Journal of
Plant Environmental Physiology
Print ISSN: 2423-7671
Online ISSN: 2783-4689
PSI
Phycological Society of Iran

Effects of cycocel and micronutrients on yield, physiological traits, and antioxidant activity of maize (*Zea mayz* L.) in low irrigation conditions at the end of the season

Seyed Nour Ghafari[1], AliReza Shokuhfar[2*], Mani Mojaddam[3], Shahram Lak[4], Aziz Afarinesh[5]

[1] Department of agriculture, Ahvaz branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran, Email: nouradin.ghaffari3246@gmail.com
[2] Department of Agriculture, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran, Email: alireza_shokuhfar@yahoo.com
[3] Department of Agriculture, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran, Email: manimojaddam@yahoo.com
[4] Department of Agriculture, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran, Email: sh.lack@yahoo.com
[5] Safiabad Agricultural Research Center, Dezful, Dezful, Iran, Email: azizafarinesh@gmail.com

Article type:
Research article

Article history
Received: 07.11.2021
Revised: 02.01.2022
Accepted: 09.01.2022
Published:20.04.2023

Keywords
Hydrogen peroxide
Proline
Protein
Relative water content
Water stress

Abstract

In order to investigate the effect of cycocel and micronutrient consumption on yield, physiological traits, and antioxidant content of maize under low irrigation conditions at the end of the season, a split factorial experiment was carried out based on a randomized complete block design with four replications in Safiabad Agriculture Research Center in Dezful during two cropping years 2017-18 and 2018-19. The main treatment included water stress with three levels control (without water stress), water stress in female flower formation stage and water stress in grain swelling stage. Also, foliar application of cycocel at three levels of control (no use of cycocel), 442.5 ppm, and 885 ppm and three levels of micronutrient fertilizers, namely control (no fertilizer application), foliar application of 1000 g. ha^{-1}, and foliar application of 1500 g. ha^{-1} were considered as the sub-factors. Results of the combined ANOVA showed that the interaction of the effects of year, stress, micronutrient, and cycocel on relative water content, proline and grain yield and also the interaction of the effects of stress, micronutrient, and cycocel on hydrogen peroxide, glutathione peroxidase, and soluble proteins were statistically significant ($p \leq 0.01$). The results also showed that the highest activity of superoxide dismutase enzyme was obtained under stress conditions at the grain swelling stage, which showed an increase by about 37% compared to the irrigation treatment under optimal conditions. Foliar application of 1500 g. ha^{-1} micronutrient and 885 ppm cycocel in non-stress conditions increased the average grain yield (11500 kg. ha^{-1}) in the second year by about 85% compared to stressed condition at grain swelling stage and no application of micronutrient and cycocel. In general, to increase grain yield under optimal irrigation conditions and reduce the drop in stress conditions, growth regulators such as cycocel with a concentration of 885 ppm and micronutrient foliar application at 1500 g. ha^{-1} are recommended.

Cite this article as: Ghafari, S.N., Shokuhfar, A.R., Mojaddam, M., Lak, Sh., Afarinesh, A. (2023). Evaluation of the effect of cycocel and micronutrients on yield, physiological traits and antioxidant activity of maize (*Zea mayz* L.) in low irrigation conditions at the end of the season. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 69(1): 63-79.

©The author(s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch
Doi: 10.30495/iper.2022.1944250.1746
Dor: 20.1001.1.24237671.1402.18.69.2.0

فیزیولوژی محیطی گیاهی
شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۷۶۷۱
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۶۸۹
PSI
انجمن جلبک شناسی ایران
Phycological Society of Iran
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد گرگان

بررسی اثر سایکوسل و ریزمغذی‌ها بر عملکرد، صفات فیزیولوژیکی و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی ذرت (*Zea mays* L.) در شرایط کم آبیاری انتهای فصل

سیدنورالدین غفاری[۱]، علیرضا شکوه‌فر[۲*]، مانی مجدم[۳]، شهرام لک[۴]، عزیز آفرینش[۵]

[۱] گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، رایانامه:nouradin.ghaffari3246@gmail.com
[۲] گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، رایانامه: alireza_shokuhfar@yahoo.com
[۳] گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، رایانامه:manimojaddam@yahoo.com
[۴] گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، رایانامه:sh.lack@yahoo.com
[۵] مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول، دزفول، ایران، رایانامه:azizafarinesh@gmail.com

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۹
تاریخ چاپ: ۱۴۰۲/۰۱/۳۱

واژه‌های کلیدی:
پراکسید هیدروژن
پروتئین
پرولین
تنش آب
رطوبت نسبی برگ

چکیده

با هدف بررسی اثر سایکوسل و مصرف ریزمغذی‌ها بر عملکرد، صفات فیزیولوژیکی و میزان آنتی‌اکسیدانت ذرت تحت شرایط کم آبیاری انتهای فصل، آزمایشی به صورت اسپلیت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طی دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در صفی‌آباد دزفول انجام شد. تیمار اصلی شامل تنش کمبود آب با سه سطح شاهد (بدون تنش کمبود آب)، تنش آب در مرحله تشکیل گل ماده و تنش کمبود آب در مرحله تورم دانه بود. عامل مصرف محلول‌پاشی سایکوسل با سه سطح شاهد (عدم مصرف سایکوسل)، ٤٤٢/٥ و ۸۸۵ پی‌پی‌ام سایکوسل و کودهای ریزمغذی با سه سطح: شاهد (عدم مصرف کود)، محلول‌پاشی ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ گرم در هکتار به‌صورت فاکتوریل به‌عنوان عوامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد اثر برهم‌کنش سال، تنش، ریزمغذی و سایکوسل بر رطوبت نسبی برگ، پرولین و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و اثر برهم‌کنش تنش، ریزمغذی و سایکوسل بر پراکسید هیدروژن، گلوتاتیون پراکسیداز و پروتئین‌های محلول در سطح یک درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که بیش‌ترین فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز تحت شرایط تنش در مرحله تورم دانه حاصل شد که نسبت به تیمار آبیاری در شرایط مطلوب حدود ۳۷ درصد افزایش نشان داد. میانگین عملکرد دانه در سال دوم با کاربرد ۱۵۰۰ گرم در هکتار محلول‌پاشی ریزمغذی و ۸۸۵ پی‌پی‌ام محلول‌پاشی سایکوسل در شرایط بدون تنش نسبت به تنش در مرحله تورم دانه و عدم محلول‌پاشی ریزمغذی و سایکوسل در حدود ۸۵ درصد افزایش یافت. در مجموع می‌توان برای افزایش عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب و کاهش افت در شرایط تنش، از تنظیم‌کننده‌های رشد نظیر سایکوسل با غلظت ۸۸۵ پی‌پی‌ام و محلول‌پاشی ریزمغذی به میزان ۱۵۰۰ گرم در هکتار استفاده نمود.

استناد: غفاری، سیدنورالدین؛ شکوه‌فر، علیرضا؛ مجدم، مانی؛ لک، شهرام؛ آفرینش، عزیز. (۱٤۰۲). بررسی اثر سایکوسل و ریزمغذی‌ها بر عملکرد، صفات فیزیولوژیکی و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی ذرت (*Zea mays* L.) در شرایط کم آبیاری انتهای فصل. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ٦۹ (۱)، ۷۹-٦۳.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.
Doi: 10.30495/iper.2022.1944250.1746
Dor: 20.1001.1.24237671.1402.18.69.2.0

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) یکی از مهم‌ترین غلات دانه‌ای است که امروزه در جهان به‌صورت مستقیم به عنوان ماده غذایی برای میلیون‌ها نفر و به صورت غیرمستقیم به عنوان یک محصول علوفه‌ای یکی از اجزای ضروری امنیت غذایی جهانی محسوب می‌شود (Faostat, 2018). تنش کمبود آب یکی از عوامل محدودکننده تولید در گیاهان زراعی از جمله ذرت است. برخی از مراحل رشدی گیاهان حساسیت بالای به کمبود آب دارند. به طوری که در ذرت مرحله گیاهچه‌ای، گرده‌افشانی و پرشدن دانه حساسیت بیشتری به کم آبی دارند (Lobell et al., 2014). تنش کمبود آب سبب کاهش سطح برگ و پژمردگی موقت برگ‌ها یا لوله‌ای شدن آن‌ها در طی دوره‌های شدید تنش می‌گردد. همچنین تنش خشکی کارایی مصرف تابش فعال فتوسنتزی جذب شده در طی یک زمان مشخص را کاهش می‌دهد که این عوامل سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Hug and Davis, 2003). محققین اظهار داشتند که تنش رطوبتی هم در مرحله گلدهی و هم پرشدن دانه اثر منفی و کاهشی بر عملکرد دانه و صفات فنولوژی ذرت داشت (Sah et al., 2020). Admasu و همکاران (۲۰۱۹) با مطالعه اثر تنش رطوبتی بر عملکرد ذرت گزارش کردند که سطوح مختلف تنش آبیاری اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت و بیشترین میزان عملکرد دانه (۵۵۲٤ کیلوگرم در هکتار) از تیمار آبیاری کامل حاصل شد. یکی از دلایلی که تنش‌های محیطی مثل کمبود آب، رشد و توانایی گیاه را کاهش می‌دهند، اختلال در تعادل میان تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و مکانیسم‌های دفاعی برطرف‌کننده این رادیکال‌هاست که به تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، القای تنش اکسیداتیو، خسارت به پروتئین‌ها، لیپیدهای غشایی و سایر اجزای سلولی منجر می‌گردد. گیاهان سیستم دفاعی کارآمدی برای مقابله با تنش اکسیداتیو دارند که این سیستم دفاعی شامل کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز می‌باشد (Gill and Tuteja, 2010).

با وجود مقاومت داخلی گیاهان در برابر تنش کمبود آب می‌توان با تأمین کافی و متعادل مواد مغذی معدنی اثرات مخرب کمبود آب را به حداقل رساند. شواهد نشان‌دهنده این است که وضعیت مواد مغذی و معدنی گیاهان نقش مهمی در افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش کمبود آب دارد (Marschner and Cakmak, 1989). Karimi و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقات خود بیان داشتند که در شرایط تنش کم آبی عملکرد دانه و فعالیت آسکوربات پراکسیداز کاهش یافت اما فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز افزایش یافت. همچنین برهمکنش رژیم آبیاری و محلول‌پاشی ریزمغذی بر عملکرد دانه و سوپراکسیددیسموتاز معنی‌دار بود. در نتایج آن‌ها محلول‌پاشی ریزمغذی در شرایط تنش رطوبتی موجب افزایش عملکرد دانه و سوپراکسیددیسموتاز شد. Cakmak (۲۰۰۰) گزارش نمود که تحت کمبود عناصر ریزمغذی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاهش یافته و لذا حساسیت گیاه به تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد. Zand و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعات خود نشان دادند که محلول‌پاشی گیاه ذرت با عناصر ریزمغذی با افزایش آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز همراه بوده و این امر سبب تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانتی گیاه شده و توانسته گیاه را در شرایط تنش کمبود آب متحمل‌تر سازد.

کلرمکوات‌کلرید (سایکوسل) از گروه ترکیبات آمونیومی بوده و از پرمصرف‌ترین کندکننده‌های رشد گیاهی بوده که با اختلال در مسیر چرخه بیوسنتز جیبرلیک‌اسید از تشکیل آن در میان گره‌های ساقه

جلوگیری کرده و در نتیجه کم کردن سرعت رشد طولی میانگره‌ها مانع از خوابیدگی ساقه می‌شود (Pirasteh Anosheh et al., 2014). به‌طورکلی میزان واکنش بوته‌های تیمار شده توسط مواد کندکننده رشد تحت تأثیر عواملی چون نحوه مصرف (از طریق محلول‌پاشی) بر روی بخش هوایی و زمان مصرف (براساس مراحل مختلف رشد گیاه) متفاوت می‌باشد (Jaleel et al., 2008). براساس پژوهش‌های انجام شده سایکوسل می‌تواند اثرات منفی تنش خشکی را کاهش دهد و موجب افزایش عملکرد دانه شود (Rokh Afrooz et al., 2016). استفاده از مواد تنظیم‌کننده‌های رشد نظیر سایکوسل در کنار کودهای ریزمغذی در کنترل آسیب‌های تنش کمبود آب در زراعت ذرت می‌تواند باعث رفع محدویت‌های عملکرد دانه گردد. لذا این پژوهش با هدف بررسی اثر سایکوسل و مصرف ریزمغذی‌ها در شرایط تنش کم آبی بر عملکرد، صفات فیزیولوژیکی و میزان آنتی‌اکسیدانت ذرت در مرکز تحقیقات صفی آباد دزفول طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

محل اجرای طرح: این تحقیق در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در مرکز تحقیقات صفی‌آباد دزفول واقع در استان خوزستان با موقعیت عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۸۲ متر از سطح دریا انجام شد. این آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. تیمار اصلی شامل تنش کمبود آب با سه سطح شاهد (بدون تنش کمبود آب)، تنش آب در مرحله تشکیل گل ماده و تنش کمبود آب در مرحله تورم دانه بود. آبیاری از ابتدا تا قبل از مرحله تشکیل گل ماده براساس ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A انجام شد و سپس برای اعمال تنش کمبود آب در مراحل تشکیل گل ماده و ابتدای پرشدن دانه (Blister) آبیاری براساس ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A صورت پذیرفت. عامل مصرف محلول‌پاشی سایکوسل با سه سطح شاهد (عدم مصرف سایکوسل)، ۴۴۲/۵ و ۸۸۵ پی‌پی‌ام سایکوسل و کودهای ریزمغذی با سه سطح: شاهد (عدم مصرف کود)، محلول‌پاشی ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ گرم در هکتار به‌صورت فاکتوریل به‌عنوان عوامل فرعی در نظر گرفته شدند. این تحقیق از ۱۰۸ کرت انجام گرفت و فاصله کرت‌های اصلی ۱/۵ متر، فاصله کرت‌های فرعی ۰/۷۵ متر و هر کرت شامل ۶ ردیف به طول ۵ متر و فاصله ردیف‌ها ۰/۷۵ متر در نظر گرفته شد. فاصله بین بوته‌های ذرت ۱۷ سانتی‌متر با تراکم ۷۵۰۰۰ بوته در هکتار بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل پژوهش در (جدول ۱) ارائه شده است.

عملیات زراعی: به‌منظور آماده‌سازی بستر بذر زمین مورد نظر توسط گاو آهن برگردان‌دار شخم زده شد سپس دیسک و نهایتا عملیات تسطیح با ماله انجام شد. با توجه به نتیجه‌ی آزمون خاک، نیاز کودی ذرت به صورت پایه شامل کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بصورت تقسیط در دو مرحله (۵۰ درصد هم‌زمان با کاشت و ۵۰ درصد در مرحله پنج برگی بصورت سرک) و کود فسفر نیز بر مبنای ۶۰ کیلوگرم فسفر خالص از منبع سوپرفسفات تریپل در هنگام تهیه زمین بود. هیبرید مورد استفاده در تحقیق سینگل‌کراس ۷۰۴ بود. عملیات کاشت در تاریخ‌های ۲۰ مرداد ۱۳۹۶ و ۲۲ مرداد ۱۳۹۷ به‌صورت دستی و در عمق هفت سانتی‌متری خاک انجام شد. تمام کرت‌های آزمایش تا زمان اعمال تیمارها به طور منظم آبیاری شدند. در تیمارهای مربوط به تنش، در مراحل تشکیل گل ماده و تورم

دانه آبیاری به‌طور کامل قطع گردید. محلول‌پاشی سایکوسل و کود ریزمغذی در مرحله هشت برگی انجام گرفت. جهت محلول‌پاشی کود ریزمغذی از پودری با نام تجاری کمبی۲ و ساخت شرکت بایر آلمان استفاده شد. محلول‌پاشی بوسیله یک سمپاش ۲۰ لیتری و بصورت یک لایه نازک پشت و روی برگ‌ها انجام گرفت. به منظور کنترل علف‌های هرز در مزرعه در مرحله پنج برگی (۲۲ روز پس از کاشت) وجین به‌صورت دستی انجام شد.

نمونه‌برداری

ارتفاع بوته: برای محاسبه ارتفاع بوته تعداد شش بوته ذرت را از خطوط میانی هر کرت انتخاب و اندازه آن‌ها را از سطح خاک تا گل آذین‌نر ثبت نمودیم (Hashemzadeh, 2009).

رطوبت نسبی برگ: رطوبت نسبی برگ از فرمول (RWC= (Wf-Wd /Ws-Wd) x100) محاسبه گردید. در این معادله Wf، وزن تر برگ، Wd، وزن خشک برگ و Ws، وزن اشباع برگ می‌باشد (Ardakani and Nadvar, 2010).

پرولین: میزان پرولین تجمع یافته در گیاه در مرحله گلدهی (ابریشم‌دهی) با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر و با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف پرولین در مرحله ۵۰ درصد طبق‌دهی، برحسب میلی گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد (Bates et al., 1973).

پراکسیدهیدروژن: سنجش پراکسیدهیدروژن با استفاده از روش Chen و همکاران (۲۰۰۰) به وسیله بافر فسفات ۵۰ میلی مولار با اسیدیته ٦/۵ حاوی هیدروکسیل آمین یک میلی‌مولار در دمای چهار درجه سانتی‌گراد انجام شد. ضریب خاموشی برای محاسبه مقدار کمپلکس تیتانیوم- پراکسید هیدرژن ۰/۲۸میکرومول بر سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

انباشت پتاسیم برگ: برای اندازه‌گیری میزان انباشت پتاسیم برگ از دستگاه شعله‌سنجی و روش خاکسترگیری خشک استفاده شد (Brennan and Frenkel, 1977).

فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز برگ: به‌منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در هنگام صبح (قبل از گرم شدن هوا) سه عدد برگ از هر واحد آزمایشی برداشت شده و در درون کیسه پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل نمودیم؛ در آزمایشگاه ابتدا محلول بافر تریس (حاوی فسفات‌دی‌سدیک با اسیدیته ۷) به همراه ۱/۳ میلی‌مول EDTA و ۰/۱ میلی‌مول کربنات‌مونوسدیک تهیه شده. لازم به ذکر است که از آنزیم استاندارد خالص (با واحد اکسیداسیون ۰/۵ میلی‌مول اپی‌نفرین در یک دقیقه) جهت کالیبره نمودن روند فعالیت آنزیمی استفاده شد (Malan et al., 1990).

فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز: برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز، ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول ۰/۱ مولار بافر فسفات با اسیدیته ۷ و ۰/۱ میلی‌لیتر از همولیزات، ۰/۱ میلی‌لیتر از گلوتاتیون ردوکتاز و ۰/۱ میلی‌لیتر از گلوتاتیون احیاء شده با غلظت ۱۰۰ میلی‌مول به همولیزات اضافه شد. واکنش با افزودن ۱/۵ میلی مول آب اکسیژنه به حجم ۰/۱ میلی لیتر شروع و کاهش جذب در طول موج ۳٤۰ نانومتر برای مدت ۵ دقیقه با دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل CE1020 کنترل شد. فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه محاسبه شد (Mate et al., 2000).

پروتئین‌های محلول: جهت استخراج پروتئین‌های محلول، یک گرم بافت‌تر برگ در حضور بافر استخراج (تریس اسیدکلریدریک pH=7/5) به منظور عصاره‌گیری مخلوط حاصل به لوله‌های سانتریفیوژ انتقال داده و در ۱۳۰۰۰دور در دقیقه و دمای چهار

درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ صورت گرفت. در ادامه غلظت پروتئین‌های محلول طبق روش Bradford (۱۹۷۹) اندازه‌گیری شد.

عملکرد دانه: برای نمونه‌گیری عملکرد ذرت در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی دانه، بلال‌های یک مترمربع از هر کرت با در نظر گرفتن اثر حاشیه جهت تعیین عملکرد دانه برداشت شدند.

قبل از انجام تجزیه مرکب نتایج دو سال آزمایش به‌منظور اطمینان از یکنواختی واریانس اشتباهات آزمایشی از آزمون بارتلت به‌وسیله نرم‌افزار SAS استفاده گردید و با توجه به اینکه اختلاف بین واریانس‌های خطا معنی‌دار نبود تجزیه واربانس مرکب دو سال آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.3 و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۱: ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک زمین آزمایش

آهن (پی‌پی‌ام)	روی (پی‌پی‌ام)	منگنز (پی‌پی‌ام)	فسفر (پی‌پی‌ام)	پتاسیم (پی‌پی‌ام)	کربن آلی (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته	بافت خاک	عمق خاک (سانتی‌متر)
۳/۱	۰/۰٤	۵/۳۹	٤/۱۱	۳۲۰	۰/٦٦	۰/٤٤	۷/٤	شنی لومی	۰-۳۰
٦/٦	۲/۱۲	۸/۸۸	۳	۱۰۰	۰/۷۷	۰/۵۲	۷/۵٤	شنی لومی	۳۰-٦۰

نتایج

ارتفاع بوته: براساس نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، اثر برهم‌کنش سال، تنش کم آبی، سایکوسل و ریزمغذی بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش چهار جانبه نشان می‌دهد که بالاترین ارتفاع بوته در سال اول و محلول‌پاشی ۱۵۰۰ گرم در هکتار کود ریزمغذی و عدم سایکوسل در شرایط آبیاری کامل (شاهد) و کمترین ارتفاع بوته در ترکیب تیماری سال دوم آزمایش در شرایط تنش کمبود آب در مرحله تورم دانه مشاهده شد که میزان محلول‌پاشی ریزمغذی صفر و محلول‌پاشی سایکوسل در بالاترین سطح خود قرار داشت (جدول ۳).

رطوبت نسبی برگ: در این تحقیق رطوبت نسبی برگ تحت اثر برهم‌کنش سال، تنش کم آبی، سایکوسل و ریزمغذی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). براساس نتایج جدول مقایسه میانگین ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۱۵۰۰ گرم در هکتار ریزمغذی و ٤٤۲/۵ پی‌پی‌ام سایکوسل در شرایط مطلوب رطوبتی در سال اول و دوم بالاترین رطوبت نسبی برگ را به خود اختصاص دادند که نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی ریزمغذی و سایکوسل در شرایط تنش در مرحله تورم دانه در سال اول ۳۳ درصد و در سال دوم ۲۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳).

پرولین: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب، میزان پرولین در واکنش به اثرات متقابل چهارگانه سال، تنش کم آبی، سایکوسل و ریزمغذی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در بررسی نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش چهار جانبه بیشترین میزان پرولین در سال اول و دوم در شرایط تنش کمبود آب در مرحله تورم دانه با کاربرد ۱۵۰۰ گرم در هکتار محلول‌پاشی ریزمغذی و ۸۸۵ پی‌پی‌ام سایکوسل حاصل شد که در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب و عدم کاربرد ریزمغذی و سایکوسل حدود ۸۱ درصد افزایش نشان داد (جدول ٤).

جدول ۲: تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه در ذرت در دو سال آزمایش

منابع تغییرات	درجه‌آزادی	ارتفاع بوته	رطوبت نسبی برگ	پرولین	پراکسیدهیدروژن	انباشت پتاسیم
سال	۱	۷۷^{ns}	۷/۶۸^{ns}	۰/۱۸^{ns}	٤/٥^{ns}	۲٤۷/۹۳**
سال × تکرار	٦	۱۱٤/٥	٦۷/۷۲	۲/۱۲٦	۸۹/۰٤	۸/۲۹
تنش خشکی	۲	۸/۷^{ns}	٦/٥٦^{ns}	۱۱۹٦/۱٦۷*	۱۲٤٤٦/۳۲*	٤۰٥۰/٥٤**
سال × تنش خشکی	۲	۲۰/٥^{ns}	۲/۳٦^{ns}	۰/۰٤٤^{ns}	۱۱/۰٦^{ns}	۰/۳۲^{ns}
اشتباه	۱۲	٥۰/٤	۱۸/٤۳	۲/۳۸	۱٥۳/۹٤	٤/۸۸
ریزمغذی	۲	۱۸٦۰٦/٦*	٦/٥۲^{ns}	۰/۰۹۱^{ns}	۰۱/٥٥^{ns}	۰۲/۹۹^{ns}
سایکوسل	۲	۱۷/٦^{ns}	۸/۳۱^{ns}	۰/۰۷۷^{ns}	۱۸/۲۹^{ns}	۰/۸٦^{ns}
سال × ریزمغذی	۲	٥۷٤۸/٥*	۱۱/۲۸^{ns}	٤۱٦/۸۰*	۱۹۸۰/۰۱**	۱/۷۳^{ns}
سال × سایکوسل	۲	۲۷/٦^{ns}	۲۰/۱۳^{ns}	۰/۷٤^{ns}	۲/۰۷^{ns}	۰/۹۲^{ns}
تنش خشکی × ریزمغذی	٤	۹/٦^{ns}	۹/٥٤^{ns}	۰/۰۷۹^{ns}	٤۱۹/۸۸**	۱۰٦/٦۳**
تنش خشکی × سایکوسل	٤	۸۸۲/٤*	٤٤/۰۱*	۰/٤۷^{ns}	۸/٥٦^{ns}	۰/۹٦^{ns}
سایکوسل × ریزمغذی	٤	۱۱/٦^{ns}	۱/۱۲^{ns}	۰/۰۲۹^{ns}	۱٤۰/۲٤*	۷٥/۹۷**
سال × ریزمغذی × تنش خشکی	٤	٥۹/۸^{ns}	۳/۱۷^{ns}	۰/٤۰٤^{ns}	۱۹/٦۸^{ns}	۰/۷٥^{ns}
سال × سایکوسل × تنش خشکی	٤	٥٥/۲^{ns}	۳/٦۳^{ns}	۰/۱۸۸^{ns}	٦۸/٤۷**	۱۱۳/٤۹**
سال ×سایکوسل×ریزمغذی	٤	۱/۸^{ns}	۳۹/۹۲*	۰/۰۹^{ns}	۲/٥۸^{ns}	۰/۸۹^{ns}
سایکوسل× ریزمغذی× تنش خشکی	۸	۷۹۲/۲*	۰/۸٦^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۱٥۹/۷٦**	۹۹/۱**
سال ×سایکوسل× ریزمغذی× خشکی	۸	۱٥٦/٤*	۹/۷۲*	۸/۳۷**	۱۳/٥٥^{ns}	۱/۰۳^{ns}
اشتباه	۱٤٤	٦۲/۲	۳/۹٤	۰/۸۱	۲۰/۱٥	۲/٤۱
ضریب تغییرات (درصد)	–	۳/٦٥	۲/٤	۷/٤٥	٦/۱۹	٥/۲۱

ns، ** و *: میانگین مربعات تیمارها به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

ادامه جدول ۲.

منابع تغییرات	درجه‌آزادی	سوپراکسیددیسموتاز	گلوتاتیون‌پراکسیداز	پروتئین‌محلول	عملکرد دانه
سال	۱	۹/۳^{ns}	۸٦٦^{ns}	۲۰/۹۲^{ns}	۹٤۰۷٦^{ns}
سال × تکرار	٦	۱۲/٥٦	٤۷٤۳	٤۲/۹۲	۱۰۲۹۹۷٦
تنش خشکی	۲	۱۳۷۹/٥۷*	٦۱۰۲۱٤٤**	٦۰/۲۷*	٥٤۷٥۰٤۱۹۹*
سال × تنش خشکی	۲	۲۱/۲۱^{ns}	۲۰٥٥^{ns}	۲/۲۷^{ns}	۷۸۱۲۷۸۳^{ns}
اشتباه	۱۲	٥/٤۱	۱۱۰۱٦	۰/۰٤	۷٦٦۷٤۳
ریزمغذی	۲	۲۱۰/۰۲**	۹۰۰٥۳۰**	۳۰/٦۱**	۷۳۷۳۸۸۲۷**
سایکوسل	۲	۰/۰۱^{ns}	٤٥٥^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۳۲۸٥۲^{ns}
سال × ریزمغذی	۲	۰/۰۹^{ns}	۱۰۰۸۲٤۷**	۰/۰۱^{ns}	٥۱۹۳۱^{ns}
سال × سایکوسل	۲	۰/۷^{ns}	۲٦۱٦^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۸۰٥۰۳^{ns}
تنش خشکی × ریزمغذی	٤	۰/۱۹^{ns}	۳٦٦٦۲*	۰/۰۲^{ns}	۱٥۳٥۲^{ns}
تنش خشکی × سایکوسل	٤	۰/۸۸^{ns}	۱٤۳٥^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۹۷۷۱٤٥٤**
سایکوسل × ریزمغذی	٤	۰/٥۷^{ns}	۲٦۳۷۹۷**	۰/۰۸^{ns}	۱۲۸٥۲^{ns}
سال × ریزمغذی × تنش خشکی	٤	۰/۷۱^{ns}	۱٥٥۹^{ns}	۰/۰٤^{ns}	٥۹٥٦٦^{ns}
سال × سایکوسل × تنش خشکی	٤	۰/۸۷^{ns}	۷۹۸^{ns}	۰/۰۹^{ns}	۱۰۳٥۸۷٦*
سال ×سایکوسل×ریزمغذی	٤	۰/۰۸^{ns}	۲۷۳۱^{ns}	۰/۱٤^{ns}	۹۳۲۷۳^{ns}
سایکوسل× ریزمغذی× تنش خشکی	۸	۰/۰۱^{ns}	۱۱٤۸۷۲**	۱/٦٤*	٤۸٥٤۷^{ns}
سال ×سایکوسل× ریزمغذی× تنش خشکی	۸	۱/٥۸^{ns}	۸٥۷^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۱۲۳۸۰٦٥**
اشتباه	۱٤٤	۱/٦۸	۲۹۷٤	۰/۲۳	۱۲۳۹٦٦
ضریب تغییرات (درصد)	–	٦/٤٤	۷/٥۳	۱/۹۷	٥/٥٥

ns، ** و *: میانگین مربعات تیمارها به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

عملکرد دانه: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب، عملکرد دانه تحت اثر برهمکنش چهارگانه سال، تنش کم آبی، سایکوسل و ریزمغذی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در بررسی نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش چهار جانبه بیشترین میزان عملکردد دانه در سال دوم در شرایط آبیاری مطلوب (شاهد) با کاربرد ۱۵۰۰ گرم در هکتار محلول‌پاشی ریزمغذی و ۸۸۵ پی‌پی‌ام سایکوسل حاصل شد که در مقایسه با تنش در مرحله تورم دانه و عدم کاربرد ریزمغذی و سایکوسل حدود ۸۸ درصد افزایش نشان داد (جدول ٤).

پراکسید هیدروژن: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر برهمکنش سه گانه تنش کم آبی، سایکوسل و ریزمغذی بر پراکسیدهیدروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان پراکسیدهیدروژن در شرایط تنش کمبود آب در مرحله تورم دانه و عدم محلول‌پاشی ریزمغذی و سایکوسل بدست آمد که نسبت به شرایط مطلوب آبیاری (شاهد) با کاربرد ۱۰۰۰ گرم در هکتار محلول پاشی ریزمغذی و ٤٤۲/۵ پی‌پی‌ام سایکوسل، ٤۰ درصد افزایش یافت (جدول ۵).

انباشت پتاسیم: در این پژوهش صفت انباشت پتاسیم تحت اثر برهمکنش سه گانه تنش کم آبی، سایکوسل و ریزمغذی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). برهم‌کش سه‌گانه تیمارها نشان داد که بیشترین میزان انباشت پتاسیم در شرایط مطلوب رطوبتی، عدم مصرف ماده ریزمغذی و سایکوسل و کمترین میزان در مرحله تورم دانه، عدم ماده ریزمغذی و محلول پاشی ٤٤۲/۵ پی پی ام سایکوسل می‌باشد (جدول ۵).

فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر تنش کم آبی و ریزمغذی به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد بر فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز معنی‌دار شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز تحت شرایط تنش در مرحله تورم دانه حاصل شد که نسبت به تیمار آبیاری در شرایط مطلوب حدود ۳۷ درصد افزایش نشان داد. هم‌چنین بیشترین فعالیت این آنزیم با کاربرد ۱۵۰۰ گرم در هکتار محلول‌پاشی ریزمغذی بدست آمد (شکل ۱ و ۲).

فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز: آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز تحت اثر برهمکنش سه گانه تنش کم آبی، سایکوسل و ریزمغذی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). برهم‌کش سه‌گانه تیمارها نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز تحت شرایط تنش در مرحله تورم دانه با محلول‌پاشی ۱۵۰۰ گرم در هکتار ماده ریزمغذی و ۸۸۵ پی‌پی‌ام سایکوسل و کمترین آن به تیمار آبیاری در شرایط مطلوب و ۱۵۰۰ گرم درهکتار محلول‌پاشی ریزمغذی و عدم کاربرد سایکوسل اختصاص یافت که نسبت به حالت افزایشی حدود ۸۹ درصد کاهش یافت (جدول ۵).

پروتئین‌های محلول: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب، پروتئین‌های محلول در واکنش به اثرات متقابل سه گانه تنش کم آبی، سایکوسل و ریزمغذی معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین میزان پروتئین‌های تحت شرایط تنش در مرحله تورم دانه با محلول‌پاشی ۱۵۰۰ گرم درهکتار ماده ریزمغذی و ٤٤۲/۵ پی‌پی‌ام سایکوسل حاصل شد که نسبت به تیمار آبیاری در شرایط مطلوب و عدم محلول‌پاشی ریزمغذی و سایکوسل حدود ٤۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵).

جدول ۳: مقایسه میانگین برهم‌کنش صفات ارتفاع بوته و رطوبت نسبی تحت اثر سال، تنش خشکی، ریزمغذی و سایکوسل

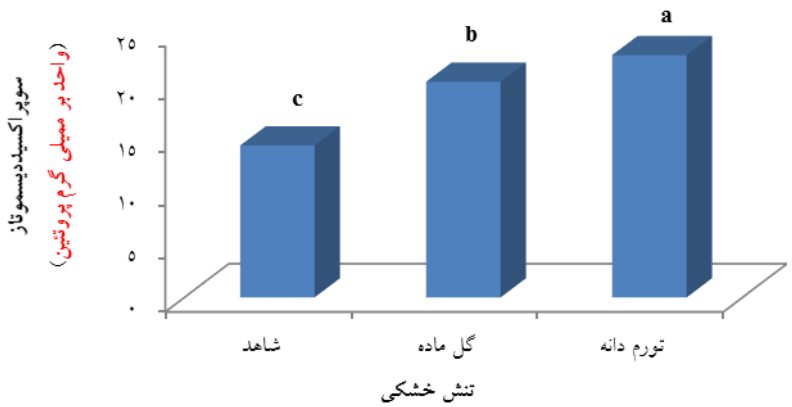
تنش خشکی	ریزمغذی	سایکوسل	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)		رطوبت نسبی برگ (درصد)	
			۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۶	۱۳۹۷
شاهد	عدم مصرف (شاهد)	عدم مصرف (شاهد)	۲۲۷/۰۱g	۲۲٤/٥ghi	۸۳/۲۸JK	۸۱/۸ m
		٤٤۲/٥ پی‌پی‌ام	۲۱٤/۳nop	۲۱۰rstu	۸٥/٦٤ g	۸۲/٦ kl
		۸۸٥ پی‌پی‌ام	۱۹۳/۱٤yz	۲۰۷/۹uv	۹۱/۸٦ b	۸٤/٤ hi
	۱۰۰۰ گرم در هکتار	عدم مصرف (شاهد)	۲۳۹/٥e	۲۲۲/۳۳ij	۸۳/۳۲ jk	۸۳/٤۳ j
		٤٤۲/٥ پی‌پی‌ام	۲۲۰/۷jk	۲۱٦/۰۸lmn	۸۹/۳٤ d	۸٥/۱ gh
		۸۸٥ پی‌پی‌ام	۲۰۹/۹rstu	۲۱۲/٦opqr	۹۰/٥٥ c	۸۸/٥۳ e
	۱٥۰۰ گرم در هکتار	عدم مصرف (شاهد)	۲۹۲/٥۱°	۲٦۲/٤۱b	۸۸/۲ e	۸٦/۸۲ f
		٤٤۲/٥ پی‌پی‌ام	۲٤۱/۲۸de	۲٤٤d	۹۳/۳۹ a	۸۹/۲۹ d
		۸۸٥ پی‌پی‌ام	۲۳۰/٦۸f	۲۲۲/۸۳ij	۸۹/٥۳ d	۹۲/۰۳ b
گل ماده	عدم مصرف (شاهد)	عدم مصرف (شاهد)	۱۹٥/٤۲y	۲۰۸/۹۱tu	۷۳/۲۲ y	۷۳/۲٤ y
		٤٤۲/٥ پی‌پی‌ام	۲۱٤/۲۷nop	۲۰٥/۹۱vw	۷٥/۸۳ wx	٦۹/۹۳ /
		۸۸٥ پی‌پی‌ام	۲۱۷/٥۹lm	۱۹۹/٦٦x	۸۷/۹٥ e	۷۳/٦٤ y
	۱۰۰۰ گرم در هکتار	عدم مصرف (شاهد)	۲۱٥/٥mno	۲۱٤mnop	۷۷/۹٥ st	۷۹/۱ pq
		٤٤۲/٥ پی‌پی‌ام	۲۱٥mnop	۲۱۲/۳pqrs	۷٦/۷۱ uv	۷۹/٥ op
		۸۸٥ پی‌پی‌ام	۱۹۳/۸yz	۲۰۰/۳x	۷۸/۰٦ f	۸٤/۳۲ i
	۱٥۰۰ گرم در هکتار	عدم مصرف (شاهد)	۲٤۹/٤٦c	۲۲۲/۸ij	۷٥/۳٥ x	۷۸/۷۸ qr
		٤٤۲/٥ پی‌پی‌ام	۲٦۲/٦۷b	۲۲۳/٥hij	۸۲/۰٦ lm	۸٤/۷۳hi
		۸۸٥ پی‌پی‌ام	۲۳۸/۸e	۲۱۳/٥nopq	۸۰/۹۲ n	۸٤/٦ hi
نورم دانه	عدم مصرف (شاهد)	عدم مصرف (شاهد)	۲۱۳nopq	۱۹۹/٤۱x	٦۲/٤۳ -	۷۰/۱۷ /
		٤٤۲/٥ پی‌پی‌ام	۲۱۱qrst	۱٦۲/٦٦\	٦۸/۲۷]	۷۱/۰٦]
		۸۸٥ پی‌پی‌ام	۱۸۷/۱۸[	۱٥٦/۰۸]	۷۸/۱۹ rst	۷۷/٤٦ tu
	۱۰۰۰ گرم در هکتار	عدم مصرف (شاهد)	۲۰٤/۳۸w	۱۹۹/۲٥x	٦٤/٤ ^	۷٦/٥ vw
		٤٤۲/٥ پی‌پی‌ام	۲۲۷/۲۱g	۲۰۱/۲٥x	۷۲/۰٦ z	۷۸/٦ qrs
		۸۸٥ پی‌پی‌ام	۲۱۱/۱qrst	۱۹۲/۱٦z	۷۹/۲۱ pq	۸۲/٦ kl
	۱٥۰۰ گرم در هکتار	عدم مصرف (شاهد)	۲۳۱/۲۹f	۲۱٥mnop	٦۹/۷۹ /	۷۸/۳۳ rs
		٤٤۲/٥ پی‌پی‌ام	۲۱۸/۸۹kl	۲۰۹/٥stu	۷۹/۱٥ pq	۸۰/۲ no
		۸۸٥ پی‌پی‌ام	۲۲٦/۲٦gh	۲۰٤/٤۱w	۸۲/۱ lm	۸٤/۲ i

اعدادی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک باشند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشند.

جدول ٤: مقایسه میانگین برهم‌کنش صفات پرولین و عملکرد دانه تحت اثر سال، تنش خشکی، ریزمغذی و سایکوسل

تنش خشکی	ریزمغذی	سایکوسل	پرولین(میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)		عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	
			۱۳۹٦	۱۳۹۷	۱۳۹٦	۱۳۹۷
شاهد	عدم مصرف (شاهد)	عدم مصرف (شاهد)	٤/٦٦ -	٤/٨٤ -	٨٤٧٨klm	٨٤٤٣lm
		٤٤٢/٥ پی‌پی‌ام	٧/٥٢z	٦/٥٩]	٨٩٣٤h	٨٣٨٠m
		٨٨٥ پی‌پی‌ام	١٠/٤٤ r	٨/٥٩x	٨٦٦٦i	٨٥٢٩jkl
	۱۰۰۰ گرم در هکتار	عدم مصرف (شاهد)	٦/٤٩]	٧/٤٧ z	٨٥٢٥jkl	٨٦٥٣ij
		٤٤٢/٥ پی‌پی‌ام	٦/٧٩/]	٧/٩٧y	٨٥٨٢ijk	٨٨٥٤ h
		٨٨٥ پی‌پی‌ام	٧/١٢[/	١٠/٤٥r	٩٤٥٤ef	٩٢١٥g
	۱۵۰۰ گرم در هکتار	عدم مصرف (شاهد)	٥/٧٨	٨/٨wx	٩٩٠٣d	٩٤٤٠f
		٤٤٢/٥ پی‌پی‌ام	٨/٥٦x	١٢ o	١٠٣٠٠c	٩٥٧٨e
		٨٨٥ پی‌پی‌ام	١٠/٧qr	١٤ lm	١٠٧٣٠b	١١٥٠٠a
گل ماده	عدم مصرف (شاهد)	عدم مصرف (شاهد)	٧/٣z[	٧/٢٩ z[	٣٨٠٨/	٦٢٢٨qr
		٤٤٢/٥ پی‌پی‌ام	٩/٥٩u	٩/٤٥uv	٤٨٣٢x	٦٤٩٨p
		٨٨٥ پی‌پی‌ام	١٤/١l	١١/١٣p	٥٠٦٩w	٧٢٠٣o
	۱۰۰۰ گرم در هکتار	عدم مصرف (شاهد)	٩/١٥vw	١١/٩ o	٤٤٦١y	٦٢٦٣qr
		٤٤٢/٥ پی‌پی‌ام	١٠/٧١qr	١٣/٧ m	٥٩٨٦t	٦١٨٥rs
		٨٨٥ پی‌پی‌ام	١٠/٠٥s	١٥/٠٧ j	٧١٩٥o	٦٦٠٨p
	۱۵۰۰ گرم در هکتار	عدم مصرف (شاهد)	٩/٩٤st	١٤/٩٨ j	٥٤٢٧u	٦٦١٥p
		٤٤٢/٥ پی‌پی‌ام	١٠/٩٣pq	١٣/١٣n	٥٤٨٦u	٧٢٠٥o
		٨٨٥ پی‌پی‌ام	١٦/٣٨h	١٦/١hi	٧١٦٩o	٧٠٩٨o
تورم دانه	عدم مصرف (شاهد)	عدم مصرف (شاهد)	٨/٧٧ x	١٣n	١٣٠٠d	١٦٩٨c
		٤٤٢/٥ پی‌پی‌ام	٨/٦ x	١٤/٩٢j	٢٧٩٤^	١٨٧٨b
		٨٨٥ پی‌پی‌ام	١٨/٥٨ g	١٥/٩٥i	٤٣٠٣z[	٢٣٠٠^
	۱۰۰۰ گرم در هکتار	عدم مصرف (شاهد)	٩/٦ tu	١٤/٥٧k	٢١٥٨a	٢٢٠٥ ^
		٤٤٢/٥ پی‌پی‌ام	١٠/٦٥ qr	١٥/٠٧ j	٤٢٢٤[	٢٤٩٠ -
		٨٨٥ پی‌پی‌ام	١٩/١٥ ef	١٩/٣٥e	٤٤٣٣yz	٣٣٧٥]
	۱۵۰۰ گرم در هکتار	عدم مصرف (شاهد)	١٦/٠٨ hi	١٨/٩fg	١٧٨٦bc	٦٠٨٨st
		٤٤٢/٥ پی‌پی‌ام	٢٠/٩٨ d	٢٣/١٧b	٥٢٣٨v	٧١٧٨ o
		٨٨٥ پی‌پی‌ام	٢١/٩٢ c	٢٥/٨٣°	٦٣٥٧q	٧٤٥٥n

اعدادی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک باشند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشند.

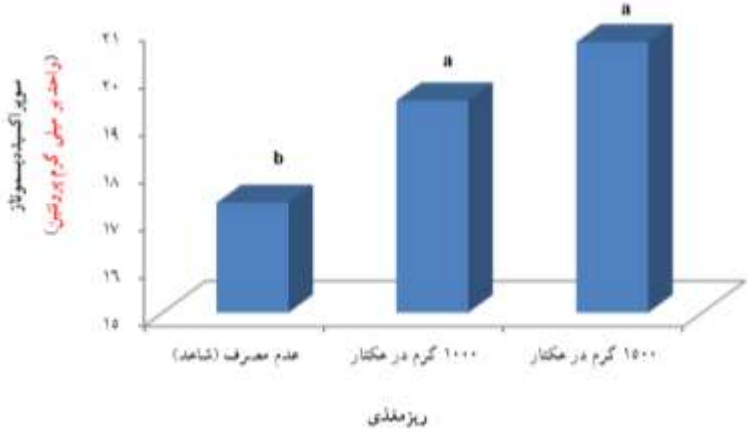


شکل ۱: مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز

جدول ۵: مقایسه میانگین برهم‌کنش صفات تحت اثر تنش خشکی، ریزمغذی و سایکوسل

تنش خشکی	ریزمغذی	سایکوسل	هیدروژن پراکسید (میکرومول بر گرم وزن تر)	انباشت پتاسیم (میکرومول در گرم در وزن تر)	گلوتاتیون پراکسیداز (میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)	پروتئین محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
شاهد	عدم مصرف (شاهد)	عدم مصرف (شاهد)	۵۵/۴۷ g	۳۹/۲۸a	۱۴۷ s	۳/۱۴lm
		۴۴۲/۵ پی‌پی‌ام	۵۲/۱۹ g	۳۸/۲۹b	۳۲۳/۲q	۳/۱m
		۸۸۵ پی‌پی‌ام	۶۰/۸۸ fg	۳۷/۲۶c	۴۶۰/۵p	۲/۹۹m
	۱۰۰۰ گرم در هکتار	عدم مصرف (شاهد)	۶۰/۱۳ fg	۳۸/۹ab	۱۸۰/۳r	۲/۰۹m
		۴۴۲/۵ پی‌پی‌ام	۶۴/۸۳ f	۳۸/۷۸ab	۵۰۱ o	۲/۳۷kl
		۸۸۵ پی‌پی‌ام	۵۸/۱۱ fg	۳۶/۲۹d	۵۴۳/۳ n	۴/۰۳i
	۱۵۰۰ گرم در هکتار	عدم مصرف (شاهد)	۶۴/۵۷ f	۳۶/۸۱cd	۱۲۶/۶ s	۳/۵۵jk
		۴۴۲/۵ پی‌پی‌ام	۶۴/۷۶ f	۳۴/۵۱e	۶۰۱/۶m	۳/۶۸j
		۸۸۵ پی‌پی‌ام	۵۲/۳۳ g	۳۶/۵۶cd	۷۹۴/۶ij	۴/۰۲i
گل ماده	عدم مصرف (شاهد)	عدم مصرف (شاهد)	۹۳/۸۱ ab	۲۰/۵۳ m	۵۸۹/۱1m	۳/۶۳jk
		۴۴۲/۵ پی‌پی‌ام	۸۷/۷۵ b-d	۳۱/۵۸g	۷۶۹/۸jk	۴/۵۸fgh
		۸۸۵ پی‌پی‌ام	۷۴/۱۳ e	۲۸/۹۱ h	۷۵۴/۴k	۴/۳۶h
	۱۰۰۰ گرم در هکتار	عدم مصرف (شاهد)	۸۲/۴۸ c-e	۳۱/۵۵ g	۶۱۵/۴m	۴/۵۲fgh
		۴۴۲/۵ پی‌پی‌ام	۷۴/۷۹ e	۲۹/۴۸ h	۶۷۲/۹ l	۴/۷۸f
		۸۸۵ پی‌پی‌ام	۷۴/۶۸ e	۳۱/۷۷g	۸۹۷/۳ g	۷۷/۳iu
	۱۵۰۰ گرم در هکتار	عدم مصرف (شاهد)	۸۸/۵۷ bc	۳۲/۹ f	۹۵۱/۹ e	۵/۲۸f
		۴۴۲/۵ پی‌پی‌ام	۸۲/۰۱ c-e	۳۲/۱۷ fg	۸۴۰ h	۵/۴۸cd
		۸۸۵ پی‌پی‌ام	۷۳/۸۲ e	۲۶/۲۳ j	۹۲۷/۳ef	۵/۶۸c
تورم دانه	عدم مصرف (شاهد)	عدم مصرف (شاهد)	۹۹/۱۹ a	۱۸/۱۸ n	۷۰۱/۴ l	۴/۴۶gh
		۴۴۲/۵ پی‌پی‌ام	۱۰۰/۸۷ a	۱۷/۳ o	۸۰۷/۳ i	۴/۷fg
		۸۸۵ پی‌پی‌ام	۸۶/۴۴ b-d	۲۷/۸۹ i	۹۹۸ d	۳/۷۸ij
	۱۰۰۰ گرم در هکتار	عدم مصرف (شاهد)	۹۴/۱۴ ab	۱۷/۵۵ no	۱۰۸۸ b	۴/۶۶fg
		۴۴۲/۵ پی‌پی‌ام	۸۷/۰۱ b-d	۲۲/۸۴ l	۹۱۰ fg	۵/۱۷e
		۸۸۵ پی‌پی‌ام	۷۸/۸۰ de	۲۳/۰۵ l	۱۰۲۳ cd	۵/۶۳c
	۱۵۰۰ گرم در هکتار	عدم مصرف (شاهد)	۹۳/۶۱ ab	۲۶/۵ j	۱۰۴۶ c	۶/۲۱ab
		۴۴۲/۵ پی‌پی‌ام	۸۰/۸۴ c-e	۲۴/۹۹ k	۱۰۹۴ b	۶/۴۳a
		۸۸۵ پی‌پی‌ام	۷۸/۶۵ de	۲۳/۴۴ l	۱۱۷۷ a	۶/۰۲b

اعدادی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک باشند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشند.



شکل ۲: مقایسه میانگین اثر ریزمغذی بر فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز

بحث

علت کاهش ارتفاع بوته در این پژوهش را می‌توان نتیجه اثر سایکوسل در جلوگیری از رشد طولی سلول‌ها دانست که با نتایج Hashemzadeh (۲۰۰۹) و Koutroubas و همکاران (۲۰۱٤) مطابقت داشت. کمبود عناصر ریزمغذی با کاهش طول میان‌گره سبب کاهش ارتفاع گیاه گردید، فراهم نمودن این عناصر غذایی به شکل مصرف برگی می‌تواند باعث افزایش ارتفاع گیاه شود (Safyan et al., 2012). براساس گزارشات Rani و همکاران (۲۰۲۰) در شرایط تنش کمبود آب و کاربرد سایکوسل به سبب کاهش طول دوره رشد رویشی گیاه و متعاقب آن کاهش میزان فتوستنز، ارتفاع بوته کاهش یافت. نتایج این پژوهش در موافقت با یافته‌های برخی پژوهشگران در خصوص تأثیر کاهنده سایکوسل بر ارتفاع گیاه می‌باشد (Ibrahim and Kandil, 2007).

کاهش میزان محتوی رطوبت نسبی در اثر تنش کم آبی مربوط به انسداد روزنه‌ها بوده و بسته شدن روزنه‌ها با تجمع هورمون آبسیزیک‌اسید در سلول‌های روزنه‌ای در شرایط تنش خشکی ارتباط دارد (Afkari et al., 2010). در این تحقیق می‌توان بیان داشت تیمار سایکوسل با افزایش میزان تراکم بافت سلولی باعث افزایش غلظت شیره سلولی شده و از این طریق بر تحمل گیاه در برابر از دست دادن آب بافت در شرایط تنش کم آبی می‌افزاید (Kafi and Mahdavi damgani, 2001). از طرفی دلیل افزایش محتوی رطوبت نسبی برگ در گیاه تحت تیمار ریزمغذی و سایکوسل را می‌توان به نقش میکروالمنت‌های مورد نیاز آنتی‌اکسیدانت‌های سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز دانست که سبب فعال شدن آن‌ها در شرایط وجود ROS[1] فعال شده در اثر تنش می‌باشد که سبب خنثی‌سازی اثر مخرب آن‌ها شده و به اضافه وجود هورمون سایکوسل سبب شده که روزنه‌ها بسته و از هدر رفت رطوبت جلوگیری شود. با توجه به اینکه با ایجاد تنش برگ‌های گیاه ذرت لوله‌ای شدند بنابراین سطح برگ کاهش یافت و بدین ترتیب محتوی نسبی آب برگ در سطح بالاتری حفظ شد و به نظر می‌رسد عامل کاهش محتوی نسبی آب برگ تحت تأثیر قطع آبیاری عدم دسترسی گیاه به حجم آب کافی برای تنظیمات اسمزی در محدوده توسعه ریشه باشد که این نتایج با دستاوردهای Mansuri Far و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت داشت.

در این پژوهش بالا رفتن میزان پرولین در بافت‌های گیاهان به نوعی بیانگر فعال شدن مکانیسم تنظیم اسمزی است که شرایط را برای جذب بیشتر آب و املاح از محیط ریشه فراهم می‌آورد. پرولین از مهمترین اسمولیت‌هایی است که در پاسخ به تنش‌های مختلف محیطی و با هدف کاهش میزان تجمع رادیکال‌های آزاد در برگ گیاهان تجمع می‌یابد (Nikolaeva et al., 2010). در همین رابطه با افزایش غلظت محلول‌پاشی سایکوسل بر مقدار پرولین برگ‌های گیاه به صورت محسوسی افزوده می‌گردد (Imam and Ilkaee, 2002). سایر پژوهش‌گران نظیر Hughو Davis (۲۰۰۳) و Moaveni (۲۰۱۱) نیز به افزایش مقدار پرولین در شرایط تنش اشاره نموده‌اند. اثر زیاد تنش کمبود آب در ذرت به این موضوع بر می‌گردد که تعداد دانه‌های تشکیلی ذرت در زمان گلدهی تعیین می‌شوند. تنش کمبود آب باعث می‌شود که رشد بلال به آرامی صورت گیرد و دانه‌های گرده ذرت زمانی آماده گرده‌افشانی هستند که هنوز تارهای ابریشمی آمادگی پذیرش دانه گرده را ندارند و این موضوع باعث کاهش تعداد دانه‌های تشکیل شده و عملکرد دانه می‌شود (Sah et al., 2020). از طرفی محلول‌پاشی گیاه با سایکوسل موجب تعدیل وضعیت گیاه در برابر تنش خشکی شد. سایکوسل با انتقال

1 - Reactive Oxygen Species

مواد فتوسنتزی کافی به دانه‌ها در پرشدن آن‌ها و افزایش وزن دانه‌ها نقش به‌سزایی دارند. از طرفی سایکوسل با افزایش سطح برگ، باعث فتوسنتز بیشتر شده و مواد پرورده بیشتری به سمت دانه‌ها انتقال و افزایش عملکرد دانه بیش‌تری را موجب می‌شود (Burton et al., 2008). عدم تنش خشکی و کاربرد سایکوسل باعث افزایش باروری تعداد گل‌ها و انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه‌ها می‌گردد (Pandey et al., 2003). مصرف کود ریزمغذی به همراه سایکوسل سبب افزایش عملکرد دانه می‌گردد که به دلیل نقش حیاتی ریزمغذی‌ها در انجام عمل فتوسنتز و تولید مواد اسیمیلاته و نقش مهم سایکوسل در کاهش رشد رویشی و افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی جهت پرشدن دانه‌ها می‌باشد (Rokh Afrooz et al., 2016).

یافته‌های این پژوهش با نتایج Khalilzadeh و همکاران (۲۰۱۶) و Karimi و همکاران (۲۰۲۱) در خصوص اثر مثبت سایکوسل و مواد ریزمغذی مطابقت دارد. تنش خشکی از طریق کاهش آب گیاه باعث تولید انواع اکسیژن‌های فعال مانند سوپراکسید و پراکسید هیدروژن می‌شود (Kalefetoglu and Ekmekci, 2005). براساس یافته‌های Senaratna و همکاران (۲۰۰۰) در شرایط خشکی با کاهش پتانسیل آب برگ، محتوای هیدروژن پراکسید افزایش یافت و این ترکیب از طریق پراکسیداسیون لیپیدها موجب آسیب به غشای سلولی شد. در یک تحقیق در شرایط تنش خشکی و در پی افزایش میزان آبسزیک اسید، افزایش تولید پراکسیدهیدروژن در گیاه ذرت گزارش شد (Gunes et al., 2007). افزایش تولید مواد تخریب‌کننده غشا از جمله پراکسیدهیدروژن در شرایط تنش خشکی، سبب کاهش پایداری غشا می‌گردد. بنابراین گیاهانی که قادر به حذف یا کاهش میزان تولید این ترکیبات در شرایط تنش خشکی باشند، می‌توانند میزان پایداری غشای خود را درحد مطلوبی حفظ و از تخریب آن جلوگیری نمایند که با نتایج Wang و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت داشت.

در این تحقیق افزایش تنش خشکی باعث کاهش میزان پتاسیم گیاه شد که با افزایش غلظت سایکوسل مقدار عنصر پتاسیم افزایش یافت، که این افزایش را می‌توان به اثر مستقیم سایکوسل بر افزایش رشد طولی و قطری ریشه نسبت داد. احتمالاً علت کاهش پتاسیم در شرایط تنش خشکی، کاهش میزان حلالیت پتاسیم و متعاقبا کاهش جذب آن توسط ریشه‌های گیاه است. از طرف دیگر کلوئیدهای خاک با قدرت بیشتری پتاسیم را جذب می‌کنند و مانع جذب آن توسط ریشه می‌شوند (Marschner and Cakmak, 1989). در همین راستا Abdul-Majid و همکاران (۲۰۰۷) بیان داشتند که کاهش محتوای آب خاک، سبب کاهش جذب پتاسیم شد. دلیل این موضوع را کاهش جذب پتاسیم توسط ریشه اعلام نمودند که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی داشت.

فعالیت‌های آنزیمی آنتی‌اکسیدانت در سلول‌های گیاهی غالباً در مواجهه گیاه با تنش‌های محیطی افزایش یافته و از این طریق گیاهان قادرند از خسارات رادیکال‌های آزاد اکسیژن ایجاد شده بکاهند. در این پژوهش کاربرد مواد ریزمغذی توانست سیستم تدافعی در گیاه را تقویت کند و تحمل گیاه در برابر تنش خشکی را افزایش دهد (Zeid and Shedeed, 2006). به دنبال افزایش تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در برگ ذرت افزایش یافت (Anjum et al., 2011) که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. غلظت آنزیم گلوتاتیون پراکسید در شرایط اعمال تنش افزایش یافت. افزایش فعالیت آنزیمی احتمالاً در ارتباط با سیستم دفاعی گیاه برای مقابله با رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌باشد و مصرف سایکوسل باعث افزایش معنی‌داری بر فعالیت این آنزیم شد

(Sami, 1993). بنابر گزارش Sharifi و Mohammad khani (۲۰۱۸) فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به واسطه اعمال تنش خشکی افزایش یافت. گلوتاتیون پراکسیداز، کاهش پراکسیدهیدروژن را با استفاده از گلوتاتیون احیا شده کاتالیز می‌کند و از سلول‌ها در برابر آسیب‌های ناشی از اکسایش حفاظت می‌کند (Dixon et al., 1998). یون‌های فلزی همچون آهن، روی، مس، منگنز و منیزیم به عنوان کوفاکتور در ساختمان بسیاری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت مشارکت داشته و نتایج مطالعات Cakmak (۲۰۰۰) حاکی از آن است که تحت شرایط تنش کمبود عناصر ریزمغذی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاهش یافته و بنابراین حساسیت گیاهان به تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

غلظت پروتئین‌های محلول برگ‌ها در اثر تنش خشکی به علت افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین، کاهش سنتز پروتئین‌ها و نیز تجمع اسید آمینه آزاد از جمله پرولین، کاهش می‌یابد (Bajji et al., 2001). نتایج حاصل از این تحقیقات در رابطه با واکنش‌های فیزیولوژیکی به تنش خشکی متفاوت و گاهی متناقض می‌باشند. این تفاوت‌ها به دلیل مواد گیاهی متفاوت و تا حدودی نیز به علت شرایط متفاوت آزمایشی، کاهش می‌یابد. در این راستا Mohammadkhani و Heidari (۲۰۰۸) عامل کاهش میزان پروتئین‌های محلول در گیاه ذرت تیمار شده با خشکی را، افت شدید فرآیند فتوسنتز و متعاقب آن کاهش پیش ماده‌های تولیدکننده پروتئین و در نهایت کاهش سنتز پروتئین‌ها بیان نمودند. به نظر می‌رسد که کاهش محتوای پروتئین تحت تنش خشکی با کاهش سنتز و افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین مرتبط باشد، که این موضوع با یافته‌های این پژوهش مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری نهائی

به‌طورکلی نتایج آزمایش نشان داد که در شرایط مطلوب رطوبتی افزایش محلول‌پاشی ریزمغذی و سایکوسل با افزایش معنی‌دار عملکرد دانه همراه بود. در این تحقیق محلول‌پاشی ریزمغذی و سایکوسل توانست عملکرد دانه را نسبت به شرایط تنش کم آبی و عدم محلول‌پاشی، ۳۵ درصد افزایش دهد. هم‌چنین فعالیت‌های آنزیمی آنتی‌اکسیدانت در سلول‌های گیاهی غالباً در مواجهه گیاه با تنش‌های محیطی افزایش یافت و از این طریق گیاهان توانستند از خسارات رادیکال‌های آزاد اکسیژن ایجاد شده بکاهند. به‌نظر می‌رسد کاربرد کود ریزمغذی و سایکوسل در مراحل رشد، باعث بهبود رشد گیاه، اندام هوایی و در نتیجه جذب بیشتر عناصر مورد نیاز گیاه از خاک در شرایط تنش شده است. بنابراین گیاهان محلول‌پاشی شده با کود ریزمغذی و سایکوسل، آب بیشتری از عمق‌های پایین‌تر خاک دریافت کرده و تا حدودی خسارت ناشی از تنش کمبود آب را کاهش داده‌اند. از این رو می‌توان گفت که در شرایط تنش کاربرد کود ریزمغذی و سایکوسل به صورت محلول‌پاشی در گیاهان توصیه می‌شود.

Reference

Abdul-Majid, S., Rehana, A., and Ghulam, M. (2007). Potassium-calcium interrelationship linked to drought tolerance in wheat. Pakistan Journal of Botany. 39(1): 609-1621.

Admasu, R., Michael, A.W., and Hordofa, T. (2019). Effect of moisture stress on maize (*Zea Mays* L.) yield and water productivity. International Journal of Environmental Sciences and Natural Resources. 16(4): 83-87.

Afkari, A., Ghasemof, N., Yarnia, M. (2010). Effect of drought stress and potassium on some of the physiological and morphological traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars.

11th Iranian Crop Science Congrees. Tehran. Iran. pp, 154-156. (In persian with english abstract).

Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L., and Zou, C.M. (2011). Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. Journal of Agronomy of Crop Science. 197: 177-185.

Ardakani, M.R., and Nadvar, R. (2010). Principles and techniques for plant and scientist (translated). Tehran University.502p. (In persian with english abstract).

Bajji, M., Lutts, S., and Kinet, J. M. (2001). Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. Plant Science. 160: 669-681.

Bates, L.S., Waldren, R.P., and Teare, L.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39: 205-207.

Blokhin, O., Virolainen, E., and Fagerstedt, K. (2003). Antioxidant oxidative damage and oxygen deprivation stress. Annals of Botany. 91:179-194.

Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. Analytical Biochemistry. 72: 248-254.

Brennan, T., and Frenkel, C. (1977). Involvement of hydrogen peroxide in the regulation of senescence in pear. Plant Physiology. 59: 411-416.

Burton, J.D., Pedersen, M.K., and Coble, H.D. (2008). Effect of cyclanilide on auxin activity. Journal of Plant Growth Regulation. 27: 342-352.

Cakmak, I. (2000). Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytol. 146: 85-200.

Chen, L., Lin, C.C., and Kao, C.H. (2000). Copper toxicity in rice seedlings: changes in antioxidative enzyme activities, H2O2 level, and cell wall peroxidase activity in roots. Botanical Studies An International Journal. 41: 99- 103

Dixon, D.P., Cummins, I., Cole, D.J., and Edwards, R. (1998). Glutathione-mediated detoxification systems in plants. Current Opinion in Plant Biology. 1: 258–266.

FAOSTAT. (2018). Statistical database of the food and agriculture organization of the United Nations. FAO, Rome.

Gill, S.S., and Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry. 48: 909-930.

Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Guneri Bagci, E., and Cicek, N. (2007). Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. Plant Physiology. 164: 728-736.

Hashemzadeh, F. (2009). Effects of drought stress and cycocel application on yield of maize varieties in second crop. Agroecology Journal. 5(14), 67-79. (In persian with english abstract).

Hugh, J., and Davis, F. (2003). Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation efficiency and yield of maize. Agronomy Journal. 95: 688-696.

Ibrahim, S.A., and Kandil, H. (2007). Growth, yield and chemical constituents of soybean (*Glycine max* L.) plants as affect by plant spacing under different irrigation intervals. Research Journal of Agricultural and Biological Science. 3(6): 657-663.

Imam, Y., Ilkaee, M.N. (2002). Effect of plant density and chlormequat chloride (CCC) on morphological characteristics and grain yield of winter oilseed rape cv. Talayeh. Iranian Journal of Crop Science. 4: 1-8. (In persian with english abstract).

Jaleel, C.A., Gopi, R., Sankar, B., Gomathinayagam, M., and Panneerselvam, R. (2008). Differential responses in water use efficiency in two varieties of Catharanthus roseus under drought stress. Comptes Rendus Biologies. 331(1): 42-47.

Kafi, M., and Mahdavidamgani, A.M. (2001). Mechanisms of plants resistant to environmental stresses Publication of Ferdowsi University, Mashhad. 472 p.

Kalefetoglu, T., and Ekmekci, Y. (2005). The effects of drought on plants and tolerance mechanisms (Review). *G.U.* Journal of Science. 18(4): 723–740.

Karimi, D.K., Mojaddam, M., Lack, Sh., Payandeh, Kh., and Shokuhfar, A.R. (2021). The effect of superabsorbent and iron and zinc foliar application on antioxidant enzyme activity and yield maize (S.C.704) (*Zea mays* L.) under irrigation regimes. Environmental Stresses in Crop Sciences. 14(2): 387-402. (In persian).

Khalilzadeh, R., SeyedSharifi, R., and Jalilian, J. (2016). Antioxidant status and physiological responses of wheat (*Triticum aestivum L.*) to cycocel application and bio fertilizers under water limitation condition. Journal of Plant Interaction. 11(1): 130-137.

Koutroubas, S.D., Vassiliou, G., and Damalas, C.A. (2014). Sunflower morphology and yield as affectedby foliar applications of plant growth regulators. International Journal of Plant Production. 8: 215-229.

Lobell, D.B., Roberts, M.J., Schlenker, W., Braun, N., Little, B.B., Rejesus, R.M., and Hammer, G.L. (2014). Greater sensitivity to drought accompanies maize yield increasein the US Midwest. Science. 344: 516-519.

Malan, C., Greyling, M.M., Gressel, J. (1990). Correlation between Cu/Zn superoxide dismutase and glutathione reductase and environmental and xenobiotic stress tolerance in maize inbreeds. Plant Science 69: 157-166.

Mansouri Far, C., Modarres sanavy, S. A. M., Saberali, S. F. (2010). Maize yield response to deficit irrigation during low-sensitive growth stages and nitrogen rate under semi-arid climatic conditions. Agricultural Water Management. 97(1): 12–22.

Marschner, H., and Cakmak, I. (1989). High light intensity enhances chlorosis inleaves of Zn, K and Mg deficient bean plants. Journal Plant Physiology. 134(3): 308-315.

Mate, J.M., Aledo, J.C., Perez-Gomez, C., Estebandel Valle, A., and Segura, J.M. (2000). Interrelationship between oxidative damage and antioxidant enzyme activities: An easy and rapid experimental approach. Biochemical Education. 28(2): 93-5.

Moaveni, P. (2011). Effect of drought stress on some antioxidant enzymes and prolin of sorghum. Journal Crop Ecophysiol. 3(1): 24-30.

Mohammadkhani, N., and Heidari, R. (2008). Effects of drought stress on soluble proteins in two maize varieties. Turkish Biology. 32: 23-30.

Nikolaeva, M.K., Maevskaya, S.N., Shugaev, A.G., Bukhov, N.G. (2010). Effects of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. Russian Journal of Plant Physiology. 57: 87-95.

Pandey, D.M., Goswami, C.L., and Kumar, B. (2003). Physiological effects of plant hormones in cotton under drought. Biologia Planetarum. 47(4): 535-540.

Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., Ashraf, M. (2014). Impact of cycocel on seed germination and growth in some commercial crops under osmotic stress conditions. Archives of Agronomy and Soil Science. 60(9): 1277-1289. (In persian with English abstract).

Rani, K.S., Chourat, S., Rani, C.S. (2020). Effect of plant growth regulator cycocel o growth, yield and economics of rabi sorghum (*Sorghum bicolor* L.) under rainfed conditions. International Journal of Chemical Studies. 8(6): 1030-1033.

Rokh Afrooz, Kh., Imam, Y., and Pirasteh Anousheh, H. (2016). Effect of chloroquate chloride on yield and yield components of three wheat cultivars under drought stress conditions. Journal of Crop production and processing. 6(20): 111-123. (In persian with English abstract).

Safyan, N., Naderidarbaghshahi, M.R., and Bahari, B. (2012). The effect of microelements spraying on growth, qualitative and quantitative grain corn in Iran. International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 3 (1): 2780-2784.

Sah, R. P., Chakraborty, M., Prasad, K., Pandit, M., Tudu, V. K., Chakravarty, M. K., Narayan, S. C., Rana, M., and Moharana, D. (2020). Impact of water deficit stress in maize: Phenology and yield components. Scientific Reports. 10: 1-15.

Sami, A. (1993). Oxidative stress and antioxidant defenses in biology. Chapman and Hall. 448 p.

Senaratna, T., Ouchell, D., Bunn, E., and Dixon, K. (2000). Acetyl salicylic acid (aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regulator. 30: 157-161.

Sharifi, O., and Mohammadkhani, N. (2018). Effects of drought stress on enzymatic and non-enzymatic antioxidants in flag Leaf and spikes of tolerant and sensitive wheat genotypes. The Plant Production. 41(3): 37-50. (In persian with English abstract).

Wang, Y., Liu, C., Li, K., Sun, F., Hu, H., Li, X., Zhao, Y., Han, C., Zhang, W., Duan, Y., Liu, M., and Li, X. (2007). Arabidopsis EIN2 modulates stress response through abscisic acid response pathway. Plant Molecular Biology. 64: 633–644.

Zand, B., Soroosh zadeh, A., Ghanati, F., and Moradi, F. (2010). Effect of zinc and auxin foliar application on some anti-oxidant enzymes activity in corn leaf. Iranian Journal of Plant Biology. 2(1)P 35-48. (In persian with English abstract).

Zeid, I. M., and Shedeed, Z.A. (2006). Response of alfalfa to putrescine treatment under drought stress. Biology Plantarum. 50(4): 635-640.