Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

The response of physiologic and qualitative traits of triticale to sugarcane residue compost under drought stress condition

Seyed Naser Safi[1], Ali Moshatati[2], Mohamad Hossain Gharineh[3*], Aydin Khodaei-Joghan[4]

[1] MSc. Graduated, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran, Email: safysad@yahoo.com
[2] Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran, Email: alimoshatati@gmail.com
[3] Associate professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natura Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran, Email: hossain_gharineh@yahoo.com
[4] Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran, Email: aydin.khodaei@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2021/08/20
Revised: 2022/02/05
Accepted: 2022/03/05

Keywords:
Canopy temperature
Chlorophyll
Fe
Irrigation cutoff
Protein

ABSTRACT

Background and objectives: Drought stress, reduces physiologic, qualitative and yield traits of triticale. Also, using compost fertilizer has beneficial effects on physical, chemical and biological conditions of the soil and reducing the negative effect of environmental stresses like drought stress on physiologic and qualitative traits of crop plants. This study designed and carried out with aim to study the effect of sugarcane residue compost fertilizer on physiologic and qualitative traits of triticale under drought stress conditions in Ahwaz weather conditions in Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.

Materials and methods: In order to investigate the effect of sugarcane residue compost fertilizer on physiologic and qualitative traits of triticale under drought stress conditions, a field experiment using a split-plot arrangement accomplished in a randomized complete block design with four replicates in the research farm of Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan during 2018-2019 growing season. Experimental factors include four levels of drought stress (complete irrigation, drought stress from spike emergence stage, drought stress from pollination stage and drought stress from milky-dough stage) in main plots and five amounts of sugarcane residues compost fertilizer (0, 10, 20, 30 and 40 t ha^{-1}) in sub-plots.

Results: Analysis of variance showed that the effect of drought stress, sugarcane residue compost fertilizer and their interaction on the most of measured traits (SPAD, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, relative water content, cell membrane stability, canopy temperature, redistribution, grain yield, and grain protein, Fe and Zn content) were significant. Mean comparison of above measured traits in interaction effects of drought stress and sugarcane residue compost fertilizer showed that drought stress decreased these traits and the maximum amount of these traits was obtained in full irrigation and the lowest amount was observed in drought stress from spike emergence to complete maturity. Also, in different drought stress levels, with increasing the amount of sugarcane residue compost fertilizer, the amount of traits increased and reached a maximum at the level of 40 t ha^{-1}. Therefore, the maximum amount of these traits was under full irrigation

and 40 t ha^{-1} of sugarcane residue compost and the lowest amount of them was obtained in drought stress from spike emergence and non-use of sugarcane residue compost.

Conclusion: Generally, drought stress from irrigation cut off decreased physiologic and qualitative traits of triticale. Also, in different drought stress levels with increasing the amount of sugarcane residue compost fertilizer, the amount of above traits increased. Therefore using sugarcane residues compost fertilizer decreased the negative impact of drought stress from spike emergence conditions on physiologic and qualitative traits of triticale between 6 to 46 percent.

Cite this article: Safi, S.N., Moshatati, A., Gharineh, M.H., Khodaei-Joghan, A. 2022. Investigation of yield and yield components of different cereal mixtures to water stress in hot and dry ecological conditions. *Crop Production Journal*, 15 (2), 53-74.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJCP.2022.19356.2443
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۷۳۹x-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۷٤۰۳-۲۰۰۸
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

واکنش صفات فیزیولوژیک و کیفی تریتیکاله به کود کمپوست بقایای نیشکر در شرایط تنش خشکی

سیدناصر صافی[۱]، علی مشتطی[۲]، محمدحسین قرینه[۳]*، آیدین خدایی جوقان[٤]

۱.دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران، رایانامه: safysad@yahoo.com
۲.استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران، رایانامه:alimoshatati@gmail.com
۳.دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران، رایانامه: hossain_gharineh@yahoo.com
٤.استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران، رایانامه: aydin.khodaei@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۰۵/۲۹
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۰/۱۱/۱٦
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۱۲/۱٤

واژه‌های کلیدی:
آهن
پروتئین
دمای کانوپی
قطع آبیاری
کلروفیل

چکیده

سابقه و هدف: تنش خشکی باعث کاهش صفات فیزیولوژیک، کیفی و عملکرد تریتیکاله می‌شود. همچنین، کاربرد کود کمپوست اثرات مطلوبی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک و کاهش اثر تنش‌های محیطی مثل تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک و کیفی گیاهان زراعی دارد. این آزمایش با هدف بررسی اثر مصرف مقادیر مختلف کود کمپوست بقایای نیشکر بر کاهش اثر تنش خشکی ناشی از قطع آبیاری بر صفات فیزیولوژیک و کیفی تریتیکاله در شرایط آب و هوایی اهواز در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی اثر کود کمپوست بقایای نیشکر بر صفات فیزیولوژیک و کیفی تریتیکاله در شرایط تنش خشکی، آزمایشی مزرعه‌ای به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل چهار سطح تنش خشکی (آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله ظهور سنبله، قطع آبیاری از مرحله گرده‌افشانی و قطع آبیاری از مرحله شیری- خمیری دانه) در کرت‌های اصلی و پنج مقدار کود کمپوست بقایای نیشکر (صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ تن در هکتار) در کرت‌های فرعی بودند.

یافته‌ها: تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی، کود کمپوست بقایای نیشکر و اثر متقابل آن‌ها بر اکثر صفات فیزیولوژیک و کیفی اندازه‌گیری شده (عدد اسپد، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ، ثبات غشای سلول، دمای کانوپی، توزیع مجدد مواد فتوسنتزی، عملکرد دانه پروتئین دانه و میزان آهن و روی دانه) معنی‌دار بود. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده فوق تحت اثر متقابل تنش خشکی و کود کمپوست بقایای نیشکر نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش مقدار اغلب صفات مذکور شد و حداکثر میزان این صفات در تیمار آبیاری کامل و کم‌ترین مقدار آن‌ها در تنش خشکی از ظهور سنبله مشاهده شد. همچنین، در سطوح مختلف تنش خشکی، با افزایش میزان مصرف کود کمپوست بقایای نیشکر، مقدار صفات مذکور افزایش یافت و در سطح ٤۰ تن در هکتار به حداکثر رسید؛ لذا بیش‌ترین میزان این صفات در شرایط آبیاری کامل و مصرف ٤۰ تن در هکتار کمپوست بقایای

نیشکر و کم‌ترین مقدار آن‌ها در شرایط تنش خشکی از مرحله ظهور سنبله و عدم مصرف کمپوست بقایای نیشکر حاصل شد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی، تنش خشکی ناشی از قطع آبیاری باعث کاهش مقدار صفات فیزیولوژیک، کیفی و عملکرد دانه تریتیکاله شد. همچنین، در تمام سطوح تنش خشکی، با افزایش میزان مصرف کود کمپوست بقایای نیشکر و فراهمی آب و عناصر غذایی برای گیاه، مقدار صفات فوق افزایش یافت. لذا افزایش مصرف کود کمپوست بقایای نیشکر توانست اثر منفی ناشی از تنش خشکی از مرحله ظهور سنبله بر صفات فیزیولوژیک و کیفی تریتیکاله را بین ٦ تا ٤٦ درصد کاهش دهد.

استناد: صافی، س.ن.، مشتطی، ع.، قرینه، م.ح.، خدایی جوقان، آ. (١٤٠١). واکنش صفات فیزیولوژیک و کیفی تریتیکاله به کود کمپوست بقایای نیشکر در شرایط تنش خشکی. *تولید گیاهان زراعی*، ١٥ (٢)، ٧٤-٥٣.

DOI: 10.22069/EJCP.2022.19356.2443

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

گیاه تریتیکاله (*Triticosecale* Wittmack) حاصل ترکیب دو جنس سکاله (چاودار) و تریتیکوم (گندم) است که خصوصیات عملکردی گندم برای تولید مواد غذایی و سازگاری چاودار به محیط نامطلوب را دارد و به‌دلیل بالا بودن لیزین، ارزش پروتئینی بالاتری نسبت به گندم دارد؛ همچنین، با توجه به تنوع ژنتیکی مناسب و سازگاری مطلوب به محدوده وسیعی از شرایط محیطی، می‌تواند به عنوان یک غله پاییزه جهت تولید علوفه و دانه مورد توجه قرار گیرد (۱).

از بین عوامل مختلف تنش‌زای زنده (آفات، بیماری و علف‌های هرز) و غیر زنده (خشکی، غرقابی، شوری، گرما، سرما و غیره)، تنش خشکی به تنهایی باعث کاهش ٤٥ درصد عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (۲). در شرایطی که گیاه قادر به جذب آب با سرعت کافی برای جبران تعرق نباشد، تنش خشکی حادث می‌گردد. در این شرایط، رشد گیاه مختل شده و عملکرد آن کاهش می‌یابد (۲). در این خصوص اکبریان و همکاران (۲۰۱۱) در آزمایشی با ارزیابی اثر تنش خشکی بر صفات مختلف ژنوتیپ‌های تریتیکاله گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش صفات کلروفیل a، کلروفیل b و محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ‌های تریتیکاله شد (۳). در پژوهشی لونبانی و ارزانی (۲۰۱۱) در بررسی اثر تنش خشکی بر صفات مورفوفیزیولوژیک ژنوتیپ‌های تریتیکاله و گندم گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش کلروفیل a، افزایش کلروفیل b و کاهش محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ‌های تریتیکاله شد (٤). در آزمایش دیگری روحی و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی اثر تنش خشکی بر صفات مختلف ژنوتیپ‌های تریتیکاله، گندم و جو گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ گیاهان مورد بررسی شد (۵). همچنین، در پژوهش دیگری شانظری و همکاران (۲۰۱۸) طی مطالعه اثر تنش خشکی بر صفات مختلف ژنوتیپ‌های تریتیکاله گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ، ثبات حرارتی غشای سلول، کلروفیل a و کلروفیل b و افزایش کارتنوئید ژنوتیپ‌های تریتیکاله شد (٦).

یکی از روش‌های کاهش اثر منفی تنش خشکی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی، استفاده از مواد طبیعی مثل کودهای آلی در خاک است که باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، افزایش ماده آلی و تعادل pH خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مثل نیتروژن، اصلاح ساختمان خاک، افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها، ایجاد بستر مناسب برای رشد ریشه، افزایش فتوسنتز، رشد اندام هوایی و تولید ماده خشک و در نهایت بهبود عملکرد گیاه می‌شود، همچنین این مواد نسبت به کودهای شیمیایی، آلودگی کم‌تری در محیط زیست ایجاد می‌کنند (۷). یکی از کودهای آلی مهم که در استان خوزستان به مقدار زیادی تولید می‌شود و اخیرا مورد توجه قرار گرفته است، کود کمپوست بقایای نیشکر می‌باشد. کود کمپوست بقایای نیشکر یک ماده آلی پیت مانند است که باعث نرمی بافت خاک و افزایش تهویه، جذب رطوبت و ظرفیت نگهداری آب می‌شود. کربن آلی موجود در کمپوست بقایای نیشکر، عناصر غذایی را به آرامی و یکنواخت در خاک آزاد کرده و گیاه را قادر به جذب آن می‌نماید. همچنین، کمپوست تولید شده از باگاس و فیلتر کیک نیشکر حاوی کلیه مواد مغذی خاک نظیر عناصر ماکرو نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، عناصر میکرو و سایر مواد آلی مورد نیاز گیاهان است (۸).

در مورد اثر مصرف کود کمپوست بر رشد و عملکرد گیاهان مختلف، پژوهش‌های متعددی صورت

گرفته است. به عنوان مثال، در آزمایشی زاده امیدی و همکاران (۲۰۱۹) طی بررسی اثر مقادیر کمپوست نیشکر و نیتروژن بر عملکرد ذرت دانه‌ای نشان دادند که افزایش مصرف کمپوست نیشکر باعث افزایش صفات عملکرد دانه و عملکرد پروتئین شد و حداکثر عملکرد دانه (٦٤٤٦ کیلوگرم در هکتار) در مصرف ۳۰ تن در هکتار کمپوست نیشکر به دست آمد (۹). در پژوهشی مکوندی و همکاران (۲۰۲۰) با مطالعه اثر کمپوست کود دامی ترکیب شده با زئولیت و مصرف قارچ مایکوریزا بر رشد و عملکرد تریتیکاله گزارش کردند که با افزایش میزان مصرف زئولیت در کمپوست کود دامی، صفات عملکرد و اجزای عملکرد و درصد پروتئین دانه تریتیکاله افزایش یافت (۱۰). در گزارش دیگری مکوندی و همکاران (۲۰۲۱) با ارزیابی اثر کمپوست کود دامی ترکیب شده با زئولیت و مصرف قارچ مایکوریزا بر صفات فیزیولوژیک و کیفی تریتیکاله گزارش کردند که با افزایش میزان مصرف زئولیت در کمپوست کود دامی و تلقیح با قارچ مایکوریزا، صفات عدد کلروفیل متر، کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید، فسفر دانه و پتاسیم دانه تریتیکاله افزایش یافت، ولی نیتروژن خاک و ماده آلی خاک کاهش یافت (۱۱).

در بعضی از آزمایشات نشان داده شده که در گیاهان مواجه با تنش خشکی، مصرف کود کمپوست باعث افزایش تحمل گیاه نسبت به تنش خشکی و افزایش رشد و عملکرد گیاه شد. در آزمایشی صفری و میرزایی حیدری (۲۰۱۷) طی بررسی اثر کاربرد ورمی کمپوست و تلقیح قارچ مایکوریزا بر رشد و عملکرد گندم در شرایط تنش خشکی گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه شد، اما در شرایط تنش خشکی، مصرف ورمی کمپوست و تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش صفات فوق شد (۱۲). در مطالعه‌ای مشتطی و همکاران (۲۰۱۹) با مطالعه اثر کود دامی و زئولیت بر عملکرد گندم نان تحت شرایط تنش خشکی بیان کردند که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گندم شد، ولی در شرایط تنش خشکی، مصرف کود دامی و زئولیت موجب کاهش اثر تنش خشکی شده و عملکرد دانه را افزایش داد (۱۳). همچنین، در پژوهش دیگری شیرخانی و همکاران (۲۰۱۹) با ارزیابی اثر کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد و کیفیت دانه ذرت در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه و افزایش درصد نیتروژن دانه ذرت شد، اما افزایش مصرف ورمی کمپوست در شرایط تنش خشکی باعث افزایش عملکرد دانه و درصد نیتروژن دانه گردید (١٤).

با توجه به نتایج تحقیقات مختلف، تنش خشکی باعث کاهش صفات فیزیولوژیک و کیفی تریتیکاله می‌شود. همچنین، کاربرد کود کمپوست اثرات مطلوبی بر حفظ رطوبت خاک، فراهمی عناصر غذایی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و کاهش اثر تنش‌های محیطی مثل تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک و کیفی گیاهان زراعی دارد، ولی اثر کود کمپوست بقایای نیشکر بر کاهش اثر تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک و کیفی تریتیکاله بررسی نشده است. لذا این آزمایش با هدف بررسی اثر کاربرد مقادیر مختلف کود کمپوست بقایای نیشکر بر کاهش اثر تنش خشکی ناشی از قطع آبیاری و صفات فیزیولوژیک و کیفی تریتیکاله در شرایط آب و هوایی اهواز در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در پاییز سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع

طبیعی خوزستان در ملاثانی در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی اهواز با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٤٨ درجه و ٥٣ دقیقه شرقی، ارتفاع ٣٤ متر از سطح دریا و آب و هوای گرم و خشک (تابستان گرم و طولانی، زمستان ملایم و کوتاه و گرمای زودرس با میانگین بارندگی سالیانه ۲۱۳ میلی‌متر) اجرا شد (جدول ۱).

جدول ۱- میانگین ماهانه دمای حداقل و حداکثر و بارندگی در دوره رشد تریتیکاله در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷.

Table 1- Mean of monthly minimum and maximum temperatures and precipitation during triticale growth cycle in growing season of 2018-2019.

ماه Month	دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد) Minimum temperature (°C)	دمای حداکثر (درجه سانتی‌گراد) Maximum temperature (°C)	بارندگی (میلی‌متر) Precipitation (mm)
آبان Nov.	16.8	27.0	96.5
آذر Dec.	12.6	21.9	100.8
دی Jan.	8.9	20.5	25.3
بهمن Feb.	10.0	23.3	33.7
اسفند Mar.	10.8	23.5	11.6
فروردین Apr.	16.7	29.8	45.3
اردیبهشت May.	21.2	36.6	2.5

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. عوامل آزمایشی شامل چهار سطح تنش خشکی (آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله ظهور سنبله (Z55) تا رسیدگی کامل، قطع آبیاری از مرحله گرده‌افشانی (Z65) تا رسیدگی کامل و قطع آبیاری از مرحله شیری- خمیری (Z75) دانه تا رسیدگی کامل) به عنوان عامل اصلی در کرت‌های اصلی و پنج سطح کمپوست بقایای نیشکر (صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤٠ تن در هکتار) به‌عنوان عامل فرعی در کرت‌های فرعی بودند. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک و کود کمپوست بقایای نیشکر مورد استفاده با رطوبت حدود ۲۰ درصد (تهیه شده از شرکت کشت و صنعت نیشکر کارون) در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک (صفر تا ۳۰ سانتی متر) و کمپوست بقایای نیشکر.

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

مشخصات فیزیکی و شیمیایی Physical and chemical properties	خاک Soil	کمپوست بقایای نیشکر Sugarcane residue compost
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC ($dS\ m^{-1}$)	1.7	2.2
پی‌اچ pH	7.3	7.6
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	0.4	57.6
نیتروژن (درصد) N (%)	0.1	0.3
فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P ($mg\ kg^{-1}$)	37	76
پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K ($mg\ kg^{-1}$)	280	5000
وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Bulk density ($g\ cm^{-3}$)	1.21	-
بافت Texture	رسی سیلتی Silty clay	-

پس از آماده‌سازی زمین و قبل از کاشت، مقدار کود کمپوست بقایای نیشکر بر اساس تیمار توزین و توسط دستگاه کولتیواتور با خاک مخلوط شد. کاشت بذور تریتیکاله رقم سناباد (با منشاء سیمیت، تیپ رشد

بهاره، متوسط رس، متحمل به خوابیدگی، ارتفاع بوته حدود ۱۱۰ سانتی‌متر، وزن هزار دانه حدود ٤٧ گرم و عملکرد دانه حدود ۷۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط آب و هوایی مشهد) در اوایل آذر ماه ۱۳۹۷ به صورت دستی صورت گرفت. هر کرت فرعی به ابعاد ۲×۳ متر با ۱۰ خط کاشت و فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر از هم با تراکم ٤۰۰ بذر در متر مربع ایجاد شد. در مرحله داشت، آبیاری تا قبل از مرحله گلدهی با توجه به شرایط آب و هوایی، وضعیت ظاهری رطوبت خاک و نیاز گیاه برای تمام کرت‌ها به صورت یکسان انجام شد، ولی در مرحله بعد از ظهور سنبله، ادامه آبیاری بر اساس تیمار مورد نظر انجام شد و برای جلوگیری از اثر بارندگی بر کرت‌های با تیمار تنش خشکی، در موقع بارندگی روی کرت‌های مورد نظر شلتر کشیده شد. در مورد کوددهی، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (به صورت ۵۰ درصد در زمان کاشت و ۵۰ درصد در ابتدای مرحله ساقه رفتن) از منبع اوره و ۷۵ کیلوگرم در هکتار فسفر در زمان قبل از کاشت از منبع سوپر فسفات تریپل استفاده شد. علف‌های هرز داخل و بین کرت‌ها به صورت دستی وجین شدند. در این آزمایش صفت عدد اسپد در ابتدای مرحله گلدهی به روش رینولدز و همکاران (۲۰۰۱) و با دستگاه SPAD مدل 502 plus شرکت Konica Minolta ژاپن (۱۵)، میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئیدها در ابتدای مرحله گلدهی به روش آرنون (۱۹٤۹) و با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Spkol شرکت Analytic jena آلمان (۱٦)، محتوای نسبی آب برگ در اواسط مرحله گلدهی به روش ریچی و همکاران (۱۹۹۰) (۱۷)، ثبات غشای سلول در اواسط مرحله گلدهی به روش رینولدز و همکاران (۲۰۰۱) (۱۵)، دمای کانوپی در مرحله گرده‌افشانی و سه روز بعد از آبیاری در ساعات ۱۳ الی ۱٤ روزهای آفتابی به روش رینولدز و همکاران (۲۰۰۱) (۱۵)، درصد توزیع مجدد مواد فتوسنتزی به روش ماسونی و همکاران (۲۰۰۷) (۱۸)، درصد پروتئین دانه به روش و دستگاه کجلدال اتوآنلایزر (برمنر، ۱۹۹٦) (۱۹) و میزان آهن و روی دانه توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. در زمان برداشت و در مرحله رسیدگی کامل در اواسط اردیبهشت ۱۳۹۸، دو خط اول و آخر و همچنین نیم متر از اول و آخر کرت به عنوان حاشیه حذف و سطح باقی‌مانده برداشت و عملکرد دانه با رطوبت ۱٤ درصد محاسبه شد. تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین صفات به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد با استفاده از سیستم تجزیه آماری (SAS) نسخه ۹/٤ انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف تنش خشکی و مقادیر کود کمپوست بقایای نیشکر بر صفات عدد اسپد، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ، ثبات غشای سلول، دمای کانوپی، درصد توزیع مجدد مواد فتوسنتزی، درصد پروتئین دانه و میزان آهن و روی دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد؛ همچنین، اثر متقابل تنش خشکی و کود کمپوست بقایای نیشکر بر صفات کلروفیل b، کاروتنوئید، دمای کانوپی، درصد توزیع مجدد مواد فتوسنتزی و درصد پروتئین دانه در سطح احتمال پنج درصد و بر صفات کلروفیل a، محتوای نسبی آب برگ و میزان روی دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک و کیفی تریتیکاله تحت اثر تنش خشکی و کمپوست بقایای نیشکر.

Table 3- Analysis of variance of physiologic and qualitative traits of triticale under drought stress and sugarcane residues compost.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی dF	میانگین مربعات Means of squares (MS)											
		اسپد SPAD	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئید Carotenoids	محتوای نسبی آب برگ Relative water content	ثبات غشای سلول Cell membrane stability	دمای کانوپی Canopy temperature	توزیع مجدد مواد فتوسنتزی Redistribution	عملکرد دانه Grain yield	پروتئین دانه Grain protein	آهن دانه Grain Fe	روی دانه Grain Zn
تکرار Rep	3	41.5	0.7	1.3	2.4	2.5	3.2	3.4	3.9	79806.0	0.04	48.0	8.7
تنش خشکی Drought stress (S)	3	190.9**	45.0**	146.6**	136.4**	2109.3**	6065.6**	30.8**	402.4**	18869179.6**	9.85**	2268.2**	762.6**
خطای اصلی Ea	9	23.3	0.5	0.4	0.5	8.1	21.5	1.7	2.1	113147.3	0.72	54.6	24.8
کمپوست Compost (C)	4	121.9**	2.7**	8.1**	15.3**	494.5**	229.3**	6.7**	15.4**	3422625.5**	2.89**	182.1**	284.8**
تنش×کمپوست S×C	12	19.0^{ns}	1.1**	0.8*	1.8*	104.0**	12.3^{ns}	3.4*	4.8*	136225.6**	0.78*	17.4^{ns}	27.6**
خطای فرعی Eb	48	5.2	0.3	0.5	0.7	6.2	6.4	1.2	1.7	56256.6	0.41	11.5	7.7
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		7.6	3.8	6.6	10.4	6.9	5.8	5.5	4.1	9.3	5.8	4.0	5.1

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

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

عدد اسپد: شاخص سبزینگی یا عدد اسپد، شاخصی از سبز بودن برگ است که به روش قابل حمل، سریع، ساده و غیر تخریبی، میزان غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی و وضعیت نیتروژن برگ گیاهان زراعی در مزرعه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمار تنش خشکی و کود کمپوست بقایای نیشکر بر صفت عدد اسپد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ولی اثر متقابل آن‌ها بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین صفت عدد اسپد در سطوح مختلف تنش خشکی (جدول ٤) نشان داد که بیش‌ترین عدد اسپد (۵۳/۲)، در آبیاری کامل حاصل شد که با شرایط تنش خشکی از مرحله شیری- خمیری تفاوت آماری معنی‌داری نداشت. کم‌ترین عدد اسپد (٤۷/۱) در تنش خشکی از مرحله ظهور سنبله به دست آمد که با تیمار تنش خشکی از مرحله گرده‌افشانی اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. این نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش عدد اسپد شد و هر چه تنش خشکی زودتر بر گیاه اعمال شد، عدد اسپد بیش‌تر کاهش یافت، به طوری که قطع آبیاری و وقوع تنش خشکی از مرحله ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیک، باعث کاهش شدید عدد اسپد شد. در آزمایشی اکبریان و همکاران (۲۰۱۱) با ارزیابی اثر تنش خشکی بر رشد و عملکرد ژنوتیپ‌های تریتیکاله گزارش کردند که در اثر تنش خشکی، صفات غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی تریتیکاله کاهش یافت (۳). همچنین، مقایسه میانگین صفت عدد اسپد در سطوح مختلف کمپوست (جدول ٤) نشان داد که بیش‌ترین عدد اسپد (۵۳/۹) در مصرف ٤۰ تن در هکتار کمپوست و کم‌ترین عدد اسپد (٤٦/۵) در عدم مصرف کمپوست به‌دست آمد (جدول ٤).

جدول ٤- مقایسه میانگین صفت عدد اسپد، ثبات غشای سلول و آهن دانه تریتیکاله تحت اثر تنش خشکی و کمپوست بقایای نیشکر.

Table 4- Mean comparison of SPAD, cell membrane stability and grain Fe of triticale under the effect of drought stress and sugarcane residues compost.

عوامل آزمایشی Experimental factors	عدد اسپد SPAD	ثبات غشای سلول (درصد) Cell membrane stability (%)	آهن دانه (میلی‌گرم در کیلوگرم) Grain Fe (mg kg^{-1})
تنش خشکی Drought stress			
آبیاری کامل Complete irrigation (S0)	53.2a	84.1a	98.2a
تنش خشکی از ظهور سنبله Drought stress from spike emergence (S1)	47.1b	43.3d	73.3d
تنش خشکی از مرحله گرده افشانی Drought stress from pollination stage (S2)	48.1b	55.3c	80.4c
تنش خشکی از مرحله شیری- خمیری Drought stress from milky-dough stage (S3)	52.5a	67.5b	87.5b
کمپوست بقایای نیشکر (تن در هکتار) Sugarcane residue compost ($t.ha^{-1}$)			
0	46.5c	57.0d	82.2cb
10	49.2b	60.9c	81.6d
20	49.9b	63.2bc	84.2bc
30	51.5ab	64.7ab	86.4b
40	53.9a	66.9a	89.9a

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون و در هر عامل، بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

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

به نظر می‌رسد که با افزایش میزان مصرف کمپوست، مقدار آزادسازی و تامین عناصر غذایی مثل نیتروژن، آهن و منگنز در خاک افزایش یافته و منجر به افزایش عدد اسپد برگ گیاه می‌شود. در پژوهشی مکوندی و همکاران (۲۰۲۱) با مطالعه اثر کمپوست کود دامی ترکیب شده با زئولیت و مصرف قارچ مایکوریزا بر صفات فیزیولوژیک و کیفی تریتیکاله گزارش کردند که با افزایش مصرف کمپوست کود دامی ترکیب شده با زئولیت، صفت عدد کلروفیل‌متر تریتیکاله افزایش یافت (۱۱).

کلروفیل a: در بین رنگیزه‌های فتوسنتزی، کلروفیل a به عنوان رنگیزه مهم فتوسنتزی، نقش زیادی در میزان فتوسنتز گیاه دارد. تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی و کود کمپوست بقایای نیشکر و اثر متقابل این دو عامل بر صفت میزان کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین (جدول ۵) نشان داد که در آبیاری کامل، بیش‌ترین کلروفیل a (۱۹/۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در مصرف ٤٠ تن در هکتار کمپوست بود که با مصرف ۳۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. کم‌ترین کلروفیل a (۱۸/۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در عدم مصرف کمپوست بود که با مصرف ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. در تنش خشکی از مرحله ظهور سنبله، بیش‌ترین کلروفیل a (۱۵/۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در مصرف ٤٠ تن در هکتار کمپوست بود که البته با مصرف ۳۰، ۲۰ و ۱۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشت و کم‌ترین کلروفیل a (۱۳/٤ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در عدم مصرف کمپوست حاصل شد. در تنش خشکی از مرحله گرده‌افشانی، بین سطوح مختلف مصرف کمپوست از نظر میزان کلروفیل a اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین، در تنش خشکی از مرحله شیری- خمیری دانه، بالاترین کلروفیل a (۱۷/۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در مصرف ٤٠ تن در هکتار کمپوست بود که با سطح مصرف ۳۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف آماری معنی‌داری نداشت و کم‌ترین میزان کلروفیل a (۱٦/۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در عدم مصرف کمپوست بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص شد که تنش خشکی، میزان کلروفیل a را کاهش داد و هر چه تیمار تنش خشکی از مرحله رشدی زودتری اعمال شد، کلروفیل a کم‌تر بود. تنش خشکی با کاهش جذب آب و عناصر غذایی مثل نیتروژن، آهن و منگنز توسط گیاه، باعث کاهش حجم سلول‌ها، سطح برگ، رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان فتوسنتز می‌شود. در آزمایشی لونبانی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که وقوع تنش خشکی، باعث کاهش کلروفیل a تریتیکاله شد (٤). از طرف دیگر، در اغلب سطوح قطع آبیاری با افزایش مصرف کمپوست، کلروفیل a افزایش یافت. به عبارت دیگر، افزایش مصرف کمپوست توانست اثر منفی ناشی از تنش خشکی بر صفت کلروفیل a را کاهش دهد. به نظر می‌رسد که با افزایش میزان مصرف کمپوست، فراهمی عناصر غذایی از جمله نیتروژن، آهن و منیزیم برای گیاه بیش‌تر شده و باعث افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی مثل کلروفیل a می‌شود. در پژوهشی چائو و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی اثر کمپوست بقایای گیاهی بر رشد و عملکرد تریتیکاله گزارش کردند که با افزایش میزان مصرف کمپوست بقایای گیاهی، کلروفیل a تریتیکاله افزایش یافت (۲۰).

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک و کیفی تریتیکاله تحت اثر متقابل تنش خشکی و کمپوست بقایای نیشکر به روش برش دهی فیزیکی

Table 5- Mean comparison of physiologic and quantitative traits of triticale under the interaction effect of drought stress and sugarcane residues compost by physical slicing method

تنش خشکی Drought stress	کمپوست بقایای نیشکر (تن در هکتار) sugarcane residue compost (t ha^{-1})	کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم وزن تر) Chlorophyll a (mg g^{-1})	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن تر) Chlorophyll b (mg g^{-1})	کاروتنوئید (میلی‌گرم در گرم وزن تر) Carotenoids (mg g^{-1})	محتوای نسبی آب برگ (درصد) Relative water content (%)	دمای کانوپی (درجه سانتی‌گراد) Canopy temperature (°C)	توزیع مجدد مواد فتوسنتزی (درصد) Redistribution (%)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg ha^{-1})	پروتئین دانه (درصد) Grain protein (%)	روی دانه (میلی گرم در کیلوگرم) Grain Zn (mg g^{-1})
آبیاری کامل Complete irrigation (S0)	0	18.1b	12.3b	7.7a	83.1b	21.8a	41.7c	2885c	11.5b	56.4b
	10	18.3b	12.9b	6.8ab	84.7b	21.3a	43.6b	3564b	11.6b	61.3a
	20	18.4b	12.7b	6.9ab	85.0b	21.0a	43.7b	3617b	11.7b	61.6a
	30	18.8ab	13.0ab	6.0bc	83.7b	20.0ab	44.5b	4202a	11.2b	62.7a
	40	19.5a	14.2a	5.0c	88.6a	17.6b	46.4a	4288a	13.7a	63.5a
تنش خشکی از ظهور سنبله Drought stress from spike emergence (S1)	0	13.4b	5.2c	13.0ab	40.0b	24.1a	32.7b	1134c	10.3a	41.2c
	10	15.2a	6.6b	13.3a	61.6ab	23.5ab	33.0b	1276bc	10.2a	41.3c
	20	15.4a	7.0ab	12.4ab	64.3ab	22.6b	33.4b	1288bc	10.3a	46.5bc
	30	15.5a	7.3a	10.2c	70.7a	23.5ab	33.4b	1440b	10.4a	47.4b
	40	15.8a	7.6a	11.7b	69.3a	22.6b	34.9a	2025a	10.4a	58.7a
تنش خشکی از مرحله گرده افشانی Drought stress from pollination stage (S2)	0	16.6a	8.4a	10.3a	65.9a	21.8a	35.1c	1630d	10.5b	47.0d
	10	16.0a	8.3a	10.1a	67.5a	23.6a	36.5bc	1976cd	10.5b	48.0cd
	20	16.2a	8.8a	10.1a	70.0a	22.3a	37.0b	2157bc	10.5b	51.7bc
	30	16.5a	9.0a	9.5ab	72.0a	21.3a	37.6b	2389b	10.8a	54.0b
	40	15.9a	9.1a	8.8b	76.7a	22.8a	39.7a	2784a	10.9a	59.8a
تنش خشکی از مرحله شیری- خمیری Drought stress from milky-dough stage (S3)	0	16.3c	9.8c	9.4a	71.0b	22.6a	41.6a	2350d	10.9b	54.0d
	10	17.0bc	10.2bc	7.0b	77.2ab	21.1a	39.3a	2471cd	10.9b	56.7c
	20	17.5ab	10.6bc	7.2b	78.9ab	21.1a	39.9a	2771bc	11.1b	57.0c
	30	17.3ab	11.3ab	6.4b	80.0a	21.4a	41.0a	2956b	11.0b	59.2b
	40	17.8a	12.5a	5.3b	84.8a	21.4a	40.0a	3797a	12.1a	60.9a

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

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

کلروفیل b: یکی از رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان عالی، کلروفیل b است که در فتوسنتز گیاهان نقش دارد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تنش خشکی و کود کمپوست بقایای نیشکر در سطح یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد بر صفت میزان کلروفیل b معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین صفت کلروفیل b تحت اثر متقابل تنش خشکی و کود کمپوست به روش برش‌دهی فیزیکی (جدول ۵)، در آبیاری کامل بیش‌ترین میزان کلروفیل b (۱٤/۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در مصرف ٤۰ تن در هکتار کمپوست بود که با مصرف ۳۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین، کم‌ترین مقدار کلروفیل b (۱۲/۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در عدم کاربرد کمپوست بود. در تنش خشکی از مرحله ظهور سنبله، بیش‌ترین کلروفیل b (۷/٦ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در مصرف ٤۰ تن در هکتار کمپوست به‌دست آمد که با تیمارهای ۳۰ و ۲۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین کلروفیل b (۵/۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در عدم مصرف کمپوست مشاهده شد. در تنش خشکی از مرحله گرده‌افشانی، بین سطوح مختلف مصرف کمپوست از نظر مقدار کلروفیل b اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد. در تنش خشکی از مرحله شیری-خمیری دانه، بیش‌ترین کلروفیل b (۱۲/۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در مصرف ٤۰ تن در هکتار کمپوست به‌دست آمد که با سطح ۳۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین، کم‌ترین کلروفیل b (۹/۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در عدم مصرف کمپوست مشاهده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده در این آزمایش مشخص شد که تنش خشکی، میزان کلروفیل b را کاهش داد و هر چه تنش خشکی مدت زمان بیش‌تری بر گیاه اعمال شد، اثر منفی آن بر کلروفیل b بیش‌تر بود. در اثر تنش خشکی، جذب آب و عناصر غذایی کاهش می‌یابد که منجر به کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل b می‌شود. در آزمایشی اکبریان و همکاران (۲۰۱۱) با ارزیابی اثر تنش خشکی بر رشد و عملکرد ژنوتیپ‌های تریتیکاله گزارش کردند که در اثر تنش خشکی، میزان کلروفیل b تریتیکاله کاهش یافت (۳). همچنین، افزایش مصرف کمپوست، باعث افزایش فراهمی عناصر غذایی از جمله نیتروژن، آهن و منیزیم برای گیاه شده و در نتیجه غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی مثل کلروفیل b افزایش می‌یابد. در پژوهشی عبدالمجید و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی اثر کمپوست بر رشد و عملکرد سورگوم گزارش کردند که با افزایش میزان مصرف کمپوست، کلروفیل b سورگوم افزایش یافت (۲۱).

کاروتنوئیدها: یکی دیگر از رنگیزه‌های فتوسنتزی که در میزان فتوسنتز گیاه به‌خصوص در شرایط تنش‌های محیطی نقش دارند، کاروتنوئیدها هستند. تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی و کود کمپوست بقایای نیشکر در سطح یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد بر صفت میزان کاروتنوئیدها معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین صفت کاروتنوئید تحت اثر متقابل تنش خشکی و کود کمپوست به روش برش‌دهی فیزیکی (جدول ۵) نشان داد که در آبیاری کامل، بیش‌ترین میزان کاروتنوئید (۷/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در عدم مصرف کمپوست حاصل شد که با سطوح صفر، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشت و کم‌ترین مقدار کاروتنوئید (۵/۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در مصرف ٤۰ تن در هکتار کمپوست به‌دست آمد. در تنش خشکی از مرحله ظهور سنبله، بیش‌ترین کاروتنوئید (۱۳/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در مصرف ۱۰ تن در هکتار کمپوست حاصل

شد که با تیمار صفر و ۲۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف معنی‌داری مشاهده نداشت و کم‌ترین کاروتنوئید (۱۰/۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در مصرف ۳۰ تن در هکتار کمپوست مشاهده شد. در تنش خشکی از مرحله گرده‌افشانی، بیش‌ترین کاروتنوئید (۱۰/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در عدم مصرف کمپوست حاصل شد که با سطوح مصرف ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در تنش خشکی از مرحله شیری- خمیری دانه، بیش‌ترین کاروتنوئید (۹/٤ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در عدم مصرف کمپوست حاصل شد و کم‌ترین میزان کاروتنوئید (۸/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در مصرف ٤۰ تن در هکتار کمپوست به‌دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده در این آزمایش، تنش آبی باعث افزایش کاروتنوئید برگ شد و اعمال تنش از مراحل رشدی زودتر، کاروتنوئید را بیش‌تر افزایش داد. در شرایط تنش خشکی، میزان کاروتنوئید که کلروفیل‌ها را در مقابل اکسیداسیون نوری محافظت می‌کنند، افزایش می‌یابد تا مانع تخریب بیش‌تر کلروفیل شود (۲). در آزمایشی شانظری و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که در اثر تنش خشکی، صفت کاروتنوئید برگ تریتیکاله افزایش یافت (٦). از طرف دیگر، افزایش میزان مصرف کمپوست، باعث کاهش میزان کاروتنوئید برگ شد که احتمالا به دلیل افزایش فراهمی آب و عناصر غذایی و در نتیجه افزایش میزان کلروفیل a و b است. البته در پژوهشی عبدالمجید و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که با افزایش مقدار مصرف کمپوست، میزان کاروتنوئید برگ سورگوم افزایش یافت (۲۱).

محتوای نسبی آب برگ: یکی از اثرات تنش خشکی بر گیاه، اختلال در وضعیت آبی برگ است. همچنین، یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین صفات نشان‌دهنده وضعیت آب در بافت گیاه، محتوای نسبی آب برگ است. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تنش خشکی، کود کمپوست بقایای نیشکر و اثر متقابل آن‌ها بر صفت محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین صفت محتوای نسبی آب برگ به روش برش‌دهی فیزیکی (جدول ۵)، در آبیاری کامل، بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ (۸۸/٦ درصد) در استفاده از ٤۰ تن در هکتار کمپوست حاصل شد و کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ (۸۳/۱ درصد) در عدم مصرف کمپوست به‌دست آمد که با مصرف ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. در تنش خشکی از مرحله ظهور سنبله، بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ (۷۰/۷ درصد) در مصرف ۳۰ تن در هکتار کمپوست حاصل شد که با مصرف ۱۰، ۲۰ و ٤۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف آماری معنی‌دار نداشت و کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ (٤۰/۰ درصد) در عدم مصرف کمپوست به‌دست آمد. در تنش خشکی از مرحله گرده‌افشانی، بین سطوح مختلف مصرف کمپوست از نظر محتوای نسبی آب برگ اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده نشد. در تنش خشکی از مرحله شیری- خمیری، بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ (۸٤/۸ درصد) در مصرف ٤۰ تن در هکتار کود کمپوست به‌دست آمد که با مصرف ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف آماری معنی‌داری نداشت و کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ (۷۱/۰ درصد) در عدم مصرف کمپوست حاصل گردید. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ شد و هر چه تیمار تنش خشکی از مرحله رشدی زودتری اعمال شد، محتوای نسبی آب برگ کم‌تر بود. به نظر می‌رسد که تنش خشکی باعث بسته شدن روزنه برگ شده و وضعیت آبی گیاه را

مختل کرده و محتوای نسبی آب را کاهش می‌دهد. در آزمایشی اکبریان و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که در اثر تنش خشکی، صفت محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ‌های تریتیکاله کاهش یافت (۳). از طرف دیگر، در تمام سطوح تنش خشکی، با افزایش مصرف کمپوست، محتوای نسبی آب برگ افزایش یافت. به عبارت دیگر، افزایش مصرف کمپوست توانست اثر منفی ناشی از تنش خشکی بر صفت محتوای نسبی آب برگ را کاهش دهد. احتمالاً با افزایش مصرف کمپوست در خاک، حفظ و تامین رطوبت در خاک برای گیاه افزایش یافته و لذا محتوای نسبی آب برگ افزایش یافت. در پژوهشی جهانگیری نیا و همکاران (۲۰۱٦) گزارش کردند که با افزایش مصرف ورمی کمپوست، صفت محتوای نسبی آب برگ سویا افزایش یافت (۲۲).

ثبات غشای سلول: یکی از صفات مهم نشان‌دهنده وضعیت پایداری فعالیت سلول‌ها در شرایط تنش‌های محیطی مثل تنش خشکی، صفت ثبات غشای سلولی است. تجزیه واریانس نشان داد که اثر قطع آبیاری و کود کمپوست بقایای نیشکر بر صفت ثبات غشای سلول معنی‌دار شد، ولی اثر متقابل این دو عامل بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین صفت ثبات غشای سلول تحت اثر سطوح تنش خشکی نشان داد که بیش‌ترین ثبات غشای سلول (۸٤/۱ درصد) در آبیاری کامل و کم‌ترین ثبات غشای سلول (٤۳/۳ درصد) در تنش خشکی از مرحله ظهور سنبله حاصل شد. بر اساس نتایج این آزمایش، مشخص شد که تنش خشکی باعث کاهش ثبات غشای سلول شد و هر چه تنش خشکی زودتر حادث شد، ثبات غشای سلول بیش‌تر کاهش یافت. احتمالاً تنش خشکی و اختلال در وضعیت آبی گیاه، باعث پلاسمولیز سلول شده و ثبات و پایداری غشاهای سلولی را کاهش می‌دهد. در آزمایشی شانظری و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که در اثر تنش خشکی، صفت ثبات غشای سلول تریتیکاله کاهش یافت (٦). مقایسه میانگین صفت ثبات غشای سلول تحت اثر سطوح کود کمپوست بقایای نیشکر نشان داد که بیش‌ترین ثبات غشای سلول (٦٦/۹ درصد) در مصرف ٤۰ تن در هکتار کمپوست بود که با سطح مصرف ۳۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف آماری معنی‌داری نداشت و کم‌ترین ثبات غشای سلول (۵۷/۰ درصد) در عدم کاربرد کمپوست به‌دست آمد (جدول ٤). لذا به‌طور کلی، با افزایش مصرف کمپوست ثبات غشای سلول افزایش یافت. به نظر می‌رسد که با افزایش مصرف کمپوست، حفظ و تامین رطوبت مورد نیاز گیاه افزایش یافته و منجر به افزایش ثبات غشای سلولی می‌شود. در پژوهشی مامنبی و همکاران (۲۰۲۰) مشاهده کردند که با افزایش مقدار مصرف ورمی کمپوست، میزان ثبات غشای سلول نخود افزایش یافت (۲۳).

دمای کانوپی: تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی و کود کمپوست بقایای نیشکر در سطح یک درصد و اثر متقابل این دو عامل در سطح پنج درصد بر صفت دمای کانوپی معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین صفت دمای کانوپی تحت اثر متقابل تنش خشکی و کود کمپوست به روش برش‌دهی فیزیکی (جدول ۵) نشان داد که در آبیاری کامل، بالاترین دمای کانوپی (۲۱/۸ درجه سانتی‌گراد) در عدم مصرف کمپوست حاصل شد که با سطح مصرف ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف آماری معنی‌داری نداشت و کم‌ترین دمای کانوپی (۱۷/٦ درجه سانتی‌گراد) در مصرف ٤۰ تن در هکتار کمپوست به‌دست آمد که با سطح ۳۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشت. در تنش خشکی از مرحله ظهور سنبله، بالاترین دمای کانوپی (۲٤/۱ درجه سانتی‌گراد) در عدم مصرف کمپوست و

کم‌ترین دمای کانوپی (۲۲/٦ درجه سانتی‌گراد) در مصرف ٤٠ تن در هکتار کمپوست به‌دست آمد که با سطوح ۳۰ و ۲۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در تنش خشکی از مرحله گرده‌افشانی و مرحله شیری- خمیری دانه، بین سطوح مختلف مصرف کمپوست از نظر دمای کانوپی اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد. با توجه به نتایج این آزمایش، مشخص شد که تنش خشکی باعث افزایش دمای کانوپی گردید. به نظر می‌رسد که تنش خشکی با کاهش رطوبت خاک، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تبادل حرارتی بین گیاه و محیط، موجب افزایش دمای کانوپی گیاه می‌شود. در این خصوص آبرکان و همکاران (۲۰۲۱) گزارش دادند که تنش خشکی باعث افزایش دمای کانوپی گندم شد (٢٤). از طرف دیگر، در سطوح مختلف تنش خشکی، افزایش مصرف کمپوست، باعث کاهش دمای کانوپی گیاه شد. احتمالا افزایش مصرف کمپوست موجب حفظ رطوبت خاک، جلوگیری از بسته شدن روزنه‌ها، ادامه تبادلات گازی و کاهش دمای کانوپی گردید. در پژوهشی عبدالمجید و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که با مصرف کمپوست آلی، صفت دمای کانوپی سورگوم کاهش یافت (۲۱).

توزیع مجدد مواد فتوسنتزی: منابع مواد فتوسنتزی مورد نیاز برای پر شدن دانه شامل فتوسنتز بعد از گلدهی، فتوسنتز سنبله و توزیع مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره شده در ساقه و برگ‌های گیاه است که میزان مشارکت آن‌ها در پر شدن دانه در شرایط تنش خشکی تغییر می‌کند. تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی، کود کمپوست بقایای نیشکر و اثر متقابل آن‌ها بر صفت توزیع مجدد مواد فتوسنتزی معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین صفت توزیع مجدد مواد فتوسنتزی تحت اثر متقابل تنش خشکی و کود کمپوست به روش برش‌دهی فیزیکی (جدول ٥) نشان داد که در آبیاری کامل، بیش‌ترین توزیع مجدد مواد فتوسنتزی (٤٦/٤ درصد) در مصرف ٤٠ تن در هکتار کمپوست حاصل شد که با سطوح مصرف ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشت و کم‌ترین توزیع مجدد مواد فتوسنتزی (٤١/٧ درصد) در عدم کاربرد کمپوست مشاهده شد. در تنش خشکی از مرحله ظهور سنبله، بیش‌ترین توزیع مجدد مواد فتوسنتزی (٣٤/٩ درصد) در مصرف ٤٠ تن در هکتار کمپوست و کم‌ترین میزان آن (۳۲/۷ درصد) در شرایط عدم مصرف کمپوست حاصل شد که با مصرف ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشت. در تنش خشکی از مرحله گرده‌افشانی، بالاترین توزیع مجدد مواد فتوسنتزی (۳۹/۷ درصد) در مصرف ٤٠ تن در هکتار کمپوست حاصل شد که با تیمارهای مصرف ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشت و کم‌ترین میزان توزیع مجدد مواد فتوسنتزی (۳٥/۱ درصد) در عدم کاربرد کمپوست بود. در تنش خشکی از مرحله شیری- خمیری دانه، بین سطوح مختلف کمپوست از نظر توزیع مجدد مواد فتوسنتزی اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد. بر اساس یافته‌های این آزمایش، تنش خشکی باعث کاهش توزیع مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره شده در ساقه و برگ‌های گیاه شد و هر چه این تنش از مرحله رشدی زودتری شروع شد، اثر منفی آن بر توزیع مجدد مواد فتوسنتزی بیش تر بود. احتمالا تنش خشکی با کاهش فتوسنتز و رشد گیاه، باعث کاهش تولید ماده خشک و میزان توزیع مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره شده در ساقه و برگ‌های گیاه شد. در آزمایشی تاتار و همکاران (۲۰۱٥) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی، میزان توزیع مجدد مواد فتوسنتزی گندم کاهش یافت (۲٥). همچنین، در اکثر سطوح مختلف تنش خشکی، با افزایش مقدار مصرف کمپوست، میزان توزیع مجدد

مواد فتوسنتزی افزایش یافت. به نظر می‌رسد که کاربرد کمپوست با فراهم آوردن شرایط مناسب رشدی برای گیاه، باعث افزایش تولید ماده خشک گیاهی و افزایش توزیع مجدد مواد فتوسنتزی شد. در پژوهشی چن و همکاران (۲۰۱٤) گزارش کردند که با مصرف کمپوست آلی، صفت توزیع مجدد مواد فتوسنتزی گندم کاهش یافت (۲٦).

عملکرد دانه: مهم‌ترین صفت در تحقیقات به‌زراعی و به‌نژادی گیاهان زراعی دانه‌ای، عملکرد دانه است که تحت تاثیر خصوصیات ژنتیکی گیاه، شرایط محیطی، عوامل زراعی و اثر متقابل بین آن‌ها می‌باشد. تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی، کمپوست بقایای نیشکر و اثرات متقابل آن‌ها بر صفت عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین صفت عملکرد دانه تحت اثر متقابل تنش خشکی و کود کمپوست نیشکر به روش برش‌دهی فیزیکی (جدول ٥) نشان داد که در شرایط آبیاری کامل، بالاترین عملکرد دانه (٤۲۸۸ کیلوگرم در هکتار) در شرایط مصرف ٤۰ تن در هکتار کود کمپوست نیشکر حاصل شد، ولی بین تیمار ۳۰ و ٤۰ تن در هکتار کمپوست بقایای نیشکر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و کم‌ترین میزان عملکرد دانه (۲۸۸٥ کیلوگرم در هکتار) در شرایط عدم مصرف کمپوست بقایای نیشکر به‌دست آمد. به عبارت دیگر، حتی در شرایط آبیاری کامل و عدم وجود تنش خشکی، کاربرد این مواد باعث افزایش قابل توجه عملکرد دانه گردید. در تنش خشکی از مرحله ظهور سنبله، بالاترین عملکرد دانه (۲۰۲٥ کیلوگرم در هکتار) در شرایط مصرف ٤۰ تن در هکتار کود کمپوست نیشکر حاصل شد و کم‌ترین میزان عملکرد دانه (۱۱۳٤ کیلوگرم در هکتار) در شرایط عدم مصرف کمپوست بقایای نیشکر به‌دست آمد. در شرایط تنش خشکی از مرحله گرده‌افشانی، بالاترین عملکرد دانه (۲۷۸٤ کیلوگرم در هکتار) در شرایط مصرف ٤۰ تن در هکتار کود کمپوست نیشکر حاصل شد و کم‌ترین میزان عملکرد دانه (۱٦۳۰ کیلوگرم در هکتار) در شرایط عدم مصرف کمپوست بقایای نیشکر به‌دست آمد. در تنش خشکی از مرحله شیری-خمیری دانه، بالاترین عملکرد دانه (۳۷۹۷ کیلوگرم در هکتار) در شرایط مصرف ٤۰ تن در هکتار حاصل شد و کم‌ترین عملکرد دانه (۲۳٥۰ کیلوگرم در هکتار) در شرایط عدم مصرف کمپوست بقایای نیشکر به‌دست آمد. نتایج حاصله نشان داد که هر چه تیمار تنش خشکی در مرحله رشدی زودتری اعمال شد، عملکرد دانه کم‌تر بود. همچنین، در تمام سطوح تنش خشکی، با افزایش مصرف کود کمپوست، عملکرد دانه افزایش یافت. به عبارت دیگر، افزایش مصرف کود کمپوست توانست اثر منفی ناشی از تنش خشکی بر صفت عملکرد دانه را کاهش دهد. مقایسه نتایج کاربرد کمپوست نیشکر در شرایط آبیاری کامل با شرایط تنش خشکی نشان داد که مصرف کمپوست در شرایط تنش خشکی اثر بیش‌تری بر حفظ عملکرد دانه داشت. به عبارت دیگر، در شرایط مطلوب، کاربرد این مواد با حفظ رطوبت و فراهمی عناصر غذایی باعث افزایش عملکرد دانه شد، ولی در شرایط تنش خشکی که عامل رطوبت، محدود کننده عملکرد است، کاربرد این مواد اثر گذاری بیش‌تری در حفظ عملکرد دانه داشت. همچنین، نتایج نشان داد که اگرچه هر چه تنش خشکی زودتر حادث شد، عملکرد دانه بیش‌تر کاهش یافت، ولی اثر گذاری مصرف این مواد در شرایط تنش خشکی شدیدتر بر افزایش عملکرد دانه بیش‌تر بود. به‌طور کلی، به نظر می‌رسد که در شرایط تنش خشکی ناشی از قطع آبیاری، رشد رویشی و زایشی گیاه کاهش یافته و باعث کاهش اجزای عملکرد شده و در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود. از طرف دیگر، مصرف

کود کمپوست با حفظ و نگهداری آب و فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز رشد گیاه، موجب کاهش اثر تنش شده و منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شود. در آزمایشی گزارش شد که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه گندم شد، ولی کاربرد کود دامی و زئولیت موجب کاهش اثر تنش خشکی شده و عملکرد دانه را افزایش داد (۱۳).

پروتئین دانه: یکی از صفات مهم کیفی دانه، درصد نیتروژن و پروتئین دانه است که در شرایط تنش خشکی تغییر می‌کند. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تنش خشکی و کود کمپوست بقایای نیشکر در سطح یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد بر صفت درصد پروتئین دانه معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین صفت پروتئین دانه تحت اثر متقابل تنش خشکی و کود کمپوست به روش برش‌دهی فیزیکی (جدول ۵) نشان داد که در آبیاری کامل، بیش‌ترین پروتئین دانه (۱۳/۷ درصد) در مصرف ٤٠ تن در هکتار کود کمپوست حاصل شد و کم‌ترین پروتئین دانه (۱۱/۲ درصد) در مصرف ۳۰ تن در هکتار کود کمپوست به‌دست آمد که البته با سطوح مصرف صفر، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشت. در تنش خشکی از مرحله ظهور سنبله، بین سطوح مختلف کمپوست از نظر میزان پروتئین دانه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در تنش خشکی از مرحله گرده‌افشانی، بیش‌ترین پروتئین دانه (۱۲/۱ درصد) در مصرف ٤٠ تن در هکتار کمپوست حاصل شد که با سطح ۳۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین، کم‌ترین پروتئین دانه (۱۰/۵ درصد) در عدم کاربرد کمپوست به‌دست آمد. در تنش خشکی از مرحله شیری- خمیری دانه، بیش‌ترین پروتئین دانه (۱۲/۱ درصد) در مصرف ٤٠ تن در هکتار کمپوست حاصل شد و کم‌ترین پروتئین دانه (۱۰/۹ درصد) در عدم کاربرد کمپوست به‌دست آمد. بر اساس نتایج به دست آمده در این آزمایش، مشخص شد که در اغلب سطوح تنش خشکی ناشی از قطع آبیاری، با افزایش مصرف کمپوست، میزان پروتئین دانه افزایش یافت. به طوری که بیش ترین میزان این صفت، در بالاترین سطح مصرف کمپوست حاصل شد. استفاده از کمپوست اثرات مثبتی روی جذب عناصر غذایی توسط گیاه، ماده خشک، عملکرد دانه و میزان پروتئین دارد. اثر مطلوب کمپوست روی درصد پروتئین دانه احتمالاً به دلیل مقادیر نسبتا بالاتر عناصر غذایی و از این‌رو، افزایش فراهمی عناصر غذایی ماکرو و میکرو می‌باشد (۲۰). در این خصوص ابوحسین و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که با افزایش مصرف کود کمپوست بقایای گیاهی، درصد پروتئین دانه گندم افزایش یافت (۲۷).

آهن دانه: تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی و کود کمپوست بقایای نیشکر بر صفت میزان آهن دانه معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل این دو عامل بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین میزان آهن دانه تحت اثر سطوح تنش خشکی (جدول ٤) نشان داد که بیش‌ترین میزان آهن دانه (۹۸/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در آبیاری کامل و کم‌ترین مقدار آن (۷۳/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در قطع آبیاری از مرحله ظهور سنبله حاصل شد. همچنین، مقایسه میانگین میزان آهن دانه تحت اثر سطوح کود کمپوست (جدول ٤) نشان داد که بیش‌ترین میزان آهن دانه (۸۸/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در مصرف ٤٠ تن در هکتار کمپوست و کم‌ترین مقدار آن (۸۱/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در مصرف ۱۰ تن در هکتار کود کمپوست به‌دست آمد که با سطح شاهد عدم مصرف کمپوست تفاوت معنی‌داری نداشت. در شرایط تنش خشکی، به علت کاهش آب و افزایش غلظت املاح محلول در محیط ریشه و افزایش پتانسیل اسمزی

خاک، جذب آب و عناصر غذایی کاهش می‌یابد (۲). در آزمایشی علیزاده و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی، میزان آهن دانه ذرت کاهش یافت (۲۸). از طرف دیگر، با مصرف کمپوست در خاک و بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک، تامین عناصر غذایی مثل آهن در خاک و جذب آن‌ها توسط گیاه افزایش می‌یابد. در پژوهشی جوانمرد و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شد که با افزایش میزان مصرف کود ورمی کمپوست، مقدار آهن دانه گندم افزایش یافت (۲۹).

روی دانه: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تنش خشکی، کود کمپوست بقایای نیشکر و اثر متقابل آن‌ها بر صفت مقدار روی دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین صفت مقدار روی دانه تحت اثر متقابل تنش خشکی و کود کمپوست به روش برش‌دهی فیزیکی (جدول ۵) نشان داد که در آبیاری کامل، بیش‌ترین روی دانه (۶۳/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در مصرف ۴۰ تن در هکتار کمپوست حاصل شد که با سطوح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین، کم‌ترین میزان روی دانه (۵۶/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در عدم مصرف کمپوست به‌دست آمد. در تنش خشکی از مرحله ظهور سنبله، بیش‌ترین روی دانه (۵۸/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در مصرف ۴۰ تن در هکتار کمپوست حاصل شد. همچنین، کم‌ترین میزان روی دانه (۴۱/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در عدم مصرف کمپوست به‌دست آمد که با سطح مصرف ۱۰ تن در هکتار اختلاف معنی‌داری نداشت. در تنش خشکی از مرحله گرده‌افشانی، بالاترین میزان روی دانه (۵۹/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در مصرف ۴۰ تن در هکتار کمپوست حاصل شد. همچنین، کم‌ترین میزان روی دانه (۴۷/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در عدم مصرف کمپوست به‌دست آمد. در تنش خشکی از مرحله شیری- خمیری دانه، بالاترین میزان روی دانه (۶۰/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در مصرف ۴۰ تن در هکتار کمپوست حاصل شد. همچنین، کم‌ترین میزان روی دانه (۵۴/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در عدم مصرف کمپوست به‌دست آمد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش میزان روی دانه شد. همچنین، در تمام سطوح تنش خشکی، با افزایش میزان مصرف کمپوست، مقدار روی دانه تریتیکاله افزایش یافته و در سطح مصرف ۴۰ تن در هکتار کمپوست به حداکثر رسید. در شرایط تنش خشکی، به علت کاهش آب و افزایش غلظت املاح محلول در محیط ریشه و افزایش پتانسیل اسمزی خاک، جذب آب و عناصر غذایی کاهش می‌یابد (۲). علیزاده و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی، غلظت روی دانه ذرت کاهش یافت (۲۸). از طرف دیگر، با مصرف کمپوست در خاک و بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک، تامین عناصر غذایی مثل روی در خاک و جذب آن‌ها توسط گیاه افزایش می‌یابد. جوانمرد و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که با افزایش کاربرد کود ورمی کمپوست، میزان روی دانه گندم افزایش یافت (۲۹).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج نشان داد که تنش خشکی ناشی از قطع آبیاری باعث کاهش مقدار صفات عدد اسپد، کلروفیل a، کلروفیل b، محتوای نسبی آب برگ، ثبات غشای سلول، دمای کانوپی، توزیع مجدد مواد فتوسنتزی، پروتئین دانه و میزان آهن و روی دانه تریتیکاله شد و حداکثر مقدار صفات فوق در آبیاری کامل مشاهده شد و هر چه تیمار تنش خشکی از مرحله رشدی زودتری اعمال شد، صفات مذکور کاهش یافته و کم‌ترین میزان آن‌ها در تنش خشکی از

مرحله ظهور سنبله مشاهده شد. همچنین، در تمام سطوح تنش خشکی، با افزایش میزان مصرف کود کمپوست بقایای نیشکر و فراهمی آب و عناصر غذایی برای گیاه، مقدار صفات عدد اسپد، کلروفیل a، کلروفیل b، محتوای نسبی آب برگ، ثبات غشای سلول، توزیع مجدد مواد فتوسنتزی، پروتئین دانه و میزان آهن و روی دانه افزایش یافت و در سطح مصرف ۴۰ تن در هکتار کود کمپوست بقایای نیشکر به حداکثر رسید. به عبارت دیگر، افزایش میزان مصرف کود کمپوست بقایای نیشکر اثر منفی ناشی از تنش خشکی بر صفات مذکور را کاهش داد. در مجموع بیش‌ترین میزان اکثر صفات فوق در شرایط آبیاری کامل و مصرف ۴۰ تن در هکتار کود کمپوست بقایای نیشکر و کم‌ترین مقدار آن‌ها در شرایط تنش خشکی از مرحله ظهور سنبله تا رسیدگی کامل و عدم مصرف کود کمپوست بقایای نیشکر حاصل شد. لذا با توجه به نتایج این آزمایش، می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط تنش خشکی در مناطقی با کمبود آب آبیاری و یا عدم بارندگی در مرحله ظهور سنبله و بعد از آن، مصرف ۴۰ تن در هکتار کود کمپوست بقایای نیشکر، باعث حفظ و یا افزایش صفات فیزیولوژیک و کیفی تریتیکاله شد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی و معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان که قسمتی از هزینه‌های اجرای این آزمایش را تامین کرده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1. Elke, K. and Emanuele, Z. 2013. Cereal grains for the food and beverage industries. Woodhead Publishing. United Kingdom.
2. Kafi, M., Borzoei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A. and Nabati, J. 2009. Physiology of environmental stresses in plants. Jihad Daneshgahi Mashhad Press. 504 p. (In Persian)
3. Akbarian, A., Arzani, A., Salehi, M. and Salehi, M. 2011. Evaluation of triticale genotypes for terminal drought tolerance using physiological traits. Ind J. Agric. Sci. 81: 12. 1110-1115.
4. Lonbani, M. and Arzani, A. 2011. Morpho-physiological traits associated with terminal drought stress tolerance in triticale and wheat. Agron. Res. 9: 1. 315-329.
5. Roohi, E., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Modarres-Sanavy, S.A.M. and Siosemardeh, A. 2013. Comparative study on the effect of soil water stress on photosynthetic function of triticale, bread wheat, and barley. J. Agric. Sci. Technol. 15: 2. 215-228. (In Persian)
6. Shanazari, M., Golkar, P. and Mirmohammady Maibody, A. M. 2018. Effects of drought stress on some agronomic and bio-physiological traits of *Trtiticum aestivum*, *Triticale*, and *Tritipyrum* genotypes. Archiv. Agron. Soil Sci. 64: 1. 140-155.
7. Sajadi-Nik, R., Yadavi, A., Balouchi, H.R. and Farajee, H. 2011. Effect of chemical (urea), organic (vermicompost) and biological (nitroxin) fertilizers on quantity and quality yield of Sesame (*Sesamum indicum* L.). J. Agric. Sc. Sustain. Prod. 21: 2. 87-110. (In Persian)
8. Chattha, M.U., Hassan, M.U., Barbanti, L., Chattha, M.B., Khan, I., Usman, M., Ali, A. and Nawaz, M. 2019. Composted sugarcane by-product press mud cake supports wheat growth and improves soil properties. Int. J. Plant Prod. 13: 2. 241-249.
9. Zadeh-Omidi, F. and Marashi, S.K. 2019. Effect of amount of sugarcane compost and nitrogen on quantitative and qualitative yield of corn (*Zea mays* L.). J. Plant Environ. Physiol. 14: 2. 12-20. (In Persian)

10. Makvandi, M., Bakhshandeh, A., Khodaei Joghan, A., Moshatati, A. and Moradi Telavat, M.R. 2020. Effect of zeolite amended cattle manure compost and mycorrhiza fungi inoculation on growth and yield of triticale (X *Triticosecale* Wittmack). Ir. J. Field Crops Res. 18: 1. 111-123. (In Persian)
11. Makvandi, M., Bakhshandeh, A., Khodaei Joghan, A., Moshatati, A. and Moradi Telavat, M.R. 2021. Photosynthetic pigments content and grain quality of triticale as affected by mycorrhiza and zeolite enriched manure compost. J. Crop Prod. Proc. 11: 1. 55-68. (In Persian)
12. Safari, A.B. and Mirzaei-Heydari, M. 2017. Study the effects of application of vermicompost and mycorrhiza inoculation on growth and yield parameters of wheat under drought stress conditions. Res. Agric. 9: 1. 57-75. (In Persian)
13. Moshatati, A., Khodaei Joghan, A., Siadat, S.A., Mousavi, S.H. and Rezaei, M. 2019. The effect of cattle manure and zeolite on bread wheat yield under drought stress condition. Environ. Stress Crop Sci. 12: 4. 1179-1188. (In Persian)
14. Shirkhani, A., Nasrolahzadeh, S. and Zehtab Salmasi S. 2019. Effect of biofertilizers and chemical fertilizers on yield and seed quality of corn under normal irrigation and drought stress conditions. Environ. Stress Crop Sci. 12: 3. 781-791. (In Persian)
15. Reynolds, M.P., Ortiz-Monasterio, J.I. and McNab, A. 2001. Application of physiology in wheat breeding. CIMMYT. 240 p.
16. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1-15.
17. Ritchie, S.W., Nguyen, H.T. and Halooday, A.S. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotyp differing in drought resistance. Crop Sci. 30: 1. 105-111.
18. Masoni, A., Ercoli, L., Mariotti, M. and Arduini, I. 2007. Post-anthesis accumulation and remobilization of dry matter, nitrogen and phosphorus in durum wheat as affected by soil type. Eur. J. Agron. 26: 1. 179-186.
19. Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-total. P 1085-1121. In: L.D Sparks, (eds), Methods of soil analysis: Part3-Chemical methods, SSSA Book Series, Madison, America.
20. Kchaou, R., Baccar, R., Arfeoui, Z., Bouzid, J., Rejeb, S. and Selmi, H. 2020. Evaluation of forage yield and nutritional quality of triticale grown in sewage sludge–amended soil. Arab. J. Geosci. 13: 991. 1-8.
21. Abd El-Mageed, T.A., El-Samnoudi, I.M., Ibrahim, A.M. and Abd El Tawwab A.R. 2018. Compost and mulching modulates morphological, physiological responses and water use efficiency in sorghum (*bicolor* L. Moench) under low moisture regime. Agric. Water Manag. 208: 431-439.
22. Jahangiri Nia, E., Syadat, A., Koochakzadeh, A., Sayyahfar, M. and Moradi Telavat, M.R. 2016. The effect of vermicompost and mycorrhizal inoculation on grain yield and some physiological characteristics of soybean (*Glycine max* L.) under water stress condition. J. Agroecol. 8: 4. 583-597. (In Persian)
23. Mamnabi, S., Nasrollahzadeh, S., Ghassemi-Golezani, K. and Raei, Y. 2020. Improving yield-related physiological characteristics of spring rapeseed by integrated fertilizer management under water deficit conditions. Saud J. Biol. Sci. 27: 1. 797-804.
24. Aberkane, H., Belkadi, B., Kehel, Z., Filali-Maltouf, A., Tahir, I.S.A., Meheesi, S. and Amri, A. 2021. Assessment of drought and heat tolerance of durum wheat lines derived from interspecific crosses using physiological parameters and stress indices. Agron. 11: 1-20.
25. Tatar, O., Bruck, H. and Asch, F. 2015. Photosynthesis and remobilization of dry matter in wheat as affected by progressive drought stress at stem elongation stage. J Agron. Crop. Sci. 12: 2. 1-8.
26. Chen, W., Deng, X.P., Eneji, A.E., Wang, L.L., Xu, Y. and Cheng, Y. 2014. Dry matter partitioning across parts of

the wheat internode during the grain filling period as influenced by fertilizer and tillage treatments. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 45: 1799-1812.

27. Abou Hussien, E.A., Elbaalawy, A.M. and Hamad, M.M. 2019. Chemical properties of compost in relation to calcareous soil properties and its productivity of wheat. Egypt. J. Soil. Sci. 59: 1.85-97.

28. Alizade, O., Majidi, E. and NoorMohamadi, Gh. 2008. Effect of drought stress and soil nitrogen rate on nutrient absorption in maize SC704. J. Res. Agric. Sci. 4: 1. 51-59. (In Persian)

29. Javanmard, A., Nazari, B., Jalilian, A. and Dashti, S. 2015. Response of wheat to vermicompost and chemical fertilizer residual in soil. J. Agric. Sci. Sustan. Prod. 25: 4. 87-103. (In Persian)