

اثر پاکلوبوترازول بر برخی ویژگی های رشدی و بیوشیمیایی گیاه شوید (*Anethum graveolans* L) تحت تنش خشکی

راضیه معینی و مهرناز محمودی زرنندی*

گروه زیست شناسی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران

mehromah@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش اثرات تنش خشکی و پاکلوبوترازول بر گیاه شوید مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در قالب طرح بلوک های کاملا 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 میلی گرم در لیتر بررسی گردید. نتایج نشان داد تنش خشکی، وزن تر و خشک و طول ساقه، وزن تر و خشک و طول ریشه، میزان رنگیزه های فتوسنتزی و پروتئین را به طور معنی داری کاهش و در مقابل میزان قند های احیاء کننده، پرولین و فعالیت کاتالاز را افزایش می دهد. گر چه در نمونه های تیمار شده با پاکلوبوترازول نیز کاهش معنی داری در وزن تر و خشک و طول ساقه مشاهده شد اما تیمار با پاکلوبوترازول، پارامتر های رشد ریشه، میزان رنگیزه ها و پروتئین ها را در مقایسه با گیاهان تحت تنشی که با پاکلوبوترازول تیمار نشده بودند به طور معنی داری افزایش داد. در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول مقدار قند ها و پرولین و فعالیت کاتالاز نسبت به گیاهانی که با پاکلوبوترازول تیمار نشده بودند و شاهد به طور معنی داری بیشتر بود (در سطح $P \leq 0.05$). علاوه بر این الگوی بیان پروتئین ها نیز تفاوت داشت. تجزیه SDS-PAGE یک پروتئین با وزن مولکولی ۱۱ کیلو دالتون 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، رنگیزه های 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 ارزش ترین تیره های گیاهی است که شامل گیاهان مفید از نظر دارویی و غنی از ترکیبات معطر است (آرمنند و جهانتاب، ۱۳۹۸). جنس *Anethum* یکی از جنس های این تیره است و گونه های زیادی دارد. *Anethum graveolans* 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 گونه ای از این جنس است که در ایران به عنوان سبزی خوراکی کاشته میشود (مظفریان، ۱۳۸۵).

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

تنش خشکی ناشی از تغییرات آب و هوایی به دلیل تهدید امنیت غذایی یکی از نگرانی های جدی جوامع انسانی به شمار می رود. شوید گیاهی یک ساله با مصارف غذایی و دارویی است که می تواند تحت تاثیر آسیب های ناشی از تنش خشکی قرار گیرد. انواع مختلف تنش های زیستی و غیرزیستی مانند گرما، خشکی و شوری تغییراتی ریختی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه به وجود می آورند و نهایتاً مانع از رشد و محصول دهی گیاه زراعی می شوند (Yadav et al., 2020). خشکی یک نگرانی بزرگ محسوب می شود چون متغیر های گوناگونی مانند دماهای بالا و پایین، محدودیت آب در دسترس، تغییر الگوی بارندگی، بارش کم، شوری و شدت نور بالا و ... همه می توانند تنش خشکی را به وجود آورند (Hossain et al., 2016). گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک مکرراً در معرض تنش خشکی و تنش گرمایی قرار می گیرند. خشکی بر روی فتوسنتز، تولید کلروفیل، متابولیسم مواد غذایی، جذب و انتقال یون، تنفس، متابولیسم کربوهیدرات و ... گیاهان اثر می گذارد (Farooq et al., 2009). خشکی میزان رادیکال های آزاد اکسیژن (ROS) را در سلول های گیاهی افزایش می دهد (Smirnov, 1993). تولید و تجمع ROS منجر به آسیب اکسیداتیو به سلول، تخریب عشاء های سلولی، غیر فعالسازی آنزیم ها، تجزیه پروتئین ها و عدم توازن یونی در گیاه می شود (Hsanuzzaman et al., 2020). تحت چنین شرایطی گیاهان مکانیسم های مرفولوژیک و فیزیولوژیکی ایجاد می کنند که به آنها اجازه سازش و بقاء را در شرایط تنش می دهد (Bosabalidis AND Kofidis, 2002). به عنوان مثال گیاهان یک سیستم آنتی اکسیدان قوی دارند که تولید بیش از حد رادیکال های آزاد اکسیژن را کنترل می کند. مسیر های سم زدایی از ROS ها در همه گیاهان وجود دارد و شامل آسکوربات پراکسیداز (APX)، سوپر اکسی دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POX) و آنتی اکسیدان های غیر آنزیمی شامل گلوتاتیون (GSH)، اسید آسکوربیک و توکوفرول هستند (Prochazkova et al., 2001, Rady AND Gaballah, 2012). SOD و CAT آنزیم های آنتی اکسیداتیو شناخته شده در سلول ها هستند که ROS ها را به ترکیبات غیر سمی تبدیل می کنند. SOD اولین خط دفاعی بر علیه ROS هاست. این آنزیم O_2^- را با فعالیت دیسموتازی به H_2O_2 و اکسیژن تبدیل می کند (Alscher et al., 2002, Halliwell, 2006). H_2O_2 خود یک ترکیب سمی است و توسط CAT به آب و اکسیژن تبدیل می شود. این آنزیم در همه سلول ها و در پراکسی زوم ها وجود دارد (Mittler et al., 2004, Finaud et al., 2006). CAT نقش مهمی در دفاع در مقابل تنش اکسیداتیو القاء شده با تنش غیر زیستی در بافت های گیاهی دارند. مکانیسم تولید ROS و رویش آنها توسط گیاهان با ظرفیت بالای آنتی اکسیداتیو تحمل تنش های غیر زیستی ارتباط دارد (Wahid et al., 2014). این سیستم دفاعی گیاه برای رسیدن به آستانه ای از تحمل فعال می شود. در شرایط تنش سخت و پایدار این سیستم دفاعی از کار می افتد و آسیب های فیزیولوژیک حادث می گردد (Smirnov, 1993).

مطالعات گوناگونی برای بهبود تحمل گیاه و سازش به خشکی و تقلیل اثرات منفی خشکی انجام شده است. این مطالعات اغلب استفاده از حفاظت کننده های گیاهی مانند تحریک کننده های رشد، ترکیبات آنتی اکسیدان و حفاظت کننده های اسمزی را توصیه می کنند که در تحریک واکنش های گیاهان زراعی به خشکی بسیار موثر هستند (Garg et al., 2019, Desta AND Amare, 2021). تنظیم کننده های رشد گیاهی (PGRs) معمولاً در کشاورزی برای تقویت رشد گیاه استفاده می شوند. تنظیم کننده های رشد بر روی رشد و نمو و متابولیسم گیاهی هم اثرات مفید و هم اثرات منفی دارند (Ashraf et al., 2011, Garg et al., 2019, Desta AND Amare, 2021). چندین گروه از تنظیم کننده ها وجود دارد که شامل اکسین، آبیسی سیک اسید، سیتوکینین ها، جیبرلین، اسید سالیسیلیک، اسید جاسمونیک و اتیلن و اخیراً براسینوستروئید ها،

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

استریگولاکتون ها، پلی آمین و تریازول و غیره هستند. تریازول ها گروهی از قارچ کش ها هستند که از جهت خواص تحریک کنندگی رشد بررسی شده اند و به دلیل القاء تحمل تنش غیر زیستی از طریق تقویت سیستم دفاعی گیاه مانند آنزیم های آنتی اکسیدان در گیاهان تحت تنش، گاهی برای حفاظت در مقابل تنش به کار گرفته می شوند (Jaleel et al., 2007). ترکیبات تریازول مختلفی که به صورت PGR استفاده می شوند شامل پاکلوبوترازول، یونیکونازول، تریاپنتنول و BAS111 و غیره هستند. تریازول ها رشد گیاه را با تغییر توازن هورمون های کلیدی گیاهی مانند سیتوکینین ها، اسید جیبرلیک و آبیسی سیک تنظیم می کنند (Hajhashemi, 2018). تریازول ها تغییرات ریختی (تحریک رشد ریشه، بازدارندگی رشد اندام هوایی) و بیوشیمیایی (افزایش ساخت سیتوکینین و افزایش موقت ABA) را القاء می کنند (Srivastav et al., 2010, Samasundaram et al., 2009).

پاکلوبوترازول با نام شیمیایی [2RS, 3RS)-1-(4-chlorophenyl)-4,4-dimethyl-2-(1H-1,2,4-triazol-1-yl)-pentan-3-ol]، متعلق به گروه تریازول هاست و یک بازدارنده رشد مصنوعی است (Desta AND Amare, 2021). پاکلوبوترازول مدتهاست که در گیاهان باغی برای افزایش محصول دهی استفاده می شود (Assures et al., 2012, Kamran et al., 2020). پاکلوبوترازول با تغییر سرعت فتوسنتز و میزان فیتوهورمون به طور معنی داری بر رشد و نمو گیاه نیز اثر می گذارد (Kim et al., 2012). پاکلوبوترازول در گوجه فرنگی تعداد برگ و قطر ساقه را افزایش می دهد، منجر به تغییر آرایش ریشه می شود و ارتفاع گیاه را کاهش می دهد (Pal et al., 2016) و در افزایش محصول دهی و مقاومت به آبرفتگی 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 می تواند 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 می کند (Fletcher et al., 2000). فعالیت بازدارندگی رشد پاکلوبوترازول و دیگر خواص آن اساساً به دلیل بازدارندگی اکسیداسیون انت-کائورن به انت-کائورنوئیک اسید در بیوسنتز جیبرلین است (Graebe, 1987). یکی از نقش های جیبرلین در گیاهان، تحریک رشد طولی سلول است. وقتی ساخت جیبرلین بازداشته می شود، سلول ها تقسیم می شوند اما سلول های جدید رشد نمی کنند بنابراین تعداد برگ ها افزایش نمی یابد و میانگرم ها هم کوتاه تر می شوند (Pinto et al., 2006, Franciscangeli AND Zagabria, 2008). به این دلیل پاکلوبوترازول برای کاهش ارتفاع گیاه برای تولید گیاهان گلدانی چندین گونه به کار برده می شود (Wanderley et al., 2014, Hua et al., 2014, Pinto et al., 2006, Franciscangeli AND Zagabria, 2008). در آزمایشات Novita (۲۰۲۱) بر روی گوجه فرنگی، بکارگیری پاکلوبوترازول نقش قابل ملاحظه ای بر کاهش ارتفاع گیاه و افزایش گلدهی داشت و توانست زمان گلدهی را بطور قابل ملاحظه ای افزایش دهد. علاوه بر این گزارش شده که بازدارنده رشد پاکلوبوترازول گیاهان را در برابر تنش محیطی یعنی خشکی، شوری، دماهای بالا یا پایین و غیره حفظ می کند (Asare-Boamah et al., 1998, Asamoah AND Atkinson, 1985, Kraus AND Fletcher, 1994, Kraus et al., 1995, Fletcher et al., 2000, Marshal et al., 2000, Zhu et al., 2004). آنتی اکسیدان هایی مانند ویتامین C و E و فعالیت آنزیم های اکسیداتیو مانند کاتالاز و سوپر اکسیداز با پاکلوبوترازول افزایش می یابد که این به نوبه خود مقاومت نسبت به تنش را ایجاد می کند (Srivastav et al., 2009, Somasundaram et al., 2010, et al.). پاکلوبوترازول اثرات مخرب تنش خشکی را با افزایش سطح فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان در بسیاری از گیاهان مانند بادام زمینی، کنجد، انبه و گوجه فرنگی به حداقل می رساند (Percival AND Salim, 2007, AIBalushi, 2007, Sankar et al., 2007, Manivannan et al., 2008, Somasundaram et al., 2009, Srivastav et al., 2010, Mohamed et al., 2011). خواص ضد قارچی نیز به پاکلوبوترازول نسبت داده شده است از اینرو بکارگیری آن می تواند در

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

کنترل امراض قارچی هم موثر باشد (Bazurto et al., 2022). روش استعمال تریازول ها به صورت اسپری برگی و یا دادن به خاک همراه با آبیاری است (Rademacher, 2015). بکارگیری پاکلوبوترازول از طریق ریشه ها اثربخشی بیشتری دارد چون پاکلوبوترازول عمدتاً از طریق آوند چوبی منتقل می شود و از طریق ریشه جذب شده و به منطقه رشد گیاه تحویل داده می شود (Xia et al., 2021, Lima et al., 2020, Cregg AND Ellison-Smith, 2020, al., 2018). علاوه بر این جیبرلیک اسید در ریشه ساخته می شود و اثر بازدارندگی پاکلوبوترازول بر جیبرلین با استعمال ریشه ای آن بهتر صورت می گیرد (Sopher et al., 1999).

هدف از این تحقیق بررسی اثر تنش خشکی و پاکلوبوترازول بر برخی ویژگی های رشدی و بیوشیمیایی و تغییرات کیفی پروتئین های گیاه شوید بود.

مواد و روشها

آزمایش در یک گلخانه در شهر کرمان با تابش طبیعی نور، دوره نوری ۱۶ ساعته و دمای $20 \pm 23^{\circ}\text{C}$ انجام شد. بذر گیاه شوید از شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری شد. بذرها پس از ضد عفونی با محلول هیپوکلریت سدیم در گلدان های ۱ لیتری حاوی خاک شنی لومی کاشته شدند. آزمایشات به صورت فاکتوریل انجام شد و گیاهان به شکل طرح بلوک های کاملاً تصادفی (RCBD) با ۳ تکرار آرایش داده شدند. تیمار ها شامل آبیاری تا ۷۰٪ ظرفیت زراعی (شاهد)، ۵۰٪ ظرفیت زراعی (تنش ملایم) و ۳۰٪ ظرفیت زراعی (تنش شدید) و پاکلوبوترازول (خریداری شده از شرکت Sigma-Aldrich) با غلظت ۰، ۲۰ و ۴۰ میلی گرم در لیتر بودند. اعمال تنش در مرحله ای از رشد که طول ساقه به ۱۰ سانتی متر رسیده بود یعنی در مرحله ۲ یا ۳ برگی انجام شد. تغذیه گیاه با محلول غذایی هوگلند هر چهار روز یک بار صورت می گرفت. گیاهان برای تیمار با محلول پاکلوبوترازول با ۲۵ میلی لیتر محلول با غلظت ۲۰ و ۴۰ میلی گرم در لیتر هفته ای یک بار اسپری برگی می شدند. گیاهان ۶ هفته تحت تنش خشکی و تیمار پاکلوبوترازول قرار گرفتند.

سنجش پارامترهای رشد

برای تعیین وزن خشک ساقه و ریشه این اندام ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی گراد در آون خشک شده و سپس وزن شدند.

سنجش های بیوشیمیایی

سنجش رنگدانه های فتوستنتز: برای استخراج رنگیزه ها، برگ های تازه گیاه در استون ۸۰٪ ساییده شد و محلول رنگی حاصل، به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۱۶۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید. مقدار رنگیزه های کلروفیل a و b و کاروتنوئید ها به روش لیچن تالر اندازه گرفته شد (Lichtenthaler, 1987). جذب محلول در طول موج های 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 اندازه گیری شد و با استفاده از فرمول های زیر غلظت کلروفیل a, b و کاروتنوئید تعیین شد.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

$$\text{Chl a } (\mu\text{g/ml}) = 12/21A_{664} - 2/79A_{666/8}$$

$$\text{Chl b } (\mu\text{g/ml}) = 21/50A_{665/8} - 5/10A_{663/2}$$

$$\text{Car } (\mu\text{g/ml}) = (1000 A_{470} - 1/8\text{Chla} - 85/02\text{Chlb})/198$$

سنجش میزان پرولین: سنجش پرولین با روش بیتس و با استفاده از معرف نین هیدرین انجام گردید (Bates et al., 1973). جذب محلول های رنگی در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکترومتر اندازه گیری شد. مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد و معادله خط $y=0.7331x+0.07$ محاسبه گردید.

استخراج و اندازه گیری قندهای احیاء کننده: برای استخراج قند از نمونه گیاهی، ۴۰ میلی گرم از ماده تر گیاهی در اتانول ۸۰ درصد به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت فاز رویی جدا شد و عمل استخراج با اتانول ۸۰ درصد چهار مرتبه دیگر تکرار شد. عصاره های حاصل با تبخیر اتانول تغلیظ شده به حجم مشخصی کاهش یافت. این عصاره ها پس از سانتریفیوژ در ۵۰۰۰ دور به مدت ۱۰ دقیقه برای اندازه گیری قندهای احیاء کننده استفاده شدند. قندهای احیاء کننده با روش میلر اندازه گیری شد (Miller, 1959). به این ترتیب که ۱/۵ میلی لیتر از عصاره الکلی تغلیظ شده با ۱/۵ میلی لیتر از معرف اسید دی نیترو سالیسیلیک مخلوط شده و به مدت ۲۰ دقیقه در بن ماری در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت. پس از آن بلافاصله ۰/۵ میلی لیتر پتاسیم سدیم تارتارات ۴۰ درصد به آن افزوده شد و پس از سرد شدن لوله ها، جذب نور در طول موج ۵۷۵ نانومتر توسط اسپکترومتر خوانده شد. محتوای قند با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز محاسبه شد.

تهیه عصاره آنزیمی: ابتدا مقدار ۰/۰۵ گرم بافت تر گیاهی با دو میلی لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار با $\text{pH}=8/6$ در هاون چینی سرد هموژن گردید. آنگاه به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه در دمای 4°C سانتریفیوژ گردید. از فاز شفاف رویی برای اندازه گیری فعالیت آنزیمی استفاده شد (Kar AND Mishra, 1976).

اندازه گیری فعالیت آنزیم کاتالاز: مخلوط واکنش به حجم ۳ میلی لیتر شامل ۲/۸ میلی لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار با $\text{pH}=6/8$ ، عصاره آنزیمی ۱۰۰ میکرو لیتر، آب اکسیژنه ۰/۴۵ مولار تهیه شد. فعالیت آنزیمی با اضافه کردن آب اکسیژنه به مخلوط واکنش شروع شد. کاهش میزان جذب نور در طول موج 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 $0.28 \text{ Mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$ در دقیقه است. فعالیت آنزیم به ازای یک میلی گرم پروتئین بیان گردید. $A=ebc$

سنجش میزان پروتئین کل: ابتدا بافر استخراج پروتئین به نام بافر تریس- ساکارز تهیه شد. نمونه های گیاهی در بافر به خوبی سائیده شده بعد محلول همگن در دمای ۴ درجه سانتی گراد به مدت ۲۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه در سانتریفیوژ یخچال دار 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 میلی لیتر از هر نمونه گیاه شویید به لوله حاوی ۵

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

میلی لیتر 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 طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. از آلبومین سرم گاوی (BSA) برای رسم منحنی استاندارد استفاده شد. میزان پروتئین نمونه های گیاهی با استفاده از منحنی استاندارد و معادله خط $y=0.017x+0.321$ محاسبه گردید.

برای تعیین الگوی پروتئینی SDS-PAGE بر طبق روش لاملی با استفاده از اکریل آمید ۱۰٪ انجام شد (Lamelli, 1970). برای مشاهده پروتئین ها، ژل ها با کوماسی بریلیانت بلو R250 رنگ آمیزی شدند.

تجزیه و تحلیل آماری: داده ها با آنالیز واریانس (ANOVA) و آزمون LSD با استفاده از SPSS نسخه ۱۶ در سطح $P \leq 0.05$ تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج

نتایج بررسی وزن تر اندام هوایی

جدول ۲ نشان می دهد که وزن تر اندام هوایی با اعمال تنش خشکی به طور معنی داری کاهش می یابد. این کاهش در نتیجه تیمار با پاکلوبوترازول برای گیاهان شاهد (آبیاری شده تا ظرفیت زراعی ۷۰٪) و تحت تنش خشکی ملایم (آبیاری شده تا ظرفیت زراعی ۵۰٪) تحت تنش خشکی شدید (آبیاری شده تا ظرفیت زراعی ۳۰٪) تشدید می گردد. بطوریکه وزن تر اندام هوایی در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول نسبت به گیاهانی که تحت تیمار پاکلوبوترازول قرار نگرفته بودند به طور معنی داری کمتر شد. کاهش وزن تر اندام هوایی برای هر سه نمونه در غلظت ۴۰ mg/L پاکلوبوترازول نسبت به ۲۰ mg/L پاکلوبوترازول معنی دار بود.

نتایج بررسی وزن خشک اندام هوایی

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود، 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 معنی داری داد. کاهش وزن خشک اندام هوایی برای گیاهان تیمار شده با غلظت ۴۰ mg/L پاکلوبوترازول نسبت به غلظت ۲۰ mg/L پاکلوبوترازول بیشتر بود.

نتایج بررسی وزن تر ریشه

جدول ۲ نشان می دهد که تنش خشکی باعث کاهش معنی دار وزن تر ریشه در خشکی ملایم و شدید در مقایسه با نمونه شاهد می شود. با تیمار پاکلوبوترازول وزن تر ریشه در هر سه نمونه به طور معنی داری 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.

نتایج بررسی وزن خشک ریشه

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

وزن خشک ریشه در اثر اعمال خشکی ملایم و شدید کاهش یافت (جدول ۲). میانگین وزن خشک ریشه با تیمار پاکلوبوترازول در غلظت ۴۰ و ۲۰ میلی گرم در لیتر از گیاهانی که با پاکلوبوترازول تیمار نشده بودند، بطور معنی داری بیشتر بود. پاکلوبوترازول با غلظت ۴۰ mg/L وزن خشک ریشه را به طور معنی داری نسبت به غلظت ۲۰ mg/L و گیاهان تیمار نشده با پاکلوبوترازول افزایش داد.

نتایج بررسی طول ساقه

طول ساقه با اعمال تنش خشکی به طور معنی داری 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 معنی داری نسبت به گیاهان تیمار نشده با پاکلوبوترازول کاهش داد اما کاهش میانگین طول ساقه در غلظت ۴۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول نسبت به غلظت ۲۰ میلی گرم در لیتر و نمونه های تیمار نشده با پاکلوبوترازول بیشتر بود.

نتایج بررسی طول ریشه

جدول ۲ نشان می دهد که با اعمال تنش خشکی طول ریشه نسبت به نمونه شاهد کاهش معنی دار پیدا کرد اما تیمار با پاکلوبوترازول طول ریشه را در گیاهان شاهد و تحت تنش خشکی به طور معنی داری افزایش می دهد. 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 معنی داری افزایش داد.

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*	۳/۳۷ns	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

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر پاکلوبوترازول و سطح تنش خشکی بر برخی صفات رشدی گیاه شوید. * نشاندهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns نشاندهنده عدم وجود اختلاف معنی دار است.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

طول ریشه (cm)	وزن خشک ریشه (g)	وزن تر ریشه (g)	طول ساقه (cm)	وزن خشک اندام هوایی (g)	وزن تر اندام هوایی (g)	نوع تیمار ظرفیت زراعی (%)+پاکلوبترازول (mg/L)
4/8±0/865f	0/017±0/003g	0/06±0/004g	13/8±0/833a	0/046±0/009a	0/23±0/020a	0+/70
6/1±0/701e	0/018±0/002f	0/08±0/003f	12/9±0/100b	0/027±0/003c	0/14±0/010b	20+/70
10/6±0/533b	0/025±0/001d	0/13±0/007c	10/2±0/300d	0/018±0/003f	0/10±0/003d	40+/70
3/6±0/402g	0/015±0/002h	0/05±0/010h	11/9±0/500c	0/031±0/005b	0/11±0/023c	0+/50
7/5±0/631d	0/022±0/002e	0/09±0/008e	9/1±0/812e	0/022±0/006d	0/09±0/006e	20+/50
10/7±0/734b	0/038±0/004c	0/16±0/006b	7/8±0/632g	0/016±0/004g	0/07±0/013g	40+/50

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

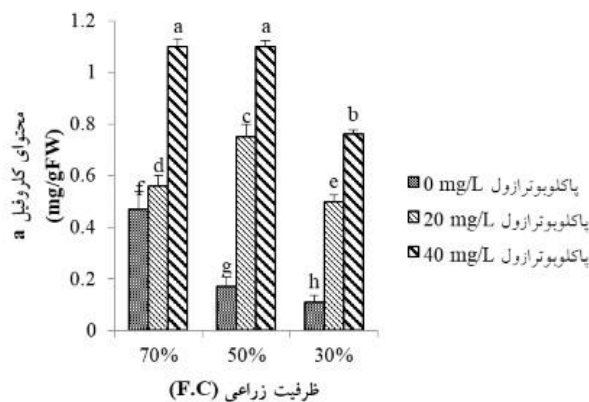
۲/۷±۰/۴۳۵h	۰/۰۱۲±۰/۰۰۳i	۰/۰۳±۰/۰۰۹i	۱۰/۴±۰/۴۰۰d	۰/۰۲۲±۰/۰۰۵d	۰/۰۸±۰/۰۰۱۸f	۰+/%۳۰
۸/۶±۰/۸۳۲c	۰/۰۳۹±۰/۰۰۱b	۰/۱۰±۰/۰۱۱d	۸/۱±۰/۴۹۳f	۰/۰۱۹±۰/۰۰۲e	۰/۰۶±۰/۰۰۰۶h	۲۰+/%۳۰
۱۳/۵±۰/۳۰۲a	۰/۰۴۹±۰/۰۰۱a	۰/۱۸±۰/۰۰۳a	۵/۵±۰/۸۶۲h	۰/۰۱۱±۰/۰۰۴h	۰/۰۱±۰/۰۰۰۹i	۴۰+/%۳۰

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات رشدی گیاه شوید در اثر برهمکنش پاکلوبوترازول و خشکی. اعداد، میانگین \pm انحراف استاندارد می باشند. حروف نامشابه انگلیسی در هر ستون نشاندهنده وجود اختلاف معنی دار بین میانگین ها در سطح $P \leq 0.05$ است.

نتایج بررسی رنگدانه های فتوسنتزی

نتایج بررسی محتوای کلروفیل a

شکل ۱ نشان می دهد که مقدار کلروفیل a با اعمال تنش خشکی ملایم و سخت کاهش معنی داری پیدا می کند. محتوای کلروفیل در ۷۰ FC (شاهد) / ۵۰ FC (تنش خشکی ملایم) و ۳۰ FC (تنش خشکی شدید) با یکدیگر اختلاف معنی دار دارند. استفاده از پاکلوبوترازول در شاهد و گیاهان تحت تنش خشکی شدید و تنش خشکی ملایم باعث افزایش معنی دار محتوای کلروفیل a شد. نتایج به دست آمده نشان می دهد مقدار کلروفیل a در غلظت ۴۰ و ۲۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول با یکدیگر اختلاف معنی دار دارند و میزان کلروفیل a در نتیجه تیمار با غلظت ۴۰ mg/L پاکلوبوترازول بیشتر شد.



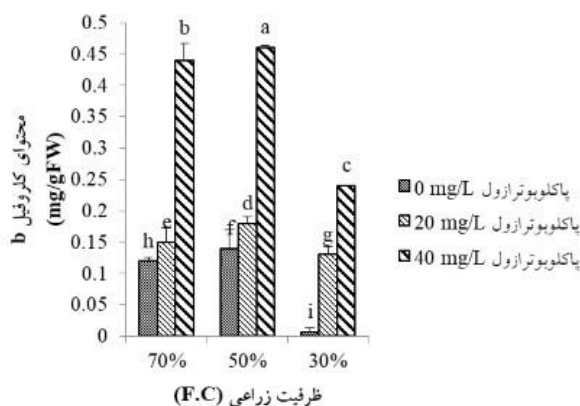
شکل ۱. اثر بر هم کنش خشکی و پاکلوبوترازول بر مقدار کلروفیل a. اعداد میانگین سه تکرار \pm انحراف استاندارد (SD) می باشند. حروف انگلیسی نامشابه بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح $P \leq 0.05$ است.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

بررسی میزان کلروفیل b

نتایج نشان داد مقدار کلروفیل b در نتیجه تیمار با غلظت 40 mg/L پاکلوبوترازول نسبت به گیاهان تیمار نشده با پاکلوبوترازول برای گیاهان شاهد و تحت تنش خشکی ملایم و سخت به طور معنی داری افزایش می یابد. افزایش محتوای کلروفیل b در غلظت 20 mg/L پاکلوبوترازول گر چه کمتر صورت گرفت اما این افزایش نسبت به گیاهان تیمار نشده با پاکلوبوترازول، معنی دار بود (شکل ۲).



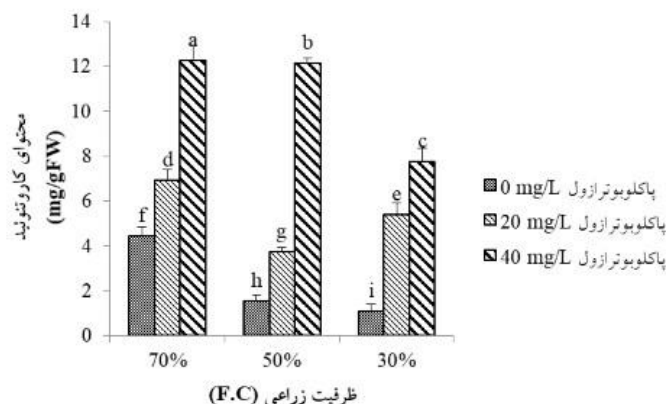
شکل ۲. اثر بر هم کنش خشکی و پاکلوبوترازول بر مقدار کلروفیل b. اعداد میانگین سه تکرار \pm انحراف استاندارد (SD) می باشند. حروف انگلیسی نامشابه بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح $P \leq 0.05$ است.

بررسی میزان کاروتنوئید

شکل ۳ نشان می دهد که مقدار کاروتنوئید ها هم با اعمال تنش خشکی بطور معنی داری کاهش می یابد. با تیمار پاکلوبوترازول محتوای کاروتنوئید در گروه شاهد (بدون تنش) و تحت تنش خشکی ملایم و سخت بطور معنی داری افزایش یافت. افزایش مقدار کاروتنوئید ها با غلظت 40 mg/L پاکلوبوترازول نسبت به غلظت 20 mg/L پاکلوبوترازول بطور معنی داری بیشتر بود.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی



شکل ۳. اثر بر هم کنش خشکی و پاکلوبوترازول بر مقدار کاروتنوئیدها. اعداد میانگین سه تکرار \pm انحراف استاندارد (SD) می باشند. حروف انگلیسی نامشابه بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح $P \leq 0.05$ است.

نتایج بررسی محتوای پرولین

بر اساس نتایج مندرج در جدول ۴، اعمال تنش خشکی موجب افزایش معنی دار 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 معنی داری کاهش یافته است. کاهش میزان پرولین در غلظت 40 mg/L پاکلوبوترازول نسبت به گیاهان تیمار شده با غلظت 20 mg/L پاکلوبوترازول و گیاهان تیمار نشده با پاکلوبوترازول در گیاهان شاهد و تحت تنش بیشتر بود.

نتایج بررسی قندهای احیاء کننده

محتوای قندهای احیاء کننده در تنش خشکی شدید نسبت به تنش خشکی ملایم و شاهد افزایش معنی داری داشت. پاکلوبوترازول در گیاهان تحت تنش و شاهد مقدار قند را افزایش داد و این افزایش در غلظت 40 mg/L پاکلوبوترازول بیشتر بود (جدول ۴).

نتایج بررسی آنزیم کاتالاز

جدول ۴ نشان می دهد که فعالیت آنزیم کاتالاز با اعمال تنش خشکی بطور معنی داری افزایش می یابد. تیمار با پاکلوبوترازول در گیاهان شاهد و تحت تنش خشکی باعث افزایش فعالیت کاتالاز شد. این افزایش فعالیت در غلظت 40 mg/L پاکلوبوترازول نسبت به در غلظت 20 mg/L پاکلوبوترازول و گیاهان تیمار نشده با پاکلوبوترازول در شرایط تنش و بدون تنش بطور معنی داری بیشتر بود.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

نتایج اندازه گیری مقدار پروتئین

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

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	۰/۰۰۰۸ns
خطا	۱۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۲۶	۰/۵۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۳
ضریب تغییرات (%)	-	۷/۴۶	۱۶/۵۹	۷/۹۸	۷/۹۶	۱۷/۵۶	۳۰/۴۴	۱۸

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر پاکلوبوترازول و سطح تنش خشکی بر برخی صفات فیزیولوژیک گیاه شوید. * نشاندهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns نشاندهنده عدم وجود اختلاف معنی دار است.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

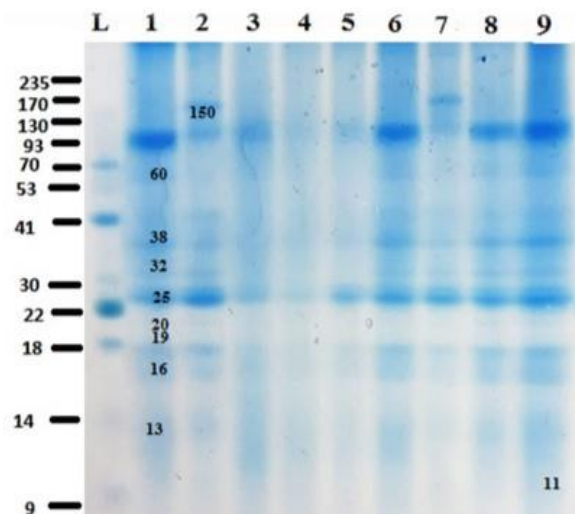
میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (Unites/mgprotein)	مقدار پروتئین (mg/gFW)	مقدار پرولین ($\mu\text{mol/gFW}$)	مقدار قندهای احیاء کننده (mg/gFW)	نوع تیمار ظرفیت زراعی (%)+پاکلوبوترازول (mg/L)
0/15±0/04h	0/126±0/003c	18/34±0/555c	0/35±0/033i	0+%/70
0/31±0/063d	0/210±0/001b	5/97±0/666g	0/37±0/066h	20+%/70
0/36±0/060b	0/238±0/002a	3/05±0/166h	0/41±0/023f	40+%/70
0/18±0/03g	0/004±0/001f	28/48±0/066b	0/39±0/031g	0+%/50
0/21±0/016f	0/005±0/005e	9/97±0/433e	0/43±0/016d	20+%/50

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

۰/۳۴±۰/۰۰۱c	۰/۰۰۸±۰/۰۰۳d	۲/۷۷±۰/۲۵۰i	۰/۴۶±۰/۰۲۶c	۴۰±/۵۰
۰/۲۳±۰/۰۲۲e	۰/۰۰۴±۰/۰۰۱f	۳۸/۸۸±۰/۳۰۱a	۰/۴۲±۰/۰۱۳e	۰±/۳۰
۰/۳۱±۰/۰۳۳d	۰/۰۰۴±۰/۰۰۱f	۱۳/۹۲±۰/۸۳۳d	۰/۴۸±۰/۰۵۰b	۲۰±/۳۰
۰/۳۸±۰/۰۲۳a	۰/۰۰۵±۰/۰۰۱e	۷/۹۴±۰/۶۳۳f	۰/۵۱±۰/۰۲۰a	۴۰±/۳۰

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی گیاه شوید در اثر برهمکنش پاکلوبوترازول و خشکی. اعداد، میانگین ± انحراف استاندارد می باشند. حروف نامشابه انگلیسی در هر ستون نشاندهنده وجود اختلاف معنی دار بین میانگین ها در سطح $P \leq 0.05$ است.



این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

شکل ۴. ژل الکتروفورز پروتئین های شوید تحت تنش خشکی با تیمار پاکلوبوترازول شماره چاهک ها به ترتیب L، لدر، ۱) شاهد، ۲) شاهد با غلظت ۲۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول، ۳) شاهد با غلظت ۴۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول، ۴) خشکی ملایم، ۵) خشکی ملایم با غلظت ۲۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول، ۶) خشکی ملایم با غلظت ۴۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول، ۷) خشکی شدید، ۸) خشکی شدید با غلظت ۲۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول، ۹) خشکی شدید با غلظت ۴۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول

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 نمونه های شوید بر روی ژل الکتروفورز عمودی تخمین زده شد و نتایج آن به صورت 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 پروتئین ها 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 میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول و نمونه تحت تنش خشکی شدید افزایش بیان داشته است و در بقیه نمونه ها بیان نداشته است. پروتئین ۱۱ کیلودالتونی فقط در شرایط تنش شدید و تیمار با غلظت ۴۰ mg/L پاکلوبوترازول دیده شد. در شرایط تنش شدید و تیمار پاکلوبوترازول پروتئین های ۹۳، ۳۸، ۳۲، ۲۸، ۲۵، ۱۹، ۱۶ و ۱۳ کیلودالتون افزایش بیان داشتند. پروتئین های ۱۶ و ۱۳ کیلودالتونی تحت تنش شدید در نمونه های تیمار نشده کاهش بیان نشان دادند. تیمار پاکلوبوترازول بیان این پروتئین ها را در شرایط تنش شدید افزایش داد.

بحث

نتایج اندازه گیری پارامترهای رشد در گیاه شوید نشان داد که خشکی، وزن تر و خشک و طول اندام هوایی و ریشه را به طور معنی داری کاهش می دهد. تیمار گیاهان با پاکلوبوترازول نیز رشد ساقه را نسبت به گیاهانی که با پاکلوبوترازول تیمار نشده بودند، به طور معنی داری کاهش داد. تیمار پاکلوبوترازول بر رشد ریشه تاثیر متفاوتی داشت به طوریکه رشد ریشه گیاهان با تیمار پاکلوبوترازول به طور معنی داری افزایش یافت (جدول ۲).

گرچه عوامل ژنتیکی نقش تعیین کننده ای در رشد گیاه دارند اما شرایط محیطی نیز می توانند در محدوده ژنتیکی بر فرآیند رشد تاثیر قابل ملاحظه ای بگذارند. در شرایط تنش خشکی و کاهش تورژسانس سلولی، اندازه سلول و تعداد سلول ها کاهش می یابد و نتیجتاً رشد بازداشته می شود. علاوه بر این کاهش آبرسانی منجر به اختلال در واکنش های شیمیایی فتوسنتز و کاهش ماده سازی می شود. کاهش محتوای آب سلولی و افزایش غلظت شیره سلولی، فعالیت های آنزیمی و اندامکهای درون سلول را تحت تاثیر قرار می دهد (Siddique et al., 2000) از سوی دیگر با افزایش تنش آبی و کاهش تورژسانس سلول های محافظ روزه هدایت روزه ها کاهش یافته و به دنبال آن سرعت رشد، فتوسنتز، خصوصیات مرفولوژیک و در نهایت ارتفاع گیاه کاهش می

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

یابد (Blum, 2005). تنش خشکی از طریق اختلال در ساختار غشاء، ایجاد بی نظمی در ساختار اندامک ها و به هم ریختن عملکرد روزنه ها، موجب کاهش نرخ فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد گیاه می شود (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، مولکول های حفاظت کننده در برابر تنش را تولید می کند.

عوامل تعدیل کننده تنش مانند پاکلوبوترازول برای کاهش اثرات تنش های مختلف از جمله تنش خشکی مورد استفاده قرار می گیرند (Afshari et al., 2020, Hajihashemi AND Ehsanpour, 2013). کاهش سطح تعرق و افزایش رشد ریشه منجر به تقویت گیاه در برابر تنش می شود (Miller, 2016). بهبود کارایی استفاده از آب بعد از بکارگیری پاکلوبوترازول به دلیل افزایش مقدار آبی سبک اسید است که شکاف روزنه ای و سطح برگ را برای تعرق کاهش می دهد و در مقابل رشد ریشه را برای جذب آب بالا می برد (Soumya et al., 2017). واضح ترین 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 میانگره هاست. یکی از تغییرات مرفولوژیک مرتبط با تیمار تریازول ها در گیاهان مختلف، جلوگیری از رشد گیاه است که به خاصیت ضد جیبرلین آنها مربوط است. افزایش ارتفاع گیاه نتیجه تقسیم سلولی و اتساع سلول های مریستم انتهایی است که توسط جیبرلین تحریک می شود به همین دلیل فقدان جیبرلین در گیاهان، عارضه پاکوتاهی را به وجود می آورد. عمل جیبرلین یعنی تحریک رشد و تقسیم سلولی با پاکلوبوترازول بازداشته می شود (Nasrullah et al., 2012, Runtunuwu et al., 2011). پاکلوبوترازول علاوه بر جلوگیری از ساخت جیبرلین تغییراتی متابولیک در هورمون های آبی سبک اسید، سیتوکینین و اتیلن القاء می کند که در مجموع رشد اندام هوایی و سطح تعرق را کاهش می دهد (Santo Filho et al., 2022). در حالیکه در آزمایشات ما وزن تر و خشک و طول ساقه در نتیجه تیمار گیاهان شوید با پاکلوبوترازول به ویژه تحت تنش خشکی کاهش معنی داری نشان داد اما در آزمایشات Gozales (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 کلروفیل برگ، فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدان سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز و عملکرد اسانس را افزایش داد. در آزمایشات سعادت 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 پیش تیمار بذر با پاکلوبوترازول موجب بهبود اثر سوء ناشی از تنش خشکی شد بطوریکه میزان کاهش ارتفاع بوته در ۲۵ درصد ظرفیت زراعی در گیاهچه های پیش تیمار شده با غلظت های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر پاکلوبوترازول به ترتیب ۲۰ و ۱۲ درصد بود. تیمار نهال های 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 میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول وزن خشک گیاه را به ترتیب تا ۱٪ و ۱۱٪ در مقایسه با شاهد کاهش داد (سعادت و همکاران، ۱۳۹۸). رشد ریحان نیز با بکارگیری پاکلوبوترازول کاسته می شود (Santo Filho et al., 2022). بر اساس نظر Soumya و همکاران (۲۰۱۷) پاکلوبوترازول به این دلیل که مسیر ایزوپروپونوئید را تحت تاثیر قرار می دهد میزان هورمون های گیاهی را تغییر می دهد بطوریکه ساخت جیبرلین را باز می دارد، آزاد سازی اتیلن را کاهش می دهد و سطح

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

سیتوکینین را افزایش می دهد. وقتی که ساخت جیبرلین ها بازداشته می شود پیش سازهای بیشتری در مسیر ترپنوئید تجمع می یابد و این منجر به تولید آبی سیک اسید می شود که رشد و نمو اندام هوایی گیاه را کمتر می کند. بکارگیری پاکلوبوترازول ارتفاع و قطر ساقه *Rosa hybrida* (Carvalho-Zanao et al., 2018) و *Platycodon graniflorus* (Sabino et al., 2017) را کاهش می دهد. سعادت و همکاران (۱۳۹۸) مشاهده کردند که پیش تیمار بذر جعفری با غلظت ۲۰۰ mg/L پاکلوبوترازول، زی توده گیاه را به طور قابل ملاحظه ای کاهش می دهد اما رشد ریشه افزایش می یابد. پاکلوبوترازول با غلظت متوسط طول ریشه، سطح جذب ریشه و تعداد ریشه های جانبی را در گیاه *Phoebe bournei* افزایش داد (Li et al., 2023). اندازه گیری مقدار اکسین و آبی سیک اسید توسط Li و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که بکارگیری پاکلوبوترازول با غلظت متوسط، مقدار اکسین را نسبت به شاهد به طور معنی داری افزایش و غلظت آبی سیک اسید را کاهش می دهد. مطالعات این محققین نشان داد که ژنهای پاسخگو به پاکلوبوترازول عمدتاً با مقدار هورمون های گیاهی و پیام رسانی های هورمونی که رشد ریشه را کنترل می کنند، ارتباط دارد. این محققین نشان دادند که تیمار پاکلوبوترازول، آنتاگونیسم اکسین و آبی سیک اسید را در رشد ریشه گیاه *Phoebe bournei* واسطه گری می کند. پاکلوبوترازول طول ریشه را در مطالعه Gonzales (۲۰۲۱) بر روی جعفری نیز در مقایسه با شاهد افزایش داد. Jaleel و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که رشد ریشه ممکن است به افزایش بخش بندی اسیمیلاتها به سمت ریشه ها به دلیل کاهش نیاز در اندام هوایی باشد. بنا به عقیده Fletcher و همکاران (۲۰۰۰) نیز پاکلوبوترازول در شرایط کمبود آب موجب افزایش وزن خشک ریشه می شود. به نظر می رسد که این اثر تحریک کنندگی 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 (Gappi et al., 2009). افزایش رشد ریشه توسط پاکلوبوترازول می تواند 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 می دهد و وزن گیاه نیز با بکارگیری پاکلوبوترازول به تنهایی و همراه با جیبرلین بالا می رود. با تیمار پاکلوبوترازول نرخ فتوسنتز و رشد توت سفید بیشتر می شود (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 می یابد. 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 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 نیمه خشک 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 می دهد (Kamran et al., 2018). تحت شرایط خشکی وزن خشک اندام هوایی گیاهان گوجه فرنگی 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، Hütsch و همکاران (۲۰۲۳) هیچ اثر معنی داری بر وزن خشک، طول ریشه، سطح ریشه و میزان محصول دهی مشاهده نکردند. افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی در نتیجه تیمار با پاکلوبوترازول

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

در گیاهان گندم تحت تنش خشکی دیده شده است (Gilley AND Fletcher, 1997). در مطالعه Fan و همکاران (۲۰۲۰) نیز تیمار پاکلوبوترازول (150 mg/L) تحت تنش خشکی شدید منجر به افزایش 61% رشد ساقه در مقایسه با خشکی بدون پاکلوبوترازول شد. احتمالاً افزایش رشد و گسترش ریشه در گیاهان تحت تیمار پاکلوبوترازول موجب افزایش زی توده ریشه و وزن خشک آن می گردد (رضوی زاده و عمواقایی، ۱۳۹۲). بهبود پارامترهای رشد در گیاهچه های تحت تنش خشکی و پاکلوبوترازول را می توان به نقش پاکلوبوترازول در افزایش آب سلول ها نسبت داد (Berova AND Zlater, 2003). بنا به نظر Maheshvari و همکاران (۲۰۲۲) پاکلوبوترازول نمو گیاه را در شرایط تنش با افزایش زی توده ریشه و ساقه بالا می برد گرچه که برخی تحقیقات به این اشاره دارند که پاکلوبوترازول ارتفاع گیاه را کاهش می دهد اما گزارشات دیگر نشان می دهند که پاکلوبوترازول ارتفاع گیاه را افزایش می دهد از این رو در مورد اثر به کارگیری پاکلوبوترازول روی نمو گیاه قبل از استفاده از آن به دانش بیشتری نیاز است.

نتایج به دست آمده از اندازه گیری مقدار رنگیزه های فتوسنتزی نشان داد که در شرایط خشکی مقدار رنگیزه ها به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد اما تیمار گیاهان با پاکلوبوترازول در حفظ رنگیزه های فتوسنتزی موثر است به طوریکه مقدار رنگیزه ها در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول در مقایسه با گیاهان تیمار نشده به طور معنی داری بالاتر بود (شکل ۱ و 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 کمپلکس های رنگیزه-پروتئین غشاء تیلاکوئید را که اولین ساختمان هایی هستند که تحت شرایط تنش ضعیف می شوند، تغییر می دهد (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 تنظیم کننده های رشد مثل اتیلن و آبیسی سیک اسید و افزایش فعالیت کلروفیلزاد عامل موثر در تجزیه کلروفیل در شرایط خشکی است. پاکلوبوترازول با افزایش غلظت کلروفیل در هر کلروپلاست، افزایش تعداد کلروپلاست در هر سلول و افزایش تعداد سلول ها در واحد سطح برگ، می تواند غلظت کلروفیل را در برگ گیاهان تحت تنش افزایش دهد (Kishorekumar *et al.*, 2006). افزایش رنگیزه های 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 می تواند نقش پاکلوبوترازول را در مقابله با تنش نشان دهد (Percival AND Noriss, 2008, Amina AND Hanan, 2011). پاکلوبوترازول مقدار کلروفیل a ($27/35\%$) و کلروفیل b ($54/54\%$) و کلروفیل کل ($30/98\%$) و کاروتنوئیدها ($13/55\%$) را در مقایسه با گیاهان بادام زمینی شاهد بدون پاکلوبوترازول افزایش می دهد (Mog *et al.*, 2019). بر طبق گزارش Dwivedi و همکاران (۲۰۱۸) به کارگیری پاکلوبوترازول برای گیاهان گندم تحت تنش خشکی منجر به افزایش $25/7\%$ مقدار کلروفیل در مقایسه با گیاهان تنش دیده بدون تیمار پاکلوبوترازول می شود. پاکلوبوترازول با غلظت 300 mg/L در ذرت، مقدار کلروفیل و کاروتنوئیدها را در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش می دهد (Kamran *et al.*, 2020). به طور مشابهی در آفتابگردان نیز بکارگیری پاکلوبوترازول تحت تنش خشکی رنگیزه های فتوسنتزی را افزایش می دهد (Davari *et al.*, 2022). افزایش شاخص های 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 این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

کلروفیل را در خیار (*Cucumis sativus*) (Baninasab AND Ghobadi, 2011) و استویا (*Stevia rebandiana*) (Hajhashemi AND Ehsanpour, 2013) افزایش داد. در مطالعه Noori و همکاران (۲۰۲۲) بر روی زیره (*Cuminum cyminum L.*) رنگیزه های کلروفیل به طور معنی داری با تنش اسمزی کاهش پیدا می کنند. کاهش مقدار کلروفیل یک نشانه معمول تنش اکسیداتیو تحت تنش خشکی است (Fathi AND Tari, 2016). کاهش رنگیزه های فتوسنتزی می تواند 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 رنگیزه های کلروفیل را تعدیل می کند و اثر تحریک کننده مهمی بر بیوسنتز کلروفیل دارد (Noori et al., 2022).

مقدار پرولین در شرایط تنش خشکی در گیاه شوید به طور معنی داری 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 ($2/4 \mu\text{g/gFW}$) در نمونه تحت تیمار ۲۵٪ ظرفیت زراعی و کمترین میزان پرولین ($1/06 \mu\text{g/gFW}$) در ظرفیت زراعی ۱۰۰٪ (نمونه شاهد) دیده شد. افزایش میزان پرولین در شرایط خشکی، مکانیسم دفاعی است که به گیاه کمک می کند تا پتانسیل اسمزی سلول برای جذب آب کاهش یابد. پرولین یک اسید آمینه کلیدی در ساختمان پروتئین و غشاء و نیز یک رویگر ROS در شرایط خشکی است (Ashraf AND Foolad, 2007). اسمولیت هایی مانند پرولین به نگهداری آب بافت کمک کرده و پروتئین ها و غشاء های سلولی را از تنش های اسمزی و اکسیداتیو محافظت می کند (Farooq et al., 2009). پرولین به عنوان یک اسمولیت یا عامل حفاظت کننده اسمزی تحت تنش خشکی عمل می کند. پرولین نقش مهمی در تطبیق اسمزی، حذف رادیکال های آزاد، پایداری ساختمان های درون سلولی (مانند غشاء ها و پروتئین ها) و ذخیره کربن و نیتروژن دارد (Afshari et al., 2020). تیمار گیاهان شوید با پاکلوبوترازول مقدار پرولین را به طور معنی داری کاهش داد به طوریکه گیاهان تیمار شده 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 می بخشد در حالیکه تیمار پاکلوبوترازول به طور معنی داری مقدار پرولین را در برگ های انار نسبت به شاهد همسو با نتایج ما کاهش می دهد (Moradi et al. 2017). در گیاه *Curcuma alismatifolia* تیمار شده 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 می کند بنابراین گیاه نیازی به تجمع پرولین ندارد. مطالعات قبلی نیز نشان داده که تجمع پرولین در گیاهان مقاوم نسبت به گیاهان حساس در طی دوره های شوری یا خشکی پایین تر است (Turkan et al., 2005, Jungklang et al., 2003). از سوی دیگر در گزارشات متعددی پاکلوبوترازول مقدار پرولین را در گیاهان تحت تنش افزایش می دهد (Amina AND Hanan, 2011, Percival AND Noriss, 2008, Tatar AND Gvrek, 2008). 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 می شود (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 گوجه فرنگی 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 بادام زمینی های تیمار شده با پاکلوبوترازول کمتر از گیاهانی بود که با

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

پاکلوبوترازول تیمار نشده بودند (Sankar et al., 2014). در گزارش Dwivedi و همکاران (۲۰۱۷) گیاهان گندم تیمار شده با پاکلوبوترازول، یک کاهش ۴۰٪ در مقایسه با گیاهان تنش دیده بدون پاکلوبوترازول داشتند. این یافته ها نشان می دهند که ژنوتیپ های گندم تنش کمتری (با توجه به غلظت پرولین) تجربه می کنند و در نتیجه بکارگیری پاکلوبوترازول تحمل تنش را در آنها بهبود می بخشد. 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 می دهد. به طور مشابهی در آفتابگردان بکارگیری پاکلوبوترازول تحت تنش خشکی مقدار پرولین را افزایش می دهد (Davari et al., 2022). پیش تیمار بذرهاى جعفرى با غلظت های مختلف پاکلوبوترازول موجب افزایش میزان پرولین برگهای جعفری در مقایسه با شاهد شد (سعادتى و همکاران، ۱۳۹۶). افزایش میزان پرولین در اثر تنش خشکی در ریحان (Khalid, 2006) و گوجه فرنگی (Behnamnia et al., 2009) نیز گزارش شده است. نتایج مطالعات Noori و همکاران (۲۰۲۲) افزایش قابل ملاحظه مقدار پرولین در تنش اسمزی را نشان می دهد در توافق با نتایج این محققین Aghighi Shahverdi و همکاران (۲۰۱۷) و Afshari و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که دانه رستهها در شرایط تنش مقدار پرولین بالاتری دارند در حالیکه همه تیمارهای پرایمینگ بذر در آزمایشات Noori و همکاران (۲۰۲۲) به طور قابل ملاحظه ای تجمع پرولین آزاد را در دانه رست های زیره در مقایسه با شاهد کاهش داد. با توجه به گزارشات متناقض موجود به نظر می رسد که تحقیق بیشتری برای تعیین مکانیسم مولکولی اثر پاکلوبوترازول بر روی غلظت پرولین متحرک در گیاهان باید صورت گیرد (Chandra AND Roychoudhury, 2020)

مقدار قند های احیاء کننده 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 اسمولیت های سازگار مانند کربوهیدرات ها یک مکانیسم تحمل تنش موثر است (Mckersie AND Lesham, 1994). در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول قند حاصل از تجزیه موقت نشاسته مشاهده شده است (Kaur AND Gupta, 1991). افزایش مقدار قند ها پتانسیل آبی برگ را در شرایط کم آبی حفظ می کند (Zhu et al., 2004). پاکلوبوترازول می تواند با افزایش تحرک ذخایر پلی ساکاریدی در شرایط کمبود آب منجر به افزایش میزان قند های محلول در گیاه شود (Moradshahi et al., 2004). تیمار پاکلوبوترازول در انبه قند کل، نسبت قند:اسید و قند احیاء کننده را افزایش داد (Yeshitela et al., 2004, Vijayalakshmi AND Srinirasan, 1999). در کلزای تنش خشکی دیده بکارگیری پاکلوبوترازول به طور معنی داری مقدار قند محلول را نسبت به شاهد افزایش داد. اثر پاکلوبوترازول عمدتاً در روز های 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 قند های محلول را در گیاه *Amorpha fruticosa* نسبت به گیاهان تیمار نشده ۱۱۹٪ افزایش داد. در گوجه فرنگی های تیمار شده و تیمار نشده با پاکلوبوترازول مقدار قند های محلول به ترتیب ۱/۱۶ و ۱/۵۲ بار در شرایط کم آبی (۶۰٪ ظرفیت زراعی) نسبت به شاهد بیشتر بود (Mohamed et al., 2011). مقدار قند تا ۲mg/L بعد از استعمال برگگی پاکلوبوترازول در شرایط خشکی در گیاه *Stevia rebaudiana* Bertoni در مقایسه با گیاهان تنش دیده افزایش یافت (Hajihashemi AND Ehsanpour, 2014). افزایش مقدار قند های محلول کل در سیب زمینی شیرین تیمار شده با پاکلوبوترازول ممکن است برای تطبیق اسمزی سلولی تحت شرایط تنش خشکی نیاز باشد (Maheshvari et al., 2022).

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

نتایج این پژوهش نشان داد که فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط خشکی به طور معنی داری افزایش پیدا می کند و تیمار پاکلوبوترازول آن را تشدید می کند به طوریکه حداکثر فعالیت این آنزیم آنتی اکسیدان در گیاهان تحت تنش خشکی و تیمار شده با پاکلوبوترازول وجود داشت (جدول ۴). پاکلوبوترازول سمیت زدایی از ROS ها، مقدار آنتی اکسیدان ها و کلروفیل را بالا می برد (Rady AND Gaballah, 2012). پاکلوبوترازول (۳۰۰ mg/L) در منطقه نیمه خشک، متوسط فعالیت SOD, POX, CAT و APX را در ذرت نسبت به گیاهان تحت تنش بدون پاکلوبوترازول افزایش می دهد (Kamran et al., 2020). به طور مشابهی Forghani و همکاران (۲۰۲۰) افزایش آنزیم های آنتی اکسیدان 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 گوجه فرنگی می شود (Pal et al., 2016). در مطالعه Jungklang و همکاران (۲۰۱۷) نیز برخی آنتی اکسیدان ها نظیر ویتامین C، ویتامین E و فعالیت CAT و SOD در برگ ها با پاکلوبوترازول افزایش یافتند. بنا به نظر این محققین پاکلوبوترازول برخی سازش های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی (حفظ رشد و آب نسبی و مقدار پرولین، افزایش فعالیت آنتی اکسیدان ها) را القاء می کند و این می تواند گیاه *Curcuma alismatifolia* را به خشکی مقاوم کند. در آزمایشات Cao و همکاران (۲۰۲۲) پاکلوبوترازول با غلظت ۰/۱ mg/L به طور معنی داری فعالیت آنزیم های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز را در ریشه های پنبه رقم Z619 بالا برد.

مقدار پروتئین ها در نتیجه خشکی کاهش پیدا کرد گر چه که این کاهش در شرایط تنش شدید نسبت به تنش ملایم معنی دار نبود. تیمار پاکلوبوترازول میزان کاهش را به طور معنی داری کمتر کرد به طوریکه گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول نسبت به گیاهان تیمار نشده پروتئین بیشتری داشتند (جدول ۴). به نظر می رسد 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 اندام های گوناگون پیاز نیز می شود (آروین و کاظمی پور، ۱۳۸۰). به طور کلی افزایش پروتئین کل می تواند به دلیل افزایش برخی از پروتئین ها شوند که تحمل به تنش را افزایش می دهند (Campalans et al., 2001). در آزمایشات Cao و همکاران (۲۰۲۲) پاکلوبوترازول هیچ اثری بر مقدار پروتئین ریشه های پنبه نداشت.

پروتئین های زیادی در گیاهان در شرایط خشکی افزایش بیان نشان می دهند از جمله پروتئین های LEA، دهیدرین ها، پروتئین های مربوط به سیستم دفاعی، آنزیم های آنتی اکسیدان و پروتئین های مربوط به حفاظت اسمزی (Sha Vali Khan et al., 2007). با توجه به نقش حفاظتی پرولین و ممانعت از دناتوره شدن پروتئین ها تحت تنش، افزایش مقدار این پروتئین ها را می توان به افزایش مقدار پرولین تحت تنش ملایم خشکی نسبت داد (رضوی زاده و عمواقایی، ۱۳۹۲). در مقابل کاهش مقدار پروتئین ها در تنش سخت خشکی می تواند به دلیل کاهش فتوسنتز و کاهش مواد مورد نیاز برای ساخت پروتئین ها باشد (Havaux et al., 1987) و البته تولید ROS که موجب کاهش ساخت پروتئین و یا دناتوره شدن پروتئین ها می شوند از دیگر دلایل کاهش مقدار پروتئین ها در شرایط تنش خشکی سخت خشکی است (Sgherri AND Navari-Izzo, 1995). پاکلوبوترازول در گندم می تواند مقدار پروتئین ها را در شرایط خشکی افزایش دهد (Nouriani et al., 2012). احتمالاً پاکلوبوترازول با القاء ساخت پروتئین های مقاومتی و ممانعت از تخریب پروتئین ها از طریق افزایش سیستم دفاعی مانند افزایش میزان پرولین موجب افزایش مقدار پروتئین ها و حفاظت از آنها و در نهایت افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی می شود (رضوی زاده و

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

عموآقایی، ۱۳۹۲). مقدار پروتئین در هویج نیز با شروع کم آبی کاهش یافت و تیمار پاکلوبوترازول مقدار پروتئین برگ ها و غده ها را در هویج افزایش داد (Gopta et al., 2007). در مطالعه بر روی ذرت Kamran و همکاران (۲۰۲۰) مشاهده کردند که تیمار با غلظت های بالای پاکلوبوترازول می تواند 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 معنی داری کاهش می یابد. گزارشات مشابه دیگری هم وجود دارد که نشان می دهد پاکلوبوترازول مقدار پروتئین را تحت تنش غیر زیستی و شرایط بدون تنش افزایش می دهد (رضوی زاده و عموآقایی، ۱۳۹۲). بر طبق نظر Iqbal و همکاران (۲۰۲۰) وقتی پاکلوبوترازول تحت تنش خشکی بر گیاه *Abelmoschus esculentus* L. بکار برده می شود، پروتئین های محلول کل همراه با افزایش پاکلوبوترازول افزایش می یابند. در مقایسه دو رقم زیتون در پاسخ به تنش خشکی و پاکلوبوترازول Arzani و Yazdani (۲۰۰۸) مشاهده کردند که خشکی میزان پروتئین های محلول را در هر دو رقم افزایش می دهد اما پاکلوبوترازول می تواند از تجمع پروتئین های محلول جلوگیری کند. از اینرو به نظر می رسد پاکلوبوترازول می تواند به عنوان یک محافظ گیاهی در مقابل تنش خشکی عمل کند. با تغییر پروتئین ها به اسید های آمینه آزاد تطبیق اسمزی در برگها تسریع و از دهیدراسیون برگها ممانعت می شود (Arzani AND Yazdani, 2008). پاکلوبوترازول می تواند از تجمع و تولید پروتئین های شوک حرارتی (HSP) جلوگیری کند. این پروتئین ها در طی تنش گرمایی به نشانه دریافت تنش توسط گیاه ساخته می شوند. در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول این پروتئین ها ساخته نمی شوند به این دلیل که پاکلوبوترازول گیاهان را در مقابل تنش شدید گرمایی حفظ می کند (Kraus et al., 1995). بنابراین وقتی تنش خشکی رخ می دهد برخی پروتئین ها تجزیه شده و یا ساخته نمی شوند برعکس در همین زمان پپتیدها و یا پروتئین های دیگری در بافت ها تجمع می یابند (Lawlar, 2002). مقدار پروتئین های محلول در برگ های درختان چهار ساله افرای بعد از تنش خشکی موقت تا ۲۰٪ افزایش یافت (Schemadel-Hagebdling et al., 1998). در مطالعه Hajihashemi و Ehsanpour (۲۰۱۳) بر روی استویا تنش خشکی همراه و یا بدون تیمار پاکلوبوترازول، تجمع پروتئین های با وزن مولکولی پایین مانند پروتئین ۲۵ KD را افزایش داد. در گوجه فرنگی نیز در شرایط شوری بیان یک پروتئین ۲۵ KD که در مقاومت به شوری تاثیر داشت و در نمو گیاه تحت تنش غیر زیستی نقش اساسی داشت، گزارش شده بود (Amini et al. 2007). تنش شوری و اسمزی می توانند بیان پروتئین های تنشی را افزایش دهند (Dani et al., 2005). در مطالعه Hassanpour و همکاران (۲۰۱۳) بر روی *Menta pulegium* تیمار پنکونازول شدت برخی باندهای پروتئینی به وزن مولکولی ۳۰KD در اندام هوایی و ۳۱KD در ریشه را افزایش می دهد و چندین نوار پروتئینی جدید با وزن مولکولی بین ۱۱۶ و ۱۴ کیلودالتون در برگها، اندام هوایی و ریشه ها ظاهر می شود. این محققین نقش این پروتئین ها را در افزایش مقاومت به خشکی موثر می دانند. در مطالعه ما ظهور پروتئین ۱۱KD تنها در شرایط تنش خشکی شدید و تیمار با پاکلوبوترازول نقش حفاظتی این پروتئین را در گیاه شوید در مقابله با خشکی نشان می دهد احتمالاً اثر تعدیل کنندگی تنش توسط پاکلوبوترازول نیز توسط این پروتئین اعمال می شود.

منابع

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

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

آروین، محمد جواد و کاظمی پور، نسرین (۱۳۸۰). آثار تنش‌های شوری و خشکی بر رشد و ترکیب شیمیایی و بیوشیمیایی چهار رقم پیاز خوراکی. علوم آب و خاک، ۴۱(۴)، ۵۲-۴۱.

رضوی زاده، رویا و عمویگی، مهری (۱۳۹۲). تاثیر پاکلوبوترازول بر بهبود تحمل به خشکی در گیاهچه های کلزا (*Brassica napus L.*) در شرایط درون شیشه (*in vitro*). فرآیند و کارکرد گیاهی، ۲(۳)، ۲۱-۳۴.

سعادت، زینب، اسماعیل پور، بهروز و جوادی، احمد (۱۳۹۸). ارزیابی اثر پیش تیمار بذر با اسید سالیسیلیک و پاکلوبوترازول بر شاخصهای رشدی و فیزیولوژیک گیاه جعفری (*Petroselinum sativum Mill*) تحت تنش خشکی. علوم و فنون کشت های گلخانه ای، ۱، ۱۳-۲۷.

کرامتی، سارا، پیردشتی، همت اله، بابایی زاد، ولی اله، و دهستانی، علی. (۱۳۹۶). ارزیابی اثر همزیستی قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا و کاربرد پاکلوبوترازول بر ویژگی های رشدی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum L.*) در واکنش به تنش شوری. پژوهش های تولید گیاهی (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۴(۲)، ۱-۲۲. SID: <https://sid.ir/paper/155723/fa>

مظفریان، ولی الله (۱۳۸۵). فرهنگ نام های 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 rebaudiana Bertoni*). *Iranian Journal of Plant Physiology*, 11, 3509-3522. doi:10.30495/ijpp.2020.1912363.1261

Aghighi Shahverdi, M., Omid, 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>

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

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– 16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>

Assuero, S. G., Lorenzo, M., Pérez Ramirez, N. M., Vela Zúñez, L. M., & Tognetti, J. A. (2012). Tillering promotion by paclobutrazol in wheat and its relationship with plant carbohydrate status. *New Zealand Journal of Agricultural 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](https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1008993) 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. [http://dx.doi.org/10.1016/S0926-6690\(01\)00088-7](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.

Bazurto1, F. P., Celi, A., Corozo, L., & Solís, 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](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](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>
- 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](http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8).
- Chandra, S., & Roychoudhury, A. (2020). Penconazole, paclobutrazol, and triacntanol 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). Chlorophyllase occurrence functions, mechanism of action, effect of extra 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 amorphia 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, 327–359. <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>.
- 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.
- 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>
- Gopi, R., Abdul Jaleel C., Divyanair, V., Azooz, M.M., & Panneerselvam R. (2009). Effect of paclobutrazol and ABA on total phenol contents in different parts of holy basil (*Ocimum sanctum*). *Academic Journal of Plant Sciences*, 2, 2, 97-101.
- 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>
- Guimarães, R.F., Maia Júnior, 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 Agrícola 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>
- Hajihashemi, S., Kiarostami, K., Enteshari, S. & Saboora, A. (2006). The effect of salt stress and paclobutrazol on some physiological parameters of two salt-tolerant and salt-sensitive cultivars of wheat. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9, 1370-1374. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2006.1370.1374>
- 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 activities 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. (Eds.). (2016). *Drought Stress in Plants: Causes, Consequences, and Tolerance*. Drought Stress Tolerance in Plants, Vol 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/aer/1701_9991012](http://dx.doi.org/10.15666/aer/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. Alagu Lakshmanan, G. M. & Panneerselvam, R. 2007. Triadimefon induced changes in the antioxidant metabolism and ajmalicine production in *Catharanthus roseus*. (L.). *Plant Sciences*, 171,271-276. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2006.03.018>

Jaleel, C. A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sankar, B., Gopi, R., Somasundaram, R. & Panneerselvam, R. (2007). 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. *Songklanakar Journal of Science & 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), 1344–48. <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., and 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, 24(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](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 NK, Hasan M, V P, Meena NL, 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). 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. 256 pp.

- 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., (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sciences*, 7, 405–410. [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(02\)02312-9](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(02)02312-9)
- 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. and 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>
- Mosavi, S., & Seghatoleslami, M. (2020). Evaluating the role of nutri-priming in improving PEG-induced drought stress tolerance of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Iranian Journal of Plant Physiology*, 11(1), 3509-3522. <https://dx.doi.org/10.22034/ijpp.2020.1912363.1261>
- Munikrishnappa, P.M. & Chandrashekar, S.Y. (2014). Effect of growth regulators on growth and flowering of China aster [*Callistephus chinensis* (L.) Nees.] - a review. *Agricultural Reviews*, 35(1), 57-63. <http://dx.doi.org/10.5958/j.0976-0741.35.1.007>.
- 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 Conf. 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>
- Parladore, N., Silva, A.G., Costa, E., Binotti, F.F.B., Silva, L.A., Viera, G.H.C. & Souza, A.F.G.O.(2019). Substrate volumes and application of paclobutrazol for ornamental pepper production. *Revista de Agricultura Neotropical*, 6(3), 1-5. <http://dx.doi.org/10.32404/rean.v6i3.3342>.
- 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>
- Pospiš ilová, J., Synková, H., & Rulcová, J. (2000). Cytokins and water stress. *Biologia Plantarum*. 43 (3), 321-328. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1026754404857>
- 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](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00462-9)
- Rademacher, W. (1997). Bioregulation in crop plants with inhibitors of gibberellin biosynthesis. In: Latimer J.G. (ed.), Proceedings of the 24th. Annual Meeting of Plant Growth Regulation Society of America, Atlanta, Georgia, pp. 27-31.
- 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
- Rodrigues, L.C.A., Castro, E.M., Pereira, F.J., Maluleque, I.F., Barbosa, J.P.R.A.D. & Rosado, S.C.S. (2016). Effects of paclobutrazol on leaf anatomy and gas exchange of *Toona ciliata* clones. *Australian Forestry*, 79, 4, 241-247. <http://dx.doi.org/10.1080/00049158.2016.1235476>.
- Runtuwu, 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 Agropecuária 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). Drought-induced biochemical modifications and proline metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. *Acta Botanica Croatica*, 66, 43-56.
- 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 CO₂, 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](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. V. Smirnoff (Oxford, UK: Bios Scientific Publishers) .
- Sopher, C., Król, 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 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, 3rd edn. Ed. M. Pessaraki (Broken Sound Parkway, Suite 300, Boca Raton, FL 33487 USA: Taylor & Francis Group), 549-556

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>.

Xu, L.J., Liu, H.X., Wu, J. & Xu, C.Y. (2020). Paclobutrazol improves leaf carbon-use efficiency by increasing mesophyll conductance rate, while abscisic acid antagonizes this increased rate. *Photosynthetica*, 58(3), 762-768. <http://dx.doi.org/10.32615/ps.2020.026>.

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. and 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](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(03)00089-X)

The Effect of Paclobutrazol on Some Growth and Biochemical Characteristics of Dill (*Anethum graveolans* L.) Plants under Drought Stress

Razieh Moieni & Mehrnaz Mahmoudi Zarandi*

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

Department of Biology, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran

mehromah@yahoo.com

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 ($P \leq 0/05$). 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