DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2026.4287

تأثیر تنش شوری و محلول‌پاشی هیومیک اسید بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک گیاه کاسنی (*Cichorium intybus* L.) (مقاله پژوهشی)

۱ - حمید سودایی‌زاده*، استاد، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
hsodaie@yazd.ac.ir
۲ - مریم خسروپور، کارشناس ارشد، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
۳ - جمشید شهاب، استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه سمنگان، سمنگان، افغانستان.
۴ - محمدعلی حکیم‌زاده، دانشیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

دریافت: ۱۴۰۵/۰۵/۱۷
پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۰۶

چکیده

تنش شوری از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان مختلف بوده و می‌تواند شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. این پژوهش با هدف بررسی اثر تنش شوری بر برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک کاسنی و ارزیابی نقش هیومیک‌اسید در کاهش پیامدهای این تنش انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل چهار سطح شوری ۰/۶ (شاهد)، ۲، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر و سه سطح هیومیک‌اسید ۰، ۰/۵ و ۱ گرم بر لیتر بودند. صفات اندازه‌گیری‌شده شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، پرولین، قندهای محلول، وزن خشک اندام هوایی، حجم ریشه، وزن خشک ریشه، ارتفاع گیاه، تعداد برگ، حجم تاج‌پوشش و طول ریشه بود. نتایج نشان داد افزایش تنش شوری سبب افزایش معنی‌دار پرولین و قندهای محلول و کاهش معنی‌دار اغلب صفات مورفولوژیک و میزان کلروفیل شد. کاربرد هیومیک‌اسید باعث بهبود صفات رشدی و افزایش محتوای کلروفیل شد و هم‌زمان میزان پرولین و قندهای محلول را در سطوح مختلف شوری در مقایسه با شاهد کاهش داد. غلظت ۰/۵ گرم بر لیتر هیومیک در بسیاری از صفات مورفولوژیک، به‌ویژه تحت شوری متوسط و شدید، اثر مطلوب‌تری نشان داد، درحالیکه غلظت ۱ گرم بر لیتر در بیشتر صفات فیزیولوژیک، به‌ویژه افزایش محتوای کلروفیل و کاهش تجمع پرولین و قندهای محلول، مؤثرتر بود. در مجموع، محلول‌پاشی هیومیک‌اسید توانست بخشی از آثار منفی شوری را در گیاه کاسنی تعدیل کند، هرچند ارزیابی کارایی اقتصادی آن به مطالعات مزرعه‌ای تکمیلی نیاز دارد.

واژگان کلیدی: صفات فیزیولوژیک، صفات مورفولوژیک، گیاهان داروئی، محلول‌پاشی.

مقدمه

گیاهان دارویی از دیرباز در طب سنتی جایگاه ویژه‌ای داشته‌اند. مصرف این‌گونه گیاهان با زندگی مردم پیوند خورده و در طول سالیان دراز در سلامتی مردم نقش مهمی را ایفا کرده‌اند [۸]. کاسنی (Cichorium intybus L.) از گیاهان مهم خانواده Asteraceae است که به‌دلیل ترکیبات دارویی موجود در ریشه و برگ، در طب سنتی و مدرن و نیز به‌دلیل ارزش علوفه‌ای آن در زراعت کاربرد زیادی دارد [۳۱]. بیش از ۲۰ درصد از کل زمین‌های زراعی دنیا با مشکل شوری مواجه بوده به‌طوری‌که رشد گیاهان زراعی، بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۳۳]. شوری می‌تواند از مرحله جوانه‌زنی تا رشد رویشی و تولید، فرآیندهای مختلف گیاه را مختل کند و شدت پاسخ گیاه نیز به گونه، مرحله رشد، شدت تنش و مدت مواجهه بستگی دارد [۳۴]. از این‌رو، شناسایی راهکارهایی برای کاهش آثار زیان‌بار شوری و افزایش تحمل گیاهان دارویی از دیدگاه تولید پایدار اهمیت دارد.

گیاهان برای رشد، نمو و تولید محصول، افزون بر آب، به تأمین مناسب عناصر غذایی نیاز دارند. در میان این عناصر، نیتروژن و فسفر از مهم‌ترین اجزای تغذیه‌ای به‌شمار می‌آیند، زیرا به‌عنوان بخش‌های اصلی در ساختار بسیاری از مولکول‌های حیاتی، از جمله پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، اسیدهای آمینه، آنزیم‌ها، ویتامین‌ها و رنگیزه‌ها، نقش بنیادینی در فرایندهای زیستی گیاه ایفا می‌کنند [۵].

مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی می‌تواند با افزایش شوری خاک و تشدید آلودگی آب‌های زیرزمینی همراه باشد. از آنجا که هیچ راهکار واحدی برای کنترل شوری در اراضی آبی وجود ندارد، کاهش این مشکل مستلزم به‌کارگیری مجموعه‌ای از رویکردهای مدیریتی متناسب با شرایط اقتصادی، اقلیمی، اجتماعی، ادافیکی و هیدروژئولوژیکی هر منطقه است. اگرچه استفاده از گیاهان متحمل به شوری یکی از راهکارهای رایج به‌شمار می‌آید، این روش به‌دلیل تفاوت در پاسخ گیاهان به شدت‌های مختلف تنش و نیز وابستگی عملکرد اقتصادی به شوری خاک یا آب آبیاری، همیشه موفقیت کامل نداشته است. همچنین، انتقال ویژگی تحمل به شوری به گونه‌های هدف نیز با محدودیت‌هایی همراه بوده و به نتایج کاملاً پایدار منجر نشده است [۲۸]. از این‌رو، توسعه و به‌کارگیری فناوری‌های جایگزین و کم‌هزینه‌تر برای مقابله با تنش شوری ضروری به نظر می‌رسد. در همین راستا، پژوهشگران در پی روش‌هایی هستند تا زمینه تولید پایدار محصولات کشاورزی و تسهیل کشت در مناطق خشک و شور را فراهم سازند [۲۷].

یکی از روش‌های مقابله با شوری استفاده از کودهای آلی بوده که با بهینه‌سازی جذب عناصر غذایی منجر به کاهش اثرات شوری بر رشد گیاه می‌شود. کودهای آلی، غنی از مواد مغذی ضروری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم بوده و استفاده از آن‌ها به بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و کاهش اثرات تنش‌های محیطی از جمله شوری کمک می‌کند [۱۵]. در میان نهاده‌های آلی، هیومیک‌اسید به‌دلیل منشأ طبیعی، ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و توانایی اثرگذاری بر جذب و جابه‌جایی عناصر غذایی مورد توجه قرار گرفته است [۲۲]. یکی از خصوصیات اسیدهیومیک ظرفیت بالای تبادل کاتیونی است که رشد گیاهان را از راه انتقال یون‌ها به منطقه ریشه و نیز افزایش جذب عناصر غذایی کم مصرف به وسیله ممانعت از آبشویی تقویت می‌کند [۳۷].

مطالعات پیشین نشان داده‌اند که هیومیک اسید می‌تواند در افزایش مقاومت به شوری گیاهان نقش داشته باشد. نتایج بررسی اثر هیومیک اسید بر رشد گیاه کلزا نشان داد که هیومیک در غلظت ۱ گرم در لیتر، اثر تنش شوری بر گیاه را کاهش داده و منجر به افزایش معنی‌دار محتوی کلروفیل و کارتنوئید گیاه شد [۲].

یافته‌های اثر تنش شوری بر کاسنی نشان داد که شوری منجر به کاهش وزن خشک ریشه و ساقه، کلروفیل a، b و کلروفیل کل و همچنین محتوای اینولین شد. همچنین با افزایش سطوح شوری، افزایش در تجمع یون‌های سدیم (Na^+) و کاهش شدید یون‌های پتاسیم (K^+) در ساقه مشاهده شد [۲۱].

نتایج تحقیق دیگر نشان داد که کاربرد هیومیک اسید ارتفاع، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، وزن تر ساقه و وزن خشک ساقه گیاه میخک زینتی را کاهش داد. همچنین هیومیک تأثیر مطلوبی بر حفظ برگ‌ها در هر دو فصل نشان داد، زیرا تعداد برگ‌های افتاده کاهش یافت [۱۸].

شوری با تجمع سطوح سمی سدیم در اندام‌هوایی و ریشه‌ها، کاهش نسبت پتاسیم و پتاسیم به سدیم، تجمع قندهای محلول کل، ساکارز و پرولین شاخص‌های رشد برنج را کاهش داد. کاربرد اسید هیومیک به‌طور قابل توجهی رشد گیاهان تحت تنش شوری را حتی در سطوح تنش بالا افزایش داد. اثرات بهبود دهنده اسید هیومیک را می‌توان به حفظ هموستاز یونی، محتوای مناسب اسمولیت‌ها و یک سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی کارآمد مرتبط دانست [۱].

کنترل شوری یکی از عوامل مهم در افزایش میزان تولید محصولات کشاورزی است. بنابراین انجام تحقیقات پیرامون افزایش مقاومت گیاهان در برابر شوری از اهمیت خاصی برخوردار است. با توجه به بررسی‌های به‌عمل آمده اطلاعات مربوط به پاسخ مورفوفیزیولوژیک گیاه کاسنی به تنش شوری و نقش محلول‌پاشی هیومیک‌اسید در تعدیل

این پاسخ‌ها محدود است. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف شوری بر صفات رشدی و فیزیولوژیک کاسنی و ارزیابی کارایی محلول‌پاشی هیومیک‌اسید در کاهش اثرات منفی شوری انجام شد. نتایج این تحقیق می‌تواند در شناسایی نقش هیومیک-اسید در بهبود مقاومت به شوری گیاهان مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر هیومیک اسید در افزایش مقاومت به شوری گیاه کاسنی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه یزد به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور نخست شامل تنش شوری با چهار سطح (۰/۶ (شاهد)، ۲، ۴، ۸ دسی-زیمنس بر متر) و فاکتور دوم شامل غلظت هیومیک‌اسید در سه سطح (۰، ۰/۵ و ۱ گرم بر لیتر) در نظر گرفته شد. انتخاب این سطوح از شوری و هیومیک اسید براساس مطالعات انجام شده بر روی گیاه کاسنی انجام شد [۲۳، ۱۴]. تیمارهای تنش شوری با استفاده از نمک کلرید سدیم تهیه شد و تیمار آبیاری با آب شهری (۰/۶ دسی‌زیمنس بر متر) نیز به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. تنش شوری با استفاده از کلرید سدیم اعمال شد، زیرا NaCl یکی از رایج‌ترین نمک‌ها در مناطق خشک بوده که برای ایجاد تنش شوری کنترل‌شده در مطالعات گلخانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این نمک امکان اعمال و کنترل دقیق سطوح مختلف هدایت الکتریکی را فراهم می‌کند. در این آزمایش گلدان-های پلاستیکی دارای زهکش با قطر ۱۵ و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر با خاک مرکب با بافت لومی مرکب از دو واحد خاک، یک واحد کود برگ و یک واحد ماسه پر شدند. مشخصات خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات خاک مورد استفاده در آزمایش

بافت خاک	EC (dS/m)	pH	ازت کل (٪)	فسفر در دسترس (ppm)	پتاسیم در دسترس (ppm)	کربن آلی (٪)
لومی شنی	۲/۰۳	۷/۴۷	۰/۱۵	۹/۲	۲۰۳	۱/۳۲

چند سانتی‌متر از بالای گلدان‌ها خالی نگاه داشته شد تا فضای لازم برای آبیاری وجود داشته باشد. قبل از کاشت گیاهان، خاک مورد استفاده آبشویی و هدایت الکتریکی آن به زیر ۰/۵ دسی‌زیمنس‌برمتر تقلیل یافت. به‌منظور اجرای آزمایش، ابتدا ۲۰ عدد بذر سالم در هر گلدان کاشته شد و روی آن ها با قشر نازکی از ماسه‌بادی پوشانده و به‌صورت اسپری آبیاری شد. پس از استقرار کامل بوته‌ها ۵ بوته قوی‌تر انتخاب و دیگر بوته‌ها تنک شدند.

آبیاری گلدان‌ها براساس شرایط دمایی گلخانه و رطوبت محیط، در فواصل سه‌روزه انجام شد. در هر نوبت آبیاری، ۲۰۰ میلی‌لیتر آب به هر گلدان اضافه گردید.

جهت جلوگیری از تجمع نمک بعد از هر چهار بار آبیاری با آب شور یکبار گلدان‌ها با آب غیر شورآبیاری شدند و با اندازه‌گیری میزان شوری آب زهکشی شده میزان هدایت الکتریکی تیمارهای مختلف شوری اندازه-گیری و کنترل گردید. محلول‌پاشی هیومیک‌اسید بعد از گذشت ۴۰ روز از اعمال تیمارهای شوری انجام شد و پس از گذشت یک هفته تکرار گردید. کلیه مراحل محلول‌پاشی در هنگام صبح یا غروب آفتاب صورت گرفت تا تبخیر از سطوح برگ به حداقل برسد. تیمارهای شاهد با آب مقطر محلول‌پاشی شدند. مشخصات هیومیک اسید مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- درصد وزنی ترکیبات و عناصر موجود در هیومیک اسید مورد استفاده در آزمایش

هیومیک اسید	پتاسیم محلول	کربن آلی	فولیک اسید	نیتروژن	کلسیم	منیزیم	آهن محلول
				درصد			
۶۰	۱۲	۳۶	۵	۱	۱	۰/۱۵	۰/۰۵

برگ گیاهان مورد آزمایش یک هفته بعد از آخرین محلول‌پاشی به آزمایشگاه برده شده و میزان قند محلول و پرولین و کلروفیل اندازه‌گیری شد. در پایان دوره رشد، ارتفاع گیاه، تعداد برگ و حجم تاج-پوشش هر واحد آزمایشی اندازه‌گیری شد. پس از برداشت بوته‌ها صفاتی از قبیل وزن تر اندام هوایی، طول و حجم ریشه محاسبه گردید. پس از خشک شدن در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت در داخل کوره، وزن خشک آن‌ها با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم محاسبه گردید.

اندازه‌گیری ارتفاع از طوقه تا نوک طویل‌ترین ساقه با استفاده از خط‌کش انجام شد. حجم تاج-پوشش با اندازه‌گیری ارتفاع و قطر گیاهان در دو جهت شمال-جنوب و شرق-غرب با استفاده از روابط ۱ (زمانی که ارتفاع کمتر از قطر باشد) و ۲ (زمانی که قطر کمتر از ارتفاع باشد) محاسبه گردید [۳۲].

رابطه (۱): $V= (4/3)\ \pi a^2 b$

رابطه (۲): $V= (4/3)\ \pi a b^2$

که در آن a برابر ارتفاع گیاه، b برابر با قطر متوسط گیاه، v برابر با حجم تاج پوشش و π برابر عدد ۳/۱۴ می‌باشد.

روش اندازه‌گیری حجم ریشه بدین‌طریق بود که پس از جداکردن اندام هوایی و ریشه از یکدیگر با چند بار شستشو، ریشه‌ها در داخل استوانه مدرج با میزان مشخص آب، گذاشته شد و از روی بالا آمدن آب، حجم ریشه بر حسب سی سی اندازه‌گیری شد. همچنین وزن خشک اندام‌هوایی نیز بدین‌ترتیب بود که در پایان آزمایش نسبت‌به قطع قسمت هوایی بوته‌ها اقدام و با قرار دادن آن‌ها در آون و در دمای ۷۵ درجه به مدت ۴۸ ساعت وزن خشک آن‌ها محاسبه شد. جهت براورد وزن خشک ریشه نیز پس از جدا نمودن قسمت هوایی، نسبت به برداشت خاک و ریشه اقدام و با الک نمودن و سپس شستشوی خاک، ریشه‌های ضخیم و مویین جدا و با قرار دادن در کوره و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت وزن خشک آنها به‌دست آمد [۴].

برای اندازه‌گیری کلروفیل از هر نمونه مقدار ۰/۵ گرم از ماده تر گیاه توزین شده و به درون هاون ریخته شده و سپس با ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده و له شد. سپس توسط کاغذ صافی ۴۲ واتمن نمونه‌ها صاف گردید. بعد از تنظیم نمودن دستگاه اسپکتروفوتومتر و کالیبره کردن با استون، عصاره جدا شده درون آن قرار داده شده و میزان جذب در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b خوانده شد و براساس رابطه ۳ مقدار هر کدام به‌دست آمد [۱۹].

رابطه (۳):

$Chl_a=12.25A_{663.2}-2.798A_{646.8}$

$Chl_a=21.5A_{646.8}-5.1A_{663.2}$

$Chl_T= Chl_a + Chl_b$

که در آن‌ها Chla، کلروفیل a، Chlb،کلروفیل b و ChlT کلروفیل کل می‌باشد.

جهت اندازه‌گیری میزان پرولین مقدار ۰/۵گرم از بافت تر برگ را در۱۰ میلی‌لیتر محلول ۳ درصد اسید-سولفوسالیسیلیک ساییده و سپس نمونه‌ها صاف گردید.۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین (این معرف حاصل افزودن ۱/۲۵ گرم نین هیدرین به ۳۰ میلی‌لیتر اسیداستیک خالص می‌باشد) و ۲ میلی‌لیتر اسیداستیک غلیظ به دو میلی‌لیتر عصاره صاف شده در لوله آزمایش افزوده شده و سپس لوله‌ها در بن‌ماری با دمای صد درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ساعت قرار داده شدند و سپس درحمام یخ به مدت نیم ساعت قرار گرفتند. بعد از گذشت این مدت، به هر لوله آزمایش ۴ میلی‌لیتر تولوئن افزوده و بعد از تکان دادن لوله‌ها، با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر و

کالیبره کردن آن با تولوئن، میزان جذب لایه رنگی فوقانی در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید [۷].

برای سنجش قند محلول، ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد به ۰/۱ گرم از ماده خشک گیاهی (برگ) اضافه و به مدت یک هفته در یخچال نگهداری شد. پس از گذشت یک هفته، به ۱ میلی‌لیتر از محلول رویی نمونه، ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد اضافه و بهم زده شد. سپس ۵ میلی‌لیتر سولفوریک‌اسید غلیظ به محلول اضافه شد. پس از گذشت سی دقیقه در دمای آزمایشگاه، با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر و کالیبره کردن با اتانول، در طول موج ۴۸۵ نانومتر، میزان جذب تعیین شده و با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز، غلظت قندهای محلول برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک ارزیابی گردید [۱۶].

برای آنالیز داده‌های حاصل از صفات مورد آزمایش به‌دلیل نرمال بودن داده‌ها از روش تجزیه واریانس دو طرفه استفاده شد تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS صورت گرفت و از آزمون دانکن جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک گیاه کاسنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش شوری و هیومیک‌اسید بر کلیه صفات مورفولوژیکی کاسنی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل تنش شوری و هیومیک‌اسید بر وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع گیاه و حجم تاج‌پوشش در سطح ۱درصد معنی‌دار بوده و بر حجم ریشه، وزن خشک ریشه، تعداد برگ و طول ریشه اثر معنی‌داری ندارد (جدول۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تنش شوری و هیومیک اسید بر صفات مورفولوژیک گیاه کاسنی (میانگین مربعات).

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک بخش هوایی	حجم ریشه	وزن خشک ریشه	ارتفاع گیاه	تعداد برگ	حجم تاج پوشش	طول ریشه
تنش شوری (S)	۳	۲۹/۳**	۹/۲**	۰/۶**	۶۰۲ **	۱۸۴۱**	۱۳۱۴۴۹۳۸۴۷**	۶/۴**
هیومیک اسید(H)	۲	۲۱/۷**	۷/۷**	۰/۴۴**	۲۶۵**	۶۵۱**	۱۷۶۲۴۰۷۴۶**	۱/۹**
S*H	۶	۱/۸**	۰/۰۸^{ns}	۰/۰۷۷^{ns}	۶۷**	۴/۳^{ns}	۵۴۳۵۳۵۲۳**	۰/۰۸^{ns}
خطا	۲۴	۰/۲	۰/۰۶	۰/۰۰۴	۷/۳	۸/۶	۳۸۴۲۳۰۹	۰/۰۲

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی دار بودن تفاوت‌ها درسطح ۵٪ و ۱٪ و ns نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

نتایج مقایسه میانگین داده‌های اثر تنش شوری بر وزن خشک اندام هوایی گیاه کاسنی نشان داد که اعمال شوری خفیف (۲ دسی زیمنس بر متر) منجر به افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی گیاه کاسنی شده است و سطوح بالاتر شوری (۴ و ۸ دسی زیمنس بر متر) باعث کاهش معنی‌دار این صفت گردید. نتایج اثر هیومیک اسید بر وزن خشک هوایی بیانگر آن است که مصرف ۰/۵گرم بر لیتر هیومیک‌اسید در تمامی سطوح شوری (به جز سطح ۲دسی‌زیمنس بر متر) نتایج بهتری را نسبت‌به مصرف ۱گرم بر لیتر از این ماده در پی داشت (جدول ۴).

نتایج اثر تنش شوری بر حجم و طول ریشه نشان داد که با افزایش میزان شوری به ۴ و ۸ دسی زیمنس بر متر مقدار هر دو صفت نسبت‌به شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. مصرف هر دو سطح هیومیک اسید تأثیر منفی تنش شوری بر حجم و طول ریشه را نسبت‌به عدم مصرف آن کاهش داد. همچنین در سطوح بالای تنش

شوری مصرف ۰/۵ گرم هیومیک اسید در مقایسه با ۱ گرم نتایج بهتری را نشان داد (جدول ۴). در مجموع بیشترین حجم و طول ریشه در شوری ۲ دسی زیمنس بر متر و مصرف هیومیک‌اسید ۱ گرم بر لیتر به‌دست آمد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تنش شوری و هیومیک اسید بر صفات مورفولوژیک گیاه کاسنی

تنش شوری (دسی‌زیمنس‌بر متر)	هیومیک اسید (گرم بر لیتر)	وزن خشک اندام هوایی (گرم/گلدان)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب/گلدان)	وزن خشک ریشه (گرم/گلدان)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	تعداد برگ (گلدان)	حجم تاج پوشش (سانتی‌متر مکعب/گلدان)
۰/۶	۰	۱۰/۲ef	۴/۰۳ef	۷/۴f	۶۹/۷e	۲۴/۷cd	۲۴۴۳۵d
	۰/۵	۱۲/۸b	۴/۵b	۷/۶de	۷۵/۳d	۳۵/۷b	۳۴۸۲۴b
	۱	۱۱/۲cd	۵/۶b	۷/۸cd	۸۵/۷bc	۴۲a	۴۰۶۷۳a
۲	۰	۱۱/۶cd	۵/۱g	۸c	۸۰/۳c	۲۰def	۱۷۳۸۶e
	۰/۵	۱۳/۵b	۵/۵bc	۸/۴b	۸۹b	۲۲/۷cde	۱۹۶۴۲e
	۱	۱۴/۶a	۶/۵a	۸/۷a	۹۵/۷a	۳۲/۳b	۲۸۰۵۳c
۴	۰	۸/۷g	۳/۷f	۶/۵h	۵۷gh	۱۵/۷efg	۹۷۰۱fg
	۰/۵	۱۱/۷c	۴/۴de	۷g	۹۱/۳b	۲۵/۳c	۱۶۵۰۳e
	۱	۹/۸f	۵/۶b	۷/۵ef	۷۱/۳de	۱۸/۳fg	۱۱۳۲۵f
۸	۰	۷/۶h	۲/۳۸h	۵/۹j	۵۰i	۱۲h	۴۲۱۱h
	۰/۵	۱۰/۹de	۳/۳g	۶/۲i	۵۵/۷h	۱۸/۷efg	۶۵۷۵efg
	۱	۸/۷g	۴/۱def	۷g	۶۳f	۱۴/۳fg	۵۲۷۱h

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن

نتایج اثر تنش شوری بر ارتفاع گیاه کاسنی نشان داد که با افزایش شوری از ۲ به ۴ (به‌جز هیومیک ۰/۵ گرم) و ۸ ارتفاع گیاه کاسنی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و مصرف هر دو غلظت هیومیک‌اسید منجر به کاهش اثرات منفی تنش شوری شد با این‌حال در سطوح شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر مصرف ۰/۵گرم بر لیتر هیومیک‌اسید تأثیر بیشتری بر روی ارتفاع کاسنی در مقایسه با غلظت ۱ گرم بر لیتر نشان داد (جدول۴).

نتایج اثر تنش شوری بر تعداد برگ گیاه کاسنی نشان داد که با افزایش میزان تنش شوری صفت مذکور به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین مصرف هیومیک اسید بخصوص در غلظت ۰/۵ گرم بر لیتر تأثیر تنش شوری را نسبت‌به عدم مصرف این ماده به‌طور معنی‌داری کاهش داد (جدول ۴).

حجم تاج پوشش‌گیاهی نیز روند مشابه‌ای با ارتفاع گیاه نشان داد به‌طوریکه با افزایش میزان شوری حجم تاج‌پوشش کاسنی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت همچنین مصرف هیومیک اسید سبب جبران اثر منفی شوری در سطوح پایین‌تر شوری (با تأثیر بیشتر) و در سطوح بالاترشوری (با تأثیر کمتر) شده است (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک گیاه کاسنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش شوری و هیومیک‌اسید بر کلیه صفات در سطح ۱درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل تنش شوری و هیومیک‌اسید بر کلیه صفات در سطح ۱ درصد و بر قند محلول در سطح ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۵).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر تنش شوری و هیومیک اسید بر صفات فیزیولوژیک گیاه کاسنی (میانگین مربعات)

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	پرولین	قند محلول
(S) تنش شوری	۳	۲۹۷/۹**	۱۰۴/۲**	۷۵۲/۳**	۰/۴**	۰/۱**
(H) هیومیک اسید	۲	۸۵/۴**	۲۶/۲**	۲۰۶/۲**	۰/۰۹**	۰/۰۳**
S*H	۶	۹/۲**	۱/۲**	۱۶/۵**	۰/۰۱**	۰/۰۰۳**
خطا	۲۴	۰/۶۸	۰/۰۹	۱/۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲

* و ** به‌ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن تفاوت‌ها در سطح ۵٪ و ۱٪ ns نشان دهنده عدم وجودتفاوت معنی‌دار می‌باشد.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل هیومیک‌اسید و تنش شوری بر کلروفیل a و کلروفیل b نشان داد با افزایش تنش شوری، میزان این دو صفت به‌طور معنی-داری درحالت مصرف و عدم مصرف هیومیک‌اسید کاهش یافت. مصرف هر دو غلظت هیومیک اثر منفی تنش شوری بر هر دو نوع کلروفیل را کاهش داد. با این‌حال نتایج بیانگر اثرات اصلاحی بیشتر غلظت ۱ گرم بر لیتر هیومیک اسید نسبت‌به غلظت ۰/۵ گرم از این ماده بر روی هر دو صفت مورد بررسی بود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین‌ها مربوط به کلروفیل کل نیز همانند نتایج دو صفت قبلی بوده به گونه‌ای که تنش شوری منجر به کاهش معنی‌دار کلروفیل کل کاسنی گردید و مصرف ۱ گرم بر لیتر هیومیک‌اسید نسبت‌به ۰/۵ گرم موثرتر بود و میزان کلروفیل کل را به میزان بیشتری افزایش داد (جدول ۶).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر تنش شوری و هیومیک اسید بر صفات فیزیولوژیک گیاه کاسنی

تنش شوری (دسی- زیمنس‌بر متر)	هیومیک اسید (گرم بر لیتر)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	پرولین (میلی گرم بر گرم)	قند محلول (میلی گرم بر گرم)
۰/۶	۰	۱۴/۷d	۷/۶d	۲۲/۳d	۰/۴h	۰/۷۵f
	۰/۵	۲۰/۸e	۱۰/۴b	۳۱/۲b	۰/۳i	۰/۶۸g
	۱	۲۴/۸a	۱۲/۲a	۳۷a	۰/۲j	۰/۶۲h
۲	۰	۱۲/۲ef	۶/۲f	۱۸/۵ef	۰/۶e	۰/۸۵d
	۰/۵	۱۳/۲e	۶/۹e	۲۰/۲e	۰/۴۹g	۰/۷۸e
	۱	۱۶/۸c	۸/۷c	۲۵/۵c	۰/۴hi	۰/۷۲ab
۴	۰	۷/۹gh	۲/۹j	۱۰/۸h	۰/۷c	۰/۹۱bc
	۰/۵	۹/۲g	۴/۲h	۱۳/۴e	۰/۵۲f	۰/۸e
	۱	۱۱/۶f	۵/۵g	۱۷/۱f	۰/۶۴d	۰/۸۵d
۸	۰	۵/۷i	۱/۴l	۷/۱i	۰/۹۱a	۰/۹۷e
	۰/۵	۶/۶hi	۲k	۸/۶a	۰/۷۸b	۰/۹۴ab
	۱	۸/۷g	۳/۶i	۱۲/۲gh	۰/۶۹c	۰/۸۸cd

میانگین¬هایی که در هر ستون دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح پنج درصد براساس آزمون چند دامنه ای دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتایج اثر تنش شوری و هیومیک‌اسید بر پرولین و قند گیاه کاسنی بیانگر آن است که اعمال تنش شوری منجر به افزایش معنی‌دار پرولین و قند در هر دو تیمار دارای هیومیک و بدون هیومیک شد. با این‌حال مصرف هیومیک منجر به کاهش معنی‌دار میزان این دو صفت در مقایسه با عدم استفاده از این ماده شد. براساس نتایج بدست آمده کمترین میزان پرولین و قند مربوط به تیمار بدون شوری و غلظت هیومیک اسید ۱گرم بر لیتر و بیشترین میزان آن‌ها مربوط به تیمار شوری ۸ دسی زیمنس بر متر و بدون اسیدهیومیک می‌باشد.

محاسبه ضریب همبستگی بین صفات در جدول ۷ نشان داد که وزن خشک اندام هوایی کاسنی رابطه مثبت و معنی‌داری با وزن خشک و حجم ریشه داشت. این بدان معنی است که با بهبود رشد ریشه، گیاه با افزایش جذب آب و مواد غذایی رشد قسمت هوایی خود را افزایش داده است. همچنین رابطه مثبت و معنی‌داری بین غلظت کلروفیل گیاه و وزن خشک اندام هوایی مشاهده شد که بیانگر آن است که کاسنی با افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی میزان جذب نور و فتوسنتز خود را افزایش داده که افزایش رشد و وزن خشک گیاه را در پی داشته است. از طرف دیگر جدول ۶ نشان دهنده رابطه منفی بین وزن خشک اندام هوایی و میزان پرولین و قند محلول گیاه و همچنین رابطه معنی‌دار مثبت بین غلظت پرولین و قندهای محلول گیاه کاسنی است.

جدول ۸ نشان‌دهنده وجود رابطه خطی معنی‌دار بین متغیرهای مستقل شوری و هیومیک اسید و متغیر وابسته وزن خشک اندام هوایی نعناع است. از طرف دیگر جدول ۹ ضرایب رگرسیون وزن خشک اندام هوایی کاسنی را به‌عنوان متغیر وابسته و تنش شوری و هیومیک اسید را به‌عنوان متغیرهای مستقل نشان می‌دهد. معادله رگرسیون به‌سورت رابطه ۴ برآورد شده است:

رابطه (۴):

وزن خشک اندام هوایی =۱۱/۷۲ + ۱/۰۴- (شوری) ۰/۷۶ (هیومیک اسید)

مقدار عرض از مبدأ (Constant) برابر ۱۱/۷۲برآورد شد که نشان‌دهنده وزن خشک پایه در شرایط عدم اعمال تنش شوری و عدم مصرف هیومیک اسید است (خطای استاندارد = ۰/۵۵، t = ۲۱/۳۲، سطح معنی‌داری = ۰/۰۰۰).

تنش شوری اثر منفی و معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی داشت (ضریب رگرسیون = ۱/۰۴-، خطای استاندارد =۰/۲۴، t= -۴/۳۷، سطح معنی‌داری= ۰/۰۰۰)، به‌طوری‌که با افزایش سطح شوری، وزن خشک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در مقابل، کاربرد هیومیک اسید اثر مثبت و معنی‌داری بر وزن خشک نشان داد (ضریب رگرسیون= ۰/۷۶، خطای استاندارد= ۰/۳۳، t = ۲/۳۵، سطح معنی‌داری= ۰/۰۲۵)، که حاکی از بهبود وزن خشک اندام هوایی در نتیجه مصرف هیومیک اسید است. این نتایج نشان می‌دهد که تنش شوری به‌عنوان یک عامل محدودکننده برای رشد کاسنی عمل می‌کند، درحالی‌که کاربرد هیومیک اسید تا حدی اثرات منفی شوری را کاهش داده و به تجمع ماده خشک کمک می‌نماید.

جدول۷- ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در گیاه کاسنی تحت تأثیر شوری و هیومیک اسید

	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	حجم ریشه	ارتفاع گیاه	تعداد برگ	حجم تاج پوشش	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	پرولین	قند محلول
وزن خشک	۱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
وزن خشک	۰/۷۱**	۱	-	-	-	-	-	-	-	-	-
حجم ریشه	۰/۷۱**	۰/۸**	۱	-	-	-	-	-	-	-	-
ارتفاع گیاه	۰/۸۱**	۰/۷۵**	۰/۸۵**	۱	-	-	-	-	-	-	-
تعداد برگ	۰/۶۶**	۰/۵۴**	۰/۵۸**	۰/۶۸**	۱	-	-	-	-	-	-
حجم تاج	۰/۶۴**	۰/۵۵**	۰/۵۷**	۰/۶۴**	۰/۹۵**	۱	-	-	-	-	-
کلروفیل a	۰/۵۶**	۰/۶**	۰/۶۲**	۰/۶۱**	۰/۹۴**	۰/۹۶**	۱	-	-	-	-

کلروفیل b	۰/۶۲**	۰/۵۹**	۰/۶۵**	۰/۶۴**	۰/۸۹**	۰/۹۶**	۰/۹۶**	۱	-	-
کلروفیل کل	۰/۵۸**	۰/۶**	۰/۶۴**	۰/۶۳**	۰/۹۳**	۰/۹۷**	۰/۹۹**	۰/۹۸**	۱	-
پرولین	-۰/۶۸**	-۰/۶۷**	-۰/۷**	-۰/۷**	-۰/۹**	-۰/۹**	-۰/۸۷**	-۰/۹۱**	-۰/۹۱**	-
قند محلول	-۰/۵۷**	-۰/۶۱**	-۰/۶**	-۰/۶**	-۰/۸**	-۰/۹**	-۰/۸۵	-۰/۸۵**	-۰/۸۵**	۰/۸۹

**: معنی‌دار بودن همبستگی در سطح احتمال یک

جدول۸- تجزیه رگرسیون وزن خشک اندام هوایی کاسنی به‌عنوان متغیر وابسته و تنش شوری و هیومیک اسید به‌عنوان متغیر مستقل

مدل	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
رگرسیون	۲	۶۲/۲	۳۱/۱	**۱۲/۳
باقی‌مانده	۳۳	۸۳/۴۵	۲/۵	-
کل	۳۵	۱۴۵/۶۶	-	-

**: معنی‌دار بودن رگرسیون در سطح احتمال یک درصد

جدول۹- ضرایب رگرسیون وزن خشک اندام هوایی کاسنی به‌عنوان متغیر وابسته و تنش شوری و هیومیک اسید به‌عنوان متغیر مستقل

متغیر وارد شده	ضریب رگرسیون b	خطای استاندارد	t	sig
عرض از مبدا (constant)	۱۱/۷۲	۰/۵۵	۲۱/۳۲	۰/۰۰۰
شوری	-۱/۰۴	۰/۲۴	-۴/۳۷	۰/۰۰۰
هیومیک	۰/۷۶	۰/۳۳	۲/۳۵	۰/۰۲۵

بحث

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است و می‌تواند با ایجاد اختلال در وضعیت آبی، تغذیه‌ای و متابولیکی گیاه، رشد و عملکرد آن را محدود کند. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش شدت تنش شوری، بیشتر صفات مورفولوژیک گیاه کاسنی از جمله وزن خشک اندام هوایی، حجم و طول ریشه، ارتفاع گیاه، تعداد برگ و حجم تاج‌پوشش کاهش یافتند، که بیانگر حساسیت رشد رویشی این گیاه به سطوح بالای شوری است. اثر منفی تنش شوری بر رشد گیاه سویا [۳]، گیاه سیاه‌دانه [۱۱]، گیاه نعناع [۶، ۱۳] و گیاه رازیانه [۲۴] با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

این کاهش رشد را می‌توان به افزایش پتانسیل اسمزی محیط ریشه، افت جذب آب، و در نهایت محدود شدن تقسیم و توسعه سلولی نسبت داد. افزون بر این، کوچک شدن و ریزش برگ‌ها در شرایط شور باعث کاهش سطح فتوسنتزی و محدود شدن تولید و انتقال مواد پرورده به اندام‌های در حال رشد می‌شود که خود به افت بیشتر زیست‌توده منجر می‌گردد. همچنین شوری از طریق کاهش فشار تورژسانس سبب کاهش رشد و توسعه سلول‌ها خصوصا در برگ‌ها گردیده و به همین دلیل اولین اثر محسوس شوری بر روی گیاهان به‌صورت تعداد کمتر برگ‌ها، اندازه کوچکتر آن‌ها و ارتفاع کمتر گیاهان مشاهده می‌گردد.

پاسخ کاسنی به شوری در همه سطوح یکسان نبود، به‌طوری‌که در شوری خفیف، افزایش نسبی برخی صفات ریشه مشاهده شد، اما در سطوح بالاتر شوری روند کاهش رشد غالب شد. این الگو نشان می‌دهد که گیاه در تنش خفیف، توسعه سامانه ریشه را به‌عنوان یک پاسخ جبرانی برای حفظ جذب آب تقویت می‌کند، اما با تشدید شوری ناچار به کاهش توسعه اندام‌های هوایی و محدود کردن

سطح تعرق می‌شود. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین وزن خشک اندام هوایی با وزن خشک و حجم ریشه نیز این تفسیر را تقویت می‌کند که حفظ رشد ریشه در کاسنی، برای پایداری رشد بخش هوایی اهمیت مستقیم دارد.

کاهش معنی‌دار کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل تحت تنش شوری نشان داد که دستگاه فتوسنتزی کاسنی به شوری حساس است. این کاهش احتمالاً ناشی از بسته‌شدن روزنه‌ها، اختلال در سنتز کلروفیل، کاهش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و افزایش تجزیه رنگیزه‌ها در شرایط تنش است. همبستگی مثبت کلروفیل با وزن خشک اندام هوایی نیز نشان می‌دهد که هرگونه حفظ یا بهبود ظرفیت فتوسنتزی مستقیماً با تداوم رشد رویشی همراه بوده است. گزارش‌های متعددی حکایت از کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید گیاهان مختلف تحت تنش شوری دارد که ازجمله می‌توان به تحقیقات انجام شده بـر روی سـویا [۳۰]، فلفل دلمه‌ای [۲۶] و اسفرزه [۱۲] اشاره کرد. همچنین نتایج Gholami و همکاران [۱۰] در مورد اثراسیدهای هیومیک و فولیک روی میزان کلروفیل برگ اسفرزه در شرایط شور با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

نتایج این پژوهش همچنین بیانگر افزایش پرولین بخش‌های هوایی کاسنی در اثر افزایش تنش شوری بود. افزایش پرولین و قندهای محلول با تشدید شوری بیانگر فعال شدن سازوکارهای تنظیم اسمزی در گیاه کاسنی است. این ترکیبات با حفظ آماس سلولی، پایداری پروتئین‌ها و غشاها و کاهش آثار تنش اکسیداتیو، به بقای گیاه در شرایط شور کمک می‌کنند. رابطه مثبت بین پرولین و قندهای محلول نشان می‌دهد که این دو متابولیت به‌صورت هماهنگ در پاسخ به شوری افزایش یافته‌اند. این دو ترکیب به‌عنوان اسمولیت‌های سازگار عمل کرده و در سیتوزول تجمع می‌یابند تا فشار تورژسانس سلول را حفظ کرده و از ساختارهای ماکرومولکولی محافظت نمایند، بدون آنکه در متابولیسم طبیعی اختلال ایجاد کنند. تحت شرایط تنش، مسیرهای بیوسنتز پرولین و قندهای محلول به‌طور هم‌اهنگ افزایش می‌یابند و اغلب پیش‌ماده‌های مشترکی مانند کربوهیدرات‌های حاصل از فتوسنتز یا هیدرولیز نشاسته دارند. علاوه‌بر این، هر دو متابولیت در خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و تثبیت غشاها نقش دارند که این امر سبب تجمع همزمان آن‌ها به‌عنوان بخشی از یک مکانیسم پاسخ یکپارچه به تنش می‌شود [۲۵]. این افزایش هماهنگ، منجر به بروز همبستگی مثبت و معنی‌دار بین این دو صفت در سطوح مختلف تنش می‌گردد. با این حال، همبستگی منفی این دو شاخص با وزن خشک اندام هوایی نشان می‌دهد که افزایش اسمولیت‌ها، هرچند بخشی از پاسخ سازشی گیاه است، با کاهش رشد نیز همراه بوده و بیانگر نوعی مصالحه بین تحمل تنش و تولید زیست‌توده است.

نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان‌دهنده نقش مثبت هیومیک اسید در بهبود صفات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه کاسنی بود. تحقیقات مختلف بیان‌گر آن است که هیویک اسید میزان تحمل گیاه به تنش‌هایی نظیر خشکی، شوری و دمای بالا را افزایش می‌دهد [۱۷، ۳۶]. محققان بیان نمودند که هیومیک اسید با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، تاثیر بر نفوذپذیری غشاء به‌عنوان ناقل پروتئین، و تولید آمینواسید آدنوزین‌تری فسفات باعث افزایش رشد گیاهان می‌شود [۲۰]. همچنین نقش مثبت هیومیک اسید به نقش شبه هورمونی این ماده نسبت داده شده است [۳۵]. این ماده می‌تواند منجر به افزایش جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه شده و از طرف دیگر میزان جذب عناصر سمی را کاهش دهد.

یکی از روش‌های مصرف هیومیک اسید محلول پاشی آن است که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت و منجر به بهبود رشد گیاه در شرایط تنش شوری گردید. محلول پاشی هیومیک اسید با تاثیر بر روی میزان فتوسنتز گیاه، سنتز پروتئین، میزان جذب آب و مواد غذایی، افزایش سرعت تقسیم سلولی و همچنین افزایش میزان کلروفیل برگ می‌تواند منجر به بهبود رشد گیاه در شرایط تنش شود [۲۱]. در این رابطه نتایج نشان داد که محلول پاشی هیومیک اسید نسبت به اضافه نمودن آن به خاک مزیت دارد زیرا در حالت مصرف خاکی، گیاه واکنش کندتری نسبت به مصرف هیومیک اسید دارد. دلیل این امر می‌تواند آن باشد که بخش زیادی از

هیومیک اسید در ریشه نگه‌داری شده و به اندام‌های هوایی گیاه منتقل نمی‌شود [۹]. در اکثر گیاهان تنها ۳۰ درصد هیومیک اسید جذب شده توسط ریشه گیاه به ساقه و برگ گیاه منتقل می‌شود درحالیکه محلول پاشی هیومیک اسید این ماده را به‌صورت مستقیم در اختیار اندام‌های هوایی گیاه قرار می‌دهد.

نتایج این پژوهش نشان داد که پاسخ گیاه کاسنی به هیومیک اسید وابسته به غلظت این ماده است. غلظت ۰/۵ گرم بر لیتر هیومیک اسید در بیشتر صفات مورفولوژیک، از جمله صفات مرتبط با رشد و تجمع زیست‌توده، اثر مطلوب‌تری نسبت به غلظت ۱ گرم بر لیتر نشان داد. این نتایج بیانگر آن است که افزایش غلظت هیومیک اسید لزوماً با افزایش رشد گیاه همراه نیست و احتمالاً ۰/۵ گرم بر لیتر به غلظت مناسب‌تری برای تحریک فرآیندهای رشد در گیاه کاسنی نزدیک بوده است. هیومیک اسید در غلظت مناسب می‌تواند از طریق بهبود جذب و انتقال عناصر غذایی، افزایش فعالیت ریشه، بهبود تقسیم و توسعه سلولی و تنظیم فرآیندهای متابولیکی، رشد و تجمع ماده خشک را افزایش دهد [۲۹]. با این حال، افزایش غلظت هیومیک اسید به ۱ گرم بر لیتر ممکن است موجب تغییر در تعادل فرآیندهای رشدی و متابولیکی شده و در نتیجه، کارایی آن در تحریک رشد مورفولوژیک نسبت‌به غلظت پایین‌تر کاهش یافته باشد. بنابراین، پاسخ رشدی گیاه به هیومیک اسید احتمالاً از یک الگوی غیرخطی پیروی می‌کند و وجود یک غلظت بهینه برای دستیابی به حداکثر رشد را نشان می‌دهد.

در مقابل، غلظت ۱ گرم بر لیتر هیومیک اسید در بیشتر صفات فیزیولوژیک، از جمله افزایش محتوای کلروفیل و کاهش تجمع پرولین و قندهای محلول، اثر بیشتری نسبت به غلظت ۰/۵ گرم بر لیتر داشت. این موضوع نشان می‌دهد که غلظت بالاتر هیومیک اسید احتمالاً در بهبود وضعیت تغذیه‌ای، حفظ عملکرد دستگاه فتوسنتزی و تنظیم بهتر وضعیت متابولیکی گیاه تحت شرایط شوری مؤثرتر بوده است. کاهش تجمع پرولین و قندهای محلول نیز می‌تواند نشان‌دهنده کاهش شدت تنش ادراک‌شده توسط گیاه و بهبود شرایط فیزیولوژیک آن باشد؛ زیرا گیاه در شرایط تنش شدید معمولاً برای حفظ تعادل اسمزی، تجمع این ترکیبات را افزایش می‌دهد. با وجود این، بهبود وضعیت فیزیولوژیک الزاماً به افزایش متناسب صفات مورفولوژیک و زیست‌توده منجر نمی‌شود، زیرا فرآیندهای رشد تحت تأثیر عوامل متعدد و پیچیده‌ای قرار دارند. بنابراین، غلظت بهینه هیومیک اسید برای بهبود صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک الزاماً یکسان نیست و انتخاب غلظت مناسب باید براساس هدف تحقیق و نوع پاسخ مورد انتظار انجام شود.

نتیجه گیری

به‌طورکلی، نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش شوری، به‌ویژه در سطوح ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، موجب کاهش بیشتر صفات مورفولوژیک و محتوای کلروفیل و افزایش پرولین و قندهای محلول در گیاه کاسنی شد. در مقابل، شوری خفیف در سطح ۲ دسی‌زیمنس بر متر در برخی صفات موجب حفظ یا بهبود رشد شد که بیانگر وجود ظرفیت سازگاری اولیه کاسنی با شوری خفیف است. محلول‌پاشی هیومیک اسید توانست بخشی از آثار منفی شوری را کاهش دهد، اما پاسخ گیاه به غلظت هیومیک اسید وابسته به نوع صفت بود. غلظت ۰/۵ گرم بر لیتر در بسیاری از صفات مورفولوژیک، به‌ویژه تحت شوری متوسط و شدید، اثر مطلوب‌تری نشان داد، درحالیکه غلظت ۱ گرم بر لیتر در بیشتر صفات فیزیولوژیک، به‌ویژه افزایش محتوای کلروفیل و کاهش تجمع پرولین و قندهای محلول، مؤثرتر بود. بنابراین، نمی‌توان یک غلظت واحد را برای تمامی صفات به‌عنوان بهترین سطح معرفی کرد. براساس نتایج این پژوهش، کاسنی توانایی استقرار و سازگاری نسبی در شرایط شوری خفیف تا متوسط را دارد، اما با افزایش شدت شوری، رشد و فعالیت فیزیولوژیک آن محدود می‌شود. با این حال، برای تأیید کارایی هیومیک اسید در کاهش اثرات شوری بر گیاه کاسنی، انجام تحقیقات تکمیلی در شرایط مزرعه ضروری است.

References

[1]. Abu-Ria, M., Shukry, W., Abo-Hamed, S., Albaqami, M., Almuqadam, L. & Ibraheem, F. (2023). Humic acid modulates ionic homeostasis, osmolytes content, and antioxidant defense to improve salt tolerance in rice. *Plants. 12.* 1834. https://doi.org/10.3390/plants1 2091834

[2]. Aliloo, A.A., Shiriazar, Z., Dashti, Sh., Shahabivand, S. & Pourmohammad, A. (2020). Alleviating effects of humic acid on germination and vegetative growth of canola under salinity stress. *Journal of Plant Research. 33*(4). 970-981. https:// doi.org/ 20.1001.1.238325 92.139 9. 33.4 .1.7 [in Farsi]

[3]. Aghaleh, M. & Niknam,V. (2009). Effect of salinity on some physiological and biochemical parameters in explants of two cultivars of soybean (*Glyicine max* L.). *Journal of Phytology. 1*(2). 86-94. [in Farsi]

[4]. Alizadeh, A. (2005). *The relationship between water, soil and plants*. Astan Quds Publications. P. 227 [in Farsi]

[5]. Amiryousefi, M., Tadayon, M.R. & Ebrahimi, R. (2021). The effect of chemical and biological fertilizers on some physiological and yield traits of quinoa *(Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress in saline soil. *Journal of Agroecology. 13*(2). 251.270. https:// doi.org/10.22067/jag.v13i2.79212 [in Farsi]

[6]. Aziza, E. E., Al-Amir, H. & Craker, L. E. (2008). Influence of salt stress on growth and essential oil production in peppermint, pennyroyal and apple mint. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants. 14*. 77-87. https://doi.org/10.1080 /10496470802341375

[7]. Bates, L., Waldren, R.P. & Teare, I.D. (1973). Rapid Determination of Free Proline for Water Stress Studies. *Plant and Soil.* 39. 205-207.

[8]. Dehban Nejadian, K., Ghanbari, Y. & Barghi, H. (2023). Assessing and measuring the sustainability of rural settlements active in the field of medicinal plants (Case study- Kohgiluyeh & Boyerahmad province). *Journal of Research and Rural Planning.12*(2). 19-36. https://doi.org/ 10 .22067/jrrp.v12i2.2212-1063

[9]. Eshghi, S. & Garazhian. M. (2015). Improving the vegetative and reproductive growth of strawberry cultivar Parous by foliar application and application of humic acid soil. *Iranian Agricultural Research*. 34(1). 14-20. https://doi.org/10.22099/iar.2015.3031 [in Farsi]

[10]. Gholami, R., Kashefi, B. & Saeidi Sar, S. (2013). Effect salicylic acid on alleviation of salt stress on growth traits of *Salvia limbata* L. *Journal of Plant Ecophysiology. 5*(15). 63-73. [in Farsi]

[11]. Ghorbanli, N., Adib hashemi,N. & Peyvandi, M. (2010). Study of salinity and ascorbic acid on some physiological responses of *Nigella sativa* L., *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. *26*(3). 369-388. https://doi.org/ 10.22092/ijmapr.2010.6799 [in Farsi]

[12]. Heidary, M., Abdolzade, A. & Farzame, F. (2011). Effect of different levels of salinity and nitrogen sources on growth and chemical contents in Psyllium *(Plantago ovata* F.). *Iranian Journal of Field Crop Science.* 42(1). 199-207. [in Farsi]

[13]. Joushan, Z., Sodeizadeh, H., Hakimzadeh Ardakani, M.A., Yazdani Biouki,R. & Khajeh Hosseini, S. (2020). Investigating the effect of foliar application of glycine betaine on some quantitative and qualitative characteristics of mint (*Mentha spicata* L.) under salinity stress. *Plant Productions. 43*(2). 267-280. https:// doi.org/ 10.22055/ppd.2019.27413.1666 [in Farsi]

[14]. Kalharmanfard, R. & Faridnia, A. (2020). Effect of foliar application of humic acid and cytokinin on some qualitative traits of the medicinal plant chicory (*Cichorium intybus* L.). 17th National Congress and 3rd International Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding of Iran, Kerman, Iran.

[15]. Khasawneh, A.R. & Othman, Y.A. (2020). Organic farming and conservation tillage influenced soil health component. *Fresenius Environmental Bulletin.* 29. 895-902.

[16]. Kochert, G. (1978). Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. In: Helebust J.A. and Craig J.S. (Eds.): *Hand book of psychologia method*, 56-97. Cambridge University Press.

[17]. Kulikova, N. A., Stepanova, E. V. & Koroleva, O.V. (2005). Mitigating activity of humic substances: Direct influence on biota. In: Perminova, I. V., Hatfield, K. and Hertkorn, N. (Eds.): *Use of humic substances to remediate polluted environments: From theory to practice*. Kluwer Academic Publishers, USA, pp. 285- 309.

[18]. Lasheen, F.F., Hewidy, M., Abdelhamid, A.N., Thabet, R.S., Abass, M.M., Fahmy, A.A., Saudy, H.S. & Hassan, K.M. (2024). Exogenous application of humic acid mitigates salinity stress on pittosporum (*Pittosporum tobira*) plant by adjusting the osmolytes and nutrient homeostasis. *Gesunde Pflanzen. 76.*317-325. https:// doi.org/10.1007/s10343-023-00939-9

[19]. Lichenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids pigment photosynthetic membranes. *Methods Enzymol. 148*. 350-382. https://doi.org/ 10.1016/0076-6879(87)48036-1

[20]. Mohammad, A., A. Bakry,Y., Solima, R.A. & Moussa, S.A.M. (2009). Importance of micronutrients organic manure and bio-fertilizer for improving maize yield and its components grown in desert sandy soil. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 5*. 16-23. [in Farsi]

[21]. Mohammadi, H., Abdollahi- Bast am, S., Aghaee, A. & Ghorbanpour, M. (2024). Foliar-applied silicate potassium modulates growth, phytochemical, and physiological traits in *Cichorium intybus* L. under salinity stress. *BMC Plant Biology*. *24*. 288. http s://doi.org/10. 1186/s12870-024-05015-6

[22]. Mousavi, A.M., Barzegar, T., Nekounam, F., Ghahremani, Z. & Khani, A. (2024). The effect of humic acid on physiological characteristics, antioxidant activity and yield of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) under deficit irrigation. *Journal of Plant Process and Function. 12*(54). 171-185. http://jispp .iut. ac.ir/article-1-1795-en.html [in Farsi]

[23]. Petropoulos, S.A., Levizou, E., Ntatsi, G., Fernandes, A., Petrotos, K., Akoumianakis, K., Barros, L. & Ferreira, I. (2017). Salinity effect on nutritional value, chemical composition and bioactive compounds content of *Cichorium spinosum* L. Food Chemistry. 214. 129-136. https://doi.org /10.1016/ j. foodchem.2016.07.080

[24]. Piri, P., Khavaninzadeh, A. & Sodaeizadeh, H. (2020). Effect of salicylic acid on germination of three species of Artichoke, Fennel and Black cumin under salinity stress. *Journal of Range and Watershed Management*. *72*(4). 911-925. https://doi.org /10.22059 /jrwm.2019. 274658.1346 [in Farsi]

[25]. Rahmani, F., Sodaeizadeh, H., Yazdani-Biouki, R., Hakimzadeh-Ardakani, MA. & Kamali Aliabadi, K. (2024). Effect of bio-priming on morphological, physiological and essential oil of Chamomile (*Matricariac hamomilla* L.) under salinity stress. *South African Journal of Botany. 167*. 630-642. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.02.05 4

[26]. Roshaniyan, M., Alinejadian-Bidabadi, A., Maleki, A. & Lakzian, A. (2025). Investigating the effect of humic acid on the water use efficiency, yield, and some physiological characteristics of bell pepper plants under different water levels. *Journal of Vegetables Sciences, Spring & summer. 17*(1), 179-200. https: //doi.org /1 0.22034/ iuvs.2023. 2012442. 1319 [in Farsi]

[27]. Sabouri, F., Siroosmehr, A.R., & Gorgini Shabankareh, H. (2017). Effect of irrigation regimes and humic acid solution on some morphological and physiological characteristics of *Satureja hortensis*. *Iranian Journal of Plant Biology. 9*(34). 13-24.

https://doi.org/ 10. 22108/ijpb. 2018.22437 [in Farsi]

[28]. Sairam, R.K. & Tyagi, A. (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science*. *86*(3). 407–421. 86(3). https:// doi.org/10.1007/1-4020-4225-6

[29]. Shahab, J., Sodaeizadeh, H., Zaree, W., & Sakhi Zadeh M. A. (2026). Investigating the effect of humic acid and farmyard manure on the growth and yield of mung bean (*Vigna radiata* L.) landraces under the climatic conditions of Samangan-Afghanistan. *Iranian* morphological specification of chicory. *Journal of Water and Soil Conservation. 27*(2). 145-160. https://doi.org/ 10.22069 /jwsc.2020.16771.3208 [in Farsi]

[32]. Sodaeizadeh, H., Shamsaie, M., Tajamoliyan, M., Mirmohammadi Meybodi, A.M. & Hakimzadeh, M. (2016). The effects of water stress on some morphological and physiological characteristics of *Satureja hortensis. Journal of Plant Process and Function. 5*(15). 1-11. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-344-en.html [in Farsi]

[33]. Sodaeizadeh, H., Hokmollahi, F., Ghasemi, S., Sadeghian, M. & Tarrah, S. (2025). Cyanobacteria inoculation mitigates salinity stress by regulating plant growth, photosynthetic performance, elemental concentrations and yield in wheat. *South African Journal of Botany. 180.* 857-869. https://doi.org /10.1016 /j.sa jb.2025.04.006

[34]. Sohrabizadeh, Z., Sodaeizadeh, H. & Mosleh Arani, A. (2023). Role of mucilage in improving seedling emergence of *Ocimum basilicum* L. exposed to salinity stress. *Journal of Pulses Research, 17*(1), 135-150. https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.98849.1136 [In Persian]

[30]. Sheteawi, S.A. (2007). Improving growth and yield of salt-stressed soybean by exogenous application of jasmonic acid and ascobin. *International Journal of Agriculture and Biology*. *9*(3). 473-478.

[31]. Shirzadi, F., Dastourani, M. & Khashei Siuki, A. (2020). Investigating the effect of combined low irrigation and different cultivation litters on

Rhizosphere. 26. 100684. https://doi.org/10.1016 /j.rhis ph.2023.100684

[35]. Vaughan, D. & Linehan, D. (1976). The growth of wheat plants in humic acid solutions under axenic conditions. *Plant Soil. 44*. 445-449. https://doi.org/10.1007 / BF00015895

[36]. Xudan, X. (1986). The effect of foliar application of fulvic acid on water use, nutrient uptake and wheat yield. *Australian Journal of Agricultural Research*. *37.* 343- 350. https://doi.org /10.1071/AR9860343

[37]. Zaremanesh, H., Eisvand, H.R., Akbari, N., Ismaili, A & Feizian, M. (2020). An investigation of effects of humic acid on changes in nutrients concentration of leaf, root and stem of *Satureja khuzestanica* under salinity stress. *Plant process and function. 10*(41). 1-16. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1428-en.html [in Farsi]

Effect of salinity stress and humic acid foliar application on morphophysiological characteristics of chicory (*Cichorium intybus* L.) (Research Paper)

1-Hamid Sodaeizadeh*, Professor, Department of Arid Lands Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.

hsodaie@yazd.ac.ir

2- Maryam Khosropour, M.Sc., Department of Arid Lands Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.

3- Jamshid Shahab, Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Samanghan University, Samanghan, Afghanistan

4- Mohammad Ali Hakimzadeh, Associate Professor, Department of Arid Lands Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

Received: 8 Aug. 2026
Accepted: 28 Sep. 2026

Abstract

Salinity stress is one of the most important limiting factors for the growth and production of various plants, and it can affect growth and physiological indices of plants. This research was conducted to investigate the effect of salinity stress on some morphological and physiological traits of chicory and to evaluate the role of humic acid in mitigating the adverse effects of this stress. The experiment was carried out as a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications under greenhouse conditions. The factors examined included four salinity levels of 0.6 (control), 2, 4, and 8 dS m^{-1} and three humic acid levels of 0, 0.5, and 1 g L^{-1}. The measured traits included chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, proline, soluble sugars, shoot dry weight, root volume, root dry weight, plant height, leaf number, canopy volume, and root length. The results showed that increasing salinity stress significantly increased proline and soluble sugar content and significantly decreased most morphological traits and chlorophyll content. Application of humic acid improved growth traits and increased chlorophyll content, while simultaneously reducing proline and soluble sugar levels at different salinity levels compared to the control. The concentration of 0.5 g L^{-1} humic acid showed a more favorable effect on many morphological traits, especially under moderate and severe salinity, whereas the concentration of 1 g L^{-1} was more effective for most physiological traits, particularly in increasing chlorophyll content and reducing the accumulation of proline and soluble sugars. Overall, humic acid foliar application was able to partially mitigate the negative effects of salinity in chicory plants; however, evaluation of its economic efficiency requires additional field studies.

Keywords: Physiological traits, Morphological traits, Medicinal plants, Foliar application.