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

The effect of hydrogen peroxide pretreatment and copper foliar application on some physiological traits and quantitative yield of SC704 maize hybrid under water deficit stress

Abdullah Ayaran[1], Mohammadreza Dadnia[2*], Mojtabi Alavi Fazel[3], Shahram Lak[4], Tayyab Sakinejad[5]

[1] Department of Agriculture, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran, Email: abd.ayara@gmail.com
[2] Department of Agriculture, Ahvaz branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran, Email: rezadadnia@yahoo.com
[3] Department of Agriculture, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran, Email: mojtaba_alavifazel@yahoo.com
[4] Department of Agriculture, Ahvaz branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran, Email: sh.lack@yahoo.com
[5] Department of Agriculture, Ahvaz branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran, Email: t.saki1350@yahoo.com

Article type:
Research article

Article history
Received: 09.12.2022
Revised: 04.02.2023
Accepted: 11.02.2023
Published:22.12.2023

Keywords
Catalase
Carotenoid
Chlorophyll a
Grain yield
Irrigation
Plant height

Abstract

In order to investigate the effect of hydrogen peroxide pretreatment and copper foliar application on some physiological traits and quantitative yield of corn under water deficit stress, a Split split plot experiment was conducted in a randomized complete block design with four replications, plants were planted in during two years (2017-19) in Baghmalek. The main plot of the irrigation regime with 4 normal levels, stopping irrigation 40, 55 and 70 days after the appearance of tassels, the sub-plot of copper foliar spraying with two control levels and 0.30 kg net per hectare from the source of copper sulfate 50% 25 days after the emergence of tassel and sub-plot of seed treatment with hydrogen peroxide with 3 control levels, 30 and 60 mM. The results showed that the triple interaction of irrigation regime, copper foliar application and hydrogen peroxide on chlorophyll a content, chlorophyll b, total carotenoid, catalase activity, plant height, number of seeds in a row and seed yield was significant at the probability level of 1%. The highest plant height and the number of seeds in the row were obtained from copper foliar spraying treatments and the application of 60 mM hydrogen peroxide under normal irrigation conditions. Also, the highest seed yield (9530.07 kg/ha) was obtained under normal irrigation conditions and copper foliar spraying and the application of 60 mM hydrogen peroxide, which showed an increase of about 42% compared to the cessation of irrigation 40 days after the emergence of tassels and the absence of copper foliar spraying and the absence of hydrogen peroxide application. The activity of catalase increased by 67% in the condition of stopping irrigation 40 days after the appearance of tassel and copper foliar application and application of 30 mM hydrogen peroxide compared to normal and control irrigation conditions. In general, the results of the experiment showed that copper foliar spraying and application of 60 mM hydrogen peroxide in suitable humidity conditions can increase chlorophyll content, grain yield and overall improvement of corn production.

Cite this article as Ayaran, A., Dadnia, M.R., Alavi Fazel, M., Lak, Sh., Sakinejad, T. (2023). The effect of hydrogen peroxide pretreatment and copper foliar application on some physiological traits and quantitative yield of SC704 maize hybrid under water deficit stress. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 18(4): 167-181.

©The author(s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch

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

اثر پیش تیمار پراکسیدهیدروژن و محلول‌پاشی مس بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد کمی ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ تحت تنش کمبود آب

عبداله ایاران[۱]، محمدرضا دادنیا[۲]*، مجتبی علوی فاضل[۱]، شهرام لک[۲]، طیب ساکی‌نژاد[۲]

[۱] گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، رایانامه: abd.ayara@gmail.com
[۲] گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، رایانامه: rezadadnia@yahoo.com
[۳] گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، رایانامه: mojtaba_alavifazel@yahoo.com
[٤] گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، رایانامه: sh.lack@yahoo.com
[٥] گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، رایانامه: t.saki1350@yahoo.com

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۰۹/۱۸
تاریخ بازنگری: ۱٤۰۱/۱۱/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۱۱/۲۲
تاریخ چاپ: ۱٤۰۲/۱۰/۰۱

واژه‌های کلیدی:
ارتفاع بوته
عملکرد دانه
قطع آبیاری
کاتالاز
کارتنوئید و کلروفیل a.

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کاربرد پیش تیمار پراکسیدهیدروژن و محلول‌پاشی مس بر برخی صفات فیزیولوژیکی و عملکرد کمی ذرت تحت تنش کمبود آب، آزمایشی به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طی سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹٦ و ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان باغملک اجرا شد. کرت اصلی رژیم آبیاری با ٤ سطح نرمال، قطع آبیاری ٤۰ ، ۵۵ و ۷۰ روز بعد از ظهور تاسل، کرت فرعی محلول‌پاشی مس با دو سطح شاهد و ۰/۳۰ کیلوگرم خالص در هکتار از منبع سولفات مس ۵۰ درصد ۲۵ روز بعد از ظهور تاسل و کرت فرعی فرعی تیمار بذر با پراکسید هیدروژن با ۳ سطح شاهد،۳۰ و ٦۰ میلی‌مولار بود. نتایج نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه رژیم آبیاری، محلول‌پاشی مس و پراکسیدهیدروژن بر محتوی کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید کل، فعالیت کاتالازی، ارتفاع بوته، تعداد دانه در ردیف و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین ارتفاع بوته و تعداد دانه در ردیف از تیمارهای محلول‌پاشی مس و کاربرد ٦۰ میلی‌مولار پراکسیدهیدروژن در شرایط آبیاری نرمال حاصل شد. همچنین بیشترین عملکرد دانه (۹۵۳۰/۰۷ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری نرمال و محلول‌پاشی مس و کاربرد ٦۰ میلی‌مولار پراکسیدهیدروژن حاصل شد که نسبت به قطع آبیاری ٤۰ روز بعد از ظهور تاسل و عدم محلول‌پاشی مس و عدم کاربرد پراکسیدهیدروژن حدود ٤۲ درصد افزایش نشان داد. فعالیت کاتالازی در شرایط قطع آبیاری ٤۰ روز بعد از ظهور تاسل و محلول‌پاشی مس و کاربرد ۳۰ میلی‌مولار پراکسیدهیدروژن حدود ٦۷ درصد نسبت به شرایط آبیاری نرمال و شاهد افزایش یافت. به‌طور کلی نتایج آزمایش نشان داد که محلول‌پاشی مس و کاربرد ٦۰ میلی‌مولار پراکسیدهیدروژن در شرایط رطوبتی مناسب می‌تواند موجب افزایش مقدار کلروفیل، عملکرد دانه و در کل بهبود تولید ذرت شود.

استناد: ایاران، عبداله؛ دادنیا، محمدرضا؛ علوی فاضل، مجتبی؛ لک، شهرام؛ ساکی‌نژاد، طیب. (۱٤۰۲). اثر پیش تیمار پراکسیدهیدروژن و محلول‌پاشی مس بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد کمی ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰٤ تحت تنش کمبود آب. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۱۸(٤)، ۱۸۱-۱٦۷.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

ذرت (*Zae mays* L.) به دلیل ویژگی‌های بسیار زیاد به ویژه قدرت سازگاری با شرایط اقلیمی گوناگون، در تمام دنیا گسترش یافته و از نظر تولید سومین محصول مهم کشاورزی در جهان است (Ghete et al., 2018). از میان تنش‌های محیطی، تنش خشکی و بروز وضعیت کمبود آب از مهمترین عوامل محدودکننده تولید محصولات زراعی در سیستم‌های کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌آید (Ijaz et al., 2017). 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).

تنش کمبود آب به شیوه‌های مختلف رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. طیف وسیعی از اختلالات مولکولی که منجر به ایجاد آسیب‌های فیزیولوژیکی در گیاهان تحت تنش کمبود آب می‌شوند می‌تواند ناشی از تولید رادیکال‌های فعال و مخرب اکسیژن باشد. این رادیکال‌ها واکنش‌هایی را هدایت می‌کنند که سبب نابودی DNA، پراکسیداسیون چربی‌ها، تخریب پروتئین‌های غشایی و ماکروپروتئین‌ها در سلول از جمله رنگیزه‌های کلروفیل، کارتنوئیدها و آنزیم‌ها می‌شوند. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت نظیر کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز در سلول‌های گیاهی غالباً در مواجهه گیاه با تنش‌های محیطی، افزایش یافته و از این طریق گیاهان قادر هستند از خسارات ناشی از تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن بکاهند (Sharma et al., 2012). البته شواهدی قانع‌کننده در ارتباط با نقش بیولوژیکی مس و سیگنال رادیکال‌های آزاد اکسیژن به خصوص پراکسید هیدروژن به عنوان یک پیام‌رسان مولکولی در ارتباط با کمبود آب در گیاهان وجود دارد که در این رابطه می‌توان به کاهش میزان نشانگرهای شیمیایی در این راستا اشاره کرد (Gill and Tuteja, 2010).

پراکسیدهیدروژن در گیاهان به عنوان تنظیم‌کننده فرآیندهای اصلی مانند آسیمیلاسیون، فتوسنتز، تنفس، هدایت‌روزنه‌ای، رشد و توسعه نقش دارد. پراکسیدهیدروژن هنگام گسترش تنش‌ها افزایش می‌یابد و بعضی محققین معتقد هستند که پراکسید هیدروژن، فاکتور کلیدی در پدیده‌های آسیمیلاسیون و تحمل به تنش است (Mudgal et al., 2010). همچنین راه‌کارهای مختلف مانند پیش تیمار کردن بذور قبل از کشت و استفاده از عناصری مانند مس که روشی آسان، کم هزینه و با ریسک کم است باعث کاهش مشکلات ناشی از تنش‌های محیطی می‌شود بطوری‌که پیش تیمار بذر با پراکسید هیدروژن و محلول پاشی مس در زمان مناسب فرآیند از دست‌دهی آب را کنترل کرده و باعث می‌شود فعالیت‌های متابولیکی قبل از به وجود آمدن رادیکال‌های آزاد اکسیژن انجام شود (Santhy et al., 2014).

مس عنصری کم مصرف، اما ضروری برای همه گیاهان عالی است که از نظر ویژگی‌های اکسیداسیون احیا و همچنین تشکیل کمپلکس‌های بسیار پایدار به آهن شباهت دارد. مس دو ظرفیتی سریعاً می‌تواند به مس تک ظرفیتی احیاء شود. نقش مهم مس به‌عنوان عنصر غذایی به دلیل شرکت آن در ساختمان آنزیم‌های مهم و مشارکت در نقل و انتقال الکترون‌ها در واکنش‌های اکسیداسیون – احیا می‌باشد (Kabata-Pendias and Pendias, 1992). نقش مس عمدتاً در فعالیت‌های آنزیمی و تولید کلروپلاست است. وجود این عنصر در سیستم‌های آنزیمی‌اکسیداز کاتالاز، واکنش‌های انتقال الکترون برای فعال کردن آنزیم‌های مختلف ضروری است. مس عنصری فیزیولوژیکی است که در فرآیندهای فیزیولوژیکی و

بیوشیمیایی نقش دارد. با وجود اهمیت مس در رشد و نمو گیاهی، زمانی که مس به مقدار اضافی در اختیار گیاه قرار گیرد باعث ایجاد علائم سمیت در گیاه می‌شود. مس اضافی باعث کاهش رشد و فعالیت فتوسنتزی و باعث ایجاد آسیب در غشاها و دستگاه ژنتیکی و پروتئین‌ها و سرکوب فعالیت‌های آنزیمی می‌گردد (Houshmandfar and Moraghebi, 2011). مشخص شده است که پرایمینگ بذر گیاهان با پراکسیدهیدروژن باعث تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در دانه‌های حاصل از پرایمینگ می‌شود و دانه‌های رشد یافته از بذهای پرایمینگ شده با پراکسید هیدروژن مقاومت بالایی به تنش‌ها نشان می‌دهند (Ellouzi et al., 2017). در پژوهش‌های متعدد نقش پرایمینگ پراکسید هیدروژن در کاهش آسیب‌های اکسیداتیو از طریق افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانت در گیاه ذرت نشان داده شده است (Gondim et al., 2013). Karimi و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقات خود بیان داشتند که در شرایط تنش کم آبی عملکرد دانه کاهش یافت اما فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز افزایش یافت. در نتایج آن‌ها محلول‌پاشی ریزمغذی نظیر مس در شرایط تنش رطوبتی موجب افزایش عملکرد دانه و سوپراکسیددیسموتاز شد. بنابراین با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه باغملک، بررسی نقش کاربرد پیش تیمار پراکسیدهیدروژن و محلول‌پاشی مس بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد کمی ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰٤ تحت تنش کمبود آب از اهداف این تحقیق بود.

مواد و روش‌ها

محل اجرای طرح: این پژوهش در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹٦ و ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان باغملک با موقعیت عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۱ دقیقه‌ی شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ٤۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۱۷ متر از سطح دریا انجام شد. این آزمایش به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در گیاه ذرت به اجرا در آمد. کرت اصلی رژیم آبیاری با ٤ سطح نرمال، قطع آبیاری ٤۰ روز بعد از ظهور تاسل، قطع آبیاری ۵۵ روز بعد از ظهور تاسل و قطع آبیاری ۷۰ روز بعد از ظهور تاسل، کرت فرعی محلول‌پاشی مس با دو سطح شاهد و ۰/۳۰ کیلوگرم خالص در هکتار از منبع سولفات مس ۵۰ درصد ۲۵ روز بعد از ظهور تاسل و کرت فرعی فرعی تیمار بذر با پراکسید هیدروژن با ۳ سطح شاهد، ۳۰ و ٦۰ میلی‌مولار بود. آزمایش از ۹٦ کرت تشکیل شد. هر کرت آزمایشی دارای چهار خط کاشت به طول چهار متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر با تراکم ۱۰ بوته در مترمربع بود. فاصله دو کرت فرعی یک متر (معادل یک خط نکاشت) و بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر فاصله در نظر گرفته شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل پژوهش در (جدول ۱) و ویژگی‌های اقلیمی منطقه باغملک در (جدول ۲) ارائه شده است.

عملیات زراعی: عملیات تهیه بستر شامل شخم با گاو آهن برگردان‌دار، دیسک و نهایتا عملیات تسطیح با ماله بود. کود پایه بکار برده شده در مزرعه شامل کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت تقسیط در دو مرحله (۵۰ درصد هم‌زمان با کاشت و ۵۰ درصد در مرحله شش برگی به‌صورت سرک) و کود فسفر نیز بر مبنای ۱۰۰ کیلوگرم فسفر خالص از منبع سوپرفسفات تریپل در هنگام تهیه زمین بود. هیبرید مورد کشت برای گیاه ذرت سینگل کراس ۷۰٤ که رقمی دیررس بود و از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد دزفول تهیه شد. عملیات کاشت بذر در تاریخ‌های یک مرداد ۱۳۹۷

و دو مرداد ۱۳۹۸ به‌صورت دستی روی پشته‌ها در عمق پنج سانتی‌متری خاک کمی بالاتر از داغاب انجام شد. بعد از کشت، مزرعه مورد آزمایش بلافاصله آبیاری شد. به‌منظور بررسی تأثیر پیش تیمار بذر ذرت با پراکسید هیدروژن ابتدا برای ضدعفونی کردن، بذرها را در اتانول ۹۶ درصد به‌مدت ۳۰ ثانیه قرار داده و توسط آب مقطر شستشو انجام گرفت سپس به مدت ۸ ساعت در پراکسید هیدروژن با سه غلظت صفر (آب مقطر)، ۳۰ و ٦۰ میلی‌مولار قرار گرفتند. برای محلول‌پاشی مس با توجه به مساحت کاشت هر تکرار (حدود۲۷۰ مترمربع) حدود ۳۲ گرم سولفات مس ۵۰ درصد برای هر تکرار استفاده شد. کنترل علف‌های‌هرز به صورت وجین دستی انجام شد.

نمونه‌برداری

عملکرد دانه و اجزای عملکرد: رسیدگی دانه‌ها با ایجاد لایه سیاه در قاعده دانه‌ها مشخص گردید و برداشت نهایی با حذف ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای خطوط از سطحی معادل دو مترمربع انجام شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه در هر کرت آزمایشی پس از حذف ۰/۵ متر از دو انتهای خطوط، تمامی بلال‌های موجود در دو خط میانی به طول دو متر به‌صورت دستی برداشت و پس از خشک شدن در آون، جداسازی دانه‌ها به‌صورت دستی انجام گرفت و با رطوبت ١٤ درصد وزن شد. برای اندازه‌گیری تعداد دانه در ردیف، به‌طور تصادفی پنج بلال از کل بلال‌های برداشت شده در هر کرت جدا و دانه‌های تمام ردیف آن‌ها شمارش و میانگین آن‌ها به عنوان تعداد دانه در ردیف در نظر گرفته شد.

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 گردید (Hashemzadeh, 2009).

محاسبه کلروفیل a، b و کارتنوئیدها: جهت محاسبه کلروفیل و کاروتنوئیدها از روش آرنون (Arnon, 1975) استفاده شد. در این روش ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ توزین و به قطعات کوچک خرد و سپس با مقداری استون ۸۰٪ در هاون چینی له گردید و بعد حجم آن با افزودن استون به ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس محلول حاصله به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. در مرحله بعد اپتیکال دانسیته عصاره برگ با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج‌های ٦٦٣، ٦٤٥ و ٤٧٠ نانومتر قرائت شده و غلظت کلروفیل a، b و کارتنوئید با استفاده از روابط زیر بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر نمونه محاسبه شد.

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 * A663 - 0.86 * A645)\ V/100W$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 * A645 - 3.6 * A663)\ V/100W$$

$$\text{Carotenoides} = 100(A470) - 3.27(\text{mg chl. a}) - 104(\text{mg chl. b})/227$$

V= حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)

A= جذب نور در طول موج‌های ٦٦٣، ٦٤٥ و ٤٧٠ نانومتر

W= وزن تر نمونه بر حسب گرم

سنجش فعالیت کاتالازی برگ: جهت سنجش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان در مرحله گلدهی کامل، نمونه‌هایی از برگ‌های تازه انتهایی گیاه تهیه و در نیتروژن مایع منجمد شد و تا زمان انجام آنالیزهای بیوشیمیایی در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. فعالیت آنزیم کاتالاز به روش بومیناتان و دوران (Boominathan and Doran, 2002) در مرحله گلدهی سنجیده شد. به این منظور، ۹۰۰ میکرولیتر از محلول واکنش (شامل محلول ده میلی‌مولار پراکسیدهیدروژن در بافر فسفات سالین بدون PVP و ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی) داخل کوت و پس

از افـزودن آب اکسـیژنه (H_2O_2) در محلـول واکـنش، بلافاصله کاهش ناشـی از تجزیـه H_2O_2 در اثـر عمـل کاتالاز، در طول مـوج ۲٤۰ نـانومتر و در مـدت یـک دقیقـــه توســـط دســـتگاه اســـپکتروفتومتر (مـــدل Uvi Light XS 5 SECOMAM) اندازه‌گیری و سـپس میزان فعالیت آنزیم محاسبه گردید.

محاسبات آماری: قبل از انجام تجزیه مرکب نتایج دو سال آزمایش به‌منظور اطمینان از یکنـواختی واریـانس اشـتباهات آزمایشـی از آزمـون بارتلیـت بـه وسـیله نرم‌افزار SAS 9.3 استفاده گردید و با توجـه بـه‌اینکـه اختلاف بین واریانس‌های خطا معنـی‌دار نبـود تجزیـه واربانس مرکب دو سال آزمایش با استفاده از نرم‌افـزار SAS انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکـن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

جدول ۱: ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک زمین آزمایش

سال	عمق خاک (سانتی‌متر)	بافت خاک	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	مس (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۱۳۹۶	۰-۳۰	رسی لومی	۷	۳/۵	۰/۸۵	۰/۰٤	۱۵۷	۱۰/۵۱	۰/۹۱
۱۳۹۷	۰-۳۰	رسی لومی	٦/۸	۳/۳۳	۰/۹۲	۰/۰۳	۱٦۷	۱۱/۲۰	۰/۸

جدول ۲: مشخصات پارامترهای هواشناسی در منطقه باغملک

ماه‌های سال	دما (سانتی‌گراد)			رطوبت نسبی
	حداکثر	حداقل	متوسط	(درصد)
خرداد	٤٤/۰۲	۲۲/۱۵	۳۲/۱۵	۲۵/۱
تیر	٤٦/۱۵	۲٤/۷٤	۳۳	۲۱
مرداد	٤۷/۲٤	۲٦/۱۳	۳۳/۷۱	۲٤
شهریور	٤۳/۷۸	۱۹/٤۵	۳۰/۲	۲۸/۳
مهر	۳۳/۱٤	۱۵/۲٦	۲٤/۸	۳۹
آبان	۲۷/٦٦	۱۱/۱	۱۸/۲۵	۵٤

نتایج

ارتفاع بوته: ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری تحت اثرات ساده تیمارهای آزمایش و برهم‌کـنش سـه‌گانـه رژیـم آبیـــاری، محلـــول‌پاشـــی مـــس و پـــیش تیمـــار پراکسیدهیدروژن قـرار گرفـت (جـدول ۲). بیشـترین ارتفاع بوته از تیمارهای محلول‌پاشی مس و کاربرد ٦۰ میلی‌مولار پراکسیدهیدروژن در شرایط آبیـاری نرمـال حاصل شد که نسبت بـه عـدم محلـول‌پاشـی و عـدم کاربرد پراکسیدهیدروژن در شـرایط قطـع آبیـاری ٤۰ روز بعد از ظهور تاسل حدود ۱٦درصد افزایش یافت (جدول ۳).

جدول ۳: تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه در ذرت در دو سال زراعی

منابع تغییرات	df	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	فعالیت کاتالاز	ارتفاع بوته	تعداد دانه در ردیف	عملکرد دانه
سال	۱	۰/۰۰۶ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۲ ns	۳/۷۶۶ ns	۰/۰۰۷ ns	۰/۰۰۷ ns	۶/۲۶۸ ns
سال × تکرار	۶	۰/۰۳۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۲۹/۲۶	۰/۰۶۷	۰/۰۸۵	۲/۳۷۹
رژیم آبیاری	۳	۵/۱۰۸ **	۰/۵۲۲ **	۰/۸۹۹ **	۳۱۴۹۲۰/۳۴ **	۱۳۶۴/۲۹۰ **	۱۸۷/۳۵۲ **	۲۶۰۱۷۷/۸۴ **
سال × رژیم آبیاری	۳	۰/۰۱۰ ns	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۲۸۰ ns	۰/۱۵۴ ns	۰/۰۱ ns	۲/۷۱۹ ns
خطا	۱۸	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۶	۰/۹۷۳	۰/۱۴۵	۰/۰۹	۳/۹۱۴
محلول پاشی مس	۱	۱/۲۸۵ **	۰/۱۸۶ **	۰/۲۴۲ **	۲۱۰۵۱/۱۹ **	۱۳۴/۱۵۱ **	۴۸/۰۴ **	۴۵۷۶۴/۴۶ **
سال × محلول پاشی مس	۱	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۰۵ ns	۰/۰۰۰۰۶ ns	۰/۶۱۳ ns	۰/۲۳۵ ns	۰/۰۰۰۳۵ ns	۰/۱۴۶ ns
رژیم آبیاری × محلول پاشی مس	۳	۰/۲۰۸ **	۰/۰۰۵۶ **	۰/۰۶۱ **	۶۸۹۷۶ **	۴/۳۵۷ **	۱/۴۳۹ **	۵۸۸/۸۰۳ **
سال × رژیم آبیاری × محلول پاشی مس	۳	۰/۰۱۵ ns	۰/۰۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۰۰۶ ns	۰/۱۳۶ ns	۰/۰۵۶ ns	۰/۰۱۵ ns	۳/۳۴۶ ns
خطا	۲۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۵	۰/۹۵۰	۰/۰۳۳	۰/۱۰۸	۱/۰۵۲
پیش تیمار پراکسید هیدروژن	۲	۶/۲۶۰ **	۰/۶۱۹ **	۱/۰۵۳ **	۳۸۹۲۱/۹۱ **	۵۰۹۳/۳۷ **	۵۱۵/۰۲۷ **	۷۱۸۴۹/۹۸۸ **
سال × پیش تیمار پراکسید هیدروژن	۲	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۴۶۷ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۲۴۰ ns
رژیم آبیاری × پیش تیمار پراکسید هیدروژن	۶	۰/۱۴۰ **	۰/۰۰۷۹ **	۰/۰۸۴ **	۱۸۰۶۷/۶۳ **	۳۰۵/۷۴۶ **	۸/۱۳۹ **	۲۸۷۴۸/۵۳ **
محلول‌پاشی مس× پراکسید هیدروژن	۲	۰/۰۱۶ ns	۰/۰۱۷۳ **	۰/۰۳۷ **	۲۶۰/۶۱ **	۰/۴۸۴ ns	۲/۳۴۴ **	۲۲۷/۵۹ **
سال × رژیم آبیاری × پراکسید هیدروژن	۶	۰/۰۱۰ ns	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۲۷۱ ns	۰/۰۶۴ ns	۰/۰۰۵۳ ns	۰/۷۴۷ ns
سال ×محلول‌پاشی مس × پراکسید هیدروژن	۲	۰/۰۱۵ ns	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۶۳۶ ns	۰/۰۷۲ ns	۰/۰۰۰۵ ns	۰/۴۴۱ ns
رژیم آبیاری×محلول‌پاشی مس×پراکسید هیدروژن	۶	۰/۱۲۰ **	۰/۰۱۴ **	۰/۰۵۱ **	۲۱۸/۶۸۴ **	۱/۶۵۹ **	۳/۴۹۶ **	۴۴۳/۹۳۹ **
سال×رژیم آبیاری×محلول‌پاشی مس×پراکسید هیدروژن	۶	۰/۰۰۸ ns	۰/۰۰۰۷ ns	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۳۶۱ ns	۰/۱۵۶ ns	۰/۰۰۹۵ ns	۴۴۳/۹۳ ns
خطا	۹۶	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۶	۱/۵۲۴	۰/۰۶	۰/۱۰۲	۲/۳۹۵

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد و ns به معنی عدم معنی‌دار است.

تعداد دانه در ردیف: اثر برهم‌کنش سه‌گانه رژیم آبیاری، محلول‌پاشی مس و پیش تیمار پراکسیدهیدروژن بر تعداد دانه در ردیف در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین تعداد دانه در ردیف از تیمار آبیاری نرمال و محلول‌پاشی مس و کاربرد ٦٠ میلی‌مولار پراکسیدهیدروژن و کمترین آن به تیمار عدم محلول‌پاشی مس و عدم کاربرد پراکسیدهیدروژن در شرایط قطع آبیاری ٤٠ روز بعد از ظهور تاسل تعلق گرفت (جدول ۳).

عملکرد دانه: عملکرد دانه تحت اثرات ساده و برهمکنش سه گانه تیمارهای رژیم آبیاری، محلول‌پاشی مس و پیش تیمار پراکسیدهیدروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). در این پژوهش آبیاری نرمال در شرایط محلول‌پاشی مس و کاربرد پیش تیمار پراکسیدهیدروژن بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد که نسبت به عدم محلول‌پاشی مس و عدم کاربرد پراکسیدهیدروژن در شرایط قطع آبیاری ٤٠ روز بعد از ظهور تاسل حدود ٤٢ درصد افزایش نشان داد (جدول ٤).

محتوی کلروفیل a: با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب، کلروفیل a به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر برهمکنش سه‌گانه تیمارهای رژیم آبیاری، محلول‌پاشی مس و پیش تیمار پراکسیدهیدروژن قرار گرفت (جدول ۳). بیش‌ترین میزان کلروفیل a با محلول‌پاشی مس و کاربرد ٦٠ میلی‌مولار پراکسیدهیدروژن در شرایط آبیاری نرمال حاصل شد که نسبت به عدم محلول‌پاشی مس و عدم کاربرد پراکسیدهیدروژن در شرایط قطع آبیاری ٤٠ روز بعد از ظهور تاسل حدود ٣٤/٥ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳).

محتوی کلروفیل b: اثر برهم‌کنش سه‌گانه تیمارهای رژیم آبیاری، محلول‌پاشی مس و پیش تیمار پراکسیدهیدروژن بر کلروفیل b معنی‌دار هستند (جدول ۲). در این پژوهش بیشترین میزان کلروفیل b از تیمار محلول‌پاشی مس و کاربرد ٦٠ میلی‌مولار پراکسیدهیدروژن در شرایط آبیاری نرمال و کمترین میزان کلروفیل b به تیمار قطع آبیاری ٤٠ روز بعد از ظهور تاسل و عدم محلول‌پاشی مس و پراکسیدهیدروژن اختصاص یافت که نسبت به شرایط آبیاری نرمال حدود ۲۵ درصد کاهش نشان داد (جدول ٤).

کارتنوئید کل: برهم‌کنش سه‌گانه رژیم آبیاری، محلول‌پاشی مس و پیش تیمار پراکسیدهیدروژن بر میزان کارتنوئیدها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین مقدار کارتنوئیدها از شرایط آبیاری نرمال و محلول‌پاشی مس و کاربرد ٦٠ میلی مولار پراکسیدهیدروژن به‌دست آمد (که با تیمار قطع آبیاری ۷۰ روز بعد از ظهور تاسل و محلول‌پاشی مس و کاربرد ٦٠ میلی‌مولار پراکسیدهیدروژن تفاوت آماری معنی‌داری نداشت) که نسبت به شرایط قطع آبیاری ٤٠ روز بعد از ظهور تاسل و عدم محلول‌پاشی مس و پراکسیدهیدروژن حدود ١٥/٥ درصد افزایش نشان داد (جدول ٤).

فعالیت کاتالازی برگ‌ها: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب برهم‌کنش سه‌گانه رژیم آبیاری، محلول‌پاشی مس و پیش تیمار پراکسیدهیدروژن بر فعالیت کاتالازی برگ‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین میزان فعالیت کاتالازی برگ‌ها در شرایط قطع آبیاری ٤٠ روز بعد از ظهور تاسل و محلول‌پاشی مس و کاربرد ۳۰ میلی‌مولار پراکسیدهیدروژن به‌دست آمد که نسبت به شرایط آبیاری نرمال و عدم محلول‌پاشی مس و عدم کاربرد پراکسیدهیدروژن حدود ٦٧ درصد افزایش یافت (جدول ٤).

جدول ٤: مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه رژیم آبیاری، محلول‌پاشی مس و پراکسیدهیدروژن بر برخی صفات ذرت

رژیم آبیاری	محلول‌پاشی مس	تیمار بذر با پراکسیدهیدروژن	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم)	کارتنوئید (میلی‌گرم بر گرم)	فعالیت کاتالاز ی برگ (تغییرات جذب در دقیقه به ازای وزن‌تر)
نرمال	شاهد	شاهد	۳/۱۲ h	۱/٦۲ gh	۳/٥٥ f	۱۲۷/۰۳ v
		۳۰ مولار	۳/۲٤ g	۱/٦٥ ef	۳/٥٦ f	۱۳۱/٥٥ u
		٦۰ مولار	۳/٤٦ f	۱/۷٥ c	۳/۷۱ d	۱٤٦/۲ r
	۰/۳۰ کیلوگرم خالص در هکتار از منبع سولفات مس ٥۰ درصد	شاهد	۳/۷۰ e	۱/۷٤ c	۳/٥٦ f	۱۳۳/٦٥t
		۳۰ مولار	٤/۱۳ b	۱/۷٤ c	۳/۸٤ b	۱٤۳/۷۲s
		٦۰ مولار	٤/۳٤ a	۱/۸٤ a	۳/۸۹ a	۱۷۰/٤۲n
قطع آبیاری ٤۰ روز بعد از ظهور تاسل	شاهد	شاهد	۲/۸٤k	۱/۳۹ n	۳/۲۸ l	۲٦۷/۱٥h
		۳۰ مولار	۲/۹۷ ij	۱/٤٥ l	۳/۳۷ jk	۳٦۷/۲۹b
		٦۰ مولار	۲/۹۸ i	۱/٤۷ l	۳/۳۷ jk	۲۷٥/۹۳g
	۰/۳۰ کیلوگرم خالص در هکتار از منبع سولفات مس ٥۰ درصد	شاهد	۲/۸٥jk	۱/٤٥ l	۳/۳٥ k	۲۸۲f
		۳۰ مولار	۳/۰٦ ih	۱/٥۸ i	۳/٤۱ i	۳۸٤/۸٦a
		٦۰ مولار	۳/۰۷ ih	۱/٦۱ h	۳/٤۸ g	۲۹۸/۹e
قطع آبیاری ٥٥ روز بعد از ظهور تاسل	شاهد	شاهد	۳/٤٦ f	۱/٤۲ m	۳/۳۸ j	۲٤۸/۷۹i
		۳۰ مولار	۳/٤٤ f	۱/٤۳ m	۳/٥۹ e	۳۰٤/۳۷d
		٦۰ مولار	۳/۹۷ c	۱/٦۷ d	۳/٥٦ f	۲۲٤/۳۲j
	۰/۳۰ کیلوگرم خالص در هکتار از منبع سولفات مس ٥۰ درصد	شاهد	۳/٦۸ e	۱/٤۲ m	۳/٤٤ h	۲۸۰/۸۸f
		۳۰ مولار	۳/۸٤ d	۱/٦٤ fg	۳/۸٥ b	۳٤۹/٤۸c
		٦۰ مولار	۳/٤۸ f	۱/٦٦ def	۳/٤۹ g	۲٤۹/۸۲i
قطع آبیاری ۷۰ روز بعد از ظهور تاسل	شاهد	شاهد	۳/۱۱ h	۱/٥۱ k	۳/٤۷ gh	۱٤۸/۲٥q
		۳۰ مولار	۳/۱۲ h	۱/٥۱ k	۳/٤۷ g	۱٦۷/۰۷o
		٦۰ مولار	۳/۹٤ dc	۱/٥۳ j	۳/۸۱ c	۱۸٤/٦l
	۰/۳۰ کیلوگرم خالص در هکتار از منبع سولفات مس ٥۰ درصد	شاهد	۳/۲۸ g	۱/٥٦ i	۳/٤۸ g	۱٦۰/۰٤p
		۳۰ مولار	۳/٥٥ f	۱/٦٦ de	۳/٥۷ ef	۱۸۲/٥۹m
		٦۰ مولار	۳/۹٤ dc	۱/۸۰ b	۳/۸۹ a	۲۰۷/٤۷k

میانگین‌های دارای یک حرف مشترک، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (سطح ٥ درصد) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

دنباله جدول ٤:

رژیم آبیاری	محلول‌پاشی مس	تیمار بذر با پراکسیدهیدروژن	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد دانه در ردیف	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
نرمال	شاهد	شاهد	۱۸٦/۲٦ j	۳٤/۰۷ f	۷٦٥۰/۹۹ o
		۳۰ مولار	۱۸۹/۱٤ g	۳٤/٤٦ d	۹۰۱۰/۸۸ e
		٦۰ مولار	۱۹۳/۷۱ b	۳٦/۷٦ c	۹۲۸۰/۷۳ c
	۰/۳۰ کیلوگرم خالص در	شاهد	۱۸۷/۷٦ h	۳٦/۲٤ bc	۷۹۷۰/۹۲ k

قطع آبیاری ۴۰ روز بعد از ظهور تاسل	شاهد	شاهد	۱۷۷/۷۲ m	۲۹/۹۲ l	۵۵۱۰/۹۱ w
		۳۰ مولار	۱۹۲/۲۰ d	۳۰/۱۶ l	۸۲۶۰/۶۶ g
		۶۰ مولار	۱۹۳/۶۹ b	۳۴/۹۰ de	۸۰۱۰/۲۳ j
	۰/۳۰ کیلوگرم خالص در هکتار از منبع سولفات مس ۵۰ درصد	شاهد	۱۷۹/۱۷ l	۳۱/۴۸ j	۶۹۷۰/۳۵ r
		۳۰ مولار	۱۹۳/۱۸ c	۳۲/۱۰ g	۸۷۶۰/۰۴ f
		۶۰ مولار	۱۹۴/۶۹ a	۳۴/۶۱ f	۸۰۳۰/۶۱ i
قطع آبیاری ۵۵ روز بعد از ظهور تاسل	شاهد	شاهد	۱۶۳/۴۷ q	۲۷/۴۲ o	۶۶۵۰/۵۷ s
		۳۰ مولار	۱۸۵/۵۱ k	۳۰/۹۷ k	۷۳۴۰/۱۶ q
		۶۰ مولار	۱۸۶/۱۷ j	۳۱/۸۱ ih	۷۵۶۰/۴۶ p
	۰/۳۰ کیلوگرم خالص در هکتار از منبع سولفات مس ۵۰ درصد	شاهد	۱۶۶/۲۳ p	۲۷/۸۴ n	۵۷۵۰/۷۳ v
		۳۰ مولار	۱۸۷/۰۲ i	۳۱/۸۱ ih	۷۸۱۰/۲۵ n
		۶۰ مولار	۱۸۹/۴۷ f	۳۴/۳۴ ef	۸۰۸۰/۵۴ h
قطع آبیاری ۷۰ روز بعد از ظهور تاسل	شاهد	شاهد	۱۶۷/۸۱ o	۲۸/۰۵ n	۵۹۲۰/۸۲ u
		۳۰ مولار	۱۸۵/۵۱ k	۳۱/۵۴ ij	۷۵۷۰ p
		۶۰ مولار	۱۸۷/۱۶ i	۳۱/۸۹ h	۷۸۴۰/۷۵ m
	۰/۳۰ کیلوگرم خالص در هکتار از منبع سولفات مس ۵۰ درصد	شاهد	۱۶۸/۷۶ n	۲۸/۹۳ m	۶۱۲۰/۰۸ t
		۳۰ مولار	۱۸۷/۶۴ h	۳۲/۲۴ g	۷۹۵۰/۹۳ l
		۶۰ مولار	۱۸۹/۱۱ g	۳۷/۱۶ ab	۹۴۳۰/۴۶ b

میانگین‌های دارای یک حرف مشترک، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (سطح ۵ درصد) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

بحث

به‌نظر می‌رسد در این تحقیق کاهش کلروپلاست‌ها و کلروفیل در اثر فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز یکی از دلایل کاهش غلظت رنگیزه‌های کلروفیل a و b در شرایط تنش کمبود آب محسوب شود (Rad et al., 2012). با توجه به نتایج این پژوهش محتوای پایین کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها تحت شرایط تنش کمبود آب از نشانه‌های وجود تنش اکسیداتیو است که ممکن است باعث اکسیداسیون نوری رنگدانه و تخریب کلروفیل و کاروتنوئیدها شود، این استدلال منطبق بر یافته‌های سایر محققین می‌باشد (Giancarla et al., 2013). همچنان‌که Liu و همکاران (۲۰۱۸) با مطالعه تأثیر تنش آبی بر بخش نوری فتوسنتز و سیستم رنگیزه‌ای به این نتیجه رسیدند که با افزایش شدت تنش آبی و یا کاهش پتانسیل آب خاک، روند تخریب رنگیزه‌های کلروفیل با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد. همچنین بررسی‌ها نشان داد که مقدار کاروتنوئید با افزایش تنش خشکی کاهش یافت (Ben Ahmed et al., 2009). از طرفی تیمار کردن بذور با پراکسیدهیدروژن و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی نظیر مس موجب افزایش سنتز کلروفیل a، b و میزان کارتنوئیدهای موجود در برگ شد و توانست با بالابردن تحمل گیاه به شرایط تنش تا حدودی اثرات منفی تنش کمبود آب در گیاه را کاهش دهد. در همین راستا Nobakht و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند، کاربرد پنج میلی‌مولار پراکسیدهیدروژن موجب افزایش در میزان کلروفیل کل و کاروتنوئیدهای برگ شد که با نتایج این تحقیق

مطابقت داشت. همچنین می‌توان بیان داشت محلول‌پاشی مس موجب افزایش نسبی رنگیزه کلروفیل a، b و کارتنوئیدها نسبت به عدم کاربرد مس گردید. این اثر می‌تواند ناشی از نقش مس در فرآیندهای مرتبط با کلروپلاست باشد. مس یکی از اجزای تشکیل‌دهنده پروتئین کلروپلاست یعنی پالاستوسیانین است (Gaetke and Chow, 2003). همچنین این عنصر در اعمال سلولی مهم از جمله ساخت رنگدانه‌ها و نفوذپذیری غشای پلاسمایی نقش دارد (Bernal et al., 2007). در مطالعه‌ی Yusefzaei و همکاران (۲۰۱۷) مشص گردید در غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام محلول‌پاشی مس میزان کلروفیل a، b و کارتنوئید افزایش می‌یابد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. در این تحقیق با ایجاد تنش کم آبی مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش یافت. کاتالاز آنزیمی با وزن مولکولی بالا و با ساختار پلیمری در پراکسیزوم مستقر است و هنگامی در سلول‌های گیاهی وارد عمل می‌شود که مقدار ماده پراکسید هیدروژن در محیط زیاد باشد (Gill and Tuteja, 2010). فزونی پراکسیدهیدروژن ممکن است مانع فعالیت پراکسیداز شود، لذا فعالیت کاتالاز به احتمال زیاد در جهت نگهداری فعالیت پراکسیداز تحت تنش شدید می‌باشد (Ashraf, 2010). نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با تحقیقات اپل و هیرت (Apel and Hirt, 2004) که اظهار داشتند تنش خشکی، موجب افزایش تولید انواع اکسیژن واکنش‌گر و در نتیجه افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانی می‌شود مطابقت داشت. در این تحقیق محلول‌پاشی مس و پرایمینگ بذور با پراکسیدهیدروژن فعالیت کاتالازی برگ را افزایش داد. کاتالاز یکی از آنزیم‌های مهم جاروکننده H_2O_2 محسوب می‌شود (Blasco et al., 2013). نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققان که نقش پرایمینگ پراکسیدهیدروژن در کاهش آسیب‌های اکسیداتیو از طریق افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانت در گیاه ذرت را نشان داده‌اند، در توافق می‌باشد (Gondim et al., 2013). از طرفی در تیمارهای شاهد مشاهده شد که عدم محلول‌پاشی مس کمترین فعالیت آنزیم کاتالاز را به خود اختصاص دادند. احتمالاً این کاهش در فعالیت آنزیم کاتالاز، می‌تواند به دلیل اثر رقت که مربوط به افزایش رشد در اندام‌های هوایی گیاه است باشد (Feil et al., 2005). در این رابطه Naderi و Sohrabi (۲۰۱۹) در ذرت گزارش نمودند که کاربرد عناصر ریزمغذی، موجب افزایش سطح فعالیت آنزیم کاتالاز شده، بنابراین محلول‌پاشی مس، قادر است سیستم آنتی‌اکسیدانتی آنزیمی گیاه را تقویت نموده، گیاه را نسبت به بروز شرایط تنش، مانند تنش کمبود آب متحمل‌تر سازد، که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. به نظر می‌رسد در این پژوهش آبیاری نرمال به سبب افزایش رشد سبزینه‌ای باعث افزایش ارتفاع بوته ذرت شد. لذا قطع آبیاری در مرحله ٤٠ روز بعد از ظهور تاسل تأثیری چندانی بر کاهش ارتفاع بوته نداشت. براین اساس می‌توان نتیجه گرفت آبیاری مناسب تا قبل از قطع آبیاری سبب فتوسنتز مناسب می‌شود. در نتیجه آسیمیلات‌ها به نحو مطلوبی تولید شده که تخصیص آن‌ها به رشد رویشی، سبب افزایش ارتفاع بوته می‌شود که این یافته‌ها نتایج تحقیقات Tabatabaei و Shakeri (۲۰۱٦) را تأیید می‌کند. همچنین به‌نظر می‌رسد افزایش ارتفاع با پیش تیمار پراکسیدهیدروژن و محلول‌پاشی عنصر ریزمغذی نظیر مس نسبت به تیمار شاهد این باشد که عنصر مس نقش مهمی در سنتز تریپتوفان (آمینواسید لازم برای سنتز اکسین) دارد که موجب افزایش ارتفاع و تعداد گره در ساقه می‌شود (Sadeghipour and Aghaei, 2012). همچنین براساس گزارشات پژوهشگران هیدروژن پراکسید هم نقش اکسیدانتی و هم نقش تسهیل‌کننده رشد گیاه را دارد (Fatemi Ghiri and

Tabatabaei, 2022). در همین راستا Lee و همکاران (۲۰۰۸) مشاهده نمودند که ذرات مس می‌توانند از غشای سلول عبور کرده و در سلول‌ها تجمع یابند و با حفظ و نگهداری وضعیت آب در بافت‌های گیاه سبب افزایش رشد و ارتفاع گیاه می‌شوند. سایر محققین نظیر Dimkpa و همکاران (۲۰۱۷) به نقش مثبت مس در افزایش ارتفاع گیاه اشاره نموده‌اند. در این تحقیق عدم تشکیل دانه در اثر قطع آبیاری بعد از ظهور تاسل به علت ناکافی بودن مواد فتوسنتزی فراهم در زمان گرده‌افشانی، پرشدن دانه و یا مراحل قبل از آن می‌باشد. تنش آب در این مراحل رشد سلول‌های جنینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Cakir, 2004). در این رابطه Ghassemi-Golezani و همکاران (۲۰۱۸) اظهار داشتند در شرایط تنش کمبود آب تعداد دانه در ردیف به علت افزایش در تولید دانه‌های گرده عقیم که ناشی از کمبود مواد پرورده است کاهش می‌یابد. از طرفی تیمار کردن بذور با پراکسیدهیدروژن و محلول‌پاشی مس موجب افزایش تعداد دانه در ردیف در قطع آبیاری ۷۰ روز بعد از ظهور تاسل شد و توانست با بالابردن تحمل گیاه به شرایط تنش تا حدودی اثرات منفی تنش کمبود آب در گیاه را کاهش دهد. در این تحقیق در اثر کاربرد پراکسید هیدروژن و اثرات مثبت آن بر سطح برگ، بهبود سرعت و میزان مواد فتوسنتزی، باعث افزایش وزن دانه و میزان عملکرد دانه نسبت به شاهد در شرایط تنش کمبود آب شد (Jafarian et al., 2019). از طرفی به‌نظر می‌رسد وجود غلظت مناسب عنصر کم مصرف مس در گیاه از سقط بیش از حد دانه‌ها جلوگیری می‌کند که با نتایج Hosseinpour و همکاران (۲۰۱۵) در گیاه ذرت مشابهت داشت. آبیاری به موقع و تأمین آب مورد نیاز ذرت در مراحل مختلف رشد توانست بالاترین عملکرد دانه را تولید نماید. هرچه کم آبیاری و محدودیت دسترسی به آب در مرحله زایشی اتفاق افتد کمترین عملکرد دانه حاصل خواهد شد که ناشی از حساسیت بالای اجزای زایشی به خشکی در گیاهی مثل ذرت می‌باشد (Adebayo and Menkir, 2014). تنش کمبود آب موجب کاهش انتقال مواد غذایی از برگ‌ها و سایر قسمت‌های بوته به دانه می‌شود و با توجه به این که تنش خشکی رسیدن دانه‌ها را تسریع می‌کند این عکس‌العمل علاوه بر کاهش فتوسنتز موجب نقصان عملکرد دانه در ذرت می‌گردد (Sah et al., 2020). در این پژوهش کاربرد محلول‌پاشی مس و پیش تیمار پراکسیدهیدروژن توانست با افزایش فتوسنتز و بهبود سطح برگ سبب افزایش عملکرد دانه در گیاه شود. محلول‌پاشی مس جذب عناصر غذایی، رشد و نمو و فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه را افزایش می‌دهد و این امر موجب افزایش عملکرد دانه در گیاه می‌شود (Hosseinpour et al., 2015). پژوهشگران بیان داشتند پراکسیدهیدروژن در تنظیم اسمزی، که به‌طور قابل‌توجهی در حفظ آب جذب شده و آماس سلول در شرایط تنش خشکی نقش دارد، باعث بهبود عملکرد گیاه می‌شود (Chaves et al., 2009) که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری نهائی

در مجموع می‌توان عنوان داشت که گیاه ذرت نسبت به قطع آبیاری ٤٠ روز بعد از ظهور تاسل حساس بوده و آبیاری کامل باعث افزایش رشد گیاه از نظر فیزیولوژیکی و افزایش عملکرد کمی ذرت شد. در این تحقیق پیش تیمار بذر ذرت با پراکسید هیدروژن از طریق افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز، میزان کلروفیل و ارتفاع گیاه تا حدودی باعث کاهش اثرات سوء تنش کمبود آب گردیده که در نتیجه باعث بهبود میزان عملکرد در شرایط تنش می‌شود. از طرفی محلول‌پاشی مس نقش مهمی در رشد و نمو گیاه ذرت

دارد و با توجه به اینکه بیشترین مقادیر عملکرد دانه، محتوی کلروفیل و فعالیت کاتالازی برگ از استعمال کود مس که از عناصر ریزمغذی محسوب می‌شود به‌دست آمد، احتمالاً می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از چنین کودهایی می‌توان بهترین شرایط را جهت حصول حداکثر عملکرد کمی و صفات فیزیولوژیکی در گیاه ذرت فراهم نمود. لذا برای افزایش عملکرد در شرایط نرمال و کاهش افت در شرایط تنش، می‌توان از محلول‌پاشی مس و کاربرد ۶۰ میلی‌مولار پراکسیدهیدروژن استفاده نمود.

References

Adebayo, M.A., and Menkir, A. (2014). Assessment of hybrids of drought tolerant maize (*Zea mays* L.) inbred lines for grain yield and other traits under stress managed conditions. Nigerian Journal of Genetics. 28: 19-23.

Apel, K., and Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. Annual Review of Plant Biology. 55: 373-399.

Arnon, D. I. (1975). Physiological principles of dry land crop production. In: Gupta .U.S. (Ed). Physiological aspects of dry land farming. Pp. 3-14. Oxford press.

Ashraf, M. (2010). Inducing drought tolerance in plants: some recent advances. Biotechnology Advances. 28: 169-183.

Ben Ahmed, C.H., Ben Rouina, B., Sensoy, S., Boukhris, M., and Ben Abdallah, F. (2009). Changes in gas exchange, proline accumulation and antioxidative enzyme activities in three olive cultivars under contrasting water availability regimes. Environmental and Experimental Botany 67(2): 345-352.

Bernal, M., Cases, R., Picorel, R. and Yruela, I. (2007). Foliar and root Cu supply affect differently Fe and Zn uptake and photosynthetic activity in soybean plants. Environmental and Experimental Botany. 60: 145 -150.

Blasco, B., Leyva, R., Romero, L., and Ruiz, J. M. (2013). Iodine effects on phenolic metabolism in lettuce plants under salt stress. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 61(11): 2591-2596.

Boominathan, R., and Doran, P.M. (2002). Ni indused oxidative stress in roots of the Ni hyperaccumulator, Alyssum bertolonii. Newphytologist. 156: 205-215.

Cakir, R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research. 89 (1): 1–16.

Chaves, M. M., Flexas, J., and Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of Botany. 103: 551–560.

Dimkpa, C.O., Bindraban, P.S., Fugice, J., Agyin-Birikorang, S., Singh, U., Hellums, D. (2017). Composite micronutrient nanoparticles and salts decrease drought stress in soybean. Agronomy for Sustainable Development. 37(1): 1-13.

Ellouzi, H., Sghayar, S., and Abdelly, C. (2017). H2O2 seed priming improves tolerance to salinity; drought and their combined effect more than mannitol in *Cakile maritima* when compared to *Eutrema salsugineum*. Journal of Plant Physiology. 210: 38-50.

Fatemi Ghiri, S.S., and Tabatabaei, S.J. (2022). Effect of hydrogen peroxide on growth and physiological characteristics of two tomato cultivars in hydroponic culture. Journal Soil and Plant Interactions. 12(4): 37-51. (In persian).

Feil, B., Moser, S.B., Jampatong, S., and Stamp, P. (2005). Mineral composition of the grains of tropical maize varieties as affected by preanthesis drought and rate of nitrogen fertilization. Crop Science. 45: 516–523.

Gaetke, L. M. and Chow, C. K. (2003). Copper toxicity, oxidative stress, and antioxidant nutrients. Toxicology. 189: 147 -197.

Ghassemi-Golezani, K., Heydari, Sh., Dalil, B. (2018). Field performance of maize (*Zea mays* L.) cultivars under drought stress. Acta agriculturae Slovenica. 111(1): 25-32.

Ghete, A.B., Duda, M.M., Vârban, D.I., Varban, R., Moldovan, C., and Muntean, S. (2018). Maize (*Zea mays*), a prospective medicinal plant in Romania. Hop and Medicinal Plants. 26: 44-51.

Giancarla, V., Madosa, E., Ciulca, S., Coradini, R., Iuliana, C., Mihaela, M. and Lazar, A. (2013). Influence of water stress on the chlorophyll content in barley. Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology. 17: 223-228.

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.

Gondim, F. A., Miranda, R. D., Gomes-Filho, E., and Prisco, J. T. (2013). Enhanced salt tolerance in maize plants induced by H2O2 leaf spraying is associated with improved gas exchange rather than with non-enzymatic antioxidant system. Theoretical and Experimental Plant Physiology. 25: 251-260.

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).

Hosseinpour, A., Mahalleh, Kh., Roshdi, M., and Alinezhad, N. (2015). Evaluation of micronutrient application method and irrigation stopping on yield and yield component of grain Corn in Urmia (North-West Of Iran). Advances in Environmental Biology. 9(24): 431-437.

Houshmandfar, A., and Moraghebi, F. (2011). Effect of mixed cadmium, copper, nickel and zinc on seed germination and seedling growth of safflower. Africa Journal Agriculture Research. 6(5): 1182-1187.

Ijaz, R., Ejaz, J., Gao, S., Liu, T., Imtiaz, M., Ye, Z., and Wang, T. (2017). Overexpression of annexin gene AnnSp2, enhances drought and salt tolerance through modulation of ABA synthesis and scavenging ROS in tomato. Scientific Reports. 7: 12087. doi:10.1038/ s41598-017-11168-2.

Jafarian, T., Zarea, J., Siosemardeh, A. (2019). Flag leaf anatomical characteristics and the spike pretreatment changes with hydrogen peroxide and its relationship with grain yield in dry land conditions. Journal of Plant Process and Function. 7(27): 290-303. (In persian).

Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. (1992). Trace Elements in Soils and Plants. 2nd Edition, CRC Press, Boca Raton.

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).

Lee, W.M., An, Y.J., Yoon, H., Kweon, H.S. (2008). Toxicity and bioavailability of copper nanoparticles to the terrestrial plants bean (*phaseolus radiatus*) and wheat, Plant agar test for water-insoluble nanoparticles. Environmental toxicology and chemistry. 27(9):1915-1921.

Liu, J., Guo, Y.Y., Bai, Y.W., Xue, J.Q., and Zhang , R.H. (2018). Effects of Drought Stress on the Photosynthesis in Maize. Russian Journal Plant Physiology. 65: 849–856.

Mudgal, V., Madaan, N., and Mudgal, A. (2010). Biochemical mechanisms of salt tolerance in plants: A Review. International Journal of Botany. 6(2): 136-143.

Naderi, T., and Sohrabi, U. 2019. Effect of bio and chemical fertilizers on some physiological traits of maize (*Zea mays* L.) under drought stress. Environmental Stresses in Crop Science. 12(4): 1205-1224. (In persian).

Nobakht, P., Ebadi, A., Parmoon, Gh., and Nickhah Bahrami, R. (2018). Study role H2O2 in Photosynthetic pigments Peppermint (*Mentha piperita* L.) on Water stress conditions. Journal of Plant Process and Function. 7(27): 19-32. (In persian).

Nohtani, H., and Mahdinezhad, N. (2020). Evaluation of salinity stress tolerance based on biochemical and morphophysiological characteristics of some wheat cultivars. Iranian Journal of Seed Sciences and Research.7(1): 55-67. (In persian).

Rad, M.R.N., Kadir, M.A., Yusop, M.R. (2012). Genetic behaviour for plant capacity to produce chlorophyll in wheat (*Triticum aestivum*) under drought stress. Australian Journal of Crop Science. 6(3): 415-420.

Sadeghipour, O., and Aghaei, P. (2012). Response of common bean to exogenous application of salicylic asid under water stress conditions. Advances in Environmental Biology. 6(3): 1160-1168.

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.

Santhy, V., Meshram, M., Wakde, R., and Vijaya Kumari, R. (2014). Hydrogen peroxide pretreatment for seed enhancement in cotton. African Journal of Agricultural Research. 9: 1982-1989.

Sharma. P., Ambuj, B.J., Rama, S.D. and Pessarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. Journal Botany. 26 Pp.

Tabatabaei, S.A., and Shakeri, E. (2016). Effect of drought stress on maize hybrids yield and determination of the best hybrid using drought tolerance indices. Environmental stresses in crop sciences. 8(1): 121-125. (In persian with english abstract).

Yusefzaei, F., Poorakbar, L., farhadi, Kh., and Molaei, R. (2017). The Effect of copper nanoparticles and copper chloride solution on germination and solution some morphological and physiological factors (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Plant Research. 30(1): 221-232. (In persian).