



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



بررسی پاسخ‌های تغذیه‌ای و آنتی‌اکسیدانی گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) به شوری در حضور کیتوزان و نانوکیتوزان

زهرة بوالحسنی^{۱*}، محمد فیضیان^۲

۱- دکتری مدیریت حاصلخیزی و زیست‌فناوری خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران، z.bolhasani93@yahoo.com

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

چکیده

تنش شوری با ایجاد اختلال در جذب عناصر غذایی و افزایش استرس اکسیداتیو، رشد گیاهان را محدود می‌سازد و استفاده از ترکیبات زیست‌پایه‌ای همچون کیتوزان و نانوکیتوزان به‌عنوان تعدیل‌کننده می‌تواند اثرات منفی آن را کاهش دهد. به‌منظور بررسی اثر کیتوزان و نانوکیتوزان بر غلظت عناصر غذایی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه همیشه بهار تحت تنش شوری، آزمایشی در شرایط گلخانه انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار از منبع کلرید سدیم که به ترتیب معادل ۰، ۴/۵، ۹/۱۴ و ۱۳/۷ دسی‌زیمنس بر متر) و پنج سطح تعدیل‌کننده (۰، ۰/۲۵، ۰/۵ گرم در لیتر کیتوزان و ۰/۲۵ و ۰/۵ گرم در لیتر نانوکیتوزان) به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که افزایش شوری سبب کاهش غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام هوایی گردید، در حالی که محلول‌پاشی به‌ویژه با نانوکیتوزان در غلظت‌های ۰/۲۵ و ۰/۵ گرم در لیتر توانست این کاهش را تا حد زیادی جبران کند. همچنین بیشترین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز در تیمار شوری شدید همراه با محلول‌پاشی ۰/۵ گرم در لیتر نانوکیتوزان مشاهده شد. به‌طور کلی، نتایج بیانگر آن است که نانوکیتوزان با بهبود وضعیت تغذیه‌ای و تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی، نقش مؤثری در افزایش تحمل گیاه همیشه‌بهار به تنش شوری ایفا می‌کند.

واژگان کلیدی: تنش شوری، پراکسیداز، کاتالاز، کیتوزان

مقدمه

شوری خاک یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی در کشاورزی محسوب می‌شود که با ایجاد محدودیت در رشد و توسعه گیاهان، بهره‌وری محصولات را به‌شدت کاهش می‌دهد (Sahab *et al.*, 2021). تجمع یون‌های سمی مانند سدیم و کلر همراه با کاهش دسترسی به عناصر غذایی ضروری، منجر به اختلال در تعادل یونی، کاهش فتوسنتز و افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در گیاه می‌شود (Singhal *et al.*, 2021). این شرایط نه‌تنها جذب عناصر پرمصرفی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم (NPK) را مختل می‌سازد، بلکه موجب برهم خوردن تعادل متابولیک و کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر کاتالاز و پراکسیداز می‌گردد (Hasanuzzaman *et al.*, 2020). در نتیجه، گیاهان تحت تنش شوری با آسیب‌های اکسیداتیو، کاهش کارایی فتوسنتزی و افت شدید عملکرد روبه‌رو می‌شوند.



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



با توجه به افزایش جمعیت جهانی و محدودیت منابع آب شیرین، اهمیت تولید محصولات کشاورزی در شرایط شور روزافزون شده است. بنابراین، مطالعه اثرات شوری بر گیاهان و یافتن راهکارهایی برای کاهش اثرات سوء آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Du *et al.*, 2023). برای مقابله با اثرات منفی شوری، به‌کارگیری راهکارهای زیست‌پایه و سازگار با محیط زیست اهمیت زیادی یافته است. یکی از این راهکارها استفاده از ترکیبات زیست‌پلیمری مانند کیتوزان است. کیتوزان، به‌عنوان یک بیوپلیمر طبیعی مشتق از کیتین، قادر است با بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش فعالیت آنزیم‌های دفاعی و تحریک پاسخ‌های فیزیولوژیکی، مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی را ارتقا دهد (Sharif *et al.*, 2018). افزون بر این، فناوری نانو با توسعه نانوکیتوزان، کارایی و اثربخشی این ترکیب را افزایش داده است. نانوکیتوزان با داشتن سطح ویژه بالا، نفوذپذیری بهتر و قابلیت برهم‌کنش مؤثرتر با غشاها و مولکول‌های گیاهی، می‌تواند نقش مهم‌تری در تعدیل اثرات تنش شوری ایفا کند (Pongprayoon *et al.*, 2022). گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) یکی از گیاهان دارویی مهم و پرکاربرد است که به‌دلیل ترکیبات ثانویه ارزشمند خود، در صنایع داروسازی و آرایشی مورد توجه قرار دارد. با این حال، این گیاه نیز نسبت به شرایط نامطلوب محیطی از جمله شوری خاک حساس بوده و کیفیت و کمیت مواد مؤثره آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Wang *et al.*, 2022). بنابراین شناسایی روش‌های مدیریتی برای افزایش مقاومت این گیاه در برابر تنش شوری، از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به اهمیت تغذیه گیاهی و نقش کلیدی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در کاهش اثرات تنش، بررسی پاسخ‌های گیاه همیشه‌بهار به تیمارهای کیتوزان و نانوکیتوزان در شرایط شوری می‌تواند گامی مؤثر در توسعه راهکارهای زیست‌پایه برای افزایش بهره‌وری این گیاه باشد. از این رو، هدف پژوهش حاضر بررسی اثرات کیتوزان و نانوکیتوزان بر ویژگی‌های تغذیه‌ای (NPK) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز و پراکسیداز) گیاه همیشه‌بهار تحت تنش شوری است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در مهر ماه سال ۱۴۰۱ صورت گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی-مولار از منبع کلرید سدیم) و پنج سطح تعدیل‌کننده (۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۲۵ گرم در لیتر کیتوزان و ۰/۵ و ۰/۲۵ گرم در لیتر نانو کیتوزان) بودند. برای انجام پژوهش، مقدار کافی خاک از افق سطحی (۰ تا ۳۰ سانتی‌متری) در ایستگاه زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان برداشته و در معرض هوا خشک شد. نمونه‌های خشک شده از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه با استفاده از روش‌های استاندارد معمول اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Fe (mg.kg ⁻¹)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)	P (mg.kg ⁻¹)	N (%)	OC (%)	EC (dS.m ⁻¹)	pH	بافت
۵/۲	۷/۱۷	۱/۰۵	۱/۵۰	۲۸۵	۱۵/۵	۰/۰۸	۰/۹	۰/۵۲	۷/۹	Clay Loam

پس از آماده‌سازی خاک، بذره‌های گیاه دارویی همیشه‌بهار در گلدان‌های پلاستیکی دو کیلوگرمی کاشته شد. بعد از استقرار بوته‌ها، تعداد آن‌ها به یک عدد کاهش یافت. آبیاری گلدان‌ها با آب شهری (شوری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر) هر ۳ روز یکبار به‌گونه‌ای انجام گرفت که محتوی آب گلدان به حد ظرفیت زراعی برسد. اعمال تنش شوری از مرحله سه تا چهار برگی (حدود



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



۲۰ روز پس از کاشت) آغاز شد. برای جلوگیری از شوک ناگهانی، شوری به صورت تدریجی و در چند نوبت با افزودن نمک کلرید سدیم (NaCl) با آب آبیاری انجام شد، به گونه‌ای که در هر نوبت ۵۰ میلی‌مولار به سطح شوری افزوده شد تا گیاه با شرایط شور سازگار شود (رضایی‌چپانه و همکاران، ۱۳۹۴). آبیاری گلدان‌ها با آب شور، بر اساس ظرفیت زراعی خاک و هر سه روز یکبار انجام شد و این روند تا پایان مرحله گلدهی کامل ادامه یافت. به منظور جلوگیری از تجمع نمک در گلدان، پس از هر سه بار آبیاری با آب شور، یکبار آبشویی با آب معمولی انجام شد. گلدان‌های تیمار شاهد با آب معمولی آبیاری شدند. کیتوزان مورد استفاده از شرکت سیگما-آلدریج (با خلوص بیش از ۷۵٪) تهیه و به روش ژلاسیون یونوتروپیک به نانوکیتوزان تبدیل شد (Du et al., 2008). محلول‌پاشی با نانوکیتوزان در سه مرحله (دو هفته پس از شروع تنش، ابتدای گلدهی و زمان ظهور غنچه‌ها) با حجم حدود ۲۰ میلی‌لیتر و در ساعات بین ۱۸ تا ۱۹ عصر، به دور از تابش مستقیم آفتاب انجام شد. تیمار شاهد با آب مقطر محلول‌پاشی گردید. در مرحله گلدهی، نمونه‌برداری از برگ‌های جوان جهت بررسی صفات فیزیولوژیکی انجام شد. در پایان دوره رشد، پنج پارامتر شامل مقدار نیتروژن (Bremner, 1996)، فسفر (Chapman and Pratt, 1962) و پتاسیم اندام هوایی و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (Chance and Maehly, 1995) و پراکسیداز (MacAdam et al., 1992) اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر اصلی تنش شوری و تعدیل‌کننده بر غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم اندام هوایی گیاه و بر فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز در سطح یک درصد معنی‌دار شده است. همچنین اثر متقابل تنش شوری و تیمار تعدیل‌کننده (کیتوزان و نانوکیتوزان) بر غلظت نیتروژن و فسفر در سطح پنج درصد و بر غلظت پتاسیم و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز در سطح یک درصد معنی‌دار گردیده است. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و تعدیل‌کننده‌ها نشان داد با افزایش اعمال شوری، غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام هوایی گیاه کاهش یافت (جدول ۳). در حالیکه محلول‌پاشی تعدیل‌کننده‌ها سبب کاهش اثر منفی تنش در گیاه گردید. بیشترین غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه در تیمار عدم تنش شوری و در شرایط محلول‌پاشی با ۰/۵ گرم در لیتر نانوکیتوزان به ترتیب با مقدار ۳/۱۲۳، ۰/۳۳۶ و ۵/۲۶۱ درصد بدست آمد.

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تنش شوری و تعدیل‌کننده بر صفات گیاه همیشه بهار

میانگین مربعات						منابع تغییرات
پراکسیداز	کاتالاز	غلظت پتاسیم	غلظت فسفر	غلظت نیتروژن	درجه آزادی	
۰/۶۰۰۲**	۰/۵۳۹۷۴**	۷/۱۴۵۸**	۰/۰۲۵۶۲**	۵/۵۰۴۹**	۳	تنش شوری
۰/۰۷۲۰۹**	۰/۹۷۲۹۶**	۰۲/۰۳۱۰۴**	۰/۰۲۶۲۰**	۱/۲۵۶۶**	۴	تعدیل‌کننده
۰/۰۵۸۹۱**	۰/۰۶۹۶۲**	۰/۰۷۷۸۷**	۰/۰۰۰۲۶۳*	۰/۰۳۰۱۸*	۱۲	تنش شوری*تعدیل‌کننده
۰/۰۱۸۲۱	۰/۰۱۶۵۲	۰/۰۲۸۹۴	۰/۰۰۱۰۱	۰/۰۱۳۸۱	۴۰	خطا
۵/۱۲	۶/۰۸	۴/۰۸	۴/۰۶	۵/۴۶	-	ضریب تغییرات

* و ** به ترتیب از لحاظ آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار می‌باشد. ns از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد.



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



جدول ۳. اثر متقابل تنش شوری و تعدیل کننده بر غلظت عناصر پر مصرف گیاه (درصد)

تیما	غلظت نیتروژن (درصد)	غلظت فسفر (درصد)	غلظت پتاسیم (درصد)
S0M1	۲/۲۰۱ghi	۰/۲۳۹ef	۴/۰۶۷fg
S0M2	۲/۳۷۳fg	۰/۲۷۵d	۴/۰۰۱gh
S0M3	۲/۷۱۲cd	۰/۳۰۱c	۴/۲۸۶ef
S0M4	۲/۹۹۹ab	۰/۳۲۹ab	۴/۹۹۶ab
S0M5	۳/۱۲۳a	۰/۳۳۶a	۵/۲۶۱a
S50M1	۲/۰۳۳ijk	۰/۱۷۷h	۴/۱۴۲fg
S50M2	۲/۱۲۹hij	۰/۲۴۶ef	۴/۴۶۳de
S50M3	۲/۲۷۵fgh	۰/۲۷۴d	۴/۸۱۶bc
S50M4	۲/۷۵۱cd	۰/۳۰۳c	۵/۰۷۸ab
S50M5	۲/۹۰۳bc	۰/۳۱۵bc	۵/۲۵۹a
S100M1	۱/۹۴۹jk	۰/۱۶۶h	۳/۷۳۳hi
S100M2	۱/۹۰۸k	۰/۲۰۰g	۴/۰۶۲fg
S100M3	۲/۲۱۲ghi	۰/۲۳۶f	۴/۲۸۶ef
S100M4	۲/۴۰۹ef	۰/۲۵۳e	۴/۳۲۲def
S100M5	۲/۵۹۶de	۰/۲۸۰d	۴/۵۷۴cd
S150M1	۰/۹۶۰n	۰/۱۴۱i	۲/۷۶۰۱
S150M2	۱/۱۳۹n	۰/۱۶۶h	۲/۹۶۳kl
S150M3	۱/۳۵۷m	۰/۲۰۴g	۳/۱۸۳jk
S150M4	۱/۴۳۰lm	۰/۲۴۲ef	۳/۳۶۱j
S150M5	۱/۵۵۷l	۰/۲۵۴e	۳/۶۶۸i

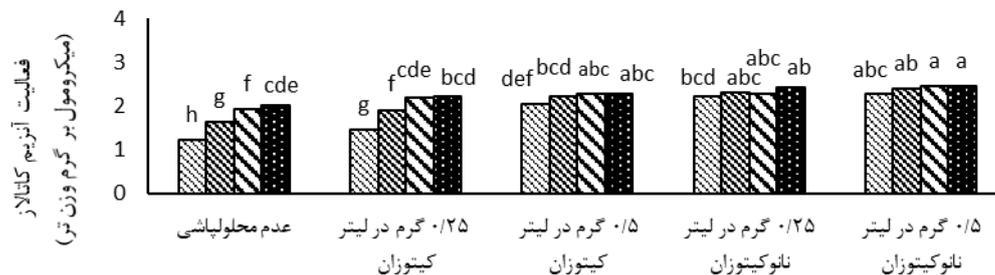
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن با هم ندارند. S0: عدم کاربرد شوری، S50: نمک ۵۰ میلی‌مولار، S100: نمک ۱۰۰ میلی‌مولار، S150: نمک ۱۵۰ میلی‌مولار، M1: عدم کاربرد تعدیل کننده، M2: کیتوزان (۰/۲۵ گرم در لیتر)، M3: کیتوزان (۰/۵ گرم در لیتر)، M4: نانوکیتوزان (۰/۲۵ گرم در لیتر)، M5: نانوکیتوزان (۰/۵ گرم در لیتر).

قابل ذکر است که از نظر آماری، بیشترین غلظت نیتروژن و فسفر با سطح عدم تنش و محلول‌پاشی ۰/۲۵ گرم در لیتر نانوکیتوزان تفاوت معنی‌داری نداشتند. همچنین در تیماری که بیشترین غلظت پتاسیم مشاهده شد با تیمار عدم تنش و محلول‌پاشی ۰/۲۵ گرم در لیتر نانوکیتوزان و تیمارهای کاربرد ۵۰ میلی‌مولار نمک و محلول‌پاشی ۰/۲۵ و ۰/۵ گرم در لیتر نانوکیتوزان اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۳). در مقابل کمترین غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در تیمار تنش شدید شوری (۱۵۰ میلی‌مولار نمک) و عدم محلول‌پاشی تعدیل کننده‌ها به ترتیب به مقدار ۰/۹۶۰، ۰/۱۴۱ و ۲/۷۶۰ درصد بدست آمد (جدول ۳).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که شوری موجب کاهش معنی‌دار غلظت نیترژن، فسفر و پتاسیم در اندام هوایی همیشه‌بهار گردید. این پدیده را می‌توان ناشی از رقابت یون‌های سمی مانند سدیم و کلر با یون‌های ضروری دانست که منجر به برهم خوردن تعادل یونی و اختلال در عملکرد ریشه در جذب عناصر می‌شود. همچنین، کاهش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با متابولیسم نیترژن در شرایط شور می‌تواند کارایی مصرف این عنصر را در گیاه محدود سازد (Hasanuzzaman *et al.*, 2020; Junedi *et al.*, 2023). کاهش فسفر نیز می‌تواند به دلیل رسوب آن در حضور یون‌های کلسیم و سدیم باشد، که دسترسی گیاه به این عنصر حیاتی را محدود می‌کند. از طرفی، پتاسیم که نقش مهمی در تنظیم اسمزی و فعالیت آنزیمی دارد، در شرایط شور اغلب توسط سدیم جایگزین شده و همین موضوع سبب افت کارکردهای فیزیولوژیکی گیاه می‌شود (Atta *et al.*, 2023). محلول‌پاشی با کیتوزان و به‌ویژه نانوکیتوزان توانست تا حدودی اثرات منفی شوری بر عناصر غذایی را تعدیل کند. مکانیسم این تعدیل ممکن است به بهبود خصوصیات غشایی، افزایش نفوذپذیری سلولی و تحریک ترشح ریشه برای جذب بیشتر عناصر غذایی مربوط باشد. علاوه بر این، نانوکیتوزان به دلیل اندازه کوچک‌تر و سطح فعال بیشتر، امکان جذب بهتر مواد مغذی را فراهم کرده و باعث افزایش کارایی مصرف عناصر در شرایط تنش شد (Alenazi *et al.*, 2024). براساس نتایج حاصل از بررسی اثر متقابل تنش شوری و سطوح تعدیل‌کننده (شکل ۱ و ۲)، بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز در سطح تنش ۱۵۰ میلی مولار نمک و محلولپاشی ۰/۵ گرم در لیتر نانوکیتوزان به ترتیب به مقدار ۲/۴۵۲ و ۳/۱۳۸ میکرومول بر گرم وزن تر بدست آمد. در حالیکه از نظر آماری با برخی تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. همچنین کمترین میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در تیمار عدم تنش شوری و عدم محلولپاشی تعدیل‌کننده به ترتیب به مقدار ۱/۲۲۷ و ۱/۷۴۴ میکرومول بر گرم وزن تر مشاهده شد.

تنش شوری (میلی مولار)

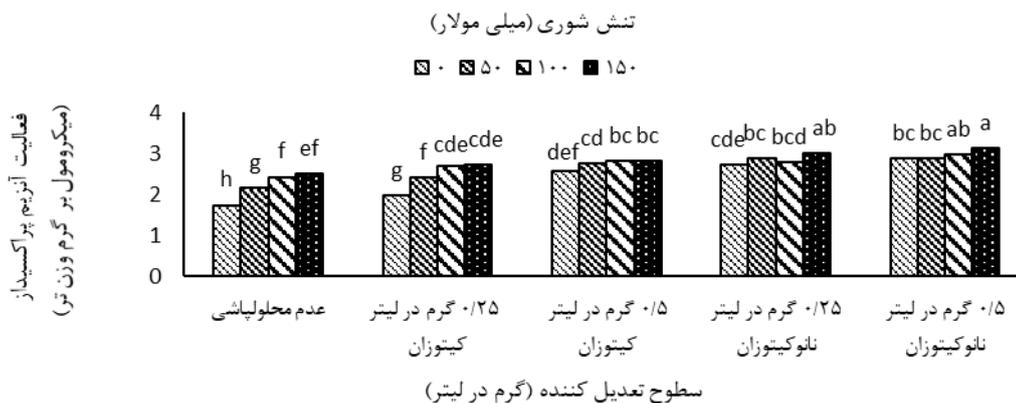
■ ۰ ■ ۵۰ ■ ۱۰۰ ■ ۱۵۰



سطوح تعدیل‌کننده (گرم در لیتر)

شکل ۱. اثر متقابل تنش شوری و تعدیل‌کننده بر فعالیت آنزیم کاتالاز (میکرومول بر گرم وزن تر)

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن با هم ندارند.



شکل ۲. اثر متقابل تنش شوری و تعدیل کننده بر فعالیت آنزیم پراکسیداز (میکرومول بر گرم وزن تر) میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد اختلاف معنی داری بر اساس آزمون دانکن با هم ندارند.

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز تحت تنش شوری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. این امر نشان‌دهنده فعال شدن مکانیسم‌های دفاعی گیاه در پاسخ به تنش اکسیداتیو ناشی از تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) است. افزایش تولید ROS در اثر تنش شوری می‌تواند موجب آسیب به لیپیدهای غشا، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک گردد؛ بنابراین، تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برای خنثی‌سازی این مولکول‌های سمی ضروری است (Mahdi, 2022). کاربرد کیتوزان و به‌ویژه نانوکیتوزان توانست موجب افزایش بیشتر فعالیت کاتالاز و پراکسیداز شود. این نتیجه نشان می‌دهد که نانوکیتوزان علاوه بر بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه، توانسته است سیستم دفاعی گیاه را در برابر تنش اکسیداتیو تقویت کند. مکانیسم احتمالی آن تحریک مسیرهای سیگنالینگ دفاعی، افزایش بیان ژن‌های آنتی‌اکسیدانی و بهبود توانایی گیاه در حذف ROS است (Hajjhashemi and Kazemi, 2022). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که نانوکیتوزان یک تعدیل‌کننده زیستی مؤثر در افزایش مقاومت گیاه همیشه‌بهار به تنش شوری از طریق تقویت هم‌زمان تعادل تغذیه‌ای و سیستم آنتی‌اکسیدانی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که تنش شوری به‌طور قابل‌توجهی جذب عناصر غذایی (NPK) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز و پراکسیداز) گیاه همیشه‌بهار را کاهش می‌دهد. محلول‌پاشی کیتوزان و به‌ویژه نانوکیتوزان توانست اثرات منفی شوری را تعدیل کرده و با بهبود وضعیت تغذیه‌ای و تقویت سیستم دفاعی گیاه، تحمل آن در برابر تنش را افزایش دهد. بنابراین، نانوکیتوزان به‌عنوان یک تعدیل‌کننده زیستی مؤثر در مدیریت شوری و بهبود عملکرد گیاهان دارویی توصیه می‌شود.

فهرست منابع

۱. رضایی چپانه، ا.، جمالی، م.، پیرزاد، ع.، توفیق، س. (۱۳۹۴). تأثیر قارچ‌های میکوریز بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد مرزه تابستانی (*Satureja hortensis* L.) در شرایط تنش شوری. فرآیند و عملکرد گیاه، ۱۷(۵)، ۱۵-۲۹.
2. Alenazi, M. M., El-Ebidy, A. M., El-Shehaby, O. A., Seleiman, M. F., Aldhuwaib, K. J., & Abdel-Aziz, H. M. (2024). Chitosan and chitosan nanoparticles differentially alleviate salinity stress in *Phaseolus vulgaris* L. plants. *Plants*, 13(3), 398.
3. Atta, K., Mondal, S., Gorai, S., Singh, A. P., Kumari, A., Ghosh, T., ... & Jespersen, D. (2023). Impacts of salinity stress on crop plants: improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1241736.
4. Bremner, J. M. (1996). Nitrogen-total. In 'Methods of soil analyses, part 3, Chemical methods'. (Ed. DL Sparks) pp. 1085-1122. *Soil Science Society of America and American Society of Agronomy: Madison, WI, USA*
5. Chance, B., & Maehly, A. C. (1955). [136] Assay of catalases and peroxidases.
6. Du, W. L., Xu, Z. R., Han, X. Y., Xu, Y. L., & Miao, Z. G. (2008). Preparation, characterization and adsorption properties of chitosan nanoparticles for eosin Y as a model anionic dye. *Journal of hazardous materials*, 153(1-2), 152-156.
7. Du, Y., Liu, X., Zhang, L., & Zhou, W. (2023). Drip irrigation in agricultural saline-alkali land controls soil salinity and improves crop yield: Evidence from a global meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 880, 163226.
8. Hajhashemi, S., & Kazemi, S. (2022). The potential of foliar application of nano-chitosan-encapsulated nano-silicon donor in amelioration the adverse effect of salinity in the wheat plant. *BMC Plant Biology*, 22(1), 148.
9. Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1962). Methods of analysis for soils, plants and waters. *Soil Science*, 93(1), 68.
10. Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., Mahmud, J. A., ... & Fotopoulos, V. (2020). Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants*, 9(8), 681.
11. Ji, H., Wang, J., Chen, F., Fan, N., Wang, X., Xiao, Z., & Wang, Z. (2022). Meta-analysis of chitosan-mediated effects on plant defense against oxidative stress. *Science of The Total Environment*, 851, 158212.
12. Junedi, M. A., Mukhopadhyay, R., & Manjari, K. S. (2023). Alleviating salinity stress in crop plants using new engineered nanoparticles (ENPs). *Plant Stress*, 9, 100184.
13. MacAdam, J. W., Nelson, C. J., & Sharp, R. E. (1992). Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue: I. Spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of the elongation zone. *Plant Physiology*, 99(3), 872-878.
14. Mahdi, A. A. (2022). Effect of nano-chitosan encapsulated with ascorbic acid and glutathione on some biomolecules of sunflower under saline stress conditions. *Egyptian Journal of Desert Research*, 72(2), 231-264.
15. Pongprayoon, W., Siringam, T., Panya, A., & Roytrakul, S. (2022). Application of chitosan in plant defense responses to biotic and abiotic stresses. *Applied Science and Engineering Progress*, 15(1).
16. Sahab, S., Suhani, I., Srivastava, V., Chauhan, P. S., Singh, R. P., & Prasad, V. (2021). Potential risk assessment of soil salinity to agroecosystem sustainability: Current status and management strategies. *Science of the Total Environment*, 764, 144164. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144164>.
17. Sharif, R., Mujtaba, M., Ur Rahman, M., Shalmani, A., Ahmad, H., Anwar, T., ... & Wang, X. (2018). The multifunctional role of chitosan in horticultural crops; a review. *Molecules*, 23(4), 872.
18. Singhal, R. K., Saha, D., Skalicky, M., Mishra, U. N., Chauhan, J., Behera, L. P., ... & El Sabagh, A. (2021). Crucial cell signaling compounds crosstalk and integrative multi-omics techniques for salinity stress tolerance in plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 670369.
19. Wang, Q., Mei, J., & Xie, J. (2022). The effects of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) essential oil on the stress response, anti-oxidative ability, and kidney metabolism of sea bass during live transport. *Animals*, 12(3), 339.

Nutritional and Antioxidant Responses of *Calendula officinalis* L. to Salinity in the Presence of Chitosan and Nano-ChitosanZohreh Bolhassani*¹, Mohammad Feizian²

1. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran Iran. E-mail: z.bolhasani93@yahoo.com

2. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran.

Abstract

Salinity stress limits plant growth by disrupting nutrient uptake and increasing oxidative stress, while the application of bio-based compounds such as chitosan and nano-chitosan as modulators can mitigate these negative effects. To investigate the effects of chitosan and nano-chitosan on nutrient concentrations and antioxidant enzyme activities in *Calendula officinalis* L. under salinity stress, a greenhouse experiment was conducted. Treatments included four salinity levels (0, 50, 100, and 150 mM NaCl, corresponding to 0, 4.5, 9.14, and 13.7 dS·m⁻¹, respectively) and five modulator levels (0, 0.25, 0.5 g·L⁻¹ chitosan, and 0.25, 0.5 g·L⁻¹ nano-chitosan) arranged factorially in a completely randomized design with three replications. The results indicated that increasing salinity reduced the concentrations of nitrogen, phosphorus, and potassium in aerial parts, whereas foliar application, particularly with 0.25 and 0.5 g·L⁻¹ nano-chitosan, largely compensated for this reduction. Additionally, the highest activities of antioxidant enzymes catalase and peroxidase were observed under severe salinity combined with 0.5 g·L⁻¹ nano-chitosan. Overall, the findings suggest that nano-chitosan, by improving nutritional status and stimulating the antioxidant system, plays an effective role in enhancing the salinity tolerance of *Calendula officinalis* L.

Keywords: Salt stress, peroxidase, catalase, chitosan