University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 14, No. 1, Spring 2024 (83-98)
doi: 10.22124/CR.2024.27177.1816
pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115

RESEARCH PAPER OPEN ACCESS

The effects of nitrogen and biofertilizers (mycorrhiza and azotobacter) on chlorophyll content, yield and grain filling components of wheat

Mojtaba Yazdani[1], Gholam Abbas Akbari[2] and Raouf Seyed Sharifi[3*]

1. M.Sc. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, College of Aburaihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, College of Aburaihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran
3. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran (* Corresponding author: raouf_ssharifi@yahoo.com)

Comprehensive abstract

Introduction

Nitrogen (N) is an essential element in crop plants and it's application is one of the important factors for improving growth, chlorophyll content, rate and grain filling period as well as grain yield of wheat. Although nitrogen is the major macronutrient determining grain filling components of wheat, but the release of large rates of nitrogen fertilizer into the environment can cause a serious environmental problem such as groundwater pollution. In such a situation, several strategies have been proposed to decrease the effects of pollution caused by large rates of nitrogen fertilizer. In this regard, application of biofertilizers such as *Azotobacter* and mycorrhiza can decrease the need for chemical fertilizers and adverse environmental effects, and increase crop yield. The aim of this study was to evaluate the effects of nitrogen and biofertilizers (mycorrhiza and Azotobacter) on chlorophyll content, yield and grain filling components of wheat.

Materials and methods

The factorial experiment was carried out in randomized complete block design with three replications at the research field of Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, in 2022-2023. The experimental factors were included the application of biofertilizers in eight levels (no application as control, and application of *Azotobacter*, mycorrhiza *Glomus moseae*, mycorrhiza *Glomus intraradices*, *Glomus moseae* and *Azotobacter*, *Glomus intraradices* and *Azotobacter*, *Glomus moseae* and *Glomus intraradices*, *Glomus moseae* and *Glomus intraradices* along with *Azotobacter*), and nitrogen fertilizer rates at three levels (no application as control, and application of 100 and 200 kg urea.ha^{-1}). The wheat cultivar 'Chamran' was used in this experiment with the optimal density of 400 seeds.m^{-2}. Mycorrhiza fungi (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*) were obtained from Turan Zist Fanavar Institute, Shahrood, Iran. The soils with mycorrhiza fungi were treated based on the manufacturer's protocol (20 g.m^{-2}). *Azotobacter* were isolated from the rhizosphere of wheat by Research Institute of Soil and Water, Tehran, Iran. The strain density of microorganism used as *Azotobacter* in this experiment were 1×10^8 bacteria per milliliter (10^8 cfu/ml^{-1}). To study the root volume, a number of plastic bags were put in each plot before planting. The roots were removed at maturity stage and after washing, root volume was measured by graduated cylinder. Two piecewise linear model was used to determine the grain filling parameters. To determinate grain filling components (such as grain filling period, grain filling rate, effective grain filling period), the first sampling was done 10 days after heading, and other samplings were done in 4-days intervals to determine the accumulation of grain weight. For determination of biological yield and grain yield, 0.2 m^2 was harvested in each plot.

Research findings

The results showed that application of *Azotobacter* and mycorrhiza (*Glomus moseae* and *Glomus intraradices*) with 200 kg urea.ha^{-1} increased chlorophyll-a (48.52%), chlorophyll-b (39.47%), total chlorophyll (45.67%), carotenoid (58.94%), maximum grain weight (41.84%), grain filling rate (7.97%), grain filling period (18.44%), effective grain filling period (31.33%) and root volume (37.43%) compared to no application of biofertilizers and nitrogen. Also, application of biofertilizers (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradices* with *azotobacter*) along with 200 kg urea.ha^{-1} increased plant height, spike length, 1000 grain weight and grain yield of wheat by 51.5%, 42.85%, 47.19% and 36.68%, respectively, compared to no application of nitrogen and biofertilizers.

Conclusion

According to the results of this study, it seems that the application of biofertilizers (*Azotobacter* and *Mycorrhiza*) and nitrogen fertilizer can increase grain yield of wheat by improving the grain filling components and some physiological traits.

Keywords: Biofertilizer, Plant growth promoting rhizobacteria, Root volum, Seed inoculation, Urea

Received: March 10, 2024 Accepted: June 6, 2024

Cite this article:

Yazdani, M., Akbari, Gh.A., & Seyed Sharifi, R. (2024). The effects of nitrogen and biofertilizers (mycorrhiza and azotobacter) on chlorophyll content, yield and grain filling components of wheat. *Cereal Research*, *14*(1), 83-98. doi: 10.22124/CR.2024.27177.1816.

تحقیقات غلات
دوره چهاردهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۳ (۹۸-۸۳)
doi: 10.22124/CR.2024.27177.1816
مقاله پژوهشی
دسترسی آزاد

تاثیر نیتروژن و کودهای زیستی (میکوریزا و ازتوباکتر) بر محتوای کلروفیل، عملکرد و مولفه‌های پرشدن دانه گندم (*Triticum aestivum* L.)

مجتبی یزدانی[۱]، غلامعباس اکبری[۲] و رئوف سیدشریفی[۳*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکده فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران
۲- دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکده فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران
۳- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (* نویسنده مسئول: raouf_ssharifi@yahoo.com)

چکیده جامع

مقدمه: نیتروژن یک عنصر ضروری در گیاهان زراعی است و کاربرد آن یکی از مهم‌ترین فاکتورها برای بهبود رشد، محتوای کلروفیل، سرعت و دوره پر شدن دانه و همچنین عملکرد دانه گندم است. اگرچه نیتروژن اصلی‌ترین درشت مغذی تعیین کننده اجزای پرشدن دانه گندم است، اما خروج مقادیر زیادی از کود نیتروژن به محیط، می‌تواند موجب ایجاد مشکلات جدی زیست‌محیطی مانند آلودگی آب‌های زیرزمینی شود. در چنین وضعیتی، راه‌کارهای متعددی به‌منظور کاهش اثرات آلودگی ناشی از مقادیر زیاد کود نیتروژن پیشنهاد شده است. در این راستا، کاربرد کودهای زیستی مانند ازتوباکتر و میکوریزا می‌توانند نیاز به کودهای شیمیایی و اثرات نامطلوب زیست‌محیطی را کاهش و عملکرد گیاه را افزایش دهند. از این‌رو، هدف از این مطالعه، بررسی اثرات نیتروژن و کودهای زیستی (میکوریزا و ازتوباکتر) بر محتوای کلروفیل، عملکرد و اجزای پرشدن دانه گندم بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل کاربرد کودهای زیستی در هشت سطح (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد، ازتوباکتر، میکوریزا *Glomus moseae*، میکوریزا *Glomus intradices*، میکوریزا *Glomus moseae* با ازتوباکتر، میکوریزا *Glomus intradices* با ازتوباکتر، میکوریزا *Glomus moseae* با *Glomus intradices*، کاربرد میکوریزا *Glomus moseae* و *Glomus intradices* به‌همراه ازتوباکتر) و مقادیر کود نیتروژن در سه سطح (عدم کاربرد نیتروژن به‌عنوان شاهد و کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) را بودند. در این آزمایش از گندم رقم چمران با تراکم بهینه ۴۰۰ بذر در متر مربع استفاده شد. قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae* و *Glomus intraradices*) از موسسه زیست‌فناوران توران در شاهرود تهیه شد. خاک آزمایش با قارچ میکوریزا بر اساس پروتکل سازنده (۲۰ گرم درمترمربع) تیمار شد. ازتوباکتر از ریزوسفر گندم توسط موسسه خاک و آب تهران جداسازی شد. تراکم سویه ریزجانداران مورد استفاده به‌عنوان ازتوباکتر در این آزمایش ۱×۱۰^{۸} باکتری در هر میلی‌لیتر (۱×۱۰^{۸} cfu.ml^{-1}) بود. به‌منظور بررسی حجم ریشه، تعدادی کیسه پلاستیکی در هرکرت قبل از کاشت قرار داده شدند. ریشه‌ها در مرحله رسیدگی برداشت و پس از شستشو، حجم ریشه توسط استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. برای تعیین مولفه‌های پرشدن دانه، از مدل خطی دو تکه‌ای استفاده شد. در این رابطه، برای تعیین اجزای پر شدن دانه (مانند دوره پرشدن دانه، سرعت پر شدن دانه و دوره

موثر پر شدن دانه)، اولین نمونه‌برداری ۱۰ روز پس از سنبله‌دهی و نمونه‌برداری‌های بعدی در فواصل زمانی هر چهار روز یک‌بار به‌منظور تعیین تجمع وزن دانه انجام شد. برای تعیین عملکرد زیستی و عملکرد دانه، مساحت ۰/۲ مترمربع از هر کرت برداشت شد.

یافته‌های تحقیق: نتایج نشان داد که کاربرد ازتوباکتر و میکوریزا (موسهآ و اینترا) با ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار، موجب افزایش محتوای کلروفیل a (۴۸/۵۲ درصد)، کلروفیل b (۳۹/۴۷ درصد)، کلروفیل کل (۴۵/۶۷ درصد)، کارتنوئید (۵۸/۹۴ درصد)، حداکثر وزن دانه (۴۱/۸۴ درصد)، سرعت پر شدن دانه (۷/۹۷ درصد)، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه (به‌ترتیب ۱۸/۴۴ و ۳۱/۳۳ درصد) و حجم ریشه (۳۷/۴۳ درصد) در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن شد. همچنین کاربرد ازتوباکتر و میکوریزا (موسهآ و اینترا) با ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار ارتفاع بوته، طول سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گندم را به‌ترتیب ۵۱/۵، ۴۲/۸۵، ۴۷/۱۹ و ۳۶/۶۸ درصد در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم مصرف نیتروژن افزایش داد.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج این آزمایش به‌نظر می‌رسد که کاربرد کودهای زیستی (ازتوباکتر و میکوریزا) و کود نیتروژن از طریق بهبود مولفه‌های پرشدن دانه و برخی صفات فیزیولوژیک، می‌تواند عملکرد دانه گندم را افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: اوره، باکتری محرک رشد، تلقیح بذر، حجم ریشه، کودهای زیستی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۷

نحوه استناد به این مقاله:

یزدانی، مجتبی، اکبری، غلامعباس، و سیدشریفی، رئوف. (۱۴۰۳). تاثیر نیتروژن و کودهای زیستی (میکوریز و ازتوباکتر) بر محتوای کلروفیل، عملکرد و مولفه‌های پرشدن دانه گندم (*Triticum aestivum* L.). *تحقیقات غلات*، ۱۴(۱)، ۹۸-۸۳.
doi: 10.22124/CR.2024.27177.1816

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یک محصول کشاورزی استراتژیک و از غلات بسیار مهمی است که در محدوده وسیعی از شرایط آب و هوایی رشد می‌کند و تولید جهانی آن از سایر گیاهان زراعی بیش‌تر است (Kumar, 2018). در مقیاس جهانی پس از خشکی، نیتروژن مهم‌ترین عامل محدود کننده تولید گیاهان زراعی به‌شمار می‌رود (Wilkinson *et al*., 2000). گندم به نیتروژن بیش از هر عنصر دیگری نیاز دارد و محدودیت آن، از مهم‌ترین عوامل اصلی کاهش عملکرد این گیاه محسوب می‌شود، طوری‌که افزایش عملکرد دانه گندم بر اثر مصرف کود نیتروژن طی بررسی‌های مختلفی گزارش شده است (Nazarian *et al*., 2002; Hatfield & Prueger, 2004). این در حالی است که مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی علاوه بر افزایش هزینه، معضلات زیست محیطی متعددی از جمله آلودگی منابع آبی، افت کیفیت محصولات و کاهش حاصل‌خیزی خاک را به‌همراه دارد (Sharma, 2002)، ولی کشاورزی پایدار بر پایه استفاده هرچه بیش‌تر از نهاده‌های درون مزرعه‌ای از جمله کودهای زیستی، راه‌کاری مناسب برای حل این مشکلات اساسی است (Sharma, 2002; Arancon *et al*., 2004; Kapoor *et al*., 2008).

کودهای زیستی، ریزموجودات باکتریایی و قارچی هستند که قادرند در برخی موارد به‌عنوان جایگزین و در بیش‌تر موارد به‌عنوان مکمل کودهای شیمیایی، پایداری تولید را در نظام‌های کشاورزی تضمین کنند (Vessey, 2003). این کودها به‌ویژه در خاک‌های معدنی فاقد هوموس و فقیر از نظر فسفر، نیتروژن و دیگر عناصر غذایی، نقش مهمی در تغذیه گیاهان ایفا می‌کنند. قارچ‌های مایکوریزایی یکی از فراگیرترین گروه ریزجانداران خاک هستند (Spatafora *et al*., 2016) که فراهمی عناصر غذایی (عمدتاً فسفر و نیتروژن) را برای گیاهان میزبان خود افزایش می‌دهند و در مقابل، هیدرات کربن مورد نیاز خود را از گیاه دریافت می‌کنند. این قارچ‌ها شستشوی عناصر غذایی از خاک را با بزرگ‌تر کردن منطقه جذب سطحی مواد غذایی، کاهش می‌دهند (Cavagnaro *et al*., 2015) و می‌توانند فسفر غیر قابل دسترس را به‌صورت قابل جذب در اختیار گیاه قرار دهند و در افزایش عملکرد، اثر قابل ملاحظه‌ای داشته باشند (Cooper & Tinker, 2003). وو و همکاران (Wu *et al*., 2008) علت افزایش سرعت رشد گیاه در اثر همزیستی با قارچ میکوریزا را به بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه نسبت دادند.

تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد نیز در افزایش عملکرد موثر است. در این راستا طاهری‌نژاد و همکاران (Taherinezhad *et al*., 2019) گزارش کردند که کاربرد توام ازتوباکتر و آزوسپریلیوم همراه با کود نیتروژن، موجب افزایش تعداد و وزن دانه در سنبله، تعداد سنبله در واحد سطح و عملکرد دانه گندم شد. بررسی‌های مالیک و همکاران (Malik *et al*., 2002) نشان داد که تلقیح بذر برنج با آزوسپیریلیوم، موجب افزایش ۱۸ تا ۳۲ درصدی عملکرد دانه در شرایط گلخانه و مزرعه شد. بحرانی و همکاران (Bohrani *et al*., 2010) در بررسی واکنش گندم به تلقیح بذر با ازتوباکتر و قارچ میکوریزا در شرایط کاربرد منابع مختلف کود نیتروژن، اظهار داشتند که تلقیح با ازتوباکتر و میکوریزا به‌صورت جداگانه و یا توأم، موجب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه و تعداد سنبله بارور در واحد سطح شد. زادبهتویی و همکاران (Zad Behtouei *et al*., 2019) افزایش ۶۸ درصدی عملکرد دانه برنج در کاربرد میکوریز و ازتوباکتر با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار را در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد نیتروژن و کودهای زیستی) گزارش کردند. جعفری و همکاران (Jafari *et al*.,2019) گزارش دادند که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی ضمن افزایش عملکرد گندم دیم، موجب کاهش قابل توجه مصرف کودهای شیمیایی می‌شود.

در بررسی تاثیر باکتری محرک رشد در سطوح مختلف کود نیتروژن بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گندم رقم مروارید گزارش شد که کاربرد ازتوباکتر به‌همراه ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار، بیش‌ترین عملکرد دانه را تولید کرد (Kaviani, 2015). کاربرد توأم *Azospirrillum* و *Azotobacter* به‌همراه ۷۵ درصد نیتروژن مورد نیاز گندم، به‌طور معنی‌داری موجب افزایش تعداد سنبله، وزن دانه و طول سنبله شد. همچنین گزارش شده است که *Azotobacter* موجب افزایش ۱۰ تا ۱۲ درصدی عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Jaga & Singh, 2010). آگاهی و همکاران (Aghahei *et al*., 2022) افزایش به‌ترتیب ۴۲/۱۴ و ۹۵/۱۷ درصدی تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته عدس دیم را در کاربرد توام قارچ *Glomus moseae* و *Glomus intradices* گزارش کردند. مدر و

همکاران (Mader *et al*., 2011) گزارش کردند که تلقیح توأم بذر گندم با میکوریز و سودوموناس، عملکرد را به میزان ۴۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. نتایج یک آزمایش گلدانی در مورد بررسی اثرات توام تلقیح ازتوباکتر و آزوسپیریلوم در سطوح مختلف کود نیتروژن (صفر تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) بر رشد و عملکرد گندم نیز نشان داد که عملکرد دانه در تیمار شاهد ۱۷/۷ گرم، تلقیح با آزوسپیریلوم ۱۸/۸ گرم، تلقیح با ازتوباکتر ۲۵/۷ گرم و تلقیح توام آن برابر با ۲۵/۸ گرم در هر گلدان در میانگین سطوح کود نیتروژن بود (Rai & Gaur, 1998). بیسواس و همکاران (Biswas *et al*., 2003)، الخولی و گوما (El-Kholy & Gomaa, 2000) نیز نشان دادند که کاربرد کودهای زیستی ضمن افزایش عملکرد، با کاهش ۵۰ درصدی در مصرف مقادیر توصیه شده کودهای شیمیایی در مورد ارزن و ذرت همراه بود. سیدشریفی و سیدشریفی (Seyed Sharifi & Seyed Sharifi, 2020) در بررسی تاثیر نیتروژن و کاربرد کودهای زیستی (ریزوبیوم و میکوریزا)، بیش‌ترین عملکرد و مولفه‌های پرشدن دانه را در کاربرد مقادیر بالایی از کود نیتروژن و تلقیح بذر با ریزوبیوم و میکوریزا گزارش کردند.

اهمیت گندم به‌عنوان یک منبع غذایی مهم در کشور، گسترش روز افزون جمعیت و نیاز به مواد غذایی بیش‌تر، موجب استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی به‌ویژه کود نیتروژن جهت افزایش تولید شده است. به‌دلیل اهمیت کودهای زیستی در راستای کشاورزی پایدار، این آزمایش با هدف بررسی تاثیر کاربرد کودهای زیستی (میکوریز و ازتوباکتر) به‌همراه کود نیتروژن بر محتوای کلروفیل، عملکرد و مولفه‌های پرشدن دانه گندم بهاره رقم چمران انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی واقع در ۱۰ کیلومتری شرق اردبیل در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. محل انجام آزمایش در شهرستان اردبیل با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا قرار دارد و دارای اقلیم نیمه‌خشک است. خاک مزرعه آزمایشی با pH حدود ۷/۷۶ و عمق ۴۰ سانتی‌متر، جزو خاک‌های لوم رسی است. سایر ویژگی‌های خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ و مشخصات جوی منطقه طی دوره رشد گندم در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک

Table 1. Soil physico-chemical characteristics

Parameter	pH	Fe	K	P	EC	N	Organic carbon	Sand	Silt	Clay	$CaCO_3$
Amount	7.76	5.1	495	12.2	1.54	0.08	0.86	31	30	39	5

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی طی دوره رشد گندم

Table 3. Meteorological characteristics during wheat growth period

Parameter	Aug	Jul	Jun	May	Apr
Rainfall (mm)	0.5	0.1	6.1	52.1	44
Average temperature (°C)	19.6	18.9	17.3	12.3	8.4
Total sunshine (hours)	267	346	287	160	176
Average relative humidity (%)	68	63	65	76	64

تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد کودهای زیستی در هشت سطح (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد، ازتوباکتر، کاربرد میکوریزا *Glomus moseae*، میکوریزا *G. intraradices*، میکوریزا *G. moseae* و ازتوباکتر، میکوریزا *G. intraradices* و ازتوباکتر، میکوریزا *G. moseae* و *G. intradices*، میکوریزا *G. moseae* و *G. intradices* به‌همراه ازتوباکتر) و کاربرد نیتروژن در سه سطح (صفر یا عدم کاربرد نیتروژن و کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) بود. بذر گندم بهاره رقم چمران از سازمان جهاد کشاورزی تهیه شد. این رقم دارای تیپ رشد بهاره با میانگین ارتفاع ۵۹ سانتی‌متر، مناسب کشت در مناطق گرم بوده و بهترین زمان کاشت آن نیمه دوم آبان‌ماه تا اواخر آذرماه است، ولی در مناطق سردسیر در بهار کشت می‌شود. تراکم بهینه آن ۴۰۰ بذر در متر مربع است. سویه

خالص ازتوباکتر کروکوکوم از موسسه تحقیقات خاک و آب تهران تهیه شد. هر گرم از مایه تلقیح حاوی 10^8 باکتری بود که به‌همراه محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. این مخلوط به‌مدت دو ساعت در محل خشک و تاریک قرار داده شد. گونه‌های میکوریز *G. moseae* و *G. intraradices* از شرکت زیست فناوران توران تهیه و به‌میزان ۲۰ گرم در مترمربع خاک به استناد توصیه شرکت مذکور استفاده شد. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به‌طول چهار متر بود و بذرها با فاصله ردیف۲۰ سانتی‌متر با تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع کشت شدند. به‌منظور برآورد دقیق حجم ریشه‌ها، قبل از کاشت در ردیف‌های اصلی هر کرت تعدادی کیسه پلاستیکی در عمق ۳۰-۴۰ سانتی‌متری خاک و هم‌سطح با دیگر قسمت‌ها قرار داده شد. تراکم کاشت در این کیسه‌ها مشابه تراکم دیگر قسمت‌های کاشته شده بود (Ahmadi Nouraldinvandi *et al*., 2021).

برای تعیین مولفه‌های پرشدن دانه حدود ۱۰ روز بعد از سنبله‌دهی در فواصل زمانی هر چهار روز یک‌بار، سه بوته تصادفی از بین بوته‌های رقابت کننده از خطوط اصلی هر واحد آزمایشی با رعایت اثر حاشیه‌ای برداشت و پس از انتقال به آزمایشگاه، دانه‌ها از سنبله جدا و تعداد دانه‌ها شمارش شد. دانه‌ها به‌مدت دو ساعت در آون الکتریکی تهویه‌دار در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند و وزن خشک تک‌دانه از نسبت وزن خشک کل به تعداد دانه برآورد شد (Ronanini *et al*., 2004). جهت برآورد مولفه‌های مربوط به پرشدن دانه از مدل رگرسیون خطی دو تکه‌ای بر اساس رویه reg و دستورالعمل DUD نرم‌افزار SAS به‌صورت زیر استفاده شد:

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < t_0 \\ a + bt & t > t_0 \end{cases} \quad (۱)$$

که در آن، GW وزن دانه، t زمان، b سرعت پرشدن دانه، t_0 پایان دوره پرشدن دانه و a عرض از مبدا است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند: مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پرشدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقدار خود در زمان t_0 (که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است)، به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. شیب خط رگرسیون در این مرحله ($t < t_0$) سرعت پرشدن دانه را نشان می‌دهد (Ellis & Filho-Pieta, 1992). با برازش این مدل برکلیه داده‌ها، ابتدا دو مولفه مهم پرشدن دانه یعنی سرعت پرشدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) به‌دست آمد و سپس با قرار دادن مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه، GW که وزن دانه است، محاسبه شد. برای تعیین دوره موثر پرشدن دانه نیز از رابطه (۲) استفاده شد (Ellis & Filho-Pieta, 1992):

$$EFP = MGW/b \quad (۲)$$

در این رابطه، EFP دوره موثر پرشدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و b سرعت پرشدن دانه است.

به‌منظور اندازه‌گیری صفاتی مانند طول سنبله و تعداد دانه در سنبله، حداقل۱۰ بوته به‌طور تصادفی از بین بوته‌های رقابت کننده با رعایت اثر حاشیه‌ای از هر واحد آزمایشی انتخاب و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش این صفات در آن واحد آزمایشی در نظرگرفته شد. عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده با برداشت از سطحی معادل ۰/۲ مترمربع از خطوط اصلی هر واحد آزمایشی با رعایت اثر حاشیه‌ای انجام شد. برای اندازه‌گیری حجم ریشه‌ها، ابتدا ریشه‌ها از کیسه‌هایی که به‌هنگام کاشت در هر واحد آزمایشی قرار داده شده بود، خارج شدند و سپس با استفاده از حجم مشخصی از آب در استوانه مدرج، حجم ریشه اندازه‌گیری شد، به این ترتیب که اختلاف حجم ایجاد شده قبل و پس از ورود ریشه‌ها در آب استوانه مدرج، به‌عنوان حجم ریشه منظور شد. تجزیه آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.4 و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

محتوای کلروفیل: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تاثیر کودهای زیستی (قارچ‌های میکوریزا و ازتوباکتر)، کود نیتروژن و اثرات این دو عامل بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل کل و کارتنویید در سطح احتمال یک درصد و بر محتوای کلروفیل b در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر محتوای کلروفیل‌های a، b و کل به‌ترتیب (۴/۳۸۶، ۱/۹۲۲ و ۶/۳۰۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در کاربرد توام ازتوباکتر و قارچ‌های میکوریز موسه‌آ و اینترا همراه با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن درهکتار به‌دست آمد. به بیانی دیگر، محتوای کلروفیل‌های a، b و کل در این ترکیب تیماری در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب به‌میزان

۴۸/۵۲، ۳۹/۴۷ و ۴۵/۶۷ درصد افزایش یافت. همچنین بیش‌ترین محتوای کاروتنوئید برگ پرچم گندم در کاربرد توام ازتوباکتر و قارچ‌های میکوریز موسه‌آ و اینترا همراه با کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (۰/۲۴۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تربرگ) و کاربرد ازتوباکتر و میکوریز اینترا همراه با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (۰/۲۳۸ میلی‌گرم برگرم وزن تربرگ) به‌دست آمد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند، ولی این ترکیبات تیماری در مقایسه با تیمار شاهد، کارتنوئید برگ پرچم گندم را نزدیک به ۵۹ درصد افزایش دادند (جدول ۴). از آنجایی‌که نیتروژن جزء اساسی ساختار کلروفیل است، در نتیجه با کاربرد نیتروژن، محتوای تمامی رنگدانه‌های فتوسنتزی افزایش یافت. ضمن آنکه وجود نیتروژن کم در خاک تحت کشت (جدول ۱) از دیگر دلایلی است که موجب شد گیاه به کاربرد کود نیتروژن واکنش مثبت نشان داده و محتوای کلروفیل را افزایش دهد. از طرف دیگر به‌نظر می‌رسد کودهای زیستی با افزایش حجم ریشه (جدول ۴) و میکوریزا با تسهیل روند جذب عناصری مانند نیتروژن و منیزیم (به‌عنوان اجزای اصلی ساختار کلروفیل) و از طریق ایجاد رابطه همزیستی با گیاه و جذب کارآمد برخی عناصر مانند فسفر که به‌عنوان عنصر کلیدی در انتقال انرژی طی فرآیند فتوسنتز مطرح است، موجب افزایش محتوای کلروفیل شده است. بخشی از افزایش محتوای کلروفیل می‌تواند ناشی از تاثیر ازتوباکتر در دسترسی بیش‌تر گیاه به نیتروژن (Chandrasekhar *et al*., 2005) و بخشی دیگر ناشی از نقش باکتری در کاهش ساخت اتیلن، و یا حتی تاثیر میکوریز در کاهش تجزیه کلروفیل و بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باشد (Seyed Sharifi & Namvar, 2016).

مولفه‌های پرشدن دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد کودهای زیستی (میکوریزا و ازتوباکتر) و کود اوره و برهم‌کنش این دو عامل بر حداکثر وزن دانه، سرعت پر شدن دانه، طول دوره و دوره موثر پرشدن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بررسی روند تغییرات پرشدن دانه نشان داد که وزن دانه ابتدا به‌طور خطی افزایش یافت و به حداکثر وزن خود رسید و بعد از آن تغییرات چندانی نداشت و ثابت ماند (شکل ۱). کاربرد توام ازتوباکتر با قارچ‌های موسه‌آ و اینترا همراه با کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم اوره، حداکثر وزن دانه، طول دوره و دوره موثر پرشدن دانه را به‌ترتیب به‌میزان ۴۱/۸، ۱۸/۴ و ۳۱/۳ درصد در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن) افزایش داد (جدول ۴). کاربرد میکوریزا و اینترا همراه با ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار موجب افزایش ۸/۵ درصدی سرعت پرشدن دانه نسبت به تیمار شاهد شد. به‌نظر می‌رسد بخشی از افزایش مولفه‌های پر شدن دانه (وزن دانه، طول دوره و دوره موثر پرشدن دانه) به‌واسطه کاربرد کودهای زیستی و کود شیمیایی اوره می‌تواند ناشی از اثر این عوامل بر محتوای کلروفیل باشد (جدول ۴). برخی محققان (Cho *et al*., 1987) نیز بیان کردند که مصرف نیتروژن طی دوره رشد، موجب بالا نگه داشتن میزان کلروفیل برگ‌های بالایی و تأخیر در پیری برگ‌ها می‌شود و این موضوع میزان مواد فتوسنتزی و سرعت فتوسنتز در اندام‌های فتوسنتز کننده (Murchie *et al*., 2002) و وزن دانه را افزایش می‌دهد (Yamaguchi *et al*., 1995).

جدول ۳- تجزیه واریانس تاثیر کودهای زیستی و نیتروژن بر محتوای کلروفیل و مولفه‌های پر شدن دانه گندم

Table 3. Analysis of variance of the effects of biofertilizers and nitrogen application on chlorophyll content and grain filling components of wheat

Source of variation	df	Mean square†							
		Chl-a	Chl-b	TChl	Car	MGW	GFR	GFP	EGFP
Replication	2	0.4108**	0.0587**	0.6292**	0.0039**	0.00018**	0.0000003*	4.092^{ns}	1.922^{ns}
Nitrogen (N)	2	1.1503**	0.1063**	1.9546**	0.012**	0.00014**	0.00000003^{ns}	18.459**	27.61**
Biofertilizer (B)	7	0.8413**	0.0852**	1.4599**	0.0067**	0.000096**	0.000000004**	15.41**	22.55**
N × B	14	0.1594**	0.014*	0.258**	0.0032**	0.000023**	0.000000003*	3.205*	4.822**
Error	46	0.0664	0.006	0.1104	0.0004	0.000008	0.000000001	1.515	1.663
CV (%)	-	6.9	4.6	6.1	13.0	5.8	2.1	3.2	4.4

^{ns}, * and ** Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

† Chl-a, chlorophyll-a; Chl-b, chlorophyll-b; TChl, total chlorophyll; Car, carotenoid; MGW, maximum grain weight; GFR, grain filling rate; GFP, grain filling period; EGFP, ffective grain filling period.

جدول ۴- مقایسه میانگین تاثیر کودهای زیستی و نیتروژن برمحتوای کلروفیل a، b و کل و مولفه‌های پرشدن دانه گندم

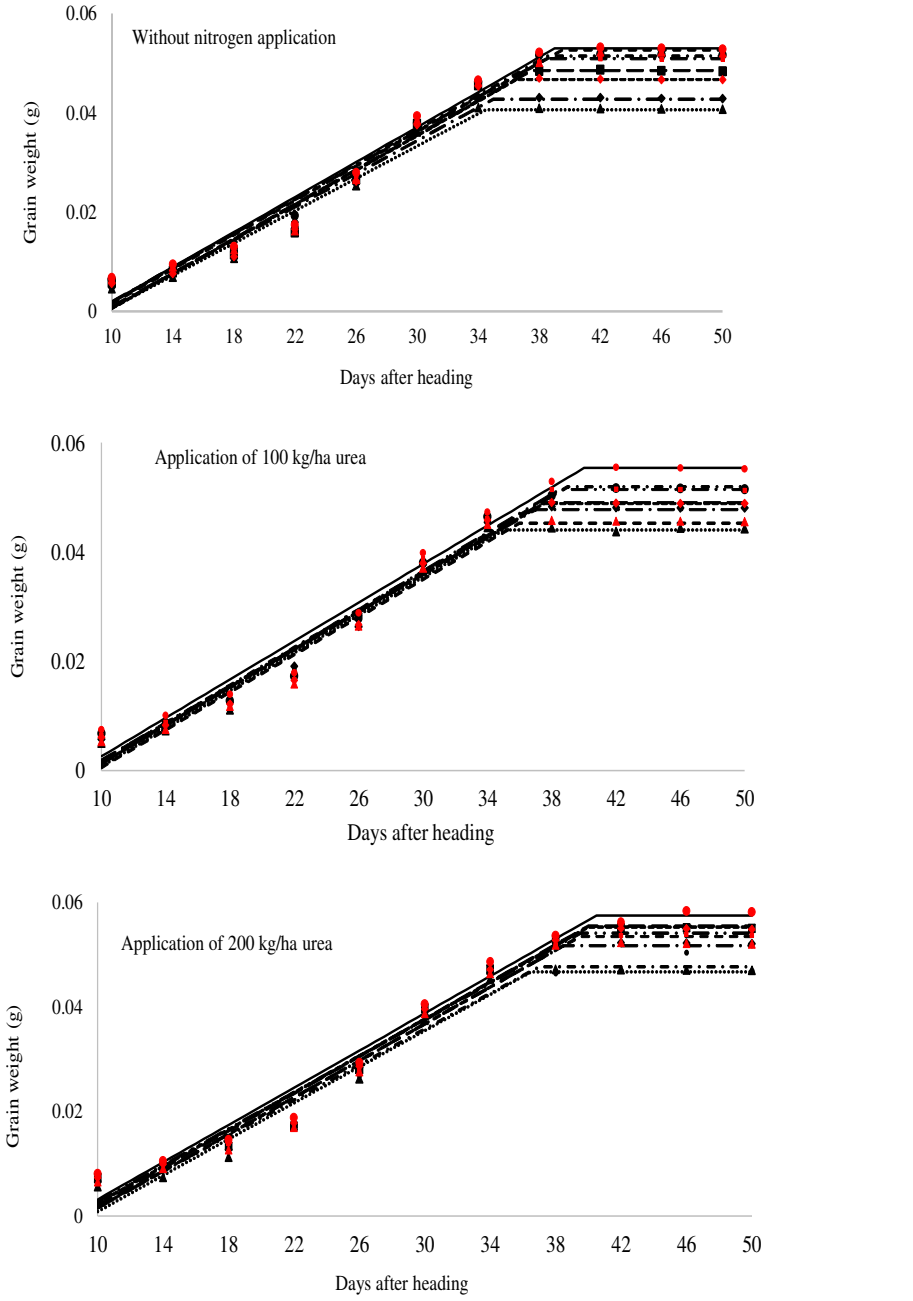
Table 4. Comparison of means of the effects of biofertilizers and nitrogen application on chlorophyll a and b, total chlorophyll, and grain filling components of wheat

Treatment†	Chl-a	Chl-b	TChl	Car	MGW	GFR	GFP	EGFP
	(mg.g.Fw)				(g)	(g.day)	(day)	(day)
$N_1 \times B_1$	2.95 o	1.37 l	4.33 m	0.151 cdefg	0.0411 i	0.00163 e	34.53 j	25.18 j
$N_1 \times B_2$	3.20 mno	1.57 jk	4.78 klm	0.109 hi	0.0431 hi	0.00167 de	35.08 ij	25.78 ij
$N_1 \times B_3$	3.83 defghij	1.74 cdefgh	5.57 defgh	0.170 bcd	0.0487 cdefg	0.00176 ab	37.25 defg	27.63 fghi
$N_1 \times B_4$	3.78 efghijk	1.7 defghi	5.48 efghi	0.143 defgh	0.0519 bcde	0.00174 ab	38.60 bcde	29.73 bcdef
$N_1 \times B_5$	3.77 efghijk	1.72 defghi	5.49 efghi	0.179 bc	0.0524 bcd	0.00175 ab	39.00 abcd	29.90 bcde
$N_1 \times B_6$	3.36 klmno	1.63 ghijk	4.99 ijkl	0.117 ghi	0.0470 fgh	0.00173 abc	36.57 fghi	27.06 hij
$N_1 \times B_7$	3.59 ghijklm	1.7 defghij	5.29 fghijk	0.127 efghi	0.051 bcdef	0.00172 abcd	38.53 bcdef	29.71 bcdef
$N_1 \times B_8$	3.96 abcdefg	1.78 bcdef	5.74 bcdefg	0.158 bcde	0.0532 bc	0.00176 ab	38.98 abcd	30.2 bcd
$N_2 \times B_1$	3.12 no	1.55 k	4.68 lm	0.104 i	0.0445 ghi	0.00172 abcd	35.16 hij	25.81 ij
$N_2 \times B_2$	3.52 hijklmn	1.68 efghijk	5.20 ghijkl	0.124 fghi	0.0483 defg	0.0017 bcd	37.14 defgh	28.36 defgh
$N_2 \times B_3$	3.66 fghijkl	1.7 defghi	5.37 fghij	0.132 efghi	0.0489 cdefg	0.00173 abcd	37.29 defg	28.27 defgh
$N_2 \times B_4$	3.59 ghijklm	1.67 efghijk	5.26 ghijk	0.137 defghi	0.0517 bcdef	0.00174 ab	38.68 bcde	29.66 bcdef
$N_2 \times B_5$	3.33 lmno	1.59 ijk	4.92 jkl	0.127 efghi	0.0485 ghi	0.00172 abcd	36.09 ghij	26.56 hij
$N_2 \times B_6$	3.84 defghij	1.72 defghi	5.56 defgh	0.153 bcdef	0.0491 cdefg	0.00173 abcd	37.51 cdefg	28.30 defgh
$N_2 \times B_7$	3.91 bcdefgh	1.76 bcdefg	5.67 bcdefg	0.155 bcdef	0.0515 bcdef	0.00176 ab	38.48 bcdef	29.29 cdefg
$N_2 \times B_8$	4.32 ab	1.88 ab	6.20 ab	0.240 a	0.0556 ab	0.00176 ab	39.94 ab	31.55 ab
$N_3 \times B_1$	3.45 jklmn	1.65 fghijk	5.1 hijkl	0.124 efghi	0.0472 efgh	0.00173 abcd	36.67 efghi	27.26 ghij
$N_3 \times B_2$	4.01 abcdef	1.80 abcde	5.81 abcdef	0.170 bcd	0.0523 bcd	0.00176 ab	38.69 bcde	29.63 bcdef
$N_3 \times B_3$	4.10 abcde	1.826 abcd	5.92 abcde	0.185 b	0.0553 ab	0.00177 a	39.87 ab	31.16 abc
$N_3 \times B_4$	3.46 ijklmn	1.62 hijk	5.09 hijkl	0.135 efghi	0.0473 efgh	0.00167 de	37.50 cdefg	28.07 efgh
$N_3 \times B_5$	3.88 cdefghi	1.73 cdefgh	5.62 cdefgh	0.157 bcdef	0.0524 bcd	0.00176 ab	38.73 bcd	29.72 bcdef
$N_3 \times B_6$	4.24 abcd	1.85 abc	6.10 abcd	0.224 a	0.0551 ab	0.00176 ab	39.79 ab	31.27 abc
$N_3 \times B_7$	4.27 abc	1.86 abc	6.14 abc	0.238 a	0.0539 ab	0.00174 ab	39.34 abc	31.00 abc
$N_3 \times B_8$	4.38 a	1.92 a	6.30 a	0.240 a	0.0583 a	0.00176 ab	40.90 a	33.07 a
LSD	0.42	0.131	0.54	0.034	0.004	0.0001	2.02	2.1

† The treatments are: N_1, N_2 and N_3, no application nitrogen (control), and application of 100 and 200 kg/ha urea, respectively; and B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7 and B_8, no application biofertilizer (control), application of *Glomus moseae*, *Glomus intradices*, *Glomus intradices* + *Azotobacter*, *Azotobacter*, *Glomus moseae* + *Azotobacter*, *Glomus moseae* + *Glomus intradices*, *Glomus moseae*+*Glomus intradices*+*Azotobacter*, respectively. The traits abbreviations are: Chl-a, Chl-b, TChl, Car, MGW, GFR, GFP and EGFP, chlorophyll-a, chlorophyll-b, total chlorophyll, carotenoid, maximum grain weight, grain filling rate, grain filling period and ffective grain filling period, respectively. Means with the similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

سیدشریفی و عباسی (Seyed Sharifi & Abassi, 2014) با مطالعه اثر سطوح نیتروژن و تراکم بوته بر مولفه‌های پر شدن دانه آفتابگردان، گزارش کردند که با افزایش سطوح نیتروژن، وزن تک‌بذر و دوره مؤثر پر شدن دانه آفتابگردان افزایش یافت. در واقع افزایش نیتروژن، میزان آسیمیلاسیون را افزایش می‌دهد و موجب نقل و انتقال بیش‌تر مواد به دانه‌ها می‌شود و سرعت و دوره مؤثر پرشدن دانه را افزایش می‌دهد و در نتیجه وزن تک‌بذر سیر صعودی می‌یابد. توگای و همکاران (Togay *et al.*, 2008) اظهار داشتند که کودهای زیستی با تولید هورمون‌های محرک رشد و افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی، با افزایش طول دوره رشد گیاه، امکان تداوم بیش‌تر دوره پرشدن دانه را فراهم می‌سازند.

ارتفاع بوته و طول سنبله: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس، کاربرد توام کودهای زیستی و کود نیتروژن بر ارتفاع بوته و طول سنبله، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). کاربرد توام ازتوباکتر، قارچ‌های موسآ و اینترا به‌همراه مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به‌ترتیب موجب افزایش ۴۱/۱۷ و ۵۱ درصدی ارتفاع بوته و ۴۲/۸ و ۳۳/۷ درصدی طول سنبله در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن) شد (جدول ۶).



شکل ۱- تاثیر کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن بر روند پر شدن دانه گندم

Figure 1. The effects of biofertilizers and nitrogen application on wheat grain filling process

جدول ۵- تجزیه واریانس تاثیر کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن بر حجم ریشه، عملکرد و اجزای عملکرد گندم

Table 5. Analysis of variance of the effects of biofertilizers and nitrogen application on root volume, yield and yield components of wheat Mean square

Source of variation	df	Plant hieght	Spike length	No. of grains per spike	1000 grain weight	Biological yield	Grain yield	Root volume
Replication	2	175.0**	2.9**	187.9**	16.0^{ns}	179435**	26773**	88064**
Nitrogen (N)	2	331.8**	5.7**	92.4**	157.0**	133254**	8533**	19967**
Biofertilizer (B)	7	256.5**	2.2**	34.0**	71.0**	58675**	8288**	6061**
N × B	14	15.3*	0.5*	2.8^{ns}	17.8**	2131^{ns}	928*	2102*
Error	46	6.9	0.2	1.6	5.5	2018	466	866
CV (%)	-	5.1	5.7	4.6	7.2	5.1	5.0	6.2

^{ns}, * and ** Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

بخشی از افزایش ارتفاع بوته در نتیجه کاربرد کودهای زیستی و کود نیتروژنه می‌تواند به اثر ناشی از این تیمارها بر افزایش حجم ریشه (جدول ۶) نسبت داده شود. در این راستا خلیل‌زاده و همکاران (Khalilzadeh *et al*., 2017) افزایش ارتفاع بوته و طول سنبله در شرایط تلقیح بذر با کودهای زیستی را به گسترش وزن و حجم ریشه‌ای نسبت دادند که موجب افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی می‌شود. افزایش طول سنبله نیز بر اثر کاربرد ازتوباکتر و آزوسپریلیوم همراه با کود نیتروژنه توسط طاهری‌نژاد و همکاران (Taherinezhad *et al*., 2019) گزارش شده است. بارد و همکاران (Burd *et al*., 2000) نیز اظهار داشتند که باکتری‌های محرک رشد می‌توانند ارتفاع بوته و قابلیت تولید را از طریق سنتز فیتوکروم‌ها، افزایش فراهمی مواد غذایی و سهولت دسترسی به آن افزایش دهند. کایا و همکاران (Kaya *et al*., 2002) علت اصلی افزایش طول سنبله و تعداد دانه در سنبله را به نقش مثبت باکتری در افزایش جذب آب و مواد غذایی را به‌واسطه توسعه بیش‌تر ریشه‌ها و همچنین انجام فرآیند تثبیت زیستی نیتروژن نسبت دادند. کوپتا و همکاران (Copetta *et al*., 2006) اظهار داشتند که باکتری‌های محرک رشد، با تامین مقدار زیادی رطوبت قابل جذب برای گیاه، موجب افزایش رشد و ارتفاع بوته‌ها می‌شوند. بررسی‌های براکلوگ و همکاران (Barraclough *et al*., 2010) نیز نشان داد که ارتفاع بوته گندم با کاربرد مقادیر مناسبی از کود نیتروژن افزایش می‌یابد.

تعداد دانه در سنبله: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی کاربرد کودهای زیستی و کود نیتروژن در سطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار شد (جدول ۵). بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله (۲۹/۸۱ عدد) در اثر کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به‌دست آمد که در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد نیتروژن) از افزایش ۱۵ درصدی برخوردار بود. کاربرد توام ازتوباکتر با میکوریز موسه‌آ و اینترا نیز از افزایش ۲۴/۵ درصدی تعداد دانه در سنبله در مقایسه با تیمار شاهد برخوردار بود (جدول ۶). بخشی از افزایش تعداد دانه در سنبله در اثر مصرف کود نیتروژن را می‌توان به افزایش طول سنبله نسبت داد (جدول ۶). نقش مؤثر باکتری‌های محرک رشد در تثبیت نیتروژن و رهاسازی آن در مراحل حساس نیاز کودی نیز می‌تواند از دلایل دیگر افزایش تعداد دانه در سنبله در اثر کاربرد کودهای زیستی باشد.

وزن هزار دانه: تاثیر کودهای زیستی (قارچ‌های میکوریزا و باکتری محرک رشد) و کود نیتروژن بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). کاربرد قارچ‌های میکوریزا موسه‌آ و اینترا همراه با ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، وزن هزار دانه را ۵۲/۷۳ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (جدول ۶). بخشی از افزایش وزن هزار دانه را می‌توان به افزایش طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه در این ترکیبات تیماری نسبت داد (جدول ۴)، زیرا طولانی شدن دوره پرشدن دانه، امکان انتقال مواد فتوسنتزی بیش‌تر از مبدا به مقصد را فراهم کرده و همین امر می‌تواند منجر به افزایش وزن دانه (جدول ۴) و به تبع از آن افزایش وزن هزار دانه شود. بخش دیگری از افزایش وزن هزار دانه را می‌توان به نقش مثبت کودهای زیستی در افزایش حجم ریشه (جدول ۶) نسبت داد که به‌دلیل سهولت در جذب آب و عناصر غذایی و انتقال آن‌ها به گیاه، به افزایش وزن دانه کمک می‌کنند (Frietas & Germida, 1990). شهسواری و صفاری (Shahsavari & Safari, 2005) نیز اظهار داشتند که با مصرف مقادیر بیش‌تر کود نیتروژن، وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد.

جدول ۶- مقایسه میانگین تاثیر کودهای زیستی و نیتروژن بر حجم ریشه، عملکرد و اجزای عملکرد گندم

Table 6. Comparison of means of the effects of biofertilizers and nitrogen application on root volume, yield and yield components of wheat

Treatment	Root volume ($cm^3.m^{-2}$)	Grain yield ($g.m^2$)	Grain weight (g)	Spike length (cm)	Plant height (cm)
$N_1 \times B_1$	387.33 m	361.47 i	25.83 k	6.23 ij	40.13 m
$N_1 \times B_2$	406.33 lm	438.17 bcde	26.17 k	6.23 ij	45.13 jk
$N_1 \times B_3$	465.33 efghijk	387.97 ghij	28.01 ijk	6.83 ghij	44.43 jkl
$N_1 \times B_4$	467.67 efghij	445.5 bc	31.29 ghij	7.06 defghi	48.08 hij
$N_1 \times B_5$	475.33 defghij	372.9 ij	32.49 efgh	7.6 bcdefg	43.03 kl
$N_1 \times B_6$	435.00 ijklm	383.93 hij	28.59 ijk	6.63 hij	51.7 efghi
$N_1 \times B_7$	450.33 ghijkl	398.23 fghi	29.40 hijk	6.9 fghij	51.63 fghi
$N_1 \times B_8$	496.33 abcdefg	465.37 ab	32.98 defgh	7.13 defgh	56.9 bcd
$N_2 \times B_1$	428.33 jklm	378.27 hij	26.70 k	6.03 j	44.33 jkl
$N_2 \times B_2$	443.00 hijkl	393.00 ghij	30.98 ghij	7.1 defghi	54.16 defg
$N_2 \times B_3$	447.67 hijkl	413.63 cdefgh	31.17 ghij	7.43 cdefgh	50.6 ghi
$N_2 \times B_4$	452.00 ghijkl	441.60 bcd	35.88 abcde	7.93 bcd	55.96 cdef
$N_2 \times B_5$	417.33 klm	402.73 efghi	27.49 jk	7.16 defgh	44.96 jk
$N_2 \times B_6$	474.67 defghij	435.9 bcde	34.05 cdefg	7.16 defgh	50.26 ghi
$N_2 \times B_7$	485.33 bcdefgh	432.53 bcdef	34.72 bcdefg	7.16 defgh	53.33 defg
$N_2 \times B_8$	519.33 abcd	466.53 ab	36.48 abcd	8.33 ab	59.06 abc
$N_3 \times B_1$	472.67 defghij	408.30 defghi	31.23 ghij	6.73 ghij	44.93 jk
$N_3 \times B_2$	524.33 abc	445.67 bc	33.44 defg	7.9 bcde	56.03 cde
$N_3 \times B_3$	510.33 abcde	445.37 bc	35.56 bcdef	8.1 abc	52.26 efgh
$N_3 \times B_4$	544.00 a	486.50 a	39.45 a	7.03 efghi	61.56 a
$N_3 \times B_5$	480.67 fghijkl	421.9 cdefg	31.78 fghi	7.83 bcde	47.53 ij
$N_3 \times B_6$	453.67 cdefghi	403.17 efghi	28.60 ijk	8.2 abc	57.20 bcd
$N_3 \times B_7$	500.67 abcdef	4463.97 bc	37.51 abc	7.73 bcdef	60.16 abc
$N_3 \times B_8$	532.33 ab	494.07 a	38.02 ab	8.90 a	60.80 ab
LSD	48.378	35.493	3.859	0.87	4.339

† The treatments are: N_1, N_2 and N_3, no nitrogen application (control), and application of 100 and 200 kg/ha urea, respectively; and B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7 and B_8, no application biofertilizer (control), application of *Glomus moseae*, *Glomus intradices*, *Glomus intradices + Azotobacter*, *Azotobacter*, *Glomus moseae + Azotobacter*, *Glomus moseae + Glomus intradices*, *Glomus moseae+Glomus intradices+Azotobacter*, respectively. The traits abbreviations are: Chl-a, Chl-b, TChl, Car, MGW, GFR, GFP and EGFP, chlorophyll-a, chlorophyll-b, total chlorophyll, carotenoid, maximum grain weight, grain filling rate, grain filling period and ffective grain filling period, respectively. Means with the similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

عملکرد دانه و زیست‌توده: تاثیر توام کودهای زیستی و کود نیتروژن بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد و اثرات اصلی کاربرد کودهای زیستی و کود نیتروژن بر زیست‌توده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). کاربرد قارچ‌های میکوریز موسهآ و اینترا همراه با ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن توانست عملکرد دانه را ۳۶/۶۸ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن) افزایش دهد (جدول ۶). بیش‌ترین عملکرد زیستی در بین سطوح مختلف کود نیتروژن، در کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (۸۵۶/۶۱ گرم در مترمربع) و در بین سطوح کودهای زیستی نیز در کاربرد توام ازتوباکتر و قارچ‌های موسهآ و اینترا (۸۹۸/۲۷ گرم در مترمربع) به‌دست آمد. کم‌ترین عملکرد زیستی نیز در تیمار عدم استفاده از کود اوره و کودهای زیستی به‌ترتیب با ۷۰۸/۷۷ و ۷۶۰/۸۸ گرم در متر مربع به‌دست آمد (جدول ۷).

بخشی از افزایش عملکرد زیستی را می‌توان به افزایش ارتفاع بوته در این ترکیبات تیماری نسبت داد (جدول ۶)، زیرا ارتفاع بوته از عوامل تأثیرگذار بر عملکرد است. ساقه طی رشد و بلافاصله بعد از طویل شدن، قسمت زیادی از مواد فتوسنتزی برگ‌ها را که ممکن است از راه‌های مختلف برای رشد پنجه یا سنبله به مصرف برسد، در خود ذخیره می‌کند و همچنین به‌عنوان منبع کربوهیدرات‌ها و مواد نیتروژنه عمل می‌کند که طی مرحله پرشدن دانه به دانه منتقل می‌شود (Seyed Sharifi, R., & Haydari Siahkhalaki, 2016). باکتری محرک رشد، احتمالاً جذب و ذخیره موادغذایی در بخش‌های مختلف گیاه از جمله برگ و ساقه را افزایش می‌دهند و با ذخیره این مواد

در گیاه، عملکرد زیستی افزایش می‌یابد. ازتوباکتر، علاوه بر کمک به جذب عناصر پرمصرف و ریزمغذی‌های مورد نیاز گیاه، با سنتز و ترشح مواد رشدی گیاه نظیر انواع هورمون‌های تنظیم کننده رشد مانند اکسین، اسیدهای آمینه مختلف و انواع آنتی‌بیوتیک‌ها، موجب افزایش رشد اندام هوایی می‌شود (Bahamin *et al*., 2019).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات اصلی کودهای زیستی و نیتروژن بر تعداد دانه در سنبله و عملکرد زیستی گندم

Tabele 7. Comparison of means of main effects of biofertilizers and nitrogen on number of grains per spike and biological yield of wheat

Treatment	Biological yield ($g.m^{-2}$)	No. of grain per spike
Biofertilizer		
B_1 (no biofertilizer application)	658.64 [e]	24.78 [e]
B_2 *Glomus moseae*)	760.88 [d]	27.03 [d]
B_3 (*Glomus intradices*)	770.06 [cd]	27.66 [cd]
B_4 (*Glomus intradices+Azotobacter*)	853.03 [b]	29.93 [ab]
B_5 (*Azotobacter*)	678.81 [e]	26.52 [d]
B_6 (*Glomus moseae+Azotobacter*)	789.03 [cd]	28.8 [bc]
B_7 (*Glomus moseae+Glomus intradices*)	809.4 [c]	28.66 [c]
B_8 (*Glomus moseae+Glomus intradices+Azotobacter*)	898.27 [a]	30.84 [a]
LSD	42.624	1.235
Nitrogen		
N_1 (no nitrogen application)	708.77 [c]	25.92 [c]
N_2 (application of 100 kg/ha urea)	766.41 [b]	28.34 [b]
N_3 (application of 200 kg/ha urea)	856.61 [a]	29.81 [a]
LSD	26.103	0.796

Means with the similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

حجم ریشه: کاربرد کودهای زیستی و کود نیتروژنه بر حجم ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین حجم ریشه (به‌ترتیب ۵۳۲/۳۳ و ۳۸۷/۳۳ سانتی‌متر مکعب در متر مربع) در ترکیب تیماری کاربرد توام ازتوباکتر، قارچ‌های میکوریزا موسهآ و اینترا همراه با ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و عدم کاربرد کودهای زیستی و کود اوره مشاهده شد (جدول ۶). به بیانی دیگر، کاربرد توام قارچ‌های موسهآ و اینترا همراه با ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره، موجب افزایش ۳۷/۴ درصدی حجم ریشه نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن شد (جدول ۶). محمودزاده و همکاران (Mahmoudzadeh *et al*., 2016) عنوان کردند که ترشح مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه و تولید هورمون‌های محرک رشد توسط قارچها و باکتری محرک رشد با کمک به توسعه و گسترش ریشه و فراهم کردن تناسب صحیح بین نیتروژن و سایر عناصر کم‌مصرف و کم‌تحرک مانند فسفر، موجب افزایش حجم ریشه شدند. بانرنجی و همکاران (Banerjee *et al*., 2006) نیز بیان کردند که باکتری‌های محرک رشد با تولید مواد تنظیم‌کننده رشد و تاثیر آن بر افزایش وزن و انشعابات ریشه، موجب افزایش حجم ریشه شدند. برخی از محققان در بررسی علت افزایش حجم ریشه گندم در تلقیح بذر با ازتوباکتر اظهار داشتند که ایندول استیک اسید در کنار سایتوکینین که توسط ازتوباکتر تولید می‌شود، از طریق رشد ریشه‌های جانبی، موجب افزایش حجم ریشه می‌شود (Banerjee *et al*., 2006; Vessey & Buss, 2002). رایدر و همکاران (Ryder *et al*., 1999) گزارش کردند که کودهای زیستی از طریق سنتز هورمون‌های محرک رشد و افزایش تقسیمات سلولی، ضمن افزایش ریشه‌زایی و کمک به گسترش ریشه، در نهایت موجب افزایش حجم ریشه می‌شوند. وسی و باس (Vessey & Buss, 2002) اظهار داشتند که افزایش حجم ریشه بیانگر توسعه بیش‌تر ریشه است که افزایش توان جذب آب و عناصر غذایی بیش‌تر را در حجم وسیع‌تری از خاک امکان‌پذیر می‌سازد. به‌نظر می‌رسد که در این آزمایش نیز باکتری‌های محرک رشد با افزایش حجم ریشه و کمک به جذب بهتر آب و عناصر غذایی، موجب بهبود عملکرد گندم شدند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش سطوح کود نیتروژن، عملکرد، اجزای عملکرد دانه و طول دوره پرشدن

دانه گندم افزایش یافت، اما کارایی مصرف کود کاهش یافت. بر اساس نتایج این آزمایش، به‌نظر می‌رسد که کاربرد ازتوباکتر و میکوریزا به‌همراه ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در مقایسه با دیگر ترکیبات تیماری، احتمالاً به‌دلیل بهبود محتوای کلروفیل و مولفه‌های پر شدن دانه از جمله سرعت و طول دوره پر شدن دانه، منجر به بهبود ۳۶/۶ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد کود نیتروژن و کودهای زیستی) شد.

تضاد منافع

نویسندگان تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هرگونه روابط تجاری یا مالی می‌تواند به عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسندگان اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تاکنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده است و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسندگان با چاپ این مقاله به صورت دستر سی باز موافقت کرده و کلیه حقوق ا ستفاده از مح توا، جدول ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

Aghahei, R., Seyed Sharifi, R., & Narimani, H. (2022). Effects of mycorrhizae and nano Fe-Zn oxide on nodulation and quantitative and qualitative yield of rain fed lentil (*Lens culinaris* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*, *65*(3), 93-110. [In Persian]. doi: 10.30495/iper.2022.690263.

Ahmadi Nouraldinvandi, F., Seyed Sharifi, R., Siadat, S. A., & Khalilzadeh, R. (2021). Effects of nano silicon concentrations and bio-fertilizer on yield and grain filling components of wheat in different irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crop Research*, *19*(1), 91-105. [In Persian]. doi: 10.22067/jcesc.2021.67258.0.

Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C., & Metzger, J. D. (2004). Influences of vermicomposts on field strawberries: Effects on growth and yields. *Bioresource Technology*, *93*(2), 145-153. doi: 10.1016/j.biortech.2003.10.014.

Bahamin, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallat, M. and Beheshti, S.A. (2019). Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative productivity of maize under drought stress conditions. *Enviromental Stresses in Crop Scinces*, *12*(1), 123-139. [In Persian]. doi: 10.22077/escs.2018.1152.1235.

Banerjee, M. R., Yesmin, L., & Vessey, J. K. (2006). Plant-growth-promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides. In: Rai, M. K. (Ed.). Handbook of Microbial Biofertilizers. pp. 137-181. Food Production Press, USA.

Barraclough, P. B., Howartha, J. R., Jonesa, J., Lopez-Bellidob, R., Parmara, S., Shepherda, C. E., & Hawkesforda, M. J. (2010). Nitrogen efficiency of wheat: Genotypic and environmental variation and prospects for improvement. *European Journal of Agronomy*, *33*(1), 1-11. doi: 10.1016/j.eja.2010.01.005.

Biswas, P., Hosain, D., Ullah, M., Akter, N., & Bhuiya, M. A. (2003). Performance of groundnut under different levels of bradyrhizobial inoculum and nitrogen fertilizer. SAARC *Journal of Agriculture*, *1*, 61-68.

Bohrani, A., Pourreza, J., & Haghjoo, M. (2010). Response of winter wheat to co-inoculation with azotobacter arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) under different sour fertilizer. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science*, *8*(1), 376-384.

Burd, G., Dixon, D., & Glick, B. (2000). Plant growth promoting rhizobacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. *Canadian Journal of Microbiology*, *33*, 237-245. doi: 10.1139/w99-143.

Cavagnaro, T. R., Bender, S. F., Asghari, H. R., & van der Heijden, M. G. A. (2015). The role of arbuscular mycorrhizas in reducing soil nutrient loss. *Trends in Plant Science*, *20*(5), 83-290. doi: 10.1016/j.tplants.2015.03.004.

Chandrasekhar, B. R., Ambrose, G., & Jayabalan, N. (2005). Influence of biofertilizer and nitrogen source level on the growth and yield of *Echinochloa frumentacea* (Roxb.) Link. *Journal of Agricultural Technology*, *1*(2), 223-234.

Cho, D. S., Jong., S. K., Park, Y. K., & Son, S. Y. (1987). Studies on the duration and rate of grain filling in rice (*Oryza sativa* L.). I. Varietal difference and effects of nitrogen. *Korean Journal of Crop Science*, *32*(1), 103-111.

Cooper, K. M., & Tinker, P. B. (2003). Translocation transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhiza. Uptake translocation of phosphorus, zinc sulphur. *New Phytologist*, *81*, 43-52. doi: 10.1111 /j.1469-8137.1978.tb01602.x.

Copetta, A., Lingua, G., & Berta, G. (2006). Effect of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. *Mycorrhiza*, *16*(7), 485-494. doi: 10.1007/s00572-006-0065-6.

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. *The Journal of Agricultural Science*, 38(2), 813-822.

Ellis, R. H., & Pieta-Filho, C. (1992). The development of seed quality in spring and winter cultivars of barley and wheat. *Seed Science Research*, *2*(1), 9-15. doi: 10.1017/S0960258500001057.

Frietas, J. R., & Germida, J. J. (1990). Plant growth promoting rhizobacteria for winter wheat. *Canadian Journal of Microbiology*, *36*(4), 265-272. doi: 10.1139/m90-046.

Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather & Climate Extremes*, *10*, 4-10. 10.1016/j.wace.2015.08.001.

Jafari, H, Heidari, Gh., & Khalesro, Sh. (2019). Effects of supplemental irrigation and biofertilizers on yield and yield components of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agricultural Science & Sustainble Production*, *29*(2),173-187. [In Persian].

Kapoor, R., Sharma, D., & Bhatnagar, A. K. (2008). Arbuscular mycorrhizae in micropropagation systems and their potential applications. *Scientia Horticulturae*, *116*(3), 227-239. 10.1016/j.scienta.2008.02.002.

Kaviani, B. (2015). The effects of inoculation of plant growth promoting rhizobacteria strains under various levels of nitrogen fertilizer on some physiological traits of wheat var. Morvarid. *Journal of Plant Enviromental Physiology*, *39*(10), 66-78. [In Persian]. dor: 20.1001.1.76712423.1394.10.39.7.9.

Kaya, Y., Kaya, Y., Arisoy, R. Z., & Gocmen, A. (2002). Variation in grain yield and quality traits of bread wheat genotypes by zinc fertilization. *Pakistal Journal of Botany*, *1*(3), 142-144. doi: 10.3923/ja.2002.142.144.

Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R., & Jalilian, J. (2017). Study the interaction of cycocel and bio-fertilizers on yield and some agro-physiological traits of wheat under soil salinity condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *10*(3), 425-443. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2017.22.1010.

Kumar, A. (2018). Impact of biofertilizers in enhancing growth and productivity of wheat: A review. *International Journal of Chemical Studies*, *6*(4), 360-362.

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 & Biochemistry, 43*, 609-619.

Mahmoudzadeh, M., Rasouli Sadaghiani, M. H., & Lajayer, H. (2016). Effect of plant growth promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on growth characteristics and concentration of macronutrients in peppermint (*Mentha pipperita* L.) under greenhouse conditions. *Journal of Science & Technology of Greenhouse Culture*, *6*(4), 155-168.

Malik, K. A., Mirza, M. S., Hassan, U., Mehnaz, S., Rasul, G., Haurat, J., Bally, R., & Normand, P. (2001). The role of plant-associated beneficial bacteria in rice-wheat cropping system. In: Kennedy, I. R., & Choudhury, A. T. M. A. (Eds.). Biofertilizers in Action. Rural Industries Research and Development Corporation, Australia. pp. 73-83.

Murchie, E. H., Yang, J., Hubbart, S., Horton, P., & Peng, S. (2002). Are there associations between grain-filling rate and photosynthesis in the flag leaves of field-grown rice? *Journal of Experimental Botany*, *53*(378), 2217-2224. doi: 10.1093/jxb/erf064.

Nazarian, R., Samim, N. A, Sahabi, H., & Feizi, H. (2022). Effect of nitrogen supply sources on wheat (*Triticum aestivum* L.) quality and quantity yield. *Journal of Agroecology*, *14*(2), 363-377. doi: 10.22067/agry.2021.69468.1031.

Rai, S. N., & Gaur, A. C. (1998). Characterization of Azotobacter spp. and effect of Azotobacter and Azospirillum as inoculants on the yield and N-uptake of wheat crop. *Plant & Soil*, *109*, 131-134. doi: 10.1007/BF02197592.

Ronanini, D., Savin, R., & Hal, A. J. (2004). Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. *Field Crops Research*, *83*, 79-90. doi: 10.1016/S0378-4290(03)00064-9.

Ryder, M. H., Yan, Z., Terrace, T. E., Rovira, A. D., Tang, W., & Correll, R. L.(1999). Use of strains of *Bacillus* isolated in China to suppress take-all and rhizoctonia root rot, and promote seedling growth of glasshouse-grown wheat in Australian soils. *Soil Biology & Biochemistry*, *31*(1), 19-29. doi: 10.1016/S0038-0717(98)00095-9.

Seyed Sharifi, R., & Abassi, H. (2014). Study of various levels of nitrogen fertilizer and plant density on grain yield, rate and effective grain filling period of sunflower (*Helianthus annus* L.) cultivars in Ardabil region. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *27*(2), 228-242. [In Persian]. dor: 20.1001.1.23832592.1393.27.2.7.7.

Seyed Sharifi, R., & Haydari Siahkhalaki, M. S. (2016). Effects of biofertilizers on growth indices and contribution of dry matter remobilization in wheat grain yield. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *28*(2), 326-343. dor: 20.1001.1.23832592.1394.28.2.11.8.

Seyed Sharifi, R., & Namvar, A. (2016). Biofertilizers in Agronomy. University of Mohaghegh Ardabili Publications. 282 p. [In Persian].

Seyed Sharifi, R., & Seyed Sharifi, R. (2020). Effects of starter nitrogen, methanol and biofertilizers application on yield, nodulation and grain filling period of rainfed lentil. *Journal of Crops Improvement*, *22*(3), 445-460. [In Persian]. doi: 10.22059/jci.2020.292605.2295.

Shahsavari, N., & Safari, M. (2005). Effect of nitrogen rates on yield and yield components of three wheat cultivars in Kerman. *Pajouhesh & Sazandegi*, 18(1), 82-87. [In Persian].

Sharma, A. K. (2002). Biofertilizers for Sustainable Aagriculture. Agrobios, India. 407 p.

Spatafora, J. W., Chang, Y., Benny, G. L., Lazarus, K., Smith, M. E., & Berbee, M. L. (2016). A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. *Mycologia*, *108*(5), 1028-1046. doi: 10.3852/16-042.

Taherinezhad, A., Ghobadi, M. E., Jalali-Honarmand, S., & Heidari, H. (2019). Investigating the interaction of azotobacter and nitrogen application on the remobilization, yield and yield components of grain barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Agroecology*, *11*(3), 893-908.

Togay, N., Togay, Y., Cimrin, K. M., & Turan, M. (2008). Effect of rhizobium inoculation, sulfur and phosphorus application on yield, yield components and nutrient uptake in chick pea (*Cicer arietinum* L.). *African Journal of Biotechnology*, *7*(6), 776-782.

Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizars. *Plant & Soil*, 255, 571-586. doi: 10.1023/A:1026037216893.

Vessey, J. K., & Buss, T. J. (2002). *Bacillus cereus* UW85 inoculation effects on growth, nodulation, and N accumulation in grain legumes: Controlled-environment studies. *Canadian Journal of Plant Science*, *82*(2), 282-290. doi: 10.4141/P01-047.

Wilkinson, S. R., Grunes, D. L., & Sumner, M. E. (2000). Nutrient interactions in soil and plant nutrition. In: Sumner, M. E. (Ed.). Handbook of Soil Science. CRC Press, Boca Raton. pp. 89-112.

Wu, S. C., Cao, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C., & Wamg, M. H. (2008). Effect of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: A greenhouse trial. *Geoderma*, *125*(1-2), 155-166. doi: 10.1016/j.geoderma.2004.07.003.

Yamaguchi, T., Tsuno, Y., Nakano, J., & Miki, K. (1995). Influence of leaf nitrogen content on grain weight at early ripening period and relationship between root respiration and leaf area per spikelet of rice plant. *Japanese Journal of Crop Science*, *64*(2), 251-258. doi: 10.1626/jcs.64.251.

Zad Behtouei, M., Seyed Sharifi, R., & Khalilzadeh, R. (2019). Effect of nitrogen and biofertilizers on yield, nitrogen use efficiency and some morpho-physiological traits of rice (*Oryza sativa* L.). *Cereal Research*, *8*(4), 409-421. doi: 10.22124/C.2019.10772.1407.