

Effect of 24-epibrassinolide, spermine, and silicon on Growth Traits and Grain Yield in maize under Water Deficit Stress

Azizolah Ghasemi¹, Salim Farzaneh^{1*}, Sajjad Moharramnejad², Raouf Seyed Sharifi¹,
Ahmed Fathy Youesf³

Received: 11 April 2023 Accepted: 09 November 2023

1-Dept. of Production and Plant Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran.

2-Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Moghan, Iran.

3-Department of Horticulture, College of Agriculture, University of Al-Azhar (Branch Assiut), Assiut, 71524, Egypt.

*Corresponding Author Email: salimfarzaneh@yahoo.com

Abstract

Background and Objective: In current research, we goaled to assess the effect of application of 24-epibrassinolide, spermine, and silicon on the growth and yield of Paya maize cultivar (SC715) under water stress.

Materials and Methods: An experiment was performed as split plots in a randomized complete block design with four replications during 2021 season at the Agricultural Research Station of Tabriz Branch, Islamic Azad University. The main plot was three irrigation regimes of well-watered, water-stressed, and interrupted irrigated conditions at the flowering and the seed filling stages, and sub plot was eight spraying treatments of double distilled water, 24-epibrassinolide (0.1 mg L⁻¹), spermine (25 mg L⁻¹), and silicon (7 mg L⁻¹), 24-epibrassinolide (0.1 mg L⁻¹) + spermine (25 mg L⁻¹), 24-epibrassinolide (0.1 mg L⁻¹) + silicon (7 mg L⁻¹), spermine (25 mg L⁻¹) + silicon (7 mg L⁻¹), and 24-epibrassinolide (0.1 mg L⁻¹) + spermine (25 mg L⁻¹) + silicon (7 mg L⁻¹).

Results: Water deficit stress reduced grain yield and its components. The dual and triad applications of 24-epibrassinolide (0.1 mg L⁻¹), spermine (25 mg L⁻¹), and silicon (7 mg L⁻¹) significantly increased the plant height, ear height, grain yield, and its components. Among grain yield with 100-grain weights, No. grain per/ear, ear height and ear diameter were positive correlation. Principal component analysis of agromorphological traits under various water deficit stresses indicated that applications of 24-epibrassinolide (0.1 mg L⁻¹) + silicon (7 mg L⁻¹) had more impacts on grain yield (12.08%), 100-grain weights (5.91%), No. grain per/ear (3.21%), ear height (7.30%).

Conclusion: Overall, the dual and triad applications enhanced the plant's drought tolerance and improved plant height (9.10%) and grain yield (10.23%) of maize under water deficit stress.

Keywords: Ear Height, Grain Yield, Hormone, Plant Height, Principal Component Analysis, Tolerance

بررسی اثر محلول پاشی ۲۴-آپی براسینولید، اسپرمین و سیلیکون روی صفات رشدی و عملکرد دانه ذرت تحت تنش کم آبی

عزیزاله قاسمی^۱، سلیم فرزانه^{۱*}، سجاد محرم نژاد^۲، رئوف سید شریفی^۱، احمد فتحی یوسف^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۱۸

۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
 ۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران
 ۳- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه الازهر، اسیوط، مصر
 * مسئول مکاتبه: Email: salimfarzaneh@yahoo.com

چکیده

اهداف: پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر محلول پاشی ۲۴-آپی براسینولید، اسپرمین و سیلیکون روی رشد و عملکرد رقم پایا (سینگل کراس ۷۱۵) ذرت تحت تنش کم آبی بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار طی سال زراعی ۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز اجراء شد. عامل اصلی سه سطح تنش کم آبی شاهد، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و عامل فرعی هشت ترکیب محلول پاشی شامل آب دیونیزه (شاهد)، ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-آپی براسینولید، ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین، ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون، ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-آپی براسینولید + ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین، ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-آپی براسینولید + ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون، ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین + ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون و ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-آپی براسینولید + ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین + ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون بودند.

یافته‌ها: تنش کم آبی باعث کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه شد. محلول پاشی ۲۴-آپی براسینولید، اسپرمین و سیلیکون به صورت ترکیب تنهائی/دوتائی/سه تایی باعث بهبود ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت شد. بین عملکرد دانه با وزن صد دانه، تعداد دانه در ردیف بلال، طول بلال و قطر بلال همبستگی مثبت معنی‌دار وجود داشت. تجزیه به مولفه‌های اصلی صفات ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و عملکرد و اجزای عملکرد دانه در سطوح مختلف تنش کم آبی نشان داد که محلول پاشی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-آپی براسینولید + ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون بیشترین اثر روی صفات عملکرد دانه (۱۲/۰۸ درصد)، وزن صد دانه (۵/۹۱ درصد)، تعداد دانه در ردیف بلال (۳/۲۱ درصد) و طول بلال (۷/۳۰ درصد) تحت تنش کم آبی داشت.

نتیجه‌گیری: چنین به نظر می‌رسد که استفاده از محلول پاشی ۲۴-آپی براسینولید، اسپرمین و سیلیکون به صورت ترکیب دوتائی/سه تایی باعث افزایش تحمل گیاه ذرت به تنش کم آبی و بهبود باعث ارتفاع بوته (۹/۱۰ درصد) و عملکرد دانه (۱۰/۲۳ درصد) ذرت می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بلال، ارتفاع بوته، تجزیه به مولفه‌های اصلی، تحمل، عملکرد دانه، هورمون

مقدمه

تنش کمبود آب یکی از اصلی‌ترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. اثرات سوء ناشی از تنش آب بر رشد و نمو و عملکرد ذرت بستگی به زمان وقوع تنش، مراحل نمو، ژنوتیپ گیاه، ارقام، روش کشت گیاه، کیفیت خاک، سطح کمبود و تغییرات شرایط محیطی در طول خشکی دارد (انجم و همکاران ۲۰۱۱). میزان آب مورد نیاز ذرت در طول فصل رشد، به آب و هوای منطقه، نوع رقم و طول فصل رشد بستگی دارد و از ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ مترمکعب در ارقام زودرس تا دیررس متفاوت می‌باشد. نیاز رطوبتی ذرت در مراحل اولیه رشد رویشی کم، ولی با افزایش تعداد برگ‌ها زیاد می‌شود. حساس‌ترین مرحله رشد ذرت نسبت به کمبود آب مرحله گلدهی، گرده‌افشانی و تلقیح می‌باشد (محمدی بهمدی و ارمین ۲۰۱۷). تنش کم آبی باعث کاهش پتانسیل آب در گیاه، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش تثبیت دی اکسید کربن، القاء تنش اکسیداتیو، کاهش غلظت کلروفیل، کاهش فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد گیاه می‌شود (انجم و همکاران ۲۰۱۱). مطالعات اخیر روی گیاه ذرت نشان داد که تنش کم آبی در مرحله گلدهی و پر شدن دانه به‌طور معنی‌دار باعث کاهش عملکرد دانه، غلظت رنگدانه‌ها، شاخص کلروفیل، ارتفاع بوته و میزان رطوبت نسبی برگ می‌شود (قاسمی و همکاران ۲۰۲۰ و محرم نژاد و همکاران ۲۰۱۹). پلی آمین‌ها پلی کاتیون‌های آلی با وزن ملکولی پایین می‌باشند و برای رشد گیاهان ضروری هستند. در گیاهان، پلی آمین‌ها به شکل پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین وجود دارند. در سلول‌های گیاهی تری آمین اسپرمیدین و تترا آمین اسپرمین با آنزیم‌های اسپرمیدین سنتاز و اسپرمین سنتاز، دی آمین پوتریسین، از اورنیتین و آرژنین با آنزیم‌های اورنی تین دکربوکسیلاز و آرژنین دکربوکسیلاز سنتز می‌شوند. گروه آمین پلی آمین‌ها توسط پلی آمین اکسیداز جدا می‌شود. گاما آمینوبوتیریک اسید و پراکسید هیدروژن حاصل از اکسیداسیون پلی آمین‌ها در نمو گیاه و پاسخ‌های تنش

درگیر هستند (بیتراین و همکاران ۲۰۱۲). پلی آمین‌ها در تنظیم رشد سلولی، تمایز، کنترل بیان ژن، نگهداری یکپارچگی و بقای غشاهای زیستی هنگام روبرو شدن با تنش‌های محیطی به‌ویژه خشکی و مقابله با تنش‌های غیرزیستی نقش بسزایی دارند (ساتی و همکاران ۲۰۱۵). پلی آمین‌ها تحمل تنش کم آبی را در ذرت با افزایش سیستم دفاع آنتی اکسیدان و توان فتوسنتز افزایش دادند (پاکدل و همکاران ۲۰۲۰). براسینواستروئیدها جزء هورمون‌های استروئیدی هستند که نقش اساسی در بسیاری از پدیده‌های نمو از قبیل تقسیم و طویل شدن سلولی در ساقه و ریشه، اندام‌زایی نوری، نمو تولید مثلی، رشد لوله‌های گرده، فعال سازی آنزیم‌ها، بیوسنتز اتیلن، پیری برگ، تنظیم بیان ژن و پاسخ به تنش‌ها دارند (راتن و همکاران ۲۰۲۰). براسینواستروئیدها پاسخ به تنش را با یک سیستم پیچیده‌ای از واکنش‌های بیوشیمیایی، مانند فعال‌سازی یا غیرفعال‌سازی واکنش‌های آنزیمی کلیدی، القای سنتز پروتئین‌ها و تولید ترکیبات شیمیایی دفاعی مختلف تنظیم می‌کنند (تالت و شاوکی ۲۰۱۶). در گزارش‌ها متعددی بیان شده‌است که براسینواستروئیدها تحمل گیاه ذرت در برابر تنش خشکی افزایش می‌دهند و باعث افزایش سازگاری گیاه در برابر شرایط نامساعد محیطی می‌شوند (انجم و همکاران ۲۰۱۱ و قاسمی و همکاران ۲۰۲۲). محلول پاشی ۲۴-آپی براسینولید با غلظت ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر بر اندام هوایی هیبریدهای ذرت تحت تنش کم آبی باعث افزایش تحمل گیاه به تنش کم آبی می‌شود به‌طوری‌که ارتفاع بوته و بیوماس هیبریدهای ذرت در شرایط تنش کم آبی نسبت به عدم محلول پاشی ۲۴-آپی براسینولید افزایش معنی‌دار وجود داشت (تالت و همکاران ۲۰۱۵). سیلیکون یکی از فراوان‌ترین عنصر پوسته زمین می‌باشد که در محلول خاک به شکل مونوسیلیسیلیک اسید (H_4SiO_4) وجود دارد و به این فرم توسط گیاهان جذب می‌شوند. سیلیکون به‌عنوان عنصر اصلی برای رشد و نمو گیاه نیست، اما این عنصر بر رشد و عملکرد گیاه ذرت (کیم و همکاران ۲۰۱۷) اثر مثبت معنی‌دار داشته‌است. سیلیکون در گیاه باعث

اسپریمین + ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون و ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولید + ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپریمی + ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون بودند (تالت ۲۰۲۰ و قاسمی و همکاران ۲۰۲۲).

آماده سازی بستر بذر شامل شخم برگردان، تسطیح بهاره و دیسک بود. قبل از این‌که کاشت صورت گیرد، ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در زمین توزیع گردید و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در مراحل مختلف رشدی گیاه ذرت به صورت سرک استفاده شد. هر کرت آزمایشی شامل دو خط به فاصله ۷۵ سانتی‌متر و به طول ۵/۶ متر با فاصله بین بوته ۱۸ سانتی‌متر و با تراکم حدود ۷۶ هزار بوته در هکتار کشت شد. برای اطمینان از سبز شدن بذر در هر کپه به صورت دستی سه بذر کاشته شد و پس از تنک کردن در مرحله ۴-۳ برگی فقط تک بوته مناسب در هر کپه نگه داشته شد. همچنین، وجین علف‌های هرز به صورت دستی در همه مراحل انجام گرفت.

ارتفاع بوته و ارتفاع بلال (از سطح زمین تا گره ساقه حاوی بلال) به طور تصادفی از هر کرت آزمایشی انتخاب و توسط متر اندازه‌گیری شد. بعد از خشک شدن کامل بوته‌ها، سه بلال به طور تصادفی از هر کرت به صورت دستی نمونه برداری شد و تعداد دانه در ردیف بلال و تعداد ردیف دانه در بلال در آزمایشگاه شمارش گردید. طول بلال‌های برداشت شده توسط خط کش و قطر آن‌ها توسط کولیس مدل (DC102) اندازه‌گیری شد. سپس دانه‌ها از بلال جدا و قطر چوب بلال توسط کولیس (DC102) اندازه‌گیری شد که در نهایت از نصف اختلاف قطر بلال به قطر چوب بلال میزان عمق دانه محاسبه گردید (دلاور و همکاران ۲۰۱۹). بعد از جدا کردن دانه‌ها از بلال، تعداد ۱۰۰ دانه توسط دستگاه بذر شمار (Numigral) شمارش و توسط ترازوی حساس وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت در مرحله رسیدگی زراعی، پس از حذف ۲۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر خط کاشت به عنوان حاشیه، از دو خط کاشت هر کرت بلال‌های ذرت برداشت و بعد از جدا کردن دانه‌ها از بلال توسط ترازو میزان عملکرد دانه بلال‌ها اندازه‌گیری شد.

افزایش تحمل به تنش خشکی می‌شود (مالکوسکا و همکاران ۲۰۱۴). تقویت بهبود شرایط رشد گیاه توسط سیلیکون می‌تواند ناشی از تجمع سیلیکون در برگ‌ها، محدود کردن تعرق، محافظت از ساختار غشای پلاسمایی و بافت‌های گیاهی از گونه‌های فعال اکسیژن از طریق تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و فعالیت H^+ ATPase باشد (گنگ و چن ۲۰۱۲). مطالعات در زمینه تنش خشکی و محلول پاشی سیلیکون در گیاه ذرت نشان داد که سیلیکون باعث افزایش عملکرد، محتوای کلروفیل و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان در مقایسه با نمونه شاهد می‌شود همچنین سیلیکون سبب افزایش نفوذپذیری غشا پلاسمایی و میزان فتوسنتز می‌شود (ناینگ و همکاران ۲۰۲۰).

در این راستا پژوهش حاضر با هدف ارزیابی ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و عملکرد و اجزای عملکرد دانه رقم پایا (SC715) هیبرید ذرت با محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید، اسپریمین، سیلیکون و ترکیبات آن‌ها در اندام هوایی تحت سه سطح تنش کم آبیاری شامل آبیاری نرمال، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه طی سال زراعی ۱۴۰۰ انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی سال زراعی ۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز انجام گرفت. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک-های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. هیبرید ذرت مورد استفاده رقم پایا (SC715) از گروه فائو ۷۰۰ از بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد. عامل اصلی سه سطح آبیاری شاهد، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و عامل فرعی هشت ترکیب شامل ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولید، ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپریمین، ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون، ۲۴-اپی براسینولید + ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپریمین، ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولید + ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون، ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر

نرمال بودن داده‌های حاصل از صفات اندازه‌گیری شده توسط تست کرلمورگروف-اسمیرنوف مورد آزمون قرار گرفت و سپس تجزیه آماری، مقایسه میانگین توسط حداقل اختلافات معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد، همبستگی بین صفات مورد ارزیابی و تجزیه به مولفه‌های اصلی انجام گرفت. تمام تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم افزار SPSS (26.00) استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته و ارتفاع بلال

بر اساس تجزیه واریانس داده‌ها اثر تنش کم آبی روی ارتفاع بوته و ارتفاع بلال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و بین تیمارهای محلول پاشی فقط برای

ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. برهمکنش تنش کم آبی در تیمارهای محلول پاشی برای ارتفاع بوته و ارتفاع بلال به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه تنش کم آبی به‌طور متوسط باعث افزایش ارتفاع بوته و ارتفاع بلال به ترتیب ۲/۰۱ و ۱۰/۰۸ درصد شد. افزایش تقریبی ارتفاع بوته و ارتفاع بلال می‌تواند مربوط به اثر محلول پاشی ۲۴-آپی براسینولید، اسپرمین و سیلیکون باشد. مقایسه برهمکنش تنش کم آبی و تیمارهای محلول پاشی نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۲۵۴/۵ سانتی‌متر) و ارتفاع بلال (۱۰۳/۷۵ سانتی‌متر) مربوط به تنش کم آبی (قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) با محلول پاشی ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین (Spm) + ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) بود (جدول ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و عملکرد و اجزای عملکرد دانه با تیمارهای مختلف محلول پاشی تحت تنش کم آبی

منابع تغییر	درج آزادی	ارتفاع بوته	ارتفاع بلال	قطر بلال	قطر چوب بلال	عمق دانه	طول بلال	ردیف دانه در بلال	تعداد دانه در ردیف بلال	وزن صد دانه	عملکرد دانه
تکرار	۳	۷۷/۹۱	۷۴/۳۸	۱۲/۰۴	۰/۶۷	۴/۵۹	۰/۱۲	۲/۰۴	۸/۴۶	۴/۷۴	۰/۴۸
تنش کم آبی	۲	۳۵۳۳/۱۱**	۱۲۱۹/۶۶**	۲۱/۲۲**	۴۳/۱۶**	۲۸/۶۷**	۳۱/۴۶**	۴/۶۲*	۱۳۳/۹۳**	۳۰/۱۴**	۳۵/۷۸**
تکرار × تنش کم آبی	۶	۲۳۹/۹۲	۴۲/۲۷	۲/۷۰	۱/۰۱	۰/۹۱	۰/۷۱	۲/۰۴	۱/۱۸	۹/۹۷	۱/۲۶
تیمار محلول پاشی	۷	۱۵۸/۳۷**	۴۸/۹۷ ^{ns}	۶/۷۱ ^{ns}	۳/۱۲ ^{ns}	۰/۷۳ ^{ns}	۲/۲۴ ^{ns}	۵/۱۲**	۲۲/۷۷ ^{ns}	۳/۹۶ ^{ns}	۰/۷۸ ^{ns}
تنش کم آبی × تیمار محلول پاشی	۱۴	۱۵۱/۰۲**	۶۴/۰۹*	۶/۳۱*	۴/۶۹*	۱/۶۹*	۵/۲۶*	۴/۹۱**	۳۱/۳۹*	۶/۹۶*	۲/۸۹*
خطا	۶۳	۴۷/۷۳	۳۰/۱۶	۳/۳۶	۲/۴۴	۰/۸۹	۲/۱۷	۰/۹۹	۱۳/۷۳	۲/۳۱	۱/۵۸
ضریب تغییرات (%)		۹/۸۱	۳/۰۷	۶/۳۲	۶/۲۸	۳/۳۶	۱۰/۹۵	۵/۶۹	۸/۰۲	۸/۶۴	۱۳/۵۲

^{ns} و * به * ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

محلول پاشی ۶ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون باعث بهبود ارتفاع بوته و ارتفاع بلال در گیاه ذرت تحت تنش کم آبی شد (ناینگ و همکاران ۲۰۲۰) که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

قطر بلال، قطر چوب بلال و عمق دانه، طول بلال، تعداد ردیف دانه در بلال و تعداد دانه در ردیف بلال

اثر تنش کم آبی بر قطر بلال، قطر چوب بلال و عمق دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و بین برهمکنش تنش کم آبی در سطوح مختلف تیمار محلول پاشی نیز برای صفات قطر بلال، قطر چوب بلال و عمق

ارتفاع گیاهچه‌های ذرت در غلظت‌های یک و دو میلی-مولار سیلیکون نسب به شرایط عادی افزایش داشت که نشان از اثر معنی‌دار و مثبت استفاده از محلول پاشی سیلیکون می‌باشد (دلاور و همکاران ۲۰۱۹). محلول پاشی ۲۴-آپی براسینولید و اسپرمین باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته و ارتفاع بلال تحت تنش کم آبی شد. محلول پاشی ۲۴-آپی براسینولید و اسپرمین می‌تواند از طریق فعال سازی سازوکارهای دفاع آنتی اکسیدان و تنظیمی‌گرهای رشدی سبب بهبود ارتفاع بوته و ارتفاع بلال گیاه ذرت تحت تنش کم آبی می‌شود (تالت ۲۰۲۰).

براسینولید (EBL) + ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) در تنش آبیاری در مرحله گلدهی بودند (جدول ۲). تنش خشکی باعث کاهش صفات تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال و طول بلال در گیاه نرت شد اما استفاده از محلول ۲۴-پی براسینولید (تالت و همکاران، ۲۰۱۵)، اسپرمین (تالت ۲۰۲۰) و سیلیکون (عبدالمجید و همکاران ۲۰۲۱) تحت تنش کم آبی نسبت به شرایط عادی باعث افزایش تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال و طول بلال شود. محلول پاشی ۲۴-پی براسینولید سبب افزایش ۳/۴ درصد تعداد ردیف دانه در بلال، ۴/۲ درصد تعداد دانه در ردیف بلال و ۳/۸ درصد طول بلال شد (دیسوکی و همکاران ۲۰۲۱). در مطالعه حاضر محلول پاشی ۲۴-پی براسینولید، اسپرمین و سیلیکون می‌تواند از طریق بهبود سازوکارهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی توان صفات تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال و طول بلال را تحت تنش کم آبی افزایش دهند.

وزن صد دانه و عملکرد دانه

تجزیه واریانس داده‌های وزن صد دانه و عملکرد دانه نشان داد (جدول ۱) که بین سطوح مختلف تنش کم آبی در سطح احتمال یک درصد برای صفات وزن صد دانه و عملکرد دانه اختلاف معنی‌دار وجود داشت و همچنین برهمکنش تنش کم آبی در تیمارهای مختلف محلول پاشی در سطح احتمال پنج درصد برای وزن صد دانه و عملکرد دانه معنی‌دار بود. تنش کم آبی به‌طور متوسط باعث کاهش ۸/۹۹ درصد وزن صد دانه و ۲۴/۴۱ درصد عملکرد دانه شد. مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف تنش کم آبی در تیمارهای محلول پاشی نشان داد (جدول ۲) که بیشترین وزن صد دانه با ۲۳/۴۲ گرم مربوط به تیمار محلول پاشی شاهد (آب دیونیزه) در آبیاری عادی بود و بیشترین عملکرد دانه با ۱۱/۶۳ تن در هکتار مربوط به تیمار محلول پاشی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-پی براسینولید (EBL) + ۲۵ میلی‌گرم در لیتر اسپرمین (Spm) + ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) در آبیاری عادی، تعداد ردیف دانه در بلال با ۲۱ عدد مربوط به تیمار محلول پاشی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-پی براسینولید (EBL) + ۲۵ میلی‌گرم در لیتر اسپرمین (Spm) + ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) تحت تنش کم آبی (قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) و بیشترین تعداد دانه در ردیف بلال با ۵۲/۲۵ عدد مربوط به تیمار محلول پاشی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-پی

دانه در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۱). قطر بلال، قطر چوب بلال و عمق دانه به‌طور متوسط تحت تنش کم آبی به‌ترتیب ۴/۷۱، ۴/۸۳ و ۵/۳۶ درصد نسبت به آبیاری عادی کاهش یافت. براساس مقایسه میانگین برهمکنش تنش کم آبی در سطوح مختلف تیمار محلول پاشی، بیشترین قطر بلال با ۴۹/۵ میلی‌متر و عمق دانه با ۱۰/۷۵ میلی‌متر مربوط به محلول پاشی شاهد (آب دیونیزه) در شرایط آبیاری عادی بود و بیشترین قطر چوب بلال با ۳۲/۵ میلی‌متر مربوط به محلول پاشی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-پی براسینولید (EBL) + ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین (Spm) + ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) تحت آبیاری عادی بود (جدول ۲). مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) اختلاف بین صفات طول بلال، تعداد ردیف دانه در بلال و تعداد دانه در ردیف بلال از لحاظ سطوح مختلف تنش کم آبی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر تیمارهای مختلف محلول پاشی فقط برای صفت تعداد ردیف دانه در بلال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و برهمکنش تنش کم آبی در سطوح مختلف تیمار محلول پاشی برای طول بلال و تعداد دانه در ردیف بلال در سطح احتمال پنج درصد و برای تعداد ردیف دانه در بلال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. متوسط کاهش طول بلال، تعداد ردیف دانه در بلال و تعداد دانه در ردیف بلال تحت تنش کم آبی به‌ترتیب ۹/۳۴، ۳/۹۱ و ۸/۳۰ درصد بود. مطابق مقایسه میانگین برهمکنش تنش کم در سطوح مختلف تیمار محلول پاشی، بیشترین طول بلال با ۲۲/۵ سانتی‌متر مربوط به ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-پی براسینولید (EBL) + ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین (Spm) + ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) در آبیاری عادی، تعداد ردیف دانه در بلال با ۲۱ عدد مربوط به تیمار محلول پاشی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-پی براسینولید (EBL) + ۲۵ میلی‌گرم در لیتر اسپرمین (Spm) + ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) تحت تنش کم آبی (قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) و بیشترین تعداد دانه در ردیف بلال با ۵۲/۲۵ عدد مربوط به تیمار محلول پاشی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-پی

جدول ۲- مقایسه میانگین ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و عملکرد و اجزای عملکرد دانه در تیمارهای محلول پاشی مختلف تحت تنش کم آبی

عملکرد دانه (ton/ha)	وزن صد دانه (g)	تعداد دانه در ردیف بلال	تعداد ردیف دانه در بلال	طول بلال (cm)	عمق دانه (mm)	قطر بلال (mm)	قطر چوب بلال (mm)	ارتفاع بلال (cm)	ارتفاع بوته (cm)	محلول پاشی	تنش کم آبی
۱۰/۸۶	۲۳/۴۲	۴۵/۲۵	۱۹/۰۰	۲۰/۱۰	۱۰/۷۵	۴۹/۵۰	۲۸/۰۰	۸۸/۷۵	۲۲۰/۲۵	شاهد	
۹/۶۸	۲۲/۷۱	۴۸/۷۵	۱۶/۰۰	۲۰/۰۰	۹/۷۵	۴۵/۵۰	۲۶/۰۰	۷۴/۰۰	۲۲۸/۵۰	EBL	
۱۰/۸۱	۲۲/۲۷	۴۹/۷۵	۱۸/۰۰	۲۱/۷۵	۹/۰۰	۴۸/۰۰	۳۰/۰۰	۷۷/۰۰	۲۳۴/۷۵	Spm	
۱۱/۵۵	۲۳/۳۰	۵۱/۲۵	۱۸/۰۰	۲۱/۹۵	۸/۲۵	۴۹/۰۰	۳۲/۵۰	۸۳/۲۵	۲۲۲/۵۰	Si	نرمال
۱۰/۶۹	۲۰/۴۴	۵۰/۵۲	۱۹/۰۰	۲۱/۵۰	۸/۰۰	۴۷/۵۰	۲۹/۵۰	۸۲/۷۵	۲۲۹/۰۰	EBL+Spm	
۱۱/۷۴	۲۳/۱۲	۴۶/۰۰	۱۸/۰۰	۲۲/۵۰	۹/۰۰	۴۷/۵۰	۲۹/۵۰	۸۱/۵۰	۲۲۰/۷۵	EBL+Si	
۱۰/۶۲	۲۱/۱۸	۴۹/۵۰	۱۸/۰۰	۲۱/۸۰	۸/۷۵	۴۸/۰۰	۳۰/۵۰	۸۲/۷۵	۲۲۶/۰۰	Spm+Si	
۱۱/۶۶	۲۱/۹۶	۵۰/۵۰	۱۸/۰۰	۱۹/۱۵	۸/۲۵	۴۹/۰۰	۳۲/۵۰	۸۱/۵۰	۲۲۵/۵۰	EBL+Spm+Si	
۸/۸۹	۲۲/۳۲	۴۲/۷۵	۱۷/۰۰	۱۸/۹۵	۸/۷۵	۴۶/۰۰	۲۸/۵۰	۸۰/۷۵	۲۱۰/۷۵	شاهد	
۹/۷۴	۲۱/۵۲	۴۶/۲۵	۱۸/۰۰	۱۹/۹۰	۸/۰۰	۴۶/۰۰	۳۰/۰۰	۸۳/۰۰	۲۲۰/۲۵	EBL	
۷/۶۹	۲۱/۷۴	۴۲/۲۵	۱۵/۰۰	۱۸/۱۰	۸/۲۵	۴۴/۰۰	۲۷/۵۰	۸۴/۰۰	۲۱۸/۰۰	Spm	
۸/۲۷	۱۸/۴۵	۴۴/۵۰	۱۸/۰۰	۱۹/۴۵	۸/۵۰	۴۷/۰۰	۲۹/۵۰	۸۸/۷۵	۲۲۱/۰۰	Si	در مرحله گلدهی
۸/۸۰	۲۰/۱۹	۴۵/۵۰	۱۸/۰۰	۱۹/۸۵	۹/۰۰	۴۷/۰۰	۲۹/۰۰	۸۲/۲۵	۲۲۴/۴۵	EBL+Spm	
۹/۷۷	۲۳/۳۸	۵۲/۲۵	۱۸/۰۰	۲۱/۹۰	۸/۷۵	۴۷/۰۰	۲۹/۵۰	۸۳/۰۰	۲۳۱/۰۰	EBL+Si	
۸/۲۶	۲۰/۲۱	۴۴/۷۵	۱۶/۰۰	۱۸/۵۰	۷/۵۰	۴۵/۰۰	۳۰/۰۰	۸۳/۷۵	۲۱۰/۷۵	Spm+Si	
۷/۳۷	۱۸/۸۱	۳۸/۲۵	۱۸/۰۰	۱۷/۳۰	۷/۵۰	۴۵/۰۰	۲۸/۵۰	۸۶/۰۰	۲۱۲/۷۵	EBL+Spm+Si	
۸/۵۷	۱۹/۸۰	۴۸/۲۵	۱۷/۰۰	۱۹/۴۵	۸/۰۰	۴۴/۵۰	۲۹/۰۰	۹۰/۵۰	۲۳۲/۰۰	شاهد	
۷/۹۶	۱۸/۹۰	۴۱/۵۲	۱۹/۰۰	۱۸/۱۰	۸/۷۵	۴۶/۵۰	۲۹/۰۰	۱۰۰/۷۵	۲۵۴/۵۰	EBL	
۸/۳۹	۲۰/۱۶	۴۵/۵۰	۱۶/۰۰	۱۸/۸۰	۸/۷۵	۴۴/۵۰	۲۷/۰۰	۹۰/۲۵	۲۳۶/۷۵	Spm	
۸/۲۲	۲۱/۴۱	۴۸/۲۵	۱۷/۰۰	۱۹/۵۰	۹/۰۰	۴۷/۰۰	۲۹/۰۰	۹۳/۲۵	۲۳۶/۵۲	Si	در مرحله پر شدن دانه
۷/۸۵	۲۱/۵۷	۴۶/۲۵	۱۶/۰۰	۱۸/۴۵	۸/۵۰	۴۴/۰۰	۲۷/۰۰	۹۸/۷۵	۲۴۷/۰۰	EBL+Spm	
۹/۵۱	۲۱/۲۸	۴۵/۰۰	۲۱/۰۰	۲۰/۶۰	۸/۲۵	۴۵/۰۰	۲۸/۵۰	۸۶/۷۵	۲۳۳/۵۰	EBL+Si	
۸/۹۸	۲۱/۱۷	۴۵/۷۵	۱۷/۰۰	۱۹/۵۰	۹/۵۰	۴۷/۰۰	۲۸/۰۰	۱۰۳/۷۵	۲۵۳/۵۰	Spm+Si	
۸/۱۹	۱۷/۵۲	۴۰/۷۵	۲۱/۰۰	۱۷/۶۰	۸/۷۵	۴۶/۰۰	۲۸/۵۰	۹۵/۷۵	۲۴۵/۰۰	EBL+Spm+Si	
۲/۰۱	۲/۹۱	۵/۹۳	۱/۵۹	۲/۳۶	۱/۵۱	۲/۵۰	۲/۹۳	۸/۷۹	۱۱/۰۲	LSD _{5%}	

شاهد: آب دیونیزه، EBL: ۰/۲۴۱ میلی‌گرم برلیتر ۲۴-آپی براسینولید، Spm: ۲۵ میلی‌گرم برلیتر اسپرمین و Si: ۷ میلی‌گرم برلیتر سیلیکون

سیلیکون تحت تنش خشکی داشت. محلول پاشی ۲۴-آپی براسینولید، اسپرمین و سیلیکون می‌تواند از طریق تقویت سطح برگ سبز و فتوسنتز عملکرد ذرت را تحت تنش کم آبی افزایش دهد (تالت ۲۰۲۰، پاکدل و همکاران ۲۰۲۰ و پروین و همکاران ۲۰۱۹).

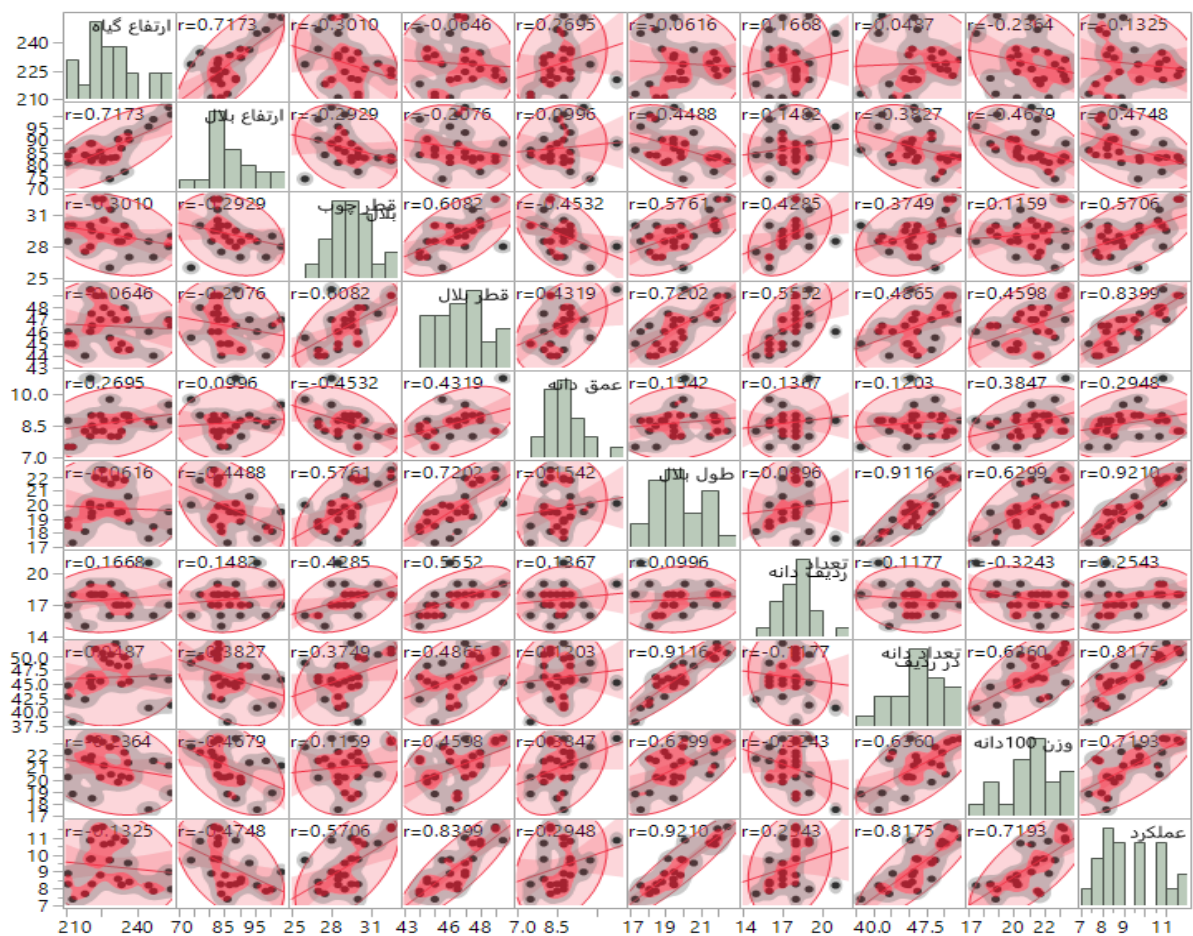
همبستگی و تجزیه به مولفه‌های اصلی

همبستگی بین صفات ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و عملکرد و اجزای عملکرد دانه نشان داد که (شکل ۱) صفات طول بلال (۰/۹۰)، تعداد دانه در ردیف بلال (۰/۸۰) و وزن صد دانه (۰/۷۰) با عملکرد دانه همبستگی مثبت

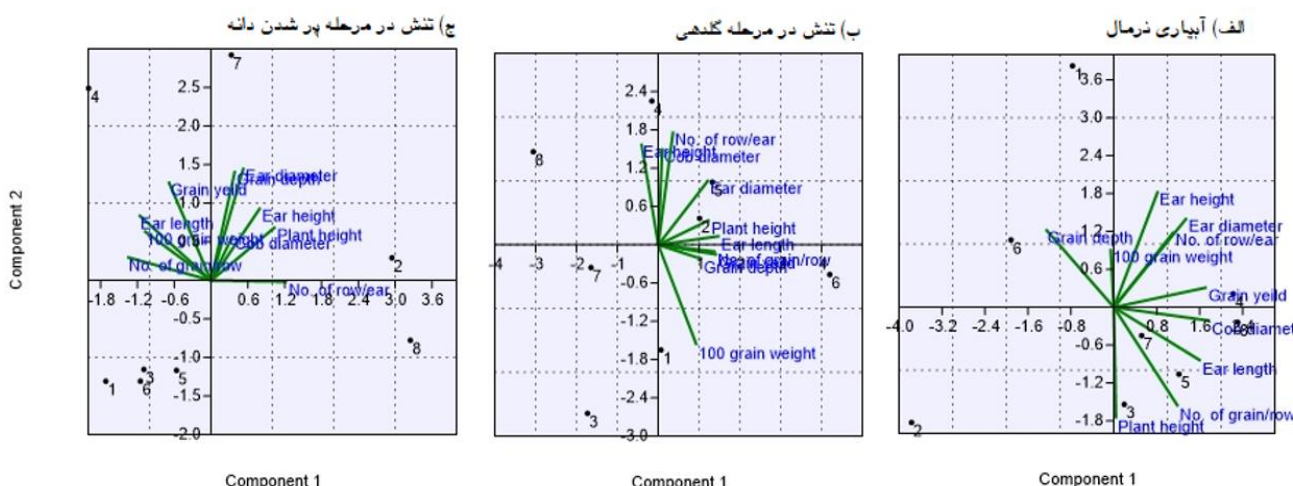
تنش خشکی از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتزی در گیاه شده و در نهایت منجر به افت عملکرد دانه شده‌است. گزارش شده‌است که کاهش هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش خشکی، منجر به کاهش اسیمیلاسیون کربن و در نتیجه تولید عملکرد دانه و وزن صد دانه و زیست توده پایین خواهد شد (محرم‌نژاد و همکاران ۲۰۱۹). براساس نتایج ناینگ و همکاران (۲۰۲۰) و قاسمی و همکاران (۲۰۲۲) محلول پاشی ۲۴-آپی براسینولید، اسپرمین و سیلیکون باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و بیوماس گیاه ذرت در مقایسه با تیمار بدون محلول پاشی ۲۴-آپی براسینولید، اسپرمین و

عملکرد دانه، وزن صد دانه، تعداد دانه در ردیف بلال، طول بلال و قطر بلال در آبیاری عادی اثرگذارترین محلول پاشی ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) بود (شکل ۲ الف). در تنش کم آبی (قطع آبیاری در مرحله گلدهی) بهترین محلول پاشی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی براسینولید (EBL) + ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) برای صفات عملکرد دانه، وزن صد دانه، تعداد دانه در ردیف بلال و طول بلال بود (شکل ۲ ب) همچنین برترین محلول پاشی ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) برای بهبود عملکرد دانه، وزن صد دانه، تعداد دانه در ردیف بلال و طول بلال در تنش کم آبی (قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه بود (شکل ۲ ج).

معنی‌دار وجود داشت و ارتفاع بوته فقط با ارتفاع بلال (۰/۶۸) همبستگی مثبت معنی‌دار داشت. براساس نتایج همبستگی چنین به نظر می‌رسد بین صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه در گیاه ذرت سطوح مختلف تنش کم آبی تحت محلول پاشی‌های مختلف ۲۴-اپی براسینولید (EBL)، اسپرمین (Spm) و سیلیکون (Si) ارتباط قوی وجود دارد تا اثر تنش کم آبی در مراحل مختلف رشدی را کاهش دهد. تجزیه به مولفه‌های اصلی برای صفات ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و عملکرد و اجزای عملکرد دانه در ترکیبات مختلف محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید (EBL)، اسپرمین (Spm) و سیلیکون (Si) در سه سطح تنش کم آبی شامل شاهد، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه نشان داد که صفات



شکل ۱- همبستگی صفات ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت



شکل ۲- تجزیه به مولفه‌های اصلی صفات ارتفاع بوته (Plant height)، ارتفاع بلال (Ear height) و عملکرد دانه (Grain yield)، وزن صدانه (100-grain weights)، قطر بلال (Ear diameter)، قطر چوب بلال (Cob diameter)، عمق دانه (Grain depth)، تعداد دانه در ردیف بلال (No. of row/ear) و تعداد ردیف دانه در بلال (No. grain/ear) در سه سطح تنش آبیاری برای تعیین برترین تیمار محلول پاشی (۱: شاهد، ۲: ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-آپی براسینولئید، ۳: ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین، ۴: ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون، ۵: ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-آپی براسینولئید+ ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین، ۶: ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-آپی براسینولئید+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون، ۷: ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون و ۸: ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-آپی براسینولئید+ ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین+ ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون)

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر بین سطوح مختلف تنش کم آبی و تیمارهای مختلف محلول پاشی ۲۴-آپی براسینولید (EBL)، اسپرمین (Spm) و سیلیکون (Si) در صفات ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و عملکرد و اجزای عملکرد دانه اختلاف معنی‌دار وجود داشت. محلول پاشی ۲۴-آپی براسینولید (EBL)، اسپرمین (Spm) و سیلیکون (Si) باعث کاهش اثر تنش کم آبی بر میزان رشد (۹/۱۰ درصد) و عملکرد دانه (۱۰/۲۳ درصد) گیاه زرت می‌شود. ضریب همبستگی عملکرد دانه با طول بلال، تعداد دانه در ردیف بلال و وزن صدانه مثبت معنی‌دار بود. صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه بیشتر تحت تأثیر محلول پاشی ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون (Si) تحت تنش کم آبی در مراحل مختلف رشدی گیاه زرت داشتند. با توجه با نتایج حاصل می‌توان از محلول پاشی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-آپی براسینولئید و ۷ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکون به‌صورت ترکیب دوتایی برای تقویت عملکرد دانه در مزارع زرت دانه‌ای تحت تنش کمبود آب انتهای فصل توصیه کرد.

ارزیابی اثر تغذیه سیلیکون روی صفات رشدی و فیزیولوژی در گیاه زرت توسط دلاور و همکاران (۲۰۱۹)، همبستگی مثبت و معنی‌دار بین صفات رشدی و بیوماس گیاهچه‌های زرت تحت استفاده از تیمار سیلیکون داشت. براساس گزارش‌های متعدد پژوهشگران روی گیاه زرت تحت تنش کم آبی و محلول پاشی ۲۴-آپی براسینولید و اسپرمین گزارش کردند که محلول پاشی ۲۴-آپی براسینولئید و اسپرمین نقش محافظتی در برابر تنش کم آبی و همچنین ارتباط قوی بین کاهش عملکرد با تیمارهای محلول پاشی داشتند (قاسمی و همکاران، ۲۰۲۲ و تالت و همکاران ۲۰۱۶). دیسوکسی و همکاران (۲۰۲۱) با محلول پاشی ۲-آپی براسینولید در زرت جهت بهبود تحمل گیاه برابر تنش خشکی اظهار کردند که صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه در گروه‌بندی و تعیین برترین تیمار محلول پاشی ۲۴-آپی براسینولید از طریق تجزیه به مولفه‌های اصلی در گیاه زرت حدود ۸۰/۵۲ درصد نقش داشتند. نتایج مشابهی در محلول پاشی اسپرمین (لی و همکاران ۲۰۲۰) و محلول پاشی سیلیکون (ناینگ و همکاران ۲۰۲۰) وجود داشت، که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت.

سیاسگزاری

انجام این پروژه یاری نمودند نهایت تقدیر و تشکر از ایشان به عمل می‌آید.

بدین وسیله از ریاست محترم دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز که در

منابع مورد استفاده

- Anjum SA, Wang LC, Farooq M, Hussain M, Xue LLC and Zou M. 2011. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197: 177-185. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x>
- Abd El-Mageed TA, Shaaban A, Abd El-Mageed SA, Semida WM and Rady MOA. 2021. Silicon defensive role in maize (*Zea mays* L.) against drought stress and metals-contaminated irrigation water. *Silicon*, 13: 2165–2176. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00690-0>
- Bitrián M, Zarza X, Altabella T, Antonio F and Alcázar R. 2012. Polyamines under abiotic stress: Metabolic crossroads and hormonal crosstalks in plants. *Metabolites*, 2: 516-528. 10.3390/metabo2030516
- Delavar K, Ghanati F, Maivan H and Behmanesh M. 2019. Effects of silicon nutrition on the physiological parameters of maize. *Plant Process and Function*, 7: 45-58. (In Persian). 20.1001.1.23222727.1397.7.27.6.7
- Desoky ESM, Mansour E, Ali MA, Yasin MAT, Abdul-Hamid ME, Rady MM and Ali EF. 2021. Exogenously used 24-epibrassinolide promotes drought tolerance in maize hybrids by improving plant and water productivity in an arid environment. *Plants*, 10: 354. 10.3390/plants10020354
- Ghasemi A, Farzaneh S and Moharramnejad S. 2020. Impact of ascorbic acid on seed yield and its components in sweet corn (*Zea mays* L.) under drought stress. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 10: 41-49. 10.22034/JPPB.2020.12492
- Ghasemi A, Farzaneh S, Moharramnejad S, Seyed Sharifi R, Fathy Youesf A, Telesinski A, Kalaji HM and Mojski J. 2022. Impact of 24-epibrassinolide, spermine, and silicon on plant growth, antioxidant defense systems, and osmolyte accumulation of maize under water stress. *Scientific Reports*, 12: 14648. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18229-1>
- Gong HJ and Chen KM. 2012. Effects of silicon on defense of wheat against oxidative stress under drought at different developmental stages. *Biologia plantarum*, 52: 592–596. <https://doi.org/10.1007/s10535-008-0118-0>
- Kim YH, Khan AL, Waqas M and Lee, IJ. 2017. Silicon regulates antioxidant activities of crop plants under abiotic-induced oxidative stress, A review. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1346. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00510>
- Li S, Zheng H, Lin L, Wang F and Sui N. 2020. Roles of brassinosteroids in plant growth and abiotic stress response. *Plant Growth Regulation*, 93: 29–38. <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00672-7>
- Malcovska SM, Ducaiova Z and Backor M. 2014. Impact of silicon on maize seedlings exposed to short-term UV-B irradiation. *Biologia*, 69: 1349–1355. <https://doi.org/10.2478/s11756-014-0432-2>
- Moharramnejad S, Sofalian O, Valizadeh M, Asghari A, Shiri MR and Ashraf M. 2019. Response of maize to field drought stress: Oxidative defense system, osmolytes' accumulation and photosynthetic pigments. *Pakistan Journal of Botany*, 51: 799–807. 10.30848/PJB2019-3(1)
- Moohamadi Behmadi M and Armin M. 2017. Effect of drought stress on yield and yield components of different corn cultivars in delayed planting conditions. *Applied Research of Plant Ecophysiology*, 4: 17-34. (In Persian). <http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-243-en.html>

- Ning D, Qin A, Liu Z, Duan A, Xiao J, Zhang J, Liu Z, Zhao B and Liu Z. 2020. Silicon-mediated physiological and agronomic responses of maize to drought stress imposed at the vegetative and reproductive stages. *Agronomy*, 10: 1136. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081136>
- Pakdel H, Hassani SB, Ghotbi-Ravandi AA and Bernard F. 2020. Contrasting the expression pattern change of polyamine oxidase genes and photosynthetic efficiency of maize (*Zea mays* L.) genotypes under drought stress. *Journal of Biosciences*, 45: 73. <https://doi.org/10.1007/s12038-020-00044-3>
- Parveen A, Liu W, Hussain S, Asghar J, Perveen S and Xiong S. 2019. Silicon priming regulates morpho-physiological growth and oxidative metabolism in maize under drought stress. *Plants*, 8: 431. <https://doi.org/10.3390/plants8100431>
- Rattan A, Kapoor D, Kapoor N, Bhardwaj R and Sharma A. 2020. Brassinosteroids regulate functional components of antioxidative defense system in drought stressed maize seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39: 1465–1475. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10097-1>
- Sathe AP, Paserkar NG, Thakre MB and Gaikwad SM. 2015. Engineering polyamines for abiotic stress tolerance. *Indian Journal of Applied Research*, 5: 20-25.
- Talaat NB. 2020. 24-Epibrassinolide and Spermine combined treatment sustains maize (*Zea mays* L.) drought tolerance by improving photosynthetic efficiency and altering phytohormones profile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20: 516–529. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00138-4>
- Talaat NB and Shawky BT. 2016. Dual application of 24-epibrassinolide and spermine confers drought stress tolerance in maize (*Zea mays* L.) by modulating polyamine and protein metabolism. *Journal of Plant Growth Regulation*, 35: 518–533. <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9557-y>
- Talaat NB, Shawky BT and Ibrahim AS. 2015. Alleviation of drought-induced oxidative stress in maize (*Zea mays* L.) plants by dual application of 24-epibrassinolide and spermine. *Environmental and Experimental Botany*, 113: 47–58. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.01.006>