علوم و تحقیقات بذر ایران
سال دهم/ شماره اول/ ۱۴۰۲ (۱۳ - ۱)
مقاله پژوهشی
DOI: 10.22124/jms.2023.6881
DOR: 20.1001.1.24763780.1402.10.1.1.4

اثر پرایمینگ با مواد ارگانیک بر جوانه‌زنی و فعالیت برخی آنزیم‌های گیاهچه زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) تحت تنش خشکی

روما کلهر منفرد[1*]، فرزاد پاک‌نژاد[2]، محمدنبی ایلکایی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۲۱

چکیده

تنش خشکی موجب کاهش جوانه‌زنی و رشد گیاهان می‌شود و ارائه راه‌کارهایی از قبیل پرایمینگ بذور برای افزایش یکنواختی جوانه‌زنی و رشد گیاهان و مقابله با تنش خشکی بسیار حائز اهمیت است. بدین منظور آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در بذر زیره سبز اجرا شد. تیمارها شامل: پنج سطح پرایمینگ (کیتوزان (ppm ۱۰۰)، اسید هیومیک (۱/۵ درصد)، ورمی‌کمپوست، آب مقطر و شاهد (بدون پرایم)) و چهار سطح تنش خشکی (صفر، ۰/۳-، ۰/۶-، ۰/۹- مگاپاسکال) بود. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش درصد جوانه‌زنی، رشد و کیفیت گیاهچه‌های زیره سبز در شرایط بدون پرایم شد و با افزایش شدت تنش خشکی، رشد گیاهچه‌ها کاهش یافت. پرایمینگ کیتوزان، اسید هیومیک و ورمی‌کمپوست در افزایش ویژگی‌های جوانه‌زنی و همچنین مقابله با تنش خشکی، موثرتر از پرایمینگ آب مقطر (هیدروپرایمینگ) عمل کردند و اثرات منفی حاصل از تنش خشکی را کاهش دادند، همچنین پرایمینگ بذر با تیمارهای فوق روند کاهشی در محتوای پرولین و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز بذر را در پی داشت و موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آلفا آمیلاز و کاتالاز شد. پرایمینگ کیتوزان به‌مقدار (۴۴/۰۲ درصد)، اسید هیومیک (۴۲/۰۸ درصد)، ورمی‌کمپوست (۴۴/۰۴ درصد)، سبب افزایش جوانه‌زنی بذر زیره سبز نسبت به شاهد (بدون پرایم و بدون تنش خشکی) شدند.

واژه‌های کلیدی: آسکوربات پراکسیداز، آلفا آمیلاز، پرولین، کاتالاز، کیتوزان

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران. Roma.kalhor@gmail.com
۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران. farzadpaknejad@yahoo.com
۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران. mn64_ilkaee@yahoo.com
*نویسنده مسئول: Roma.kalhor@gmail.com

مقدمه

زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.)، از مهم‌ترین گیاهان دارویی خانواده چتریان با خواص درمانی فراوان از جمله بهبود عملکرد دستگاه گوارش می‌باشد. اسانس این گیاه کاربردهای بسیاری در صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی دارد (Omidbaigi, 2007). بیش‌تر مناطق کشت زیره سبز ایران مربوط به مناطق خشک و نیمه-خشک می‌باشد. در این مناطق، زیره سبز اغلب در مراحل گلدهی تا مرحله دانه‌بندی با تنش خشکی مواجه شده و عملکرد دانه آن تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد، بنابراین مبارزه با اثرات منفی ناشی از تنش خشکی یکی از ارکان مهم در راستای افزایش عملکرد این گیاه است (Bahraminejad *et al*., 2011).

هنگام بروز تنش خشکی، به‌دلیل افزایش تولید گونه-های فعال اکسیژن (ROS)، سلول‌های گیاهی با تنش اکسیداتیو روبرو می‌شوند. ROSها سمی بوده و می‌توانند متابولیسم طبیعی سلول را از طریق آسیب‌های اکسیداتیو به ماکرومولکول‌های ضروری مانند لیپیدها، اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها و رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت تأثیر قرار دهند که می‌تواند مراحل مهم رشدی و نیز عملکرد را در گیاهان متاثر کند. کاهش قدرت جوانه‌زنی و نیز عملکرد ناشی از تنش خشکی در ریحان (Zulfiqar *et al*., 2021) و زیره سیاه (Bayati *et al*., 2020) گزارش شده است. گیاهان برای مقابله با گونه‌های اکسیژن فعال و حفاظت از سیستم‌های درون سلولی، سیستم‌های آنتی-اکسیدانت آنزیمی (آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز و کاتالاز و ...) و غیرآنزیمی (کاروتنوئیدها، آلفاتوکوفرول، ترکیبات فنولی و ...) خود را تکامل داده‌اند (Per *et al*., 2017; Basu *et al*., 2016; Gomes *et al*., 2021). گیاهان به‌کمک ترکیبات آنتی‌اکسیدانت‌های آنزیمی و غیرآنزیمی اقدام به حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن و حفظ پایداری سلولی می‌نمایند. البته میزان فعالیت آنزیم-های آنتی‌اکسیدانت به شدت و مدت تنش بستگی داشته و نوع گونه، مرحلهٔ رشد و نمو گیاه نیز در ساخته‌شدن این آنزیم‌ها تاثیرگذار هستند (Muhie *et al*., 2021).

امروزه روش‌های مختلفی در جهت ارتقای کیفیت بذر با هدف افزایش درصد جوانه‌زنی و استقرار بهتر گیاهچه تحت شرایط تنش‌های محیطی خصوصا تنش خشکی، مورد ارزیابی قرار گرفته است که از میان این روش‌ها، می-توان به پرایمینگ بذر اشاره کرد. جوانه‌زنی مرحله بسیار مهمی در زندگی گیاهان است و تحمل به خشکی در فرآیند جوانه‌زنی، برای استقرار گیاهان در شرایط کم‌آبی امری ضروری است. پرایمینگ روشی است که جوانه‌زنی بذور را در شرایط تنش و عدم تنش بهبود داده و سبب تسریع و یکنواختی در جوانه‌زنی شده و بهبود رشد گیاهان را به‌همراه دارد (Machado *et al*., 2017). کاربرد هیدروپرایمینگ به‌دلیل محیا نمودن آب کافی برای بذر سبب افزایش جوانه‌زنی، خروج یکنواخت و سریع گیاهچه-ها و افزایش رشد گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی می‌شود (Tania *et al*., 2020).

کیتوزان یک ماده غیر سمی، قابل تجزیه و سازگار با محیط زیست و همچنین یک پلی‌ساکارید گلوزامین ساخته‌شده از کیتین است. کیتوزان به‌دلیل فعالیت آنتی-اکسیدانتی در برخورد با آسیب‌های اکسیداتیو حاصل از تنش‌های محیطی (به‌ویژه تنش خشکی) بسیار حائز اهمیت است و جهت مقابله گیاه با تنش‌های محیطی، موجب فعال‌شدن برخی آنزیم‌ها نظیر کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در شرایط تنش می‌شو (Li *et al*., 2020; Xiaochen *et al*., 2020). نتایج پژوهش بر روی بذر گندم (Behboudi *et al*, 2019) و پژوهش دیگری بر روی بذر ذرت (Gomes *et al*., 2021) نشان داد که کاربرد کیتوزان سبب افزایش عملکرد گیاهان در شرایط تنش خشکی شد.

اسید هیومیک باعث افزایش جذب عناصر پرمصرف و کم مصرف در گیاه می‌شود و توانایی نگهداری آب و مواد غذایی را در گیاه افزایش داده و سبب بهبود سلامت گیاه از طریق تحمل آن در مقابل آفات و بیماری‌ها و تنش‌های محیطی می‌شود (Tang *et al*., 2020). پژوهشگران بیان کردند که کاربرد پرایمینگ اسید هیومیک موجب کاهش اثرات تنش خشکی و افزایش تحمل ارزن (Shen *et al*., 2020)، و شنبلیله (Abd Elhakem *et al*., 2021) در برابر تنش شد.

از دیگر راهکارهای مقابله با تنش خشکی می‌توان به کاربرد ورمی‌کمپوست اشاره کرد. عصاره ورمی‌کمپوست به‌علت وجود فراوان مواد آلی و عناصر غذایی در مقایسه با سایر کودهای آلی و همچنین به‌دلیل دارا بودن عناصر کم‌مصرف مانند آهن، روی، مس منگنز برای رشد گیاهان به‌ویژه در مرحله حساس جوانه‌زنی و تغذیه گیاهی بسیار

حائز اهمیت است (Voko *et al.*, 2021; Hoseinzadeh *et al.*, 2016). وجود هومیک اسید در این عصاره، اثراتی مشابه با تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهان دارد و در مقایسه با تغذیه گیاه با کودهای معدنی، موجب رشد بهتر گیاهچه‌ها می‌شود (Beyk Khurmizi *et al.*, 2013). گزارش‌ها حاکی از آن است که مصرف ورمی‌کمپوست موجب افزایش عملکرد کمی و کیفی ذرت (Jjagwe *et al.*, 2020)، کلزا (Feizabadi *et al.*, 2021) در شرایط تنش خشکی شد. کشت زیره سبز در شرایط تنش خشکی کاهش عملکرد و مقدار اسانس این گیاه را به‌همراه دارد. کاربرد تیمارهایی در راستای بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی گیاهان و مقابله با تنش خشکی امری ضروری است. لذا با توجه به اهمیت بهبود جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه‌ها در شرایط تنش خشکی و اهمیت گیاه دارویی زیره سبز، این آزمایش با هدف بررسی اثر پرایمینگ مواد ارگانیک (کیتوزان، اسید هیومیک، ورمی‌کمپوست، آب مقطر) در شرایط تنش خشکی، با هدف کاهش اثرات منفی حاصل از تنش، بر بذر زیره سبز اجرا شد.

مواد و روش‌ها

نوع طرح و تیمارهای آزمایش

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی بر روی بذر زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) در سه تکرار در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، در تیرماه ۱۴۰۰ اجرا شد. بذرها از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید. رقم زیره سبز، رقم اردستان بود. تیمارهای این آزمایش شامل پنج سطح پرایمینگ: کیتوزان (۱۰۰ ppm)، اسید هیومیک (۱/۵ درصد)، ورمی‌کمپوست، آب مقطر و شاهد (بدون پرایم) و چهار سطح تنش خشکی (صفر، ۰/۳-، ۰/۶-، ۰/۹- مگاپاسکال) بود.

نحوه اجرای طرح

قبل از اجرای آزمایش کاغذهای صافی در اتوکلاو در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۲۰ دقیقه ضدعفونی شدند و بذرها با محلول هیپوکلرید سدیم سه درصد به‌مدت دو دقیقه ضدعفونی و سپس با آب مقطر شستشو شدند. در هر واحد آزمایشی ۱۵۰ عدد بذر زیره سبز به‌روش میان کاغذ (ساندویچی) کاشته شد. برای اعمال تنش خشکی از پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ استفاده گردید، به‌طوری‌که برای تیمار شاهد از آب مقطر و سایر تیمارها طبق دستور (Michael and Kaufman, 1976) تهیه شد (جدول ۲). قبل از انجام آزمایش، ورمی‌کمپوست جهت تجزیه شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد (جدول ۱). برای تهیه عصاره ورمی‌کمپوست، ابتدا مقدار ۱۰۰ گرم ورمی‌کمپوست با ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مخلوط شده و به‌مدت ۲۴ ساعت بر روی شیکر قرار گرفت، سپس از پارچه تنظیف عبور داده شد (Gopal *et al.*, 2010). در این آزمایش از کیتوزان با غلظت ppm ۱۰۰ استفاده شد. کیتوزان متعلق به شرکت Sigma- Aldrich ساخت آمریکا بود. برای تهیه محلول کیتوزان ابتدا محلول اسید استیک یک درصد تهیه شد، سپس محلول کیتوزان در اسید هم زده شد (Khan *et al.*, 2003).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ورمی‌کمپوست

Table 1. Analysis of vermicompost physical and chemical testing

رطوبت Humidity (%)	اسیدیته pH	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	هدایت الکتریکی E.C (ds/m)	مواد آلی Organic Matter (%)	کربن آلی Organic Carbon (%)	C/N
4.58	7.8	1.79	0.47	0.50	7.8	41.26	25.23	14.75

جدول ۲- نحوه اعمال تنش خشکی توسط پلی‌اتیلن گلایکول

Table 2. Application method of drought stress using PEG

پتانسیل خشکی Drought Stress	PEG 6000	مقدار محلول Amount of solution
-0.3 Mpa	13.08 g	100 ml
-0.6 Mpa	18.90 g	100 ml
-0.9 Mpa	22.2 g	100 ml

غلظت اسید هیومیک ۱/۵ درصد در نظر گرفته شد و بذرها به شکل پیش‌تیمار (خیساندن بذر) به‌مدت ۲۴ ساعت در تیمارهای کیتوزان، اسید هیومیک، ورمی‌کمپوست و آب مقطر در دمای ۲۰ درجه سلسیوس نگهداری و سپس در واحدهای آزمایشی کاشته شدند. به هر واحد آزمایشی ۲۰ میلی‌لیتر از محلول تنش خشکی

تهیه شده در سطوح مختلف اضافه گردید و به‌مدت ۱۴ روز در ژرمیناتور در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت ۴۵ درصد در تاریکی نگهداری شدند. صفاتی نظیر: طول گیاهچه، درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، ضریب آلومتری، محتوای پرولین، فعالیت آنزیم‌های آلفا آمیلاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز اندازه‌گیری شدند.

طول گیاهچه و درصد جوانه‌زنی

طول گیاهچه‌ها به وسیله خط‌کش اندازه‌گیری شد. معیار جوانه‌زنی طول ریشه‌چه دو تا سه میلی‌متر بود، بر همین اساس درصد جوانه‌زنی با استفاده از رابطه یک محاسبه گردید (Scott *et al.*, 1984).

$GP=(S/T) \times 100$ (رابطه۱)

که در این رابطه S و T به‌ترتیب تعداد بذرهای جوانه-زده و کل بذرهای کشت شده هستند.

شاخص بنیه گیاهچه و ضریب آلومتری

شاخص بنیه گیاهچه نیز مطابق رابطه (۲) و ضریب آلومتری مطابق رابطه (۳) محاسبه گردید (ISTA, 1985).

(رابطه ۲) درصد جوانه‌زنی نرمال × طول گیاهچه‌ها = شاخص بنیه گیاهچه

(رابطه ۳) طول ساقه‌چه/ طول ریشه‌چه= ضریب آلومتری

محتوای پرولین

گیاهچه‌ها در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۷۲ ساعت خشک شدند و پس از آسیاب ۰/۳ گرم ماده خشک گیاهی را درون هاون ریخته و پنج میلی‌لیتر اسید سولفوسالسیلیک سه درصد به آن اضافه، سپس همگن شد. نمونه‌ها به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای چهار درجه سلسیوس در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. به دو میلی‌لیتر از روشناور حاصل، دو میلی‌لیتر اسید نین هیدرین افزوده و سپس به‌خوبی مخلوط شدند که از محلول‌های استانداردهای صفر، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و۲۰ میلی-گرم در لیتر پرولین استفاده شد. سپس دو میلی لیتر اسید نین هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن‌ها افزوده و به‌خوبی مخلوط گردید. نمونه‌ها به‌مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس درون حمام آب گرم (بن ماری) گذاشته، سپس درون یخ قرار گرفت. چهار میلی‌لیتر تولوئن به محلول‌ها اضافه و به‌مدت ۳۰ دقیقه درون دستگاه شیکر قرار داده شد و میزان جذب با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل (PG Instruments Itd VIS/UV+T) در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شده و با نمونه شاهد مقایسه شد (Bates *et al.*, 1973).

فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز

به‌منظور سنجش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز، از یک گرم بافت بذر استفاده شد. برای تهیه عصاره بافت بذر ابتدا پنج میلی‌لیتر محلول ۶۰ میلی‌مولار بافر فسفات ۶/۸ به بذرهای پودر شده اضافه شد و این محلول به‌مدت ۱۵ دقیقه با دور ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند. ۰/۵ میلی‌لیتر محلول نشاسته دو درصد به داخل لوله آزمایش منتقل شد و سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره تهیه شده از بالا به آن اضافه شد. پس از ۳۰ دقیقه انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سلسیوس توسط یک میلی‌لیتر اسید هیدروکلریدریک ۰/۱ نرمال واکنش را متوقف کرده و در ادامه یک میلی‌لیتر از معرف ید شامل ۵ میلی‌مولار ید (I_2) و ۵ میلی‌مولار پتاسیم یدید (KI) به آن اضافه شد، پس از آن حجم محتوای لوله توسط آب مقطر به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و در نهایت میزان جذب نور غلظت محلول توسط اسپکتروفتومتر مدل (PG Instruments Itd VIS/UV+T) با طول موج ۶۲۰ نانومتر یادداشت و با نمونه شاهد مقایسه شد (Xiao *et al.*, 2006).

فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز

برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز به ۳۵۰ میلی‌گرم از بافت گیاهچه، ۱۵۰۰ میکرولیتر از بافرفسفات سدیم ۱۰۰ میلی‌مولار، حاوی دو درصد PVPP و ۱/۳ میلی‌مولار EDTA افزوده شد و پس از ورتکس نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریوفوژ شدند و روشناور برای سنجش عصاره آنزیم به‌کار برده شد. مخلوط واکنش دارای ۳۰ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن در بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=7) و ۱۰۰ ماکرولیتر عصاره آنزیم در حجم نهایی ۱۰۰۰ میکرولیتر بود. میزان فعالیت آنزیم بر حسب هر میکرو مول H_2O_2 تجزیه‌شده در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین محاسبه گردید. تغییرات جذب در ۲۴۰ نانومتر به‌مدت سه دقیقه با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (PG Instruments Itd VIS/UV+T) ثبت شد (Aebi, 1984). سنجش آنزیم آسکوربات پراکسیداز از بافت گیاهچه به‌روش اسپکتروفتومتری مدل (PG Instruments Itd VIS/UV+T) در دمای ۲۵ درجه سلسیوس صورت گرفت و در نهایت میزان فعالیت آنزیم بر حسب میکرومول

آسکوربات اکسید شده به ازای یک گرم پروتئین در دقیقه محاسبه شد (Sairam *et al.*, 1998).

تجزیه آماری داده‌ها

داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شد و مقایسه میانگین نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

طول گیاهچه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر پرایمینگ، تنش خشکی و اثرات متقابل دو عامل مورد مطالعه بر طول گیاهچه معنی‌دار شد (جدول ۳). افزایش تنش خشکی موجب کاهش طول گیاهچه شد اما اعمال پرایمینگ کیتوزان، اسید هیومیک و ورمی‌کمپوست اثرات منفی حاصل از تنش خشکی را کاهش داد. کاربرد پرایمینگ آب مقطر (هیدروپرایمینگ) در افزایش طول گیاهچه نسبت به شاهد (بدون پرایم) تأثیر مثبتی داشت اما نسبت به سایر تیمارهای پرایمینگ از تأثیر کم‌تری برخوردار بود. بیش‌ترین مقدار طول گیاهچه زیره سبز مربوط به تیمار پرایمینگ کیتوزان (۱۳/۹۱ cm) بود که با پرایمینگ اسید هیومیک (۱۴/۰۶ cm) و همچنین ورمی-کمپوست (۱۴/۲۴ cm) در شرایط بدون تنش خشکی در یک گروه آماری قرار گرفت. کم‌ترین مقدار این شاخص نیز در تیمار بدون پرایمینگ (شاهد)، در شرایط تنش خشکی ۰/۹- مگاپاسکال (۶/۵۹ cm) مشاهده شد (جدول ۴). اثر مثبت کیتوزان بر رشد گیاهچه در ذرت (Gomes *et al.*, 2021) نیز گزارش شده است. وجود عنصر نیتروژن در ساختار کیتوزان و نقش کیتوزان در افزایش بیوسنتز هورمون اکسین را از دلایل تحریک رشد بر شمرده‌اند (Xiaochen *et al.*, 2020). پرایمینگ گیاهان با ورمی-کمپوست و اسید هیومیک نیز به‌واسطه وجود مواد آلی و مغذی و همچنین شبه هورمون‌هایی نظیر اکسین و سیتوکینین، موجب افزایش طول گیاهچه‌ها نسبت به شاهد می‌شود (Jjagwe *et al.*, 2020; Shen *et al.*, 2020).

درصد جوانه‌زنی

اثر پرایمینگ، تنش خشکی و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر درصد جوانه‌زنی بذر معنی‌دار بودند (جدول ۳). افزایش تنش خشکی کاهش جوانه‌زنی گیاهچه‌ها را در پی داشت و هیدروپرایمینگ نیز باعث افزایش درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد (بدون پرایم) شد، اما اعمال پرایمینگ کیتوزان، اسید هیومیک و ورمی-کمپوست اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را کاهش داد و عملکرد این تیمارها بهتر از هیدروپرایمینگ بود (جدول ۴). بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی گیاهچه‌های زیره سبز در تیمار پرایمینگ کیتوزان ۹۸/۶۶ درصد، مشاهده شد که با پرایمینگ اسید هیومیک (۹۷/۳۳ درصد) و ورمی‌کمپوست (۹۸/۶۷ درصد) در شرایط بدون تنش خشکی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. کم‌ترین مقدار این شاخص نیز مربوط به تیمار بدون پرایمینگ (شاهد)، در شرایط تنش ۰/۹- مگاپاسکال (۴۰/۲۴ درصد) بود (جدول ۴). محققان کاهش جوانه‌زنی بذور و رشد گیاهچه‌ها در تنش خشکی را ناشی از اثرات اسمزی به‌دلیل کمبود آب، عدم جذب مواد غذایی و تعادل هورمونی در بذرها دانسته‌اند (Langeroodi and Noora, 2017). این در حالی است که پرایمینگ بذور با مواد ارگانیک نظیر اسید هیومیک، کیتوزان و ورمی‌کمپوست با افزایش فعالیت آنزیمی و نفوذپذیری غشا و همچنین فراهمی عناصرغذایی خصوصا نیتروژن و به‌دلیل داشتن مواد مغذی نظیر فولویک اسید و هورمون اکسین، موجب تحریک جوانه‌زنی می‌شوند (Shen *et al.*, 2020; Gomes *et al.*, 2021) در همین راستا، افزایش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های هویج در پرایمینگ بذور با ورمی‌کمپوست در شرایط تنش خشکی نیز گزارش شده است (Muhie *et al.*, 2021).

شاخص بنیه گیاهچه

اثر پرایمینگ، تنش خشکی و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر شاخص بنیه گیاهچه معنی‌دار شد (جدول ۳). تنش خشکی با اثر بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها، دو عامل موثر بر شاخص بنیه گیاهچه، سبب کاهش این شاخص شد، اما استفاده از تیمارهای پرایمینگ در این پژوهش اثرات تنش خشکی بر این صفت را تعدیل کردند. پرایمینگ اسید هیومیک، کیتوزان و ورمی-کمپوست در افزایش شاخص بنیه گیاهچه موثرتر از هیدروپرایمینگ عمل کردند (جدول ۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس تاثیر پرایمینگ و تنش خشکی بر صفات جوانه‌زنی و فعالیت آنزیمی گیاهچه زیره سبز

Table 3. Variance analysis of seed priming and drought stress effect on germination traits and enzymes activity

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	طول گیاهچه Seedling length	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	شاخص بنیه بذر Seed vigor index	ضریب آلومتری Allometric coefficient	محتوای پرولین Prolin content	فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز Alpha-Amylase Activity	فعالیت آنزیم کاتالاز Catalase Activity	فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز Ascorbate Peroxidase Activity
پرایمینگ Priming (P)	4	75.67**	371.34**	1823.80**	3.01**	2.18*	121.38**	0.27**	3.66**
تنش خشکی Drought Stress (D)	3	86.41**	426.67**	2485.25**	2.43*	2.30**	146.72**	0.35**	4.14**
P×D	12	69.24**	597.39**	5940.10**	2.64*	1.94*	197.46**	0.82**	6.58**
خطا Error	40	17.95	18.76	13.52	1.26	0.79	2.04	0.069	1.55
ضریب تغییرات C.V (%)		8.24	13.59	11.23	7.09	5.94	6.28	4.21	7.34

**و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد می‌باشد.

**, *: Significant at the %1 and 5% probability levels, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین تاثیر پرایمینگ و تنش خشکی بر صفات جوانه‌زنی و فعالیت آنزیمی

Table 4. Means comparison of priming and drought stress effect on germination traits and enzymes activity

تیمارها treatments		طول گیاهچه Seedling length (cm)	جوانه‌زنی Germination percentage (%)	شاخص بنیه بذر Seed vigor index	ضریب آلومتری Allometric coefficient	محتوای پرولین Prolin content (mg g FW^{-1})	فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز Alpha-Amylase Activity (nmol $seed^{-1}minute^{-2}$)	فعالیت آنزیم کاتالاز Catalase Activity (µmol Fw $minute^{-1}$)	فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز Ascorbate Peroxidase Activity (µmol H_2O_2 $min^{-1}.mg^{-1}$ protein)
پرایمینگ Priming	تنش خشکی Drought stress (Mpa)								
کیتوزان Chitosan	Control	13.91a	98.66a	1379.98a	1.13e	0.095f	84.93a	0.029a	0.39d
	-0.3	13.06b	90.32b	1184.51b	1.25d	0.117e	75.21b	0.020b	0.41d
	-0.6	12.19c	85.50c	1051.24c	1.24d	0.149d	61.88c	0.014c	0.55c
	-0.9	10.94d	77.66d	853.68e	1.62b	0.176c	54.36d	0.015c	0.68b
اسید هیومیک Humic Acid	Control	14.06a	97.33a	1386.64a	0.89f	0.094f	82.96a	0.026a	0.31e
	-0.3	13.11b	91.28b	1201.35b	1.12e	0.139d	76.48b	0.021b	0.42d
	-0.6	12.16c	86.50c	1053.21c	1.27d	0.145d	62.57c	0.013c	0.43d
	-0.9	11.97c	79.66d	956.87d	1.63b	0.175c	53.36d	0.012c	0.54c
ورمی‌کمپوست Vermicompost	Control	14.24a	98.67a	1403.55a	0.92f	0.122e	86.97a	0.028a	0.67b
	-0.3	13.15b	92.55b	1219.70b	1.11e	0.141d	72.46b	0.019b	0.32e
	-0.6	12.05c	84.93c	1043.44c	1.25d	0.173c	64.71c	0.013c	0.53c
	-0.9	11.91c	80.90d	968.52d	1.64b	0.194b	51.52d	0.014c	0.69b
آب مقطر Hydropriming	Control	12.13c	85.11c	1038.43c	1.28d	0.119e	64.90c	0.022b	0.51c
	-0.3	10.87d	78.72d	859.51e	1.44c	0.145d	52.88d	0.012c	0.70b
	-0.6	9.35e	70.23e	661.97f	1.47c	0.171c	51.91d	0.008d	0.68b
	-0.9	8.17f	68.76e	567.08g	1.61b	0.195b	38.49e	0.007d	0.87a
شاهد (بدون پرایم) Control	Control	10.74d	86.5c	939.10d	1.49c	0.175c	37.28e	0.013c	0.54c
	-0.3	9.44e	59.33e	556.84f	1.65b	0.191b	37.11e	0.007d	0.66b
	-0.6	8.20f	51.90f	411.52g	1.79a	0.209a	30.69f	0.008d	0.71b
	-0.9	6.59g	40.24g	292.61h	1.81a	0.211a	25.33g	0.004e	0.84a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد)

Means in a column and a treatment followed by the same letter are not significantly different at 1% level

بیش‌ترین شاخص بنیه بذر مربوط به تیمار پرایمینگ کیتوزان (۱۳۷۹/۹۸)، بود که با تیمار اسید هیومیک (۱۳۸۶/۶۴) و ورمی‌کمپوست (۱۴۰۳/۵۵) در شرایط شاهد (بدون تنش خشکی) در یک گروه آماری قرار گرفتند و کم‌ترین مقدار این شاخص نیز مربوط به تیمار بدون پرایمینگ (شاهد)، در شرایط تنش ۰/۹- مگاپاسکال به‌مقدار ۲۹۲/۶۱ بود (جدول ۴). شاخص بنیه بذر نمایانگر جوانه‌زنی بیش‌تر و تولید گیاهچه‌های قوی و سالم است و هرچه قدرت رویش بذر بیش‌تر باشد، نشان‌دهنده کیفیت بالای بذرها است (Ahmadi, 2014). از دلایل افزایش شاخص بنیه بذر در تیمارهای پرایمینگ ارگانیک، افزایش درصد جوانه‌زنی در این تیمارها به‌واسطه وجود هورمون‌ها و مواد آلی بوده است، که موجب افزایش تعداد کل بذرهای جوانه‌زده (گیاهچه‌های تولیدشده) گردیده و نتیجه آن افزایش بنیه بذر می‌باشد (Jjagwe, *et al.*, 2020) که همسو با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد. تیمارهای پرایم با کیتوزان، اسید هیومیک و ورمی-کمپوست درصد جوانه‌زنی را در بذر مورد آزمایش در شرایط تنش و غیر تنش در مقایسه با شاهد افزایش دادند (جدول ۴). افزایش رشد و بنیه بذر ناشی از مصرف اسید هیومیک در شنبلیله نیز گزارش شده است (Abd Elhakem *et al.*, 2021).

ورمی‌کمپوست دارای مواد مغذی و ترکیباتی نظیر آمیلاز و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی (اکسین و سیتوکینین) بوده که نقش موثری در فرآیند جوانه‌زنی و افزایش طول گیاهچه ایفا می‌کند که در تغذیه بذر موثر است و افزایش شاخص بنیه گیاهچه را در پی دارد (Voko *et al.*, 2021). کیتوزان نیز با بهبود دسترسی گیاهچه‌ها به مواد مغذی نظیر نیتروژن، سبب افزایش شاخص بنیه گیاهچه شد (Xiaochen *et al.*, 2020). در بذر ذرت نیز ورمی‌کمپوست (Jjagwe *et al.*, 2020) و کیتوزان (Gomes *et al.*, 2021) شاخص بنیه گیاهچه را افزایش دادند.

ضریب آلومتری

پرایمینگ در سطح احتمال یک درصد و اثر تنش خشکی و اثرات متقابل پرایمینگ در تنش خشکی در سطح احتمال پنج درصد بر ضریب آلومتری معنی‌دار شد (جدول ۳). اعمال تنش خشکی، افزایش ضریب آلومتری (در شرایط پرایمینگ و بدون پرایم) را به‌همراه داشت و کاربرد پرایمینگ موجب کاهش ضریب آلومتری شد (جدول ۴). بیش‌ترین مقدار ضریب آلومتری مربوط به تیمارهای تنش خشکی ۰/۹- مگاپاسکال (۱/۸۱) بود که با تیمار ۰/۶- مگاپاسکال (۱/۷۹) در شرایط بدون پرایمینگ (شاهد) در یک گروه آماری قرار گرفت. کم‌ترین مقدار این شاخص نیز در پرایمینگ کیتوزان (۱/۱۳) مشاهده شد که با اسید هیومیک (۱/۱۲) و همچنین ورمی‌کمپوست (۱/۱۱) در شرایط شاهد (بدون تنش خشکی) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). یکی از پارامترهایی که تحت تأثیر تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد، ضریب آلومتری است. ضریب آلومتری برآیند تقسیم طول ریشه-چه بر ساقه‌چه است که افزایش آن بیانگر مقاومت گیاه به خشکی است (Luo *et al.*, 2020). می‌توان بیان داشت که دلیل افزایش ضریب آلومتری در تیمارهای تنش خشکی عدم دسترسی بذر به آب می‌باشد، زیرا ریشه‌چه‌ها به‌دنبال آب گسترده شده‌اند و از طرف دیگر، کاهش انتقال مواد غذایی از لپه به جنین باعث کاهش طول ساقه‌چه‌ها شده است (Zulfiqar *et al.*, 2021). پژوهشگران بیان کردند که تنش خشکی موجب افزایش ضریب آلومتری در گیاهچه‌های گندم (Cui *et al.*, 2017) شد. هیدروپرایمینگ موجب کاهش ضریب آلومتری گیاهچه-های بامیه (Tania *et al.*, 2020) شد.

محتوای پرولین گیاهچه

اثر تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد و اثر پرایمینگ و اثرات متقابل پرایمینگ در سطح احتمال پنج درصد بر محتوای پرولین گیاهچه معنی‌دار شد (جدول ۳). افزایش سطح تنش موجب افزایش محتوای پرولین (در تیمارهای پرایمینگ و شاهد) شد و تیمار پرایمینگ محتوای پرولین را کاهش داد. بالاترین مقدار پرولین مربوط به تیمارهای تنش خشکی ۰/۹- مگاپاسکال (mg g FW^{-1}) ۰/۲۱۱، بود که با تنش خشکی ۰/۶- مگاپاسکال (mg g FW^{-1}) ۰/۲۰۹ در شرایط بدون پرایمینگ (شاهد) اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار این شاخص نیز در پرایمینگ کیتوزان (mg g FW^{-1}) ۰/۹۵، مشاهده شد که با تیمار اسید هیومیک (mg g FW^{-1}) ۰/۹۴ در شرایط شاهد (بدون تنش خشکی) در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۴). نقش پرولین و اثرات مثبت آن به ساختار گیاه، مدت و شدت تنش بستگی داشته و افزایش محتوای پرولین در گیاه در واقع

نشان‌دهنده توانایی گیاه در واکنش به تنش است. یکی از علل اصلی افزایش غلظت پرولین در تنش خشکی می‌تواند ناشی از تغییر در فعالیت‌های آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز و یا تجزیه پرولین باشد. افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز پرولین و کاهش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده آن مثل پرولین اکسیداز، سبب تجمع پرولین در گیاهان می‌شود. برخی محققین افزایش پرولین را به دلیل وجود ترکیبات پر انرژی حاصل از فتوسنتز دانستند که موجب سنتز پرولین می‌شود. عده‌ای دیگر نیز علت آن را اثر تنظیمی ABA بر فرآیندهای نوری در متابولیسم پرولین بیان کردند. کاربرد پرایمینگ ارگانیک با افزایش دسترسی گیاهچه‌ها به عناصر معدنی و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، مقاومت گیاه را نسبت به تنش خشکی افزایش داد (Langeroodi and Noora, 2017; Li *et al.*, 2020). کاربرد پرایمینگ به سبب افزایش تحرک آب و مواد مغذی و همچنین افزایش تغذیه بذر، موجب کاهش محتوای پرولین شد. زیرا با فراهمی شرایط مناسب تغذیه‌ای برای گیاهچه‌ها، اثرات منفی ناشی از تنش خشکی توسط گیاهچه‌ها کم‌تر درک شد و گیاه محتوای پرولین کم‌تری را در مقاومت به تنش تولید کرد (Per *et al.*, 2017) مطابق با نتایج به‌دست‌آمده گزارش شده است که تنش خشکی باعث افزایش محتوای پرولین در کلزا شد که کاربرد ورمی‌کمپوست اثرات منفی تنش خشکی را کاهش داد (Feizabadi *et al.*, 2021).

فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز

اثر پرایمینگ، تنش خشکی و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز معنی‌دار شد (جدول ۳). در پژوهش حاضر، افزایش تنش خشکی موجب کاهش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز شد، اما اعمال پرایمینگ کیتوزان، اسید هیومیک و ورمی‌کمپوست اثرات منفی حاصل از تنش خشکی را کاهش داد. بیش‌ترین فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز گیاهچه‌های زیره سبز مربوط به پرایمینگ کیتوزان (nmol seed^{-1}minute^{-2}) ۸۴/۹۳)، بود که با تیمار اسید هیومیک (nmol seed^{-1}minute^{-2}) ۸۲/۹۶ و همچنین ورمی‌کمپوست (nmol seed^{-1}minute^{-2}) ۸۶/۹۷ در شرایط بدون تنش خشکی در یک گروه آماری قرار گرفتند. کم‌ترین فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در تیمار بدون پرایمینگ (شاهد)، در شرایط تنش ۰/۹- مگاپاسکال (nmol seed^{-1}minute^{-2}) ۲۵/۳۳ مشاهده شد (جدول ۴). آنزیم‌های هیدرولیتیک مانند آلفا آمیلاز در مراحل اولیه رشد مسئول تجزیه ذخیره دانه و تولید انرژی هستند، لذا کاهش رشد ناشی از تنش کم‌آبی در مراحل اولیه رشد، به عوامل متابولیک ناشی از کاهش محتوای آبی مربوط می‌شود. عناصر و هورمون‌های موجود در پرایمینگ اسید هیومیک و ورمی‌کمپوست، باعث آزادشدن آنزیم‌های هیدرولیتیک و شکسته‌شدن نشاسته به الیگوساکاریدها می‌شوند. پس از آن الیگوساکاریدها طی مراحلی به گلوکز شکسته می‌شوند. این امر باعث کاهش پتانسیل آب سلول و در نتیجه موجب تسهیل ورود آب به درون سلول می‌شود و به‌دنبال این فرآیند، رشد سلول تحریک می‌شود (Liu *et al.*, 2018). کاربرد پرایمینگ کیتوزان، ورمی‌کمپوست و اسید هیومیک با دسترسی بذرها به عناصر غذایی پرمصرف و همچنین مواد مغذی بیش‌تر، سبب افزایش تولید آنزیم‌های هیدرولیتیک نظیر آلفا آمیلاز می‌گردند، زیرا موجب سنتز هورمون‌های اکسین و جیبرلین می‌شوند (Abd Elhakem *et al.*, 2021). جیبرلین یکی از مهم‌ترین هورمون‌های موثر بر سنتز و فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و سایر آنزیم‌های هیدرولیتیک می‌باشد و اکسین هورمونی است که سنتز آن تحت تاثیر عناصر غذایی می‌باشد و با افزایش عناصر غذایی افزایش می‌یابد (Muhie *et al.*, 2021). بنابراین ممکن است که پرایمینگ بذور با اسید هیومیک، کیتوزان و ورمی‌کمپوست با کمک به سنتز این دو هورمون موجب افزایش سنتز و فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز شده باشد. در همین راستا گزارش شد که کاربرد کیتوزان موجب افزایش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در ذرت (Gomes *et al.*, 2021) شد.

فعالیت آنزیم کاتالاز

اثر پرایمینگ، تنش خشکی و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار شد (جدول ۳). افزایش تنش خشکی موجب کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز شد، اما تیمار پرایمینگ کیتوزان، اسید هیومیک و ورمی‌کمپوست اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را کاهش داد. بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز مربوط به پرایمینگ کیتوزان (µmol Fw minute^{-1}) ۰/۰۲۹ بود که با اسید هیومیک (µmol Fw minute^{-1}) ۰/۰۲۶ و ورمی‌کمپوست (µmol Fw minute^{-1}) ۰/۰۲۸ در شرایط بدون تنش خشکی در یک گروه آماری قرار

گرفتند و کم‌ترین مقدار این شاخص نیز در تیمار بدون پرایمینگ (شاهد)، در تیمار تنش ۰/۹- مگاپاسکال (µmol Fw minute^{-1}) ۰/۰۰۴ مشاهده شد (جدول ۴). فعالیت آنزیم کاتالاز در جهت فعالیت آنزیم پراکسیداز است و کاهش این آنزیم سبب تجمع پراکسید هیدروژن می‌شود. کاتالاز همانند آسکوربات پراکسیداز از مهم‌ترین آنزیم‌های جمع‌آوری‌کننده پراکسید هیدروژن در شرایط تنش خشکی به حساب می‌آیند (Gomes *et al*., 2021). اسید هیومیک، ورمی‌کمپوست و کیتوزان، با ایجاد شرایط مناسب هورمونی برای گیاه افزایش دسترسی گیاهان به عناصر پرمصرف نظیر نیتروژن که ارتباط مستقیم با تولید پروتئین و کاتالاز در گیاه دارد (Voko *et al*., 2021; Li *et al*., 2020)، سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز می‌شوند. گزارش شد که پرایمینگ اسید هیومیک نیز موجب افزایش مقاومت گیاهچه‌های ارزن تحت شرایط تنش خشکی و افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شد (Shen *et al*., 2020).

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

اثر پرایمینگ، تنش خشکی و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز معنی‌دار شد (جدول ۳). افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در تیمارهای تنش خشکی مشاهده شد، به‌طوری که با افزایش سطح تنش خشکی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (در تیمارهای پرایم‌شده و شاهد) افزایش یافت. بیش‌ترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز مربوط به تیمار تنش خشکی ۰/۹- مگاپاسکال (µmol H_2O_2 min^{-1}.mg^{-1} protein) ۰/۸۴ در شرایط بدون پرایم (شاهد) بود. کم‌ترین مقدار این شاخص نیز در پرایمینگ اسید هیومیک (µmol H_2O_2 min^{-1}.mg^{-1} protein) ۰/۳۱ مشاهده شد که با پرایمینگ ورمی‌کمپوست (µmol H_2O_2 min^{-1}.mg^{-1} protein) ۰/۳۲ در شرایط بدون تنش خشکی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). آسکوربات پراکسیداز یک آنزیم کلیدی در مهار آنزیمی ROS و یک مکانیسم دفاعی گیاه در برابر تنش است که می‌تواند H_2O_2 تولید شده در کلروپلاست را پاک‌سازی نماید. تنش خشکی موجب ایجاد تنش اکسیداتیو در سلول‌های گیاهی و تجمع H_2O_2 در سلول گردید که اعمال پرایمینگ ارگانیک (کیتوزان، اسید هیومیک، ورمی‌کمپوست) با تغذیه مناسب گیاه و وجود اسید هیومیک سبب افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش خشکی شد (Abd Elhakem *et al.*, 2021). با افزایش شدت تنش خشکی به ۰/۹- مگاپاسکال، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز افزایش یافت که می‌توان آن را پاسخ گیاه در مقابله با تنش خشکی دانست و کاربرد پرایمینگ مواد ارگانیک باعث تحمل بهتر گیاه در برابر تنش خشکی شدند و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز تولیدشده را نسبت به شرایط بدون پرایم (شاهد) کاهش دادند. آنزیم آسکوربات پراکسیداز در کلروپلاست H_2O_2 تولید شده را از طریق چرخه آسکوربات گلوتاتیون سم‌زدایی می‌کند. پژوهش سایر محققین نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در گیاهچه گندم افزایش یافت (Cui *et al*., 2017).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر آن است که تنش خشکی موجب کاهش درصد جوانه‌زنی، رشد و کیفیت گیاهچه‌های زیره سبز شد و با افزایش شدت تنش خشکی، رشد گیاهچه‌ها کاهش و ضریب آلومتری، محتوای پرولین و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز افزایش یافت. پرایمینگ کیتوزان، اسید هیومیک و ورمی‌کمپوست در افزایش قابلیت جوانه‌زنی و همچنین مقابله با تنش خشکی، موثرتر از پرایمینگ آب مقطر (هیدروپرایمینگ) عمل کردند و اثرات منفی حاصل از تنش خشکی را کاهش دادند، همچنین پرایمینگ بذر زیره سبز با تیمارهای فوق روند کاهشی محتوای پرولین و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز را در پی داشت و موجب افزایش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و فعالیت آنزیم کاتالاز شد که این بیانگر افزایش تحمل گیاه نسبت به تنش خشکی است. بنابراین، اعمال پرایمینگ کیتوزان، اسید هیومیک و ورمی‌کمپوست برای مقابله و کاهش اثرات منفی ناشی از تنش خشکی در جوانه‌زنی بذر زیره سبز قابل توصیه است.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از زحمات مسئولین دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج سپاس‌گزاری می‌شود.

منابع

Abd Elhakem, M., Ahmed, E., Abd El-Galeel, H. and Sayed, S. 2021. Improving fenugreek plants growth and productivity via humic acid treatment. Agricultural Sciences, 3(1): 15-22. **(Journal)**

Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. Methods in Enzymology, 105: 121-126. **(Journal)**

Bates, I.S., Waldern, R.P. and Tear, I.D. 1973. Rapid determination of free praline for water stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207. **(Journal)**

Ahmadi Seyed, S.A. 2014. Evaluation of germination and vigor parameters of rapeseed parents' seeds resulted from the heat and drought stress at the end of growth season. Crop Physiology Journal, 5(17): 61-75. **(Journal)**

Bahraminejad, A., Mohammadi-Nejad, Gh. and Khadir, M. 2011. Genetic diversity evaluation of Cumin (*Cumin cyminum* L.) based on phenotypic traits. Australian Journal of Crop Science, 5: 301-307. **(Journal)**

Basu, S., Ramegowda, V., Kumar, A. and Pereira, A. 2016. Plant adaptation to drought stress. Second edition. Exon Publications, New York. **(Book)**

Bayati, P., Karimmojeni, H., Razmjoo, J. 2020. Changes in essential oil yield and fatty acid contents in black cumin (*Nigella sativa* L.) genotypes in response to drought stress. Industrial Crops and Products. 155 (1): 22-36. **(Journal)**

Behboudi, F., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Zaman Kassaee, M., Modarres, S.A.M., Sorooshzadeh, A. and Mokhtassi-Bidgoli, A. 2019. Evaluation of chitosan nanoparticles effects with two application methods on wheat under drought stress. Plant Nutrition, 42(13): 1439-1451. **(Journal)**

Beyk Khurmizi, A., Ganjeali, A., Abrishamchi, P. and Parsa, M. 2013. Interactions of vermicompost and salinity on some morphological, physiological and biochemical traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. Iranian Journal of Pulses Research, 4 (1): 81-98. (In Persian) **(Journal)**

Cui, G., Zhao, X., Liu, S., Sun, F., Zhang, C. and Xi, Y. 2017. Beneficial effects of melatonin in overcoming drought stress in wheat seedlings. Plant Physiology and Biochemistry, 118: 138–149. **(Journal)**

Feizabadi, A., Noormohammadi, G. and Fatehi, F. 2021. Changes in Growth, Physiology, and Fatty Acid Profile of Rapeseed Cultivars Treated with Vermicompost Under Drought Stress. Soil Science Plant Nutrition, 21: 200–208. **(Journal)**

Gomes, D.G., Pelegrino, M.T., Ferreira, A.S., Bazzo, H.B., Zucareli, C., B Seabra, A.B. and Oliveira, H.C. 2021. Seed priming with copper-loaded chitosan nanoparticles promotes early growth and enzymatic antioxidant defense of maize (*Zea mays* L.) seedlings. Chemical technology and biotechnology, 96(8): 2176-2184. **(Journal)**

Gopal, M., Gupta, A., Palaniswami, C., Dhanapal R. and Thomas, G.V. 2010. Coconut leaf vermiwash: a bioliquid from coconut leaf vermicompost for improving the crop production capacities of soil. Current science, 98: 1202-1210. **(Journal)**

Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H. and Ismaili, A. 2016. Interaction effects of vermicompost extract and drought stress on germination indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.cv. Pirouz). Iranian Journal of Seed Science and Research, 3(1): 75-86. (In Persian) **(Journal)**

Jjagwe, J., Chelimo, K., Karungi, J., Komakech, A.J. and Lederer, J. 2020. Comparative Performance of Organic Fertilizers in Maize (*Zea mays* L.) Growth, Yield, and Economic Results. Agronomy, 10(1): 69-83. **(Journal)**

ISTA, 1985. International rules for seed testing. Seed Science and Technology, 13: 307-520. **(HandBook)**

Khan, W., Balakrishnan, P. and Donald, L. S. 2003. Chitosan and chitin oligomers increase phenylalanine ammonia-lyase and tyrosine ammonia-lyase activities in soybean leaves. Plant Physiology, 160 (8): 859-863. **(Journal)**

Li, K., Xing, R., Liu, S. and Li, P. 2020. Chitin and Chitosan Fragments Responsible for Plant Elicitor and Growth Stimulator. Agricultural and Food Chemistry, 68(44), 12203-12211. **(Journal)**

Langeroodi, A.R.S. and Noora, R. 2017. Seed priming improves the germination and field performance of soybean under drought stress. Animal and Plant Science, 27: 1611–1620. **(Journal)**

Liu, L., Xia, W., Li, H., Zeng, H., Wei, B., Han, S. and Yin, C. 2018. Salinity inhibits rice seed germination by reducing α-amylase activity via decreased bioactive gibberellin content. Frontiers in Plant Science, 9: 275-289. **(Journal)**

Luo, Y.Z., Li, G., Yan, G., Liu, H. and Turner, N.C. 2020. Morphological Features and Biomass Partitioning of Lucerne Plants (*Medicago sativa* L.) Subjected to Water Stress. Agronomy, 10 (3): 22-35. **(Journal)**

Machado, R.M.A. and R.P. Serralheiro. 2017. Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. Journal of Horticulture, 3(2): 30-45. **(Journal)**

Michael, B.E. and Kaufman, M.R. 1976. The osmotic potential of polyethylenglycol-6000. Plant Physiology, 51: 914-916. **(Journal)**

Muhie, S., Memis, N., Ozdamar, C., Gokdas, Z. and Demir, I. 2021. Biostimulant priming for germination and seedling quality of carrot seeds under drought, salt and high temperature stress conditions. International Agriculture Environment and Food Sciences, 5(3): 352- 359. **(Journal)**

Omidbaigi, R. 2007. Production and Processing of Medicinal Plants (Vol. II). Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production. Astan Ghods Publication, Mashhad, Iran 438 p. (In Persian) **(Book)**

Per, T.S., Khan, N.A., Reddy, P.S., Masood, A., Hasanuzzaman, M., Khan, M.I.R. and Anjum, N.A. 2017. Approaches in modulating proline metabolism in plants for salt and drought stress tolerance: Phytohormones, mineral nutrients and transgenic. Plant Physiology and Biochemistry, 115: 126-140. **(Journal)**

Sairam, R.K., Deshmukh, P.S. and Saxena, D.C. 1998. Role of antioxidant systems in wheat genotypes tolerance to water stress. Biological plant arum, 41(3): 387-394. **(Journal)**

Scott, S.J., Jones, R.A. and Williams, W.A. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. Crop Science, 24:1192-1199. **(Journal)**

Shen, J., Guo, M., Wang, Y., Yuan, X., Wen, Y., Song, X. and Guo, P. 2020. Humic acid improves the physiological and photosynthetic characteristics of millet seedlings under drought stress. Plant Signaling and Behavior, 15(8): 1774212. **(Journal)**

Tang, S.H., Tang, J., Yuan, D., Wang, Z., Zhang, Y. and Rao, Y. 2020. Elimination of humic acid in water: comparison of UV/PDS and UV/PMS. Chemistry Advances, 10 (3): 17627-17634. **(Journal)**

Tania, S.S., Rhaman, M.S. and Hossain, M.M. 2020. Hydro-priming and halo-priming improve seed germination, yield and yield contributing characters of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.). Tropical Plant Research, 7(1): 86–93. **(Journal)**

Voko, M.P., Kulkarni, M.G., Ngoroyemoto, N., Gupta, S.H. and Finnie, J.F. 2021. Vermicompost Leachate, Seaweed Extract and Smoke-Water Alleviate Drought Stress in Cowpea By Influencing Phytochemicals, Compatible Solutes and Photosynthetic Pigments. Plant Growth Regulation, 12 (3): 3-30. **(Journal)**

Xiao, Z., Storms, R. and Tsang, A. 2006. A quantitative starch-iodine method for measuring alpha-amylase and glucoamylase activities, Analytical Biochemistry, 351:146-148. **(Journal)**

Xiaochen, J., Mijanur R., Rajib, R. and Heng, Y. 2020. Recognition Pattern, Functional Mechanism and Application of Chitin and Chitosan Oligosaccharides in Sustainable Agriculture. Current Pharmaceutical Design, 26(29): 3508-3521. **(Journal)**

Zulfiqar, F., Chen, J., Finnegan, P.M., Younis, A., Nafees, M., Zorrig, W. and Hamed, K.B. 2021. Application of Trehalose and Salicylic Acid Mitigates Drought Stress in Sweet Basil and Improves Plant Growth. Plants Journal, 10(1078): 35-52. **(Journal)**

Effect of organic pretreatment on seed germination and enzymes activity of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress

Roma Kalhor Monfared[1*], Farzad Paknejad[2], Mohammad Nabi Ilkaee[3]

Received: May 4, 2022 Accepted: August 12, 2022

Abstract

Drought stress reduces the germination and growth of plants, and it is very important to provide solutions such as seed priming to increase the uniformity of germination and growth of plants and to deal with drought stress. Thus, a factorial study was conducted in the form of a complete randomized design on cumin seeds in three replications in the Seed Technology Laboratory of Islamic Azad University, Karaj Branch. The treatments of this experiment included: five levels of priming (chitosan, humic acid, vermicompost, distilled water and control (without primer)) and four levels of drought stress (0, -0.3, -0.6, -0.9 MPa). The results showed that drought stress reduced germination percentage, growth and quality of cumin seedlings in no prime conditions and with increasing intensity of drought stress, seedling growth decreased. Priming of chitosan, humic acid and vermicompost were more effective than hydropriming in increasing germination properties as well as drought stress and reducing the negative effects of drought stress, as well as cumin seed priming. The above treatments decreased the proline content and increased ascorbate peroxidase, alpha-amylase and catalase activity. Priming of chitosan (44.02%), humic acid (42.08%), and vermicompost (44.04%) increased the germination of cumin seeds compared to the control (without primer and without drought stress).

Keywords: Alpha amylase; Ascorbate peroxidase; Catalase; Chitosan; Proline

How to cite this article
Kalhor Monfared, R., Paknejad, F. and Nabi Ilkaee, M. 2023. Effect of organic pretreatment on seed germination and enzymes activity of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Seed Science and Research, 10(1): 1-13. (In Persian)**(Journal)**
DOI: 10.22124/jms.2023.6881

COPYRIGHTS
Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research
The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

1. Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran. Roma.kalhor@gmail.com
2. Professors of Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran. farzadpaknejad@yahoo.com
3. Associate Professor Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran. mn64_ilkaee@yahoo.com
*Corresponding author: Roma.kalhor@gmail.com