مجله فرایند و کارکرد گیاهی

بررسی اثر کاربرد اسید جاسمونیک و محلول‌پاشی عنصر بر روی خصوصیات اگروفیزیولوژیک گیاه ذرت تحت شرایط تنش کم‌آبی

محمد حیدریان [۱]، حمیدرضا توحیدی مقدم* [۲] فرشاد قوشچی[۳]، پورنگ کسرائی [۴]، محمد نصری [۵]

۱- دکترای زراعت، گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین
۲- استادیار، گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین (نویسنده مسئول)
tohidi_moghadam@yahoo.com
۳- استادیار، گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین
۴- استادیار ، گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین
۵- استادیار، گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین.

پیش انتشار

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

اثر اسید جاسمونیک و محلول‌پاشی عنصر بور روی صفات اگروفیزیولوژیک گیاه ذرت تحت شرایط تنش کم‌آبی

چکیده

به منظور ارزیابی تأثیر کاربرد محلول‌پاشی عنصر بور و محلول‌پاشی اسید جاسمونیک در شرایط مختلف آبیاری روی صفات ذرت، آزمایشی به صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در تابستان سال زراعی ۱۴۰۰ در شهر ورامین اجرا شد. در این آزمایش آبیاری به عنوان عامل اصلی در چهار سطح آزمایش: آبیاری کامل، توقف آبیاری در مرحله ۸ برگی، توقف آبیاری در مرحله ظهور بلال و توقف آبیاری در مراحل ۸ برگی و ظهور بلال و عامل فرعی محلول‌پاشی عنصر بور در سه سطح شامل: محلول پاشی با آب خالص، محلول‌پاشی با غلظت نیم درصد عنصر بور و محلول‌پاشی با غلظت ۱ ٪ عنصر بور و محلول‌پاشی اسید جاسمونیک در سه سطح شامل: محلول‌پاشی با آب خالص، محلول‌پاشی با غلظت ۵۰ میکرو مولار اسید جاسمونیک و محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرو مولار اسید جاسمونیک در کرت‌های فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که توقف آبیاری در مراحل مختلف رشد سبب کاهش کلیه صفات مورد آزمایش شدند. همچنین نتایج نشان که محلول‌پاشی یک درصدی عنصر بور سبب افزایش عملکرد دانه (۵/۵٪)، وزن هزار دانه (۲/۹٪)، عملکرد زیستی زیستی (۲٪/۸)، محتوای کاروتنوئید (۱۱/۲٪) و کاهش ۴/۴٪ مالون‌دی آلدئید برگ شد. از طرفی کاربرد۱۰۰ میکرو مولار اسید جاسمونیک سبب افزایش محتوی کلروفیل برگ (۲/۶۹٪)، محتوی کارتنوئید برگ (۲/۹۴٪)، وزن هزار دانه (۱/۲۹٪)، عملکرد دانه (۲/۶۷٪) و عملکرد زیستی (۲/۹۵٪) شد. به گونه کلی محلول‌پاشی عنصر بور توانست تاحدودی خسارت ناشی از محدودیت آبی راجبران نماید. همچنین کاربرد اسید جاسمونیک نیز با افزایش میزان آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز تا حدودی خسارت ناشی از تنش‌های اکسیداتیو را کاهش داد.

کلمات کلیدی: ذرت، اسید جاسمونیک، آبیاری، آنزیم سوپراکسیددیسموتاز

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) گیاهی یکساله متعلق به خانواده گرامینه (گندمیان)، زیر خانواده Panicodeae و طایفه Maydeae می‌باشد که گونه زراعی آن همان ذرت با نام علمی *Zea Mays* L. است. طبق آمار فائو (FAO, 2021) و ملایم عملکرد دانه آن در ایران در حدود ۶/۳ تن بوده است. گیاهان علوفه‌ای با دو میلیون هکتار سطح زیر کشت در ایران، حدود ۲۵ درصد از تولیدات زراعی کشور را به خود اختصاص داده است که در این بین ذرت با ۲۰۰ هزار هکتار، بعد از یونجه (*Medicago sativa* L.) با ۶۵۰ هزار هکتار در رتبه دوم سطح زیر کشت و رتبه اول تولید علوفه (۱۰/۴ میلیون تن) قرار گرفته است (افشون و همکاران، ۱۴۰۰).

در مناطق گرمسیری به علت تنش کم‌آبی و بسته شدن روزنه‌ها عملکرد دانه ذرت به طور ملایم در حدود ۱۷ درصد کاهش می‌یابد، اما بسته به شدت تنش کم‌آبی و زمان وقوع آن، کاهش عملکرد می‌تواند به ۸۰ درصد هم برسد (Ribaut *et al*., 2012). عملکرد ذرت تحت اثر شرایط محیطی، پتانسیل ژنتیکی و برهم کنش آن‌ها قرار می‌گیرد. اگر چه همه تنش‌های محیطی زنده و غیر زنده از عوامل تهدید کننده تولید ذرت به حساب می‌آیند، اما در حال حاضر تنش کم‌آبی مهم‌ترین عامل محدودکننده برای تولید موفق ذرت در ایران و جهان به شمار می‌رود (Dolatabadian *et al*., 2010).

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

تنش کم‌آبی در شدت بالا سبب تنش اسمزی و یونی و به دنبال آن تخریب غشاء، عدم توازن عناصر مورد نیاز گیاه، ممانعت آنزیمی، تغییر سطوح تنظیم کننده‌های رشد و کاهش فتوسنتز شده که در نهایت منجر به مرگ گیاه می‌شود (Keshavarz Mirzamohammadi et al., 2021a). گیاهان در شرایط کم‌آبی، از طریق تجمع آمینو اسیدها، یون‌ها، پرولین، پروتئین محلول و قندها باعث کاهش پتانسیل اسمزی می‌شوند. این اسمولیت‌ها فشار اسمزی سیتوپلاسم را افزایش داده و جریان آب را در اندام‌ها گیاهی بالا می‌برند (Keshavarz 2020). فتوسنتز از دیگر فرایندهایی است که تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرد. بسته شده روزنه‌ها در نتیجه تنش کم‌آبی و به دنبال آن کاهش غلظت درون سلولی CO_2 باعث کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش تثبیت CO_2 می‌شود (Hosseini *et al.*, 2023). تنش کم‌آبی نیز مانند سایر تنش‌های غیر زیستی، منجر به افزایش گونه‌های فعال اکسیژن، تنش اکسیداتیو و افزایش سطح پراکسیداسیون لیپید شود (زندسیلاخور و همکاران، ۱۴۰۱). گیاهان از سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی که متشکل از آنزیم‌هایی نظیر سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیدازها و آسکوربات ردوکتاز گلوتاتیون و بخش‌های غیر آنزیمی شامل انواع رنگدانه‌های آنزیمی مانند کاروتنوئید، آنتوسیانین و فلاونوئید و تنظیم‌کننده‌های اسمزی مانند پرولین، برای مهار تجمع بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش استفاده می‌کند (Keshavarz and Khodabin, 2019). از آنجا که ایران در منطقه خشک و نیمه خشک دنیا قرار گرفته است، تنش کم‌آبی و اثرات آن بر محصولات زراعی بیش از هر تنش غیر زیستی دیگری مورد توجه است. تنش کمبود آب با ایجاد اختلال در فرایندهای فیزیولوژیک و کاهش رشد و نمو اندام گیاهی منجر به کاهش زیست‌توده و درنهایت افت عملکرد محصول می‌شود (Lobell *et al.*, 2014). در مطالعه‌ای با بررسی اثر تنش کم‌آبی بر ارقام مختلف ذرت گزارش شد که بیشترین عملکرد علوفه تر متعلق به تیمار آبیاری مطلوب بود و تیمارهای تنش آبیاری ملایم و شدید، باعث کاهش ۵۲ و ۱۱ درصدی نسبت به تیمار آبیاری مطلوب شد (حاجی‌بابائی و همکاران، ۱۳۹۰).

تنش کم‌آبی در شدت بالا سبب تنش اسمزی و یونی و به دنبال آن تخریب غشاء، عدم توازن عناصر مورد نیاز گیاه، ممانعت آنزیمی، تغییر سطوح تنظیم کننده‌های رشد و کاهش فتوسنتز شده که در نهایت منجر به مرگ گیاه می‌شود (Keshavarz Mirzamohammadi et al., 2021a). گیاهان در شرایط کم‌آبی، از طریق تجمع آمینو اسیدها، یون‌ها، پرولین، پروتئین محلول و قندها باعث کاهش پتانسیل اسمزی می‌شوند. این اسمولیت‌ها فشار اسمزی سیتوپلاسم را افزایش داده و جریان آب را در اندام‌ها گیاهی بالا می‌برند (Keshavarz 2020). فتوسنتز از دیگر فرایندهایی است که تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرد. بسته شده روزنه‌ها در نتیجه تنش کم‌آبی و به دنبال آن کاهش غلظت درون سلولی CO_2 باعث کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش تثبیت CO_2 می‌شود (Hosseini *et al.*, 2023). تنش کم‌آبی نیز مانند سایر تنش‌های غیر زیستی، منجر به افزایش گونه‌های فعال اکسیژن، تنش اکسیداتیو و افزایش سطح پراکسیداسیون لیپید شود (زندسیلاخور و همکاران، ۱۴۰۱). گیاهان از سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی که متشکل از آنزیم‌هایی نظیر سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیدازها و آسکوربات ردوکتاز گلوتاتیون و بخش‌های غیر آنزیمی شامل انواع رنگدانه‌های آنزیمی مانند کاروتنوئید، آنتوسیانین و فلاونوئید و تنظیم‌کننده‌های اسمزی مانند پرولین، برای مهار تجمع بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش استفاده می‌کند (Loni et al., 2023). از آنجا که ایران در منطقه خشک و نیمه خشک دنیا قرار گرفته است، تنش کم‌آبی و اثرات آن بر محصولات زراعی بیش از هر تنش غیر زیستی دیگری مورد توجه است. تنش کمبود آب با ایجاد اختلال در فرایندهای فیزیولوژیک و کاهش رشد و نمو اندام گیاهی منجر به کاهش زیست‌توده و درنهایت افت عملکرد محصول می‌شود (Lobell *et al.*, 2014). در مطالعه‌ای با بررسی اثر تنش کم‌آبی بر ارقام مختلف ذرت گزارش شد که

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

بیشترین عملکرد علوفه تر متعلق به تیمار آبیاری مطلوب بود و تیمارهای تنش آبیاری ملایم و شدید، باعث کاهش ۵۲ و ۱۱ درصدی نسبت به تیمار آبیاری مطلوب شد (حاجی‌بابائی و همکاران، ۱۳۹۰).

امروزه به‌نژادگران توجه بیشتری را به تولید ارقام دارای پایداری عملکرد بیشتر و سازگاری وسیع‌تر به شرایط نامساعد محیطی و به ویژه تنش کم‌آبی، معمول داشته‌اند به گونه‌ای‌که چنین استراتژی به‌نژادی در مناطقی که در تماس با کم‌آبی‌های دوره‌ای و نیز عدم تناسب مواد معدنی هستند متمرکز شده است. تاکنون پژوهشگران زیادی به بررسی صفات گیاهی مرتبط با عملکرد و جنبه‌های متفاوت سازگاری و یا تحمل گیاهان به الگوهای مختلف بروز تنش کم‌آبی پرداخته‌اند (Hosseini *et al*., 2023; Chavoushi *et al*., 2019). به اعتقاد پژوهشگران، قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و قبل از گرده افشانی کلزا (*Brassica napus* L.)، اگر چه اثر کمتری بر عملکرد نهایی نسبت به قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و پر شدن دانه داشته، ولی از این منظر که بر گسترش برگ و توسعه ساقه تاثیر گذاشته و میزان تجمع مواد را تغییر می‌دهد، از اهمیت خاصی برخوردار است (Keshavarz, 2020).

نقش عناصر کم مصرف (ریز مغذی) در گیاهان زراعی و باغی شامل افزایش تولید در واحد سطح، بهبود کیفیت محصولات (افزایش پروتئین دانه، افزایش طول عمر انباری پیاز و سیب زمینی، خوش خوراکی و...)، غنی‌سازی محصولات کشاورزی (افزایش غلظت آهن، منگنز، مس، روی، منیزیم، پتاسیم و...)، تولید بذر با قدرت جوانه‌زنی و رشد بیشتر برای کشت‌های بعدی و کاهش غلظت آلاینده‌هایی نظیر نیترات و کادمیم در قسمت‌های خوراکی محصولات کشاورزی است. یکی از نقش‌های مهم مصرف متعادل ریزمغذی‌ها در محصولات کشاورزی غنی‌سازی آن‌ها است زیرا با این روش به سهولت می‌توان سلامتی جامعه را ارتقا داد. با استفاده از عناصر کم‌مصرف همراه با عناصر پرمصرف علاوه بر افزایش عملکرد در واحد سطح می‌توان عملکرد دانه را از سطح فعلی به میزان بیشتری افزایش داد (Ali *et al*., 2013). در این میان عنصر بور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نحوه واکنش گلرنگ و دانه‌های روغنی در قبال مصرف انواع کودهای پر مصرف و از جمله عنصر بور بسته به بافت خاک و اسیدیته آن دارد (Chavoushi *et al*., 2020).

در بررسی اثر محلول‌پاشی ارقام ذرت با عنصر بور گزارش شده که میانگین عملکرد دانه ارقام در تیمار محلول‌پاشی با عنصر بور به میزان ۳۱/۶ ٪ در مقایسه با تیمار عدم کاربرد این عنصر افزایش داشت (Hamurcu *et al*., 2020). عنصر بور نقش حساسی در فعالیت‌های سوخت و ساز و فیزیولوژیک در گیاهان دارد. تنش کم‌آبی به شدت موجب کاهش کارآیی این عنصر در گیاه می‌گردد. در شرایط تنش کم‌آبی، با کاهش جذب عنصر بور، میزان عملکرد به شدت کم می‌شود، هر چند عنصر بور در شرایط فاریاب با رشد ریشه و افزایش نسبت ساقه به ریشه و همچنین ساخت کربوهیدرات‌ها و ساخت پروتئین باعث می‌شود که از رطوبت به ویژه، در دوره‌های کم‌آبی به طور کارآمدتری استفاده شود، اما پژوهش‌ها نشان داد با افزایش شدت تنش کم‌آبی میزان عنصر بور در بافت‌های گیاهی و برگ‌ها کاهش یافته و میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای به شدت افت می‌نماید در نهایت تولید غنچه و گل و نیز بذر و پر شدن بذر را به مقدار زیادی کاهش می‌دهد (Alizadeh-Yeloojeh *et al*., 2020). گیاهان به منظور کنترل رشد و نمو طبیعی و همچنین تنظیم پاسخ‌ها در برابر محرک‌های خارجی نیازمند هماهنگی دقیق بین اجزای گیاهی از سطوح سلولی تا سطح بافت‌ها و اندام‌ها می‌باشد. سیستم هماهنگ‌کننده گیاه در واقع هورمون‌های گیاهی هستند که به عنوان پیام‌رسان‌های شیمیایی وظیفه انتقال و تبادل اطلاعات بین سلول‌ها و بافت‌ها را برعهده دارد و می‌توانند در غلظت‌های پایین اثرات چشمگیری در سرتاسر چرخه زندگی گیاه داشته باشند (Amini *et al*., 2014).

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

هرچند تأثیر مفید کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد در شرایط تنش کم‌آبی به طورکلی پذیرفته شده است، لیکن، انجام پژوهش‌های کاربردی با هدف مقایسه انواع تنظیم‌کننده‌ها برای بهینه کردن مصرف آن‌ها ضرورت دارد. مواد تنظیم‌کننده‌رشد گیاهی برای تعدیل رشد گیاهان زراعی و تغییر نسبت تسهیم مواد پرورده به کار می‌روند. از این مواد تنظیم کننده رشد می‌توان به اسید جاسمونیک اشاره کرد. مهمترین نقش اسید جاسمونیک بسته شدن روزنه‌ها، تقسیم سلولی، رشد گیاه و فعالیت‌های فتوسنتزی است که نتیجه آن ممانعت از رشد، پیری زودرس و ریزش برگ گیاه می‌باشد. از طرفی این ترکیبات به عنوان پیام‌رسان کلیدی معرفی شده و در فرآیند القاء منجر به تجمع متابولیت‌های ثانویه می‌شوند (Amini *et al.*, 2014). شرایط محیطی تنش زا نظیر کم‌آبی، شوری و دمای بالا و پایین منجر به افزایش تجمع اسید جاسمونیک و بیان ژن‌های مرتبط با تنش شده که در نتیجه بیوسنتز پروتئین‌های وابسته به تنش‌ها افزایش می‌یابد. ثابت شده که حضور این هورمون گیاهی در تنظیم و بهبود روابط آبی گیاه در شرایط تنش بسیار حائز اهمیت است استفاده از منابع خارجی اسید جاسمونیک سبب تنظیم میزان تبادلات گازی و تعرق در شرایط تنش می‌گردد (Chavoushi *et al.*, 2019).

لذا با توجه به اهمیت معضل کم‌آبی در کشاورزی و گستردگی روز افزون آن هدف از این پژوهش، مطالعه بررسی اثر کاربرد اسید جاسمونیک و محلول‌پاشی عنصر بور روی صفات اگروفیزیولوژیک گیاه ذرت تحت شرایط تنش کم‌آبی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در تابستان سال زراعی ۱۴۰۰ به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان ورامین در مزرعه دانشگاه آزاد واحد ورامین انجام شد. این منطقه با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۹۳ دقیقه شرقی و در ارتفاع ۹۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد و طبق آمار ۴۰ ساله اداره هواشناسی ورامین متوسط بارندگی سالیانه ۱۷۰ میلی‌متر است که پراکنش آن به‌گونه معمول از اوایل آبان ماه تا اواسط فروردین است. خاک محل آزمایش دارای بافت لومی – رسی دارای شوری مطلوب pH بالا، آهک بالا و مواد آلی کم است. سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ - مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

بافت خاک	فسفر قابل استفاده	پتاسیم قابل استفاده	نیتروژن کل	کربن آلی	هدایت الکتریکی عصاره اشباع	اسیدیته گل اشباع
	(میلی‌گرم در گرم خاک)		(درصد)	(درصد)	(دسی‌زیمنس بر متر)	
لومی- رسی	۷/۷۹	۲۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲۹	۳/۱۴	۷/۲۲

عامل اصلی شامل تیمار آبیاری در چهار سطح: آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله ۸ برگی، قطع آبیاری در مرحله ظهور گل ماده (بلال) و قطع آبیاری در مرحله ۸ برگی و ظهور بلال. عامل فرعی اول شامل تیمار محلول‌پاشی با عنصر بور در سه سطح، محلول‌پاشی بدون عنصر بور، محلول‌پاشی با غلظت نیم درصد بور و محلول‌پاشی با غلظت یک درصد عنصر بور و اسید جاسمونیک به عنوان عامل فرعی دوم در سه سطح، آبیاری با آب خالص، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار اسید جاسمونیک در مرحله رویشی و قبل از تشکیل تاسل (۵۵ روز پس از کاشت) با استفاده از سمپاش پشتی برای همه تیمارها اعمال گردید.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

در زمان کاشت (چهار خرداد ماه) به میزان ۳/۵ کیلوگرم در هکتار بذر ذرت هیبرید ماکسیما به روش دستی کشت شد. بدین منظور سوراخ‌هایی به عمق ۳ سانتیمتر در خاک ایجاد و تعداد ۲-۱ بذر در داخل هر سوراخ کشت شدند. بعد از استقرار و در مرحله ۴-۳ برگی، عملیات تنک به صورت دستی انجام شد. کود فسفره (۹۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریل) به صورت پیش از کاشت و کود نیتروژن (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره) در سه مرحله یک سوم همزمان با کاشت، یک سوم در مرحله هشت برگی (V8) و یک سوم قبل از تاسل‌دهی (VT) به‌صورت سرک همزمان با آبیاری به مزرعه داده شد. بعد از آماده‌سازی زمین و تهیه جوی پشته مقادیر مشخص شده سولفات پتاسیم برای هرکرت با توجه به تیمار مورد نظر توزیع و به کمک بیل با خاک مخلوط شدند. هر کرت آزمایشی شامل ۵ ردیف کشت به طول ۵ متر و فاصله پشت‌ها از هم ۷۵ سانتیمتر و فاصله بذرها روی ردیف از هم ۲۵ سانتیمتر، فاصله بین کرت‌های اصلی دو متر و فاصله بین کرت‌های فرعی یک متر بود. در همه تیمارها، اولین آبیاری بعد از کاشت بذر انجام گردید و تا مرحله هشت برگی دو مرتبه آبیاری شد. همچنین مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی صورت گرفت.

صفات فیزیولوژیک شامل کلروفیل کل برگ، کاروتنوئید، پرولین، مالون‌دی‌آلدئید و آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در مرحله شیری دانه ذرت اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری کلروفیل کل و کارتنوئید برگ نیز بعد از جذب نوری و قرائت توسط اسپکتوفتومتر (مدل Optizen کره جنوبی) بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد (Arnon, D.I. (1949).

$$\text{Chlorophyll total (mg.g}^{-1}\text{)} = [12.7\ (A_{663}) - 2.69\ (A_{645})] \times \frac{V}{1000W}$$

$$\text{Carotenoid (mg.g}^{-1}\text{)} = [A_{480} + (0.114 \times A_{663} - 0.638 \times A_{645})] \times \frac{V}{1000W}$$

رابطه ۱

V :حجم نهایی عصاره؛ W : وزن نمونه برگ.

محتوی پرولین بافت برگ از روش بیتس (Bates *et al.*, 1973) محاسبه شد. میزان فعالیت آنزیمی نیز با توجه به تغییرات سوبسترای آنزیم و خوانش توسط اسپکتوفتومتر صورت پذیرفت. پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء نیز بر اساس روش هلت و پیکر (Heath and Packer, 1969) و با استفاده از اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدئید (MDA) به عنوان فرآورده‌ی نهایی پراکسیداسیون لیپیدی غشاء انجام گرفت. و با اندازه‌گیری جذب در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر و با استفاده از ضریب خاموشی (ε=155 $\mu M^{-1}cm$) محاسبه شد.

به منظور اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسیددیسموتاز و کاتالاز، بالاترین برگ گیاه بلا فاصله بعد از شستشو با آب مقطر، در نیتروژن مایع منجمد و به آزمایشگاه منتقل شد تا در فریزر ۸۰- درجه سانتیگراد نگهداری شود. در نهایت در بافر فسفات – تریس ۰/۱۶ مولار با اسیدیته ۷/۵، خرد و صاف شد و از عصاره به دست آمده برای اندازه‌گیری آنزیم‌های سوپر اکسیددیسموتاز (Giannopolitis and Ries, 1977) و کاتالاز (Cakmak and Horst, 1991) استفاده شد.

به منظور محاسبه وزن خشک عملکرد زیستی ذرت در زمان برداشت (۲۵ شهریور) بعد از حذف دو خط کاشت اول و آخر و نیم متر بالا و پایین هر کرت به عنوان حاشیه، مساحت دو متر مربع از هر کرت برداشت و به مدت ۴۸ ساعت در دستگاه آون با دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد. سپس عملکرد زیستی برای سطح یک هکتار بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. نمونه‌های ۱۰۰ گرمی از دانه‌ها تهیه شده و با استفاده از دستگاه N.M.R درصد روغن آن‌ها محاسبه شد. برای تجزیه آماری از برنامه

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

SAS نسخه ۹/۲ استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تغییرات معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ صورت پذیرفت. همچنین جهت رسم نمودارها نیز از برنامه آماری Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

کلروفیل کل

نتایج جدول تجزیه واریانس حاکی از آن بود که میزان کلروفیل کل تحت تأثیر اثرات اصلی آبیاری، عنصر بور، اسید جاسمونیک و برهمکنش آبیاری × محلول‌پاشی بور قرار گرفت (جدول ۲). اگرچه میزان کلروفیل کل تحت تأثیر محلول‌پاشی اسید جاسمونیک افزایش یافت اما بین دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار اسید جاسمونیک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). اگر چه میزان کلروفیل کل تحت تأثیر محلول‌پاشی اسید جاسمونیک افزایش یافت اما بین دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار اسید جاسمونیک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). نتایج برهمکنش آبیاری و محلول‌پاشی عنصر بور (جدول ۴) نشان داد که در هر سطح از آبیاری، محلول‌پاشی عنصر بور باعث افزایش غلظت کلروفیل کل شد. قطع آبیاری در مرحله هشت برگی، ظهور گل ماده و قطع آبیاری در هر دو مرحله باعث کاهش میزان کلروفیل کل شد (جدول ۴). بیشترین میزان کلروفیل کل در آبیاری کامل و محلول‌پاشی یک درصد عنصر بور حاصل شد (۲/۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر). اگرچه محلول‌پاشی نیم درصد و محلول‌پاشی با غلظت در شرایط آبیاری کامل نیز در گروه برتر قرار داشتند. کمترین میزان کلروفیل کل در شرایط قطع آبیاری در مراحل هشت برگی و ظهور گل ماده و عدم محلول‌پاشی عنصر بور (۱/۷۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به دست آمد که نسبت به تیمار آبیاری کامل و محلول‌پاشی یک درصد عنصر بور ۳۰/۴۳ ٪ کاهش نشان داد. کاهش سنتز کلروفیل از واکنش‌های عمومی گیاهان نسبت به کمبود آب است که علت آن تجزیه شدن این رنگیزه‌ها به وسیله رادیکال‌های اکسیژن است. علاوه بر این کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، تخریب نوری کمپلکس پروتئین رنگدانه b که محافظت کننده دستگاه فتوسنتزی هستند، اکسیداسیون لیپیدهای کلروپلاست رنگدانه‌ها و پروتئین‌ها و یا افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز از دیگر عوامل کاهش کلروفیل کل گیاه در شرایط تنش هستند (Keshavarz Mirzamohammadi et al., 2021a, 2021b). با این حال، استفاده از عناصر ریز مغذی باعث فعال شده آنزیم‌های دخیل در سنتز کلروفیل (مانند کربنیک دهیدروژناز، تریپتوفان سنتتاز و غیره) شده و محلول‌پاشی آن‌ها باعث افزایش میزان انواع کلروفیل می‌شود (Chandrasekaran, 2022). اگر چه گزارش‌ها نشان داده است که متیل جاسمونات در کوتاه مدت نمی‌تواند از کاهش رنگدانه‌ها جلوگیری کند اما با گذشت زمان و در غلظت‌های بالاتر قادر است تا حدودی با افزایش مقدار کلروفیل به بهبود فتوسنتز کمک کند (Alizadeh-Yeloojeh *et al*., 2020).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل کل	کارتنوئید	پرولین برگ	سوپراکسید دیسموتاز	کاتالاز
بلوک	۲	۱۵/۶**	۰/۰۰۹۶^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۶^{ns}	۱۲/۴*	۳/۸۳^{ns}
آبیاری	۳	۲/۱۷**	۰/۶۸**	۰/۰۰۷**	۴۵۰۹۶۵**	۴۷۹۵۹**
خطای کرت اصلی	۶	۰/۰۶	۰/۰۰۰۵۵	۰/۰۰۰۰۰۰۱	۲/۴	۲/۱۳
عنصر بور	۲	۰/۲۵**	۰/۰۵۹**	۰/۰۰۰۴**	۱/۷^{ns}	۱۲۸۷**
اسید جاسمونیک	۲	۰/۳۶**	۰/۰۰۴۴**	۰/۰۰۰۰۸**	۱۳۷۰**	۱۰۴^{ns}

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

آبیاری×بور	۶	۰/۰۱۲**	۰/۰۰۰۷۳^{ns}	۰/۰۰۰۰۱**	۱۰/۱^{ns}	۱۵۱*
آبیاری×اسید جاسمونیک	۶	۰/۰۰۰۸۵^{ns}	۰/۰۰۰۴۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۴*	۱۸۱/۳**	۱۰/۷^{ns}
بور×اسید جاسمونیک	۴	۰/۰۰۲۴^{ns}	۰/۰۰۰۲۴^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۹^{ns}	۷/۶^{ns}	۱/۰۱^{ns}
آبیاری×بور×اسید جاسمونیک	۱۲	۰/۰۰۰۲۶^{ns}	۰/۰۰۰۴۶^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۸^{ns}	۹/۱^{ns}	۱/۵۴^{ns}
خطای کرت فرعی	۶۴	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۰۶۹	۰/۰۰۰۰۰۱	۴۱/۷	۵۵/۴
ضریب تغییرات (درصد)		۲/۱۸	۳/۹۱	۴/۰۶	۲/۰۱	۵/۲۸

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر اصلی اسید جاسمونیک بر صفات مورد بررسی

محلول‌پاشی اسید جاسمونیک	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم وزن تازه)	کارتنوئید (میلی‌گرم در گرم وزن تازه)	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار)
۰ میکرومولار	۲/۱۷^{b}	۰/۶۶^{b}	۲۲۹/۶^{b}	۹۵۰۵/۶^{c}	۱۸۳۰۸/۵^{c}
۵۰ میکرومولار	۲/۲۱^{a}	۰/۶۷^{b}	۲۳۱/۰۲^{ab}	۹۶۶۰/۸^{b}	۱۸۵۴۰/۷^{b}
۱۰۰ میکرومولار	۲/۲۳^{a}	۰/۶۸^{b}	۲۳۲/۴^{a}	۹۷۶۶/۱^{a}	۱۸۸۶۵/۹^{a}

حروف مشابه در ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار هستند.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر دوگانه تیمارهای اعمال شده بر صفات مورد بررسی

آبیاری	محلول‌پاشی عنصر بور	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم وزن تازه)	پرولین برگ (میلی‌گرم در گرم وزن تازه)	کاتالاز (میلی‌گرم بر گرم پروتئین وزن تر بر حسب تغییرات جذب در دقیقه)
آبیاری کامل	صفر ٪	۲/۴۷^{bc}	۰/۰۱۳^{i}	۸۳/۵^{i}
	۰/۵ ٪	۲/۵۱^{ab}	۰/۰۱۱^{j}	۸۴/۰۵^{i}
	۱ ٪	۲/۵۳^{a}	۰/۰۰۸^{k}	۸۴/۰۸^{i}
قطع آبیاری در مرحله ۸ برگی	صفر ٪	۲/۲۲^{e}	۰/۰۳۳^{f}	۱۳۲/۲^{h}
	۰/۵ ٪	۲/۳۵^{d}	۰/۰۲۹^{g}	۱۳۷/۹^{gh}
	۱ ٪	۲/۴۵^{c}	۰/۰۲۳^{h}	۱۴۴/۶^{fg}

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

قطع آبیاری در مرحله ظهور گل ماده (بلال)	صفر ٪	۲/۰^{g}	۰/۰۴۵^{c}	۱۵۰/۱^{f}
	۰/۵ ٪	۲/۱۲^{f}	۰/۰۴۳^{d}	۱۵۸/۱^{e}
	۱ ٪	۲/۲۰^{e}	۰/۰۳۹^{e}	۱۶۵/۶^{d}
قطع آبیاری در مرحله ۸ برگی و ظهور بلال	صفر ٪	۱/۷۶^{j}	۰/۰۵۲^{a}	۱۷۳/۷^{c}
	۰/۵ ٪	۱/۸۷^{i}	۰/۰۴۷^{b}	۱۸۲/۳^{b}
	۱ ٪	۱/۹۴^{h}	۰/۰۴۷^{b}	۱۹۳/۲^{a}

حروف مشابه در ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار است.

کاهش سنتز کلروفیل از واکنش‌های عمومی گیاهان نسبت به کمبود آب است که علت آن تجزیه شدن این رنگیزه‌ها به وسیله رادیکال‌های اکسیژن است. علاوه بر این کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، تخریب نوری کمپلکس پروتئین رنگدانه b که محافظت کننده دستگاه فتوسنتزی هستند، اکسیداسیون لیپیدهای کلروپلاست رنگدانه‌ها و پروتئین‌ها و یا افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز از دیگر عوامل کاهش کلروفیل کل گیاه در شرایط تنش هستند (Keshavarz Mirzamohammadi et al., 2021a, 2021b). با این حال، استفاده از عناصر ریز مغذی باعث فعال شدن آنزیم‌های مسئول در فرایند تولید کلروفیل (مانند کربنیک دهیدروژناز، تریپتوفان سنتتاز و غیره) شده و محلول‌پاشی آن‌ها باعث افزایش میزان انواع کلروفیل می‌شود (Chandrasekaran, 2022). اگر چه گزارش‌ها نشان داده است که متیل جاسمونات در کوتاه مدت نمی‌تواند از کاهش رنگدانه‌ها جلوگیری کند اما با گذشت زمان و در غلظت‌های بالاتر قادر است تا حدودی با افزایش مقدار کلروفیل به بهبود فتوسنتز کمک کند (Alizadeh-Yeloojeh *et al*., 2020).

کارتنوئید

میزان کارتنوئید گیاه تنها تحت تأثیر اثرات اصلی آبیاری، محلول‌پاشی عنصر بور و اسید جاسمونیک قرار گرفت (جدول ۲). میزان کارتنوئید گیاه تحت تأثیر اثرات اصلی آبیاری، محلول‌پاشی عنصر بور و اسید جاسمونیک قرار گرفت (جدول ۲). میزان کارتنوئید گیاه تحت تأثیر قطع آبیاری افزایش یافت به طوریکه بیشترین میزان کارتنوئید گیاه در تیمار قطع آبیاری در مراحل هشت برگی و ظهور گل ماده با میانگین ۰/۸۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر به دست آمد که نسبت به شرایط آبیاری کامل (۰/۴۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر)، ۴۴/۱۸٪ بیشتر بود (جدول ۴). با محلول‌پاشی عنصر بور، میزان کارتنوئید گیاه افزایش یافت به‌گونه‌ای بیشترین و کمترین غلظت کارتنوئید به ترتیب در تیمارهای محلول‌پاشی با غلظت یک درصد (۰/۷۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و غلظت صفر (۰/۶۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) به دست آمد (جدول ۶). اگرچه تفاوت معنی‌داری بین محلول‌پاشی غلظت صفر و محلول‌پاشی با غلظت نیم درصد مشاهده نشد اما غلظت ۱۰۰ میکرومولار اسید جاسمونیک باعث افزایش معنی‌دار غلظت کارتنوئید گیاه شد به طوریکه نسبت به غلظت صفر افزایش ۲/۹۴ ٪ در میزان کارتنوئید گیاه شد (جدول ۳). در شرایط تنش، کاروتنوئیدها به عنوان محافظ کلروفیل عمل می‌کنند به‌گونه‌ای با رشد گیاه و ظهور رنگ نهایی همگام با کاهش کلروفیل، میزان کاروتنوئید زیاد می‌شود. با توجه به کاهش کلروفیل a و b در شرایط تنش شدید نسبت به شرایط بدون تنش میتوان نتیجه گرفت که افزایش کاروتنوئیدها به جلوگیری از تخریب بیشتر کلروفیل بوده است. در واقع به عنوان آنتی‌اکسیدانت عمل کرده و مانع از خسارت دیدن کلروفیل می‌شود. اسید جاسمونیک کنترل کننده سنتز پروتئین، RNA و DNA است که خود باعث افزایش رنگدانه‌های آنتی‌اکسیدانت مانند کاروتنوئید، فلاوونوئید و آنتوسیانین می‌شود (Keshavarz and Khodabin, 2019). با توجه به نتایج پژوهش حاضر و سایر پژوهشگران که

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

گزارش کردند اسید جاسمونیک به واسطه افزایش اسید آمینولوولینیک در بیان ژن‌های مربوط به رنگدانه‌های فتوسنتزی نقش دارد (Alizadeh-Yeloojeh *et al*., 2020) می‌توان افزایش تجمع کاروتنوئیدها را در تحقیق حاضر توجیه نمود.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر اصلی آبیاری بر صفات مورد بررسی

آبیاری	کارتنوئید (میلی‌گرم در گرم وزن تازه)	مالون‌دی‌آلدئید (میلی‌گرم در گرم وزن تازه)	وزن هزار دانه (گرم)	درصد روغن دانه	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار)
آبیاری کامل	۰/۴۸^{d}	۶/۴۹^{d}	۲۸۸/۶^{a}	۵/۸^{a}	۱۲۰۰۸^{a}	۲۳۰۲۹^{a}
قطع آبیاری در مرحله ۸ برگی	۰/۶۲^{c}	۸/۴^{c}	۲۶۰/۰۶^{ab}	۵/۲^{ab}	۱۰۸۲۵^{ab}	۲۰۷۳۱^{ab}
قطع آبیاری در مرحله ظهور گل ماده (بلال)	۰/۷۲^{b}	۱۰/۲^{b}	۲۰۲/۲^{bc}	۴/۴^{bc}	۸۴۷۰^{bc}	۱۶۱۹۵^{bc}
قطع آبیاری در مرحله ۸ برگی و ظهور بلال	۰/۸۶^{a}	۱۲/۰۹^{a}	۱۷۳/۳^{c}	۳/۸^{c}	۷۲۷۳^{c}	۱۴۳۳۲^{c}

حروف مشابه در ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار است.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر اصلی محلول‌پاشی عنصر بور روی صفات مورد بررسی

محلول‌پاشی عنصر بور	کارتنوئید (میلی‌گرم در گرم وزن تازه)	مالون دی آلدئید (میلی‌گرم در گرم وزن تازه)	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار)
صفر درصد	۰/۶۳^{c}	۹/۵۳^{a}	۲۲۷/۲^{c}	۹۴۵۱/۸^{c}	۱۸۳۶۹/۷^{b}
٪۰/۵	۰/۶۷^{b}	۹/۳^{b}	۲۳۱/۴^{b}	۹۵۷۹/۳^{b}	۱۸۴۳۰/۸^{b}
٪۱	۰/۷۱^{a}	۹/۱۱^{c}	۲۳۴/۵^{a}	۹۹۰۱/۳^{a}	۱۸۹۱۴^{a}

حروف مشابه در ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار است.

پرولین

محتوی پرولین برگ تحت تأثیر اثرات اصلی آبیاری، محلول‌پاشی عنصر بور، محلول‌پاشی اسید جاسمونیک و برهمکنش‌های آبیاری × عنصر بور و آبیاری × اسید جاسمونیک معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج برهمکنش آبیاری در محلول‌پاشی عنصر بور حاکی از آن بود که اگر چه تنش قطع آبیاری باعث افزایش میزان پرولین گیاه شد اما در هر سطح از آبیاری، محلول‌پاشی عنصر بور منجر به کاهش میزان پرولین گیاه شد به‌گونه‌ای‌که بیشترین و کمترین میزان پرولین گیاه به ترتیب در تیمارهای قطع آبیاری در مراحل هشت برگی+قطع آبیاری در مرحله ظهور گل ماده و عدم محلول‌پاشی عنصر بور (۰/۰۵۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و آبیاری کامل

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

و محلول‌پاشی یک درصد عنصر بور (۰/۰۰۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) بود. همچنین در شرایط قطع آبیاری در مرحله هشت برگی+قطع آبیاری در مرحله ظهور گل ماده، تفاوت معنی‌داری بین سطوح نیم و یک درصد عنصر بور وجود نداشت (جدول ۴). با توجه به شکل ۱، آبیاری کامل کمترین میزان پرولین گیاه را داشت با این حال در سطوح قطع آبیاری، محلول‌پاشی اسید جاسمونیک باعث کاهش پرولین گیاه نسبت به عدم محلول‌پاشی شد (شکل ۱). بیشترین میزان پرولین گیاه (۰/۰۵۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در شرایط قطع آبیاری و محلول‌پاشی با غلظت صفر اسید جاسمونیک به دست آمد. در شرایط تنش خشکی ملایم یا شدید، غلظت پرولین افزایش یافت که احتمالاً از آن به‌عنوان ذخیره‌ای نیتروژن در مرحله بعد از تنش و یا ماده محلول کاهش دهنده پتانسیل اسمزی سیتوپلاسم استفاده می‌شود تا تحمل گیاه را به تنش افزایش دهد (Keshavarz, 2020). تجمع پرولین تحت شرایط تنش می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه برای گیاه را فراهم کرده ولی اتکای گیاهان به این ترکیب‌های آلی برای تنظیم اسمزی هزینه داشته و منجر به کاهش عملکرد گیاهان می‌شود (Chavoushi *et al.*, 2019). احتمالاً استفاده از عنصر بور یا اسید جاسمونیک درتنش‌هایی نظیر تنش خشکی به علت فعال کردن سایر سیستم‌های دفاعی گیاه و یا القای آنزیم‌های مربوط به تنش باعث کاهش شدت خسارت و درنتیجه کاهش سنتز پرولین در بافت گیاه است (Amini *et al.*, 2014).

شکل ۱- مقایسه میزان پرولین برگ تحت تأثیر برهمکنش سطوح آبیاری و محلول‌پاشی اسید جاسمونیک. حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ (براساس آزمون LSD) می‌باشند.

سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

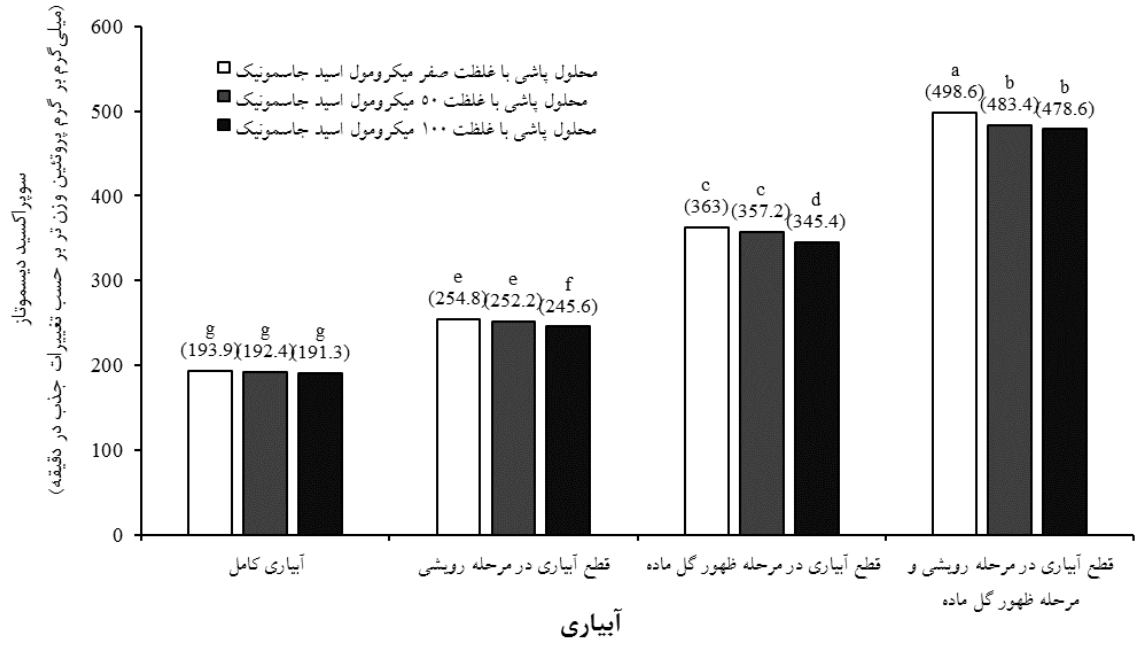
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی آبیاری و محلول‌پاشی جاسمونیک اسید و برهمکنش آن‌ها تأثیرات معنی‌داری بر میزان فعالیت سوپراکسید دیسموتاز داشتند (جدول ۲). در تیمار قطع آبیاری در مراحل هشت برگی یا مرحله ظهور گل ماده، بین محلول‌پاشی غلظت صفر و غلظت ۵۰ میکرومولار تفاوت معنی‌داری مشاهد نشد اما غلظت ۱۰۰ میکرومولار منجر به کاهش معنی‌داری در میزان سوپر اکسید دیسموتاز شد. (شکل ۲). همچنین در تیمار قطع آبیاری در مرحله هشت برگی+مرحله ظهور گل ماده، اگرچه تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار باعث کاهش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز شد اما بین این دو سطح تفاوت معنی‌داری مشاهد نشد. در مجموع می‌توان گفت که بیشترین میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (۴۹۸/۶ میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در تیمار قطع آبیاری در هر دو مرحله هشت برگی و ظهور گل ماده به همراه محلول‌پاشی با غلظت صفر اسید جاسمونیک به دست آمد (شکل ۲). همچنین در تیمار آبیاری کامل، تفاوت معنی‌داری بین بین سطوح محلول‌پاشی مشاهده نشد (شکل ۲).

میزان فعالیت کاتالاز گیاه تحت تأثیر سطوح آبیاری، محلول‌پاشی عنصر بور و برهمکنش آن‌ها تأثیرات معنی‌داری داشت (جدول ۲). در شرایط آبیاری کامل، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تأثیر محلول‌پاشی بور قرار نگرفت و به طور کلی کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در آبیاری کامل به دست آمد (جدول ۴). با توجه به میانگین‌های سطوح محلول‌پاشی عنصر بور، قطع آبیاری باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شد و محلول‌پاشی عنصر بور نیز منجر به تشدید فعالیت عنصر بور شد (جدول ۴). بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۱۹۳/۲ میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در تیمار قطع آبیاری در مرحله هشت برگی و ظهور گل ماده به همراه محلول‌پاشی یک درصد عنصر بور مشاهد شد که نسبت به تیمار آبیاری کامل و محلول‌پاشی غلظت صفر، ۶۵/۷۸٪ فعالیت بیشتری داشت (جدول ۴).

در گیاهان عالی، تحمل نسبت به تنش خشکی با سطوح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت ارتباط مستقیم دارد (Khan and Ashraf, 2008). گیاهان با افزایش فعالیت آنزیم‌هایی نظیر کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز با گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) که تحت شرایط خشکی در بافت گیاه افزایش می‌یابند، مقابله می‌کنند. افزایش فعالیت این آنزیم‌ها تحت تنش خشکی در برنج آپلند (Lum *et al.*, 2014)، نخود (Kumar *et al.*, 2011) و گندم (Hasheminasab *et al.*, 2012) گزارش شده است که حاکی از تعادل بین تولید رادیکال‌های آزاد و میزان فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانتی گیاه است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد خارجی اسید جاسمونیک راه حل دیگری برای کمک به گیاه برای مقابله با تنش‌های محیطی از جمله خشکی است که می‌تواند با تقویت مکانیسم دفاعی گیاه و کاهش تولید رادیکال‌های آزاد مانع از افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز شود. مشابه با این نتایج در مورد تأثیر متیل جاسمونات بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت، گزارش شده است که در تنش کادمیم نیز، تیمار متیل جاسمونات موجب کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت شد (Singh and Shah, 2014). از آنجا که در طی فرایند خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد، آنزیم کاتالاز نقش اهدا کننده الکترون را دارد (Guo *et al.*, 2018) که در نهایت منجر به کاهش آنزیم کاتالاز می‌شود، بنابراین افزایش این آنزیم نشان از کاهش فعالیت آن و نبود رادیکال‌های آزاد در مرکز واکنش است. در همین راستا گزارش شده است که در شرایط تنش سرما، محلول‌پاشی گیاه کلزا با اسید سالیسیلیک باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت سوپراکسید دیسموتاز و پرکسیداز و کاهش میزان کاتالاز شد (Abdelgawad *et al.*, 2014). لذا، به نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی، محلول‌پاشی عنصر بور با افزایش فعالیت سایر سیستم‌های دفاعی گیاه، باعث کاهش رادیکال‌های آزاد و در نتیجه افزایش میزان آنزیم کاتالاز شد. طبق نتایج رحیمی و همکاران (Rahimi *et al.*, 2022) کاربرد عناصر کم مصرف موجب بهبود سطح فعالیت

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

سیستم‌های دفاعی گیاه شده که در نتیجه قادر است در مرکز واکنش از تولید رادیکال‌های آزاد بکاهد. از سویی دیگر، کمبود این عناصردر گیاهان می‌تواند موجب کاهش سنتز پروتئین و در نتیجه کاهش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز می‌شود.



شکل ۲- مقایسه فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز برگ تحت تأثیر برهمکنش سطوح آبیاری و محلول‌پاشی اسید جاسمونیک. حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ (براساس آزمون LSD) می‌باشند.

مالون‌دی‌آلدئید

میزان مالون‌دی‌آلدئید گیاه تنها تحت تأثیر تیمار اصلی آبیاری و محلول‌پاشی عنصر بور قرار گرفت (جدول ۷). تحت تأثیر قطع آبیاری در مراحل مختلف رشدی، میزان مالون‌دی‌آلدئید گیاه افزایش یافت به‌گونه‌ای‌که قطع آبیاری در مرحله هشت برگی، ظهور گل ماده و قطع آبیاری در هر دو مرحله، میزان مالون‌دی‌آلدئید گیاه به ترتیب ۱۷/۸٪، ۳۶/۳۷٪ و ۴۶/۳۱٪ افزایش یافت (جدول ۵). همچنین محلول‌پاشی عنصر بور نیز باعث کاهش معنی‌دار مالون‌دی‌آلدئید گیاه شد به‌گونه‌ای‌که محلول‌پاشی نیم و یک درصد به ترتیب باعث کاهش ۲/۴۱٪ و ۴/۴٪ معنی‌دار مالون‌دی‌آلدئید گیاه نسبت به غلظت شد (جدول ۶).

بالا رفتن فعالیت رادیکال‌های آزاد موجب ایجاد خسارت در غشاء سلولی می‌شود که بارزترین آن پراکسیداسیون اسیدهای چرب موجود در غشاء و تولید ترکیباتی مانند مالون دی‌آلدهید است (Hasheminasab *et al.*, 2012). کاربرد عنصر بور با افزایش فعالیت سیستم‌های دفاعی گیاه موجب افزایش مقاومت گیاه و پاک‌سازی رادیکال‌های آزاد می‌شود که در نتیجه کاهش پراکسایش چربی‌های غشاء، را به همراه دارد.

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی

منابع تغییر	درجه آزادی	مالون‌دی آلدئید	وزن هزار دانه	درصد روغن دانه	عملکرد دانه	عملکرد زیستی
بلوک	۲	۰/۰۰۳۱^{ns}	۹۹۹۸۶۸**	۱۸۰/۷**	۱۹۲۵۱۸۸۶۹۲**	۵۶۶۰۲۵۵۷۸۸**

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

آبیاری	۳	۱۵۶/۷**	۷۴۸۱۰*	۲۰/۴**	۱۲۵۸۱۰۷۵۴*	۴۳۳۳۷۸۵۴۶**
خطای کرت اصلی	۶	۰/۰۰۱	۱۲۹۰۹	۲/۰۱	۲۳۷۳۲۷۹۷	۶۵۰۹۳۴۴۶
عنصر بور	۲	۱/۵۴**	۴۸۸**	۰/۰۰۰۲۶^{ns}	۱۹۳۱۹۴۳**	۳۲۰۸۹۰۳*
اسید جاسمونیک	۲	۰/۱۳^{ns}	۷۰/۶**	۰/۰۰۱۶^{ns}	۶۱۸۲۹۸**	۲۸۲۱۸۲۵**
آبیاری×بور	۶	۰/۰۱^{ns}	۴/۶۳^{ns}	۰/۰۰۱۶^{ns}	۱۷۹۷۸^{ns}	۴۷۰۸۴^{ns}
آبیاری×اسید جاسمونیک	۶	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۸۱^{ns}	۰/۰۰۱۸^{ns}	۱۴۸۴۶^{ns}	۲۸۱۶۹^{ns}
بور×اسید جاسمونیک	۴	۰/۰۰۰۵^{ns}	۰/۱^{ns}	۰/۰۰۱۵^{ns}	۱۶۲۰۹^{ns}	۱۰۳۸۷۵^{ns}
آبیاری×بور×اسید جاسمونیک	۱۲	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۱^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۱۳۶۱۳^{ns}	۲۵۱۴۲^{ns}
خطای کرت فرعی	۶۴	۰/۰۵۶	۱۱/۰۹	۰/۰۴۷	۴۵۲۲۱	۸۱۳۸۷
ضریب تغییرات (درصد)		۲/۵۴	۱/۴۴	۴/۵۲	۲/۲	۱/۵۳

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه ذرت تنها تحت تأثیر اثرات اصلی آبیاری، محلول‌پاشی عنصر بور و اسید جاسمونیک قرار گرفت (جدول ۲). تحت تأثیر قطع آبیاری، وزن هزار دانه کاهش نشان داد به طوریکه قطع آبیاری در مراحل هشت برگی، ظهور گل ماده و قطع آبیاری در هر دو مرحله به ترتیب باعث کاهش ۹/۸۸٪، ۲۹/۹۳٪ و ۳۹/۹۵ ٪ وزن هزار دانه نسبت به آبیاری کامل شد (جدول ۵). محلول‌پاشی عنصر بور باعث افزایش وزن هزار دانه شد به‌گونه‌ای‌که محلول‌پاشی ۰/۵٪ و یک درصد عنصر باعث افزایش ۱/۸۱٪ و ۳/۱۱ ٪ وزن هزار دانه نسبت به غلظت صفر شد (جدول ۶). اگرچه محلول‌پاشی اسید جاسمونیک باعث افزایش وزن هزار دانه شد اما این افزایش چشمگیر نبود به‌گونه‌ای‌که بین محلول‌پاشی با غلظت‌های صفر و ۵۰ میکرومولار همچنین بین غلظت‌های ۵۰ میکرومولار و ۱۰۰ مولار تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). با این حال بیشترین وزن هزار دانه (۲۳۲/۴ گرم) در تیمار ۱۰۰ میکرومولار و کمترین وزن هزار دانه در غلظت صفر اسید جاسمونیک مشاهده شد.

تنش خشکی با تحت تأثیر قرار دادن درجه باز شدن روزنه‌ها میزان تولید مواد پرورده را به میزان زیادی تحت تأثیر قرار دهد (Keshavarz and Khodabin, 2019) که در نتیجه موجب تغییر در وزن هر دانه شود (Shemi *et al.*, 2021). کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه در تیمار تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه را می‌توان به پدید آمدن دانه‌های چروکیده با وزن کمتر، که در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (Urmi *et al.*, 2023) نسبت داد. بنابراین تأثیر کمبود آب در این مرحله موجب کاهش فتوسنتز جاری گیاه، کاهش میزان مواد پرورده و در نتیجه چروکیدگی دانه‌های ذرت خواهد شد. به‌علاوه، کوتاه شدن دوره رشد دانه و در نتیجه زودرسی در اثر تنش خشکی (Wang *et al.*, 2021) نیز از دیگر دلایل کاهش وزن هزار دانه در تیمارهای اعمال تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه است. Keshavarz *et al.* (2020) و Urmi *et al.* (2023) که بیان کردند وزن هزار دانه بر اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد، تأییدکننده نتایج این تحقیق می‌باشد.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

عنصر بور ممکن است از طریق مکانیسم‌هایی به طور مستقیم یا غیرمستقیم روی باروری گل‌ها تأثیر داشته باشد. به طور کلی عنصر بور برای ساخت گلوتامین، نمو گره‌ها، رشد لوله گرده و بسیاری از فعالیت‌های حیاتی دیگر گیاه اهمیت دارد. به نظر می‌رسد با افزایش قدرت تأمین مواد فتوسنتزی در طول دوره پرشدن دانه در یک رقم، افزایش در وزن هزار دانه ایجاد می‌گردد که در این تحقیق نقش عنصر بور در افزایش وزن هزار دانه ذرت به خوبی مشاهده شد. افزایش وزن هزار دانه در گیاهانی با عنصر بور محلول‌پاشی شدند ممکن است ناشی از این امر باشد که در حین پر شدن دانه‌ها، گیاه با کمبود عنصر بور مواجه نشده بود. افزایش وزن هزار دانه با استفاده از اسید جاسمونیک در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است (Yun-xia *et al*., 2010; Sofy *et al*.,2016).

درصد روغن دانه

اگرچه درصد روغن دانه با اعمال قطع آبیاری کاهش یافت اما تفاوت معنی‌داری بین آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله هشت برگی مشاهده نشد. همچنین درصد روغن تیمارهای قطع آبیاری در مرحله ظهور گل ماده و قطع آبیاری در مرحله هشت برگی+قطع آبیاری در مرحله ظهور گل ماده در یک گروه آماری قرار داشت. در مجموع می‌توان گفت قطع آبیاری در مراحل هشت برگی، ظهور گل ماده و قطع آبیاری در هر دو مرحله با عث کاهش ۱۰/۳۴٪، ۲۴/۱۳٪ و ۳۴/۴۸ ٪ روغن دانه نسبت به آبیاری کامل شد (جدول ۵).

Yousefzadeh *et al*. (2023) مشاهده کردند کمترین درصد روغن (۲۰/۸ ٪) مربوط به تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه بود. Bellaloui *et al*. (2011) نیز گزارش کردند مقدار روغن دانه سویا در اثر تنش خشکی کاهش معنی‌داری نشان داد که دلیل آن را می‌توان حساسیت زیاد تجمع لیپیدها نسبت به تنش خشکی، کاهش فتوسنتز جاری، کاهش مواد فتوسنتزی عرضه شده برای پر شدن دانه و همچنین کاهش طول دورهٔ پر شدن دانه ذکر نمود. احتمالاً دلیل این کاهش، کمتر بودن طول دوره رشد گیاه، کاهش فراورده‌های فتوسنتزی و همچنین حساسیت زیاد تجمع لیپیدها نسبت به تنش خشکی است.

عملکرد دانه

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس، عملکرد دانه ذرت تنها تحت تاثیر اثرات اصلی آبیاری، محلول‌پاشی عنصر بور و اسید جاسمونیک قرار گرفت (جدول ۳) با اعمال تیمار قطع آبیاری، عملکرد دانه نیز کاهش یافت به طوریکه قطع آبیاری در مراحل هشت برگی (۱۰۸۲۵ کیلوگرم در هکتار)، ظهور گل ماده (۸۴۷۰ کیلوگرم در هکتار) و قطع آبیاری در هر دو مرحله (۷۲۷۳ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب باعث کاهش ۹/۸۵٪، ۲۹/۴۶٪ و ۳۹/۴۳٪ عملکرد دانه نسبت به آبیاری کامل (۱۲۰۰۸ کیلوگرم در هکتار) شد (جدول ۵). با این حال بین سطوح آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله هشت برگی، همچنین بین سطوح قطع آبیاری در مرحله ظهور گل ماده و قطع آبیاری در مرحله هشت برگی + ظهور گل ماده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). محلول‌پاشی عنصر بور باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد به‌گونه‌ای‌که بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب در تیمارهای محلول‌پاشی یک درصد عنصر بور (۹۹۰۱/۳ کیلوگرم در هکتار) و محلول‌پاشی با غلظت صفر (۹۴۵۱/۸ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (جدول ۵). همچنین محلول‌پاشی ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار اسید جاسمونیک باعث افزایش ۱/۶٪ و ۲/۶۶٪ عملکرد دانه نسبت به غلظت صفر شد (جدول ۵).

در همین خصوص گزارش شده است که تنش رطوبتی در مرحله کاکل‌دهی و تشکیل بلال موجب کاهش شدید عملکرد دانه می‌شود (Cakir,2004). Rady and Mohamed (2015) گزارش نمودند که اعمال تنش کم‌آبی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه به

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

ترتیب موجب کاهش ۳۹/۲٪ و ۱۸/۱٪ عملکرد دانه شد. از آنجا که بیشترین بخش وزن دانه از فتوسنتز بوته پس از گلدهی تأمین می‌شود (Sabourifard *et al.*, 2023) بنابراین، در مدیریت مزرعه هرچه طول دوره سبزمانی برگ‌ها زیادتر شود، هیدرات کربن بیشتری به دانه منتقل خواهد شد. با این اوصاف می‌توان نتیجه گرفت تنش کم‌آبی با کاستن از طول دوره رشد برگ در مراحل پایانی رشد می‌تواند موجب افت شدید تولید مواد پرورده شود. در رابطه با اثرات تیمار محلول‌پاشی عنصر بور نیز مشخص شد که محلول‌پاشی عنصر بور با غلظت ۰/۵٪ و محلول‌پاشی عنصر بور با غلظت ۱٪ به ترتیب سبب افزایش ۲٪ و ۵٪ عملکرد دانه نسبت به محلول‌پاشی با آب خالص شد، این نتیجه با نتایج حاصل از مطالعات Chandrasekaran (2022) مطابقت دارد که عنوان کردند عناصر غذایی باعث افزایش ۳۷ ٪ عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شد. به نظر می‌رسد محلول‌پاشی عنصر بور باعث افزایش درصد تلقیح گل‌چه‌ها شده که در نتیجه افزایش عملکرد دانه را به همراه داشته است. از آنجا که مواد تنظیم کننده رشد گیاهی نظیر اسید جاسمونیک در تمام جنبه‌های چرخه حیاتی گیاه کاربرد دارد و می‌توانند افزایش عملکرد دانه را به نقش این هورمون بر میزان کلروفیل برگ و افزایش سطح برگ نسبت داد.

عملکرد زیستی

عملکرد زیستی گیاه ذرت تحت تأثیر اثرات اصلی آبیاری، محلول‌پاشی عنصر بور و اسید جاسمونیک تغییرات معنی‌داری داشت اما تحت تأثیر هیچ کدام از اثرات متقابل قرار گرفت (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین بیشترین و کمترین عملکرد زیستی در آبیاری کامل (۲۳۰۲۹ کیلوگرم در هکتار) و قطع آبیاری در مراحل هشت برگی و ظهور گل ماده (۱۴۳۳۲ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که نسبت به یکدیگر اختلافی ۳۷/۷۶٪ داشتند. با این حال اختلاف معنی‌داری بین قطع آبیاری در مرحله هشت برگی و قطع آبیاری در مرحله ظهور گل ماده وجود نداشت. اگرچه محلول‌پاشی نیم درصدی عنصر بور باعث افزایش ۰/۳۳٪ عملکرد زیستی گیاه شد اما تفاوت معنی‌داری با محلول‌پاشی غلظت صفر نداشت. اما محلول‌پاشی غلظت یک درصد عنصر بور به ترتیب باعث افزایش ۲/۸۸٪ و ۲/۵۵٪ عملکرد زیستی نسبت به غلظت صفر (۱۸۳۶۹/۷ کیلوگرم در هکتار) و غلظت نیم درصدی (۱۸۴۳۰/۸ کیلوگرم در هکتار) عنصر بور شد. نسبت به محلول‌پاشی با غلظت صفر، غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار اسید جاسمونیک باعث افزایش ۱/۲۵٪ و ۲/۹۵٪ عملکرد زیستی شد به طوریکه کمترین و بیشترین عملکرد زیستی به ترتیب در غلظت‌های صفر (۱۸۳۰۸/۵ کیلوگرم در هکتار) و ۱۰۰ میکرومولار (۱۸۸۶۵/۹ کیلوگرم در هکتار) اسید جاسمونیک به دست آمد.

گزارش شده است که قطع آبیاری در مرحله رویشی باعث کاهش عملکرد زیستی شش هیبرید ذرت می‌شود (Shamuyarira *et al.*, 2023). افزایش عملکرد زیستی در تیمار آبیاری کامل می‌تواند به دلیل سطح برگ بیشتر باشد، که باعث تولید فرآورده‌های بیشتری می‌گردد (Paolo *et al.*,2008). در نتیجه می‌توان این گونه استنباط کرد که تولید ماده خشک در گیاه به سطح فتوسنتزکننده گیاه وابسته است و کاهش در سطح برگ گیاه منجر به کم شدن تولید مواد پرورده می‌شود.

از آنجا که اسید جاسمونیک طویل شدن و تقسیم سلولی را تنظیم می‌کند، افزایش میزان تقسیم سلولی در مریستم‌های انتهایی سبب افزایش رشد طولی گیاه می‌شود. نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد اسید جاسمونیک سبب بهبود وزن تر و خشک اندام هوایی در شرایط تنش خشکی شد. تنش خشکی با محدودیت‌هایی که در جذب آب توسط گیاه و همچنین جذب عناصر غذایی برای گیاه ایجاد می‌کند باعث کاهش زیست توده گیاه می‌شود (Khalid *et al.*, 2023). به نظر می‌رسد افزایش عملکرد زیستی در تیمار آبیاری مطلوب، به دلیل گسترش بیشتر و طول دوره سبزمانی زیادتر برگ‌ها بود، که منجر به ایجاد مبدأ فیزیولوژیک بزرگتری می‌گردد.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

سایر محققین نیز با بررسی هیبریدهای گندم در شرایط تنش خشکی به این نتیجه رسیدند که تنش‌های خفیف، که تأثیر کمی بر کاهش سطح برگ دارند، تأثیر چندانی بر تولید ماده خشک این هیبریدها نداشتند اما در تنش‌های شدید که با کاهش بارز سطح برگ همراه بود، عملکرد زیستی نیز کاهش یافت (Abro *et al*., 2021). از این رو می‌توان نتیجه گرفت که تولید ماده خشک در گیاه به اندازه سطح فتوسنتزکننده آن وابسته است.

نتایج مشابهی توسط Sofy *et al*. (2020) گزارش شد که نشان میداد با اعمال تیمار جاسمونیک اسید ارتفاع و وزن خشک زیستی گیاه گوجه‌فرنگی افزایش یافت. از آنجا که اسید جاسمونیک طویل شدن و تقسیم سلولی را به‌همراه مواد دیگری از قبیل کسین تنظیم می‌کند میتوان انتظار داشت که عملکرد زیستی گیاه ذرت همراه با مصرف اسید جاسمونیک افزایش یابد.

نتیجه گیری نهایی

نتایج نشان داد بالاترین میزان تاثیر تنش خشکی مربوط به تیمار قطع آبیاری در مرحله ۸ برگی و ظهور بلال بود و کاربرد بور و جاسمونیک اسید توانست از اثرات منفی تنش خشکی بکاهد و آن را تعدیل نماید در این بین بالاترین تاثیر مربوط به سطوح محلول پاشی عنصر بور با غلظت ۰/۱٪ و ۱۰۰ میلی مولار اسید جاسمونیک بود.

References

افشون، اسماعیل.، مقدم، حسین.، جهانسوز، محمد رضا و اویسی، مصطفی (۱۴۰۰). تأثیر خاک‌ورزی، تنش کمبود آب و کود نیتروژن بر عملکرد ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.). تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۴(۳)، ۶۹۱-۷۰۲. doi: 10.22077/escs.2020.3111.1798

حاجی‌بابائی، مریم.، عزیزی، فرهاد. و زرگری، کاوه (۱۳۹۰).تأثیر تنش خشکی بر عملکرد علوفه تر و برخی صفات زراعی هیبریدهای مختلف ذرت. فصلنامه علمی-پژوهشی گیاه و زیست بوم، ۷ (۲۵)، ۴۵- ۵۷.

زندسیلاخور، آرامه.، مدنی، حمید.، حیدری شریف آباد، حسین.، محمودی، مجتبی. و نورمحمدی، قربان (۱۴۰۱). ارزیابی عملکرد، شاخص برداشت و کارآیی مصرف آب گیاه دارویی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در تیمارهای مختلف آبیاری و تاریخ کاشت. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، ۱۶ (۶۴)، ۵۱۱-۵۲۶. doi: 10.30495/JCEP.2023.1935375.1818

Abdelgawad, Z. A., Khalafaallah, A. A. and Abdallah, M. M. (2014) Impact of methyl jasmonate on antioxidant activity and some biochemical aspects of maize plant grown under water stress condition. *Agricultural Sciences. 5*: 1077-1088. https://doi.org/10.4236/as.2014.512117

Abro, S. A., Baloch, A. W., Baloch, M., Baloch, G. A., Baloch, T. A., Soomro, A. A., Jogi, Q. and Ali, M. (2021) 35 Line × tester analysis for estimating combining ability in F1 hybrids of bread wheat. *Pure Applied Biology (PAB) 5*: 647-652. https://doi.org/10.19045/bspab.2016.50084

Ali, Q., Anwar, F., Ashraf, M., Saari, N. and Perveen, R. (2013) Ameliorating effects of exogenously applied proline on seed composition, seed oil quality and oil antioxidant activity of maize (Zea mays L.) under drought stress. *International Journal of Molecular Science 14*: 818-835. https://doi.org/10.3390/ijms14010818

Alizadeh-Yeloojeh, Kh., Saeidi, Gh. and Sabzalian, M. R. (2020) Drought stress improves the composition of secondary metabolites in the safflower flower at the expense of a reduction in seed yield and oil content. *Industrial Crops and Products 154* (112496): 1-10. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112496

Amini, H., Arzani, A. and Karami, M. (2014) Effect of water deficiency on seed quality and physiological traits of different safflower genotypes. *Turkish Journal of Biology 38*(2): 271-282. https://doi.org/10.3906/biy-1308-22

Arnon, D. I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphennoloxidase in Beta vulgaris. *Plant Physiology. 24*(1): 1-150. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

Bates, L. S., Waldern R. P and Teave I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil 39*: 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Bellaloui, N., Ebelhar, M. W., Gillen, A. M., Fisher, D. K., Abbas, H. K., Mengistu, A., Reddy K. N. and Paris R. L. (2011) Soybean seed protein, and fatty acids are altered by S and S+N fertilizers under irrigated and nonirrigated environments. *Journal of Agriculture Science 2*(4):465-476. https://doi.org/10.4236/as.2011.24060

Cakir, R. (2004) Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research 89*: 1-6. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.01.005

Cakmak, I. and Horst, W. (1991) Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tip of soybean (Glycine max). Plant Physiology 83:463-468. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1991.tb00121.x

Chandrasekaran, M. (2022) Arbuscular mycorrhizal fungi mediated enhanced biomass, root morphological traits and nutrient uptake under drought stress: A meta-analysis. *Journal of Fungi 8*(7): 660. https://doi.org/10.3390/jof8070660

Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A. and Angaji, S. A. (2020) Effect of salicylic acid and sodium nitroprusside on growth parameters, photosynthetic pigments and secondary metabolites of safflower under drought stress. *Scientia Horticulturae 259*: 108823. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108823

Chavoushi, M., Najafi, F., Salimia, A. and Angaji, A. (2019) Improvement in drought stresses tolerance of safflower during vegetative growth by exogenous application of salicylic acid and sodium nitroprusside. *Industrial Crop Product 134*: 168-176. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.071

Dolatabadian, A., Modarres Sanavy, S.A.M. and Asilan, K.S. (2010) Effect of Ascorbic Acid Foliar Application on Yield, Yield Component and several Morphological Traits of Grain Corn under Water Deficit Stress Conditions. *Notulae Science Biologiae 2(3)*: 45-50. https://doi.org/10.15835/nsb234717

FAO. (2021). FAOSTA. http://www.fao.org/faostat/en/#home

Giannopolitis, C. and Ries, S. (1977) Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology 59*: 309-314. https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309

Guo, Y., Tian, S., Liu, S., Wang, W. and Sui, N. (2018) Energy dissipation and antioxidant enzyme system protect photosystem II of sweet sorghum under drought stress. *Photosynthetica* 1-12. https://doi.org/10.1007/s11099-017-0741-0

Hamurcu, M., Khan, M., Pandey, A., Avsaroglu, Z., Elbasan, F. and Gezgin, S. (2020) Boron stress exposes antioxidant differential responses in maize cultivars (*Zea mays* L.). *Journal of Elementology 25*(4): 1291-1304. https://doi.org/10.5601/jelem.2020.25.3.1970

Hasheminasab, H., Assad, M. T., Aliakbari, A. and Sahhafi, S. R. (2012) Influence of drought stress on oxidative damage and antioxidant defense systems in tolerant and susceptible wheat genotypes. *Journal of Agriculture of Science 4*: 1-20. https://doi.org/10.5539/jas.v4n8p20

Heath, R. L. and Packer, L. (1969) Photoperoxidation in isolated choloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics 125*: 189-198. https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1

Hosseini, S. J., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Mokhtassi-Bidgoli, A., Keshavarz, H., Kazemi, Sh., Khalvandi, M., Pirdashti, H., Hashemi-Petroudi, S. H. and Nicola, S. (2023). Functional Quality, Antioxidant Capacity and Essential Oil Percentage in Different Mint Species Affected by Salinity Stress. *Chemistry and Biodiversity 20*(4): e202200247. https://doi.org/10.1002/cbdv.202200247

Keshavarz, H. and Khodabin, G. (2019) The role of uniconazole in improving physiological and biochemical attributes of bean (Phaseolus vulgaris L.) subjected to drought stress. *Journal of Crop Science and Biotechnology 22*(2): 161-168. https://doi.org/10.1007/s12892-019-0050-0

Keshavarz, H. (2020) Study of water deficit conditions and beneficial microbes on the oil quality and agronomic traits of canola (*Brassica napus* L.). *Grasas Y Aceites 71*(3): e373. https://doi.org/10.3989/gya.0572191

Keshavarz Mirzamohammadi, H., Modarres-Sanavy, S.A.M., Sefidkon, F., Mokhtassi-Bidgoli, A. and Mirjalili, M.H. (2021a) Irrigation and fertilizer treatments affecting rosmarinic acid accumulation, total phenolic content,

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

antioxidant potential and correlation between them in peppermint (*Mentha piperita* L.). *Irrigation Science 39*: 671-683: https://doi.org/10.1007/s00271-021-00729-z

Keshavarz Mirzamohammadi, H., Tohidi-Moghadam, H. R. and Hosseini, S. J. (2021b) Is there any relationship between agronomic traits, soil properties and essential oil profile of peppermint (*Mentha piperita* L.) treated by fertiliser treatments and irrigation regimes? *Annual Applied Biology 179*(3): 331-344. https://doi.org/10.1111/aab.12707

Khalid, M. A., Ali, Z., Tahir, M. H. N., Ghaffar, A. and Ahmad, J. (2023) Genetic Effects of GA-Responsive Dwarfing Gene Rht13 on Plant Height, Peduncle Length, Internodal Length and Grain Yield of Wheat under Drought Stress. *Genes 14*(3): 699. https://doi.org/10.3390/genes14030699

Khan, A. and Ashraf, M. (2008) Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt -induced oxidative stress in wheat. *Environmental and Experimental Botany 63*: 224-31. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.10.018

Kumar, R. R., Karajol, K. and Naik, G. (2011) Effect of polyethylene glycol induced water stress on physiological and biochemical responses in pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millsp.). *Recent Research in Science and Technology 3*(1): 148-152.

Lum, M. S., Hanafi, M. M., Rafii, Y. M. and Akmar, A. S. N. (2014) Effect of Drought Stress on Growth, Proline and Antioxidant Enzyme Activities of Upland Rice. *Journal of Animal & Plant Sciences 24* (5): 1487-1493.

Lobell, D.B., Roberts, M.J. Schlenker, W., Braun, N., Little, B.B., Rejesus, R.M. and Hammer G.L. (2014). Greater sensitivity to drought accompanies maize yield increase in the US Midwest. *Science 344(6183)*: 516-519. https://doi.org/10.1126/science.1251423

Loni, A., Saadatmand, S., Lari Yazdi, H. and Iranbakhsh, A. (2023). Evaluation of Photosynthetic Activity, Carbohydrates, Proline and Essential Oils (*Ocimum basilicum* L.) under the Elicitor of β-Cyclodextrin Nanoparticles. *Journal of Crop Ecophysiology 16*(64): 546-527. https://doi 10.30495/JCEP.2023.1915954.1742.

Paolo, E. D. and Rinaldi M. (2008) Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment. *Field Crops Research 105*: 202-210. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.10.004

Rady, M. M. and Mohamed G. F. (2015) Modulation of salt stress effects on the growth, physio-chemical attributes and yields of *Phaseolus vulgaris* L. plants by the combined application of salicylic acid and Moringa oleifera leaf extract. *Science Horticulture 193*: 105-113. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.003

Rahimi, A., Mohammadi, M. M., Siavash Moghaddam, S., Heydarzadeh, S. and Gitari, H. (2022) Effects of stress modifier biostimulants on vegetative growth, nutrients, and antioxidants contents of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) under water deficit conditions. *Journal of Plant Growth Regulation 41*: 2059-2072. https://doi.org/10.1007/s00344-022-10604-6

Ribaut, J.M., Betran, J., Monneveux, P. and Setter, T. (2012). Drought tolerance in maize. In: ennetzen, J.L., Hake, S.C. (Eds.), Handbook of Maize: Its Biology. Springer, New York, pp. 11– 34.

Sabourifard, H., Estakhr A., Bagheri, M., Hosseini, S. J. and Keshavarz, H. (2023) The quality and quantity response of maize (Zea mays L.) yield to planting date and fertilizers management. *Food Chemistry Advances 2*: 100196. https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100196

Shamuyarira, K. W., Shimelis, H., Figlan, S., Chaplot, V. (2023) Combining ability analysis of yield and biomass allocation related traits in newly developed wheat populations. *Scientific Report 13*: 11832. https://doi.org/10.1038/s41598-023-38961-6

Shemi, R., Wang, R., Gheith, E. M. 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*(1): 3195. https://doi.org/10.1038/s41598-021-82264-7.

Singh, I. and Shah, K. (2014) Exogenous application of methyl jasmonate lowers the effect of cadmium-induced oxidative injury in rice seedlings. *Phytochemistry 108*: 57-66. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.09.007

Sofy, M. R., Seleiman, M. F., Alhammad, B. A., Alharbi, B. M. and Mohamed, H. I. (2020). Minimizing Adverse Effects of Pb on Maize Plants by Combined Treatment with Jasmonic, Salicylic Acids and Proline. *Agronomy 10*(5): 699. https://doi.org/10.3390/agronomy10050699

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

Sofy, M. R., Sharaf, A. E. M. and Fouda, H. M. (2016) Stimulatory effect of hormones, vitamin C on growth, yield and some metabolic, activities of Chenopodium quinoa plants in Egypt. *Journal of Plant Biochemistry and Physiology 10*: 2329-9029.

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. https://doi.org/10.3390/antiox12071438

Wang, X., Li, Q., Xie, J., Huang, M., Cai, J., Zhou, Q., Dai, T. and Jiang, D. (2021) Abscisic acid and jasmonic acid are involved in drought priming-induced tolerance to drought in wheat. *The Crop Journal 9*(1): 120-132. https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.06.002

Yousefzadeh, S., Keshavarz, H. and Modares-Sanavy, S. A. M. (2023) Effects of ecological agriculture approaches on dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) productivity and oil yield. *Arabian Journal of Geoscience 16*: 373. https://doi.org/10.1007/s12517-023-11461-7

Yun-Xia, G., Li-Jun, Z., Feng-hai, L., Zhi-bin, C., Che, W., Yun-cong, Y., Zhen-hai, H., Jie, Z. and Zhen-sheng, S. (2010) Relationship between jasmonic acid accumulation and senescence in drought -stress. *African Journal of Agriculture Research 5*: 1978-1983.

Investigating the effect of jasmonic acid and boron foliar application on the agro-physiological characteristics of *Zea maize* plants under water deficit conditions

In order to evaluate the effect of micro nutrient and jasmonic acid foliar application under different irrigation regimes an experiment was conducted as split-split plot plots in the form of a randomized complete block design in three replications was performed in the summer of 1400 growing season in the Varamin. In this experiment, irrigation arranged in four levels (as the main factor): complete irrigation, stopping irrigation at the 8-leaf stage, stopping irrigation at the stage of cob emergence and stopping irrigation at the stages of 8 leaves and cob emergence. Micro nutrient solution at three levels including: spraying with pure water, spraying with 0.5% boron and spraying with a solution with 1% of boron and spraying with jasmonic acid solution in three levels including: spraying with pure water, spraying with a concentration of 50 µM jasmonic acid and spraying with a concentration of 100 µM jasmonic acid were considered in sub-plots. The results showed that stopping irrigation in different stages of growth caused a decrease in all tested traits. Also, the results show that the spraying of 1% boron element increases grain yield (5.5%), 1000 seed weight (2.9%), biological yield (2.8%), carotenoid content (11.2%) and decrease 4.4% of leaves malondialdehyde. On the other hand, the use of 100 µM jasmonic acid increases leaf chlorophyll content (2.69%), leaf carotenoid content (2.94%), 1000-seed weight (1.29%), seed yield (2.67%) and biological yield (2.95%). Also, the results show that the application of boron element in different irrigation conditions increases the biological yield, oil yield, total chlorophyll content, carotenoid content, superoxide dismutase enzyme and catalase enzyme. while it caused the reduction of malondialdehyde. On the other hand, the use of jasmonic acid in different irrigation conditions increases seed oil percentage. In general, foliar application of the boron was able to reduce the damage caused by water limitation. Also, the use of jasmonic acid also reduced the damage caused by oxidative stress by increasing the amount of superoxide dismutase enzyme.

Keywords: Corn, jasmonic acid, Irrigation, Superoxid dismutase enzyme

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

Investigating the effect of jasmonic acid and boron foliar application on the agro-physiological characteristics of *Zea maize* plants under water deficit conditions

Mohammad Heydarian[1], Hamid-Reza Tohidi-Moghadam[*2], Farshad Ghooshchi [3], Pourang Kasraei [4], Mohammad Nasri [5]

1. Ph.D. candidate, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Varamin Branch, Islamic Azad University
2. Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Varamin Branch, Islamic Azad University (Corresponding Author) tohidi_moghadam@yahoo.com
3. Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Varamin Branch, Islamic Azad University
4. Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Varamin Branch, Islamic Azad University
5. Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Varamin Branch, Islamic Azad University

پیش انتشار

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.