فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۵۹، فروردین و اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۲۱۱-۲۳۴
https://doi.org/10.22034/13.59.211

مقاله پژوهشی

اثر پاکلوبوترازول بر برخی ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاه شوید (*Anethum graveoelans* L.) تحت تنش خشکی

راضیه معینی و مهرناز محمودی زرندی*

گروه زیست‌شناسی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۴، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵)

چکیده

در این پژوهش اثرات تنش خشکی و پاکلوبوترازول بر گیاه شوید مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه انجام شد. برخی از صفات رشدی و بیوشیمیایی گیاه شوید تحت تنش خشکی(بر پایه میزان آبیاری) در سه سطح ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار با پاکلوبوترازول در دو سطح ۴۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر بررسی گردید. نتایج نشان داد تنش خشکی، وزن تر و خشک و طول ساقه، وزن تر و خشک و طول ریشه، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و پروتئین را به طور معنی‌داری کاهش و در مقابل میزان قندهای احیاءکننده، پرولین و فعالیت کاتالاز را افزایش می‌دهد. اگر چه در نمونه‌های تیمارشده با پاکلوبوترازول نیز کاهش معنی‌داری در وزن تر وخشک و طول ساقه مشاهده شد اما تیمار با پاکلوبوترازول، پارامترهای رشد ریشه، میزان رنگیزه‌ها و پروتئین‌ها را در مقایسه با گیاهان تحت تنشی که با پاکلوبوترازول تیمار نشده بودند به طور معنی‌داری افزایش داد. در گیاهان تیمارشده با پاکلوبوترازول مقدار قندها و پرولین و فعالیت کاتالاز نسبت به گیاهانی که با پاکلوبوترازول تیمار نشده بودند و شاهد به طور معنی‌داری بیشتر بود (در سطح $P \leq ۰/۰۵$). علاوه‌براین الگوی بیان پروتئین‌ها نیز تفاوت داشت. تجزیه SDS-PAGE یک پروتئین با وزن مولکولی ۱۱ کیلودالتون را در شرایط تنش شدید و تیمار با غلظت ۴۰ mg/L پاکلوبوترازول نشان داد. احتمالاً این پروتئین نقشی اساسی در مقاومت شوید به کم آبی و اثر پاکلوبوترازول در تعدیل تنش دارد.

کلمات کلیدی: الکتروفورز، پرولین، پروتئین، رنگیزه‌های فتوسنتزی، قند، کاتالاز

مقدمه

شوید گیاهی علفی با خواص دارویی و از تیره آپیاسه (Apiaceae) یا چتریان است. تیره آپیاسه یکی از مهمترین و با ارزش‌ترین تیره‌های گیاهی است که شامل گیاهان مفید از نظر دارویی و غنی از ترکیبات معطر است (آرمند و جهانتاب، ۱۳۹۸). جنس Anethum یکی از جنس‌های این تیره است و گونه‌های زیادی دارد. *Anethum graveoelans* L. بومی جنوب غربی آسیا و جنوب شرقی اروپاست (Bailer *et al*., 2001; Tian *et al*., 2011) که در سرتاسر دنیا کشت وسیعی دارد و تنها گونه‌ای از این جنس است که در ایران به عنوان سبزی خوراکی کاشته می‌شود (مظفریان، ۱۳۸۵).

تنش خشکی ناشی از تغییرات آب و هوایی به دلیل تهدید امنیت غذایی یکی از نگرانی‌های جدی جوامع انسانی به شمار می‌رود. شوید گیاهی یک ساله با مصارف غذایی و دارویی

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: mehromah@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

است که می‌تواند تحت تأثیر آسیب‌های ناشی از تنش خشکی قرار گیرد. انواع مختلف تنش‌های زیستی و غیرزیستی مانند گرما، خشکی و شوری تغییراتی ریختی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه به وجود می‌آورند و نهایتاً مانع از رشد و محصول‌دهی گیاه زراعی می‌شوند (Yadav *et al.*, 2020). خشکی یک نگرانی بزرگ محسوب می‌شود چون متغیرهای گوناگونی مانند دماهای بالا و پایین، محدودیت آب در دسترس، تغییر الگوی بارندگی، بارش کم، شوری و شدت نور بالا و ... همه می‌توانند تنش خشکی را به وجود آورند (Hossain *et al.*, 2016). گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک مکرراً در معرض تنش خشکی و تنش گرمایی قرار می‌گیرند. خشکی بر روی فتوسنتز، تولید کلروفیل، متابولیسم مواد غذایی، جذب و انتقال یون، تنفس، متابولیسم کربوهیدرات و ... گیاهان اثر می‌گذارد (Farooq *et al.*, 2009). خشکی میزان رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) را در سلول‌های گیاهی افزایش می‌دهد (Smirnoff, 1993). تولید و تجمع ROS منجر به آسیب اکسیداتیو به سلول، تخریب غشاءهای سلولی، غیرفعالسازی آنزیم‌ها، تجزیه پروتئین‌ها و عدم توازن یونی در گیاه می‌شود (Hasanuzzaman *et al.*, 2020). تحت چنین شرایطی گیاهان مکانیسم‌های مرفولوژیک و فیزیولوژیکی ایجاد می‌کنند که به آنها اجازه سازش و بقاء را در شرایط تنش می‌دهد (Bosabalidis and Kofidis, 2002). به عنوان مثال گیاهان یک سیستم آنتی‌اکسیدان قوی دارند که تولید بیش از حد رادیکال‌های آزاد اکسیژن را کنترل می‌کند. مسیرهای سم‌زدایی از ROSها در همه گیاهان وجود دارد و شامل آسکوربات پراکسیداز (APX)، سوپراکسی دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POX) و آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی شامل گلوتاتیون (GSH)، اسید آسکوربیک و توکوفرول هستند (Prochazkova *et al.*, 2001; Rady and Gaballah, 2012). SOD و CAT آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو شناخته‌شده در سلول‌ها هستند که ROSها را به ترکیبات غیرسمی تبدیل می‌کنند. SOD اولین خط دفاعی بر علیه ROSهاست. این آنزیم O_2^- را با فعالیت دیسموتازی به H_2O_2 و اکسیژن تبدیل می‌کند (Alscher *et al.*, 2002; Halliwell, 2006). H_2O_2 خود یک ترکیب سمی است و توسط CAT به آب و اکسیژن تبدیل می‌شود. این آنزیم در همه سلول‌ها و در پراکسی‌زوم‌ها وجود دارد (Mittler *et al.*, 2004; Finaud *et al.*, 2006). SOD و CAT نقش مهمی در دفاع در مقابل تنش اکسیداتیو القاءشده با تنش غیرزیستی در بافت‌های گیاهی دارند. مکانیسم تولید ROS و روبش آنها توسط گیاهان با ظرفیت بالای آنتی‌اکسیداتیو تحمل تنش‌های غیرزیستی ارتباط دارد (Wahid *et al.*, 2014). این سیستم دفاعی گیاه برای رسیدن به آستانه‌ای از تحمل فعال می‌شود. در شرایط تنش سخت و پایدار این سیستم دفاعی از کار می افتد و آسیب‌های فیزیولوژیک حادث می‌گردد (Smirnoff, 1993).

مطالعات گوناگونی برای بهبود تحمل گیاه و سازش به خشکی و تقلیل اثرات منفی خشکی انجام شده است. این مطالعات اغلب استفاده از حفاظت‌کننده‌های گیاهی مانند تحریک‌کننده‌های رشد، ترکیبات آنتی‌اکسیدان و حفاظت‌کننده-های اسمزی را توصیه می‌کنند که در تحریک واکنش‌های گیاهان زراعی به خشکی بسیار مؤثر هستند (Garg *et al.*, 2019; Desta and Amare, 2021). تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی (PGRs) معمولاً در کشاورزی برای تقویت رشد گیاه استفاده می‌شوند. تنظیم‌کننده‌های رشد بر روی رشد و نمو و متابولیسم گیاهی هم اثرات مفید و هم اثرات منفی دارند (Ashraf, 2010; Garg *et al.*, 2019; Desta and Amare, 2021). چندین گروه از تنظیم‌کننده‌ها وجود دارد که شامل اکسین، آبسزیک اسید، سیتوکینین‌ها، جیبرلین، اسید سالیسیلیک، اسید جاسمونیک و اتیلن و اخیراً براسینواستروئیدها، استریگولاکتون‌ها، پلی‌آمین و تریازول و غیره هستند. تریازول‌ها گروهی از قارچ‌کش‌ها هستند که از جهت خواص تحریک‌کنندگی رشد بررسی شده‌اند و به دلیل القاء تحمل تنش غیرزیستی از طریق تقویت سیستم دفاعی گیاه مانند آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان تحت تنش، گاهی برای حفاظت در مقابل تنش به کار گرفته می‌شوند (Jaleel *et al.*, 2007b). ترکیبات تریازول مختلفی که به‌صورت PGR استفاده می‌شوند شامل پاکلوبوترازول،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

یونیکونازول، تریاپنتنول و BAS۱۱۱ و غیره هستند. تریازول‌ها رشد گیاه را با تغییر توازن هورمون‌های کلیدی گیاهی مانند سیتوکینین‌ها، اسید جیبرلیک و آبسزیک تنظیم می‌کنند (Hajihashemi, 2018). تریازول‌ها تغییرات ریختی (تحریک رشد ریشه، بازدارندگی رشد اندام هوایی) و بیوشیمیایی (افزایش ساخت سیتوکینین و افزایش موقت ABA) را القاء می‌کنند (Srivastav *et al.*, 2010; Somasundaram *et al.*, 2009).

پاکلوبوترازول با نام شیمیایی [(2RS, 3RS)-1-(4-chlorophenyl)- 4, 4-dimethyl-2-(1H-1, 2, 4-trizol-1-yl)-pentan-3-ol]، متعلق به گروه تریازول‌هاست و یک بازدارنده رشد مصنوعی است (Desta and Amare, 2021). پاکلوبوترازول مدت‌هاست که در گیاهان باغی برای افزایش محصول‌دهی استفاده می‌شود (Assuro *et al.*, 2012; Kamran *et al.*, 2020). پاکلوبوترازول با تغییر سرعت فتوسنتز و میزان فیتوهورمون به‌طور معنی‌داری بر رشد و نمو گیاه نیز اثر می‌گذارد (Kim *et al.*, 2012). پاکلوبوترازول در گوجه‌فرنگی تعداد برگ و قطر ساقه را افزایش می‌دهد، منجر به تغییر آرایش ریشه می‌شود و ارتفاع گیاه را کاهش می‌دهد (Pal *et al.*, 2016) و در افزایش محصول‌دهی و مقاومت به آبگرفتگی برنج نقش دارد (Syahputra *et al.*, 2016). بکارگیری پاکلوبوترازول با غلظت متوسط بر *Phoebe bournei* که گیاه با ارزشی از نظر تولید اسانس و چوب در چین است می‌تواند مرفولوژی ریشه را تغییر دهد (Li *et al.*, 2023). پاکلوبوترازول یک بازدارنده رشد است که سه مرحله در مسیر ترپنوئید را برای ساخت جیبرلین متوقف می‌کند (Fletcher *et al.*, 2000). فعالیت بازدارندگی رشد پاکلوبوترازول و دیگر خواص آن اساسا به دلیل بازدارندگی اکسیداسیون انت–کائورن به انت–کائورنوئیک اسید در بیوسنتز جیبرلین است (Graebe, 1987). یکی از نقش‌های جیبرلین در گیاهان، تحریک رشد طولی سلول است. وقتی ساخت جیبرلین بازداشته می‌شود، سلول‌ها تقسیم می‌شوند اما سلول‌های جدید رشد نمی‌کنند بنابراین تعداد برگ‌ها افزایش نمی‌یابد و میانگره‌ها هم کوتاه‌تر می‌شوند (Pinto *et al.*, 2005; Francescangeli and Zagabria, 2008).

به این دلیل پاکلوبوترازول برای کاهش ارتفاع گیاه برای تولید گیاهان گلدانی چندین گونه به کار برده می‌شود (Wanderley *et al.*, 2014; Hua *et al.*, 2014; Pinto *et al.*, 2005; Francescangeli and Zagabria, 2008). در آزمایشات Novita (۲۰۲۱) بر روی گوجه‌فرنگی، بکارگیری پاکلوبوترازول نقش قابل ملاحظه‌ای بر کاهش ارتفاع گیاه و افزایش گلدهی داشت و توانست زمان گلدهی را بطور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش دهد. علاوه‌براین گزارش شده که بازدارنده رشد پاکلوبوترازول گیاهان را در برابر تنش محیطی یعنی خشکی، شوری، دماهای بالا یا پایین و غیره حفظ می‌کند (Asare-Boamah *et al.*,1986; Asamoah and Atkinson, 1985; Kraus and Fletcher, 1994; Kraus *et al.*, 1995; Fletcher *et al.*, 2000; Marshall *et al.*, 2000; Zhu *et al.*, 2004). آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند ویتامین C و E و فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو مانند کاتالاز و سوپراکسیداز با پاکلوبوترازول افزایش می‌یابد که این به نوبه خود مقاومت نسبت به تنش را ایجاد می کند (Srivastav *et al.*, 2010; Somasundaram *et al.*, 2009). پاکلوبوترازول اثرات مخرب تنش خشکی را با افزایش سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در بسیاری از گیاهان مانند بادام زمینی، کنجد، انبه و گوجه‌فرنگی به حداقل می‌رساند (Percival and Salim AlBalushi, 2007; Sankar *et al.*, 2007; Manivannan *et al.*, 2008; Somasundaram *et al.*, 2009; Srivastav *et al.*, 2010; Mohamed *et al.*, 2011). خواص ضدقارچی نیز به پاکلوبوترازول نسبت داده شده است از اینرو بکارگیری آن می‌تواند در کنترل امراض قارچی هم مؤثر باشد (Bazurto *et al.*, 2022). روش استعمال تریازول‌ها به صورت اسپری برگی و یا دادن به خاک همراه با آبیاری است (Rademacher, 2015). بکارگیری پاکلوبوترازول از طریق ریشه‌ها اثربخشی بیشتری دارد چون پاکلوبوترازول عمدتاً از طریق آوند چوبی منتقل می‌شود و از طریق ریشه جذب شده و به منطقه رشد گیاه تحویل داده می‌شود (Xia *et al.*, 2018; Cregg and Ellison-Smith, 2020; Lima *et al.*, 2020; Guimaraes *et al.*, 2021). علاوه‌براین جیبرلیک اسید در ریشه ساخته می‌شود و اثر بازدارندگی پاکلوبوترازول بر جیبرلین با استعمال ریشه‌ای آن بهتر صورت می‌گیرد (Sopher *et al.*, 1999).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

هدف از این تحقیق بررسی اثر تنش خشکی و پاکلوبوترازول بر برخی ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی و تغییرات کیفی پروتئین‌های گیاه شوید است.

مواد و روش‌ها

آزمایش در یک گلخانه در شهر کرمان با تابش طبیعی نور، دوره نوری ۱۶ ساعته و دمای ۲۳±۲°C انجام شد. بذر گیاه شوید از شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری شد. بذرها پس از ضدعفونی با محلول هیپوکلریت سدیم در گلدان‌های یک لیتری حاوی خاک شنی لومی کاشته شدند. آزمایشات به صورت فاکتوریل انجام شد و گیاهان به شکل طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی (RCBD) با سه تکرار آرایش داده شدند. تیمارها شامل آبیاری تا ۷۰ ٪ ظرفیت زراعی (شاهد)، ۵۰ ٪ ظرفیت زراعی (تنش ملایم) و ۳۰٪ ظرفیت زراعی (تنش شدید) و پاکلوبوترازول (خریداری‌شده از شرکت Sigma-Aldrich) با غلظت صفر و ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر بودند. اعمال تنش در مرحله‌ای از رشد که طول ساقه به ۱۰ سانتی‌متر رسیده بود یعنی در مرحله دو یا سه برگی انجام شد. تغذیه گیاه با محلول غذایی هوگلند هر چهار روز یک بار صورت می‌گرفت. گیاهان برای تیمار با محلول پاکلوبوترازول با ۲۵ میلی‌لیتر محلول با غلظت ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر هفته‌ای یک بار اسپری برگی می‌شدند. گیاهان شش هفته تحت تنش خشکی و تیمار پاکلوبوترازول قرار گرفتند.

سنجش پارامترهای رشد:

برای تعیین وزن خشک ساقه و ریشه این اندام‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد درآون خشک شده و سپس وزن شدند.

سنجش‌های بیوشیمیایی، سنجش رنگدانه‌های فتوسنتز: برای استخراج رنگیزه‌ها، برگ‌های تازه گیاه در استون ۸۰ ٪ ساییده شد و محلول رنگی حاصل، به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۱۶۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. مقدار رنگیزه‌های کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها به روش Lichtenthaler اندازه گرفته شد (۱۹۸۷). جذب محلول در طول‌موج‌های ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئیدها و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a با دستگاه اسپکتوفتو متر مدل Rayleigh در سه تکرار اندازه‌گیری شد و با استفاده از فرمول‌های زیر غلظت کلروفیل a، b و کاروتنوئید تعیین شد.

$$\text{Chl a } (\mu g/ml) = ۱۲/۲۱A_{۶۶۴} - ۲/۷۹A_{۶۴۶/۸}$$

$$\text{Chl b } (\mu g/ml) = ۲۱/۵۰A_{۶۴۵/۸} - ۵/۱۰A_{۶۶۳/۲}$$

$$\text{Car } (\mu g/ml) = (۱۰۰۰\ A_{۴۷۰} - ۱/۸\text{Chla} - ۸۵/۰۲\text{Chlb}) / ۱۹۸$$

سنجش میزان پرولین: سنجش پرولین با روش Bates (۱۹۷۳) و با استفاده از معرف نین‌هیدرین انجام شد. جذب محلول‌های رنگی در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتومتر اندازه‌گیری شد. مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد و معادله خط y=۰/۷۳۳۱x+۰/۰۰۷ محاسبه گردید.

استخراج و اندازه‌گیری قندهای احیاءکننده: برای استخراج قند از نمونه گیاهی، ۴۰ میلی‌گرم از ماده تر گیاهی در اتانول ۸۰ درصد به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت فاز رویی جدا شد و عمل استخراج با اتانول ۸۰ درصد چهار مرتبه دیگر تکرار شد. عصاره‌های حاصل با تبخیر اتانول تغلیظ‌شده به حجم مشخصی کاهش یافت. این عصاره‌ها پس از سانتریفوژ در ۵۰۰۰ دور به مدت ۱۰ دقیقه برای اندازه‌گیری قندهای احیاء کننده استفاده شدند. قندهای احیاکننده با روش Miller اندازه‌گیری شد (۱۹۵۹). به این ترتیب که ۱/۵ میلی‌لیتر از عصاره الکلی تغلیظ‌شده با ۱/۵ میلی‌لیتر از معرف اسید دی‌نیترو سالیسیلیک مخلوط شده و به مدت ۲۰ دقیقه در بن‌ماری در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از آن بلافاصله ۰/۵ میلی‌لیتر پتاسیم سدیم تارتارات ۴۰ درصد به آن افزوده شد و پس از سرد شدن لوله‌ها، جذب نور در طول‌موج ۵۷۵ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر خوانده شد. محتوای قند با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز محاسبه شد.

تهیه عصاره آنزیمی: ابتدا مقدار ۰/۰۵ گرم بافت تر گیاهی با ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار با pH= ۸/۶ در هاون چینی سرد هموژن گردید. آنگاه به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ °C سانتریفیوژ شد. از فاز شفاف رویی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی استفاده شد (Kar and Mishra, 1976).

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز: مخلوط واکنش به حجم ۳ میلی‌لیتر شامل ۲/۸ میلی‌لیتر با فر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH=۶/۸، عصاره آنزیمی ۱۰۰ میکرولیتر، آب اکسیژنه ۰/۴۵ مولار تهیه شد. فعالیت آنزیمی با اضافه کردن آب اکسیژنه به مخلوط واکنش شروع شد. کاهش میزان جذب نور در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر در یک دقیقه اول بعد از افزودن آب اکسیژنه خوانده شد (Chance and Maehly, 1955). فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد که در آن A (عدد جذب) و b (طول کوت) و C (غلظت H_2O_2) و ضریب خاموشی برابر ۰/۲۸ $Mol^{-1}cm^{-1}$ در دقیقه است. فعالیت آنزیم به ازای یک میلی‌گرم پروتئین بیان گردید.

$A= \epsilon bc$

سنجش میزان پروتئین کل: ابتدا بافر استخراج پروتئین به نام بافر تریس- ساکارز تهیه شد. نمونه‌های گیاهی در بافر به خوبی سائیده شده بعد محلول همگن در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه در سانترفیوژ یخچال‌دار قرار داده شد. سپس محلول رویی جهت سنجش غلظت پروتئین محلول و الکتروفورز جدا شد. مقدار پروتئین در نمونه با روش برادفورد سنجش شد (Bradford, 1976). بدین صورت که ۰/۱ میلی‌لیتر از هر نمونه گیاه شوید به لوله حاوی ۵ میلی‌لیتر محلول برادفورد افزوده شده و سریعاً با ورتکس هم زده شد. پس از گذشت ۲۵ دقیقه جذب نوری نمونه با دستگاه اسپکتروفومتر مدل Rayleigh در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. از آلبومین سرم گاوی (BSA) برای رسم منحنی استاندارد استفاده شد. میزان پروتئین نمونه‌های گیاهی با استفاده از منحنی استاندارد و معادله خط y=۰/۰۰۱۷x+۰/۳۲۱ محاسبه گردید.

برای تعیین الگوی پروتئینی SDS-PAGE برطبق روش لاملی با استفاده از آکریل آمید ۱۰٪ انجام شد (Laemmli, 1970). برای مشاهده پروتئین‌ها، ژل‌ها با کوماسی بریلیانت بلو R250 رنگ‌آمیزی شدند.

داده‌ها با آنالیز واریانس (ANOVA) و آزمون LSD با استفاده از SPSS نسخه ۱۶ در سطح $P \leq ۰/۰۵$ تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج

وزن تر اندام هوایی: جدول ۱ نشان می‌دهد که وزن تر اندام هوایی با اعمال تنش خشکی به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. این کاهش در نتیجه تیمار با پاکلوبوترازول برای گیاهان شاهد (آبیاری شده تا ظرفیت زراعی ۷۰ ٪) و تحت تنش خشکی ملایم (آبیاری‌شده تا ظرفیت زراعی ۵۰ ٪) تحت تنش خشکی شدید (آبیاری‌شده تا ظرفیت زراعی ۳۰ ٪) تشدید می‌گردد. بطوریکه وزن تر اندام هوایی در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول نسبت به گیاهانی که تحت تیمار پاکلوبوترازول قرار نگرفته بودند به طور معنی‌داری کمتر شد. کاهش وزن تر اندام هوایی برای هر سه نمونه در غلظت۴۰ mg/L پاکلوبوترازول نسبت به ۲۰ mg/L پاکلوبوترازول معنی‌دار بود.

وزن خشک اندام هوایی: همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، اعمال تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با نمونه شاهد شد. تیمار پاکلوبوترازول وزن خشک ساقه را نسبت به گیاهانی که تحت تیمار پاکلوبوترازول قرار نگرفته بودند، کاهش معنی‌داری داد. کاهش وزن خشک اندام هوایی برای گیاهان تیمارشده با غلظت mg/L ۴۰ پاکلوبوترازول نسبت به غلظت ۲۰ mg/L پاکلوبوترازول بیشتر بود.

وزن تر ریشه: جدول ۲ نشان می‌دهد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار وزن تر ریشه در خشکی ملایم و شدید در مقایسه با نمونه شاهد می‌شود. با تیمار پاکلوبوترازول وزن تر ریشه در هر سه نمونه به طور معنی‌داری افزایش یافت. افزایش وزن تر ریشه با غلظت ۴۰ mg/L پاکلوبوترازول نسبت به غلظت ۲۰ mg/L پاکلوبوترازول، بیشتر بود. اثر پاکلوبوترازول بر افزایش وزن تر ریشه در گیاهان تحت تیمار خشکی بیشتر از گیاهان شاهد بود.

وزن خشک ریشه: وزن خشک ریشه در اثر اعمال خشکی ملایم و شدید کاهش یافت (جدول ۲). میانگین وزن خشک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر پاکلوبوترازول و سطح تنش خشکی بر برخی صفات رشدی گیاه شوید

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر ساقه	وزن خشک ساقه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	طول ساقه	طول ریشه
بلوک	۲	۰/۰۱*	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۴*	۰/۰۰۰۳*	۳۴/۳۳*	۲۹/۵۲*
خشکی (A)	۲	۰/۰۰۶ns	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۰۴*	۳/۳۲ns	۱۸/۳۶*
پاکلوبوترازول (B)	۲	۰/۰۴*	۰/۰۰۴*	۰/۰۱*	۰/۰۰۱*	۴/۹۴ns	۷۲/۶۴*
A×B	۴	۰/۰۰۰۵ns	۰/۰۰۰۱ns	۰/۰۰۰۱ns	۰/۰۰۰۰۶ns	۴/۷۰ns	۱/۹۵ns
خطا	۱۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۱	۰/۵۲	۰/۳۵
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۰/۷۳	۱۴/۱۷	۸/۶۳	۲۲/۰۳	۵/۸۳	۶/۸۷

* نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات رشدی گیاه شوید در اثر برهمکنش پاکلوبوترازول و خشکی

نوع تیمار ظرفیت زراعی (٪) + پاکلوبوترازول (mg/L)	وزن تر اندام هوایی (g)	وزن خشک اندام هوایی (g)	طول ساقه (cm)	وزن تر ریشه (g)	وزن خشک ریشه (g)	طول ریشه (cm)
۰+٪۷۰	۰/۲۳±۰/۰۲۰^{a}	۰/۰۴۶±۰/۰۰۹^{a}	۱۳/۸±۰/۸۳۳^{a}	۰/۰۶±۰/۰۰۴^{g}	۰/۰۱۷±۰/۰۰۳^{g}	۴/۸±۰/۸۶۵^{f}
۲۰+٪۷۰	۰/۱۴±۰/۰۱۰^{b}	۰/۰۲۷±۰/۰۰۳^{c}	۱۲/۹±۰/۱۰۰^{b}	۰/۰۸±۰/۰۰۳^{f}	۰/۰۱۸±۰/۰۰۲^{f}	۶/۱±۰/۷۰۱^{e}
۴۰+٪۷۰	۰/۱۰±۰/۰۰۳^{d}	۰/۰۱۸±۰/۰۰۳^{f}	۱۰/۲±۰/۳۰۰^{d}	۰/۱۳±۰/۰۰۷^{c}	۰/۰۲۵±۰/۰۰۱^{d}	۱۰/۶±۰/۵۳۳^{b}
۰+٪۵۰	۰/۱۱±۰/۰۲۳^{c}	۰/۰۳۱±۰/۰۰۵^{b}	۱۱/۹±۰/۵۰۰^{c}	۰/۰۵±۰/۰۱۰^{h}	۰/۰۱۵±۰/۰۰۲^{h}	۳/۶±۰/۴۰۲^{g}
۲۰+٪۵۰	۰/۰۹±۰/۰۰۶^{e}	۰/۰۲۲±۰/۰۰۶^{d}	۹/۱±۰/۸۱۲^{e}	۰/۰۹±۰/۰۰۸^{e}	۰/۰۲۲±۰/۰۰۲^{e}	۷/۵±۰/۶۳۱^{d}
۴۰+٪۵۰	۰/۰۷±۰/۰۱۳^{g}	۰/۰۱۶±۰/۰۰۴^{g}	۷/۸±۰/۶۳۲^{g}	۰/۱۶±۰/۰۰۶^{b}	۰/۰۳۸±۰/۰۰۴^{c}	۱۰/۷±۰/۷۳۴^{b}
۰+٪۳۰	۰/۰۸±۰/۰۱۸^{f}	۰/۰۲۲±۰/۰۰۵^{d}	۱۰/۴±۰/۴۰۰^{d}	۰/۰۳±۰/۰۰۹^{i}	۰/۰۱۲±۰/۰۰۳^{i}	۲/۷±۰/۴۳۵^{h}
۲۰+٪۳۰	۰/۰۶±۰/۰۰۶^{h}	۰/۰۱۹±۰/۰۰۲^{e}	۸/۱±۰/۴۹۳^{f}	۰/۱۰±۰/۰۱۱^{d}	۰/۰۳۹±۰/۰۰۱^{b}	۸/۶±۰/۸۳۲^{c}
۴۰+٪۳۰	۰/۰۱±۰/۰۰۹^{i}	۰/۰۱۱±۰/۰۰۴^{h}	۵/۵±۰/۸۶۲^{h}	۰/۱۸±۰/۰۰۳^{a}	۰/۰۴۹±۰/۰۰۱^{a}	۱۳/۵±۰/۳۰۲^{a}

اعداد، میانگین ± انحراف استاندارد هستند. حروف نامشابه انگلیسی در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح $P\leq$۰/۰۵ است.

ریشه با تیمار پاکلوبوترازول در غلظت ۴۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر از گیاهانی که با پاکلوبوترازول تیمار نشده بودند، بطور معنی‌داری بیشتر بود. پاکلوبوترازول با غلظت mg/L ۴۰ وزن خشک ریشه را به طور معنی‌داری نسبت به غلظت mg/L ۲۰ و گیاهان تیمار نشده با پاکلوبوترازول افزایش داد.

طول ساقه: طول ساقه با اعمال تنش خشکی به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۲). کاهش طول ساقه در گیاهان تحت تیمار پاکلوبوترازول نیز بیشتر از گیاهانی بود که با پاکلوبوترازول تیمار نشده بودند. گر چه تیمار با پاکلوبوترازول در هر دو غلظت طول ساقه را به طور معنی‌داری نسبت به گیاهان تیمار نشده با پاکلوبوترازول کاهش داد اما کاهش میانگین طول ساقه در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول نسبت به غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر و نمونه‌های تیمار نشده با پاکلوبوترازول بیشتر بود.

طول ریشه: جدول ۲ نشان می‌دهد که با اعمال تنش خشکی طول ریشه نسبت به نمونه شاهد کاهش معنی‌دار پیدا

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

کرد اما تیمار با پاکلوبوترازول طول ریشه را در گیاهان شاهد و تحت تنش خشکی به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. پاکلوبوترازول با غلظت ۴۰ mg/L طول ریشه را نسبت به غلظت ۲۰ mg/L پاکلوبوترازول و گیاهانی که با پاکلوبوترازول تیمار نشده بودند به طور معنی‌داری افزایش داد.

محتوای کلروفیل a: شکل ۱ نشان می‌دهد که مقدار کلروفیل a با اعمال تنش خشکی ملایم و سخت کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند. محتوای کلروفیل در FC ۷۰ ٪ (شاهد) FC ۵۰ ٪ (تنش خشکی ملایم) و FC ۳۰ ٪ (تنش خشکی شدید) با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند. استفاده از پاکلوبوترازول در شاهد و گیاهان تحت تنش خشکی شدید و تنش خشکی ملایم باعث افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل a شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد مقدار کلروفیل a در غلظت ۴۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند و میزان کلروفیل a در نتیجه تیمار با غلظت ۴۰ mg/L پاکلوبوترازول بیشتر شد.

میزان کلروفیل b: نتایج نشان داد مقدار کلروفیل b در نتیجه تیمار با غلظت ۴۰ mg/L پاکلوبوترازول نسبت به گیاهان تیمار نشده با پاکلوبوترازول برای گیاهان شاهد و تحت تنش خشکی ملایم و سخت به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. افزایش محتوای کلروفیل b در غلظت ۲۰ mg/L پاکلوبوترازول گر چه کمتر صورت گرفت اما این افزایش نسبت به گیاهان تیمار نشده با پاکلوبوترازول، معنی‌دار بود (شکل ۲).

میزان کاروتنوئید: شکل ۳ نشان می‌دهد که مقدار کاروتنوئیدها هم با اعمال تنش خشکی بطور معنی‌داری کاهش می‌یابد. با تیمار پاکلوبوترازول محتوای کاروتنوئید در گروه شاهد (بدون تنش) و تحت تنش خشکی ملایم و سخت بطور معنی‌داری افزایش یافت. افزایش مقدار کاروتنوئیدها با غلظت ۴۰ mg/L پاکلوبوترازول نسبت به غلظت ۲۰ mg/L پاکلوبوترازول بطور معنی‌داری بیشتر بود.

محتوای پرولین: بر اساس نتایج مندرج در جدول ۳، اعمال تنش خشکی موجب افزایش معنی‌دار پرولین در تنش خشکی شدید و تنش خشکی ملایم نسبت به نمونه شاهد شده است. با تیمار پاکلوبوترازول در گیاهان شاهد و تحت تنش خشکی ملایم و سخت میزان پرولین به طور معنی‌داری کاهش یافته است. کاهش میزان پرولین در غلظت ۴۰ mg/L پاکلوبوترازول نسبت به گیاهان تیمار شده با غلظت ۲۰ mg/L پاکلوبوترازول و گیاهان تیمار نشده با پاکلوبوترازول در گیاهان شاهد و تحت تنش بیشتر بود.

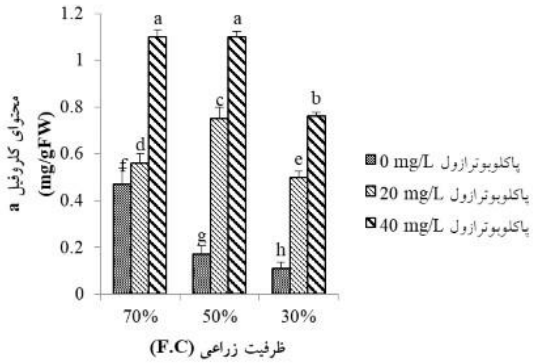
قندهای احیاءکننده: محتوای قندهای احیاء کننده در تنش خشکی شدید نسبت به تنش خشکی ملایم و شاهد افزایش معنی‌داری داشت. پاکلوبوترازول در گیاهان تحت تنش و شاهد مقدار قند را افزایش داد و این افزایش در غلظت ۴۰ mg/L پاکلوبوترازول بیشتر بود (جدول ۴).

آنزیم کاتالاز: جدول ۴ نشان می‌دهد که فعالیت آنزیم کاتالاز با اعمال تنش خشکی بطور معنی‌داری افزایش می‌یابد. تیمار با پاکلوبوترازول در گیاهان شاهد و تحت تنش خشکی باعث افزایش فعالیت کاتالاز شد. این افزایش فعالیت در غلظت ۴۰ mg/L پاکلوبوترازول نسبت به در غلظت ۲۰ mg/L پاکلوبوترازول و گیاهان تیمار نشده با پاکلوبوترازول در شرایط تنش و بدون تنش بطور معنی‌داری بیشتر بود.

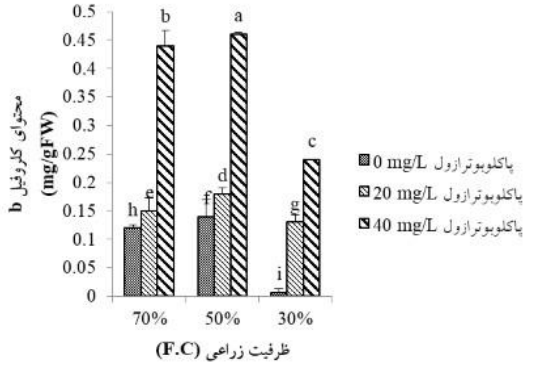
مقدار پروتئین: اعمال تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار میزان پروتئین در خشکی شدید و ملایم نسبت به گیاهان شاهد شد اما میزان پروتئین در این دو سطح تنش اختلاف معنی‌داری نداشت. تیمار گیاه با پاکلوبوترازول باعث افزایش معنی‌دار میزان پروتئین شد میزان پروتئین در تیمار با غلظت ۴۰ mg/L پاکلوبوترازول در مقایسه با نمونه‌های تیمار نشده با پاکلوبوترازول اختلاف معنی‌دار دارد. در شرایط تنش سخت خشکی تیمار با غلظت ۲۰ mg/L پاکلوبوترازول نسبت به نمونه‌های تیمار نشده با پاکلوبوترازول، در غلظت پروتئین تغییر معنی‌داری ایجاد نکرد (جدول ۴).

مقایسه باندهای پروتئینی در نمونه های شاهد، تحت تنش خشکی و تیمار شده با پاکلوبوترازول گیاه شوید: با استفاده از لدر و وزن مولکولی مشخص شده آن، وزن مولکولی باندهای پروتئینی تشکیل شده نمونه‌های شوید بر روی ژل الکتروفورز عمودی تخمین زده شد و نتایج آن به صورت

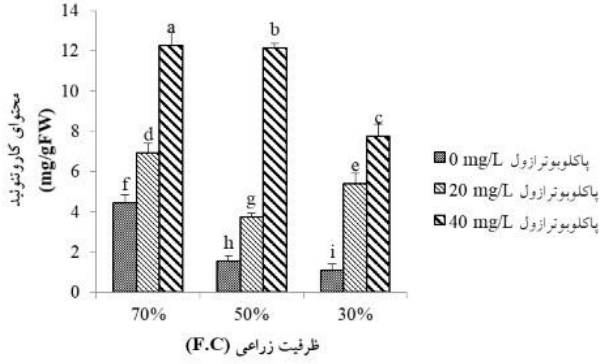
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]



شکل ۱- اثر بر همکنش خشکی و پاکلوبوترازول بر مقدار کلروفیل a. اعداد میانگین سه تکرار ± انحراف استاندارد (SD) هستند. حروف انگلیسی نامشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح P ≤ ۰/۰۵ است.



شکل ۲- اثر بر همکنش خشکی و پاکلوبوترازول بر مقدار کلروفیل b. اعداد میانگین سه تکرار ± انحراف استاندارد (SD) هستند. حروف انگلیسی نامشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح۰۵ /۰ ≤P است.



شکل ۳- اثر بر همکنش خشکی و پاکلوبوترازول بر مقدار کاروتنوئیدها. اعداد میانگین سه تکرار ± انحراف استاندارد (SD) هستند. حروف انگلیسی نامشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح P ≤ ۰/۰۵ است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر پاکلوبوترازول و سطح تنش خشکی بر برخی صفات فیزیولوژیک گیاه شوید.

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	پرولین	قند	پروتئین	فعالیت کاتالاز
بلوک	۲	۰/۱۰*	۰/۰۱ns	۱۲/۸۴*	۱۴/۸۲*	۰/۰۷*	۰/۰۰۰۱*	۰/۰۸*
خشکی (A)	۲	۰/۰۵*	۰/۳*	۱۴/۴۲*	۳۱۸/۳۱*	۰/۰۱ns	۰/۰۰۰۵*	۰/۰۹*
پاکلوبوترازول (B)	۲	۰/۱۱*	۰/۰۴*	۴۶/۳۶*	۱۸۱/۴۸*	۰/۰۰۰۶ns	۰/۰۰۰۰۶ns	۰/۱۴*
A×B	۴	۰/۵۰*	۰/۱۲*	۵۳/۸۶*	۵۴۶/۶۹*	۰/۰۰۰۹ns	۰/۰۰۰۰۲ns	۰/۰۰۸ns
خطا	۱۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۲۶	۰/۵۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۹	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات (٪)	-	۷/۴۶	۱۶/۵۹	۷/۹۸	۷/۹۶	۱۷/۵۶	۳۰/۴۴	۱۸

*** نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.**

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی گیاه شوید در اثر برهمکنش پاکلوبوترازول و خشکی

نوع تیمار ظرفیت زراعی (٪) + پاکلوبوترازول (mg/L)	مقدار قندهای احیاءکننده (mg/gFW)	مقدار پرولین (µmol/gFW)	مقدار پروتئین (mg/gFW)	میزان فعالیت کاتالاز (Unites/mgprotein)
۰+٪۷۰	۰/۳۵±۰/۰۳۳^{i}	۱۸/۳۴±۰/۵۵۵^{c}	۰/۱۲۶±۰/۰۰۳^{c}	۰/۱۵±۰/۰۴۰^{h}
۲۰+٪۷۰	۰/۳۷±۰/۰۶۶^{h}	۵/۹۷±۰/۶۶۶^{g}	۰/۲۱۰±۰/۰۰۱^{b}	۰/۳۱±۰/۰۶۳^{d}
۴۰+٪۷۰	۰/۴۱±۰/۰۲۳^{f}	۳/۰۵±۰/۱۶۶^{h}	۰/۲۳۸±۰/۰۰۲^{a}	۰/۳۶±۰/۶۰^{b}
۰+٪۵۰	۰/۳۹±۰/۰۳۱^{g}	۲۸/۴۸±۰/۰۶۶^{b}	۰/۰۰۴±۰/۰۰۱^{f}	۰/۱۸±۰/۰۳^{g}
۲۰+٪۵۰	۰/۴۳±۰/۰۱۶^{d}	۹/۹۷±۰/۴۳۳^{e}	۰/۰۰۵±۰/۰۰۵^{e}	۰/۲۱±۰/۰۱۶^{f}
۴۰+٪۵۰	۰/۴۶±۰/۰۲۶^{c}	۲/۷۷±۰/۲۵۰^{i}	۰/۰۰۸±۰/۰۰۳^{d}	۰/۳۴±۰/۰۰۱^{c}
۰+٪۳۰	۰/۴۲±۰/۰۱۳^{e}	۳۸/۸۸±۰/۳۰۱^{a}	۰/۰۰۴±۰/۰۰۱^{f}	۰/۲۳±۰/۰۲۲^{e}
۲۰+٪۳۰	۰/۴۸±۰/۰۵۰^{b}	۱۳/۹۲±۰/۸۳۳^{d}	۰/۰۰۴±۰/۰۰۱^{f}	۰/۳۱±۰/۳۳^{d}
۴۰+٪۳۰	۰/۵۱±۰/۰۲۰^{a}	۷/۹۴±۰/۶۳۳^{f}	۰/۰۰۵±۰/۰۰۱^{e}	۰/۳۸±۰/۰۲۳^{a}

اعداد، میانگین ± انحراف استاندارد هستند. حروف نامشابه انگلیسی در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح $P\leq$۰/۰۵ است.

افزایش بیان، بیان متوسط و کاهش بیان بر اساس میزان شدت رنگ جذب شده توسط پروتئین تعیین شد. الگوی بیان پروتئین در گیاهان تنش خشکی دیده و گیاهان شاهد همچنین در گیاهان تیمار شده و تیمار نشده با پاکلوبوترازول اختلاف نشان داد. بطوریکه برخی پروتئین‌ها در شرایط مختلف افزایش بیان یا کاهش بیان نشان دادند و یا در برخی شرایط بیان نشدند. باند پروتئینی ۱۵۰ کیلودالتون، در نمونه شاهد با غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول و نمونه تحت تنش خشکی شدید افزایش بیان داشته است و در بقیه نمونه‌ها بیان نداشته است. پروتئین ۱۱ کیلودالتونی فقط در شرایط تنش شدید و تیمار با غلظت mg/L ۴۰ پاکلوبوترازول دیده شد. در شرایط تنش شدید و تیمار پاکلوبوترازول پروتئین‌های ۹۳، ۳۸، ۳۲، ۲۸، ۲۵، ۱۹، ۱۶ و ۱۳ کیلودالتون افزایش بیان داشتند. پروتئین‌های ۱۶ و ۱۳ کیلودالتونی تحت تنش شدید در نمونه‌های تیمار نشده کاهش بیان نشان دادند. تیمار پاکلوبوترازول بیان این پروتئین‌ها را در شرایط تنش شدید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

افزایش داد.

بحث

نتایج اندازه‌گیری پارامترهای رشد در گیاه شوید نشان داد که خشکی، وزن تر و خشک و طول اندام هوایی و ریشه را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهد. تیمار گیاهان با پاکلوبوترازول نیز رشد ساقه را نسبت به گیاهانی که با پاکلوبوترازول تیمار نشده بودند، به طور معنی‌داری کاهش داد. تیمار پاکلوترازول بر رشد ریشه تأثیر متفاوتی داشت به طوریکه رشد ریشه گیاهان با تیمار پاکلوبوترازول به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۲).

گرچه عوامل ژنتیکی نقش تعیین‌کننده‌ای در رشد گیاه دارند اما شرایط محیطی نیز می توانند در محدوده ژنتیکی بر فرآیند رشد تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بگذارند. در شرایط تنش خشکی و کاهش تورژسانس سلولی، اندازه سلول و تعداد سلول‌ها کاهش می‌یابد و نتیجتاً رشد بازداشته می‌شود. علاوه بر این کاهش آبرسانی منجر به اختلال در واکنش‌های شیمیایی فتوسنتز و کاهش ماده‌سازی می‌شود. کاهش محتوای آب سلولی و افزایش غلظت شیره سلولی، فعالیت‌های آنزیمی و اندامک‌های درون سلول را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Siddique *et al*., 2000) از سوی دیگر با افزایش تنش آبی و کاهش تورژسانس سلول‌های محافظ روزنه هدایت روزنه‌ها کاهش یافته و به دنبال آن سرعت رشد، فتوسنتز، خصوصیات مرفولوژیک و در نهایت ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد (Blum, 2005). تنش خشکی از طریق اختلال در ساختار غشاء، ایجاد بی‌نظمی در ساختار اندامک‌ها و به هم ریختن عملکرد روزنه‌ها، موجب کاهش نرخ فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد گیاه می‌شود (Zhang *et al*., 1997). بنا به عقیده Khalid (۲۰۰۶)، کاهش رشد یک مکانیسم سازگاری برای زنده ماندن گیاه در شرایط بروز تنش است و گیاه به جای استفاده از مواد غذایی و انرژی برای رشد اندام هوایی، مولکول‌های حفاظت کننده در برابر تنش را تولید می‌کند.

عوامل تعدیل‌کننده تنش مانند پاکلوبوترازول برای کاهش اثرات تنش‌های مختلف از جمله تنش خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Afshari *et al*., 2020; Hajihashemi and Ehsanpour,2014). کاهش سطح تعرق و افزایش رشد ریشه منجر به تقویت گیاه در برابر تنش می‌شود (Miller, 2016). بهبود کارایی استفاده از آب بعد از بکارگیری پاکلوبوترازول به دلیل افزایش مقدار آبسزیک اسید است که شکاف روزنه‌ای و سطح برگ را برای تعرق کاهش می‌دهد و در مقابل رشد ریشه را برای جذب آب بالا می‌برد (Soumya *et al*., 2017). واضح‌ترین واکنش رشدی مشاهده شده در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول کاهش رشد ساقه است (Pinto *et al*., 2005). این کاهش عمدتاً به دلیل کاهش رشد میانگره‌هاست. یکی از تغییرات مرفولوژیک مرتبط با تیمار تریازول‌ها در گیاهان مختلف، جلوگیری از رشد گیاه است که به خاصیت ضدجیبرلینی آنها مربوط است. افزایش ارتفاع گیاه نتیجه تقسیم سلولی و اتساع سلول‌های مریستم انتهایی است که توسط جیبرلین تحریک می‌شود به همین دلیل فقدان جیبرلین در گیاهان، عارضه پاکوتاهی را به وجود می‌آورد. عمل جیبرلین یعنی تحریک رشد و تقسیم سلولی با پاکلوبوترازول بازداشته می‌شود (Nasrullah *et al*., 2012; Runtunuwu *et al*., 2011). پاکلوبوترازول علاوه بر جلوگیری از ساخت جیبرلین تغییراتی متابولیک در هورمون‌های آبسیزیک اسید، سیتوکینین و اتیلن القاء می‌کند که در مجموع رشد اندام هوایی و سطح تعرق را کاهش می‌دهد (Santos Filhoa *et al*., 2022). در حالیکه در آزمایشات ما وزن تر وخشک و طول ساقه در نتیجه تیمار گیاهان شوید با پاکلوبوترازول به ویژه تحت تنش خشکی کاهش معنی‌داری نشان داد اما در آزمایشات Gonzales (۲۰۲۱) بر روی جعفری، تیمار پاکلوبوترازول وزن تر را در خشکی بهبود بخشید. چنین گزارشی در وزن تر گیاه دارویی پروانش در تنش شوری هم وجود دارد (Jaleel *et al*., 2007a). در مطالعه کرامتی و همکاران (۱۳۹۶)، بکارگیری پاکلوبوترازول بر گیاه ریحان در شرایط عادی موجب کاهش وزن تر و خشک برگ و بوته شد اما در شرایط تنش شوری، سطح برگ، طول ریشه، محتوای نسبی آب برگ، محتوای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

کلروفیل برگ، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز و عملکرد اسانس را افزایش داد. در آزمایشات سعادتی و همکاران (۱۳۹۸) بر روی جعفری نیز در شرایط تنش خشکی تمامی پارامترهای رشد کاهش پیدا کرد. تنش خشکی در شرایط عدم تیمار بذر با پاکلوبوترازول ارتفاع بوته را ۳۰ درصد کاهش داد. در حالیکه پیش‌تیمار بذر با پاکلوبوترازول موجب بهبود اثر سوء ناشی از تنش خشکی شد بطوریکه میزان کاهش ارتفاع بوته در ۲۵ درصد ظرفیت زراعی در گیاهچه‌های پیش‌تیمار شده با غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پاکلوبوترازول به ترتیب ۲۰ و ۱۲ درصد بود. تیمار نهال‌های زیتون با پاکلوبوترازول نیز ارتفاع گیاه، طول شاخه، طول میانگره و سطح برگ را کاهش داد (Antognozze *et al.*, 1990). پرایمینگ بذر جعفری با ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول وزن خشک گیاه را به ترتیب تا ۱٪ و ۱۱٪ در مقایسه با شاهد کاهش داد (سعادتی و همکاران، ۱۳۹۸). رشد ریحان نیز با بکارگیری پاکلوبوترازول کاسته می‌شود (Santo Filho *et al.*, 2022). براساس نظر Soumya و همکاران (۲۰۱۷) پاکلوبوترازول به این دلیل که مسیر ایزوپرونوئید را تحت تأثیر قرار می‌دهد میزان هورمون‌های گیاهی را تغییر می‌دهد بطوریکه ساخت جیبرلین را باز می‌دارد، آزادسازی اتیلن را کاهش می‌دهد و سطح سیتوکینین را افزایش می‌دهد. وقتی که ساخت جیبرلین‌ها بازداشته می‌شود پیش‌سازهای بیشتری در مسیر ترپنوئید تجمع می‌یابد و این منجر به تولید آبسیزیک اسید می‌شود که رشد و نمو اندام هوایی گیاه را کمتر می‌کند. بکارگیری پاکلوبوترازول ارتفاع و قطر ساقه *Rosa hybrid* (Carvalho-Zanao *et al.*, 2018) و *Platycodon graniflorus* (Sabino *et al.*, 2021) را کاهش می‌دهد. سعادتی و همکاران (۱۳۹۸) مشاهده کردند که پیش تیمار بذر جعفری با غلظت ۲۰۰ mg/L پاکلوبوترازول، زی‌توده گیاه را به طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد اما رشد ریشه افزایش می‌یابد. پاکلوبوترازول با غلظت متوسط طول ریشه، سطح جذب ریشه و تعداد ریشه‌های جانبی را در گیاه *Phoebe bournei* افزایش داد (Li *et al.*, 2023). اندازه‌گیری مقدار اکسین و آبسیزیک اسید توسط Li و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که بکارگیری پاکلوبوترازول با غلظت متوسط، مقدار اکسین را نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش و غلظت آبسیزیک اسید را کاهش می‌دهد. مطالعات این محققین نشان داد که ژن‌های پاسخگو به پاکلوبوترازول عمدتاً با مقدار هورمون‌های گیاهی و پیام‌رسانی‌های هورمونی که رشد ریشه را کنترل می‌کنند، ارتباط دارد. این محققین نشان دادند که تیمار پاکلوبوترازول، آنتاگونیسم اکسین و آبسیزیک اسید را در رشد ریشه گیاه *Phoebe bournei* واسطه‌گری می‌کند. پاکلوبوترازول طول ریشه را در مطالعه Gonzales (۲۰۲۱) بر روی جعفری نیز در مقایسه با شاهد افزایش داد. بنا به عقیده Fletcher و همکاران (۲۰۰۰) نیز پاکلوبوترازول در شرایط کمبود آب موجب افزایش وزن خشک ریشه می‌شود. به نظر می‌رسد که این اثر تحریک‌کنندگی رشد ریشه توسط پاکلوبوترازول سبب افزایش مقاومت گیاهان در شرایط تنش شود و گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول از رشد بهتری در مقایسه با شاهد برخوردار باشند. افزایش رشد ریشه توسط پاکلوبوترازول می‌تواند به افزایش میزان سیتوکینین اندوژن مربوط باشد (Fletcher and Arnold, 1986). نتایج آزمایشات Gonzales (۲۰۲۱) نشان داد که بکارگیری پاکلوبوترازول وزن تر ریشه جعفری را افزایش می‌دهد و وزن گیاه نیز با بکارگیری پاکلوبوترازول به تنهایی و همراه با جیبرلین بالا می‌رود. با تیمار پاکلوبوترازول نرخ فتوسنتز و رشد توت سفید بیشتر می‌شود (Mohan *et al.*, 2020). در آزمایشات Cao و همکاران (۲۰۲۲) پاکلوبوترازول طول و سطح ریشه رقم Z619 پنبه را افزایش ولی قطر آن را کاهش داد. بر اساس گزارش Hua و همکاران (۲۰۱۴) ارتفاع گیاهان کلزا با تیمار پاکلوبوترازول تا ۲۷ ٪ کاهش می‌یابد. به کارگیری پاکلوبوترازول (۱۵۰۰ mg/L) ارتفاع گیاه *Curcuma alismatifolia* را تا ۵۰٪ نسبت به گیاهان تیمار نشده کاهش داد (Jungklang *et al.*, 2017). در آزمایشی دیگر بر روی گیاه *Curcuma alismatifolia*، ۴۰ روز بعد از اعمال تنش خشکی ارتفاع گیاهان تیمار شده با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

پاکلوبوترازول (۱۵۰۰ mg/L) در مقایسه با گیاهان تنش دیده بدون تیمار پاکلوبوترازول ۱/۲ مرتبه کمتر بود (Jungklang and Saengil, 2012). آغشته نمودن بذر ذرت با پاکلوبوترازول (۳۰۰ mg/L) در شرایط نیمه‌خشک منطقه وزن خشک ریشه را تا ۱۰۲/۱ ٪ در مرحله ۷ برگی و ۶۵/۱ ٪ در مرحله ۹ برگی و ۴۷/۹ ٪ در مرحله ۱۲ برگی در مقایسه با خشکی بدون تیمار پاکلوبوترازول افزایش می‌دهد (Kamran *et al*., 2018). تحت شرایط خشکی وزن خشک اندام هوایی گیاهان گوجه‌فرنگی تیمار شده با پاکلوبوترازول (۶۰ mg/L) ۳۷/۱۷ ٪ کاهش و وزن خشک ریشه ۱۳/۰۴ ٪ کاهش داشت و در مقایسه با شاهد بالاتر بود (Latimer, 1992). به طور مشابه وزن خشک گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول تا ۲۰/۴۵ ٪ و برای گیاهان تیمار نشده تا ۳۶/۷۷ ٪ کاهش یافت (Bayat and Sepehri, 2012). اما در بررسی اثر پاکلوبوترازول در شرایط خشکی بر گیاه ذرت، Hutsch و همکاران (۲۰۲۳) هیچ اثر معنی‌داری بر وزن خشک، طول ریشه، سطح ریشه و میزان محصول‌دهی مشاهده نکردند. افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی در نتیجه تیمار با پاکلوبوترازول در گیاهان گندم تحت تنش خشکی دیده شده است (Gilley and Fletcher, 1997). در مطالعه Fan و همکاران (۲۰۲۰) نیز تیمار پاکلوبوترازول (۱۵۰ mg/L) تحت تنش خشکی شدید منجر به افزایش ۶۱٪ رشد ساقه در مقایسه با خشکی بدون پاکلوبوترازول شد. احتمالاً افزایش رشد و گسترش ریشه در گیاهان تحت تیمار پاکلوبوترازول موجب افزایش زی‌توده ریشه و وزن خشک آن می‌گردد (رضوی‌زاده و عموآقایی، ۱۳۹۲). بهبود پارامترهای رشد در گیاهچه‌های تحت تنش خشکی و پاکلوبوترازول را می‌توان به نقش پاکلوبوترازول در افزایش آب سلول‌ها نسبت داد (Berova and Zlater, 2003). بنا به نظر Maheshwari و همکاران (۲۰۲۲) پاکلوبوترازول نمو گیاه را در شرایط تنش با افزایش زی‌توده ریشه و ساقه بالا می‌برد گر چه که برخی تحقیقات به این اشاره دارند که پاکلوبوترازول ارتفاع گیاه را کاهش می‌دهد اما گزارشات دیگر نشان می‌دهند که پاکلوبوترازول ارتفاع گیاه را افزایش می‌دهد از این رو بنا به عقیده این محققین در مورد اثر به کارگیری پاکلوبوترازول روی نمو گیاه قبل از استفاده از آن به دانش بیشتری نیاز است.

نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان داد که در شرایط خشکی مقدار رنگیزه‌ها به طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد اما تیمار گیاهان با پاکلوبوترازول در حفظ رنگیزه‌های فتوسنتزی مؤثر است به طوریکه مقدار رنگیزه‌ها در گیاهان تیمارشده با پاکلوبوترازول در مقایسه با گیاهان تیمار نشده به طور معنی‌داری بالاتر بود (شکل ۱، شکل ۲ و شکل ۳).

کاهش مقدار کلروفیل a و کلروفیل کل تحت تنش خشکی در گزارشات متعددی وجود دارد (Oraki *et al*., 2012). تنش آبی مقدار کل کلروفیل و پایداری کمپلکس‌های رنگیزه-پروتئین غشاء تیلاکوئید را که اولین ساختمان‌هایی هستند که تحت شرایط تنش ضعیف می‌شوند، تغییر می‌دهد (Pospisilova *et al*., 2000). کاهش کلروفیل تحت تنش کم آبی به دلیل آسیب کلروپلاستی توسط ROS است (Smirnoff, 1995; Sairam *et al*., 1998). بنا به نظر Draikewicz (۱۹۹۴) افزایش برخی تنظیم‌کننده‌های رشد مثل اتیلن و آبسیزیک اسید و افزایش فعالیت کلروفیلاز عامل مؤثر در تجزیه کلروفیل در شرایط خشکی است. پاکلوبوترازول با افزایش غلظت کلروفیل در هر کلروپلاست، افزایش تعداد کلروپلاست در هر سلول و افزایش تعداد سلول‌ها در واحد سطح برگ، می‌تواند غلظت کلروفیل را در برگ گیاهان تحت تنش افزایش دهد (Kishorekumar *et al*., 2006). افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تنش خشکی و سرمایی با تیمار پاکلوبوترازول مشاهده شده است (Percival and Noriss, 2008; Amina and Hanan, 2011; Pinhero and Fletcher, 1994). افزایش مقدار کاروتنوئیدها در شرایط خشکی با تیمار پاکلوبوترازول می‌تواند نقش پاکلوبوترازول را در مقابله با تنش نشان دهد (Percival and Noriss, 2008; Amina and Hanan, 2011). پاکلوبوترازول مقدار کلروفیل a (۲۷/۳۵ ٪) و کلروفیل b (۵۴/۵۴ ٪) و کلروفیل کل (۳۰/۹۸ ٪) و کاروتنوئیدها (۱۳/۵۵ ٪) را در مقایسه با گیاهان بادام‌زمینی شاهد بدون

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

پاکلوبوترازول افزایش می‌دهد (Mog *et al*., 2019). بر طبق گزارش Dwivedi و همکاران (۲۰۱۷) به کارگیری پاکلوبوترازول برای گیاهان گندم تحت تنش خشکی منجر به افزایش ۲۵/۷ ٪ مقدار کلروفیل در مقایسه با گیاهان تنش دیده بدون تیمار پاکلوبوترازول می‌شود. پاکلوبوترازول با غلظت ۳۰۰ mg/L در ذرت، مقدار کلروفیل و کاروتنوئیدها را در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش می‌دهد (Kamran *et al*., 2020). به‌طور مشابهی در آفتابگردان نیز بکارگیری پاکلوبوترازول تحت تنش خشکی رنگیزه‌های فتوسنتزی را افزایش می‌دهد (Davari *et al*., 2022). افزایش شاخص‌های کلروفیل با بکارگیری پاکلوبوترازول به دلیل ظرفیت این تنظیم کننده رشد در افزایش میزان سیتوکینین و بنابراین افزایش تمایز کلروپلاست، بیوسنتز کلروفیل و ممانعت از تجزیه آن است (Huang *et al*., 2019; Carvalho-Zanao *et al*., 2018). بکارگیری پاکلوبوترازول میزان کلروفیل را در خیار (*Cucumis sativus*) (Baninasab and Ghobadi, 2011) و استویا (*Stevia rebandiana*) (Hajihashemi and Ehsanpour, 2014) افزایش داد. در مطالعه Noori و همکاران (۲۰۲۲) بر روی زیره (*Cuminum cyminum* L.) رنگیزه‌های کلروفیل به طور معنی‌داری با تنش اسمزی کاهش پیدا می‌کنند. کاهش مقدار کلروفیل یک نشانه معمول تنش اکسیداتیو تحت تنش خشکی است (Fathi and Tari, 2016). کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌تواند به دلیل تنش اکسیداتیو و افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز تحت تنش خشکی باشد. پرایمینگ بذر زیره با اسید جاسمونیک و پاکلوبوترازول، اثر مضر تنش اسمزی بر رنگیزه‌های کلروفیل را تعدیل می‌کند و اثر تحریک‌کننده مهمی بر بیوسنتز کلروفیل دارد (Noori *et al*., 2022).

مقدار پرولین در شرایط تنش خشکی در گیاه شوید به طور معنی‌داری افزایش نشان داد (جدول ۴). سعادتی و همکاران (۱۳۹۸) با اعمال تنش خشکی به گیاه جعفری نیز افزایش مقدار پرولین را مشاهده کردند بطوریکه بیشترین میزان پرولین در برگ‌ها (۲/۴ µg/gFW) در نمونه تحت تیمار ۲۵٪ ظرفیت زراعی و کمترین میزان پرولین (۱/۰۶ µg/gFW) در ظرفیت زراعی ۱۰۰٪ (نمونه شاهد) دیده شد. افزایش میزان پرولین در شرایط خشکی، مکانیسم دفاعی است که به گیاه کمک می‌کند تا پتانسیل اسمزی سلول را برای جذب آب کاهش دهد. پرولین یک اسیدآمینه کلیدی در ساختمان پروتئین و غشاء و نیز یک روبشگر ROS در شرایط خشکی است (Ashraf and Foolad, 2007). اسمولیت‌هایی مانند پرولین به نگهداری آب بافت کمک کرده و پروتئین‌ها و غشاءهای سلولی را از تنش‌های اسمزی و اکسیداتیو محافظت می‌کنند (Farooq *et al*., 2009). پرولین به عنوان یک اسمولیت یا عامل حفاظت کننده اسمزی تحت تنش خشکی عمل می‌کند. پرولین نقش مهمی در تطبیق اسمزی، حذف رادیکال‌های آزاد، پایداری ساختمان‌های درون سلولی (مانند غشاءها و پروتئین‌ها) و ذخیره کربن و نیتروژن دارد (Afshari *et al*., 2020). تیمار گیاهان شوید با پاکلوبوترازول مقدار پرولین را به طور معنی‌داری کاهش داد به طوریکه گیاهان تیمارشده با پاکلوبوترازول نسبت به گیاهان تیمار نشده با پاکلوبوترازول پرولین کمتری داشتند (جدول ۴). در مورد اثر تیمار پاکلوبوترازول بر مقدار پرولین گزارشات متناقضی وجود دارد. برخی محققین بر این اعتقادند که پاکلوبوترازول مقدار پرولین را افزایش و تحمل خشکی را بهبود می‌بخشد در حالیکه تیمار پاکلوبوترازول به طور معنی‌داری مقدار پرولین را در برگ‌های انار نسبت به شاهد همسو با نتایج ما کاهش می‌دهد (Moradi *et al*., 2017). در گیاه *Curcuma alismatifolia* تیمارشده با پاکلوبوترازول نیز مقدار پرولین در شرایط خشکی نسبت به گیاهان تیمار نشده کمتر بود (Jungklang and Saengnil, 2012). این محققین بر این اعتقادند که از آنجا که پاکلوبوترازول اثرات تنش را تعدیل می‌کند بنابراین گیاه نیازی به تجمع پرولین ندارد. مطالعات قبلی نیز نشان داده که تجمع پرولین در گیاهان مقاوم نسبت به گیاهان حساس در طی دوره‌های شوری یا خشکی پایین‌تر است (Turkan *et al*., 2005; Jungklang *et al*., 2003). از سوی دیگر در گزارشات متعددی پاکلوبوترازول مقدار پرولین را در گیاهان تحت تنش افزایش می‌دهد (Amina and Hanan, 2011; Percival and

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

Noriss, 2008; Tatar and Gvrek, 2008). افزایش مقدار پرولین از افزایش فعالیت آنزیم دلتا ۱-پرولین ۵-کربوکسیلات ردوکتاز در مسیر بیوسنتز پرولین و کاهش فعالیت پرولین دهیدروژناز و پرولین اکسیداز در مسیر کاتابولیسم پرولین ناشی می‌شود (Parida and Das, 2005). بنابراین دلیل افزایش پرولین در نتیجه تیمار پاکلوبوترازول، افزایش بیوسنتز و کاهش تجزیه آن است. در مطالعه Mohamed و همکاران (۲۰۱۱) غلظت پرولین آزاد توسط پاکلوبوترازول در گیاهان گوجه‌فرنگی رشد یافته در ۶۰ ٪ ظرفیت زراعی افزایش یافت که این ۱/۵۲ مرتبه بیشتر از شاهد بود. ولی در شرایط تنش آبی میزان پرولین آزاد در بادام‌زمینی‌های تیمارشده با پاکلوبوترازول کمتر از گیاهانی بود که با پاکلوبوترازول تیمار نشده بودند (Sankar *et al*., 2014). در گزارش Dwivedi و همکاران (۲۰۱۷) گیاهان گندم تیمارشده با پاکلوبوترازول، یک کاهش ۴۰ ٪ در مقایسه با گیاهان تنش دیده بدون پاکلوبوترازول داشتند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که ژنوتیپ‌های گندم تنش کمتری (با توجه به غلظت پرولین) تجربه می‌کنند و در نتیجه بکارگیری پاکلوبوترازول تحمل تنش را در آنها بهبود می‌بخشد. آزمایشات Babarashi و همکاران (۲۰۲۱) بر روی لوبیا نشان داد که بکارگیری پاکلوبوترازول تحت تنش خشکی مقدار پرولین را از ۷/۲۸ (خشکی بدون پاکلوبوترازول) به ۷/۸۷ میکرومول/ گرم وزن تر گیاه افزایش می‌دهد. به‌طور مشابهی در آفتابگردان بکارگیری پاکلوبوترازول تحت تنش خشکی مقدار پرولین را افزایش می‌دهد (Davari *et al*., 2022). پیش‌تیمار بذرهای جعفری با غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول موجب افزایش میزان پرولین برگ‌های جعفری در مقایسه با شاهد شد (سعادتی و همکاران، ۱۳۹۸). افزایش میزان پرولین در اثر تنش خشکی در ریحان (Khalid, 2006) و گوجه‌فرنگی (Behnamnia *et al*., 2009) نیز گزارش شده است. نتایج مطالعات Noori و همکاران (۲۰۲۲) افزایش قابل‌ملاحظه مقدار پرولین در تنش اسمزی را نشان می‌دهد در توافق با نتایج این محققین Aghighi Shahverdi و همکاران (۲۰۱۷) و Afshari و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که دانه‌رست‌ها در شرایط تنش مقدار پرولین بالاتری دارند در حالیکه همه تیمارهای پرایمینگ بذر در آزمایشات Noori و همکاران(۲۰۲۲) به طور قابل‌ملاحظه‌ای تجمع پرولین آزاد را در دانه‌رست‌های زیره در مقایسه با شاهد کاهش داد. با توجه به گزارشات متناقض موجود به نظر می‌رسد که تحقیق بیشتری برای تعیین مکانیسم مولکولی اثر پاکلوبوترازول بر روی غلظت پرولین متحرک در گیاهان باید صورت گیرد (Chandra and Roychoudhury, 2020).

مقدار قندهای احیاءکننده در گیاه شوید با اعمال تنش خشکی افزایش یافت. افزایش قندها در شرایط کم آبی با تیمار گیاهان با پاکلوبوترازول بیشتر شد. بیشترین میزان قند در گیاهان تحت تنش خشکی و تیمار شده با پاکلوبوترازول دیده شد (جدول ۴). در طی تنش خشکی تجمع اسمولیت‌های سازگار مانند کربوهیدرات‌ها یک مکانیسم تحمل تنش مؤثر است (Mckersie and Lesham, 1994). در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول قند حاصل از تجزیه موقت نشاسته مشاهده شده است (Kaur and Gopta, 1991). افزایش مقدار قندها پتانسیل آبی برگ را در شرایط کم آبی حفظ می‌کند (Zhu *et al*., 2004). پاکلوبوترازول می‌تواند با افزایش تحرک ذخایر پلی‌ساکاریدی در شرایط کمبود آب منجر به افزایش میزان قندهای محلول در گیاه شود (Moradshahi *et al*., 2004). تیمار پاکلوبوترازول در انبه قند کل، نسبت قند:اسید و قند احیاءکننده را افزایش داد (Yeshitela *et al*., 2004; Vijayalakshmi and Srinirasan, 1999). در کلزای تنش خشکی دیده بکارگیری پاکلوبوترازول به طور معنی‌داری مقدار قند محلول را نسبت به شاهد افزایش داد. اثر پاکلوبوترازول عمدتاً در روزهای ۳۰ و ۴۵ تیمار خشکی در کلزای ایرانی مشاهده شد (Sheikh Mohammadi *et al*., 2017). بر طبق گزارش Fan و همکاران (۲۰۲۰) پاکلوبوترازول تحت تنش شدید مقدار قندهای محلول را در گیاه *Amorpha fruticosa* نسبت به گیاهان تیمار نشده ۱۱۹٪ افزایش داد. در گوجه فرنگی‌های تیمار شده و تیمار نشده با پاکلوبوترازول مقدار قندهای محلول به ترتیب ۱/۱۶ و ۱/۵۲ بار در شرایط کم آبی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

(۶۰ ٪ ظرفیت زراعی) نسبت به شاهد بیشتر بود (Mohamed *et al*., 2011). مقدار قند تا ۲ mg/L بعد از استعمال برگی پاکلوبوترازول در شرایط خشکی در گیاه *Stevia rebaudiana* Bertoni در مقایسه با گیاهان تنش دیده افزایش یافت (Hajihashemi and Ehsanpour, 2014). افزایش مقدار قندهای محلول کل در سیب‌زمینی شیرین تیمارشده با پاکلوبوترازول ممکن است برای تطبیق اسمزی سلولی تحت شرایط تنش خشکی نیاز باشد (Maheshwari *et al*., 2022).

نتایج این پژوهش نشان داد که فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط خشکی به طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند و تیمار پاکلوبوترازول آن را تشدید می‌کند به طوریکه حداکثر فعالیت این آنزیم آنتی‌اکسیدان در گیاهان تحت تنش خشکی و تیمار شده با پاکلوبوترازول وجود داشت (جدول ۴). پاکلوبوترازول سمیت‌زدایی از ROSها، مقدار آنتی‌اکسیدان‌ها و کلروفیل را بالا می‌برد (Rady and Gaballah, 2012). پاکلوبوترازول (۳۰۰ mg/L) در منطقه نیمه‌خشک، متوسط فعالیت SOD، POX، CAT و APX را در ذرت نسبت به گیاهان تحت تنش بدون پاکلوبوترازول افزایش می‌دهد (Kamran *et al*., 2020). به طور مشابهی Forghani و همکاران (۲۰۲۰) افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را تحت تنش شوری با پاکلوبوترازول در ذرت شیرین گزارش کردند. تحت شرایط کم آبی بکارگیری پاکلوبوترازول منجر به افزایش دو برابر نسبت GSH/GSSG در مقایسه با شاهد شد که با تنظیم دقیق مسیر آسکوربات – پر اکسیداز مانع از آسیب اکسیداتیو در گیاهان گوجه‌فرنگی می‌شود (Pal *et al*., 2016). در مطالعه Jungklang و همکاران (۲۰۱۷) نیز برخی آنتی‌اکسیدان‌ها نظیر ویتامین C، ویتامین E و فعالیت CAT و SOD در برگ‌ها با پاکلوبوترازول افزایش یافتند. بنا به نظر این محققین پاکلوبوترازول برخی سازش‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی (حفظ رشد و آب نسبی و مقدار پرولین، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها) را القاء می‌کند و این می‌تواند گیاه *Curcuma alismatifolia* را به خشکی مقاوم کند. در آزمایشات Cao و همکاران (۲۰۲۲) پاکلوبوترازول با غلظت۰/۱ mg/L به طور معنی‌داری فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز را در ریشه‌های پنبه رقم Z619 بالا برد.

مقدار پروتئین‌ها در نتیجه خشکی کاهش پیدا کرد گر چه که این کاهش در شرایط تنش شدید نسبت به تنش ملایم معنی‌دار نبود. تیمار پاکلوترازول میزان کاهش را به طور معنی‌داری کمتر کرد به طوریکه گیاهان تیمارشده با پاکلوبوترازول نسبت به گیاهان تیمارنشده پروتئین بیشتری داشتند (جدول ۴). به نظر می‌رسد نقش حفاظتی پاکلوبوترازول در مقابل تنش دلیل این افزایش باشد. در حالیکه در جعفری کاهش رطوبت خاک محتوای پروتئینی برگ‌ها را افزایش داد (سعادتی و همکاران، ۱۳۹۸). بروز تنش باعث افزایش ساخت پروتئین در اندام‌های گوناگون پیاز نیز می‌شود (آروین و کاظمی‌پور، ۱۳۸۰). به‌طورکلی افزایش پروتئین کل می‌تواند به دلیل افزایش برخی از پروتئین‌ها شوند که تحمل به تنش را افزایش می‌دهند (Campalans *et al*., 2001). در آزمایشات Cao و همکاران (۲۰۲۲) پاکلوبوترازول هیچ اثری بر مقدار پروتئین ریشه‌های پنبه نداشت.

پروتئین‌های زیادی در گیاهان در شرایط خشکی افزایش بیان نشان می‌دهند از جمله پروتئین‌های LEA، دهیدرین‌ها، پروتئین‌های مربوط به سیستم دفاعی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و پروتئین‌های مربوط به حفاظت اسمزی (Sha Vali Khan *et al*., 2007). با توجه به نقش حفاظتی پرولین و ممانعت از دناتوره شدن پروتئین‌ها تحت تنش، افزایش مقدار این پروتئین‌ها را می‌توان به افزایش مقدار پرولین تحت تنش ملایم خشکی نسبت داد (رضوی‌زاده و عموآقایی، ۱۳۹۲). در مقابل کاهش مقدار پروتئین‌ها در تنش سخت خشکی می‌تواند به دلیل کاهش فتوسنتز و کاهش مواد مورد نیاز برای ساخت پروتئین‌ها باشد (Havaux *et al*., 1987) و البته تولید ROS که موجب کاهش ساخت پروتئین و یا دناتوره شدن پروتئین‌ها می‌شوند از دیگر دلایل کاهش مقدار پروتئین‌ها در شرایط تنش خشکی سخت خشکی است (Sgherri and Navari-Izzo, 1995). پاکلوبوترازول در گندم می‌تواند مقدار پروتئین‌ها را در شرایط خشکی افزایش دهد (Nouriyani *et al*., 2012). احتمالاً

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

پاکلوبوترازول با القاء ساخت پروتئین‌های مقاومتی و ممانعت از تخریب پروتئین‌ها از طریق افزایش سیستم دفاعی مانند افزایش میزان پرولین موجب افزایش مقدار پروتئین‌ها و حفاظت از آنها و در نهایت افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی می‌شود (رضوی‌زاده و عموآقایی، ۱۳۹۲). مقدار پروتئین در هویج نیز با شروع کم آبی کاهش یافت و تیمار پاکلوبوترازول مقدار پروتئین برگ‌ها و غده‌ها را در هویج افزایش داد (Gopi *et al*., 2007). در مطالعه بر روی ذرت Kamran و همکاران (۲۰۲۰) مشاهده کردند که تیمار با غلظت‌های بالای پاکلوبوترازول می‌تواند مقدار پروتئین را تا ۱۵ روز پس از اعمال تنش خشکی حفظ کند اما مقدار پروتئین از روز ۳۰ تا ۴۵ بعد از اعمال تنش به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. گزارشات مشابه دیگری هم وجود دارد که نشان می‌دهد پاکلوبوترازول مقدار پروتئین را تحت تنش غیرزیستی و شرایط بدون تنش افزایش می‌دهد (رضوی‌زاده و عموآقایی، ۱۳۹۲). بر طبق نظر Iqbal و همکاران (۲۰۲۰) وقتی پاکلوبوترازول تحت تنش خشکی بر گیاه *Abelmoschus esculentus* L. بکار برده می‌شود، پروتئین‌های محلول کل همراه با افزایش پاکلوبوترازول افزایش می‌یابند. در مقایسه دو رقم زیتون در پاسخ به تنش خشکی و پاکلوبوترازول Arzani و Yazdani (۲۰۰۸) مشاهده کردند که خشکی میزان پروتئین‌های محلول را در هر دو رقم افزایش می‌دهد اما پاکلوبوترازول می‌تواند از تجمع پروتئین‌های محلول جلوگیری کند. از این‌رو به نظر می‌رسد پاکلوبوترازول می‌تواند به عنوان یک محافظ گیاهی در مقابل تنش خشکی عمل کند. با تغییر پروتئین‌ها به اسیدهای آمینه آزاد تطبیق اسمزی در برگ‌ها تسریع و از دهیدراسیون برگ‌ها ممانعت می‌شود (Arzani and Yazdani, 2008). پاکلوبوترازول می‌تواند از تجمع و تولید پروتئین‌های شوک حرارتی (HSP) جلوگیری کند. این پروتئین‌ها در طی تنش گرمایی به نشانه دریافت تنش توسط گیاه ساخته می‌شوند. در گیاهان تیمارشده با پاکلوبوترازول این پروتئین‌ها ساخته نمی‌شوند به این دلیل که پاکلوبوترازول گیاهان را در مقابل تنش شدید گرمایی حفظ می‌کند (Kraus *et al*., 1995). بنابراین وقتی تنش خشکی رخ می‌دهد برخی پروتئین‌ها تجزیه شده و یا ساخته نمی‌شوند برعکس در همین زمان پپتیدها و یا پروتئین‌های دیگری در بافت‌ها تجمع می‌یابند (Lawlor, 2002). مقدار پروتئین‌های محلول در برگ‌های درختان چهار ساله افرا بعد از تنش خشکی موقت تا ۲۰٪ افزایش یافت (Schmadel-Hagebolling *et al*., 1998). در مطالعه Hajihashemi و Ehsanpour (۲۰۱۴) بر روی استویا تنش خشکی همراه و یا بدون تیمار پاکلوبوترازول، تجمع پروتئین‌های با وزن مولکولی پایین مانند پروتئین ۲۵ KD را افزایش داد. در گوجه‌فرنگی نیز در شرایط شوری بیان یک پروتئین ۲۵ KD که در مقاومت به شوری تأثیر داشت و در نمو گیاه تحت تنش غیرزیستی نقش اساسی داشت، گزارش شده بود (Amini *et al*. 2007). تنش شوری و اسمزی می‌توانند بیان پروتئین‌های تنشی را افزایش دهند (Dani *et al*., 2005). در مطالعه Hassanpour و همکاران (۲۰۱۲) بر روی *Menta pulegium*، تیمار پنکونازول شدت برخی باندهای پروتئینی به وزن مولکولی ۳۰KD در اندام هوایی و ۳۱KD در ریشه را افزایش می‌دهد و چندین نوار پروتئینی جدید با وزن مولکولی بین ۱۱۶ و ۱۴ کیلودالتون در برگ‌ها، اندام هوایی و ریشه‌ها ظاهر می‌شود. این محققین نقش این پروتئین‌ها را در افزایش مقاومت به خشکی مؤثر می‌دانند. در مطالعه ما ظهور پروتئین ۱۱ KD تنها در شرایط تنش خشکی شدید و تیمار با پاکلوبوترازول نقش حفاظتی این پروتئین را در گیاه شوید در مقابله با خشکی نشان می‌دهد احتمالاً اثر تعدیل‌کنندگی تنش توسط پاکلوبوترازول نیز توسط این پروتئین اعمال می‌شود.

منابع

آرمند، نظام، و جهانتاب، اسفندیار (۱۳۹۸). بررسی فیتوشیمیایی اسانس گیاه دارویی آوندول (*Smyrnium cordifolium* Boiss) در رویشگاه‌های مختلف شهرستان بویر احمد. *مرتع*، ۱۳(۱)، ۳۹-۵۱.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

آروین، محمدجواد، وکاظمی‌پور، نسرین (۱۳۸۰). آثار تنش‌های شوری و خشکی بر رشد و ترکیب شیمیایی و بیوشیمیایی چهار رقم پیاز خوراکی. *علوم آب و خاک*، ۵(۴)، ۴۱-۵۲.

رضوی‌زاده، رویا، و عمومیگی، مهری (۱۳۹۲). تأثیر پاکلوبوترازول بر بهبود تحمل به خشکی در گیاهچه‌های کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط درون شیشه (in vitro). *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۲(۳)، ۲۱-۳۴.

سعادتی، زینب، اسماعیل‌پور، بهروز، و جوادی، احمد (۱۳۹۸). ارزیابی اثر پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک و پاکلوبوترازول بر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاه جعفری (*Petroselinum sativum* Mill.)تحت تنش خشکی. *علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*، ۱، ۱۳-۲۷.

کرامتی، سارا، پیردشتی، همت‌اله، بابایی‌زاد، ولی‌اله، و دهستانی، علی (۱۳۹۶). ارزیابی اثر همزیستی قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا و کاربرد پاکلوبوترازول بر ویژگی‌های رشدی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در واکنش به تنش شوری. *پژوهش‌های تولید گیاهی (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)*، ۲۴(۲)، ۱-۲۲. SID. https://sid.ir/paper/155723/fa

مظفریان، ولی‌الله (۱۳۸۵). فرهنگ نام‌های گیاهان ایران. چاپ چهارم، انتشارات فرهنگ معاصر.

Afshari, F., Nakhaei, F., Mosavi, S., & Seghatoleslami, M. (2020). Evaluating the role of nutri-priming in improving PEG-induced drought stress tolerance of stevia (*Stevia rebuadiana* Bertoni). *Iranian Journal of Plant Physiology, 11*, 3509-3522. doi:10.30495/ijpp.2020.1912363.1261

Aghighi Shahverdi, M., Omidi, H., & Tabatabaei, S. J. (2017). Effect of nutri-priming on germination indices and physiological characteristics of stevia seedling under salinity stress. *Journal of Seed Science, 39*(4), 353-362. https://doi.org/10.1590/2317-1545v39n4172539

Alscher, R. G., Erturk, N., & Heath, L. S. (2002). Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. *Journal of Experimental Botany, 53*, 372, 1331–1341. https://doi.org/10.1093/jexbot/53.372.1331

Amina, A. A, & Hanan, H. L. (2011). Differential effects of paclobutrazol on water stress alleviation through electrolyte leakage, phytohormones, reduced glutathione and lipid peroxidation in some wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) grown in vitro. *Romanian Biotechnological Letters, 6*, 6710-6721.

Amini, F., Ehsanpour, A. A., Hoang, Q. T., & Shin, J. S. (2007). Protein pattern changes in tomato under in vitro salt stress. *Russian Journal of Plant Physiology, 54*(4), 464-471. https://doi.org/10.1134/S102144370704005X

Antognozze, E., Frenguelli, G., & Ferranti, F. (1990). Histological and anatomical modifications in roots, stems and leaves of olive (*Olea europaea* L.) treated with paclobutrazol. *Journal of Horticultural Sciences, 60*, 553. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1986.179.97

Arzani, K, & Yazdani, N. (2008). The influence of drought stress and paclobutrazol on quantitative changes of proteins in olive (*Olea europaea* L.) cultivars bladi and mission. *Acta Horticulture, 791*, 527-530. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.791.81.

Asamoah, T. E. O, & Atkinson, D. (1985). The effect of paclobutrazol and root pruning in the growth, water use and response to drought of colt cherry rootstocks. *Plant Growth Regulation, 3*, 37-45. https://doi.org/10.1007/BF00037633

Asare-Boamah, N. K., Hofstra, R. A., Fletcher, R. A., & Dumbroff, E. B. (1986). Triadimefon protects bean plants from water stress through its effects on abscisic acid. *Plant and Cell Physiology*, *27* (3), 383-390, https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a077114

Ashraf, M. (2010). Inducing drought tolerance in plants: Some recent advances. *Biotechnology Advances, 28* (1), 169-183. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.11.005

Ashraf, M. F, & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany, 59* (2), 206-216. http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006

Assuero, S. G., Lorenzo, M., Pe rez Ramırez, N. M., Vela´zquez, L. M., & Tognetti, J. A. (2012). Tillering promotion by paclobutrazol in wheat and its relationship with plant carbohydrate status. *New Zealand Journal of Agricaltural Research, 554* (4), 347-58. https://doi.org/10.1080/00288233.2012.706223

Babarashi, E., Rokhzadi, A., Pasari, B., & Mohammadi, K. (2021). Ameliorating effects of exogenous PBZ and putrescine on mung bean (Vigna Maheshwari et al. 10.3389/fpls.2022.1008993 Frontiers in Plant Science 12 frontiersin.org radiata (L.) wilczek) under water deficit stress. *Plant Soil Environment*, *67* (1), 40-45. https://doi.org/10.17221/437/2020-PSE

Bailer, J., Aichinger, T., Hackl, G., Hueber, K., & Dachler, M. (2001). Essential oil content and composition in commercially available dill cultivars in comparison to caraway. *Industrial Crops and Products, 14*, 229-239.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

http://dx.doi.org/10.1016/S0926-6690(01)00088-7

Baninasab, B, & Ghobadi, C. (2011). Influence of paclobutrazol and application methods on high temperature stress injury in cucumber seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, *30*, 213-219. http://dx.doi.org/10.1007/s00344-010-9188-2

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil. Short Communication*, *39*, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Bayat, S, & Sepehri, A. (2012). Paclobutrazol and salicylic acid application ameliorates the negative effect of water stress on growth and yield of maize plants. *Journal of Research in Agricultural Science, 8* (2), 127-139.

Bazurto, F. P., Celi, A., Corozo, L., & Solis, L. (2022). Importance of paclobutrazol in out-of-season citrus production. *Manglar, 19*(1), 117-127. http://doi.org/10.17268/manglar.2022.015

Berova, M, & Zlatev, Z. (2003). Physiological response of paclobutrazol treated triticale plants to water stress. *Biologia Plantarum*, *46*, 133-136, https://doi.org/10.1023/A:1022360809008

Behnamnia, M., Kalantary, K. M., & Rezanejad, F. (2009). Exogenous application of Brassinosteroid alleviates drought-induced oxidative stress in *Lycopersicon esculentum* L. *General and Applied Plant Physiology*, *35*, 22-34. Available online at www.bio21.bas.bg/ipp/

Blum, A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential-are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research, 56*, 1159-1168 http://dx.doi.org/10.1071/AR05069

Bosabalidis, A. M, & Kofidis, G. (2002). Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two Olive cultivars. *Plant Science, 163*, 375-379. https://doi.org/10.1016/S0168-9452 (02)00135-8

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*, 248-254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

Campalans, A., Pages, M., & Messeguer, R. (2001). Identification of differentially expressed genes by the cDNA AFLP technique during dehydration of almond (*Prunus amygdalus*). *Tree Physiology*, *21*, 633-643. https://doi.org/10.1093/treephys/21.10.633

Cao, Z., Wang, X., & Gao, Y. (2022). Effect of plant growth regulators on cotton seedling root growth parameters and enzyme activity. *Plants*, *11*, 2964. https:// doi.org/10.3390/plants11212964

Carvalho-Zanao, M. P., Zanao Junior, L. A., Grossi, J. A. S., & Pereira, N. (2018). Potted rose cultivars with paclobutrazol drench applications. *Ciencia Rural*, *48* (8), p. e20161002. http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20161002

Chance, B, & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalase and peroxidase. *Methods in Enzymology, 2*, 764-775. http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879 (55)02300-8

Chandra, S, & Roychoudhury, A. (2020). Penconazole, paclobutrazol, and triacontanol in overcoming environmental stress in plants. *Protective Chemical Agents in the Amelioration of Plant Abiotic Stress: Biochemical and Molecular Perspectives*, 510-534. https://doi.org/10.1002/9781119552154.ch26

Cregg, B, & Ellison-Smith, D. (2020). Application of paclobutrazol to mitigate environmental stress of urban street trees. *Forests*, *11* (3), 355. http://dx.doi.org/10.3390/ f11030355

Dani, V., Simon, W. J., Duranti, M., & Croy, R. R. (2005). Changes in the tobacco leaf apoplast proteome in response to salt stress. *Proteomics, 5*, 737-745. https://doi.org/10.1002/pmic.200401119

Davari, K., Rokhzadi, A., Mohammadi, K., & Pasari, B. (2022). Paclobutrazol and amino acid-based biostimulant as beneficial compounds in alleviating the drought stress effects on safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *22* (1), 674-690. http://dx.doi.org/10.1007/s42729-021-00677-9

Desta, B, & Amare, G. (2021). PBZ as a plant growth regulator. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 8* (1), 1-15. https://doi.org/10.1186/s40538-020-00199-z

Draikewicz, M. (1994). Chlorophylase occurrence functions, mechanism of action, effect of extera and internal factor. *Photosynthetica*, *30*, 321-327.

Dwivedi, S. K., Arora, A., & Kumar, S. (2017). PBZ-induced alleviation of water-deficit damage in relation to photosynthetic characteristics and expression of stress markers in contrasting wheat genotypes. *Photosynthetica, 55* (2), 351-359. https://doi.org/10.1007/s11099-016-0652-5

Fan, Z. X., Li, S. C., & Sun, H. L. (2020). PBZ modulates physiological and hormonal changes in amorpha fruticosa under drought. *Russian Journal of Plant Physiology, 67* (1), 122-130. http://dx.doi.org/10.1134/S1021443720010069

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development, 29* (1), 185-212. https://doi.org/10.1051/agro:2008021

Fathi, A, & Tari, D. B. (2016). Effect of drought stress and its mechanism in plants. *International Journal of Life Sciences, 10*(1), 1-6. https://doi.org/10.3126/IJLS.V10I1.14509

Finaud, J., Lac, G., & Filaire, E. (2006). Oxidative stress: Relationship with exercise training. *Sports Medicine, 36*, 327-

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

359. https://doi.org/10.2165/00007256-200636040-00004
Fletcher, R. A, & Arnold, V. (1986). Stimulation of cytokinins and chlorophyll synthesis in cucumber cotyledons by triadimefon. *Physiologia Plantarum*, *66*(2), 197-201. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1986.tb02408.x
Fletcher, R. A., Gilley, A., Davis, T. D., & Sankhla, N. (2000). Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. In book: *Horticultural Reviews, 24*, 55–138. http://dx.doi.org/10.1002/9780470650776.ch3
Forghani, A. H., Almodares, A., & Ehsanpour, A. A. (2020). The role of gibberellic acid and PBZ on oxidative stress responses induced by in vitro salt stress in sweet sorghum. *Russian Journal of Plant Physiology, 67* (3), 555-563. https://doi.org/10.1134/S1021443720030073
Francescangeli, N, & Zagabria, A. (2008). Paclobutrazol for control of petunias. *Chilean Journal of Agricultural Research, 68*, 309-314. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392008000300012
Garg, N. K., Maheshwari, C., Changan, S. S., Kumar, V., Kumar, A., Singh, A., et al. (2019). PBZ induced physio-biochemical manifestations to ameliorate water deficit stress in rice (*Oryza sativa*). *The Indian Journal of Agricultural Sciences, 89* (11), 80-84. https://doi.org/10.56093/ijas.v89i11.95305
Gilley, A. & Fletcher, R. A. (1997). Relative efficacy of paclobutrazol, propiconazole and tetraconazole as stress protectants in wheat seedlings. *Plant Growth Regulation*, *21*, 169-175. https://doi.org/10.1023/A:1005804717016
Gonzales, L. M. R. (2021). Enhancing productivity and quality of parsley (*Petroselinum crispum* (Mill.) Nyman ex A. W. Hill) by plant growth regulator application. *Eurasian Journal of Agricultural Research*, *5*(2), 110-120.
Gopi, R., Abdul Jaleel, C., Sairam, R., Lakshmanan, G. M. A., Gomathinayagam, M., & Panneerselvam, R. (2007). Differential effects of hexaconazole and paclobutrazol on biomass, electrolyte leakage, lipid peroxidation and antioxidant potential of *Daucus carota* L. *Colloids and Surfaces Biointerfaces*, *60*, 180-186.
Graebe, J. E. (1987). Gibberellin biosynthesis and control. *Annual Review of Plant Physiology*, *38*, 419-465. https://doi.org/10.1146/annurev.pp.38.060187.002223
Guimaraes, R. F., Maia Junior, S. D. O., Lima, R. F. D., Souza, A. R. D., Andrade, J. R. D., & Nascimento, R. D. (2021). Growth and physiology of ornamental sunflower under salinity in function of paclobutrazol application methods. *Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental*, *25*(12), 853-861. http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n12p853-861
Hajihashemi, S. (2018). Physiological, biochemical, antioxidant and growth characterizations of gibberellin and PBZ-treated sweet leaf (*Stevia rebaudiana* B.) herb. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology, 27* (2), 237-240. http://dx.doi.org/10.1007/s13562-017-0428-4
Hajihashemi, S, & Ehsanpour, A. A. (2014). Antioxidant response of *Stevia rebaudiana* B. to polyethylene glycol and PBZ treatments under in vitro culture. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *172* (8), 4038–4052. https://doi.org/10.1007/s12010-014-0791-8
Halliwell, B. (2006). Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life. *Plant Physiology, 141*, 312-322. https://doi.org/10.1104/pp.106.077073
Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., Mahmud, J. A., et al. (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. https://doi.org/10.3390/antiox9080681
Hassanpour, H., Khavari-Nejad, R. A., Niknam, V., Najafi, F., & Razavi, K. (2012). Effects of penconazole and water deficit stress on physiological and antioxidative responses in pennyroyal (*Mentha pulegium* L.). *Acta Physiologiae Plantarum, 34*, 1537-1549. http://dx.doi.org/10.1007/s11738-012-0952-8
Havaux, M., canaai, O., & Malkin, S. (1987). Inhibition of photosynthetic activies under slow water stress measured in vivo by photoacoustic method. *Physiologia Plantarum, 70*, 503-510.
Hossain, M. A., Wani, Sh. H., Bhattacharjee, S., Burritt, D. J., & Tran, L. S. P. (2016). Drought stress in plants: Causes, consequences, and tolerance. *Drought Stress Tolerance in Plants*, 11-16. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28899-4_1
Hua, S., Zhang, Y., Yu, H., Lin, B., Ding, H., Zhang, D., et al. (2014). PBZ application effects on plant height seed yield and carbohydrate metabolism in canola. *International Journal of Agriculture and Biology, 16* (3), 471-479.
Huang, S., Luo, H., Ashraf, U., Abrar, M., He, L., Zheng, A., Wang, Z., Zhang, T., & Tang, X. (2019). Seed treatment with paclobutrazol affects early growth, photosynthesis, chlorophyll fluorescence and physiology of rice. *Applied Ecology and Environmental Research, 17*(1), 999-1012. http:// dx.doi.org/10.15666/aeer/1701_9991012
Hütsch, B. W., Kehm, L., & Schubert, S. (2023). Does the plant growth regulator paclobutrazol enhance root growth of maize exposed to drought stress during flowering? *Journal of Agronomy and Crop Science*, *00*, 1–16. https://doi.org/10.1111/jac.12646
Iqbal, S., Parveen, N., Bahadur, S., Ahmad, T., Shuaib, M., Nizamani, M. M., et al. (2020). PBZ mediated changes in growth and physio-biochemical traits of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) grown under drought stress. *Gene Reports, 21*, 100908. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1008993
Jaleel, C. A., Gopi, R., Manivannan, P., & Panneerselvam, R. (2007a). Responses of antioxidant defense system of *Catharanthus roseus* (L.) to paclobutrazol treatment under salinity. *Acta Physiologiae Plantarum*, 29, 205-209.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

Jaleel, C. A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sankar, B., Gopi, R., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2007b). Alterations in osmoregulation, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water deficit. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 59*(2), 150-157. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.05.001

Jungklang, J., Usui, K., & Matsumoto, H. (2003). Differences in physiological responses to NaCl between salt-tolerant *Sesbania rostrata* Brem. & Oberm. and non-tolerant *Phaseolus vulgaris* L. *Weed Biology and Management, 3*, 21-27. https://doi.org/10.1046/j.1445-6664.2003.00077.x

Jungklang, J, & Saengnil, K. (2012). Effect of paclobutrazol on *Patumma* cv. Chiang Mai Pink under water stress. *Songklanakarin Journal of Science and Technology, 34*, 361-366.

Jungklang, J., Saengnil, K., & Uthaibutra, J. (2017). Effects of water-deficit stress and PBZ on growth, relative water content, electrolyte leakage, proline content and some antioxidant changes in curcuma *Alismatifolia gagnep*. cv. Chiang Mai Pink. *Saudi Journal of Biological Sciences, 24* (7), 1505-1512. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.09.017

Kamran, M., Ahmad, S., Ahmad, I., Hussain, I., Meng, X., Zhang, X., et al. (2020). PBZ application favors yield improvement of maize under semiarid regions by delaying leaf senescence and regulating photosynthetic capacity and antioxidant system during grain-filling stage. *Agronomy, 10* (2), 187. https://doi.org/10.3390/agronomy10020187

Kamran, M., Wennan, S., Ahmad, I., Xiangping, M., Wenwen, C., Xudong, Z., et al. (2018). Application of PBZ affect maize grain yield by regulating root morphological and physiological characteristics under a semi-arid region. *Scientific Reports, 8* (1), 4818. https://doi.org/10.1038/s41598-018-23166-z

Kar, M, & Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology, 57*, 315-319. https://doi.org/10.1104%2Fpp.57.2.315

Kaur, C, & Gupta, K. (1991). Effect of triazole-type plant growth regulators on sunflower and safflower seed viability. *Canadian Journal of Botany, 69* (6), 1344-1348. https://doi.org/10.1139/b91-174

Khalid, K. A. (2006). Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). *International Agrophysics*, 20, 289-296.

Kim, J., Wilson, R. L., Case, J. B., & Binder, B. M. (2012). A comparative study of ethylene growth response kinetics in eudicots and monocots reveals a role for gibberellin in growth inhibition and recovery. *Plant Physiology*, *160* (3), 1567-80. https://doi.org/10.1104%2Fpp.112.205799

Kishorekumar, A., Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Sankar, B., Sridharan, R., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2006). Differential effects of hexaconazole and paclobutrazol on the foliage characteristics of Chinese potato (*Solenostemon rotundifolius*). *Acta Biologica Szegediensis, 50*, 127-129.

Kraus, T. E., Pauls, K. P., & Fletcher, R. A. (1995). Paclobutrazol and hardening-induced thermo tolerance of wheat: Are heat shock proteins involved? *Plant Cell Physiology, 26*, 59-67. http://dx.doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a078745

Kraus, T. E, & Fletcher, R. A. (1994). Paclobutrazol protects wheat seedlings from heat and paraquat injury. Is detoxification of active oxygen involved? *Plant Cell Physiology, 35*, 45-52. https://doi.org/10.1093/OXFORDJOURNALS.PCP.A078569

Laemmli, U. K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature, 227*, 680-685. https://doi.org/10.1038/227680a0

Latimer, J. G. (1992). Drought, paclobutrazol, abscisic acid, and gibberellic acid as alternatives to daminozide in tomato transplant production. *Journal of the American Society for Horticultural Science, 117* (2), 243-247. http://dx.doi.org/10.21273/JASHS.117.2.243

Lawlor, D. W. (2002). Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: Stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany, 89*, 871-885. https://doi.org/10.1093/aob/mcf110

Li, J., Xu, P., Zhang, B., Song, Y., Wen, S., Bai, Y., Ji, L., Lai, Y., He, G., & Zhang, D. (2023). Paclobutrazol promotes root development of difficult-to-root plants by coordinating auxin and abscisic acid signaling pathways in *Phoebe bournei*. *International Journal of Molecular Sciences, 13*, (4), 3753. https://doi.org/10.3390/ijms24043753. PMID: 36835160; PMCID: PMC9958905

Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology, 148*, 350-382. http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1

Lima, B. H. D., Santos, P. L. F. D., Bezerra, J. C. M., Pagliarini, M. K., & Castilho, R. M. M. D. (2020). Paclobutrazol as growth regulator in Bahiagrass. *Ornamental Horticulture*, *26*(3), 413-421. http://dx.doi.org/10.1590/2447-536x.v26i3.2205

Maheshwari, C., Garg, N. K., Hasan, M, V. P., Meena, N. L., Singh, A., & Tyagi, A. (2022). Insight of PBZ mediated drought amelioration in crop plants. *Frontiers in Plant Science, 13*, 1008993. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1008993

Manivanna, P., Jaleel, C. A., Kishorekumar, A., Sankar, B., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2008).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

Protection of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Plants from salt stress by paclobutrazol. *Colloids and Surfaces. B, Biointerfaces, 61* (2), 315-318. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.09.007

Marshall, J. G., Rutledge, R. G., Blumwald, E., & Dumbroff, E. B. (2000). Reduction in turgid water volume in jack pine, white spruce and black spruce in response to drought and paclobutrazol. *Tree Physiology, 20*, 701-707. https://doi.org/10.1093/treephys/20.10.701

McKersie, B. D, & Leshem, Y. Y. (1994). Stress and Stress Coping in Cultivated Plants. Dordrecht-Boston-London: Kluwer Academic Publishers.

Miller, G. N. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. *Journal of Analytical Chemistry*, *31*, 426-428. http://dx.doi.org/10.1021/ac60147a030

Miller, G. L. (2016). Effect of watered-in demethylation-inhibitor fungicide and paclobutrazol applications on foliar disease severity and turfgrass quality of creeping bentgrass putting greens. *Crop Protection, 79*, 64-69. http://dx.doi. org/10.1016/j.cropro.2015.10.008

Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., & Breusegem, F. V. (2004). Reactive oxygen gene network of plants. *Trends Plant Sciences, 9*, 490-498. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.08.009

Mog, B., Janani, P., Nayak, M. G., Adiga, J. D., & Meena, R. (2019). Manipulation of vegetative growth and improvement of yield potential of cashew (*Anacardium occidentale* L.) by PBZ. *Scientia Horticulturae, 257*, 108748. http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108748

Mohamed, G. F., Agamy, R. A., & Rady, M. M. (2011). Ameliorative effects of some antioxidants on water-stressed tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants. *Journal of Applied Sciences Research. 7*, 2470-2478.

Mohan, R., Kaur, T., Bhat, H. A., Khajuria, M., Pal, S., & Vyas, D. (2020). Paclobutrazol induces photochemical efficiency in mulberry (*Morus alba* L.) under water stress and affects leaf yield without influencing biotic interactions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(1), 205-215. http://dx.doi. org/10.1007/s00344-019-09975-0

Moradshahi, A. B., Eskandari, S., & Choldebarin, B. (2004). Some physiological response of canola (*Brassica rapus* L.) to water deficit stress under laboratory condition. *Iranian Journal Science and Technology, 28*, 43-50. https://doi.org/10.22099/ijsts.2004.2832

Moradi, S., Baninasab, B., Gholami, M., & Ghobadi, C. (2017). PBZ application enhances antioxidant enzyme activities in pomegranate plants affected by cold stress. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 92* (1), 65-71. https://doi.org/10.1080/14620316.2016.1224605

Nasrullah, N., Wati, Y. M., & Utami, D. W. (2012). Induction of bougainville flower (*Bougainvillea spectabilis* wild) with retardant and medium composition in a polluted environment. *Jurnal Lanskap Indonesia, 4*, 59-65.

Noori, H., Moosavi, S. G., Seghatolaslami, M., & Fazeli, R. M. (2022). Responses of cumin (*Cuminum cyminum* L.) to different seed priming methods under osmotic stress. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *50*(1), 12600. https://doi.org/10.15835/nbha50112600

Nouriyani, H., Majidi, E., Seyyednejad, S. M., Siadat, S. A., & Naderi, A. (2012). Effect of paclobutrazol under different levels of nitrogen on some physiological traits of two wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *World Applied Sciences Journal, 16*, 1-6.

Novita, A. (2021). The effect of gibberellin (GA3) and paclobutrazol on growth and production on tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.). International Seminar on Tropical Peatlands. IOP Conferans Series: Earth and Environmental Science. doi:10.1088/1755-1315/1025/1/012037

Oraki, H., Parhizkar khajani, F., & Aghaalikhana, M. (2012). Effect of water deficit stress on proline contents, soluble sugars, chlorophyll and grain yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids. *African Journal of Biotechnology, 25*, 164-168. https://doi.org/10.5897/AJB11.619

Pal, S., Zhao, J., Khan, A., Yadav, N. S., Batushansky, A., Barak, S., et al. (2016). PBZ induces tolerance in tomato to deficit irrigation through diversified effects on plant morphology, physiology and metabolism. *Scientific Reports, 6*, 39321. https://doi.org/10.1038%2Fsrep39321

Parida, A. K, & Das, A. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmwntal Safety, 60*, 324-349. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010

Percival, G. C, & Salim AlBalushi, A. M. (2007). Paclobutrazol-induced drought tolerance in containerized English and evergreen oak. *Arboriculture & Urban Forestry Online, 33*, 397-409. https://doi.org/10.48044/jauf.2007.046

Percival, G. C, & Noviss, K. (2008). Triazole induced drought tolerance in horse-chestnut (*Aesculus hippocastanum*). *Tree Physiology, 28*, 1685-1692. https://doi.org/10.1093/treephys/28.11.1685

Pinhero, R, & Fletcher, R. (1994). Paclobutrazol and ancymidol protect corn seedlings from high and low temperature stresses. *Plant Growth Regulation, 15*, 47-53. https://doi.org/10.1007/BF00024676

Pinto, A. C. R., Rodrigues, T., Leite, I. C., & Barbosa, J. C. (2005). Growth retardants on development and ornamental quality of potted 'lilliput' *Zinnia elegans* jacq. *CROP SCIENCE. Scientia Agricola, 62* (4), 337–345. https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000400006

Pospisilova, J., Synkova, H., & Rulcova, J. (2000). Cytokinkins and water stress. *Biologia Plantarum, 43* (3), 321-328. http://dx.doi.org/10.1023/A:1026754404857

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

Prochazkova, D., Sairam, R. K., Srivastava, G. C., & Singh, D. V. (2001). Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves. *Plant Science, 161*(4), 765-771. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00462-9

Rademacher, W. (2015). Plant growth regulators: Backgrounds and uses in plant production. *Journal of Plant Growth Regulation*, *34*(4), 845-872. https://doi.org/10.1007/s00344-015-9541-6

Rady, M, & Gaballah, S. (2012). Improving barley yield grown under water stress conditions. *Research Journal of Recent Sciences. An International Peer Reviewed Journal, 1*(6), 1-6. Available online at: www.isca.in

Runtunuwu, S. D., Mamarimbing, R., Tumewu, P., & Sondakh, T. (2011). The concentration of paclobutrazol on the growth of seedling cloves height (*Syzygium aromaticum* (L.) Merryl & Perry), *Euginia*, *17*, 135-141.

Sabino, J. H. F., Grossi, J. A. S., Silva, T. L., & Verly, O. (2021). Potted cotyledon production in response to paclobutrazol. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 51. https://doi.org/10.1590/1983-40632021v5168949

Sairam, R. K., Deshmukh, P. S., & Saxena, D. C. (1998). Role of antioxidant systems in wheat genotype tolerance to water stress. *Biologia Plantarum, 41*, 387-394. https://doi.org/10.1023/A:1001898310321

Sankar, B., Jaleel, C. A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2007). Effect of PBZ on water stress amelioration through antioxidants and free radical scavenging enzymes in *Arachis hypogaea* L. *Colloids Surf B Biointerfaces, 60* (2), 229-235. doi: 10.1016/j.colsurfb.2007.06.016

Sankar, B., Gopinathan, P., Karthishwaran, K., & Somasundaram, R. (2014). Biochemical content variation in arachis hypogaea under drought stress with or without PBZ and abscisic acid. *Journal of Ecobiotechnol 6*, 9-14.

Santos Filhoa, F. B., Silvaa, T. I., Diasa, M. G., Alvesa, A. C. L., & Grossi, J. A. S. (2022). Paclobutrazol reduces growth and increases chlorophyll indices and gas exchanges of basil (*Ocimum basilicum*). *Brazilian Journal of Biology*, 82, e262364. https://doi.org/10.1590/1519-6984.262364

Schmadel-Hagebolling, H. E., Engel, C., Schmitt, V., & Wild, A. (1998). The combined effects of CO_2, ozone and drought on rubisco and nitrogen metabolism of young Oak trees (*Quercus petraea*). *Chemosphere, 36*(4), 789-794. https://doi.org/10.1016/S0045-6535 (97)10125-4

Sgherri, C. L. M, & Navari-Izzo, F. (1995). Sunflower seedling subjected to increasing water deficit stress: Oxidative stress and defence mechanisms. *Physiologia Plantarum, 93*, 25-30. http://dx.doi.org/10.1034/j.1399-3054.1995.930105.x

Sha Vali Khan, P. S., Hoffman, L., Renaut, J., & Housman, J. F. (2007). Current initiatives in proteomic for analysis of plant salt tolerance. *Current Sciences, 93*, 807-817.

Sheikh Mohammadi, M. H. S., Etemadi, N., Arab, M. M., Aalifar, M., Arab, M., & Pessarakli, M. (2017). Molecular and physiological responses of Iranian perennial ryegrass as affected by trinexapac ethyl, PBZ and abscisic acid under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry, 111*, 129–143. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.11.014

Siddique, M. R. B., Hamid, A., & Islam, M. S. (2000). Drought stress effects on water relations of wheat. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, *41*, 35-39.

Smirnoff, N. (1993). The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytologist, 125*, 27-58. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1993.tb03863.x

Smirnoff, N. (1995). "Antioxidant systems and plant responses to the environment," In: Environment and Plant Metabolism: Flexibility and Acclimation (ed. Smirnoff, V.) Oxford, UK: Bios Scientific Publishers.

Sopher, C., Krol, M., Huner, N., Moore, A., & Fletcher, A. (1999). Chloroplastic changes associated with paclobutrazol induced stress protection in maize seedlings. *Canadian Journal of Botany*, *77*(2), 279-290. https://doi.org/10.1139/b98-236

Somasundaram, R., Abdul Jaleel, C., Sindhu, S. A., Azooz, M. M., & Panneerselvam, R. (2009). Role of PBZ and ABA in drought stress amelioration in *Sesamum indicum* L. *Global Journal of Molecular Sciences*, *4*(2), 49-55.

Soumya, P., Kumar, P., & Pal, M. (2017). Paclobutrazol: A novel plant growth regulator and multi-stress ameliorant. *Indian Journal of Plant Physiology*, *22*(3), 267-278. http:// dx.doi.org/10.1007/s40502-017-0316-x

Srivastav, M., Kishor, A., Dahuja, A., & Sharma, R. R. (2010). Effect of PBZ and salinity on ion leakage, proline content and activities of antioxidant enzymes in mango (*Mangifera indica* L.). *Scientia Horticulturae, 125* (4), 785-788. http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2010.05.023

Syahputra, B. S. A., Sinniah, U. R., Ismail, M. R., & Swamy, M. K. (2016). Optimization of paclobutrazol concentration and application time for increased lodging resistance and yield in field-grown rice. *Philippine Agricultural Scientist, 99* (3), 221-228.

Tatar, O, & Gevrek, M. N. (2008). Influence of water on proline accumulation, lipid peroxidation and water content of wheat. *Asian Journal of Plant Sciences, 34*, 1-4. https://doi.org/10.3923/ajps.2008.409.412

Tian, J., Ban, X., Zeng, H., Huang, B., & Wang, Y. (2011). In vitro and in vivo activity of essential oil from dill (*Anethum graveolens* L.) against fungal spoilage of cherry tomatoes. *Food Control, 22*, 1992-1999. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.05.018

Turkan, I., Bor, M., Ozdemir, F., & Koca, H. (2005). Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

leaves of drought-tolerant *Phaseolus acutifolius* gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Science, 168*, 223-231. http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.07.032

Vijayalakshmi, D, & Srinivasan, P. S. (1999). Morphophysiological changes as influenced by chemicals and growth regulators in alternate bearing Mango cv. 'Alphonso'. *Madras Agricultural Journal, 86*, 485-487.

Wahid, A., Farooq, M., & Siddique, K. H. M. (2014). "Implications of oxidative stress for plant growth and productivity," In: Handbook of Plant and Crop Physiology. (ed. Pessarakli, M.) Pp. 549-556. Broken Sound Parkway, Suite 300, Boca Raton, FL 33487 USA: Taylor & Francis Group.

Wanderley, C. S., Faria, R. T., Ventura, M. U., & Vendrame, W. (2014). The effect of plant growth regulators on height control in potted *Arundina graminifolia* orchids (growth regulators in *Arundina graminifolia*). *Acta Scientific, 36*, 489-494. https://doi.org/10.4025/actasciagron.v36i4.18085

Xia, X., Tang, Y., Wei, M., & Zhao, D. (2018). Effect of paclobutrazol application on plant photosynthetic performance and leaf greenness of herbaceous peony. *Horticulturae, 4*(1), 5. http://dx.doi.org/10.3390/horticulturae4010005

Yadav, S., Modi, P., Dave, A., Vijapura, A., Patel, D., & Patel, M. (2020). Effect of abiotic stress on crops. *Sustainable Crop Production*, 1-21. https://doi.org/ 10.5772/ intechopen.88434

Yeshitela, T., Robberto, P. J., & Stassen, P. J. C. (2004). Paclobutrazol suppressed vegetative growth and improved yield as well as fruit quality of 'Tommy Atkins' mango (*Mangifera indica*) in Ethiopia. *New Zealand Journal of Crop Horticulture Science, 32*, 281-293.

Zhang, J., Jia, W., & Zhang, D. P. (1997). Reexport and metabolism of xylem-delivered ABA in attached maize leaves under different transpirational fluxes and xylem ABA concentration. *Journal of Experimental Botany, 48*, 1557-1564.

Zhu, L. H., Peppel, A. V., Li, X. Y., & Welander, M. (2004). Changes of leaf water potential and endogenous cytokines in young apple trees treated with or without paclobutrazol under drought condition. *Scientia Horticulturae, 99*, 133-141. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(03)00089-X

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]

The effect of paclobutrazol on some growth and biochemical characteristics of dill (*Anethum graveolans* L.) plants under drought stress

Razieh Moieni and Mehrnaz Mahmoudi Zarandi*
Department of Biology, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran
(Received: 2023/08/15, Accepted: 2023/10/07)

Abstract

In this study, the effects of drought stress and paclobutrazol on *Anethum graveolans* L. were investigated. The experiment was carried out as a factorial based on a completely randomized design with three replications in a greenhouse. Some growth and biochemical characteristics of dill under drought stress (irrigation-based) at three levels (30%, 50% and 70% field capacity) and paclobutrazol at two concentrations (20 and 40 mg/L) were investigated. Drought stress caused a significant reduction in the fresh and dry weight and length of both stem and root, as well as the contents of photosynthetic pigments and proteins, whereas this stress induced reduced sugar and proline content and catalase activity. Although fresh and dry weight and length of stem decreased in plants treated with paclobutrazol, paclobutrazol treatment significantly increased the root growth parameters and the contents of pigments and proteins in relation to drought stress and paclobutrazol treatment. In plants treated with paclobutrazol, the content of sugars, proline and catalase activity were significantly higher compared to non-treated plants and controls (P≤0/05). Moreover, the patterns of protein expression were different. SDS-PAGE analysis revealed a protein with a molecular weight of 11 KD under severe stress conditions and treatment with 40 mg/L paclobutrazol. This protein probably has a major role in dill resistance to drought and the stress amelioration effect of paclobutrazol.

Keywords: Catalase, Electrophoresis, Photosynthetic pigments, Proline, Protein, Sugar

Corresponding author, Email: mehromah@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-02-19]