علوم و تحقیقات بذر ایران

سال اول/ شماره دوم/ ۱۳۹۳ (۱۲ - ۱)

نقش تلقیح بذر گندم (*Triticum aestivum* L.) با کودهای زیستی در کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی

جواد حسن‌پور[۱]، بهنام زند[۲]*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۳/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۲۲

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تلقیح بذر گندم با کودهای زیستی در کاهش خسارت تنش خشکی انتهای فصل رشد، آزمایشی در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران اجرا شد. چهار تیمار تلقیح بذر با کود زیستی (عدم تلقیح، تلقیح با قارچ میکوریزا *Glomus intraradices*، تلقیح با باکتری ازتوباکتر *Azotobacter chroococcum* و تلقیح با هر دو ریزجاندار) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند و همزمان، آزمایش مشابه دیگری (تیمارهای یکسان، نوع خاک یکسان و شرایط کاشت، داشت و برداشت مشابه) اما در محیط تنش (قطع آبیاری در زمان ورود ۵۰ درصد بوته‌ها به فاز گلدهی) اجرا شد. نتایج نشان داد که تنش قطع آبیاری در زمان ۵۰ درصد گلدهی سبب کاهش عملکرد دانه در سطح آماری ۱ درصد شد. میانگین عملکرد دانه با ۲۱/۳ درصد کاهش از ۷۷۶۳ کیلوگرم در هکتار برای آبیاری مطلوب به ۶۱۰۸ کیلوگرم در هکتار رسید و به‌طور عمده ناشی از کاهش تعداد دانه در خوشه، تعداد پنجه بارور، عملکرد ماده خشک و تا حد کمتری وزن هزار دانه بود. درصد پروتیین و فسفر دانه در شرایط تنش، افزایش نشان داد اما این افزایش تنها برای درصد پروتیین معنی‌دار بود. تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، درصد و عملکرد پروتیین، درصد و عملکرد فسفر و محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر تلقیح بذر با کود زیستی قرار گرفتند. اثر مثبت تلقیح بذر بر عملکرد دانه، برای قارچ میکوریزا تا حدی بیشتر از ازتوباکتر بود اگرچه هر سه سطح تلقیح سبب افزایش میانگین عملکرد دانه در مقایسه با شاهد شد. میانگین عملکرد دانه در تیمار تنش و بدون انجام تلقیح معادل ۵۴۳۷ کیلوگرم در هکتار بود اما در همین شرایط، انجام تلقیح سبب افزایش آن به ۶۴۶۳، ۶۱۲۹ و ۶۴۰۳ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب برای میکوریزا، ازتوباکتر و تلقیح توأم گردید. درصد و عملکرد پروتیین و همچنین درصد و عملکرد فسفر دانه در اثر تلقیح بذر افزایش نشان داد. تنش خشکی در فاز زایشی اثری بر محتوای نسبی آب برگ نداشت. با این‌حال انجام تلقیح سبب افزایش درصد محتوای نسبی آب برگ‌ها و بهبود دوام سطح برگ گندم شد.

واژه‌های کلیدی: ازتوباکتر، پروتیین، خشکی، گندم، فسفر، میکوریزا

۱و۲- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران

* نویسنده مسئول: behzand@yahoo.com

مقدمه

مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی در دهه‌های اخیر و آشکار شدن اثرات زیست‌محیطی متعدد آن از جمله آلودگی‌های آب و خاک و مشکلات سلامتی انسان و دیگر موجودات زنده موجب شده است تا توجه ویژه‌ای به قابلیت‌های ذاتی و متنوع موجودات خاکزی و به‌ویژه ریزجانداران در راستای سیاست کشاورزی پایدار مبذول شود. یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین زمینه‌های مورد تحقیق در مطالعات مذکور، تلاش برای تولید کودهای زیستی می‌باشد. کودهای زیستی به مواد حاصلخیزکننده‌ای اطلاق می‌شود که حاوی تعداد کافی از یک یا چند گونه از جانداران‌های مفید خاکزی هستند که روی مواد نگهدارنده مناسبی عرضه می‌شوند. این اصطلاح گاهی برای موادی که فقط حاوی فراورده‌های این موجودات هستند نیز به کار برده می‌شود (Zahir *et al*., 2004). کودهای زیستی به لحاظ تأثیر مناسب در افزایش عملکرد محصولات زراعی از جمله ذرت، گندم و جو، در حال حاضر جایگاه ویژه‌ای در دسته‌بندی انواع کودها دارند (Alizadeh and Aryana, 2010). قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های *ازتوباکتر* به عنوان کودهای زیستی به‌ویژه در خاک‌های معدنی فاقد هوموس و فقیر از نظر فسفر، نیتروژن و سایر عناصر غذایی، نقش مهمی در تغذیه گیاهان ایفا می‌کنند، به طوری که این قارچ‌ها می‌توانند فسفر غیرقابل جذب و غیرقابل دسترس را به صورت قابل‌جذب در دسترس گیاهان قرار داده و در افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی اثر قابل ملاحظه‌ای داشته باشند (Cooper and Tinker, 2003).

بحرانی و همکاران (Bahrani *et al*., 2010) در بررسی عکس‌العمل گندم به تلقیح بذر با *ازتوباکتر* و قارچ میکوریزا در شرایط مصرف منابع مختلف کود نیتروژن گزارش داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته گندم از تیمار تلقیح بذر با *ازتوباکتر* حاصل شد. این محقق اظهار داشت که تلقیح با *ازتوباکتر* و میکوریزا چه به‌صورت جداگانه و چه توأم، سبب افزایش معنی‌دار تعداد سنبله بارور گندم در واحد سطح شد. همچنین حداکثر وزن هزار دانه از تیمار تلقیح با *ازتوباکتر* و نیز تیمار تلقیح توأم دو ریزجاندار حاصل شد. در آزمایش ایشان بیش‌ترین عملکرد دانه از تیمار تلقیح توأم با *ازتوباکتر* و میکوریزا ثبت شد. طی مطالعه‌ای درباره اثر باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم گزارش شد که سویه‌های باکتریایی گونه *سودوموناس* قادر به تحریک معنی‌دار طول و وزن خشک ریشه گندم هستند (Egamberdieva, 2010). این محقق پیشنهاد کرد که تلقیح بذر گندم با این ریزجاندار می‌تواند سبب بهبود رشد اولیه و استقرار گیاه گردد. تحقیقات حفیظ و همکاران (Hafeez *et al*., 2004) نیز ظهور سریع‌تر گیاهچه‌های ارقام پنبه بر اثر تلقیح بذر با باکتری‌های مختلف افزاینده رشد گیاه از جمله *ازتوباکتر* را نشان داده و ترشح اسید ایندول استیک توسط این باکتری را در بروز این پاسخ مؤثر دانستند.

در غلات حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی حدفاصل سنبله رفتن تا گلدهی است و واریته‌هایی که قبل از گلدهی بتوانند زیست‌توده بالایی تولید و ذخیره فراورده‌های فتوسنتزی در ساقه را افزایش دهند، جزو واریته‌های متحمل به خشکی محسوب می‌شوند. حذف آبیاری در مراحل شیری و خمیری شدن دانه‌ها موجب کاهش عملکرد دانه و ماده خشک ژنوتیپ‌های گندم شده و حذف آبیاری در این مراحل توصیه شده است (Aghaei *et al*., 2009). بررسی‌های شمسی و همکاران (Shamsi *et al*., 2010) نشان داد که ایجاد تنش آبی در مرحله گلدهی، موجب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله و تنش آبی در مرحله شیری شدن دانه، کاهش وزن هزار دانه را در پی داشته است. بروز تنش طی مرحله رشد زایشی، همانند آنچه در دشت ورامین (منطقه مورد مطالعه) نیز حاکم است و گندم به طور معمول و تقریبا هر ساله با کمبود و حتی نبود آب در فصول بهار و اوایل تابستان مواجه می‌شود، اهمیت بررسی راهکارهای مناسب را برای کاهش خسارت تنش، چه از طریق یافتن ارقام متحمل و چه با کاربرد ترکیبات مختلف از جمله کودهای زیستی که تأمین عناصر غذایی ضروری به‌ویژه نیتروژن و فسفر را برای گیاه تسهیل می‌نمایند، مورد تأکید قرار می‌دهد. هدف از این تحقیق، بررسی اثر کاربرد کودهای زیستی، شامل میکوریز و *ازتوباکتر*، بر عملکرد کمی و کیفی رقم جدید گندم سیروان، در شرایط مطلوب و نیز تحت تنش خشکی (قطع آب در طول دوره رشد زایشی گندم) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران اجرا شد. چهار تیمار تلقیح بذر (عدم تلقیح، تلقیح با قارچ میکوریزا *Glomus intraradices*، تلقیح با ازتوباکتر *Azotobacter chroococcum* و تلقیح با هر دو ریزجاندار) در قالب دو طرح بلوک‌های کامل تصادفی یکی در شرایط آبیاری مطلوب و دیگری در شرایط رژیم قطع آبیاری در زمان ۵۰ درصد گلدهی در ۳ تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. بذر گندم بلافاصله قبل از کشت و بر اساس تیمارهای آزمایش، به روش استاندارد و توصیه شده با مایهٔ تلقیح قارچ میکوریزا و باکتری *ازتوباکتر* (Bahrani *et al*., 2010) آغشته شد. زمین مورد نظر در سال قبل آیش بود. تهیه زمین شامل دوبار شخم عمود بر هم و یک بار دیسک بعد از گاورو شدن زمین در نیمه دوم مهرماه انجام شد. سپس به‌وسیله لولر عمل تسطیح زمین انجام گرفت. توصیه کود بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و توصیه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی صورت پذیرفت. بر این اساس، کود پتاسیم به‌دلیل عدم نیاز خاک (طبق آزمون خاک) مصرف نگردید. با توجه به استفاده از کودهای زیستی و به منظور ایجاد شرایط برای فعالیت ریزجاندارها، مصرف کود نیتروژن از منبع اوره به میزان نصف نیاز خاک استفاده گردید که یک سوم از آن به‌عنوان استارتر در هنگام کاشت و مابقی کود نیتروژنه در دو مرحله یکی ابتدای ساقه رفتن گیاه (نیمه اسفندماه) و دیگری در ابتدای ظهور خوشه (نیمه اول فروردین‌ماه) به صورت سرک استفاده شد. کود فسفر نیز به میزان نصف مقدار مورد نیاز خاک در هنگام کاشت استفاده شد. هر کرت شامل چهار پشته با سه خط کاشت بر روی هر پشته بود. فواصل پشته‌ها یا ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر و سه خط کشت روی هر ردیف با فاصله ۲۰ سانتی‌متر (تراکم ثابت ۴۵۰ بوته در متر مربع) بود. بذر مورد استفاده در این آزمایش رقم جدید اصلاح شده و متحمل به تنش خشکی سیروان (سال معرفی ۱۳۹۱، متحمل به تنش خشکی انتهای فصل رشد، دارای تیپ رشد بهاره، مقاوم به خوابیدگی و نیمه مقاوم به زنگ‌های زرد، قهوه‌ای و سیاه، میانگین درصد پروتیین ۱۲، سختی دانه ۵۴ و میانگین عملکرد ۸۸۶۸ کیلوگرم در شرایط مطلوب آبیاری) بود. همزمان با ساقه‌دهی گندم پس از شروع مجدد رشد سریع گیاه، مبارزه شیمیایی با علف‌های هرز با استفاده از سموم گرانستار (برای مبارزه با علف‌های هرز باریک برگ) و پوما سوپر (برای مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ) انجام گرفت. مبارزه با آفت سن گندم در نیمه دوم فروردین ماه با استفاده از سم دسیس با غلظت ۱/۵ لیتر در هکتار انجام شد. در آزمایش نرمال هفت نوبت آبیاری تا انتهای دوره رشد انجام شد. قطع آبیاری از طریق بستن جوی‌های آبیاری (روش آبیاری نشتی یا جوی و پشته‌ای) از آغاز گلدهی تا انتهای فصل رشد اعمال شد. برداشت نهایی در زمان خشک شدن ساقه زیر سنبله و رسیدن دانه‌ها به مرحله سخت شدن و رطوبت حدود ۱۴٪ انجام گرفت. جهت تعیین عملکرد دانه، از دو خط وسط هر کرت پس از حذف نیم متر از بالا و پایین کرت به عنوان اثر حاشیه‌ای، مساحت باقی‌مانده (۶ متر مربع) برداشت شد. محتوای نسبی آب برگ با استفاده از روش (Ritchie and Nguyen, 1990) اندازه‌گیری شد. در انتهای دوره رشد اجزای عملکرد دانه (وزن هزار دانه، تعداد خوشه در واحد سطح، تعداد دانه در خوشه، ارتفاع بوته، وزن خوشه، شاخص برداشت و تعداد روز تا رسیدگی) اندازه‌گیری و ثبت شد. درصد پروتیین دانه با استفاده از دستگاه اینفرماتیک ۸۶۰۰ (NIR) و درصد فسفر دانه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد. عملکرد پروتیین و فسفر از حاصلضرب درصد آن‌ها در عملکرد دانه محاسبه شد. برای انجام محاسبات آماری از نرم افزار SAS استفاده شد و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد دانه

بروز تنش خشکی طی دوره رشد زایشی موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه از طریق اثرگذاری بر اجزای مهم عملکرد دانه گندم شد (جدول۲). اثر قطع آبیاری در آغاز گلدهی بر روی کلیه اجزای عملکرد معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری مطلوب به میزان ۷۷۶۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. اختلاف آن با تیمار قطع آبیاری در زمان گلدهی معنی‌دار بود. قطع آبیاری در آغاز گلدهی سبب کاهش عملکرد دانه به ۶۱۰۸ کیلوگرم در هکتار شد که کاهش معنی‌داری معادل ۲۱/۳ درصد را نشان داد (جدول ۳).

بروز تنش خشکی طی فاز گلدهی، از بزرگ شدن سلول پیش از تقسیم سلولی جلوگیری نموده و تعداد دانه‌های لقاح یافته و در نهایت تعداد لقاح‌های مؤفق را کاهش می‌دهد. این عامل رشد را از طریق بازداری مراحل مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مانند فتوسنتز، تنفس، انتقال، جذب یونی، متابولیسم عناصر غذایی و هورمون‌ها محدود می‌سازد (Blum, 2005).

اگرچه افت معنی‌دار عملکرد دانه در اثر برخورد گیاه با کمبود و یا عدم دسترسی به آب طی فاز زایشی بدیهی و اجتناب ناپذیر است، با این حال زمان بروز تنش طی این فاز از آغاز گلدهی تا مراحل پایانی پر شدن دانه می‌تواند به لحاظ نوع و میزان این خسارت متفاوت باشد، به گونه‌ای که چنانچه گیاه در اوایل فاز زایشی و طی گل‌آغازی و گرده‌افشانی با تنش مواجه شود (همانند آنچه در آزمایش اخیر اتفاق افتاد)، با قرار گرفتن سریع‌تر گیاه در معرض کم آبی، گیاه از طریق تطابق خود با شرایط موجود و با درک عدم توانایی در تولید تعداد دانه بیش‌تر از حد معین و در نتیجه کاهش تعداد دانه‌های لقاح یافته، خود را برای شرایط تولید تعداد کمتر دانه (کاهش معنی‌دار تعداد در خوشه) آماده نموده و کاهش عملکرد دانه، ناشی از کاهش تعداد دانه‌های تشکیل یافته می‌باشد. بدیهی است در این شرایط میزان آسیب به وزن هزار دانه کاهش یافته و گیاه تعداد کمتر دانه را با شرایط قابل قبول‌تری تأمین می‌نماید و علی‌القاعده سهم هر دانه از اسیمیلات‌های موجود بیش‌تر خواهد بود. این در حالی است که وقوع تنش در مراحل بعدی پس از گلدهی یعنی پس از تشکیل دانه و طی دوره پر شدن دانه، با محدود کردن توانایی کنترل گیاه بر روی شرایط موجود باعث می‌شود که تعداد دانه‌ای که برای شرایط عدم تنش لقاح یافته‌اند، با محدودیت شدید آب و عناصر غذایی مواجه شوند که خود به طور مستقیم وزن دانه‌ها و بالطبع وزن هزار دانه را به شدت کاهش می‌دهد. این موارد در تحقیقات سایر محققین نیز گزارش شده است (Hassanpour *et al*., 2007; Aghaei *et al*., 2008).

در مطالعه اخیر کاهش عملکرد دانه گندم با کاهش طول دوره پر شدن دانه، کاهش وزن هزار دانه و به‌ویژه کاهش شدید و کاملاً معنی‌دار تعداد دانه در خوشه اصلی همراه بود (جدول ۳). گزارش‌ها حاکی از افزایش وزن هزار دانه با انجام آبیاری به‌ویژه در دوره پر شدن دانه از طریق افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها می‌باشد (Trethowan and Reynolds, 2007). در شرایط آبیاری کامل، همبستگی اکثر صفات با عملکرد دانه، مثبت و معنی‌دار گزارش شده است، در حالی که در شرایط تنش، تنها دو صفت تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه با عملکرد دانه دارای همبستگی معنی‌دار بودند (Khazravi Afravi *et al*., 2010).

تحت شرایط تنش رطوبتی میزان انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای به دانه‌ها افزایش می‌یابد. در مرحله پر شدن دانه‌ها، فتوسنتز جاری تحت تأثیر تنش‌های زنده و غیر زنده متعددی قرار می‌گیرد و در این زمان انتقال مجدد ذخایر ساقه به عنوان یک فرایند مهم و پشتیبانی کننده عملکرد می‌تواند تا حدود زیادی کاهش عملکرد دانه را جبران نماید این امر در ارقام متحمل به مراتب بیشتر و تاثیرگذارتر است (Hassanpour *et al*., 2007).

بلوم (Blum, 2005) در بررسی رابطه بین مقاومت به خشکی، راندمان مصرف آب و پتانسیل عملکرد چنین بیان نموده است که اگرچه پتانسیل عملکرد، هدف برنامه‌های اصلاحی است ولی نمی‌تواند با مقاومت بیش‌تر به خشکی همگام باشد. از سوی دیگر پتانسیل عملکرد بالا در محیط‌های با تنش متوسط، عملکرد را بهبود می‌بخشد. تولید گیاه در محیط‌های با محدودیت آبی اغلب توسط صفات مختلف گیاهی که امکان حفظ آب بیش‌تر را در گیاه فراهم می‌نماید (اجتناب به خشکی) تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

میانگین تعداد پنجه بارور در واحد سطح با بروز تنش خشکی در آغاز گلدهی به میزان ۶/۹ درصد کاهش یافت. این کاهش در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اگرچه تولید پنجه بیش‌تر صفت مطلوبی به حساب می‌آید اما تنش در آغاز گلدهی سبب می‌شود تا اغلب پنجه‌ها هرگز به تولید سنبله و عملکرد نرسند و به این لحاظ تولید آن‌ها برای گیاه نه‌تنها سودآور نبوده بلکه ممکن است به سبب مصرف مواد فتوسنتزی مضر نیز واقع گردد (Rebetzke *et al*., 2002). تعداد پنجه‌های بارور یکی از اجزای عملکرد می‌باشد که توسط عوامل ژنتیکی کنترل می‌شود، اما با رژیم رطوبتی خاک طی دوره رشد گیاه نیز ارتباط نزدیک دارد. رمضان‌پور و دستفال (Ramezanpour and Dastfal, 2004) معتقدند که کاهش ۲۵ درصد آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل (تنش خشکی ملایم)، تعداد سنبله در متر مربع را به میزان ۶/۷

درصد و کمبود ۵۰ درصد آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل (تنش خشکی شدید) صفت تعداد سنبله در متر مربع را ۱۳/۸ درصد کاهش داد.

عملکرد ماده خشک گندم تحت تأثیر معنی‌دار قطع آبیاری در آغاز گلدهی قرار گرفت. تنش باعث کاهش ۱۵/۴ درصدی و معنی‌دار عملکرد زیستی در مقایسه با تیمار شاهد شد. در این تیمار به خاطر تطابق با شرایط تنش، اولاً تعدادی از پنجه‌های بالقوه حذف شده و ثانیاً با کوتاه شدن طول دوره رشد زایشی جهت فرار از تنش، گیاه فرصت فتوسنتز و رشد بیش‌تر را از دست داده که در نهایت با ریزش زودهنگام برگ‌ها سبب کاهش رشد زایشی در کنار تعداد پنجه کمتر و تعداد دانه کمتر در سنبله‌ها شد. هر یک از دو ریزجاندار *ازتوباکتر* و میکوریزا و همچنین کاربرد همزمان این دو، سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گندم در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) شدند. عملکرد دانه در تیمار عدم تلقیح بذر به میزان ۶۴۱۷ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. تلقیح بذر با قارچ میکوریزا سبب افزایش عملکرد دانه به ۷۲۵۱ کیلوگرم در هکتار شد که بیش‌ترین افزایش عملکرد دانه را در مقایسه با تیمار شاهد داشت و با افزایشی معادل ۱۲/۹ درصد در بالاترین گروه آماری قرار گرفت. پس از آن تلقیح بذر با باکتری *ازتوباکتر* با افزایش عملکردی به میزان ۸ درصد نسبت به شاهد (عدم تلقیح) قرار داشت. همچنین در تیمار تلقیح همزمان بذر با هر دو ریزجاندار، عملکرد دانه با ۱۱/۴ درصد افزایش نسبت به شاهد به ۷۱۴۶ کیلوگرم در هکتار رسید.

همیاری گیاه گندم با *ازتوباکتر* و نیز میکوریزا سبب تثبیت نیتروژن شد که میزان دسترسی گیاه به نیتروژن در مرحله زایشی بیش‌تر شد و سبب افزایش سرعت رشد عمومی بوته‌ها و تسریع در ورود به فاز زایشی گردید که از سوی دیگر با اثر تنش بر کوتاه کردن طول دوره زایشی همراه بود و این دو عامل همزمان سبب شد تا محلول‌پاشی از افت شدید عملکرد دانه و زیستی جلوگیری نماید و شاخص برداشت تغییر معنی‌داری را نشان ندهد.

بیش‌ترین میانگین تعداد خوشه بارور در واحد سطح برای تیمار تلقیح بذر با میکوریزا و به میزان ۴۷۴ عدد حاصل شد. این تیمار در مقایسه با تیمار عدم تلقیح بذر (۴۲۹ عدد)، افزایشی معادل ۱۰/۵ درصد را در میانگین تعداد خوشه بارور در واحد سطح نشان داد. با این حال بین سه سطح تلقیح، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و هر سه در بالاترین گروه آماری قرار گرفتند. تحقیقات انجام شده در آمریکا نشان داد که استفاده توأم *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* باعث افزایش تعداد سنبله گیاه جو نسبت به تیمار شاهد (بدون تلقیح) شده است (Yahalom *et al*., 2004). تراکم سنبله به تعداد ساقه‌های اصلی و نیز تعداد پنجه‌های بارور ایجاد شده در هر گیاه بستگی دارد. پنجه‌زنی در گندم به مقدار زیادی تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد. بنابراین تعداد سنبله‌ها در واحد سطح تابعی از تراکم بوته، قدرت پنجه‌زنی، بقای پنجه‌ها، ژنوتیپ، عملیات زراعی و تغذیه گیاه به خصوص از نظر نیتروژن و فسفر می‌باشد. میزان تأثیر تلقیح با کودهای زیستی و عکس‌العمل گیاه به این ترکیبات به وضعیت میزان کود موجود در خاک در زمان کاشت بستگی فراوانی دارد. در بسیاری موارد غنی بودن مزرعه از کودهای شیمیایی نقش و فعالیت ریزجاندارها را کم‌رنگ می‌کند. تیمار تلقیح بذر اثر معنی‌داری در سطح آماری ۱ درصد بر میانگین تعداد دانه در خوشه اصلی گندم داشت (جدول ۲). هر سه سطح تلقیح بذر سبب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در خوشه اصلی در مقایسه با تیمار عدم تلقیح گردید. با این حال اختلاف بین هر سه سطح تلقیح بذر غیر معنی‌دار بود. علیزاده و همکاران (Alizadeh *et al*., 2008) در بررسی کاربرد توأم میکوریزا و *آزوسپریلیوم* در زراعت ذرت گزارش کرد که کاربرد قارچ میکوریزا، سبب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در ردیف بلال شد. همچنین کاربرد باکتری *آزوسپریلیوم* تعداد دانه در ردیف بلال را به صورت معنی‌دار افزایش داد. در تیمار مصرف توأم میکوریزا و *آزوسپریلیوم* بیشترین عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه مشاهده شد. محققین معتقدند که تلقیح توأم موجب افزایش فعالیت اسید فسفاتاز و الکالین فسفاتاز در اطراف ریشه‌ها شده و افزایش فسفر در خاک و جذب بیشتر نیتروژن، روی، مس و آهن را موجب می‌شود. این نوع تلقیح دوگانه می‌تواند مکمل کاربرد کودهای فسفره و نیتروژنه در گیاهان شود (Nadian *et al*., 1996).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Soil physical and chemical properties of the experimental site

Variable متغیر		Variable متغیر	
Texture بافت	Clay-loam	فسفر (P)	9.6 $mg.Kg^{-1}$
pH	7.6	پتاسیم (K)	390 $mg.Kg^{-1}$
هدایت الکتریکی (Ec)	3 dSm^{-1}	آهن (Fe)	4.4 $mg.Kg^{-1}$
کربن آلی (OC)	0.72%	روی (Zn)	0.42 $mg.Kg^{-1}$
نیتروژن (N)	0.027%	منگنز (Mn)	11.5 $mg.Kg^{-1}$

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی گندم در استفاده از کودهای زیستی تحت شرایط تنش خشکی

Table 2. Analysis of variance for quantitative and qualitative traits of wheat in use of biofertilizers under drought stress conditions

میانگین مربعاتMean of Square

منابع تغییر SOV	درجه آزادی df	تعداد پنجه بارور No. fertile tiller	تعداد دانه در خوشه No. grain per spike	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Haevest index	درصد پروتیین Protein	عملکرد پروتیین Protein yield	درصد فسفر Phosphorus	عملکرد فسفر Phosphorus yield	محتوی نسبی آب برگ Relative water capacity
محیط Environment	1	6600.1*	726.0**	130.67*	44355047*	16341502**	60.54 ns	1.83**	134385.7*	0.001 ns	169.6*	0.70 ns
بلوک Block	4	634.1	29.4	1.66	1515265	465024	2.51	0.49	11191.4	0.001	9.45	15.28
تلقیح Inoculation	3	2623.4*	270.0*	23.72*	3496338*	824667*	2.12 ns	2.40**	39962.2*	0.0013*	33.84*	98.84*
اثر متقابل Intraction effect	3	134.9 ns	9.8 ns	1.11 ns	386796 ns	65571 ns	12.23 ns	0.27 ns	2655.2 ns	0.00001 ns	0.66 ns	6.21 ns
خطا Error	12	16.9	4.18	1.17	178083	39362	0.35	0.044	310.4	0.00007	1.05	1.62
ضریب تغییر C.V		12.1	10.8	9.4	14.8	14.1	8.1	8.8	12.3	9.6	13.2	11.7

ns غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد

ns, * and **: Non significant, significant at the 5 and 1% levels of probability respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی و متقابل صفات کمی و کیفی گندم در استفاده از کودهای زیستی تحت شرایط تنش خشکی

Table 3. Mean comparison of main effects and interactions of quantitative and qualitative traits of wheat in use of biofertilizers under drought stress conditions

	تعداد پنجه بارور No. fertile tiller	تعداد دانه در خوشه No. grain per spike	وزن هزار دانه (گرم) 1000-grain weight (g)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg/ha)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg/ha)	شاخص برداشت Harvest index	درصد پروتیین Protein (%)	عملکرد پروتیین (کیلوگرم در هکتار) Protein yield (kg/ha)	درصد فسفر Phosphorus (%)	عملکرد فسفر (کیلوگرم در هکتار) Phosphorus yield (kg/ha)	محتوی نسبی آب برگ Relative Water Capacity
تلقیح Inoculation											
بدون تلقیح (I_1) No inoculation	429 b	42.1 b	41.5 b	15153 b	6417 b	42.1 ab	10.4 b	673.6 c	0.359 b	23.0 b	67.5 b
میکوریزا (I_2) Mycorrhiza	474 a	54.5 a	45.8 a	16755 a	7251 a	43.1 a	11.7 a	846.8 a	0.389 a	28.1 a	74.9 a
ازتوباکتر (I_3) *Azotobacter*	465 a	54.6 a	45.5 a	16522 a	6929 ab	41.8 b	11.5 a	799.7 b	0.374 ab	25.9 ab	75.1 a
تلقیح توأم (I_4) Dual inoculation	472 a	57.0 a	44.8 ab	16721 a	7146 a	42.6 ab	11.8 a	845.9 a	0.392 a	27.9 a	76.4 a
محیط Environment											
آبیاری مطلوب (S_1) Normal irrigation	476 a	57.5 a	46.7 a	17647 a	7763 a	44.0 a	11.1 b	866.4 a	0.371 a	28.9 a	73.7 a
تنش (S_2) Stress	443 b	46.5 b	42.1 b	14928 b	6108 b	40.8 b	11.7 a	717.7 b	0.386 a	23.6 b	73.3 a
اثر متقابل Interaction											
S_1 I_1	452 c	46.0 b	44.3 b	16169 b	7397 b	45.7 a	10.5 e	777.7 bc	0.353 c	26.2 bc	68.9 c
S_1 I_2	490 a	59.6 a	48.0 a	18082 a	8039 a	44.4 b	11.3 cd	912.3 a	0.381 ab	30.7 a	74.4 ab
S_1 I_3	476 ab	61.3 a	47.3 a	18026 a	7729 ab	42.8 c	11.3 d	874.3 a	0.367 bc	28.4 ab	74.3 b
S_1 I_4	488 a	63.3 a	47.3 a	18312 a	7888 ab	43.1 c	11.4 cd	901.1 a	0.385 ab	30.4 a	77.1 a
S_2 I_1	406 d	38.3 c	38.6 c	14137 c	5437 d	38.4 e	10.4 e	569.6 d	0.366 bc	19.9 e	66.1 d
S_2 I_2	458 bc	49.3 b	43.6 b	15428 bc	6463 c	41.8 cd	12.1 ab	781.2 bc	0.397 a	25.6 cd	75.5 ab
S_2 I_3	454 c	48.0 b	43.6 b	15018 bc	6129 c	40.8 d	11.8 bc	725.1 c	0.382 ab	23.4 d	75.9 ab
S_2 I_4	455 c	50.6 b	42.3 b	15130 bc	6403 c	42.3 c	12.3 a	790.8 b	0.399 a	25.5 cd	75.8 ab

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می باشند

Means with the same letter in each column have no significant difference (P<0.05).

درصد و عملکرد پروتیین دانه

کمترین میزان درصد پروتیین دانه برای تیمار آبیاری مطلوب با ۱۱/۱ درصد حاصل شد. برای تیمار قطع آبیاری در ابتدای مرحله گلدهی، درصد پروتیین دانه به ۱۱/۷ درصد افزایش یافت که در مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تغییرات عملکرد پروتیین تحت تأثیر دو عامل عملکرد دانه و درصد پروتیین قرار دارد. بالاترین میزان عملکرد پروتیین دانه از تیمار آبیاری مطلوب با ۸۶۶/۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. این تیمار به لحاظ درصد پروتیین پایین‌تر بود اما حداکثر عملکرد دانه را دارا بود و عملکرد بالای دانه سبب بالا بودن عملکرد پروتیین در این تیمار شد. در شرایط تنش، کاهش یافتن وزن هزار دانه گندم در اثر کاهش ذخیره نشاسته در دوره پرشدن دانه، که خود ناشی از افت معنی‌دار میزان آنزیم‌های سنتز نشاسته می‌باشد، سبب افزایش سهم و درصد پروتئین در واحد حجم می‌شود. دلیل اصلی کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه در شرایط تنش، نقش خشکی در زودرس شدن گیاه به منظور فرار از خسارت می‌باشد زیرا زودرسی گیاه با کاهش دوره پرشدن دانه، سبب کوتاه شدن زمان در اختیار گیاه برای تولید و یا انتقال مواد غذایی لازم از اندام‌های فتوسنتز کننده یعنی برگ‌ها به دانه‌ها شده و بنابراین موجبات کاهش وزن و چروکیدگی دانه و نهایتاً عملکرد دانه را فراهم می‌کند (Souza, *et al*., 1994). اگرچه ترکیب و غلظت پروتیین بر کیفیت گندم تأثیر دارد ولی غلظت پروتیین در مقایسه با ترکیب آن، اثر بزرگتری بر کیفیت آرد دارد. بنابراین تنش‌های محیطی همچون تنش شوری و خشکی که غلظت پروتیین را افزایش می‌دهند، به علت تغییر در نسبت اسید آمینه‌های اندوخته شده موجب کاهش کیفیت گندم می‌شوند. توقف رشد گندم در شرایط کم آبی و تنش خشکی مخصوصاً زمانی که دارای نیترات زیادی است، باعث چروکیدگی دانه و برخورداری از پروتیین بالا می‌شود (Sarmadnia and Koocheki, 1995).

اثر تیمار تلقیح بذر بر درصد و عملکرد پروتیین دانه گندم در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). کم‌ترین درصد پروتیین از تیمار عدم تلقیح بذر به میزان ۱۰/۴ درصد حاصل شد. هر سه سطح تلقیح سبب افزایش معنی‌دار درصد پروتیین دانه شد. برای تلقیح بذر با قارچ میکوریزا، میانگین درصد پروتیین به ۱۱/۷ درصد افزایش یافت و این افزایش معنی‌دار بود. بیش‌ترین درصد پروتیین از تیمار تلقیح توأم دو ریزجاندار و به میزان ۱۱/۸ درصد به دست آمد. همچنین تلقیح بذر گندم سبب افزایش عملکرد پروتیین دانه گندم شد. تیمار عدم تلقیح با ۶۷۳/۶ کیلوگرم در هکتار، کم‌ترین میزان عملکرد پروتیین دانه را دارا بود. بیش‌ترین عملکرد پروتیین دانه از تیمار تلقیح بذر با قارچ میکوریزا به میزان ۸۴۶/۸ کیلوگرم در هکتار بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار تلقیح توأم با هر دو ریزجاندار نداشت (جدول ۳). افزایش عملکرد پروتیین در سه تیمار تلقیح، ناشی از افزایش همزمان عملکرد دانه و درصد پروتیین در اثر کاربرد کودهای زیستی بود.

درصد و عملکرد فسفر

درصد فسفر تحت تأثیر تنش خشکی افزایش یافت. با این حال، افزایش معنی‌دار نبود (جدول ۲). بیش‌ترین درصد فسفر دانه به میزان ۰/۳۸۶ درصد برای تیمار تنش و کم‌ترین آن برای تیمار شاهد با ۰/۳۷۱ درصد ثبت شد (جدول ۳). عملکرد فسفر از تغییرات عملکرد دانه و درصد فسفر تأثیر می‌پذیرد. تنش سبب افزایش غیر معنی‌دار درصد فسفر دانه و همزمان کاهش عملکرد دانه گردید. این امر سبب کاهش شدید عملکرد فسفر شد. بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد فسفر دانه به ترتیب برای تیمار آبیاری مطلوب (۲۳/۶ کیلوگرم در هکتار) و تنش (۲۸/۹ کیلوگرم در هکتار) بود. هر سه سطح تلقیح نیز سبب افزایش درصد فسفر شد. در تیمار تلقیح با قارچ میکوریزا درصد فسفر به ۰/۳۸۹ درصد و برای تلقیح با *ازتوباکتر* و تلقیح همزمان، به ترتیب به ۰/۳۷۴ و ۰/۳۹۲ درصد رسید. اختلاف این سه تیمار با شاهد، معنی‌دار اما با یکدیگر غیر معنی‌دار بود (جدول ۳). عملکرد فسفر دانه نیز تحت تأثیر تلقیح با کودهای زیستی افزایش یافت. تیمار عدم تلقیح با ۲۳ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین میزان عملکرد فسفر را دارا بود. بین دو تیمار تلقیح با میکوریزا که بیش‌ترین میزان عملکرد فسفر (۲۸/۱ کیلوگرم در هکتار) را دارا بود و تیمار تلقیح توأم با هر دو ریزجاندار (۲۷/۹ کیلوگرم در هکتار) اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت.

گیل و همکاران (Gill *et al*., 2004) بیان کردند که فسفر بر رشد ریشه، تشکیل تارهای کشنده و میزان ترشحات ریشه تأثیر دارد. میکوریزا علاوه بر تأثیر قابل

توجه بر بهبود رشد گیاه، جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهد. از مهم‌ترین عناصری که توسط میکوریزا به طور فعال و در سطح وسیع جذب می‌شود عنصر فسفر است. نتایج بعضی تحقیقات نشان داده است که سرعت جریان فسفر به درون گیاهان تلقیح شده با میکوریزا ۳ تا ۶ مرتبه بیشتر از گیاهان غیر میکوریزایی است (Sanders and Koide, 1994).

خلوتی و همکاران (Khalvati *et al*., 2005) در تحقیقات خود بر روی جو به این نتیجه دست یافتند که درصد کلونیزاسیون ریشه در شرایط تنش بسیار بیش‌تر از شرایط کنترل بود اما میکوریزا سبب افزایش جذب آب و مقدار فسفر اندام هوایی در شرایط خشکی گردید و درصد کلونیزاسیون ریشه با افزایش کاربرد فسفر در شرایط تنش، کاهش یافت. کاهش این امر سبب کاهش مصرف کودهای فسفره در مزارع شد و بازده مصرف آب در شرایط تنش خشکی بهبود یافت، بدون آن که عملکرد کمی و کیفی گیاه کاهش پیدا کند که امری مهم در جهت حفظ خاک و استفاده بهینه از آب می‌باشد.

محتوای نسبی آب برگ

محتوای نسبی آب برگ معرف خوبی از وضعیت آب گیاه است. در آزمایش اخیر اثر تیمار آبیاری بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). با این حال تلقیح بذر سبب افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ گندم گردید (جدول ۲). کم‌ترین میزان محتوای نسبی آب برگ برای تیمار شاهد با ۶۷/۵ درصد بود که اختلاف معنی‌داری با هر سه سطح تلقیح با کود زیستی داشت. تلقیح توأم بذر با هر دو ریزجاندار *ازتوباکتر* و میکوریزا سبب افزایش ۱۱/۹ درصدی محتوای نسبی آب برگ شد. با این حال اختلاف آن با هر دو سطح تلقیح با هر یک از دو ریزجاندار غیر معنی‌دار بود (جدول۳).

بروز تنش خشکی طی فاز گلدهی، از بزرگ شدن سلول پیش از تقسیم سلولی جلوگیری نموده و تعداد دانه‌های لقاح یافته و در نهایت تعداد لقاح‌های مؤفق را کاهش می‌دهد. این عامل رشد را از طریق بازداری مراحل مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مانند فتوسنتز، تنفس، انتقال، جذب یونی، متابولیسم عناصر غذایی و هورمون‌ها محدود می‌سازد. در تیمار قطع آبیاری در زمان آغاز گلدهی، کاهش شدید عملکرد دانه عمدتاً ناشی از کاهش تعداد دانه لقاح یافته در درون خوشه بود و کاهش میانگین وزن هزار دانه برای این تیمار کمتر بود. این امر به دلیل آن بود که در زمان رخ دادن تنش در فاز گلدهی، گیاه از طریق تطابق خود با شرایط موجود و با درک عدم توانایی در تولید تعداد دانه بیش‌تر از حد معین و در نتیجه کاهش تعداد دانه‌های لقاح یافته، خود را برای شرایط تولید تعداد کم‌تر دانه آماده نموده و کاهش عملکرد دانه ناشی از کاهش تعداد دانه‌های تشکیل یافته خواهد بود. بدیهی است در این شرایط میزان آسیب به وزن هزار دانه کاهش یافت و گیاه تعداد کمتر دانه را با شرایط قابل قبول‌تری تأمین می‌نماید و علی‌القاعده سهم هر دانه از اسیمیلات‌های موجود بیش‌تر خواهد بود. این موارد در تحقیقات سایر محققین نیز گزارش شده است (Aghaei *et al*., 2008). استفاده از دو کود زیستی *ازتوباکتر* و میکوریزا، در شرایط بدون تنش موجب تحریک رشد و استقرار گیاه در ابتدای فصل رشد و دستیابی به حداکثر سطح برگ و سرعت رشد از طریق افزایش فعالیت آنزیم نیتروژناز در ریشه گندم گردید و در نتیجه سبب فراهمی بیش‌تر نیتروژن و فسفر شد و از این طریق عملکرد نهایی دانه را افزایش داد. نتایج این بررسی، نقش سودمند دو نوع کود زیستی میکوریزا و *ازتوباکتر* را به‌ویژه در کاهش خسارت تنش خشکی تأیید نمود. به نظر می‌رسد حضور باکتری *ازتوباکتر* به قارچ میکوریزا کمک می‌کند که ریشه گیاه را با سهولت بیش‌تری کلونیزه کرده و به صورت مکمل سیستم ریشه‌ای گیاه عمل می‌نماید. در این حالت ریشه گیاه انتشار و گسترش بیش‌تری پیدا کرده و آب و مواد غذایی لازم را جذب می‌کند. به واسطه جذب بهتر، اندام‌های فتوسنتز کننده بیش‌تری به وجود آمده و عملکرد گیاه بالا می‌رود. نتایج سایر تحقیقات نشان داده است استفاده از *آزوسپریلیوم*، در طول مرحله زایشی به خصوص مرحله ظهور سنبله و گلدهی موجب فعالیت آنزیم نیتروژناز در ریشه گیاهان تلقیح شده می‌شود و در نتیجه فراهمی نیتروژن برای گیاه افزایش و از این طریق منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شود (Okon and Kapulnik, 1986). امروزه با توجه به مشکلاتی که مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی به وجود آورده است، استفاده از کودهای زیستی در کشاورزی مجدداً مطرح شده است. کاربرد کودهای زیستی علاوه بر اثرات مثبتی که بر کلیه خصوصیات خاک دارد، از جنبه‌های اقتصادی، زیست

محیطی و اجتماعی نیز مثمرثمر واقع شده و می‌تواند به عنوان جایگزینی مناسب و مطلوب برای کودهای شیمیایی باشد. در نهایت با توجه به مشکلاتی که مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی در مزارع و خاک‌ها به‌وجود آورده است، استفاده از منابع زیستی کود در کشاورزی بیش از پیش ضرورت دارد و به نظر می‌رسد که یکی از راه‌های دست یابی به اهداف کشاورزی پایدار، استفاده از این ریزجاندارها است که نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی گیاهان دارند و این تحقیق، مصرف این جانداران مفید را در زراعت گندم توصیه می‌نماید.

منابع

Aghaee Sarbarzeh, M., Rajabi, R., Mohammadi, R. and Haghparast, R. 2008. Evaluation and selection of bread wheat genotypes using physiologic characteristics and tolerance index to drought. Seed and Plant Production Journal, 23(3): 54-65. **(Journal)**

Aghaee Sarbarzeh, M., Rostaee, M., Mohammadi, R., Haghparast, R. and Rajabi, R. 2009. Determination of drought tolerant genotypes in bread wheat. Electronic Journal of Crop Production, 2(1): 1-23. **(Journal)**

Alizadeh, O., Alizadeh, A. and Aryana, L. 2010. Optimizing of nitrogen and phosphorus consumption in sustainable agriculture of corn using mycorrhiza and vermicompost. Agricultural new findings. 3(3): 303-316. **(Journal)**

Alizadeh, O., Majidi, E., Nadian, H., NourMohammadi, G. and Amerian, M.R. 2008. Investigation of mycorrhizal inoculation effects in different levels of irrigation and nitrogen on morphological and physiological characteristics of corn. Agricultural new findings. 1(4): 309-316. **(Journal)**

Bahrani, A., Pourreza, J. and Hagh Joo, M. 2010. Response of Winter Wheat to co-inoculation with *Azotobacter* and Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) under different sources of nitrogen fertilizer. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 8 (1): 95-103. **(Journal)**

Blum, A. 2005. Drought resistance, water use efficiency, and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive. Australian Journal of Agricultural Research, 56: 1159-1168. **(Journal)**

Cooper, K.M. and Tinker, P.B. 2003. Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhiza. Uptake and translocation of phosphorus, zinc and sulphur. New Phytologist, 81: 43-52. **(Journal)**

Egamberdieva, D. 2010. Growth response of wheat cultivars to bacterial inoculation in calcareous soil. Plant, Soil and Environment, 56(12): 570–573. **(Journal)**

Gill, H.S., Singh, A., Sethi, S.K. and Behl, R.K. 2004. Phosphorus uptake and use efficiency in different varieties of bread wheat (*Triticum Aestivum* L.). Archive of Agronomy and Soil Science, 56: 563-572. **(Journal)**

Hafeez, F.Y., Sadar, M.E., Chaudry, A.U. and MaliK, K.A. 2004. Rhizobial inoculation improves seeding emergence, nutrient uptake and growth of cotton. Australian Journal of Experimental Agriculture, 44: 617-622. **(Journal)**

Hirsch, A.M., Fang, Y., Asad, S. and Kapulnik, Y. 1997. The role of phytohormones in plant-microbe symbioses. Plant and Soil, 94: 171-184. **(Journal)**

Jarak, M., Protic, R., Jankovic, S. and Colo, J. 2006. Response of wheat to azotobacter-actinomycetes inoculation and nitrogen fertilizers. Romanian Agricultural Research, 23: 37-45. **(Journal)**

Khalvati, M.A., Mozafar, A. and Schmidhalter, U. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. Plant Biology Stuttgart, 7: 706-712. **(Journal)**

Khezri Efravi, M., HosseinZadeh, A.H., Mohammadi, V. and Ahmadi, A. 2010. Evaluation of drought resistance in native cultivars of iranian durum wheat under water stress and natural irrigation conditions. Iranian Journal of Field Crop Science, 41(4): 741-753. **(Journal)**

Mrkovacki, N. and Milic, V. 2001. Use of *Azotobacter chroococcum* as potentially useful in agricultural application. Annals of Microbiology, 51: 145-158. **(Journal)**

Nadian, H.S., Smith, E., Alston, A.M. and Murray, R.S. 1996. The effect of soil compaction on growth and p uptake by *Trifolium subterranum*. Plant and Soil, 182: 39-49. **(Journal)**

Okon, Y. and Kapulnik, Y. 1986. Development and functions of *Azospirillum* inoculated roots. Plant and Soil, 90:3-16. **(Journal)**

Ramezanpour, M.R. and Dastfal, M. 2004. Evaluation of cultivars tolerance in *Triticum aestivum* L. and *Triticum durum* L. to drought stress. Proceedings of the 8rd Iranian Congrees in Agronomy and Plant Breeding, Rasht, Iran. p,242.

Rebetzke, G.J. 2002. Selection for reduced carbon-isotope discrimination increases aerial biomass and grain yield of rainfed bread wheat. Crop Science, 42: 453-465. **(Journal)**

Rejali, F., Alizadeh, A., Malakouti, M.J. SalehRastin, N., Khavazi, K. and Asgharzadeh, A. 2006. Propagation of *Glomus intraradices* and the preparation of its inoculant to invitro culture method. Journal of Soil and Water Science, 20(2): 273-283. **(Journal)**

Ritchie, S.W. and Nguyen, H.T. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science, 30: 105-111. **(Journal)**

Sanders, L.R. and Koide, R.T. 1994. Nutrient acquisition and community structure in co-occuring mycotrophic and non-mycotrophic old-field annuals. Functional Ecology, 8: 77-84. **(Journal)**

Sarmadnia, G. and Koocheki, A. 1995. Importance of environmental stresses in agronomy. Mashhad Jahad Daneshgahi Publications. **(Book)**

Shamsi, K., Petrosyan, M., Noor-mohammadi, G. and Haghparast, R. 2010. Evaluation of grain yield and its components in three bread wheat cultivars under drought stress. Journal of Animal and Plant Sciences, 9(1): 1117- 1121. **(Journal)**

Souza, E., Kruk, M. and Sunderman, D.W. 1994. Association of Gsugar-snap cookie quality with high molecular weight glutenin alles in soft white spring wheats. Cereal Chemistry, 71: 601-605. **(Journal)**

Trethowan, R.M. and Reynolds, M. 2007. Drought resistance: Genetic approaches for improving productivity under stress. In: Buck H. R. et al. (eds): wheat production in stressed environments, 289-299, Springer Pub., the Netherlands. **(Book)**

Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. Plant and Soil, 255: 271-286. **(Journal)**

Yahalom, E., Kapulnik, Y. and Okon, Y. 2004. Response of *Setaria italica* to inoculation with *Azospirillum brasilense* as compared to *Azotobacter chroococcum*, Plant and Soil, 82: 77-85. **(Journal)**

Zahir, A.Z., Arshad, M. and Frankenberger, W.F. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. Advances in Agronomy, 81:97-168. **(Journal)**

Effect of wheat (*Triticum aestivum* L.) seed inoculation with bio-fertilizers on reduction of drought stress damage

Javad Hassanpour[1], Behnam Zand[2*]

(Received: June 4, 2014 - Accepted: September 13, 2014)

Abstract

In order to study the effects of seed wheat inoculation with VA mycorrhiza and azotobacter bio fertilizers on reduction of late season drought stress damage, an experiment was conducted in agricultural and natural resources research center of Tehran province on 2011-12. Four levels of seed inoculations (non-inoculation, inoculation with VA mycorrhiza fungus, inoculation with azotobacter and combined inoculation (fungus plus bacteria) in a randomized complete block design with three replications were evaluated. Another same experiment (same treatments, same soil type and same planting, cultivation and harvest condition), but in drought stress environment (non-irrigation at start of flowering stage) conducted. Drought stress at start of flowering stage caused a significant decrease by 21.3% on grain yield from 7763 to 6108 kg/ha that was mainly due to significant reduction of number of seed per spike, number of fertile tiller, biological yield and TKW. Seed protein percentage and seed phosphorus percentage increased at stress condition but this was significant only for protein percentage. Effect of seed inoculation with bio fertilizers was significant for all traits except harvest index. All three levels of inoculation increased wheat grain yield significantly, but the positive effect of mycorrhiza was more than the others. The difference between seed inoculation with each one of micro organisms and dual inoculation was not significant. The amount of grain yield for S_2I_1 treatment (drought stress condition and without inoculation) was 5437 kg/hac, but inoculation with mycorrhiza (S_2I_2), azotobacter (S_2I_3) and dual inoculation (S_2I_4), increased the grain yield to 6463, 6129 and 6403 kg/hac respectively. Protein yield and percentage and phosphorus yield and percentage increased significantly for all three inoculation treatments. Drought stress effect on RWC was not significant but seed inoculation had a significant effect on RWC.

Key words: Azotobacter , Drought stress, Mycorrhiza, Phosphorous, Protein, Wheat

1,2- Research Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center of Tehran province
*Corresponding author: behzand@yahoo.com