بررسی اثر پنکونازول بر پاسخ‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت تأثیر تنش شوری

حمیده حیدری*، وحید نیکنام و حسن ابراهیم‌زاده معبود

ایران تهران، دانشگاه تهران پردیس علوم، ، دانشکده زیست‌شناسی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۷

چکیده

در پژوهش حاضر، اثر پنکونازول بر برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه کنجد تحت تنش شوری موردمطالعه قرارگرفت. به این منظور، گیاه‌چه‌ها به مدت ۳۰ روز در محیط کشت هوگلند رشد کردند و با غلظت‌های مختلف نمک NaCl (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ میلی‌مولار) و پنکونازول (۱۵ میلی‌گرم بر لیتر) به مدت ۳۰ روز تیمار شدند. نتایج نشان داد که شوری باعث کاهش رشد، کاهش محتوی کل پروتئین تحت تیمارهای ۵۰،۱۰۰ میلی‌مولار، افزایش محتوای پرولین در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار و افزایش فعالیت زیمایه‌های سوپراکسیددیسموتاز(SOD) و پلی فنول اکسیداز(PPO) تحت تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار شد. کاربرد پنکونازول باعث افزایش رشد، افزایش فعالیت زیمایه‌های SOD و PPO در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار شوری و افزایش محتوی کل پروتئین در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید و گیاهان شاهد شد. درمجموع به نظر می‌رسد که کاربرد پنکونازول باعث سازگاری گیاه کنجد با تنش شوری شود. با توجه به ارزان و قابل‌دسترس بودن می‌تواند برای افزایش مقاومت گیاه کنجد به تنش شوری موردتوجه قرار بگیرد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، کنجد، پنکونازول، مقاومت

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۰۰۶۶۵۷۸۰ ، پست الکترونیکی: hamideh.heydari@ut.ac.ir

مقدمه

کنجد(*Sesamum indicum* L.) گیاهی متعلق به تیره پدالیاسه Pedaliaceae است. این گیاه یک‌ساله، به ارتفاع ۱تا ۱/۵ متر که قسمت فوقانی ساقه پوشیده از کرک، درصورتی‌که قسمت تحتانی فاقد کرک است. گیاهان این سرده علفی با برگ‌های متقابل یا متناوب و گل‌های محوری، میوه کپسول بیضی، به طول ۲/۵ تا ۳ سانتی‌متر بوده که در انتها به نقطه‌ایی برجسته منتهی می‌شود (۲و ۶). این گیاه از قدیمی‌ترین دانه‌های روغنی است، که به‌طور گسترده‌ای در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری رشد می‌کند (۳۳). کنجد یک محصول غذایی و دارویی است مواد شیمیایی اصلی دانه کنجد، محافظ خوبی در برابر نور خورشید، باد و اشعه ماوراءبنفش است. بنابراین، از آن در لوازم‌آرایشی مختلف و برای مراقبت از پوست استفاده می‌شود (۴۰). دانه‌ی کنجد دارای ترکیبات غیرقابل صابونی شدن سزامول، سزامین، سزامولین بوده و به علت دارا بودن این ترکیبات در مقابل فساد اکسیداتیو مقاوم است (۴). شوری یک تنش غیرزیستی محدودکننده‌ی رشد و باروری گیاهان در اکثر مناطق جهان است بیش از ۲۰ درصد از زمین‌های کشت شده در سراسر جهان تحت تأثیر تنش شوری قرارگرفته است (۲۸). تنش شوری در شرایط کشاورزی به این معنی است که مقدار نمک بیشتر از سطح نیاز گیاه وجود داشته باشد. این تنش اغلب به علت وجود بیش‌ازحد یون سدیم شناخته می‌شود که باعث آسیب‌دیدگی خاک، کمبود آب‌شده و رشد گیاه را مهار

می‌کند (۴۰). شوری یکی از شدیدترین تنش‌های زیست‌محیطی است که مانع تولید محصول در سرتاسر جهان می‌شود (۲۱). سازوکارهای متنوعی در تحمل نمک شرکت می‌کنند. اعضای سیستم دفاعی پاداکساینده‌ای که شامل پاداکساینده‌های آنزیمی و غیرآنزیمی هستند. پاداکساینده‌های آنزیمی شامل کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون ردوکتاز و ... هستند و پاداکساینده‌های غیرآنزیمی شامل آسکوربیک اسید (ویتامین C)، گلوتاتیون، پرولین، توکوفرول (ویتامین E)، کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها است (۱۹ و ۴۰). تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، گروهی از ترکیبات طبیعی یا مصنوعی هستند که در رشد و نمو گیاه تغییر ایجاد می‌کنند و روی فرایندهای فیزیولوژیکی تأثیر دارد (۳۲). تریازول‌ها ترکیبات فعال قارچ‌کش و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهان هستند. آنها مجموعه‌ای از سازگاری‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی را به وجود می آورند که به گیاهان اجازه می‌دهد طیف وسیعی از تنش‌های محیطی را تحمل کند (۲۴). یکی از مهمترین پیشرفت‌های حاصل شده در کشاورزی دست‌کاری تولید محصول با مواد شیمیایی است. عملکرد گیاه دارویی تحت استرس می‌تواند با استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه (PGRs) افزایش یابد. پنکونازول [1-(2,4-dichloro-β-propylphenethyl)-1 H-1,2,4-triazole] یک تریازول قارچ‌کش است که دارای خواص PGR است (۳۰). این ترکیب باعث کاهش آسیب انواع فعال اکسیژن (ROS)، افزایش پتانسیل پاداکساینده‌ها و القا رشد در ریشه می‌شود که نشان دهنده نقش مهم آن در افزایش مقاومت گیاه در شرایط تنش است (۳۷). طبق گزارش تونا (۳۹) کاربرد ترکیبات تریازولی منجر به افزایش فعالیت پاداکساینده های زیمایه ایی گیاه *Solanum lycopersicum* L. تحت تنش شوری شد. همچنین گزارش شد که کاربرد پاکلوبوترازول تحت شرایط شوری باعث افزایش محتوای پرولین و ظرفیت تخلیه رادیکال‌های آزاد و زیمایه های پاداکساینده در گیاه *Mangifera indica* L. می‌شود (۳۸). مطالعات نشان داده است که کاربرد پنکونازول باعث بالا رفتن توان سیستم پاداکساینده گیاه *Mentha pulegium* L. از طریق فعال کردن برخی زیمایه‌های پاداکساینده و افزایش محتوی پروتئین تحت تنش شوری می‌شود (۲۴ و ۳۰). اگرچه مطالعات زیادی برای ارزیابی تحمل به شوری گیاه کنجد انجام شده است، ولی تاکنون به‌منظور ارزیابی اثر بهبود دهنده پنکونازول در کاهش اثرات تنش شوری بر گیاه کنجد رقم ناز تک شاخه پژوهشی انجام‌نشده است. باتوجه به اهمیت این موضوع، در پژوهش حاضر تأثیر تعدیل‌کننده پنکونازول در کاهش اثرات تنش شوری بر رقم نازتک‌شاخه گیاه کنجد بررسی گردید و مطالعه میزان پروتئین، محتوی پرولین، فعالیت زیمایه‌های پاداکساینده و پارامترهای رشد گیاه از اهداف این تحقیق بوده است.

مواد و روشها

رقم گیاه و تیمارهای شیمیایی و اندازه‌گیری پارامترهای رشد: این آزمایش به‌صورت گلدانی در گلخانه دانشکده زیست‌شناسی دانشگاه تهران به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به اجرا درآمد و بذرها از بخش دانه‌های روغنی موسسه‌ی اصلاح و تهیه‌ی نهال و بذر جهاد کشاورزی واقع در شهر کرج تهیه شد. دانه‌ها در محیط گلخانه و در گلدان‌هایی با نسبت برابر پرلیت و خاک پیت در گلدان‌های پلاستیکی در شرایط گلخانه با شدت نور۳۰۰۰ لوکس، دوره نوری در روشنایی و تاریکی بترتیب ۱۶ و ۸ ساعت بوده است. میانگین دمای روز و شب بترتیب ۳۰ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۴۵-۴۰ درصد بود، کاشته شدند. گیاهان پس از ۲۰ روز به گلدان‌های که تنها حاوی پرلیت بود منتقل شدند و با محلول هوگلند ۱/۲ تغذیه شدند تنش شوری (NaCl) در تیمارهایی با غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ میلی‌مولار به‌صورت یک روز در میان و به مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر، برای گیاهان در سن ۲۳ روزگی اعمال گردید. و تیمار

پنکونازول با غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر به‌صورت افشانه (یکبار در هفته و به مدت سه هفته) اعمال شد. گلدان‌ها به ۸ گروه تقسیم شدند و با غلظت‌های مختلف شوری و یا بدون پنکونازول برای ۳۰ روز تیمار شدند و بعدازاین زمان گیاهان جمع‌آوری شدند و برای انجام مطالعات رشد (وزن‌تر و خشک کل گیاه) تمام برگ‌های گیاهان برداشت و به فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌ها در فویل آلومینیومی پیچیده شدند و به مدت ۳ روز و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرارگرفتند. ۳۰ روز پس از شروع تیمار وزن‌تر (FW) و وزن خشک (DW) گیاهان مورد ارزیابی قرارگرفت و همچنین محتوای نسبی آب (RWC) در بافت های برگ اندازه گیری شد (۳۱).

سنجش محتوی پروتئین کل: برای استخراج محتوای پروتئین گیاه، ابتدا ۰/۵ گرم از بافت تر گیاه (برگ) وزن شد و در ۲ میلی‌لیتر بافر استخراج (۵۰Tris-HCl میلی‌مولار) با pH=۶/۸ در هاون چینی روی یخ ساییده شد. سپس همگنای بدست‌آمده به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت rpm ۱۳۰۰۰ و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ (Heraeus مدل R۴۰۰Labofuge) گردید و رو شناور جهت سنجش کمی پروتئین استفاده شد. بدین ترتیب از هر محلول رو شناور سه تکرار تهیه شد و در هر لوله ۳۰ میکرولیتر عصاره و ۲/۵ میلی‌لیتر محلول برادفورد اضافه شد و بعد از خواندن جذب هریک از نمونه‌ها در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر، غلظت پروتئین در هر نمونه برحسب (mgg-1FW) با استفاده از منحنی استاندارد و دستگاه اسپکتوفتومتر (Rayleigh مدل UV-2601) محاسبه شد (۱۴). برای تهیه منحنی استاندارد از آلبومین سرم گاوی استفاده شد.

سنجش محتوی پرولین آزاد: در این سنجش از روش باتس و همکاران (۱۲) استفاده شد. به این صورت که ۰/۱ گرم بافت تر همراه با ۳ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪ در یک هاون چینی در حمام یخ ساییده و همگنای حاصل به مدت۲۰ دقیقه و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با سرعت rmp ۱۳۰۰۰ سانتریفیوژ شد. سپس به ۱ میلی‌لیتر از محلول رو شناور حاصل از سانتریفیوژ، بترتیب ۲ میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیال و ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین (شامل ۱/۲۵ گرم نین هیدرین که در۲۰ میلی‌لیتر فسفریک اسید ۶ مولار و ۳۰ میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیال حل‌شده است) و ۱ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده شد. و در مرحله‌ی بعد، نمونه‌ها به مدت ۶۰ دقیقه در حمام ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و پس از آن به‌سرعت در حمام آب یخ سرد شدند. در نهایت ۴ میلی‌لیتر تولوئن به نمونه‌ها افزوده و جذب آن توسط دستگاه اسپکتروفتر (Shimadzu مدل UV-160 در مد Quantitative) در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. در پایان محتوی پرولین نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد پرولین در محدوده غلظت ۰تا ۴۰ میلی‌گرم در لیتر محاسبه و با واحد میکروگرم در گرم وزن‌تر بافت گزارش شد.

سنجش فعالیت سوپراکسیددیسموتاز(SOD) (EC 1.15.1.1): فعالیت این زیمایه با قابلیت آن در بازدارندگی واکنش احیایی فتوشیمیایی نیتروبلو تترازولیوم (NBT) مشخص شد. با استفاده از روش **جینوپلایتس و ریس** (۱۸) مخلوط واکنش شامل بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷/۵، متیونین ۱۳ میلی‌مولار، EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، نیتروبلوتترازولیوم (NBT) ۷۵میلی‌مولار و ریبوفلاوین ۵۷ میکرومولار و مقدار ۵۰ میکرولیتر عصاره تهیه شد. در دو لوله آزمایش ۳ میلی‌لیتر از محلول فوق ریخته، یکی در دستگاه و دور از نور و دیگری در حضور نور فلوئورسنت بعنوان شاهد قرار داده شد. هر دو دقیقه یک‌بار جذب محلول در مد فتومتریک و طول‌موج ۵۶۰ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر (Rayleigh مدل UV-2601) خوانده شد. پس از ۲۲ دقیقه، جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتر Shimadzu در طول‌موج ۵۶۰ خوانده شد.

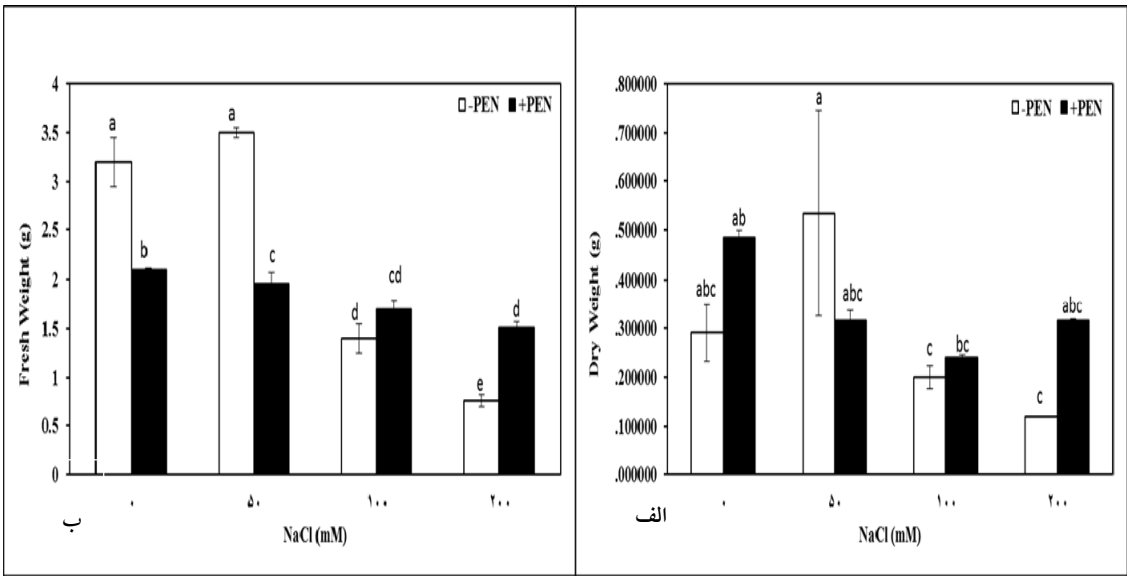
تفاوت بین جذب هر عصاره و جذب محلول بدون زیمایه نشان‌دهنده بازداشت واکنش خود به خودی جذب فومارازان توسط سوپراکسیددیسموتاز بود. فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز با واحد Unit mg-1 protein گزارش شد.

سنجش فعالیت پلی فنول اکسیداز (PPO) (EC 1.14.18.1): برای سنجش فعالیت پلی فنول اکسیداز از روش ریموند و همکاران (۳۴) استفاده شد بدین ترتیب که ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۲ مولار با pH=۶/۸، نگه‌داری شده در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و ۰/۲ میلی‌لیتر پیروگالل ۰/۲ مولار همراه با ۵۰ میکرولیتر عصاره را در یک کووت شیشه ایی (گلایسیال) مخلوط کرده و فعالیت این زیمایه در طول‌موج ۴۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر (Rayleigh مدل UV-2601) خوانده شد. در نهایت میزان فعالیت پلی‌فنل اکسیدار برحسب هر میکرومول پیروگالل اکسید شده در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین (Unit mg-1 protein) محاسبه شد.

آنالیز آماری داده‌ها: آزمایش‌ها براساس طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد **و** آنالیزهای آماری داده‌ها **با** استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح خطای ۰/۰۵ درصد استفاده شد.

نتایج

شاخص رشد گیاه: وزن‌تر و خشک کل گیاه تحت تیمارهای ۱۰۰و۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم کاهش یافت اما تحت تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم افزایش داشت همچنین اعمال پنکونازول تحت تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم باعث افزایش وزن‌تر و خشک و تحت تیمار ۵۰ میلی مولار کلرید سدیم و شاهد باعث کاهش وزن‌تر گیاه شد (شکل۱-الف و ب). با افزایش غلظت شوری محتوای نسبی آب گیاه کاهش پیدا کرد و اعمال پنکونازول تحت تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم باعث افزایش محتوای نسبی آب و تحت تیمارهای۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم باعث کاهش محتوای نسبی آب شد (شکل۲-ب).

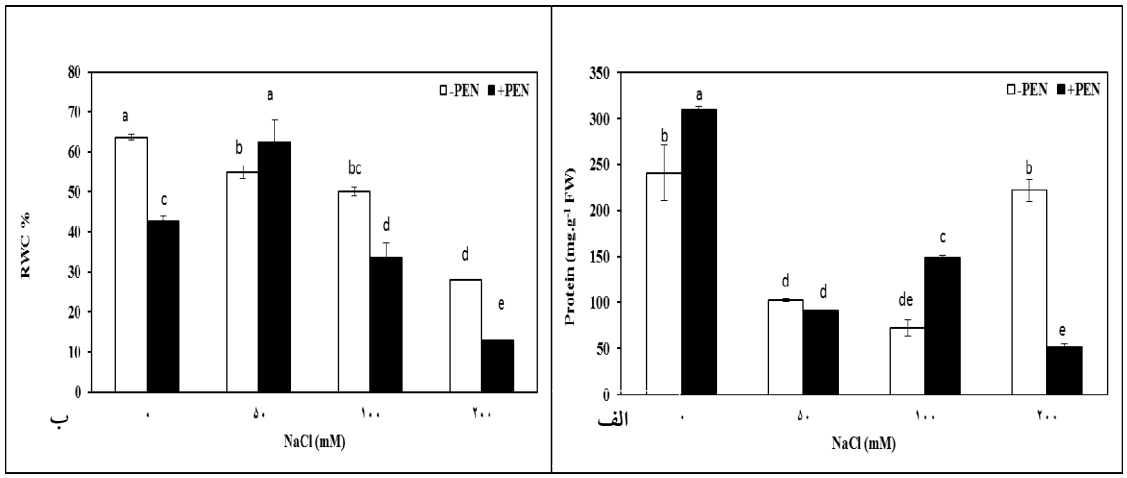


شکل ۱ - تأثیر پنکونازول(۱۵میلی‌گرم بر لیتر) بر وزن خشک(الف) و وزن‌تر(ب) گیاه کنجد تحت غلظت‌های مختلف NaCl. مقادیر، میانگین ۳ تکرار ±SE است. ستون‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند

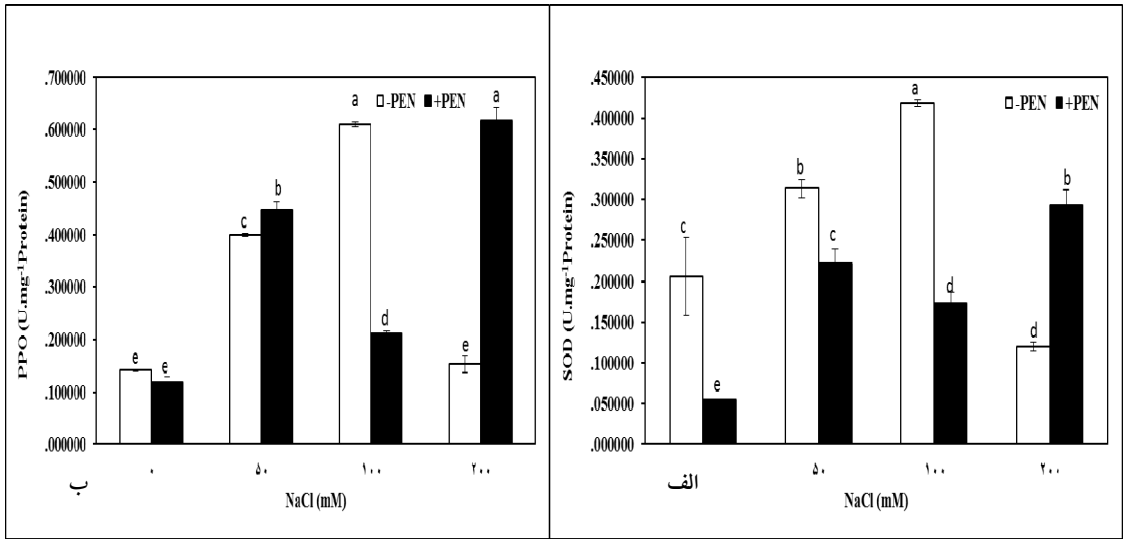
محتوی پروتئین: شوری تنها تحت تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار باعث افزایش پروتئین شد همچنین اعمال پنکونازول تنها تحت تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و گیاهان شاهد باعث افزایش معنی‌دار محتوی پروتئین شد (شکل۲-الف).

فعالیت زیمایه‌های پاداکساینده: فعالیت پلی فنول اکسیداز تحت تیمار۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم افزایش داشت و پنکونازول تحت تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بیشترین تأثیر را بروی فعالیت این زیمایه نشان داد (شکل ۳ب). افزایش فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز تحت تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد و کاربرد خارجی پنکونازول تحت تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم باعث افزایش فعالیت این زیمایه شد (شکل ۳-الف).

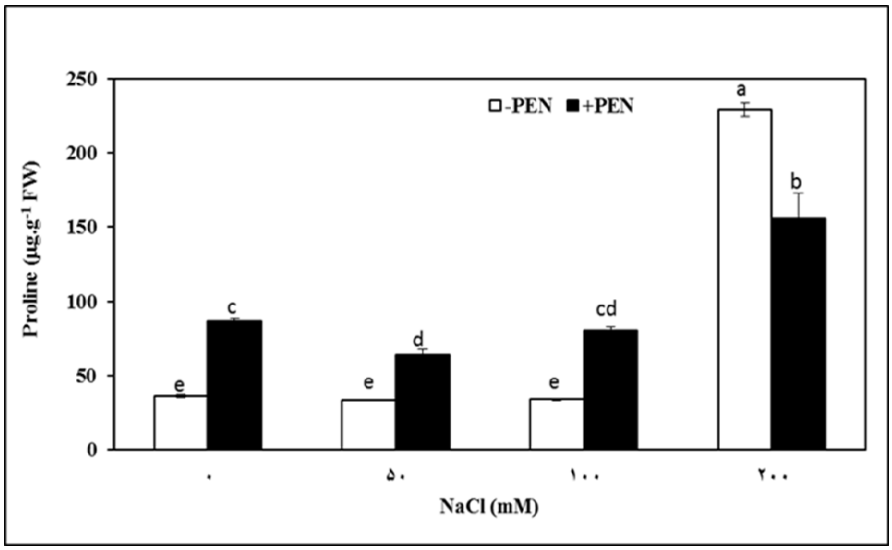
محتوی پرولین: محتوی پرولین تنها تحت تیمار ۲۰۰میلی‌مولار کلرید سدیم افزایش داشت و در سایر غلظت‌ها تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت همچنین اعمال پنکونازول تحت تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و گیاهان شاهد افزایش محتوی پرولین را نشان داد (شکل۴).



شکل ۲ - تأثیر پنکونازول (۱۵میلی‌گرم بر لیتر) بر محتوی پروتئین (الف) و محتوی آب نسبی (ب) گیاه کنجد تحت غلظت‌های مختلف NaCl. مقادیر، میانگین ۳ تکرار SE± است. ستون‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند



شکل ۳- تأثیر پنکونازول (۱۵میلی‌گرم بر لیتر) بر فعالیت SOD (الف) و PPO (ب) گیاه کنجد تحت غلظت‌های مختلف NaCl. مقادیر، میانگین ۳ تکرار SE± است. ستون‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند



شکل ۴ - تأثیر پنکونازول (۱۵میلی‌گرم بر لیتر) بر محتوی پرولین گیاه کنجد تحت غلظت‌های مختلف NaCl. مقادیر، میانگین ۳ تکرار SE± است. ستون‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند

بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر برخی از پارامترهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی برای درک بهتر اثرات پنکونازول بر گیاه کنجد تحت شرایط شوری مورد بررسی قرارگرفت. این مطالعه برای اولین بار این اثر را در مقاومت رقم ناز تک شاخه گیاه کنجد نسبت به شوری گزارش می‌دهد. در این پژوهش مشاهده شد که تنش شوری باعث کاهش رشد گیاه شد. این کاهش رشد تحت تنش شوری با نتایج بکل و همکاران (۱۳) در گیاه کنجد و آقاله و همکاران (۹) در دو گونه *Salicornia persica* و *S. europaea* مطابقت داشت. دراین پژوهش کاهش رشد گیاه تحت تیمارهای شوری ممکن است به علت کاهش آماس باشد که اگر به‌اندازه کافی شدید باشد می‌تواند باعث کاهش رشد شود. هنگامی، کمبود آب سلولی شروع می‌شود که اختلاف‌پتانسیل بیشتر از توان جبران کمبود آماس سلولی باشد. همچنین رشد سلول گیاهی در وهله‌ی اول به دلیل توسعه، از طریق افزایش حجم واکوئلی، رخ می‌دهد. دلیل دیگر کاهش رشد تحت شوری در گیاهان شیرین رست این است که هم تقسیم سلول و بزرگ شدن سلول متوقف شده است (۲۶). به‌طورکلی پنکونازول باعث افزایش رشد در برخی از غلظت‌های شوری شد که با نتایج حاجی هاشمی و همکاران (۲۲) در گیاه گندم، جالی و همکاران (۲۵) در گیاه *Catharanthus roseus* در ارتباط با تریازول‌ها گزارش شد مشابه بود. افزایش رشد ناشی از پنکونازول با توانایی بالقوه تریازول‌ها برای افزایش محتوای سیتوکنین و تقسیم سلولی همراه است (۲۰). افزایش فعالیت زیمای PPO ممکن است منجر به کاهش محتوای ترکیبات پلی‌فنلی و در نتیجه حفظ محتوای اکسین شود (۱۷) که این نیز به‌نوبه خود می‌تواند سبب افزایش رشد سلول و دیواره سلولی و درنتیجه تحریک رشد گیاه شود. محتوی پروتئین به‌جز در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولارشوری، در سایر تیمارها کاهش یافت. علت کاهش پروتئین تحت شوری را می‌توان این‌گونه بیان کرد که تنش شوری باعث انباشت بیش‌ازحد ROS می‌شود که منجر به آسیب پروتئین‌ها شود (۳۲). این نتایج با گزارش‌های المگیر و علی (۱۰) در گیاه *Oryza sativa* L. مطابقت داشت و الباز و همکاران (۱۵) در هیبرید گیاه *Fragaria* × *ananassa* cv. *Camarosa* افزایش محتوای پروتئین تحت تنش شوری را گزارش کردند. پنکونازول در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار شوری باعث افزایش محتوای

پروتئین شد که با نتایج شکی و همکاران (۳۷) در گیاه *Carthamus tinctorius* L. مشابه بود. احتمالاً محتوای پروتئین در گیاهان تحت تیمار با پنکونازول می‌تواند به‌واسطه اثرات سیتوکنین در گیاه افزایش یابد (۱۷). فعالیت SOD در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار شوری افزایش یافت که با نتایج کوکا و همکاران (۲۷) در دو رقم کنجد (cv. *Orhangazi* and cv. *Cumhuriyet*) و مرآتی و همکاران (۷) در گیاه پونه وحشی (*Mentha pulegiume* L.) تحت تنش شوری مشابه بود و این افزایش به علت نقش آنزیم مذکور که اولین جارو کننده‌ی انواع فعال اکسیژن است که O^{-2} را به H_2O_2 تبدیل می‌کند (۳۶). همچنین در سلول‌های تحت تنش شوری آنیون‌های سوپر اکسید تولید می‌شود، زیرا مهمترین تأثیر تنش شوری بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تثبیت دی‌اکسید کربن است که در نتیجه آن رشد کاهش می‌یابد. همچنین افزایش تنفس در این شرایط سبب تولید این یون‌های مخرب در میتوکندری سلول می‌شود. با افزایش فعالیت این زیمایه سمیت‌زدایی یون سوپراکسید افزایش و آسیب‌های حاصل از آن در گیاه کاهش می‌یابد (۳۵). اعمال پنکونازول در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار شوری بیشترین تأثیر را در افزایش فعالیت این زیمایه داشت و همچنین نتایج مشابهی در پژوهش عرب (۳) در گیاه یونجه و اشمیت و ژانگ (۴۱) در گیاه *Agrostis stoloniferous* var. *palustris* گزارش شد. در این آزمایش فعالیت زیمایه پلی فنول اکسیداز تحت غلظت‌های مختلف شوری افزایش یافت. نتایج مشابهی نیز توسط دیگر محققان در گیاه *Cassia angustifolia* تحت تنش شوری مشاهده شد (۸). سیستم دفاعی پاداکساینده در کلروپلاست شامل زیمایه‌های پاداکساینده و پاداکساینده‌های با وزن مولکولی کم مثل کاروتنوئیدها و ترکیبات فنلی است. فنول‌ها نقش گیرنده‌ی گونه‌های فعال اکسیژن را در واکوئل بر عهده دارند و از آسیب سلولی در شرایط نامساعد تنش جلوگیری می‌کنند (۲۳). پلی‌فنول‌اکسیدازها نقش مهمی را در اکسیداسیون ترکیبات فنلی ایفا می‌کنند (۶). اعمال پنکونازول در تمام غلظت‌های شوری باعث افزایش فعالیت زیمایه مذکور شد که با نتایج حسن‌پور و همکاران (۲۴) در گیاه *Mentha pulegium* L. مطابقت داشت. محتوی پرولین در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار شوری بیشترین مقدار را نشان داد که این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های بابایی و جمشیدی (۱) در گیاه *Sesamum indicom* L. و فلیپور و همکاران (۱۶) در گیاه *Ailanthus altissima* و فیروزه و همکاران (۶) در گیاه *satureja hortensis* L. مشابه بود. تغییرات در سطوح پرولین آزاد در رابطه با تنش شوری در گیاهان مختلف مورد بررسی قرارگرفته است و نقش‌های احتمالی برای آن در تحمل مقاومت در برابر تنش پیشنهاد شد که در میان این نقش‌ها می‌توان به نقش اسمولیت، پروتئین‌های تثبیت‌کننده، تنظیم pH سیتوزول اشاره کرد. پرولین، پروتئین‌ها و غشای سلولی را از آسیب‌های غلظت‌های بالای یون‌ها محافظت می‌کند (۲۷). احتمالاً نشان‌دهنده این است که افزایش مقدار پرولین با کاهش پتانسیل سیتوپلاسم، گیاه را در تحمل تنش یاری می‌دهد (۲۹). اعمال پنکونازول در تمام غلظت‌های شوری باعث افزایش محتوی پرولین شده است که با نتایج قبادی و بنی عباس (۱۱) در گیاهچه‌های *Cucumber* و Srivastav. و همکاران (۳۸) در گیاه *Mangifera indica* L. مشابه بود. پیشنهاد می‌شود که تجمع پرولین احتمالاً برای القاء پروتئین تحمل استرس توسط پنکونازول ضروری باشد (۲۵). در این پژوهش کاربرد پنکونازول تحت غلظت‌های ۱۰۰و ۲۰۰ میلی‌مولار شوری بر بیشتر صفات مورد مطالعه همچون میزان فعالیت زیمایه‌های پلی فنول اکسیداز و سوپر اکسیددیسموتاز، محتوای پرولین و پروتئین و وزن‌تر تأثیر مثبت داشت. بنابراین درمجموع به نظر می‌رسد که پنکونازول تا حدودی باعث بهبود وضعیت رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه کنجد به تنش شوری شده است. تنش شوری موجب کاهش رشد گیاهان می‌شود، البته این کاهش رشد بستگی به میزان و مدت تنش و نوع

گیاه دارد. باتوجه به اینکه پنکونازول علاوه بر خاصیت قارچ‌کشی، از نظر اقتصادی نیز برای کشاورزان مقرون به‌صرفه بوده و به‌آسانی قابل‌دسترس است می‌تواند برای بهبود مقاومت گیاهانی مانند کنجد به تنش شوری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

مؤلفین این مقاله وظیفه خود می‌دانند از جناب آقای مهندس مجید غلامحسینی کارمند موسسه اصلاح و تهیه‌ی نهال و بذر جهاد کشاورزی شهر کرج به خاطر در اختیار قرار دادن بذر رقم مورد آزمایش بسیار سپاس‌گزاری نمایند.

منابع

۱- بابایی، ب.، و جمشیدی، پ.، ۱۳۸۹. اثر تنش شوری بر میزان پرولین و رشد گیاهچه کنجد*Sesamum indicum* ، پنجمین همایش ملی ایده‌های نو در کشاورزی، خوراسگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، صفحه ۸۷۴

۲- زرگری، ع.، ۱۳۶۹. گیاهان دارویی، سوم، تهران، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، صفحات ۴۸۰-۴۷۴.

۳- عرب،ل، احسان پور، ع. ۱۳۹۱. اثر Triadimefon بر تغییرات فیزیولوژیک و مولکولی گیاه یونجه تحت تنش شوری در شرایط کشت در شیشه، رساله دکتری، دانشکده علوم. دانشگاه اصفهان، صفحه ۲۹-۵.

۴- فاضلی، ف.، ۱۳۸۵. بررسی تأثیر تنش خشکی بر برخی جنبه‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیائی در گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.)، رساله دکتری، دانشکده علوم، دانشگاه خوارزمی، صفحه ۲۵-۵.

۵- فیروزه، ر.، خاوری نژاد، ر.، نجفی، ف.، و سعادتمند، س.، ۱۳۹۷. اثرات جیبرلین بر محتوای رنگیزه های فتوسنتزی، پرولین، فنل و فلاونوئید در گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت تنش شوری. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، جلد ۳۱، شماره ۴، صفحات ۹۸۴-۹۰۸.

۶- قهرمان، ا.، ۱۳۷۳. کروموفیت های ایران، جلد دوم، مرکز نشر دانشگاهی، صفحه ۳۹۶.

۷- مرآتی، م.، نیکنام، و.، حسن‌پور، ح.، و میرمعصومی.، م.، ۱۳۹۴. مقایسه تأثیر تنش شوری بر رشد و پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی اندام‌های مختلف گیاه پونه معطر (*Mentha pulegiume* L.)، مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، جلد ۲۸، شماره ۵، صفحات ۱۱۰۷-۱۰۹۷.

8- Agarwal, S., and V., Pandey, 2004. "Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifolia*." Biologia Plantarum, 48(4), PP: 555-560.

9- Aghaleh, M., Niknam, V., Ebrahimzadeh, H., and Razavi, K., 2009. Salt stress effects on growth, pigments, proteins and lipid peroxidation in *Salicornia persica* and *S. europaea*. Biologia Plantarum, 53(2), PP: 243-248.

10- Alamgir, A. N. M., and Ali, M. Y., 1999. Effect of salinity on leaf pigments, sugar and protein concentrations and chloroplast ATPase activity of rice (*Oryza sativa* L.), Bangladesh Journal of Botany, 28(2), PP: 145-149.

11- Baninasab, B., and C., Ghobadi, 2011. "Influence of paclobutrazol and application methods on high-temperature stress injury in *cucumber* seedlings," Journal of Plant Growth Regulation, 30(2), PP: 213-219.

12- Bates, L. S., Waldren, R. P., and Teare, I., D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies, Plant and Soil, 39(1), PP: 205-207.

13- Bekele, A., Besufekad, Y., Adugna, S., and Yinur, D., 2017. Screening of selected accessions of Ethiopian sesame (*Sesame indicum* L.) for salt tolerance, Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 9, PP: 82-94.

14- Bradford, M. M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72(1-2), PP: 248-254.

15- El-Beltagi, H. S., Mohamed, H. I., Mohammed, A. H. M., and Mogazy, A. M., 2013. Physiological and biochemical effects of y-Irradiation on cowpea plants (*Vigna sinensis*) under Salt Stress. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 41(1), PP: 104-114.

16- Filippou, P., Bouchagier, P., Skotti, E., and Fotopoulos, V., 2014. Proline and reactive oxygen/nitrogen species metabolism is involved in the tolerant response of the invasive plant species *Ailanthus altissima* to drought and salinity. Environmental and Experimental Botany, 97, PP: 1-10.

17- Fletcher, R. A., Gilley, A., Sankhla, N., and Davis, T. D., 2000. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants, Horticultural reviews, 24, PP: 55-138.

18- Giannopolitis, C. N., and Ries, S. K., 1977. Purification and quantitative relationship with water-soluble protein in seedling. Plant Physiology, 59(2), PP: 315-318.

19- Gill, S. S., and Tuteja, N., 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants, Plant Physiology and Biochemistry, 48(12), PP: 909-930.

20- Grossmann, K., 1990. Plant growth retardants as tools in physiological research, Physiologia Plantarum, 78(4), PP: 640-648.

21- Gupta, B., and B., Huang, 2014. "Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization," International journal of Genomics 2014 p.

22- Hajihashemi, S., Kiarostami, K., Saboora, A., and Enteshari, S., 2007. Exogenously applied paclobutrazol modulates growth in salt-stressed wheat plants, Plant Growth Regulation, 53(2), PP: 117-128.

23- Hassanpour, H., Khavari-Nejad, R. A., Niknam, V., Najafi, F., and Razavi, K., 2012. Effects of penconazole and water deficit stress on physiological and antioxidative responses in pennyroyal (*Mentha pulegium* L.), Acta Physiologiae Plantarum, 34(4), PP: 1537-1549.

24- Hassanpour, H., Khavari-Nejad, R. A., Niknam, V., Najafi, F., and Razavi, K., 2013. Penconazole induced changes in photosynthesis, ion acquisition and protein profile of *Mentha pulegium* L., under drought stress. Physiology and Molecular Biology of Plants, 19(4), PP: 489-498.

25- Jaleel, C. A., Gopi, R., Kishorekumar, A., Manivannan, P., Sankar, B., and Panneerselvam, R., 2008. Interactive effects of triadimefon and salt stress on antioxidative status and ajmalicine accumulation in *Catharanthus roseus*, Acta Physiologiae Plantarum, 30(3), 287 p.

26- Khalid, K. A., and Cai, W., 2011. The effects of mannitol and salinity stresses on growth and biochemical accumulations in *lemon balm*, Acta Ecologica Sinica, 31(2), PP: 112-120.

27- .27- Koca, H., Bor, M., Özdemir, F., and Türkan, I., 2007. The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. Environmental and Experimental Botany, 60(3), PP: 344-351.

28- Kranner, I., Minibayeva, F. V., Beckett, R. P., and Seal, C. E., 2010. What is stress? Concepts, definitions and applications in seed science. New Phytologist, 188(3), PP: 655-673.

29- Matysik, J., Alia, Bhalu, B., and Mohanty, P., 2002. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants, Current Science, PP: 525-532.

30- Merati, M. J., Hassanpour, H., Niknam, V., and Mirmasoumi, M., 2014. Exogenous application of penconazole regulates plant growth and antioxidative responses in salt-stressed *Mentha pulegium* L, Journal of Plant Interactions, 9(1), PP: 791-801.

31- Molassiotis, A. N., Sotiropoulos, T., Tanou, G., Kofidis, G., Diamantidis, G., and Therios, E., 2006. Antioxidant and anatomical responses in shoot culture of the apple rootstock MM 106 treated with NaCl, KCl, mannitol or sorbitol, Biologia Plantarum, 50(3), PP: 331-338.

32- Nair, V. D., Jaleel, C. A., Gopi, R., and Panneerselvam, R., 2009. Changes in growth and photosynthetic characteristics of *Ocimum sanctum* under growth regulator treatments, Frontiers of Biology in China, 4(2), PP: 192-199.

33- Pusadkar, P. P., Kokiladevi, E., Bonde, S. V., and Mohite, N. R., 2015. Sesame (*Sesamum indicum* L.) importance and its high quality seed oil: a review, Trends Biosci, 8(15), PP: 3900-6.

34- Raymond, J., Rakariyatham, N., and Azanza, J. L., 1993. Purification and some properties of polyphenoloxidase from sunflower seeds. Phytochemistry, 34(4), PP: 927-931.

35- Sairam, R. K., Rao, K. V., and Srivastava, G. C., 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration, Plant Science, 163(5), PP: 1037-1046.

36- Sankar, B., Karthishwaran, K., and Somasundaram, R., 2013. Photosynthetic pigment content alterations in *Arachis hypogaea* L., in relation to varied irrigation levels with

growth hormone and triazoles. Journal of Ecobiotechnology, PP: 7-13.

37- Shaki, F., Ebrahimzadeh Maboud, H., and Niknam, V., 2018. Penconazole alleviates salt-induced damage in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) plants. Journal of Plant Interactions, 13(1), PP: 420-427.

38- Srivastav, M., Kishor, A., Dahuja, A., and Sharma, R. R., 2010. Effect of paclobutrazol and salinity on ion leakage, proline content and activities of antioxidant enzymes in mango (*Mangifera indica* L.), Scientia Horticulturae, 125(4), PP: 785-788.

39- Tuna, A. L., 2014. Influence of foliarly applied different triazole compounds on growth, nutrition, and antioxidant enzyme activities in tomato (*'Solanum lycopersicum'*L.) under salt stress. Australian Journal of Crop Science, 8(1), 71 p.

40- Yadav, S., Irfan, M., Ahmad, A., and Hayat, S., 2011. Causes of salinity and plant manifestations to salt stress: a review, Journal of Environmental Biology, 32(5), 667 p.

41- Zhang, X., and R., Schmidt, 2000. "Application of trinexapac-ethyl and propiconazole enhances superoxide dismutase and photochemical activity in creeping bentgrass (*Agrostis stoloniferous* var. *palustris*)," Journal of the American Society for Horticultural Science, 125(1), PP: 47-51.

Effect of penconazole on physiological, biochemical responses of Sesame (Sesamum indicum L.) under Salt Stress

Heidari H., Niknam V. and Ebrahimzadeh H.

Dept. of Biological Science, Faculty of Science, University of Tehran, Tehran, I.R. of Iran.

Abstract

In this experiment, the effect of Penconazol was studied on some physiological and biochemical responses of Sesamum indicom L. under salinity. Seedlings were grown for 30 days in Hogland solution and after 30 days were treated with different NaCl concentrations (0, 50, 100 and 200 mM) with or without PEN (15 mg l-1). The results showed that salinity reduced growth and total protein content under 50 and 100 mm salinity while proline content increased under 200 mM treatment and the activities of superoxide dismutase and polyphenol oxidase were increased under the treatments of 50 and 100 mm. Application of Penconazole under salinity increased growth, the activity of SOD and POD under 200 mM NaCl and total protein content under 100 mM NaCl and control condition. Overall, it seems that the exogenous application of penconazole can ameliorate the tolerance of Sesam to salinity. Due to the low price and high availability of penconazole this compound can be used in order to increase the resistance of Sesam to salinity.

Key words: Salt stress, Sesamum indicom L, Penconazole, Resistance