DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2024.20363.1945

اثر محرک‌های رشد گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در شرایط تنش خشکی (مقالهٔ پژوهشی)

۱- رضا سلیمانی*، استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام، سازمان تحقیقات، اموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران.
soleimanir@hotmail.com
۲- مجید رجایی، دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، اموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران.

دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲
پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۷

چکیده

هدف از این تحقیق، تعیین اثرات کاربرد ترکیبات محرک رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در یک منطقه نیمه‌خشک بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه در استان ایلام بود. آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. کرت‌های اصلی شامل دو رژیم آبیاری پس از ۸۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و جبران رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی در بافت خاک لوم رسی سلیتی بود. کرت‌های فرعی شامل: ۱) شاهد (کاربرد کودهای شیمیایی مطابق آزمون خاک)؛ ۲) ترکیب ۱ و محلول‌پاشی L-اسید آمینه (گلایسین، بتایین و پرولین)؛ ۳) ترکیب ۱ و کود آبیاری ۵ کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید در دو مرحله (پس از آبیاری دوم و ابتدای ساقه‌روی)؛ ۴) ترکیب ۱ و محلول‌پاشی فولویک اسید؛ ۵) ترکیب ۱ و محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی؛ و ۶) ترکیب ۱ و کاربرد توأم تیمارهای ۲، ۳ و۵ بود. محلول‌پاشی در کل تیمارها با غلظت ۵ در هزار در مراحل خروج از روزت و شروع گلدهی انجام شد. صفات کمّی اندازه‌گیری‌شده شامل عملکرد دانه، تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در متر مربع، وزن هزار دانه و غلظت عناصر غذایی بود. تجزیه آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام گرفت. نتایج نشان داد که هرچند تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد شد اما کاربرد توأم محرک‌های رشد باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به شاهد گردید. مقدار افزایش عملکرد دانه در شرایط بدون تنش خشکی و با تنش خشکی به ترتیب ۱۶/۲ و ۲۱/۱ درصد بود که این داده‌ها بیانگر اثر بیشتر مواد محرک رشد بر افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش خشکی بود. در شرایط بدون تنش خشکی، کاربرد اسید آمینه عملکرد دانه را به طور معنی‌داری و به مقدار ۱۴/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. در شرایط تنش خشکی، بهترین نتیجه با کاربرد توأم محرک‌های رشد بدست آمد. کاربرد محرک‌های رشد سبب بهبود جذب عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی گردید. به طوری که در مورد پتاسیم که عنصری شاخص در بهبود شرایط حاکم بر گیاه در شرایط تنش خشکی است با کاربرد فولویک اسید اثر معنی‌داری بر افزایش غلظت پتاسیم نسبت به شاهد داشت و از ۲/۹ درصد به ۳/۸ درصد افزایش یافت. همچنین کاربرد توأم محرک‌های رشد سبب افزایش غلظت پتاسیم به ۳/۶ درصد شد. نتایج این تحقیق بیانگر افزایش توان تحمل به تنش خشکی و بهبود عملکرد گیاه کلزا با کاربرد توأم مواد محرک رشد بود.

واژگان کلیدی: اسید آمینه، تنش خشکی، عصاره جلبک، فولویک اسید، کلزا، هیومیک اسید.

مقدّمه

امروزه لزوم پرداختن به مدیریت تولید گیاهان زراعی در شرایط سخت محیطی به منظور دستیابی به حداکثر پتانسیل رشد و عملکرد گیاهان برای تأمین غذا، ضرورتی انکارناپذیر است [۶]. تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان زراعی و باغی در بیشتر مناطق ایران محسوب می‌گردد. با افزایش جمعیت که افزایش تقاضا برای غذا و کاهش قدرت حاصلخیزی خاک را به‌وجود می‌آورد، اهمیت استفاده از کود برای برداشت حداکثری محصولات، همزمان با حفظ خاک، بیش از پیش به‌عنوان یک عامل اقتصادی مشهود است.

گرایش به کشاورزی پایدار در راستای کاهش استفاده از نهاده‌ها و کاربرد ترکیبات جایگزین از اهمیت ویژه‌ای در

افزایش تولید محصول و حفظ حاصلخیزی پایدار خاک برخوردار است. متناسب با روند رشد جمعیت، نیاز به افزایش تولید در واحد سطح بیش از پیش احساس می‌شود. کاربرد الگوهای توسعه کشت‌وکار، باعث استفاده بیشتر از نهاده‌های کشاورزی به‌ویژه افزایش کاربرد کود شده است. استفاده از کودهای شیمیایی یک روش ساده و مؤثر برای تأمین عناصر مورد نیاز گیاه است اما این کودها، همواره با مشکلاتی از جمله هدرروی مواجه بوده و از راه‌های مختلف مانند تجزیه‌های شیمیایی و زیستی از دسترس خارج می‌شوند. بنابراین استفاده از ترکیباتی که بتوان آن‌ها را در تلفیق با کودهای شیمیایی مورد استفاده قرار داد و یا به‌عنوان جایگزین بخشی از کودهای شیمیایی قلمداد کرد همواره جزء نیازهای عمده بخش کشاورزی محسوب شده است [۱۴].

در بخش‌های عمده‌ای از ایران، تنش خشکی باعث کاهش شاخص‌های رشد و عملکرد گیاهان زراعی و به‌ویژه کلزا به‌عنوان یک محصول راهبردی می‌شود. خشکی، یک تنش چندبُعدی بوده و در سطوح مختلف اثرگذار است. در سطح گیاه، پاسخ به تنش خشکی پیچیدگی خاصی داشته و بازتابی از تلفیق اثرات تنش ناشی از کمبود آب در دسترس ریشه و پاسخ‌های مربوطه در تمام سطوح فیزیولوژیکی گیاه می‌باشد [۲۲].

در برخی از مناطق استان ایلام، عواملی نظیر وزش بادهای گرم، در آخر فصل زراعی به اثرات تنش خشکی ناشی از کمبود آب می‌افزاید. نتایج تحقیقات انجام شده نشان داده است که تنش خشکی بر تغییرات هورمونی و فیزیولوژیکی اثر گذاشته و همچنین صدمات تنش اکسیداتیو نیز از عوامل مهم محدودکننده رشد و تولیدات گیاهی بوده که در اثر شرایط خشکی ایجاد می‌گردد [۱۵].

صدمات تنش اکسیداتیو، اختلال در تعادل بین تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و مکانیسم دفاعی برطرف‌کننده این رادیکال‌ها بوده و منجر به تغییر و تخریب پروتئین‌ها، لیپیدهای غشائی و سایر اجزای سلولی می‌شود [۳۱].

گونه‌های فعال اکسیژن واکنش‌پذیر (ROS[1]) که عامل مهمی در القای تنش خشکی هستند، شکل‌هایی از اکسیژن اتمسفری هستند که تا حدودی احیا شده‌اند. برخلاف اکسیژن اتمسفری، گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر دارای توانایی نامحدود در اکسیداسیون اجزای سلولی مختلف بوده و می‌تواند منجر به تخریب اکسیداتیو سلول گردد [۲۷]. گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر در نتیجه تنش خشکی، سبب بروز صدماتی همچون اکسیدشدن لیپیدها شده و در نتیجه منجر به تغییر ساختار غشاء و در نتیجه از هم پاشیدگی یکپارچگی آن می‌شود [۳].

پیامد این تغییرات، تغییر ساختمان پروتئین‌ها و اکسیدشدن گروه‌های سولفیدریل (SH-)، غیرفعال‌شدن آنزیم‌ها، بی‌رنگ‌شدن و یا از بین رفتن رنگدانه‌هایی مانند کلروفیل و سایر ترکیبات رنگیزه‌ای و گسیختگی مداوم مولکول‌های آلی مثل DNA و در نتیجه اختلال در رشته‌های DNA و در واقع، مرگ برنامه‌ریزی‌شده سلول ذکر گردیده است [۲۸]. بنابراین در فرآیند تحمل به تنش خشکی در گیاهان، بایستی این گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر مهار گردند.

در سال‌های اخیر، تمایل به استفاده از ترکیبات طبیعی برای تحریک رشد و بیوسنتز گیاهان افزایش پیدا کرده و در شرایط تنش‌های محیطی نیز گزارش‌هایی دال بر استفاده از این ترکیبات منتشر شده است [۲]. در این راستا، اثر مثبت کودهای آلی بر گسترش و ترکیب جوامع زیستی خاک و نیز تشدید فعالیت‌های متابولیکی در داخل خاک و بافت گیاهان مورد شناسایی قرارگرفته است [۲۳].

استفاده از مواد محرک رشد، راهکاری پایدار برای چیره‌شدن بر برخی از مشکلات ناشی از هدرروی عناصر غذایی و کاهش عملکرد در زیست‌بوم‌های فعلی محسوب می‌گردد. برای مثال، از مزایای کاربرد مواد محرک رشد که یک راهکار مهم برای غلبه گیاهان بر تنش‌های محیطی نیز به‌شمار می‌آید، ایجاد گیاهانی با سیستم ریشه قوی و همچنین راندمان بالای بهره‌وری عناصر غذایی است [۱۰]. فولویک اسید در کلزا مقدار کلروفیل، و شدت فتوسنتز را افزایش و نفوذپذیری غشاء سلولی را کاهش داده و این تغییرات بیانگر افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی با کاربرد فولویک اسید است [۱۷].

در گیاهان کلزا متأثر از تنش خشکی، با محلول‌پاشی فولویک اسید، کشش روزنه‌ها کاهش یافته و این خود باعث کاهش بازبودن روزنه برگ‌ها و کاهش تعرق گردید.

[1]- Reactive Oxygen Species

هیومیک اسید و فولویک اسید باعث افزایش جذب عناصر غذایی از غشاء می‌گردند [۱۱]. اسید هیومیک، ظرفیت تبادل کاتیونی و حاصلخیزی خاک را افزایش داده و عناصر معدنی را با حل‌کردن به شکل قابل دسترس برای کلزا در می‌آورد [۱].

افزایش کیفیت و کمیت محصولات زراعی، افزایش جوانه، شکوفه و بزرگ‌شدن میوه، افزایش مقاومت گیاه به خشکی، افزایش فعالیت ریزجانداران مفید خاک، قابلیت کلات‌کنندگی عناصر کم‌مصرف مانند آهن و در نتیجه افزایش قابلیت جذب آن‌ها توسط گیاه، افزایش جذب کودهای شیمیایی در صورت استفاده همزمان با آن‌ها، افزایش تحمل گیاه به کم‌آبی و تسهیل تعریق و تعرق گیاهی و تقویت سیستم ریشه از مزایای استفاده از کودهای حاوی آمینواسید است [۲۶].

کلزا، گیاه زراعی یکساله بوده که دانه‌های آن دارای ۴۸-۴۰ درصد روغن و دارای ارقام بهاره و پاییزه با عدد کروموزومی برابر ۳۸ است. ارقام پاییزه آن دارای عملکرد بالاتری نسبت به بهاره بوده و گیاهی است بسیار مدیریت‌طلب که با رعایت اصول زراعی می‌توان عملکرد مناسبی از آن حاصل نمود [۱].

ریشه گیاه کلزا دارای یک بخش اصلی عمودی و بلند به شکل دوک بوده که قطر قسمت فوقانی آن به ۱-۳ سانتی‌متر می‌رسد و تا عمق ۸۰ سانتیمتری خاک نفوذ می‌کند. همچنین دارای ریشه‌های جانبی متعددی است که معمولاً افقی هستند و کمتر در خاک نفوذ می‌کنند [۳۶].

پس از نشانه‌های دال بر کاهش سرما، ابتدا ساقه اصلی طویل می‌شود و پس از به گل نشستن ساقه اصلی شاخه‌های فرعی نیز شروع به رشد می‌کنند. میزان شاخه‌دهی آن که مشخص‌کنندهٔ عملکرد نهایی است بستگی به رقم، رطوبت خاک و تغذیه گیاه دارد. ارتفاع ساقه در واریته‌های مختلف از ۷۵ تا ۲۰۰ سانتی‌متر متفاوت می‌باشد. کلزا گیاهی است خودگشن که میزان خودگشنی در آن ۶۷ تا ۷۸ درصد است [۳۲].

گل‌ها دو جنسی بوده و دارای قرینه سطحی هستند. هر گل دارای ۴ کاسبرگ، ۴ گلبرگ و ۶ پرچم و مادگی دو برچه‌ای می‌باشد. طول دوره گلدهی بسته به رقم و شرایط آب‌وهوایی از ۲۰-۳۵ روز تغییر می‌کند [۳۵].

عملکرد اقتصادی زراعت کلزا با توجه به هزینه‌های تولید در مناطق مختلف استان متفاوت است اما عملکرد بیشتر از ۲ تن در هکتار در شرایط تنش خشکی برای بیشتر مناطق استان ایلام اقتصادی است. از دانه کلزا، در صنایع روغن‌کشی به‌منظور استحصال روغن استفاده می‌شود و روغن آن به‌دلیل درصد بالایی از اسیدهای چرب غیراشباع، از جمله روغن‌های مطلوب به شمار می‌آید. کنجاله کلزا نیز به‌عنوان منبع تأمین خوراک دام کاربرد دارد [۳۳].

این پژوهش با توجه به شرایط خشک و نیمه‌خشک حاکم بر مناطق جنوبی استان ایلام و با توجه به اهمیت گیاه کلزا در تولید روغن انجام شد. در این پژوهش با توجه به گزارش‌هایی مبنی بر اثرات مثبت ترکیبات محرک رشد بر کاهش اثرات تنش خشکی، اثر تعدیل‌کنندگی ترکیبات محرک رشد در شرایط تنش خشکی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

محل اجرای این پژوهش، ایستگاه تحقیقاتی چرداول در استان ایلام با مختصات جغرافیائی ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه و ۳۶ ثانیه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۳۵ دقیقه و ۵۹ ثانیه طول شرقی بود. نتایج تجزیه خاک و آب محل اجرای آزمایش به‌ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است.

در این پژوهش، اثرات مواد زیستی محرک رشد گیاهی بر کاهش خسارت تنش خشکی در زراعت کلزا مورد بررسی قرار گرفت. طرح به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا گردید.

در هر آزمایش، کرت اصلی اعمال تیمارهای آبیاری شامل دو سطح زیر بود.

الف) آبیاری بعد از ۸۰ میلیمتر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیرکلاس A؛

ب) آبیاری بعد از ۱۴۰ میلیمتر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A (وزیری).

کرت فرعی شامل منبع محرک رشد مصرفی به شرح زیر بود:

۱) شاهد (بدون مصرف مواد محرک رشد)؛

۲) تیمار ۱ همراه با محلول‌پاشی L-اسید آمینه (ترکیبی از گلایسین، بتایین و پرولین) با غلظت ۵ در هزار در دو مرحله ابتدای ساقه‌روی و شروع گل دهی؛

۳) تیمار ۱ همراه با کاربرد کود آبیاری هیومیک اسید به میزان ۵ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله از رشد (آبیاری دوم و ابتدای ساقه‌روی).

۴) تیمار ۱ همراه با محلول‌پاشی فولویک اسید با غلظت ۵ در هزار در دو مرحله ابتدای ساقه‌روی و شروع گل دهی؛

۵) تیمار ۱ همراه با محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی با غلظت ۵ در هزار در دو مرحله ابتدای ساقه‌روی و شروع گل دهی؛

۶) مصرف توأم تیمارهای ۲، ۳ و ۵.

ب

۳	۶	۱	۴	۲	۵

الف

۶	۲	۵	۳	۱	۵

ب

۵	۱	۴	۲	۶	۳

الف

۴	۲	۶	۱	۳	۵

ب

۶	۳	۲	۵	۴	۱

الف

۵	۳	۱	۶	۲	۴

ترکیبات محرک رشد شامل اسید هیومیک دارای ۵۲/۹۵ درصد هیومیک اسید، اسیدآمینه حاوی ۳۶/۷۹ درصد اسید آمینه (ترکیبی از گلایسین، بتایین و پرولین)، اسید فولویک استفاده شده دارای ۲۲/۱ درصد فولویک اسید و جلبک استفاده‌شده دارای ۱۰ درصد آلژینیک اسید بود. ابتدا در پاییز و قبل از هرگونه عملیات زراعی، اقدام به نمونه‌برداری از خاک محل آزمایش برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نظیر بافت خاک، هدایت الکتریکی، اسیدیته، کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز گردید [۸].

سپس در زمانی که رطوبت خاک در نزدیکی حد ظرفیت زراعی بود، شخم زده و بلافاصله، با دیسک بستر بذر نرم و آماده گردید. با توجه به طرح آماری فوق، تعداد ۳۶ کرت به ابعاد ۴×۶ متر با حاشیه ۲ متر توسط مرزبند تراکتور احداث شده و مرزها و کانال‌های آبیاری، تعمیر و تکمیل گردیدند.

کودهای مصرف‌شده شامل کود اوره به مقدار ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه مرحله شامل: پایه، ابتدای ساقه‌دهی و انتهای ساقه‌دهی، کود سوپر فسفات تریپل به مقدار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار و کودهای کلات آهن و روی نیز با کوددهی به شکل محلول‌پاشی در دو مرحله (ابتدای ساقه‌روی و قبل از گلدهی) با غلظت سه در هزار بودند.

بذر کلزا از رقم هایولا ۵۰ بوده و ضمن ضدعفونی‌نمودن آن با سم تیامتوکسام[1] (کروزر FS350) به مقدار ۱۰ میلی‌لیتر در هر کیلوگرم بذر به صورت ردیفی کشت گردید. پس از کاشت تمام کرت‌ها در آبیاری اول و آبیاری دوم به صورت یکنواخت با استفاده از پارشال فلوم آبیاری شدند. تنش آبیاری بعد از استقرار گیاه و بعد از آبیاری دوم اعمال شد. میزان آب آبیاری مورد نیاز در تیمارهای آبیاری بر اساس تأمین رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه برای رسیدن به حد ظرفیت زراعی (FC) تعیین گردید.

اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی و از طریق نمونه‌گیری‌های خاک در وسط هر کرت انجام شد تا رطوبت تخلیه شده پس از رسیدن به تبخیر تجمعی مورد نظر مشخص گردد. مقدار آب مصرفی برای هر کرت با در

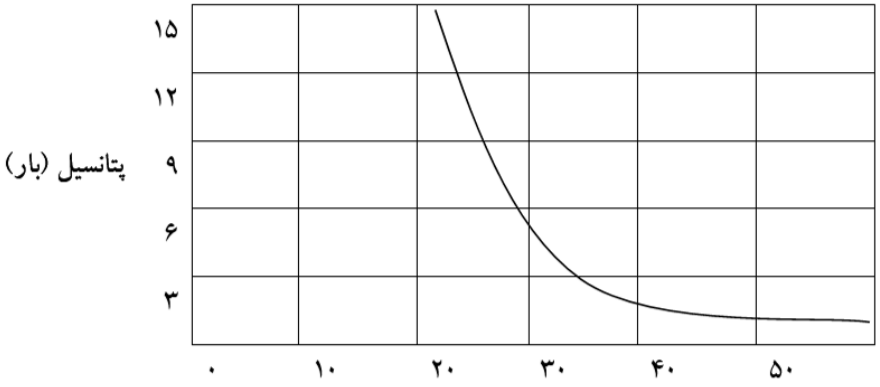
[1]- Thiamethoxam

نظر گرفتن رطوبت ظرفیت زراعی خاک، رطوبت خاک در زمان آبیاری، مساحت هر کرت و عمق توسعه ریشه و از رابطه زیر محاسبه شد.

(۱)

حجم آب = (رطوبت ظرفیت زراعی- رطوبت موجود در خاک)× وزن مخصوص ظاهری خاک × عمق توسعه ریشه × مساحت کرت

میزان آب مصرفی به وسیله پارشال فلوم نصب شده در مزرعه اندازه‌گیری شد و آبیاری هر تیمار تا رسیدن به رطوبت ظرفیت زراعی ادامه یافت. برای تعیین مقدار رطوبت خاک در شرایط ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم از دستگاه صفحه فشاری استفاده شد.



شکل ۱- منحنی مشخصه خاک با بافت لوم رسی سیلتی (با نرم‌افزار SPAW) [۲۱]

پس از برداشت، عملکرد و اجزای عملکرد (تعداد ساقه اصلی، تعداد خورجین در ساقه فرعی، تعداد خورجین کل و وزن هزار دانه) اندازه‌گیری گردید. شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه به‌میزان عملکرد کل زیستی بدست آمد. نمونه‌برداری برگ قبل از گلدهی انجام و اندازه‌گیری غلظت عناصر برگ کلزا انجام گرفت. اندازه‌گیری نیتروژن برگ کلزا پس از هضم نمونه گیاهی براساس تیتراسیون بعد از تقطیر توسط دستگاه کجلدال مدل 625M (ساخت شرکت Behr آلمان) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری فسفر، پتاسیم و عناصر آهن، روی، مس و منگنز برگ کلزا در عصاره حاصل از خاکستر گیاهی حل شده در اسید کلریدریک ۲ نرمال به روش سوزاندن خشک انجام شد [۸].

در عصاره به‌دست آمده، غلظت فسفر با استفاده از رنگ‌سنجی با معرف مولیبدات-واندات توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Jenway در طول موج ۴۲۰ نانومتر و پتاسیم به روش نشر شعله‌ای و توسط دستگاه فلیم فتومتر مدل Jenway اندازه‌گیری شد [۳۲].

تعیین عناصر آهن، روی، مس و منگنز برگ کلزا با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu-AA 6400 اندازه‌گیری شد [۸]. همچنین اسیدیته (pH) و قابلیت هدایت الکتریکی به‌ترتیب با pH متر و هدایت سنج الکتریکی و غلظت کاتیون‌های سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم و غلظت آنیون‌های کلر و بی‌کربنات خاک (برحسب میلی اکی واالان بر لیتر) با روش فائو اندازه‌گیری شدند [۷]. تجزیه داده‌های به دست آمده توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در جدول ۳ آمده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیائی عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری خاک محل اجرای طرح

اسیدیته گل اشباع	قابلیت هدایت الکتریکی	فسفر	پتاسیم	روی قابل جذب	آهن	منگنز	مس	کربن آلی	نیتروژن کل	آهک	بافت
	$dS\ m^{-1}$	$mg\ kg^{-1}$						٪			
۷/۳۳	۰/۳۱	۱۳/۲	۳۰۵	۱/۲۱	۸/۸۴	۷/۳۱	۱/۱۳	۱/۲۲	۰/۱۱	۳۳/۲	لوم رسی سیلتی

جدول ۲- نتایج تجزیه‌های شیمیایی آب [۶]

pH	EC	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^-	Na^+
	$ds\ m^{-1}$			$me\ l^{-1}$			
۷/۴۱	۰/۳۹	۱/۳۶	۱/۴۴	۰/۴۲	۱/۹۱	۰/۹۲	۰/۴۳

جدول ۳- خلاصه تجزیه واریانس (میانگین مربعات در تجزیه مرکب) عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت و اجزای عملکرد کلزا

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	شاخص برداشت	تعداد بوته در متر مربع	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه
سال	۱	۷۰۳۴۹^{ns}	۱۸۷۴^{ns}	۹۹/۷^{ns}	۷۸۴^{ns}	۸۹۷^{ns}	۴۹/۴^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}
تکرار	۲	۱۰۸۵^{ns}	۳۷۳۷^{ns}	۳/۹^{ns}	۳۳/۰^{ns}	۹۷۳^{ns}	۳/۹۹^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}
تنش خشکی	۱	۱۲۰۷۳۴۲۶**	۳۹۳۳۳۷۹۹۳*	۴۹/۳^{ns}	۷۳۳**	۳۷۳۹۳*	۳۳۷**	۳۰/۹**
سال×تنش خشکی	۱	۱۷۸۱^{ns}	۹۷۳۷۸^{ns}	۸۳/۸^{ns}	۸۷/۸^{ns}	۳۸/۳^{ns}	۷۸/۴^{ns}	۰/۰۳^{ns}
خطای اصلی	۴	۷۵۲۵۹	۲۵۲۹	۱۰۳/۷	۹۵۸	۹۸۰	۵۹	۰/۰۰۹
محرک رشد	۵	۹۷۰۹۳**	۷۳۷۸۹۳*	۹۳/۹^{ns}	۱۳/۹^{ns}	۳۳/۴^{ns}	۳/۹^{ns}	۰/۰۳۳^{ns}
سال×محرک رشد	۵	۲۸۳۲^{ns}	۶۳۵۲۶^{ns}	۷۵/۳^{ns}	۲۶/۲^{ns}	۴۳/۵^{ns}	۱۳/۱^{ns}	۰/۰۴۱^{ns}
تنش خشکی× محرک رشد	۵	۶۵۵۲۱۰۳**	۳۱۹۳۰۳۷*	۴/۳۹^{ns}	۳/۹۷^{ns}	۷۴۳^{ns}	۴۸/۳**	۸۹/۴*
سال×تنش خشکی×محرک رشد	۵	۶۳۱۰۴^{ns}	۳۲۹۰۹۳^{ns}	۷۹/۳^{ns}	۹/۴۳^{ns}	۹۹/۹^{ns}	۰/۸۳^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}
خطای آزمایش	۴۴	۷۶۰۳۲	۳۸۱۹۳۳۰	۳/۰۷	۸۳۷	۶۳۷	۳/۸۴	۰/۲۷۹
CV%		۱۷/۶	۲۰/۵	۱۴/۹	۱۵/۴	۱۸/۳	۱۶/۸	۱۹/۱

عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه و عملکرد زیستی به ترتیب در سطح یک و پنج درصد دارای تفاوت‌های معنی‌دار و بر شاخص برداشت بدون تفاوت معنی‌دار بود (جدول ۳).

عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی (۲۳۰۵ کیلوگرم در هکتار) کاهش ۴۱/۸ درصدی نسبت به شاهد (۳۹۶۲ کیلوگرم در هکتار) نشان داد و این کاهش در عملکرد زیستی، ۳۶/۲ درصد بود. با توجه به این تغییرات در عملکرد دانه و بیولوژیک، شاخص برداشت از ۲۸/۶ درصد

در تیمار بدون تنش خشکی به ۲۶/۱ درصد در شرایط تنش خشکی کاهش یافت (جدول ۴).

همچنین اثر کاربرد مواد محرک رشد بر عملکرد دانه و عملکرد زیستی به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار شد، اما بر شاخص برداشت، از نظر آماری تفاوت‌های معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). در مورد عملکرد دانه، کاربرد توأم اسید آمینه (ترکیبی از گلایسین، بتایین و پرولین)، هیومیک اسید و جلبک دریایی با عملکرد ۳۴۹۳ کیلوگرم در هکتار (۱۷/۳ درصد افزایش نسبت به شاهد) تیمار برتر بود.

همچنین تیمار کاربرد تنهای اسید آمینه نسبت به شاهد در گروه آماری بالاتری قرار گرفت. به‌طوری که ۱۱/۷ درصد افزایش عملکرد دانه در این تیمارها نسبت به شاهد حاصل گردید (جدول ۵). عملکرد زیستی کلزا با کاربرد توأم اسید آمینه، هیومیک اسید و جلبک دریایی به ۱۲۳۸۴ کیلوگرم در هکتار رسید که نسبت به عدم‌کاربرد مواد محرک رشد ۱۱/۱ درصد افزایش عملکرد نشان داد (جدول ۵). همچنین شاخص برداشت با کاربرد توأم اسید آمینه، هیومیک اسید و جلبک دریایی به ۲۸/۱ درصد رسید (جدول ۵).

جدول ۴- تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت، تعداد بوته در متر مربع، دانه در خورجین و وزن هزار دانه کلزا

آبیاری	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	شاخص برداشت	تعداد بوته در متر مربع	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه
	(کیلوگرم در هکتار)		(درصد)				(گرم)
آبیاری بهینه	۳۹۶۲a	۱۳۸۲۱a	۲۸/۷a	۱۱۶a	۲۸۹a	۲۶/۱a	۴/۰۱a
تنش خشکی	۲۳۰۵b	۸۸۲۱b	۲۶/۴b	۱۰۵b	۲۲۶b	۱۹/۹b	۲/۹۸b

حرف یا حروف مشابه نشان‌دهنده عدم‌تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها است.

جدول ۵- تأثیر کاربرد مواد محرک رشد بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی و اجزای عملکرد کلزا

مصرف مواد محرک رشد	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	شاخص برداشت	تعداد بوته در متر مربع	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه
	(کیلوگرم در هکتار)		(درصد)				(گرم)
شاهد	۲۹۷۸c	۱۱۱۵۰c	۲۶/۶a	۱۰۹a	۲۵۴a	۲۱/۱c	۳/۲۳b
اسید آمینه	۳۳۲۶ab	۱۲۲۶۸ab	۲۷/۱ a	۱۱۱a	۲۶۷a	۲۴/۰ab	۳/۶۷ab
هیومیک اسید	۳۰۸۵b	۱۱۵۹۹b	۲۶/۰ a	۱۰۹a	۲۶۱a	۲۲/۱bc	۳/۵۲ab
فولویک اسید	۳۲۶۵b	۱۱۵۷۷bc	۲۷/۴a	۱۱۱a	۲۶۴a	۲۳/۱b	۳/۵۷ab
جلبک دریایی	۳۰۵۳bc	۱۱۴۲۹b	۲۶/۱a	۱۱۱a	۲۵۱a	۲۱/۸bc	۳/۳۶ab
اسید آمینه+هیومیک اسید+جلبک دریایی	۳۴۹۳a	۱۲۳۸۴a	۲۸/۱a	۱۱۲a	۲۶۹a	۲۴/۷a	۳/۷۸a

حرف یا حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها است.

بیشترین عملکرد دانه در برهمکنش تنش خشکی و مصرف مواد محرک رشد مربوط به تیمار آبیاری بعداز ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A همراه با مصرف اسیدآمینه، هیومیک اسید و جلبک دریایی (با ۴۲۸۷ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۶) که نشان‌دهنده ۱۷/۴ درصد افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد بود. به‌نظر

می‌رسد که به‌دلیل کاهش تنش و افزایش آب در دسترس، طول دوره زایشی و میزان فتوسنتز افزایش می‌یابد که منجر به تشکیل گل‌های بیشتر در هر گل آذین شده، همچنین طولانی‌ترشدن دوره پرشدن دانه در اثر کاهش تنش، باعث اثر بر اندازه و وزن دانه و در آخر، بر عملکرد دانه می‌شود. همچنین تشکیل کمپلکس هیومات با برخی از عناصر، شبیه کلات‌ها عمل کرده و باعث افزایش قابلیت جذب عناصر می‌گردد.

بیشترین عملکرد زیستی کلزا در برهمکنش‌ها، مربوط به تیمار آبیاری بعد از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A همراه با مصرف اسیدآمینه، هیومیک اسید و جلبک دریایی (با ۱۵۰۴۳ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۵). افزایش عملکرد زیستی در این تیمار نسبت به شاهد برابر با ۱۳/۷ درصد بود. همچنین بیشترین شاخص برداشت در برهمکنش‌ها، مربوط به تیمار آبیاری بعد از ۸۰ میلیمتر تبخیر از تشتک کلاس A همراه با مصرف اسیدآمینه (با شاخص برداشت ۲۸/۵ درصد) بود (جدول ۶).

جدول ۶- تأثیر برهمکنش تنش خشکی و مصرف مواد محرک رشد بر عملکرد دانه و بیولوژیکی کلزا

تنش	شاهد	اسید آمینه	هیومیک اسید	فولویک اسید	جلبک دریایی	اسیدآمینه+هیومیک اسید+ جلبک دریایی
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)						
آبیاری بهینه	۳۶۵۲c	۴۲۳۶ab	۳۸۹۵ab	۴۱۰۲ab	۳۷۲۱abc	۴۲۸۷a
تنش خشکی	۲۱۶۱d	۲۳۳۰cd	۲۱۰۱d	۲۴۵۰cd	۲۲۰۹cd	۲۶۲۴cd
عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار)						
آبیاری بهینه	۱۳۲۲۵b	۱۴۵۶۲ab	۱۳۸۹۱ab	۱۴۴۱۱ab	۱۳۵۹۵ab	۱۵۰۴۳a
تنش خشکی	۸۶۹۱e	۹۱۷۵d	۸۸۶۶d	۹۲۱۸cd	۹۰۲۶d	۹۶۰۱c
شاخص برداشت (درصد)						
آبیاری بهینه	۲۷/۶b	۲۸/۱ab	۲۸/۰ab	۲۸/۴ab	۲۸/۴ab	۲۸/۵a
تنش خشکی	۲۴/۲d	۲۴/۶cd	۲۳/۷cd	۲۶/۶c	۲۴/۵cd	۲۷/۳c

حرف یا حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها است.

تعداد بوته در متر مربع و تعداد خورجین در بوته

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش خشکی بر تعداد بوته در متر مربع و تعداد خورجین در بوته به‌ترتیب در سطح یک و پنج درصد دارای تفاوت‌های معنی‌داری بود (جدول ۳). تعداد بوته در متر مربع در شرایط تنش خشکی (۱۰۵ بوته) کاهش ۱۰/۵ درصدی نسبت به شاهد (۱۱۶ بوته) نشان داد و این کاهش در مورد تعداد خورجین در بوته، ۲۷/۹ درصد بود (جدول ۴).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر مصرف مواد محرک رشد بر تعداد بوته در متر مربع و تعداد خورجین در بوته تفاوت‌های معنی‌داری نداشت (جدول ۳). تعداد خورجین در بوته با کاربرد توأم اسید آمینه، هیومیک اسید و جلبک دریایی به ۲۶۹ خورجین رسید که نسبت به عدم‌کاربرد مواد محرک رشد ۵/۹۱ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵).

تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش خشکی بر تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه در سطح یک درصد دارای تفاوت‌های معنی‌داری بود (جدول ۳).

تعداد دانه در خورجین در شرایط تنش خشکی (با ۱۹/۹ دانه در خورجین) کاهش ۳۱/۱ درصدی نسبت به شاهد نشان داد و این کاهش در وزن هزار دانه، ۲۵/۷ درصد بود (جدول ۴). تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر مصرف مواد محرک رشد بر تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه به‌ترتیب در سطح یک و پنج درصد دارای تفاوت‌های معنی‌داری بود (جدول ۳). تعداد دانه در خورجین با کاربرد توأم اسید آمینه، هیومیک اسید و جلبک دریایی به ۲۴/۷ دانه رسید که نسبت به عدم‌کاربرد مواد محرک رشد (با ۱۷/۱ درصد افزایش) در گروه آماری برتر قرار گرفت (جدول ۵). تیمارهای مصرف اسید آمینه و فولویک اسید به‌ترتیب با تعداد ۲۴/۰ و ۲۳/۱ دانه در خورجین نیز بالاتر از شاهد قرار گرفتند، به‌طوری که به‌ترتیب ۱۳/۷ و ۹/۴۸ درصد افزایش در تعداد دانه در خورجین در این تیمارها نسبت به شاهد حاصل شد (جدول ۵). همچنین در مورد وزن هزار دانه کلزا، تیمار کاربرد توأم اسید آمینه، هیومیک اسید و جلبک دریایی با وزن هزار دانه ۳/۷۸ گرم (۱۷/۰ درصد افزایش نسبت به شاهد) در گروه آماری برتر قرار گرفت (جدول ۵).

تغییرات عناصر غذایی در برگ کلزا در اثر تنش خشکی

نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) غلظت عناصر غذایی برگ کلزا در سال اول در جدول ۷ ارائه داده‌شده‌است. سطوح آبیاری و محرک‌های رشد، اثر معنی‌داری در سطح یک‌درصد بر غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در برگ داشت.

تنش خشکی می‌تواند از راه کاهش انتقال عناصر از خاک به ریشه، تغییر در میزان جذب یون‌ها بوسیله ریشه، تغییر تقاضای ریشه و اندام‌های هوایی برای عناصر غذایی، کاهش انتقال عناصر غذایی درون آوندهای گیاه و یا تجمع یون‌هایی که ممکن است در متابولیسم اختلال ایجاد کرده، محتوای عناصر غذایی را تحت اثر قرار دهد. اثر متقابل آبیاری در محرک رشد بجز کلسیم، در سایر عناصر غذایی اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشت (جدول ۷).

بیشترین غلظت نیتروژن و فسفر برگ کلزا در اثر سطوح آبیاری به‌ترتیب از آبیاری بهینه و تنش خشکی (جدول ۸) و در اثر تیمارهای محرک رشد، از کاربرد اسید آمینه (ترکیبی از گلایسین، بتایین و پرولین) و ترکیبی از تمام مواد محرک رشد بدست آمد (جدول ۹).

جدول ۷ - تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تغییرات غلظت عناصر غذایی برگ کلزا

منابع تغییر	درجه آزادی	N	P	K	S	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		درصد						میلی‌گرم بر کیلوگرم			
تکرار	۲	۰/۰۲ *	۰/۰۰۱ *	۰/۰۲ *	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۴**	۰/۲۳*	۹۲۲**	۶/۸**	۳۹/۴**	۰/۰۳**
آبیاری	۱	۱/۴ **	۰/۰۶ **	۰/۷ **	۰/۰۹**	۰/۰۶**	۶/۸**	۵۱۳۳۷**	۳۹۶**	۱۵۰۲**	۰/۵۵**
خطای اصلی	۲	۰/۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	/۰۰۰۳	/۰۰۰۱	۱	۴۰	۰/۱۳	۲/۴	۰/۰۰۴
محرک رشد	۵	۲/۴ **	۰/۰۶ **	۰/۴۲ **	۰/۱**	۰/۰۶**	۷/۱**	۳۴۹۲۲**	۳۰۰**	۱۵۷۰**	۰/۷۷**
آبیاری×محرک رشد	۵	۰/۰۶**	۰/۰۰۱ **	۰/۰۸ **	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۰۲ns	۰/۲۲**	۴۳۴۹**	۱۶/۹**	۶۸**	۰/۰۴**
خطا فرعی	۲۰	۰/۱	۰/۰۰۷	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۲۲	۹/۴	۰/۷۴	۱/۹	۰/۰۵
ضریب تغییرات	-	۲/۸	۵/۱	۲/۱	۳/۰	۷/۰	۲/۷	۴/۷	۱/۶	۲/۵	۳/۳

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم‌معنی‌داری، اثر معنی‌دار در سطح ۵ درصد و در سطح یک درصد است.

جدول ۸- اثر اصلی تیمارهای آبیاری بر غلظت عناصر غذایی برگ کلزا

سطوح آبیاری	N	P	K	S	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	درصد						میلی‌گرم بر کیلوگرم			
آبیاری بهینه	۳/۶^{a}	۰/۴۹^{a}	۳/۴^{a}	۰/۶^{a}	۰/۳۸^{a}	۸/۳^{a}	۲۴۰^{a}	۴۹/۸^{a}	۸۵/۹^{a}	۱/۶^{a}
تنش خشکی	۳/۲^{b}	۰/۴۱^{b}	۳/۱^{b}	۰/۵^{b}	۰/۳۰^{b}	۷/۴^{b}	۱۶۴^{b}	۴۳/۲^{b}	۷۲/۹^{b}	۱/۴^{b}

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف آماری مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

جدول ۹- اثر اصلی تیمارهای محرک رشد بر غلظت عناصر غذایی برگ کلزا

محرک‌های رشد	N	P	K	S	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	درصد						میلی‌گرم بر کیلوگرم			
شاهد	۲/۴^{e}	۰/۳^{e}	۲/۹^{e}	۰/۴^{e}	۰/۲۰^{e}	۶/۴^{e}	۹۸/۱^{f}	۳۴/۷^{f}	۵۴/۳^{f}	۱/۱^{e}
آمینو اسید	۳/۹^{b}	۰/۴۹^{b}	۳/۴^{b}	۰/۵۹^{b}	۰/۲۹^{d}	۷/۳^{d}	۱۶۱/۵^{e}	۴۳/۶^{e}	۷۳/۱^{e}	۱/۴^{d}
هیومیک اسید	۳/۲^{d}	۰/۴۸^{b}	۳/۳^{c}	۰/۵۳^{c}	۰/۳۳^{c}	۷/۹^{c}	۱۸۷/۲^{d}	۴۳/۶^{d}	۷۷/۸^{d}	۱/۴^{d}
فولویک اسید	۳/۳^{dc}	۰/۴۵^{c}	۳/۷^{a}	۰/۵۱^{cd}	۰/۳۶^{b}	۸/۲^{b}	۲۰۹/۰^{c}	۴۸/۳^{c}	۸۱/۳^{c}	۱/۶^{c}
عصاره جلبک	۳/۴^{c}	۰/۴^{d}	۳/۲^{d}	۰/۵^{d}	۰/۳۶^{b}	۸/۱^{b}	۲۳۳/۷^{b}	۵۰/۱^{b}	۸۶/۹^{b}	۱/۷^{b}
ترکیبی از مواد محرک رشد	۳/۴^{a}	۰/۶۰^{a}	۳/۵^{ab}	۰/۷۸^{a}	۰/۴۹^{a}	۹/۶^{a}	۳۲۶/۰^{a}	۵۵/۸^{a}	۱۰۳/۴^{a}	۲/۲^{a}

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف آماری مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

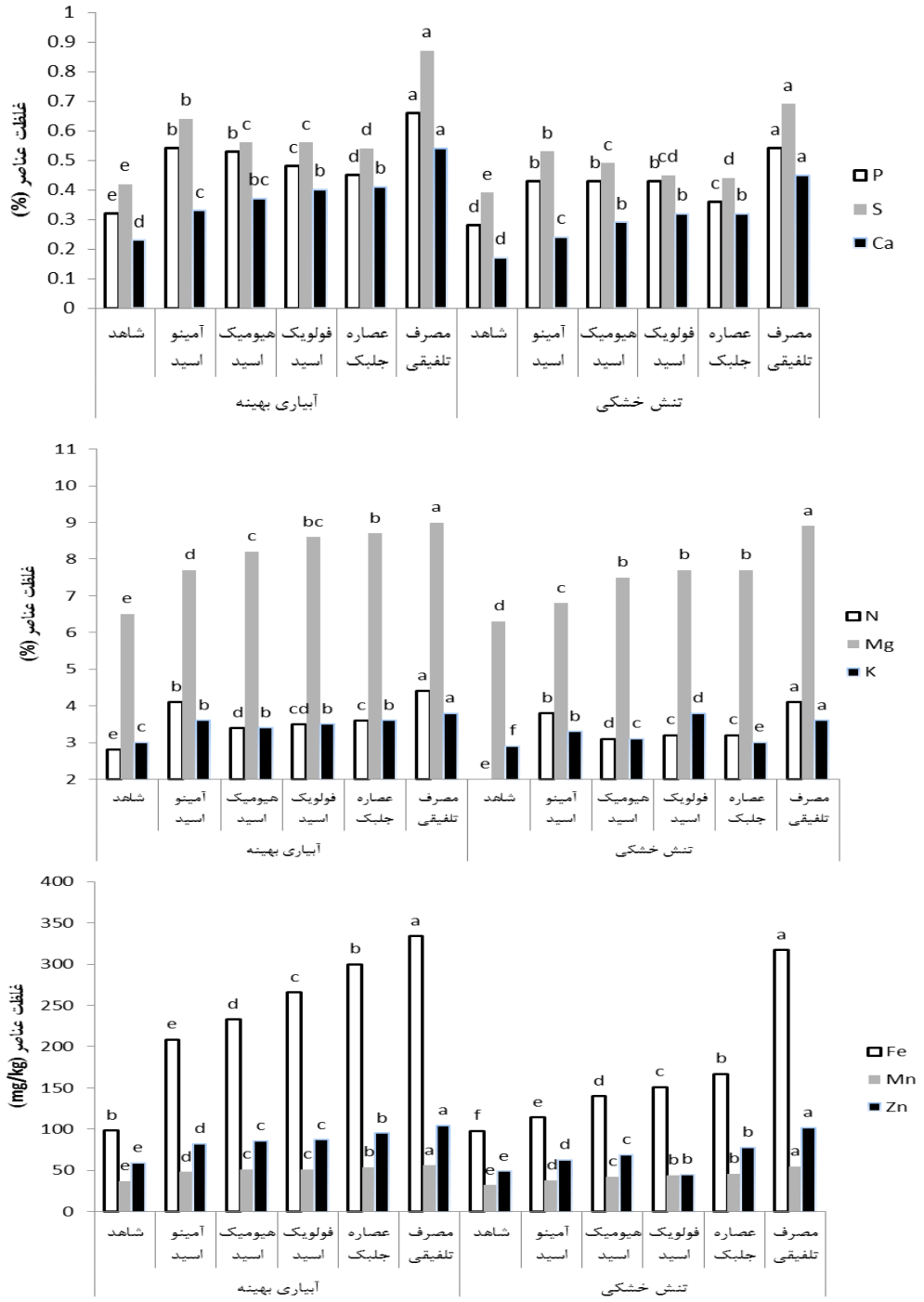
بیشترین غلظت‌های پتاسیم و گوگرد به‌ترتیب از کاربرد اسید فولویک و ترکیبی از مواد محرک رشد بدست آمد. کاربرد اسید هیومیک بیشترین اثر را بر غلظت عنصر غذایی فسفر داشت. همچنین عصاره جلبک دریایی نسبت به سایر محرک‌های رشد، بیشترین اثر را بر غلظت کلسیم، منیزیم، آهن، مس، روی و منگنز داشت.

اثر بر همکنش سطوح آبیاری و تیمارهای محرک رشد بر غلظت عناصر غذایی برگ کلزا در شکل ۱ نشان داده شده است. در شرایط بهینه و بدون تنش خشکی، بیشترین غلظت نیتروژن مربوط به تیمارهای مصرف توأم> آمینو اسید> عصاره جلبک دریایی≥ فولویک اسید ≥ اسید هیومیک> شاهد بود. هرچند در شرایط تنش خشکی، ترتیب اثر بخشی تیمارها بر غلظت نیتروژن برگ، مشابه شرایط بدون تنش بود، اما غلظت نیتروژن برگ در تمام تیمارها نسبت به شرایط بدون تنش کمتر بود. در شرایط بدون تنش خشکی، بیشترین غلظت فسفر برگ به ترتیب مربوط به مصرف توأم> اسید هیومیک ≥ آمینو اسید> فولویک اسید > عصاره جلبک دریایی > شاهد بود که در شرایط تنش بدین ترتیب مصرف توأم> هیومیک اسید = آمینو اسید= فولویک اسید> عصاره جلبک دریایی > شاهد تغییر یافت.

در شرایط بدون تنش، بیشترین غلظت پتاسیم برگ مربوط به کاربرد توأم ترکیبات محرک رشد بود. هرچند اثر محرک‌های رشد نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار بود، اما اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود نداشت. در شرایط تنش خشکی، برعکس شرایط آبیاری بهینه، بین تیمارهای محرک رشد، اختلاف معنی‌دار وجود داشت.

در شرایط بدون تنش، بیشترین غلظت گوگرد در برگ کلزا به‌ترتیب مربوط به مصرف توأم> آمینو اسید> هیومیک اسید = فولویک اسید> عصاره جلبک دریایی > شاهد بود که در شرایط تنش نیز این ترتیب وجود داشت.

در مورد عناصر روی، منگنز، آهن و مس کاربرد توأم مواد محرک رشد باعث افزایش جذب این عناصر نسبت به شاهد گردید (شکل ۱). در شرایط بدون تنش خشکی، کاربرد ترکیبی از مواد محرک رشد و کاربرد اسید آمینه و در شرایط تنش خشکی، کاربرد ترکیبی از مواد محرک رشد و کاربرد فولویک اسید بیشترین غلظت عناصر کم مصرف را حاصل کردند.



شکل ۱- اثر بر همکنش سطوح آبیاری و تیمارهای محرک رشد بر غلظت عناصر غذایی برگ کلزا

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در شرایط تنش خشکی، حتی با کاربرد محرک‌های رشد، اجزای عملکرد و عملکرد دانه کاهش معنی‌داری نسبت به شرایط بهینه رطوبتی نشان دادند. با این حال، با کاربرد مواد محرک رشد، ۶/۲۱ درصد از افت عملکرد دانه جبران شد. در تأیید این نتایج، برهان‌الدین و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که کاربرد مواد محرک رشد سبب بهبود رشد و افزایش عملکرد خانواده براسیکاسه[1] (که گیاه کلزا نیز جزئی این خانواده است) در شرایط تنش خشکی گردید [۴].

بر اساس نتایج این تحقیق، ترکیبی از مواد محرک رشد، بسیاری از ویژگی‌های کمّی و کیفی گیاه را هم در شرایط رطوبت بهینه و هم در شرایط تنش خشکی تحت تأثیر خود قرار داد. در شرایط تنش خشکی، کاربرد جداگانه هر یک از مواد محرک رشد (به ویژه فولویک اسید) نیز باعث افزایش تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در واحد سطح گردید. در همین مورد یانگ و همکاران (۲۰۲۰) بهبود اجزای عملکرد ذرت را با کاربرد فولویک اسید گزارش کردند[۳۴].

در شرایط بدون تنش خشکی، کاربرد اسید آمینه و در شرایط دارای تنش خشکی، کاربرد فولویک اسید اثر بیشتری بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت عناصر غذایی داشت. در تضاد با این نتایج، رفیع و همکاران (۲۰۲۱) در مورد گندم گزارش کردند که تفاوتی بین فولویک اسید و اسید آمینه وجود نداشته و هر دو اثر مثبتی در شرایط تنش خشکی داشتند [۲۶].

در شرایط تنش خشکی، در بین اجزای عملکرد، تعداد دانه در سنبله اثرپذیری بیشتری از کاربرد فولویک اسید داشت. همانند پژوهش پرانکیتین و همکاران (۲۰۱۵)، در پژوهش حاضر نیز مشخص شد که در شرایط تنش خشکی، اثر مفید مواد محرک رشد به عنوان یک عامل القاءکننده تحمل به تنش خشکی در گیاه، کارایی بیشتری نسبت به کاربرد آن‌ها در شرایط بهینه رطوبتی داشت [۲۴].

کاربرد مواد محرک رشد نسبت به تیمار شاهد باعث بهبود غلظت عناصر غذایی در کلزا شد. بیشترین غلظت نیتروژن و فسفر برگ کلزا به‌ترتیب از کاربرد اسید آمینه (ترکیبی از گلایسین، بتایین و پرولین) و ترکیبی از تمام مواد محرک رشد بدست آمد. ناوارو لئون و همکاران (۲۰۲۲) نیز بر اثر کاربرد مواد محرک رشد بر پایه اسیدهای آمینه بر افزایش غلظت نیتروژن در گیاه کاهو تأکید داشتند [۲۲].

پرانکیتین و همکاران (۲۰۱۵) در شرایط تنش خشکی در گیاه جو نشان دادند که کاربرد ترکیبی از اسید آمینه‌های مختلف سبب افزایش غلظت فسفر علاوه بر نیتروژن می‌شود [۲۴]. هاسکا و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که یکی از اثرات کاربرد محلول‌پاشی اسید فولویک افزایش غلظت پتاسیم بود [۱۱].

کاربرد اسید هیومیک بیشترین اثر را بر غلظت عنصر غذایی فسفر داشت. لیو و همکاران (۲۰۲۳) ضمن گزارش اثر اسید هیومیک بر متحرک‌سازی ترکیبات کم محلول فسفاته در خاک، بر افزایش قابلیت جذب فسفر و جذب آن به وسیله گیاه تأکید داشتند [۱۵]. عصاره جلبک دریایی نسبت به سایر محرک‌های رشد، بیشترین اثر را بر غلظت کلسیم، منیزیم، آهن، مس، روی و منگنز داشت [۱۶].

مصطفی و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که عصاره جلبک دریایی *Chlorella vulgaris* به‌دلیل جذب عناصر آهن و روی محلول آب و جذب آن در بافت‌های خود توانست سبب افزایش غلظت این عناصر کم مصرف در گوجه فرنگی شود [۲۰]. کاربرد توأم محرک‌های رشد نسبت به تیمار شاهد و کاربرد هر یک از محرک‌های رشد، بیشترین اثر را بر غلظت عناصر غذایی داشت.

بر اساس تحقیقات گرامنو و همکاران (۲۰۲۳)، مواد محرک رشد هریک به دلیل مکانیسم‌های مختلفی که در جذب عناصر و اثر بر ویژگی‌های ریزوسفر دارند توانایی کمک به گیاه در جذب عناصر غذایی مختلفی را دارند [۱۰]. در شرایط رطوبت بهینه، بیشترین غلظت نیتروژن مربوط به تیمارهای مصرف توأم> آمینو اسید> عصاره جلبک دریایی≥ فولویک اسید ≥ اسید هیومیک> شاهد بود. در تحقیقات منصور و همکاران (۲۰۲۳) مشخص گردید که کاربرد ترکیبی از محرک‌های رشد ضمن افزایش طول ریشه‌های موئین، سبب افزایش جذب عناصر غذایی در ذرت گردید [۱۸].

[1]- *Brassicaceae*

هرچند در شرایط تنش خشکی، ترتیب اثر بخشی تیمارها بر غلظت نیتروژن برگ، مشابه شرایط بدون تنش بود، اما غلظت نیتروژن برگ در تمام تیمارها نسبت به شرایط بدون تنش کمتر بود. در شرایط بدون تنش خشکی، بیشترین غلظت فسفر برگ به‌ترتیب مربوط به مصرف توأم> اسید هیومیک ≤ آمینو اسید> فولویک اسید > عصاره جلبک دریایی > شاهد بود که در شرایط تنش بدین ترتیب مصرف توأم> هیومیک اسید = آمینو اسید= فولویک اسید> عصاره جلبک دریایی > شاهد تغییر یافت. کاربرد هیومیک اسید ضمن افزایش ترشحات ریشه، سبب واجذبی بیشتر فسفر از سطح ذرات خاک و در نتیجه موجب افزایش جذب فسفر بوسیله ریشه گردید [۹].

در شرایط بدون تنش، بیشترین غلظت پتاسیم برگ مربوط به مصرف توأم بود. هرچند اثر محرک‌های رشد نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار بود، اما اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود نداشت. در شرایط تنش خشکی، برعکس شرایط آبیاری بهینه، بین تیمارهای محرک رشد، اختلاف معنی‌دار وجود داشت. در شرایط بدون تنش، بیشترین غلظت گوگرد در برگ کلزا به ترتیب مربوط به مصرف توأم> آمینو اسید> هیومیک اسید = فولویک اسید> عصاره جلبک دریایی > شاهد بود که در شرایط تنش نیز این ترتیب وجود داشت. در مورد عناصر روی، منگنز، آهن و مس کاربرد توأم مواد محرک رشد باعث افزایش جذب این عناصر نسبت به شاهد گردید که به‌دلیل کاهش موضعی اسیدیته خاک در ریزوسفر با توجه به ترشحات مواد آلی می‌تواند باشد [۵].

در شرایط بدون تنش خشکی، کاربرد ترکیبی از مواد محرک رشد و کاربرد اسید آمینه و در شرایط تنش خشکی، کاربرد ترکیبی از مواد محرک رشد و کاربرد فولویک اسید بیشترین غلظت عناصر کم مصرف را حاصل کردند. در تأیید این نتیجه، لاملوم و همکاران (۲۰۲۳) در گندم با کاربرد فولویک اسید افزایش غلظت عناصر کم مصرف را گزارش کردند [۱۴].

عصاره جلبک دریایی به سبب بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه باعث افزایش کارایی جذب عناصری از جمله روی و سایر عناصر کم مصرف شده و عملکرد محصول را افزایش داد. کاربرد جلبک دریایی باعث تغییر در فعالیت آبسیزیک اسید در گیاه نیز شده که بستگی به شرایط تنش خشکی نیز دارد. شرما و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کرداند که هر عاملی که باعث تنظیم آبسیزیک اسید در گیاه گردد می‌تواند بر عملکرد گیاه موثر باشد. کاربرد جلبک دریایی در واقع بر تنظیم آبسیزیک اسید مؤثر است. آبسیزیک اسید در مقدار کم، یکی از عوامل تنظیم کننده هدایت هیدرولیکی آب در گیاه می‌باشد [۲۷].

در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش خشکی، کاربرد ترکیبات محرک رشد موجب افزایش عملکرد دانه کلزا نسبت به شاهد شد. در شرایط بدون تنش خشکی، کاربرد اسیدآمینه، عملکرد دانه را به طور معنی‌داری و به مقدار ۱۴/۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. بهترین نتیجه در شرایط تنش خشکی از کاربرد توأم مواد محرک رشد حاصل گردید. افزایش عملکرد در شرایط بهینه و تنش خشکی با کاربرد توأم محرک‌های رشد به‌ترتیب ۲۱/۳ و ۱۶/۵ درصد بود. اسید آمینه در مقایسه با سایر محرک‌های رشد، اثر بیشتری در غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم وگوگرد و فولویک اسید اثر بیشتری در غلظت کلسیم و منیزیم داشت.

در همین راستا، محمد و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که فولویک اسید بر افزایش فسفر و پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بیشتر بر غلظت نیتروژن، روی و منگنز اثرگذار است [۱۹]. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که هر یک از مواد محرک رشد، موجب جذب بیشتر عنصر و یا عناصر خاصی می‌گردد. ترکیبات محرک رشد با بیان ژن‌های کلیدی درگیر در جذب و متابولیسم عناصر غذایی، سبب جذب کارآمد عناصر غذایی می‌گردند [۳۳].

با توجه به این که حد بهینه نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در برگ کلزا به ترتیب بین ۲/۶ تا ۳/۱، ۰/۲ تا ۰/۴ و ۱/۷ تا ۲/۷ درصد بیان می‌کنند [۱۷]، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که غلظت نیتروژن و فسفر تا حدودی زیر حد بهینه بوده و با کاربرد ترکیبات محرک رشد، غلظت نیتروژن و فسفر در اندام هوایی گیاه افزایش یافت. هرناندز جیمنز و همکاران (۲۰۲۰) ضمن تأیید این موضوع اظهار داشتند که کاربرد محرک‌های رشد می‌تواند شکل‌های

نامحلول معدنی و آلی فسفر را به شکل‌های قابل جذب تبدیل کند و جذب فسفر را افزایش دهد [۱۲].

لیو و همکاران (۲۰۲۳) در تأیید اثر مواد محرک رشد بر بهبود وضعیت تغذیه گیاه گزارش کردند که اسید هیومیک، رشد ریشه را تحریک کرده و سبب افزایش تماس بین خاک و ریشه و دسترسی بیشتر به عناصر غذایی می‌شود [۱۵]. محرک‌های رشد می‌توانند فعالیت میکروبیولوژیکی و آنزیمی خاک را افزایش دهند. این ترکیبات می‌توانند بر ساختار ریشه اثر گذاشته و حلالیت و انتقال عناصر کم‌مصرف را تغییر دهند [۹].

حد بهینه آهن و منگنز را در برگ کلزا به‌ترتیب بین ۳۰ تا ۲۰۰ و ۲۵ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و حد بهینه روی و مس به ترتیب ۱۸ تا ۷۰ و ۵ تا ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بیان می‌کنند. بنابراین اگرچه در پاره‌ای از موارد میزان عناصر کم مصرف کمتر از حد بهینه بود، اما مصرف توأم ترکیبات محرک رشد، غلظت این عناصر را تا حد بهینه رساند.

به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط تنش خشکی، هرچند قابلیت جذب عناصر غذایی توسط گیاه کلزا کاهش یافت (به دلیل محدودشدن انتقال اسیمیلات‌ها) اما کاربرد مواد محرک رشد سبب بهبود جذب عناصر غذایی (بین ۱۲ تا ۲۶ درصد بسته به عنصر غذایی) شده و عملکرد محصول را ارتقاء بخشید. در منابع، بهبود شرایط رشد گیاه به دلایلی از جمله ذخیره انرژی حاصل از کاربرد خارجی مواد محرک‌های رشد مانند اسید آمینه به جای تولید آن در گیاه ذکر شده است [۲۹].

در این تحقیق، کاربرد توأم ترکیبات محرک رشد اثر بارزتری بر غلظت عناصر غذایی داشت که در نتیجه افزایش عملکرد و اجزای عملکرد کلزا حاصل شد. بنابراین کاربرد توأم ترکیبات محرک رشد می‌تواند برای بهبود جذب عناصر غذایی و در نتیجه افزایش عملکرد دانه مورد استفاده قرار گیرد.

References

[1]. Ahmad, Z., Barutçular, C., Zia Ur Rehman, M., Sabir Tariq, R. M., Afzal, M., Waraich, E. A., & Nawaz, H. (2022). Pod shattering in canola reduced by mitigating drought stress through silicon application and molecular approaches-A review. *Journal of Plant Nutrition*, *46*(1), 101-128. doi: 10.1080/01904167.2022.2027972

[2]. Akram, N. A., Saleem, M. H., Shafiq, S., Naz, H., Farid-ul-Haq, M., Ali, B., & Qureshi, K. A. (2022). Phytoextracts as crop biostimulants and natural protective agents—a critical review. *Sustainability*, *14*(4), 14498. doi: 10.3390/su142114498

[3]. Anli, M., Boutasknit, A., Ben-Laoaune, R., Ait-El-Mokhtar, M., Fakhech, A., El Modafar, C., & Meddich, A. (2022). Use of Biostimulants to Improve Drought Tolerance in Cereals. *In Sustainable Remedies for Abiotic Stress in Cereals* (pp. 519-555). *Singapore: Springer Nature Singapore*.

[4]. Borhannuddin Bhuyan, M. H. M., Mohsin, S. M., Mahmud, J. A., & Hasanuzzaman, M. (2020). Use of biostimulants for improving abiotic stress tolerance in Brassicaceae plants. The Plant Family Brassicaceae: *Biology and Physiological Responses to Environmental Stresses*, *21*(3), 497-531. doi: 10.1007/978-981-15-6345-4_19

[5]. Bozhinova, R. (2023). Yield and chemical composition of oriental tobacco as affected by biostimulant application. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *29*(1), 89-96.

[6]. Cooper, M., & Messina, C. D. (2023). Breeding crops for drought-affected environments and improved climate resilience. *The Plant Cell*, *35*(1), 162-186. doi: 10.1093/plcell/koac321

[7]. Dewis, J., & Freitas, F. (1970). Physical and chemical methods of soil and water analysis. *FAO soils Bulletin*.

[8]. Ehyaei, A., & Behbehani Zade, A.A. (1993). *Methods of Soil Chemical analysis. Technical Publication*, No. *893*. Soil and Water Research Institute of Agricultural Extension and Education, Tehran, Iran. [in Farsi]

[9]. Esringu, A., Kaynar, D., Turan, M., & Ercisli, S. (2016). Ameliorative effect of humic acid and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on Hungarian vetch plants under salinity stress. *Communications*

in Soil Science and Plant Analysis, *47*(4), 602-618. doi: 10.1080/00103624.2016.1141922

[10]. Grammenou, A., Petropoulos, S. A., Thalassinos, G., Rinklebe, J., Shaheen, S. M., & Antoniadis, V. (2023). Biostimulants in the Soil–Plant Interface: Agro-environmental Implications—A Review. *Earth Systems and Environment*, *7*(3), 583–600.

[11]. Haska, O. J. A., Soylemez, S., & Sarhan, T. Z. (2022). Effect of different organic growing mediums and application of biofertilizer in organic seedling production. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, *13*(2), 252-263.

[12]. Hernandez Jimenez, J. E., Nyiraneza, J., Fraser, T. D., Peach Brown, H. C., Lopez-Sanchez, I. J., & Botero-Botero, L.R. (2020). Enhancing phosphorus release from struvite with biostimulants. *Canadian Journal of Soil Science*, *101*(1), 22-32. doi: 10.1139/cjss-2019-0147

[13]. Kang, H., Zhang, M., Zhou, S., Guo, Q., Chen, F., Wu, J., & Wang, W. (2016). Overexpression of wheat ubiquitin gene, Ta-Ub2, improves abiotic stress tolerance of Brachypodium distachyon. *Plant Science*, *248*(3), 102-115.

[14]. Lamlom, S. F., Irshad, A., & Mosa, W.F. (2023). The biological and biochemical composition of wheat (*Triticum aestivum*) as affected by the bio and organic fertilizers. *BMC Plant Biology*, *23*(1), 111.

[15]. Liu, Y., Zhang, K., Zhang, H., Zhou, K., Chang, Y., Zhan, Y., Pan, C., Shi, X., Zuo, H., Li, J., & Wei, Y. (2023). Humic acid and phosphorus fractions transformation regulated by carbon-based materials in composting steered its potential for phosphorus mobilization in soil. *Journal of Environmental Management*, *325*, 116553.

[16]. Lotfi, R., Pessarakli, M., Gharavi-Kouchebagh, P., & Khoshvaghti, H. (2015). Physiological responses of Brassica napus to fulvic acid under water stress: Chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activity. *The Crop Journal*, *3*(2), 434-439.

[17]. Mahmoudi Nezhad, S.H., & Mosrashari, M. (2022). Evaluation of Nutritional Status and Priority of Nutrients Requirement of Canola by Compositional Nutrient Diagnosis (CND) and Deviation from Optimum Percentage (DOP) Methods in North of Khuzestan. *Soil Research Journal*, *36*(1), 1-14. [in Farsi]

[18]. Mansour, E., El-Sobky, E. S. E., Abdul-Hamid, M. I., Abdallah, E., Zedan, A. M., Serag, A. M., & Desoky, E. S. M. (2023). Enhancing drought tolerance and water productivity of diverse maize hybrids (*Zea mays*) using exogenously applied biostimulants under varying irrigation levels. *Agronomy*, *13*(5), 1320.

[19]. Mohamed, M. H., Sami, R., Al-Mushhin, A. A., Ali, M. M. E., El-Desouky, H. S., Ismail, K. A., & Zewail, R. M. (2021). Impacts of effective microorganisms, compost tea, fulvic acid, yeast extract& foliar spray with seaweed extract on sweet pepper plants under greenhouse conditions. *Plants*, *10*(9), 1927.

[20]. Mostafa, M. M., Hammad, D. M., Reda, M. M., & El-Sayed, A.E.K.B. (2023). Water extracts of Spirulina platensis and Chlorella vulgaris enhance tomato (*Solanum lycopersicum* L) tolerance against saline water irrigation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-10.

[21]. Musa, J. J., Akpoebidmiyen, O., Musa, M., Dada, P., Obasa, P., & Guilo, S. (2020). Analysis of Soil Water Characteristic and Water Stress Estimates using the Soil-Plant-Air-Water (SPAW) Model. *African Journal of Agriculture, Technology and Environment*. *9*(1), 97-106.

[22]. Navarro-Leon, E., Lopez-Moreno, F. J., Borda, E., Marin, C., Sierras, N., Blasco, B., & Ruiz, J. M. (2022). Effect of l-amino acid-based biostimulants on nitrogen use efficiency (NUE) in lettuce plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *102*(15), 7098-7106.

[23]. Pande, A.M., Kulkarni, N.S., & Bodhankar, M.G. (2016). Effect of PGPR with ACC-Deaminase activity on growth performance of wheat cultivated under stress conditions. *IJAR*, *2*(4), 723-726.

[24]. Pranckietienė, I., Mazuolytė-Miskine, E., Pranckietis, V., Dromantiene, R., Sidlauskas, G., & Vaisvalavicius, R. (2015). The effect of amino acids on nitrogen, phosphorus and potassium changes in spring barley under the

conditions of water deficit. *Zemdirbyste-Agriculture*, *102*(3), 265–272

[25]. Puthur, J.T. (2016). Antioxidants and cellular antioxidation mechanism in plants. *South Indian Journal of Biological Science, 21*(1), 9-13.

[26]. Rafie, M. R., Sohi, M., & Javadzadeh, M. (2021). Evaluation the effect of amini acid, fulvic acid and seaweed extract application in normal and drought stress conditions on quantitative and qualitative characteristics of wheat in Behbahan region. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *14*(1), 131-141.

[27]. Rakkammal, K., Maharajan, T., Ceasar, S. A., & Ramesh, M. (2023). Biostimulants and their role in improving plant growth under drought and salinity. *Cereal Research Communications*, *51*(1), 61-74.

[28]. Ren, M., Mao, G., Zheng, H., Wang, W., & Tang, Q. (2023). Growth changes of tomato seedlings responding to sodium salt of α-naphthalene acetic acid and potassium salt of fulvic acid. *Scientific Reports*, *13*(1), 4024.

[29]. Sharma, S., Chen, C., Khatri, K., Rathore, M.S. & Pandey, S.P., 2019. Gracilaria dura extract confers drought tolerance in wheat by modulating abscisic acid homeostasis. *Plant Physiology and Biochemistry, 136*(3), 143-154.

[30]. Sowmya, R. S., Warke, V. G., Mahajan, G. B., & Annapure, U. S. (2023). Effect of amino acids on growth, elemental content, functional groups& essential oils composition on hydroponically cultivated coriander under different conditions. *Industrial Crops and Products, 197*, 116577.

[31]. Van Oosten, M.J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S& Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 4*(1), 5-12. doi: 10.1186/s40538-017-0089-5

[32]. Wolf, B. (1982). A comprehensive system of leaf analyses and its use for diagnosing crop nutrient status. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *13*(6), 1035-1059.

[33]. Wu, W., & Ma, B. L. (2022). Understanding the trade–off between lodging resistance and seed yield& developing some non–destructive methods for predicting crop lodging risk in canola production. *Field Crops Research, 288*, 108691.

[34]. Yang, W., Li, P., Guo, S., Song, R., & Yu, J. (2019). Co-application of soil superabsorbent polymer and foliar fulvic acid to increase tolerance to water deficit maize: photosynthesis, water parameters& proline. *Chilean Journal of Agricultural Research, 79*(3), 435-446. dx.doi: 10.4067/S0718-58392019000300435

[35]. Zanin, L., Tomasi, N., Cesco, S., Varanini, Z& Pinton, R. (2019). Humic substances contribute to plant iron nutrition acting as chelators and biostimulants. *Frontiers in Plant Science, 10*, 675.

[36]. Zhang, C., Xie, Z. A., Shang, J., Liu, J., Dong, T., Tang, M., & Cai, H. (2022). Detecting winter canola (*Brassica napus*) phenological stages using an improved shape-model method based on time-series UAV spectral data. *The Crop Journal*, *10*(5), 1353-1362. doi: 10.1016/j.cj.2022.03.001

The effect of plant growth stimulants on yield and yield components of canola (*Brassica napus* L.) under drought stress (Research Paper)

1- Reza Soleimani*, Soil and Water Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Research Center, AREEO, Ilam, Iran.
soleimanir@hotmail.com
2- Majid Rajaei, Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Research Center, AREEO, Darab, Iran.

Received: 12 Jun. 2023
Accepted: 18 Sep. 2023

Abstract

The purpose of this research was to determine the effects of biostimulats application on the yield and yield components of canola (*Brassica napus* L.) in a semi-arid region based on Amberje classification in Ilam province. The experiment was carried out as split plots arrangement based on randomized complete block design with three replications. The main plots were two irrigation regimes after evaporation of 80 and 140 mm from class-A evaporation pan and soil moisture compensation to the extent of field capacity in silty clay loam soil texture. The sub-plots were as 1-control (application of chemical fertilizers according to soil test), 2- compound 1 and L-amino acid (glycine, betaine and proline) spraying, 3- compound 1 and fertigation of 5 kg per hectare of humic acid in two stages (after the second irrigation and the beginning of shoot elongation) 4-compound 1 and spraying fulvic acid 5-compound 1 and spraying seaweed extract, 6-compound 1 and the co-application of treatments 2, 3 and 5. In all treatments, foliar spraying was done with a concentration of 5 per thousand at the late rosette stage and the beginning of flowering. Quantitative traits measured were seed yield, number of seeds per pod, number of pods per square meter, thousand grain weight and concentration of nutrient elements. Statistical analysis of data was done with SAS software and mean comparison was done with Duncan's test. The results showed that drought stress caused a significant decrease in yield and yield components, but the combined application of growth stimulants caused a significant increase in grain yield compared to the control. The amount of increase of grain yield without drought stress and under drought stress were 16.2% and 21.1%, respectively. These data indicated the greater effect of growth stimulants on increasing grain yield under drought stress than without drought stress. In normal condition, the application of amino acid significantly increased the grain yield by 14.4% compared to the control. In the condition of drought stress, the best results were obtained by combined application of growth stimulants. The application of growth stimulants improved the absorption of nutrient elements under drought stress. So, in the case of potassium, which is an important element in improving plant growth under drought stress, the application of fulvic acid had a significant effect on the increase of potassium concentration compared to the control, and its concentration increased from 2.9% to 3.8%. Also, the combined application of growth stimulants increased potassium concentration up to 3.6%. The results of this research showed the increase of drought tolerance and the improvement of canola growth with the combined application of growth stimulants.

Keywords: Amino Acid, Canola, Drought stress, Fulvic Acid, Humic Acid, Seaweed Extract.