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

Effect of moisture stress and foliar application of Zargreen organic liquid fertilizer on tomato growth and yield

Maryam Zahedifar[1]✉ | Ali Akbar Moosavi[2] | Arash Ershadi[3] | Edris Gavili[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, College 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. Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: edris_gavili@yahoo.com.

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Sep. 2, 2023

Revised: Oct. 3, 2023

Accepted: Oct. 9, 2023

Published online: Nov. 22, 2023

Keywords:
Water Stress,
Tomato Yield,
Greenness Index,
Micronutrients,
Chemical Composition.

ABSTRACT

The present research was conducted to investigate the effect of foliar application of Zargreen organic liquid fertilizer on the growth and chemical composition of tomatoes under drought stress in greenhouse conditions in the Faculty of Agriculture of Shiraz University on May 2022. Treatments consisted of four levels of foliar application of Zargreen amino acid fertilizer (with concentrations of 0, 2.5, 5, and 7.5 L/1000L), and three soil moisture levels (field capacity (without stress), 75 and 50% of field capacity, FC). During the growing season three times; 1.5 months (at the end of vegetative growth and beginning of flowering), 2.5 months (at the stage of fruit development), and 3 months (at the stage of fruit ripening) after planting, Zargreen organic liquid fertilizer solutions were used with the mentioned concentrations for foliar spraying. The interaction effect of Zargreen organic fertilizer and moisture levels showed that the highest greenness index was observed with the highest level of soil moisture stress and the highest level of applied organic fertilizer. Application of 2.5, 5, and 7.5 L/1000L of Zargeen fertilizer increased the mean value of plant height by 8, 9, and 14%, respectively, compared to the control. The lowest shoot fresh weight was obtained without application of the organic fertilizer at the highest level of applied moisture stress. While at the same stress level, the highest shoot fresh weight was observed with the addition of 7.5 L/1000L of the organic fertilizer. The highest shoot zinc and copper concentrations were obtained in the plants grown at the highest moisture stress and the highest level of organic fertilizer application. It can be concluded that adding organic compounds improves the plant's tolerance to environmental stresses by modifying the physiological processes of the plant.

Cite this article: Zahedifar, M., Moosavi, A.A., Ershadi, A., Gavili, E. (2023) Effect of moisture stress and foliar application of Zargreen organic liquid fertilizer on tomato growth and yield, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (9), 1363-1379. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.364731.669563

© The Author(s). Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.364731.669563

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۴، شماره ۹ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

اثر تنش رطوبتی و محلول پاشی کود مایع آلی زرگرین بر رشد و عملکرد گوجه فرنگی

مریم زاهدی‌فر[۱] ✉ | سیدعلی اکبر موسوی[۲] | آرش ارشادی[۳] | ادریس گویلی[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

۴. بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه edris_gavili@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۷/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۱۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۹/۱

واژه‌های کلیدی:
تنش آبی،
محصول گوجه فرنگی،
شاخص سبزینگی،
عناصر کم مصرف،
ترکیب شیمیایی.

چکیده

تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر محلول پاشی کود مایع آلی ارگانیک زرگرین بر رشد و ترکیب شیمیایی گوجه فرنگی در شرایط تنش خشکی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در اردیبهشت ماه ۱۴۰۱ انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح محلول پاشی کود آلی زرگرین (با غلظت‌های صفر، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ لیتر در هزار)، و سه سطح تنش رطوبتی (ظرفیت مزرعه (بدون تنش)، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه) بودند. در طول فصل رشد طی سه نوبت و در زمان‌های ۱/۵ ماه (در اواخر رشد رویشی و شروع گلدهی)، ۲/۵ ماه (در مرحله تکامل میوه) و ۳/۰ ماه (در مرحله شروع رسیدن میوه) بعد از کاشت از محلول‌های کود مایع آلی ارگانیک زرگرین مورد استفاده با غلظت‌های ذکر شده برای محلول پاشی استفاده شد. اثر برهمکنش کود آلی زرگرین و تنش رطوبتی نشان داد بیشترین کلروفیل برگ در تیمار دارای بیشترین سطح تنش رطوبتی و بیشترین سطح دریافت کود آلی مشاهده شد. کاربرد سطوح ۲/۵، ۵ و ۷/۵ لیتر در هزار لیتر کود زرگرین ارتفاع گیاه را به ترتیب ۸، ۹ و ۱۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. کمترین وزن تر شاخساره در تیمار بدون کود آلی با بیشترین سطح تنش رطوبتی بدست آمد در حالی که در همین سطح تنش با افزودن ۷/۵ لیتر در هزار کود آلی، بیشترین وزن تر شاخساره مشاهده شد. بیشترین غلظت روی و مس شاخساره در نمونه‌های دارای بیشترین تنش رطوبتی و بیشترین سطوح کود آلی بدست آمد. می‌توان نتیجه گرفت افزودن ترکیبات آلی با اصلاح فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه، تحمل آن را نسبت به تنش‌های محیطی بهبود می‌بخشد.

استناد: زاهدی فر؛ مریم، موسوی؛ سیدعلی اکبر، ارشادی؛ آرش، گویلی؛ ادریس، (۱۴۰۲) اثر تنش رطوبتی و محلول پاشی کود مایع آلی زرگرین بر رشد و عملکرد گوجه فرنگی، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۹)، ۱۳۷۹-۱۳۶۳. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.364731.669563

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.364731.669563

مقدمه

یکی از محدودیت‌های اساسی در برابر رشد گیاهان، تنش‌های محیطی غیر زیستی به‌ویژه تنش رطوبتی است که در سراسر جهان به عنوان چالشی مهم در زمینه تولید و توسعه محصولات شناخته شده است (Zhang *et al*., 2015; Gavili *et al*., 2018; El-Badri *et al*., 2021; Hassan *et al*., 2021). پژوهش‌ها نشان می‌دهد نشت الکترولیت، سرعت تنفس و تولید گونه‌های فعال اکسیژن به دنبال این تنش، افزایش یافته (Sabagh *et al*., 2018) و جذب عناصر غذایی، آب و ساخت ترکیبات فتوسنتزی و در نهایت عملکرد گیاه به شدت کاهش می‌یابد (Hassan *et al*., 2020).

کشاورزی ارگانیک در جستجوی روش‌هایی است که فرآیندهای بوم شناختی مسئول تغذیه گیاه را ضمن حفظ منابع خاک و آب، تشدید کند. کاربرد منابع و نهاده‌های تجدیدپذیر، یکی از اصول کشاورزی پایدار است که موجب حداکثر بهره‌وری زراعی و کمترین خطرات زیست محیطی می‌شود. کودهای آلی جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی بوده و می‌توانند بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و ترمیم و اصلاح خاک‌های فرسایش یافته و کم بازده تأثیر معنی‌داری داشته باشند (Eghball *et al*., 2004). کمبود ماده آلی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک نیز از جمله مشکلات اصلی خاک است که اثرات نامطلوبی بر سایر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و در نتیجه عملکرد گیاه دارد (Gavili *et al*., 2019a; Ma *et al*., 2021). برای کاهش اثرات منفی ناشی از تنش خشکی و کمبودن ماده آلی و برای جلوگیری از کاهش راندمان تولید محصول در شرایط نامساعد محیطی، استفاده از روش‌ها و ترکیبات مناسب به‌عنوان راهکارهای مدیریتی مورد توجه قرار گرفته‌اند. امروزه کاربرد ترکیبات آلی و زیستی محتوی آمینو اسیدها نیز در زراعت گیاهان مورد توجه قرار گرفته است، که دلیل این توجه نقش اساسی اسیدهای آمینه در حیات موجودات می‌باشد. این مواد با تأثیر بر روند پروتئین-سازی در سطوح ژنی و با تأثیر بر سوخت و ساز گیاهی، رشد و تکوین گیاه را منظم می‌نماید. کاربرد کودهای آلی حاوی اسیدهای آمینه قبل، حین و پس از بروز تنش نیز می‌توانند سبب کاهش خسارت ناشی از شرایط نامساعد محیطی شوند. در تحقیقی گزارش شده اسیدهای آمینه با اثر بر افزایش تحمل به تنش‌های محیطی، افزایش غلظت کلروفیل و در نتیجه اثر بر فتوسنتز، بر رشد و عملکرد گیاهان تأثیر می‌گذارد (پوریوسف و شهروان، ۱۳۹۳). در شرایط تنش رطوبتی، ساخت اسیدهای آمینه در گیاه با مشکل مواجه شده، بنابراین افزودن اسیدهای آمینه به شکل کود، نیاز به این ترکیبات را برطرف کرده و در نتیجه گیاه می‌تواند انرژی ذخیره شده خود را برای رشد و افزایش عملکرد و کیفیت محصول استفاده کند (Gawronaka, 2008).

افزودن کودها برای تامین عناصر غذایی گیاه می‌تواند به روش‌های مختلف از جمله کاربرد خاکی و محلول‌پاشی انجام شود (Havlin *et al*., 2017). محلول‌پاشی یکی از روش‌های متداول برای تامین نیاز غذایی گیاهان به مقدار کافی است که سبب بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاهان شده و مقدار و کیفیت محصول تولیدی را افزایش می‌دهد (Moosavi and Ronaghi, 2010, 2011; Marschner, 2011; Najafian *et al*., 2022). بسیاری از آفت‌کش‌ها، تنظیم‌کننده‌های رشد و آمینواسیدها نیز به روش محلول‌پاشی در اختیار گیاه قرار داده‌می‌شوند و این روش همچنین می‌تواند از اثرات نامطلوب تنش‌های محیطی مانند خشکی و گرما بر گیاهان بکاهد (Marschner, 2011). محلول پاشی ترکیبات آلی دارای عناصر ریزمغذی مانند آهن و روی، یکی از روش‌های مدیریتی به منظور بهبود تحمل به تنش خشکی است. برای نمونه آهن یک فعال‌کننده آنزیم در تولید کلروفیل است و در نتیجه نقش مهمی در فتوسنتز و تنفس گیاه ایفا می‌کند (Hatami *et al*., 2023). عنصر ریزمغذی روی نیز در فعالیت آنزیم‌ها، تولید تریپتوفان، تشکیل و تولید اندازه مناسب میوه نقش مهمی دارد (آزادی و قنبریان، ۱۳۹۵). علاوه بر این، محلول پاشی ترکیبات مختلف، به انتقال سریع این عناصر کمک می‌کند و تنش گیاه را کاهش می‌دهد. این عناصر از طریق تنظیم روابط آب، حفظ آب سلولی و پتانسیل اسمزی، تحمل به تنش خشکی را افزایش می‌دهند (Sahoo and Rout, 2015).

سبزیجات مانند سایر گروه‌های گیاهی (غلات، حبوبات، میوه‌ها و علوفه)، از گروه‌های با ارزش اقتصادی زیاد هستند. گوجه فرنگی نیز یکی از سبزیجات با ارزش در این گروه است که نقش اساسی در بهبود تغذیه جوامع انسانی ایفا می‌کند و سهم عمده‌ای از آنتی‌اکسیدان-هایی مانند کاروتنوئیدها به‌ویژه لیکوپن و بتاکاروتن، فنولیک، ویتامین C و همین‌طور به مقدار کم ویتامین E در رژیم غذایی روزانه دارد (Rai *et al*., 2012). گوجه فرنگی نسبت به کم آبی حساس بوده و رسیدن به محصولی با عملکرد و کیفیت مناسب، مستلزم یافتن راهی با کمترین آسیب زیست محیطی و بیشترین سود است.

پیشینه پژوهش

تحقیقات مختلف نشان داد که افزودن ترکیبات آلی مانند اسید هیومیک اثرات منفی تنش خشکی را کاهش می‌دهد. این ترکیبات از یک‌سو سبب تولید اسید نوکلئیک‌ها و آمینواسیدها شده، منجر به افزایش تقسیم سلولی در گیاه به‌ویژه ریشه‌ها می‌شوند (Bronick and Lal, 2005). تقدسی و همکاران (۱۳۹۱) بیان کردند ترکیبات هیومیکی جذب نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلسیم و منیزیم گیاهان را بهبود بخشیده و سبب کاهش اثرات تنش خشکی می‌شوند و می‌توانند بر رشد آنها در این شرایط موثر باشند.

رجایی و همکاران (۱۳۹۴) نشان دادند کمترین وزن تر و خشک کل خیار، در تیمار بدون کاربرد پسماند آلی و در مواجهه با تنش ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه بدست آمده است. این نتیجه به سبب کافی نبودن عناصر غذایی در خاک بدون کاربرد پسماند بوده است. در حالی که افزودن پسماند آلی، سبب بهبود ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و تغذیه‌ای خاک شده که نتیجه آن افزایش وزن تر و خشک خیار است. در سال‌های اخیر از ترکیبات آلی مختلف مانند زغال‌های زیستی و کودهای آلی برای افزایش رشد گیاه (Najafian and Zahedifar, 2018; Ma *et al*., 2021) به‌ویژه در شرایط خشکی و کمبود آب (Gavili *et al*., 2019a,b; Tang *et al*., 2019)، افزایش ماده آلی و بهبود ویژگی‌های مختلف خاک (Gavili *et al*., 2019b)، تغییر شکل‌های شیمیایی آلاینده‌ها و عناصر در خاک (Zahedifar and Moosavi, 2020; Zahedifar, 2020a,b) و به طور کلی برای افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی، بهبود کیفیت غذا و حفظ محیط‌زیست استفاده می‌شود. بر اساس یافته‌های Mubashir و همکاران (2023)، رشد و عملکرد گوجه فرنگی با افزودن ترکیبات تغذیه‌ای، بهبود یافت به این صورت که تجمع اکسیژن فعال و پراکسیداسیون چربی کاهش یافته و پایداری غشاء سلولی افزایش یافت. Garcia *et al*. (2011) با افزودن آمینواسید به محلول غذایی محیط کشت گوجه فرنگی گزارش کردند کاربرد آمینواسید در مقایسه با شاهد سبب تغییر غلظت عناصر و افزایش غلظت کلسیم، منیزیم، پتاسیم، آهن، مس و منگنز شاخساره شد. یافته‌های Wang *et al*. (2023) نیز نشان داد کاربرد کود آمینواسید محلول در آب در مقایسه با کودهای شیمیایی محلول در آب، از طریق اثر بر ترشحات ریشه‌ای و همچنین اثر بر ترکیب، فراوانی و تنوع جامعه میکروبی خاک‌ریشه، رشد گیاه و کیفیت میوه گوجه فرنگی را به طور معنی‌داری افزایش داد. برخی دیگر از پژوهشگران نیز ایجاد محیط مطلوب برای رشد و فعالیت ریزجانداران خاکزی و آزادسازی تدریجی عناصر غذایی از کودهای آلی و بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه را سبب تامین به هنگام و به اندازه عناصر غذایی در مراحل رشد گیاه گزارش نموده‌اند (Shahdi Kumleh *et al*., 2021). Zahedifar و Najafian (2023) نشان دادند محلول‌پاشی ترکیبات هیومیکی سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه دارویی بومادران شد. آنزیم-های آنتی‌اکسیدانی، متابولیت‌های ثانویه و اسمولیت‌های ناشی از محلول‌پاشی این ترکیبات، نقش مثبت موثری در جلوگیری از خسارات ناشی از خشکسالی در گوجه فرنگی داشت. زاهدی‌فر و همکاران (۱۴۰۱) نشان دادند کاربرد خاکی و محلول‌پاشی کود آلی محتوی آمینواسید عملکرد دانه، شاخص سبزینگی و کارآیی مصرف آب در گندم را افزایش داد. حسنی و امیری (۱۳۹۵) نیز گزارش نمودند محلول‌پاشی ترکیبات آلی دارای اسیدهای آمینه به طور معنی‌داری تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه و عملکرد گیاه جو را در مقایسه با شاهد افزایش دادند.

براساس نیاز جامعه به تولید محصولات کشاورزی سالم با محور صیانت و حفاظت از محیط‌زیست، گروه صنعتی پژوهشی فرهیختگان زرنام (پالایشگاه غلات زر) اقدام به تولید محصولی تحت عنوان کود مایع آلی ارگانیک زرگرین نموده است. کود مایع آلی ارگانیک زرگرین بر پایه مشتقات گیاهی و سازگار با محیط‌زیست می‌باشد. این محصول دارای پ‌هاش در محدوده ۴/۵-۳/۵ است و دارای اسید آمینه‌های مختلف به فرم آزاد (۶ درصد)، عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان شامل نیتروژن (۳ درصد)، فسفر (۲/۵ درصد)، پتاسیم (۲ درصد) و همچنین درصد بالای ماده آلی (۳۰ درصد) و کربن آلی (۱۱ درصد) می‌باشد. با توجه به اینکه تاکنون اثر کود مایع آلی ارگانیک زرگرین بر رشد و ترکیب شیمیایی و کیفیت محصولات زراعی و به‌ویژه در شرایط تنش رطوبتی بررسی نشده بنابراین لازم است اثر این کود بر رشد و ترکیب شیمیایی و کیفیت محصولات پرمصرف بررسی شود تا اثر بخشی آن به صورت کمی بررسی و گزارش شود.

با توجه به اهمیت کشت گوجه فرنگی در کشور و همین‌طور تامین آب از منابع محدود موجود در کشور، انجام پژوهش‌هایی به منظور افزایش عملکرد و کیفیت این محصول از یکسو و به حداقل رساندن اثرات منفی تنش خشکی بر کشت این گیاه از سوی دیگر، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر محلول پاشی اصلاح کننده آلی ارگانیک با نام تجاری کود مایع زرگرین بر ویژگی‌های رشد، عملکرد و غلظت عناصر غذایی در شاخساره گیاه گوجه فرنگی تحت تنش رطوبتی انجام شد.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی و تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک

خاک مورد نیاز از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک آهکی (رس سیلتی) سری کوی اساتید (Loamy skeletal over fragmental, carbonatic, mesic, Fluventic Xerorthents) واقع در منطقه باجگاه استان فارس (در ارتفاع ۱۸۵۲ متری از سطح آزاد دریا و واقع بر 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. بخشی از 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 and Boder, 2002)، پ‌هاش در خمیر اشباع با دستگاه pHمتر (Thomas, 1996)، ماده آلی به روش اکسایش با بی‌کرومات پتاسیم و سپس تیتر کردن با آمونیوم فروسولفات معروف به روش ترسوزانی (Nelson and Sommers, 1996)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم (Summer and Miller, 1996)، کربنات کلسیم معادل با روش تیتراسیون با اسید کلریدریک (Lopert and Suarez, 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به‌وسیله هدایت‌سنج الکتریکی (Rhoades, 1996)، نیتروژن کل به روش کلدال (Bremner, 1996)، غلظت عناصر کم‌مصرف کاتیونی (آهن، منگنز، مس و روی) به روش عصاره‌گیری با دی.تی.پی.ا. (Lindsay and Norvell, 1978) و قرائت با دستگاه جذب اتمی و میزان رطوبت ظرفیت مزرعه در خاک مورد مطالعه نیز با استفاده از دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

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

ویژگی	واحد	مقدار
شن	درصد	۱۴
سیلت	درصد	۴۴
رس	درصد	۴۲
کلاس بافت	–	Silty clay
رطوبت اشباع	درصد جرمی	۵۰
رطوبت ظرفیت مزرعه	درصد جرمی	۲۵
کربنات کلسیم معادل	درصد	۴۲
ماده آلی	درصد	۱/۱
پ‌هاش†	–	۷/۵
قابلیت هدایت الکتریکی†	دسی زیمنس بر متر	۰/۵
ظرفیت تبادل کاتیونی	سانتی مول بار در کیلوگرم خاک	۱۹
نیتروژن کل	درصد	۰/۱
آهن قابل استفاده††	میلی‌گرم در کیلوگرم خاک	۵/۴
منگنز قابل استفاده††	میلی‌گرم در کیلوگرم خاک	۴/۳
روی قابل استفاده††	میلی‌گرم در کیلوگرم خاک	۱/۲
مس قابل استفاده††	میلی‌گرم در کیلوگرم خاک	۰/۱

† قابلیت هدایت‌الکتریکی و پ‌هاش به‌ترتیب در عصاره و خمیر اشباع خاک اندازه گیری شدند.

†† غلظت شکل‌های قابل استفاده آهن، منگنز، مس و روی با عصاره‌گیری با دی.تی.پی.ا. (Lindsay and Norvell, 1978) و قرائت با دستگاه جذب اتمی تعیین شده است.

آزمایش گلخانه‌ای

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز ۳۱ اردیبهشت ۱۴۰۱ تا ۲۶ شهریور ۱۴۰۱ انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح محلول‌پاشی کود مایع آلی ارگانیک زرگرین (با غلظت های صفر(Z0)، ۲/۵ (Z2.5)، ۵ (Z5) و ۷/۵ (Z7.5) لیتر در هزار)، سه سطح رطوبتی (ظرفیت مزرعه (بدون تنش، W0)، ۷۵ (W75) و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه (W50)) بود. در ابتدا نمونه‌های خاک چهار کیلوگرمی آماده و سپس در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شد. به‌منظور جلوگیری از کمبود احتمالی سایر عناصر غذایی و براساس نتایج آزمون خاک اولیه عناصر نیتروژن، آهن، منگنز، روی و مس به‌ترتیب به مقدار ۱۵۰، ۱۰، ۱۰، ۱۰ و ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و از منابع اوره، کلات آهن (Fe- EDDHA)، سولفات منگنز، سولفات روی و سولفات مس و به‌صورت محلول به خاک اولیه اضافه شد. سپس خاک درون کیسه‌ها به‌طور کامل مخلوط شده و به داخل گلدان‌های چهار کیلوگرمی پلاستیکی منتقل شد. در تاریخ ۳۱ اردیبهشت ۱۴۰۱ در هر گلدان هشت عدد بذر گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum* var.

(Maya در عمق مناسب (حدود یک سانتی‌متر) کاشته شد. پس از چهار هفته تعداد گیاهان به دو بوته در هر گلدان و شش هفته پس از کاشت به یک بوته در 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) اعمال شد. در طول فصل رشد دمای حداقل و حداکثر گلخانه با دماسنج ثبات اندازه‌گیری شد. در طول فصل رشد طی سه نوبت و در زمان‌های ۱/۵ ماه (در اواخر رشد رویشی و شروع گلدهی)، ۲/۵ ماه (در مرحله تکامل میوه) و ۳/۰ ماه (در مرحله شروع رسیدن میوه) بعد از کاشت از محلول‌های کود مایع آلی ارگانیک زرگرین مورد استفاده با غلظت‌های ذکر شده برای محلول پاشی استفاده شد (شکل ۱).

شکل ۱. گوجه فرنگی کشت شده در گلخانه

اندازه‌گیری ویژگی‌های رشد و برداشت و تجزیه شیمیایی گیاه

اندازه‌گیری سبزینگی، ارتفاع، وزن تر و خشک شاخساره

در انتهای فصل رشد، ارتفاع گیاه اندازه‌گیری شد. در اواسط (۲ ماه پس از کاشت) و نزدیک به انتهای فصل رشد (۳/۵ ماه پس از کاشت)، طی دو مرحله میزان سبزینگی برگ در سه برگ کاملا توسعه یافته به صورت تصادفی در هر گلدان و با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر دستی (SPAD 502) اندازه‌گیری و میانگین‌گیری شد. در اواخر فصل رشد و پس از برداشت چین آخر، گیاهان از طوقه از سطح خاک برداشت شد. شاخساره برداشت شده پس از توزین (وزن تر) و شستشو با آب معمولی و سپس با آب مقطر، نمونه‌های گیاهی در دمای ۶۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت در آون خشک شد. نمونه‌های خشک شده توزین شدند.

تجزیه شیمیایی شاخساره گیاه

مواد گیاهی خشک شده، به‌وسیله آسیاب برقی پودر شدند. برای تجزیه گیاه یک گرم ماده خشک گیاه در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس خاکستر شده و سپس ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به آنها افزوده شد تا نمونه‌ها حل شوند. سپس نمونه حل شده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شد و حجم محلول صاف شده با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد و غلظت عناصر کم‌مصرف آهن، منگنز، مس و روی و همچنین عناصر کلسیم و منیزیم با استفاده از دستگاه جذب اتمی و عناصر سدیم و پتاسیم با دستگاه شعله‌سنج اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری EXCEL نسخه 2016 و MSTATC انجام و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه دانکن و در سطح آماری ۵ درصد با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج و بحث

اثر محلول‌پاشی سطوح مختلف کود زرگرین و تنش رطوبتی بر ویژگی‌های رشد و عملکرد گیاه

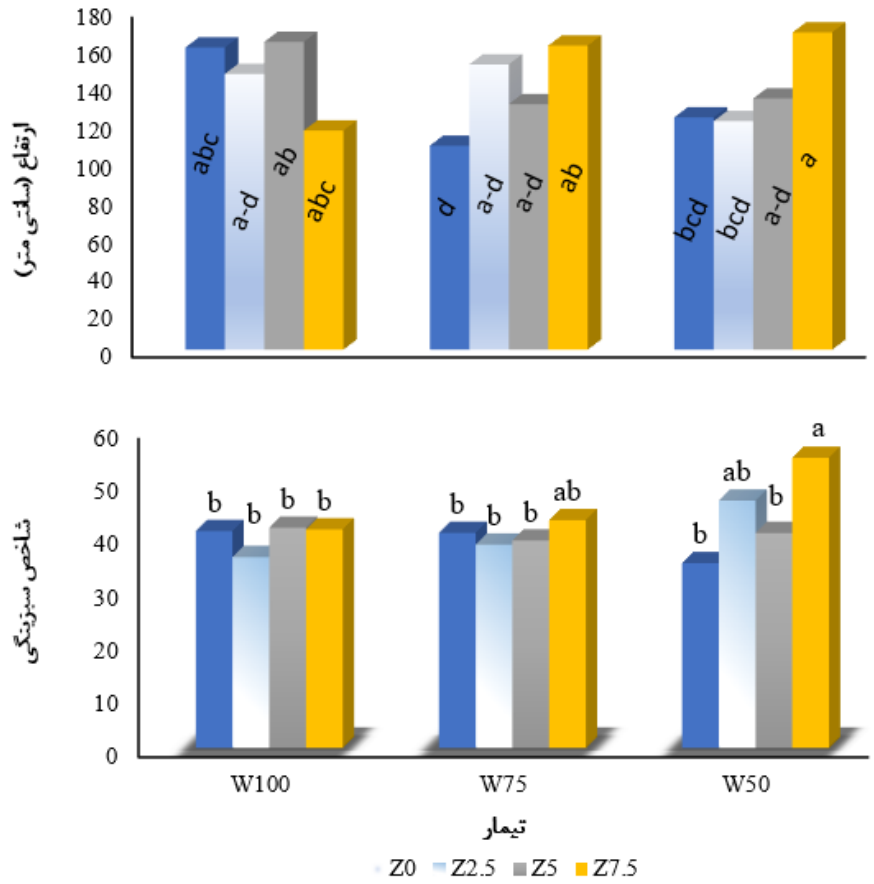
ارتفاع بوته و شاخص سبزینگی برگ گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تنش رطوبتی و محلول‌پاشی کود زرگرین اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشتند. اثر متقابل تنش رطوبتی و محلول‌پاشی نیز بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد کاربرد سطوح مختلف تنش رطوبتی ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته در مقایسه با شاهد (رطوبت ظرفیت زراعی) به‌ترتیب به‌میزان ۶ و ۷ درصد شد. به‌طور کلی بیشترین میانگین ارتفاع بوته (۱۴۸ سانتی‌متر) با افزودن ۷/۵ لیتر در هزار کود زرگرین حاصل شد (شکل۲). بیشترین و کمترین ارتفاع بوته نیز به ترتیب در تیمارهای W50Z7.5 و W75Z0 مشاهده شدند. نتایج همچنین نشان داد کاربرد سطوح ۲/۵، ۵ و ۷/۵ لیتر در هزار کود زرگرین به ترتیب سبب افزایش ۸، ۹ و ۱۴ درصدی میانگین ارتفاع بوته در مقایسه با شاهد شد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی کود مایع زرگرین و سطوح رطوبتی بر ویژگی‌های رشد و غلظت عناصر شاخساره گوجه فرنگی

		میانگین مربعات									
منابع تغییر	df	ارتفاع	شاخص سبزینگی	وزن تر شاخساره	وزن خشک شاخساره	غلظت عناصر شاخساره					
						Ca	K	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
کود	۳	۱۵۷۷*	۱۴۸*	۵۱۷۷*	۸۷	۱۲۹۷	۲۳۱۵۹۷۰*	۸۲۰۰۴	۴۱	۲۳۶*	۲/۵۷	۱۶/۱*
سطوح رطوبتی	۲	۱۷۸۶*	۶۸	۵۸۵۸*	۲۷۷*	۵۳۱۱	۲۴۹۵۸۶۸۶*	۱۱۸۷۹۹*	۱۹۹۱*	۲۶۹*	۴۹**	۱۸/۳*
کود × سطوح رطوبتی	۶	۱۹۷۳**	۱۲۷*	۴۲۴۳*	۲۳۸*	۱۰۱۲	۱۸۴۷۱۵۱۶*	۶۹۴۰۶	۳۶۹	۱۹۷*	۲۵/۳*	۱۳/۷*
خطا	۲۴	۵۱۵	۴۹	۱۶۶۵	۷۹	۱۸۸۸	۷۲۵۲۲۱۵	۳۴۵۳۲	۵۸۶	۷۷	۸/۳	۵/۲

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



شکل۲. اثر محلول پاشی کود آلی زرگرین بر ارتفاع بوته و شاخص سبزینگی برگ گیاه تحت تنش خشکی (در هر سطح رطوبتی، ستون‌هایی که حداقل در یک حرف کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن درسطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد محلول‌پاشی کود مایع آلی ارگانیک زرگرین و تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر شاخص سبزینگی برگ

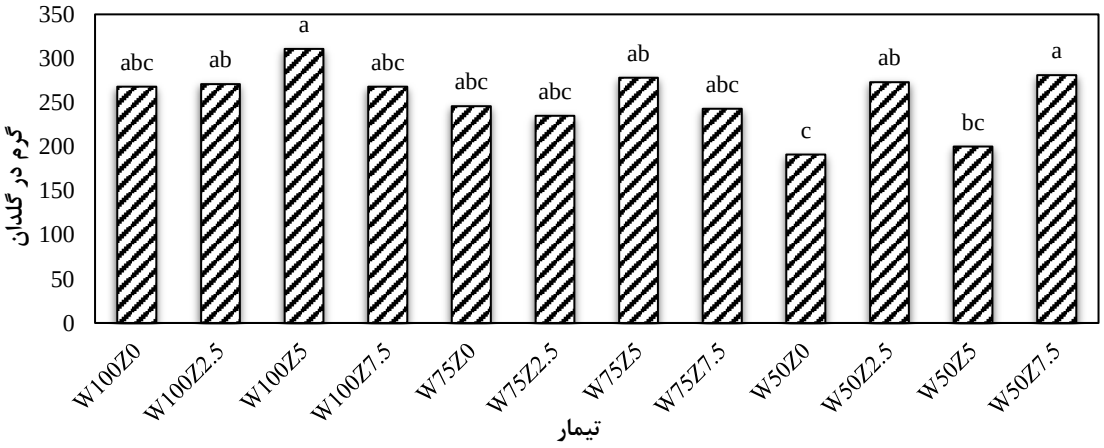
گیاه داشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها همچنین نشان داد با افزایش تنش رطوبتی میزان شاخص سبزینگی برگ افزایش یافت. هرچند افزایش‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود. به‌طور کلی بیشترین میانگین شاخص سبزینگی به میزان ۴۶/۲۶ با محلول پاشی ۷/۵ لیتر در هزار کود زرگرین حاصل شد (شکل۲). بیشترین و کمترین میزان شاخص سبزینگی نیز به ترتیب در تیمارهای W50Z7.5 و W100Z0 مشاهده شدند. نتایج همچنین نشان داد کاربرد سطوح ۲/۵، ۵ و ۷/۵ لیتر در هزار کود زرگرین به‌ترتیب سبب افزایش ۴، ۴ و ۱۹ درصدی شاخص سبزینگی در مقایسه با شاهد شدند. هرچند تنها افزایش حاصل از کاربرد ۷/۵ لیتر در هزار در مقایسه با شاهد معنی‌دار بود (شکل۲) که می‌تواند به دلیل محتوی نیتروژن زیاد کود مورد مطالعه و افزایش جذب نیتروژن باشد. Nardi *et al*. (2002) بیان کردند افزودن ترکیبات آلی فراهمی عناصر غذایی از جمله نیتروژن و منیزیم و افزایش دسترسی به اکسیژن را سبب شده و در نتیجه کلروفیل برگ افزایش یافته است. به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد که تاثیر محلول‌پاشی کود محتوی آمینواسید بر شاخص سبزینگی برگ به سطح تنش رطوبتی بستگی دارد. به‌طوری که در سطوح کم محلول‌پاشی کود، عملا تفاوت معنی‌داری بین شاخص سبزینگی برگ در گیاهان تحت تاثیر سطوح رطوبتی مختلف وجود ندارد ولی در سطح محلول پاشی ۷/۵ لیتر در هزار از کود مورد نظر، با افزایش میزان تنش رطوبتی وارده به گیاه میزان شاخص سبزینگی افزایش یافته است که ممکن است به دلیل میزان رطوبت کم برگ (ناشی از تنش رطوبتی زیاد) و غلظت زیاد عناصر غذایی و ترکیبات و رنگدانه‌های موثر بر شاخص سبزینگی (ناشی از مقدار زیاد محلول پاشی و کود آمینواسید به کار برده شده) باشد. پژوهش‌ها نیز نشان می‌دهد افزایش کلروفیل در گوجه فرنگی (حقیقی و نجفی، ۱۳۹۸) در شرایط تنش خشکی، نتیجه کاربرد اسید هیومیک بوده است. همچنین نتایج نشان داد کاربرد ۲۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک، میزان کلروفیل برگ توت فرنگی را به طور معنی‌داری افزایش داد (Tehranifar and Ameri, 2012). اثر محلول پاشی سطوح مختلف کود زرگرین و تنش رطوبتی نشان می‌دهد در نمونه‌های بدون تنش رطوبتی (W100)، کاربرد مقادیر مختلف کود زرگرین تفاوت معنی داری در کلروفیل گوجه فرنگی به وجود نیاورد در حالی که بیشترین کلروفیل برگ در تیمار بیشترین سطح تنش و بیشترین مقدار کود (W50Z7.5) بدست آمده که به طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارهای بدون کود آلی، بیشتر است. نتایج مشابهی توسط سایرین بیان شده است. Ahangar *et al*. (2021) نشان دادند تنش رطوبتی، مقدار کلروفیل را به سبب کاهش واسطه‌های کلروفیلی δ-ALA کم کرده در حالی که افزودن ترکیبات نانو، مقدار آنها را بهبود بخشیده و سبب افزایش کلروفیل و عملکرد فتوسنتز در گوجه شده است. Zhao *et al*., 2020) 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.

وزن تر شاخساره

نتایج تجزیه واریانس نشان داد محلول‌پاشی کود زرگرین و همچنین تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر وزن تر شاخساره گیاه داشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد کاربرد سطوح ۷۵ و ۵۰ درصد تنش رطوبتی به‌ترتیب سبب کاهش ۱۱ و ۱۶ درصدی میانگین وزن تر شاخساره در مقایسه با شاهد شد. هرچند تنها افزایش ۱۶ درصدی از نظر آماری معنی‌دار بود. Mubashir *et al*. (2023) نشان دادند وزن تر شاخساره و ریشه گوجه فرنگی تحت تنش رطوبتی (۶۰ درصد ظرفیت مزرعه) به ترتیب به میزان ۳۱/۸ و ۱۴/۶ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت.

نتایج همچنین نشان داد بیشترین میانگین وزن تر شاخساره (۲۶۴ گرم در گلدان) مربوط به تیمار افزودن ۷/۵ لیتر در هزار کود زرگرین و کمترین میانگین وزن تر شاخساره (۲۳۵ گرم در گلدان) مربوط به شاهد بود. به‌طور کلی بیشترین وزن تر شاخساره در تیمار W100Z5 مشاهده شد و کمترین وزن تر شاخساره در بیشترین سطح تنش رطوبتی و بدون افزودن کود آلی (W50Z0) بدست آمد. در حالی که کاربرد سطوح مختلف کود زرگرین در این سطح تنش رطوبتی، وزن تر را افزایش داد به طوری که بیشترین وزن تر در این سطح تنش رطوبتی در تیمار W50Z7.5 بدست آمد (شکل۳). نتایج همچنین نشان داد کاربرد سطوح ۲/۵، ۵ و ۷/۵ لیتر در هزار کود زرگرین به‌ترتیب سبب افزایش معنی‌دار ۱۱، ۱۲ و ۱۲ درصدی میانگین وزن تر شاخساره در مقایسه با شاهد شد.

بهبودی و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند کاربرد نانو ذرات کیتوزان، اثرات منفی تنش خشکی را کاهش داده و در نتیجه رشد و عملکرد گیاه جو افزایش یافته است. حقیقی و نجفی (۱۳۹۸) نشان دادند تنش خشکی، وزن تر و خشک شاخساره گوجه فرنگی را کاهش داد در حالی که افزودن اسید هیومیک در همین شرایط سبب بهبود محتوای نسبی آب بافت، وزن تر و خشک شاخساره شد.



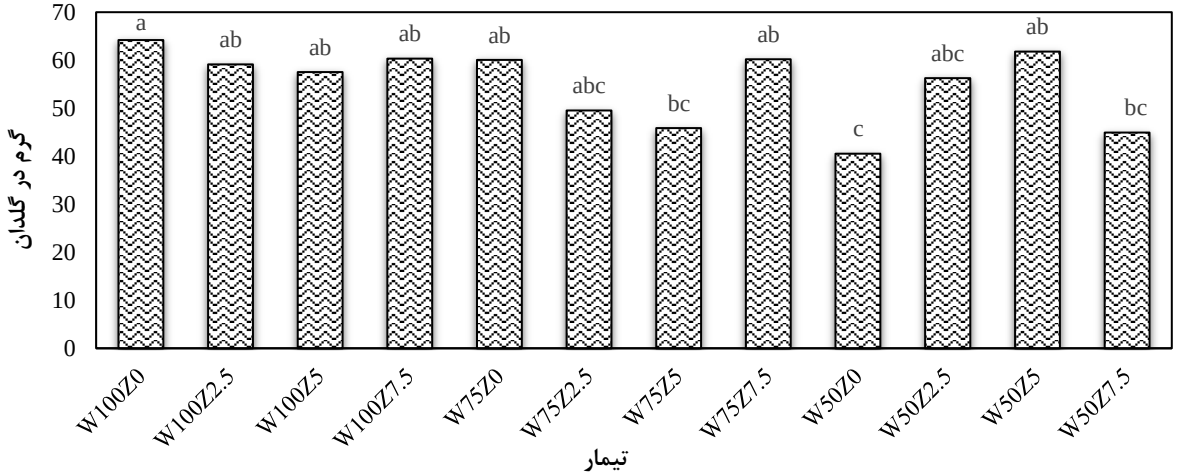
شکل ۳. اثر سطوح مختلف کود آلی زرگرین و تنش خشکی بر وزن تر شاخساره گوجه فرنگی (در هر مورد، ستون‌هایی که حداقل در یک حرف کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن درسطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند)

بر اساس نتایج احمدی و بیکر (۱۳۷۹)، در شرایط تنش خشکی، دو عامل روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای موجب کاهش فتوسنتز گیاهان می‌شود. اگر عامل محدودکننده، روزنه‌ای باشد، به دنبال کاهش آب در برگ، روزنه‌ها بسته شده، هدایت روزنه‌ای و انتشار CO_2 به فضای بین سلولی کاهش یافته که نتیجه آن کم شدن یا توقف فتوسنتز است. زمانی که عامل محدود کننده، غیر روزنه‌ای باشد، با اختلال در واکنش‌های بیوشیمیایی گیاه، غلظت CO_2 زیر روزنه افزایش یافته لذا برگ‌ها از مواد فتوسنتزی اشباع شده که ممکن است به دنبال کاهش هدایت مزوفیلی، عملکرد فتوسنتز محدود شود. به عبارت دیگر سلول‌های مزوفیل قادر به استفاده از CO_2 نبوده و CO_2 تجمع یافته در برگ، نشانه‌ای از عدم توانایی گیاه در استفاده از CO_2 علی‌رغم عبور آن از مقاومت روزنه‌ای است.

وزن خشک شاخساره

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر وزن خشک گیاه داشت اما محلول پاشی کود زرگرین اثر معنی‌داری بر وزن خشک شاخساره نداشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد با کاربرد سطوح ۷۵ و ۵۰ درصد تنش رطوبتی، وزن خشک شاخساره در مقایسه با شاهد به ترتیب به میزان ۱۱ و ۱۶ درصد کاهش یافت. هرچند تنها کاهش ۱۶ درصدی از نظر آماری معنی‌دار بود. Mubashir *et al*. (2023) نشان دادند وزن خشک شاخساره و ریشه گوجه فرنگی تحت تنش خشکی به ترتیب ۲۴/۴ و ۲۲/۹ درصد نسبت به شرایط بدون تنش کاهش یافت. تنش رطوبتی با ایجاد تغییرات فیزیولوژیکی در گیاه، سبب کاهش رشد یا توقف آن در گیاه شده و با کم کردن فشار آماسی، سبب کاهش وزن خشک و تر گیاه می‌شود.

نتایج نشان داد بیشترین میانگین وزن خشک شاخساره به میزان ۵۵/۱۵ گرم در گلدان و در شرایط کاربرد ۷/۵ لیتر در هزار کود زرگرین و کمترین مقدار به میزان ۵۴/۹۴ گرم در گلدان در شرایط عدم کاربرد کود حاصل شد. نتایج همچنین نشان داد کاربرد کود زرگرین هرچند سبب افزایش میانگین وزن خشک شاخساره در مقایسه با شاهد شد ولی افزایش‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبودند. به‌طور کلی بیشترین وزن خشک شاخساره در تیمار W100Z0 مشاهده شد و کمترین وزن خشک شاخساره در بیشترین سطح تنش رطوبتی و بدون افزودن کود آلی (W50Z0) بدست آمد (شکل۴). استفاده از ترکیبات آلی سبب افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود. Ferrara *et al*. (2007) نشان دادند کاربرد ۲۵۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک، نیتروژن برگ گوجه را ۴/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. در تحقیق دیگری با افزودن اسید هیومیک و عناصر پرمصرف، وزن خشک شاخساره و ریشه لوبیا افزایش یافت (Haghighi *et al*., 2011).



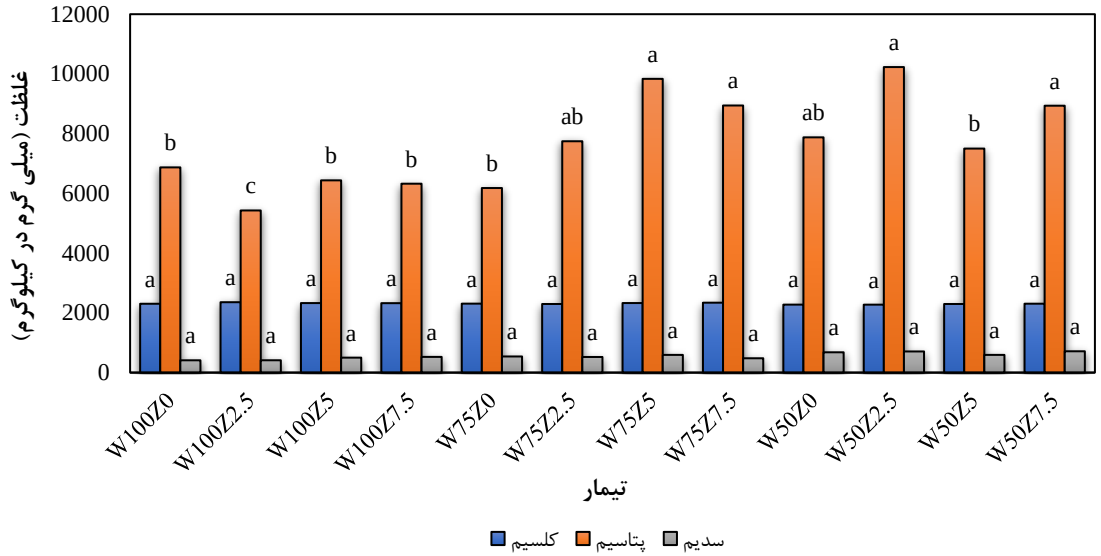
شکل ٤. اثر سطوح مختلف کود آلی زرگرین و تنش خشکی بر وزن خشک شاخساره گوجه فرنگی (در هر مورد، ستون‌هایی که حداقل در یک حرف کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن درسطح احتمال ٥ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

Mubashir *et al*. (2023) نشان دادند افزودن یک درصد محلول غذایی، وزن تر و خشک شاخساره و ریشه و همین‌طور وزن میوه گوجه فرنگی را در شرایط تنش خشکی و بدون آن، نسبت به نمونه بدون این ترکیب، به طور معنی‌داری افزایش داد. تنظیم کننده‌های گیاهی با اصلاح فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی، تحمل گیاه به تنش خشکی را ایجاد می‌کنند، به عنوان نمونه این کار از طریق حفظ باز بودن روزنه‌ها انجام می‌شود. اسید آبسیزیک یکی از تنظیم کننده‌های گیاهی در پاسخ به کمبود رطوبت است. این ترکیب از طریق پیام‌رسان‌های ثانویه مانند اکسیژن فعال، نیتریک اکسید و کلسیم سبب بسته شدن روزنه‌ها می‌شود. کاربرد سالیسیلیک اسید، مقدار اسید آبسیزیک و اتیلن را کاهش داده در نتیجه هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد (Iqbal *et al*., 2022).

غلظت کلسیم، پتاسیم، و سدیم شاخساره

نتایج تجزیه واریانس نشان داد هیچ‌یک از دو تیمار محلول‌پاشی کود زرگرین و تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر غلظت کلسیم شاخساره گوجه فرنگی نداشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد هرچند کاربرد سطوح ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با شاهد سبب کاهش میانگین غلظت کلسیم شاخساره شد ولی کاهش‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبودند. نتایج همچنین نشان داد کاربرد سطوح مختلف کود مورد مطالعه سبب افزایش غلظت کلسیم شاخساره در مقایسه با شاهد شد، ولی افزایش‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبودند (شکل ۵). بیشترین میانگین غلظت کلسیم شاخساره به میزان ۰/۲۳ درصد ماده خشک و با افزودن ۷/۵ لیتر در هزار کود زرگرین بدست آمد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد هر دو تیمار محلول‌پاشی کود زرگرین و تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر غلظت پتاسیم شاخساره داشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد کاربرد سطوح ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با شاهد سبب افزایش میانگین غلظت پتاسیم شاخساره به‌ترتیب به‌میزان ۳۰ و ۳۸ درصد در مقایسه با شاهد شد که می‌تواند به دلیل اثر رقت باشد. بیشترین میانگین غلظت پتاسیم شاخساره به میزان ۰/۸۱ درصد ماده خشک و در تیمار کاربرد ۷/۵ لیتر در هزار کود زرگرین بدست آمد و کاربرد سطوح ۲/۵، ۵ و ۷/۵ لیتر در هزار کود زرگرین مورد مطالعه سبب افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم شاخساره در مقایسه با شاهد به‌ترتیب به‌میزان ۳، ۱۲ و ۸۷ درصد شد (شکل۵).



شکل ۵. اثر تیمارهای کود آلی زرگرین و تنش خشکی بر غلظت کلسیم، پتاسیم و سدیم در شاخساره گیاه گوجه فرنگی (در هر مورد، ستون‌هایی که حداقل در یک حرف کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن درسطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند)

حیدری و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند کاربرد خاکی و محلول پاشی اسید هیومیک سبب افزایش معنی دار کلروفیل، عملکرد دانه و درصد عناصر فسفر و پتاسیم دانه آفتابگردان شد. Laila و Elbordiny (2009) نشان دادند محلول پاشی اسید هیومیک، جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم شاخساره و دانه گندم را نسبت به شاهد افزایش داد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر میانگین غلظت سدیم شاخساره گیاه داشت اما اثر محلول‌پاشی کود زرگرین و اثر متقابل تنش رطوبتی و محلول‌پاشی کود مورد مطالعه بر غلظت سدیم شاخساره معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد تنها کاربرد سطح رطوبتی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی سبب افزایش معنی‌دار میانگین غلظت سدیم شاخساره به میزان ۴۶ درصد در مقایسه با شاهد شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها همچنین نشان داد محلول‌پاشی سطوح ۲/۵، ۵ و ۷/۵ لیتر در هزار کود مورد مطالعه سبب افزایش حدود ۱، ۳ و ۵ درصدی غلظت سدیم شاخساره در مقایسه با شاهد شد ولی افزایش‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبودند (شکل۵). بیشترین میانگین غلظت سدیم شاخساره به‌میزان ۵۷۳ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک و در تیمار کاربرد ۷/۵ لیتر در هزار کود زرگرین بدست آمد. ترکیبات آلی می‌توانند با عناصر غذایی مانند سدیم، پتاسیم، منیزیم، روی، کلسیم، آهن و مس کلات تشکیل دهند و به جذب بیشتر آنها توسط گیاه کمک کنند. بر اساس تحقیقات Cacco *et al.* (2000)، افزایش رشد و جذب عناصر، تولید ریشه، بهبود فعالیت‌های تنفسی، افزایش آنتی اکسیدان‌ها و مقاومت به تنش خشکی از نتایج کاربرد اسید هیومیک است. گزارش شده محلول پاشی اسیدهای آلی غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در دانه برنج افزایش داد (Osman *et al.*, 2013). بر اساس نتایج ارائه شده توسط Nardi *et al.* (2002)، با کاربرد اسید هیومیک، متابولیسم درون سلولی و میزان کلروفیل افزایش یافته و در نتیجه جذب عناصر غذایی افزایش یافته است.

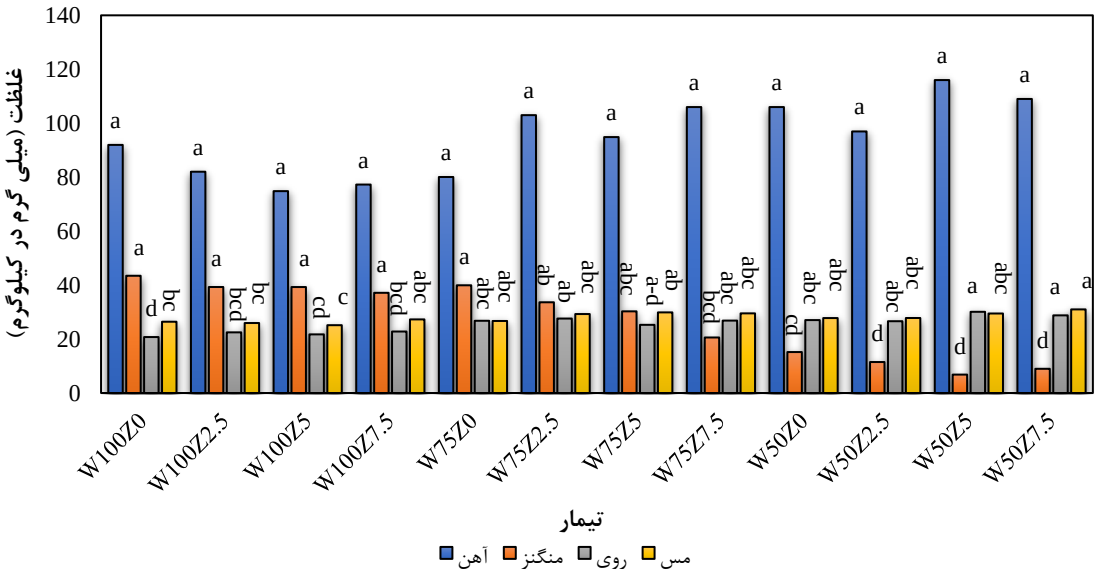
غلظت آهن، منگنز، روی و مس شاخساره

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر غلظت آهن شاخساره داشت ولی محلول‌پاشی کود زرگرین اثر معنی‌دار نداشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد کاربرد سطوح ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با شاهد سبب افزایش میانگین غلظت آهن شاخساره به ترتیب به میزان ۱۸ و ۳۱ درصد در مقایسه با شاهد شد (هرچند تنها افزایش ۳۱ درصدی ناشی از اعمال سطح رطوبتی ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه در مقایسه با شاهد معنی‌دار بود) که می‌تواند به دلیل اثر رقت و تغلیض آهن حاصل از کاهش وزن خشک ناشی از اعمال تنش رطوبتی باشد. بیشترین میانگین غلظت آهن شاخساره به میزان ۹۷/۶۶ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک و در تیمار کاربرد ۷/۵ لیتر در هزار کود زرگرین بدست آمد. نتایج همچنین نشان داد کاربرد سطوح مختلف کود مورد مطالعه سبب افزایش غلظت آهن شاخساره در مقایسه با شاهد به‌ترتیب به‌میزان ۱، ۳ و ۵ درصد شد. هرچند افزایش‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۶). در سطوح تنش رطوبتی ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه، افزودن کود آلی زرگرین، غلظت آهن شاخساره را نسبت به شاهد افزایش داد البته افزایش‌ها

از نظر آماری معنی‌دار نبود و بیشترین غلظت آهن شاخساره در تیمار W50Z5 بدست آمد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تیمارهای محلول‌پاشی کود زرگرین و تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر غلظت منگنز شاخساره داشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد سطوح ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی سبب کاهش معنی‌دار غلظت منگنز شاخساره در مقایسه با شاهد به‌ترتیب به‌میزان ۲۲ و ۷۳ درصد شد که می‌تواند به دلیل برهمکنش منفی و اثر ضدیتی معروف بین آهن و منگنز در گیاه باشد. به‌عبارتی همان‌گونه که نشان داده شد با افزایش سطوح تنش رطوبتی، غلظت آهن شاخساره افزایش یافته و زیادی غلظت آهن به دلیل برهمکنش منفی سبب کاهش غلظت منگنز شاخساره شده است. Moosavi و Ronaghi (۲۰۱۰ و ۲۰۱۱) نیز برهمکنش منفی بین آهن و منگنز در لوبیا و سویای کشت شده در یک خاک آهکی در شرایط گلخانه را گزارش نمودند. بیشترین میانگین غلظت منگنز شاخساره به میزان ۳۲/۸۶ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک و در تیمار شاهد بدست آمد. نتایج همچنین نشان داد کاربرد سطوح ۲/۵، ۵ و ۷/۵ لیتر در هزار کود زرگرین مورد مطالعه سبب کاهش معنی‌دار غلظت منگنز شاخساره در مقایسه با شاهد به‌ترتیب به‌میزان ۴، ۲۳ و ۳۲ درصد شد (شکل۶). به‌طور کلی، غلظت منگنز شاخساره تحت تنش رطوبتی و با وجود مقادیر مختلف کود آلی زرگرین، کاهش یافت.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد محلول‌پاشی کود زرگرین اثر معنی‌داری بر غلظت روی شاخساره گیاه نداشت درحالی که اثر تنش رطوبتی معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد سطوح ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با شاهد سبب افزایش معنی‌دار غلظت روی شاخساره به‌ترتیب به‌میزان ۲۱ و ۲۸ درصد شد. بیشترین میانگین غلظت روی شاخساره به‌میزان ۲۶/۱۴ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک و در تیمار کاربرد ۷/۵ لیتر در هزار کود زرگرین بدست آمد. نتایج مقایسه میانگین‌ها همچنین نشان داد کاربرد سطوح ۲/۵، ۵ و ۷/۵ لیتر در هزار کود مورد مطالعه سبب افزایش معنی‌دار غلظت روی شاخساره در مقایسه با شاهد به‌ترتیب به‌میزان ۳، ۳ و ۵ درصد شد ولی هیچ‌یک از افزایش‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبودند (شکل۶). بیشترین غلظت روی شاخساره در تیمار W50Z5 و W50Z7.5 بدست آمد. در حالی که کمترین غلظت روی در شرایط بدون دریافت کود آلی و بدون تنش رطوبتی (W100Z0) مشاهده شد.



شکل ٦. اثر تیمارهای کود آلی زرگرین و تنش خشکی بر غلظت آهن، منگنز، روی و مس در شاخساره گیاه گوجه فرنگی (در هر مورد، ستون‌هایی که حداقل در یک حرف کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن درسطح احتمال ٥ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد هر دو تیمار محلول پاشی کود زرگرین و تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر غلظت مس شاخساره گیاه داشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد کاربرد سطوح ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی سبب افزایش معنی‌دار میانگین غلظت مس شاخساره به‌ترتیب به‌میزان ۱۰ و ۱۱ درصد در مقایسه با شاهد شد. بیشترین میانگین غلظت مس شاخساره به میزان ۲۹/۲۶ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک و در تیمار کاربرد ۷/۵ لیتر در هزار کود زرگرین بدست آمد .نتایج مقایسه میانگین‌ها همچنین نشان داد محلول‌پاشی سطوح ۲/۵، ۵ و ۷/۵ لیتر در هزار کود زرگرین مورد مطالعه سبب افزایش معنی‌دار ۳، ۴ و ۹ درصدی غلظت مس شاخساره در مقایسه با شاهد شد. هرچند افزایش ۳ درصدی در مقایسه با شاهد از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل۶). نتایج نشان می‌دهد در سطوح تنش رطوبتی

۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه، افزودن کود آلی زرگرین، غلظت مس شاخساره را نسبت به نمونه بدون کود، افزایش داد. بیشترین غلظت در تیمارهای W50Z7.5 و W100Z5 مشاهده شد. Tahir *et al*. (2011) نشان دادند سطوح مختلف اسید هیومیک سبب بهبود غلظت عناصر مس، روی، فسفر، پتاسیم و منیزیم در گندم شده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به شرایط اقلیم خشک و نیمه خشک ایران و کمبود منابع آبی، به منظور افزایش بهره‌وری تولیدات کشاورزی و همین‌طور حفظ محیط زیست، کاربرد ترکیبات با منشاء آلی نقش مهمی در تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان خواهد داشت. نتایج نشان داد وزن تر و خشک شاخساره گوجه فرنگی در بیشترین سطح تنش رطوبتی پس از افزودن بیشترین سطح کود آلی، افزایش یافت. غلظت روی و مس شاخساره نیز در بیشترین سطح تنش به دلیل کاربرد سطوح زیاد کود، افزایش یافت. به عبارت دیگر، حضور ترکیب آلی مورد استفاده در شرایط تنش رطوبتی از کاهش عملکرد گیاه جلوگیری کرده است. نتایج مشابهی در مورد شاخص سبزینگی و ارتفاع گیاه نیز بدست آمد. بنابراین به‌طور کلی و با توجه به اثرات مثبت کود آلی مورد استفاده در کاهش و تعدیل اثرات منفی تنش خشکی بر رشد و عملکرد گیاه، می‌توان از کود مورد مطالعه برای بهبود رشد و عملکرد گیاه و مدیریت بهینه کشاورزی به‌ویژه در شرایط تنش رطوبتی استفاده نمود تا ضمن افزایش ماده آلی خاک و اثرات مثبت احتمالی بر ویژگی‌های مختلف و جامعه میکروبی خاک، از اثرات منفی تنش رطوبتی بر رشد و عملکرد گیاه نیز کاسته شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

آزادی بوگر، شهرام و قرقانی، علی (۱۳۹۵). تاثیر محلول پاشی کلسیم و بر روی برخی ویژگی‌های کمی و کیفی میوه سیب رقم گلاب کهنز. *علوم باغبانی ایران*، ۴۷(۴)، ۸۱۱-۸۲۲.

احمدی، علی و بیکر، د. آ (۱۳۷۹). عوامل روزنه ای و غیر روزنه ای محدود کننده فتوسنتز در گندم در شرایط تنش خشکی. *علوم کشاورزی ایران*، ۳۱(۴)، ۸۱۳-۸۲۵.

بهبودی، فریده؛ طهماسبی سروستانی زین‌العابدین؛ کسایی، محمدزمان؛ مدرس ثانوی، سیدعلی‌محمد و سروش‌زاده، علی (۱۳۹۷). اثر محلول‌پاشی و مصرف خاکی نانوذرات کیتوزان بر برخی صفات فیزیولوژیک گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) تحت تنش‌خشکی. *نشریه‌علمی -پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۲(۱)، ۳۷-۵۶.

پوریوسف میاندوآب، محمود و شهروان، نازیلا (۱۳۹۳). اثر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در زمان‌های مختلف بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم. *فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۲۳، ۲۱-۳۲.

تقدسی، محبوبه؛ حسنی، نصرتاله؛ مسعود سینکی، جعفر (۱۳۹۱). تنش قطع آبیاری و محلول پاشی با اسید هیومیک و عصاره جلبک بر میزان آنزیم‌های آنتی اکسیدان وپرولین در سورگوم علوفه ای. *تولید گیاهان زراعی در شرایط تنش های محیطی (علوم زراعی)*، ۴(۴)، ۱-۱۲.

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.

حقیقی، مریم و نجفی، حجت‌اله (۱۳۹۸). اثر هیومیک اسید بر کاهش اثرات تنش خشکی در گیاه گوجه‌فرنگی(*Lycopersicum esculentum* Mill.). *فصلنامه علمی-پژوهشی علوم سبزی‌ها*، ۳(۶)، ۱۴۷-۱۵۸.

حیدری، مصطفی؛ پایدار، احمد؛ برادران فیروزآباد، مهدی و عابدینی اسفهالنی، محمد (۱۳۹۸). تأثیر تنش خشکی و کاربرد اسید هیومیک بر عملکرد کمی، رنگدانه‌های فتوسنتزی و مقادیر عناصر معدنی دانه آفتابگردان. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۰(۴)، ۵۱-۶۲.

شهدی‌کومله، عباس.، سیدی، سید رضا، حقیقی‌حسنعلیده، علیرضا، و کرمنیا، سهیل. (۱۴۰۰). اثر منبع و میزان مصرف کودهای آلی بر عملکرد دانه و کیفیت ارقام بومی و اصلاح شده برنج (*Oryza sativa* L.). نشریه علوم زراعی ایران، ۲۳(۳)، ۲۷۸-۲۸۹.

رجایی، مجید؛ عطارزاده، محمود؛ موسوی، سیدحسین و عطارزاده، مصطفی (۱۳۹۴). استفاده از کمپوست شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabra*) در کاهش اثر تنش کم آبی در خیار گلخانه ای. *نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۲۵ (۳)، ۷۹-۹۰.

زاهدی‌فر، مریم؛ موسوی، سیدعلی اکبر؛ ارشادی، آرش و جعفری اصل، مهدی (۱۴۰۱). بررسی کارایی مصرف آب وویژگی‌های رشد گندم تحت تأثیر کاربرد خاکی ومحلول‌پاشی کود آلی زرگرین در شرایط خشکی. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴(۱)، ۱۳۵-۱۵۳.

REFERENCES

Ahanger, M. A., Qi, M., Huang, Z., Xu, X., Begum, N., & Qin, C., et al. (2021). Improving growth and photosynthetic performance of drought stressed tomato by application of nano-organic fertilizer involves up-regulation of nitrogen, antioxidant and osmolyte metabolism. *Ecotoxicological and Environmental Safety*, 216, 112195.

Ahmadi, A., & Backer, D. A. (2000). Stomatal and nonstomatal limitations of photosynthesis under water stress conditions in wheat plant. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 31(4), 813-825 (In Persian).

Azadi Bougar, Sh., & Gharaghani, A. (2017). Effect of calcium and boron spray application on fruit's quantitative and qualitative characteristics of 'Golab-e Kohanz' apple. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 47(4), 811-822 (In Persian).

Behboudi, F., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kassaee, M. Z., Modares Sanavi, A. M., & Sorooshzadeh, A. (2018). Effect of foliar and soil application of chitosan nanoparticles on some of physiological characteristics of barley (*Hordeum vulgare* L.) under drought stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, 12(1), 37-56 (In Persian).

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

Bronick, C. J., & Lal, R. (2005). Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 124, 3-22.

Cacco, G., Attina, E., Gelsomino, A., & Sidari, M. (2000). Effect of nitrate and humic substances of different molecular size on kietic parameters of nitrate uptake in wheat seedlings. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163, 313320.

Chakma, R., Biswas, A., Saekong, P., Ullah, H. & Datta, A. (2021). Foliar Application and Seed Priming of Salicylic Acid Affect Growth, Fruit Yield, and Quality of Grape Tomato under Drought Stress. *Scientia Horticulturae*, 280, 109904

Eghball, B., Ginting, D., & Gilley, J. (2004). Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agronomy Journal*, 96(2), 442-447.

El-Badri, A. M., Batool, M., Mohamed, I., Wang, Z., Khatab, A., Sherif, A., et al. (2021). Antioxidative and metabolic contribution to salinity stress responses in two rapeseed cultivars during the early seedling stage. *Antioxidants*. 10(8):1227–1248.

Ferrara, G., Pacifico, A., Simeone, P., & Ferrara, E. (2007). *Preliminary study on the effects of foliar applications of humic acids on 'Italia' table grape*. In Proc. of the World Congress of Vine and Wine (Vol. 165).

Garcia, A. L., Madrid, R., Gimeno, V., Rodriguez-Ortega, W. M., Nicolas, N., & Garcia-Sanchez, F. (2011). The effects of amino acids fertilization incorporated to the nutrient solution on mineral composition and growth in tomato seedlings. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(3), 852-861.

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*, ۶4, 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.

Gawronaka, H. (2008). *Biostimulators in modern agriculture (general aspects)*. Arysta Life Science. Published by the Editorial House Wies Jutra, Limited. Warsaw. 7- 25

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.

Haghighi, M., & Najafi, H. (2020). The Effect of Humic Acid on Alleviating Drought Stress Effects in Tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Journal of Vegetables Sciences*, 3(6), 147-158 (In Persian).

Haghighi, S., Nejad, T. S., & Lack, S. (2011). Calculate the growth dynamics of root and shoot of bean plants. *Journal of American Science*, 7, 19-26.

Hassan, M.U., Aamer, M., Chattha, M.U., Tang, H., Shahzad, B., Barbanti, L., Rasheed, A., Afzal, A., Liu, Y., & Huang, G. (2020). The critical role of zinc in plants facing the drought stress. *Agriculture*, 10(9),

396.
Hassan, M.U., Chattha, M. U., Khan, I., Chattha, M. B., Barbanti, L., Aamer, M., et al. (2021). Heat stress in cultivated plants: Nature, impact, mechanisms, and mitigation strategies-A review. *Plant Biology*, 155(2), 211–234.
Hassani, A., &Amiri, M. R. (2015). Effect of foliar application of amino acids on nitrogen use efficiency, grain yield and quality of barley. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 112, 76-86 (In Persian).
Hatami, A., Aboutalebi Jahromi, A., Ejraei, A., Mohammadi Jahromi, S. A., & Hassanzadeh hankahdani, H. (2023). Study of biochemical traits and mineral elements in date palm fruits under preharvest foliar application of organic fertilizers and micronutrients. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 10(3), 125-140.
Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2017). Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 8th Ed. Published by Pearson India Education Services Pvt. Ltd, CIN: U72200TN2005PTC057128.
Heidari, M., Paydar, A., Baradarn Firozabad, M., & Abedinin Esfalati, M. (2020). The Effect of drought stress and application of humic on quantitative yield, photosynthetic pigments, and mineral nutrients content in sunflower seeds. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(4), 51-62 (In Persian).
Iqbal, N., Fatma, M., Gautam, H., Sehar, Z., Rasheed, F., Khan, M. I. R., & Khan, N.A. (2022). Salicylic Acid Increases Photosynthesis of Drought Grown Mustard Plants Effectively with Sufficient-N via Regulation of Ethylene, Abscisic Acid, and Nitrogen-Use Efficiency. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43, 1–12
Laila, K. M. A., & Elbordiny, M. M. (2009). Response of wheat plants to potassium humate application. *Journal of Applied Sciences Research*, 5, 1202-1209.
Lindsay, W. L. & Norvell, W. A. (1978). Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42, 421- 428.
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.
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.
Mubashir, A., Nisa, Z-u-., Shah, A. A., Kiran, M., Hussain, I., & Ali, N., et al. (2023). Effect of foliar application of nano-nutrients solution on growth and biochemical attributes of tomato (*Solanum lycopersicum*) under drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1066790.
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.
Najafian, Sh., Zahedifar, M., & Ghasemi, A. R. (2022). Effect of organic and inorganic zinc foliar application on the natural product composition and antioxidant activity of lemon balm (*Melissa officinalis)*. *Iran Agricultural Research*, 40(2), 85-92.
Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A. & Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(11), 1527-1536.
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.
Osman, E. A. M., EL-Masry, A. A., & Khatab, K. A. (2013). Effect of nitrogen fertilizer sources and foliar spray of humic and/or fulvic acids on yield and quality of rice plants. *Advances in Applied Science Research*, 4(4), 174-183.
Pouryousef Miandoab, M., & Shahravan, N. (2014). Effect of foliar application of amino acids at different times on yield and yield components of maize. *Crop Physiology Journal*, 23, 21-32 (In Persian).
Rai, G. K., Kumar, R., Singh, A. K., Rai, P. K., Rai, M., & Chaturvedi, A. K., et al. (2012). Changes in

antioxidant and phytochemical properties of tomato (Lycopersicon esculentum mill.) under ambient condition. *Pakistan Journal of Botany*, 44 (2), 667–670.

Rajaie, M., Attarzadeh, M., Mosavi, S. H., & Attarzadeh, M. (2015) Using licorice compost (Glycyrizha glabra) to reduce the water stress effect in greenhouse Cucumber. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25, 79-90 (In Persian).

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.

Rout, G.R., & Sahoo, S. (2015). Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science*, 3, 1–24.

Sabagh, I. E., Abdelaal, K., Omra, R., Hafez, Y. M., & Esmail, S. (2018). Anatomical, biochemical and physiological changes in some Egyptian wheat cultivars inoculated with Puccinia graminis f. Sp. Tritici. *Fresenius Environmental Bulletin Fresenius*, 27, 296–305.

Shahdi Kumleh, A., Seyedi, S., Haghighi Hasanalideh, A., & Karamniya, S. (2021). Effect of source and application rate of organic fertilizers on grain yield and quality of local and improved rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Journal of Iranian Crop Sciences*, 23(3), 278-289 (In Persian).

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.

Taghaddosi, M., Hasani, N., & Sinaki, J. M. (2013). Irrigation disruption stresss, spraying with humic acid and seaweed extract in antioxidant enzymes and proline in the forage sorghum. *Crop Production in Environmental Stress*, 4(4), 1-12 (In Persian).

Tahir, M.M., Khurshid, M., Khan, M.Z., Abbasi, M.K., & Kazmi, H.M. (2011). Lignite-derived humic acid effect on growth of wheat plants in different soils. *Pedosphere*, 21, 124-131.

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.

Tehranifar, A., & Ameri, A. (2012). Effect of humic acid on nutrient uptake and physiological characteristics of Fragaria× ananassa'Camarosa'. *Journal of Biological & Environmental Sciences*, 6(16), 77-79.

Wang, X., Zhang, Y., Xu, W., Cheng, J., Liu, J., Pei, W., Wang, J., & Chuang, Sh. (2023). Amino acid fertilizer strengthens its effect on crop yield and quality by recruiting beneficial rhizosphere microbes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(12), 5970-5980.

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.

Zahedifar, M., & Najafian, Sh. (2023). Evaluation of essential oil composition and antioxidant activity of yarrow as influenced by foliar application of humic substance-based products: Using multivariate exploratory method. *Scientia Horticulturae*, 308, 111557.

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 (In Persian).

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.

Effect of moisture stress and foliar application of Zargreen organic liquid fertilizer on tomato growth and yield

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

One of the basic limitations of plant growth is abiotic environmental stress, especially moisture stress, which is known worldwide as an important challenge in the field of production and development of products. Tomato is sensitive to water stress and achieving a product with good quality requires finding a way with the least environmental damage and the most yield. Organic agriculture is looking for ways to intensify the ecological processes responsible for plant nutrition while preserving soil and water resources. The present research was conducted in order to investigate the effect of foliar spraying of organic modifier with the brand name Zargreen liquid fertilizer on the growth characteristics, yield and concentration of nutrients in the aerial parts of tomato plants under moisture stress.

Material and Methods

A Factorial experiment was conducted in completely randomized design with three replications in greenhouse conditions in the Faculty of Agriculture of Shiraz University on May 2022. Treatments consisted of four levels of foliar application of Zargreen organic liquid fertilizer (with concentrations of 0, 2.5, 5, and 7.5 L/1000L) and three soil moisture levels (field capacity (without stress), 75 and 50% of field capacity, FC). Foliar application of treatments was used out at 1.5 months (at the end of vegetative growth and beginning of flowering), 2.5 months (at the stage of fruit development), and 3 months (at the stage of fruit ripening) 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 height of the plant, and after harvesting, the fresh and dry weight of shoot were measured and shoot nutrient concentrations were determined. Data analysis was done using EXCEL ver. 2016 software and averages were compared with the Duncan's test at probability level of 5% using MSTATC software packages.

Results and Discussion

The interaction effect of Zargreen organic fertilizer and moisture stress showed that the most leaf chlorophyll was observed in the treatment with the highest level of moisture stress and the highest level of receiving organic fertilizer. Application of levels of 2.5, 5 and 7.5 liters per thousand liters of Zargeen fertilizer increased the height of the plant by 8, 9 and 14%, respectively, compared to the control. The lowest fresh weight of shoots was obtained in the treatment without organic fertilizer with the highest level of moisture stress, while at the same stress level, the highest fresh weight was observed with the addition of 7.5 liters per thousand organic fertilizers. The highest concentration of zinc and copper in shoots was obtained in the plants with the highest moisture stress and the highest levels of organic fertilizer.

Conclusion

Considering the arid and semi-arid climatic conditions of Iran and the lack of water resources, in order to increase the productivity of agricultural production and also protect the environment, the use of compounds of organic origin will play an important role in supplying the plants required nutrients. The results showed that shoot fresh and dry weights of tomato increased at the highest level of moisture stress after adding the highest level of organic fertilizer. The shoot zinc and copper concentrations increased at the highest level of moisture stress due to the application of a high level of fertilizer. In other words, the presence of organic compounds in these conditions has prevented the reduction of plant yield. Similar results were obtained for greenness index and plant height. Therefore, in general and according to the positive effects of applied organic fertilizer in reducing and mitigating the negative effects of drought stress on plant growth and yield, the studied fertilizer can be used to improve plant growth and yield and optimal agricultural management, especially in moisture stress conditions. The fertilizer may increase soil organic matter and improve various soil properties and soil microbial community as well as reduce the negative effects of moisture stress on the plant growth and yield.

Keywords: Water Stress, Tomato Yield, Greenness Index, Micronutrients, Chemical Composition.