

Research Article

Plant Prod., 2022, 44(4), 475-488
http://plantproduction.scu.ac.ir//

ISSN (P): 2588-543X
ISSN (E): 2588-5979

Evaluation of Morpho-Physiological and Biochemical Characteristics of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) in Response to Different Irrigation Regimes and Spraying of Zn and Mn Nano-Fertilizers

Majid Ghanbari¹, Ali Mokhtassi-Bidgoli^{2*}, Kamran Mansour Ghanaei-Pashaki³,
Parniyan Talebi-Siah Saran⁴

- 1- Ph.D. Graduate of Crop Physiology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
- 2- ***Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (mokhtassi@modares.ac.ir)
- 3- Ph.D. Candidate of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Guilan University, Rasht, Iran
- 4- M.Sc. Graduate Student, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Citation: Ghanbari, M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Ghanaei-Pashaki, K. M., & Talebi-Siah Saran, P. (2022). Evaluation of morpho-physiological and biochemical characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in response to different irrigation regimes and spraying of Zn and Mn nano-fertilizers. *Plant Productions*, 44(4), 475-488.

 10.22055/PPD.2020.33041.1886

Received: 24 March 2020

Accepted: 29 June 2020

Abstract

Introduction

Sunflower (*Helianthus annuus* L.) is an annual plant belonging to the genus *Helianthus* and Astraceae (Kazi et al., 2002). Among abiotic stresses, drought stress is considered to be the most influential type of stress in the production of oil seeds in the world and can greatly reduce production on many arable lands. One of the primary effects of drought is the reduction of water content of plant tissues (Ghanbari et al., 2016). Nutrient spraying is one of the common methods of supplying nutrients to higher plants, whose efficiency is greater than soil fertilizer use when soil conditions are poor (Hay and Porter, 2006). Mn, as an activating factor in many enzymes, especially the enzymes involved in photosynthetic processes in plants. Manganese deficiency reduces growth, causing necrosis, and early fall of leaves (Tewari et al., 2005). Zn acts as part of the enzyme structure or as a cofactor. It is used to make RNA, DNA metabolism of carbohydrates, oils and proteins (Shahrokhi et al., 2012). To investigate the effect of Zn Nano-fertilizer in combination with Mn Nano-fertilizer on improving sunflower resistance under water



deficit conditions by measuring changes in yield, yield components and biochemical properties of sunflower were studied here to see the results

Materials and Methods

This research was carried out as a factorial experiment in a randomized complete block design with three replications in Lahijan Agricultural Jihad Research Farm in 2019. Factorial combinations of four treatments of water deficit stress (15% (un-stressed control), 30% (mild stress), 45% (moderate stress) and 60% (severe stress) of FC depletion) and four spraying (Control (distilled water), Zn, Mn and Zn+Mn Nano-fertilizer) with 4 mg.l⁻¹ concentration were examined. Drip irrigation (T-tape) applied the row length in each experimental plot was 6 m, 50 cm apart. The distance between the plots and between the repetitions was 1 and 3.5 m, respectively.

Results and Discussion

The results revealed that the interaction between irrigation regime and spraying was significant in harvest index, peroxidase, seed protein, seed oil and oil yield; in other traits the main effects were significant. Co-application of Zn and Mn Nano-chelates in panicle and stem diameter, grain yield, photosynthesis rate and protein yield increased by 26.69, 29.77, 34.37, 61.30 and 57.17%, respectively. Spraying of zinc and manganese nano-chelates also improved grain yield and protein yield by 17.86 and 36.68%, respectively, under severe stress conditions.

Conclusion

In general, it can be concluded that the application of Zn and Mn Nano-fertilizers is effective in increasing grain yield, protein and oil yield and photosynthesis under stress conditions and it is very effective in resistance to sunflower plant by reducing the activity of stress enzymes and reducing severe yield loss. Finally, co-application of zinc and manganese Nano-fertilizers depending on the stress areas is recommended for optimal performance under drought stress condition.

Keywords: Anti-oxidant, Drought, Micro nutrients, Nano chelate, Water deficit

ارزیابی صفات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دانه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) به رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی با نانوکودهای روی و منگنز

مجید قنبری^۱، علی مختصی بیدگلی^{۲*}، کامران منصور قناعی پاشاکی^۳، پرینان طالبی سیه‌سران^۴

۱- دانش‌آموخته دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- نویسنده مسئول: استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (mokhtassi@modares.ac.ir)

۳- دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گل و گیاهان زینتی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۰۵

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی کاربرد نانوکودهای روی و منگنز بر کاهش اثرهای کمبود آب آبیاری بر آفتابگردان تحت شرایط مزرعه مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی جهاد کشاورزی لاهیجان اجرا شد. تیمارها شامل؛ چهار سطح آبیاری ۱۵ (شاهد)، ۳۰ (تنش ملایم)، ۴۵ (تنش متوسط) و ۶۰ (تنش شدید) درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس خاک و چهار سطح محلول‌پاشی شامل؛ آب‌مقطر (شاهد)، نانو کلات روی، نانو کلات منگنز و نانو کلات روی + نانو کلات منگنز با غلظت ۴ در هزار بودند. نتایج این تحقیق نشان داد که برهمکنش رژیم آبیاری و محلول‌پاشی در صفات شاخص برداشت، پراکسیداز، پروتئین دانه، روغن دانه و عملکرد روغن معنی‌دار بود و در بقیه صفات اثرات اصلی معنی‌دار شد. کاربرد توأم نانوکودهای روی و منگنز در صفات قطر طبق و ساقه، عملکرد دانه، سرعت فتوسنتز و عملکرد پروتئین به ترتیب ۲۶/۶۹، ۲۹/۷۷، ۳۴/۳۷، ۶۱/۳۰ و ۵۷/۱۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین، محلول‌پاشی نانوکودهای روی و منگنز به طور میانگین ۱۷/۸۶ و ۳۶/۶۸ درصد شاخص برداشت و پروتئین دانه را نسبت به تیمار شاهد تحت شرایط تنش شدید بهبود بخشید. به‌طور کلی، کاربرد توأم نانوکودهای روی و منگنز در افزایش عملکرد دانه، پروتئین و روغن و همچنین افزایش فتوسنتز در شرایط تنش مؤثر بوده و در بروز مقاومت در گیاه آفتابگردان از طریق کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش افت شدید عملکرد بسیار مؤثر است. در نهایت، کاربرد توأم نانوکودهای روی و منگنز جهت حصول عملکرد مطلوب تحت شرایط تنش خشکی توصیه می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: آنتی‌اکسیدان، خشکی، ریز مغذی، کم‌آبی، نانو کلات

مقدمه

روغنی در جهان است که به دلیل مناسب بودن نیازهای زراعی، عملکرد بالای روغن، بالا بودن ارزش غذایی و فقدان عوامل ضد تغذیه‌ای، سطح زیر کشت آن افزایش یافته است (Kazi et al., 2002). سطح زیر کشت آفتابگردان

آفتابگردان زراعی (*Helianthus annuus* L.) گیاهی یک‌ساله و متعلق به جنس هلیانتوس و تیره آستراسه (Asteraceae) است. آفتابگردان یکی از عمده‌ترین دانه‌های

دانه، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه اسفروزه معنی دار بود و تیمار محلول پاشی با روی، بیشترین عملکرد دانه را تولید کرد، به طوری که عملکرد آن ۲۲ درصد نسبت به شاهد بیشتر بود (Ramroudi et al., 2011). تنش خشکی در مرحله زایشی انتقال عناصر روی و منگنز به دانه را محدود می کند. تحقیقات نشان داد که با اعمال تنش خشکی در دو مرحله گلدهی و پر شدن دانه ها از میزان این عناصر نسبت به تیمار شاهد در دانه ها کاسته شد (Babaeian et al. 2010). پژوهش ها نشان داد محلول پاشی عناصر آهن، منگنز و روی موجب بهبود رشد گندم تحت تنش شوری گردید. هم چنین، در مورد یونجه گزارش شده که تغذیه کافی روی، هم در تحمل به تش و هم در تحمل رطوبت بیش از حد نیز، نقش اساسی دارد (El-Fouly et al., 2011; Grewal and Williams, 2000). پژوهشگران گزارش کردند که با مصرف کودهای ریز مغذی به ویژه سولفات منگنز، علاوه بر افزایش تولید و غنی سازی دانه گندم، بذرهایی گندم به دلیل ذخیره سازی از ریشه دهی بیشتری در شرایط تنش برخوردار می شوند (Soofi et al., 2017). تحقیقات روی تأثیر تنش خشکی و محلول پاشی روی، آهن و منگنز بر خصوصیات کمی و کیفی آفتابگردان رقم هایسان ۳۳ نشان داد که کاربرد محلول پاشی عناصر ریز مغذی به ویژه روی، آهن و منگنز اثر تنش خشکی را در اکثر صفات مورد مطالعه به ویژه عملکرد دانه و روغن کاهش داد (Dindoost-Eslam and Yousefzadeh, 2013). نتایج بررسی اثر تنش خشکی و محلول پاشی عناصر کم مصرف بر ویژگی های فیزیولوژیکی و جذب عناصر غذایی در آفتابگردان نشان داد که تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه ها بیشترین کاهش را در عملکرد دانه آفتابگردان باعث شود. هر چند بیشترین میزان فلورسانس کلروفیل و غلظت کربوهیدرات و پرولین در مرحله گلدهی به دست آمده آمد، اما به علت کاهش طول دوره پر شدن دانه ها و نیز عدم جذب کافی عناصر کم مصرف به ویژه منگنز، تأثیر تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه بیشتر از مرحله گلدهی بود (Babaeian et al. 2010). با توجه به

در ایران ۴۰۰۰۰ هکتار، میزان تولید آن ۴۰۰۰۰ تن و عملکرد آن یک تن در هکتار است (FAO, 2018). قطب تولید آفتابگردان در ایران استان های کرمانشاه، آذربایجان غربی، مازندران و خراسان رضوی است (Ministry of Agriculture, 2018).

تنش خشکی، محدود کننده ترین عامل تولید موفقیت آمیز گیاهان زراعی در سراسر جهان به حساب می آید و این عامل، زمانی ایجاد می شود که ترکیبی از عوامل فیزیکی و محیطی سبب تنش در گیاه شوند و در نتیجه تولید را کاهش می دهند. این کاهش در نتیجه تأخیر یا عدم استقرار گیاه، تضعیف یا از بین رفتن گیاهان استقرار یافته، مستعد شدن گیاه نسبت به حمله بیماری ها و آفات گیاهی و تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در سوخت و ساز گیاهان به وجود می آید (Mahajan and Tuteja, 2005). محلول پاشی عناصر غذایی یکی از روش های معمول تأمین نیاز غذایی گیاهان عالی است که کارایی آن وقتی شرایط خاک برای دسترسی عناصر نامناسب است، بیشتر از مصرف خاکی کود است (Erdal et al., 2004). کوددهی برگی یا محلول پاشی در واقع اسپری کردن عناصر غذایی بر برگ ها و ساقه های گیاه و جذب آن ها از این مکان هاست (Kuepper, 2003). در مناطق خشک و نیمه خشک هم چون ایران، محلول پاشی عناصر غذایی مطلوب تر از کاربرد خاک مصرف این کودها است، زیرا تحت این شرایط جذب مواد غذایی کاهش می یابد (Monsef Afshar et al., 2012). منگنز، به عنوان عامل فعال کننده در بسیاری از آنزیم ها به ویژه آنزیم های درگیر در فرآیندهای فتوسنتزی گیاهان نقش دارد. کمبود منگنز باعث کاهش رشد، نکروزه شدن و ریزش زودتر از موعد برگ ها می شود (Tewari et al., 2005). روی، به عنوان بخشی از ساختمان آنزیم ها و یا به صورت کوفاکتور عمل می کند. این عنصر برای ساخت DNA، RNA، متابولیسم کربوهیدرات ها، روغن ها و پروتئین ها استفاده می شود (Shahrokhi et al., 2012). مطالعات نشان دادند تأثیر محلول پاشی عناصر ریز مغذی (آهن، روی و منگنز) بر عملکرد بیولوژیکی و

منبع سولفات پتاسیم قبل از کاشت به خاک اضافه شد. طول هر کرت آزمایشی ۶ متر و عرض ۳ متر بود. فاصله هر خط کاشت ۵۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌ها و بین تکرارها به ترتیب سه متر و ۳/۵ متر در نظر گرفته شد. هم‌چنین محلول پاشی نانو کودهای روی و منگنز نیز مطابق توصیه شرکت و نیاز گیاه آفتابگردان به دلیل اجتناب از اثر سمیت احتمالی غلظت بالای آن‌ها با توجه به نوع و میزان محلول پاشی، یک بار در مرحله رشد رویشی (مرحله ۲، رشد اولیه) و بار دیگر در مرحله رشد زایشی (مرحله ۴، گلدهی) انجام شد. با این غلظت هیچ گونه علائم سمیت روی و منگنز در گیاه مشاهده نشد. برای محلول پاشی از سمپاش بادی پشتی با فشار دائم به حجم ۱۲ لیتر استفاده شد. به منظور جلوگیری از نشت آب به سایر کرت‌ها از آبیاری به صورت قطره‌ای-نواری (T-tape) استفاده گردید.

زمان بندی آبیاری بر اساس درصد تخلیه رطوبت خاک در ظرفیت زراعی در منطقه ریشه و عمق مدیریت آبیاری برای آفتابگردان حدود ۳۰ سانتی متر در نظر گرفته شد که با استفاده از روابط یک و دو محاسبه گردید. هم‌چنین، برای کشت، تراکم هشت بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. مقدار آب خاک ابتدا به روش وزنی و سپس با استفاده از دستگاه TDR (Time- Domain Reflectometry) مدل (IMKO- GmbH, D-76275, Germany) در عمق ذکر شده تعیین گردید. برای تعیین رابطه بین مقدار عددی ارائه شده توسط TDR و درصد حجمی رطوبت خاک اندازه گیری شده به روش وزنی از منحنی کالیبراسیون استفاده شد. برای استفاده از TDR، در مرکز هر واحد آزمایشی یک لوله دسترسی (Access tube) از جنس PVC تعبیه شد. هم‌چنین، برای تعیین مقدار آب آبیاری از لوله‌های مجهز به کنتور استفاده گردید. با استفاده از داده‌های به دست آمده و رابطه یک، درصد تخلیه آب قابل دسترس خاک در منطقه مؤثر ریشه ارزیابی شد.

رابطه ۱

$$\text{Maximum Allowable Depletion (MAD)} = (FC - \theta) / (FC - PWP)$$

این که بیشتر اراضی کشور تحت تأثیر تنش خشکی بوده و آفتابگردان گیاهی حساس به تنش خشکی است، هم‌چنین به دلیل استفاده نانو کودهای ریز مغذی به عنوان نوعی راهکار جهت جذب عناصر ریز مغذی و تأثیر آن بر بهبود رشد و نمو آفتابگردان، در این راستا، جهت بررسی چگونگی تأثیر محلول پاشی نانو کود روی در ترکیب با نانو کود منگنز بر بهبود مقاومت آفتابگردان در شرایط کمبود آب از طریق اندازه گیری تغییرات در میزان عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی آفتابگردان، پژوهش فوق در شرایط مزرعه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثرات رژیم‌های مختلف آبیاری و نانو کودهای روی و منگنز بر عملکرد، اجزای عملکرد، تغییرات مورفوفیزیولوژیکی و آنزیمی گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*)، پژوهشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی جهاد کشاورزی لاهیجان با موقعیت عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی، طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۹۰ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۱۴ متر از سطح دریا اجرا شد. تیمارها شامل؛ چهار سطح آبیاری ۱۵ (شاهد)، ۳۰ (تنش ملایم)، ۴۵ (تنش متوسط) و ۶۰ (تنش شدید) درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس خاک و چهار سطح محلول پاشی شامل؛ آب مقطر (شاهد)، نانو کلات روی، نانو کلات منگنز و نانو کلات روی+نانو کلات منگنز با غلظت ۴ میلی گرم در یک لیتر آب مقطر بودند. نانو کلات‌های روی و منگنز با بنیان پلی فنل و محصولی از شرکت دبکو بودند. سطوح تنش خشکی اعمال شده، مابین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم خاک منطقه تحت آزمایش برای تعیین واکنش گیاه به سطوح متفاوت آب خاک تعیین گردید (Mokhtassi Bidgoli et al., 2013). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. مقادیر کودهای شیمیایی مورد نیاز بر اساس نتایج آزمون خاک مشخص و عناصر نیتروژن از منبع اوره و پتاسیم از

Table 1. Physicochemical properties of the studied soil

Texture	FC % by volume	PWP	S	K mg.kg ⁻¹	P	T.N	O.M %	pH	EC dS.m ⁻¹	SD cm
Loam	22.87	8.26	51.5	328	17	0.12	0.8	7.6	1.1	0-30

پروتئین بر دقیقه گزارش شد. فتوسنتز گیاه با استفاده از سیستم تبادل گاز قابل حمل (Portable gas exchange system Li-Cor 6400, Li-Cor Inc., Lincoln, NE,) (USA) اندازه گیری گردید. داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ (SAS Institute Inc., 2015) تجزیه شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD (حداقل تفاوت معنی دار) و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

قطر ساقه و طبق

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که قطر ساقه و طبق تحت تأثیر تحت تأثیر رژیم آبیاری و محلول پاشی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). بین رژیم‌های مختلف آبیاری بیشترین قطر طبق و ساقه در تیمار شاهد (۱۲/۱۱ و ۱/۴۰ سانتی متر) مشاهده شد که قطر طبق با تنش ملایم تفاوت معنی داری نداشت و کم‌ترین آن‌ها در تنش شدید (۹/۱۷ و ۰/۷۸ سانتی متر) دیده شد که به ترتیب ۱۹/۸۱ و ۴۴/۲۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۳). از نظر محلول پاشی، بیشترین قطر طبق و ساقه در کاربرد توأم نانوکلات‌های روی و منگنز (۱۲/۳۶ و ۱/۳۱ سانتی متر) و کم‌ترین آن‌ها در شاهد (۹/۰۶ و ۰/۹۲ سانتی متر) وجود داشت که به ترتیب ۲۶/۶۹ و ۲۹/۷۷ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۳). پژوهشگران در بررسی اثرات تنش خشکی بر عملکرد دانه و روغن دو رقم آفتابگردان گزارش نمودند که اثر تنش خشکی بر قطر طبق و ساقه معنی دار بوده (Yadollahi et al., 2017) و بروز تنش از طریق کاهش سطح برگ و ریزش آن‌ها منجر به کاهش منابع فتوسنتزی و افت فعالیت‌های آنزیمی مؤثر در این فرآیند شده و ادامه تنش خشکی در مراحل گلدهی و گرده افشانی موجب ایجاد اختلال در گرده افشانی حشرات و در نهایت منجر به افت گلچه‌های

در این فرمول FC و PWP به ترتیب رطوبت خاک در محدوده ظرفیت زراعی (Field capacity) و نقطه پژمردگی دائم (Permanent wilting point) (جدول ۱) و θ درصد حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری است (Mokhtassi-Bidgoli et al., 2013). θ بر اساس تیمارهای آبیاری تنظیم شده و مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری از رابطه ۲ محاسبه گردید:

رابطه ۲

$$Vd = MAD \times ASW \times Rz \times 10$$

در این فرمول Vd حجم آب آبیاری (میلی متر)، ASW (Available Soil Water) آب قابل دسترس خاک برابر با ۱۱۷/۶ میلی متر در هر متر عمق خاک و Rz عمق مؤثر ریشه برابر با ۰/۳ متر است (Mokhtassi-Bidgoli et al., 2013). مقدار آب استفاده شده برای آبیاری همه تیمارها در مرحله رشد رویشی پس از استقرار گیاه تا مرحله رسیدگی گیاه اعمال گردید. در پایان مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی عملیات برداشت صورت گرفت و بر حسب رطوبت ۱۴ درصد، عملکرد و اجزای عملکرد اندازه گیری شد. در زمان برداشت، برای تعیین ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد تعداد ۱۰ بوته به طور تصادفی از هر کرت انتخاب و به آزمایشگاه منتقل شدند. درصد پروتئین و روغن دانه با استفاده از دستگاه اینفراماتیک (بر اساس طیف‌سنجی مادون قرمز) مدل ۸۶۲۰ ساخت سونند اندازه گیری شد (Bradford, 1976). عملکرد پروتئین از حاصلضرب درصد پروتئین دانه و عملکرد دانه، و عملکرد روغن از حاصلضرب درصد روغن دانه و عملکرد دانه به دست آمده آمد. برای اندازه گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، در طول موج ۲۴۰ نانومتر برای آنزیم کاتالاز (Cakmak and Horst, 1991) و در طول موج ۲۷۰ نانومتر برای آنزیم پراکسیداز (Ghanati et al., 2002) با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر به صورت تغییرات جذب بر میلی گرم

Table 2. Analysis of variance (mean square) of effect of Zn and Mn nano-fertilizer on morpho- physiological characteristics in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) under different irrigation regimes

S.O.V.	df	Stem diameter	Capital diameter	Photosynthesis rate	Catalase	Peroxidase	Seed yield	Harvesting index	Seed protein	Seed oil	Protein yield	Oil yield
Block	2	0.05**	0.74 ^{ns}	14.62**	351.82 ^{ns}	0.54**	0.03*	1.03*	2.92**	0.72 ^{ns}	0.04 ^{ns}	55.96**
Irrigation Regime	3	0.83**	21.04**	104.52**	27291.28**	10.64**	1.18**	91.35**	62.68**	27.58**	597.48**	1232.39**
Spraying solution	3	0.30**	23.72**	319.55**	13202.24**	9.08**	0.60**	68.75**	95.50**	80.26**	580.99**	309.40**
Irrigation regime × Spraying solution	9	0.003 ^{ns}	0.26 ^{ns}	1.11 ^{ns}	259.42 ^{ns}	0.39**	0.01 ^{ns}	2.97**	10.91*	12.57*	4.13 ^{ns}	82.62*
Error	30	0.002	0.32	1.32	169.39	0.07	0.007	0.29	0.41	0.69	2.39	9.00
C.V. (%)	-	4.81	5.11	8.24	10.78	11.45	6.45	1.32	4.49	2.21	7.86	6.24

* and ** Represents a significance at a probability level of 5% and 1%, respectively, and ns; non-significant.

Table 3. Main effects of irrigation regime and Zn and Mn Nano-fertilizer on measured traits in Sunflower

Treatment	Stem diameter (cm)	Capital diameter (cm)	Photosynthesis rate ($\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Catalase (A.mgPro.min ⁻¹)	Seed yield (Ton.ha ⁻¹)	Protein yield (Ton.ha ⁻¹)
Irrigation regime	15% FC (Control)	1.40±0.04 ^a	12.11±0.32 ^a	16.50±1.37 ^a	76.47±7.66 ^d	25.86±1.87 ^a
	30% FC (Mild Stress)	1.21±0.04 ^b	11.83±0.35 ^a	15.96±1.38 ^a	93.51±7.58 ^c	24.70±1.90 ^a
	45% FC (Moderate Stress)	1.01±0.04 ^c	11.09±0.44 ^b	13.39±1.44 ^b	127.96±8.88 ^b	17.37±2.15 ^b
	60% FC (Sever Stress)	0.78±0.05 ^d	9.17±0.45 ^c	10.05±1.39 ^c	184.54±12.24 ^a	10.70±1.50 ^c
Spraying solution	Control	0.92±0.07 ^c	9.06±0.45 ^c	7.96±0.77 ^c	158.97±16.62 ^a	12.48±1.74 ^d
	Zn Nano-Fertilizer	1.10±0.07 ^b	11.43±0.35 ^b	13.86±0.96 ^b	122.39±11.77 ^b	17.72±1.75 ^c
	Mn Nano-Fertilizer	1.07±0.06 ^b	11.36±0.33 ^b	13.50±0.94 ^b	123.16±11.33 ^b	19.30±1.98 ^b
	Zn+Mn Nano-Fertilizer	1.31±0.07 ^a	12.36±0.35 ^a	20.57±0.74 ^a	77.96±11.75 ^c	29.14±2.07 ^a

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 1% probability level by the LSD test.

فتوستنتز می‌گردد، به گونه‌ای که سرعت فتوستنتز در شرایط کمبود آب کاهش می‌یابد (Darwish et al., 2002). نتایج بررسی خصوصیات فتوستنتزی دو رقم ارزن علوفه‌ای در شرایط تنش نشان داد که با افزایش سطوح تنش از میزان هدایت روزنه‌ای، غلظت کلروفیل و سرعت فتوستنتز گیاه به شدت کاسته شد (Noroozi et al., 2013). ابعاد کمبود آب روی گیاه گسترده بوده و اصولاً تنش آبی از بزرگ شدن سلول بیش از تقسیمات سلولی جلوگیری می‌نماید و در واقع رشد گیاه را از طریق بازدارداری مراحل مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مانند فتوستنتز، تنفس، انتقال، جذب یونی، کربوهیدرات‌ها، متابولیسم عناصر غذایی و هورمون‌ها محدود می‌سازد (Imanullah and Isoda, 2005). پژوهشگران اثرات محلول‌پاشی عنصر روی در افزایش رشد رویشی و افزایش ظرفیت فتوستنتزی گیاه در متابولیت‌های ساختمانی را گزارش نموده‌اند (Mirvat et al., 2006). مطالعات نشان دادند استفاده از عناصر ریز مغذی در مقایسه با تیمار شاهد درصد و عملکرد اسانس و میزان فتوستنتز و رشد را در گیاه ریحان مقدس به طور معنی‌داری افزایش داد (Moghadam et al., 2015). در این بین، منگنز در گیاه نقش مهمی در پروسه‌های اکسیداسیون و احیا مانند انتقال الکترون در فتوستنتز بازی کرده و علاوه بر آن به عنوان فعال‌کننده بسیاری از آنزیم‌ها که با متابولیسم کربوهیدرات‌ها، واکنش فسفری شدن و چرخه اسید سیتریک سرو کار دارند، نقش دارد (Dubey et al., 2003).

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز

کاتالاز و پراکسیداز تحت تأثیر کلیه اثرات اصلی و پراکسیداز تحت تأثیر برهمکنش رژیم آبیاری و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بین رژیم‌های مختلف آبیاری بیشترین فعالیت کاتالاز در تنش شدید (۱۸۴/۵۴) تغییرات جذب بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) و کم‌ترین آن در شاهد (۷۶/۴۷) تغییرات جذب بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) دیده شد که ۵۸/۵۶ درصد نسبت به شاهد افزایش

بارور و کاهش قطر طبق می‌گردد (Heidari and Karami, 2013). کاهش قطر ساقه در اثر تنش خشکی را می‌توان به کاهش فشار تورژسانس و ابعاد سلول‌ها مرتبط دانست (Upadhyaya and Panda, 2004). پژوهشگران گزارش کردند که در شرایط تنش شدید خشکی تیمار کودی گوگرد + آهن + روی توانست ویژگی‌های مورفولوژیک گلرنگ به ویژه قطر ساقه و طبق را نسبت به تیمار شاهد بدون محلول‌پاشی تحت تنش شدید افزایش دهد (Ravi et al., 2008). به نظر می‌رسد با مصرف عنصر روی و منگنز، به علت نقش فعال آن‌ها در ترکیب آنزیم‌های فتوستنتزی و متابولیسم گیاهی از طریق افزایش سطح فتوستنتزکننده، جذب و انتقال مواد فتوستنتزی و هورمون‌های تحریک‌کننده رشد به مریستم‌های جانبی افزایش یافته و مجموعه این عوامل سبب افزایش تحریک مریستم‌های جانبی و گلچه‌های بارور شده و موجب افزایش قطر ساقه و طبق می‌گردد (Srivastava et al., 2015).

سرعت فتوستنتز

این صفت، تحت تأثیر رژیم آبیاری و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بین رژیم‌های مختلف آبیاری بیشترین سرعت فتوستنتز در شاهد (۱۶/۵۰ میکرومول CO_2 بر متر مربع بر ثانیه) مشاهده شد که با تنش ملایم تفاوت معنی‌داری نداشت و کم‌ترین آن در تنش شدید (۱۰/۰۵ میکرومول CO_2 بر متر مربع بر ثانیه) دیده شد که ۳۹/۰۹ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۳). از نظر محلول‌پاشی، بیشترین عملکرد دانه در کاربرد توأم نانوکلرات‌های روی و منگنز (۲۰/۵۷ میکرومول CO_2 بر متر مربع بر ثانیه) و کم‌ترین آن در شاهد (۷/۹۶ میکرومول CO_2 بر متر مربع بر ثانیه) وجود داشت که ۶۱/۳۰ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۳). در واقع بسیاری از گزارش‌ها حاکی از تأثیر عوامل تنش‌زا بر سرعت فتوستنتز برگ در شرایط تنش خشکی است (Schutz and Fangmeier, 2001). تنش خشکی با تغییر در سنتز و مقدار رنگدانه‌های گیاهی، سبب اختلال در فرآیند

تولید بیش از حد رادیکال‌های آزاد اکسیژن، تولید پراکسید هیدروژن ناشی از یون سوپراکسید کاهش یافته و در نتیجه فعالیت آنزیم کاتالاز کاهش می‌یابد. آنزیم پراکسیداز نیز از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بوده که در شرایط تنش افزایش فعالیت آن در بیشتر گیاهان گزارش شده است. افزایش فعالیت در این آنزیم زمانی رخ می‌دهد که یون پراکسید درون سلولی افزایش یابد. این گونه فعال اکسیژن در اثر تنش‌های محیطی مختلف از جمله کم‌آبی، شوری و تشعشع بالا زیاد می‌شود (Smirnov, 1998). در مطالعه‌ای روی گلرنگ اثر کمبود روی بر فتوسنتز و فعالیت آنتی‌اکسیدانی مطالعه شد. در این مطالعه کمبود روی موجب کاهش فعالیت کربونیک آنهیدراز، فعالیت واکنش هیل، هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز و تعرق گردید (Alloway, 2004). روی در سنتز تریپتوفان، پیش ماده ساخت اکسین، طول عمر رنگدانه‌های کلروفیل و پیری برگ، متابولیسم کربوهیدرات‌ها و سنتز پروتئین‌ها در گیاهان اثر داشته (Alloway, 2004) و منگنز به دلیل حضور در سیستم آنزیمی آرژیناز و فسفوترانسفراز، در واکنش‌های انتقال الکترون در گیاه و در تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نیز نقش دارد (Fageria, 2009).

یافت (جدول ۳). از نظر محلول‌پاشی، بیشترین فعالیت کاتالاز در شاهد (۱۵۸/۹۷ تغییرات جذب بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) و کم‌ترین آن در کاربرد توأم نانوکلات‌های روی و منگنز (۷۷/۹۶ تغییرات جذب بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) وجود داشت که ۵۰/۹۵ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۳). در کلیه سطوح محلول‌پاشی، با افزایش سطوح تنش خشکی، بیشترین فعالیت پراکسیداز، مربوط به تنش شدید و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۴). محلول‌پاشی نانوکلات روی، نانوکلات منگنز و کاربرد توأم نانوکلات‌های روی و منگنز به ترتیب ۳۱/۶۴، ۳۲/۲۱ و ۶۳/۲۹ درصد فعالیت آنزیم پراکسیداز را نسبت به تیمار شاهد تحت شرایط تنش شدید کاهش داد (جدول ۴). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، مسئول پاک‌سازی گونه‌های اکسیژن فعال تولید شده ناشی از تنش می‌باشند. فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز مطابق نتایج به دست آمده در شرایط تنش کم‌آبی افزایش می‌یابد. در شرایط تنش کم‌آبی، افزایش غلظت پراکسید هیدروژن توسط فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (Bowler et al., 1992)، سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز برای تجزیه پراکسید هیدروژن می‌گردد اما در شرایط بدون تنش به دلیل عدم

Table 4. Interaction effects of irrigation regime and spraying solution on measured traits in Sunflower

Spraying Solution	Irrigation Regime	Peroxidase (A.mg Pro.min ⁻¹)	Harvesting index	Protein (%)	Seed Oil (%)	Oil Yield (Ton.ha ⁻¹)
Control	15% FC (Control)	2.19±0.16 ^c	40.87±0.19 ^a	13.43±0.66 ^a	38.53±0.54 ^c	52.93±0.52 ^a
	30% FC (Mild Stress)	2.45±0.25 ^{bc}	40.55±0.25 ^a	12.83±0.60 ^a	38.93±0.59 ^c	52.06±0.60 ^a
	45% FC (Moderate Stress)	3.31±0.37 ^b	37.15±0.21 ^b	10.57±0.42 ^b	40.85±0.66 ^b	37.19±2.12 ^b
	60% FC (Sever Stress)	5.34±0.29 ^a	31.77±0.54 ^c	7.63±0.25 ^c	43.45±0.28 ^a	26.72±4.47 ^c
Zn Nano-Fertilizer	15% FC (Control)	1.52±0.18 ^c	43.09±0.33 ^a	15.62±0.43 ^a	36.34±0.44 ^c	55.42±1.86 ^a
	30% FC (Mild Stress)	1.74±0.15 ^{bc}	42.69±0.33 ^a	15.17±0.44 ^a	36.67±0.46 ^{bc}	54.75±1.93 ^a
	45% FC (Moderate Stress)	2.28±0.17 ^b	40.68±0.36 ^b	13.08±0.52 ^b	37.84±0.55 ^b	41.87±1.36 ^b
	60% FC (Sever Stress)	3.65±0.14 ^a	37.84±0.21 ^c	10.85±0.10 ^c	39.78±0.17 ^a	36.63±1.08 ^c
Mn Nano-Fertilizer	15% FC (Control)	1.76±0.13 ^c	42.93±0.49 ^a	16.72±0.41 ^a	36.36±0.36 ^c	56.65±2.72 ^a
	30% FC (Mild Stress)	1.97±0.11 ^c	42.64±0.51 ^a	16.38±0.40 ^a	36.75±0.38 ^c	55.75±2.52 ^a
	45% FC (Moderate Stress)	2.53±0.12 ^b	40.69±0.44 ^b	14.28±0.65 ^b	37.87±0.22 ^b	44.13±1.48 ^b
	60% FC (Sever Stress)	3.62±0.18 ^a	37.76±0.26 ^c	10.72±0.16 ^c	40.01±0.12 ^a	36.59±0.77 ^c
Zn+Mn Nano-Fertilizer	15% FC (Control)	0.67±0.10 ^c	44.95±0.11 ^a	19.23±0.45 ^a	33.30±0.66 ^a	60.85±1.24 ^a
	30% FC (Mild Stress)	0.92±0.08 ^c	44.80±0.14 ^a	18.97±0.47 ^{ab}	33.62±0.69 ^a	60.52±1.39 ^a
	45% FC (Moderate Stress)	1.26±0.10 ^b	43.25±0.26 ^b	17.84±0.22 ^b	34.97±0.66 ^a	56.50±1.09 ^a
	60% FC (Sever Stress)	1.96±0.07 ^a	40.57±0.25 ^c	15.75±0.25 ^c	34.64±0.25 ^a	40.43±2.62 ^b

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level by the LSD test. (Slice on the level of Spraying Solution). Mean±STDERR.

عملکرد دانه و شاخص برداشت

نتایج جدول ۲ نشان داد که عملکرد دانه و شاخص برداشت تحت تأثیر رژیم آبیاری و محلول‌پاشی و شاخص برداشت تحت تأثیر برهمکنش رژیم آبیاری و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲). بین رژیم‌های مختلف آبیاری بیشترین عملکرد دانه در شاهد (۱/۵۷ تن در هکتار) مشاهده شد که با تنش ملایم تفاوت معنی‌داری نداشت و کم‌ترین آن در تنش شدید (۰/۹۰ تن در هکتار) دیده شد که ۴۲/۶۷ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۳). از نظر محلول‌پاشی، بیشترین عملکرد دانه در کاربرد توأم نانو کلات‌های روی و منگنز (۱/۶۰ تن در هکتار) و کم‌ترین آن در شاهد (۱/۰۵ تن در هکتار) وجود داشت که ۳۴/۳۷ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۳). در کلیه سطوح محلول‌پاشی، با افزایش سطوح تنش خشکی، بیشترین شاخص برداشت، مربوط به تیمار شاهد و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تنش شدید بود (جدول ۴). محلول‌پاشی نانو کلات روی، نانو کلات منگنز و کاربرد توأم نانو کلات‌های روی و منگنز به ترتیب ۱۹/۱۰، ۱۸/۸۵ و ۲۷/۶۹ درصد شاخص برداشت را نسبت به تیمار شاهد تحت شرایط تنش شدید بهبود بخشید (جدول ۴). محققین در بررسی صفات کمی و کیفی و شاخص‌های تحمل ارقام آفتابگردان در شرایط تنش خشکی و بدون تنش کاهش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان را تحت شرایط تنش گزارش نمودند (Tabatabaei and Shakeri, 2013). کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و شاخص برداشت تحت شرایط تنش توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Soleimanzadeh et al., 2010; Yadollahi et al., 2017). پژوهشگران دریافته‌اند که از اثرات کمبود آب کاهش توسعه سلول از طریق نقصان در آماس سلول است، که این امر سبب کاهش طویل شدن ساقه، کاهش برگ و فتوسنتز گیاه می‌گردد، که نتیجه آن کاهش عملکرد دانه، اجزای عملکرد و شاخص برداشت گیاه است

(Tabatabaei and Shakeri, 2013). پژوهشگران گزارش نمودند که کاربرد محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی افزایش عملکرد گیاه یونجه و صفات کیفی آن را به همراه داشته است (Naderi, 2017). پژوهشگران در مورد علل آن چنین اظهار داشتند که با توجه به نقش اساسی این عنصر در گیاه که به‌طور مستقیم در بیوستتز مواد رشد همانند اکسین دخالت دارد، بنابراین می‌تواند سلول‌های گیاهی بیشتر و در نتیجه مواد خشک بیشتری را تولید و در دانه‌ها به‌عنوان مخزن ذخیره نماید. بنابراین موجب بهبود عملکرد و شاخص برداشت در شرایط تنش شدید می‌گردد (Darwish et al., 2002). افزایش عملکرد دانه و شاخص برداشت با مصرف عناصر ریز مغذی دلایل مختلفی می‌تواند داشته باشد که از آن جمله می‌توان به افزایش بیوستتز اکسین در حضور عنصر روی و منگنز، افزایش فتوسنتز به‌واسطه افزایش غلظت کلروفیل، افزایش جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم و افزایش فعالیت ریپولوز بیس فسفات کربوکسیلاز اشاره نمود (Kamkar et al., 2011). تنش خشکی از طریق پیری زودرس موجب شده که دوره پر شدن دانه، آسمیلاسیون CO_2 ، هدایت روزنه‌ای، ظرفیت کربوکسیلاسیون، تولید ریپولوز بیس فسفات، فتوسنتز جاری، انتقال مجدد مواد غذایی ضروری قبل و بعد از گلدهی به‌ویژه عناصر روی و منگنز درون گیاه و جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط گیاه کاهش یابد که با کاربرد توأم نانو کودهای روی و منگنز تا حد مطلوبی جبران گردید (Dindoost-Eslam and Yousefzadeh, 2013).

درصد و عملکرد پروتئین

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که درصد و عملکرد پروتئین تحت تأثیر کلیه اثرات اصلی در سطح احتمال یک درصد و پروتئین دانه از نظر برهمکنش رژیم آبیاری و محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در کلیه سطوح محلول‌پاشی، با افزایش سطوح تنش خشکی، بیشترین درصد پروتئین، مربوط به شاهد و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار تنش شدید

بود (جدول ۴). محلول پاشی نانو کلات روی، نانو کلات منگنز و کاربرد توأم نانو کلات‌های روی و منگنز به ترتیب ۲۹/۶۷، ۲۸/۸۲ و ۵۱/۵۵ درصد پروتئین دانه را نسبت به تیمار شاهد تحت شرایط تنش شدید افزایش داد (جدول ۴). بین رژیم‌های مختلف آبیاری بیشترین عملکرد پروتئین در شاهد (۲۵/۸۶ تن در هکتار) دیده شد که تفاوت معنی‌داری با تنش ملایم نداشت و کم‌ترین آن در تنش شدید (۱۰/۷۰ تن در هکتار) مشاهده گردید که ۵۸/۶۲ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۳). از نظر محلول پاشی، بیشترین عملکرد پروتئین در کاربرد توأم نانو کلات‌های روی و منگنز (۲۹/۱۴ تن در هکتار) و کم‌ترین آن در شاهد (۱۲/۴۸ تن در هکتار) وجود داشت که ۵۷/۱۷ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۳). پژوهشگران در بررسی اثر تغذیه عنصر روی و درجه حرارت بالا روی رشد، عملکرد و کیفیت دانه گندم به این نتیجه رسیدند که کاربرد کودهای محتوی عنصر روی، نسبت پروتئین‌های گلوتئین به گلیادین را در دانه افزایش داده و بنابراین در شرایط کمبود عنصر روی کاربرد کودی آن قادر است کیفیت پروتئین دانه را بهبود بخشد و با توجه به اثرات منفی تنش درجه حرارت روی ترکیب پروتئین دانه کاربرد عنصر روی قادر است اثرات منفی این تنش را بر میزان و ترکیب پروتئین دانه تعدیل نماید. وی اثر مثبت عنصر روی بر میزان و کیفیت پروتئین دانه را با اثر حفاظتی این عنصر بر فتوسنتز ظاهری مرتبط می‌داند (Welch and Graham, 2004). همچنین گزارش شده است که محلول پاشی عنصر روی بر ماش، منجر به بهبود تثبیت نیتروژن و افزایش میزان پروتئین دانه گردید (Ved et al., 2002). تحقیقات مبین این مطلب بود که محلول پاشی عناصر کم‌مصرف روی و منگنز از طریق افزایش غلظت عناصر معدنی کم‌مصرف درون گیاه و افزایش جذب عناصر پر مصرف به‌ویژه نیتروژن توسط گیاه، کاهش حساسیت به تنش خشکی از طریق تعدیل کمبود عناصری همچون آهن، منگنز، روی و سولفور و

بهبود در فرآیند فتوسنتز توانسته درصد و عملکرد پروتئین دانه را افزایش دهد (Arancon et al., 2006).

درصد و عملکرد روغن

درصد و عملکرد روغن تحت تأثیر اثرات اصلی در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش رژیم آبیاری و محلول پاشی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در تیمارهای شاهد، نانو کلات روی و منگنز، با افزایش سطوح تنش خشکی، بیشترین درصد روغن، مربوط به تنش شدید و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد بود که با تیمار تنش ملایم تفاوت معنی‌داری نداشت، در حالی که در کاربرد توأم نانو کلات روی و منگنز تفاوت معنی‌داری از نظر درصد روغن دیده نشد (جدول ۴). در تیمارهای شاهد، نانو کلات روی و منگنز، با افزایش سطوح تنش خشکی، بیشترین عملکرد روغن، مربوط به شاهد بود که با تیمار تنش ملایم تفاوت معنی‌داری نداشت و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار تنش شدید بود، در حالی که در کاربرد توأم نانو کلات روی و منگنز تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد روغن بین شاهد، تنش ملایم و متوسط دیده نشد (جدول ۴). به نظر می‌رسد تأثیر محلول پاشی روی و منگنز در تعدیل اثر تنش خشکی مثبت بوده است. روی و منگنز محلول پاشی شده احتمالاً بر فتوسنتز و آنزیم‌های موجود در مسیر متابولیک تبدیل مواد فتوسنتزی به انرژی و مواد ذخیره‌ای دانه اثر مثبت داشته و موجب تعدیل کاهش تبدیل ساکاروز به لیپید و تعدیل کاهش متابولیت‌های فعال در تولید روغن گیاه ناشی از تنش خشکی می‌گردد (Rahimizadeh et al., 2008). عنصر منگنز نیز در متابولیسم روغن دانه نقش بسزایی داشته و از تجمع نترات در بافت‌های گیاهی جهت تولید پروتئین جلوگیری می‌کند (Sepehr and Malacouti, 1998). از سوی دیگر، منگنز از عناصر ضروری برای تشکیل و پایداری کلروپلاست و سنتز برخی از پروتئین‌ها به شمار می‌رود و اثرات این عنصر در افزایش عملکرد روغن در

ویژگی‌های مورفولوژیک، عملکرد دانه، پروتئین و روغن، فتوسنتز و فعالیت آنزیم‌های تنش در آفتابگردان شده و در افزایش مقاومت گیاه به شرایط تنش مؤثر است.

سپاس‌گزاری

از تلاش‌های بی‌بدیل مدیر محترم گروه زراعت دانشگاه تربیت مدرس تشکر و قدردانی می‌گردد.

گیاهان مربوط به نقش هر کدام از عناصر بر فعالیت آنزیم‌ها است (Marschner, 2008).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج توصیه می‌گردد که کاربرد توأم نانو کودهای روی و منگنز با توجه توانایی این کودها در تعدیل و تقلیل اثرات تنش خشکی، موجب بهبود

References

- Alloway, B. J. (2004). Zinc in soils and crop nutrition (2nd edn.). *International fertilizer Industry Association and International Zinc Association*. Brussels: Belgium and Paris.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Lee, S., & Byrne, R. (2006). Effects of humic acids from vermicomposts on plant growth. *European Journal of Soil Biology*, 42(1), 65-69.
- Babaeian, M., Heidari, M., & Ghanbari, A. (2010). Effect of water stress and foliar micronutrient application on physiological characteristics and nutrient uptake in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 12(4), 377-391. [In Farsi]
- Bowler, C., Van Montagu, M., & Inze, D. (1992). Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annu Rev Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 43, 83-116.
- Bradford, M. (1976). A rapid sensitive method for the quantitation of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annual Review Biochemistry*, 72, 248-254.
- Cakmak, I., & Horst, W. (1991). Effect of aluminium on lipid peroxidation superoxide dismutase, catalase and peroxides activities in root tip of soybean (*Glysin max* L.). *Plant Physiology*, 83, 463-468.
- Darwish, D.S., El- Gharreib, M., El- Hawary, A., & Rafft, O. A. (2002). Effect of some macro and micronutrients application on peanut production in a saline soil in El-Fayium governorate. *Egyptian Journal of Agronomy*, 17, 17-32.
- Dindoost-Eslam, S., & Yousefzadeh, S. (2013). Effect of drought stress and spraying of Zn, Fe and Mn on quantity and quality characteristics of Sunflower, cultivar Haysan 33. *Journal of Research in Agronomy Sciences*, 6(22), 25-41. [In Farsi]
- Dubey, V. S., Bhalla, R., & Lithra, R. (2003). Sucrose mobilization in relation to essential oil biogenesis during palmarosa (*Cymbopogon martini* Roxb. WATS. Var. motia) inflorescence development. *Boisciences*, 28(4), 479-487.
- El-Fouly, M. M., Mobarak, Z. M., & Salama, Z. A. (2011). Micronutrients (Fe, Mn, Zn) foliar spray for increasing salinity tolerance in wheat *Triticum aestivum* L. *African Journal of Plant Science*, 5(5), 314-322.
- Erdal, I., Kepenek, K., & Kizilgos, I. (2004). Effect of foliar iron applications at different growth stages on iron and some nutrient concentrations in strawberry cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 28(6), 421-427.
- Fageria, N. K. (2009). *The use of nutrients in crop plants*. Boca Ration, London, New York: CRC Press.
- FAO STAT. (2018). *FAO statistical database*. [14 November 2020]. Retrieved from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.

- Ghanati, F., Morita, A., & Yokota, H. (2002). Induction of suberin and increase of lignin content by excess Boron in Tobacco cell. *Soil Science and Plant Nutrition*, 48(3), 357-364.
- Grewal, H. S., & Williams, R. (2000). Zinc nutrition affects alfalfa response to water stress and excessive moisture. *Journal of Plant Nutrition*, 23(7), 942-962.
- Heidari, M., & Karami, A.V. (2013). Effect of drought stress and strains of mycorrhiza on yield, photosynthetic pigments sunflower. *Journal of Environmental Stress on Crops*, 6(1), 17-26. [In Farsi]
- Imanullah, L., & Isoda, A. (2005). Adaptive responses of soybean and cotton to water stress II. CO₂ assimilation rate, chlorophyll fluorescence and photochemical reflectance index. *Plant production Science*, 8(2), 131-138.
- Kamkar, B., Safahani-Langerodi, A. R., & Mohammadi, R. (2011). *The use of nutrients in crop plants*. Mashhad: Jihad Daneshgahi (University of Mashhad) Press. [In Farsi].
- Kazi, B. R., Oad, F. C., Jamro, G. H., Jamil, L. A., & Oad, N. L. (2002). Effect of water stress on growth, yield and oil content of sunflower. *Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2, 550-552.
- Kuepper, G. (2003). *Foliar fertilization*. ATTRA, [14 November 2020]. Retrieved from <https://attra.ncat.org/attra-pub/summaries/summary.php?pub=286>.
- Mahajan, S., & Tuteja, N. (2005). *Cold, salinity and drought stresses: An overview*. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444(2), 139-158.
- Marschner, H. (2008). *Mineral nutrition of higher plants* (2nd edition). London: Academic Press Limited.
- Ministry of Agriculture. (2018). *Programs and Achievements. Achievements of the agricultural sector in the twelfth government*. [14 November 2020]. Retrieved from <http://www.pr.maj.ir/portal/Home/>. [In Farsi]
- Mirvat, E. G., Magda, H. M., & Tawfik, M. M. (2006). Effect of phosphorus fertilizer and foliar spraying with Zinc on growth, yield and quality of groundnut under reclaimed sandy soils. *Journal of Applied Science Research*, 2(8), 491-496.
- Moghadam, E., Mahmoodi Sourestani, M., Farrokhian Firozi, A., Ramazani, Z., & Eskandari, F. (2015). The effect of foliar application of iron chelate type on morphological traits and essential oil content of holy basil. *Journal of Crop Improvement*, 17(3), 595-606. [In Farsi].
- Mokhtassi-Bidgoli, A., Aghaalikhani, M., Nasiri-Mahallati, M., Zand, E., Gonzalez-Andujar, J. L., & Azari, A. (2013). Agronomic performance, seed quality and nitrogen uptake of *Descurainia Sophia* in response to different nitrogen rates and water regimes. *Industrial Crops and Products*, 44, 583-592.
- Monsef Afshar, R., Hadi, H., & Pirzad, A. R. (2012). Effect of Nano-iron foliar application on qualitative and quantitative characteristics of cowpea, under end season drought stress. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3(8), 1709-1717.
- Naderi, M. R. (2017). Effect of various fertilizer sources on growth and hay yield of alfalfa. *Journal of Plant Ecophysiology*, 29(9), 16-168. [In Farsi].
- Noroozi, H., Roshanfekar, H., Hassibi, P., & Meskarbashee, M. (2013). The evaluation of some photosynthetic characteristics in two forage millet cultivars under salt stress conditions. *Journal of Plant Process and Function*, 2(4), 75-85. [In Farsi].
- Rahimizadeh, M., Kashani, M., Zareh Feyzabadi, A., Madani, A., & Soltani, H. (2008). Effect of micronutrients fertilizer on sunflower growth and yield in drought stress condition. *Electronic Journal of Crop Protection*, (3)1, 57-72. [In Farsi]

- Ramroudi, M., Keykhah-Jaleh, M., Galavi, M., Seghatolleslami, M. J., & Baradaran, R. (2011). Effect of foliar application of micronutrients and irrigation regimes on the quantitative and qualitative yield of Psylliom (*Plantago ovata* Forsk.) medicinal plant. *Journal of Agroecology*, 3(2), 219-226. [In Farsi]
- Ravi, S., Channal, H. T., Hebsur, N. S., Patil, B. N., & Dharamtti, P. R. (2008). Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 21, 382-385.
- SAS. (2015). *SAS Version 9.2*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Schutz, M., & Fangmeier, A. (2001). Growth and yield responses of spring wheat to elevated CO₂ and water limitation. *Environmental Pollution*, 114(2), 187-194.
- Sepehr, A., & Malakouti, V. M. G. (1998). *Effect of K, Mn, S and micronutrients on yield enhancement and improve quality of sunflower*. M. Sc. Thesis in Soil Science, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. [In Farsi].
- Shahrokhi, N., Khourgami, A., Nasrollahi, H., & Shirani-Rad, A. H. (2012). Effect of iron sulfate spraying on yield and some qualitative characteristics in three wheat cultivars. *Annals of Biological Research*, 3(11), 5205-5210.
- Smirnoff, N. (1998). Plant resistance to environmental stress. *Current Opinion in Biotechnology*, 9(2), 214-219.
- Soleimanzadeh, H. (2010). Effect of VA-mycorrhiza on growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) at different phosphorus levels. *International Journal of Chemical and Biological Engineering*, 11(4), 820-823.
- Soofi, L., Heidari, G. R., Siosemardeh, A., & Hosseinpanahi, F. (2017). The effect of zinc sulfate foliar spray on yield and yield components of sardari wheat ecotypes. *Plant Production Technology*, 2(8), 69-86. [In Farsi].
- Srivastava, A. K., Malhotra, S. K., & Krishna Kumar, N. K. (2015). Exploiting nutrient-microbe synergy in unlocking productivity potential of perennial fruits: A review. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 85(4), 459-481.
- Tabatabaei, A., & Shakeri, E. (2013). Comparison of qualitative and quantitative traits and tolerance indices of sunflower cultivars under drought stress and non-stress conditions. *Journal of Agricultural Knowledge*, 5(8), 15-26. [In Farsi].
- Tewari, R. K., Kumar, P., & Sharma, P. N. (2005). Sign of oxidative stress in the chlorotic leaves of iron starved plants. *Plant Science*, 169, 1037-1045.
- Upadhyaya, H., & Panda S. K. (2004). Responses of *Camellia sinensis* to drought and rehydration. *Biologiae Plantarum*, 48, 597-600.
- Ved, R., Misra, S. K., & Upadhyay, R. M. (2002). Effect of sulphur, Zinc and bio-fertilizer, on the quality characteristics of mung bean. *Indian Society of Pulses Research and Development*, 15(2), 139-141.
- Welch, R. M., & Graham, R. D. (2004). Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. *Journal of Experimental Botany*, 55(396), 353-364.
- Yadollahi, P., Asgharipour, M. R., Marvane, H., Kheiri, N., & Amiri, A. (2017). The effects of drought stress on grain and oil yield of two cultivars of sunflower. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 1(1), 65-76. [In Farsi].