

The effect of nitrogen fertilizer and sugarcane residue compost on soil physicochemical properties and wheat grain yield under terminal heat stress in Ahwaz

DOI: [10.22055/ppd.2025.48005.2209](https://doi.org/10.22055/ppd.2025.48005.2209)

Masoumeh Makvandi¹, Abdul Mahdi Bakhshandeh², Ali Moshatati^{3*}, Mohammad Reza Moradi Telavat⁴ and Aydin Khodaei Joghani⁵

1. Ph.D. graduated of Agrotechnology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
2. Professor of Plant Production and Genetics Department, Agriculture Faculty, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
3. ***Corresponding Author:** Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran (A.Moshatati@asnrukh.ac.ir)
4. Associate professor of Plant Production and Genetics Department, Agriculture Faculty, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
5. Associate Professor of Plant Production and Genetics Department, Agriculture Faculty, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

Abstract

Introduction: In recent decades, excessive use of chemical fertilizers to increase the yield of agricultural products has caused many problems from economic and environmental aspects. One of the ways to achieve sustainable agriculture is the use of organic fertilizers as the most effective method of plant nutrition in order to increase yield and harmonize with the environment. Applying organic fertilizer to the soil is a way to improve the physical and chemical properties of the soil and improve the availability of nutrients. On the other hand, organic fertilizers have a lower rate of release of nutrients, which can cause disruption in plant growth. Therefore, in order to create suitable and ideal conditions for plant growth, the combined use of organic and chemical fertilizers is recommended.

Materials and Methods: This experiment was carried out in the form of two split plots in the form of randomized complete block design with three replications in the crop year of 2021-2022 in the research farm of Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan. The experimental factors include three planting dates: November 21st, December 10th, and December 30th in the main plots; Six levels of combined use of chemical nitrogen fertilizer with organic fertilizer and sugarcane residue compost include control (without nitrogen and organic fertilizer), 100% nitrogen fertilizer, 75% nitrogen fertilizer+ 25% compost fertilizer, 50% nitrogen fertilizer+ 50% compost fertilizer, 25% Nitrogen fertilizer+ 75% compost fertilizer and 100% compost fertilizer in sub-plots and two levels of application and non-application of growth-stimulating bacteria in sub-plots. After harvesting, soil physicochemical properties and grain yield were measured.

Results and Discussion: Variance analysis showed that planting date was significant on all traits including EC, pH and soil specific gravity. The combined effect of nitrogen fertilizer and compost fertilizer as well as growth stimulating bacteria on all traits was significant at the percentage level. The interaction of planting date and combined use of nitrogen fertilizer with compost fertilizer was significant

on soil organic matter traits, soil temperature, soil porosity, number of seeds per square meter, 1000 seed weight and seed yield. The interaction of planting date in growth promoting bacteria on soil organic carbon and grain yield was significant. The interaction of the combined use of nitrogen fertilizer and compost fertilizer in growth-promoting rhizobacteria on organic carbon, pH and specific gravity of the soil was significant, and the interaction of planting date in the combined use of nitrogen fertilizer and compost fertilizer with growth-stimulating bacteria on soil organic carbon properties and yield the seed was significant. Comparison of the average data showed that the highest soil porosity (0.49), EC (4.56 dSm⁻¹) and organic carbon (1.12 %) were obtained from the soil treated with 100% compost. In general, the delay in planting and the occurrence of heat stress at the end of the season caused a decrease in grain yield, but in different planting dates, the combined use of 50% nitrogen fertilizer+ 50% organic fertilizer compared to the treatment of 100% nitrogen chemical fertilizer increased wheat grain yield.

Conclusion: The results of the experiment showed that the combined application of nitrogen fertilizer and sugarcane compost with growth-promoting bacteria had a significant effect on seed yield, so that the highest seed yield was obtained from the combination of 50% nitrogen fertilizer+ 50% compost. The use of sugarcane compost increased soil organic matter, porosity and EC.

Keywords: Organic fertilizer, Soil EC, Soil nitrogen, Soil organic carbon

اثر کاربرد تلفیقی کود شیمیایی نیتروژن، کمپوست بقایای نیشکر و باکتری محرک رشد بر صفات فیزیکی کود شیمیایی خاک و عملکرد گندم در شرایط تنش گرمای انتهای فصل اهواز

معصومه مکوندی^۱، عبدالمهدی بخشنده^۲، علی مشتقی^۳، محمد رضا مرادی تلاوت^۴ و آیدین خدایی جوقان^۵

۱. دانش آموخته دکتری اگروتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران
۲. استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران
۳. دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران
(A.Moshatati@asnrkh.ac.ir)

۴. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران

۵. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران

چکیده

به منظور بررسی اثر مصرف تلفیقی کود نیتروژنه با کمپوست بقایای نیشکر و باکتری محرک رشد بر صفات فیزیکی کود شیمیایی خاک و عملکرد گندم (رقم چمران ۲) در شرایط تنش گرمای آخر فصل اهواز، آزمایشی به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل سه تاریخ کاشت یک آذر، ۲۰ آذر و ۱۰ دی در کرت‌های اصلی، شش سطح مصرف تلفیقی نیتروژن با کمپوست شامل شاهد، ۱۰۰ درصد نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار)، ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۵ درصد کمپوست (۷/۵

تن در هکتار)، ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست (۱۵ تن در هکتار)، ۲۵ درصد نیتروژن + ۷۵ درصد کمپوست (۲۲/۵ تن در هکتار) و ۱۰۰ درصد کمپوست (۳۰ تن در هکتار) در کرت‌های فرعی و دو سطح کاربرد و عدم کاربرد باکتری در کرت‌های فرعی فرعی بود. مقایسه میانگین نشان داد که مصرف تلفیقی ۵۰ درصد کود نیتروژن + ۵۰ درصد کود کمپوست با باکتری محرک رشد باعث افزایش معنی‌دار نیتروژن خاک و عملکرد دانه شد. بیشترین عملکرد دانه در تاریخ کاشت اول (۵۸۶۴ کیلوگرم در هکتار) و کمترین عملکرد دانه در تاریخ کاشت سوم (۱۱۱۶ کیلوگرم در هکتار) از تیمار شاهد (بدون کود شیمیایی و آلی) به دست آمد. به طور کلی در تاریخ‌های کاشت مختلف، مصرف تلفیقی ۵۰ درصد کود نیتروژن + ۵۰ کود آلی نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، موجب افزایش ۹ تا ۱۸ درصدی عملکرد دانه گندم شد. همچنین بیشترین مقدار کربن آلی (۱/۱۲ درصد) و هدایت الکتریکی (EC) خاک (۴/۵۶ دسی‌زیمنس بر متر)، با مصرف ۱۰۰ درصد کمپوست و عدم کاربرد باکتری محرک رشد و کمترین میزان آن از تیمار شاهد حاصل شد. در رابطه با اثر کمپوست بر افزایش EC خاک، به دلیل شور بودن کمپوست نیشکر، EC خاک افزایش یافت. بیشترین تخلخل خاک (۰/۴۹)، با مصرف ۱۰۰ درصد کمپوست و کاربرد باکتری محرک رشد و کمترین آن (۰/۳۰) از تیمار شاهد به دست آمد که با تیمار تلفیقی تفاوت معنی‌دار داشت. کودهای آلی با ایجاد منافذ درشت، باعث بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک شد که این امر منجر به تسهیل نفوذ ریشه‌ها و آب و هوا و افزایش تخلخل خاک شد. به طور کلی نتایج نشان داد که کمپوست تهیه شده از بقایای نیشکر می‌تواند اصلاح‌کننده آلی مناسبی برای بهبود ماده آلی و کیفیت خاک و افزایش عملکرد گیاه باشد. بنابراین در صورت تکرار این آزمایش و تأیید این نتایج، می‌توان این یافته‌ها را توصیه نمود.

کلمات کلیدی: کربن آلی خاک، کود آلی، نیتروژن خاک، هدایت الکتریکی خاک

عنوان یک کود آلی در کشاورزی استفاده شوند (Chauhan *et al.*, 2011). یکی از روش‌های استفاده از پسماندهای نیشکر، کمپوست کردن آن‌ها است. در این فرآیند مواد زائد آلی با تبدیل شدن به یک ماده سالم‌تر و تثبیت شده‌تر (کمپوست) می‌توانند به عنوان یک منبع مغذی و اصلاح کننده شرایط فیزیکی خاک، در کشاورزی استفاده شوند (Gabhane *et al.*, 2012). کمپوست نیشکر یک ماده آلی پیت مانند است که باعث نرمی بافت خاک و افزایش تهویه، جذب رطوبت و ظرفیت نگهداری آب می‌شود. بنابراین گزارش‌های، مصرف کمپوست و تلفیق کمپوست با کود شیمیایی در مقایسه با تیمار شیمیایی، میزان نیتروژن کل خاک را افزایش داد (Mengistu *et al.*, 2017). نتایج پژوهشی حاکی از کاهش pH خاک در اثر استفاده از کودهای آلی و شیمیایی است (Ebrahimian *et al.*, 2017). همچنین کربن آلی موجود در کمپوست، عناصر غذایی را به آرامی و به طور یکنواخت در خاک آزاد کرده و گیاه را قادر به جذب عناصر غذایی می‌نماید. پژوهشگران گزارش دادند که کاربرد بیوجار باگاس نیشکر موجب افزایش کربن آلی خاک شد (Cui *et al.*, 2013). بنابراین گزارش محققان، کاربرد ورمی کمپوست در خاک، باعث اسفنجی شدن خاک و افزایش درصد تخلخل و در نهایت کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شد (MirzaeeTalarposhti *et al.*, 2009). بر اساس گزارش‌ها؛ با مصرف ورمی کمپوست، دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی افزایش یافته و در نتیجه باعث افزایش عملکرد دانه گندم شد (Shahbazi *et al.*, 2015).

استفاده از پتانسیل زیستی خاک یا جامعه مفید میکروبی اعم از باکتری‌ها و قارچ‌ها به عنوان یک راهکار امید بخش در کشاورزی پایدار مطرح است (Sarikhani and Amini, 2019). این راهبرد یعنی استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه جهت افزایش تحمل گیاهان زراعی در برابر تنش‌های غیر زیستی از جمله تنش خشکی نه تنها آسان، بلکه کم هزینه و اقتصادی است (Kim *et al.*, 2012). کود زیستی

در نواحی مدیترانه‌ای از جمله ایران، وقوع تنش گرما بعد از گرده‌افشانی به دلیل وقوع دوره‌های کوتاه با دماهای بالا (بیش از ۳۵ درجه سانتی‌گراد) در طی پر شدن دانه گندم و تاخیر در کاشت و برخورد دوره پر شدن دانه با دمای بالای آخر فصل رشد، منجر به کاهش عملکرد دانه گندم می‌شود (Mojtabaie Zamani *et al.*, 2014). در اثر تنش گرمای انتهای فصل، دانه‌های چروکیده و کوچک تولید می‌شوند و صفات مختلفی مانند تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Hammam and Khaled, 2009). در آزمایشی کشت دیرهنگام و برخورد مرحله گلدهی ارقام گندم با تنش گرمای انتهای فصل و همچنین تأثیر پذیرفتن اجزای عملکرد از شرایط تنش، باعث کاهش ۴۶ درصدی عملکرد دانه شد (Musavi *et al.*, 2021).

نیتروژن، اصلی‌ترین عنصر معدنی محدود کننده تولیدات زراعی است که از طریق ایجاد و حفظ ظرفیت فتوسنتزی، در افزایش عملکرد نقش اساسی دارد، به همین دلیل به صورت کود شیمیایی در سطح وسیع استفاده می‌شود (Dou *et al.*, 2017). افزایش کاربرد کود نیتروژن برای تولید گیاهان زراعی اصلاح شده نه تنها باعث افزایش هزینه‌های تولید شده و بار اقتصادی زیادی را بر دوش کشاورزان گذاشته است، بلکه اثر منفی زیادی بر محیط زیست می‌گذارد (Gaju *et al.*, 2016).

بروز مشکلات اقتصادی و زیست محیطی ناشی از مصرف زیاد کودهای شیمیایی نیتروژنی در نتیجه فرآیندهایی چون تصعید آمونیاک، دنیتریفیکاسیون و آبشویی نترات سبب شده که کمپوست‌ها و سیستم‌های زیستی تثبیت کننده نیتروژن به عنوان بخشی از برنامه‌های کشاورزی پایدار به عنوان جایگزین کودهای شیمیایی مدنظر باشند (Raei *et al.*, 2013). بقایای نیشکر با داشتن مواد مغذی می‌توانند به

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی اهواز و در حاشیه شرقی رودخانه کارون با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۸ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۸۸ دقیقه و ارتفاع ۲۲ متر از سطح دریا اجرا شد. بر اساس آمار هواشناسی بلند مدت، شهر ملائانی با داشتن متوسط بارندگی سالیانه حدود ۲۱۳ میلی‌متر، متوسط دمای حداقل، میانگین و حداکثر به ترتیب ۹/۵، ۲۳ و ۳۶ درجه سانتی‌گراد، از لحاظ اقلیمی جزو مناطق خشک و نیمه خشک است (جدول ۱).

نیتروکسین حاوی باکتری‌های محرک رشد گیاه شامل باکتری‌های تثبیت کننده نیترژن (مخلوطی از گونه‌های ازتوباکتر و آروسپیریوم) و حل کننده فسفات (باسیلوس و سودوموناس) است. در این راستا نتایج آزمایشی نشان داد که استفاده تلفیقی از کودهای آلی و زیستی باعث افزایش نیترژن خاک شد (Mohith *et al.*, 2011). پژوهشگران گزارش دادند که باکتری‌هایی همچون ازتوباکتر، سودوموناس و آروسپیریوم موجب افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Bilal *et al.*, 2017).

با توجه به اثر تنش گرمایی آخر فصل بر کاهش تولید گندم در خوزستان و همچنین مقادیر فراوان کمپوست نیشکر در مراکز تولید نیشکر و لزوم بهره‌گیری از این ماده به عنوان کود آلی در زراعت منطقه و احتمال تأثیرپذیری عملکرد و کیفیت گیاه و خاک از کاربرد این ماده و برهم کنش آن با کود شیمیایی و زیستی، پژوهش حاضر طراحی و اجرا شد.

Table 1- Monthly average of minimum, mean and maximum temperatures and precipitation during wheat growth cycle in growing season of 2021-2022

Month	Minimum temperature (°C)	Mean temperature (°C)	Maximum temperature (°C)	Precipitation (mm)
Dec.	10.7	17.2	23.7	44.1
Jan.	6.5	12.5	18.2	65.1
Feb.	7.8	13.6	20.6	13.4
Mar.	11.7	18.4	21.5	4.3
Apr.	14.7	23.6	32.5	0
May	20.1	27.7	36.3	0
Jun.	23.8	34.0	44.1	0

و ۱۰۰ درصد کود آلی در کرت‌های فرعی و عامل سوم: کود نیتروکسین حاوی باکتری‌های محرک رشد (نیتروکسین) در ۲ سطح کاربرد و عدم کاربرد در کرت‌های فرعی بود. برای تلقیح بذرها، پس از محاسبه میزان بذر برای هر تیمار و ریختن آنها در یک کیسه پلی اتیلن، مقدار ۲۰ میلی‌لیتر صمغ عربی به آن اضافه و برای مدت ۳۰ ثانیه به شدت تکان داده شد تا سطح کلیه بذرها به طور یکنواخت چسبناک شود. پس از آن، مقدار ۲۰ گرم مایه تلقیح به بذرها چسبناک اضافه شد و پس از ۴۵ ثانیه تکان دادن و اطمینان از چسبیدن یکنواخت مایه تلقیح به بذرها، بذرها آغشته به مایه تلقیح

این آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اول: تاریخ کاشت (جهت اعمال تنش گرمایی آخر فصل) در سه سطح ۱ آذر، ۲۰ آذر و ۱۰ دی به عنوان عامل اصلی در کرت‌های اصلی؛ عامل دوم: نسبت‌های مختلف مصرف تلفیقی کود شیمیایی نیترژنه (اوره) با کود آلی کمپوست بقایای نیشکر در کرت‌های فرعی در ۶ سطح شامل: شاهد (بدون کود نیترژن و آلی)، ۱۰۰ درصد کود نیترژن، ۷۵ درصد کود نیترژن+ ۲۵ درصد کود آلی، ۵۰ درصد کود نیترژن+ ۵۰ درصد کود آلی، ۲۵ درصد کود نیترژن+ ۷۵ درصد کود آلی

گاوآهن برگردان دار، دو مرحله دیسک در جهت عمود بر هم و تسطیح زمین بود. قبل از کاشت، نمونه برداری از خاک جهت ارزیابی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک صورت گرفت (جدول ۲). همچنین کود کمپوست بقایای نیشکر از شرکت کشت و صنعت کارون شوشتر تهیه و خصوصیات شیمیایی و فیزیکی آن اندازه گیری شد (جدول ۲).

روی ورقه آلومینیومی تمیز در زیر سایه پهن شد تا بذرها خشک شوند. درصد جایگزینی کود شیمیایی نیتروژنه و کود آلی کمپوست بقایای نیشکر بر مبنای نیاز گندم به نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) محاسبه و بر اساس تیمار، میزان مصرف کود نیتروژنه و کود کمپوست محاسبه و مصرف شد (LotfAli-Ayeneh *et al.*, 2013). آماده سازی فیزیکی زمین شامل آبیاری قبل از شخم (ماخار)، شخم نیمه عمیق با

Table 2- Physical and chemical properties of soil (0-30 cm) and sugarcane residue compost

Physical and chemical properties	Soil	Sugarcane residue compost
EC (dS m ⁻¹)	2.6	4.1
pH	7.9	8.8
Organic matter (%)	0.4	53.5
N (%)	0.03	0.95
P (mg kg ⁻¹)	12	50
K (mg kg ⁻¹)	119	1050
Bulk density (g cm ⁻³)	1.21	-
Soil texture	Loam silty clay	-

در نظر گرفته شد. بذره‌های گندم (رقم چمران ۲) با تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع به روش دستی در عمق حدود سه سانتی متری به صورت مسطح در کف شیار قرار گرفت. رقم چمران ۲؛ بهاره، نسبتاً زودرس و نسبت به خوابیدگی، ریزش دانه، زنگ زرد و قهوه‌ای و گرمای آخر فصل متحمل بوده و برای مناطق گرم و خشک جنوب کشور مثل استان خوزستان مناسب است (Malihipoor *et al.*, 2020). آبیاری متناسب با نیاز گیاه، رطوبت خاک و شرایط آب و هوایی انجام شد. کنترل علف‌های هرز به صورت دستی و بدون استفاده از علف کش انجام شد. پس از رسیدن گیاه به مرحله رسیدگی کامل، برداشت با در نظر گرفتن اثر حاشیه از دو متر مربع انجام و عملکرد دانه در متر مربع و در هکتار بر اساس رطوبت ۱۴ درصد از طریق توزین نهایی عملکرد دانه در سطح برداشتی و تبدیل آن به هکتار اندازه گیری شد. درصد نیتروژن خاک به روش هضم، تقطیر و تیتراسیون با دستگاه کج‌لدال مدل WDO- Hannon (Huffman *et al.*, 1991)، درصد کربن آلی خاک به روش Walkley and Black (1934)، هدایت الکتریکی خاک توسط دستگاه هدایت سنج به روش Black *et al.* (1965) pH خاک توسط دستگاه pH متر به روش

کود کمپوست بقایای نیشکر توزین و در مرحله قبل از کاشت در کرت‌های آزمایشی مورد نظر پخش شده و توسط دستگاه کولتیواتور با خاک مخلوط شد. باکتری‌های محرک رشد مورد استفاده در این آزمایش (با نام تجاری نیتروکسین)، شامل باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن (مخلوطی از گونه‌های ازتوباکتر و آزوسپیریلوم) و حل کننده فسفات (باسیلوس و سودوموناس) است که از شرکت فناوری زیستی مهر آسیا تهیه شد. تعداد سلول زنده در هر گرم مایه تلقیح ترکیب نیتروکسین ۱۰^۸ عدد باکتری زنده است. در تیمارهای کاربرد باکتری‌های محرک رشد، بذور در زمان قبل از کاشت با مایه تلقیح باکتری طبق راهنمای محصول آغشته شد. مقدار مصرف نیتروژن در تیمار ۱۰۰ درصد شیمیایی، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن) بود که به صورت یک سوم قبل از کاشت، یک سوم در مرحله پنجه زنی و یک سوم در مرحله ساقه رفتن مصرف شد (LotfAli-Ayeneh *et al.*, 2013). هر کرت فرعی به طول سه متر و عرض دو متر (با مساحت شش متر مربع) و شامل ۱۰ خط کشت به فاصله ۲۰ سانتی متر از هم بود. فاصله بین کرت‌های اصلی و فرعی نیم متر و فاصله بین بلوک‌ها دو متر

شد. در شرایط تنش گرما، ریشه گیاهان دسترسی کمتری به آب داشته و این امر باعث کاهش جذب نیتروژن توسط گیاه و افزایش غلظت آن در خاک می‌شود. نتایج آزمایش Choopan *et al.* (2018) نشان داد که تنش آبی سبب افزایش نیتروژن خاک شد که این امر می‌تواند به دلیل کاهش رطوبت و انحلال نیتروژن در خاک و عدم استفاده آن توسط گیاه باشد (Sharma *et al.*, 2007). مقایسه میانگین مصرف تلفیقی کود شیمیایی و کود کمپوست در باکتری محرک رشد نشان داد که بیشترین مقدار نیتروژن خاک (۱/۳۸ درصد) و کمترین میزان آن (۰/۹۳ درصد) به ترتیب از مصرف تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست با باکتری محرک رشد و تیمار شاهد و عدم کاربرد باکتری محرک رشد به دست آمد (جدول ۵). در تیمارهای تلفیقی ورمی کمپوست، کود مرغی و کود زیستی، افزایش نیتروژن به دلیل معدنی شدن نیتروژن آلی موجود در کود، حفظ نیتروژن بیشتر در خاک و کاهش هدررفت آن به واسطه آلی شدن، آبشویی و دنتریفیکاسیون (نترات زدایی) است (Timsina, 2018).

Black *al.* (1965)، دمای خاک توسط دماسنج ترموکوبل در مرحله گرده افشانی، جرم مخصوص ظاهری خاک به روش Blake and Hartage (1986) و تخلخل خاک با استفاده از چگالی ظاهری و حقیقی به روش Blake and Hartage (1986) اندازه گیری شدند. برای تجزیه آماری داده‌ها و مقایسه میانگین صفات به روش حداقل تفاوت معنی دار (LSD) از نرم افزار آماری (SAS9.4) استفاده شد.

نتایج و بحث

درصد نیتروژن خاک: تجزیه واریانس نشان داد که اثر تاریخ کاشت، مصرف تلفیقی کود نیتروژن و کمپوست، باکتری محرک رشد و برهم کنش مصرف تلفیقی کود نیتروژن و کود کمپوست با باکتری محرک رشد بر نیتروژن خاک معنی دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار نیتروژن خاک (۱/۱۷ درصد) در تاریخ کاشت سوم و کمترین مقدار آن (۱/۱۵ درصد) در تاریخ کاشت اول به دست آمد (جدول ۴). نتایج آزمایش حاکی از آن است که افزایش دما در تاریخ کاشت سوم باعث افزایش نیتروژن خاک

Table 3- Variance analysis of the effect of using a combination of nitrogen with sugarcane residue compost and plant growth stimulating rhizobacteria under final heat stress conditions for soil nitrogen, soil organic carbon, soil ec, soil ph, soil specific gravity, soil porosity and wheat yield.

S.O.V	D F	Means of squares (MS)							
		Soil nitrogen	Soil organic carbon	Soil EC	Soil pH	Soil temperature	Specific gravity of soil	Soil porosity	Grain yield
Block (R)	2	0.0002	0.004	0.003	0.05	0.30	0.001	0.0001	3148
Sowing date (SD)	2	0.006**	0.18**	0.01 ^{ns}	0.006 ^{ns}	409**	0.0001 ^{ns}	0.00002 ^{ns}	19644945**
Error (a)	4	0.00005	0.0002	0.009	0.0002	0.08 ^{ns}	0.0001	0.00001	3560
Nitrogen×compost (NC)	5	0.44**	0.99**	3.55**	5.8**	61.54**	0.72**	0.10**	19980879**
SD×NC	10	0.00002 ^{ns}	0.0008**	0.009 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.43**	0.00004 ^{ns}	0.000005 ^{ns}	256507**
Error (b)	30	0.0001	0.0001	0.009	0.004	0.15	0.0002	0.00003	4830
Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR)	1	0.03**	0.05**	0.47**	1.10**	27.50**	0.05**	0.007**	965828**
SD×PGPR	2	0.0002 ^{ns}	0.001**	0.008 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	61478**
NC×PGPR	5	0.0004**	0.0006**	0.01 ^{ns}	0.009*	0.12 ^{ns}	0.003**	0.0004**	2685 ^{ns}
SD×NC×PGPR	10	0.00005 ^{ns}	0.0001**	0.009 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.000002 ^{ns}	16315*
Error (c)	36	0.00009	0.00004	0.009	0.003	0.12	0.00007	0.00001	6924
CV (%)	-	0.83	0.89	2.41	0.83	2.54	0.55	0.77	2.36

Ns, * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

کربن آلی خاک: اثر تاریخ کاشت، مصرف تلفیقی کود نیتروژن و کود کمپوست و باکتری محرک رشد و همچنین برهم کنش تاریخ کاشت در مصرف تلفیقی کود نیتروژن و کود کمپوست، تاریخ کاشت در باکتری محرک رشد و تاریخ کاشت در مصرف تلفیقی کود نیتروژن و کود کمپوست و باکتری محرک رشد بر کربن آلی خاک در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم کنش تاریخ کاشت در مصرف تلفیقی کود نیتروژن و کود کمپوست در باکتری محرک رشد نشان داد که بیشترین درصد کربن آلی خاک در تاریخ کاشت اول، دوم و سوم (به ترتیب ۱/۱۲، ۱/۰۴ و ۰/۹۶ درصد)، از تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کمپوست و عدم کاربرد باکتری محرک رشد و کمترین مقدار آن (به ترتیب ۰/۴۳، ۰/۳۹ و ۰/۳۲ درصد) از تیمار شاهد با کاربرد باکتری محرک رشد به دست آمد (جدول ۶). کاهش ذخیره کربن آلی خاک به دلیل افزایش سرعت تجزیه مواد آلی ناشی از افزایش دما توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Zhou, 2019). در رابطه با اثر مثبت کود کمپوست بر صفت کربن آلی خاک نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد کود کمپوست به تنهایی نسبت به کاربرد تلفیقی و کود شیمیایی، کربن آلی خاک بیشتری داشت. دلیل این امر به فعالیت آنزیمی بیشتر (دی هیدروژناز، فسفاتاز و غیره) و میکروارگانیسم‌های فعال تر خاک نسبت

داده شده است (Adak *et al.*, 2014). در پژوهشی با افزایش کاربرد کود کمپوست، میزان کربن آلی خاک افزایش یافت (Kapoor *et al.*, 2004). در رابطه با باکتری محرک رشد این نتیجه کاملاً قابل انتظار بود چرا که منبع تأمین انرژی میکروارگانیسم‌ها، کربن آلی موجود در خاک است (Mohith *et al.*, 2011). بنابراین، به نظر می‌رسد که کودهای زیستی از طریق تولید هورمون و تشدید فعالیت میکروارگانیسم‌ها، موجب تسریع تجزیه کربن آلی خاک و کاهش آن شده باشند. همچنین باکتری‌های محرک رشد بخشی از مواد آلی افزوده شده به خاک را به صورت زیست توده میکروبی در خود ذخیره می‌کنند. مواد آلی خاک ارتباط و همبستگی بالایی با فعالیت‌های میکروبی دارد. میکروارگانیسم‌ها نقش مهمی در تجزیه و تخریب مواد آلی خاک و معدنی شدن آن دارند و با ادامه فرآیند معدنی شدن، ترکیبات پایدارتر مواد آلی در خاک تجمع می‌یابند. زیست توده میکروبی خاک به واسطه فعالیت خود، اغلب کنترل کننده تغییر و تحول کربن خاک هستند (Enayati Zamir *et al.*, 2020). نتایج آزمایشی نشان داد که بیشترین درصد ماده آلی خاک (۱/۵۳ درصد) در ۱۰۰ درصد فیلتر کیک و عدم مصرف کود زیستی (به دلیل افزایش فعالیت آنزیمی و میکروبی و تجزیه کربن) مشاهده شد (Manjezi *et al.*, 2014).

Table 4- Mean comparison of the effect of planting date for soil nitrogen

Sowing date	Soil nitrogen (%)
22 Nov.	1.15 ^a
11 Dec.	1.16 ^b
31 Dec.	1.17 ^c

Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test

ترتیب از مصرف ۱۰۰ درصد کمپوست و شاهد به دست آمد (جدول ۸). در هر سه تاریخ کاشت؛ با افزایش مقدار کمپوست، EC خاک افزایش یافت. موافق با نتایج به دست آمده، Manjezi *et al.* (2014) گزارش کردند که با افزایش سطوح فیلتر کیک نیشکر نسبت به سطوح شیمیایی، شوری خاک افزایش یافت. با توجه به این که گندم گیاهی

EC خاک: تجزیه واریانس نشان داد که اثر مصرف تلفیقی کود نیتروژن و کود کمپوست و همچنین اثر باکتری محرک رشد بر EC خاک در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین مصرف تلفیقی کود نیتروژن و کود کمپوست نشان داد که بیشترین EC خاک (۴/۵۶ دسی زیمنس بر متر) و کمترین آن (۳/۳۷ دسی زیمنس بر متر) به

(جدول ۹). نتایج به دست آمده نشان داد که کاربرد باکتری محرک رشد باعث کاهش EC خاک شد که با نتایج Motileji et al. (2019) مطابقت داشت، ایشان گزارش نمودند که بیشترین EC خاک مربوط به کاربرد ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار فیلتر کیک که فاقد باکتری بودند اتفاق افتاد و هر دو باکتری باسیلوس و انتروباکتر، باعث کاهش هدایت الکتریکی خاک شدند. این موضوع می تواند به دلیل رشد بهتر گیاه در این تیمارها و جذب بیشتر عناصر غذایی و نیز ایجاد تعادل بهتر در خاک توسط گیاه و باکتری باشد.

نیمه متحمل به شوری است، احتمالاً افزایش شوری خاک به این نسبت، عملکرد گندم را چندان تحت تأثیر قرار نمی دهد. افزایش هدایت الکتریکی خاک با مصرف کمپوست و کودهای آلی گزارش شده است و بر شستشوی کافی این مواد تا حدی که شوری را به حد قابل تحمل گیاه برساند، تأکید شده است (Ighball, 2002). مقایسه میانگین باکتری محرک رشد نشان داد که بیشترین EC خاک (۴/۱۱) دسی زیمنس بر متر) و کمترین آن (۳/۹۸) دسی زیمنس بر متر) به ترتیب از عدم کاربرد و کاربرد باکتری محرک رشد به دست آمد

Table 5- Mean comparison of the average effect of combined application of nitrogen and compost fertilizers with plant growth stimulating bacteria for soil nitrogen, pH, specific gravity and soil porosity

Combined use of nitrogen with compost	Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR)	Soil nitrogen (%)	pH	Specific gravity of soil (gcm ⁻³)	Soil porosity
Control	Application	0.96 ^l	7.57 ^b	1.81 ^b	0.31 ^l
	Not application	0.95 ^k	7.84 ^a	1.83 ^a	0.30 ^k
100% nitrogen	Application	1.18 ^f	7.16 ^d	1.74 ^d	0.34 ^h
	Not application	1.22 ^e	7.37 ^c	1.76 ^c	0.33 ⁱ
75% nitrogen+ 25% compost	Application	1.26 ^d	6.84 ^f	1.51 ^f	0.42 ^f
	Not application	1.31 ^c	7.01 ^e	1.60 ^e	0.39 ^g
50% nitrogen+ 50% compost	Application	1.35 ^b	6.57 ^g	1.41 ^h	0.46 ^d
	Not application	1.38 ^a	6.80 ^f	1.48 ^g	0.44 ^e
25% nitrogen+ 75% compost	Application	1.11 ^h	6.27 ⁱ	1.35 ^j	0.48 ^b
	Not application	1.15 ^g	6.48 ^h	1.40 ⁱ	0.47 ^c
100% compost	Application	1.02 ^j	6.11 ^j	1.32 ^k	0.49 ^a
	Not application	1.05 ⁱ	6.24 ⁱ	1.35 ^j	0.49 ^b

Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSD test

معدنی و آلی نظیر اسید لاکتیک، اسید استیک، اسیدهای آمینه و غیره باشد (Khoshgoftar Manesh and Kalbasi, 2001). (Ahmedabadi et al. (2011) گزارش دادند که کاربرد ورمی کمپوست در خاک، بر واکنش خاک اثر گذاشته و آن را کاهش داد که بیشترین کاهش pH در ۴۰ تن در هکتار ورمی کمپوست (۲/۸۷ درصد) و ۴۰ تن در هکتار ورمی کمپوست غنی شده با کود شیمیایی (۲/۵ درصد) نسبت به شاهد به دست آمد. در رابطه با اثر باکتری های محرک رشد بر pH خاک، نتایج آزمایش (Shahdi Komleh, (2020) نشان داد که کاربرد باکتری های محرک رشد موجب کاهش pH خاک از ۶/۷ به ۶ شد که می توان این کاهش را به کلونیزه شدن باکتری ها در خاک و تولید اسیدهای آلی و متابولیت های

pH خاک: اثر مصرف تلفیقی کود نیتروژن و کمپوست و اثر باکتری محرک رشد بر pH خاک در سطح احتمال یک درصد و همچنین برهم کنش مصرف تلفیقی کود نیتروژن و کود کمپوست در باکتری محرک رشد در سطح احتمال پنج درصد بر این صفت معنی دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم کنش مصرف تلفیقی کود نیتروژن و کود کمپوست در باکتری محرک رشد نشان داد که بیشترین pH خاک (۷/۸۴) و کمترین آن (۶/۱۱) به ترتیب در تیمار شاهد و مصرف ۱۰۰ درصد کمپوست با کاربرد باکتری محرک رشد به دست آمد (جدول ۵). نتایج نشان داد که با افزایش مصرف نسبت های کمپوست به نیتروژن نسبت به شاهد، pH خاک کاهش معنی داری داشت که احتمالاً می تواند به علت حضور اسیدهای

کمترین درصد کلوانیزاسیون ریشه را داشت و بیشترین آن در تیمار تلفیقی مایکوریزا و نیتروکسین مشاهده شد (Kamaei *et al.*, 2016).

ثانویه توسط آن‌ها نسبت داد. در بررسی اثر کاربرد کودهای زیستی، شیمیایی و آلی و تلفیقی آن‌ها بر درصد کلوانیزاسیون سورگوم گزارش شد که کود تلفیقی مایکوریزا و کود شیمیایی NPK، بعد از تیمار بدون تلفیح قارچ (شاهد)،

Table 6- Mean comparison of the average interaction effect of planting date and nitrogen and compost fertilizers with plant growth promoting bacteria for soil organic carbon and grain yield

Sowing date	Combined use of nitrogen with compost	Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR)	Soil organic carbon (%)	Grain yield (kg ha ⁻¹)
22 Nov.	Control	Application	0.43 ^l	2936 ^j
		Not application	0.47 ^k	2705 ^k
	100% nitrogen	Application	0.61 ^j	4942 ^c
		Not application	0.65 ⁱ	4636 ^e
	75% nitrogen+ 25% compost	Application	0.70 ^h	5007 ^c
		Not application	0.77 ^g	4800 ^d
	50% nitrogen+ 50% compost	Application	0.84 ^f	5864 ^a
		Not application	0.91 ^e	5462 ^b
	25% nitrogen+ 75% compost	Application	1.00 ^d	3864 ^f
		Not application	1.04 ^c	3627 ^g
	100% compost	Application	1.07 ^b	3277 ^h
		Not application	1.12 ^a	3069 ⁱ
11 Dec.	Control	Application	0.39 ^l	2291 ^f
		Not application	0.42 ^k	2066 ^g
	100% nitrogen	Application	0.58 ^j	4438 ^c
		Not application	0.62 ⁱ	4483 ^{bc}
	75% nitrogen+ 25% compost	Application	0.64 ^h	4632 ^b
		Not application	0.71 ^g	4443 ^c
	50% nitrogen+ 50% compost	Application	0.79 ^f	4873 ^a
		Not application	0.85 ^e	4873 ^a
	25% nitrogen+ 75% compost	Application	0.94 ^d	3245 ^d
		Not application	0.97 ^c	3161 ^d
	100% compost	Application	0.99 ^b	2718 ^e
		Not application	1.04 ^a	2564 ^e
31 Dec.	Control	Application	0.32 ^l	1193 ⁱ
		Not application	0.34 ^k	1115 ^j
	100% nitrogen	Application	0.48 ^j	3393 ^c
		Not application	0.51 ⁱ	3173 ^d
	75% nitrogen+ 25% compost	Application	0.57 ^h	3694 ^a
		Not application	0.61 ^g	3410 ^c
	50% nitrogen+ 50% compost	Application	0.71 ^f	3723 ^a
		Not application	0.72 ^e	3520 ^b
	25% nitrogen+ 75% compost	Application	0.87 ^d	2699 ^e
		Not application	0.89 ^c	2423 ^f
	100% compost	Application	0.93 ^b	2235 ^g
		Not application	0.96 ^a	2089 ^h

Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSD test

درصد معنی دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین تاریخ کاشت در مصرف تلفیقی نیتروژن با کمپوست نشان داد که در تاریخ کاشت اول؛ بیشترین دمای خاک (۱۲/۷۵ درجه سانتی گراد) و کمترین آن (۷/۶۶ درجه سانتی گراد) به ترتیب از شاهد و

دمای خاک: تجزیه واریانس نشان داد که اثر تاریخ کاشت، مصرف تلفیقی نیتروژن و کمپوست و باکتری محرک رشد و همچنین برهم کنش تاریخ کاشت در مصرف تلفیقی کود نیتروژن با کود کمپوست بر دمای خاک در سطح احتمال یک

مقدار رطوبت را به تیمار ۲۵ تن در هکتار کمپوست نسبت دادند که نسبت به شاهد ۱۶/۶ درصد رطوبت بیشتری داشت (Gelik *et al.*, 2004). به نظر می‌رسد که مصرف تلفیقی نیتروژن و کمپوست با افزایش رطوبت خاک و کاهش تلفات رطوبت در اثر تبخیر و داشتن درصد نیتروژن قابل توجه، باعث افزایش شاخص‌های رشدی مانند شاخص سطح برگ و در نتیجه کاهش دمای خاک شده است. بر اساس مقایسه میانگین باکتری محرک رشد، بیشترین دمای خاک (۱۴/۱۲ درجه سانتی‌گراد) و کمترین آن (۱۳/۱۱ درجه سانتی‌گراد) به عدم کاربرد و کاربرد باکتری محرک رشد تعلق داشت (جدول ۹). در رابطه با اثر باکتری محرک رشد، به نظر می‌رسد که کاربرد این باکتری‌ها به دلیل فراهمی بیشتر عناصر غذایی و همچنین اثرات ثانویه باکتری‌ها در فراهم کردن تنظیم‌کننده‌های رشد می‌تواند در افزایش شاخص سطح برگ و به دنبال آن کاهش تبخیر از سطح خاک و افزایش رطوبت خاک، در کاهش دمای خاک مؤثر باشد.

مصرف تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست به‌دست آمد. در تاریخ کاشت دوم و سوم بیشترین مقدار (۱۵/۳۳ و ۱۹/۶۶ درجه سانتی‌گراد) و کمترین مقدار آن (۱۰/۶۶ و ۱۳/۵۸ درجه سانتی‌گراد) به ترتیب از تیمار شاهد و مصرف تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست به‌دست آمد (جدول ۷). در توجیه کاهش دمای خاک در تاریخ کاشت اول می‌توان اظهار داشت که با توجه به شرایط آب و هوایی مناسب در تاریخ کاشت اول (۱ آذر) و در نتیجه شاخص سطح برگ بالاتر و ایجاد سایه انداز بیشتر و همچنین پوشش بیشتر خاک توسط گیاه و کاهش تبخیر از سطح خاک، دمای خاک نسبت به تاریخ‌های کاشت تاخیری کمتر بود. نتایج به دست آمده با گزارش Mazlom Aliabadi *et al.* (2019) مطابقت داشت. به نظر می‌رسد در تیمار تلفیقی کود نیتروژن و کمپوست، نگهداری بیشتر آب در خاک و توسعه بیشتر کانوپی گیاه باعث کاهش دمای خاک شده است. در آزمایشی با کاربرد کود شیمیایی، ۲۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و ۲۵ تن در هکتار کود دامی، افزایش

Table 7- Mean comparison of the average interaction of planting date and the combined consumption of nitrogen fertilizer with compost fertilizer for soil temperature

Sowing date	Combined use of nitrogen with compost	Soil temperature (°C)
22 November	Control	12.75 ^a
	100% nitrogen (F2)	9.83 ^d
	75% nitrogen+ 25% compost (F3)	9.66 ^d
	50% nitrogen+ 50% compost (F4)	7.66 ^e
	25% nitrogen+ 75% compost (F5)	10.66 ^c
	100% compost (F6)	11.83 ^b
11 December	Control	15.33 ^a
	100% nitrogen (F2)	12.66 ^d
	75% nitrogen+ 25% compost (F3)	12.66 ^d
	50% nitrogen+ 50% compost (F4)	10.66 ^e
	25% nitrogen+ 75% compost (F5)	13.91 ^c
	100% compost (F6)	14.66 ^b
31 December	Control	19.66 ^a
	100% nitrogen (F2)	16.66 ^d
	75% nitrogen+ 25% compost (F3)	16.58 ^d
	50% nitrogen+ 50% compost (F4)	13.58 ^e
	25% nitrogen+ 75% compost (F5)	17.66 ^c
	100% compost (F6)	18.58 ^b

Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test

Table 8- Mean comparison of the effect combined use of nitrogen fertilizer with compost fertilizer for soil EC

Combined use of nitrogen fertilizer with compost fertilizer	EC (dS/m)
Control	3.37 ^f
100% nitrogen 100% nitrogen	3.70 ^e
75% nitrogen+ 25% compost	4.03 ^d
50% nitrogen+ 50% compost	4.26 ^c
25% nitrogen+ 75% compost	4.35 ^b
100% compost	4.56 ^a

Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSD test

یافت. محققان در آزمایشی با کاربرد ورمی کمپوست در خاک بیان نمودند که این نوع کود باعث اسفنجی شدن خاک و افزایش درصد تخلخل و در نهایت کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شد (Mirzaee Talaposhti *et al.*, 2009). در آزمایشی کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمارهای قارچ میکوریزا آربسکولار گزارش شد (Farhadi *et al.*, 2017). میکوریزا از طریق اتصال ذرات خاک به یکدیگر، باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها و در نتیجه بهبود ساختمان خاک و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود (Milleret *et al.*, 2009).

جرم مخصوص ظاهری خاک: اثر مصرف تلفیقی نیتروژن و کمپوست و باکتری محرک رشد و همچنین برهم کنش مصرف تلفیقی نیتروژن و کمپوست در باکتری محرک رشد بر جرم مخصوص ظاهری خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). طبق مقایسه میانگین برهم کنش مصرف تلفیقی نیتروژن و کمپوست در باکتری محرک رشد، بیشترین مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک (۱/۸۳ گرم بر سانتی متر مکعب) در شاهد و کمترین مقدار آن (۱/۳۲ گرم بر سانتی متر مکعب) در ۱۰۰ درصد کمپوست با کاربرد باکتری محرک رشد مشاهده شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد که در کاربرد تلفیقی کود آلی و کود زیستی، به دلیل افزایش ماده آلی خاک و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک و نیتروژن خاک و همچنین افزایش رشد ریشه؛ فشرده‌گی و وزن مخصوص ظاهری خاک کاهش

Table 9- Mean comparison of the average effect of plant growth stimulating bacteria for soil EC and soil temperature

Plant growth promoting rhizobacteria	EC (dS/m ⁻¹)	Soil temperature (°C)
Application	3.98 ^b	13.11 ^b
Not application	4.11 ^a	14.12 ^a

Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSD test

که بیشترین تخلخل خاک (۰/۴۹) و کمترین مقدار آن (۰/۳۰)، به ترتیب از مصرف ۱۰۰ درصد کمپوست با کاربرد باکتری محرک رشد و شاهد به دست آمد (جدول ۵). نتایج آزمایش Ahmad Abadi and Ghajar Sepanlou (2011) نشان داد که کاربرد کمپوست، ورمی کمپوست و لجن فاضلاب، بر میزان تخلخل خاک اثر معنی‌دار داشت و

تخلخل خاک: تجزیه واریانس نشان داد که مصرف تلفیقی نیتروژن و کمپوست و باکتری محرک رشد و همچنین برهم کنش مصرف تلفیقی نیتروژن و کمپوست در باکتری محرک رشد بر تخلخل خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم کنش مصرف تلفیقی نیتروژن و کمپوست با باکتری محرک رشد نشان داد

بیشترین مقدار تخلخل در ۴۰ تن در هکتار کمپوست و ۴۰ تن در هکتار لجن فاضلاب بود که نسبت به شاهد به ترتیب ۳۲ و ۳۰/۸۱ درصد افزایش داشت. کاربرد کمپوست به عنوان یک ماده آلی موجب افزایش فعالیت ریشه و ماکروفون خاک از جمله کرم‌های خاکی شده که در نهایت موجب افزایش تخلخل خاک و کاهش جرم ویژه ظاهری خاک می‌شود (Salimpour, 2020). در رابطه با اثر مثبت باکتری محرک رشد بر تخلخل خاک نتایج تحقیقی نشان داد که تیمارهای مایه‌زنی شده با قارچ میکوریزا، تخلخل خاک را افزایش دادند (Hidayat et al., 2017). پژوهشگران گزارش نمودند که دلیل افزایش تخلخل خاک از طریق ایجاد منافذ ریز و متوسط فراوان در تیمارهای قارچی در مقایسه با تیمار شاهد به علت کاهش چشمگیر در جرم مخصوص ظاهری خاک بوده است (Heydari et al., 2020).

عملکرد دانه: تجزیه واریانس داده‌های عملکرد دانه نشان داد که اثر تاریخ کاشت، مصرف تلفیقی کود نیتروژن و کود کمپوست و باکتری محرک رشد و همچنین برهم‌کنش عامل‌های تاریخ کاشت در مصرف تلفیقی کود نیتروژن و کود کمپوست و تاریخ کاشت در باکتری محرک رشد بر صفت عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و همچنین بر هم‌کنش سه گانه تاریخ کاشت در مصرف تلفیقی کود نیتروژن و کود کمپوست با باکتری محرک رشد در سطح احتمال پنج درصد بر صفت عملکرد دانه معنی‌دار بود. بر اساس جدول مقایسه میانگین داده‌ها به روش برش‌دهی فیزیکی در تاریخ کاشت اول، دوم و سوم به ترتیب بیشترین مقدار عملکرد دانه (۵۸۶۴، ۴۸۷۳ و ۳۷۲۳ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار آن (۲۷۰۵، ۲۰۶۶ و ۱۱۱۵ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب مربوط به تیمار مصرف تلفیقی ۵۰ درصد کود نیتروژن + ۵۰ درصد کود کمپوست با کاربرد باکتری محرک رشد و تیمار شاهد بود (جدول ۶). به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که وقوع تنش گرمای آخر فصل منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه گندم شد. به دلیل برخورد

مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه با تنش گرمای انتهای فصل، تعداد و وزن دانه‌ها کاهش یافته و در مجموع عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Mojtabaie Zamani et al., 2014). تنش گرما باعث اختلال در جوانه زنی، کاهش تشکیل پنجه‌ها، افزایش مرگ و میر پنجه‌ها، کاهش طول عمر برگ‌ها، فعالیت ریشه‌ها، طول دوره نموی گیاه، متابولیسم نیتروژن، تعداد برگ‌ها و گلچه‌ها، کاهش وزن دانه، افزایش تنفس نوری و تنفس میتوکندریایی در گیاه، افزایش نسبت هورمون آبسزیک اسید به هورمون سیتوکینین، انتقال مواد فتوسنتزی به دانه و سرعت مراحل نموی در گندم می‌شود که در نهایت عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Farooq et al., 2011). کاربرد تلفیقی کود شیمیایی نیتروژن و کود آلی کمپوست بقایای نیشکر، با بهبود شرایط تغذیه‌ای و فراهمی عناصر غذایی از جمله نیتروژن، باعث افزایش رشد و اجزای عملکرد و در نتیجه عملکرد دانه شده است. در آزمایشی گزارش شد که استفاده معقول از ترکیب کود کمپوست و کود معدنی (بر اساس ترکیب شیمیایی آن‌ها) می‌تواند نتایج مشابه کاربرد فقط کودهای شیمیایی داشته باشد (Goda, 2019). کاربرد کود کمپوست غنی شده با کودهای شیمیایی باعث می‌شود که کود کمپوست از تلفات عناصر غذایی جلوگیری کرده (بهبود کارایی جذب عناصر غذایی) که نتیجه آن بهبود بهره‌وری تولید (عملکرد دانه) گیاه گندم و همچنین بهبود سلامت محیط زراعی خواهد بود. سایر پژوهشگران گزارش داده‌اند که بیشترین عملکرد دانه در تیمار مصرف همزمان کودهای زیستی (نیتروکسین + مایکوریزا) + ۵۰ درصد کود شیمیایی با میانگین ۴۰۹۳/۸ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (Chaharlang et al., 2022). باکتری‌هایی همچون ازتوباکتر، سودمونات و آزوسپیریلوم با داشتن خاصیت تثبیت‌کنندگی نیتروژن، حل‌کنندگی فسفر و تولید برخی ویتامین‌ها، جذب آب و عناصر غذایی را برای گیاه تسهیل نموده، لذا تلقیح بذر با این باکتری‌ها موجب افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Bilal et al., 2017).

نتیجه گیری: نتایج حاصل از آزمایش بیانگر قابلیت مناسب به کارگیری کمپوست نیشکر به عنوان کود آلی در تلفیق با کود شیمیایی در زراعت گندم است. در این آزمایش مصرف کمپوست نیشکر از طریق اثر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سبب افزایش عملکرد دانه گندم شد به طوری که بیشترین عملکرد دانه گندم از تیمار مصرف تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست نیشکر به دست آمد. همچنین ویژگی‌های خاک به طور معنی‌داری تحت اثر عوامل آزمایشی قرار گرفتند. در آزمایش حاضر؛ با کاربرد کمپوست نیشکر، ماده آلی خاک به طور معنی‌داری افزایش یافت. از طرفی، علیرغم وجود اثر مثبت کاربرد کمپوست نیشکر بر افزایش ماده آلی خاک، به علت وجود املاح فراوان در ترکیب این کود آلی، شوری خاک به طور معنی‌داری افزایش یافت. نتایج این آزمایش نشان دهنده پتانسیل بالای مصرف کمپوست

نیشکر در مزارع گندم است. بنابراین در صورت تکرار آزمایش و تأیید این نتایج، می‌توان این یافته‌ها را توصیه نمود. همچنین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده و در مطالعه کودهای آلی و باکتری‌های محرک رشد؛ عواملی مثل نوع خاک، طول مدت آزمایش و غیره و صفاتی مثل کلونیزاسیون باکتری‌ها، تولید ترکیبات شیمیایی مختلف در خاک، فعالیت میکروبی، تغییرات ساختار خاک و غیره مد نظر قرار گیرد.

سپاس‌گزاری

از معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی و معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان تشکر و قدردانی می‌شود.

References

- Adak, T., Singha, A., Kumar, K., Shukla, S.K., Singh, A., & Kumar Singh, V. (2014). Soil organic carbon, dehydrogenase activity, nutrient availability and leaf nutrient content as affected by organic and inorganic source of nutrient in mango orchard soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2, 394-406.
- Ahmad Abadi, Z., & Ghajar Sepanlou, M. (2011). Effect of organic matter application on some of the soil physical properties. *Journal of Water and Soil Conservation*, 19(2), 99-116. [In Persian]
- Bilal, M., Ayub, M., Tariq, M., Tahir, M., & Nadeem, M.A. (2017). Dry matter yield and forage quality traits of oat (*Avena sativa* L.) under integrative use of microbial and synthetic source of nitrogen. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(3), 236-241.
- Black, C.A., Evans, D.D., White, J.L., Ensminger, L.E., & Clark, F.E. (1965). Methods of soil analysis, part 2, Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy.
- Blake, G.R., & Hartage, K.H. (1986). Bulk density in methods of soil analysis part 1 Ed. A Klute. Pp 364-366. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.
- Chauhan, M.K., Chaudhary, S., & Kumar, S. (2011). Life cycle assessment of sugar industry: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(7), 3445-3453.
- Choopan, Y., Emami, S., & Hesam, M. (2018). Study the effect of irrigation with industrial wastewater on soil chemical properties (Case study: Torbat-Heydarieh). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 4(12), 862-871. [In Persian]
- Chaharlang Badil, F., Azizi, K., Eisvand, H.R., Nasrollahi, A.H., & Ismaili, A. (2022). Effect of biological and chemical fertilizers and salicylic acid spraying on yield and some physiological traits of wheat under drought stress. *Plant Productions*, 45(2), 397-408. [In Persian]
- Cui, L., Yan, J., Yang, Y., Li, L., Quan, G., Ding, C., Chen, T., Fu, Q., & Chang, A. (2013). Biochar for heavy metals in soil. *Bioresources*, 8, 5536-5548.
- Dou, Z., Tang, S., Li, G., Liu, Z., Ding, C., Chen, L., Wang, S., & Ding, Y. (2017). Application of nitrogen fertilizer at heading stage improves rice quality under elevated temperature during grain-filling stage. *Crop Science*, 57(4), 2183-2192.
- Eghball, B. (2002). Soil properties as influenced by phosphorus and nitrogen-based manure and compost application. *Agronomy*, 94, 128-135.

- Ebrahimian, E., Koocheki, A., Nasiri Mahalati, M., Khorramdel, S., & Beheshti, A. (2017). Influence of tillage systems and wheat stubble levels on the physical, chemical and biological properties of soil. *Journal of Crops Improvement*, 18 (4), 893-905.
- Enayati Zamir, N., Norouzi Masir, M., & Ghadamkhani, A. (2020). The effect of growth promoting bacteria on some biological indicators and soil organic carbon forms under wheat cultivation. *Journal of Water and Soil Science*, 23(4), 171-181.
- Farhadi, A., Enayatizamir, N., Farrokhan Firouzi, A., & Howeizeh, H. (2017). The effect of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on glomalin content and some physical and mechanical properties of soil under blue panic grass cultivation (*Panicum antidotale*). *Water and Soil Conservation*, 23(5), 267-280. [In Persian]
- Farooq, M., Bramley, H., Palta, J.A. & Siddique, K.H.M. (2011). Heat Stress in wheat during Reproductive and grain-Filling phases. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(6), 491-507.
- Gabhane, J., Prince William, S.P.M., Bidyadhar, R., Bhilawe, P., & Anand, D. (2012). Additives aided composting of green waste: Effects on organic matter degradation, compost maturity, and quality of the finished compost. *Bioresource Technology*, 114, 382-388
- Gaju, O., DeSilva, J., Carvalho, P., Hawkesford, M.J., Griffiths, S., Greenland, A., & Foulkes, M.J. (2016). Leaf photosynthesis and associations with grain yield, biomass and nitrogen-use efficiency in landraces, synthetic derived lines and cultivars in wheat. *Field Crop Research*, 193, 1-15.
- Goda, D. (2019). Response of wheat to integrated nutrient management. *Journal of Plant Science and Research*, 6(1), 1-8.
- Gelik, I., Ortas, I., & Kilik, S. (2004). Effect of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of chromoxerert soil. *Soil and Tillage Research*, 78, 59-67.
- Hamam, K.A., & Khaled, A.G.A. (2009). Stability of wheat genotypes under different environments and their evaluation under sowing dates and nitrogen fertilizer levels. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(1), 206-217.
- Hoffmann, P.C., Grummer, R.R., Shaver, R.D., Broderick G. A., & Drendel, T.R. (1991). Feeding supplemental fat and undegraded intake protein to early lactation dairy cows. *Journal of Dairy Sciences*, 74, 3468-3472.
- Hidayat, C., Rosdiana, R., Frassetta, B., & Hasani, S. (2017). Improvement of physical properties of inceptisols and yield of sweet corn affected by arbuscular mycorrhizal fungi and manure applications. *KnE Life Sciences*, 2, 158-163.
- Kapoor, R., Giri, B., & Mukerji, K. (2004). Improved growth and essential oil yield and quality in foeniculum vulgare mill on mycorrhiza inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology*, 93, 307-311.
- Khoshoftar Manesh, A., & Kalbasi, M. (2001). Residual effect of municipal solid waste leachate on soil properties, growth and yield of wheat. *Agricultural Science and Technology and Environmental Resources*, 6, 141-148. [In Persian]
- Kim, Y.C., Glick, B.R., Bashan, Y., & Ryu, C.M. (2012). Enhancement of plant drought tolerance by microbes. PP 383-413 in *Plant Responses to Drought Stress*. Springer, Berlin.
- Kamaei, R., Rajari Sharifabadi, H., Parsa, M., Jahan, M. & Naerian, A. (2016). The effect of applying biological fertilizer, chemical, and manure on some of qualitative characteristics of forage sorghum under greenhouse condition. *Plant Production Technology*, 16(1), 69-80. [In Persian].
- LotfAli-Ayeneh, G.A., Naderi, A., & Andarzian, B. (2013). A Guide to planting, growing and harvesting of wheat in Khuzestan province. Khuzestan Agriculture and Natural Resources Research Center, Ahwaz. [In Persian]
- Monjezi, H., Moradi Telavat, M.R., Siadat, S.A., Kochak Zadeh, A., & Hamdi, H. (2014). The effect of using sugarcane filter cake, chemical fertilizer and biofertilizers on yield and quality of rapeseed and some soil properties. *Agricultural Journal*, 16(2), 445-457. [In Persian]
- Mazloom Aliabadi, U., Vaezi, A.L., & Nikbakht, J. (2019). Temporal variations of soil moisture in relation to precipitation and temperature under fallow and planted conditions in rainfed land. *Journal of Water and Soil Resources Protection*, 8(2), 135-148. [In Persian]
- Milleret, R., Le Bayon, R.C., & Gobat, J.M. (2009). Root, mycorrhiza and earthworm interactions: their effects on soil structuring processes, plant and soil nutrient concentration and plant biomass. *Plant and Soil*, 316(1), 1-12.
- MirzaeeTalarposhti, R., Kambozia J., Sabahi H., & Damghany A. (2009). Effect of organic fertilizer on physical and chemical properties of soil, the yield and dry matter of tomato. *Journal of Farm Research*, 7(1), 257-267. [In Persian]
- Motilji, S., Landi, A., & Zalqi, R. (2019). The effect of filter cake, biochar and growth promoting bacteria as organic and biological fertilizers on some quality indicators of soil and wheat growth. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 9(1), 151-163. [In Persian]

- Mohith, A., Shahsavani, S., & Gholami, A. (2011). Effect of cow manure, urea fertilizer and Nitroxine manure on some physical and chemical properties of soil and yield of forage corn. MSc. Thesis of Shahrood University. [In Persian]
- Musavi, S.F., Siahpoosh, M.R., & Sorkheh, K. (2021). Influence of sowing date and terminal heat stress on phenological features and yield components of bread wheat genotypes. *Plant Productions*, 44(2), 157-170. [In Persian]
- Malihipoor, A., Esmaeilzade Moghadam, M., & Najafian, G. (2020). Iranian Wheat Cultivars. Ministry of Agriculture Jihad. Tehran. P.186. [In Persian]
- Mojtabaie Zamani, M., Nabipour, M., & Meskarbashee, M. (2014). Responses of bread wheat genotypes to heat stress during grain filling period Ahvaz conditions. *Journal of Plant Productions*, 37(4), 119-130. [In Persian]
- Mengistu, T., Gebrekidan, H., Kibret, K.W., Oldetsadik, K., Shimelis, B., & Yadav, H. (2017). The integrated use of excreta -based vermicompost and inorganic NP fertilizer on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit yield, quality and soil fertility. *International Journal of Recycling of Organic Waste Agriculture*, 6, 63 -77.
- Mudhaj, A., Naderi, A., & Syadat, S.A. (2013). Investigating the effects of heat stress after pollination on wheat and barley cultivars. *Journal of Agricultural Sciences*, 13(2), 393-403. [In Persian]
- Mudhaj, A., & Fathi, A. (2017) Physiology of wheat. Shushtar Islamic Azad University Publications. pp:317
- Raei, Y., Eshaghi Sardroud, S.N., & Pirouz, A. (2013). The effect of chemical and biological fertilizers on the yield of fodder sorghum (*Sorghum bicolor* L.), Speedfeed cultivar, in different Chinas. *Journal of Agricultural Ecology*, 5(3), 231-242. [In Persian]
- Shahdi Kumleh, A. 2020. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) on soil chemical properties in a clover- rice cropping system. *Journal of Water and Soil Resources Protection*, 9(4), 89-106. [In Persian]
- Sharma, R., Agrawal, M., & Marshall, F. (2007). Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66(2), 258-266.
- Shahbazi, S., Fateh, E., & Aynehband, A. (2015). Evaluation of the effect of humic acid and vermicompost on yield and yield components of three wheat cultivars in tropical regions. *Journal of Plant Production*, 38, 103-113. [In Persian]
- Sayahi, S.S., & Kamaei, F. (2017). Evaluation of 38 varieties of bread wheat in heat stress tolerance is calculated based on the season of the untamed STI farm. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 13(3), 39-49. [In Persian]
- Salispour, M. (2020). Field evaluation of the application of municipal waste compost and nitrogen on the yield of fodder corn and some physical and chemical characteristics of the soil. *Journal of Agricultural Research*, 23(3), 471-484.
- Shirkhani, A, Nasralzadeh, S., & Zahtab Salmasi, S. (2019). The effect of biological and chemical fertilizers on the yield and quality of corn seeds under conditions of full irrigation and drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(3), 781-791. [In Persian]
- Timsina, J. (2018). Can organic sources of nutrients increase crop yields to meet global food demand? *Agronomy*, 8, 221-234.
- Walkley, A., & Black I.A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.
- Zhou, Y., Hartemink, A.E., Shi, Zh., Liang, Z., & Lu, Y. (2019). Land use and climate change effects on soil organic carbon in North and Northeast China. *Science of the Total Environment*, 647, 1230-1238.