به‌زراعی کشاورزی

دوره ۱۶ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۳

صفحه‌های ۴۸۶-۴۷۵

اثر پیش‌تیمار بذر جو با سالیسیلیک اسید بر رشد گیاهچه، مقدار پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت تحت شرایط تنش خشکی

سیدعلی طباطبایی*

استادیار، بخش زراعت، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، یزد، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۰۴/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۴/۱۹

چکیده

یکی از تأثیرات کاهش آب در خاک، کاهش رشد و نمو گیاهچه‌های سبزشده و تغییر در نمو مزرعه‌ای آنها در چنین شرایطی است. مشخص شده که پیش‌تیمار بذرها موجب بهبود برخی خصوصیات گیاهچه و گیاه حاصل می‌شود. به‌منظور بررسی اثر پیش‌تیمار بذر جو با سالیسیلیک اسید بر رشد گیاهچهٔ جو، مقدار پرولین و تغییر فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانتی تحت شرایط تنش خشکی آزمایشی در سال ۱۳۹۱ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد به اجرا درآمد. فاکتور اول شامل غلظت های مختلف سالیسیلیک اسید (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ قسمت در میلیون) و فاکتور دوم شامل سه سطح خشکی (صفر، ۶- و ۱۲- بار) بود. نتایج نشان داد که اثر سالیسیلیک اسید و تنش خشکی بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، وزن خشک گیاهچه، پروتئین، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پرولین معنا دار بود. اثر متقابل تنش و تیمار بذر بر تعداد برگ معنادار نبود، ولی تأثیرات اصلی آنها معنادار بود. بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۸/۷ درصد)، سرعت جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه مربوط به غلظت ۱۰۰ قسمت در میلیون سالیسیلیک اسید بود. تحت شرایط تنش خشکی، پروتئین کاهش یافت که استفاده از سالیسیلیک اسید مقدار آن را افزایش داد. همچنین تحت شرایط تنش فعالیت کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پرولین افزایش یافت که استفاده از سالیسیلیک اسید سبب کاهش در آنها شد.

کلیدواژه‌ها: آنزیم، پرولین، تنش خشکی، جو، سالیسیلیک اسید.

* نویسنده مسئول

Email: Tabataba4761@yahoo.com

۱. مقدمه

جو یکی از غلات مهم با چرخهٔ زندگی یکساله و از خانوادهٔ گرامینه‌ها (گندمیان) است. کشت جو احتمالاً از اتیوپی و آسیای جنوب شرقی آغاز شد. جو از سازگارترین غلات است که در شرایط آب‌وهوایی مساعد، در خاک حاصلخیز که قابلیت نگهداری آب در آن زیاد باشد، و همچنین در خاک‌هایی که اسیدیتهٔ آنها بین ۷ تا ۸ باشد، تولید می شود. این گیاه نسبت به گندم در برابر خشکی مقاوم‌تر است، بنابراین در آب‌وهوایی که آب، سبب محدود کردن تولید غلات می‌شود، جو می‌تواند محصول قابل قبولی را تولید کند. در شرایط دیم هم عملکرد جو بهتر از گندم و چاودار است و از لحاظ مقاومت به سرما، نسبت به گندم در ردیف پایین‌تری قرار می‌گیرد. بنابراین به‌نظر می‌رسد کشت جوی پاییزه در مناطق سردسیر چندان اطمینان‌بخش نباشد. در مقایسه با سایر غلات، جو نسبت به شوری خاک، چه در مرحلهٔ جوانه زنی و چه در مراحل دیگر مقاوم‌تر است [۲].

خشکسالی و تنش ناشی از آن یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات کشاورزی را با محدودیت روبه‌رو کرده و بازده استفاده از مناطق نیمه‌خشک را کاهش داده است [۱]. یکی از راهکارهای ارائه‌شده در زمینهٔ بهبود مدیریت بازده آبیاری حصول عملکرد مطلوب با توجه به حداکثر بازده بهره‌برداری از آب آبیاری است [۱]. در این راستا شناخت ارتباط کمبود آب خاک با رشد محصولات، بررسی واکنش‌های فیزیولوژیکی در ارتباط با تنش، کشت گیاهان مقاوم و سایر مواردی که امکان توسعهٔ هرچه بیشتر گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک را فراهم می‌کند، مفید خواهد بود [۱، ۶، ۷، ۸]. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که بر جوانه زنی و استقرار گیاهچه تأثیر می‌گذارد [۱۴]. کاهش پتانسیل آب خاک موجب تأخیر و کاهش جوانه زنی و استقرار گیاهان می‌شود [۳۴]. گزارش های مختلف حاکی از آن است که تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی سبب کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی و غیریکنواختی سبز شدن می‌شود و تنش‌های غیرزنده، کاهش جوانه‌زنی در بذرهای فلفل را در پی دارد [۲۹]. در چاودار کوهی نیز با افزایش تنش خشکی شاخص‌های جوانه زنی اندازه‌گیری‌شده کاهش یافت [۷، ۸]. در آزمایش بر روی تمشک [۱۶] و گندم [۳۵] مشخص شد که با افزایش سطوح تنش خشکی ایجادشده، طول اندام هوایی نسبت به سطح شاهد کاهش یافت. یکی از علل کاهش طول ساقه‌چه در شرایط تنش خشکی، کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از بافت‌های ذخیره‌ای بذر به جنین ذکر شده است [۳۶].

تحقیقات اخیر نشان داده است که علاوه بر تغییرات فیزیولوژیکی که در اثر کمبود آب در گیاه ایجاد می شود، صدمات اکسیداتیو نیز از عوامل مهم محدودکنندهٔ رشد و تولیدات گیاهی است که در اثر نبود شرایط مناسب ایجاد می شود. بیشترین صدمه در گیاهان به‌وسیلهٔ در معرض تنش بودن یا صدمهٔ اکسیداتیو در سطح سلول همراه است [۴]. بیشترین خسارت در گیاهان که از طریق تنش‌های مختلف اعمال می‌شود، در ارتباط با خسارت اکسیداتیو در سطوح مختلف سلولی است [۴]. ارتباطی قوی بین تحمل به تنش‌های اکسیداتیو که به‌دلیل تنش‌های محیطی ایجاد می شود و افزایش غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در گیاهان فتوسنتزکننده وجود دارد [۳۱، ۳۲، ۳۳]. غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در شرایط تنش دوبرابر شده و موجب افزایش مقاومت به تنش‌های اکسیداتیو می‌شود و از طرف دیگر، تنش خشکی نیز فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز و سوپراکسید دیسموتاز را افزایش می‌دهد [۱۵، ۱۹، ۲۴، ۲۵، ۲۸، ۳۰]. همچنین با قرار دادن گیاهچه‌های دو رقم گندم در معرض تنش خشکی گزارش کردند که

رقم مقاوم بـه تـنش از فعالیـت بیشـتر آنـزیم آسـکوربات پراکسیداز در مقایسه با رقم حساس برخوردار بود [۳۵].

پرایمینگ بذر روشـی معمـول بـرای افـزایش درصـد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و سبز شدن بذر در شـرایط نامسـاعد محیطـی اسـت. در شـرایط نامسـاعد اسـتفاده از پیش‌تیمار بذرها با استفاده از مواد مختلف می‌تواند مقاومت در برابر تنش‌های غیرزنده، در گیاهان را افـزایش دهـد [۵، ۲۰، ۲۹]. پیش‌تیمار بذر بـا آب و محلـول‌هـای نمکـی در گیاهان مختلف سبب افزایش درصد جوانه‌زنی و شـاخص جوانه‌زنی در شرایط تنش می‌شود [۵، ۷]. سالیسیلیک اسید یکی از ترکیبات فنولی است که در گیاهان تولید مـی‌شـود. ترکیبات این گروه می‌توانند تنظیم‌کننـدهٔ رشـد باشـند [۳]. پیش‌تیمار بذر با غلظت‌های مختلـف سالیسـیلیک تـأثیرات متفاوتی را در ایجـاد تحمـل بـه شـرایط تـنش در گیاهـان مختلف ایجاد می‌کنـد [۸ ، ۱۳]. در بررسـی بنیـهٔ بـذرهای تیمارشده با سالیسیلیک و آسـکوربیک اعـلام شـد اگرچـه آسـکوربیک اسـید در افـزایش بنیـه بسـیار مـؤثر بـود، سالیسیلیک اسید سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را بهبود بخشـید [۹]. پرایمینـگ موجـب افـزایش آنـزیم‌هـای آنتـی‌اکسـیدانت ماننـد گلوتـاتیون و آسـکوربات در بـذر می‌شود که این آنزیم‌ها فعالیت پراکسیداسـیون لیپیـد را در طی جوانه‌زنی کاهش می‌دهند و در نتیجـه سـبب افـزایش درصد جوانه‌زنی می‌شوند، ولی در شرایط تنش بـا کـاهش رادیکال‌های آزاد، فعالیت این آنزیم‌هـا کـم مـی‌شـود و در نهایت خسارت به گیاه کاهش می یابد [۱۸]. پیش‌تیمارهای مختلف بذر سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در بذر خشک می‌شود و توانایی بیشتر بذرها در سبز شدن در شرایط تنش ممکن است به‌دلیـل افـزایش فعالیـت ایـن آنزیم‌ها در بذر تیمارشده باشد [۶].

گیاهان در شرایط تـنش‌هـای محیطـی نظیـر خشـکی، شوری، گرما و غیره با ذخیرهٔ مواد تنظیم‌کننـدهٔ اسـمزی بـا این تنش‌ها مقابله می‌کنند. مواد تنظیم‌کننـدهٔ فشـار اسـمزی بیشتر شامل اسیدهای آمینه، قندها و برخی یون‌های معدنی، هورمون‌هـا و پـروتئین‌هـا هسـتند. پـرولین یکـی از اسـید آمینه‌های فعال در پدیدهٔ تنظیم اسمزی است که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون گیاه نقش بسزایی دارد و گیـاه بـا تجمع پرولین، پلی‌آمین، ترهالوز، افزایش فعالیـت آنزیمـی نیترات ردوکتاز، افزایش ذخیـره‌سـازی کربوهیـدرات‌هـا و پروتئین‌سازی می‌تواند در برابر تـنش ایجادشـده مقاومـت کند [۱۷]. افزایش غلظت پرولین تحت تنش ممکـن اسـت نشان‌دهندهٔ نقش احتمالی این اسید آمینه در تنظیم اسـمزی باشد [۲۷]. در برگ‌های بالغ تجزیهٔ پروتئین‌ها سبب کاهش غلظت آنها و در نتیجه افزایش اسیدهای آمینهٔ آزاد از جمله پرولین می‌شود [۲۳].

با توجه به اینکه تنش آبی از عوامل محدودکنندهٔ تولیـد محصولات کشاورزی محسوب مـی شـود، تحقیـق دربـارهٔ سازوکار مقاومت گیاهان به کم‌آبی حائز اهمیـت اسـت. در این میـان، اسـتفاده از پـیش‌تیمارهـای بـذر بـا اسـتفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در بهبود و رفع آثار کم‌آبـی در گیاهان بسیار سودمند است.

هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر تیمار بـذر جـو بـا غلظت های مختلف سالیسیلیک اسید بر سـبز شـدن، رشـد گیاه جو و تغییرات آنزیم های آنتی‌اکسیدانت تحت شرایط تنش خشکی است.

۲. مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشـکی و پـیش‌تیمـار بـذر بـا غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر صفات مورفوژیـک و فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسـیداز جـو رقـم 'والفجر'، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد در سال ۱۳۹۱ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعـی اسـتان

یزد به اجرا درآمد. فاکتور اول شامل چهار غلظت مختلف سالیسیلیک اسید و فاکتور دوم شامل سه سطح تنش خشکی (صفر، ۶- و ۱۲- بار) بود. غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید شامل صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ قسمت در میلیون بودند که برای اعمال پیش‌تیمار، بذرها به‌مدت ۱۵ ساعت در دمای ۱۵ درجهٔ سانتی‌گراد در این غلظت‌ها قرار گرفتند. بعد از مدت زمان‌های مشخص‌شده بذرها با آب مقطر شست وشو شدند. بذرهای تیمارشده در دمای اتاق قرار گرفتند تا رطوبت آنها به رطوبت اولیهٔ بذر (۸/۵ درصد) برسد. پنج بذر از هر یک از تیمارهای بذری پس از ضدعفونی با هیپوکلرید سدیم ۵ درصد و شست وشو با آب مقطر در گلدان‌ها کاشته شدند. هر تکرار شامل ۱۰ گلدان بود. پس از کاشت، هر یک از گلدان‌ها با غلظت‌های خشکی تعیین‌شده آبیاری شد. اعمال تیمارهای خشکی از ابتدای مرحلهٔ جوانه‌زنی بود. گلدان‌ها با شن پر شدند و برای اعمال تنش خشکی از پلی‌اتیلن ۸۰۰۰ صنعتی استفاده شد. دورهٔ آزمایش ۲۵ روز ادامه یافت. سپس صفات درصد جوانه زنی، وزن خشک گیاهچه، تعداد برگ و سرعت جوانه‌زنی اندازه‌گیری شدند.

برای اندازه‌گیری وزن خشک گیاهچهٔ گیاه به‌طور کامل برداشت و سپس در آون با دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت خشک و سپس وزن شد. برای اندازه-گیری فعالیت آنزیم‌ها و تغییرات مقدار پروتئین، از برگ گیاه بعد از ۲۵ روز رشد نمونه‌برداری صورت گرفت و فعالیت آنزیم‌ها و تغییرات مقدار پروتئین به روش‌های زیر اندازه‌گیری شد.

به‌منظور تعیین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کلیهٔ نمونه‌های برداشت‌شده از برگ گیاهان در شرایط مختلف و تیمارهای مختلف در نیتروژن مایع منجمد شده و تا زمان اندازه‌گیری در دمای ۸۰- نگهداری شدند. عصاره‌گیری از نمونه‌ها برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات‌پراکسیداز و گلوتاتیون پراکسیداز در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد و با استفاده از سانتریفیوژ انجام گرفت، بعد از آن محلول رو شناور برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم استفاده شد [۶]. فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد به روش اسپکتوفتومتری اندازه‌گیری شدند [۲۱، ۲۲]. برای اندازه‌گیری مقدار پروتئین یک میلی‌لیتر از محلول برادفورد به‌همراه ۱۰۰ میکرولیتر عصارهٔ آنزیمی پس از مخلوط شدن کامل، در دستگاه طیف‌سنج قرار گرفت و جذب محلول در طول موج ۵۹۵ نانومتر ثبت شد. غلظت پروتئین برحسب میلی‌گرم بافت تازه با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه شد [۱۲]. برای اندازه‌گیری مقدار پرولین برگ نمونه‌ها بعد از آماده‌سازی به روش بتیس در دستگاه طیف‌سنج قرار گرفتند و جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. غلظت پرولین برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازهٔ برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد [۱۰].

تجزیه‌های آماری با نرم‌افزار MSTAT-C انجام گرفت و میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنادار (دانکن) با یکدیگر مقایسه شدند. نمودارها توسط نرم‌افزار[1] رسم شد.

۳. نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیهٔ واریانس نشان داد که تأثیرات تنش خشکی و تیمار بذر برای کلیهٔ صفات اندازه‌گیری‌شده، آنزیم، پروتئین و پرولین در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود و تأثیرات متقابل خشکی و تیمار برای کلیهٔ شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده به‌جز سرعت جوانه‌زنی و تعداد برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود. برای سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال ۵ درصد و برای تعداد برگ تأثیرات متقابل معنادار نبود (جدول ۱).

نتایج مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تنش × تیمار بر روی درصد جوانه‌زنی نشان داد که بیشترین درصد جوانه‌زنی در

1 . Excel

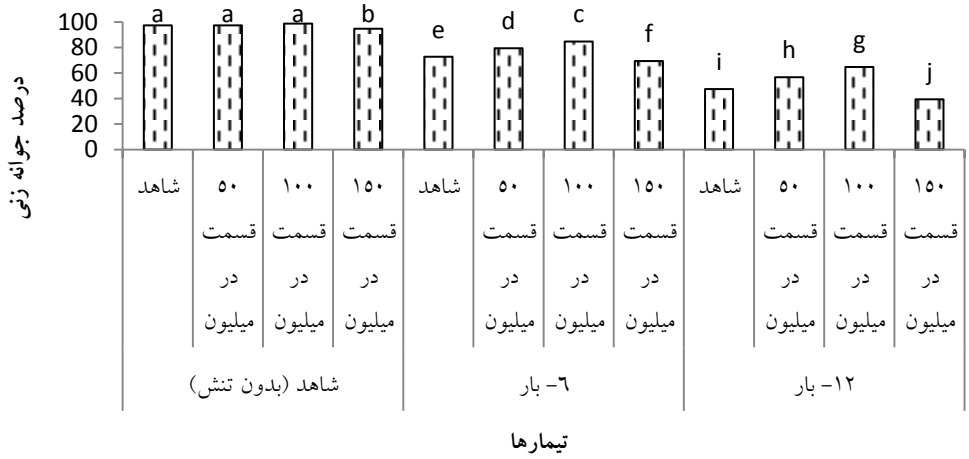
شرایط بدون تنش و تنش خشکی مربوط به تیمار بذر با غلظت ۱۰۰ قسمت در میلیون بود، ولی در شرایط بدون تنش تفاوت معناداری با غلظت صفر و ۵۰ قسمت در میلیون نداشت، غلظت ۱۵۰ قسمت در میلیون سبب کاهش درصد جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد و سایر تیمارها شد (شکل ۱).

نتایج مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تنش × تیمار بر سرعت جوانه‌زنی و وزن خشک نشان داد که بیشترین سرعت جوانه‌زنی و وزن خشک در شرایط بدون تنش و تنش خشکی مربوط به تیمار بذر با غلظت ۱۰۰ قسمت در میلیون بود، ولی غلظت ۱۵۰ قسمت در میلیون سبب کاهش در وزن خشک و سرعت جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد و سایر تیمارها شد (شکل‌های ۲ و ۵).

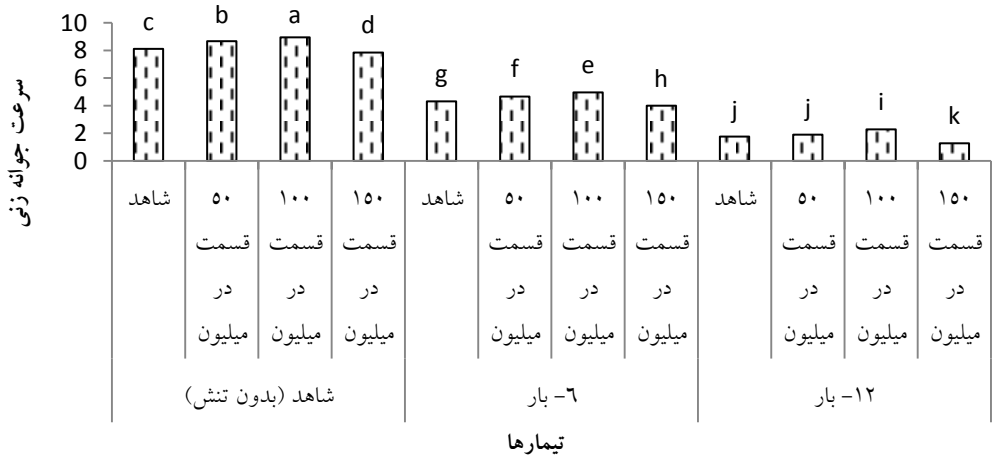
جدول ۱. جدول تجزیهٔ واریانس اثر پیش‌تیمار بذر جو با سالیسیلیک اسید و تنش خشکی بر صفات اندازه‌گیری‌شده و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، پروتئین و پرولین در جو

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه زنی	تعداد برگ	وزن خشک (gr)	پروتئین	آسکوربات پراکسیداز	کاتالاز	پرولین
تنش خشکی	۲	۶۰۹۱**	۱۳۱/۷۳**	۴۳/۳۶**	۰/۵۷**	۰/۳۱**	۸۱/۰۳**	۱۸۲ /۵۹**	۰/۰۰۱**
تیمار بذر	۳	۳۷۵ /۲۲**	۱/۷۵**	۶/۷۴**	۰/۱۵**	۰/۰۰۳**	۱۲/۱۵**	۹/۸۸**	۰/۰۰۰۰۸**
تنش × تیمار	۶	۶۹/۲۲**	۰/۰۲*	۰/۲۱ns	۰/۰۱ns	۰/۰۰۹**	۱۲/۹۷**	۷۰/۱۲**	۰/۰۰۰۰۶**
خطای آزمایش	۲۴	۲	۰/۰۰۹۲	۱۲/۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۳۴	۰/۵۹	۰/۰۰۰۰۴
ضریب تغییرات	–	۱/۸۸	۱/۹۵	۰/۱۹	۸/۰۶	۲/۰۳	۴/۴۴	۶/۴۵	۵/۹۱

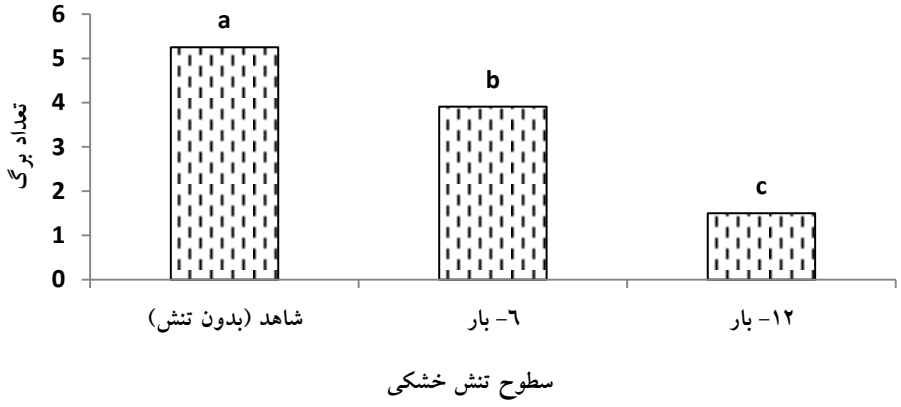
*، ** و ns : به‌ترتیب معناداری در سطح ۵ و ۱ درصد و عدم معناداری.



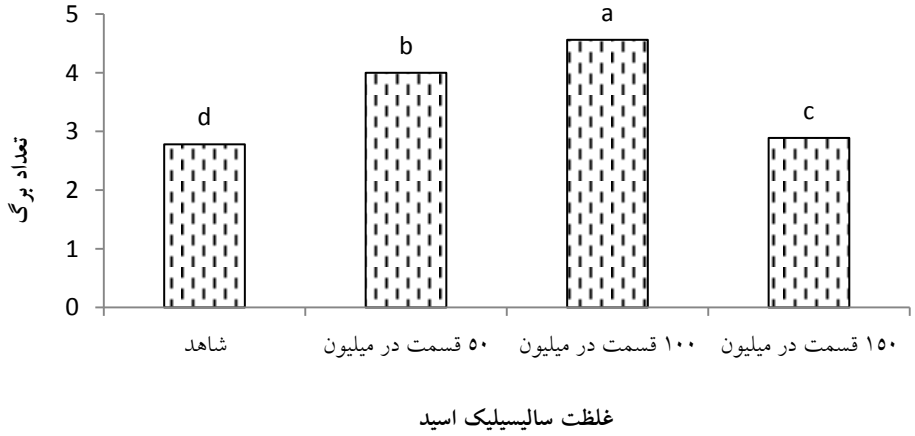
شکل ۱. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تیمار بذر با سالیسیلیک اسید و تنش خشکی بر درصد جوانه‌زنی بذر جو



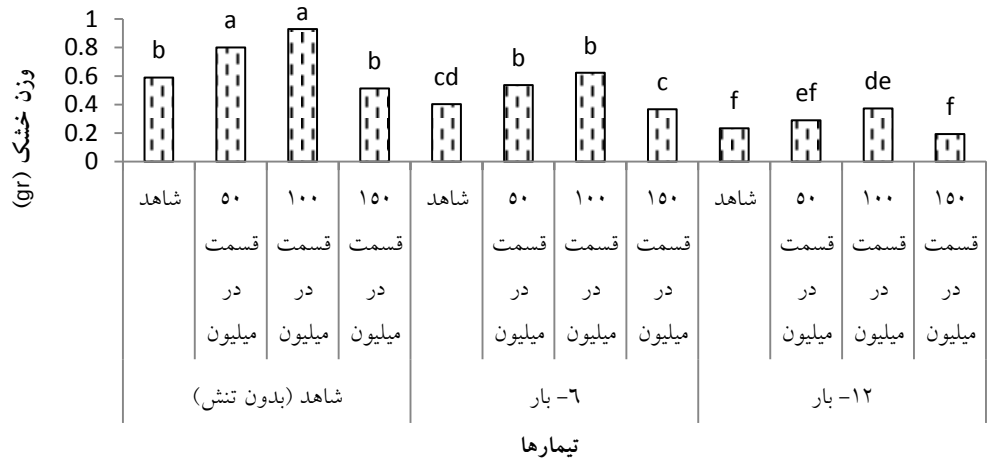
شکل ۲. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تیمار بذر با سالیسیلیک اسید و تنش خشکی بر سرعت جوانه‌زنی بذر جو



شکل ۳. مقایسهٔ میانگین اثر اصلی سطوح تنش خشکی بر تعداد برگ در جو



شکل ۴. مقایسهٔ میانگین اثر اصلی غلظت سالیسیلیک اسید بر تعداد برگ در جو



شکل ۵. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تیمار بذر با سالیسیلیک اسید و تنش خشکی بر وزن خشک گیاهچهٔ جو

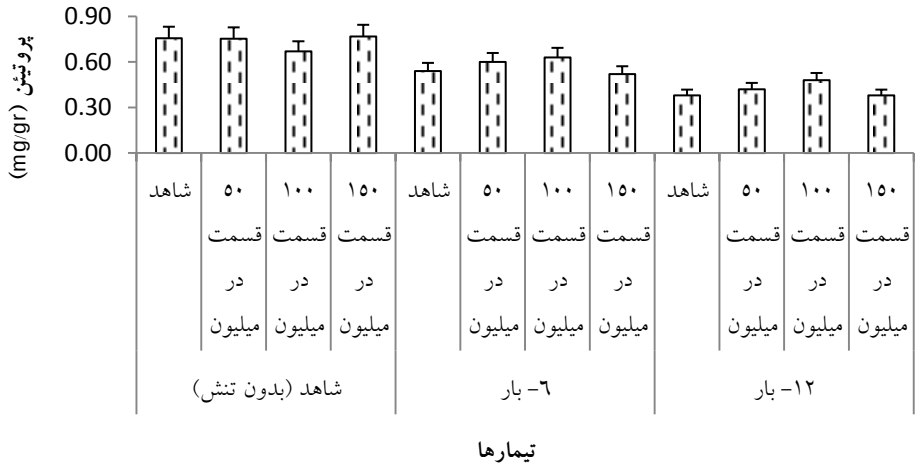
مقایسهٔ میانگین اثر اصلی تنش خشکی بر تعداد برگ نشان داد که بیشترین تعداد برگ در شرایط بدون تنش ایجاد شد و با افزایش سطوح تنش از تعداد برگ کاسته شد (شکل ۳). به‌طور کلی، تنش‌های محیطی سبب کاهش شاخص‌های رشد و جوانه‌زنی گیاه می‌شود، ولی استفاده از پیش‌تیمارهای مختلف بذری موجب بهبود این شاخص‌های جوانه‌زنی می‌شود [۵، ۶، ۷، ۲۸]. دلیل بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی در بذرهای تیمارشده به افزایش مصرف مواد ذخیره‌ای بذر و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در بذر تیمارشده نسبت داده شده است [۶ – ۸]. همچنین غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید در بعضی غلظت‌ها تأثیرات مثبت و افزایش غلظت این هورمون، تأثیرات منفی بر شاخص‌های جوانه‌زنی در شرایط تنش دارد که با نتایج تحقیق حاضر همسو است [۶].

مقایسهٔ میانگین اثر اصلی غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر تعداد برگ نشان داد که بیشترین تعداد برگ مربوط به غلظت ۱۰۰ قسمت در میلیون و کمترین تعداد برگ مربوط به غلظت صفر قسمت در میلیون بود (شکل ۴). در شرایط تنش خشکی، برگ‌ها کوچک‌تر و تعداد آنها کمتر می‌شود [۲۶].

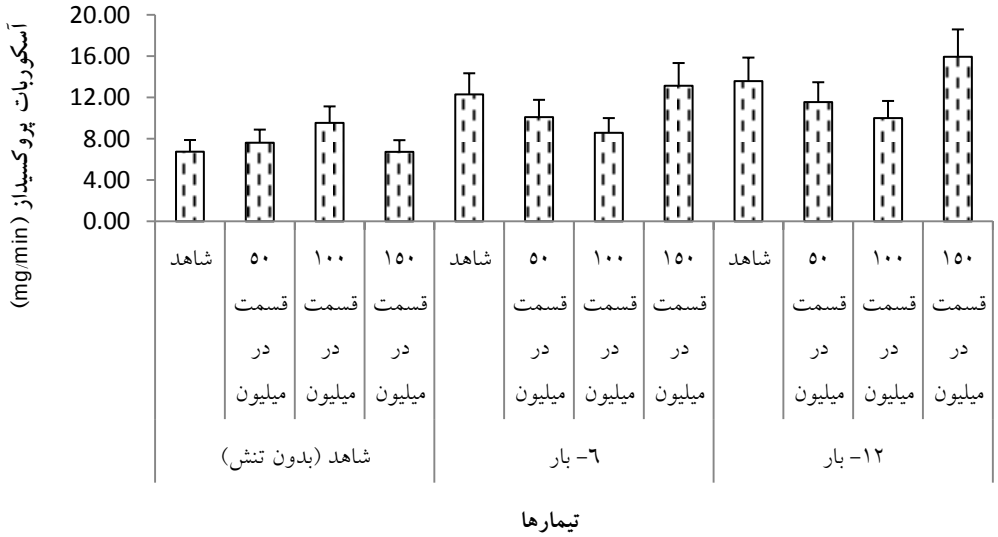
با افزایش سطح تنش مقدار پروتئین کاهش یافت (شکل ۶). استفاده از سالیسیلیک اسید سبب افزایش محتوای پروتئین شد. در گیاهانی که در معرض تنش خشکی قرار نگرفته بودند، به‌جز غلظت ۱۰۰ قسمت در میلیون، بقیهٔ غلظت‌ها اثری بر مقدار پروتئین نداشتند (شکل ۶). رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولیدشده طی تنش به‌علت میل ترکیبی زیاد با پروتئین‌ها و لیپیدها، سبب تخریب غشای سلولی، اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌های سلول می‌شوند [۳۰].

نتایج مقایسهٔ میانگین تأثیرات متقابل بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز نشان داد که تنش خشکی سبب افزایش فعالیت این دو آنزیم شد، ولی استفاده از سالیسیلیک اسید، کاهش فعالیت این آنزیم‌ها را در پی داشت (شکل‌های ۷ و ۸). شرایط تنش از مهم‌ترین عواملی است که سبب تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و پروکسید هیدروژن می‌شود [۲۸]. آنزیم کاتالاز این مولکول را به آب و اکسیژن تبدیل می‌کند و در طی این واکنش آسکوربات به‌عنوان دهندهٔ هیدروژن عمل می‌کند [۱۹]. بنابراین به‌نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید خود عامل آنتی‌اکسیدانت بوده که افزودن آن سبب کاهش احتمالی تنش و در نتیجه کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات

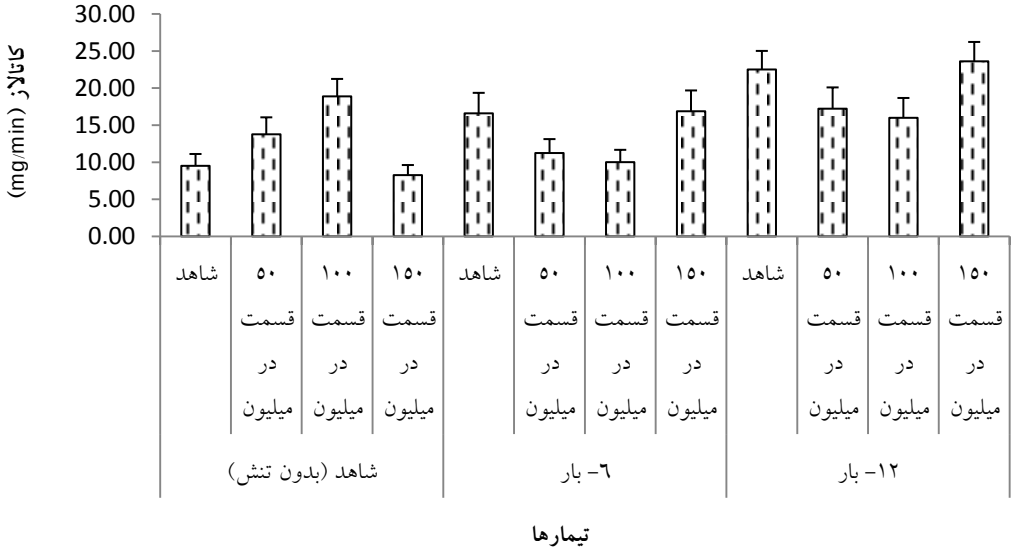
پراکسیداز شده است. همچنین افزایش فعالیت آنـزیم‌هـای آنتی‌اکسیدانت در شرایط تـنش مـی‌توانـد شاخصـی بـرای افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن درنظر گرفته شـود، به‌طوری‌که افزایش فعالیت آنـزیم‌هـای مـذکور در شـرایط تنش خشکی و شوری گـزارش شـده اسـت [۲۴]. غلظـت ۱۵۰ قسمت در میلیون سالیسیلیک اسـید حـالتی شـبیه بـه تنش ایجاد کرد و سبب افـزایش فعالیـت آنـزیم کاتـالاز و آسکوربات پراکسیداز شـد. همچنـین تـنش خشـکی سـبب افزایش پرولین شد کـه سالیسـیلیک اسـید مقـدار پـرولین را کاهش داد (شکل ۹). استفاده از سالیسیلیک اسید در گیاهـان شاهد سبب افزایش پرولین شد، ولی غلظت ۱۵۰ قسمت در میلیون، کاهش پرولین را در پی داشت (شکل ۹).



شکل ۶. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تیمار بذر با سالیسیلیک اسید و تنش خشکی بر مقدار پروتئین بافت زندهٔ برگ جو



شکل ۷. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تیمار بذر با سالیسیلیک اسید و تنش خشکی بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز برگ جو



شکل ۸. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تیمار بذر با سالیسیلیک اسید و تنش خشکی بر فعالیت آنزیم کاتالاز برگ جو

شکل ۹. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تیمار بذر با سالیسیلیک اسید و تنش خشکی بر مقدار پرولین بافت تازهٔ برگ جو

در شرایط تنش غلظت اسید آمینهٔ پرولین به‌عنوان مخزن ذخیره‌ای نیتروژن یا مادهٔ محلولی که پتانسیل اسمزی سیتوپلاسم را کاهش می‌دهد، عمل می‌کند و گیاه را در تحمل به تنش یاری می‌دهد و پرولین، پروتئین‌ها و غشاهای سلولی را از آسیب غلظت‌های زیاد یون‌ها حفظ می‌کند [۱۱]. به‌عبارت دیگر، افزایش غلظت پرولین تحت تنش ممکن است نشان‌دهندهٔ نقش احتمالی این اسید آمینه در تنظیم اسمزی باشد [۲۷]. در برگ‌های بالغ تجزیهٔ پروتئین‌ها موجب کاهش غلظت آنها و در نتیجه افزایش اسیدهای آمینهٔ آزاد نظیر پرولین می شود [۲۳]. شاید کاهش پرولین با استفاده از سالیسیلیک اسید به‌دلیل تجزیهٔ کمتر پروتئین‌ها باشد.

۴. نتیجه‌گیری

تنش خشکی سبب کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و پرولین شد. استفاده از سالیسیلیک اسید سبب بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی شد. سالیسیلیک اسید با کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و پرولین در شرایط تنش می‌تواند تأثیرات مضر تنش خشکی را کاهش دهد و سبب بهبود رشد گیاه در شرایط تنش شود. در این آزمایش، بهترین غلظت سالیسیلیک اسید برای مقابله با تأثیرات تنش خشکی، غلظت ۱۰۰ قسمت در میلیون در شرایط تنش و نبود تنش بود و غلظت‌های کمتر و بیشتر از این، تأثیرات مثبت کمتری بر مقابله با تنش خشکی ایجاد کردند.

منابع

۱. انصاری ا و شریف‌زاده ف (۱۳۹۱) پرایمینگ بذور چاودار با استفاده از تیمارهای هورمونی و اسمزی و تأثیر تیمارهای پس از پرایمینگ بر کیفیت و طول عمر بذور پرایم شده. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. کرج. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد.

۲. خدابنده ن (۱۳۸۹) غلات. مؤسسهٔ انتشارات و چاپ دانشگاه تهران. چاپ ۱۰. ۵۷۴ ص.

3. Aberg B (1981) Plant growth regulators XLI. Monosubstituted benzoic acid. Swedian Journal of Agriculture Research. 11: 93-105.

4. Allen RD (1995) Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. Plant Physiology. 57: 1049-1054.

5. Ashraf M and Rauf H (2001) Inducing salt tolerance in maize (*Zea mays* L.) through seed priming with chloride salts: growth and ion transport at early growth stages. Acta Physiologiae Plantarum. 23: 407-414.

6. Ansari O, Azadi MS, Sharif-Zadeh F and Younesi E (2013) Effect of hormone priming on germination characteristics and enzyme activity of mountain rye (*Secale montanum*) seeds under drought stress conditions. Stress Physiology and Biochemistry. 9(3): 61-71.

7. Ansari O, Choghazardi HR, Sharif Zadeh F and Nazarli H (2012) Seed reserve utilization and seedling growth of treated seeds of mountain rye (*Secale montanum*) as affected by drought stress. Cercetări Agronomice în Moldova. 2 (150): 43-48.

8. Ansari O and Sharif-Zadeh F (2012) Does Gibberelic acid (GA), Salicylic acid (SA) and Ascorbic acid (ASc) improve Mountain Rye (Secalemontanum) Seeds Germination and Seedlings Growth under Cold Stress?. International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 3(8): 1651-1657.

9. Basra SMA, Farooq M, Wahid A and Khan M B (2006) Rice seed invigoration by hormonal and vitamin priming. Seed Science and Technology. 34: 755-780.

10. Bates LS Waldern RP and Teave ID (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39: 205-207.

11. Bian, YM, Chen SY, Liu SK and Xie MY (1988) Effects of HF on praline of some plants. Plant Physiology Communications. 6: 19-21.

12. Bradford M (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Annual Review of Biochemistry. 72: 248-254.

13. Canakcl S and Munzuroglu O (2002) Effect of acetyl salicylic acid application to the roots of bean (*Phaseolus vulgariz* L.) and corn (*Zea mays* L.) seedlings on transpiration rate and weight changes. Journal of Science and Engineering. 14(2): 1-9.

14. Falleri E (1994) Effect of water stress on germination in six provenances of *Pinus pinaster* Ait. Seed. Science and Technology. 22: 591-599.

15. Gambel PE and Burke JJ (1984) Effect of water stress on the chloroplast antioxidant system. I. Alteration in glutathione reductase activity. Plant Physiology. 76: 615- 621.

16. Georgieva MD, Djilianov D, Konstantinova T and Parvanova D (2004) Screening of Bulgarian raspberry cultivars and elites for osmotic tolerance in vitro. Biotechnology Equip. 18(2): 95-98.

17. Hong Z, Lakkineni K, Zhang Z and Verma DS (2000) Removal of feedback inhibition of 1-pyrrolin -5-carboxylate synthetas resalts in increased prolin accumulation and prodaction of plant from osmotic stress. Plant Physiology. 122: 1129-1136.

18. Hus JL and Sung JM (1997) Antioxidant role of glutathione associated with accelerated aging and hydration of triploid Waremelon seeds. Physiological Plantrum. 100: 967-974.

19. Hegedus A, Erdei S and Horvath G (2001) Comparative studies of H_2O_2 detoxifying enzymes in green and greening barley seedlings under cadmium stress. Plant Science. 160: 1085-1093.

20. Iqbal M and Ashraf M (2007) Seed treatment with auxins modulates growth and ion partitioning in salt-stressed wheat plants. Integrative Plant Biology. 49: 1003-1015.

21. Janda T, Szalai G, Tari I and Paldi E (1999) Hydroponic treatment with salicylic acid decreases the effects of chilling injury in maize (*Zea mays* L.) plants. Planta. 208: 175-180.

22. Johnson LB and Cunningham BA (1972) Peroxidase activity in healthy and leaf-rustinfected wheat leaves. Phytochemistry. 11: 547-551.

23. Kao CH (1981) Senescense of rice leaves. VI. Comparative study of the metabolic changes of senescing turgid and water–stressed excised leaves. Plant and Cell Physiology. 22: 683-685.

24. Kukreja S Nandval AS Kumar N, Sharma SK, Sharma SK, Unvi V and Sharma PK (2005) Plant water status, H2O2 scavenging enzymes, ethylene evolution and membrane integrity of *Cicer arietinum* roots as affected by salinity. Biology Plantarum. 49: 305-308.

25. Lascano HR, Antonicelli GE, Luna CM, Melchiorre MN, Gomez LD, Racca RW, Trippi VS and Casano LM (2005) Antioxidant system response of different wheat cultivars under drought : field and in vitro studies. Australian Journal of Plant Physiology. 28: 1095-1102.

26. Leport L, Turner NC, French RJ, Barr MD, Duda R, Davies SL, Tennant D and Siddique KHM (1999) Physiological responses of chickpea genotypes to terminal drought in a Mediterranean-type environment. European Journal of Agronomy. 11: 279-291.

27. Martin M, Micell F, Morgan JA, Scalet M and Zerbi G (1993) Synthesis of osmotically active substances in winter wheat leaves as related to drought resistance of different genotypes. Agronomy and Crop Science. 171: 176-184.

28. Noctor G and Foyer CH (1998) Ascorbate and glutathione: Keeping active oxygen under control. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 49: 249-279.

29. Patade VY, Maya K and Zakwan A (2011) Seed priming mediated germination improvement and tolerance to subsequent exposure to cold and salt stress in capsicum. Research Journal of Seed Science. 4 (3): 125 -136.

30. Pignocchi C and Foyer CH (2003) Apoplastic ascorbate metabolism and its role in the regulation of cell signaling. Current Opinion in Plant Biology. 6: 379-389.

31. Sairam RK and Saxena DC (2000) Oxidative stress and antioxidant in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. Journal of Agronomy and Crop Science. 184: 55-61.

32. Sairam RK and Srivastava GC (2002) Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. Plant Science. 162: 897-904.

33. Sairam RK and Srivastava GC (2001) Water stress tolerance of wheat *Triticum aestivum* L.: Variation in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activiy in tolerant and susceptible genotype. Journal of Agronomy and Crop Science. 186: 63-70.

34. Schneider EC and Gupta SC (1985) Corn emergence as influenced by soil temperature, matric potential and aggregate size distribution. Soil Science Society of America. 49: 415-422.

35. Sgherri CLM, Maffei M and Navari-Izzo F (2000) Antioxidative enzymes in wheat subjected to increasing water deficit and rewatering. Plant Physiology. 157:273-279.

36. Trautwein EA, Reickhoff D and Erbershobler HF (1997) The cholesterol- lowering effect of Psyllium a source dietary fiber. Ernhurung Umschau. 44: 214-216.