https://ijpb.ui.ac.ir/?lang=en
IRANIAN JOURNAL OF PLANT BIOLOGY
E-ISSN: 2322-2204
Vol. 14, Issue, No. 4, Winter 2022
Document Type: Research Paper
Received: 31/07/2023 Accepted: 21/10/2023

The Effects of Vermicompost and Methanol on the Trend of Changes of Chlorophyll Fluorescence Components and Some Physiological Traits of Triticale under Salinity Stress

khadizeh Sourazar[1], Raouf Seyed Sharifi[1*]

[1.] Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Abstract

In order to investigate the effects of salinity, vermicompost, and methanol on the trend of changes of chlorophyll fluorescence components and some physiological traits of triticale, this experimental study was conducted as factorial based on randomized complete block design with three replications in greenhouse research of the Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili in 2022. Factors experiments included salinity in three levels (no salinity as control, salinity 50 and 100 mM by NaCl), application of vermicompost at two levels (without vermicompost as control and application of vermicompost), and methanol foliar application in three levels (foliar application with water as control, foliar application 15 and 30% volume). The results showed that the highest salinity level (100 mM) and both vermicompost and foliar application of 30% volume of methanol increased chlorophyll index (27%), nitrogen index (20.5%), stomatal conductance (38.9%), relative water content (26.7%), maximum fluorescence (27.6%), variable fluorescence (70.7%), and quantum yield (33.8%) compared to no application of vermicompost and methanol under the same of salinity level. In addition, the highest grain yield (5.4 g per plant) was obtained due to the application of vermicompost and methanol 30% volume under no-stress conditions. Based on the results of this study, it seems that the application of vermicompost and methanol can be used to mitigate the adverse effects of salinity stress due to the improvement of chlorophyll fluorescence components and some physiological traits in triticale.

Introduction

Triticale is a human-made crop, being a hybrid by cross-fertilization of wheat (*Triticum* spp.) and rye (*Secale* spp.). This plant can act as a soil improver, as its extensive root system binds erosion-prone soil and provides a good substrate for conversion into subsoil organic carbon by soil microbes. Salinity stress is one of the most destructive

* Corresponding Author: raouf_ssharifi@yahoo.com

2322- 2204/ © University of Isfahan
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses BY-NC-ND 4.0)

DOI. 10.22108/IJPB.2023.138576.1332

environmental stresses, which affects almost every aspect of the physiology and biochemistry of a plant, resulting in a reduction in its yield. On the other hand, salinity can damage the photosynthesis of plants and decrease chlorophyll content, relative water content, stomata conductance, and quantum yield. Several strategies have been suggested in order to improve yield under environmental stresses in plants, among them the application of methanol and vermicompost play a key role in yield improvement. Methanol can increase the concentration of CO_2 in a plant and help photosynthesis rate and vermicompost increase growth due to access to nutrients under salinity stress. A better understanding of physiological responses under salinity stress may help in programs in which the objective is to improve the salinity resistance of crops. Therefore, the aim of this study was to investigate the effects of methanol and vermicompost on some physiological and biochemical (i.e., chlorophyll index, electrical conductivity, quantum yield, stomata conduction, and relative water content) responses of triticale under salinity stress.

Materials and Methods

The experiment was conducted as factorial based on a randomized complete block design with three replications in greenhouse research of the Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili in 2022. Factors experiments included salinity in three levels (no salinity as control, salinity 50 and 100 mM by NaCl), application of vermicompost at two levels (without vermicompost as control and application of vermicompost), and methanol foliar application in three levels (foliar application with water as control, foliar application 15 and 30% volume). Vermicompost was purchased from the Gilda Corporation and soils were treated based on the manufacturer's protocol. The triticale cultivar "Sanabad" was used in the experiment with a plant density of 400 seeds m^{-2}. In this study, chlorophyll index, nitrogen index, stomatal conductance, EC, RWC, maximum fluorescence, variable fluorescence, quantum yield, and grain yield were investigated. Stomatal conductance was measured by Prometer (Decagon Devices, Inc.) and chlorophyll index was measured using a chlorophyll meter (SPAD-502 Minolta, Japan). Electrical conductivity (EC) is measured using an electrical-conductivity meter (Mi 180 Bench Meter model). The quantum yield was measured by the uppermost fool expanded leaf using a fluorometer (chlorophyll fluorometer; Optic Science-OS-30 USA). The relative water content was measured according to the following formula:

$$RWC\ [\%] = (wf - wd) / (ws - wd) \times 100$$

Where, RWC, FW, DW, and TW are relative water content, fresh weight, dry weight, and turgid weight, respectively. At plant maturity, grain yield in each pot was harvested by five plants per pot. Analysis of variance and mean comparisons were performed using SAS9.4 computer software packages. The main effects and interactions were tested using the least significant difference (LSD) test at the 0.05 probability level.

Results and Discussion

The results showed that the highest salinity level (100 mM) and both vermicompost and foliar application of 30% volume of methanol increased chlorophyll index (27%), nitrogen index (20.5%), stomatal conductance (38.9%), relative water content (26.7%), maximum fluorescence (27.6%), variable fluorescence (70.7%), and quantum yield (33.8%) compared to no application of vermicompost and methanol under the same of salinity level. Moreover, the highest grain yield (5.4 g per plant) was obtained due to the application of vermicompost and methanol 30% volume under no-stress conditions.

Conclusion

Based on the results of the present study, it seems that the application of vermicompost and methanol can be used to mitigate the adverse effects of salinity stress due to the improvement of chlorophyll fluorescence components and some physiological traits in triticale.

Keywords: Chlorophyll Index, Grain Yield per Plant, Electrical Conductivity, Stomatal Conductivity

زیست‌شناسی گیاهی ایران، سال چهاردهم، شمارهٔ پنجاه و چهارم، زمستان ۱۴۰۱، صفحهٔ ۷۰-۳۹
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۰۹
تاریخ بررسی مجدد: ۱۴۰۲/۰۷/۱۷
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۷/۲۹
مقاله پژوهشی

تأثیر ورمی‌کمپوست و متانول بر روند تغییرات اجزای فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیکی تریتیکاله تحت تأثیر تنش شوری

خدیجه صور آذر[۱]، رئوف سیدشریفی[*۱]
[۱] گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر شوری، ورمی‌کمپوست و متانول بر چگونگی تغییرات اجزای فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیکی تریتیکاله، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل شوری در سه سطح (عدم اعمال شوری به‌عنوان شاهد، شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار با نمک کلریدسدیم)، کاربرد ورمی‌کمپوست در دو سطح (بدون ورمی‌کمپوست به‌عنوان شاهد و کاربرد ورمی-کمپوست) و محلول‌پاشی متانول در سه سطح (محلول‌پاشی با آب ب‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی ۱۵ و ۳۰ درصد حجمی) بود. نتایج نشان داد که بالاترین سطح شوری (۱۰۰ میلی‌مولار) و کاربرد توأم ورمی-کمپوست و متانول ۳۰ درصد حجمی شاخص کلروفیل (۲۷٪)، شاخص نیتروژن (۲۰/۵٪)، هدایت روزنه‌ای (۳۸/۹٪)، محتوای نسبی آب (۲۶/۷٪)، فلورسانس بیشینه (۲۷/۶٪)، فلورسانس متغیر (۷۰/۷٪) و عملکرد کوانتومی (۳۳/۸٪) را در مقایسه با عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و متانول در همین سطح از شوری افزایش داد. همچنین، بیشترین عملکرد دانه در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست و متانول ۳۰ درصد حجمی در شرایط عدم اعمال تنش (۵/۴ گرم در بوته) بدست آمد. براساس نتایج این بررسی به نظر می‌رسد که کاربرد ورمی‌کمپوست و متانول می‌تواند برای تعدیل تأثیرات سوء ناشی از تنش شوری به علّت بهبود اجزای فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیکی تریتیکاله مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: شاخص کلروفیل، عملکرد دانهٔ تک بوته، هدایت الکتریکی، هدایت روزنه‌ای

[*] نگارندهٔ مسؤول: نشانی پست الکترونیک: raouf_ssharifi@yahoo.com، شمارهٔ تماس: ۰۹۱۴۳۵۵۶۵۸۵

2322- 2204/ © University of Isfahan
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses BY-NC-ND 4.0)

DOI. 10.22108/IJPB.2023.138576.1332

مقدمه

تریتیکاله (*Triticosecale*×) غلّهٔ حاصل از تلاقی گندم (*Triticum* sp.) و چاودار (*Secale cereale* L.) است. تریتیکاله، گیاهی چندمنظوره است که محتوای پروتئین در دانهٔ آن کمی از پروتئین چاودار و گندم بیشتر است و می‌توان آن را برای تولید علوفه، اتانول و مصرف انسان استفاده کرد. تریتیکاله‌های هگزاپلوئید دارای قدرت و باروری زیادی هستند و بیشترین سطح زیر کشت را دارند (Del Pozo et al., 2023).

پس از خشکی، شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزندهٔ محیطی است که رشد و نمو گیاه را مختل می‌کند (Singh et al., 2018; Wani et al., 2019) و آثار مخربی بر پارامترهای مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان دارد (Zhang & Dai, 2019). پژمردگی، کاهش و یا توقف رشد ریشه و اندام هوایی از جمله تغییرات مورفولوژیکی هستند که در گیاهان قرارگرفته در معرض شوری اتفاق می‌افتد (Zeeshan et al., 2020). مهار دستگاه فتوسنتزی از طریق کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها، تغییر در تعرق و تبادلات گازی، ساختار کلروپلاست و فتوسیستم II، کاهش هدایت روزنه‌ای، ازجمله صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مهم گیاهان در رویارویی با شوری است (Pan et al., 2020)؛ تمام رویدادهای یادشده در سیستم گیاهی به مهار رشد و کاهش عملکرد منجر می‌شود. افزایش فتوسنتز و تثبیت CO_2 در گیاهان با عملکرد در واحد سطح همبستگی مستقیم دارد؛ در این راستا، ترکیباتی مانند متانول، اتانول، پروپانول و بوتانول برای افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاهان استفاده می‌شود (Soghani et al., 2014). محلول‌پاشی متانول، مناسب‌ترین راهکار تأثیرگذار بر رشد و متابولیسم گیاهان در معرض تنش شوری در نظر گرفته می‌شود (Valizadeh-Kamrana et al., 2019)؛ گیاهان این ماده را به‌آسانی متابولیزه و از آن در فتوسنتز برای تولید قند و برخی اسیدهای آمینه استفاده می‌کنند (Nadali et al., 2010). متانول طی فعالیت بی‌هوازی بسیاری از گونه‌های باکتری‌ها تولید و میزان اندکی از آن وارد جو می‌شود که پس از چند روز با اکسیژن و نور اکسید و به آب و دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌شود (Nourafcan & Pouyanfar, 2017). باکتری‌های متیلوتروفیک روی برگ گیاهان در ازای دریافت متانول برگ، پیش‌مادهٔ ساخت برخی تنظیم‌کننده‌های رشد نظیر اکسین و سایتوکنین را در اختیار گیاه قرار می‌دهند. متانول با کاهش پیش‌مادهٔ تولید اتیلن موجب تأخیر در پیری برگ‌ها و طولانی‌شدن دورهٔ فعال فتوسنتزی گیاه می‌شود (Nourafcan & Pouyanfar, 2017) و با تأثیر مستقیم بر مسیرهای متابولیکی (برای نمونه، محتوای اسیدهای آمینه)، مسیرهای مربوط به مکانیسم‌های دفاعی گیاه مانند ژن‌های دخیل در بیوسنتز اسیدجاسمونیک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (Gout et al., 2000). پژوهشگران معتقدند متانول کمبود CO_2 را کاهش می‌دهد و می‌تواند سبب کاهش تنفس نوری در گیاهان سه‌کربنه شود (Bai et al., 2014). اثر مفید محلول‌پاشی متانول بر رشد و عملکرد گندم نیز گزارش شده است (Yazdi Far et al., 2015). در پژوهشی روی گندم مشاهده شد سرعت فتوسنتز،

هدایت روزنه‌ای و غلظت CO_2 بین‌سلولی در اثر استفاده از متانول افزایش می‌یابد (Zheng et al., 2008). در پژوهش دیگری، محلول‌پاشی بوته‌های سویا (*Glycine max*) با متانول ۱۵ درصد حجمی سبب افزایش زیست‌توده و شاخص کلروفیل شد (Saadpanah et al., 2013). هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز و رشد لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) با محلول‌پاشی متانول به‌طور درخور توجهی بهبود یافت (Zhao et al., 2014).

یکی دیگر از ترکیبات قابل استفاده برای کاهش اثرات سوء ناشی از تنش شوری، ورمی‌کمپوست است. این ماده به‌شکل کود آلی ارزشمند عمل می‌کند و به‌علّت داشتن محتوای مواد مغذی معدنی زیاد و مواد فعال بیولوژیکی محرک رشد، آثار مثبتی بر رشد گیاه دارد (Ievinsh, 2020)؛ علاوه بر این، ورمی‌کمپوست دارای فعالیت میکروبی بیشتر و هورمون‌های رشد گیاهی است و می‌توان از آن برای بهبود اثر تنش شوری در سیستم خاک-گیاه استفاده کرد (Beyk-Khormizi et al., 2022). پژوهشگران معتقدند وجود عناصر لازم و ضروری، ساختار متخلخل و داشتن توان زیاد برای نگهداری آب موجود در ورمی‌کمپوست در شرایط شوری خاک موجب بهبود پایداری غشای سلولی، افزایش شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب لوبیا می‌شود (Beyk-Khormizi et al., 2016). برخی پژوهشگران (Hafez et al., 2021) افزایش محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای و عملکرد گندم در شرایط شوری با کاربرد ورمی‌کمپوست را گزارش کرده اند. در پژوهش Mohammadi Kale Sarlou et al. (2022) افزایش شاخص کلروفیل، نیتروژن، عملکرد کوانتومی، هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ تریتیکاله در اثر استفاده از ورمی‌کمپوست در شرایط تنش شوری گزارش شد؛ با وجود این، اثر هم‌زمان ورمی‌کمپوست و متانول بر روند تغییرات صفات فیزیولوژیکی تریتیکاله طی تنش شوری هنوز نامشخص است و ازاین رو، در پژوهش حاضر فرض بر این بود که کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست و متانول می‌تواند عامل مؤثری در کاهش اثرات نامطلوب تنش شوری باشد و با بهبود تغذیه و صفات فیزیولوژیکی گیاه (شاخص کلروفیل، شاخص نیتروژن برگ، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب، هدایت الکتریکی برگ و اجزای فلورسانس) به افزایش عملکرد دانهٔ تریتیکاله که یکی از باارزش‌ترین غلات دومنظوره است، منجر می‌شود. بنابراین هدف پژوهش حاضر، بررسی اثر هم‌زمان و جداگانهٔ ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی متانول روی برخی از صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانهٔ تک‌بوتهٔ تریتیکاله در شرایط شوری است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱ انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل شوری در سه سطح (عدم اعمال شوری به‌عنوان شاهد، شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار با نمک کلرید سدیم)، کاربرد ورمی-کمپوست در دو سطح (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد و کاربرد ورمی‌کمپوست) و محلول‌پاشی متانول در

سه سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۱۵ و ۳۰ درصد حجمی متانول) بود. حدود ۱۴ کیلوگرم خاک در هر گلدان به ارتفاع ۴۲ و قطر ۴۲ سانتی‌متر اضافه شد. سپس ۵۶ عدد بذر تریتیکاله رقم سناباد در هر گلدان بر اساس تراکم بهینه رقم سناباد (۴۰۰ بذر در متر مربع) کشت داده شد. رقم سناباد با خصوصیاتی چون پتانسیل عملکرد بالا، متوسط رس، مقاوم به خوابیدگی و مقاوم به بیماری‌های رایج گندم معرفی و نامگذاری شده و مناسب کاشت در مناطق معتدل و معتدل سرد بوده و برای استفاده دو منظوره (علوفه سبز و دانه) و کشت در اراضی کم‌بازده و فقیر، از موفقیت بیشتری نسبت به گندم و جو برخوردار است (Qudsi et al., 2013). بذرها برای ورنالیزاسیون به‌مدت ۱۲ روز در دمای ۲ درجه سانتی‌گراد در دستگاه کُلد انکوباتور (مدل IKH.RI90، شرکت ایران خودساز، ایران) قرار داده شد. مقدار ورمی‌کمپوست مصرفی در این آزمایش ۶ تن در هکتار (معادل ۸۳/۰۸ گرم در گلدان) بود که از شرکت گلیدا تهیه و ویژگی‌های آن در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه ورمی‌کمپوست

Table 1- Results of vermicompost analysis

Characteristic	pH	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd	EC	C/N	Organic matter	Organic carbon	N	P	K	Ca	Mg
		mg.kg^{-1}					(dS m^{-1})				(%)				
Amount	7.64	275	5000	20	110	1	1.12	21.25	32.9	1.55	0.4	0.4	2.73	0.95	0.95

مقدار نمک مورد نیاز جهت اعمال هر سطح شوری به استناد هدایت الکتریکی خاک و درصد عصاره اشباع، توسط نرم‌افزار Salt cale محاسبه شد (Hagh Bahari & Seyed Sharifi, 2013) و به هر گلدان همراه آب آبیاری اضافه شد. محلول‌پاشی متانول از زمان شروع ساقه‌دهی (BBCH ۳۰) در دو نوبت با فاصله زمانی یک هفته بین ساعات ۱۰-۸ صبح انجام شد (Narimani & Seyed Sharifi, 2023). در ضمن به ازای هر لیتر محلول متانول دو گرم گلیسین استفاده شد (Narimani & Seyed Sharifi, 2023). گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱۵ تا ۱۶ ساعت (با ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) و رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد نگهداری شدند. میانگین شدت نور در محیط گلخانه ۱۶۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع در ساعت ۱۲ بعد از ظهر بود که توسط سان‌اسکن (SS1 SunScan Canopy Analysis System UK) اندازه‌گیری شد. در طول اجرای آزمایش کود خاصی به گلدان‌ها اضافه نشد.

اندازه‌گیری روند تغییرات برخی صفات از ۷۶ روز پس از کاشت (مرحله چکمه‌دهی معادل ۴۳ BBCH) هر چهار روز یک بار بر روی برگ پرچم (آخرین برگ توسعه‌یافته که تا زمان برداشت بوته‌ها فعال بوده و در فتوسنتز و پر شدن دانه‌ها موثر است) انجام شد. هدایت روزنه‌ای با دستگاه پرومتر (Porometer AP4, Delta-T Devices ltd., Cambridge, UK) و شاخص کلروفیل با دستگاه کلروفیل‌سنج (SPAD-502 مینولتای ژاپن) اندازه‌گیری شد. همچنین، شاخص نیتروژن برگ از

همان برگ‌هایی که شاخص کلروفیل اندازه‌گیری شد براساس رابطه زیر محاسبه شد (Scharf et al., 2006).

(رابطه ۱) $N = ۰/۰۱۷۳۳۲ + ۰/۰۰۱۶۳۲۲ \times SPAD$

برای ارزیابی محتوای نسبی آب با قیچی از برگ پرچم نمونه‌برداری انجام و نمونه‌ها بلافاصله درون یخ قرار گرفت و پس از انتقال به آزمایشگاه، وزن تر آنها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد، سپس تمامی نمونه‌ها در ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر دو بار تقطیر خیسانده شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال قرار داده شد. پس از ۲۴ ساعت وزن آماس‌یافته برگ‌ها ارزیابی و سپس ۲۴ ساعت دیگر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون نگهداری و وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد. در نهایت براساس رابطه زیر محتوای نسبی آب برگ محاسبه شد (Kostopoulou et al., 2010).

(رابطه ۲)

$$RWC\ [\%] = (wf - wd\ /\ (ws - wd) \times 100$$

RWC= درصد محتوای نسبی آب برگ، Wf= وزن تر برگ، Wd= وزن خشک برگ و Ws= وزن آماس‌یافته یا به حالت تورم برگ است.

برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برگ‌ها، ابتدا گرد و غبار روی برگ‌ها با دستمال مرطوب تمیز شد و سپس به ابعاد یکسان برش داده شده و در فالکون‌های حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر دو بار تقطیر قرار گرفت و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شد و پس از ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی توسط دستگاه ECمتر (مدل Mi 180 Bench Meter) اندازه‌گیری و عدد حاصل، از هدایت الکتریکی محلول شاهد کسر شد. شاخص‌های فلورسانس کلروفیل برگ پرچم شامل F_m (حداکثر فلورسانس در برگ سازگار شده با تاریکی)، F_v (فلورسانس متغیر از برگ سازگار شده با تاریکی) و F_v/F_m (حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی) بود. برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل برگ پرچم هر چهار روز یک بار توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل (Chlorophyll fluorometer; Optic Science-OS-30 USA)، از هر تیمار به‌طور تصادفی شش برگ پرچم توسعه‌یافته (در فاصله زمانی ساعت ۱۰-۸ صبح) انتخاب و بعد از ۲۰ دقیقه تاریکی توسط کلیپس‌های مخصوص، شاخص F_m، F_v و F_v/F_m اندازه‌گیری شد (Aghaei et al., 2022).

در زمان رسیدگی پنج بوته از هر گلدان برداشت شد، سپس میانگین عملکرد پنج بوته به‌عنوان عملکرد تک‌بوته در تجزیه داده‌ها استفاده شد. تجزیه داده‌ها با برنامه آماری $SAS_{9.4}$ و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد. میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

شاخص کلروفیل برگ پرچم

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس محلول‌پاشی متانول، سطوح شوری، ورمی‌کمپوست و اثر سه جانبه آنها در سطح احتمال یک و پنج درصد بر شاخص کلروفیل برگ پرچم معنی‌دار شد (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر ورمی‌کمپوست و متانول بر شاخص کلروفیل برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

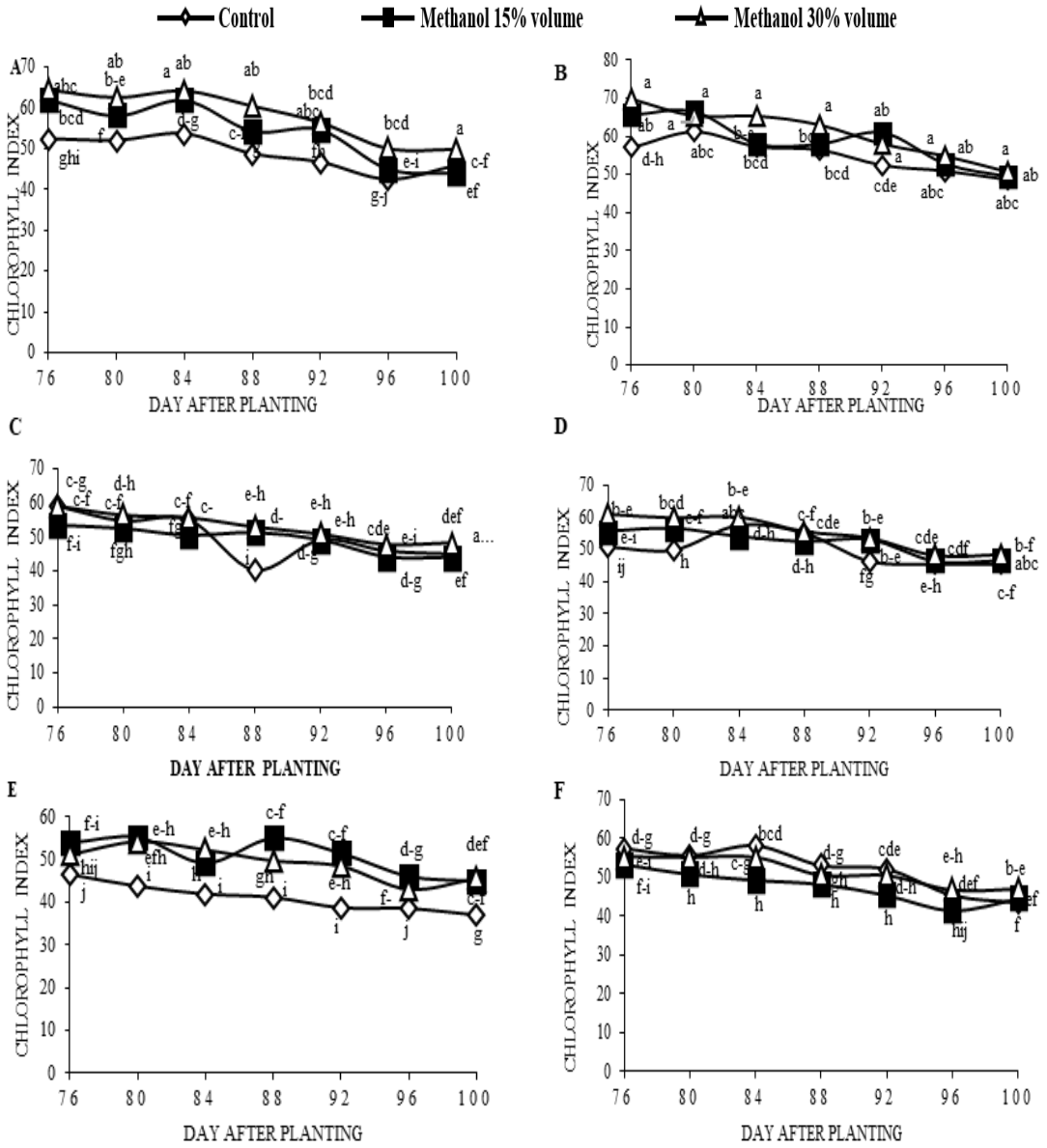
Table 1- Variance analysis (mean square) of the effects of vermicompost and methanol on chlorophyll index of flag leaf of triticale under salinity stress

Sources of variation	Chlorophyll Index (Day after planting)							
	df	76	80	84	88	92	96	100
Repetition	2	295.32**	192.80**	168.68**	6.58^{ns}	21.56^{ns}	7.55^{ns}	0.84^{ns}
Salinity (S)	2	380.33**	350.55**	368.20**	258.00**	230.40**	150.24**	79.36**
Vermicompost (V)	1	89.96*	162.93**	158.10**	247.47**	118.81**	105.56**	65.56**
Methanol (M)	2	175.90**	170.69**	141.95**	180.15**	159.68**	85.29**	73.82**
S×V	2	56.99*	45.09*	41.41*	18.89^{ns}	13.06ns	69.52**	4.92^{ns}
S×M	4	63.56**	6.23ns	35.28*	23.08*	13.86ns	3.95^{ns}	11.43*
V×M	2	4.85^{ns}	13.54^{ns}	67.00**	181.10**	20.81ns	3.33^{ns}	6.34^{ns}
S×V×M	4	48.77*	72.08**	35.38*	21.99*	76.23**	38.71**	11.66*
Error	34	13.64	10.70	11.94	8.24	9.55	6.53	3.89
CV (%)	-	6.46	5.83	6.22	5.46	6.06	5.54	4.28

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** show no significant and significant differences at 0.05, 0.01 probability level, respectively

با بررسی روند تغییرات شاخص کلروفیل در شرایط تنش شوری، مشخص شد در تمامی ترکیبات تیماری روند کاهشی نسبتاً یکنواخت و مشابهی در این شاخص وجود دارد. به این صورت که شاخص کلروفیل در ابتدای مراحل نمونه‌برداری زیاد بوده و با گذشت زمان و پیرشدن گیاه، از روندکاهشی برخوردار بود. به بیان دیگر با گذشت زمان در تمامی سطوح شوری، کاربرد ورمی‌کمپوست و متانول موجب شد این شاخص از تغییرات کمتری در مقایسه با عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و متانول برخوردار باشد (شکل ۱). حداکثر شاخص کلروفیل در بین ترکیبات تیماری، به کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست و متانول ۳۰ درصد حجمی در شرایط عدم اعمال شوری (۵۰/۶۳) و ترکیب تیماری عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و کاربرد متانول ۳۰ درصد حجمی در شرایط عدم شوری (۴۹/۸) در مرحله گلدهی (۱۰۰ روز پس از کاشت) به دست آمد. در واقع کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و متانول ۳۰ درصد حجمی در شرایط عدم‌تنش موجب افزایش حدود ۱۰/۵ درصدی شاخص کلروفیل نسبت به تیمار شاهد شد. در پژوهشی مشابه محققان گزارش کردند که تنش شوری در مراحل اولیه رویشی گیاه برنج (*Oryza sativa*) با کاهش معنی‌دار کلروفیل، موجب بروز علائمی از جمله زردی، خشک‌شدن برگ‌ها و سایر علائم پیری شد (Alshiekheid et al., 2023). آنها بیان کردند شوری با ایجاد تنش اکسیداتیو در کلروپلاست و مهار سنتز کلروپلاست، ضمن کاهش اندازه و تعداد کلروپلاست در برگ‌ها به‌علّت افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز، موجب تجزیه کلروفیل و کاهش فعالیت فتوسنتزی می‌شود. امّا گزارش شده است که افزایش غلظت متانول در بافت‌های گیاهی بر راندمان تبدیل کربن اثر گذاشته و با تحریک ژن پکتین متیل‌استراز، سبب بزرگ‌شدن برگ می‌شود. این ژن به دسترسی بیشتر گیاه به کلسیم منجر شده و موجب افزایش سطح برگ و در نتیجه افزایش میزان کلروفیل و فتوسنتز می‌گردد (Mousavi et al., 2021). همچنین متانول یکی از ساده‌ترین فرآورده‌های گیاهی است که به ویژه طی رشد برگ‌ها و در اثر دمتیلاسیون پکتین در دیواره سلول‌های گیاهی، تولید می شود (Haston & Roje, 2001).



شکل ۱- تأثیر ورمی‌کمپوست و متانول بر روند تغییرات شاخص کلروفیل (SPAD) برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری. A) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط عدم اعمال شوری، B) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط عدم اعمال شوری، C) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۵۰ میلی‌مولار، D) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۵۰ میلی‌مولار، E) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، F) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۱۰۰ میلی‌مولار. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

Figure 1- The effects of vermicompost and methanol on variation of chlorophyll index (SPAD) flag leaf of triticale under salinity stress. A) without application of vermicompost + no salinity, B) application of vermicompost + no salinity, C) without application of vermicompost +50 mM salinity, D) application of vermicompost +50 mM salinity, E) without application of vermicompost +100 mM salinity, F) application of vermicompost +100 mM salinity. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

پس از تولید این ماده آلی فرار در داخل گیاهان، مقداری از آن از برگ‌ها خارج و وارد لایه مرزی می‌شود (Fall & Benson, 1996)، ولی زمانی که گیاهان در معرض تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند به علّت تنش اکسیداتیو و بسته‌شدن روزنه‌ها، با کاهش دی‌اکسید درون برگ‌ها مواجه می‌شوند. در چنین شرایطی، محلول پاشی متانول موجب می‌شود که این ماده به راحتی به فرمالدئید اکسید شده و در دسترس گیاه قرار گیرد و همین امر به افزایش میزان کلروفیل و سبزینگی برگ‌ها منجر می‌شود (Rambery et al., 2002). ازسوی دیگر، ورمی‌کمپوست با تأمین موادمغذی ضروری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم (جدول ۱) که برای فتوسنتز و تولید کلروفیل ضروری هستند، می‌تواند منجر به افزایش شاخص کلروفیل شود. همچنین ورمی‌کمپوست با افزایش میزان میکروارگانیسم‌های مفید در خاک به بهبود ساختار خاک از طریق تجزیه مواد آلی و آزادسازی موادمغذی منجر می‌شود (Beyk-Khormizi et al., 2022). بر اساس پژوهش‌های موجود تغییرات شاخص کلروفیل می‌تواند مرتبط با عواملی مانند تغییر در فعالیت آنزیم کلروفیلاز (Alshiekheid et al., 2023)، تغییرات فتوسنتزی ناشی از افزایش CO_2 بین سلولی و کاهش تنفس نوری (Saadpanah et al., 2013)، تغییرات تولید پیش‌ماده تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اتیلن (Nourafcan & Pouyanfar, 2017) و تغییرات موادمغذی مانند غلظت زیاد آهن، روی و نیتروژن (Nazari et al., 2021) در اثر کاربرد همزمان متانول و ورمی‌کمپوست باشد.

شاخص نیتروژن برگ پرچم

نتایج تجزیه واریانس نشان دادند اثر محلول‌پاشی متانول، سطوح شوری، ورمی‌کمپوست و برهمکنش سه‌گانه آنها بر شاخص نیتروژن برگ پرچم در تمام مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر ورمی‌کمپوست و متانول بر شاخص نیتروژن برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

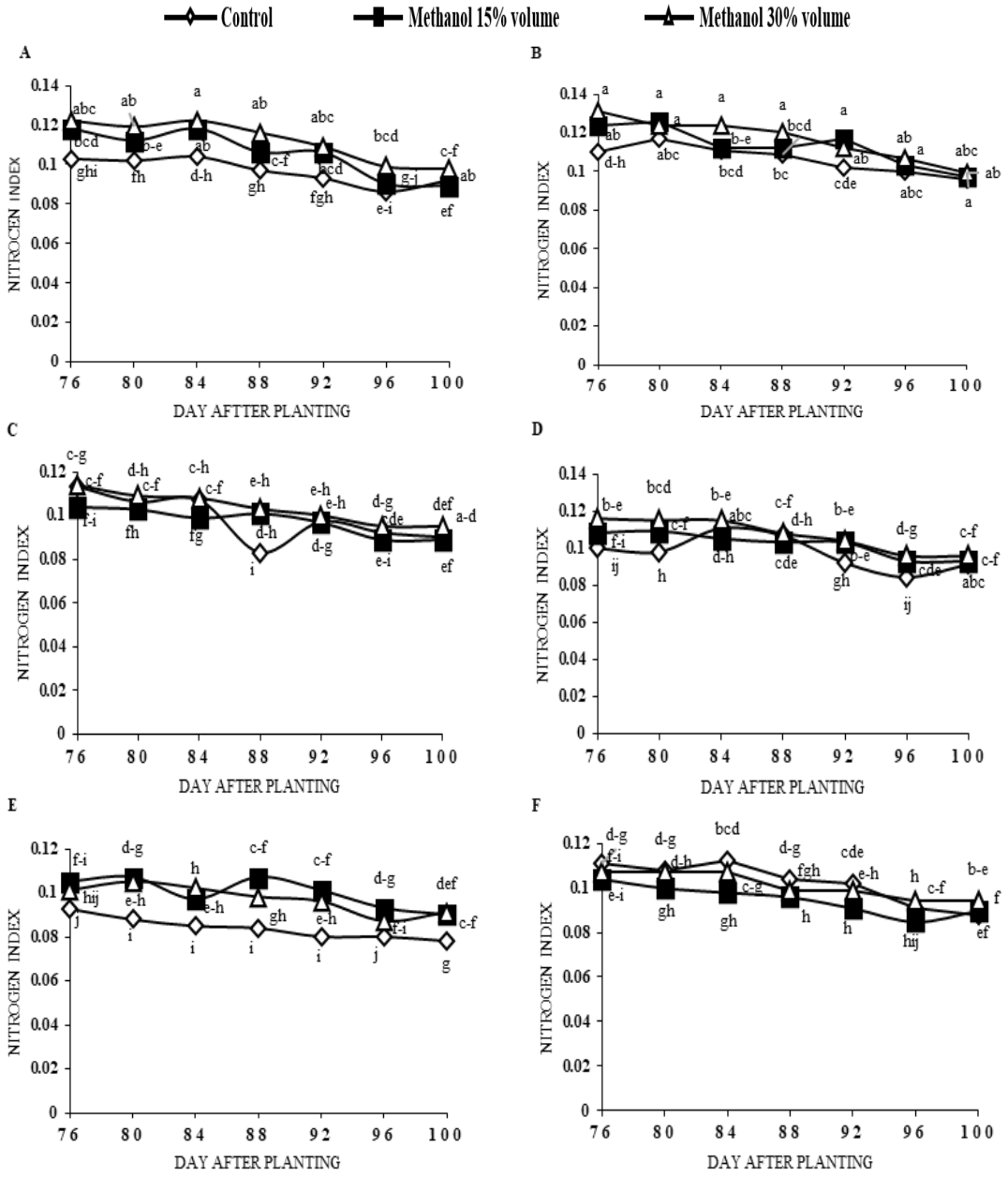
Table 2- Variance analysis (mean square) of the effects of vermicompost and methanol on nitrogen index of flag leaf of triticale under salinity stress

Sources of variation	Nitrogen Index (Day after planting)							
	df	76	80	84	88	92	96	100
Repetition	2	0.00078**	0.00051**	0.000449**	0.000017^{ns}	0.000057^{ns}	0.000020^{ns}	0.000002^{ns}
Salinity (S)	2	0.00101**	0.00093**	0.000981**	0.000687**	0.000613**	0.000400**	0.000211**
Vermicompost (V)	1	0.00024*	0.00043**	0.000421**	0.000659**	0.000316**	0.000281**	0.000174**
Methanol (M)	2	0.00046**	0.00045**	0.000378**	0.000479**	0.000425**	0.000227**	0.000196**
S×V	2	0.00015*	0.00012*	0.000110*	0.000050^{ns}	0.000034^{*ns}	0.000185**	0.000013^{ns}
S×M	4	0.00017**	0.000016ns	0.000094*	0.000061*	0.000037^{ns}	0.000010ns	0.000030*
V×M	2	0.00001^{ns}	0.000036ns	0.00018**	0.000482**	0.000055^{ns}	0.000008ns	0.000017^{ns}
S×V×M	4	0.00013*	0.000192**	0.000094*	0.000058*	0.000203**	0.000103**	0.000031*
Error	34	0.00003	0.000028	0.0000318	0.000022	0.000025	0.000017	0.000010
CV (%)	-	5.45	4.90	5.22	4.54	5.01	4.50	3.48

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** show no significant and significant differences at 0.05, 0.01 probability level, respectively

بر اساس نتایج با افزایش سن گیاه، شاخص نیتروژن گیاه کاهش یافته و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی به کمترین حد خود رسیده است. اما با کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست و متانول ۳۰ درصد حجمی، روند تغییرات این شاخص نوسان کمتری نشان داد. به‌طوری‌که شاخص نیتروژن برگ پرچم در شرایط عدم اعمال تنش و شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در ۷۶ روز پس از کاشت (مصادف با مرحله چکمه‌دهی) به‌ترتیب برابر با ۰/۱۳۱ و ۰/۱۰۷ و در ۱۰۰ روز پس از کاشت (مرحله گلدهی) برابر با ۰/۰۹۹ و ۰/۰۹۴ بود. به عبارتی شوری شاخص نیتروژن برگ پرچم را نسبت به تیمار شاهد کاهش داد (شکل ۲). عدد SPAD همبستگی زیادی با کلروفیل و نیتروژن برگ دارد (Scharf et al., 2006). به‌طوری‌که در همان ترکیب تیماری که مقدار نیتروژن کمتر بود، شاخص کلروفیل نیز کاهش نشان داد (شکل ۲). تنش شوری و عدم استفاده از تعدیل‌کننده‌ها به کاهش شاخص کلروفیل در برگ‌ها منجر می‌شود (شکل ۱). بنابراین عدد پائین شاخص کلروفیل در شرایط تنش، نشانگر کاهش میزان نیتروژن می‌باشد (شکل ۲). در این راستا Mohammadi Kale Sarlou et al. (2022) بیان کردند اعمال شوری ۱۰۰ میلی‌مولار موجب کاهش شاخص کلروفیل برگ (SPAD) شد و کم‌ترین میزان شاخص نیتروژن نیز در همین سطح از تنش شوری مشاهده شد. Sotiropoulos et al. (2006) نشان دادندکاهش تجمع نیتروژن در گیاهان تحت تأثیر تنش‌های محیطی با کاهش متابولیسم نیتروژن در اثر کاهش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز برگ و نیزکاهش مصرف آب به‌دلیل کاهش جذب آب توسط گیاه مرتبط است. احتمالاً اثر ورمی‌کمپوست به علّت افزایش میزان کلروفیل و تأثیر نیتروژن بر ساختار کلروفیل است. نیتروژن ساختار اصلی تمام اسیدهای آمینه و پروتئین‌ها است که به عنوان یک ترکیب ساختاری در کلروپلاست عمل می‌کند (Ouda et al., 2008). با این حال، برخی از محققان اظهار داشتند که تغییرات کلروفیل به مقدار زیادی به مواد مغذی جذب شده توسط گیاه مرتبط است (Follet et al., 1981). همچنین بعضی از پژوهشگران نشان دادند افزودن ورمی‌کمپوست سبب تجمع نیتروژن در گیاه و متعاقباً افزایش مقدار کلروفیل در گیاه می‌شود (Aliyar et al., 2021). استفاده ورمی‌کمپوست با افزایش جذب و فراهمی عناصرغذایی بیشتر همانند نیتروژن و فسفر (جدول ۱)، به افزایش توان فتوسنتزی گیاه و میزان نیتروژن برگ کمک می‌کند (Nazari et al., 2021). Mohammadi Kale Sarlou et al. (2022) نتایج مشابهی مبنی بر اینکه کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط شوری از طریق فراهمی و جذب نیتروژن، به افزایش شاخص نیتروژن برگ تریتیکاله منجر شده است را نشان دادند. بنابراین به نظر می‌رسد کاربرد ورمی‌کمپوست به همراه محلول‌پاشی اندام‌های هوایی گیاه با متانول از طریق کاهش اثرات مخرب ناشی از تنش شوری بر کلروپلاست (Pan et al., 2020)، موجب افزایش شاخص نیتروژن (شکل ۲) و شاخص کلروفیل (شکل ۱) برگ تریتیکاله شده است.



شکل ۲- تأثیر ورمی‌کمپوست و متانول بر روند تغییرات شاخص نیتروژن برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری. A) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط عدم اعمال شوری، B) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط عدم اعمال شوری، C) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۵۰ میلی‌مولار، D) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۵۰ میلی‌مولار، E) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، F) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۱۰۰ میلی‌مولار. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

Figure 2- The effects of vermicompost and methanol on variation of nitrogen index flag leaf of triticale under salinity stress. A) without application of vermicompost + no salinity, B) application of vermicompost + no salinity, C) without application of vermicompost +50 mM salinity, D) application of vermicompost +50 mM salinity, E) without application of vermicompost +100 mM salinity, F) application of vermicompost +100 mM salinity. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

هدایت روزنه‌ای برگ پرچم

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر شوری، ورمی‌کمپوست، متانول و برهم‌کنش سه جانبه آنها بر هدایت روزنه‌ای برگ پرچم در مراحل مختلف نمونه‌گیری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر ورمی‌کمپوست و متانول بر هدایت روزنه‌ای برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 3- Variance analysis (mean square) of the effects of vermicompost and methanol on stomata conductivity of flag leaf of triticale under salinity stress

Sources of variation	Stomatal Conduction (Day after planting)							
	df	76	80	84	88	92	96	100
Repetition	2	19863.3**	72.6^{ns}	111.4^{ns}	593.6**	873.9**	436.2**	419.9**
Salinity (S)	2	3648.7**	2631.8**	1162.5**	1626.9**	3051.4**	862.1**	910.8**
Vermicompost (V)	1	468.4*	267.5**	602.3**	1087.1**	204.6^{ns}	558.4**	449.6**
Methanol (M)	2	2249.4**	2778.3**	809.0**	960.9**	1244.2**	309.0**	659.1**
S×V	2	93.6^{ns}	31.1^{ns}	19.5^{ns}	103.9*	48.0^{ns}	83.7*	237.6**
S×M	4	46.0^{ns}	372.9**	168.5*	142.6**	204.7*	90.1**	26.4^{ns}
V×M	2	231.3^{ns}	346.8*	110.9^{ns}	198.5**	77.4^{ns}	300.6**	0.86^{ns}
S×V×M	4	477.9**	267.5*	293.7**	82.3*	151.0*	60.7*	67.7*
Error	34	91.1	72.0	48.4	29.1	56.2	21.8	24.4
CV (%)	-	5.5	6.0	5.4	4.6	7.15	4.3	6.5

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** show no significant and significant differences at 0.05, 0.01 probability level, respectively

بررسی روند تغییرات این شاخص نشان می‌دهد با گذشت زمان هدایت روزنه‌ای برگ پرچم در تمامی تیمارها روند نزولی مشابهی دارد، بنابراین مقدار این شاخص در ابتدای مراحل نمونه‌برداری افزایش داشته و در انتهای فصل رشد به علّت نزدیکی به مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی و کاهش محتوای نسبی آب (شکل ۴) روند کاهشی نشان داد. در واقع با استفاده از تعدیل‌کننده‌های تنش، روند تغییرات این شاخص تغییر کمی نشان داد (شکل ۳)، به‌طوری‌که حداکثر میزان هدایت روزنه‌ای (۲۰۱/۹۰ میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه) در مراحل اولیه نمونه‌برداری (۷۶ روز پس از کاشت) در کاربرد توأم ورمی‌کمپوست با متانول ۳۰ درصد حجمی در شرایط عدم اعمال شوری حاصل شد و با گذشت زمان کاهش نشان داد. با افزایش شوری میزان تبادلات گازی و هدایت روزنه‌ای کاهش نشان داد به طوری که شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در شرایط عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و متانول در مقایسه با کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و متانول ۳۰ درصد حجمی در شرایط عدم اعمال شوری، هدایت روزنه‌ای را تقریبا ۵۹ درصد کاهش داد. به نظر می‌رسد استفاده از ورمی‌کمپوست همراه با متانول ۳۰ درصد حجمی به علّت جلوگیری از هدر رفت رطوبت برگ‌های تحت تنش (Song et al., 2022)، موجب بهبود هدایت روزنه‌ای شده است (شکل ۳). پژوهشگران افزایش پتانسیل تورگر در گیاهان سه کربنه را به افزایش محتوای قند سنتز شده در برگ بوته‌های محلول‌پاشی شده با متانول نسبت داده و معتقدند که متانول با افزایش راندمان مصرف آب و کاهش درجه حرارت برگ موجب می‌شود هدایت روزنه‌ای بهبود یابد (Nonomura & Benson, 1992). در پژوهشی محلول‌پاشی متانول بر روی گیاه اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*) (Valizadeh-Kamran et al., 2019) و پنبه (*Gossypium*) (Hamani et al.,

(2021 موجب افزایش هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش شوری شد. محققان در همین راستا اظهار داشتند محلول‌پاشی متانول روی گیاهان و تبخیر آن موجب جذب آن توسط روزنه‌های گیاه می‌شود که منافذ کوچکی در برگ‌ها هستند که منجر به امکان تبادل گازها می‌شود. این امر به افزایش هدایت روزنه منجر می شود، یعنی سرعتی که آب و سایر مواد می‌توانند از طریق روزنه حرکت کنند. علاوه بر این، متانول می‌تواند با کاهش میزان آب از دست رفته در اثر تعرق، به حفظ آب در خاک‌های شور کمک کند (Valizadeh-Kamran et al., 2019; Hamani et al., 2021). از سوی دیگر به نظر می‌رسد سازوکار ورمی‌کمپوست برای افزایش هدایت روزنه‌ای در خاک‌های شور، با افزایش دسترسی به موادآلی و عناصرغذایی در خاک مرتبط باشد. ورمی‌کمپوست می‌تواند به بهبود ساختار خاک، کاهش شوری خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک کمک کند. علاوه بر این، ورمی‌کمپوست از طریق افزایش فعالیت میکروبی موجب بهبود جذب موادمغذی و آب توسط گیاه می‌شود (Hoque et al., 2022). هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر در مطالعه‌ای بر روی گیاه گندم، هدایت روزنه‌ای در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط شوری افزایش یافت. پژوهشگران در این زمینه بیان‌کردند شوری می‌تواند هدایت روزنه‌ای را با کاهش مقدار آب موجود برای تعرق کاهش دهد. بنابراین این امر منجر به کاهش فتوسنتز و افزایش تنش گیاه می‌شود، امّا ورمی‌کمپوست می‌تواند با تأمین مواد مغذی ضروری و مواد آلی به خاک موجب تعدیل اثرات تنش شوری شود. با بهبود ظرفیت نگهداری آب در خاک و کاهش میزان نمک در خاک، جذب نمک در گیاهان کنترل‌شده و همین امر می‌تواند هدایت روزنه‌ای در گیاهان را افزایش دهد (Hafez et al., 2021).

محتوای نسبی آب برگ پرچم

اثر شوری، ورمی‌کمپوست، متانول و اثر برهم-کنش ترکیبی این سه عامل بر محتوای نسبی آب برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر ورمی‌کمپوست و متانول برمحتوای نسبی آب برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 4- Variance analysis (mean square) of the effects of vermicompost and methanol on water content of flag leaf of triticale under salinity stress

Sources of variation	Relative Water Content (Day after planting)							
	df	76	80	84	88	92	96	100
Repetition	2	50.7^{ns}	76.47*	103.0*	4.68^{ns}	20.2^{ns}	59.5**	102.1**
Salinity (S)	2	748.2**	747.6**	549.2**	758.2**	709.0**	581.5**	468.0**
Vermicompost (V)	1	154.1*	131.66*	443.3**	105.4*	200.1**	171.1**	222.0**
Methanol (M)	2	307.1**	467.0**	329.2**	413.1**	259.9**	376.3**	279.8**
S×V	2	93.0*	7.8^{ns}	133.7*	127.1**	21.5^{ns}	46.7*	33.1^{ns}
S×M	4	22.4^{ns}	39.5^{ns}	8.1^{ns}	56.7*	42.2^{ns}	193.1**	15.4^{ns}
V×M	2	72.7^{ns}	16.4^{ns}	47.3^{ns}	19.2^{ns}	73.8**	0.7^{ns}	49.5*
S×V×M	4	129.7**	93.6**	124.9**	54.4*	52.6*	43.9*	84.4**
Error	34	19.6	22.6	27.4	19.6	19.4	11.9	13.8
CV (%)	-	5.6	6.2	7.0	6.02	6.1	5.1	5.5

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** show no significant and significant differences at 0.05, 0.01 probability level, respectively

بررسی روند تغییرات محتوای نسبی آب تحت سطوح مختلف تنش شوری نشان داد این شاخص در تمامی تیمارها روند کاهشی نسبتاً یکسانی دارد، به‌طوری‌که محتوای نسبی آب در ابتدای دوره آزمایشی زیاد بوده ولی با گذشت زمان و افزایش سن گیاه روند کاهشی نشان داد با این تفاوت که استفاده همزمان ورمی‌کمپوست و متانول موجب شد تغییرات محتوای نسبی آب برگ از نوسانات کمتری برخوردار شود (شکل ۴). به عبارت دیگر کاربرد متانول ۱۵ و ۳۰ درصد حجمی همراه با ورمی کمپوست در شرایط عدم اعمال شوری، موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ شد به‌طوری‌که محتوای نسبی آب در تیمارهای بالا در ۱۰۰ روز پس از کاشت برابر با ۷۶/۹۰ و ۷۷/۴۷ درصد بود که از تفاوت آماری معنی‌داری برخوردار نبودند، اما محتوای نسبی آب برگ پس از قرار گرفتن در معرض شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار در شرایط عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و متانول، به ۶۴/۵-۵۲ درصد کاهش نشان داد. بااین‌حال، پس از تیمارکردن بوته‌های تحت تنش شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار با محلول متانول ۳۰ درصد همراه با ورمی‌کمپوست، دوباره محتوای نسبی آب برگ در مرحله گلدهی (۱۰۰ روز پس از کاشت) افزایش یافت به‌طوری‌که میزان آنها برابر با ۷۲/۵۹-۶۵/۹۲ درصد شد. بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از ورمی‌کمپوست و متانول موجب بهبود محتوای نسبی آب برگ حتی در شرایط تنش شوری شده است (شکل ۴). تغییر پتانسیل آب داخلی نیازمند افزایش فشار اسمزی با جذب املاح از خاک یا سنتز مواد متابولیکی در سلول است و استفاده از ورمی‌کمپوست منجر به تجمع پتاسیم و برخی یون‌های آلی در سلول و در نتیجه افزایش فعالیت اسمزی و کاهش پتانسیل آب و حرکت آب به داخل سلول می‌شود (Beyk-Khormizi et al., 2022). تنش شوری می‌تواند به میزان قابل توجهی بر محتوای نسبی آب گیاه تأثیر بگذارد، زیرا نمک اثر اسمزی داشته و رطوبت محیط اطراف را جذب می‌کند و همین امر ضمن کاهش آب قابل دسترس گیاه موجب می‌شود که محتوای نسبی آب برگ کاهش یابد (Hafez et al., 2021). نقش مثبت ورمی‌کمپوست در بهبود محتوای نسبی آب گیاه ناشی از عوامل متعددی است. اول اینکه با برخورداری از عناصر غذایی موجود و بهبود ساختار خاک، به گیاه در جذب موثرتر آب کمک می‌کند. دوم اینکه ماده آلی موجود در ورمی‌کمپوست منبعی از اسیدهای آلی و فعالیت میکروبی را فراهم می‌کند که به مقاومت در برابر تنش شوری و بهبود رشد گیاه کمک می‌کند. همچنین ورمی‌کمپوست می‌تواند با کمک به اتصال یون‌های سدیم درخاک و عدم دسترسی به این یون‌ها توسط گیاه، تأثیر منفی آنها در جذب آب توسط گیاه را کاهش دهد (Hafez et al., 2021; Beyk-Khormizi et al., 2022). برخی محققان معتقدند ورمی‌کمپوست می‌تواند با بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، به ظرفیت خاک برای جذب و حفظ آنیون‌ها و کاتیون‌ها کمک نماید که هر دو می‌توانند بر محتوای نسبی آب گیاه تأثیرگذار باشند. هر چه ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بالاتر باشد، گیاه بهتر می‌تواند مواد مغذی را جذب و حفظ کند و در نتیجه میزان آب خود را به حداکثر برساند (Darakeh et al., 2022; Tammam et al., 2023). از سوی دیگر، متانول

یک ترکیب فرار است که موقع محلول‌پاشی روی برگ به سرعت تبخیر می‌شود و نمک‌های اضافی را از دیواره‌های سلولی گیاه خارج می‌کند، بدون اینکه نیازی به فرآیند آبرسانی اساسی باشد (Dorokhov et al., 2018). این به علّت ساختار آبدوست و قطبی مولکول است که باعث جذب و حل سریع نمک‌ها می‌شود. با این کار می‌تواند با کاهش تنش ناشی از شوری، محیط مساعدتری را برای گیاه ایجاد کند. متانول علاوه بر حذف املاح، با عمل به‌عنوان یک محافظ اسمزی به گیاهان کمک می‌کند تا یکپارچگی غشا خود را حفظ کنند و این کار را با جذب نمک‌های محلول و جلوگیری از ورود آنها به سلول‌های گیاه انجام می‌دهد و در نتیجه موجب بهبود محتوای نسبی آب گیاه می‌شود (Hassanpouraghdam et al., 2022).

هدایت الکتریکی برگ پرچم

سطوح شوری، ورمی‌کمپوست، متانول و برهمکنش سه‌گانه آنها بر میزان هدایت الکتریکی در سطح احتمال یک و پنج درصد در تمامی مراحل نمونه‌برداری معنی‌دار بود (جدول ۶).

جدول ۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر ورمی‌کمپوست و متانول بر هدایت الکتریکی برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 5- Variance analysis (mean square) of the effects of vermicompost and methanol on electrical conductivity of flag leaf of triticale under salinity stress

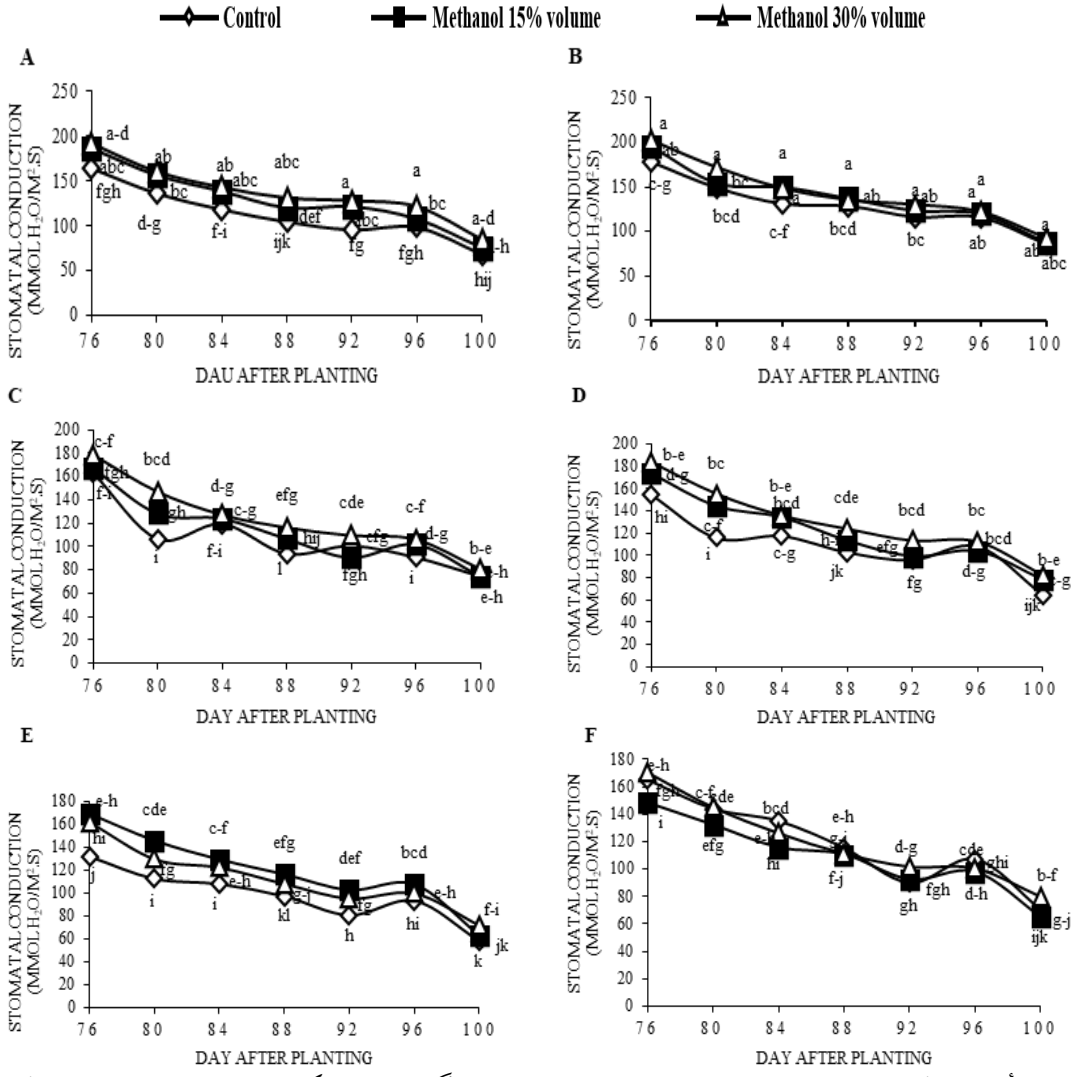
Sources of variation	Electrical Conductivity (Day after planting)							
	df	76	80	84	88	92	96	100
Repetition	2	124.44**	140.47**	69.71**	117.55**	902.59**	2183.08**	1312.84**
Salinity (S)	2	66.00**	193.11**	164.78**	212.38**	539.22**	662.91**	1155.54**
Vermicompost (V)	1	28.69**	52.07**	39.93**	50.03*	201.57**	43.77^{ns}	411.40**
Methanol (M)	2	49.42**	127.17**	77.57**	96.20**	278.40**	681.04**	595.18**
S×V	2	5.65^{ns}	29.90**	10.31*	31.65*	49.96^{ns}	281.49**	101.31*
S×M	4	2.69^{ns}	20.78**	5.94^{ns}	16.83^{ns}	20.45^{ns}	13.59^{ns}	70.49^{ns}
V×M	2	0.49^{ns}	11.62^{ns}	4.65^{ns}	10.76^{ns}	32.19^{ns}	39.67^{ns}	33.84^{ns}
S×V×M	4	10.41**	11.34*	9.66*	18.63*	91.68**	169.50**	124.58**
Error	34	2.10	4.03	2.99	6.94	21.48	32.68	28.00
CV (%)	-	5.29	5.16	4.09	5.20	8.64	9.06	6.18

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** show no significant and significant differences at 0.05, 0.01 probability level, respectively

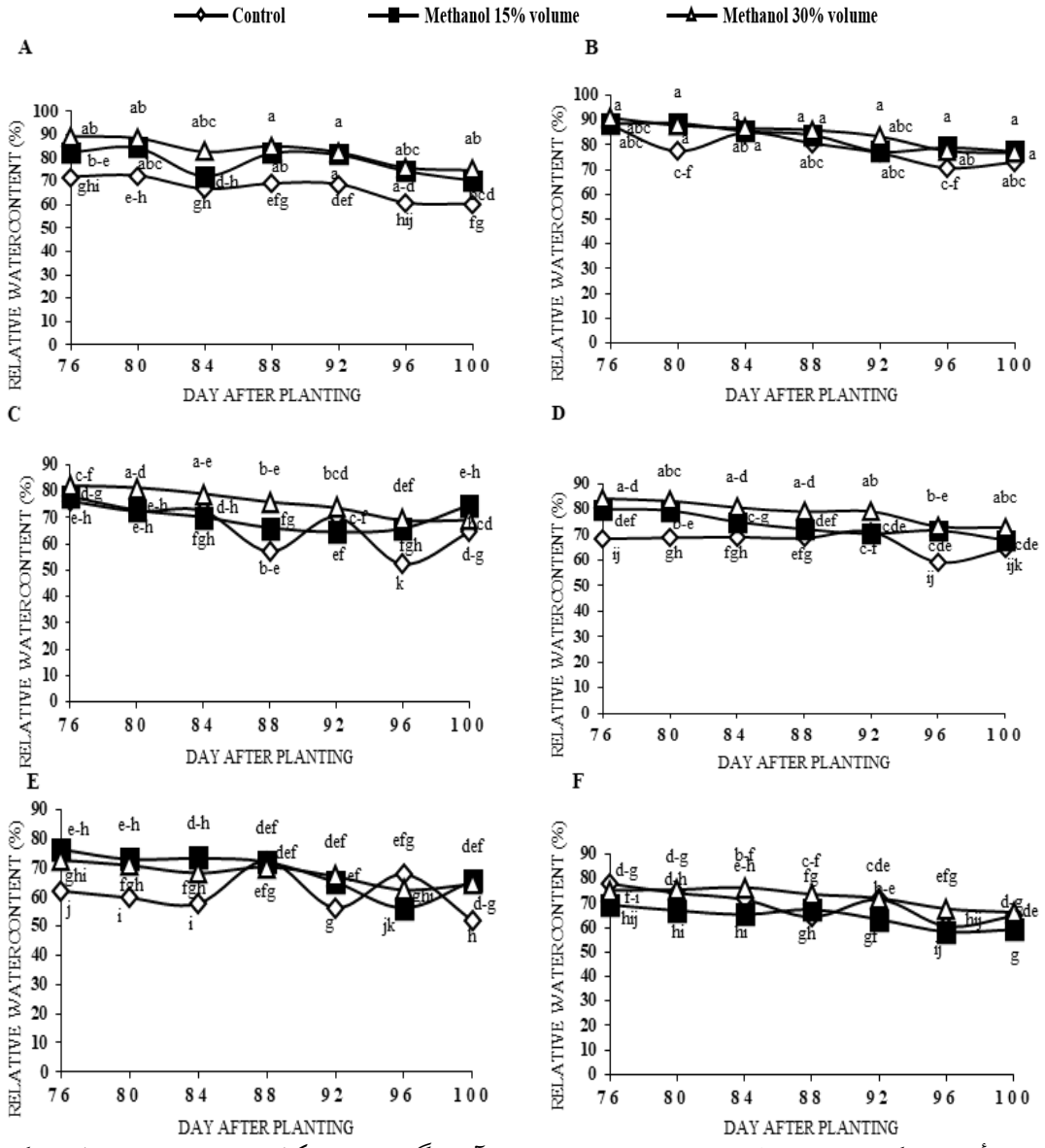
هدایت الکتریکی برگ پرچم با افزایش سن گیاه افزایش نشان داد، به‌عبارتی کمترین و بیشترین هدایت الکتریکی به ترتیب در مرحله چکمه‌دهی (۷۶ روز پس از کاشت) و گلدهی (۱۰۰ روز پس از کاشت) مشاهده شد. در مرحله گلدهی کمترین میزان هدایت الکتریکی مربوط به کاربرد ورمی‌کمپوست و متانول ۳۰ درصد حجمی در شرایط عدم اعمال شوری بود که از کاهش ۳۰ درصدی در مقایسه با عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و متانول در شرایط عدم تنش شوری برخوردار بود. حتی ترکیب تیماری ورمی-کمپوست و متانول ۳۰ درصد حجمی در شرایط شوری ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌مولار نیز، موجب شد هدایت الکتریکی به‌ترتیب حدود ۸ الی ۲۰ درصد در مقایسه با تیمار عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و متانول در شرایط عدم تنش شوری در مرحله گلدهی کاهش داشته باشد (شکل ۵). علّت افزایش هدایت الکتریکی در شرایط تنش‌زا ممکن است ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن، القای تنش اکسیداتیو، پراکسیداسیون

لیپیدی غشا و تغییر در نفوذپذیری غشاء (نشت یون) و آسیب سلولی باشد که منجر به پارگی غشای پلاسمایی و افزایش نشت یونی می‌شود (Alshiekheid et al., 2023). استفاده همزمان از ورمی‌کمپوست و متانول با بهبود محتوای نسبی آب (شکل ۴) و تعدیل اثرات مخرب تنش شوری بر غشای سیتوپلاسمی، موجب کاهش هدایت الکتریکی برگ (شکل ۵) شده است.



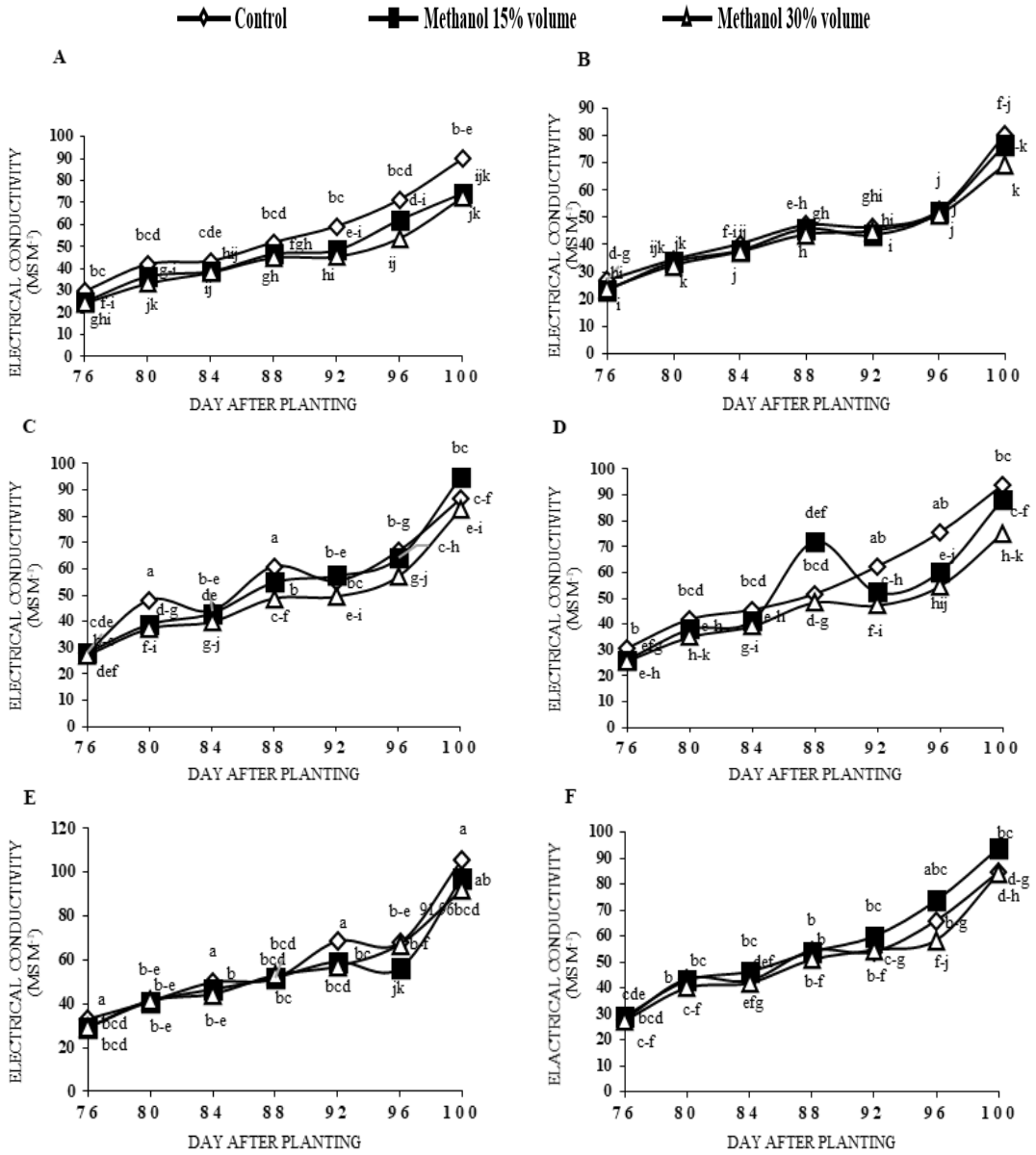
شکل ۳- تأثیر ورمی‌کمپوست و متانول بر روند تغییرات هدایت روزنه‌ای برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری. A) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط عدم اعمال شوری، B) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط عدم اعمال شوری، C) عدم کاربرد ورمی-کمپوست در شرایط اعمال شوری ۵۰ میلی‌مولار، D) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۵۰ میلی‌مولار، E) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، F) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۱۰۰ میلی‌مولار. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

Figure 3- The effects of vermicompost and methanol on variation of stomatal conduction flag leaf of triticale under salinity stress. A) without application of vermicompost + no salinity, B) application of vermicompost + no salinity, C) without application of vermicompost +50 mM salinity, D) application of vermicompost +50 mM salinity, E) without application of vermicompost +100 mM salinity, F) application of vermicompost +100 mM salinity. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.



شکل ۴- تأثیر ورمی‌کمپوست و متانول بر روند تغییرات محتوای نسبی آب برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری. A) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط عدم اعمال شوری، B) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط عدم اعمال شوری، C) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۵۰ میلی‌مولار، D) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۵۰ میلی‌مولار، E) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، F) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۱۰۰ میلی‌مولار. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

Figure 4- The effects of vermicompost and methanol on variation of relative water content flag leaf of triticale under salinity stress. A) without application of vermicompost + no salinity, B) application of vermicompost + no salinity, C) without application of vermicompost +50 mM salinity, D) application of vermicompost +50 mM salinity, E) without application of vermicompost +100 mM salinity, F) application of vermicompost +100 mM salinity. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.



شکل ۵- تأثیر ورمی‌کمپوست و متانول بر روند تغییرات هدایت الکتریکی برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری. A) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط عدم اعمال شوری، B) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط عدم اعمال شوری، C) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۵۰ میلی‌مولار، D) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۵۰ میلی‌مولار، E) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، F) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۱۰۰ میلی‌مولار. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

Figure 5- The effects of vermicompost and methanol on variation of electrical conductivity flag leaf of triticale under salinity stress. A) without application of vermicompost + no salinity, B) application of vermicompost + no salinity, C) without application of vermicompost +50 mM salinity, D) application of vermicompost +50 mM salinity, E) without application of vermicompost +100 mM salinity, F) application of vermicompost +100 mM salinity. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

همچنین، افزایش سطح دی اکسید کربن ناشی از متابولیسم متانول در سلول‌های مزوفیل برگ، ضمن دسترسی آسان گیاه به دی اکسید کربن کافی برای ساخت مواد فتوسنتزی، موجب کاهش تعرق و از دست دادن آب در گیاه می‌شود و این امر باعث حفظ آب در بافت برگ و متعاقباً منجر به افزایش محتوای نسبی آب برگ (شکل ۴) و نیز کاهش هدایت الکتریکی برگ می‌شود (Fall & Benson, 1996). همچنین ورمی‌کمپوست، می‌تواند با افزایش جذب موادمغذی ضروری و بهبود محتوای نسبی آب گیاه، اثرات ناشی از شوری را کاهش دهد (Kumari et al., 2022). برخی معتقدند با کاهش مقدار فتوسنتز در محیط شور رادیکال‌های آزاد در سلول تجمع پیدا می‌کند و موجب تحریک پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود، اما هورمون‌ها (جیبرلین) و موادمعدنی (کلسیم) موجود در ورمی‌کمپوست با به حداقل رساندن نشت الکترولیت، پایداری غشای سلول‌های برگ را بهبود بخشیده و موجب کاهش هدایت الکتریکی می‌شوند (Muscolo et al., 1999).

عملکرد کوانتومی برگ پرچم

اثر سطوح شوری، ورمی‌کمپوست، متانول بر عملکرد کوانتومی برگ پرچم در مراحل مختلف نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۷).

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر ورمی‌کمپوست و متانول بر عملکرد کوانتومی برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 6- Variance analysis (mean square) of the effects of vermicompost and methanol on quantum yield of flag leaf of triticale under salinity stress

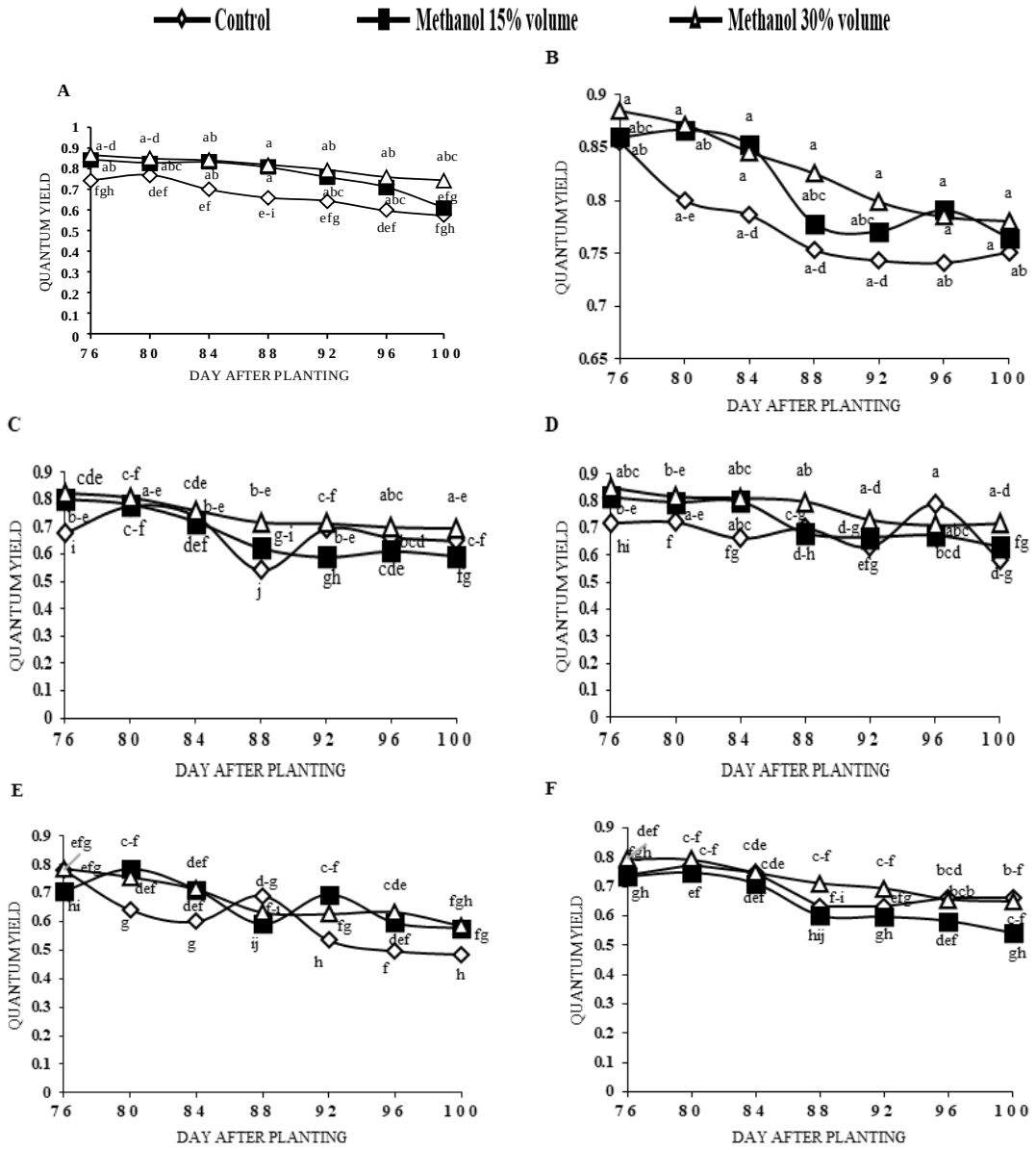
Sources of variation	Quantum Yield (Day after planting)							
	df	76	80	84	88	92	96	100
Repetition	2	0.006**	0.008*	0.011**	0.0024^{ns}	0.003^{ns}	0.0016^{ns}	0.019**
Salinity (S)	2	0.032**	0.029**	0.047**	0.080**	0.067**	0.072**	0.064**
Vermicompost (V)	1	0.009**	0.007^{ns}	0.021**	0.027**	0.008^{ns}	0.023^{ns}	0.054**
Methanol (M)	2	0.029**	0.023**	0.032**	0.039**	0.028**	0.037**	0.035**
S×V	2	0.003^{ns}	0.003^{ns}	0.0021^{ns}	0.010*	0.0009^{ns}	0.012^{ns}	0.018*
S×M	4	0.009**	0.0002^{ns}	0.0017^{ns}	0.012**	0.005^{ns}	0.002^{ns}	0.001^{ns}
V×M	2	0.0005^{ns}	0.0009^{ns}	0.0007^{ns}	0.003^{ns}	0.002^{ns}	0.0019^{ns}	0.004^{ns}
S×V×M	4	0.003*	0.006*	0.011**	0.007**	0.012**	0.015**	0.013*
Error	34	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003
CV (%)	-	4.18	5.53	6.06	7.21	7.329	9.30	9.13

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** show no significant and significant differences at 0.05, 0.01 probability level, respectively

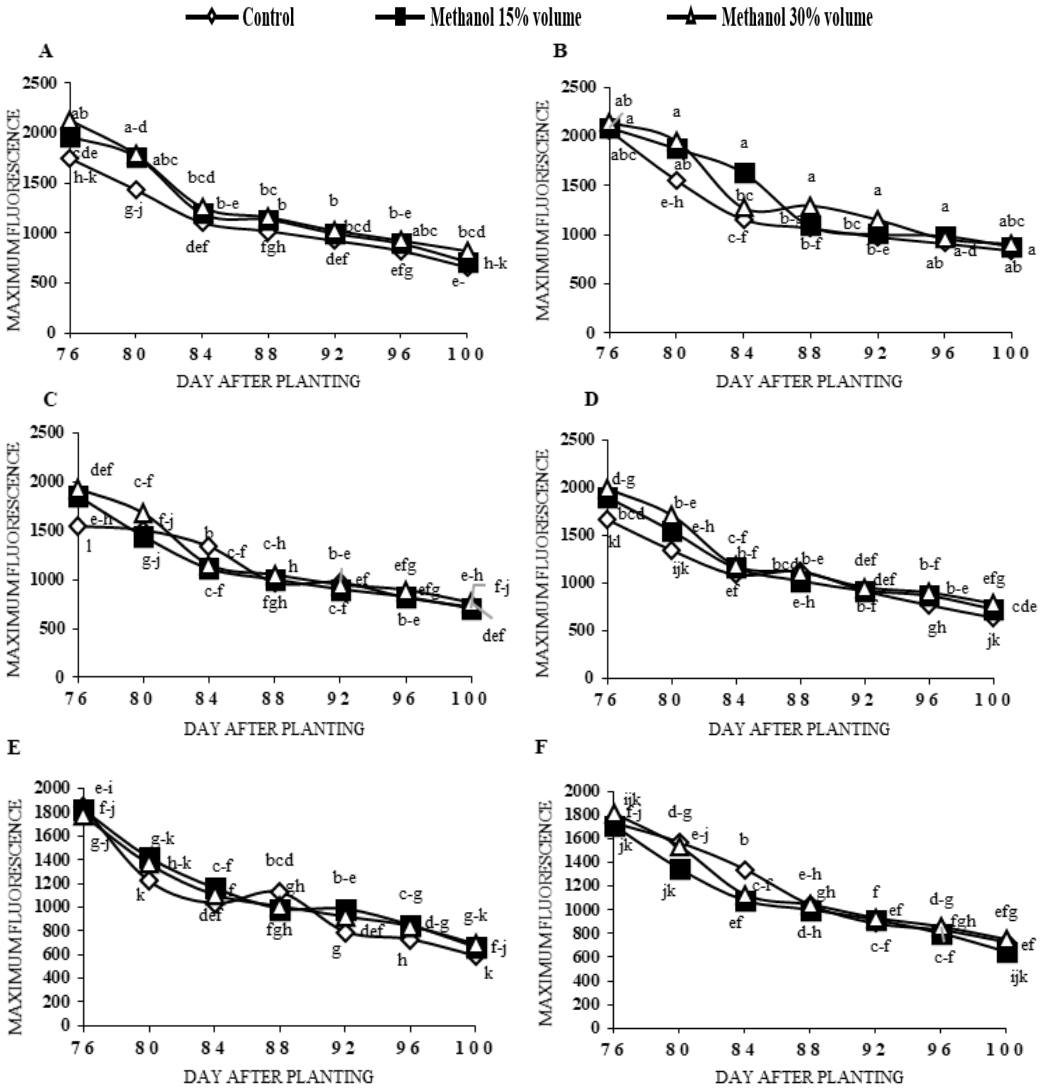
شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در شرایط عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و متانول موجب کاهش تقریبا ۲۰ درصدی عملکرد کوانتومی نسبت به تیمار عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و متانول در شرایط عدم اعمال شوری شد، امّا تیمارهای مربوط به ورمی‌کمپوست و متانول در شرایط عدم تنش برخلاف تنش شوری، موجب افزایش عملکرد کوانتومی شد و کاربرد این تیمارها به صورت تلفیقی در تعدیل آثار تخریبی ناشی از تنش شوری موثرتر بود. کاربرد تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست و

متانول ۱۵ و ۳۰ درصد حجمی، عملکرد کوانتومی بوته‌های تحت شوری ۱۰۰ میلی‌مولار را، حدود ۱۲ تا ۳۴ درصد افزایش داد (شکل ۶). به احتمال زیاد کمبود عناصر ریز مغذی همچون آهن، روی و منیزیم در خاک شور موجب کاهش عملکرد کوانتومی فتوسیستم II شده و با افزودن ورمی‌کمپوست به خاک که حاوی عناصر مورد نیاز گیاه است (جدول ۱) شرایط برای رشد گیاه مهیا شده و عملکرد کوانتومی افزایش یافت. تنش شوری با کاهش توانایی فتوسنتزی گیاه بر عملکرد کوانتومی گیاهان تأثیر منفی می‌گذارد. در واقع شوری بیش از حد در خاک، پتانسیل آبی سیستم ریشه را کاهش می‌دهد و در نتیجه دسترسی گیاه به آب مشکل می‌شود. علاوه بر این، غلظت بالای نمک باعث افزایش سطح پروتون می‌شود که مانع از جریان الکترون‌ها از آب به ترکیبات آلی می‌شود و در نتیجه مخزن پلاستوکینون و توانایی آن برای تولید ATP را کاهش می‌دهد. این فرآیندی است که به‌عنوان مهار فتوسنتز ناشی از شوری شناخته می‌شود (Song et al., 2022). ورمی‌کمپوست به علّت دارا بودن خصوصیات مطلوبی مانند قابلیت نگهداری بالای آب، ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش عناصر غذایی در خاک و ویژگی‌های مفید فیزیکی، شیمیایی و زیستی موجب افزایش پایداری سیستم فتوسنتزی گیاه از طریق کاهش تولید گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن در زنجیره انتقال الکترون، افزایش قابلیت دسترسی بیشتر موادمغذی و عناصر مورد نیاز برای فعالیت‌های بیوشیمیایی می‌شود (Lakhdar et al., 2009). یافته‌های این پژوهش با نتایج Mohammadi Kale Sarlou et al. (2022) مبنی بر اینکه کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط شوری از طریق افزایش دسترسی به عناصر غذایی و بهبود شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب و کاهش هدایت الکتریکی، موجب افزایش فلورسانس متغیر، فلورسانس حداکثر و عملکرد کوانتومی برگ تریتیکاله شد، هم‌خوانی دارد (شکل ۱، ۴ و ۵). در پژوهش حاضر مشاهده شد در اثر استفاده از متانول ۱۵ و ۳۰ درصد حجمی، عملکرد کوانتومی افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده تأثیر متانول در مقاومت گیاه تریتیکاله به تنش شوری می‌باشد. در پژوهشی افزایش عملکرد کوانتومی در اثر افزایش غلظت متانول مصرفی را به نقش این ماده در افزایش حفاظت نوری گیاه توسط متانول نسبت دادند (Nonomura & Benson, 1992; Hossinzadeh et al., 2013). در اثر محلول‌پاشی متانول، فلورسانس کلروفیل می‌تواند به‌طور مثبت تحت تأثیر افزایش فتوسنتز در نتیجه تحریک فتوسیستم II قرار گیرد و به نظر می‌رسد تحت چنین شرایطی به علّت تغییرات در محیط سلولی ناشی از متانول، حداکثر بازده کوانتومی مراکز واکنش فتوسیستم II (نسبت F_V/F_M) افزایش خواهد یافت (Mousavi et al., 2021).



شکل ۶- تأثیر ورمی‌کمپوست و متانول بر روند تغییرات عملکرد کوانتومی برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری. A) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط عدم اعمال شوری، B) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط عدم اعمال شوری، C) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۵۰ میلی‌مولار، D) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۵۰ میلی‌مولار، E) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، F) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۱۰۰ میلی‌مولار. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

Figure 6- The effects of vermicompost and methanol on variation of quantum yield flag leaf of triticale under salinity stress. A) without application of vermicompost + no salinity, B) application of vermicompost + no salinity, C) without application of vermicompost +50 mM salinity, D) application of vermicompost +50 mM salinity, E) without application of vermicompost +100 mM salinity, F) application of vermicompost +100 mM salinity. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.



شکل ۷- تأثیر ورمی‌کمپوست و متانول بر روند تغییرات فلورسانس بیشینه برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری. A) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط عدم اعمال شوری، B) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط عدم اعمال شوری، C) عدم کاربرد ورمی-کمپوست در شرایط اعمال شوری ۵۰ میلی‌مولار، D) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۵۰ میلی‌مولار، E) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، F) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۱۰۰ میلی‌مولار.
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

Figure 7- The effects of vermicompost and methanol on variation of maximum fluorescence flag leaf of triticale under salinity stress. A) without application of vermicompost + no salinity, B) application of vermicompost + no salinity, C) without application of vermicompost +50 mM salinity, D) application of vermicompost +50 mM salinity, E) without application of vermicompost +100 mM salinity, F) application of vermicompost +100 mM salinity. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

حداکثر فلورسانس کلروفیل برگ پرچم

اثر سطوح شوری، ورمی‌کمپوست و متانول در سطح احتمال یک و پنج درصد بر روند تغییرات فلورسانس بیشینه برگ پرچم تریتیکاله معنی‌دار شد (جدول ۸).

جدول ۸- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر ورمی‌کمپوست و متانول بر فلورسانس بیشینه برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 7- Variance analysis (mean square) of the effects of vermicompost and methanol on maximum fluorescence of flag leaf of triticale under salinity stress

Sources of variation	df	Maximum Fluorescence (Day after planting)						
		76	80	84	88	92	96	100
Repetition	2	50732.90**	134594.24**	30819.05^{ns}	77686.57**	25937.85**	7701.72^{ns}	897.57^{ns}
Salinity (S)	2	297784.79**	458211.57**	82518.16**	46814.68**	58290.13**	49543.72**	77192.79**
Vermicompost (V)	1	40892.52**	116389.79**	57297.79*	21162.24*	7373.35^{ns}	15674.07*	59335.18**
Methanol (M)	2	177121.90**	244478.13**	12553.72^{ns}	23511.46**	25993.13**	31955.72**	36183.57**
S×V	2	57667.24**	32876.46^{ns}	59513.12**	10478.57*	6177.79^{ns}	5738.02^{ns}	27199.46**
S×M	4	54827.40**	65843.99**	64004.38**	23625.77**	12731.13**	1212.52^{ns}	1847.35^{ns}
V×M	2	10518.68^{ns}	7421.24^{ns}	16293.02^{ns}	7595.24^{ns}	4472.24^{ns}	1299.79^{ns}	1042.91^{ns}
S×V×M	4	19721.07*	44335.82*	86558.18**	8255.32*	6504.35*	6837.65*	9976.18**
Error	34	6104.88	14964.82	9598.95	3027.79	2429.12	2540.72	2082.45
CV (%)	-	4.16	7.84	8.19	5.14	5.18	5.85	6.21

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** show no significant and significant differences at 0.05, 0.01 probability level, respectively

مقدار فلورسانس بیشینه در شرایط مطلوب زیاد بوده و با بروز هر گونه عوامل تنش‌زا از میزان آن کاسته می‌شود. ۱۰۰ روز پس از کاشت حداقل (۵۸۴/۶۷) و حداکثر (۹۰۳) فلورسانس بیشینه برگ پرچم در تیمارهای عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و متانول در شرایط تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و متانول ۳۰ درصد حجمی در شرایط عدم تنش شوری به دست آمد. فلورسانس بیشینه برگ پرچم نیز با گذر زمان کاهش یافته بود به طوری که در مرحله اولیه نمونه‌برداری فلورسانس بیشینه در تیمار عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و متانول در شرایط عدم تنش ۱۷۴۵/۳۳ بود و پس از ۲۴ روز (۱۰۰ روز پس از کاشت مصادف با مرحله گلدهی) به ۶۵۵ کاهش یافت، اما با کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط عدم اعمال محلول‌پاشی و تنش شوری ۲۵ درصد و با کاربرد متانول ۳۰ درصد حجمی در شرایط عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و تنش شوری، فلورسانس بیشینه از افزایش ۲۹ درصدی در ۱۰۰ روز پس از کاشت برخوردار بود که احتمالاً به علّت تأمین دی اکسیدکربن مورد نیاز برای انجام فعالیت‌های فتوسنتزی مرتبط باشد (شکل ۷). به نظر می‌رسد شوری با ایجاد اختلال در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی، منجر به کاهش فلورسانس کلروفیل می‌شود. این اختلال ناشی از تجمع نمک در سلول‌های گیاهی است که می‌تواند در حرکت یون‌ها و سایر مولکول‌های لازم برای فتوسنتز اختلال ایجاد کند. ورمی‌کمپوست از فلورسانس کلروفیل در برابر تنش شوری با تأمین مواد مغذی ضروری و مواد آلی به خاک محافظت می‌کند و می‌تواند به کاهش تجمع نمک در سلول‌های گیاهی کمک کند. علاوه بر این، ورمی‌کمپوست می‌تواند با کمک به بهبود ساختار خاک منجر به کاهش میزان نمک جذب شده توسط گیاه شود (Analin et al., 2020). همچنین به نظر می‌رسد در دستگاه فتوسنتزی بوته‌های تیمار شده با متانول و ورمی‌کمپوست، جریان الکترون از سامانه نوری II به سامانه نوری I مناسب‌تر بوده، بنابراین فعالیت در

سامانه نوری I افزایش‌یافته و در نتیجه میزان فلورسانس بیشینه بهبود یافته است. علاوه بر آن، مناسب‌بودن این حلال را می‌توان به تعداد کمِ اتم کربن در آن و قابلیت افزایش کربن و هیدروژن در آن نسبت داد (Me'rajipour et al., 2012; Hasani et al., 2014).

فلورسانس متغیر برگ پرچم

اثر سطوح شوری، ورمی‌کمپوست، متانول بر روند تغییرات فلورسانس متغیر برگ پرچم در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۹).

جدول ۹- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر ورمی‌کمپوست و متانول بر فلورسانس متغیر برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری

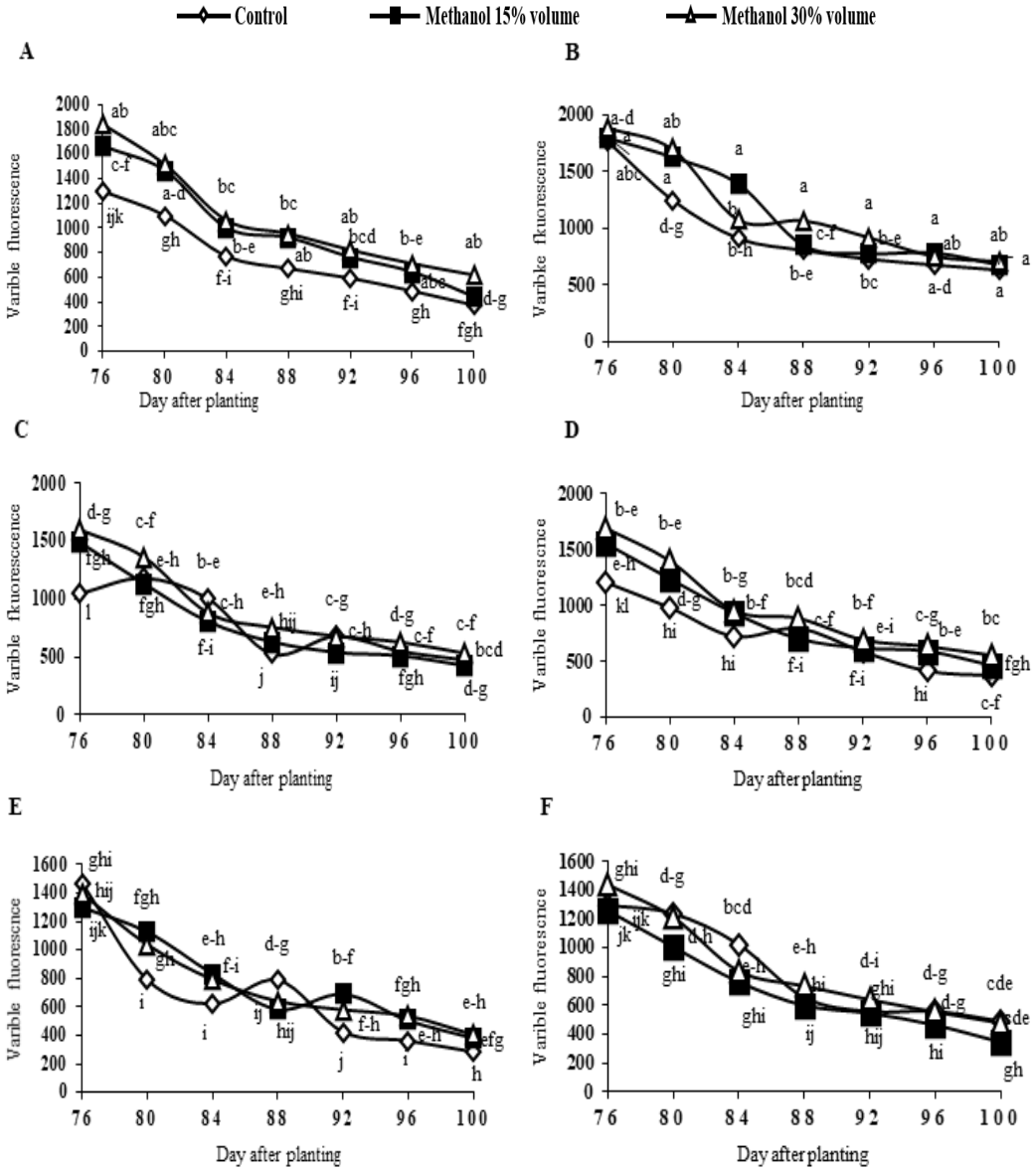
Table 8- Variance analysis (mean square) of the effects of vermicompost and methanol on variable fluorescence of flag leaf of triticale under salinity stress

Sources of variation	Variable Fluorescence (Day after planting)							
	df	76	80	84	88	92	96	100
Repetition	2	7.010**	111609.56*	41265.6^{ns}	46707.84**	8791.96^{ns}	2352.13^{ns}	7287.02^{ns}
Salinity (S)	2	614462.20**	637897.68**	230022.03**	214010.80**	172576.98**	145134.57**	136463.31**
Vermicompost (V)	1	118346.07**	157789.35*	130003.11**	73653.00**	18643.50^{ns}	48037.15^{ns}	112527.25**
Methanol (M)	2	403306.20**	367963.71**	62123.89*	101160.24**	72072.21**	72173.97**	63003.44**
S×V	2	88773.59**	54892.25^{ns}	55280.06*	30621.17**	8943.67^{ns}	22085.11*	48026.14**
S×M	4	120469.57**	61211.34*	68210.95**	43337.46**	20836.13*	5144.75^{ns}	4158.81^{ns}
V×M	2	11924.99^{ns}	9899.29^{ns}	12251.65^{ns}	15638.45^{ns}	8572.26^{ns}	3271.98^{ns}	3257.67^{ns}
S×V×M	4	39650.33*	75928.11*	105835.75**	19300.88*	20599.75*	24172.56**	21172.38**
Error	34	11046.18	21633.85	13096.75	5775.32	5980.43	5833.26	4318.87
CV (%)	-	7.01	11.84	12.57	10.07	11.75	13.25	13.65

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** show no significant and significant differences at 0.05, 0.01 probability level, respectively

مقایسه میانگین‌ها بیانگر اثر کاهشی فلورسانس متغیر برگ پرچم با گذشت زمان در شرایط تنش و عدم‌تنش بود، اگرچه تنش شوری موجب پیری زودرس گیاه شده و میزان فلورسانس متغیر برگ پرچم به‌طور چشمگیری کاهش نشان داد. با وجود این، با استفاده از راهکارهایی از جمله استفاده از متانول و ورمی‌کمپوست از اتلاف انرژی گیاهان تحت تنش تا حدودی جلوگیری شد، به‌طوری‌که در بالاترین سطح شوری (۱۰۰ میلی‌مولار) میزان فلورسانس بیشینه در کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و متانول ۳۰ درصد حجمی از افزایش۲۷/۶ درصدی نسبت به عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و متانول در همین سطح شوری دردوره گلدهی برخوردار بود (شکل ۸). فلورسانس متغیر نتیجه تفاضل فلورسانس بیشینه و فلورسانس کمینه است. پس با افزایش فلورسانس بیشینه، این صفت نیز افزایش می‌یابد که نشانگر کاهش فلورسانس کمینه یا افزایش فلورسانس بیشینه است. به هرحال، این پدیده کارایی فتوسنتزی را افزایش می‌دهد. تنش با تأثیر منفی که بر آسیمیلاسیون کربن می‌گذارد، ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون را کاهش داده، در نتیجه سیستم به سرعت به F_m می‌رسد که نتیجه آن کاهش فلورسانس متغیر خواهد بود.



شکل ۸- تأثیر ورمی‌کمپوست و متانول بر روند تغییرات فلورسانس متغیر برگ پرچم تریتیکاله تحت تنش شوری. A) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط عدم اعمال شوری، B) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط عدم اعمال شوری، C) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۵۰ میلی‌مولار، D) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۵۰ میلی‌مولار، E) عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، F) کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط اعمال شوری ۱۰۰ میلی‌مولار. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

Figure 8- The effects of vermicompost and methanol on variation of variable fluorescence flag leaf of triticale under salinity stress. A) without application of vermicompost + no salinity, B) application of vermicompost + no salinity, C) without application of vermicompost +50 mM salinity, D) application of vermicompost +50 mM salinity, E) without application of vermicompost +100 mM salinity, F) application of vermicompost +100 mM salinity. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

از طرفی، با افزایش شدت نور، سیستم فتوسنتزی با یک روش تنظیمی برای کاهش انرژی القا شده تحریکی، انرژی مازاد را به صورت فرآیند غیرتشعشعی از دست می‌دهد. با این مکانیسم تنظیمی، ضمن حفاظت از مراکز واکنش، موجب می‌گردد که حداقل صدمه به این مراکز وارد شود (Kheirizadeh Arough et al., 2019). نتایج بررسی‌های Mohammadi Kale Sarlou et al. (2022) و Nazari et al. (2021) نیز بیانگر اثرات سودمند ورمی‌کمپوست در شرایط تنش شوری بر میزان فلورسانس متغیر تریتیکاله بود. آنها در این راستا بیان‌کردند که فلورسانس متغیر نشانگر احیای کامل پذیرنده‌های الکترون (QA) است. پس زمانی که پذیرنده‌های الکترون در حالت احیای کامل باشند، فلورسانس کلروفیل حداکثر است. لذا فلورسانس متغیر نیز زیاد است. با وجود این، زمانی که پذیرنده‌های الکترون در حالت اکسید هستند، میزان فلورسانس کم و میزان فلورسانس متغیر نیز تقلیل می‌یابد. پس در نتیجه در شرایط تنش QA در حالت اکسیداسیون است.

عملکرد دانه تک‌بوته

جدول تجزیه واریانس نشانگر اثر معنی‌داری برهمکنش توأم شوری، ورمی‌کمپوست و متانول بر عملکرد تک‌بوته در سطح احتمال یک درصد است (جدول ۱۰). با توجه به جدول ۱۱ عملکرد گیاه در شرایط تنش کاهش نشان داد. به نظر می‌رسد در شرایط تنش به علّت برخورداری کم بوته‌ها از موادغذایی در دسترس حتی تعدادی از بوته‌ها عقیم و از حداقل تعداد دانه در بوته برخوردار بودند امّا با کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و متانول عملکرد دانه نسبت به تیمارهای عدم کاربرد متانول بهبود یافت. کمترین عملکرد در شرایط عدم کاربرد متانول و ورمی‌کمپوست در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و بیشترین آن در کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و متانول ۳۰ درصد حجمی در شرایط عدم تنش به‌دست آمد (جدول ۱۱). به نظر می‌رسد کودهای آلی و ترکیبات الکلی می‌توانند در تعدیل اثرات ناشی از تنش شوری در گیاهان مؤثر بوده و با کاهش تنفس نوری، از طریق افزایش صفات فیزیولوژیکی مانند افزایش شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب، پایداری غشاء و عملکرد کوانتومی به بهبود رشد گیاه و عملکرد کمک کنند (شکل ۱، ۳، ۴، ۵ و ۶). Asghari et al. (2016) نیز به بهبود رشد و عملکرد گیاه به‌لیمو (*Aloysia citrodora*) در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست اشاره کرده و اظهار داشتند که کاربرد ورمی‌کمپوست با افزایش میزان نیتروژن و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه، توانایی جذب نور خورشید و تولید مواد فتوسنتزی و عملکرد گیاه را افزایش می‌دهند. Mohammadi Kale Sarlou et al. (2022) نیز افزایش عملکرد دانه در شرایط شوری با ورمی‌کمپوست را، به افزایش محتوای نسبی آب، عملکرد کوانتومی، شاخص کلروفیل و کاهش هدایت الکتریکی برگ پرچم بوته‌های تریتیکاله نسبت دادند. در پژوهشی مشابه گزارش شد که متانول با فراهمی کربن بیشتر در گیاه موجب افزایش عملکرد دانه از طریق به تأخیر انداختن پیری برگ‌ها و افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه افزایش میزان عملکرد تک‌بوته جو در شرایط شوری شد (Narimani & Seyed Sharifi, 2023).

جدول ۱۰- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر ورمی‌کمپوست و متانول بر عملکرد دانه تک‌بوته تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 2- Variance analysis (mean square) of the effects of vermicompost and methanol on grain yield per plant of triticale under salinity stress

Sources of variation	df	Grain Yield
Repetition	2	0.002^{ns}
Salinity (S)	2	19.17^{**}
Vermicompost (V)	1	3.14^{**}
Methanol (M)	2	12.69^{**}
S×V	2	0.456^{**}
S×M	4	6.76^{**}
V×M	2	0.112^{**}
S×V×M	4	0.152^{**}
Error	34	0.005
CV (%)	-	5.72

ns و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns, * and ** show no significant and significant differences at 0.01 probability level, respectively.

جدول ۱۱- مقایسه میانگین تأثیر ورمی‌کمپوست و متانول بر عملکرد دانه تک‌بوته تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 3- Means comparison of the effects of vermicompost and methanol on grain yield per plant of triticale under salinity stress.

Treatment		Grain Yield (g per plant)		
		M_1	M_2	M_3
S_1	V_1	0.55^{ghi}	1.47^{d}	4.16^{b}
	V_2	1.35^{de}	1.78^{c}	5.44^{a}
S_2	V_1	0.46^{i}	0.65^{g}	0.91^{f}
	V_2	0.81^{f}	1.33^{e}	1.35^{de}
S_3	V_1	0.15^{j}	0.50^{hi}	0.60^{gh}
	V_2	0.26^{j}	0.60^{gh}	0.88^{f}
LSD			0.12	

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و اعمال شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار. V_1 و V_2 به ترتیب بدون و با کاربرد ورمی‌کمپوست. M_1، M_2 و M_3 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی متانول ۱۵ و ۳۰ درصد حجمی. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

S_1, S_2 and S_3 are no salinity, 50 and 100 mM salinity. V_1 and V_2 are without and with application of vermicompost. M_1, M_2 and M_3 are no foliar application and foliar application 15 and 30 volume of methanol. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان دادند تمامی صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه تک بوته تریتیکاله تغییرات قابل توجهی در بالاترین سطح شوری (۱۰۰ میلی‌مولار) دارد، امّا کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست و متانول ۳۰ درصد حجمی از طریق بهبود روند تغییرات اجزای فلورسانس کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب و کاهش هدایت الکتریکی، اثرات منفی ناشی از تنش شوری را کاهش داده و منجر به افزایش عملکرد دانه تک بوته شدند. بنابراین در بالاترین سطح شوری، کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست و متانول ۳۰ درصد حجمی، شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب، عملکرد کوانتومی، فلورسانس بیشینه، فلورسانس متغیر را نسبت به همان سطح شوری در شرایط عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و متانول در مرحله گلدهی افزایش داد. بر اساس یافته‌های ذکر شده در بالا، می‌توان از ورمی‌کمپوست و متانول برای تعدیل اثرات سوء ناشی از تنش شوری بر روند تغییرات اجزای فلورسانس کلروفیل و برخی صفات

فیزیولوژیکی از جمله شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی و هدایت الکتریکی در گیاه تریتیکاله بهره برد.

References

Aghaei, F., Seyed Sharifi, R., & Farzaneh, S. (2022). The effect of some nanoparticles and biofertilizers on chlorophyll fluorescence components and some physiological traits of Triticale (*Triticosecale Wittmack*) at different irrigation levels. *Iranian Journal of Plant Biology*, *14*(3), 13-40. DOI: 10.22108/IJPB.2023.137496.1320 [In Persian].

Aliyar, S., Aliasgharzad, N., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., & Oustan, S. (2021). The effect of Vermicompost application on growth and water relationships of quinoa plant under salinity stress conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *31*(3), 131-147.

Alshiekheid, M. A., Dwiningsih, Y., & Alkahtani, J. (2023). Analysis of morphological, physiological, and biochemical traits of salt stress tolerance in Asian rice cultivars at different stages. *Stresses*, *3*(4), 717-735. DOI: 10.20944/preprints202303.0251.v1

Analin, B., Mohanan, A., Bakka, K., & Challabathula, D. (2020). Cytochrome oxidase and alternative oxidase pathways of mitochondrial electron transport chain are important for the photosynthetic performance of pea plants under salinity stress conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, *154*, 248-259. DOI: 10.1016/j.plaphy.2020.05.022

Asghari, M., Yusefirad, M., & Masoumi Zavarian, A. (2016). Effects of organic fertilizers of compost and vermicompost on qualitative and quantitative triats of lemon verbena. *Journal of Medicinal Plants*, *2*(58), 63-71. DOI: 20.1001.1.2717204.2016.15.58.2.0 [In Persian].

Bai, Y. R., Yang, P., Su, Y. Y., He, Z. L., & Ti, X. N. (2014). Effect of exogenous methanol on glycolate oxidase and photorespiratory intermediates in cotton. *Journal of Experimental Botany*, *65*(18), 5331-5338. DOI: 10.1093/jxb/eru294

Bey-kkhormizi, A., Abrishamchi, P., Ganjeali, A., & Parsa, M. (2016). Effect of vermicompost on some morphological, physiological and biochemical traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, *39*(6), 883-893. DOI: 10.1080/01904167.2015.1109104.

Beyk-Khormizi, A., Hosseini Sarghein, S., Sarafraz-Ardakani, M. R., Moshtaghioun, S. M., Mousavi-Kouhi, S. M., & Ganjeali, A. (2022). Ameliorating effect of vermicompost on *Foeniculum vulgare* under saline condition. *Journal of Plant Nutrition*, *39*(6), 883-893. DOI: 10.1080/01904167.2022.2092513

Bziouech, S. A., Dhen, N., Helaoui, S., Ammar, I. B., & Dridi, B.A.M. (2022). Effect of vermicompost soil additive on growth performance, physiological and biochemical responses of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L. var. Firenze) to salt stress. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, *34*(4), 316-328. DOI: 10.9755/ejfa.2022.v34.i4.2844

Darakeh, S.A.S.S., Weisany, W., Tahir, N.A.R., & Schenk, P. M. (2022). Physiological and biochemical responses of black cumin to vermicompost and plant biostimulants: Arbuscular mycorrhizal and plant growth-promoting rhizobacteria. *Industrial Crops and Products*, *188*, 115557. DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.115557

Del Pozo, A., Méndez-Espinoza, A. M., & Castillo, D. (2023). *Triticale*. In: Neglected and Underutilized Crops 325-362. Elsevier Inc, Talca Academic Press. DOI: 10.1016/B978-0-323-90537-4.00029-6

Dorokhov, Y. L., Sheshukova, E. V., & Komarova, T. V. (2018). Methanol in plant life. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1-16. DOI: 10.3389/fpls.2018.01623

Fall, R., & Benson, A. A. (1996). Leaf methanol, the simplest natural product from plants. *Trends Plant Sciences, 1*(9), 296-301. DOI: 1016/S1360-1385(96)88175-0

Follet, R. H., Murphy, L. S., & Donalue, R. L. (1981). Soil-fertilizer-plant relationship. *Fertilizer Soil Amend*, *6*(16), 478-481.

Gout, E., Aubert, S., Bligny, R., Rébeillé, F., Nonomura, A. R., Benson, A. ., & Douce, R. (2000). Metabolism of methanol in plant cells. Carbon-13 nuclear magnetic resonance studies. *Plant Physiology*, *123*(1), 287-296. DOI: 10.1104/pp.123.1.287

Hafez, E.M., Omara, A.E.D., Alhumaydhi, F.A., & El-Esawi, M.A. (2021). Minimizing hazard impacts of soil salinity and water stress on wheat plants by soil application of vermicompost and biochar. *Physiologia Plantarum*, *172*(2), 587-602. DOI: 10.1111/ppl.13261

Hagh Bahari, M., & Seyed Sharifi, R. (2014). Effects of seed inoculation with plant growth promoting bacteria (PGPR) on yield, rate and grain filling period at various levels of soil salinity. *Environmental Stresses in Crop Science*, *6*(1), 65-75 [In Persian].

Hamani, A.K.M., Li, S., Chen, J., Amin, A.S., Wang, G., Xiaojun, S., Zain, M., & Gao, Y. (2021). Linking exogenous foliar application of glycine betaine and stomatal characteristics with salinity stress tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seedlings. *BMC Plant Biology*, *21*(1), 1-12. DOI: 10.1186/s12870-021-02892-z

Hasani, Z., Pirdashti, H., Yaghoubian, Y., & Zaman Nouri, M. (2014). Application of chlorophyll fluorescence technique to evaluate the tolerance of Rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to cold temperature and water stresses. *Iranian Journal of Cell and Tissue*, *5*(2), 195-206 [In Persian].

Hassanpouraghdam, M. B., Mehrabani, L. V., Rahvar, M. R., Khoshmaram, L., & Soltanbeigi, A. (2022). Mollifying salt depression on *Anethum graveolens* L. by the foliar prescription of Nano-Zn, KNO3, Methanol, and Graphene Oxide. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *22*(2), 2000-2012. DOI: 10.1007/s42729-022-00789-w

Haston, A. D., & Roje, S. (2001). One carbon metabolism in higher plants. *Annual Review of Plant Biology, 52*, 119-138.

Hoque, M. N., Imran, S., Hannan, A., Paul, N. C., Mahamud, M. A., Chakrobortty, J., ... & Rhaman, M. S. (2022). Organic amendments for mitigation of salinity stress in plants: A review. *Life*, *12*(10), 1632. DOI: 10.3390/life12101632

Hossinzadeh, S. R., Salimi, A., Ganjeali, A., & Ahmadpour, R. (2014). Effects of foliar application of methanol on photosynthetic characteristics, chlorophyll fluorescence and chlorophyll content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, *5*(18), 115-132. DOI: 20.1001.1.20088264.1392.5.18.9.1

Ievinsh, G. (2020). Review on physiological effects of vermicomposts on plants. *Biology of Composts*, 63-86. DOI: 10.1007/978-3-030-39173-7_4

Kheirizadeh Arough, Y., Sharifi, R., & Khalilzadeh, R. (2019). Alleviation of salt stress effects in triticale (× *Triticosecale*) by bio fertilizers and zinc application. *Iranian Journal of*

Research, 31(4), 801-821. DOI: 20.1001.1.23832592.1397.31.4.5.7 [In Persian].

Kostopoulou, P., Barbayiannis, N., & Noitsakis, B. (2010). Water relations of yellow sweetclover under the synergy of drought and selenium addition. *Plant and Soil*, *330*, 65-71. DOI: 10.1007/s11104-009-0176-x

Kumari, R., Bhatnagar, S., Mehla, N., & Vashistha, A. (2022). Potential of organic amendments (AM fungi, PGPR, vermicompost and seaweeds) in combating salt stress–a review. *Plant Stress*, *6*, 100111. DOI: 10.1016/j.stress.2022.100111

Lakhdar, A., Rabhi, M., Ghnaya, T., Montemurro, F., Jedidi, N., & Abdelly, C. (2009). Effectiveness of compost use in saltaffected soil. *Hazardous Materials*, *171*(3), 29- 37. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.05.132

Me'rajipour, M., Movahhedi Dehnavi, M., Dehdari, A., Faraji, H., & Me'rajipour, M. (2012). Effect of drought stress on some physiological attributes of spring *Carthamus tinctorius* in Yasouj region. Environ. *Stresses Agricultural Science*, *5*(2), 125-134. DOI: 10.5829/idosi.aejaes.2012.12.07.1751

Mohammadi Kale Sarlou, S., Seyed Sharifi, R., & Narimani, H. (2022). Effects of vermicompost, humic acid and seed inoculation with Flabacterium on yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of triticale under soil salinity conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *15*(4), 953-974. DOI: 10.22069/EJCP.2022.19669.2469 [In Persian].

Mousavi, S.M., Akbarpour, V., Moradi, H., & Sadeghi, H. (2021). Effect of methanol and ethanol foliar application on some growth characteristics and some of secondary metabolites thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Plant Production Research*, *28*(1), 213-22. DOI: 10.22069/jopp.2021.18130.2685 [In Persian].

Muscolo, A., Bavolo, F., Gionfriddo, F., & Nardi, S. (1999). Earthworm humic matter produced auxinlike effects on Daucus carota cell growth and nitrate metabolism. *Soil Biology and Biochemistry*, *31*(9), 1303-1311. DOI: 10.1016/S0038-0717(99)00049-8

Nadali, A., Moradi, F., & Pazoki, A. (2010). The effects of methanol foliar application on RWC and chlorophyll fluorescence of sugar beet under drought conditions. *Iranian Crop Science Journal*, *4*(4), 731-740 [In Persian].

Narimani, H., & Seyed Sharifi, R. (2023). Effect of mycorrhiza and methanol on grain filling components, dry matter remobilization and yield of barley under soil salinity conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *16*(2), 383-401. DOI: 10.22077/escs.2022.4638.2051 [In Persian].

Nazary, G., Seyed Sharifi, R., & Arimani, H. (2021). Effect of Mycorrhiza, vermicompost and Nano silicon on agronomic and physiological traits of triticale under different intensities drought stress. *Journal of Crop Production*, *14*(4), 21-45. DOI:10.22069/EJCP.2022.18925.2413 [In Persian].

Nonomura, A. M., & Benson, A. A. (1992). The path of carbon in photosynthesis: improved crop yields with methanol. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *89*(20), 9794-9798. DOI: 10.1073/pnas.89.20.9794

Nourafcan, H., & Pouyanfar, M. (2017). Savory morpho-physiological traits affected by methanol and ethanol foliar application. *Agroecology Journal*, *13*(1), 9-17 [In Persian].

Ouda, L., Druga, R., & Syka, J. (2008). Changes in parvalbumin

immunoreactivity with aging in the central auditory system of the rat. *Experimental Gerontology*, *43*, 782–789. DOI: 10.1016/j.exger.2008.04.001

Pan, J., Peng, F., Tedeschi, A., Xue, X., Wang, T., Liao, J., Zhang, W., & Huang, C. (2020). Do halophytes and glycophytes differ in their interactions with arbuscular mycorrhizal fungi under salt stress? A meta-analysis. *Botanical Studies*, *61*, 1-13. DOI: 10.1186/s40529-020-00290-6

Qudsi, M., Vahabzadeh, M., Ghodsi, M., Vahabzadeh, M., Nazeri, M., Khodarahmi, M., Ghasemi, M., Kohkan, S. A., & Tajalli, H. (2013). Sanabad, A New Triticale Cultivar Suitable for Temperate and Cold-Temperate Regions of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, *2*(2), 143-153 [In Persian].

Rambery, H.A., Bradley, J.S.C., Olson, J.N., Nishio, J., Markwell, J. & Dstermen, J. C. (2002). The role of methanol in promoting plant growth: An update. *Review of plant Biochem, Biochemnol*, *1*, 113-126.

Saadpanah, A., Rokhzadi, A., & Mohammadi, K. (2013). Growth response of soybean to the application of *Bradyrhizobium japonicum* and foliar methanol spraying in field conditions. *International Journal of Biosciences*, *3*(4), 128-134. DOI: 10.12692/ijb/3.4.128-134

Scharf, P. C., Brouder, S. M., & Hoeft, R. G. (2006). Chlorophyll meter readings can predict nitrogen need and yield response of corn in the north-central USA. *Agronomy Journal*, *98*(3), 655-665. DOI: 10.2134/agronj2005.0070

Singh, V. K., Singh, B. D., Kumar, A., Maurya, S., Krishnan, S. G., Vinod, K. K., ... & Singh, A. K. (2018). Marker-assisted introgression of Saltol QTL enhances seedling stage salt tolerance in the rice variety "Pusa Basmati 1". *International Journal of Genomics*, 8319879. DOI: 10.1155/2018/8319879

Soghani, M., Yarnia, M., Paknejad, F., Farahvash, F., & Vazan, S. (2014). Effects of methanol on the yield and growth of soybean in different irrigation conditions. *International Journal of Biosciences*, *4*(8), 160-168 [In Persian].

Song, X., Li, H., Song, J., Chen, W., & Shi, L. (2022). Biochar/vermicompost promotes hybrid pennisetum plant growth and soil enzyme activity in saline soils. *Plant Physiology and Biochemistry*, *183*, 96-110. DOI: 10.1016/j.plaphy.2022.05.008

Sotiropoulos, T. E., Therios, I. N., Almaliotis, D., Papadakis, I., & Dimass, K. N. (2006). Response of cherry rootstocks to boron and salinity. *Journal of Experimental Botany*, *29*, 1691-1698. DOI: 10.1080/01904160600851650

Tammam, A., El-Aggan, W., Helaly, A., Badr, G., & El-Dakak, R. (2023). Proteomics and photosynthetic apparatus response to vermicompost attenuation of salinity stress Vicia faba leaves. *Acta Physiologiae Plantarum*, *45*(1), 17. DOI: 10.1007/s11738-022-03481-9

Valizadeh-Kamran, R., Vojodi Mehrabani, L., & Pessarakli, M. (2019). Effects of foliar application of methanol on some physiological characteristics of *Lavandula stoechas* L. under NaCl salinity conditions. *Journal of Plant Nutrition*, *42*(3), 261-268. DOI: 10.1080/01904167.2018.1554677

Wani, A.S., Ahmad, A., Hayat, S., & Tahir, I. (2019). Epibrassinolide and proline alleviate the photosynthetic and yield inhibition under salt stress by acting on antioxidant system in mustard. *Plant Physiology and Biochemistry*, *135*, 385-394. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.01.002

Yazdi Far, S.Y., Moradi, P., & Rad, M. Y. (2015). Effect of foliar application of methanol and chelated zinc on the quantities and qualities yield of marigold (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, *4*(12S), 170-176.

Zeeshan, M., Lu, M., Sehar, S., Holford, P., & Wu, F. (2020). Comparison of biochemical, anatomical, morphological, and physiological responses to salinity stress in wheat and barley genotypes deferring in salinity tolerance. *Agronomy*, *10*(1), 127. DOI: 10.3390/agronomy10010127

Zhang, Q., & Dai, W. (2019). Plant response to salinity stress. In Stress physiology of woody plants, 155-173 CRC Press.

Zhao, Y., Zeng, Z. D., Qi, C. J., Yu, X. S., Guo, C. L., Chen, Q., & Chen, L. M. (2014) Deciphering the molecular responses to methanol-enhanced photosynthesis and stomatal conductance in broad bean. *Acta physiologiae plantarum*, *36*, 2883-2896. DOI: 10.1007/s11738-014-1658-x

Zheng, Y. J., Yang, Y. Q., Liang, S. S., & Yi, X. F. (2008). Effect of methanol on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of flag leaves of winter wheat. *Agricultural Sciences in China*, *7*(4), 432-437. DOI: 10.1016/S1671-2927(08)60086-3