اثر هیومیک‌اسید و تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و صفات زراعی ارقام کلزا

داریوش سرهنگ‌زاده[۱] و احمد افکاری*[۲]

۱) دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت، واحد کلیبر، دانشگاه آزاد اسلامی، کلیبر، ایران.
۲) استادیار گروه زراعت، واحد کلیبر، دانشگاه آزاد اسلامی، کلیبر، ایران.

* نویسنده مسئول: **afkariahmad@yahoo.com**

تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۰۲/۲۰ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۲**

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.

چکیده

به‌منظور بررسی اثر هیومیک‌اسید بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و صفات زراعی ارقام کلزا در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در شهرستان کلیبر در سال زراعی ۱۳۹۸ انجام شد. عامل اصلی شامل آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشتک تبخیر کلاس A، ارقام کلزا (آر.جی.اس، هایولا ۴۲۰، تراپر و ساری‌گل) به‌عنوان عامل فرعی و پنج سطح (صفر) ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر کاربرد هیومیک‌اسید به‌عنوان عامل فرعی- فرعی بودند. نتایج نشان داد که اثرات ساده تنش خشکی، هیومیک‌اسید و ارقام بر صفات اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین برهم‌کنش دوگانه (تنش خشکی × هیومیک‌اسید و تنش خشکی × ارقام) بر شاخص کلروفیل، ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، عملکرد دانه و عملکرد روغن معنی‌دار شد. با افزایش تنش خشکی از محتوای رطوبت نسبی (۲۰/۵۴ درصد)، تعداد دانه در غلاف (۲۵/۳۲ درصد)، وزن هزار دانه (۱۶/۵۸ درصد) و درصد روغن (۶/۷۵ درصد) کاسته شد؛ درحالی‌که بر غلظت پرولین (۳۵/۱۳ درصد) افزود. بیش‌ترین عملکرد روغن و عملکرد دانه به تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید و کم‌ترین میزان عملکرد روغن و عملکرد دانه به تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و عدم استفاده از هیومیک‌اسید اختصاص یافت. هیومیک‌اسید سبب افزایش محتوای رطوبت نسبی، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه و درصد روغن شد و مقدار پرولین را (۲۶/۳۱ درصد) کاهش داد. در نتیجه، محلول‌پاشی ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید در سطوح مختلف تنش خشکی باعث بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی و افزایش مولفه‌های تولیدی در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی) شد. در چهار رقم مورد ارزیابی رقم هایولا ۴۲۰ بیش‌ترین عملکرد دانه و اجزای عملکرد، را دارا بود. با توجه به نتایج به‌دست آمده هیومیک‌اسید موجب کاهش خسارات وارد شده در مواجه با خشکی شد.

واژه‌های کلیدی: تنش کم‌آبی، درصد روغن، عملکرد دانه، کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ و هیومیک‌اسید.

مقدمه

گیاه کلزا به دلیل ویژگی‌های خاص مانند سازگاری با شرایط آب و هوایی، ارزش تناوبی بالا، کنترل علف‌های هرز، دارا بودن ژنوتیپ‌های بهاره و پاییزه و محتوای بالای روغن در واحد سطح (۴۴-۴۰ درصد) به‌عنوان نقطه امیدی برای تأمین روغن خوراکی مورد نیاز کشور به‌شمار می‌آید (فیض‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۹). خشکی از مهم‌ترین عوامل محدودکنندهٔ رشد گیاهان در سرتاسر جهان و شایع‌ترین تنش محیطی است (سنجری‌میجانی و همکاران، ۱۳۹۴). خشکی تغییرات مختلفی را در رفتار مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی گیاهان ایجاد می‌کند که ازجمله آن‌ها می‌توان به تغییر رابطه آب گیاه، کاهش سرعت رشد، کاهش ارتفاع ساقه، گسترش برگ، حرکت روزنه، عدم تعادل یون‌ها و عناصر غذایی و فتوسنتز اشاره کرد. میزان تغییرات بستگی به مدت زمان، شدت تنش و زمان وقوع آن دارد (Hasanuzzaman *et al*., 2018). یکی از راه‌حل‌های افزایش تولید محصول در شرایط محدودیت منابع آب، کاربرد ارقام مقاوم به خشکی هستند (فیض‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۹). استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و عدم استفاده از کودهای آلی طی سالیان اخیر، عامل کاهش چشمگیر میزان مواد آلی خاک‌های کشور و ایجاد مشکلات زیست‌محیطی از جمله تخریب فیزیکی خاک و عدم توازن عناصر غذایی است (عبدزادگوهری و صادقی‌پور، ۱۳۹۸). تغذیه مطلوب گیاهی یکی از روش‌های مؤثر بر تواناسازی گیاهان در مقابله با شرایط خشکی معرفی شده است. یکی از کودهای با اهمیت در این زمینه هیومیک‌اسید می‌باشد. هیومیک‌اسید، یک پلیمر طبیعی است که دارای موضع‌های H^+ مربوط به عامل‌های اسیدی کربوکسیل بنزوئیک و فنلی (مکان‌های تبادل کانیونی) است (نصیری و همکاران، ۱۳۹۶). هیومیک‌اسید باعث بهبود ساختار خاک، کمک به ریشه‌زایی بهتر، نگهداری بیش‌تر آب در خاک، کمک به رشد سریع باکتری‌های مفید در خاک و انحلال و آزادسازی عناصر ماکرو و میکرو و در نتیجه کاهش نیاز به کودهای شیمیایی و افزایش مقاومت به شوری و کم‌آبی و هم‌چنین کاهش سمیّت کودها می‌شود (نخعی‌نژاد و موسوی، ۱۳۹۶). هیومیک‌اسید با اصلاح فیزیکی و بهبود دانه‌بندی خاک فضای بیش‌تری برای نفوذ آب ایجاد می‌کند. علاوه بر این، مولکول‌های هیومیک‌اسید با مولکول‌های آب، پیوندی تشکیل می‌دهند که تا حد زیادی مانع تبخیر آب می‌شود (برکتی و همکاران، ۱۳۹۸). Anwar و همکاران (۲۰۱۶) گزارش دادند که بیش‌ترین وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی در مقدار مصرف ۱۵ کیلوگرم در هکتار هیومیک‌اسید حاصل شد. Manal و همکاران (۲۰۱۶) اظهار داشتند محلول‌پاشی چهار لیتر در هکتار هیومیک‌اسید باعث افزایش وزن هزار دانه و ارتفاع بوته گندم شد اما بیش‌ترین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و طول سنبله در تیمار محلول‌پاشی دو لیتر در هکتار هیومیک‌اسید مشاهده شد. در مورد لوبیا گزارش شد که محلول‌پاشی هیومیک‌اسید نسبت به مصرف خاکی آن سبب افزایش بیش‌تر رشد

گیاه، تعداد غلاف در گیاه، وزن غلاف، میزان پروتئین و کلروفیل در گیاه از طریق سرعت و میزان جذب مواد غذایی شده اسیت (El-Bassiony *et al*., 2010).

یکی از اهداف اصلی در علوم گیاهی جدید برای سازگار کردن گیاهان به شرایط محیطی، در مکانیسم‌های فیزیولوژیک مقاومت به تنش‌ها است. با توجه به این هدف و از آنجایی که مطالعات مختلف بیانگر اثرات مثبت هیومیک‌اسید بر رشد گیاه است، این آزمایش با هدف استفاده از یک کود آلی به‌عنوان منبع هیومیک‌اسید تحت شرایط تنش خشکی، به‌منظور بررسی برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و صفات زراعی ارقام کلزا در منطقه کلیبر اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر هیومیک‌اسید بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و صفات زراعی ارقام کلزا در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در شهرستان کلیبر از توابع استان آذربایجان‌شرقی در سال زراعی ۱۳۹۸ انجام شد. عامل اصلی شامل آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشتک تبخیر کلاس A، ارقام کلزا (آر.جی.اس، هایولا ۴۲۰، تراپر و ساری‌گل) به‌عنوان عامل فرعی و پنج سطح (صفر) ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر کاربرد هیومیک‌اسید به‌عنوان عامل فرعی- فرعی بودند. زمین مزرعهٔ آزمایشی با یک شخم سنگین پاییزه و دو دیسک عمود برهم تهیه شد. هیومیک‌اسید مورد استفاده پودر هیومکس (حاوی ۸۰ درصد هیومیک‌اسید و ۲۰ درصد اسیدفولویک) تهیه شده از شرکت نگین سبز، جهت اعمال تیمار هیومیک‌اسید استفاده گردید. با توجه به دامنه توصیه شده برای کلزا در شرایط آب و هوایی کلیبر، کاشت بذر در تاریخ ۲۰ شهریور و با دست صورت پذیرفت. هر کرت آزمایشی شامل شش خط شش‌متری با فاصله خطوط ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی خط پنج سانتی‌متر با میانگین تراکم ۴۰ بوته در مترمربع بود که دو خط کناری به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد و چهار خط میانی آن برای تعیین کلیه مراحل فنولوژیکی گیاه و صفات مختلف مورد استفاده قرار گرفت. کودهای مصرفی براساس آزمون خاک شامل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاس به‌صورت پایه هم‌زمان با آماده‌سازی بستر بذر، ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره (۱۰۰ کیلوگرم در هنگام کاشت، ۱۵۰ کیلوگرم در مرحله ساقه‌دهی و ۱۰۰ کیلوگرم در مرحله گل‌دهی) به‌صورت سرک مصرف شد. آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام شد. در مرحله شش برگی اولین محلول‌پاشی هیومیک‌اسید با غلظت دو در هزار و دومین محلول‌پاشی هیومیک‌اسید در مرحله غنچه‌دهی و محلول‌پاشی با آب خالص جهت اعمال تیمار عدم کاربرد هیومیک‌اسید انجام پذیرفت. سپس بر اساس سطوح محلول‌پاشی و مقدار توصیه شده‌ی تیمار هیومیک‌اسید، اقدام به تهیه محلول‌های مورد نظر شد. جهت کنترل علف‌های هرز، از علفکش ترفلان به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار قبل از کاشت به‌صورت خاک مخلوط و از وجین دستی نیز برای کنترل علف‌های هرز

استفاده شد. در پایان فصل در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، به محض فراهم شدن شرایط محیطی، عملیات برداشت از هرکرت از خطوط میانی با حذف حاشیه‌ها انجام گرفت. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق نمونه برداری (سانتی‌متر)	بافت خاک	pH	EC(دسی‌زیمنس بر متر)	P (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	K (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	نیتروژن (درصد)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)
۳۰-۰	شنی لومی	۷/۱	۱/۸	۱۰	۳۸۰	۰/۰۶	۳۲	۲۷	۴۱

به‌منظور تعیین صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف از هر کرت آزمایشی ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و این صفات در آن‌ها اندازه‌گیری شدند. به‌منظور اندازه‌گیری وزن هزار دانه بعد از برداشت محصول، هشت نمونه ۱۰۰ تایی از بذور هر کرت آزمایشی به‌طور تصادفی انتخاب و با ضرب کردن میانگین وزن هزار دانه در عدد۱۰، وزن هزار دانه محاسبه شد. به‌منظور تعیین عملکرد دانه در هر کرت پس از حذف نیم متر از ابتدا و انتهای خطوط کشت، هفت بوته به‌طور تصادفی از دو خط میانی هر کرت انتخاب شدند. سپس وزن خشک اندام هوایی آن‌ها توزین شد و زیست‌توده برحسب کیلوگرم در هکتار تعیین شد. درصد روغن دانه با استفاده از دستگاه NMR (Nuclear Magnetic Resonance مدل Ascend 600 ساخت شرکت Bruker آلمان) اندازه‌گیری شد (نصیری و همکاران، ۱۳۹۶). از حاصل‌ضرب درصد روغن در عملکرد دانه در هکتار، عملکرد روغن در هکتار محاسبه شد. اندازه‌گیری شاخص سبزینگی (SPAD)، به‌وسیله دستگاه کلروفیل‌متر مدل CCM-200 plus, Opti-Sciences Inc, NA., UAS و با استفاده از سومین برگ توسعه یافته بالای گیاه انجام شد (Lichtenthaler, 1987). برای اندازه‌گیری غلظت پرولین برگ، ۰/۵ گرم از نمونه‌های برگ که در پایان مرحله گل‌دهی جمع شده بود، توزین شد و ضمن ساییدن داخل هاون چینی به تدریج ۱۰ میلی‌متر اسید سولفوسالیسیلیک سه درصد به وسیله هاون، هموژن شده و عصاره حاصل صاف شد. دو میلی‌لیتر اسیداستیک و دو میلی‌لیتر ناین هیدرین به دو میلی‌متر از عصاره صاف شده فوق، اضافه شد. محلول حاصل به مدت یک ساعت در حمام آب و در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. غلظت پرولین نمونه‌ها در تولوئن با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر و در نهایت با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف پرولین، بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تَر محاسبه شد (Bates *et al.*, 1973). در پایان مرحله گل‌دهی، مقدار آب نسبی با انتخاب جوان‌ترین برگ توسعه یافته در هر کرت اندازه‌گیری شد، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد آزمایشگاه قرار داده شدند. وزن نمونه‌های آماس شده با ترازوی حساس توزین و پس از آن نمونه‌ها در داخل آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها توزین شد. مقدار آب نسبی هر نمونه با استفاده از رابطه ۱ محاسبه

شد (سنجری‌میجانی و همکاران، ۱۳۹۴).

رابطه ۱: $RWC= (Fw-Dw) / (Sw-Dw) \times ۱۰۰$

که در آن Fw: وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه برداری، Dw: وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون و Sw: وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر می‌باشند.

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۳ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده هیومیک‌اسید، تنش خشکی و ارقام بر کلیه صفات مورد آزمایش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که برهمکنش تنش خشکی و هیومیک‌اسید بر شاخص کلروفیل، ارتفاع بوته، عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و بر تعداد غلاف در بوته و عملکرد روعن در سطح احتمال پنج درصد و بر سایر صفات اثر معنی‌داری نداشتند. هم‌چنین برهم‌کنش ارقام و تنش بر ارتفاع بوته و شاخص کلروفیل در سطح احتمال یک درصد و بر تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه و عملکرد روغن در سطح احتمال پنج درصد و بر سایر صفات اثر معنی‌داری نداشتند. نتایج نشان داد که اثر دو جانبه هیومیک‌اسید در ارقام و هم‌چنین اثر سه جانبه (تنش خشکی × ارقام × هیومیک‌اسید) بر هیچ یک از صفات مورد مطالعه معنی‌دار نشدند (جدول ۲).

ارتفاع بوته

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد سطوح مختلف هیومیک‌اسید ارتفاع گیاه را به طور معنی‌داری افزایش داد. در این بررسی بیش‌ترین ارتفاع بوته به‌ترتیب به تیمارهای (۶۰ میلی‌متر تبخیر و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید) و کم‌ترین ارتفاع بوته به‌ترتیب به تیمارهای (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و عدم استفاده از هیومیک‌اسید) اختصاص یافت (جدول ۴). نتایج این تحقیق نشان داد که اعمال تنش خشکی در مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین کلزا سبب کاهش صفت ارتفاع بوته در همه ارقام گردید. یکی از مهم‌ترین نشانه‌های تنش خشکی بر گیاهان کاهش ارتفاع بوته است. اگر تنش خشکی در مراحل انتهایی رشد گیاه رخ دهد، اثر کم‌تری نسبت به تنش خشکی در مراحل ابتدایی رشد دارد (Zirgoli and Kahrizi, 2015). رشد سلول‌ها با پتانسیل آب در ارتباط است و کاهش فشار تورژسانس روی تقسیم سلولی و طویل شدن سلول در گیاهان حساس به تنش اثر می‌گذارد و موجب کاهش ارتفاع بوته می‌گردد (فیض‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۹). هیومیک‌اسید از طریق اثرات هورمونی و با اثر بر متابولیسم‌های گیاهی و هم‌چنین با قدرت کلات‌کنندگی و افزایش جذب عناصر غذایی سبب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (ناردی و همکاران، ۲۰۰۲). طبق پژوهش Aiyafar و همکاران (۲۰۱۵)

محلول‌پاشی سطوح مختلف هیومیک‌اسید، ۰/۵، یک، ۱/۵ و دو درصد در سه مرحله به ساقه رفتن، گلدهی و تشکیل غلاف در گیاه کلزا نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع آن مربوط به تیمار دو درصد و کم‌ترین ارتفاع آن مربوط به تیمار شاهد بود. Ayas و Gulser (۲۰۰۵) گزارش کردند که اسیدهیومیک از طریق افزایش در محتوای نیتروژن سبب افزایش رشد و ارتفاع می‌شود. هم‌چنین پژوهشگران دیگر افزایش ارتفاع را با هیومیک‌اسید تأیید می‌کنند (نظری و همکاران، ۱۳۹۶).

تعداد غلاف در بوته

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای تنش خشکی × هیومیک‌اسید و تنش × ارقام نشان داد که بیش‌ترین تعداد غلاف در بوته به‌ترتیب به تیمارهای (۶۰ میلی‌متر تبخیر و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید و ۶۰ میلی‌متر تبخیر و رقم هایولا ۴۲۰) و کم‌ترین تعداد غلاف در بوته به‌ترتیب به تیمارهای (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و عدم استفاده از هیومیک‌اسید و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و رقم ساری‌گل) اختصاص یافت (جدول ۴ و ۵). به‌نظر می‌رسد در این تحقیق، کاربرد هیومیک‌اسید از طریق بهبود حاصلخیزی خاک و فراهمی نیتروژن، باعث افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد به خصوص تعداد غلاف گردیده است. تنش خشکی باعث کاهش چشمگیر تعداد غلاف در بوته شد که دلیل آن احتمالاً نقصان در تولید و عرضه مواد فتوسنتزی در زمان وقوع تنش و کمبود عرضه مواد فتوسنتزی برای تخصیص مناسب به علاف‌های تولیدشده و در حال رشد و در نتیجه ریزش آن‌ها و کاهش این صفت در گیاه کلزا می‌شود (میر و همکاران، ۱۳۹۹). افشانی و همکاران (۱۳۹۴) در گیاه کلزا گزارش نمودند که عدم آبیاری در مرحله گلدهی و عدم محلول‌پاشی منجر به کاهش تعداد غلاف در بوته شد. نتایج این تحقیق در خصوص حساسیت بیش‌تر تعداد غلاف در بوته در مقایسه با سایر اجزای عملکرد نسبت به شرایط کمبود آب با یافته‌های Manal و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد.

تعداد دانه در غلاف

نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش تعداد دانه در غلاف شد. در مقابل، کاربرد هومیک‌اسید موجب افزایش تعداد دانه در غلاف شد. بیش‌ترین تعداد دانه در غلاف (۲۵/۶۸) متعلق به رقم هایولا ۴۲۰ و کم‌ترین تعداد دانه در غلاف (۲۳/۱۵) متعلق به رقم ساری‌گل بود (جدول ۳). به‌طور کلی از نتایج تحقیق حاضر چنین به‌نظر می‌رسد که تنش خشکی در مرحله رشد زایشی موجب کاهش تعداد دانه در غلاف شده است، اما کاربرد هیومیک‌اسید توانسته اثرات منفی ناشی از تنش را کاهش دهد. Rao و همکاران (۱۹۹۱) گزارش کردند که تعداد دانه در غلاف از عوامل موثر و تعیین کننده عملکرد دانه در کلزا است و هر عاملی که تعداد دانه را افزایش دهد سبب بالا رفتن عملکرد دانه نیز می‌شود. البته تنش کمبود آب در مرحله غلاف‌دهی موجب کاهش جذب مواد پرورده و درنتیجه کاهش فتوسنتز برگ و تولید شیره پرورده شد که این وضعیت موجب از بین رفتن گل‌ها و درنتیجه افزایش آسیب‌پذیری تشکیل دانه در غلاف در شرایط تنش خشکی می‌شود

(هنر و همکاران، ۱۳۹۱).

وزن هزار دانه

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش وزن هزار دانه و محلول‌پاشی با هیومیک‌اسید باعث افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه شد. نتایج نشان داد که در بین ارقام بیش‌ترین وزن هزار دانه متعلق به رقم هایولا ۴۲۰ و کم‌ترین وزن هزار دانه متعلق به رقم ساری‌گل بود (جدول ۳). نظری و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که کاربرد اسیدهیومیک در کلزا باعث افزایش چشمگیر وزن هزار دانه شده است. محلول‌پاشی با مواد طبیعی مانند هیومیک‌اسید در شرایط وجود و عدم وجود تنش خشکی باعث افزایش وزن هزار دانه می‌شود اما این افزایش در شرایط وجود تنش خشکی بیش‌تر بود زیرا تنش در مرحله زایشی با اثر بر پر شدن دانه باعث کاهش وزن دانه شد ولی کاربرد هیومیک‌اسید باعث افزایش وزن هزار دانه شد. کم‌تر بودن وزن هزار دانه در تیمارهای پایین هیومیک‌اسید به‌دلیل رقابت دانه‌ها در به‌دست آوردن مواد غذایی و کاهش کربوهیدرات‌های ذخیره گیاه است که باعث کاهش وزن هزار دانه می‌شود. بروز خشکی در دوره پر شدن دانه غالباً سبب کاهش وزن دانه‌ها می‌شود که یکی از دلایل آن افزایش سطح اسید آبسیزیک و نقش آن در کاهش تعداد سلول‌های اندوسپرمی و محدود کردن ذخیره سلول‌ها می‌باشد (Guoth *et al.*, 2009).

عملکرد دانه

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای تنش خشکی × هیومیک‌اسید و تنش × ارقام نشان داد که بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه به تیمارهای (۶۰ میلی‌متر تبخیر و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید و ۶۰ میلی‌متر تبخیر و رقم هایولا ۴۲۰) و کم‌ترین مقدار عملکرد دانه به‌ترتیب به تیمارهای (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و عدم استفاده از هیومیک‌اسید و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و رقم ساری‌گل) اختصاص یافت (جدول‌های ۴ و ۵). به‌طور کلی نتایج مقایسه میانگین داده ها نشان داد که در بین ارقام مورد مطالعه رقم ساری‌گل عملکرد دانه کمتری داشت و هم‌چنین حساسیت آن در برابر تنش نسبت به سایر ارقام مطالعه شده بیش‌تر می‌باشد چرا که پس از تنش خشکی عملکرد آن به نسبت کاهش بیش‌تری یافته است. ولی از آنجا که رقم هایولا ۴۲۰ عملکرد دانه بیش‌تری نسبت به سایر ارقام پس از اعمال تنش در سطح ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تولید کرد. به‌نظر می‌رسد به لحاظ پایداری عملکرد دانه، رقم هایولا ۴۲۰ سازگارترین رقم نسبت به تنش خشکی در منطقه کلیبر باشد. گرچه تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه در ارقام مختلف کلزا شد ولی کاربرد هیومیک‌اسید به‌صورت محلول‌پاشی برگی توانست با افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه اثرات منفی تنش را کاهش دهد.

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد روغن، درصد روغن، محتوای نسبی آب و غلظت پرولین برگ ارقام کلزا در واکنش تنش خشکی و محلول‌پاشی هیومیک‌اسید

		میانگین مربعات									
منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد روغن	درصد روغن	محتوای نسبی آب	شاخص کلروفیل	پرولین
تکرار	۳	۰/۹۱^{ns}	۲۸/۷۲^{ns}	۱۳/۸۴^{ns}	۳۱/۷۲^{ns}	۳۶۲۴۸/۶۸^{ns}	۰/۷۱^{ns}	۱۱/۲۸^{ns}	۲۴/۳۸^{ns}	۸/۴۰^{ns}	۱۲۵۱/۱۷^{ns}
تنش خشکی	۲	۴۶۷/۶**	۱۵۳/۳۸**	۱۲۱/۳۸**	۳۵/۱۹**	۳۱۳۶۴۹/۹۳**	۴۹۶/۳۷**	۳۱/۷۳**	۴۹۸/۵۴**	۹۶/۲۳**	۱۶۸۳/۳۲**
اشتباه اصلی	۶	۴/۹۴	۹/۰۶	۰/۹۱	۵۲/۰۹	۲۸۳۷۴/۳۷	۱/۴۳	۶/۴۷	۵/۶۲	۷/۹۴	۱۸/۲۷
ارقام	۳	۱۱۷/۲۱۰**	۱۲۶/۲۸**	۴۶/۶۲**	۳۴/۸۹**	۱۴۰۲۷۳۹/۷**	۴۹/۹۴**	۳۷/۸۲**	۲۲۴/۹۴**	۲۹/۴۲**	۴۷۶۲/۳۸**
ارقام × تنش	۶	۳۶/۰۹**	۱۶۹/۴۷*	۲۲/۵۷^{ns}	۲۱/۴۶^{ns}	۹۸۳۷۴۶/۱۶**	۱۲/۷۸*	۲۵/۱۱^{ns}	۳۶/۳۷^{ns}	۲۵/۵۶**	۰/۸۱^{ns}
اشتباه فرعی	۲۷	۳/۵۸	۵/۱۷	۰/۳۸	۴/۵۹	۱۸۳۸۳/۸۲	۰/۸۷۵	۳/۸۱	۴/۲۳	۵/۷۸	۲/۱۹
هیومیک‌اسید	۴	۱۴۸/۳۸**	۱۰۱/۴۸**	۵۹/۴۹**	۲۸/۷۳**	۱۱۹۳۸۴۶/۳**	۱۲۳/۷۳**	۲۲/۷۳**	۳۲۹/۳۴۹**	۳۲/۶۳**	۸۱/۹۲**
تنش × هیومیک‌اسید	۸	۹۸/۴۸**	۶۱/۹۴*	۱۶/۲۸^{ns}	۱۹/۸۱^{ns}	۸۹۲۹۴۸/۳۷**	۱۹/۹۲*	۰/۰۰۹^{ns}	۳۹/۸۵^{ns}	۳۱/۸۴**	۰/۳۱^{ns}
ارقام × هیومیک‌اسید	۱۲	۱۷/۴۷^{ns}	۳۹/۳۷^{ns}	۶/۶۹^{ns}	۲۰/۴۷^{ns}	۴۵۱۲۷۳/۲۸^{ns}	۱۳/۴۳^{ns}	۲/۹۴^{ns}	۱۹/۵۸^{ns}	۳/۲۱^{ns}	۰/۹۷^{ns}
تنش× ارقام × محلول‌پاشی	۲۴	۲۶/۴۲^{ns}	۴۹/۲۴^{ns}	۵/۴۹ ^{ns}	۲۱/۲۹^{ns}	۴۴۹۸۲۷/۸۲^{ns}	۱۱/۹۳^{ns}	۱۱/۳۱^{ns}	۱۹/۸۳^{ns}	۴/۵۷^{ns}	۰/۷۸^{ns}
اشتباه فرعی- فرعی	۱۴۴	۲۳/۲۶	۴۴/۰۳	۲۲/۱۱۳	۲۳/۶۱	۳۳۹۸۲۶/۴۷	۱۱/۱۹۷	۱۱/۰۴	۳۳/۰۹	۴/۱۸	۰/۶۴
ضریب تغییرات (٪)		۸/۷۶	۹/۸۴	۱۰/۲۳	۸/۹۲	۱۰/۷۸	۱۰/۶۳	۱۳/۲۲	۱۰/۲۷	۹/۳۱	۹/۱۷

*، **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

بهشتی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش نمودند که اثرات متقابل تنش و هیومیک‌اسید بر عملکرد دانه معنی‌دار بود و در شرایط ۵۰ میلی‌متر تبخیر و سطح شش لیتر در هکتار هیومیک‌اسید، مقدار عملکرد دانه به میزان ۳۷ درصد افزایش یافت. نتایج این تحقیق در خصوص اثر کمبود آب بر عملکرد دانه با یافته‌های Sana و همکاران (۲۰۰۳) که گزارش دادند کمبود آب در کلزا موجب کاهش عملکرد دانه از طریق کم شدن تعداد غلاف در بوته شد، مطابقت داشت.

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای آزمایش بر صفات محتوای نسبی، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، درصد روغن و غلظت پرولین برگ در ارقام کلزا

تیمارهای آزمایش	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه (گرم)	پرولین (میکرومول در گرم وزن تر)
تنش خشکی (میلی‌متر تبخیر)				
۶۰	۸۳/۳۳^{a}	۲۷/۴۹^{a}	۴/۰۴^{a}	۱۷/۷۳^{c}
۹۰	۷۴/۹۷^{b}	۲۳/۰۹^{b}	۳/۷۳^{a}	۲۲/۶۱^{b}
۱۲۰	۶۶/۲۱^{c}	۲۰/۵۳^{c}	۳/۳۷^{ab}	۲۷/۳۳^{a}
هیومیک‌اسید (میلی‌گرم بر لیتر)				
۰	۶۶/۴۳^{c}	۲۴/۰۱^{bc}	۳/۰۲^{bc}	۱۹/۴۶^{a}
۱۰۰	۷۷/۲۸^{b}	۲۵/۶۸^{b}	۳/۲۴^{b}	۱۷/۱۷^{b}
۲۰۰	۷۹/۸۶^{b}	۲۶/۴۲^{ab}	۳/۱۷^{b}	۱۶/۲۶^{bc}
۳۰۰	۸۱/۴۳^{ab}	۲۷/۷۷^{a}	۳/۹۷^{ab}	۱۵/۹۳^{c}
۴۰۰	۸۰/۵۹^{a}	۲۸/۴۷^{a}	۴/۷۲^{a}	۱۴/۳۴^{d}
ارقام				
هایولا ۴۲۰	۸۲/۷۱^{a}	۲۵/۶۸^{a}	۴/۱۷^{a}	۱۵/۸۱^{a}
آر.جی.اس	۷۰/۳۷^{c}	۲۳/۱۵^{bc}	۳/۵۵^{ab}	۱۲/۹۷^{c}
تراپر	۷۸/۰۲^{b}	۲۴/۲۵^{ab}	۴/۰۲^{a}	۱۳/۹۶^{b}
ساری‌گل	۷۵/۵۷^{bc}	۲۴/۰۷^{b}	۳/۹۲^{a}	۱۳/۲۱^{b}

حروف مشترک در هر ستون حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

عملکرد روغن

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای تنش خشکی × هیومیک‌اسید و تنش × ارقام نشان داد که بیش‌ترین مقدار عملکرد روغن به تیمارهای (۶۰ میلی‌متر تبخیر و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید و ۶۰ میلی‌متر تبخیر و رقم هایولا ۴۲۰) و کم‌ترین مقدار عملکرد روغن به‌ترتیب به تیمارهای (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و عدم استفاده از هیومیک‌اسید و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و رقم ساری‌گل) اختصاص یافت (جدول ۴ و ۵). با اعمال تنش خشکی در کلزا عملکرد روغن به شدت کاهش می یابد ولی با افزایش شدت تنش در سطوح بعدی افت عملکرد روغن با شدت کم‌تری انجام می‌گیرد. Ahmadi و Bahrani(۲۰۰۹) نشان دادند تنش خشکی روی عملکرد روغن و پروتئین اثر معنی‌داری داشته و عملکرد روغن را از ۱۲۶۴ به ۷۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش داد. میر و همکاران (۱۳۹۹) درکلزا نیز به نتایج مشابهی دست یافتند، که

گزارش‌های آن‌ها با نتیجه آزمایش حاضر مطابقت دارد.

شاخص کلروفیل برگ

نتایج برهمکنش تیمارهای تنش خشکی × هیومیک‌اسید و تنش × ارقام نشان داد که بیش‌ترین محتوای کلروفیل برگ به تیمارهای (۶۰ میلی‌متر تبخیر و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید و ۶۰ میلی‌متر تبخیر و رقم هایولا ۴۲۰) و کم‌ترین محتوای کلروفیل برگ به‌ترتیب به تیمارهای (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و عدم استفاده از هیومیک‌اسید و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و رقم ساری‌گل) اختصاص یافت (جدول ۴ و ۵).

جدول ۴: برهمکنش تنش خشکی × هیومیک‌اسید بر صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه، عملکرد روغن و شاخص کلروفیل برگ

تیمارهای آزمایشی		ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد غلاف در بوته	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)	شاخص کلروفیل برگ
تنش خشکی (میلی‌متر تبخیر)	هیومیک‌اسید (میلی‌گرم بر لیتر)					
۶۰	۰	۱۲۱/۹۰^{b}	۲۴۲/۵۲^{d}	۳۹۹۶/۵۱^{b}	۱۸۹۹/۸۵^{ab}	۴/۵۹^{b}
	۱۰۰	۱۲۵/۱۲^{b}	۲۶۳/۰۸^{c}	۴۳۶۳/۰۱^{b}	۲۰۶۲/۲۴e^{a}	۵/۱۱^{b}
	۲۰۰	۱۳۳/۷^{a}	۲۹۴/۸۷^{b}	۴۷۳۶/۸۸^{a}	۲۰۹۸/۵۱^{a}	۵/۷۹^{a}
	۳۰۰	۱۳۰/۵۷۴^{ab}	۳۱۱/۱۸^{a}	۴۸۲۷/۳۴^{a}	۲۱۸۶/۲۴^{a}	۵/۴۹^{ab}
	۴۰۰	۱۳۸/۶۱^{a}	۳۲۲/۱۲^{a}	۵۱۰۱/۲۸^{a}	۲۳۴۷/۵۸^{a}	۵/۶۳^{a}
۹۰	۰	۱۱۸/۸۳^{bc}	۲۱۱/۸۲^{d}	۳۸۷۷/۳۳^{c}	۱۷۵۵/۷۵^{b}	۵/۰۷^{b}
	۱۰۰	۱۲۱/۴۲^{b}	۲۴۱/۳۳^{d}	۴۰۰۴/۳۵^{b}	۱۸۵۱/۱۶^{ab}	۴/۴۸^{bc}
	۲۰۰	۱۲۸/۵۲^{ab}	۲۶۱/۵۲^{c}	۴۴۶۸/۸۳^{b}	۱۹۰۳/۷۶^{a}	۵/۲۶d^{b}
	۳۰۰	۱۳۰/۴۷^{ab}	۲۸۷/۴۸^{b}	۴۶۲۱/۲۱^{ab}	۲۰۸۶/۱۸^{a}	۵/۸۹^{b}
	۴۰۰	۱۲۴/۹۸^{b}	۳۰۳/۶۳^{a}	۴۸۴۶/۴۲^{a}	۲۱۴۳/۶۷^{a}	۵/۱۳^{b}
۱۲۰	۰	۱۰۳/۹۱^{d}	۱۹۲/۵۶^{ef}	۳۱۰۹/۲۲^{d}	۱۲۶۴/۶۳^{c}	۳/۴۷^{d}
	۱۰۰	۱۰۶/۵۱^{c}	۲۰۸/۲۱^{e}	۳۴۱۱/۴۳^{c}	۱۴۲۹/۸۲^{b}	۳/۹۸^{cd}
	۲۰۰	۱۱۳/۸۸^{bc}	۲۳۴/۶۷^{d}	۳۷۷۳/۷۹^{c}	۱۴۶۳/۱۵^{b}	۴/۰۹^{c}
	۳۰۰	۱۰۹/۸۹^{c}	۲۵۷/۷۲^{c}	۴۱۶۴/۳۸^{b}	۱۷۲۷/۹۲^{d}	۴/۲۶^{c}
	۴۰۰	۱۱۹/۷۷^{c}	۲۸۱/۴۱^{b}	۳۹۱۳/۴۶^{b}	۱۵۸۸/۷۴^{b}	۵/۰۳^{b}

حروف مشترک در هر ستون حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

به‌نظر می‌رسد کاهش کلروفیل در اثر تنش خشکی، به علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن باشد که این رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه رنگیزه می‌شوند. بر اثر تنش آبی، محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی در برگ‌ها کاهش می‌یابد (سنجری‌میجانی و همکاران، ۱۳۹۴). هیومیک‌اسید از طریق قدرت کلات‌کنندگی عناصر غذایی و با کاهش تبخیر و تعرق و در نتیجه قرار دادن آب و مواد غذایی بیش‌تر و مناسب‌تر در اختیار گیاه می‌تواند ساخت رنگیزه‌ها را افزایش دهد و انتقال مواد فتوسنتزی را در گیاه راحت‌تر کند (ناسوتی‌میاندوآب و همکاران، ۱۳۸۹). پژوهش شاهسون

مارکده و چمنی (۱۳۹۳) نشان داد که محلول‌پاشی موجب افزایش محتوای کلروفیل شد. ولی زمان‌های مختلف محلول‌پاشی روی محتوای کلروفیل در گیاه مؤثر نبودند، که نشان‌دهنده این است که افزایش در میزان کلروفیل در غلظت‌های مختلف ایجاد شد و زمان‌های مختلف تیمار نمی‌توانند در تغییر میزان کلروفیل گیاه مؤثر باشند. مطالعات نشان داده که تنش رطوبتی در مراحل رشد رویشی، گلدهی و غلاف‌دهی سبب کاهش میزان کلروفیل a، b و کاروتنوییدها می‌شود (Din *et al*., 2011). گزارش‌های دیگری نشان داده که تنش خشکی به‌دلیل تولید اکسیژن فعال در تیلاکوییدها سبب کاهش کلروفیل‌ها و کاروتنوئید در گیاهان می‌شود (Farooq *et al*., 2009). که این گزارش‌ها با نتایج حاصل از این تحقیق همخوانی دارد.

جدول ۵: برهمکنش ارقام × تنش خشکی بر ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه، عملکرد روغن و شاخص کلروفیل برگ

ارقام لوبیا	تیمارهای آزمایش: تنش خشکی (میلی‌متر تبخیر)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد غلاف در بوته	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)	شاخص کلروفیل برگ
	۶۰	۱۱۳/۷۴^{b}	۳۲۶/۵^{a}	۴۴۸۱/۱۲^{a}	۱۸۹۱/۴۹^{a}	۶/۱۳^{a}
هایولا ۴۲۰	۹۰	۱۰۸/۴۷^{b}	۳۱۰/۷۶^{b}	۳۸۶۲/۷۵^{ab}	۱۶۱۷/۱۳^{a}	۵/۷۸^{a}
	۱۲۰	۹۹/۲۴^{c}	۲۶۹/۱۲^{c}	۳۴۰۴/۹۱^{b}	۱۴۲۹/۸۳^{b}	۵/۱۱^{bc}
	۶۰	۱۲۱/۶۹^{a}	۲۹۸/۴۴^{b}	۳۶۵۲/۱۰^{b}	۱۴۸۷/۲۱^{b}	۵/۷۹^{a}
آر.جی.اس	۹۰	۱۱۷/۴۵^{ab}	۲۸۳/۸۱^{bc}	۳۲۴۳/۵۱^{c}	۱۲۸۴/۲۹^{b}	۵/۴۲^{b}
	۱۲۰۰	۱۰۷/۹۲^{e}	۲۴۶/۶۲^{cd}	۲۵۶۲/۳۸^{d}	۱۰۰۹/۱۹^{c}	۴/۶۲^{cd}
	۶۰	۱۰۹/۹۶^{b}	۲۶۰/۳۸^{c}	۳۴۰۲/۴۸^{b}	۱۲۰۴/۷۴^{b}	۵/۴۸^{b}
تراپر	۹۰	۱۰۱/۴۷^{c}	۲۳۷/۸۶^{d}	۳۱۸۳/۸۳^{c}	۹۷۶/۵۶^{c}	۵/۰۱^{c}
	۱۲۰	۸۹/۸۲^{d}	۱۹۸/۹۲^{e}	۲۹۱۶/۹۴^{c}	۸۵۷/۹۸^{c}	۴/۲۳^{d}
	۶۰	۱۲۴/۵۶^{a}	۲۵۷/۵۴^{c}	۲۹۴۳/۷۳^{c}	۱۰۶۲/۲۳^{c}	۵/۳۳^{b}
ساری‌گل	۹۰	۱۱۸/۶۷^{ab}	۲۳۳/۶۳^{d}	۲۶۴۲/۸۶^{d}	۷۶۳/۷۸^{d}	۴/۸۷^{cd}
	۱۲۰	۱۰۹/۴۲^{b}	۱۹۴/۲۳^{e}	۲۴۱۷/۷۲^{d}	۶۷۲/۵۳^{d}	۴/۱۳^{d}

حروف مشترک در هر ستون حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

محتوای نسبی آب برگ

نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ و کاربرد هومیک‌اسید موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ شد. بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ متعلق به رقم هایولا ۴۲۰ و کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ متعلق به رقم ساری‌گل بود (جدول ۳). می‌توان گفت که افزایش محتوای نسبی آب برگ بیش‌تر احتمالاً از طریق کم بودن قابلیت تنظیم اسمزی و یا توانایی ریشه در جذب آب حاصل می‌شود، که به معنی توانایی برگ در حفظ مقادیر بیش‌تری آب در

شرایط تنش است. محتوی نسبی آب در هنگام تنش شدید رابطه نزدیکی با پتانسیل آب گیاه دارد، تنش کم‌آبی باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش توسعه‌ی برگ‌ها می‌شود و به‌دلیل کاهش دی‌اکسیدکربن در دسترس گیاه میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد (مجدم و همکاران، ۱۳۹۵). با اینکه اثر محسوسی در اثر کاربرد هیومیک‌اسید در این آزمایش مشاهده شد، از آنجا که هیومیک‌اسید در گسترش ریشه و در نتیجه قابلیت جذب آب و عناصر غذایی را داراست می‌توان اثر مثبت آن را انتظار داشت (ناسوتی‌میاندوآب و همکاران، ۱۳۸۹). محتوای نسبی آب برگ در هر چهار رقم با پیشرفت تنش خشکی کاهش یافتند. بین چهار رقم از نظر محتوای نسبی آب برگ اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. بنحوی که محتوای نسبی آب برگ در رقم هایولا ۴۲۰ بیش‌تر از سه رقم دیگر بود (جدول ۴).

اسیدآمینه پرولین

نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی باعث افزایش پرولین و کاربرد هومیک‌اسید موجب کاهش پرولین شد. بیش‌ترین میزان پرولین برگ (۱۵/۸۱) متعلق به رقم هایولا ۴۲۰ و کم‌ترین میزان پرولین برگ (۱۳/۲۱) متعلق به رقم ساری‌گل بود (جدول ۳). هنگامی که گیاهان تحت اثر تنش‌ها قرار می‌گیرند، غلظت اسمولیت‌هایشان را افزایش می‌دهند تا جذب آب تحت شرایط تنش ادامه یابد. در بین اسیمولیت‌های آلی، پرولین احتمالاً فراوان‌ترین مادهٔ حل شدهٔ سازگار است که تجمع می‌یابد (سنجری‌میجانی و همکاران، ۱۳۹۴). احتمالا گیاه به دلایل یادشده پرولین خود را افزایش داده است. اهیومیک‌اسید با حفظ آب در گیاه و کاهش تعرق و تعریق گیاه در زمان تنش تولید ترکیباتی مانند پرولین را کاهش داده و بدین ترتیب هزینه‌های احتمالی گیاه را کاسته و عملکرد را افزایش می‌دهد. انباشته شدن و تجمع پرولین باعث کاهش آسیب به غشا در شرایط تنش می‌شود (چراتی‌آرایی و خانلریان‌خطیری، ۱۳۸۷). پرولین انباشت شده می‌تواند در مواقعی که گیاه در شرایط تنش قرار گرفته است، میزان آسیب وارده به گیاه را کاهش دهد. نتایج پژوهشی بر گیاه کلزا نیز نشان داده است که بین کاربرد و عدم کاربرد هیومیک اسید بر میزان پرولین برگ تفاوت معنی‌داری وجود دارد (نصیری و همکاران، ۱۳۹۶). افزایش در غلظت محتوای پرولین یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های تحمل به کم‌آبی در کلزا به‌شمار می‌رود و گزارش شده است که اعمال تنش اسمزی در سطح ۱/۵ مگاپاسکال سبب افزایش معنی‌دار محتوای پرولین در ریشه و ساقه ارقام کلزا شد (Omidi, 2010). Gomes و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش کردند که تجمع پرولین در اثر تنش خشکی در نارگیل (*Cocos nuciera*) فقط می‌تواند نشان دهنده اعمال تنش در گیاه باشد.

همبستگی بین صفات بررسی‌شده

بررسی ضرایب همبستگی نشان داد که عملکرد روغن با صفات عملکرد دانه، درصد روغن و وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد. عملکرد دانه هم با صفات تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف

در سطح احتمال پنج درصد و وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. نتایج ربیعی و همکاران (۱۳۹۰) نیز همانند این تحقیق حاکی از همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد روغن با عملکرد دانه بود. همبستگی درصد روغن با عملکرد دانه در این مطالعه معنی‌دار نبود در حالی که بیات و همکارن (۱۳۸۷) همبستگی درصد روغن با عملکرد را دانه مثبت و معنی‌دار نشان دادند و در مقابل میرموسوی و همکاران (۱۳۸۵) همبستگی منفی و معنی‌دار درصد روغن با عملکرد دانه را گزارش کردند که نتایج این محققین با نتایج این تحقیق متفاوت است که می‌تواند به‌دلیل اثر محیط و هم‌چنین تعداد کم ارقام باشد که باعث کاهش درجه آزادی و عدم معنی‌داری شده است در حالی‌که همبستگی نسبتاً بالایی (r=۰/۵۳) بین درصد روغن و عملکرد دانه وجود دارد. از طرفی همبستگی بین ارتفاع بوته با تعداد دانه در غلاف در سطح احتمال پنج درصد همبستگی مثبت معنی‌دار ولی با وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد همبستگی منفی معنی‌دار بود (جدول ۶). ضرایب همبستگی صفات بررسی‌شده نشان داد که بین شاخص کلروفیل با پرولین رابطه منفی حاکم است، زیرا در شرایط بدون تنش که مقدار کلروفیل در حداکثر خود قرار دارد، پرولین بسیار اندک تولید می‌شود (جدول ۶). هم‌چنین رابطه منفی بین پرولین و مقدار آب نسبی برگ نشان می‌دهد که هر چه محتوای آب نسبی زیاد باشد، امکان تولید پرولین کاهش پیدا می‌کند (Bates *et al.*, 1973).

جدول ۶: ضرایب همبستگی خطی بین صفات بررسی‌شده

	ارتفاع بوته	تعداد غلاف	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	درصد روغن	عملکرد روغن	محتوای نسبی آب	شاخص کلروفیل	پرولین
ارتفاع بوته	۱									
تعداد غلاف	۰/۰۳^{ns}-	۱								
تعداد دانه در غلاف	۰/۴۱*	۰/۴۷*	۱							
وزن هزار دانه	۰/۳۷*-	۰/۰۴^{ns}	۰/۳۷^{ns}-	۱						
عملکرد دانه	۰/۲۹^{ns}-	۰/۳۴*	۰/۵۷*	۰/۶۶**	۱					
درصد روغن	۰/۳۶^{ns}-	۰/۳۱^{ns}	۰/۱۴^{ns}-	۰/۶۴**	۰/۵۳^{ns}	۱				
عملکرد روغن	۰/۲۶^{ns}-	۰/۵۱^{ns}	۰/۵۳^{ns}	۰/۷۱**	۰/۹۱**	۰/۶۱**	۱			
محتوای نسبی آب	۰/۶۷**	۰/۴۷*	۰/۳۶^{ns}	۰/۵۳*	۰/۸۶**	۰/۵۱*	۰/۶۰**	۱		
شاخص کلروفیل	۰/۷۴**-	۰/۵۴^{ns}	۰/۶۹^{ns}	۰/۵۷^{ns}	۰/۵۹**	۰/۴۹*	۰/۶۴**	۰/۷۲**	۱	
پرولین	۰/۲۶^{ns}-	۰/۴۹^{ns}	۰/۶۳^{ns}	۰/۵۲^{ns}	۰/۴۷^{ns}-	۰/۴۴^{ns}	۰/۴۹^{ns}	۰/۶۵**-	۰/۷۷**-	۱

*، **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، می‌توان بیان کرد که با اعمال تنش خشکی کلیه صفات مورد آزمایش به جزء محتوای غلظت پرولین برگ کاهش یافت. اما استفاده از هیومیک‌اسید به‌طور معنی‌داری صفات زراعی و فیزیولوژیکی را

افزایش داد. هیومیک‌اسید با اثر بر صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه سبب افزایش عملکرد دانه شد که بیش‌ترین مقادیر از تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک‌اسید به‌دست آمد. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش مصرف هیومیک‌اسید مقادیر صفات فیزیولوژیکی نظیر محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل و میزان پرولین برگ افزایش یافت. در بین ارقام مورد مطالعه نیز رقم هایولا ۴۲۰ بیش‌ترین و رقم ساری‌گل کم‌ترین کارایی را در استفاده از هیومیک‌اسید نسبت به دو رقم دیگر از خود نشان دادند. نتایج برهمکنش تنش خشکی و ارقام نشان داد که رقم هایولا ۴۲۰ در سطح تنش ۶۰ میلی‌متر تبخیر در کلیه صفات بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص داد. به کلی می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از هیومیک‌اسید باعث افزایش تحمل گیاه در برابر کاهش خسارت‌های ناشی از تنش کم‌آبی بوده است.

منابع

افشانی، س.، امیر نیا.ر. و هادی. ه. ۱۳۹۴. بررسی اثر محلول‌پاشی آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزای پائیزه در شرایط کم‌آبیاری. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۳(۱ :)۵۲-۴۳.

برکتی، ف.، مجیدی هروان، ا.، شیرانی‌راد ، ا.ح. و نورمحمدی، ق. ۱۳۹۸. پاسخ‌های فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های کلزا به کاشت تأخیری و محلول‌پاشی هیومیک‌اسید. نشریه فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۱ (۴۴): ۵۹-۷۶.

بهشتی، ص.، علی تدین، ع. و فالح، س. ۱۳۹۵. اثر سطوح اسید هیومیک بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا لیما در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران. ۲(۷) : ۱۸۷-۱۷۵.

بیات، م.، ربیعی، ب.، ربیعی، م. و مومنی، ع، ۱۳۸۷. ارزیابی روابط بین عملکرد دانه و صفات مهم زراعی کلزا به‌عنوان کشت دوم در شالیزار. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲(۴۵) : ۴۸۷-۴۷۵.

چراتی‌آرائی، ع. و خانلریان‌خطیری، م. ۱۳۸۷. بررسی اثر سرب بر جوانه‌زنی، مقدار پروتئین و پرولین و ارزش تحمل به سرب در دو رقم کلزا. (*Brassica napus* L.). مجله علوم محیطی. ۵(۳) : ۵۲-۴۱.

ربیعی، م.، رحیمی، م. و کردرستمی، م. ۱۳۹۰. تجزیه مسیر عملکرد روغن و صفات زراعی در چهارده رقم کلزا (*Brassica napus* L.). نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۴(۲۱) : ۲۷-۱۷.

سنجری‌میجانی، مژگان.، سیروس‌مهر، ع.ر. و فاخری، ب. ۱۳۹۴. اثر تنش خشکی و اسیدهیومیک بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک چای ترش (*Hibiscus sabdarifa*). به‌زراعی کشاورزی. ۲(۱۷) : ۴۱۴-۴۰۳.

شاهسون‌مارکده، م. و چمنی، آ. ۱۳۹۳. تأثیر غلظت و زمان‌های مختلف کاربرد اسیدهیومیک بر ویژگی‌های کمی و کیفی گل بریده شب بو رقم Hanza. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۵(۱۹) : ۱۷۰-۱۵۷.

عبدزادگوهری، ع. و صادقی‌پور، ا. ۱۳۹۸. تأثیر کم‌آبیاری و اسیدهیومیک بر عملکرد و کارایی مصرف آب در لوبیا. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳(۳۳) : ۳۹۶-۳۸۳.

فیض‌آبادی، ا.، نورمحمدی، ق. و فاتحی. و. ۱۳۹۹. مطالعه برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی چند رقم کلزا با کاربرد کود ورمی‌کمپوست در شرایط تنش خشکی. نشریه فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۲(۴۰): ۱۵۳-۱۳۳.

مجدم، م.، پاینده، خ.، لک، ش. و مرعشی، ک. ۱۳۹۵. اثر پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی ذرت بهاره (*Zea mays* L.) در شرایط تنش کمبود آب. نشریه فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۸(۳۲) : ۷۳-۶۱.

میرموسوی، س.ع.، زینالی، ح. و حسن‌زاده، ع.ا. ۱۳۸۵. بررسی همبستگی ژنتیکی درصد روغن با برخی صفات مهم کمی و کیفی در کلزا از طریق تجزیه‌های آماری چند متغییره. مجله علوم کشاورزی ایران. ۱ (۳۷): ۱۸۶-۱۷۷.

ناسوتی‌میاندوآب، ر.، سماوات، س. و تهرانی، م.م. ۱۳۸۹. خواص کود اسیدهیومیک بر گیاه و خاک. کشاورزی و غذا. ۱۰۱ :۵۵-۵۳.

نخعی‌نژاد، ب.ا. موسوی، س.غ. ۱۳۹۶. تأثیر دور آبیاری، اسیدهیومیک و نوع کود گوگردی بر صفات مورفولوژیکی و عملکردی شنبلیله. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی. ۸(۳۰) : ۵۱-۴۰.

نصیری، آ.، سامدلیری، م.، شیرانی‌راد، ا.م.، موسوی، ا.م و جباری، ح. ۱۳۹۶. ارزیابی صفات زراعی و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی در شرایط کاربرد هیومیک اسید و تراکم‌های مختلف بوته در برخی ارقام زمستانهٔ کلزا. نشریه فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۹ (۳۵): ۷۲-۵۵.

نظری، ط.، بارانی‌مطلق، م.، دردی‌پور، ا. قربانی‌نصرآباد، ر وسفیدگر، س. ۱۳۹۶. تأثیر روش کاربرد و سطوح مختلف اسیدهیومیک بر رشد رویشی و اجزای عملکرد گیاه کلزا. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. ۷(۳) : ۱-۱۷.

هنر، ت.، ثابت‌سروستانی، ع.، شمس، ش.، سپاس‌خواه، ع. ر. و کامگارحقیقی، ع. ا. ۱۳۹۱. اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا (رقم طالیه). مجله علوم زراعی ایران. ۱۴(۴): ۳۳۲-۳۲۰.

میر، ی.، دانشور، م و اسماعیلی، ا. ۱۳۹۹. بررسی امکان کاهش خسارت کمی و کیفی کلزا رقم نپتون در شرایط کم‌آبی با کاربرد محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و عناصر ریزمغذی. نشریه فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۲(۴۹) : ۸۱-۶۵.

Aiyafar, S., Minab Poudineh, H., and Forouzandeh, M. 2015. Effect of humic acid on qualitative and quantitative characteristics and essential oil of black cumin (*Nigella sativa* L.) under water deficit stress. Internatoinal Journal Science. 4: 2. 2277-5641.

Ahmadi, M. and. Bahrani, M.J. 2009. Yield and Yield Components of Rapeseed as Influenced by Water Stress at Different Growth Stages and Nitrogen Levels. Am Eurasian Journal of Agriculture Environmental Sciences. 5 (6): 755-761.

Anwar, S., Iqbal, F., Khattak, W. A., Islam, M., Iqbal, B. and Khan, S. 2016. Response of wheat crop to humic acid and nitrogen levels. Agriculture research articles. 3(1): 558-565.

Ayas, H. and Gulser, F. 2005. The effect of sulfur and humic acid on yield components and macronutrient content of spinach. Journal of Biological Science. 5(6): 801-804.

Bates, L S., Waldern, R.P. and Tear, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39: 205-207.

Din, J., Khan, S. U., Ali, I, and Gurmani, A. 2011. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. Journal of Animal and Plant Sciences. 21 (1): 78-82.

El-Bassiony, Z. F. M., Fawzy, A. M., Abd El-Baky, M. H. and Mahmoud, A. R. 2010. Response of snap bean plants to mineral fertilizers and humic acid application. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 6(2): 169-175.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D, and Basra, S. M. A. 2009. Plant drought stress, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development. 29: 185- 212.

Gomes, F. P., Oliva, M. A., Mielke, M. S., Almeida, A. A. F. and Aquino, L. A. 2010. Osmotic adjustment, proline accumulation and membrane stability in leaves of *Cocos nuciera* submitted to drought stress. Scientia Horticulturae. 126: 379- 384.

Guoth, A., Tari, I., Galle, A., Csiszar, J., Pecsvaradi, A., Cseuz, L., Erdei, L., 2009. Comparison of the drought stress responses of tolerant and sensitive wheat cultivars during grain filling: Changes in flag leaf photosynthetic activity, ABA levels, and grain yield. Jounal Plant Growth Regulator. 28: 167-176.

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Anee, T.I., Khan, M.I.R. and Fujita, M. 2018. Silicon-mediated regulation of antioxidant defense and glyoxalase systems confers drought stress tolerance in Brassica napus L. South African Journal of Botany. 115: 50–57.

Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids, the pigments of photosynthetic bio membranes. Methods in Enzymology. 148: 350–382.

Manal, F. M., Thalooth, A. T., Amal A. G., Magda, H. M. and Elewa, T. A. 2016. Evaluation of the effect of chemical fertilizer and humic acid on yield and yield components of wheat plants (*Triticum aestivum*) grown under newly reclaimed sandy soil. International Journal of ChemTech Research. 9(8): 154-161.

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A. and Vianello. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. Soil Biology and Biochemistry. 34: 1527- 1536.

Omidi, H. 2010. Changes of proline content and activity of antioxidative enzymes in two canola genotype under drought stress. American Journal of Plant Physiology. 5 (6): 338-349

Rao, M. S. S., Mendham, N. J., and Buzza, G .C. 1991. Effect of the apetalous flower character on the radiation distribution in the crop canopy, yield and its components of oilseed rape (*Brassica napus*). Journal Agricultural Science Cambridge. 117: 189-196.

Sana, M., Asghar, A., Malik, A. M., Farrukh Saleem, M. and Rafiq, M. 2003. Comparative yield potntial and oil contents of different canola cultivars (*Brassica napus* L.) Pakistan Journal of Agricultural Sciences. 2(1): 17.

Zirgoli, M. H. and Kahrizi, D. 2015. Effects of end-season drought stress on yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.) in warm regions of Kermanshah Province. Biharean Biologist. 9(2): 133-140.