱/۱۱۷	^{hij}۳/۵۲	^{ij} ٦٦	^{fg} ۱۹/۷٦	^{ij}۰/۰۰۰۰۰۹٤	^{jk}۷/۰۰	^{gh}٤۳	^{jk}٦۷۷/٤٤
I_1×H,A	^{a}۲/٤۵۷	^{b}۱/۱۵۹	^{be} ۳/٦۱	^{abc} ۹۱/٦٦	^{abc} ۳۰/۱	^{d}۰/۰۰۰۰۱۰٦	^{bc}۸/۳٦٦	^{bc}۵٦	^{bc}۸۸۸/۹۷
I_2×H,A	^{be}۲/٤۲۸	^{cd}۱/۱۳۳	^{efg} ۳/۵٦	^{fg} ۸۰	^{cd} ۲۷/۱٦	^{fgh}۰/۰۰۰۰۹۹۷	^{fg} ۷/۸	^{e}٤۸	^{ef}۷۹۲/۰۸
I_3×H,A	^{defg}۲/٤۲٤	۱^{def}/۱۲٤	^{fghi}۳/۵٤	^{gh} ۷۵	^{e} ۲٤/۰۳	^{hi}۰/۰۰۰۰۹۷	^{h} ۷/۵	^{ef} ٤۷	^{ij}۷۰۱/٤۳
I_1×H,B	^{a}۲/٤٦	^{a}۱/۱۹	^{a}۳/٦۵	^{ab} ۹۲	^{ab} ۳۱/٦٦	^{b}۰/۰۰۰۱۳۰۰	^{a}۹/۰۰	^{ab}۵۸	^{a}۹٤٦/٦۸
I_2×H,B	^{ab}۲/٤۵۲	۱^{b}/۱۵	^{bc}۳/٦۱	^{efg} ۸۰/۵	^{cd} ۲۷/٤٦	^{de}۰/۰۰۰۱۰٤	^{cde} ۸/۱	^{cd}۵٤	^{c}۸۷۵/۲۸
I_3×H,B	^{def}۲/٤۲۵	^{de}۱/۱۲۹	^{fgh} ۳/۵۵	^{gh} ۷۵/۵	^{de} ۲۵/٦	^{fgh}۰/۰۰۰۰۱۰	^{gh}۷/٦	^{ef}٤۷	^{gh}۷٤۱/٤٤
I_1×H,A,B	^{a}۲/٤٦	^{a}۱/۲	^{a}۳/٦٦	^{a} ۹۵/۱٦	^{a} ۳۲/۵۹	^{a}۰/۰۰۰۱۳۳۷	^{a}۹/۲۳	^{a}۵۹	^{a}۹۵۱/۲۷
I_2×H,A,B	^{a}۲/٤٦	^{b}۱/۱٦	^{b}۳/٦۲	^{ecd} ۸٦	^{ab} ۳۱/۸٦	^{c}۰/۰۰۰۰۱۱	^{b}۸/۵	^{cd}۵٤	^{c}۸۷۵/۲۸
I_3×H,A,B	^{cde}۲/٤۳۲	^{cd}۱/۱۳۵	^{def} ۳/۵٦	^{fg} ۸۰	^{cd} ۲۷/٦	^{def}۰/۰۰۰۰۱۰۳	^{ef}۷/۹	^{l}۳۵	^{l}۸۰۰/۲۷
LSD	۰/۰۱٦	۰/۰۱۲۸	۰/۰۲۷۳	۵/۷٦۳۱	۲/۹٦۸٦	۰/۰۰۰۰۰۳٤۹	۰/۲۷٦۲	۲/٦۲۳	۳۰/۸۰۸

I_1، I_2 و I_3 به ترتیب آبیاری کامل، آبیاری تا مرحله‌ی خوشه‌دهی، آبیاری تا مرحله‌ی چکمه‌ای شدن.

H: اسید هیومیک; A: مایکوریزا گونه A; B: مایکوریزا گونه B; F: شاهد

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

مولفه‌های پر شدن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ترکیب تیماری مایکوریزا با اسید هیومیک در سطوح مختلف آبیاری بر حداکثر وزن دانه، سرعت پر شدن دانه، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بررسی روند تغییرات پر شدن دانه نشان داد که ابتدا وزن دانه به صورت خطی افزایش یافته و به حداکثر خود رسید، پس از این مرحله وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبوده و به صورت یک خط افقی در آمد (شکل ۱).

سرعت پر شدن دانه: مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین سرعت پر شدن دانه (۰/۰۰۲۰۹ گرم در روز) در ترکیب تیماری مایکوریزا و اسید هیومیک در آبیاری کامل وکم‌ترین ان (۰/۰۰۱۷۷ گرم در روز) در عدم استفاده از مایکوریزا و اسید هیومیک و در شرایط قطع آبیاری در مرحله‌ی چکمه‌ای شدن به

دست آمد (جدول ۵). به نظر می‌رسد کاربرد مایکوریزا و اسید هیومیک به‌دلیل افزایش میـزان جـذب آب و مواد غذایی، موجب بالا رفتن نقل و انتقال مواد به دانه و در نهایت منجر به افزایش سرعت پر شدن دانه می‌شود. بخشی از افزایش سرعت پر شدن دانه را می‌توان به تاثیر کاربرد مایکوریزا با اسید هیومیک بر محتوای کلروفیل نسبت داد (جدول ٤). زیرا در همان ترکیب تیماری که محتوای کلروفیل بالاتر بود تمامی مولفه‌های پر شدن دانه از جمله سرعت پر شدن دانه نیز از مقادیر بالاتری برخوردار بودند. در این راستا تسنو و همکاران (۱۹۹٤) اظهار داشتند که افزایش میزان کلروفیل در طول دوره رشد به ویژه دوره‌ی پر شدن دانه، موجب افزایش سرعت پر شدن دانه می‌شود. به نظر می‌رسد در بیشتر موارد اثر احتمالی تنش آبی برسرعت پر شدن دانه از طریق محدودیت فراهمی مواد جذبی اعمال می‌شود که ناشی از اثر مستقیم تنش بر کاهش محتوای کلروفیل و فتوسنتز گیاهی است (ساوین و نیکولاس، ۱۹۹۹).

حداکثر وزن دانه و طول دوره پر شدن دانه: حداکثر وزن دانه (۰/۰۵ گرم) در در ترکیب تیماری مایکوریزا و اسید هیومیک در آبیاری کامل و کم‌ترین آن (۰/۰۳۹٦ گرم) در عدم استفاده از مایکوریزا و اسید هیومیک و قطع آبیاری در مرحله‌ی چکمه‌ای شدن به‌دست آمد (جدول ۳). به بیانی دیگر محدودیت شدید آبی منجر به کاهش ۵/۸ و ۱۲ درصدی به ترتیب دوره موثر پر شدن دانه و حداکثر وزن دانه در مقایسه با آبیاری کامل شد (جدول ٦). نتایج مشابهی نیز توسط محسنی و همکاران (۱٤۰۰) مبنی برمعنی‌دار بودن اثر تنش رطوبتی بر دوره پر شدن دانه در گنـدم گـزارش شده است. طول دوره پر شدن دانـه مرحله اصلی تشکیل عملکرد دانه است و طولانی‌تر بـودن این دوره امکان انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر از مبدأ به مقصد و در نتیجه افزایش عملکرد دانه را فراهم می‌سازد (حیدری سیاه خلکی و همکاران، ۱۳۹۱). وزن دانه به مقدار زیادی وابسته به دوره پرشدن دانه است، بنابراین تنش‌های محیطی که موجب کوتاه کردن دوره پر شدن دانه شوند به‌طور معنی‌داری وزن دانه را کاهش می‌دهند. اختلال در انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه بواسطه محدودیت آبی ممکن است مهمترین دلیل کاهش وزن دانه در شرایط تنش باشد. همچنین ولی به نظر می‌رسد کاربرد مایکوریزا و اسید هیومیک با کمک به کسترش وزن و حجم ریشه (جدول ٤) تا حدودی اثر ناشی از تنش را تعدیل نموده و منجر به بهبود مولفه‌های پر شدن دانه از جمله افزایش طول دوره پر شدن دانه شد. طوری‌که حتی در شرایط محدودیت شدید آبی، کاربرد مایکوریزا و اسید هیومیک در مقایسه با عدم کاربرد اسید هیومیک و مایکوریزا در این سطح از تنش رطوبتی، طول دوره پر شدن دانه را ۵/۳ درصد افزایش داد (جدول ۵). نتیجه کاهش طول دوره پر شدن دانه گندم به واسطه تنش آبی چروکیدگی دانه، کاهش وزن و در نتیجه کاهش عملکرد می‌باشد (حافظی و همکاران ۲۰۰۷). به نظر می‌رسد قارچ مایکوریزا با تولید هورمون های رشد و تأمین عناصر غذایی، ضمن افزایش سرعت پر شدن دانه، امکان تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه را نیز فراهم ساخته‌اند. نتایج مطالعات تسنو و همکاران (۱۹۹٤) نشان داد که بالا بودن میزان کلروفیل برگ در طول دوره‌ی رشد به ویژه دوره‌ی پر شدن دانه، موجب افزایش میزان مواد فتوسنتزی و سرعت فتوسنتز در اندام‌های فتوسنتز کننده و افزایش وزن دانه می‌شود.

جدول ۵-مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری مایکوریزا و اسید هیومیک با سطوح آبیاری بر مولفه‌های پر شدن دانه گندم

ترکیب تیماری	سرعت پر شدن دانه (گرم در روز)	طول دوره پر شدن دانه (روز)	حداکثر وزن خشک تک بذر (گرم)	دوره موثر پر شدن دانه (روز)	معادله برازش شده
I1×F	ef۰/۰۱۸۸	ijk۲۹/۷۲	gh۰/۰۴۴۵	l۲۳/۶۷	x۰/۰۱۸۸=Y-۰/۰۱۱۹
I2×F	ij۰/۰۱۸۲	m۲۹/۴۱	n۰/۰۴۰۳	x۲۲/۱۷	x۰/۰۱۸۲=Y-۰/۰۱۲۷
I3×F	l۰/۰۱۷۷	o۲۹/۰۱	n۰/۰۳۹۶	w۲۲/۳۷	x۰/۰۱۷۷=Y-۰/۰۱۳۲
I1×A	d۰/۰۱۹۳	bcd۳۰/۴۶	ef۰/۰۴۵۴	r۲۳/۵۲	x۰/۰۱۸۸=Y-۰/۰۱۲
I2×A	fg۰/۰۱۸۶	ij۲۹/۷۹	gh۰/۰۴۴۴	g۲۳/۸۷	x۰/۰۱۸۶=Y-۰/۰۱۲۹
I3×A	kl۰/۰۱۷۹	lm۲۹/۵۴	ijkl۰/۰۴۳۵	b۲۴/۳۱	x۰/۰۱۷۹=Y-۰/۰۱۳
I1×B	c۰/۰۰۲	bc۳۰/۵۷	d۰/۰۴۶	v۲۳/۴	x۰/۰۲=Y-۰/۰۱۲۶
I2×B	gh۰/۰۱۸۵	efg۳۰/۱۵	hijkl۰/۰۰۴۳۷	m۲۳/۶۳	x۰/۰۱۸۵=Y-۰/۰۱۲۷
I3×B	l۰/۰۱۷۷	lm۲۹/۵۱	m۰/۰۴۲۶	d۲۴/۰۶	x۰/۰۱۷۷=Y-۰/۰۱۲۱
I1×A,B	c۰/۰۰۲۰۱	cd۳۰/۴	bc۰/۰۴۸	c۲۴/۱۷	x۰/۰۲۰۱=Y-۰/۰۱۱۵
I2×A,B	fg۰/۰۱۸۶	fg۳۰/۰۵	ghij۰/۰۴۳۹	o۲۳/۶۱	x۰/۰۱۸۶=Y-۰/۰۱۲۳
I3×A,B	jk۰/۰۱۸۱	n۲۹/۲	lm۰/۰۴۲۹	i۲۳/۷۱	x۰/۰۱۸۱=Y-۰/۰۱۲۷
I1×H	d۰/۰۱۹۴	b۳۰/۶۲	e۰/۰۴۵۶	t۲۳/۵	x۰/۰۱۹۴=Y-۰/۰۱۲
I2×H	ghi۰/۰۱۸۴	ef۳۰/۱۶	jklm۰/۰۴۳۲	u۲۳/۴۷	x۰/۰۱۸۴=Y-۰/۰۱۲۹
I3×H	hij۰/۰۱۸۳	m۲۹/۴۳	klm۰/۰۴۳۰	s۲۳/۵۱	x۰/۰۱۸۳=Y-۰/۰۱۳۷
I1×H,A	c۰/۰۰۲	bc۳۰/۵۱	c۰/۰۴۷	f۲۳/۹۵	x۰/۰۲=Y-۰/۰۱۲
I2×H,A	gh۰/۰۱۸۵	ef۳۰/۱۸	ghijk۰/۰۴۳۸	k۲۳/۶۹	x۰/۰۱۸۵=Y-۰/۰۱۲۵
I3×H,A	jk۰/۰۱۸۱	klm۲۹/۵۶	klm۰/۰۴۳۰	h۲۳/۷۹	x۰/۰۱۸۱=Y-۰/۰۱۲۸
I1×H,B	b۰/۰۰۲۰۶	de۳۰/۳۲	b۰/۰۴۹	e۲۳/۹۸	x۰/۰۲۰۶=Y-۰/۰۱۱۹
I2×H,B	fg۰/۰۱۸۶	gh۲۹/۹۸	ghi۰/۰۴۴۱	j۲۳/۷	x۰/۰۱۸۶=Y-۰/۰۱۲۲
I3×H,B	ij۰/۰۱۸۲	lm۲۹/۵۴	klm۰/۰۴۳	n۲۳/۶۲	x۰/۰۱۸۲=Y-۰/۰۱۲۵
I1×H,A,B	a۰/۰۰۲۰۹	a۳۱/۲۲	a۰/۰۵۹	a۲۴/۳۵	x۰/۰۲۰۹=Y-۰/۰۱۱۴
I2×H,A,B	e۰/۰۱۸۹	ef۳۰/۲	fg۰/۰۴۴۶	p۲۳/۶۱	x۰/۰۱۸۹=Y-۰/۰۱۲
I3×H,A,B	fg۰/۰۱۸۶	hi۲۹/۸۷	ghijk۰/۰۴۳۸	q۲۳/۵۶	x۰/۰۱۸۶=Y-۰/۰۱۲۵
LSD	۰/۰۰۰۲۹۵	۰/۱۷۱۴	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۰۰۳۵	

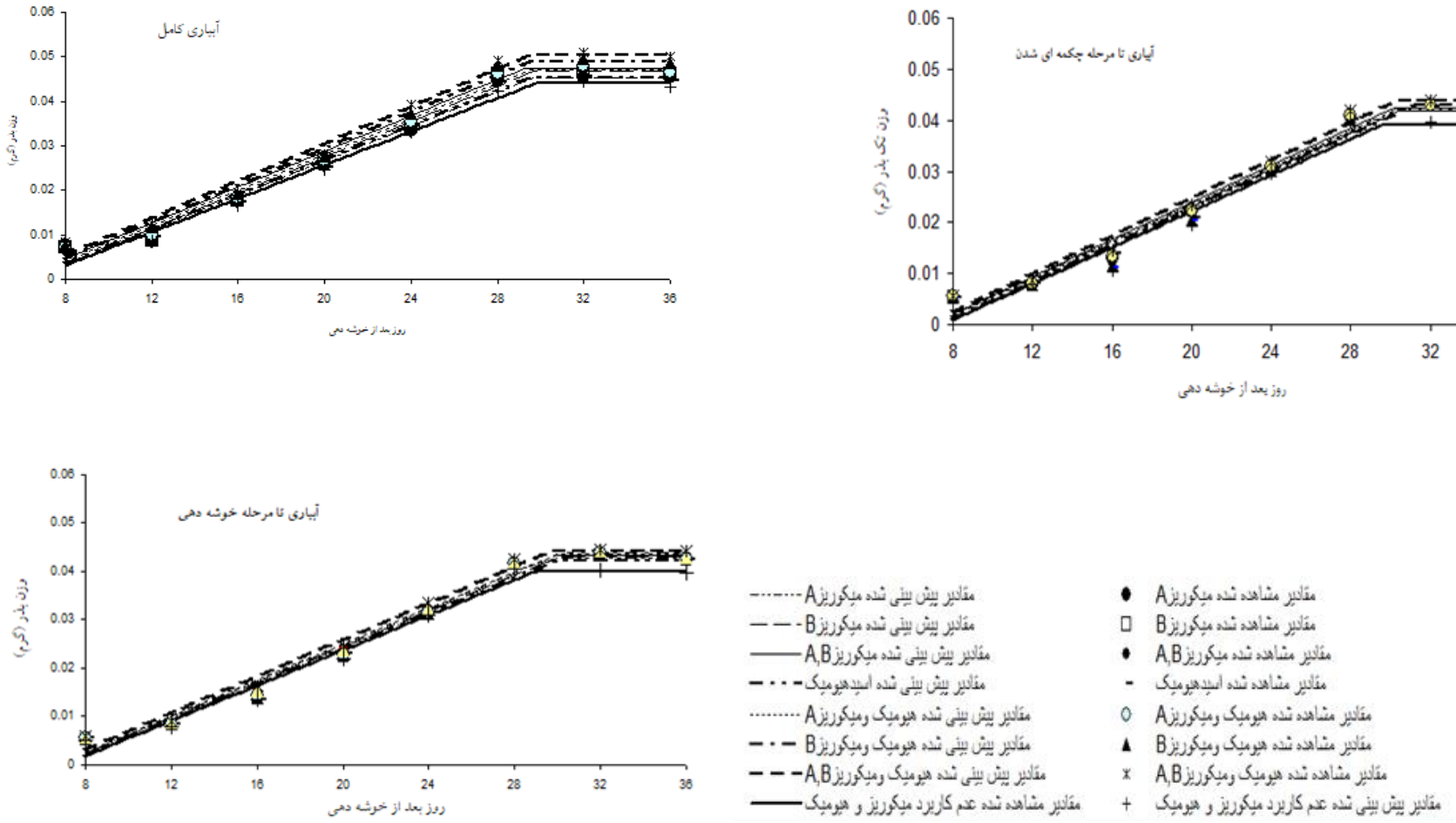
I1، I2و I3 به ترتیب آبیاری کامل، آبیاری تا مرحله‌ی خوشه‌دهی، آبیاری تا مرحله‌ی چکمه‌ای شدن.

H: اسید هیومیک; A: مایکوریزا گونه A; B: مایکوریزا گونه B; F: شاهد

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

وزن و حجم ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تاثیر اسید هیومیک و مایکوریزا و سطوح آبیاری بر این صفات معنی‌دار بود (جدول ۳). در سطح ثابت از آبیاری کامل، کاربرد توام مایکوریزا و اسید هیومیک از افزایش به‌ترتیب ۱۶۷ و ۸۳ درصدی وزن و حجم ریشه در مقایسه با عدم کاربرد مایکوریزا و اسید هیومیک برخوردار بود. به‌نظر می‌رسد در شرایط خشکی چون خاک به دلیل عدم آبیاری سفت و سخت می‌شود بنابراین امکان رشد و نفوذ ریشه‌ها و در نتیجه جذب عناصر غذایی محلول در خاک کاهش پیدا می‌کند. ضمن آنکه در چنین شرایطی کاهش محتوای کلروفیل (جدول ٤) موجب می‌شود به‌دلیل کاهش میزان فتوسنتز رشد اندام های هوایی، مواد کمتری به ریشه منتقل شده و بدین طریق ظرفیت جذب و انتقال آب و عناصر غذایی از خاک به طرف اندام هوایی کاهش یابد. در چنین شرایطی مایکوریزا می‌تواند موجب افزایش وزن و حجم ریشه نسبت به عدم کاربرد آن شود. برخی معتقدند گیاهان برخوردار از مایکوریزا با اثر بر سیستم ریشه از طریق ایجاد هیف و گسترش این سیستم در طول ریشه و اثر بر جذب عناصر و رشد، باکمک به جذب رطوبت و عناصر غذایی، منجر به تحمل شرایط نامساعد محیطی می‌شوند (تورک و همکاران ۲۰۰۶).



شکل ۱. تاثیر مایکوریزا و اسید هیومیک بر روند پر شدن دانه گندم در سطوح مختلف آبیاری

طول سنبله

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تاثیر اسید هیومیک و مایکوریزا و سطوح آبیاری بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین طول سنبله (۹/۲۳ سانتی‌متر) در آبیاری کامل و استفاده همزمان اسید هیومیک با هر دو نوع مایکوریزا و کمترین این صفت (٦/۲ سانتی‌متر) در حالت عدم مصرف مایکوریزا و اسید هیومیک در شرایط قطع آبیاری در مرحله‌ی چکمه‌ای شدن مشاهده شد (جدول ۵). افزایش طول سنبله به معنای تشکیل تعداد سنبلچه‌ها و در نتیجه گلچه‌های بیشتر و تولید دانه بالاتر است. در این بررسی با افزایش محدودیت آبی، طول سنبله کاهش معنی‌دار نشان داد. به نظر می رسد کاربرد هیومیک و قارچ مایکوریزا به دلیل گسترش وزن و حجم ریشه (جدول ٤) و در نتیجه بهبود جذب آب و عناصر غذایی می‌تواند طول سنبله را افزایش دهد.

تعداد دانه در سنبله

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ترکیب تیماری اسید هیومیک و قارچ مایکوریزا در سطوح مختلف آبیاری بر تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین تعداد دانه در سنبله (۵۹) در آبیاری کامل و استفاده همزمان اسید هیومیک با هر دو نوع مایکوریزا و کمترین آن (۳۵) در عدم مصرف کودهای زیستی و قطع آبیاری در مرحله‌ی چکمه‌ای شدن بدست آمد (جدول ٤). به نظر می‌رسد قطع آبیاری در مرحله‌ی چکمه‌ای شدن به دلیل عقیم شدن دانه‌های گرده، اختلال در فتوسنتز جاری و انتقال مواد ذخیره شده به دانه‌ها می‌تواند از دلایل کاهش تعداد دانه در سنبله در چنین شرایطی باشد (وانگ .و همکاران ۲۰۰۱). از طرفی تعداد دانه در سنبله از جمله صفاتی است که پتانسیل آن بعد از مرحله گلدهی تعیین میشود، بنابراین محدودیت آبیاری در مرحله گرده افشانی به علت عقیم شدن گل‌های انتهایی سنبله، موجب کاهش تعداد دانه کمتر در سنبله می‌شود (مصطفی و همکاران ۱۹۹٦). لیوقی و همکاران (۲۰۰۸) علت کاهش تعداد دانه در سنبله در شرایط محدودیت ابی را به اثر سوء تنش در باروری تخمک‌ها و طی شدن سریع‌تر مراحل نموی گیاه نسبت دادند. اولکه و همکاران (۲۰۰٤) بیان کردند در شرایط خشکی به دلیل خشک شدن دانه‌ی گرده و کاهش میزان گل‌های تلقیح شده، به دلیل افزایش درصد دانه‌های پوک، تعداد دانه در سنبله کاهش می‌یابد. احتمال داده میشود کاربرد اسید هیومیک با افزایش هورمون‌های اکسین، سیتوکینین و جیبرلین در گیاه و جلوگیری از ریزش یا عقیم شدن گلچه‌ها در سنبله در شرایط محدودیت آبی، موجب افزایش تعداد دانه در سنبله شده است (عادل موقود و همکاران ۲۰۰۷). یوسفی و همکاران (۲۰۱۱) نتیجه گرفتند که تلقیح با قارچ‌های مایکوریزایی به تنهایی یا همراه با سایر عوامل موجب افزایش ماده خشک، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه شد. الکاراکی و همکاران (۲۰۰٤) در بررسی واکنش گندم به تلقیح قارچ‌های مایکوریزایی در شرایط تنش خشکی در مزرعه اظهار داشتند که تلقیح با قارچ مایکوریزایی موجب افزایش تعداد دانه در سنبله نسبت به شاهد شد. نتایج مشابهی نیز توسط دیگر محققان مبنی بر افزایش تعداد دانه در سنبله با کاربرد مایکوریزا در گندم گزارش شده است (ابوقلیا و همکاران ۲۰۰۸)

عملکرد دانه

اثر اسید هیومیک و قارچ مایکوریزا در سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین عملکرد دانه (۹۵۱/۲ گرم در مترمربع) در ترکیب تیماری آبیاری کامل و استفاده توام اسید هیومیک و گونه‌های مایکوریزا و کمترین آن (٦٤٥/۰۵ گرم در مترمربع) مربوط به عدم مصرف اسید هیومیک و قارچ مایکوریزا در شرایط قطع آبیاری در مرحله چکمه‌ای شدن مشاهده شد (جدول ٤). بخشی از افزایش عملکرد دانه در کاربرد اسید هیومیک و مایکوریزا می‌تواند ناشی از اثر این ماده در افزایش فراهمی عناصر غذایی برای گیاه باشد. در مطالعه‌ای بر روی گیاه لوبیا، محلول پاشی اسید هیومیک روی عملکرد دانه موجب افزایش ١٦ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شد که علت را به افزایش فراهمی عناصر غذایی برای گیاه در تیمارهای با کاربرد اسید هیومیک بیان کردند (جهان و همکاران، ۱۳۹۲). قارچ‌های مایکوریزا نیز با گسترش هیف‌های خود منجر به افزایش وزن و حجم ریشه شده (جدول ٤) و با ایجاد رابطه همزیستی با ریشه‌ی اغلب گیاهان زراعی موجب افزایش جذب عناصر غذایی، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی و بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (شارما ۲۰۰۲). بخشی از بهبود عملکرد دانه در کاربرد مایکوریزا و اسید هیومیک ناشی از تاثیر این عوامل در بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی (جدول ٤) و بخش دیگری از آن ناشی از تاثیر این عوامل بر بهبود مولفه‌های پرشدن دانه (اعم از سرعت، مدت و طول دوره پر شدن دانه) است. الکاراکی و همکاران (۲۰۰٤) نتیجه گرفتند که در شرایط آبیاری

معمولی و محدودیت آبی، قارچ مایکوریزایی با کاهش اثر تنش خشکی در گندم تحت شرایط مزرعه‌ای، در بهبود عملکرد دانه و بیوماس گندم موثر بود. کاربرد مایکوریزا به دلیل بهبود وضعیت جذب آب و عناصر غذایی، موجب بهبود و افزایش همه ویژگی های رشد گندم و بهبود مقاومت به خشکی گیاه گندم می‌شود (ابوقلیا و همکاران ۲۰۰۸).

نتیجه‌گیری

محدودیت آبی از مهمترین تنش‌های غیر زیستی در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود که با کاهش محتوای کلروفیل و طول دوره پر شدن دانه، در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود. در چنین شرایطی یکی از راه کارهای مناسب برای بهبود عملکرد دانه استفاده از کودهای زیستی همانند مایکوریزا و اسید هیومیک است. در این بررسی کاربرد مایکوریزا و اسید هیومیک در تمامی سطوح آبیاری اعم از آبیاری کامل و محدودیت شدید آبی با افزایش محتوای کلروفیل و آنتوسیانین برگ، مولفه‌های پر شدن دانه (اعم از طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه)، طول سنبله و تعداد دانه در سنبله در نهایت منجر به بهبود عملکرد دانه حتی در شرایط محدودیت شدید آبی (قطع آبیاری در مرحله آبستنی) شد. از این‌رو کاربرد مایکوریزا و اسید هیومیک می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب برای افزایش عملکرد گندم توصیه شود.

منابع

جهان م.، ر. سهرابی ، ف. دوایی و م.ب. امیری، ۱۳۹۲. تأثیر جذب سوپر جاذب هیدروژن بر محلول پاشی خاک و اسید هیومیک بر روی برخی ویژگی‌های زراعی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط مشهد. مجله کشاورزی اکولوژی، جلد ۳ شماره ۲: ۹۰-۷۱.

حیدری سیاه خلکی، م.ص.، ر. سید شریفی، و م. صدقی، ۱۳۹۱ .تأثیر تلقیح بذر با باکتریهای محرک رشد (PGPR) و زمان مصرف کود نیتروژن بر عملکرد، سرعت و طول دوره پر شدن دانه گندم. مجله علوم و تکنولوژی بذر. جلد ۲ شماره ۳ : ۷۸-٦٤.

-خیری‌زاده آروق، ی.، ر، سیدشریفی.، م، صدقی و م، برمکی. ۱۳۹٦. تأثیر تعدیل کننده‌های تنش کمبود آب (کودهای زیستی و نانواکسید روی) بر صفات مؤثر بر انباشت مواد در دانه تریتیکاله در شرایط مختلف قطع آبیاری. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. سال ۹، شماره ۲۸، صفحات ٤٦-۳۱.

خورشیدی بنام، م.ب. و باقری، م. ۱۳۹۲. افزایش تحمل گیاهچه‌های ذرت به تغییرات دمایی از طریق سه گونه مایکوریزاا. مجله دانش کشاورزی و تولید پایدار. جلد ۳ صفحات ۲۰۰-۱۸۷.

محسنی، ع.ر.، ر، سید شریفی.، و س، خماری. ۱٤۰۰. اثر قطع آبیاری در مراحل زایشی و کاربرد پوترسین و کودهای زیستی بر دوره پر شدن دانه، محتوای کلروفیل و عملکرد گندم. پژوهش‌های زراعی ایران. جلد ۱۹ شماره ۲ صفحات ۱٦۷-۱۵۳.

سید شریفی، ر، و ع، نامور. ۱۳۹٤. کودهای زیستی در زراعت. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی. ۲۸۲ صفحه.

سید شریفی، ر، و قلی نژاد، ا. ۱٤۰۰. ارزیابی صفات زراعی و مورفوفیزیولوژیکی گیاهان زراعی. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی. ٤۰۰ صفحه.

داودی فرد، م. و حبیبی، د. ۱۳۹۰. اثرات تنش شوری روی پایداری غشا، محتوای کلروفیل و اجزای عملکرد گندم تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد و اسید هیومیک. مجله زراعت و اصلاح نباتات. ۲۳ : ۱٦-۱.

Abd El-Razek, E., A.S.E. Abd-Allah and M.M.S. Saleh, 2012. Yield and fruit quality of Florida prince peach trees as affected by foliar and soil applications of humic acid. J. Appl Sci Res. 8 (12): 5724-5729.

Abdel Mawgoud, A.M.R., N.H.M, El Greadly., Y.I. Helmy, and S.M.Singer. 2007. Responses of tomato plants to different rates of humic based fertilizer and NPK fertilization. J. Appl Sci Res. 3(2): 169-174.

Abo-ghalia, H.H. and A.A. Khalafallah. 2008. Responses of wheat plants associated with arbuscular mycorrhizal fungi to short-term water stress followed by recovery at three growth stages. J. Applied Sci Resh. 4: 570-580.

Abou-Aly, H.E. and M.A.Mady. 2009. Complemented effect of humic acid and bio-fertilizers on wheat (Triticum aestivum L.) productivity. Annals of Agricul Sci. 47(1): 1-12.

Aggag, A.M., A.M, Alzoheiry, and A.E. Abdallah. 2015. Effect of kaolin and fulvic acid anti-transpirants on tomato plants grown under different water regimes. Alexandria Sci Exchange J. 36, 2-15.

Al-Karaki,G.N., B.McMichael, J.Zak,2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. Mycorrhiza, 14:263-269.

Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agron J. 23: 112-121.

Asrar, A.A., G.M, Abdel-Fattah, and K.M, Elhindi. 2012. Improving growth, flower yield, and water relations of snapdragon (Antirhinum majus L.) plants grown under wellwatered and water stress conditions using arbuscular mycorrhizal fungi. Photosynthetica. 50 (2): 305–316.

Asri, F.O., E.L. Demirtas, and N.Ari. 2015. Changes in fruit yield, quality and nutrient concentrations in response to soil humic acid applications in processing tomato. Bulgarian J. Agric Sci, 21(3), 585-591.

Dodd, I.C, and F. Perez-Alfocea,. 2012. Microbial amelioration of crop salinity stress. J. Exp Bot. 63 (9): 3415-3428.

Eftekhari, M, M.Alizadeh, K. Mashayekhi, H. Asghari and B. Kamkar, 2010. Integration of arbuscular mycorrhizal fungi to grape Vine (Vitis vinifera L.) in nursery stage. J. Adv Laboratory Res. Biol. 1(1): 102-111.

Ellis R.H. and C. Pieta-Filho, 1992. The development of seed quality spring and winter cultivars of barley and wheat. Seed Sci Res, 2: 19-25.

Gianinazzi, S., H, Schuepp, JM, Barea, and K.Haselwandter. 2001. Mycorrhizal technology in agriculture: from genes to bioproducts. Birkhauser, Basel. ISBN: 376436858. Also in: Mycorrhiza. 13: 53-54. Lovato, P. Book review.

Hafsi,M., Akhter,J. and P.Monneveux,2007.Leaf senescence and carbon isotope discrimination in durum wheat (Triticum durum Desf.) under severe drought conditions. Cereal Res Communications, 35: 71-80.

James, B., D.Rodel, U.Lorettu, E.Reynaldo, and H.Tariq. 2008. Effect of vesicular Arboscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of Senna Spectabilis. Pak J. Bot.

40 (5): 2217-2224.

Jiao, J., K.Chen, and C.Yi. 2010. Effects of soil moisture content on growth, physiological and biochemical characteristics of Jatropha curcas L. Acta Ecol Sinica, 30, 4460-4466

Jose,A., and A.Martin. 1988. Effect of humic acids on the mineralization of low concentration of organic compounds. Soil Biol. Bioch 20(2): 185-191.

Kaya, M., M. Atak., C.Y. Ciftci, and S.Unver, 2005. Effect of zinc and humic asid applications on yield and some yield components of bread wheat (Triticum aestivum L.). J. Graduate School and Natural Appl Sci, 9 (3): 315-321.

Khattab, M. M. and A.E, Shaban, 2014. Effect of humic acid and amino acids on pomegranate trees under deficit irrigation. II: fruit quality. American-Eurasian Journal of Agricul. Env Sci, 14 (9): 941-948.

Lee, J. and C.F, Scagel. 2009. Chicoric acid found in basil (Ocimum basilicum L.) leaves. J. Food Chem. 115: 650-656.

Luigi, C., F. Rizza, B. Farnaz, E. Mazzucotelli, A.M. Mastrangelo, E. Francia, C.T. Mare, T. Alessandro and M.A. Stanca, 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. Field Crops Res, 105: 1- 14.

Manal, F.M., A.T.Thalooth., A.G.Amal., H.M. Magda, and T.A, Elewa. 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. Intern J. Chem Tech Res, 9(8): 154-161.

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

Moucheshi, A., M.T.Heidari, and B. Assad,. 2012. Alleviation of drought stress effects on wheat using arbuscular mycorrhizal symbiosis. Intern J. Agricul Sci. 2: 35–47.

Moustafa, M.A., L.B. Boersma and W.E. Kyonstad, 1996. Response of four spring wheat cultivars to drought stress. Crop Sci, 36: 982-986.

Oelke, E.A., E.S. Oplinger, T.M. Teynor, D.H. Putnam, J.D. Doll, K.A. Kelling, B.R. Durgan and D.M. Noetzel, 2004. Safflower. Altern Field Crops Manual, 1-8.

Orabi, S.A., S.R. Salman and M.A. Shalaby, 2010. Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (Cucumis sativus L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. J. Agricul Sci, 6(3), 252-259.

Peng, Z., C.Han., L.Yuan., K.Zhang., H.Huang, and C. Ren. 2011. Brassinosteroid enhances jasmonate-induced anthocyanin accumulation in Arabidopsis seedlings. J. Integ Plant Biol, 53: 632-640.

Ronanini, D., R.Savin and A.J. Hal, 2004. Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (Helianthus annuus L.) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. Field Crop Res, 83: 79-90.

Savin, R., and M.E.Nicolas, , 1999. Effects of timing of heat stress and drought on growth and quality of barley grains. Aust J. Agricul Res 50 (3) 357 – 364.

Tang, M., H. Chen, J.C. Huang, and Z.Q. Tian, 2009. Arbuscular mycorrhiza fungi effects on the growth and physiology of (Zea mays L.) seedlings under diesel stress. Soil Biol Bioch, 41: 936–940.

Theunissen, J.P., Ndakidemi, A. and C.P, Laubscher. 2010. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. International J. Phys Sci, 5 (13): 1964- 1973.

Tsuno, Y., T. Yamaguchi and J.Nakano. 1994. Potential dry matter production and grain filling process of rice plant from the viewpoint of source-sink relationships and the role of root respiration in its relationship. Agron J, 47:1-10.

Turk, M.A., T.A.Assaf, K.M, Hameed, and A.M, Al-Tawaha. 2006. Effect of soil amendment with olive mill by products under soil solarization on growth and productivity of faba bean and their symbiosis with mycorrhizal. World J. Agricul Sci. 2(1): 1817-3047.

Wagner, G.J. 1979. Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars free amino acids, and anthocyanins in protoplast. Plant Physiol, 64: 88-93

Wang, M., P.Christie, Z.Xiao, P.Wang, J.Lio, and R.Xia. 2008. Arbuscular mycorrhizal enhancement of iron concentration by Poncirus trifoliata L. Raf and Citrus reticulate Blanco grown on sand medium under different pH. Biol. Fert of Soils. 45:65-72.

Wang, Z. M., A.L. Wei, and D.M. Zheng, 2001. Photosynthetic characteristic of non leaf organs of winter wheat cultivar differing in ear type and their relationship with grain mass per ear. Photosynthetica, 39: 239-244.

Yang, G., N.Liu, W.Lu, S.Wang, H.Kan, Y.Zhang, L.Xu, and Y, Chen. 2014. The interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and soil phosphorus availability influences plant community productivity and ecosystem stability. Ecology. 102:1072-1082.

Yousefi,A.A., K.Khavazi, A. A. Moezi, F. Rejali and H.Nadian, 2011. Phosphate solubilizing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi impacts on inorganic phosphorus fractions and wheat growth. J. World Appl Sci. 15 (9): 1310-1318.

Yuan, T., J.Wang., X.Sun., J.Yan., Z.Wang, and J.Niu. 2017. Effect of combined application of humic acid and nitrogen fertilizer on nitrogen uptake, utilization and yield of winter wheat. Chinese J. Eco-Agriculture. 3: 74-82.

The effect of mycorrhiza and humic acid on chlorophyll content and grain filling components of wheat (Triticum aestivum L.) in various irrigation levels

Sh. Shahmarzadeh[۱], R. Seyed Sharifi[۲], M. Sedghi[۳]

Received: 2022-06-12 Accepted: 2023-01-25

Abstract

In order to study the effect of mycorrhiza and humic acid on yield, chlorophyll content and grain filling components of wheat (Triticum aestivum L.) in various irrigation levels, a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in research farm of faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohagheghi Ardabil in 2018-2019. Experimental factors were included irrigation at three levels (full irrigation as control, irrigation withholding at 50% of heading and irrigation withholding at 50% of booting stage), and application of mycorrhiza and humic acid at eight levels (Glomus intraradices, Glomus moseae, both application Glomus intraradices and Glomus moseae, humic acid, humic acid with Glomus intraradices, humic acid and G.moseae, humic acid with Glomus intraradices and Glomus moseae, control (without humic acid, Glomus moseae and Glomus intraradices). Means comparison showed that both application Glomus intraradices and Glomus moseae with humic acid under full irrigation increased anthocyanin content (71%), chlorophyll content a, b and total chlorophyll (10.8, 12 and 17%), grain filling rate (18%), grain filling period and effective grain filling period (7.6 and 8% respectively), ear length (48%), number of grain per ear (68%) and grain yield (48%) in comparison with irrigation withholding at 50% of booting stage and no application of mycorrhiza and humic. Both application Glomus intraradices and Glomus moseae with humic acid under sever water limitation (irrigation withholding at booting stage) increased grain filling rate (5%), grain filling period and effective grain filling period (3 and 5.3% respectively), chlorophyll content a, b and total chlorophyll (9.5, 5.8 and 7.5%) and grain yield (14.1%) in comparison with no application of mycorrhiza and humic under such conditions. Based on the results of this study, it seems that application of mycorrhiza and humic acid can increase grain yield of wheat under severe water limitation due to improving chlorophyll content and grain filling components.

Keywords: Anthocyanin, bio fertilizers, photosynthetic pigments, water limitation

1- Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University.
2- Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University.
3- Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University.