Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Investigating water use efficiency and wheat growth characteristics as influenced by soil and foliar application of Zargreen organic fertilizer under drought conditions

Maryam Zahedifar[1]✉ | Ali Akbar Moosavi[2] | Arash Ershadi[3] | Mehdi Jafari-Asl[4]

1. Corresponding Author, Department of Range and Watershed Management (Nature Engineering), Faculty of Agriculture, University of Fasa, Fasa, Iran. E-mail: zahedifar@fasau.ac.ir,
2. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Shiraz, Shiraz, Iran. E-mail: aamousavi@shirazu.ac.ir
3. Innovation Center of Zarnam Educators Research Industrial Group, Alborz Province, Hashtgerd City Iran. E-mail: A.Ershadi@zarholding.com
4. Innovation Center of Zarnam Educators Research Industrial Group, Alborz Province, Hashtgerd City Iran. E-mail: M.Jafari@zarholding.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Nov. 16, 2022

Revised: Feb. 2, 2023

Accepted: Feb. 5, 2023

Published online: March. 21, 2023

Keywords:
Dry weight,
Fresh weight,
Spike, Greenness index,
Tiller,
Water stress.

ABSTRACT

In order to evaluate the effects of soil and foliar applications of Zargrain organic fertilizer on water-use efficiency, yield and yield components of wheat under drought conditions, two separate factorial experiments (completely randomized design of three replications) were conducted in the greenhouse. Treatments in the first experiment were four levels of foliar application (zero, 2.5, 5 and 7.5 L/1000L) and three moisture levels (field capacity, 75 and 50% of field capacity(FC)) and in the second experiment four levels of soil application (zero, 5, 10 and 20 L/ha) and the mentioned moisture levels. Greenness index, number of claws, number and height of spike, number of seeds per spike, plant height, fresh and dry weights were measured and water-use efficiency was calculated. Both soil and foliar applications methods increased grain yield, plant dry weight, greenness index and water-use efficiency compared to control. Application of 20 L/ha caused a 13% increase in the number of spikes, and the application of 5 to 20 L/ha increased the number of seeds in spike by 22 to 31%, respectively. The number of seeds per spike increased by 7.5 L/1000L foliar application. The highest greenness index (38% increase in 0.75FC treatment) and water-use efficiency (0.55 g/L in 0.5FC condition) was observed with soil application of 20 L/ha fertilizer. Fertilizer application in dry conditions prevented dry-weight loss and soil application was more effective. Application of fertilizer increases the growth/performance of the plant and it can be used to improve the quantity/quality of the yield, especially in arid/semi-arid regions.

Cite this article: Zahedifar, M., Moosavi, A. A., Ershadi, A., & Jafari-Asl, M. (2023). Investigating water use efficiency and wheat growth characteristics as influenced by soil and foliar application of Zargreen organic fertilizer under drought conditions, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (1), 135-153. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.351246.669397

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.351246.669397

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۴، شماره ۱ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

بررسی کارایی مصرف آب و ویژگی‌های رشد گندم تحت تأثیر کاربرد خاکی و محلول‌پاشی کود آلی زرگرین در شرایط خشکی

مریم زاهدی‌فر[۱] ✉ | سیدعلی اکبر موسوی[۲] | آرش ارشادی[۳] | مهدی جعفری اصل[۴]

۱. نویسنده مسئول، گروه مرتع و آبخیزداری (مهندسی طبیعت)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران. رایانامه: zahedifar@fasau.ac.ir

۲. بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: aamousavi@shirazu.ac.ir

۳. مرکز نوآوری گروه صنعتی پژوهشی فرهیختگان زرنام، استان البرز، شهر هشتگرد، ایران. رایانامه: A.Ershadi@zarholding.com

۳. مرکز نوآوری گروه صنعتی پژوهشی فرهیختگان زرنام، استان البرز، شهر هشتگرد، ایران. رایانامه: M.Jafari@zarholding.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۲۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱/۱

واژه‌های کلیدی:
پنجه،
تنش رطوبتی،
سنبله،
شاخص سبزینگی،
وزن تر،
وزن خشک،

چکیده

با هدف بررسی کاربرد خاکی و محلول‌پاشی کود آلی زرگرین بر کارآیی مصرف آب، عملکرد و اجزای عملکرد گندم در شرایط تنش خشکی دو آزمایش فاکتوریل مجزا با طرح کاملا تصادفی (سه تکرار) در گلخانه انجام شد. تیمارها در آزمایش اول چهار سطح محلول‌پاشی کود (صفر، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ لیتر در هزار) و سه سطح رطوبتی (ظرفیت مزرعه، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه (FC)) و در آزمایش دوم چهار سطح کاربرد خاکی (صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ لیتر در هکتار) و سطوح رطوبتی مذکور بود. شاخص سبزینگی، تعداد پنجه، تعداد و ارتفاع سنبله، تعداد دانه در سنبله، ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک اندازه‌گیری و کارایی مصرف آب محاسبه شد. هر دو شیوه کاربرد خاکی و محلول‌پاشی سبب افزایش عملکرد دانه، وزن خشک گیاه، شاخص سبزینگی و کارایی مصرف آب در مقایسه با شاهد شدند. کاربرد ۲۰ لیتر در هکتار کود، سبب افزایش ۱۳ درصدی تعداد سنبله و کاربرد ۵ تا ۲۰ لیتر در هکتار به‌ترتیب سبب افزایش ۲۲ تا ۳۱ درصدی تعداد دانه در سنبله شدند. تعداد دانه در سنبله با محلول‌پاشی ۷/۵ لیتر در هزار افزایش یافت. بیشترین شاخص سبزینگی (افزایش ۳۸ درصدی در تیمار FC۰,۷۵) و کارایی مصرف آب (۰/۵۵ گرم بر لیتر در شرایط FC۰,۵) با کاربرد ۲۰ لیتر در هکتار کود مشاهده شد. کاربرد کود در شرایط خشکی از کاهش وزن خشک جلوگیری کرده و کاربرد خاکی موثرتر بود. کاربرد کود سبب افزایش رشد/عملکرد گیاه شده و می‌توان از آن برای بهبود کمیت/کیفیت محصول به‌ویژه در مناطق خشک/نیمه¬خشک استفاده نمود.

استناد: زاهدی‌فر؛ مریم، موسوی؛ سیدعلی اکبر، ارشادی؛ آرش، جعفری اصل؛ مهدی، (۱۴۰۲). بررسی کارایی مصرف آب و ویژگی¬های رشد گندم تحت تأثیر کاربرد خاکی و محلول‌پاشی کود آلی زرگرین در شرایط خشکی، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۱)، ۱۵۳-۱۳۵.
https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.351246.669397

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.351246.669397

مقدمه

خشکی و کمبود آب از مهمترین تنش‌های غیرزیستی در مناطق خشک و نیمه خشک است که بر رشد، توسعه و عملکرد گیاهان اثرات منفی دارد (Hossain *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2015; Gavili *et al.*, 2018) و بیش از ۵۰ درصد از کاهش عملکرد بالقوه گیاهان مختلف ازجمله گندم، جو و ذرت به دلیل تنش خشکی گزارش شده است (Wang *et al.*, 2003; Hossain *et al.*, 2015;). کم بودن ماده آلی در خاک در این مناطق نیز از جمله مشکلات عمده خاک است که اثرات نامطلوبی بر سایر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و در نتیجه عملکرد گیاه دارد (Gavili *et al.*, 2019a). بنابراین استفاده از ترکیبات و یا روش‌های مناسب که بتواند در شرایط نامساعد محیطی، اثرات منفی تنش خشکی و کمبودن ماده آلی را کاهش داده و از کاهش راندمان تولید محصول بکاهد از راهکارهای مدیریتی مورد توجه پیش‌رو می‌باشد. در سال‌های اخیر بررسی اثر ترکیبات آلی مانند زغال‌های زیستی و کودهای آلی مختلف بر ماده آلی و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (Gavili *et al.*, 2019b)، شکل‌های شیمیایی عناصر و آلاینده‌ها (Zahedifar and Najafian and Zahedifar, 2018; Ma et *al.*, 2021) در خاک و افزایش رشد گیاه (Moosavi, 2020; Zahedifar, 2020a,b) به ویژه در شرایط خشکی و کمبود آب (Gavili *et al.*, 2019a,b; Tang *et al.*, 2019) و به منظور افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی، بهبود کیفیت غذا و حفظ محیط‌زیست توجه زیادی را به خود معطوف داشته است. به‌طوری که امروزه بر این باورند که از عوامل موثر در افزایش محصول، کوددهی کافی خاک و مدیریت مناسب مزرعه به کمک اصلاح‌کننده‌های آلی با منشاء گیاهی یا جانوری است. افزودن ترکیبات آلی، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را بهبود می‌بخشد در حالی که ترکیبات غیرآلی عمدتا بر ویژگی‌های شیمیایی خاک در راستای تامین عناصرغذایی کم مصرف و پرمصرف موثر هستند (Tang *et al.*, 2019). از نتایج کاربرد کودهای آلی در خاک می‌توان به بهبود تخلخل کل خاک، کاهش مقاومت نفوذی خاک، افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک و بهبود وضعیت عناصر غذایی خاک اشاره نمود که از این طریق بر رشد گیاه و کارآیی مصرف آب اثر می‌گذارد (Angers *et al.*, 2010; Gavili *et al.*, 2019a,b; Tang *et al.*, 2019;). به تازگی نیز استفاده از اسیدهای آمینه و سایر ترکیبات محتوی این اسیدها به عنوان یکی از کودهای آلی به منظور بهبود رشد گیاه، عملکرد و ویژگی‌های کیفی آن مانند مشارکت در ساختن آنتی اکسیدان‌ها به ویژه در شرایط نامناسب محیطی مورد توجه زیادی قرار گرفته است (Popko *et al.*, 2018). به‌طور کلی کودهای آلی دارای اسیدهای آمینه، منبع مناسب تامین نیتروژن و به عنوان تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه به حساب می‌آیند. این ترکیبات به واسطه خلوص زیاد، در هنگام ورود به سلول‌های گیاه، در فرآیندهای متابولیکی آن شرکت می‌کنند (Thornton & Robinson, 2005). اثرات هورمونی، تنظیم اسمز، پایداری غشاء سلولی و حفاظت از آن، از نقش‌های مهم اسیدهای آمینه درون سلول‌های گیاهی است (Marschner, 2011).

افزودن کودها و تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌تواند به روش‌های کاربرد خاکی و محلول‌پاشی انجام شود. محلول‌پاشی از روش‌های متداولی است که نیاز غذایی گیاه را به مقدار کافی تامین کرده و با بهبود وضعیت تغذیه آن، میزان و کیفیت محصول را افزایش می‌دهد (Moosavi and Ronaghi, 2010, 2011; Marschner, 2011). از سوی دیگر، محلول‌پاشی می‌تواند منجر به کاهش اثرات منفی تنش‌های محیطی مانند گرما و خشکی شود و بسیاری از تنظیم‌کننده‌های رشد، آفت‌کش‌ها و آمینواسیدها از این روش در اختیار گیاه قرار می‌گیرند (Marschner, 2011). نکته قابل توجه این است که جذب عناصر غذایی به کمک روزنه‌های برگ معمولا سریع‌تر از جذب آنها از خاک است. محلول‌پاشی برای برخی عناصر مورد نیاز رشد گیاه که در خاک به شکل تثبیت شده یا رسوب در می‌آیند و یا عناصری که گیاه به مقدار کمتری به آنها نیاز دارد، توصیه می‌شود.

با توجه به مشکل کمبود آب و از طرفی مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی و آثار مخرب زیست‌محیطی آن و همین‌طور تأثیر مثبت کاربرد کود آلی در بهبود شرایط خاک و رشد گیاه و اهمیت توجه به کشت گندم به عنوان یک محصول کاربردی در پاسخ به نیاز غذایی کشور و اینکه تاکنون پژوهش مدونی در ارتباط با بررسی اثر کود آلی زرگرین بر رشد و کارایی مصرف گندم در شرایط تنش رطوبتی انجام نشده است. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کاربرد خاکی و محلول‌پاشی کود آلی زرگرین و سطوح مختلف تنش رطوبتی بر ویژگی‌های رشد و عملکرد و کارایی مصرف آب گندم انجام شد.

پیشینه پژوهش

نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد افزایش ارتفاع گیاه، تعداد پنجه، عملکرد و وزن هزاردانه گندم در اثر افزودن کودهای آلی و کمپوست به دلیل افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی بوده است و این عناصر در افزایش سطح برگ و در نتیجه فتوسنتز و تولید بیشتر وزن خشک موثر بودند (Ibrahim *et al.*, 2008). در پژوهش‌های دیگری نیز افزایش خوشه دهی، بهبود تعداد خوشه موثر، افزایش وزن خوشه و پر شدن بذر برنج از نتایج کاربرد کودهای آلی گزارش شده است (Yu *et al.*, 2007 Yadana *et al.*, 2009). همچنین گزارش شده افزودن کودهای زیستی به‌ویژه در شرایط تنش خشکی سبب بهبود رشد ریشه، افزایش فتوسنتز با گسترش سطح برگ و در نتیجه افزایش عملکرد ریحان شده است (Tahami *et al.*, 2017). در آزمایش دیگری بیشترین ارتفاع گیاه بادام زمینی پس از کاربرد خاکی ۱۰ تن بر هکتار کود گاوی به دست آمد، درحالی که بر تعداد برگ‌ها اثر معنی‌دار نداشت (Purbajanti *et al.*, 2019). نتایج پژوهش دیگری در ارتباط با بررسی اثر کاربرد همزمان کود سبز و کود نیتروژن‌دار نشان داد تیمارهای مورد مطالعه از طریق افزایش وزن هزاردانه و تعداد خوشه در مترمربع سبب افزایش عملکرد دانه گندم شدند (Mosavi *et al.*, 2009). برخی پژوهشگران نیز بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه، ایجاد فضای مناسب برای فعالیت ریزجانداران خاکزی و آزادسازی تدریجی عناصر غذایی از کودهای آلی را سبب تامین به موقع و به اندازه عناصر غذایی در مراحل رشد گیاه گزارش نموده‌اند (Shahdi Kumleh *et al.*, 2021). حسنی و امیری (۱۳۹۵) نیز نشان دادند محلول‌پاشی ترکیبات آلی دارای اسیدهای آمینه به طور معنی‌داری، عملکرد، وزن هزاردانه و تعداد دانه در سنبله گیاه جو را نسبت به شاهد افزایش دادند.

تنش رطوبتی، آثار نامطلوبی بر رشد گیاه دارد. بسته شدن روزنه‌ها و کاهش دی اکسید کربن از یک طرف، و کاهش پتانسیل آب سلول از طرف دیگر، تأثیر منفی بر فتوسنتز گذاشته و در نهایت کاهش رشد ریشه و ساقه گیاه را به دنبال خواهد داشت (Hopkins & Huner, 2004). نکته قابل توجه دیگر این است که در مناطق خشک و نیمه خشکی مانند ایران، بخشی از مراحل رشد گیاه با دوران تنش آبی مواجه می‌شود و اثر این تنش بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان مختلف مانند گندم بستگی به حساسیت مرحله رشد گیاه در مواجهه با آن، دارد. تنش خشکی در مرحله رشد زایشی منجر به ناباروری گلچه‌ها، در مرحله گرده افشانی، کاهش تعداد دانه در سنبله، پس از گلدهی، آسیب زدن به باروری دانه‌ها و کاهش تعداد آنها در سنبله، تنش در مرحله سنبله دهی تا پرشدن دانه، سبب کاهش سنبله‌های بارور و تعداد دانه در هر سنبله و نهایتا کاهش عملکرد می‌شود (Emam, 2007). پیر شدن زودهنگام برگ، کاهش پرشدن و وزن دانه نیز از نتایج تنش خشکی در مرحله گلدهی تا رسیدن دانه می‌باشد. کاهش وزن دانه در مرحله پر شدن، احتمالا به دلیل کاهش فتوسنتز و شیره پرورده در نتیجه‌ی بسته شدن روزنه‌ها است (Emam, 2007).

مواد و روش‌ها

نمونه برداری و تعیین برخی ویژگی‌های اولیه خاک

در سال ۱۴۰۰ مقدار مورد نیاز از خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک آهکی (رس سیلتی) سری کوی اساتید واقع در منطقه باجگاه (دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز) استان فارس (طول جغرافیای ۵۲ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی) برداشته شد. خاک مورد نظر پس از جمع‌آوری، هوا خشک شد. نمونه‌ها از الک دو میلی‌متری عبور داده و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از روش‌های معمول استاندارد به شرح زیر اندازه‌گیری شدند. بافت خاک (فراوانی نسبی ذرات شن، رس و سیلت) به روش هیدرومتری (Gee & Boder, 2002)، pH در خمیر اشباع با دستگاه پ‌هاش‌متر (Thomas, 1996)، ماده آلی به روش اکسایش با بی‌کرومات پتاسیم و سپس تیتر کردن با آمونیوم فروسولفات معروف به روش ترسوزانی (Nelson & Sommers, 1996)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم (Summer & Miller, 1996)، کربنات کلسیم معادل با روش تیتراسیون با اسید کلریدریک (Lopert & Suarez, 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به‌وسیله هدایت‌سنج الکتریکی (Rhoades, 1996)، فسفر قابل‌استفاده به روش اولسن و با عصاره‌گیری با بی‌کربنات‌سدیم (Olsen *et al.*, 1954) و نیتروژن کل به روش کلدال (Bremner, 1996) اندازه‌گیری شد (جدول ۱). میزان رطوبت ظرفیت مزرعه در خاک مورد مطالعه نیز با استفاده از دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک مورد استفاده برای کشت

ویژگی (واحد)	مقدار
شن (٪)	۱۴
سیلت (٪)	۴۴
رس (٪)	۴۲
بافت خاک	Silty clay
رطوبت اشباع (٪ جرمی)	۵۰
رطوبت ظرفیت مزرعه (٪ جرمی)	۲۵
کربنات کلسیم معادل (٪)	۴۲
ماده آلی (٪)	۱/۱
*pH	۷/۵
قابلیت هدایت الکتریکی*(دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۵
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بار در کیلوگرم خاک)	۱۹
نیتروژن کل (٪)	۰/۱
فسفر قابل استفاده (میلی گرم بر کیلوگرم خاک)	۲۶

*** قابلیت هدایت‌الکتریکی و پ‌هاش به‌ترتیب در عصاره و خمیر اشباع خاک اندازه‌گیری شدند.**

کشت گلخانه‌ای

طرح به‌صورت دو آزمایش فاکتویل مجزا در قالب طرح آماری کاملا تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز از آذر ۱۴۰۰ تا اردیبهشت ۱۴۰۱ انجام شد. تیمارها در آزمایش اول شامل چهار سطح محلول‌پاشی کود مایع آلی زرگرین که یک کود آلی جدید و تهیه شده توسط گروه صنعتی پژوهشی فرهیختگان زرنام و از محصولات فرعی کارخانجات زرماکارون و با ترکیبات ارایه شده (جدول ۲) است (با غلظت‌های صفر، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ لیتر در هزار که به‌ترتیب با نمادهای F0، F2.5، F5 و F7.5 نشان داده می‌شوند) و سه سطح رطوبتی (ظرفیت مزرعه (بدون تنش)، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه که به‌ترتیب با نمادهای W100، W75 و W50 نشان داده می‌شوند) بود. در آزمایش دوم نیز تیمارها شامل چهار سطح کاربرد خاکی کود زرگرین (صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ لیتر در هکتار، که به‌ترتیب با نمادهای S0، S5، S10 و S20 نشان داده می‌شوند و سه سطح رطوبتی (ظرفیت مزرعه، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه) بود. لازم به ذکر است در هر دو آزمایش محلول‌پاشی و کاربرد خاکی، سطوح پیشنهادی کارخانه سازنده و سطوح کمتر و بیشتر از آنها در نظر گرفته شد.

در ابتدا نمونه‌های چهار کیلوگرمی خاک آماده و سپس در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شد. به‌منظور جلوگیری از کمبود احتمالی سایر عناصر غذایی و بر اساس نتایج آزمون خاک اولیه (جدول ۱)، عناصر نیتروژن، آهن، منگنز، روی و مس به‌ترتیب به مقدار مورد نیاز و از منابع اوره، کلات آهن (Fe-EDDHA)، سولفات منگنز، سولفات روی و سولفات مس و به‌صورت محلول به خاک اولیه اضافه شد. در تیمارهای کاربرد خاکی، پس از ریختن خاک در کیسه‌های پلاستیکی، سطوح مورد نظر کود آمینواسید زرگرین قبل ازکشت با آب مخلوط و به صورت محلول به خاک گلدان‌ها افزوده شد. سپس خاک درون کیسه‌ها به‌طور کامل مخلوط شده و به داخل گلدان‌های چهار کیلوگرمی پلاستیکی به شکل استوانه (مخروط) ناقص و با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و قطرهای بالا و پایین به‌ترتیب ۲۲ و ۱۶ سانتی‌متر منتقل شد. در تاریخ ۱۴ آذر ۱۴۰۰ در هر گلدان ۸ عدد بذر گندم رقم سیروان در عمق مناسب کاشته شد. پس از دو هفته تعداد گیاهان به ۴ بوته در هر گلدان کاهش یافت. سطوح رطوبتی ذکر شده، در طول فصل رشد با توزین روزانه گلدان‌ها و جبران کمبود آب خاک در زمان آبیاری با افزودن مقدار آب لازم به آن‌ها پس از استقرار گیاهچه‌ها (دو هفته پس از کاشت) تا انتهای فصل رشد اعمال شد. همچنین طی سه نوبت و در زمان‌های ۱/۵، ۳ و ۴ ماه بعد از کاشت (به‌ترتیب حدوداً در مراحل پنجه‌زنی، ظهور سنبله، ابتدای تشکیل و شیری شدن دانه) از محلول‌های کود آلی زرگرین مورد استفاده با غلظت‌های ذکر شده برای محلول‌پاشی استفاده شد. در اواسط فصل رشد طی دو مرحله (۲ و ۴ ماه پس از کاشت) نیز سطوح کاربرد خاکی از کود مورد مطالعه با اختلاط با میزان کافی آب به خاک گلدان‌های تیمار مربوطه افزوده شد. در طول فصل رشد دمای حداقل و حداکثر گلخانه نیز با دماسنج ثبات و میزان کل آب مصرفی نیز در طول دوره آزمایش اندازه‌گیری شد. نمونه‌هایی از تصاویر تهیه شده از واحدهای آزمایشی در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۲- ویژگی‌های کود آلی مایع زرگرین مورد استفاده

ترکیبات	مقدار (درصد وزنی)	اسید آمینه آزاد	درصد (٪)
اسید آمینه کل	۴۰	اسید گلوتامیک	۰/۱۴
اسید آمینه آزاد	۶	گلیسین	۰/۲۴
نیتروژن کل	۳	هیستیدین	۰/۰۴
فسفر قابل استفاده (P_2O_5)	۲/۵	آرژنین	۰/۱۲
پتاسیم محلول در آب (K_2O)	۲	تره ئونین	۱/۱۲
کربن آلی (OC)	۱۱	آلانین	۰/۶۷
ماده آلی (OM)	۳۰	پرولین	۰/۱۰
pH	۳/۵	والین	۰/۱۰
روی (Zn)	۰/۰۰۴	ایزولوسین	۰/۱۰
آهن (Fe)	۰/۰۳	لیزین	۰/۰۵
منگنز (Mn)	۰/۰۰۲	لوسین	۰/۱۷
کلسیم (Ca)	۰/۰۴	فنیل آلانین	۰/۱۸
منیزیم (Mg)	۰/۱۴	متیونین	۰/۰۹
		اسید آسپارتیک	۰/۰۴
		سرین	۰/۲۴

شکل ۱. نمونه‌هایی از تصاویر واحدهای آزمایشی

اندازه‌گیری ویژگی‌های رشدی و برداشت گیاه

اندازه‌گیری شاخص سبزینگی

دو هفته پس از آخرین مرحله محلول‌پاشی کود مورد مطالعه و در انتهای مرحله شیری شدن دانه، با استفاده از کلروفیل‌متر دستی SPAD-502 میزان شاخص سبزینگی در سه برگ بالغ آخر در هر بوته اندازه‌گیری و میانگین قرائت‌ها به عنوان شاخص سبزینگی در هر واحد

آزمایشی (گلدان) در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری تعداد پنجه، ارتفاع گیاه، تعداد و طول سنبله

در انتهای فصل رشد و پس از رسیدگی کامل دانه‌ها و قبل از برداشت گیاه (حدود ۶ ماه پس از کاشت)، تعداد پنجه‌ها و تعداد سنبله‌ها در هر بوته شمارش و و میانگین برای هر بوته محاسبه شد. متوسط ارتفاع گیاه و طول سنبله در هر گلدان نیز با خط‌کش اندازه‌گیری شد.

برداشت گیاه و اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام هوایی

در انتهای فصل رشد و پس از رسیدگی کامل دانه‌ها (حدود ۶ ماه پس از کاشت)، گیاهان از طوقه برداشت شدند. وزن‌تر اندام هوایی با توزین با ترازوی دو رقم اعشار اندازه‌گیری شد. سپس اندام هوایی گیاه پس از شستشو با آب معمولی و سپس با آب مقطر، در دمای ۶۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت در آون خشک، توزین و وزن خشک اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه

پس از جداسازی و شماره تعداد سنبله‌ها، دانه‌ها از سنبله جدا و شمارش شدند و میانگین تعداد دانه در سنبله برای هر واحد آزمایشی محاسبه شد. وزن دانه مربوط به هر واحد آزمایشی (گلدان) نیز اندازه‌گیری و وزن هزاردانه محاسبه شد.

محاسبه کارایی مصرف آب و شاخص برداشت

به منظور تعیین کارآیی مصرف آب آبیاری، کل آب استفاده شده در طول فصل رشد گیاه محاسبه و سپس از تقسیم وزن خشک گیاه به کل آب مصرفی، کارآیی مصرف آب محاسبه شد. شاخص برداشت نیز از تقسیم وزن دانه به وزن خشک اندام هوایی محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ و ترسیم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۶ انجام شد.

نتایج و بحث

اثر محلول‌پاشی و کاربرد خاکی کود زرگرین بر ویژگی‌های رشد گندم

تعداد پنجه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد محلول‌پاشی کود زرگرین و همچنین تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر تعداد پنجه گیاه داشتند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد کاربرد سطوح ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی تنش رطوبتی در مقایسه با شاهد سبب کاهش معنی‌دار میانگین تعداد پنجه در بوته شد. نتایج همچنین نشان داد با افزایش سطوح کاربرد کود زرگرین از ۰ تا ۷/۵ لیتر در هزار، میانگین تعداد پنجه به طور معنی‌داری به ترتیب به میزان ۴ و ۹ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت به‌طوری که بیشترین میانگین تعداد پنجه مربوط به تیمار افزودن ۷/۵ لیتر در هزار از کود زرگرین (۳/۴۷ پنجه) بود.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد کاربرد خاکی کود زرگرین و همچنین تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر تعداد پنجه گیاه داشتند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد کاربرد سطوح ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی تنش رطوبتی در مقایسه با شاهد سبب کاهش معنی‌دار میانگین تعداد پنجه در بوته شد. نتایج همچنین نشان داد با افزایش سطوح کاربرد کود زرگرین از ۰ تا ۲۰ لیتر در هکتار، میانگین تعداد پنجه به طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد ۲۰ لیتر در هکتار کود زرگرین سبب افزایش ۱۵ درصدی تعداد پنجه در مقایسه با شاهد شد. بیشترین میانگین تعداد پنجه مربوط به تیمار افزودن ۲۰ لیتر در هکتار کود زرگرین (۳/۵۵ پنجه) بود. در ارتباط با اثر منفی تنش رطوبتی و کاهش تعداد پنجه در تیمارهای تحت تنش، به نظر می‌رسد اولا گیاه در شرایط مواجهه با تنش رطوبتی آب کافی برای رشد و توسعه در اختیار نداشته و ثانیا اینکه به منظور حفظ مقدار رطوبت موجود و جلوگیری از اتلاف بیشتر رطوبت، تعداد پنجه و در نتیجه سطح تعرق را کاهش داده تا به نوعی بتواند با این راهکار شرایط تنش را تحمل نماید. کاربرد کود آلی مورد نظر نیز با در اختیار قرار دادن برخی عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه و همچنین بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی محیط رشد گیاه توانسته بر تعداد پنجه به عنوان یکی از معیارهای رشد اثر مثبت داشته باشد و یا از اثر منفی تنش رطوبتی بر رشد و توسعه گیاه بکاهد. برخی از پژوهشگران نیز گزارش نمودند افزودن کود آلی، کلروفیل برگ‌ها و در نتیجه فتوسنتز در گیاه را افزایش داده و سبب افزایش

سرعت و قدرت پنجه زنی گیاه و افزایش تعداد پنجه‌ها می‌شود (Mousavi *et al.*, 2012). در پژوهش دیگری نیز دلیل افزایش تعداد پنجه در گیاه برنج پس از کاربرد ترکیبات آلی، افزایش نیتروژن کل خاک بیان شده است (Abbasi *et al.*, 2013). گویلی و همکاران نیز گزارش کردند افزودن بیوچار باگاس نیشکر به عنوان یک کود و ترکیب آلی، از اثرات منفی تنش رطوبتی بر رشد اسفناج و سویا کاسته و اثرات مثبتی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک داشته است (Gavili *et al.*, 2018; 2019a, b).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد خاکی و محلول‌پاشی کود مایع زرگرین و سطوح رطوبتی بر ویژگی‌های رشد و کارایی مصرف آب گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		تعداد پنجه	طول سنبله	تعداد سنبله	تعداد دانه	ارتفاع گیاه	شاخص سبزینگی	وزن خشک گیاه	وزن هزار دانه	شاخص برداشت	کارایی مصرف آب
کاربرد خاکی											
کود زرگرین	۳	۰/۵۷ *	۰/۱	۰/۶۳ **	۶۲/۹ **	۱۱/۶	۴۷۷ **	۰/۴۴	۱۹۹/۸ **	۱۵۳ **	۰/۰۵۴ **
سطوح رطوبتی	۲	۰/۹۲ **	۰/۲۲	۳/۷ **	۱۰۲ **	۵۲۵ **	۴۷/۳ *	۶/۹ **	۲۲۴/۲ **	۱۷۶ **	۰/۰۸۹ **
کود × سطوح رطوبتی	۶	۰/۲۶	۰/۴۸	۰/۲	۴۷ *	۱۲/۶	۴۸/۳ *	۰/۸۳	۹۵/۸ **	۱۰۸ *	۰/۰۲۴
خطا	۲۴	۰/۱۳	۰/۳۵	۰/۱۵	۱۴/۳	۱۰/۳	۱۵/۵	۰/۹۶	۲۰/۶	۲۷/۳	۰/۰۱۴
محلول‌پاشی											
کود زرگرین	۳	۰/۶۴ *	۰/۶۷ *	۰/۴ **	۲۶/۲ *	۳۱/۹ **	۷۵/۶ **	۰/۲۲	۱۲/۹	۱۳۷ *	۰/۰۶۲ **
سطوح رطوبتی	۲	۰/۷۴ *	۲/۵۳ **	۶/۵۸ **	۱۳۲/۸ **	۶۳۲ **	۱۹/۵۵	۱۲/۴ **	۱۸/۶	۱۱۶ *	۰/۰۷۱ **
کود × سطوح رطوبتی	۶	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۱۹	۴۳/۹ **	۲/۸	۱۸/۳	۱/۳۵	۳۱/۲	۹۶ *	۰/۰۲۶ *
خطا	۲۴	۰/۱۹	۰/۲۰	۰/۰۹	۸/۴	۹/۳	۱۷/۴	۱/۸۹	۴۲/۲	۳۳/۲	۰/۰۱۱

*** و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.**

طول سنبله

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد محلول‌پاشی کود زرگرین و تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر طول سنبله داشتند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد سطوح مختلف خشکی، طول سنبله را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری کاهش داد. نتایج مشابهی توسط رخ افروز و همکاران (۱۳۹۵) به دست آمد. آن‌ها گزارش کردند که در شرایط گلخانه، تنش ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه به ترتیب سبب کاهش ۷ و ۱۷ درصدی طول سنبله و در شرایط مزرعه، تنش ملایم، متوسط و شدید به ترتیب سبب کاهش ۲، ۷ و ۱۳ درصد طول سنبله شد. تنش خشکی می‌تواند از طریق کوتاه‌کردن طول دوره نمو (Emam, 2011) و همچنین افزایش سرعت نمو (Emam & Seghatoeslami, 2005) موجب کاهش طول سنبله شود. همچنین تنش خشکی از طریق تأثیر منفی بر مریستم انتهایی که تشکیل دهنده سنبله است می‌تواند سبب کوتاهی سنبله شود (Abbate *et al.*, 2004) کاهش طول سنبله در اثر تنش می‌تواند نتیجه کاهش تعداد دانه در هر سنبله باشد. برخی پژوهشگران نیز گزارش کردند تنش خشکی سبب کاهش عملکرد ارقام گندم مورد مطالعه در هر دو شرایط گلخانه و مزرعه شد هرچند پس از گلدهی، افزایش جرم و تراکم طولی ریشه در لایه زیرین خاک سبب جلوگیری از کاهش بیشتر عملکرد شد (Fang et al., 2017). بوترا و همکاران (۲۰۱۰) نیز اثر تنش خشکی را بر ویژگی‌های مختلف رشد و عملکرد ارقام گندم شامل ارتفاع، سطح برگ، وزن تر و خشک و کارایی مصرف آب بررسی و گزارش نمودند که اثر منفی تنش وابسته به ترکیب تنش و رقم گیاه است و تنش خشکی بر ویژگی‌های برخی ارقام اثر منفی داشته اما در برخی مواد نیز اثر منفی معنی‌دار مشاهده نشد (Boutraa et al., 2010). ژائو و همکاران (۲۰۲۰) نیز اثر تنش رطوبتی را بر فتوسنتز و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک گندم بررسی و گزارش کردند این ویژگی‌ها در شرایط خشکی متوسط تا شدید به طور معنی‌داری کاهش یافتند (Zhao et al., 2020).

نتایج همچنین نشان داد کاربرد سطوح ۵ و ۷/۵ لیتر در هزار کود مورد مطالعه سبب افزایش معنی‌دار طول سنبله به‌ترتیب به میزان ۳ و ۵ درصد در مقایسه با شاهد شد. بیشترین میانگین طول سنبله به میزان ۸/۸۳ سانتی‌متر با افزودن ۷/۵ لیتر بر هزار کود زرگرین به دست آمد (شکل ۲). نتایج تجزیه واریانس نشان داد کاربرد خاکی کود زرگرین و تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر طول سنبله نداشتند. البته کاربرد سطوح ۱۰ و ۲۰ لیتر در هکتار کود مورد مطالعه سبب افزایش طول سنبله شد. بیشترین میانگین طول سنبله به میزان ۸/۸۳ سانتی

متر با افزودن ۲۰ لیتر بر هکتار کود زرگرین به دست آمد که احتمالا به دلیل در اختیار قرار دادن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از جمله نیتروژن بوسیله کود مورد مطالعه و یا اثرات مثبت کود مورد مطالعه بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و در نتیجه افزایش طول سنبله به عنوان یکی از شاخص‌های رشد باشد. احمدی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲) نیز نشان دادند کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار سبب افزایش معنی‌دار طول سنبله نسبت به شاهد شد. همچنین آنان گزارش کردند کاربرد همزمان کود آلی با اوره توانست طول سنبله را به طور معنی‌داری در مقایسه با کاربرد اوره به تنهایی، افزایش دهد.

تعداد سنبله و تعداد دانه در سنبله

نتایج تجزیه واریانس نشان داد محلول‌پاشی کود زرگرین و همچنین تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر تعداد سنبله داشتند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد کاربرد سطوح ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با شاهد سبب کاهش معنی‌دار میانگین تعداد سنبله شد. نتایج همچنین نشان داد کاربرد سطوح ۵ و ۷/۵ لیتر در هزار کود مورد مطالعه سبب افزایش معنی‌دار تعداد سنبله به‌ترتیب به میزان ۴ و ۵ درصد در مقایسه با شاهد شد. بیشترین میانگین تعداد سنبله به تعداد ۲/۹۴ سنبله با افزودن ۷/۵ لیتر بر هزار کود زرگرین به دست آمد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد کاربرد خاکی کود زرگرین و همچنین تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر تعداد سنبله داشتند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد کاربرد سطوح ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با شاهد سبب کاهش معنی‌دار میانگین تعداد سنبله شد. همچنین کاربرد سطوح ۱۰ و ۲۰ لیتر در هکتار کود مورد مطالعه به‌ترتیب سبب افزایش ۹/۵ و ۱۳ درصدی تعداد سنبله در مقایسه با شاهد شد. بیشترین میانگین تعداد سنبله به تعداد ۳/۳۳ سنبله با افزودن ۲۰ لیتر بر هکتار کود زرگرین به دست آمد (شکل ۲).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد محلول‌پاشی کود زرگرین و همچنین تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در سنبله داشتند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد کاربرد سطوح ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با شاهد سبب کاهش معنی‌دار میانگین تعداد دانه در سنبله شد. رخ افروز و همکاران (۱۳۹۵) نشان دادند که بوته های گندم رشد یافته در شرایط تنش، دارای سنبله کوتاه تر و تعداد دانه در سنبله کمتری بودند. آنان نشان دادند تنش خشکی، تعداد دانه در هر سنبله را کاهش داد به طوری که بیشترین و کمترین تعداد دانه در سنبله به ترتیب در تیمار ۱۰۰ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه به دست آمد (شکل ۲).

نتایج همچنین نشان داد کاربرد سطوح ۲/۵، ۵ و ۷/۵ لیتر در هزار کود مورد مطالعه به ترتیب سبب افزایش ۹، ۱۰ و ۱۶ درصدی تعداد دانه در سنبله در مقایسه با شاهد شد هرچند تنها افزایش ۱۶ درصدی در مقایسه با شاهد از نظر آماری معنی دار بود. بیشترین میانگین تعداد دانه در سنبله به تعداد ۳۰/۲۷ دانه با محلول‌پاشی ۷/۵ لیتر در هزار کود زرگرین به دست آمد (شکل ۲).

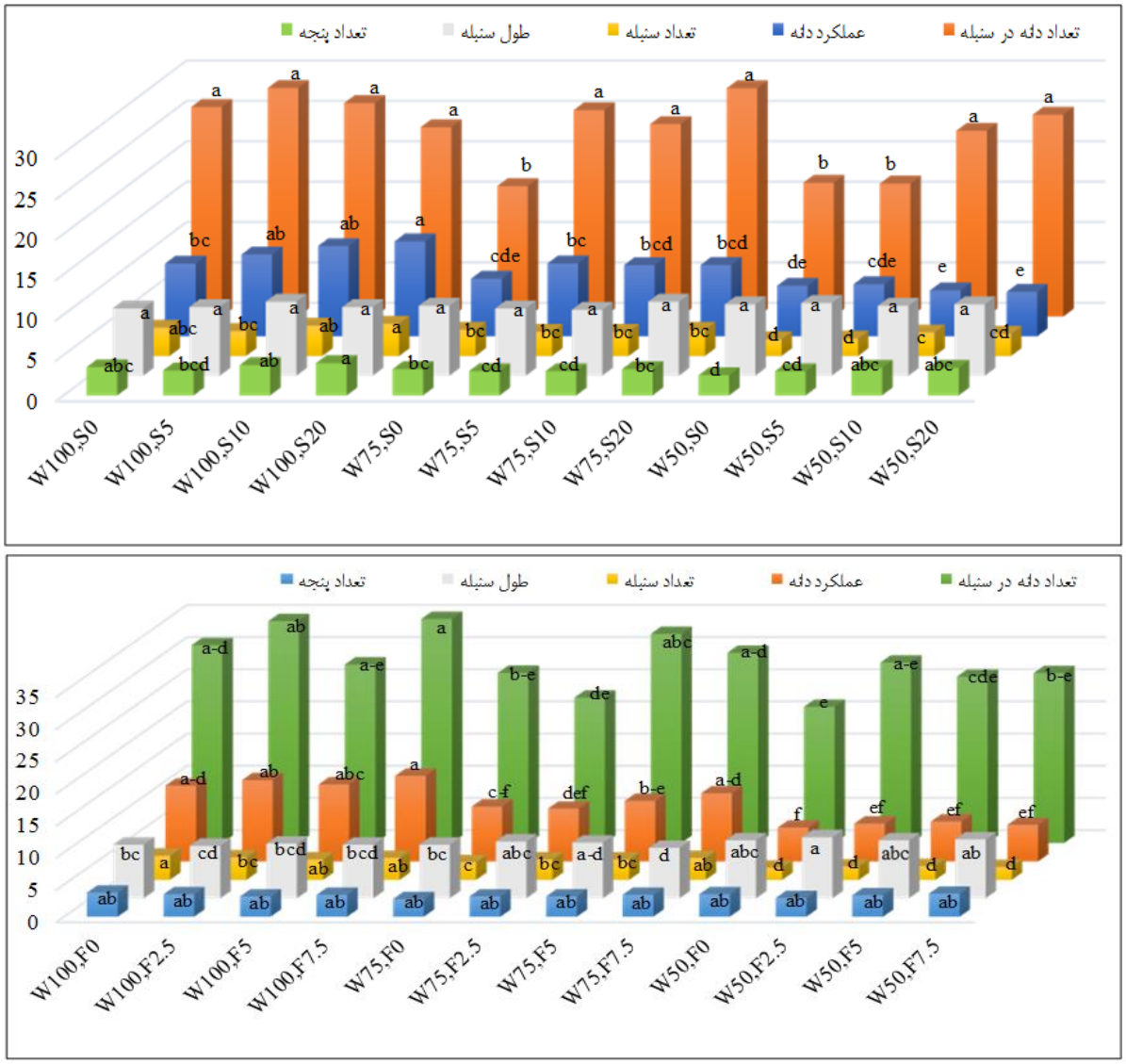
نتایج تجزیه واریانس نشان داد کاربرد خاکی کود زرگرین و همچنین تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در سنبله داشتند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد کاربرد تیمارهای W50 و W75 در مقایسه با شاهد سبب کاهش میانگین تعداد دانه در سنبله شد. هرچند تنها کاهش ناشی از کاربرد W50 در مقایسه با شاهد معنی دار بود. کاربرد تیمارهای S5 ، S10 و S20 از کود مورد مطالعه به ترتیب سبب افزایش معنی‌دار ۲۲، ۲۵ و ۳۱ درصدی تعداد دانه در سنبله در مقایسه با شاهد شد. بیشترین میانگین تعداد دانه در سنبله به تعداد ۲۵/۵۷ دانه با کاربرد تیمار S20 کود زرگرین به دست آمد (شکل ۲).

کارآیی مصرف آب

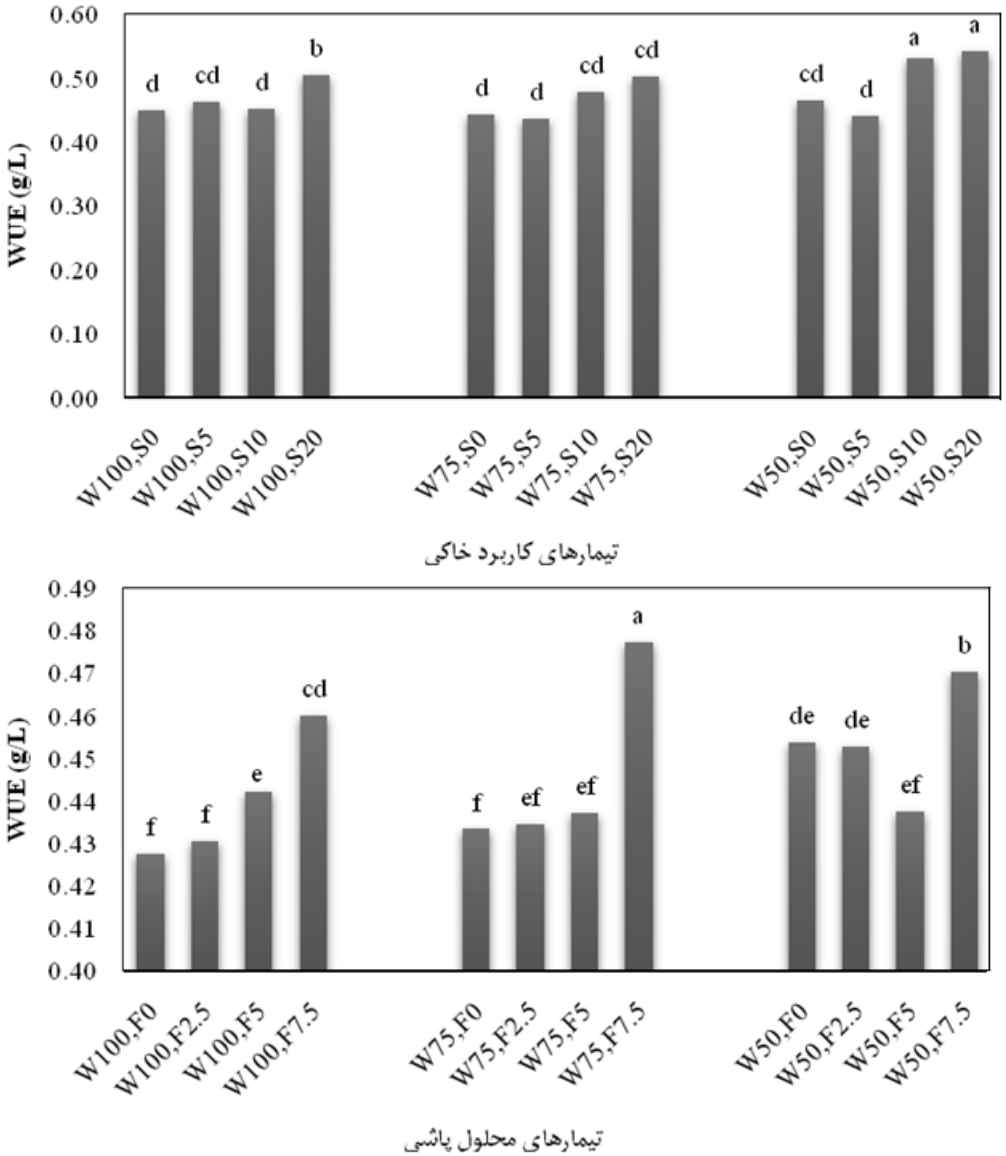
کاربرد خاکی کود آلی زرگرین در نمونه‌های دارای تنش خشکی، منجر به افزایش کارآیی مصرف آب شد. به این ترتیب که کارآیی مصرف آب در تیمارهای S10 و S20 در شرایط تنش خشکی W75 به‌ترتیب ۰/۴۸ و ۰/۵۰ و در شرایط تنش خشکی W50 به‌ترتیب ۰/۵۳ و ۰/۵۴ گرم بر لیتر به دست آمد که در هر دو سطح تنش خشکی مذکور، مقدار کارآیی به دست آمده نسبت به نمونه‌های بدون کود آلی (شاهد) بیشتر بود (شکل ۳). نتایج نشان داد در بالاترین سطح تنش خشکی به کار گرفته شده نسبت به سایر تیمارها، بیشترین کارآیی مصرف آب (۰/۵۴ گرم بر لیتر)، با افزودن بیشترین مقدار کود آلی (S20) به دست آمد. نتایج نشان داد افزودن کود آلی در شرایط بدون تنش خشکی (W100) نیز روند مشابهی نشان داد به طوری که بیشترین کارآیی مصرف آب در تیمار S20 به دست آمد. کیانی و همکاران (۱۳۸۴) نیز گزارش کردند در شرایط کم‌آبیاری کارایی مصرف آب گندم در مقایسه با شرایط آبیاری کامل به طور معنی‌دار بیشتر بود.

شکل ۳ نیز نشان می‌دهد بیشترین کارآیی مصرف آب به میزان ۰/۴۸ گرم بر لیتر، با کاربرد تیمار محلول‌پاشی F7.5 کود آلی زرگرین و در شرایط تنش خشکی W75 به دست آمد. کاربرد کود مورد مطالعه احتمالا با تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه (و یا بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی محیط رشد گیاه در شرایط کاربرد خاکی) سبب افزایش وزن خشک گیاه و همچنین کاهش مصرف آب و در

نتیجه افزایش کارایی مصرف آب شده است. مشابه با نتایج این پژوهش، برخی پژوهشگران نیز نشان دادند بیشترین کارآیی مصرف آب در گندم با محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم کود آلی اسیدآسکوربیک در لیتر آب و در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی به دست آمد (Bakry *et al.*, 2013). آنان همچنین بیان کردند میزان حجم آب و غلظت عناصر غذایی در محدوده ریشه گیاه از دلایل مهم تاثیرگذار در کارا بودن این مقدار از آب به کاررفته می‌باشد. احمدی نژاد و همکاران (۱۳۹۲) نیز نشان دادند کاربرد مقادیر ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار از هر یک از کودهای آلی مورد مطالعه (کود دامی، لجن فاضلاب و کمپوست) به تنهایی و یا همراه با مقادیر ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی اوره، کارآیی مصرف آب در کشت گندم را به طور معنی‌داری افزایش داد. کاربرد کود آلی سبب افزایش سرعت نفوذ و ظرفیت نگهداری آب در خاک، تعدیل دمای خاک، رشد مناسب ریشه و جذب بهتر مواد غذایی توسط گیاه و بهبود رشد گیاه شده و در نتیجه افزایش کارآیی مصرف آب می‌شود (عباسی و همکاران، ۱۳۹۱). در پژوهش دیگری نشان داده شد که مصرف کود دامی به همراه کود شیمیایی، عملکرد گیاه ذرت را افزایش می‌دهد بدون اینکه بر مصرف آب تأثیر زیادی داشته باشد و این موضوع سبب افزایش کارآیی مصرف آب می‌شود (مجیدیان و همکاران، ۱۳۸۷). گویلی و همکاران (۱۳۹۵) نیز گزارش کردند کاربرد ۱/۲۵ درصد وزنی بیوچار کود دامی سبب افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب اسفناج شد. آنان همچنین گزارش کردند کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی شدید (۵۰ درصد ظرفیت مزرعه) و کم (۷۵ درصد ظرفیت مزرعه) در مقایسه با شاهد (رطوبت ظرفیت مزرعه) کاهش یافت (هرچند میزان کاهش در شرایط تنش خشکی کم در مقایسه با شاهد از نظر آماری معنی‌دار نبود).



شکل ۲. اثر کاربرد خاکی و محلول‌پاشی ترکیب آلی زرگرین بر تعداد پنجه، طول سنبله، تعداد سنبله، عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله. (در مورد هر ویژگی، ستون‌هایی که حداقل در یک حرف کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).



شکل ۳. اثر تیمارهای کاربرد خاکی و محلول‌پاشی کود زرگرین بر کارآیی مصرف آب (WUE) گندم (در هر مورد، ستون‌هایی که حداقل در یک حرف کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

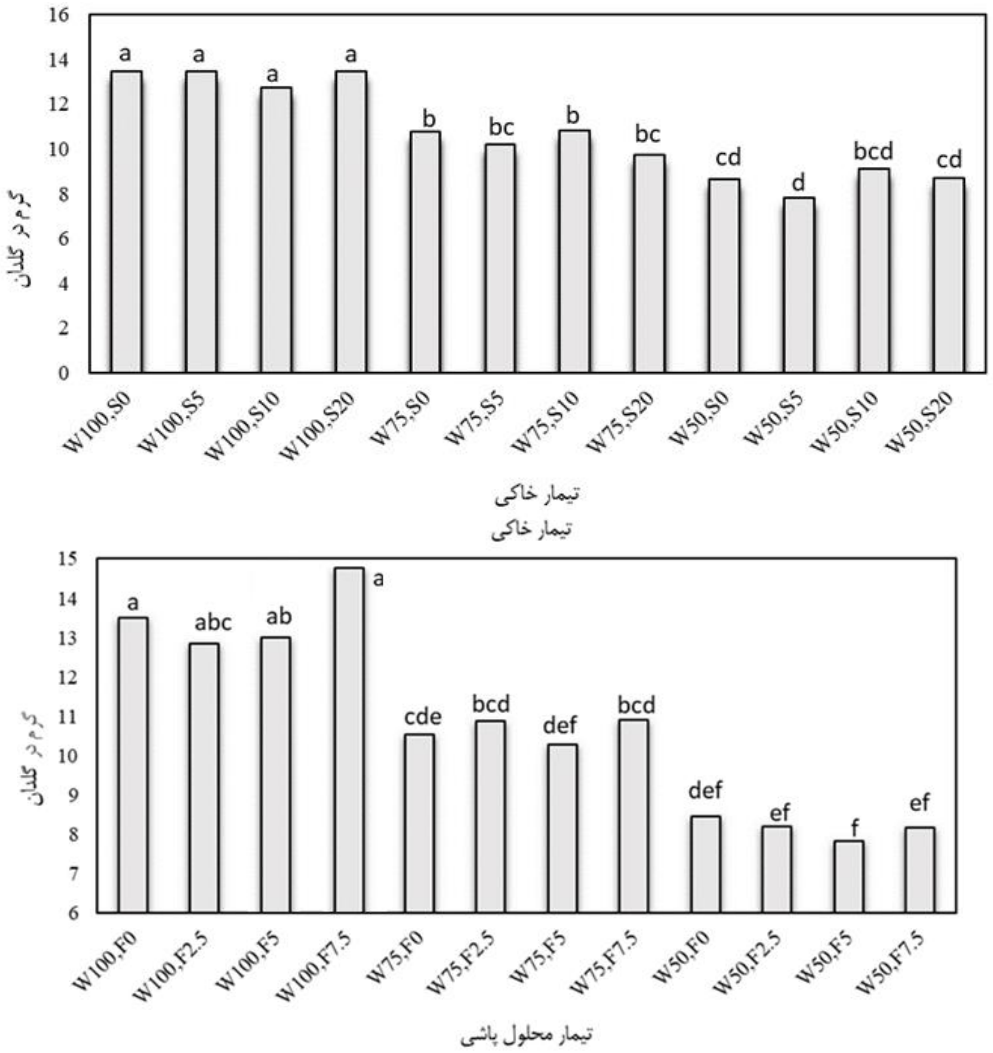
وزن خشک گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد کاربرد خاکی کود زرگرین اثر معنی‌داری بر وزن خشک گیاه نداشت اما تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر وزن خشک گیاه داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد به طور کلی با کاربرد سطوح مختلف خشکی وزن خشک گیاه در مقایسه با شرایط بدون تنش (W100) به طور معنی‌داری کاهش یافت. نتایج همچنین نشان داد کاربرد مقادیر مختلف کود مورد مطالعه در هر یک از تیمارهای تنش رطوبتی در مقایسه با شاهد، اثر معنی‌داری بر وزن خشک گیاه نداشت (شکل ۴). بیشترین وزن خشک گیاه به میزان حدود ۱۴ گرم در گلدان و در شرایط کاربرد تیمار W100,S20 حاصل شد. هرچند تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارهای کاربرد کود در سطح رطوبتی مذکور نداشت.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد محلول‌پاشی کود زرگرین اثر معنی‌داری بر وزن خشک گیاه نداشت اما تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر وزن خشک گیاه داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد با کاربرد سطوح مختلف خشکی وزن خشک گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۴). نتایج همچنین نشان داد کاربرد مقادیر مختلف کود مورد مطالعه در مقایسه با شاهد، اثر معنی‌داری بر وزن خشک گیاه نداشت (شکل ۴). بیشترین میانگین وزن خشک گیاه در آزمایش محلول‌پاشی به میزان ۱۵ گرم در گلدان و با کاربرد تیمار

W100,F7.5 حاصل شد که از نظر آماری با سایر تیمارهای سطوح کود در سطح رطوبتی مذکور اختلاف معنی‌داری نداشت. نتایج همچنین نشان داد محلول‌پاشی مقادیر مختلف کود مورد مطالعه در هر یک از تیمارهای تنش رطوبتی در مقایسه با شاهد، اثر معنی‌داری بر وزن خشک گیاه نداشت (شکل ۴). یافته‌ها نشان داد مقادیر کاهش وزن خشک گیاه در پاسخ به اعمال تنش خشکی در آزمایش کاربرد خاکی کود آلی مورد مطالعه در مقایسه با شرایط مشابه در آزمایش محلول‌پاشی به میزان قابل توجهی کمتر است که می‌تواند به دلیل اثرات مثبت کاربرد خاکی کود مورد مطالعه بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و افزایش نگهداشت آب در خاک و در نتیجه رشد بهتر گیاه باشد. سایر پژوهشگران نیز نشان دادند افزایش جذب عناصر کم‌مصرف از خاک و انتقال آنها در گیاه، پس از افزودن ماده آلی به خاک، سبب رشد بهتر گیاه شده و در نتیجه عملکرد آن افزایش می‌یابد (Salehi-far & Afshar-Mohamadian, 2020). Aghaye Noroozlo و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان دادند محلول‌پاشی گلایسین و گلوتامین، وزن خشک و تر کاهو را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد. پژوهش‌های سایرین نیز نشان داد افزودن ترکیبات آلی دارای اسیدهای آمینه، مقاومت گیاهان را نسبت به تنش‌های محیطی افزایش می‌دهد. تنظیم انتقال یون‌ها و باز و بسته شدن روزنه‌ها، کاهش سمیت فلزات سنگین و نقش آنها به عنوان اسمولیت از جمله نقش‌های تاثیرگذار این ترکیبات بیان شده است (Anjum *et al*., 2014).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که محلول‌پاشی کود آلی به‌ویژه در تیمارهای رطوبتی W75 و W100 از کاهش وزن خشک گندم جلوگیری کرد هرچند مقادیر از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۴). نتایج نسبتا مشابهی در مورد کاربرد خاکی کود نیز به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که افزودن ترکیبات آلی می‌تواند منجر به کاهش اثرات منفی تنش‌های محیطی مانند خشکی شود.

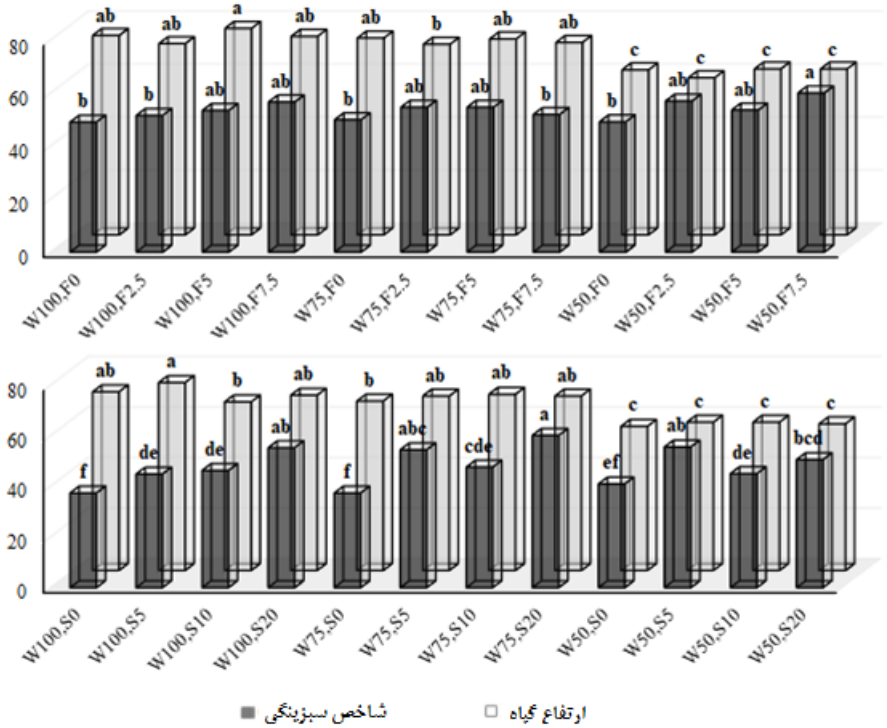


شکل ٤. اثر محلول‌پاشی و کاربرد خاکی کود زرگرین بر وزن خشک گیاه (در هر مورد، ستون‌هایی که حداقل در یک حرف کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ٥ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

ارتفاع گیاه و شاخص سبزینگی (کلروفیل) برگ

نتایج نشان داد بیشترین ارتفاع گندم در گیاهانی که با ترکیب آلی محلول‌پاشی شده بودند در تیمار بدون تنش خشکی و با افزودن ۵ لیتر محلول بر هزار لیتر آب به دست آمد (۷۸ سانتی‌متر). البته بین تیمارهای مختلف محلول‌پاشی در شرایط بدون تنش خشکی (W100) و تنش کم (W75) تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. شکل ۵ نشان داد که با افزایش تنش و در رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه، ارتفاع گندم در تمامی تیمارهای محلول‌پاشی شده با ترکیب آلی، به طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین بیشترین میزان شاخص سبزینگی برگ گندم در نمونه‌های گیاهی محلول‌پاشی شده با بیشترین سطح ترکیب آلی (۷/۵ لیتر بر هزار) و تنش رطوبتی ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه به دست آمد. در سایر سطوح رطوبتی به کار رفته (W100 و W75)، با افزایش سطح کاربرد ترکیب آلی، میزان شاخص سبزینگی برگ گندم افزایش یافت. ارتفاع گیاهانی که در شرایط مناسب‌تر رطوبتی رشد کرده بودند به مراتب بیشتر از شرایط تنش شدید رطوبتی بود به گونه‌ای که بیشترین ارتفاع (۷۴ سانتی متر) در نمونه‌های بدون تنش و با کاربرد تیمار S5 به دست آمد. در حالی که در بیشترین سطح تنش خشکی (W50)، گیاهانی با کمترین ارتفاع مشاهده شدند به گونه‌ای که کمترین ارتفاع در نمونه فاقد ترکیب آلی و برابر ۵۷ سانتی‌متر به دست آمد.

نتایج نشان داد که کمترین شاخص سبزینگی برگ گندم در تمامی سطوح تنش خشکی، مربوط به نمونه‌های فاقد ترکیب آلی زرگرین بود (شکل ۵). از سوی دیگر بیشترین شاخص سبزینگی در تمامی سطوح تنش خشکی، با کاربرد تیمار S20 به دست آمد (تمامی اختلافات از نظر آماری معنی‌دار بود). افزایش شاخص سبزینگی برگ و ارتفاع گیاه در اثر کاربرد کود آلی می‌تواند به‌دلیل غلظت زیادتر عناصری مانند نیتروژن، منیزیم، منگنز و آهن در این کودها نسبت به خاک مورد استفاده باشد (احمدی نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). کود آلی زرگرین مورد استفاده نیز محتوی مقدار نسبتا زیادی اسیدهای آمینه، نیتروژن و مقادیر کمتری از سایر عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه است (جدول ۲) و به این دلیل می‌تواند در تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و در نتیجه بر رشد و عملکرد گیاه اثر مثبت داشته باشد. سایر پژوهشگران نیز گزارش نموده‌اند کاربرد اسیدهای آمینه مورد استفاده به دلیل تولید کلروفیل بیشتر، میزان فتوسنتز را افزایش داده و موجب تولید پروتئین بیشتری شده و در نتیجه سبب افزایش مقاومت خیار، گوجه فرنگی و لوبیا سبز (Souri *et al.*, 2017) و سویا (Teixeira *et al.*, 2019) در برابر تنش‌های محیطی و بهبود عملکرد گیاه شده است.

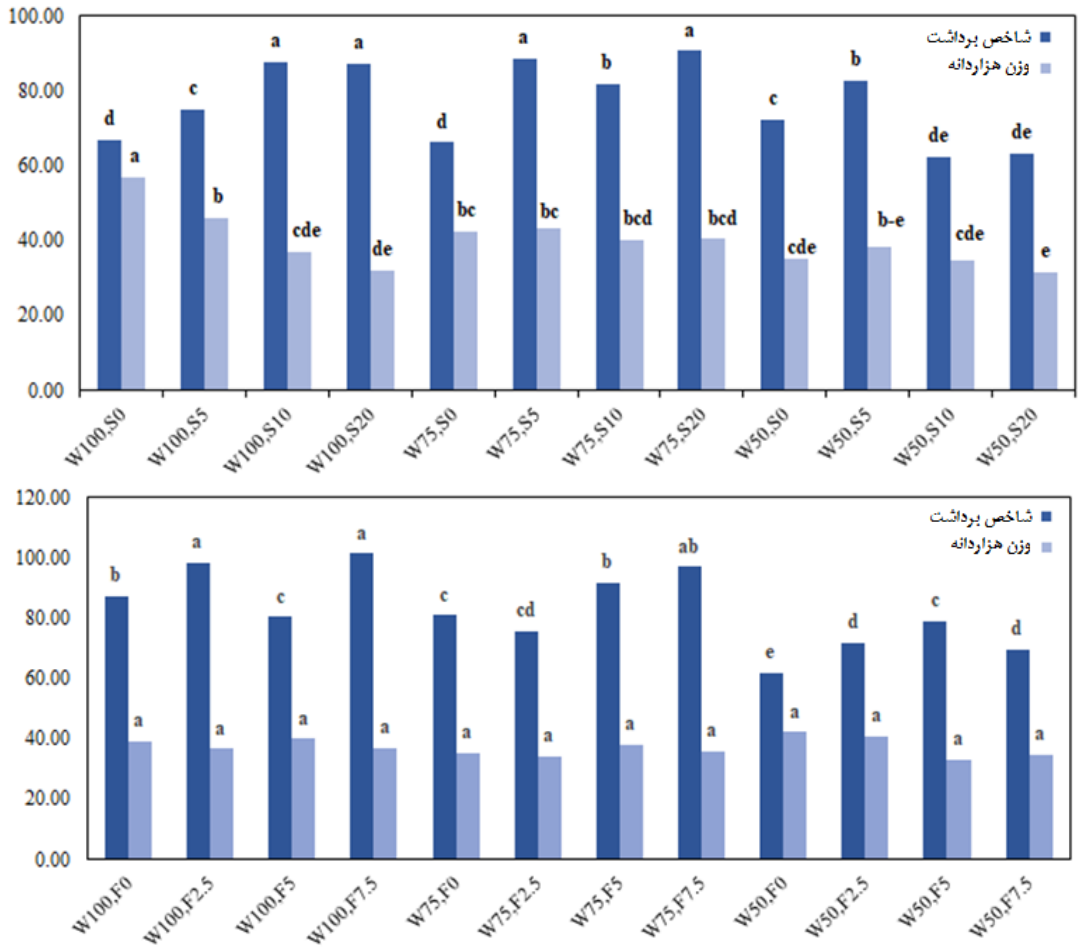


شکل ۵. اثر محلول‌پاشی و کاربرد خاکی کود زرگرین بر ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) و شاخص سبزینگی (کلروفیل) برگ گندم (در مورد هر ویژگی، ستون‌هایی که حداقل در یک حرف کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

وزن هزار دانه و شاخص برداشت گیاه

نتایج نشان داد کاربرد خاکی ترکیب آلی زرگرین به طور معنی‌داری شاخص برداشت گندم را افزایش داده است به گونه‌ای که بیشترین شاخص در تیمار W75,S20 مشاهده شد که در مقایسه با شاهد به میزان ۲۷ درصد بیشتر بود. افزودن کود آلی در سطوح مختلف به خاک در تمام تیمارهای تنش رطوبتی سبب افزایش معنی‌دار شاخص برداشت گیاه شد. کمترین شاخص برداشت گندم در نمونه شاهد، بدون دریافت ترکیب آلی (W100,S0)، نمونه دارای بیشترین تنش خشکی و پس از افزودن ۱۰ و ۲۰ لیتر بر هکتار کود آلی (W50,S10 & W50,S20) به دست آمد. نکته قابل توجه این است که میزان شاخص در این دو تیمار با نمونه شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت و از نظر مقدار مشابه بود (شکل ۶). این موضوع نشان می‌دهد علی‌رغم تنش خشکی اعمال شده، حضور کود آلی در این سطح از تنش خشکی احتمالا به دلیل اثرات مثبت بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و بهبود نگهداشت آب در خاک و همچنین تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانع از کاهش نسبت وزن دانه به وزن اندام هوایی (شاخص برداشت) شده است.

بیشترین شاخص برداشت در نمونه‌های محلول‌پاشی شده با ترکیب آلی زرگرین، با کاربرد تیمار افزودن ۷/۵ لیتر مایع در هزار لیتر و بدون تنش خشکی (W100,F7.5) به دست آمد. از سوی دیگر، کمترین شاخص با به کارگیری بیشترین سطح تنش خشکی و بدون افزودن ترکیب زرگرین (W50,F0) بود. این در حالی بود که محلول‌پاشی ماده آلی در نمونه‌های مواجه شده با بیشترین سطح تنش خشکی نسبت به نمونه مشابه بدون محلول‌پاشی، شاخص برداشت گندم را به طور معنی‌داری افزایش داد. در مورد وزن هزار دانه گندم در تیمارهای محلول‌پاشی و خاکی زرگرین نسبت به شاهد، روند مشخصی مشاهده نشد (شکل ۶).



شکل ٦. اثر محلول‌پاشی و کاربرد خاکی کود زرگرین بر وزن هزار دانه و شاخص برداشت گندم (در هر مورد، ستون‌هایی که حداقل در یک حرف کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ٥ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

به طور کلی شاخص برداشت، وابستگی زیادی به تغییرات عملکرد دانه دارد و هر عاملی که بر عملکرد دانه و وزن خشک کل گیاه اثر داشته باشد سبب تغییر شاخص برداشت خواهد شد. مجیدیان و همکاران (۱۳۸۷) نشان دادند تنش رطوبتی تأثیر معنی‌داری بر شاخص

برداشت نداشت. این پژوهشگران معتقدند شاخص برداشت عملا ثابت است زیرا همان‌گونه که تنش رطوبتی سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود، وزن خشک کل را نیز کاهش می‌دهد، مگر اینکه تنش شدید موجب کاهش عملکرد دانه به میزان زیاد شود و در نتیجه شاخص برداشت کاهش یابد.

نتیجه‌گیری

رسیدن به تولید پایدار مواد غذایی که علاوه بر افزایش عملکرد محصول بتواند اکوسیستم را حفظ کند، نیازمند توجه به توسعه پایدار کشاورزی به کمک کاربرد اصلاح‌کننده‌های مناسب و کودهای آلی است. استفاده از ترکیبات آلی دارای اسیدهای آمینه که می‌توانند نقش مهمی در افزایش عملکرد گیاهان به‌ویژه در شرایط تنش خشکی ایفا کنند مورد توجه تولیدکنندگان قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد خاکی یا محلول‌پاشی کود آلی زرگرین که محتوی اسیدهای آمینه زیاد است احتمالا به دلیل اثرات مثبت بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و بهبود نگهداشت آب در خاک و همچنین تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، سبب افزایش کارآیی مصرف آب، تعداد پنجه، تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله و میزان شاخص سبزینگی گندم شده است. کاهش وزن خشک گیاه در اثر تنش خشکی در تیمارهای کاربرد خاکی کود زرگرین در مقایسه با شرایط مشابه در تیمارهای محلول‌پاشی به میزان قابل توجهی کمتر بود. با توجه اثرات مثبت کود مورد مطالعه می‌توان از آن برای افزایش کمیت و کیفیت محصول به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با تنش رطوبتی مواجه هستند استفاده نمود. پیشنهاد می‌شود اثر سطوح دیگر کود مورد مطالعه بر ویژگی‌های کمی و کیفی گندم و سایر گیاهان در شرایط مزرعه نیز بررسی شود.

"هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

احمدی نژاد، راشد؛ نجفی، نصرت اله؛ اصغرزاد، ناصرعلی و اوستان، شاهین (۱۳۹۲). اثر کودهای آلی و نیتروژن بر کارایی مصرف آب، عملکرد و ویژگی‌های رشد گندم (رقم الوند). *دانش آب و خاک*، ۲۳(۲)، ۱۷۷-۱۹۴.

امام، یحیی و ثقه‌الاسلامی، محمد جواد (۱۳۸۴). عملکرد گیاهان زراعی, فیزیولوژی و فرایندها. انتشارات دانشگاه شیراز.

حسنی، اکبر و امیری، محمدرضا (۱۳۹۵). تأثیر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر کارایی زراعی نیتروژن، عملکرد و کیفیت دانه جو. *نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی)*، ۱۱۲، ۷۶-۸۶.

رخ افروز، خاتون؛ امام، یحیی و پیرسته انوشه، هادی (۱۳۹۵). اثر کلرمکوات کلراید بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم گندم تحت شرایط تنش خشکی. *تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*، ۲۰، ۱۱۱-۱۲۲.

عباسی، معصومه؛ نجفی، نصرت‌اله؛ اصغرزاد، ناصرعلی و اوستان، شاهین (۱۳۹۱). اثر شرایط رطوبتی خاک و کودهای آلی و شیمیایی بر ویژگی‌های رشد و کارآیی مصرف آب برنج در یک خاک قلیایی غیر آهکی. *علوم و فنون کشت‌های گلخانه ای*، ۱۱(۳)، ۱-۱۶.

کیانی، علیرضا؛ میرلطیفی، مجید؛ همایی، مهدی و چراغی، علی محمد (۱۳۸۴). کارایی مصرف آب گندم تحت شرایط شوری و کم آبی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۶، ۴۷-۶۴.

مجیدیان، مجید؛ قلاوند، امیر؛ کریمیان، نجفعلی و کامگارحقیقی، علی اکبر (۱۳۸۷). تأثیر تنش رطوبت، کود شیمیایی نیتروژنه، کود دامی و تلفیقی از کود نیتروژن و کود دامی بر عملکرد، اجزای عملکرد و راندمان استفاده از آب ذرت سینگل کراس ۷۰۴. *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۴۵(۱۲)، ۴۱۷-۴۳۲.

REFERENCES

Abbasi, M., Najafi, N., Aliasgharzad, N., & Oustan, Sh. (2012). Effects of soil water conditions and organic and chemical fertilizers on growth characteristics and water use efficiency of rice in an alkaline non-calcareous soil. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 3(11), 1-17 (In Persian).

Abbate, P. E., Dardanelli, J. L., Cantarero, M. G., Maturano, M., Melchiori, R. J. M., & Suero, E. E. (2004). Climatic and water availability effects on water-use efficiency in wheat. *Crop Science*, 44, 474–483.

Adekiya, A. O., Ojeniyi, S. O., & Agbede, T. M. (2012). Poultry manure effects on soil properties, leaf nutrient status, growth and yield of cocoyam in a tropical Alfisol. *Nigerian Journal of Soil Science*, 22(2), 30–39.

Aghaye Noroozlo, Y., Souri, M. K., & Delshad, M. (2019). Stimulation effects of foliar applied glycine and glutamine amino acids on lettuce growth. *Open Agriculture*, 4, 164-172.

Ahmadinejad, R., Najafi, N., Aliasgharzad, N., & Oustan, Sh. (2013). Effects of organic and nitrogen fertilizers on water use efficiency, yield, and the growth characteristics of wheat (*Triticum aestivum* cv. Alvand). *Water and Soil Science*, 23(2), 177-190 (In Persian).

Angers, D. A., Chantigny, M. H., MacDonald, J. D., Rochette, P. & Côté, D. (2010). Differential retention of carbon, nitrogen and phosphorus in grassland soil profiles with long-term manure application. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 86, 225–229.

Anjum, N. A., Gill, S. S., & Gill, R. (2014). *Plant adaptation to environmental change: significance of amino acids and their derivatives*. Boston, Massachusetts: CABI

Ayoola, O.T., & Makind, E.A. (2009). Maize growth, yield and soil nutrient changes with N-enriched organic fertilizers. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 9, 580-592.

Bakry, B. A., Elewa, T. A., El- kramany, M. F., & Wali, A. M. (2013). Effect of humic and ascorbic acids foliar application on yield and yield components of two Wheat cultivars grown under newly reclaimed sandy soil. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4, 1125-1133.

Boutraa, T., Akhkha, A., Al-Shoaibi, A. A., & Alhejeli, A. M. (2010). Effect of water stress on growth and water use efficiency (WUE) of some wheat cultivars (Triticum durum) grown in Saudi Arabia. *Journal of Taibah University for Science*, *3*, 39-48.

Bremner, J. (1996). Nitrogen total. Methods of Soil Analysis. In: D. L. Sparks et al. (Eds). *Method of Soil Analysis*. Part 3. pp. 1085-1121. Chemical Methods. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, USA

Emam, Y. (2007). *Cereal production*. Shiraz University Press. Shiraz. 190 pp. (In Persian)

Emam, Y., & Seghatoeslami, M. J. (2005). *Crop Yield, Physiology and Processes*. Shiraz University Press. Shiraz. (In Persian).

Fang, Y., Du, Y., Wang, J., Wu, A., Qiao, S., Xu, B., Zhang, S., Siddique, K. H., & Chen, Y. (2017). Moderate drought stress affected root growth and grain yield in old, modern and newly released cultivars of winter wheat. *Frontiers in Plant Science*, *8*. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00672

Gavili, E., Moosavi, A. A., & Kamkar Haghighi, A. A. (2019a). Does biochar mitigate the adverse effects of drought on the agronomic traits and yield components of soybean? *Industrial Crops and Products*, 128, 445-454.

Gavili, E., Moosavi, A. A., & Moradi Choghamarani, F. (2018). Cattle manure biochar potential for ameliorating soil physical characteristics and spinach response under drought. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64, 1714-1727.

Gavili, E., Moosavi, A. A., & Zahedifar, M. (2019b). Integrated effects of cattle manure-derived biochar and soil moisture conditions on soil chemical characteristics and soybean yield. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65, 1758-1774.

Gee, G. W., & Boder, D. (2002). Particle-size analysis. In: Dane, J. H. and G. C. Topp. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*, Part 4- Physical Methods. Agronomy Monograph, No 9. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, PP. 255-293.

Hossain, M. A., Bhattacharjee, S., Armin, S. M., Qian, P., Xin, W., Li, H. Y., Burritt, D. J., Fujita, M., & Tran, L. S. P. (2015). Hydrogen peroxide priming modulates abiotic oxidative stress tolerance: insights from ROS detoxification and scavenging. *Frontier in Plant Sciences*, 6, 345–361.

Hasani, A., & Amiri, M. R. (2017). Effect of foliar application of amino acids on nitrogen use efficiency, grain yield and quality of barely. *Applied Fields of Crops Research*, 29(3), 76-86 (In Persian).

Hopkins, W. G., & Huner, N. P. (2004). *Introduction to plant physiology*. 3rd ed., John Wiley & Sons Pub., New York.

Ibrahim, M., Iqbal, M., & Elahi Valeem, E. (2008). Response of wheat growth and yield to various levels of compost and organic manure. *Pakistan Journal of Botany*, 40(5), 2135-2141.

Kiani, A. R., Mirlatofi, M, Homaee, M., & Cheraghi, A. M. (2005). Water use efficiency of wheat under salinity and water stress conditions. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6, 47-64 (In Persian).

Lopert, R. H., & Suarez, D. L. (1996). Carbonate and gypsum. In: Sparks., (Ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part III, 3rd Ed. Soil Science Society of America., Inc, American Society of Agronomy Madison, WI. PP. 437-474.

Ma, X., Li, H., Xu, Y., & Liu, C. (2021). Effects of organic fertilizers via quick artificial decomposition on crop growth. *Scientific Report*, 11, 3900.

Majidian, M., Ghalavand, A., Karimian, N., Kamgar Haghighi, A. A. (2008). Effects of moisture stress, nitrogen fertilizer, manure and integrated nitrogen and manure fertilizer on yield, yield components and water use efficiency of SC 704 corn. *Journal of Water and Soil Science*, 12(45), 417-432 (In Persian).

Marschner, P. (2011). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). Elsevier, London, p. 672.
Mikkelsen, R. L. (2008). Where does foliar fertilization fit in? *Plant Nutrition TODAY*, International Plant Nutrition Institute (IPNI), Spring 2008, No. 3.
Moosavi, A. A. & Ronaghi, M. (2010). Growth and iron-manganese relationships in dry bean as affected by foliar and soil application of iron and manganese. *Journal of Plant Nutrition*, 33, 1353-1365.
Moosavi, A. A. & Ronaghi, M. (2011). Influence of foliar and soil applications of iron and manganese on soybean dry matter yield and iron-manganese relationship in a Calcareous soil. *Australian Journal of Crop Science*, 5, 1550-1556.
Mosavi, S. B., Jafarzadeh, A. A., Neishabouri, M. R., Ostan, S., & Feiziasl, V. (2009). Rye green manure along with nitrogen fertilizer application increase wheat (*Triticum aestinum* L.) production under dryland condition. *International of Journal Agriculture Research*, 4, 204-212.
Najafian, Sh., & Zahedifar, M. (2018). Productivity, essential oil components and herbage yield, of sweet basil as a function of biochar and potassium-nano chelate. *Journal of Essential Oil Bearing Plants, 83,886-894.*
Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: D. L. Sparks et al., (Eds.), *Method of Soil Analysis*. Part III. 3rd Ed. Soil Science Society of America Inc., American Society of Agronomy Madison, WI. PP. 61-1010.
Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., & Dean, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *Circular*, Vol 939 (p. 19). Washington, DC: US Department of Agriculture.
Popko, M., Michalak, I., Wilk, R., Gramza, M., Chojnacka, K., & Górecki, H. (2018). Effect of the new plant growth biostimulants based on amino acids on yield and grain quality of winter wheat. *Molecules*, 23(2), 470.
Purbajanti, E. D., Slamet, W., Fuskhah, E., & Rosyida, R. (2019). Effects of organic and inorganic fertilizers on growth, activity of nitrate reductase and chlorophyll contents of peanuts (*Arachis hypogaea* L.), *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 250 012048.
Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: D. L. Sparks et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*, Part III, 3rd Ed., American Society of Agronomy Madison, WI. PP. 417-436.
Rokhafrooz, Kh., Emam, Y., & Pirasteh-Anosheh, H. (2016).The effect of chlormequat chloride on yield and yield components of three wheat cultivars under drought stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, 6(20), 111-123 (In Persian).
Souri M.K., Yaghoubi Sooraki F., & Moghadamyar M. (2017). Growth and quality of cucumber, tomato, and green bean plants under foliar and soil applications of an aminochelate fertilizer. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 58(6), 530-536.
Summer, M. E., & Miller, W. P., 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. In: D. L. Sparks et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. Part III. 3rd Ed. Soil Science Society of America. ASA. Madison, WI. PP. 1201-1229.
Tahami, M. K., Jahan, M., Khalilzadeh, H., & Mehdizadeh, M. (2017). Plant growth-promoting rhizobacteria in an ecological cropping system: A study on basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil production. *Industrial Crops and Products*, 107, 97–104.
Tang, J., Xu, J., Wen, Y., Tian, C., Lin, Z., & Zhao, B. (2019). Effects of organic fertilizer and inorganic fertilizer on the wheat yields and soil nutrients under long-term fertilization. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 25, 1827–1834.
Teixeira, W. F., Soares, L. H., Fagan, E. B. Costa Mello, S. D., Reichardt, K., & Dourado-Neto, D. (2020). Amino acids as stress reducers in soybean plant growth under different water-deficit conditions. *Journal of Plant Growth Regulator*, 39, 905–919.
Thomas, G.W. (1996). Soil pH and Soil Acidity. In: D. L. Sparks et al. (Eds). *Methods of Soil Analysis*. Part3, 3rd Ed. Am. Soc. Agron. Madison, WI. PP. 475-490.
Thornton, B., & Robinson, D. (2005). Uptake and assimilation of nitrogen from solutions containing multiple N sources. *Plant Cell and Environment*, 28, 813-821.
Wang, W. X., Vinocur, B., & Altman, A. (2003). Plant responses to drought, salinity, and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta.* 218,1-14.
Yadana, K. L., Aung, K. M., Takeo, Y., & Kazuo, O. (2009). The effects of green manure (Sesbania rostrata) on the growth and yield of rice, *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*, 54 (2), 313–319.
Ye, Sh., Peng, B., & Liu, T. (2022). Effects of organic fertilizers on growth characteristics and fruit quality in

Pear-jujube in the Loess Plateau. *Scientific Reports*, 12, 13372.

Yu, S. M., Jin, Q. Y., Zhu, L. F., Ouyang, Y. N., & Xu, D. H. (2007). The effects of nutri smart TM eco-fertilizer on the yields and cash income in rice. *China Rice* 04 M, 72–74.

Zahedifar, M. (2020a). Effect of biochar on cadmium fractions in some polluted saline and sodic soils. *Environmental Management*, 66, 1133-1141.

Zahedifar, M. (2020b). Iron fractionation in the calcareous soils of different land uses as influenced by biochar. *Waste Biomass Valorization*, 11, 2321-2330.

Zahedifar, M., & Moosavi, A. A. (2020). Assessing cadmium availability of contaminated saline-sodic soils as influenced by biochar using the adsorption isotherm models. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66, 1735-1752.

Zhang, J., Sha, Z., Zhang, Y., Bei, Z., & Cao, L. (2015). The effects of different water and nitrogen levels on yield, water, and nitrogen utilization efficiencies of spinach. *Canadian Journal of Plant Science*, 95, 671-679.

Zhao, W. Liu, L. Shen, Q. Yang, J. Han, X. Tian, F. & Wu, J. (2020). Effects of water stress on photosynthesis, yield, and water use efficiency in winter wheat. *Water, 12*, 2127. https://doi.org/10.3390/w12082127

Investigating water use efficiency and wheat growth characteristics as influenced by soil and foliar application of Zargreen organic fertilizer under drought conditions

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Use of organic compounds has received increased attention in order to increase productivity in the agricultural sector, improve food quality, maintain the quality of soil and environment, and also as one of the methods of dealing with drought stress and reducing its negative effects. One of the organic compounds is organic fertilizers containing amino acids, which are suitable sources of nitrogen supply and are of plant growth regulators that can be used as soil and foliar application. Therefore, the present study was conducted to investigate the effect of soil and foliar application of Zargreen organic fertilizer on water-use efficiency, yield and yield components of wheat under drought stress conditions.

Material and Methods

Two separate Factorial experiments were conducted in completely randomized design with three replications in greenhouse conditions. Treatments in the first experiment included four levels of foliar application of Zargreen amino acid fertilizer (with concentrations of 0, 2.5, 5, and 7.5 L/1000L) and three moisture levels (field capacity (no stress), 75 and 50% of field capacity, FC). In the second experiment, there were four levels of soil application of Zargreen fertilizer (0, 5, 10, and 20 L/ha) and the mentioned three moisture levels. Soil treatments were used before planting, 2 and 4 months after planting and foliar applications were used out at 1.5, 3, and 4 months after planting. During the growing season, the amount of water consumed was measured. Two weeks after the last stage of foliar application, the greenness index and before harvesting the number of tillers, the number and height of the spike, number of seeds in the spike and the height of the plant, and after harvesting, the fresh and dry weight were measured and water-use efficiency was calculated. Data analysis was done using SPSS software and averages were compared with the Duncan's test at 5% probability level.

Results and Discussion

Soil application of Zargreen fertilizer had a significant effect on the number of tiller, the number of spikes, number of seeds, greenness index, 1000-seed weight, harvest index, and water-use efficiency. Foliar application of the fertilizer also had a significant effect on the number of tiller, the number of spikes, the length of spikes, the number of seeds, plant height, greenness index, harvest index, and water-use efficiency .Drought stress had a significant effect on all studied attributes (except spike length in soil application test and greenness index and thousand seed weight in the foliar application test). The interaction effect of soil application of fertilizer and water stress on seed number, greenness index, 1000-seed weight, and harvest index and the interaction of foliar application and water stress on seed number, harvest index, and water-use efficiency were significant. Both soil and foliar application of fertilizer increased seed yield, plant dry weight, greenness index, and water-use efficiency compared to that of the control (although some changes were not significant). Soil application of 20 L/ha of fertilizer caused a 13% increase in the number of spikes. Soil application of 5, 10, and 20 L/ha also caused significant increases of 22, 25, and 31% in the number of seeds per spike, respectively. Number of seeds per spike increased (16%) with 7.5 L/1000L foliar application of the fertilizer. The highest greenness index at all drought stress levels was obtained with 20 L/ha soil application of fertilizer and caused a 38% increase at the ۰٫75FC drought stress of. The highest water-use efficiency (0.55 g/L) was observed with soil application of 20 L/ha and in 0.5FC. Decrease in plant dry weight due to drought stress in the soil application treatments is significantly less than that of foliar application treatments. In general, application of the organic fertilizer at all drought stress levels prevented the decrease in dry weight.

Conclusion

The soil or foliar application of Zargreen organic fertilizer, which contains a lot of amino acids, increased water-use efficiency, number of tiller, number of spikes, number of grains per spike, and the amount of greenness index of wheat. It is probably due to the positive effects on the soil physical and chemical characteristics and improvement in water retention of soil, as well as supplying the required nutrients by the plant. Therefore, considering the positive effects of the studied fertilizer, it can be used to increase the quantity and quality of the product, especially in arid and semi-arid regions that facing drought stress. It is suggested to investigate the effect of other levels of the studied fertilizer on the quantitative and qualitative characteristics of wheat and the other plants in the field conditions.

***Keywords**: Dry weight, Fresh weight, Spike, Greenness index, Tiller, Water stress.*