



Effect of foliar application of salicylic acid and iron on some biochemical and agronomic characteristics of SC704 maize hybrid (*Zea mays* L.) under water deficit

Yunus Soltani Kazemi¹, Mohammad Reza Dadnia^{2*},
Seyed Keivan Marashi³, Alireza Shokuhfar⁴, Aslan Egdarnejad⁵

¹Department of Agronomy, Ahwaz Branch, Islamic Azad University, Ahwaz, Iran, Email: ys.kazemi@iau.ac.ir

²Department of Agronomy, Ahwaz Branch, Islamic Azad University, Ahwaz, Iran, Email: rezadadnia1352@iau.ac.ir

³Department of Agronomy, Ahwaz Branch, Islamic Azad University, Ahwaz, Iran, Email: marashi@iau.ac.ir

⁴Department of Agronomy, Ahwaz Branch, Islamic Azad University, Ahwaz, Iran, Email: Alireza_Shokuhfar@iau.ac.ir

⁵Department of Water Sciences and Engineering, Ahwaz Branch, Islamic Azad University, Ahwas, Iran, Email: lghdir@iau.ac.ir

Article type:

Research article

Abstract

Drought stress limits crop productivity, but the application of micronutrients such as iron and salicylic acid as plant regulators can enhance drought resistance in plants. This study aimed to investigate the effects of foliar spraying with salicylic acid and iron on the biochemical characteristics of corn under water deficit stress conditions. The research was conducted in a field in Gotvand County using a split-plot design in a randomized complete block format with four replications during the 2017-2018 and 2018-2019 crop years. In this study, the main plot involved two levels of irrigation: one with normal conditions and another with a 10-day interruption of irrigation starting 10 days after the appearance of the ears until ripening (80 days after planting). The sub-plots included four levels of salicylic acid spraying (0, 100, 200, and 300 micromoles) and three levels of iron spraying (0, 2, and 4 kilograms per hectare), applied 75 days after planting. The results indicated that the interaction among irrigation interruption, salicylic acid foliar spraying, and iron application significantly affected grain yield and biological performance. The highest seed yield of 8,731.2 kg/ha was achieved under normal irrigation conditions with the application of 300 micromoles of salicylic acid and 4 kg/ha of iron. This yield represented a 31.2% increase compared to the treatment with irrigation interruption and without salicylic acid and iron spray during the same period. Additionally, the interaction of irrigation interruption and salicylic acid application significantly affected biochemical markers such as superoxide dismutase, malondialdehyde, dityrosine, and dihydroxyguanosine. Under conditions of irrigation interruption, the levels of malondialdehyde, dityrosine, and dihydroxyguanosine increased; however, their levels decreased with the application of salicylic acid and iron sprays under stress conditions. Elevated levels of these biomarkers can lead to cell membrane damage, highlighting the importance of foliar spraying with salicylic acid and iron in mitigating stress effects. In conclusion, foliar applications of salicylic acid and iron not only increase crop yield but also improve overall product quality. Based on these findings, it is recommended to use salicylic acid at a concentration of 300 micromoles and iron at a rate of 4 kilograms per hectare to enhance plant tolerance to water deficit stress and boost grain yield.

Article history

Received: 12.11.2024

Revised: 09.12.2024

Accepted: 17.12.2024

Published: 21.12.2024

Keywords

Dityrosine

Irrigation

Malondialdehyde

Salicylic acid

Seed yield

Cite this article as: Soltani Kazemi, Y., Dadnia, M.R., Marashi, S.K., Shokuhfar, A.R., Egdarnejad, A. (2025). Effect of foliar application of salicylic acid and iron on some biochemical and agronomic characteristics of SC704 maize hybrid (*Zea mays* L.) under water deficit. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 19(4): 79-94.



©The author(s)

Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch

Doi: <https://doi.org/10.71890/iper.2024.1190278>

اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید و آهن بر برخی ویژگی های بیوشیمیایی و زراعی ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ (*Zea mays L.*) تحت کمبود آب

یونس سلطانی کاظمی^۱، محمدرضا دادنیا^{۲*}، سیدکیوان مرعشی^۳، علیرضا شکوه فر^۴، اصلان ایگدرنژاد^۵

^۱ گروه علوم کشاورزی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. رایانامه: ys.kazemi@iau.ac.ir

^۲ گروه علوم کشاورزی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. رایانامه: rezadadnia1352@iau.ac.ir

^۳ گروه علوم کشاورزی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. رایانامه: marashi@iau.ac.ir

^۴ گروه علوم کشاورزی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. رایانامه: Alireza_Shokuhfar@iau.ac.ir

^۵ گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. رایانامه: lghdir@iau.ac.ir

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تنش خشکی یکی از عوامل محدودکننده تولیدات گیاهی است و کاربرد ریزمغذی آهن و سالیسیلیک اسید به عنوان یک تنظیم کننده گیاهی، قادرند مقاومت به خشکی را در گیاهان افزایش دهند. این پژوهش با هدف بررسی اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید و آهن بر ویژگی های بیوشیمیایی ذرت در شرایط تنش کمبود آب، در مزرعه ای واقع در شهرستان گتوند به صورت کرت های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار طی سال های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. کرت اصلی آبیاری با دو سطح بدون تنش و قطع آبیاری ۱۰ روز بعد از ظهور بلال تا زمان رسیدن (۸۰ روز بعد از کاشت)، کرت فرعی محلول پاشی سالیسیلیک اسید با چهار سطح صفر، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میکرومول و کرت فرعی فرعی محلول پاشی آهن با سه سطح صفر، دو و چهار کیلوگرم در هکتار (۷۵ روز بعد از کاشت) بود. نتایج نشان داد که برهمکنش سه گانه قطع آبیاری، محلول پاشی سالیسیلیک اسید و آهن بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک معنی دار بود. بیشترین عملکرد دانه (۸۷۳۱/۲ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری نرمال با محلول پاشی ۳۰۰ میکرومول سالیسیلیک اسید و چهار کیلوگرم در هکتار آهن به دست آمد که نسبت به تیمار قطع آبیاری ۱۰ روز بعد از ظهور بلال تا زمان رسیدن و عدم محلول پاشی سالیسیلیک اسید و آهن ۳۱/۲ درصد افزایش نشان داد. همچنین برهمکنش قطع آبیاری و سالیسیلیک اسید بر فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و میزان مالون دی آلدئید، دی تیروزین و دی هیدروکسی گوانوزین معنی دار بود. در شرایط قطع آبیاری غلظت بیومارکرهای بیوشیمیایی نظیر مالون دی آلدئید، دی تیروزین و دی هیدروکسی گوانوزین افزایش یافت اما با کاربرد محلول پاشی سالیسیلیک اسید و آهن در شرایط تنش از میزان آن ها کاسته شد. بنابراین طبق نتایج به دست آمده، محلول پاشی سالیسیلیک اسید و آهن باعث افزایش عملکرد گردیده و کمیت محصول را ارتقا می بخشد. براین اساس می توان محلول پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت ۳۰۰ میکرومول و آهن به میزان چهار کیلوگرم در هکتار را برای بهبود تحمل گیاه در برابر تنش کمبود آب و افزایش عملکرد دانه پیشنهاد داد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۸

تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱

واژه های کلیدی:

آبیاری

اسید سالیسیلیک

دی تیروزین

عملکرد دانه

مالون دی آلدئید

استناد: سلطانی کاظمی، یونس؛ دادنیا، محمدرضا؛ مرعشی، سیدکیوان؛ شکوه فر، علیرضا؛ ایگدرنژاد، اصلان. (۱۴۰۳). اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید و آهن بر برخی ویژگی های بیوشیمیایی و زراعی ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ (*Zea mays L.*) تحت کمبود آب. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۱۹ (۴)، ۷۹-۹۴.

Doi: <https://doi.org/10.71890/iper.2024.1190278>

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمان

© نویسندگان.



مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) یکی از محصولات غذایی است که به طور گسترده در دنیا کشت می شود و نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی جهان دارد (Grote et al., 2021). خشکسالی یا کمبود آب یکی از عمده ترین تنش های غیرزیستی در دنیاست که باعث محدودیت در تولید غلات از جمله ذرت است. امروزه تأمین آب مورد نیاز برای آبیاری محصولات در بخش کشاورزی، محور عمده بسیاری از چالش های پیش روی بشر است، چرا که یکی از عمده ترین مصرف کنندگان منابع آب در سطح جهان کشاورزان می باشند (Bonea, 2020). گیاهان برای مقابله با تنش های اکسایشی ایجاد شده دارای سیستم های دفاعی کارآمدی هستند که می توانند رادیکال های آزاد را از بین ببرند و یا خنثی کنند. آنتی اکسیدان های آنزیمی شامل کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز نقش مهمی در خنثی کردن گونه های فعال اکسیژن دارند (Anjum et al., 2016).

از دیرباز در ایران متخصصین علوم کشاورزی به دنبال راهکارهایی جهت افزایش تحمل به خشکی در گیاهان زراعی بودند. در شرایط تنش خشکی استفاده از مواد تنظیم کننده رشد گیاهی مانند سالیسیلیک اسید می تواند به عنوان یک راهکار برای جلوگیری از اثرات مخرب تنش کمبود آب مؤثر بوده و زمینه سازگاری گیاه را فراهم آورد (Azooz and Ahmad, 2015). سالیسیلیک اسید یا ارتوهیدروکسی بنزوئیک یک ترکیب فنلی است که قابل حل در آب بوده و یک ترکیب آنتی اکسیدانی و از جمله هورمون های گیاهی است که نقش مهمی در پاسخ گیاه به تنش های غیرزنده مانند خشکی، گرما و تنش اسمزی دارد (Rivas-San Vicente and Plasencia, 2011). کاربرد سالیسیلیک اسید سبب افزایش تحمل گیاه نسبت به تنش خشکی شده و اثر کمبود آب را تعدیل می کند،

همچنین برخی از پارامترهای رشدی را افزایش می دهد (Wani et al., 2017). محققین در مطالعات خود بیان داشتند که ترکیب سالیسیلیک اسید با غلظت یک میلی مولار منجر به افزایش قابل توجه عملکرد دانه و شاخص برداشت نسبت به تیمار شاهد شد (Esmaeilvandi and Egdernezhad, 2023).

یکی دیگر از راهکارهای جلوگیری از اثرات منفی تنش خشکی، استفاده از محلول پاشی برخی عناصر غذایی کم مصرف است. در همین راستا، نقش برخی عناصر نظیر آهن مورد توجه متخصصین تغذیه گیاه قرار گرفته است. آهن یکی از عناصر ضروری اما کم مصرف در اکثر گیاهان است. نقش این عنصر در تثبیت ازت و فعالیت برخی آنزیم ها نظیر کاتالاز، پراکسیداز و سیتوکروم اکسیداز به خوبی بررسی شده است (Pinto et al., 2005). در این راستا Karimi و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقات خود بیان داشتند که در شرایط تنش کم آبی عملکرد دانه کاهش یافت اما فعالیت آنزیم های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافت. همچنین محلول پاشی عناصر ریز مغذی در شرایط تنش رطوبتی موجب افزایش عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال و سوپراکسید دیسموتاز شد. ضرورت مطالعه آنزیم های آنتی اکسیدانت و نشانگرهای شیمیایی و تغییر غلظت این ترکیبات تحت تأثیر سالیسیلیک اسید و آهن اساس مطالعات نوین را در جوامع توسعه یافته را تشکیل می دهد (Reese et al., 2015). اولین آنزیم پاکسازی کننده سوپراکسید دیسموتاز است که تبدیل رادیکال سوپراکسید به پراکسید هیدروژن که یک مولکول با خاصیت غیررادیکالی است را بر عهده دارد. پراکسید هیدروژن تولید شده تبدیل به آب و اکسیژن می شود ولی مالون دی آلدئید در این راستا مانع از فعالیت سوپراکسید دیسموتاز شده و سلول را به سمت زوال می برد (Glover et al., 2014). به نظر می رسد

۷۵ سانتی متر که فاصله‌ی بین بوته‌های روی ردیف ۱۸ سانتی متر بود. فاصله بین کرت‌های اصلی از هم معادل دو خط نکاشت و فاصله بین کرت‌های فرعی یک خط نکاشت و فاصله بین کرت‌های فرعی فرعی معادل نیم متر در نظر گرفته شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل پژوهش در (جدول ۱) و ویژگی‌های اقلیمی منطقه گتوند در (جدول ۲) ارائه شده است.

عملیات زراعی: عملیات تهیه زمین شامل شخم با گاو آهن برگردان‌دار، دیسک و نهایتاً عملیات تسطیح با ماله بود. کود پایه بکار برده شده در مزرعه شامل کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار به صورت تقسیط در دو مرحله (۵۰ درصد هم‌زمان با کاشت و ۵۰ درصد در مرحله شش برگی به صورت سرک)، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و کود فسفر نیز بر مبنای ۲۰۰ کیلوگرم فسفر خالص از منبع سوپرفسفات تریپل در هنگام تهیه زمین بود. هیبرید مورد کشت برای گیاه ذرت سینگل کراس ۷۰۴ که رقمی دیررس بود و از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد دزفول تهیه شد. عملیات کاشت بذر در تاریخ‌های ۲۵ تیر ماه ۱۳۹۶ و ۲۷ تیر ماه ۱۳۹۷ به صورت دستی روی پشته‌ها در عمق پنج سانتی متری خاک کمی بالاتر از داغ‌اب انجام شد. بذر را قبل از کاشت در محلول ۰/۰۵ میلی‌مولار آتفون به مدت ۱۲ ساعت قرار داده و سپس بر روی کاغذ واتمن خشک شدند. آتفون از طریق تبدیل شدن به اتیلن، مکانیسم‌های تحمل گیاه را فعال و باعث بهبود خسارات ناشی از خشکی بر جوانه‌زنی و رشد دانه ذرت می‌شود. همچنین محلول پاشی بذر با آتفون سبب تسریع در گلدهی، بهبود روابط منبع مخزن و افزایش عملکرد گیاهان می‌گردد (Pakseresht and Pasari, 2020). بعد از کشت، مزرعه مورد آزمایش بلافاصله آبیاری شد. مبارزه با

آنتی‌اکسیدانت‌ها به همراه محلول پاشی سالیسیلیک‌اسید و آهن عامل حفاظت‌کننده گیاه در برابر تنش خشکی محسوب شود (Comba et al., 2015). همچنین برهمکنش آهن و سالیسیلیک‌اسید می‌تواند جدا شدن رشته‌های DNA و RNA بوسیله نشانگرهای شیمیایی نظیر دی‌تیروزین و دی‌هیدروکسی‌گوانوزین را به تأخیر اندازد (Zwer et al., 2014).

بنابراین با توجه به نقش بسیار مهم و اساسی تنظیم‌کننده‌های رشد نظیر سالیسیلیک‌اسید و عناصر ریزمغذی در کاهش آثار تنش خشکی در گیاهان، این پژوهش با هدف بررسی اثر محلول پاشی سالیسیلیک‌اسید و آهن بر برخی خصوصیات بیوشیمیایی ذرت در شرایط کمبود آب در منطقه خوزستان انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

شرایط و مکان اجرای آزمایش: این پژوهش در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان گتوند بخش عقیلی روستای کاظم، با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و ارتفاع ۶۵ متر از سطح دریا انجام شد. این آزمایش به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در گیاه ذرت به اجرا در آمد. کرت اصلی آبیاری با دو سطح بدون تنش و قطع آبیاری ۱۰ روز بعد از ظهور بلال تا زمان رسیدن (۸۰ روز بعد از کاشت)، کرت فرعی محلول پاشی سالیسیلیک‌اسید با چهار سطح صفر، ۲۰۰، ۱۰۰ و ۳۰۰ میکرومول و کرت فرعی فرعی محلول پاشی آهن با سه سطح صفر، دو و چهار کیلوگرم در هکتار (۷۵ روز بعد از کاشت) بود. آزمایش از ۷۲ کرت تشکیل شد. هر کرت آزمایشی دارای هفت خط کاشت به طول شش متر و با فاصله

بخشی حدود ۵۰۰ گرم را جدا کرده پس از انتقال به آزمایشگاه در آن تهویه دار با درجه حرارت ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و بعد از خشک شدن وزن آن‌ها محاسبه گردید (Koocheki and Sarmadnia, 2008).

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از طریق اندازه گیری توانایی آن در جلوگیری از احیای نوری نیتروبلوتترازولیوم کلراید در مرحله گلدهی اندازه گیری شد. سه میلی لیتر مخلوط واکنش شامل فسفات پتاسیم ۵۰ میلی مولار، متیونین ۱۳ میلی مولار، نیتروبلوتترازولیوم کلراید ۷۵ میکرومولار، اتیلن در آمین ترا استیک اسید ۰/۱ میلی مولار، ریبوفلاوین ۳۶۰ میکرومولار و ۳۰ میکرومولار لیتزر عصاره خام بود. پس از این که مخلوط بهم زده شد، سل‌های اسپکتروفتومتر به مدت ۱۰ دقیقه در زیر یک لامپ فلورسنت ۱۵ وات به فاصله ۳۵ سانتی متر قرار داده شد. با خاموش کردن لامپ واکنش متوقف و جذب مخلوط واکنش در ۵۶۰ نانومتر خوانده شد. یک واحد فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، مقدار آنزیمی در نظر گرفته شد که می تواند تا ۵۰٪ مانع از احیای نوری نیتروبلوتترازولیوم کلراید گردد. فعالیت ویژه آنزیم به صورت تعداد واحدهای آنزیم در میلی گرم پروتئین گزارش شد (Dhindsa et al., 1981).

میزان مالون دی آلدئید و دی تیروزین: به منظور تعیین مقدار مالون دی آلدئید و دی تیروزین در برگ در اوایل ظهور گل آذین ماده، ابتدا نیم گرم برگ تازه را در محلول ۲۰ درصد تیوکلر استیک اسید (TCA) که حاوی نیم درصد تیوباربیتوریک اسید چهار بود کاملاً پودر کرده و آن گاه این مخلوط به مدت ۲۵ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی گراد در حمام بن ماری حرارت داده شد. سپس این مخلوط را در حمام یخ سرد کرده و طبق روش Valentovic و همکاران (۲۰۰۶) مقدار

علف‌های هرز به صورت وجین دستی در طول مرحله رشد انجام پذیرفت. محلول پاشی اسید سالیسیلیک ۷۵ روز پس از کاشت با غلظت ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومول و محلول پاشی آهن ۷۵ روز پس از کاشت به صورت کلات ۱۳/۲ درصد به میزان دو و چهار کیلوگرم در هکتار با پمپ مخصوص سمپاشی ۲۰ لیتری در اوایل روز در صورت عدم وجود وزش باد در کرت‌ها انجام شد. تیمارهای آبیاری که شامل عدم تنش (آبیاری نرمال یعنی آبیاری به فواصل ۶ تا ۷ روز یکبار) و قطع آبیاری ۱۰ روز بعد از ظهور بلال تا زمان رسیدن (۸۰ روز بعد از کاشت) در مزرعه انجام شد.

نمونه برداری

عملکرد دانه و اجزای عملکرد: رسیدگی دانه‌ها با ایجاد لایه سیاه در قاعده دانه‌ها مشخص گردید و برداشت نهایی با حذف ۵۰ سانتی متر از ابتدا و انتهای خطوط از سطحی معادل دو متر مربع انجام شد. جهت اندازه گیری 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 به صورت دستی برداشت و پس از خشک شدن در آن (در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت چهار ساعت)، جداسازی دانه‌ها به صورت دستی انجام گرفت و با رطوبت ۱۴ درصد وزن شد. تعداد ردیف در بلال‌های برداشت شده از هر کرت و تعداد دانه در ردیف بلال‌های برداشت شده از هر کرت شمارش و یادداشت گردید و از حاصل ضرب این دو مؤلفه تعداد دانه در بلال به دست آمد.

عملکرد بیولوژیکی: جهت تعیین عملکرد بیولوژیکی پس از حذف یک متر از ابتدا و انتهای هر کرت به عنوان اثر حاشیه، نمونه گیری از سطحی معادل دو متر مربع از خطوط دوم و سوم و چهارم انجام گرفت.

استفاده و سپس تغییرات جذب نوری حاصل از اکسیداسیون اپی نفرین اندازه گیری و به عنوان مقدار دی هیدروکسی گوانوزین در نظر گرفته شد.

محاسبات آماری: قبل از انجام تجزیه مرکب نتایج دو سال آزمایش به منظور اطمینان از یکنواختی واریانس اشتباهات آزمایشی از آزمون بارتلیت به وسیله نرم افزار SAS 9.3 استفاده گردید و با توجه به اینکه اختلاف بین واریانس های خطا معنی دار نبود تجزیه واریانس مرکب دو سال آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS انجام و برای مقایسه میانگین ها از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

مالون دی آلدئید و دی تیروزین در طول موج ۵۳۲ نانومتر اندازه گیری شد.

تعیین دی هیدروکسی گوانوزین: در اوایل ظهور گل آذین ماده از روش Comba و همکاران (۲۰۱۵) استفاده شد. ابتدا برگ ها را در بافر فسفات تریس ۰/۱۶ مولار با $\text{pH} = 7.5$ وارد، خرد و هموژن و سپس مقدار ۰/۵ میلی لیتر از محلول هموژن برای سنجش پروتئین برداشته و در ۱/۳ میلی مول EDTA به همراه ۰/۱ مول کربنات منوسدیک تهیه و از اپی نفرین با غلظت ۰/۲۵ میلی مول به عنوان سوستر

جدول ۱: ویژگی های شیمیایی و فیزیکی خاک زمین آزمایش

سال	عمق خاک (سانتی متر)	بافت خاک	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم)
۱۳۹۶	۰-۳۰	لومی رسی	۷/۲	۳/۸۵	۰/۸۵	۰/۰۴	۱۵۷	۱۱/۵۰
۱۳۹۷	۰-۳۰	لومی رسی	۷	۳/۶۰	۰/۹۰	۰/۰۳	۱۶۷	۱۲/۸۳

جدول ۲: مشخصات پارامترهای هواشناسی در منطقه گتوند

ماه های سال	دما (سانتی گراد)			رطوبت نسبی (درصد)
	متوسط	حداقل	حداکثر	
خرداد	۳۲/۱۸	۲۲/۱	۴۰/۳۱	۲۶
تیر	۳۴/۵۱	۲۳/۷	۴۲/۵۴	۲۱
مرداد	۳۱/۶۳	۲۴/۵۱	۴۳/۲۱	۳۰/۴۷
شهریور	۲۸/۵	۲۳/۲۶	۴۱/۶	۳۷/۸
مهر	۲۷/۱۱	۲۱/۸۳	۳۶/۴۱	۴۲/۷
آبان	۲۰/۳۹	۱۳/۲۲	۲۶/۵۵	۳۱/۶۶

نتایج

بعد از ظهور بلال تا زمان رسیدن و محلول پاشی سالیسیلیک اسید به میزان ۳۰۰ میکرومول به دست آمد و کمترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از تیمار آبیاری نرمال تا زمان برداشت و عدم محلول پاشی سالیسیلیک اسید حاصل شد (جدول ۵). همچنین بیشترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در شرایط قطع آبیاری ۱۰ روز بعد از ظهور بلال تا زمان رسیدن و چهار کیلوگرم در

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: تجزیه واریانس مرکب دو ساله نشان داد که اثرات برهمکنش تنش کمبود آب در محلول پاشی سالیسیلیک اسید و تنش کمبود آب در محلول پاشی آهن بر میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در شرایط قطع آبیاری ۱۰ روز

نسبت به تیمار آبیاری نرمال تا زمان برداشت و محلول پاشی چهار کیلوگرم در هکتار آهن حدود ۴۱ درصد افزایش یافت (جدول ۶).

دی هیدروکسی گوانوزین: در این پژوهش دی هیدروکسی گوانوزین تحت برهمکنش تنش کمبود آب در محلول پاشی سالیسیلیک اسید و تنش کمبود آب در محلول پاشی آهن معنی دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد بیشترین میزان دی هیدروکسی گوانوزین در شرایط قطع آبیاری ۱۰ روز بعد از ظهور بلال تا زمان رسیدن و عدم محلول پاشی سالیسیلیک اسید حاصل شد که نسبت به تیمار آبیاری نرمال تا زمان برداشت و محلول پاشی سالیسیلیک اسید به میزان ۵۲/۵ درصد افزایش یافت (جدول ۵). همچنین بیشترین غلظت دی هیدروکسی گوانوزین در شرایط قطع آبیاری ۱۰ روز بعد از ظهور بلال تا زمان رسیدن و عدم محلول پاشی آهن به نسبت به تیمار آبیاری نرمال تا زمان برداشت و محلول پاشی چهار کیلوگرم در هکتار آهن حدود ۳۲/۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۶).

تعداد دانه در بلال: در این تحقیق برهمکنش سه گانه تنش کمبود آب در سالیسیلیک اسید در آهن بر تعداد دانه در بلال معنی دار بود (جدول ۳). نتایج برهمکنش سه گانه تنش کمبود آب در سالیسیلیک اسید در آهن نشان داد که بیشترین تعداد دانه در بلال در شرایط آبیاری نرمال تا زمان برداشت با محلول پاشی ۳۰۰ میکرومول سالیسیلیک اسید و چهار کیلوگرم در هکتار آهن به دست آمد (که با تیمار آبیاری نرمال تا زمان برداشت با کاربرد ۲۰۰ میکرومول سالیسیلیک اسید و چهار کیلوگرم در هکتار آهن تفاوت آماری معنی داری نداشت) که نسبت به تیمار قطع آبیاری ۱۰ روز بعد از ظهور بلال تا زمان رسیدن و عدم محلول پاشی سالیسیلیک اسید و آهن حدود ۳۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴).

هکتار آهن به دست آمد که نسبت به تیمار آبیاری نرمال تا زمان برداشت و عدم محلول پاشی آهن حدود ۳۴ درصد افزایش یافت (جدول ۶).

غلظت مالون دی آلدئید: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب اثرات برهمکنش تنش کمبود آب در محلول پاشی سالیسیلیک اسید و تنش کمبود آب در محلول پاشی آهن بر غلظت مالون دی آلدئید معنی دار شد (جدول ۳). برهمکنش تنش کمبود آب بر محلول پاشی سالیسیلیک اسید نشان داد که بیشترین غلظت مالون دی آلدئید در شرایط قطع آبیاری ۱۰ روز بعد از ظهور بلال تا زمان رسیدن و عدم محلول پاشی سالیسیلیک اسید و کمترین غلظت مالون دی آلدئید از تیمار آبیاری نرمال تا زمان برداشت و محلول پاشی سالیسیلیک اسید به میزان ۳۰۰ میکرومول حاصل شد (جدول ۵). همچنین بیشترین غلظت مالون دی آلدئید در شرایط قطع آبیاری ۱۰ روز بعد از ظهور بلال تا زمان رسیدن و عدم محلول پاشی آهن به دست آمد که نسبت به تیمار آبیاری نرمال تا زمان برداشت و محلول پاشی چهار کیلوگرم در هکتار آهن حدود ۴۷/۵ درصد افزایش یافت (جدول ۶).

غلظت دی تیروزین: نتایج حاصله از جدول تجزیه واریانس مرکب دو ساله حاکی از آن است که برهمکنش تنش کمبود آب در محلول پاشی سالیسیلیک اسید و تنش کمبود آب در محلول پاشی آهن بر غلظت دی تیروزین معنی دار شد (جدول ۳). بیشترین غلظت دی تیروزین در شرایط قطع آبیاری ۱۰ روز بعد از ظهور بلال تا زمان رسیدن و عدم محلول پاشی سالیسیلیک اسید و کمترین غلظت دی تیروزین از تیمار آبیاری نرمال تا زمان برداشت و محلول پاشی سالیسیلیک اسید به میزان ۳۰۰ میکرومول به دست آمد (جدول ۵). همچنین بیشترین غلظت دی تیروزین در شرایط قطع آبیاری ۱۰ روز بعد از ظهور بلال تا زمان رسیدن و عدم محلول پاشی آهن به دست آمد که

جدول ۴: مقایسه میانگین تنش همکنش تنش کمبود آب و سالیسیلیک اسید بر صفات بیوشیمیایی

دی‌هیدروکسی گلوکزین (نانومول بر میلی گرم پروتئین برگ)	دی‌تیروزین (نانومول بر میلی گرم پروتئین برگ)	مالون‌دی‌آلدید (نانومول بر میلی گرم پروتئین برگ)	سوپراکسید‌سینتاز (واحد بین‌المللی بر میلی گرم پروتئین)	سالیسیلیک اسید	تنش کمبود آب
۱/۷۰ d	۱/۴۶ c	۱۰ d	۳۳۷۹ f	صفر	
۱/۶۴ de	۱/۳۵ cd	۸/۱۶ e	۳۷۸۲۵ e	۱۰۰ میکرومول	
۱/۵۳ e	۱/۲۸ d	۷/۴۳ ef	۳۹۰۱۳ e	۲۰۰ میکرومول	بدون تنش
۱/۴۱ ef	۱/۲۲ d	۶/۳۹ f	۴۴۰۰۴ d	۳۰۰ میکرومول	
۲/۵۵ a	۲/۲۹ a	۱۴/۵ a	۴۷۱۸۴ c	صفر	
۲/۱۹ b	۲ ab	۱۳/۲۳ b	۵۰۶۰۵ b	۱۰۰ میکرومول	قطع آبیاری ۱۰ روز بعد از ظهور پال
۱/۹۱ cd	۱/۸۵ b	۱۲/۷۶ bc	۵۱۸۵۴ b	۲۰۰ میکرومول	
۱/۸۹ cd	۱/۶۷ bc	۱۱/۵۲ c	۵۴۶۷ a	۳۰۰ میکرومول	

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

جدول ۵: مقایسه میانگین برهمکنش تنش کمبود آب و محلول پاشی آهن بر صفات بیوشیمیایی

دی‌هیدروکسی گلوکزین (نانومول بر میلی گرم پروتئین برگ)	دی‌تیروزین (نانومول بر میلی گرم پروتئین برگ)	مالون‌دی‌آلدید (نانومول بر میلی گرم پروتئین برگ)	سوپراکسید‌سینتاز (واحد بین‌المللی بر میلی گرم پروتئین)	محلول پاشی آهن	رژیم آبیاری
۱/۷۸ c	۱/۵۹ c	۹/۴ d	۲۵۷/۰۸ e	صفر	تزمان تا زمان برداشت
۱/۶۹ cd	۱/۴۶ d	۸/۳۲ de	۳۹۰/۲۵ d	۲ کیلوگرم در هکتار	
۱/۵۵ d	۱/۲۰ e	۷/۲۷ e	۴۳۸/۴۱ c	۴ کیلوگرم در هکتار	
۲/۳۰ a	۲/۰۵ a	۱۳/۸۶ a	۴۴۶/۵۴ c	صفر	قطع آبیاری ۱۰ روز بعد از ظهور پال
۱/۹۶ b	۱/۸۱ b	۱۲/۷۱ b	۵۲۱/۳۹ b	۲ کیلوگرم در هکتار	
۱/۸۱ bc	۱/۶۸ bc	۱۱/۵۹ c	۵۴۶/۶۵ a	۴ کیلوگرم در هکتار	

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

جدول ۶: مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه تنش کمبود آب، سالیسیلیک‌اسید و آهن بر صفات ذرت

تنش کمبود آب	سالیسیلیک اسید	محلول پاشی آهن	تعداد دانه در بلال	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار)	
		صفر	۴۳۶/۱d	۷۱۲۵/۴de	۱۷۹۷۲/۳d	
نرمال تا زمان برداشت	صفر	۲ کیلوگرم در هکتار	۴۳۸/۲d	۷۱۹۳/۱d	۱۸۱۲۱/۹cd	
		۴ کیلوگرم در هکتار	۴۵۱/۱۸cd	۸۲۷۰/۶d	۱۸۲۵۱/۰۷cd	
	۱۰۰ میکرومول	۲ کیلوگرم در هکتار	۴۵۲/۲۱cd	۸۵۵۹/۰۱c	۱۸۰۷۶/۱d	
		۴ کیلوگرم در هکتار	۴۶۰/۷۷c	۸۶۰۰/۳bc	۱۸۵۴۹/۰۳bc	
	۲۰۰ میکرومول	صفر	۴۷۰/۳۳bc	۸۴۸۹/۵c	۱۸۳۳۷/۶۱c	
		۲ کیلوگرم در هکتار	۴۷۸/۱۱b	۸۶۲۴/۳۱bc	۱۸۶۲۱b	
	۳۰۰ میکرومول	۴ کیلوگرم در هکتار	۴۹۰/۲۳a	۸۷۰۵/۱a	۱۸۹۰۱/۴a	
		صفر	۴۷۲/۲bc	۸۵۳۱/۴c	۱۸۳۱۱/۶bc	
	قطع آبیاری ۱۰ روز بعد از ظهور بلال	۳۰۰ میکرومول	۲ کیلوگرم در هکتار	۴۸۰/۵۱b	۸۶۱۳/۶b	۱۸۷۳۱/۲۴ab
			۴ کیلوگرم در هکتار	۴۹۲/۰۱a	۸۷۳۱/۲a	۱۸۹۶۷/۱a
صفر		صفر	۳۳۳/۷i	۶۰۰/۱h	۱۶۰۸۱/۴h	
		۲ کیلوگرم در هکتار	۳۴۱/۵h	۶۲۱۱g	۱۶۲۷۵/۳۲g	
۱۰۰ میکرومول		۴ کیلوگرم در هکتار	۳۷۵/۳fg	۶۵۰۷fg	۱۶۶۴۳/۶g	
		صفر	۳۶۱/۰۳g	۶۴۳۷fg	۱۶۷۵۹/۷fg	
۲۰۰ میکرومول		۲ کیلوگرم در هکتار	۳۷۰/۱۶fg	۶۶۱۰/۸f	۱۷۰۶۶/۴۵f	
		۴ کیلوگرم در هکتار	۳۹۰/۱۱f	۶۷۹۷/۴ef	۱۷۳۰۱/۸e	
۲۰۰ میکرومول		صفر	۳۷۴/۴fg	۶۶۲۱/۲f	۱۷۳۸۶/۲۲e	
		۲ کیلوگرم در هکتار	۴۰۶/۵۳ef	۷۰۰۸/۱e	۱۷۳۸۱/۶۱de	
۳۰۰ میکرومول	۴ کیلوگرم در هکتار	۴۱۷/۰۶e	۷۱۳۱/۲de	۱۷۷۲۸/۳de		
	صفر	۳۹۲/۷f	۶۸۲۹/۵ef	۱۷۴۸۵e		
۳۰۰ میکرومول	۲ کیلوگرم در هکتار	۴۰۹/۲ef	۷۰۶۲/۶e	۱۷۶۳۹/۱de		
	۴ کیلوگرم در هکتار	۴۲۰/۱e	۷۱۹۶de	۱۷۸۸۲d		

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

میکرومول سالیسیلیک‌اسید و چهار کیلوگرم در هکتار آهن تفاوت آماری معنی‌داری نداشت) که نسبت به تیمار قطع آبیاری ۱۰ روز بعد از ظهور بلال تا زمان رسیدن و عدم محلول پاشی سالیسیلیک‌اسید و آهن حدود ۳۱/۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴).

عملکرد بیولوژیکی: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب مشاهده شد (جدول ۳)، برهم‌کنش سه‌گانه تنش کمبود آب در اسیدسالیسیلیک در آهن بر

عملکرد دانه: نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که از لحاظ آماری، برهم‌کنش سه‌گانه تنش کمبود آب در سالیسیلیک‌اسید در آهن بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال تا زمان برداشت با محلول پاشی ۳۰۰ میکرومول سالیسیلیک‌اسید و چهار کیلوگرم در هکتار آهن به‌دست آمد (که با تیمار آبیاری نرمال تا زمان برداشت با کاربرد ۲۰۰

آب نسبت به سایر غلظت‌های سالیسیلیک اسید به خود اختصاص داد که این نتایج با یافته‌های Shemi و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت داشت. هم‌چنین محلول پاشی آهن موجب کاهش خسارت ناشی از تنش بر تعداد دانه در بلال شد، محلول پاشی آهن به دلیل رفع کمبود عناصر غذایی منجر به افزایش در رشد، تنظیم فرآیندهای نمو در گیاه و قابلیت جذب و نگهداری رطوبت، باعث افزایش تعداد دانه در بلال نسبت به عدم مصرف آن‌ها گردید (Farnia and Khodaivandi, 2015). آبیاری به موقع و تأمین آب مورد نیاز ذرت در مراحل مختلف رشد توانست بالاترین عملکرد دانه را تولید نماید. تنش کمبود آب از طریق اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی، عرضه مواد پرورده را کاهش داده و موجب تغییر در اجزای عملکرد و اختلال در گل‌دهی، گرده‌افشانی و تلقیح دانه‌ها و کاهش عملکرد دانه گردد (Admasu et al., 2019). مشاهده شد که محلول پاشی سالیسیلیک اسید در انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها نسبت به شاهد (عدم محلول پاشی سالیسیلیک اسید) موفق‌تر عمل کرده است. سالیسیلیک اسید با تنظیم فرایندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در طی حیات گیاه در مواجهه با تنش‌های محیطی نظیر تنش خشکی، باعث افزایش قابل توجهی در عملکرد و اجزای عملکرد گیاه شده است. سالیسیلیک اسید بر فتوسنتز و رشد گیاه در شرایط تنش اثر مثبت دارد و در واقع از طریق توسعه واکنش‌های ضد تنشی، نظیر افزایش تجمع پرولین باعث تسریع در بهبود رشد پس از رفع تنش می‌شود (Shakirova et al., 2003). در این تحقیق محلول پاشی آهن موجب کاهش خسارت ناشی از تنش بر عملکرد دانه گردید. در شرایط تنش کم آبی محلول پاشی آهن با تأثیر بر میزان فتوسنتز و تثبیت دی‌اکسیدکربن و تولید قند و ذخیره‌سازی آن در دانه،

عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. نتایج برهمکنش سه‌گانه تنش کمبود آب در اسیدسالیسیلیک در آهن نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری نرمال تا زمان برداشت با محلول پاشی ۳۰۰ میکرومول اسیدسالیسیلیک و چهار کیلوگرم در هکتار آهن به‌دست آمد (که با تیمار آبیاری نرمال تا زمان برداشت با کاربرد ۲۰۰ میکرومول اسیدسالیسیلیک و چهار کیلوگرم در هکتار آهن تفاوت آماری معنی‌داری نداشت) که نسبت به تیمار قطع آبیاری ۱۰ روز بعد از ظهور بلال تا زمان رسیدن و عدم محلول پاشی اسیدسالیسیلیک و آهن حدود ۱۵/۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴).

بحث

تعداد دانه در بلال حساس‌ترین جزء عملکرد به کمبود آب محسوب می‌شود. تنش آب در زمان گلدهی و بعد از آن می‌تواند به خروج کاکل‌ها از غلاف بلال صدمه زند و باعث خشکی آنها شده و تعداد دانه‌های تشکیل شده در بلال را کاهش دهد (Khalily et al., 2013). در این تحقیق قطع آبیاری ۱۰ روز بعد از ظهور بلال به دلیل شکل‌گیری ضعیف اندام‌های زایشی و به تبع آن گرده‌افشانی نامناسب تعداد دانه در بلال کاهش معنی‌داری یافت (Al-Shaheen et al., 2018). در بررسی اثر غلظت‌های متفاوت اسیدسالیسیلیک در شرایط تنش کمبود آب بر ذرت می‌توان بیان داشت که با افزایش غلظت این تنظیم‌کننده زیستی، ویژگی‌های رویشی مانند سطح برگ و شاخص سطح برگ افزایش می‌یابد و تا حدودی با حفظ و نگهداری آب اثرات منفی کمبود آب بر تعداد دانه در بلال را جبران نمود که در این تحقیق غلظت ۳۰۰ میکرومول سالیسیلیک اسید بیشترین تعداد دانه در بلال را در شرایط تنش کمبود

سوپراکسیددیسموتاز غلظت هیدروژن پراکسید و سوپراکسید سلول را تنظیم می‌کند و عاملی مهم در سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش کمبود آب در نظر گرفته می‌شود (Sharma and Dubey, 2012). به‌نظر می‌رسد که سالیسیلیک‌اسید سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدان را طی تنش‌های محیطی در بهبود پاسخ گیاه به تنش تنظیم می‌کند که در ایجاد تحمل در برابر تنش خشکی در گیاهان مؤثر است (Hayat et al., 2010). سالیسیلیک‌اسید می‌تواند از طریق فعال کردن سوپراکسیددیسموتاز از اکسیداسیون لیپید و پروتئین سلولی جلوگیری کرده و از آسیب دیدگی غشاء تحت تاثیر مالون‌دی‌آلدئید و باز شدن رشته‌های کروموزومی بوسیله دی‌تیروزین و دی‌هیدروکسی‌گوآنوزین مانع می‌کند (Horvath et al., 2015). نتایج مشابهی از افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در شرایط تنش خشکی با کاربرد سالیسیلیک‌اسید توسط Agarwal و همکاران (۲۰۰۵) گزارش شده است. در این تحقیق محلول‌پاشی آهن در شرایط تنش کمبود آب توانست موجب تقویت سیستم تدافعی در گیاه و افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز گردد و از این رو، می‌توان انتظار داشت که با محلول‌پاشی آهن سطوح تحمل گیاه در برابر انواع تنش‌ها بهبود یابد (Amirinejad et al., 2016). در شرایط انجام این پژوهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشای سلولی از طریق تجمع مالون‌دی‌آلدئید موجب ایجاد آسیب در گیاهان می‌گردد و تیمار محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و آهن با کاهش مالون‌دی‌آلدئید می‌توانند با جلوگیری از پراکسیداسیون چربی‌ها آسیب تنش را کاهش دهد (Ali et al., 2023). سایر پژوهشگران نیز به نقش محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و آهن در کاهش محتوی مالون‌دی‌آلدئید اشاره نموده‌اند که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت (Hua et al., 2018; Urmi et al., 2023).

موجب افزایش وزن هزار دانه و در نتیجه افزایش عملکرد دانه می‌گردد. گزارشات Mazinagou و همکاران (۲۰۲۲) و Afshari و Naderi (۲۰۲۳) نیز مؤید نتایج این تحقیق بود. افزایش بیوماس گیاهان در شرایط آبیاری مطلوب بدلیل گسترش بیشتر و تداوم بهتر سطح برگ بود که موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی قوی کافی جهت استفاده هر چه بیشتر از نور دریافتی و تولید ماده خشک گردید (Ghassemi-Golezani et al., 2018). در شرایط قطع آبیاری به علت کمبود آب در خاک پتانسیل آب برگ به مقدار زیادی کاهش می‌یابد، زیرا زمانی که ریشه‌ها آب اضافی داشته باشند به اندام هوایی می‌فرستند و این امر منجر به کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌گردد (Koocheki and Sarmadnia, 2008). در این شرایط کاربرد غلظت‌های مختلف اسیدسالیسیلیک نسبت به شاهد با بهبود شاخص سطح برگ سبب بالارفتن فتوسنتز، افزایش رشد و عملکرد بیولوژیک گیاه گردید و تا حدودی توانست اثرات منفی تنش کمبود آب در گیاه را کاهش دهد (Warqa et al., 2019). آهن در ساختار کلروفیل نقش دارد و محلول‌پاشی این عنصر به‌ویژه در شرایط کمبود این عنصر، باعث افزایش میزان کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی گیاه، و در نتیجه افزایش وزن خشک گیاه می‌شود. به‌طور کلی محلول‌پاشی عنصر آهن توانسته از طریق تجمع هیدروکربن‌ها در گیاه باعث افزایش عملکرد بیولوژیک شود (Jalil Sheshbahreh et al., 2013). می‌توان بیان داشت افزایش عملکرد بیولوژیک با مصرف عناصر کم مصرف ممکن است به دلیل تغذیه بهتر و افزایش فتوسنتز در نتیجه افزایش بیوماس در گیاه باشد. این نتایج در تحقیقات Raiesi و Tadayyon (۲۰۰۸) نیز گزارش گردیده است. تنش کمبود آب موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز گردید، آنزیم

در گیاه و در نتیجه افزایش کارایی مصرف آب گیاه را در شرایط مناسب‌تری قرار داده است (Shalvand et al., 2018). در همین راستا Pourabtehaj و همکاران (۲۰۱۲) گزارش دادند تیمارهای محلول پاشی اسیدسالیسیلیک با افزایش میزان آب نسبی برگ‌ها منجر به کاهش مقدار دی هیدروکسی گوانوزین در شرایط تنش خشکی می‌شوند. نحوه تغییرات دی-هیدروکسی گوانوزین در شرایط خشکی و نقش آن در ایجاد مقاومت به تنش خشکی در گیاه هنوز شناخته نشده است که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری نهائی

به‌طور کلی پژوهش حاضر نشان داد که تنش قطع آبیاری موجب کاهش قابل‌ملاحظه عملکرد ذرت می‌شود. هرچند بیش‌ترین نتایج مثبت محلول پاشی سالیسیلیک اسید و آهن بر عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط مطلوب حاصل شد، لیکن، اثر تعدیل‌کنندگی آن‌ها در شرایط تنش کمبود آب بر عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و تعداد دانه در بلال دیده شد. همچنین استفاده از بذرمال اتفون و محلول پاشی سالیسیلیک اسید و آهن می‌تواند در شرایط تنش کمبود آب سبب محافظت از سلول‌های گیاه در برابر تنش‌های اکسایشی شده و با افزایش میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیس‌موتاز بافت‌های گیاهی، از تجمع مالون‌دی‌آلدئید جلوگیری نماید. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده برای افزایش رشد و عملکرد در شرایط مطلوب و کاهش افت در شرایط تنش کاربرد سالیسیلیک اسید (۳۰۰ میکرومول) و آهن (چهار کیلوگرم در هکتار) به‌صورت محلول پاشی بر ذرت به‌صورت کاملاً موفقیت‌آمیزی مؤثر بوده و بر استفاده‌ی بیش از پیش این ماده تأکید می‌شود.

نتایج این تحقیق حاکی از آن است که در شرایط تنش قطع آبیاری با توجه به این که میزان رادیکال‌های آزاد اکسیژن بیشتر می‌شود؛ پروتئین‌ها بیشتر در معرض تخریب قرار گرفته و میزان تولید دی‌تیروزین نیز بالا می‌رود، از اندازه‌گیری میزان تولید این ماده می‌توان به این نکته پی برد که تنش اکسایشی افزایش یافته است (Davoodifard et al., 2012). به‌نظر می‌رسد محلول پاشی اسیدسالیسیلیک و آهن می‌تواند از طریق فعال کردن سوپراکسیددیس‌موتاز از اکسیداسیون لیپید و پروتئین سلولی جلوگیری کرده و از آسیب دیدگی غشاء تحت تاثیر مالون‌دی‌آلدئید و باز شدن رشته‌های کروموزومی به‌وسیله دی‌تیروزین و دی‌هیدروکسی گوانوزین ممانعت کنند (et Horvath, 2015). نتایج مشابهی از اثرات مثبت اسیدسالیسیلیک و آهن بر کاهش دی‌تیروزین در شرایط تنش خشکی در گیاهان مختلف گزارش شده است (Habibpor et al., 2016; Habibi et al., 2024). افزایش غلظت دی‌هیدروکسی گوانوزین در شرایط تنش خشکی ناشی از پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب DNA در بافت گیاهان می‌باشد. افزایش این نشانگر می‌تواند ناشی از کاهش فعالیت کاتالاز و سوپراکسیددیس‌موتاز باشد (Bingru and Jinmin, 2000). تنش اکسایشی در هنگام تنش قطع آبیاری و افزایش رادیکال‌های آزاد با کاهش دفاع آنتی‌اکسیدانی منجر به آسیب بافت‌ها، لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود و غلظت نشانگرهایی چون مالون‌دی‌آلدئید، دی‌تیروزین و دی‌هیدروکسی گوانوزین افزایش می‌یابد (Zlatev and Lidon, 2012). به‌نظر می‌رسد کمتر بودن میزان نشانگر بیوشیمیایی دی‌هیدروکسی گوانوزین در تیمار حاوی سالیسیلیک اسید و آهن نسبت به عدم محلول پاشی سالیسیلیک اسید و آهن احتمالاً نشان‌دهنده این است که سالیسیلیک اسید و آهن با کاهش مقاومت روزنه‌ای

تشکر و قدردانی

از حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز و همکاران گرامی دانشکده کشاورزی در اجرا و اتمام این پژوهش تشکر و قدردانی می گردد.

References

- 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.
- Afshari, M. and Naderi, A. (2023). Effect of zinc and iron foliar application on corn yield and redistribution of photosynthetic materials in water stress conditions. *Iranian Journal Soil Research (Soil and Water Science)*. 37(2): 117-131. (In Persian with English abstract).
- Agarwal, S.K.R., Sairam, G.C., Srivastava, T., Aruna, C.R. and Meena, R. (2005). Role of ABA, salicylic acid, calcium and hydrogen peroxide on antioxidant enzyme induction in wheat seedlings. *Plant Science*. 169: 559-570.
- Ali, E., Hussain, S., Jalal, F., Khan, M.A., Imtiaz, M., Said, F., Ismail, M., Khan, S., Ali, H.M., Hatamleh, A.A., Al-Dosary, M.A., Mosa, W.F.A. and Shah, F. (2023). Salicylic acid-mitigates abiotic stress tolerance via altering defense mechanisms in *Brassica napus* (L.). *Frontiers in Plant Science*. 14:1187260.
- Al-Shaheen, M., Soh, A., Shareef, R.S. and Ismaaiel, O.H. (2018). Standardization of the effect of water stress on the yield and productivity of Corn (*Zea maize* L.) according to the stages of growth. *Journal of Advanced Research in Agriculture Science & Technology*. 1(4): 15-18.
- Amirinejad, M., Akbari, G., Baghizadeh, A., Allahdadi, I., Shahbazi, M., and Naimi, M. (2016). Effect of drought stress and foliar application of zinc and iron on some biochemical parameters of cumin. *Journal of Crops Improvement*. 17(4): 855-866.
- Azooz, M.M. and Ahmad, P. (2015). *Legumes under environmental stress: Yield, improvement and adaptations*. Published by John Wiley & Sons, Ltd. 20 p.
- Bingru, H. and Jinmin, F. (2000). Involvement of antioxidant and lipid peroxidation in the adoption of two cool- season grasses to localized drought stress. *Environmental and Experimental Botany*. 45(2):105-114.
- Bonea, D. (2020). Screening for drought tolerance in maize hybrids using new indices based on resilience and production capacity. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 20(3): 151-156.
- Comba, R., Shan, D. and Huang, J. (2015). Role of salicylic acid and iron on some morphological traits on cereals. *Agronomy Journal*. 55(4): 722-735.
- Davoodifard, M., Habibi, D., Paknejad, F., Fazeli, F. and Davoodifard, F. (2012). Effect of plant growth promoting rhizobacteria and foliar application of amino acids and silicic acid on biochemical biomarkers rates of wheat under drought stress. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*. 8(4): 83-99. (In Persian with English abstract).
- Dhindsa, R.A., Plumb-Dhindsa, P. and Thorpe, T.A. (1981). Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal Experiment Botany*. 126: 93-101.
- Esmailvandi, Gh. and Egdernezhad, A. (2023). The influence of growth-promoting bacteria and salicylic acid on leaf area index, grain yield and harvest index of Corn (*Zea mays* L.) under non-irrigation conditions at different growth stages. *Journal Crop Nutr. Science*. 9(2): 53-73.
- Farnia, A. and Khodaivandi, A. (2015). Effect of integrated foliar application of Zn and Fe on yield and yield components of maize under water stress condition. *International Journal of Biology Pharmacology and Allied Sciences*. 4 (10): 691-705.

- Ghassemi-Golezani, K., Heydari, Sh. and Dalil, B. (2018). Field performance of maize (*Zea mays* L.) cultivars under drought stress. *Acta Agriculturae Slovenica*. 111(1): 25-32.
- Glover, A., Brammer, S.P., Guerra, D. and Baggio, M.I.B. (2014). Reactive oxygen species mapping of adult plant drought resistance genes in maize cultivars. *Genetic Molecule Research*. 15(7): 625-640.
- Grote, U., Fasse, A., Nguyen, T.T. and Erenstein, O. (2021). Food security and the dynamics of wheat and maize value chains in Africa and Asia. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 4: 1-17.
- Habibi, D., Madni, H., Mashhadi Akbar Bujar, M. and Seydi, F. (2024). The effect of cycocel and some micronutrients on drought resistance of wheat. *Life Sciences and Biotechnology Studies*. 10(1): 242-261. (In persian with english abstract).
- Habibpor, S.S., Naderi, A., Lak, Sh., Faraji, H. and Mojaddam, M. (2016). Effect of salicylic acid on morphological and physiological characteristics of sweet corn hybrids under water stress conditions. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 8(3): 522-543.
- Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M. and Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*. 68: 14-25.
- Horvath, E., Csiszar, J., Galle, N. and Poor, P. (2015). Hardening with salicylic acid induces concentration-dependent changes in abscisic acid biosynthesis of tomato under salt stress. *Journal of Plant Physiology*. 186: 111-120.
- Hua, Q., Liu, Y.G., Yan, Z.L., Zeng, G.M., Liu, S.B., Wang, W.J., Tan, X.F., Deng, J.Q., Tang, X. and Wang, Q.P. (2018). Allelopathic effect of the rice straw aqueous extract on the growth of *Microcystis aeruginosa*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 148: 953-959.
- Hussain, M., Malik, M.A., Farooq, M., Khan, M.B., Akram, M. and Saleem, M.F. (2009). Exogenous glycinebetaine and salicylic acid application improves water relations, allometry and quality of hybrid sunflower under water deficit conditions. *Journal Agro & Crop Science*. 195: 98-109.
- Jalil Sheshbahreh, M., Movahedi Dehnavi, M. and Hashemi Jezii, S.M. (2013). Improving the quantitative and qualitative yield of soybeans by foliar application of zinc and iron elements under drought stress conditions. *Plant Production*. 36(2): 111-123. (In persian with english abstract).
- 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 with english abstract).
- Khalily, M., Naghavi, M., Pour-Aboughadareh, A. and Naseri rad, H. (2013). Effects of drought stress on yield and yield components in maize cultivars (*Zea mays* L.). *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 4 (4): 809-812.
- Koocheki, A. and Sarmadnia, Gh.H. (2008). *Plant Physiology* (translation). Mashhad Academic Publications. 467p.
- Mazinagou, M., J. Mianikpo Sogbedji, J. And N'gbendema, A. (2022). Effect of iron foliar application on maize grain yield and iron concentration in maize (*Zea mays* L.) grain on the ferralsols of southern Togo. *East African Scholars Journal of Agriculture and Life Sciences*. 5(7): 137-145.
- Mitra, S., Mobarak, S.H., Karmakar, A. and Barik, A. (2019). Activities of antioxidant enzymes in three species of Ludwigia weeds on feeding by *Altica cyanea*. *Journal of King Saud University Science*. 31(4): 1522-1527.
- Pakseresht, Gh., and B. Pasari. (2020). Study Ethephon application and male inflorescence detopping on the quality and quantity traits of maize. *Journal of Plant Ecophysiology*. 12(42): 131-146. (In Persian with English abstract).
- Pinto, A., Mota, M. and Varennes, A. (2005). Influence of organic matter on the uptake of zinc, copper and iron by Sorghum plants. *Science Total Environment*. 326: 239-247.
- Pourabtehaj, M., Habibi, D., Paknejad, F., Davoodifard, M. and Farahani Pad, P. (2012). Effect of plant growth promoting rhizobacteria and foliar application of silicic acid and amino acids

- on biochemical biomarkers rates of barley (*Hordeum vulgare* L.) under drought stress. Journal of Agronomy and Plant Breeding. 8(3): 127-138. (In Persian with English abstract).
- Reese, W., Pycke, B., Mertens, J., Debersaques, F., Verheyen, K., Baert, G., Bries, J. and Haesaert, G. (2015). Application of salicylic acid substances results in consistent increases in crop yield and nutrient uptake in maize. Journal of Plant Nutrition. 50: 963-977.
- Rivas-San Vicente, M. and Plasencia, J. (2011). Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. Journal of Experimental Botany. 62(10): 3321-38.
- Shakirova, F.M., Shakhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., Fatkhutdinova, R.A. and Fatkhutdinova, D.R. (2003). Changes in the hormonal status of wheat seeding induced by salicylic acid and salinity. Plant Science. 164(3): 317-322.
- Shalalvand, M., Pazoki, A.R., Monem, R. and Abdoli, M. (2018). The effect of application of vermicompost and salicylic acid on activity of antioxidant enzymes and yield of milk thistle (*Silybum Marianum* L.) in different irrigation conditions. Journal of Agronomy and Plant Breeding. 14(2): 49-67. (In Persian with english abstract).
- Sharma, P. and Dubey, R.S. (2005). Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant Growth Regulation. 46: 209-221.
- Shemi, R., Wang, R., Gheith, E.S., Hussain, H.A., Hussain, S., Irfan, M., Cholidah, L., Zhang, K., Zhang, S. and Wang, L. (2021). Effects of salicylic acid, zinc and glycine betaine on morpho physiological growth and yield of maize under drought stress. Scientific Reports. 11:3195-3204.
- Tadayyon, A. and Raiesi, F. (2008). The response of various ecotypes of common sainfoin (*Onobrychis viciifolia* L.) to the foliar application of nitrogen, iron and zinc in a cold climate of Chaharmahal VA Bakhtyari province. Iranian Journal Agriculture. 6(1) pp: 41-48. (In Persian with english abstract).
- Urmi, T.A., Islam, M.M., Zumur, K.N., Abedin, M.A., Haque, M.M., Siddiqui, M.H., Murata, Y. and Hoque, M.A. (2023). Combined effect of salicylic acid and proline mitigates drought stress in rice (*Oryza sativa* L.) through the modulation of physiological attributes and antioxidant enzymes. Antioxidants. 12(7): 1438.
- Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovi, L. and Gasparikora, O. (2006). Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relation in two maize cultivars. Plant Soil Environment. 52 (4): 186-191.
- Wani, A.B., Chadar, H., Wani, A.H., Singh, S. and Upadhyay, N. (2017). Salicylic acid to decrease plant stress. Environmental Chemistry Letters. 15(1): 101-123.
- Warqa, M., Al-Sheikh, S., Alwan, A.H. and Al-Jubouri, A.M. (2019). Effect of salicylic acid and irrigation intervals on yield components of five genotypes of maize (*Zea mays* L.). Materials Science and Engineering. 571: 1-16.
- Zlatev, Z. and Lidon, F.C. (2012). An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. Emirates Journal of Food and Agriculture. 24: 57-72.
- Zwer, H., Armin, M. and Filehkesh, A. (2014). Effect of different levels of Fe foliar application on tyrosine (Di-ty) activity in maize under drought stress. Journal of Oilseed Plants. 6(14): 105-112.