

تأثیر نیتروژن و کودهای زیستی بر روند تغییرات اجزای فلورسانس کلروفیل، عملکرد دانه و برخی صفات گندم رقم چمران

مجتبی یزدانی^۱، غلام عباس اکبری^۱ و رئوف سید شریفی^۲

^۱ گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکده فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

^۲ گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۳/۱۳)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر نیتروژن و کودهای زیستی بر روند تغییرات اجزای فلورسانس کلروفیل، عملکرد دانه و برخی صفات گندم بهاره رقم چمران، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی کاربرد کودهای زیستی در هشت سطح (شاهد، ازتوباکتر، میکوریزا *Glomus moseae*، میکوریزا *Glomus intradices*، میکوریزا *Glomus moseae* با ازتوباکتر، میکوریزا *Glomus intraradices* با ازتوباکتر، میکوریزا *Glomus moseae* با ازتوباکتر، میکوریزا *Glomus intraradices* با ازتوباکتر، میکوریزا *Glomus moseae* با ازتوباکتر) را شامل می‌شدند. *Glomus* به همراه ازتوباکتر) و مقادیر کود نیتروژن در سه سطح (شاهد، کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) را شامل می‌شدند. نتایج نشان داد که کاربرد ازتوباکتر به همراه میکوریزا موسه‌آ و اینترا با ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار، از کم‌ترین هدایت الکتریکی و فلورسانس برخوردار بود. کاربرد کودهای زیستی (ازتوباکتر با میکوریزا موسه‌آ و اینترا) با ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار، شاخص کلروفیل (۵۶/۳۱ درصد)، محتوای نسبی آب (۶۳/۰۳ درصد)، فلورسانس متغیر (۱۰۱/۸۶ درصد)، فلورسانس حداکثر (۳۸/۵ درصد)، عملکرد کوانتومی (۴۵/۷۷ درصد) و عملکرد دانه (۳۶/۶۸ درصد) را در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد نیتروژن و کودهای زیستی) افزایش داد. بیش‌ترین کارایی مصرف کود در کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار مشاهده شد. بر اساس نتایج این بررسی، کاربرد کودهای زیستی (ازتوباکتر و میکوریزا) و ۲۰۰ کیلوگرم اوره با بهبود اجزای فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک مانند هدایت الکتریکی و محتوای نسبی آب، عملکرد دانه گندم را ۳۶/۶ درصد در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد نیتروژن و کودهای زیستی) افزایش داد.

کلمات کلیدی: تلقیح بذر، باکتری محرک رشد، محتوای نسبی آب، اوره

مقدمه

کربوهیدرات، ۳۳ درصد پروتئین و ۵۰ تا ۶۰ درصد ویتامین‌های گروه B از طریق مصرف نان تأمین می‌شود و در مناطقی که به علت شرایط اقلیمی نامناسب، امکان تولید دیگر گیاهان زراعی مقدور نباشد، کشت گندم مقدور است (سیدشریفی و

گندم یکی از گیاهان زراعی مهم از لحاظ سطح زیرکشت و میزان تولید در جهان است. اهمیت اقتصادی و تغذیه‌ای آن بیش از سایر گیاهان زراعی است. به طوری که بالغ بر ۵۰ درصد

خلیل‌زاده، (۱۳۹۶).

کود نیتروژن گرچه یکی از عوامل اساسی در بهبود عملکرد کمی و کیفی گندم است و افزایش عملکرد این گیاه با کاربرد کود نیتروژن در آزمایشات مختلفی گزارش شده است (Hatfield and Prueger, 2015; نظریان و همکاران، ۱۴۰۱)، ولی برای توصیه بهینه کود لازم است کارآیی مصرف آن مورد ارزیابی قرار گیرد. چرا که زیادی مصرف نیتروژن، بر کمیت و کیفیت چرخه نیتروژن در محیط زیست اثر گذاشته و ضمن کاهش باروری خاک و تنوع زیستی، موجب آلودگی منابع آبی و خاکی و کاهش کمیت و کیفیت محصولات تولیدی شده و همین امر لزوم کاهش استفاده از کودهای شیمیایی را به اثبات رسانده است (سیدشریفی و نامور، ۱۳۹۵). از این رو در شرایطی که خاک بیشتر مزارع به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، دارای ساختاری ناپایدار بوده و حاوی مقادیر بسیار کمی ماده آلی است (صالح بغدادی و همکاران، ۱۳۹۶)، استفاده از کودهای زیستی به منظور بهره‌گیری از مزایای میکروارگانیسم‌ها با هدف دستیابی به کشاورزی پایدار و حفاظت از محیط‌زیست، مهم‌ترین راهبرد برای افزایش تولید محسوب می‌شود (Wu et al., 2008).

کودهای زیستی ریزموجودات باکتریایی و قارچی هستند که علاوه بر تثبیت زیستی نیتروژن و محلول‌کردن فسفر خاک (به‌ویژه در مناطقی با مقادیر بالای کلسیم خاک)، با تولید مقادیر قابل ملاحظه هورمون‌های محرک رشد قادرند در برخی موارد به‌عنوان جایگزین و در اکثر موارد به‌عنوان مکمل کودهای شیمیایی، پایداری تولید را در نظام‌های کشاورزی تضمین کنند (Vessy, 2003). قارچ‌های میکوریزا و ازتوباکتر به‌عنوان 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. این قارچ‌ها می‌توانند فسفر غیرقابل جذب را به شکل قابل استفاده در اختیار گیاهان قرار داده (Cooper and Tinker, 2003) و با بزرگتر کردن منطقه جذب سطحی مواد غذایی، شستشوی مواد مغذی از خاک را کاهش دهند (Cavagnaro et al., 2005). زاد بهتویی و

همکاران (۱۳۹۷) در بررسی عملکرد دانه برنج با کاربرد مقادیر مختلف کود نیتروژنه و کودهای زیستی (میکوریزا و ازتوباکتر) اظهار داشتند که مصرف ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به همراه کاربرد میکوریزا و ازتوباکتر، منجر به افزایش ۶۸ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با عدم کاربرد نیتروژن و کودهای زیستی شد.

یکی از معیارهای اندازه‌گیری کارآیی فتوسنتز، فلورسانس کلروفیل است که به طور مستقیم با فعالیت کلروفیل در مرکز واکنش فتوسیستم‌ها ارتباط دارد (Maxwell and Johnson, 2000). قارچ‌های میکوریزا می‌توانند با تأثیر بر اجزای فلورسانس کلروفیل، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II را افزایش دهند (Sayar et al., 2008). Sannazzaro و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که گیاهان تلقیح‌شده با میکوریزا گونه *Glomus intraradices* از محتوای کلروفیل بالاتری نسبت به گیاهان بدون تلقیح برخوردار بودند. کمتری (۱۳۹۳) اظهار نمود که تلقیح بذور تربیتکاله با باکتری‌های محرک رشد، موجب افزایش ۱۷ درصدی شاخص کلروفیل شد. Shahrroona و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که تلقیح با باکتری‌های محرک رشد منجر به افزایش ۱۶-۵ درصدی محتوای نسبی آب در مقایسه با عدم تلقیح بذر شد.

Sharaan و El-Samie (۱۹۹۹) گزارش کردند کاربرد توأم ازتوباکتر و آزوسپریلیوم با کود نیتروژن، موجب افزایش ۲۶/۳ درصدی تعداد سنبله در واحد سطح و ۲۲ درصدی عملکرد دانه گندم شد. جعفری وفاه و همکاران (۱۳۹۸) گزارش کردند که کاربرد تلقیحی کودهای زیستی و شیمیایی، ضمن تأمین نیازهای غذایی گندم دیم و افزایش ۴۰ درصدی عملکرد آن، موجب کاهش قابل توجه مصرف کودهای شیمیایی می‌شود. در مطالعه‌ای تلقیح سویه‌های باکتری محرک رشد تحت سطوح مختلف کود نیتروژن بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گندم رقم مروارید نشان داد که تلقیح ازتوباکتر به همراه ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار، بیشترین عملکرد دانه را تولید کرد (کاوپانی، ۱۳۹۴). Biswas و همکاران (۲۰۰۳)، El-Kholy و Goma (۲۰۰۰) نشان دادند که کاربرد کودهای زیستی ضمن

افزایش عملکرد، با کاهش ۵۰ درصدی در مصرف مقادیر توصیه شده کودهای شیمیایی در ارزن و ذرت همراه بود. آگاهی و همکاران (۱۴۰۱) گزارش کردند که کاربرد توأم قارچ میکوریزا موسه آ موجب افزایش تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته عدس (به ترتیب ۴۲/۱۴ و ۹۵/۱۷ درصد) نسبت به شرایط عدم کاربرد میکوریزا شد. Mader و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که تلقیح توأم بذر گندم با میکوریز و سودوموناس، عملکرد را به میزان ۴۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. در بررسی کاربرد توأم کود زیستی و کود نیتروژن بر گیاه برنج، بیشترین عملکرد دانه از ترکیب ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن همراه با باکتری *Pseudomonas fluorescens* بدست آمد.

اهمیت گندم به عنوان یکی از منابع با ارزش غذایی و تأمین کننده بیش از ۵۰ درصد کربوهیدرات و ۳۳ درصد پروتئین مصرفی در انسان (سیدشرفی و خلیل زاده، ۱۳۹۶) و از طرفی نقش کودهای زیستی و کود نیتروژن در بهبود شاخص های فلورسانس کلروفیل و عملکرد دانه گندم و بررسی های محدود انجام شده در مورد برهم کنش توأم این عوامل، از جمله مواردی بودند که موجب شد تا برهم کنش نیتروژن و کودهای زیستی بر عملکرد دانه و برخی صفات گندم مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش ها

آزمایش به صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی واقع در ۱۰ کیلومتری شرق اردبیل اجرا شد. محل انجام آزمایش دارای اقلیم نیمه خشک سرد با مختصات جغرافیای ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا است. خاک این اراضی جز خاک های لوم رسی است. pH خاک حدود ۷/۷۶ و عمق آن حدود ۴۰ سانتی متر است. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ و برخی مشخصات آب و

هوایی در طول دوره رشد گندم در جدول ۲ آورده شده است. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد کودهای زیستی در هشت سطح (شاهد، تلقیح بذر با ازتوباکتر، میکوریزا *Glomus moseae*، میکوریزا *Glomus intraradices*، میکوریزا *Glomus moseae* با ازتوباکتر، میکوریزا *Glomus intraradices* با ازتوباکتر، میکوریزا *Glomus moseae* با *Glomus intraradices*، میکوریزا *Glomus intraradices* با *Glomus moseae* به همراه ازتوباکتر) و کاربرد نیتروژن در سه سطح (شاهد یا عدم کاربرد نیتروژن، کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) بود. گندم بهاره رقم چمران از سازمان جهاد کشاورزی اردبیل تهیه شد. این رقم مناسب کشت در مناطق گرم بوده و بهترین زمان کشت آن نیمه دوم آبان ماه تا اواخر آذر ماه است ولی در مناطق سردسیر در بهار کاشته می شود. رقم چمران دارای تیپ رشد بهاره با میانگین ارتفاع ۵۹ سانتی متر با تراکم بهینه کاشت ۴۰۰ بذر در متر مربع است. زودرسی و مقاومت به خشکی و گرمای آخر فصل از خصوصیات مهم این رقم است. سویه خالص ازتوباکتر از مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهران تهیه شد. هر گرم از این مایه تلقیح حاوی 10^8 باکتری بود که برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها، از محلول صمغ عربی استفاده شد. در این مخلوط بذرها بعد از قرارگیری در محل خشک و تاریک به مدت دو ساعت، کشت شد. عملیات تهیه زمین شامل شخم و دیسک بود که بعد از تسطیح، نسبت به کاشت در ۲۴ فروردین ماه اقدام شد. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول چهار متر و فاصله بین ردیفی ۲۰ سانتی متر بود. کاشت در عمق ۵-۴ سانتی متری با تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع (تراکم مطلوب و توصیه شده این رقم) انجام شد. بین هر واحد آزمایشی یک متر و نیم فاصله نکاشت به منظور جلوگیری از نشت کود نیتروژن به کرت های مجاور در نظر گرفته شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری های بعدی بسته به شرایط محیطی، نیاز گیاه زراعی و به استناد عرف متداول زارعین محلی انجام شد. با توجه به اینکه آفت و بیماری مشاهده نگردید هیچ گونه مبارزه شیمیایی در طول دوره

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک

pH	فسفر پتاسیم آهن			هدایت الکتریکی	کربن آلی نیتروژن		شن	سیلت	رس	آهک	میزان
	میلی گرم بر کیلوگرم	میلی گرم بر کیلوگرم	میلی گرم بر کیلوگرم	دسی زیمنس بر متر	درصد	درصد					
۷/۷۶	۵/۱	۴۹۵	۱۲/۲	۱/۵۴	۰/۰۸	۰/۸۵۸	۳۱	۳۰	۳۹	۵	

جدول ۲- برخی مشخصات آب و هوایی در طول دوره رشدی گندم

مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	ماه‌های سال
۰/۵	۰/۱	۶/۱	۵۲/۱	۴۴	میزان بارندگی (mm)
۱۹/۶	۱۸/۹	۱۷/۳	۱۲/۳	۸/۴	میانگین دما (°C)
۲۶۷	۳۴۶	۲۸۷	۱۶۰	۱۷۶	جمع ساعات آفتابی
۶۸	۶۳	۶۵	۷۶	۶۴	متوسط رطوبت نسبی (%)

کوانتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگار شده با تاریکی) بودند که توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل در فاصله زمانی ساعت ۸-۱۰ صبح و بعد از ۲۰ دقیقه تاریکی توسط کلیپس‌های مخصوص اندازه‌گیری شدند (Kheirizadeh Arough et al., 2016).

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ پرچم بین ساعت ۱۰-۱۲ روز، بعد از قرارگیری این برگ‌ها در فویل‌های آلومینیومی، داخل کیسه‌های پلاستیکی و روی یخ قرار داده و خیلی سریع به آزمایشگاه منتقل شد و با استفاده از رابطه پیشنهادی Kostopoulou و همکاران (۲۰۱۰) و به صورت زیر اندازه‌گیری شد.

$$RWC = (Fw - Dw) / (Tw - Dw) \times 100$$

در این رابطه RWC محتوای نسبی آب، Fw وزن تر، Tw وزن آماس یافته و Dw وزن خشک است. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برگ پرچم در همان شرایط مربوط به اندازه‌گیری درصد محتوای نسبی آب، در فواصل زمانی یادشده، نمونه‌ها در بشرهای محتوی ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر (دارای EC مشخص) به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده و سپس توسط دستگاه EC متر (مدل Mi 180 Bench Meter) اندازه‌گیری شد. لازم به یادآوری است که سعی شد نمونه‌های برگ‌ها از ابعاد یکسانی برخوردار باشد.

کارایی مصرف نیتروژن با استفاده از رابطه پیشنهادی

رشد انجام نشد. گونه‌های میکوریزا *Glomus moseae* و *Glomus intraradices* از شرکت زیست‌فناوران توران تهیه و به میزان ۲۰ گرم در هر مترمربع خاک به استناد توصیه شرکت مذکور به کار برده شد. به منظور برآورد دقیق وزن ریشه‌ها، قبل از کاشت در ردیف‌های اصلی هر واحد آزمایشی، تعدادی کیسه‌های پلاستیکی در عمق ۳۰-۴۰ سانتی‌متری خاک و هم‌سطح با دیگر قسمت‌های خطوط کاشت در مزرعه قرار داده شد. تراکم کاشت در این کیسه‌ها مشابه تراکم دیگر قسمت‌های کاشته شده بود.

تغییرات برخی صفات فیزیولوژیک شامل شاخص کلروفیل، فلورسانس حداقل و متغیر، فلورسانس حداکثر، عملکرد کوانتومی، در فواصل زمانی هر چهار روز یکبار از مرحله ظهور کامل برگ پرچم (BBCH ۳۹) تا اواسط مرحله دوره پرشدن دانه (BBCH ۷۱)، از هر واحد آزمایشی به‌طور تصادفی و با رعایت اثر حاشیه‌ای بر روی چهار برگ اندازه‌گیری شدند.

شاخص کلروفیل (SPAD) بادستگاه کلروفیل‌سنج (SPAD-502، مینولتای ژاپن) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری شاخص‌های فلورسانس کلروفیل برگ پرچم شامل F_0 (حداقل فلورسانس از برگ سازگار شده با تاریکی)، F_m (حداکثر فلورسانس در برگ سازگار شده با تاریکی)، F_v (فلورسانس متغیر از برگ سازگار شده با تاریکی) و F_v/F_m (حداکثر عملکرد

Goodroad و Jellum (۱۹۹۸) و به صورت زیر برآورد شد.

$$E_e = \frac{Y_{df} - Y_{ef}}{F}$$

Y_{df} : عملکرد دانه تولیدشده در کرت حاوی کود دریافتی (کیلوگرم در هکتار)، Y_{ef} : عملکرد دانه تولیدشده در کرت فاقد کود دریافتی (کیلوگرم در هکتار) و F : مقدار کود یا عنصر غذایی مصرفشده (کیلوگرم در هکتار) است. در تاریخ ۲۸ مرداد (۱۳۱ روز بعد از کاشت)، عملکرد دانه با برداشت از سطحی معادل ۰/۲ مترمربع انجام شد. با خارج‌سازی ریشه‌ها از کیسه‌هایی که در زمان تهیه زمین در هر واحد آزمایشی قرار داده شده بود، وزن ریشه اندازه‌گیری شد. برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS^{9.4} استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص کلروفیل برگ پرچم: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد کودهای زیستی (میکوریزا و باکتری محرک رشد)، کود نیتروژن و اثر برهمکنش این دو عامل بر شاخص کلروفیل برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که با گذشت زمان شاخص کلروفیل برگ پرچم کاهش می‌یابد (جدول ۴). همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود شاخص کلروفیل برگ پرچم در ۵۵ روز پس از کاشت (BBCH ۳۹) در سطح شاهد برابر ۲۸/۸۴ و در ۷۹ روز پس از کاشت (BBCH ۷۱) برابر ۲۸/۸۴ بود یعنی در طی ۲۴ روز، شاخص کلروفیل برگ پرچم حدود ۵۴ درصد کاهش داشت. با این حال با کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن، این روند کندتر شد. حداکثر شاخص کلروفیل (۴۵/۰۸) در کاربرد توأم از توپاکتر و قارچ‌های میکوریزا موسه‌آ و ایترا به‌همراه کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار و حداقل آن (۲۸/۸۴) در سطح شاهد در ۷۹ روز بعد از کاشت به دست آمد. به عبارت دیگر این ترکیب تیماری در مقایسه با سطح شاهد، شاخص کلروفیل برگ پرچم را ۵۶/۳۱ درصد افزایش داد (جدول ۴). از آنجایی‌که نیتروژن یکی از اجزای تشکیل‌دهنده کلروفیل محسوب می‌شود از این رو بدیهی است

که با کاربرد نیتروژن، شاخص کلروفیل نیز در بیشتر نمونه‌برداری‌ها افزایش یابد. از طرفی بخشی از اثرات مفید کودهای زیستی (میکوریزا و ازتوباکتر) بر افزایش شاخص کلروفیل را، می‌توان به در دسترس بودن بالاتر نیتروژن به واسطه تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌های محرک رشد و کمک به افزایش جذب نیتروژن توسط میکوریزا نسبت داد که منجر به بهبود سنتز کلروفیل و افزایش شاخص کلروفیل می‌شوند (سیدشریفی و نامور، ۱۳۹۴). در این راستا Tang و همکاران (۲۰۰۹) مشاهده کردند که کاربرد قارچ میکوریزا گونه *Glomus mosseae* به‌علت افزایش جذب نیتروژن توسط گیاهان میکوریزایی، منجر به بهبود سنتز کلروفیل و افزایش شاخص کلروفیل ذرت شد. نتایج مشابهی نیز توسط محسنی محمدجانلو و همکاران (۱۴۰۱) مبنی بر افزایش شاخص کلروفیل گندم با کاربرد کودهای زیستی (میکوریزا و باکتری‌های محرک رشد) گزارش شده است.

فلورسانس متغیر: کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن بر فلورسانس متغیر برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). همان‌طور که مشاهده می‌شود فلورسانس متغیر با گذشت زمان روند نزولی داشت (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین مقدار فلورسانس متغیر (۳۵۶/۳) در ۷۹ روز بعد از کاشت (BBCH ۷۱) در کاربرد توأم از توپاکتر، قارچ‌های میکوریزا موسه‌آ و ایترا همراه با ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار اوره بدست آمد که از افزایش ۱/۱۷ برابری نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن برخوردار بود (جدول ۶). در ضمن این ترکیب تیماری با کاربرد میکوریزا موسه‌آ و ایترا به همراه مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار (۳۴۰/۷) اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نداشت. اصولاً هنگامی که پذیرنده الکترون (کوئینون) در حالت احیا باشد مقدار فلورسانس کلروفیل زیاد است و به این علت مقدار F_v نیز در این حالت زیاد می‌شود؛ ولی زمانی‌که کوئینون در حالت اکسید است مقدار فلورسانس کلروفیل کم می‌شود؛ در نتیجه، میزان F_v کاهش می‌یابد (Paknejad et al., 2007). از آنجایی‌که تنش‌های محیطی

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن بر روند تغییرات شاخص کلروفیل برگ پرچم گندم

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
شاخص کلروفیل برگ پرچم (روز پس از کاشت)								
۷۹	۷۵	۷۱	۶۷	۶۳	۵۹	۵۵		
۲۶/۹۱۴*	۹۶/۲۰۰**	۵۶/۲۵۳**	۱۱۶/۸۲۲**	۲۷۰/۷۲۲**	۱۱/۴۲۸ ^{ns}	۵۳۲/۳۶۱**	۲	تکرار
۲۲۸/۶۸۸**	۲۹۴/۵۱۷**	۴۷۲/۹۳۳**	۳۰۵/۴۸۵**	۲۸۶/۳۶۴**	۴۳۱/۷۳۲**	۱۹۱/۵۵۸**	۲	نیتروژن (N)
۹۹/۳۴۹**	۱۲۵/۵۶۴**	۶۸/۲۰۵**	۱۲۷/۷۲۲**	۹۶/۵۰۸**	۱۵۴/۱۲۲**	۱۳۸/۶۴۴**	۷	کودهای زیستی (B)
۱۵/۳۴۲**	۱۴/۹۵۳**	۲۶/۵۴۷**	۲۰/۵۸۲**	۲۳/۶۰۰**	۲۴/۱۷۰*	۱۷/۵۴۱**	۱۴	N×B
۶/۵۶	۴/۹۵	۵/۲۵	۸/۴۱	۸/۱۰	۱۱/۰۵	۶/۹۴	۴۶	خطا
۶/۹۴	۵/۵۷	۵/۴۱	۶/۵۴	۶/۱۰	۷/۰۴	۵/۰۹		ضریب تغییرات (%)

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۴- مقایسه میانگین برهمکنش کودهای زیستی و نیتروژن بر روند تغییرات شاخص کلروفیل برگ پرچم گندم

شاخص کلروفیل برگ پرچم (روز پس از کاشت)							ترکیبات بیماری
۷۹	۷۵	۷۱	۶۷	۶۳	۵۹	۵۵	
۲۸/۸۴	۳۲/۴۶	۳۳/۷۰	۳۴/۵۳	۳۸/۶۵	۳۸/۰۵	۴۴/۳۵	N ₁ ×B ₁
۳۱/۶۶	۳۳/۸۴	۳۶/۷۳	۳۵/۸۲	۳۹/۱۲	۳۸/۹۱	۴۵/۷۵	N ₁ ×B ₂
۳۱/۶۳	۳۳/۰۰	۴۰/۸۵	۴۵/۳۸	۴۸/۴۸	۴۵/۲۶	۵۱/۷۸	N ₁ ×B ₃
۳۶/۲۵	۴۳/۱۴	۳۸/۹۶	۴۲/۷۱	۴۵/۵۹	۴۶/۱۶	۴۹/۴۰	N ₁ ×B ₄
۳۰/۷۱	۳۲/۸۷	۳۴/۹۱	۳۸/۳۹	۳۸/۲۸	۳۵/۷۴	۴۲/۱۸	N ₁ ×B ₅
۳۲/۹۱	۳۳/۷۰	۳۷/۶۳	۳۹/۷۶	۴۰/۷۲	۴۲/۰۱	۴۸/۹۰	N ₁ ×B ₆
۳۵/۲۲	۳۸/۲۸	۳۴/۷۷	۴۲/۱۳	۴۳/۴۷	۴۳/۷۵	۵۳/۳۹	N ₁ ×B ₇
۳۹/۶۷	۴۱/۴۱	۴۱/۱۲	۴۵/۰۳	۴۷/۰۵	۴۸/۹۲	۵۲/۲۶	N ₁ ×B ₈
۳۰/۷۶	۳۲/۹۱	۳۷/۸۶	۳۷/۱۵	۴۱/۵۳	۳۹/۶۴	۵۰/۱۱	N ₂ ×B ₁
۳۸/۹۶	۳۵/۹۸	۴۲/۰۵	۴۲/۷۰	۴۴/۶۷	۴۵/۴۴	۵۲/۱۱	N ₂ ×B ₂
۳۵/۴۶	۳۹/۶۱	۳۹/۶۳	۴۱/۱۱	۴۵/۶۱	۴۸/۰۷	۵۲/۱۹	N ₂ ×B ₃
۳۹/۷۸	۴۵/۴۷	۴۶/۳۰	۴۵/۸۲	۵۱/۳۱	۵۲/۹۲	۵۵/۸۲	N ₂ ×B ₄
۴۲/۶۰	۴۲/۵۷	۴۶/۴۲	۴۳/۴۳	۴۹/۶۸	۵۰/۳۶	۴۶/۷۵	N ₂ ×B ₅
۳۷/۱۴	۴۰/۷۹	۴۳/۴۱	۴۷/۳۰	۴۹/۰۹	۵۰/۴۷	۵۰/۶۲	N ₂ ×B ₆
۳۹/۰۵	۴۲/۱۳	۴۵/۸۶	۴۹/۷۹	۴۹/۲۱	۵۰/۷۲	۵۵/۲۷	N ₂ ×B ₇
۴۳/۳۲	۴۶/۶۰	۴۸/۰۴	۵۱/۸۹	۵۵/۸۹	۵۳/۹۴	۵۸/۶۶	N ₂ ×B ₈

N₁, N₂ و N₃ به ترتیب عدم کاربرد نیتروژن و کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار.

B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, B₆, B₇ و B₈ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد میکوریزا موسه‌آ، میکوریزا اینترا، کاربرد موسه‌آ و اینترا، کاربرد ازتوباکتر، کاربرد ازتوباکتر و میکوریزا موسه‌آ، کاربرد ازتوباکتر و اینترا، کاربرد توأم ازتوباکتر و قارچ‌های موسه‌آ و اینترا. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

ادامه جدول ۴-

شاخص کلروفیل برگ پرچم (روز پس از کاشت)							ترکیبات
۷۹	۷۵	۷۱	۶۷	۶۳	۵۹	۵۵	تیماری
۳۳/۹۴	۳۸/۸۷	۴۳/۱۷	۴۲/۲۸	۴۴/۰۳	۴۴/۱۲	۴۸/۳۶	N ₃ ×B ₁
۳۰/۳۴	۴۲/۵۳	۴۸/۵۳	۴۷/۰۲	۴۷/۳۲	۴۹/۴۴	۵۱/۸۸	N ₃ ×B ₂
۳۶/۲۸	۴۰/۴۹	۳۷/۱۲	۴۳/۱۲	۴۵/۶۲	۴۸/۱۶	۴۸/۰۸	N ₃ ×B ₃
۴۱/۰۴	۴۸/۲۸	۴۹/۶۷	۵۱/۶۸	۵۳/۵۳	۵۷/۵۹	۵۷/۹۰	N ₃ ×B ₄
۳۷/۲۳	۴۱/۴۸	۴۵/۴۴	۴۴/۵۶	۴۷/۸۶	۴۶/۸۳	۵۱/۵۳	N ₃ ×B ₅
۴۲/۵۸	۴۵/۳۰	۴۷/۹۵	۵۰/۴۷	۵۳/۱۱	۵۴/۸۵	۵۱/۸۲	N ₃ ×B ₆
۳۵/۳۵	۳۹/۴۵	۴۴/۳۵	۴۷/۴۸	۴۸/۱۲	۴۵/۴۵	۵۹/۳۴	N ₃ ×B ₇
۴۵/۰۸	۴۷/۱۶	۵۰/۷۹	۵۳/۶۱	۵۱/۶۳	۵۵/۷۲	۶۲/۱۳	N ₃ ×B ₈
۴/۲۱	۳/۶۵	۳/۷۶	۴/۷۶	۴/۶۷	۵/۴۶	۴/۳۳	LSD

N₁, N₂ و N₃ به ترتیب عدم کاربرد نیتروژن و کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار.

B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, B₆ و B₇ و B₈ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد میکوریزا موسه‌آ، میکوریزا ایترا، کاربرد موسه‌آ و ایترا، کاربرد ازتوباکتر، کاربرد ازتوباکتر و میکوریزا موسه‌آ، کاربرد ازتوباکتر و ایترا، کاربرد توأم ازتوباکتر و فارچ‌های موسه‌آ و ایترا. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن بر روند تغییرات فلورسانس متغیر برگ پرچم گندم

میانگین مربعات							منابع تغییر	درجه
فلورسانس متغیر برگ پرچم (روز پس از کاشت)							آزادی	
۷۹	۷۵	۷۱	۶۷	۶۳	۵۹	۵۵		
۱۲۳۴۰/۵**	۲۳۲۷۶/۹**	۹۰۷۹/۶**	۳۴۶۲ ^{ns}	۵۷۷۰۲/۹**	۶۳۰۱۵/۹**	۵۸۶۵۹/۹**	۲	تکرار
۲۰۶۲۵/۶**	۲۳۳۱۱/۱**	۲۶۹۹۲/۹**	۳۳۳۴۳/۵**	۳۸۹۱۴/۱**	۸۹۱۰۲/۵**	۸۴۷۶۷/۹**	۲	نیتروژن (N)
۱۶۲۸۶/۱**	۹۴۸۸/۸**	۲۰۰۵۳**	۲۴۹۹۱**	۳۲۲۵۲/۳**	۲۲۰۴۸/۳**	۳۸۷۱۷/۲**	۷	کودهای زیستی (B)
۴۰۲۱/۴**	۶۴۲۸/۵**	۴۴۱۲/۸**	۵۸۱۱/۲**	۶۹۸۶/۷**	۶۲۵۹/۲**	۶۲۰۵/۷**	۱۴	N×B
۱۳۹۲/۷	۲۵۷۸/۴	۱۳۶۶/۳	۱۵۳۹/۶	۱۹۶۹/۳	۲۴۷۵/۶	۲۶۰۰	۴۶	خطا
۱۴/۹۳	۱۸/۱۱	۱۱/۳۳	۱۱/۰۶	۱۱/۳۵	۱۱/۴۳	۹/۸۹		ضریب تغییرات (%)

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

مقایسه با عدم کاربرد نیتروژن و کودهای زیستی افزایش یابد. فلورسانس حداقل: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد توأم کودهای زیستی و نیتروژن بر فلورسانس حداقل در مراحل مختلف نمونه‌برداری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تمامی ترکیبات تیماری فلورسانس حداقل با گذشت زمان

همانند تنش ناشی از کمبود مواد غذایی، مقدار فلورسانس متغیر را به علت ممانعت از فتواکسیداسیون فتوسیستم II کاهش می‌دهد (آقای و همکاران، ۱۳۹۹). از این‌رو به نظر می‌رسد در کاربرد کودهای زیستی و کود نیتروژن به دلیل سهولت در دسترسی به مواد غذایی و عدم اختلال در انتقال الکترون به فتوسیستم I موجب می‌شود تا مقدار فلورسانس متغیر در

جدول ۶- مقایسه میانگین برهمکنش کودهای زیستی و نیتروژن بر روند تغییرات فلورسانس متغیر برگ پرچم گندم

فلورسانس متغیر برگ پرچم (روز پس از کاشت)							ترکیبات
۷۹	۷۵	۷۱	۶۷	۶۳	۵۹	۵۵	تیماری
۱۷۶/۵	۱۷۷	۲۲۷/۳	۲۳۴/۵	۲۷۵	۲۸۹/۱	۳۷۷/۵	N ₁ ×B ₁
۲۵۸	۲۱۸/۸	۳۳۷/۲	۲۶۶/۹	۳۷۷/۹	۳۶۹/۲	۵۱۵/۶	N ₁ ×B ₂
۲۵۷/۶	۳۱۱/۷	۳۶۰/۴	۳۷۳/۳	۴۳۷	۳۷۸/۸	۴۵۷	N ₁ ×B ₃
۲۲۸/۷	۲۳۱/۵	۲۹۶/۳	۳۴۰/۶	۳۷۰/۵	۳۵۵/۴	۵۰۴	N ₁ ×B ₄
۱۶۴/۱	۲۷۹	۲۲۸/۳	۳۵۹/۲	۲۵۸/۵	۴۷۵/۴	۳۷۶/۹	N ₁ ×B ₅
۱۸۵/۱	۲۲۹/۸	۲۶۶/۶	۲۷۰	۳۰۵/۵	۳۵۱/۵	۴۱۵	N ₁ ×B ₆
۲۱۶/۷	۲۹۴	۲۷۴/۲	۳۱۵	۳۲۷/۴	۳۳۴/۷	۴۳۰/۳	N ₁ ×B ₇
۲۶۵/۹	۲۵۲/۷	۳۳۶/۸	۳۶۷/۷	۴۳۰/۹	۴۰۶/۹	۵۱۵/۸	N ₁ ×B ₈
۱۷۹/۹	۲۱۰/۴	۲۴۶/۳	۲۵۳/۶	۲۸۴/۸	۳۶۲/۲	۴۱۳/۱	N ₂ ×B ₁
۲۰۳/۹	۲۶۷/۵	۳۱۳/۴	۳۴۱/۸	۳۸۹/۳	۴۲۳/۸	۴۷۳/۵	N ₂ ×B ₂
۲۲۹/۳	۲۴۳/۳	۳۱۶	۳۳۸/۶	۳۸۲/۴	۳۸۳/۹	۴۹۲/۱	N ₂ ×B ₃
۲۹۰/۵	۳۱۸/۸	۳۸۷/۴	۳۸۳/۶	۴۳۹	۵۰۹/۱	۶۱۱/۱	N ₂ ×B ₄
۲۰۴	۲۶۵/۵	۲۶۵/۶	۲۸۱/۲	۳۰۳/۲	۴۲۲	۴۶۲/۱	N ₂ ×B ₅
۲۹۶/۶	۲۹۶/۳	۳۴۴/۷	۳۷۵/۵	۴۲۳	۴۴۲/۳	۵۵۵/۵	N ₂ ×B ₆
۳۰۱/۱	۲۹۹/۷	۳۶۹/۲	۴۱۷/۵	۴۱۶/۷	۴۷۶/۴	۵۷۲/۳	N ₂ ×B ₇
۳۲۰/۳	۳۳۸/۸	۳۹۸/۱	۴۶۸/۹	۵۳۶/۳	۵۳۶/۹	۶۸۱/۷	N ₂ ×B ₈
۲۱۹/۸	۲۸۱/۱	۲۹۳/۶	۳۲۰/۱	۳۵۸/۲	۴۳۵/۲	۴۶۷/۶	N ₃ ×B ₁
۲۵۳/۷	۳۵۴/۱	۳۴۶	۴۰۳/۶	۴۱۵/۶	۵۲۸/۹	۵۶۲	N ₃ ×B ₂
۲۰۷/۶	۲۳۹/۴	۲۹۶/۱	۳۱۵/۲	۳۴۳/۵	۴۱۸/۲	۴۵۷/۹	N ₃ ×B ₃
۳۴۰/۷	۳۷۲/۲	۴۴۸/۷	۴۵۷	۵۰۳/۶	۵۵۸/۸	۶۵۱/۸	N ₃ ×B ₄
۲۴۷	۳۰۱/۳	۳۱۸/۸	۳۵۷	۴۱۹/۱	۵۱۰/۳	۵۴۳/۱	N ₃ ×B ₅
۲۵۲/۹	۲۷۹	۳۱۴/۳	۳۳۷/۲	۳۷۵/۶	۴۷۴/۳	۵۴۸/۷	N ₃ ×B ₆
۳۴۱/۴	۲۵۳/۵	۴۱۱/۱	۴۴۳/۷	۴۹۱/۴	۴۰۲/۴	۶۴۵/۶	N ₃ ×B ₇
۳۵۶/۳	۴۱۲/۴	۴۳۲/۲	۴۸۸/۳	۵۱۴/۵	۵۹۹/۲	۶۳۵	N ₃ ×B ₈
۶۱/۳	۸۳/۴	۶۰/۷	۶۴/۴	۷۲/۹	۸۱/۷	۸۳/۸	LSD

N₁, N₂ و N₃ به ترتیب عدم کاربرد نیتروژن و کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار.

B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, B₆, B₇ و B₈ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد میکوریزا موسه‌آ، میکوریزا اینترا، کاربرد موسه‌آ و اینترا، کاربرد ازتوباکتر، کاربرد ازتوباکتر و میکوریزا موسه‌آ، کاربرد ازتوباکتر و اینترا، کاربرد توأم ازتوباکتر و فارچ‌های موسه‌آ و اینترا. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون LSD با هم ندارند.

کاربرد توأم ازتوباکتر با فارچ‌های میکوریزا موسه‌آ و اینترا به همراه ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار حاصل شد. به بیانی دیگر در واقع ۷۹ روز پس از کاشت، کاربرد توأم کودهای

روند صعودی داشت (جدول ۸). در ۷۹ روز بعد از کاشت بیشترین فلورسانس حداقل (۱۸۷/۱) در سطح شاهد (عدم کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن) و کمترین آن (۱۴۷/۲) در

جدول ۷- تجزیه واریانس تأثیر کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن بر روند تغییرات فلورسانس حداقل برگ پرچم گندم

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
فلورسانس حداقل برگ پرچم (روز پس از کاشت)								
۷۹	۷۵	۷۱	۶۷	۶۳	۵۹	۵۵		
۵۱۹۶/۲**	۱۶۵۳۴/۷**	۶۹۵۱/۹**	۱۲۷۴/۷**	۱۲۲۴۰/۱**	۱۳۳۲۲**	۱۰۸۹۳**	۲	تکرار
۳۴۳/۲**	۶۱۸/۹**	۱۳۳۶/۹**	۱۳۱۸/۷**	۱۵۷۱/۸**	۲۰۰/۸ ^{ns}	۴۶۲۵/۱**	۲	نیتروژن (N)
۱۷۵/۸**	۲۷۴/۵**	۶۹۰/۷**	۱۱۱۸/۹**	۱۴۹۲/۹**	۱۴۷۹/۱**	۲۷۰/۸/۱**	۷	کودهای زیستی (B)
۱۲۴/۴**	۱۲۴/۹**	۵۰۸/۸**	۳۴۴/۹*	۳۳۵/۳**	۱۵۶۶/۵**	۵۴۲/۲**	۱۴	N×B
۳۱/۸	۳۱/۵	۲۱۹	۱۷۳/۹	۸۶/۷	۳۵۵/۱	۱۹۰/۱	۴۶	خطا
۳/۶۴	۳/۵۹	۹/۰۷	۸/۲	۶/۱۱	۱۲/۶	۹/۹۱		ضریب تغییرات (%)

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۸- مقایسه میانگین برهمکنش کودهای زیستی و نیتروژن بر روند تغییرات فلورسانس حداقل برگ پرچم گندم

فلورسانس حداقل برگ پرچم (روز پس از کاشت)							ترکیبات تیماری
۷۹	۷۵	۷۱	۶۷	۶۳	۵۹	۵۵	
۱۸۷/۱	۱۸۵/۳	۱۸۰	۱۷۷/۴	۱۷۴/۲	۱۷۰/۱	۱۷۱/۷	N ₁ ×B ₁
۱۵۵/۶	۱۶۳/۱	۱۵۵/۴	۱۷۰/۷	۱۵۷/۱	۱۳۴	۱۳۴/۳	N ₁ ×B ₂
۱۵۲/۶	۱۵۵/۲	۱۵۵/۲	۱۵۴/۲	۱۴۲/۳	۱۱۵/۱	۱۵۳/۳	N ₁ ×B ₃
۱۵۴/۵	۱۵۹/۱	۱۸۴/۹	۱۷۲	۱۶۲/۱	۱۶۵/۵	۱۴۲/۳	N ₁ ×B ₄
۱۶۱/۱	۱۵۳/۹	۱۶۹/۶	۱۵۸	۱۷۴	۱۳۲/۲	۱۶۸/۷	N ₁ ×B ₅
۱۵۳/۸	۱۶۱/۱	۱۷۱	۱۷۴/۲	۱۵۹/۷	۱۶۳/۸	۱۶۴	N ₁ ×B ₆
۱۵۵/۵	۱۵۴/۳	۱۸۱/۷	۱۶۷/۶	۱۶۶/۱	۱۶۵/۹	۱۶۲/۶	N ₁ ×B ₇
۱۵۴/۳	۱۶۰/۲	۱۶۳/۴	۱۵۹/۲	۱۴۷	۱۶۲/۳	۱۳۹/۴	N ₁ ×B ₈
۱۵۵/۳	۱۶۱/۵	۱۷۹/۶	۱۷۷/۹	۱۷۴/۱	۱۶۳	۱۶۵/۵	N ₂ ×B ₁
۱۵۳/۳	۱۵۸/۱	۱۷۶/۸	۱۷۱/۱	۱۵۶/۳	۱۵۷/۱	۱۴۹/۴	N ₂ ×B ₂
۱۵۴/۶	۱۵۹	۱۷۶/۹	۱۶۷/۶	۱۵۸/۸	۱۶۰/۷	۱۴۷/۱	N ₂ ×B ₃
۱۵۲/۱	۱۴۷/۸	۱۵۰/۲	۱۵۰/۶	۱۴۴/۶	۱۳۵/۵	۱۱۵/۹	N ₂ ×B ₄
۱۵۲/۹	۱۵۹	۱۶۷/۹	۱۶۸/۷	۱۶۸/۱	۱۵۶/۲	۱۵۵/۱	N ₂ ×B ₅
۱۵۱/۹	۱۵۲/۲	۱۵۴/۸	۱۵۶/۴	۱۵۰/۹	۱۵۰	۱۳۰/۱	N ₂ ×B ₆
۱۵۱/۸	۱۵۰/۹	۱۵۵/۴	۱۵۰/۴	۱۴۸/۹	۱۴۲/۵	۱۲۶	N ₂ ×B ₇
۱۵۲/۶	۱۴۸/۸	۱۴۶/۴	۱۳۲/۴	۱۱۵/۶	۱۲۸/۴	۹۱/۲	N ₂ ×B ₈

N₁, N₂ و N₃ به ترتیب عدم کاربرد نیتروژن و کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار.

B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, B₆, B₇ و B₈ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد میکوریزا موسه‌آ، میکوریزا اینترا، کاربرد موسه‌آ و اینترا، کاربرد ازتوباکتر، کاربرد ازتوباکتر و میکوریزا موسه‌آ، کاربرد ازتوباکتر و اینترا، کاربرد توأم ازتوباکتر و قارچ‌های موسه‌آ و اینترا. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

ادامه جدول ۸-

فلورسانس حداقل برگ پرچم (روز پس از کاشت)							ترکیبات
۷۹	۷۵	۷۱	۶۷	۶۳	۵۹	۵۵	تیماری
۱۵۳/۵	۱۵۷/۴	۱۷۳/۳	۱۷۱/۲	۱۶۲/۴	۱۵۳/۴	۱۵۱/۶	N ₃ ×B ₁
۱۵۲/۶	۱۴۴/۵	۱۵۹/۶	۱۴۶/۶	۱۴۹/۶	۱۲۷/۷	۱۲۷/۳	N ₃ ×B ₂
۱۵۶/۳	۱۵۸/۹	۱۶۵/۴	۱۶۶/۴	۱۶۱/۷	۱۸۲/۳	۱۶۱	N ₃ ×B ₃
۱۵۰/۵	۱۴۶/۴	۱۲۹/۵	۱۳۷/۲	۱۵۰/۵	۱۱۷/۸	۱۰۳/۱	N ₃ ×B ₄
۱۵۴/۹	۱۵۲/۹	۱۶۷/۸	۱۶۲	۱۵۰/۵	۱۳۳/۶	۱۳۳/۱	N ₃ ×B ₅
۱۵۳/۷	۱۵۵/۹	۱۶۳/۶	۱۶۹/۴	۱۵۳/۳	۱۹۲	۱۳۳/۹	N ₃ ×B ₆
۱۵۱/۵	۱۵۵/۴	۱۴۷/۸	۱۳۷/۵	۱۲۹/۵	۱۵۳/۲	۱۰۵	N ₃ ×B ₇
۱۴۷/۲	۱۴۱/۵	۱۳۵	۱۲۴/۶	۱۱۲۱	۱۰۳/۴	۱۰۶/۳	N ₃ ×B ₈
۹/۲	۹/۲	۲۴/۳	۲۱/۶	۱۵/۳	۳۰/۹	۲۲/۶	LSD

N₁, N₂ و N₃ به ترتیب عدم کاربرد نیتروژن و کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار.

B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, B₆ و B₇ و B₈ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد میکوریزا موسه‌آ، میکوریزا ایترا، کاربرد موسه‌آ و ایترا، کاربرد ازتوباکتر، کاربرد ازتوباکتر و میکوریزا موسه‌آ، کاربرد ازتوباکتر و ایترا، کاربرد توأم ازتوباکتر و قارچ‌های موسه‌آ و ایترا. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

جدول ۹- تجزیه واریانس تأثیر کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن بر روند تغییرات عملکرد کوانتومی برگ پرچم گندم

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
عملکرد کوانتومی برگ پرچم (روز پس از کاشت)								
۷۹	۷۵	۷۱	۶۷	۶۳	۵۹	۵۵		
۰/۰۰۶۶**	۰/۰۱۲**	۰/۰۱۶**	۰/۰۰۶۷*	۰/۰۰۲۵ ^{ns}	۰/۰۰۹۷**	۰/۰۰۱۸**	۲	تکرار
۰/۰۲۵**	۰/۰۲۴**	۰/۰۲۵**	۰/۰۲۴**	۰/۰۲۴**	۰/۰۲۲**	۰/۰۳۲**	۲	نیتروژن (N)
۰/۰۱۸**	۰/۰۱۱**	۰/۰۱۷**	۰/۰۲**	۰/۰۲۱**	۰/۰۱۱**	۰/۰۱۶**	۷	کودهای زیستی (B)
۰/۰۰۲**	۰/۰۰۶۴**	۰/۰۰۴۸**	۰/۰۰۴۷**	۰/۰۰۴۴**	۰/۰۰۵۹**	۰/۰۰۲۸*	۱۴	N×B
۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۲	۴۶	خطا
۵/۸۴	۷/۶۷	۶/۳۷	۵/۷۴	۴/۷۸	۵/۹۱	۴/۵۲		ضریب تغییرات (/.)

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

در سطح احتمال پنج درصد و در دیگر مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۹). همان‌طور که مشاهده می‌شود در ۷۹ روز بعد از کاشت، کاربرد توأم قارچ‌های موسه‌آ و ایترا همراه با کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار به ترتیب ۳۹/۳۸ و ۴۵/۷۷ درصد عملکرد کوانتومی را در مقایسه با سطح شاهد افزایش داد (جدول ۱۰).

زیستی و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در مقایسه با سطح شاهد فلورسانس حداقل را ۲۷/۱ درصد کاهش داد (جدول ۸).

عملکرد کوانتومی (Fv/Fm): تأثیر کودهای زیستی و کود نیتروژن بر عملکرد کوانتومی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین، اثرات توأم این دو عامل بر عملکرد کوانتومی در مرحله اول نمونه‌برداری (۵۵ روز پس از کاشت)

جدول ۱۰- مقایسه میانگین برهمکنش کودهای زیستی و نیتروژن بر روند تغییرات عملکرد کوانتومی برگ پرچم گندم

ترکیبات تیماری	عملکرد کوانتومی برگ پرچم (روز پس از کاشت)					
	۷۹	۷۵	۷۱	۶۷	۶۳	۵۹
N ₁ ×B ₁	۰/۴۸۵	۰/۴۸۸	۰/۵۵۸	۰/۵۶۹	۰/۶۱۲	۰/۶۲۹
N ₁ ×B ₂	۰/۶۱	۰/۵۷۳	۰/۶۷۸	۰/۶۰۹	۰/۷۰۳	۰/۷۳۴
N ₁ ×B ₃	۰/۶۲۳	۰/۶۵۷	۰/۶۹۵	۰/۷۰۴	۰/۷۴۹	۰/۷۶۲
N ₁ ×B ₄	۰/۵۹۷	۰/۵۴۹	۰/۶۱۷	۰/۶۶۴	۰/۶۹۵	۰/۶۸۳
N ₁ ×B ₅	۰/۵۰۶	۰/۶۳۶	۰/۵۷۲	۰/۶۸۹	۰/۵۹۷	۰/۷۷۲
N ₁ ×B ₆	۰/۵۴۶	۰/۵۸۸	۰/۶۰۹	۰/۶۰۷	۰/۶۵۶	۰/۶۸۲
N ₁ ×B ₇	۰/۵۸۱	۰/۶۴۹	۰/۶۰۲	۰/۶۵۶	۰/۶۶۳	۰/۶۶۸
N ₁ ×B ₈	۰/۶۳۲	۰/۶۱۲	۰/۶۷۳	۰/۶۹۷	۰/۷۴۶	۰/۷۱۴
N ₂ ×B ₁	۰/۵۳۷	۰/۵۶۷	۰/۵۷۸	۰/۵۸۷	۰/۶۲	۰/۶۸۹
N ₂ ×B ₂	۰/۵۷	۰/۶۲۹	۰/۶۳۹	۰/۶۶۴	۰/۷۰۷	۰/۷۲۹
N ₂ ×B ₃	۰/۵۹۷	۰/۶۰۵	۰/۶۴۲	۰/۶۶۸	۰/۷۰۶	۰/۷۰۵
N ₂ ×B ₄	۰/۶۵۵	۰/۶۸۴	۰/۷۲	۰/۷۱۸	۰/۷۵۳	۰/۷۸۹
N ₂ ×B ₅	۰/۵۷۲	۰/۶۲۵	۰/۶۱۱	۰/۶۲۵	۰/۶۴۳	۰/۷۲۸
N ₂ ×B ₆	۰/۶۶۱	۰/۶۶	۰/۶۹	۰/۷۰۴	۰/۷۳۴	۰/۷۴۷
N ₂ ×B ₇	۰/۶۶۴	۰/۶۶۶	۰/۷۰۴	۰/۷۳۵	۰/۷۳۶	۰/۷۷
N ₂ ×B ₈	۰/۶۷۶	۰/۶۹۵	۰/۷۳۱	۰/۷۸	۰/۸۲۳	۰/۸۰۷
N ₃ ×B ₁	۰/۵۸۹	۰/۶۴۱	۰/۶۲۸	۰/۶۵۱	۰/۶۸۸	۰/۷۳۹
N ₃ ×B ₂	۰/۶۲۴	۰/۷۱۱	۰/۶۸۴	۰/۷۳۳	۰/۷۳۵	۰/۸۰۶
N ₃ ×B ₃	۰/۵۶	۰/۵۹	۰/۶۳۲	۰/۶۴۴	۰/۶۷۲	۰/۶۹۶
N ₃ ×B ₄	۰/۶۹۲	۰/۷۱۸	۰/۷۷۶	۰/۷۶۹	۰/۸۰۱	۰/۸۲۷
N ₃ ×B ₅	۰/۶۱۴	۰/۶۶۴	۰/۶۵۵	۰/۶۸۷	۰/۷۳۴	۰/۷۹۱
N ₃ ×B ₆	۰/۶۰۷	۰/۶۱۸	۰/۶۴۷	۰/۶۵۶	۰/۷۰۲	۰/۷۰۹
N ₃ ×B ₇	۰/۶۹۱	۰/۶۰۸	۰/۷۳۶	۰/۷۶۳	۰/۷۹۲	۰/۷۰۸
N ₃ ×B ₈	۰/۷۰۷	۰/۷۴۴	۰/۷۶۲	۰/۷۹۷	۰/۸۱	۰/۸۵۳
LSD	۰/۰۵۸۴	۰/۰۸۰۱	۰/۰۶۹۲	۰/۰۶۴۴	۰/۰۵۶	۰/۰۷۱۹

N₁, N₂ و N₃ به ترتیب عدم کاربرد نیتروژن و کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار.

B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, B₆, B₇ و B₈ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد میکوریزا موسه‌آ، میکوریزا اینترا، کاربرد موسه‌آ و اینترا، کاربرد ازتوباکتر، کاربرد ازتوباکتر و میکوریزا موسه‌آ، کاربرد ازتوباکتر و اینترا، کاربرد توأم ازتوباکتر و فارچ‌های موسه‌آ و اینترا. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

دی‌اکسید کربن برگ پرچم در زمان باز بودن روزنه‌ها رابطه مثبتی با غلظت نیتروژن دارد (Coming and Zang, 2000). نتایج بدست آمده در این پژوهش با نتایج دیگر محققان مبنی

کاهش دسترسی به نیتروژن به دلیل اختلال در انتقال الکترون فتوسیستم دو، موجب تخریب فتوسیستم دو و کاهش فلورسانس متغیر می‌شود، چرا که معمولاً میزان مبادله

بر اینکه تنش‌های محیطی همانند تنش ناشی از کمبود مواد غذایی، عملکرد کوانتومی را کاهش می‌دهد (آقایی و همکاران، ۱۳۹۹)، هماهنگ است. محسنی محمدجانلو و همکاران (۱۴۰۱) افزایش عملکرد کوانتومی گندم را با کاربرد میکوریز و باکتری‌های محرک رشد گزارش کردند.

فلورسانس کلروفیل به‌طور مستقیم به فعالیت کلروفیل در مراکز واکنش فتوسیستم‌ها ارتباط دارد و وجود هر گونه آشفستگی و یا دگرگونی ساختار و تغییر در رنگدانه‌های فتوسیستم و یا تشکیل کلروفیل گیاهان که نیتروژن یکی از عناصر مهم گیاه است (Francheboud and Leipner, 2003)، می‌تواند از علل اصلی کاهش عملکرد کوانتومی باشد. همچنین بخشی از علت کاهش عملکرد کوانتومی در شرایط کمبود نیتروژن می‌تواند با کاهش ظرفیت فتوسنتزی گیاه مرتبط باشد که این کاهش در نتیجه تقلیل یافتن سنتز آنزیم‌های کلیدی در فرآیند فتوسنتز است (Seyed Sharifi *et al.*, 2017) که مهم‌ترین آن آنزیم رایسکو (ریبولوز ۱ و ۵ بیس فسفات کربوکسیلاز) است، ولی تأمین مقادیر کافی از نیتروژن در گیاه، با بهبود فرآیند فتوسنتز (Seyed Sharifi *et al.*, 2017)، موجب افزایش عملکرد کوانتومی می‌شود (Hongju *et al.*, 2013). در این راستا Sayar و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند عملکرد کوانتومی فتوسیستم II توسط قارچ‌های میکوریزا به‌واسطه بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاهان افزایش می‌یابد. برخی محققان بهبود عملکرد کوانتومی را به تأثیر میکوریزا در عنصر فسفر که نقش مهمی در فتوسنتز دارد نسبت داده‌اند (Kloepper *et al.*, 1989).

محتوای نسبی آب برگ پرچم: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی، مقادیر نیتروژن و اثر متقابل این دو عامل بر محتوای نسبی آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر و حداقل محتوای نسبی آب برگ پرچم (به ترتیب ۷۵/۱۶ و ۴۶/۱ درصد) در ترکیب تیماری کاربرد توأم از توپاکتر و قارچ‌های میکوریزا موسه‌آ و ایتررا همراه با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار و در سطح شاهد مشاهده شد. به

بیان دیگر، کاربرد توأم قارچ‌های میکوریزا موسه‌آ و ایتررا به همراه ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، موجب افزایش ۶۳/۰۳ درصدی محتوای نسبی آب نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن (شاهد) شد (جدول ۱۲). به نظر می‌رسد که میکوریزا از طریق کمک به افزایش وزن ریشه (جدول ۱۲) و تغییر در مورفولوژی و حجم توسعه ریشه گیاه میزبان می‌شود و افزایش هیف‌ها احتمالاً با افزایش سطح جذب، موجب می‌شود آب بیشتری در اختیار گیاه قرار گرفته و موجب بهبود روابط آبی گیاه می‌شود (محسنی محمدجانلو و همکاران، ۱۴۰۱). Guo و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که ریشه‌های تلقیح‌شده با قارچ مایکوریزا می‌توانند در حجم وسیعی از خاک پراکنده شوند و این قارچ‌ها با کمک هیف‌های خود ضمن بهبود جذب آب و مواد غذایی از خاک، به افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۱۲) کمک کنند. از طرفی افزایش کاربرد نیتروژن از طریق افزایش سنتز پروتئین و ضخامت دیواره سلولی موجب جذب بیشتر آب توسط پروتوپلاسم، بهبود محتوای نسبی آب برگ می‌شود (Namvar and Khandan, 2015). به‌طوری‌که Namvar و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که گیاهان نخودی که کود نیتروژن بیشتری دریافت کردند به دلیل توانایی بالاتر در حفظ پتانسیل فشاری برگ، از محتوای نسبی آب برگ بیشتری نیز برخوردار بودند. Shaharona و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که تلقیح با باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش ۱۶-۵ درصدی محتوای نسبی آب نسبت شاهد (عدم تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد) در ذرت شد.

هدایت الکتریکی: کاربرد کودهای زیستی (قارچ‌های میکوریزا و باکتری محرک رشد)، کود نیتروژن و برهمکنش کود زیستی × کود نیتروژن بر هدایت الکتریکی برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۱). بیشترین میزان هدایت الکتریکی برگ (۸۷/۹۶ میکروزیمنس بر متر) در سطح شاهد (عدم کاربرد کود زیستی و نیتروژن) و کمترین آن (۶۳/۷۶ میکروزیمنس بر متر) در ترکیب تیماری کاربرد توأم از توپاکتر و قارچ‌های میکوریزا موسه‌آ و ایتررا به همراه ۲۰۰

جدول ۱۱- تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و نیتروژن بر هدایت الکتریکی، محتوای نسبی آب، عملکرد دانه و وزن ریشه

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییر
وزن خشک ریشه	عملکرد دانه	محتوای نسبی آب	هدایت الکتریکی		
۷۹۳۸**	۲۶۷۷۳**	۶۶۹**	۵۶۹۹**	۲	تکرار
۴۱۸۰**	۸۵۳۳**	۳۳۹**	۳۵۹**	۲	نیتروژن (N)
۶۱۳**	۸۲۸۸**	۳۷۵**	۱۴۱**	۷	کودهای زیستی (B)
۴۱۰*	۹۲۸*	۴۴**	۵۷**	۱۴	N×B
۱۷۳	۴۶۶	۱۳	۱۵	۴۶	خطا
۸/۱	۵	۶	۵/۲		ضریب تغییرات (%)

* و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۱۲- مقایسه میانگین برهمکنش کودهای زیستی و نیتروژن بر هدایت الکتریکی، محتوای نسبی آب، عملکرد دانه و وزن ریشه

وزن ریشه	عملکرد دانه	محتوای نسبی آب برگ	هدایت الکتریکی برگ	ترکیبات تیماری	
				(میکروزیمنس بر متر)	(درصد)
۱۵۰/۶۷	۳۶۱/۴۷	۴۶/۱	۸۷/۹۶	N ₁ ×B ₁	
۱۶۳/۸۷	۴۳۸/۱۷	۴۹/۶۶	۷۴/۲۳	N ₁ ×B ₂	
۱۸۹/۱۳	۳۸۷/۹۷	۵۴/۴۳	۸۲/۴	N ₁ ×B ₃	
۱۶۷/۰۷	۴۴۵/۵	۶۱	۷۷/۷۸	N ₁ ×B ₄	
۱۵۶/۷	۳۷۲/۹	۶۳/۲۶	۸۵/۳	N ₁ ×B ₅	
۱۸۱/۶	۳۸۳/۹۳	۵۸/۱	۷۷/۵۶	N ₁ ×B ₆	
۱۶۳/۲۷	۳۹۸/۲۳	۶۰/۱	۸۰/۱	N ₁ ×B ₇	
۱۷۶/۴۳	۴۶۵/۳۷	۶۶/۳	۷۴/۶۶	N ₁ ×B ₈	
۱۹۲/۵۷	۳۷۸/۲۷	۵۰/۹۶	۸۳/۳۳	N ₂ ×B ₁	
۱۸۲/۸۳	۳۹۳	۶۳/۳	۷۱/۲۶	N ₂ ×B ₂	
۱۷۲/۵۷	۴۱۳/۶۳	۵۹/۲۶	۷۶/۸	N ₂ ×B ₃	
۱۹۶/۷	۴۴۱/۶	۶۸/۹	۷۰/۶۷	N ₂ ×B ₄	
۱۷۹/۶۷	۴۰۲/۷۳	۵۳/۳	۸۰/۸۶	N ₂ ×B ₅	
۱۷۵/۱۷	۴۳۵/۹	۶۳/۸۶	۷۳/۶	N ₂ ×B ₆	
۱۹۱/۴۳	۴۳۲/۵۳	۶۵/۷	۷۲/۱۳	N ₂ ×B ₇	
۲۰۲/۱۷	۴۶۶/۵۳	۷۲/۸۶	۷۰/۰۳	N ₂ ×B ₈	

N₁, N₂ و N₃ به ترتیب عدم کاربرد نیتروژن و کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار.

B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, B₆, B₇ و B₈ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد میکوریزا موسه‌آ، میکوریزا اینترا، کاربرد موسه‌آ و اینترا، کاربرد ازتوباکتر، کاربرد ازتوباکتر و میکوریزا موسه‌آ، کاربرد ازتوباکتر و اینترا، کاربرد توأم ازتوباکتر و قارچ‌های موسه‌آ و اینترا. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون LSD با هم ندارند.

ادامه جدول ۱۲-

ترکیبات تیماری	هدایت الکتریکی برگ (میکروزیمنس بر متر)	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)	وزن ریشه
N ₃ ×B ₁	۷۷/۲۶	۵۵/۱۳	۴۰۸/۳	۱۸۶/۷۳
N ₃ ×B ₂	۷۹/۷۶	۶۲/۷۳	۴۴۵/۶۷	۱۷۳/۷۳
N ₃ ×B ₃	۶۸/۵۶	۶۱/۰۳	۴۴۵/۳۷	۱۹۹
N ₃ ×B ₄	۷۴/۵	۷۲/۱۳	۴۸۶/۵	۲۰۵/۸
N ₃ ×B ₅	۷۰/۰۶	۶۱/۸۳	۴۲۱/۹	۱۹۴/۴۷
N ₃ ×B ₆	۷۸/۹	۵۸/۶۳	۴۰۳/۱۷	۱۷۷/۷
N ₃ ×B ₇	۶۶/۵۶	۷۱/۴۶	۴۴۶/۹۷	۲۰۲/۳۳
N ₃ ×B ₈	۶۳/۷۶	۷۵/۱۶	۴۹۴/۰۷	۲۱۴/۶
LSD	۶/۵۱۳	۶/۰۹۴	۳۵/۴۹۳	۲۱/۶۱۹

N₁, N₂ و N₃ به ترتیب عدم کاربرد نیتروژن و کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار.

B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, B₆, B₇ و B₈ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد میکوریزا موسه‌آ، میکوریزا اینترا، کاربرد موسه‌آ و اینترا، کاربرد ازتوباکتر، کاربرد ازتوباکتر و میکوریزا موسه‌آ، کاربرد ازتوباکتر و اینترا، کاربرد توأم ازتوباکتر و قارچ‌های موسه‌آ و اینترا. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون LSD با هم ندارند.

اثرات توأم کودهای زیستی و نیتروژن در سه مرحله (۵۵، ۵۹ و ۷۵ روز پس از کشت) در سطح احتمال پنج درصد و در سه مرحله دیگر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۳). بر اساس مقایسه میانگین‌ها در ۷۹ روز بعد از کاشت، بیشترین مقدار فلورسانس حداکثر (۵۰۳/۶) به کاربرد توأم ازتوباکتر، قارچ‌های میکوریزا موسه‌آ و اینترا همراه با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار تعلق داشت که از افزایش ۵۴/۸۱ درصدی فلورسانس حداکثر نسبت به سطح شاهد (عدم کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن) برخوردار بود (جدول ۱۴). در این بررسی به نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی به دلیل استفاده بهتر از رطوبت خاک و افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۱۲)، شاخص کلروفیل (جدول ۴) و کاهش هدایت الکتریکی برگ پرچم (جدول ۱۲)، موجب کاهش فلورسانس حداقل (جدول ۸) و افزایش فلورسانس متغیر (جدول ۶)، فلورسانس حداکثر (جدول ۱۴) و عملکرد کوانتومی برگ پرچم (جدول ۱۰) و بهبود فعالیت فتوسنتزی گندم شده است. نتایج مشابهی

کیلوگرم اوره در هکتار به دست آمد که از کاهش ۳۷/۹۵ درصدی نسبت به تیمار شاهد برخوردار بود (جدول ۱۲). Evelin و همکاران (۲۰۱۲) کاهش میزان نشت الکترولیت در برگ شبلیله میکوریزایی را به تغییرات القاشده در اثر تغذیه فسفوری این گیاهان نسبت دادند که آثار آن در سطح فسفو لیپیدهای غشا و تغییر در خواص نفوذپذیری غشا نمایان می‌شود. Naghashzadeh (۲۰۱۴) بیان داشت کاربرد قارچ مایکوریزا با افزایش جذب مواد غذایی، توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود وضعیت آبی، موجب ثبات غشای سلولی در گیاه ذرت می‌شود. نتایج مشابهی نیز مبنی بر کاهش هدایت الکتریکی به واسطه تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در مقایسه با عدم تلقیح، توسط دیگر محققان گزارش شده است (Sandhya et al., 2010؛ آقایی و همکاران، ۱۴۰۱).

فلورسانس حداکثر: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد کودهای زیستی و کود نیتروژن بر فلورسانس حداکثر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین

جدول ۱۳- تجزیه واریانس تأثیر کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن بر روند تغییرات فلورسانس حداکثر برگ پرچم گندم

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
فلورسانس حداکثر برگ پرچم (روز پس از کاشت)								
۷۹	۷۵	۷۱	۶۷	۶۳	۵۹	۵۵		
۲۷۵۳۵**	۶۹۴۰۷**	۱۴۹۰۵**	۵۴۱ ^{ns}	۱۱۹۵۸۵**	۱۱۶۷۵۲**	۸۰۳۰۶**	۲	تکرار
۱۵۹۷۴**	۱۶۵۲۸**	۱۶۴۷۵**	۲۱۴۴۳**	۲۴۹۶۸**	۸۱۲۵۵**	۴۹۷۹۲**	۲	نیتروژن (N)
۱۳۸۲۲**	۶۷۲۹**	۱۳۷۷۳**	۱۵۶۴۳**	۲۰۰۲۹**	۱۴۲۴۱**	۲۱۰۳۳**	۷	کودهای زیستی (B)
۴۱۰۰**	۵۱۳۷*	۲۳۶۰**	۳۷۷۱**	۴۵۶۲**	۳۲۵۷*	۳۱۲۱*	۱۴	N×B
۱۴۱۷	۲۱۲۳	۸۲۱	۶۵۸	۱۳۰۳	۱۳۶۸	۱۵۱۲	۴۶	خطا
۹/۲۹	۱۰/۵۶	۵/۸۵	۶/۰۲	۶/۶۴	۶/۳۳	۵/۹۴		ضریب تغییرات (%)

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

شد (جدول ۱۴). پژوهشگران اظهار داشتند که ترشح مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه و تولید هورمون‌های محرک رشد توسط قارچ‌ها و باکتری‌های محرک رشد با تحریک توسعه و گسترش ریشه و همچنین تیمارهای قارچی نسبت به تیمارهای باکتریایی، با فراهم آوردن تناسب صحیح بین نیتروژن و سایر عناصر کم‌تحرک، مانند فسفر و عناصر کم‌مصرف موجب افزایش وزن خشک ریشه شد (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۴). Banerjee و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد با تولید مواد تنظیم‌کننده رشد مانند ایندول استیک اسید و تأثیر آن بر رشد ریشه از طریق افزایش وزن و انشعابات ریشه، کاهش ضخامت ریشه و افزایش تارهای موین سطح ریشه، موجب افزایش وزن ریشه شد. کاربرد کودهای زیستی با تولید مواد تنظیم‌کننده رشد و تأثیر آن بر رشد ریشه از طریق افزایش وزن و انشعابات ریشه، موجب افزایش حجم ریشه می‌شود (سیدشریفی و نامور، ۱۳۹۵). در بررسی علت افزایش وزن ریشه گندم در مایه‌زنی بذر با ازتوباکتر اظهار شد که ایندول استیک اسید در کنار سایتوکینین که توسط ازتوباکتر تولید می‌شود از طریق رشد ریشه‌های جانبی، موجب افزایش وزن ریشه می‌شود (Narula et al., 2001). محققان اظهار داشتند که تأثیر مواد تنظیم‌کننده رشد تولیدشده به وسیله (Plant Growth Promoting) PGPR (Rhizobacteria) بر رشد ریشه از طریق پارامترهایی

نیز مبنی بر بهبود فلورسانس حداکثر با کاربرد کودهای زیستی (میکوریزا و باکتری محرک رشد) توسط دیگر محققان گزارش شده است (Kheirizadeh Arough et al., 2016). برخی محققین اظهار داشتند که پس از قرارگرفتن برگ در مقابل نور تابانده شده توسط دستگاه، مراکز احیای فتوسنتز II به تدریج بسته می‌شوند. برای همین، در اولین ثانیه تابش نور به برگ، عملکرد فلورسانس کلروفیل بالا رفته، فلورسانس از مقدار کمینه (F_0) به مقدار بیشینه خود (F_m) ارتقا می‌یابد. این افزایش نشان‌دهنده افزایش تدریجی عملکرد فلورسانس و کاهش سرعت واکنش‌های فتوشیمیایی است (Baker and Rosenqvist, 2004).

وزن ریشه: کاربرد کودهای زیستی (قارچ‌های میکوریزا و باکتری محرک رشد) و کود نیتروژنه بر وزن ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۱۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه (۲۱۴/۶ گرم در مترمربع) در کاربرد توأم ازتوباکتر، قارچ‌های میکوریزا موسه‌آ و ایترا و کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و کمترین آن (۱۵۰/۶۷ گرم در مترمربع) در عدم کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن حاصل شد (جدول ۱۴). به بیانی دیگر کاربرد توأم قارچ‌های میکوریزا، موسه‌آ و ایترا همراه با کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن موجب افزایش ۴۰/۴۵ درصد وزن ریشه نسبت به تیمار عدم کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن

جدول ۱۴- مقایسه میانگین برهمکنش کودهای زیستی و نیتروژن بر روند تغییرات فلورسانس حداکثر برگ پرچم گندم

فلورسانس حداکثر برگ پرچم (روز پس از کاشت)							ترکیبات
۷۹	۷۵	۷۱	۶۷	۶۳	۵۹	۵۵	تیماری
۳۶۳/۶	۳۶۲/۳	۴۰۷/۳	۴۱۲	۴۴۹/۳	۴۵۹/۳	۵۴۹/۳	N ₁ ×B ₁
۴۱۳/۶	۳۸۲	۴۹۲/۶	۴۳۷/۶	۵۳۵	۵۰۳/۳	۶۵۰	N ₁ ×B ₂
۴۱۰/۳	۴۶۷	۵۱۵/۶	۵۲۷/۶	۵۷۹/۳	۴۹۴	۶۱۰/۳	N ₁ ×B ₃
۳۸۳/۳	۳۹۰/۶	۴۸۱/۳	۵۱۲/۶	۵۳۲/۶	۵۲۱	۶۴۶/۳	N ₁ ×B ₄
۳۲۵/۳	۴۳۳	۳۹۸	۵۱۷/۳	۴۳۲/۶	۶۰۷/۶	۵۴۵/۶	N ₁ ×B ₅
۳۳۹	۳۹۱	۴۳۷/۶	۴۴۴/۳	۴۶۵/۳	۵۱۵/۳	۵۷۹	N ₁ ×B ₆
۳۷۲/۳	۴۴۸/۳	۴۵۶	۴۸۲/۶	۴۹۳/۶	۵۰۰/۶	۵۹۳	N ₁ ×B ₇
۴۲۰/۳	۴۱۳	۵۰۰/۳	۵۲۷	۵۷۸	۵۶۹/۳	۶۵۵/۳	N ₁ ×B ₈
۳۳۵/۳	۳۷۲	۴۲۶	۴۳۱/۶	۴۵۹	۵۲۵/۳	۵۷۸/۶	N ₂ ×B ₁
۳۵۷/۳	۴۲۵/۶	۴۹۰/۳	۵۱۳	۵۴۵/۶	۵۸۱	۶۲۳	N ₂ ×B ₂
۳۸۴	۴۰۲/۳	۴۹۳	۵۰۶/۳	۵۴۱/۳	۵۴۴/۶	۶۳۹/۳	N ₂ ×B ₃
۴۴۲/۶	۴۶۶/۶	۵۳۷/۶	۵۳۴/۳	۵۸۳/۶	۶۴۴/۶	۷۲۷	N ₂ ×B ₄
۳۵۷	۴۲۴/۶	۴۳۳/۶	۴۵۰	۴۷۱/۳	۵۷۸/۳	۶۱۷/۳	N ₂ ×B ₅
۴۴۸/۶	۴۴۸/۶	۴۹۹/۶	۵۳۲	۵۷۴	۵۹۲/۳	۶۸۵/۶	N ₂ ×B ₆
۴۵۳	۴۵۰/۶	۵۲۴/۶	۵۶۸	۵۶۵/۶	۶۱۹	۶۹۸/۳	N ₂ ×B ₇
۴۷۳	۴۸۷/۶	۵۴۴/۶	۶۰۱/۳	۶۵۲	۶۶۵/۳	۷۳۳ ^a	N ₂ ×B ₈
۳۷۳/۳	۴۳۸/۶	۴۶۷	۴۹۱/۳	۵۲۰/۶	۵۸۸/۶	۶۱۹/۳	N ₃ ×B ₁
۴۰۶/۳	۴۹۸/۶	۵۰۵/۶	۵۵۰/۳	۶۵۶/۳	۶۵۶/۶	۶۸۹/۳	N ₃ ×B ₂
۳۶۴	۳۹۸/۳	۴۶۱/۶	۴۸۱/۶	۵۰۵/۳	۶۰۰/۶	۶۱۹	N ₃ ×B ₃
۴۹۱/۳	۵۱۸/۶	۵۷۸/۳	۵۹۴/۳	۶۲۸/۶	۶۷۶/۶	۷۵۵	N ₃ ×B ₄
۴۰۲	۴۵۴/۳	۴۸۶/۶	۵۱۹	۵۶۹/۶	۶۴۴	۶۷۶/۳	N ₃ ×B ₅
۴۰۶/۶	۴۳۵	۴۷۸	۵۰۶/۶	۵۲۹	۶۶۶/۳	۶۸۲/۶	N ₃ ×B ₆
۴۹۳	۴۰۹	۵۵۹	۵۸۱/۳	۶۲۱	۵۵۵/۶	۷۵۰/۶	N ₃ ×B ₇
۵۰۳/۶	۵۵۴	۵۶۷/۳	۶۱۳	۶۳۵/۶	۷۰۲/۶	۷۴۱/۳	N ₃ ×B ₈
۶۱/۸۷	۷۵/۷۴	۴۷/۰۹	۵۰/۸۸	۵۹/۳۴	۶۰/۷۹	۶۳/۹۱	LSD

N₁، N₂ و N₃ به ترتیب عدم کاربرد نیتروژن و کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار.

B₁، B₂، B₃، B₄، B₅، B₆، B₇ و B₈ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد میکوریزا موسه‌آ، میکوریزا اینترا، کاربرد موسه‌آ و اینترا، کاربرد ازتوباکتر، کاربرد ازتوباکتر و میکوریزا موسه‌آ، کاربرد ازتوباکتر و اینترا، کاربرد توأم ازتوباکتر و فارچ‌های موسه‌آ و اینترا. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون LSD با هم ندارند.

عمومی‌تر است (Banerjee et al., 2006; Vessey and Buss, 2002). Ryder و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که کودهای زیستی از طریق سنتز هورمون‌های محرک رشد و افزایش

بروز می‌کند که مهم‌ترین آن‌ها افزایش وزن و انشعابات ریشه، کاهش ضخامت ریشه و افزایش تارهای موئین سطح ریشه هستند که از میان آن‌ها افزایش وزن ریشه بر اثر کاربرد PGPR

جدول ۱۵- تجزیه واریانس تأثیر کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن بر کارایی مصرف کود گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات کارایی مصرف کود
تکرار	۲	۷/۶۴۵**
نیتروژن (N)	۱	۱۳۶/۳۹۴**
کودهای زیستی (B)	۷	۰/۴۳۵ ^{ns}
N×B	۷	۰/۰۷۸ ^{ns}
خطا	۳۰	۰/۳۳۶
ضریب تغییرات (%)	-	۴/۶

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۱۶- مقایسه میانگین تأثیر سطوح کود نیتروژن بر کارایی مصرف کود گندم

سطوح کود نیتروژن	کارایی مصرف کود (کیلوگرم بر کیلوگرم)
N ₂	۱۴/۲۷
N ₃	۱۰/۹
LSD	۰/۳۴۱

N₂ و N₃ به ترتیب کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار.

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

برخوردار بود (جدول ۱۶). به نظر می‌رسد در مصرف مقادیر بالاتر نیتروژن، به دلیل خارج شدن آن از دسترس گیاه در اثر آبشویی، تصعید و نیز از نظر تئوری با بزرگ شدن مخرج کسر، کارایی مصرف نیتروژن نیز کاهش می‌یابد (Gan et al., 2008). Khan و همکاران (۲۰۱۷) طی بررسی در گندم دریافتند که با افزایش کود نیتروژن، کارایی مصرف آن کاهش یافت. به طور کلی زمانی که گیاه به عناصر غذایی نیاز دارد، به افزایش آن‌ها در خاک واکنش مثبت نشان می‌دهد. با رفع تدریجی نیاز گیاه، واکنش آن به مقادیر بیشتر کودی کمتر می‌شود. از این رو با وجود مصرف مقادیر بالای کود، کارایی مصرف عناصر غذایی بعد از رفع نیاز گیاه کمتر می‌شود.

نتیجه‌گیری

کاربرد کودهای زیستی و کود نیتروژنه منجر به افزایش شاخص کلروفیل، اجزای فلورسانس کلروفیل (بجز فلورسانس

تقسیمات سلولی، ضمن افزایش ریشه‌زایی و کمک به گسترش ریشه، در نهایت موجب افزایش وزن ریشه می‌شوند. باکتری‌های محرک رشد به عنوان یک تحریک‌کننده رشد گیاهی، غیر از تثبیت نیتروژن مولکولی با تولید اکسین و افزایش تارهای کشنده ریشه ضمن کمک به جذب عناصر غذایی از خاک منجر به بهبود رشد گیاه می‌شوند. Pacovsky (۱۹۹۰) بیشترین وزن ریشه را از کاربرد ۱۸۰ کیلوگرم کود نیتروژن‌دار در تلقیح با ازتوباکتر و کمترین آن را در عدم کاربرد نیتروژن و عدم تلقیح بذر با باکتری گزارش کردند.

کارایی مصرف کود نیتروژن: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عامل نیتروژن بر کارایی مصرف آن کود توسط گندم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۱۵). براساس جدول مقایسه میانگین کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از بیش‌ترین کارایی مصرف کود (۱۴/۲۷) و از افزایش ۳۰/۹۱ درصدی نسبت به کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن

حدافل) و در نهایت عملکرد کوانتومی شد. همچنین به کارگیری مقادیر بالای کود نیتروژنه به همراه ازتوباکتر و میکوریزا موسه آ و اینترا موجب بهبود محتوای نسبی آب و کاهش هدایت الکتریکی شد. در کل به نظر می‌رسد اثربخشی کود نیتروژن برای صفات مختلف در مقادیر بالاتر کود در حضور کودهای زیستی مشهودتر است اما وقتی بدون حضور کود زیستی مصرف شود اثر بخشی آن پایین‌تر است و احتمالاً مابقی آن هدر می‌رود. با افزایش مقادیر کود مصرفی نیتروژن،

منابع

- آقایی، فاطمه، سیدشریفی، رئوف، و فرزانه، سلیم (۱۴۰۱). تغییرات القاء شده در شاخص‌های فیزیولوژیک و عملکرد تریتیکاله (*Triticosecale Wittmack*) تحت تنش کم آبی به‌وسیله برخی تعدیل‌کننده‌های تنش. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۵(۱)، ۸۷۰-۸۵۰. <https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2024.6128.2197>
- آقایی، فاطمه، سیدشریفی، رئوف، خماری، سعید، و نریمانی، حامد (۱۳۹۹). تأثیر متانول بر عملکرد دانه، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک گندم در شرایط قطع آبیاری. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۳(۴)، ۱۷۲-۱۵۱. DOI:10.22069/ejcp.2021.18631.2382
- آگاهی، روانبخش، سیدشریفی، رئوف، و نریمانی، حامد (۱۴۰۱). تأثیر میکوریزا و نانوآکسید آهن و روی بر گره‌زایی و عملکرد کمی و کیفی عدس دیم. *نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۶۵(۳)، ۱۱۰-۹۳. Doi: 10.30495/iper.2022.690263.93-110
- جعفری‌وفا، همایون، حیدری، غلامرضا، و خالص‌رو، شیوا (۱۳۹۸). اثر آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم دیم. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۲۹(۲)، ۱۸۷-۱۷۳.
- زاد بهتویی، مهشید، سیدشریفی، رئوف، و خلیل‌زاده، راضیه (۱۳۹۷). کاربرد نیتروژن و کودهای زیستی بر عملکرد، کارایی مصرف نیتروژن و برخی صفات مورفوفیزیولوژیک برنج. *نشریه تحقیقات غلات*، ۸(۴)، ۴۲۱-۴۰۹. doi: 10.22124/c.2019.10772.1407
- سیدشریفی، رئوف، و خلیل‌زاده، راضیه (۱۳۹۶). تولید غلات. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی.
- سید شریفی، رئوف، و نامور، علی (۱۳۹۵). کودهای زیستی در زراعت. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی.
- صالح بغدادی، امیر، کاشانی، علی، گل زردی، فرید، و ایلکایی، محمد نبی (۱۳۹۶). مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک برای بهبود عملکرد علوفه ذرت. *نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی*، ۳۰(۲)، ۹۰-۷۵.
- کاویانی، بهزاد (۱۳۹۴). اثر تلقیح سویه‌های باکتری محرک رشد تحت سطوح مختلف کود نیتروژن بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک گندم رقم مروارید. *نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۱۰(۳۹)، ۷۸-۶۶.
- کمری، حسین (۱۳۹۳). تأثیر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشدی و نانوآکسید روی بر عملکرد، دوره پر شدن دانه و برخی صفات مورفوفیزیولوژیک تریتیکاله. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه محقق اردبیلی.
- محمودزاده، مهدی، رسولی صدقیانی، محمدحسن، و عسگری لجاير، حمایت (۱۳۹۴). تأثیر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر خصوصیات ریخت‌شناسی و غلظت عناصر پرمصرف گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در شرایط گلخانه. *علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*، ۶(۲۴)، ۱۶۷-۱۵۵.
- نظریان، رامین، صمیم، نوراحمد، صحابی، حسین، و فیضی، حسن (۱۴۰۱). تأثیر منابع تأمین نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.). *نشریه بوم‌شناسی کشاورزی*، ۱۴(۲)، ۳۷۷-۳۶۳.

محسنی محمدجانلو، علیرضا، سیدشریفی، رئوف، و خماری، سعید (۱۴۰۱). تأثیر کودهای زیستی و پوترسین بر عملکرد دانه و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی گندم در سطوح مختلف آبیاری. *مجله به‌زراعی کشاورزی*، ۲۴(۱)، ۸۳-۶۷. DOI: 10.22059/jci.2021.308522.2439

- Baker, N. R. & Rosenqvist, E. (2004). Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: An examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55 (403), 1607-1621. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh196>
- Banerjee, M. R., Yesmin, L., & Vessey, J. K. (2006). Plant-growth-promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides. In: Handbook of Microbial Biofertilizers (ed. Rai, M. K.) Pp. 137-181. Food Production Press, U.S.A.
- Biswas, P., Hosain, D., Ullah, M., Akter, N., & Bhuiya, M. A. A. (2003). Performance of groundnut under different levels of bradyrhizobial inoculum and nitrogen fertilizer. *SAARC Journal of Agriculture*, 1, 61-68.
- Cavagnaro, T. R., Jackson, L. E., Six, J., Ferris, H., Goyal, S., Asami, D., & Scow, K. M. (2005). Arbuscular mycorrhizas, microbial communities, nutrient availability, and soil aggregates in organic tomato production. *Plant and Soil*, 282, 209-225. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-5847-7>
- Coming, L. & Zang, U. (2000). Photosynthetic CO₂ assimilation chlorophyll fluorescence and photoinhibition as affected by nitrogen deficiency in maize plants. *Journal Plant Science*, 15, 135-143. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00207-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00207-1)
- Cooper, K. M. & Tinker, P. B. (2003). Translocation transfer of nutrients in vesicular-arbuscularmycorrhiza. Uptake translocation of phosphorus, zinc sulphur. *New Phytology*, 81, 43-52. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1978.tb01602.x>
- El-Kholy, M. A. & Gomaa, A. M. (2000). Biofertilizers and their impact on forage yield and N-content of millet under low level of mineral fertilizers. *Annals of Agriculture Science*, 38(2), 813-822.
- Evelin, H., Giri, B., & Kapoor, R. (2012). Contribution of *Glomus intraradices* inoculation to nutrient acquisition and mitigation of ionic imbalance in NaCl-stressed *Trigonella foenum-graecum*. *Mycorrhiza*, 22, 203-217. DOI: 10.1007/s00572-011-0392-0
- Francheboud, Y. & Leipner, J. (2003). The application of chlorophyll fluorescence to study light, temperature and drought stress. *Plant Physiology*, 100, 214-223.
- Gan, Y., Malhi, S., Brandt, S., Katapa-Mupondwa, F., & Stevenson, C. (2008). Nitrogen use efficiency and nitrogen uptake of Juncea canola under diverse environments. *Journal of Agronomy*, 100, 285-295. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0229>
- Goodroad, L. L. & Jellum, M. D. (1998). Effect of nitrogen fertilizer rate and soil pH on nitrogen use efficiency in corn. *Plant and Soil*, 106, 85-89.
- Guo, Y., Ni, Y., & Huang, J. (2010). Effects of rhizobium, arbuscular mycorrhiza and lime on nodulation, growth and nutrient uptake of lucerne in acid purplish soil in China. *Tropical Grasslands*, 44, 109-114.
- Hatfield, J. L. & Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10, 4-10. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>
- Hongju, Q. I., Jiangtao, W., & Zhaoyu, W. (2013). A comparative study of the senility of F_v/F_m to phosphorus limitation on four Marin Algae. *Journal Ocean University China*, 12(1), 77-84. DOI: 10.1007/s11802-011-1975-5
- Khan, A., Khan, A., Li, J., Ahmad, M. I., Sher, A., Rashid, A., & Ali, W. (2017). Evaluation of wheat varietal performance under different nitrogen sources. *American Journal of Plant Sciences*, 8, 561-573. 10.4236/ajps.2017.83039
- Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., & Barmaki, M. (2016). Effect of zinc and bio fertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in triticale under salinity condition. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 44(1), 116-124. DOI:10.15835/nbha44110224
- Klopper, J. W., Lifshitz, R., & Zablutowicz, R. M. (1989). Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends in Biotechnology*, 7, 39-44. [http://dx.doi.org/10.1016/0167-7799\(89\)90057-7](http://dx.doi.org/10.1016/0167-7799(89)90057-7)
- 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
- Kumar, J. & Abbo, S. (2001). Genetics of flowering time in chickpea and its bearing on productivity in semiarid environments. *Advance Agronomy*, 72, 107-138.
- Mader, P., Kaiser, F., Adholeya, A., Singh, R., Uppal, H. S., Sharma, A. K., Srivastava, R., Sahai, V., Aragno, M., Wiemken, A., Johri, B. N., & Fried, P. M. (2011). Inoculation of root microorganisms for sustainable wheat-rice and wheat-black gram rotations in India. *Soil Biology and Biochemistry*, 43, 609-619.
- Maxwell, K. & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence ea practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51, 659-668. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.345.659>
- Naghashzadeh, M. R. (2014). Response of relative water content and cell membrane stability to mycorrhizal

- biofertilizer in Maize. *Electronic Journal of Biology*, 10(3), 68-72.
- Namvar, A. & Khandan, T. (2015). Inoculation of rapeseed under different rates of inorganic nitrogen and sulfur fertilizer: Impact on water relations, cell membrane stability, chlorophyll content and yield. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61, 1137-1149. <https://doi.org/10.1080/03650340.2014.982550>
- Namvar, A., Seyed Sharifi, R., Khandan, T., & Jafari Moghadam, M. (2013). Organic and inorganic nitrogen fertilization effects on some physiological and agronomical traits of chickpea in irrigated condition. *Journal of Central European Agriculture*, 14, 28-40. DOI: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/14.3.1281>
- Narula, N., Kumar, V., Behl, R. K., Deubel, A., Gransee, A., & Merbach, W. (2001). Effect of P-solubilizing *Azotobacter chroococcum* on N, P and K uptake in P- responsive wheat genotypes grown under greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 163, 393-398.
- Pacovsky, R. S. (1990). Development and growth effects in sorghum-Azospirillum association. *Journal of Applied Bacteriology*, 68, 555-563. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1990.tb05220.x>
- Paknejad, F., Majidi Heravan, E., Noor Mohammadi, Q., Siyadat, A., & Vazan, S. (2007). Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 5(4), 162- 169. doi:10.3923/jbs.2007.841.847
- Ryder, M. H., Nong, Y. Z., Terrace, T. E., Rovira, A. D., Hua, T. W., & Correll, R. L. (1999). Use of strains of *Bacillus* isolated in China to suppress take-all and *Rhizoctonia* root rot, and promotes seedling growth of glasshouse-grown wheat in Australian soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 19-29. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(98\)00095-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00095-9)
- Sandhya, V., Ali, S. K. Z., Grover, M., Reddy, G., & Venkateswaralu, B. (2010). Effect of plant growth promoting *Pseudomonas* spp. on compatible solutes antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. *Plant Growth Regulation*, 62(1), 21-30. DOI:10.1007/s10725-010-9479-4
- Sannazzaro, A. I., Ruiz, O. A., Alberto, E. O., & Menendez, A. B. (2006). Alleviation of salt stress in lotus glaber by *Glomus intradices*. *Plant and Soil*, 285, 279-287. DOI:10.1007/s11104-006-9015-5
- Sayar, R., Khemira, H., Kameli, A., & Mosbahi, M. (2008). Physiological tests as predictive appreciation for drought tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Agronomy Research*, 6(1), 79-90.
- Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R., & Vatandoost, M. (2017). Study of nitrogen fertilizer and cycocel on Fv/Fm and dry matter mobilization to grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cercetari Agronomice in Moldova*, 1(169), 5-17. DOI: 10.1515/cerce-2017-0001
- Shaharoona, B., Arshad, M., & Zahir, Z. A. (2006). Effect of plant growth promoting rhizobacteria containing ACC-deaminase on maize (*Zea mays* L.) growth under axenic conditions and on nodulation in mung bean (*Vigna radiata* L.). *Letters in Applied Microbiology*, 42(2), 155-159. DOI: 10.1111/j.1472-765X.2005.01827.x
- Sharaan, A. N. & El-Samie, F. S. (1999). Response of wheat varieties to some environmental influences.1. Effect of seeding rates and N fertilization levels on growth and yield of two wheat varieties (*Triticum aestivum* L.). *American Agriculture Science*, 44, 589-601. DOI:10.22124/CJES.2022.5764
- Tang, M., Chen, H., Huang, J. C., & Tian, Z. Q. (2009). Arbuscular mycorrhiza fungi effects on the growth and physiology of (*Zea mays* L.) seedlings under diesel stress. *Soil Biology Biochemistry*, 41, 936-940. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.11.007>
- Vessey, J. K. & Buss, T. J. (2002). *Bacillus cereus* UW85 inoculation effects on growth, nodulation, and N accumulation in grain legumes. Controlled-environment studies. *The Canadian Journal of Plant Science*, 82, 282-290. DOI:10.4141/P01-047
- Vessey, K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255, 571-586.
- Wu, S. C., Cao, H., & Cheung, K. C. (2008). Effect of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a green house trial. *Geoderma*, 125, 155-166. DOI:10.1016/j.geoderma.2004.07.003

Effects of nitrogen and biofertilizers on the trend of changes in chlorophyll fluorescence components, yield and some traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) var. Chamran

Mojtaba Yazdani¹, Golamabbas Akbari¹, Raouf Seyed Sharifi^{2*}

¹ Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, College of Aburaihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran

² Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

(Received: 2024/01/08, Accepted: 2024/06/02)

Abstract

In order to study the effects of nitrogen and biofertilizers on the trend of changes in chlorophyll fluorescence components, grain yield and some traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) var. Chamran, 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 Ardabil, in 2021–2022. The experimental factors included the application of biofertilizer at eight levels (control, *Azotobacter*, *Glomus moseae*, *Glomus intradices*, *Glomus moseae* with *Azotobacter*, *Glomus intradices* with *Azotobacter*, *Glomus moseae* and *Glomus intradices*, *Glomus moseae* and *Glomus intradices* with *Azotobacter*) and nitrogen rates at three levels (no application of nitrogen as a control, application of 100 and 200 kg urea/ha). The results showed that *Azotobacter* sp. and Mycorrhiza (*Glomus moseae* and *Glomus intradices*) and 200 kg urea/ha had the lowest electrical conductivity and minimum fluorescence. Biofertilizer application (*Azotobacter*, *Glomus moseae* and *intradices*) increased the chlorophyll index (56.31%), relative water content (63.03%), variable fluorescence (101.86%), maximum fluorescence (38.5%), quantum yield (45.77%) and grain yield (36.68%) in comparison with no application of nitrogen and biofertilizers. The maximum nitrogen use efficiency was observed in the application of 100 kg nitrogen/ha. Based on the results of this study, it seems that the application of biofertilizers (*Azotobacter* and *Mycorrhiza*) and 200 kg urea/ha by improving chlorophyll fluorescence components and some physiological traits such as electrical conductivity and relative water content increased the grain yield of wheat by about 36.6% in comparison with control (no application of nitrogen and biofertilizers).

Keywords: Plant growth promoting rhizobacteria, Relative water content, Seed inoculation, Urea

Corresponding author, Email: j.khara@urmia.ac.ir