به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۰ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۷
صفحه‌های ۵۰۲-۴۸۷

کاهش اثرات تنش کمبود آب در ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) با استفاده از پرایمینگ بذر

شهرام طاهری[1*]، احمد غلامی[2]، حمید عباس‌دخت[2]، حسن مکاریان[2]

۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
۲. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۰۳

چکیده

به‌منظور ارزیابی استفاده از پرایمینگ بذر جهت کاهش اثرات تنش کمبود آب در ارقام گلرنگ، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹٤ در مرکز تحقیقات کشاورزی شاهرود اجرا گردید. کرت اصلی شامل آبیاری در سه سطح بر اساس میزان تبخیر از تشتک تبخیرکلاس A شامل: عدم تنش کم‌آبی (٦۰ میلی‌متر تبخیر)، تنش کم‌آبی ملایم (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) و تنش کم‌آبی شدید (۱۸۰ میلی‌متر تبخیر) و کرت فرعی ترکیبی از دو فاکتور ارقام گلرنگ (گلدشت، سینا و صفه) و پرایمینگ بذر (بذور تیمارشده با اسیدسالیسیلیک و بذور شاهد) بود. نتایج نشان داد که تنش آبی شدید موجب کاهش ۲۹ درصدی عملکرد دانه نسبت به شرایط نرمال شد که در این شرایط به‌ترتیب ۳۳، ۲۵، ۲۹ و ٤۰ درصد بر فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز افزوده شد و محتوای مالون‌دی‌آلدئید، پرولین و کارتنوئید افزایش معنی‌داری یافت، ولی از میزان کلروفیل کاسته شد. براساس نتایج حاصل از آزمایش پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک، با افزایش هفت تا نه درصدی فعالیت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش کم‌آبی، موجب بهبود عملکرد دانه در شرایط تنش گردید. برهمکنش آبیاری و رقم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز داشت.

کلیدواژه‌ها: آنتی‌اکسیدان، اسید سالیسیلیک، پرولین، کلروفیل، مالون‌دی‌آلدئید.

Email: taheri4448@gmail.com
* نویسنده مسئول

Archive of SID
www.SID.ir

۱. مقدمه

خشکسالی یکی از شایع‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که با تأثیر در رشد گیاه و بهره‌وری محصول به‌طور جدی در سراسر جهان مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر اهمیت اقتصادی و محیطی خشکسالی، افزایش نگرانی در مورد تأثیرات تغییرات آب‌وهوایی در خشکسالی آینده ابراز شده است [۲۳]. با این حال، شدت و مدت کمبود آب و همچنین گونه، توسعه و وضعیت متابولیسم گیاهان از عوامل مهمی است که واکنش گیاه به تنش خشکی را تعیین می‌کند [٤٢].

گلرنگ با نام علمی (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از گیاهان روغنی است که بومی ایران بوده و به‌دلیل قابلیت‌هایی نظیر قدرت سازگاری بالا با شرایط نامساعد، مقاومت به خشکی و شوری و همچنین داشتن روغنی با کیفیت بالا مورد توجه می‌باشد [۹]. درصد روغن دانه این گیاه در شرایط مناسب به ٤٥ درصد می‌رسد [۱۱]. اگرچه گلرنگ گیاهی مقاوم به خشکی است ولی عملکرد آن در شرایط خشکی به‌طور قابل‌توجهی بی‌ثبات است. برای مثال، خشکسالی بر عملکرد و اجزای عملکرد آن تأثیر می‌گذارد [۳۷]. همچنین گزارش شده که در تنش آبی ملایم، محتوای لیپید کل گلرنگ افزایش یافته اما در تنش آبی شدید، محتوای لیپید کل کاهش می‌یابد [۲٦].

تجمع گونه‌های فعال اکسیژن[1] به‌عنوان یک اعلام خطر جهت پاسخ دفاعی سلول گیاهی در برابر شرایط تنش‌های محیطی (از جمله تنش کم‌آبی) مطرح است. مرگ سلولی در بافت‌های گیاهی به‌شدت تنش اکسیداتیو حاصل از عوامل محیطی مختلف وابسته است .ایجاد پاسخ فیزیولوژیکی در گیاهان و شناسایی آن‌ها منجر به ایجاد فنوتیپ‌های مناسب می‌گردد. گیاهان دارای سیستم آنتی‌اکسیدانی هستند که تولید اضافی ROS را در شرایط تنش کنترل می‌کند و بنابراین آن‌ها را در مقابل آثار مضر ROS محافظت می‌کند [۳٦]. در شرایط خشکی، تنش اکسیداتیو در گیاهان القاءشده که نتیجه آن افزایش ترکیبات ROS می‌باشد. در این شرایط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند: سوپراکسیددیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز افزایش می‌یابند [۲۸].

یکی از ترکیباتی که در ایجاد تحمل در برابر تنش خشکی در گیاه مؤثر است، ترکیب شبه‌هورمونی اسید سالیسیلیک (SA) است. اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنلی گیاهی است که به‌عنوان یک هورمون گیاهی و تنظیم‌کننده رشد شناخته‌شده و نقش آن در ارتباط با مکانیسم‌های دفاعی در برابر عوامل تنش‌زای زیستی و غیرزیستی به‌خوبی مشخص شده است [۲۸]. مطالعات انجام‌شده روی گلرنگ نشان داد که با به‌کار بردن اسید سالیسیلیک به‌صورت خارجی در شرایط تنش خشکی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات و گایاکول بهبود می‌یابد [۵]. همچنین آزمایش دیگری نشان داد که پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک، باعث بهبود عملکرد دانه و شاخص برداشت گلرنگ در شرایط تنش آبی گردید [٦]. با جوانه‌زنی سریع، تعداد روزهای از سبز شدن تا برداشت کوتاه شده و پتانسیل عملکرد گیاه افزایش می‌یابد، که می‌توان با استفاده از تکنیک پرایمینگ بذر با ترکیبات هورمونی گیاهی، سرعت جوانه‌زنی، ظهور گیاهچه، رشد و میزان عملکرد گیاه را افزایش داد [٤۰]. نتایج بررسی‌ها روی دو رقم گلرنگ نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی گردید [۱۰].

در سال‌های اخیر، به‌علت تغییرات در شرایط آب وهوایی و نیز افزایش دی‌اکسیدکربن اتمسفری، اثرات

1. Reactive oxygen species (ROS)

Archive of SID
www.SID.ir

تنش کم‌آبی بسیار شدیدتر شده است. بنابراین شناسایی واریته‌های گیاهی مقاوم به تنش کم‌آبی و بررسی مکانیسم‌هایی که گیاهان را قادر می‌سازد تا با تنش خشکی سازش پیدا کنند و رشدشان را در آن شرایط حفظ نمایند، درنهایت می‌تواند در انتخاب گیاهان مقاوم به تنش برای کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک کند. بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک بر میزان و فعالیت عوامل آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی و بهبود تحمل به کم‌آبی ارقام گلرنگ انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی استفاده از پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک جهت کاهش اثرات تنش کمبود آب در ارقام گلرنگ به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹٤ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی شاهرود به اجرا درآمد. عوامل آزمایشی به‌ترتیب شامل آبیاری در سه سطح بر اساس میزان تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A شامل: عدم تنش کم‌آبی (٦۰ میلی‌متر تبخیر)، تنش کم‌آبی ملایم (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) و تنش کم‌آبی شدید (۱۸۰ میلی‌متر تبخیر) به‌عنوان کرت اصلی، سه رقم گلرنگ (گلدشت، سینا و صفه) و پرایمینگ در دو سطح (بذور تیمارشده با اسید سالیسیلیک و بذور شاهد) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی پیاده شدند.

جهت انجام پرایمینگ کیسه‌های توری حاوی بذور گلرنگ در ظروف آکواریومی حاوی محلول اسید سالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار داخل اتاقک رشد به‌مدت شش ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. هوادهی به کمک پمپ هوا انجام شد تا با ایجاد حباب در محلول پرایمینگ، اکسیژن کافی در دسترس بذور در حین تیماردهی قرار گیرد. بعد از تیمار، بذور در جریان هوا تحت شرایط سایه با دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد خشکانده شدند تا به رطوبت پایه برسند سپس بذور در دمای پنج درجه سانتی‌گراد تا زمان کاشت نگهداری شدند.

در مزرعه ابعاد هر کرت ۵×۲ متر و شامل چهار ردیف کاشت بود. فاصله ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف کاشت پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد. به‌منظور جلوگیری از ورود آب به کرت‌های مجاور، بین هر دو کرت مجاور یک خط نکاشت قرار داده شد. قبل از شروع عملیات آماده‌سازی زمین، نمونه‌هایی از خاک تهیه و مورد آزمایش قرار گرفته و بر اساس نتایج آزمون خاک در طول فصل رشد کوددهی انجام شد (جدول۱).

روش آبیاری قطره‌ای نواری بود و پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها و در مرحله سه تا چهار برگی، عملیات تنک انجام گردید. آمار تبخیر به‌صورت روزانه از ایستگاه هواشناسی مستقر در محل آزمایش دریافت گردید و تیمارهای آبیاری بر اساس تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A اعمال گردید.

جدول ۱. برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	شن	سیلت	رس	مواد خنثی شونده	کربن آلی	پتاسیم	فسفر	سولفات	سدیم	هدایت الکتریکی	اسیدیته
	٪					(پی‌پی‌ام)	(پی‌پی‌ام)	(میلی‌اکی‌والان در لیتر)	(میلی‌اکی‌والان در لیتر)	(دسی‌زیمنس بر متر)	
لومی شنی	٥٦	۳۲	۱۲	۲٤	۰/٤٦	۲٤۰	۱۱	۱/۹	٤/۲	۱/۱	۸/۱۲

Archive of SID
www.SID.ir

برای اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی ابتدا ۵۰ میلی‌گرم نمونه برگی تازه از هر تیمار آزمایشی در پنج میلی‌لیتر دی متیل سولفوکساید[1] به‌مدت چهار ساعت در دمای ٦٥ درجه سانتی‌گراد در حمام آب گرم قرار داده شد. سپس جذب نوری عصاره‌های برگی در طول موج‌های ٤٨٠، ٦٤٩ و ٦٦٥ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری شد. در نهایت با فرمول‌های مربوطه ابتدا کلروفیل a و b و سپس کلروفیل کل و کاروتنوئید بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه گردید [٤١].

فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز[2] با استفاده از سنجش مهار احیای نوری[3] نیتروبلوتترازولیوم[4] به‌روش بیوچمپ و فریدویچ انجام گرفت. بدین منظور ابتدا محلول بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار با اسیدیته ۷/۵ تهیه و جهت جلوگیری از نور با فویل آلومینیومی به خوبی پوشانده شد. سپس برای تهیه مخلوط واکنش، ترکیبات شامل ای‌دی‌تی‌آ[5] ۰/۱ میلی‌مولار، نیتروبلوتترازولیوم ۷۵ میکرومولار، متیونین[6] ۱۳ میلی‌مولار، ریبوفلاوین[7] چهار میکرومولار، به‌ترتیب به بافر اضافه شدند. سپس ۱۰۰ میکرولیتر از هر نمونه عصاره برگ را با سمپلر در هر لوله آزمایش ریخته و سه میلی‌لیتر از محلول فوق به آن اضافه شد. بعد از این مرحله، خیلی سریع لوله‌ها داخل جا لوله‌ای و تحت روشنایی لامپ فلورسنت (٤٠ وات) با فاصله ۵۰ سانتی‌متر، قرار داده شدند که بلافاصله واکنش آغاز گردید. پس از گذشت ۱۵ دقیقه جذب نمونه‌ها در طول موج ٥٦٠ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد [٢٠].

فعالیت آنزیم پراکسیداز[8] به روش هالی اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ابتدا دو میلی‌لیتر تامپون استات ۰/۲ مولار با اسیدیته پنج، ۰/۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۰/۳ درصد و ۰/۱ میلی‌لیتر بنزیدین[9] ۰/۰۲ مولار محلول در متانول ۵۰ درصد، در حمام یخ مخلوط شدند. سپس ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی برگ به این مخلوط واکنش اضافه شد. منحنی جذب نوری نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در دمای اتاق، هر ۳۰ ثانیه به‌مدت سه دقیقه در طول موج ۵۳۰ نانومتر رسم شد [٣٢].

فعالیت آنزیمی آسکوربات پراکسیداز[10] از روش آسادا و تاکاهاشی انجام شد. بر این اساس، ابتدا دو میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۰/۰۵ مولار با اسیدیته ٦/٥ با دو میلی‌لیتر آب اکسیژنه سه درصد و دو میلی‌لیتر آسکوربات پنج میکرومولار در حمام یخ مخلوط شده، بلافاصله ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی برگ اضافه و منحنی تغییرات جذب در ٢٥٦ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر به مدت دو دقیقه و با فواصل ۱۰ ثانیه، بررسی شد [١٨].

برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز[11] از روش کندلی و اسکاندیلوس استفاده گردید. بدین منظور ابتدا ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۰/۰۵ مولار با اسیدیته هفت و ۰/۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه سه درصد در حمام یخ با یکدیگر مخلوط شدند و بلافاصله ۰/۲ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی برگ به آن افزوده شد و منحنی تغییرات جذب در طول موج ٢٤٠ نانومتر به مدت سه تا چهار دقیقه بررسی شد [٢١].

سنجش میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشا با استفاده

1. Dimethyl sulfoxide
2.-Superoxide dismutase (SOD)
3. Photoreduction
4. Nitroblue teerazolium chloride- Monohydrate (NBT)
5. Ethylenediaminetetraacetic acid(EDTA)
6. Methionine
7. Riboflavin
8. Peroxidase (POX)
9. Benzidine
10. Ascorbate peroxidase (APX)
11. Catalase (CAT)

Archive of SID
www.SID.ir

از روش هس و پاکر براساس تشکیل کمپلکس مالون‌دی آلدئید[1] حاصل از پراکسیداسیون لیپیدهای غشا با اسید تیوباربیتوریک[2] انجام شد. به این منظور ۰/۲ گرم بافت تر برگ با پنج میلی‌لیتر اسید تری‌کلرواستیک[3] ۰/۱ درصد در هاون چینی به‌خوبی ساییده و همگن شد. همگنای حاصل به‌مدت پنج دقیقه و در ۱۰۰۰۰ دور سانتریفیوژ گردید. سپس یک میلی‌لیتر از محلول روشناور با چهار میلی‌لیتر از محلول اسید تری کلرواستیک ۲۰ درصد که حاوی اسید تیوباربیتوریک ۰/۵ درصد بود، مخلوط شد. محلول حاصله به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام آبگرم ۹۰ درجه قرار گرفت و بعد از اتمام این مدت به حمام یخ منتقل شد. در مرحله بعد، مجدداً به‌مدت ۱۰ دقیقه و در ۱۰۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد و جذب نوری هر یک از نمونه‌ها در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد [۲۹].

میزان پرولین[4] با استفاده از روش بیتس اندازه‌گیری شد. بدین منظور ۰/۲ گرم از بافت برگ در چهار میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک[5] آبدار سه درصد کاملاً سائیده شده تا همگن شود. سپس هموژن حاصل توسط کاغذ صافی واتمن شماره دو صاف و از محلول حاصل برای سنجش پرولین استفاده گردید. دو میلی‌لیتر از هموژن با دو میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین[6] و دو میلی لیتر اسید استیک گلاسیال[7] در یک لوله آزمایش مخلوط شدند. لوله‌های آزمایش به‌مدت یک ساعت در حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس بلافاصله نمونه‌ها به ظرف حاوی یخ منتقل شدند تا واکنش خاتمه یافته و سپس به دمای اتاق منتقل شدند. سپس به محتویات داخل لوله آزمایش چهار میلی‌لیتر تولوئن[8] افزوده و به‌مدت ۳۰ ثانیه به‌شدت مخلوط شدند. پس از مدت ۲۰ دقیقه، جذب نوری محلول فوقانی در۵۲۰ نانومتر خوانده شد و با استفاده از منحنی استاندارد، غلظت پرولین در محلول محاسبه گردید [۱۹].

برای محاسبه عملکرد دانه در واحد سطح، مساحتی معادل چهار متر مربع از دو خط کاشت میانی با رعایت حاشیه برداشت گردید و پس از خرمن‌کوبی، بوته‌ها با ترازوی دقیق توزین شد. برای اندازه‌گیری شاخص برداشت نسبت عملکرد دانه ۱۰ بوته (محاسبه‌شده با رطوبت ۱۰ درصد) به وزن خشک اندام هوایی محاسبه گردید.

تجزیه آماری داده‌های آزمایش با نرم‌افزار آماری SAS (9.1) و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD انجام و شکل‌ها با نرم‌افزار Excel رسم شدند.

۳. نتایج و بحث

بررسی نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه نشان داد که اثرات رژیم آبیاری، رقم و پرایمینگ بذر و برهمکنش رژیم آبیاری و رقم در سطح احتمال یک درصد عملکرد گلرنگ را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). تنش کم‌آبی شدید نسبت به عدم تنش کم‌آبی سبب کاهش عملکرد دانه از ۳۰۷۲ به ۲۱۹۲ کیلوگرم در هکتار گردید که این میزان کاهش در حدود ۲۹ درصد بود (جدول ۳). نتایج اثر رقم نشان داد که عملکرد دانه رقم گلدشت نسبت به رقم سینا حدود ۲۵ درصد بیشتر بود و با عملکرد رقم صفه در یک گروه آماری قرار داشت (جدول ۳). نتایج نشان داد که عملکرد دانه در بذور پرایم‌شده نسبت به بذور پرایم‌نشده در حدود ۱۰ درصد افزایش یافت

1. Malondialdehyde (MDA)
2. Thiobarbituric acid (TBA)
3. Trichloro acetic acid
4. Proline
5. Sulfosalicylic acid
6. Ninhydrin
7. Acetic acid glacial
8. Toluene

Archive of SID
www.SID.ir

(جدول ۳). بررسی نتایج مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و رقم بر عملکرد دانه نشان داد که بیشترین مقدار از رقم گلدشت در شرایط عدم تنش کم‌آبی با ۳۵۲۷ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه از رقم سینا در شرایط تنش کم‌آبی شدید با ٤٨ درصد کاهش و معادل ۱۸۲۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (شکل۱). کمبود آب باعث بسته‌شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش میزان گازکربنیک ورودی به گیاه شده که سبب کاهش فتوسنتز و کاهش عملکرد نهایی دانه ارقام گلرنگ می‌شود. نتایج مطالعات انجام‌شده روی تأثیر تیمارهای آبیاری در چهار سطح (تبخیر تجمعی ٦٠، ۱۰۰، ۱٤٠ و ۱۸۰ میلی‌متر) از تشتک تبخیر کلاسA در گیاه گلرنگ نشان داد که افزایش میزان آبیاری سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه می‌گردد به‌طوری‌که عملکرد دانه در تیمار ٦٠ میلی‌متر نسبت به ۱۸۰ میلی‌متر، ۱۱۰درصد افزایش یافت [۸]. با اعمال پرایمینگ، پنجه‌زنی بیشتر، گل‌دهی و رسیدگی زودتر و در نتیجه عملکرد افزایش می‌یابد [۲۷]. گزارش شده است که علت افزایش عملکرد در گلرنگ در نتیجه اعمال پرایمینگ، استقرار سریع‌تر، بهتر و یکنواخت گیاهچه‌ها بوده که موجب افزایش عملکرد تا ۳۵ درصد گردید [۳]. همچنین، نتایج مطالعات انجام‌شده بر روی ارقام گلرنگ نشان داد که تنش کم‌آبی موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شده که میزان کاهش در ارقام مختلف متفاوت بود [۳۹]. نتایج تحقیقات انجام‌شده روی پرایمینگ بذر گیاهان زراعی در ایران به روش متاآنالیز نشان داد که پرایمینگ بذر با ترکیبات هورمونی مانند اسید سالیسیلیک موجب افزایش ۳۱ درصدی عملکرد گیاهان گردید، که علت آن بازسازی غشای سلولی، افزایش سنتز پروتئین، حرکت بهتر قندها و پروتئین‌ها و رشد سریع‌تر جنین در اثر اعمال پرایمینگ اعلام گردید [٤٠].

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی آزمایش

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		عملکرد دانه	شاخص برداشت	سوپراکسید دیسموتاز	پراکسیداز	آسکوربات پراکسیداز	کاتالاز	مالون دی آلدئید	پرولین	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید
بلوک	۲	٥٩٤٤٥٢^{ns}	۱/۷۹^{ns}	۱۲٦/٤^{ns}	۸/۱٤^{ns}	۳۸/۲۲^{ns}	۰/٥٦^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۲/۱۷^{ns}	۰/۱۸^{ns}	۰/۰۹^{ns}	۰/۳۱^{ns}	۰/۳٦٥^{ns}
آبیاری	۲	۳٥۹۲۰٤۳**	٤٥/۱۲**	۷۱۲۷/۱*	٦٦/٦۹**	٥٤٦/٤٤*	٦۲/۸٦**	۰/۳٦*	۳۷٦/٤۷**	۳/۱۳*	٤/۰۲*	۱۳/۹۷**	۱٤/۱۳*
اشتباه اصلی	٤	۱۷۳٥٤۲	۰/۳۲	۷۰۸/۳	۱/۸۹	٦۳/۹۳	۳/٤۷	۰/۰٤۷	۲۰/۲۸	۰/۲٤	۰/٤۹	۰/٦۳	۱/۸٤
رقم	۲	۲۸٤۳٦۲٤**	۲۹/٤٦**	۱۱۷۳٦/۰**	۱۲۳/٥٤**	۲٥۸/۸۳**	۲٥/۹٤**	۰/۰۲^{ns}	۸/٤٦**	۱/٥۱**	۰/۲٦*	۲/۸٦**	۲/٥٥*
آبیاری × رقم	٤	۳٥٥۱۳٥**	٦/۷٤^{ns}	۲۸٦/۹^{ns}	۸/٥٤*	٥۷/٦۸**	۳/٤۹**	۰/۰۱^{ns}	۱/۰٥^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۰/۰٦^{ns}	۰/٤۲^{ns}	۱/۸۱^{ns}
پرایمینگ بذر	۱	۱۱۷۳۳٦۲**	۱۳/٥۰*	۱۲۹۰/۷*	۱۲/۹۰*	٦۲/۹٤*	٤/۷٤*	۰/۰۳*	۲/٤۹^{ns}	۰/۰۹^{ns}	۰/۰۰٦^{ns}	۰/۰٥^{ns}	۰/٦۹^{ns}
پرایمینگ × آبیاری	۲	۲۹٦٦۰^{ns}	۰/۷۲^{ns}	٦۳/٤^{ns}	۱/٥۳^{ns}	٦/۰۰^{ns}	۱/۸۸^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۳۱^{ns}
رقم × پرایمینگ	۲	٦٦٥۳۲^{ns}	۱/۳۸^{ns}	۱۲۰/٦٦^{ns}	۱/۲٤^{ns}	۳/۳٥^{ns}	۰/۰٦^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۱/۷۲^{ns}	۰/۲۱^{ns}	۰/۰۱۱^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۰/٦۸^{ns}
رقم × پرایمینگ × آبیاری	٤	۱٦۸۰۱^{ns}	۰/۲۷^{ns}	٥۰/۳۸^{ns}	۲/۰٤^{ns}	۱/٤٥^{ns}	۰/٤۱^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۱/٥٦^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۰/۰۳۲^{ns}	۰/۱٦^{ns}	۰/۳۸^{ns}
اشتباه فرعی	۳۰	۸۸۲٥۳	۲/۷۹	۲۰٤/۲۷	۲/۸۹	۱۰/۲۰	۰/۷۹	۰/۰٦	۰/۸٥	۰/۱۳	۰/۰٥۱	۰/۱۸	۰/۷٤
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۱/۰۹	۷/۱۷	۱٤/٦۳	۱۳/۳٤	۱۰/٥۸	۱۱/٦۹	۱٤/۳۷	۸/۰۱	۸/۹٦	۱۲/۹۲	۷/۲۷	۱۰/٥٤

ns، * و **: غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

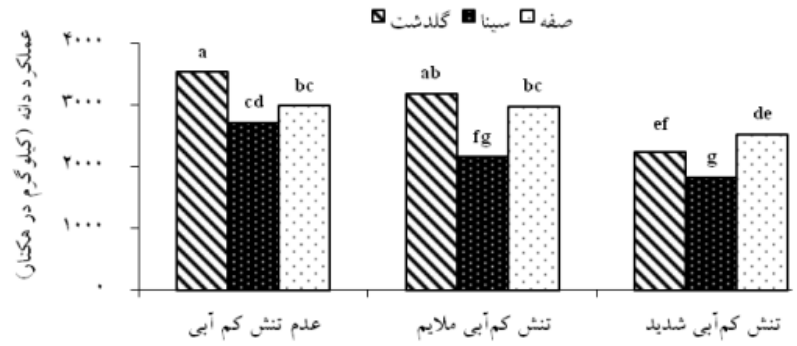
Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. مقایسات میانگین اثر عوامل آزمایشی بر صفات مورد مطالعه

تیمارهای آزمایشی	عملکرد دانه (کیلوگرم در کنار)	شاخص برداشت (٪)	سوپراکسید دیسموتاز	پراکسیداز	آسکوربات پراکسیداز	کاتالاز	مالون دی آلدئید (نانومول بر گرم وزن تر)	پرولین(میکرومول بر گرم وزن تر)	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید
			(واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)						(میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)			
رژیم آبیاری:												
عدم تنش کم‌آبی	۳۰۷۲ a	۲٤/۸۹a	۷۹/۱۷ b	۱۱/۱٤ b	۲۵/۷۹ b	۵/۵۳b	۰/٤۱۹ b	۷/۷۷ b	٤/٤۹ a	۲/۲۳ a	٦/۷۳ a	۷/۲۸ b
تنش کم‌آبی ملایم	۲۷٦۸a	۲۳/۳۳ b	۹۵/۱۱ ab	۱۲/۲۹ b	۲۸/۳۹ b	۸/۰۰ a	۰/۵٤۱ ab	۱۰/۲٤ b	٤/۲٦ a	۱/۷۲ ab	۵/۹۸ b	۸/۱٦ ab
تنش کم‌آبی شدید	۲۱۹۲b	۲۱/۷۲c	۱۱۸/۷۲ a	۱٤/۸۸ a	۳٦/۳۷ a	۹/۲۰a	۰/۷۰۲ a	۱٦/٦۳ a	۳/٦۸ b	۱/۲۹b	٤/۹۷ c	۹/۰۵ a
پرایمینگ بذر:												
شاهد	۲۵۳۰ b	۲۲/۸۱b	۹۲/۷۸ b	۱۲/۲۹ b	۲۹/۱۰ b	۷/۲۸b	۰/۵۸۰ a	۱۱/۳۳ a	٤/۱۰ a	۱/۷٦ a	۵/۸٦ a	۸/۲۷ a
پرایمینگ	۲۸۲۵ a	۲۳/۸۲ a	۱۰۲/۵٦ a	۱۳/۲۵ a	۳۱/۲٦ a	۷/۸۷a	۰/۵۲۹ b	۱۱/۷٦ a	٤/۱۹ a	۱/۷٤a	۵/۹۳ a	۸/۰۵ a
رقم:												
گلدشت	۲۹۸۱ a	۲۳/۳۹ b	۱۲۵/۳۳ a	۱۲/٦٤ b	۳٤/۵٦ a	۸/۱۷ a	۰/۵۳٦ a	۱۰/۹۲ b	٤/٤٤ a	۱/۸۳ a	٦/۲۷ a	۸/۵۰ a
سینا	۲۲۲۷ b	۲٤/۵٦ a	۹۲/٦۷ b	۱۰/۲۱ c	۲۷/۹۱ b	۸/۳۷ a	۰/۵۳۷ a	۱۱/٤۵ b	۳/۸۷ c	۱/٦۱ b	۵/٤۸ c	۷/۷٦ b
صفه	۲۸۲٤ a	۲۲/۰۰ c	۷۵/۰۰ c	۱۵/٤٦ a	۲۸/۰۷ b	٦/۲۰ b	۰/۵۸۹ a	۱۲/۲۸ a	٤/۱۳ b	۱/۸۱ a	۵/۹۳ b	۸/۲۳ ab

میانگین ستون‌های با حرف‌های متفاوت، دارای اختلاف معنی‌دار آماری در سطح پنج درصد توسط آزمون LSD هستند.



شکل ۱. برهمکنش آبیاری و رقم بر عملکرد دانه گلرنگ

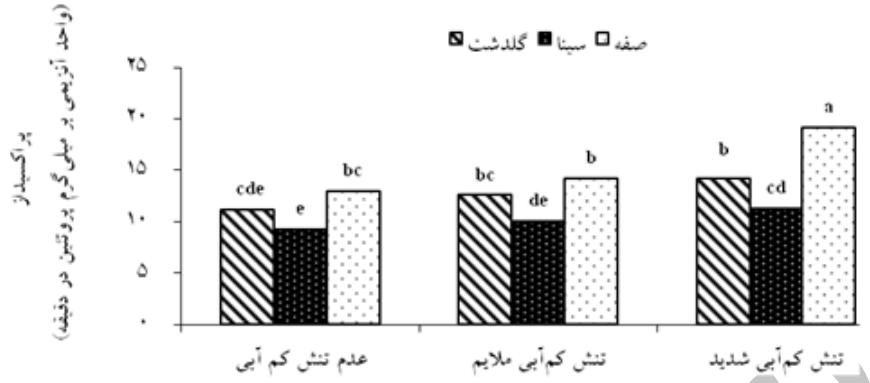
بررسی نتایج تجزیه واریانس شاخص برداشت نشان داد که اثر رژیم آبیاری و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر پرایمینگ بذر در سطح احتمال پنج درصد شاخص برداشت را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). در این بررسی شاخص برداشت در تنش کم‌آبی شدید نسبت به عدم تنش کم‌آبی از ۲٤/۸۹ به ۲۱/۷۲ درصد کاهش یافت (جدول ۳). نتایج اثر رقم بر شاخص برداشت نشان داد که شاخص برداشت رقم سینا نسبت رقم صفه ۲/۵٦ درصد و نسبت به رقم گلدشت ۱/۱۷ درصد بیشتر بود (جدول ۳). نتایج اثر پرایمینگ بذر نشان داد که این صفت در بذور پرایم شده نسبت به بذور تیمار نشده در حدود یک درصد افزایش یافت (جدول ۳). اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص برداشت در گیاه گلرنگ توسط محققان مختلف گزارش شده است [۷، ۱۲ و ۱۵].

www.SID.ir

بررسی نتایج تجزیه واریانس فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) نشان داد که اثر رژیم آبیاری و پرایمینگ بذر در سطح احتمال پنج درصد و اثر رقم در سطح احتمال یک درصد فعالیت آنزیم SOD را تحت تأثیر قرار دادند (جدول۲). تنش کم‌آبی شدید نسبت به عدم تنش کم‌آبی سبب افزایش فعالیت آنزیم SOD از ۷۹/۱۷ به ۱۱۸/۷۲ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه و به میزان حدود ۳۳ درصد گردید (جدول ۳). نتایج اثر رقم بر فعالیت آنزیم SOD نشان داد که میزان SOD رقم گلدشت نسبت به رقم سینا حدود ۲٦ درصد و نسبت به رقم صفه ٤۰ درصد بیشتر بود (جدول ۳). نتایج اثر پرایمینگ بذر بر فعالیت آنزیم SOD نشان‌دهنده افزایش حدود نه درصدی فعالیت آنزیم SOD در بذور پرایم شده نسبت به بذور شاهد بود (جدول ۳). افزایش رادیکال‌های آزاد مثل سوپراکسید، نتیجه مواجهه گیاه با تنش‌های محیطی مانند خشکی است. در این راستا واکنش بعدی گیاه، سنتز و فعالیت بیشتر SOD در جهت خنثی‌سازی هرچه بیشتر آنیون مخرب سوپراکسید می‌باشد. نتایج تحقیقات روی گلرنگ بیانگر همبستگی مثبت و بسیار بالا، بین تحمل به تنش آبی و افزایش غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌باشد [٤ و ١٦]. بررسی‌ها نشان داده‌اند که در تنش‌های شدید، غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تا دو برابر افزایش می‌یابد که نتیجهٔ آن مقاومت بیشتر گیاه به این تنش‌ها می‌باشد [۲۵]. مطالعات انجام‌شده روی ارقام گلرنگ بیانگر افزایش فعالیت SOD در شرایط تنش خشکی در مقایسه با شاهد بود [۳۱].

بررسی نتایج تجزیه واریانس فعالیت آنزیم پراکسیداز (POX) نشان داد که اثر رژیم آبیاری و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر پرایمینگ بذر و برهمکنش رژیم آبیاری و رقم در سطح احتمال پنج درصد فعالیت آنزیم POX را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). در این مطالعه تنش کم‌آبی شدید نسبت به عدم تنش کم‌آبی سبب افزایش فعالیت آنزیم POX از ۱۱/۱٤ به ۱٤/۸۸ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه و در حدود ۲۵ درصد گردید (جدول ۳). نتایج اثر رقم نشان داد که میزان POX رقم صفه نسبت به رقم گلدشت حدود ۱۸ درصد و نسبت به رقم سینا ۳٤ درصد بیشتر بود (جدول ۳). نتایج اثر پرایمینگ بذر نشان‌دهنده افزایش حدود هفت درصدی میزان POX در بذور پرایم شده نسبت به بذور شاهد بود (جدول۳). بررسی نتایج برهمکنش رژیم آبیاری و رقم بر فعالیت آنزیم POX نشان داد که بیشترین مقدار از تیمار رقم صفه در شرایط تنش کم‌آبی شدید با ۱۹/۱۷ و کمترین میزان POX از رقم سینا در شرایط عدم تنش کم‌آبی با ۵۲ درصد کاهش معادل ۹/۲۵ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه به‌دست آمد (شکل۲). در مطالعه حاضر با افزایش شدت تنش آبی میزان فعالت آنزیم پراکسیداز در همه ارقام مورد بررسی افزایش یافت. ولی میزان افزایش در رقم صفه بیشتر بود. عملکرد دانه این رقم با توانایی بالاتر دفاع آنتی‌اکسیدانی با آنزیم پراکسیداز در شرایط تنش کاهش کمتری یافت. آنزیم پراکسیداز نقش کلیدی در سم‌زدایی H_2O_2، حذف مالون‌دی‌آلدئید وحفظ ثبات و پایداری دیواره سلولی بازی می‌کند [۳۱]. در تنش خشکی مقدار جذب و ترکیب CO_2 به علت بسته بودن روزنه‌ها کاهش می‌یابد، در نتیجه انرژی داخلی افزایش یافته، ظرفیت انتقال الکترون فتوسنتز به‌طرف تجمع می‌رود و به دنبال آن غلظت ROS افزایش یافته که این امر باعث پراکسیداسیون لیپیدها، تخریب پروتئین‌ها و اکسیداسیون DNA می‌شود. در این زمان آنزیم‌های اکسیداتیو مانند پراکسیداز فعال‌تر می‌شوند [۳۰]. افزایش در فعالیت آنزیم پراکسیداز در ژنوتیپ‌های گلرنگ در شرایط خشکی توسط محققین گزارش شده است [۱۷]. همچنین، گزارش شده که پرایمینگ بذر موجب افزایش فعایت آنزیم پراکسیداز در گلرنگ گردید [۳٤].

Archive of SID
www.SID.ir



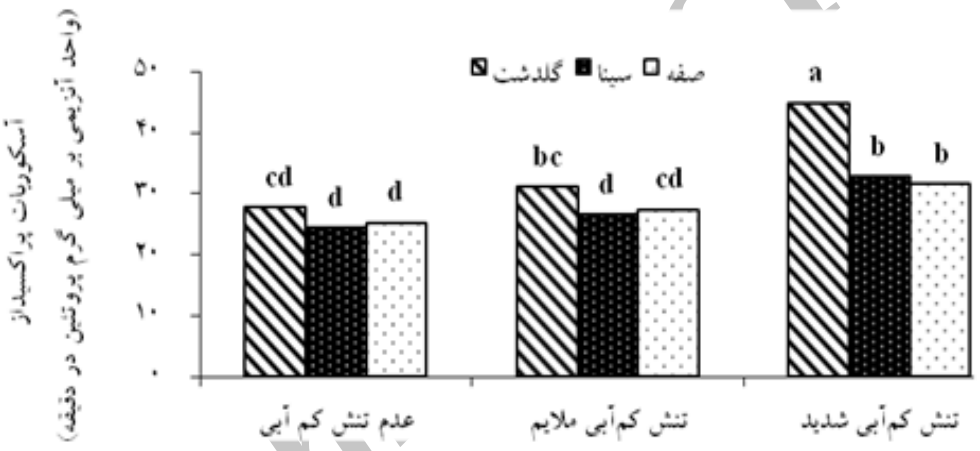
شکل ۲. برهمکنش آبیاری و رقم بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در گلرنگ

بررسی نتایج تجزیه واریانس فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX) نشان داد که اثرات رژیم آبیاری و پرایمینگ بذر در سطح احتمال پنج درصد و اثر رقم و برهمکنش رژیم آبیاری و رقم در سطح احتمال یک درصد فعالیت آنزیم APX را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). در این مطالعه تنش کم‌آبی شدید نسبت به عدم تنش کم‌آبی سبب افزایش فعالیت آنزیم APX به میزان ۲۹ درصد (به‌ترتیب ۲۵/۷۹ و ۳۶/۳۷ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) گردید (جدول ۳). میزان آنزیم APX رقم گلدشت نسبت به ارقام صفه و سینا در حدود ۱۹ درصد بیشتر بود. ارقام صفه و سینا فاقد اختلاف آماری بودند (جدول ۳). نتایج اثر پرایمینگ بذر نشان‌دهنده افزایش حدود هفت درصدی میزان APX در بذور پرایم شده نسبت به بذور تیمار نشده بود (جدول ۳). بررسی نتایج مقایسه میانگین برهمکنش رژیم آبیاری و رقم بر فعالیت آنزیم APX نشان داد که بیشترین مقدار از ترکیب تیماری رقم گلدشت در شرایط تنش کم‌آبی شدید با ٤٤/۷۸ و کمترین میزان APX از رقم سینا در شرایط عدم تنش کم‌آبی با ٤٦ درصد کاهش معادل ٢٤/٣٨ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه به‌دست آمد (شکل۳). نتایج این مطالعه بیانگر افزایش فعالیت آنزیم APX در اثر تنش آبی در همه ارقام مورد مطالعه بود ولی میزان افزایش در تمام ارقام یکسان نبود. به‌طوری‌که رقم سینا کمترین افزایش و رقم گلدشت بالاترین افزایش فعالیت این آنزیم را داشت. رقم گلدشت که بالاترین عملکرد در شرایط عدم تنش را دارا بود در شرایط تنش شدید با دفاع آنتی‌اکسیدانی بعد از رقم صفه در رتبه دوم قرار گرفت. تحقیقات انجام‌شده نقش آنزیم APX در مقاومت به کم‌آبی را در گلرنگ تأیید کرد [۱۷]. همچنین، نتایج بررسی‌های به عمل آمده نشان داد که اسید سالیسیلیک موجب افزایش فعالیت آنزیم APX در گلرنگ می‌گردد [۵].

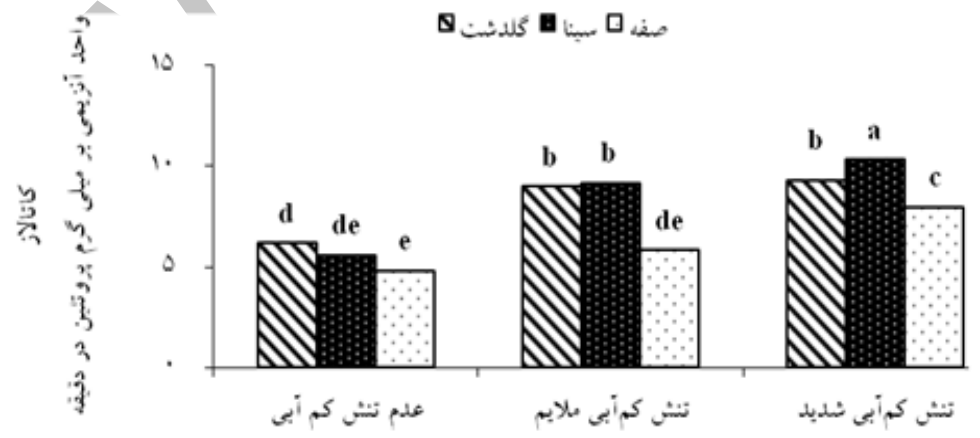
بررسی نتایج تجزیه واریانس فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) نشان داد که اثرات رژیم آبیاری، رقم و برهمکنش رژیم آبیاری و رقم در سطح احتمال یک درصد و پرایمینگ بذر در سطح احتمال پنج درصد فعالیت آنزیم CAT را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). در این مطالعه تنش کم‌آبی شدید نسبت به عدم تنش کم‌آبی سبب افزایش فعالیت آنزیم CAT از ٥/٥٤ به ۹/۲۱ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه گردید (جدول ۳). نتایج اثر رقم نشان داد که میزان CAT در رقم سینا نسبت به رقم صفه ٢٦ درصد بیشتر بود ولی با رقم گلدشت در

Archive of SID
www.SID.ir

یک گروه آماری قرار داشت (جدول ۳). نتایج اثر پرایمینگ بذر نشان‌دهنده افزایش حدود هشت درصدی میزان CAT در بذور پرایم‌شده نسبت به بذور شاهد بود (جدول ۳). بررسی نتایج مقایسه میانگین برهمکنش رژیم آبیاری و رقم بر فعالیت آنزیم CAT نشان داد که بیشترین مقدار از تیمار رقم سینا در شرایط تنش کم‌آبی شدید با ۱۰/۳۵ و کمترین میزان CAT از رقم صفه در شرایط عدم تنش کم‌آبی با ٤٦ درصد کاهش معادل ٤/۸۲ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه به‌دست آمد (شکل٤). گزارش شده که سنتز آنزیم‌هایی مانند کاتالاز در پاسخ به تنش اکسیداتیو می‌باشد [۳۵]. افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در تنش خشکی در گلرنگ توسط محققین گزارش شده است [۱۷]. اختلاف در فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهان در تنش خشکی را می‌توان به‌شدت و مدت زمان کمبود آب و وضعیت متابولیک گیاه مرتبط دانست [۱۷]. نتایج بررسی‌های به‌عمل‌آمده روی گلرنگ نشان داد که اسید سالیسیلیک موجب افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانی با آنزیم کاتالاز می‌شود [۵].



شکل ۳. برهمکنش آبیاری و رقم بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در گلرنگ



شکل ٤. برهمکنش آبیاری و رقم بر فعالیت آنزیم کاتالاز در گلرنگ

www.SID.ir

بررسی نتایج تجزیه واریانس محتوای مالون‌دی‌آلدئید (MDA) نشان داد که اثرات رژیم آبیاری و پرایمینگ بذر در سطح احتمال پنج درصد محتوای MDA را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). در این مطالعه تنش کم‌آبی شدید نسبت به عدم تنش کم‌آبی سبب افزایش ٤٠ درصدی محتوای MDA از ۰/٤۲ به ۰/۷۰ نانومول بر گرم وزن تر برگ گردید (جدول ۳). نتایج اثر پرایمینگ بذر نشان دهنده کاهش حدود نه درصدی میزان MDA در بذور پرایم‌شده نسبت به بذور شاهد بود (جدول ۳). نتایج تحقیقات روی ارقام گلرنگ نشان‌دهنده افزایش MDA در ارقام تحت تنش آبی بود به‌طوری‌که تنش آبی با افزایش در محتوای رادیکال‌های آزاد اکسیژن، باعث افزایش پراکسیداسیون لیپیدهای غشا سلولی شده و در نتیجه موجب افزایش در محتوای MDA شد [۳۱]. در این تحقیق افزایش مالون‌دی‌آلدئید در بذرهایی که تحت تأثیر پرایمینگ قرار نگرفتند، می‌تواند نمایانگر مسئله القای سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی به‌وسیله اسید سالیسیلیک با از بین بردن رادیکال‌های آزاد به‌طور مستقیم و یا توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باشد که خسارت ناشی از گونه‌های فعال را کم کرده و در نتیجه پراکسیداسیون لیپیدی غشا کاهش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد که اسید سالیسیلیک با پاکسازی رادیکال‌های آزاد، از اکسیداسیون چربی‌ها جلوگیری نموده و مانع افزایش مالون‌دی‌آلدئید می‌شود [۳۸]. در یک بررسی افزایش فعالیت آنزیم POX در گیاه گلرنگ موجب کاهش در انباشت H_2O_2 و در نتیجه کاهش روند پراکسیداسیون لیپیدها و حفظ تمامیت غشای سلولی و کاهش میزان MDA گردید [۳۱].

بررسی نتایج تجزیه واریانس محتوای پرولین نشان داد که اثرات رژیم آبیاری و رقم در سطح احتمال یک درصد محتوای پرولین را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). در این مطالعه تنش کم‌آبی شدید نسبت به عدم تنش کم‌آبی سبب افزایش ۵۳ درصدی محتوای پرولین از ۷/۷۷ به ۱٦/٦۳ میکرومول بر گرم وزن تر برگ گردید (جدول ۳). نتایج اثر رقم نشان داد که میزان پرولین رقم صفه نسبت به رقم گلدشت ۱۱ درصد بیشتر بود و ارقام گلدشت و سینا فاقد اختلاف معنی‌دار بودند (جدول ۳). تجمع پرولین و سایر اسمولیت‌ها برای حفظ تورژسانس سلول‌های گیاهی، قسمتی از مکانیسم‌های مقاومت گیاهان در برابر تنش خشکی است [۳۳]. در این تحقیق محتوای پرولین در برگ‌های تحت تنش کمبود آب در هر سه رقم مورد بررسی جهت مقاومت بیشتر به تنش افزایش یافت، ولی میزان افزایش در رقم صفه بیش از دو رقم دیگر بود که این نتیجه با عملکرد بالاتر این رقم در شرایط تنش کم‌آبی مطابقت داشت. تنش آبی و کاهش محتوای رطوبت نسبی گیاه باعث افزایش میزان پرولین در گیاه گلرنگ شده که موجب بازیابی گیاه در مدت کوتاهی پس از تنش می‌گردد [۱٤]. شواهد دیگری مبنی بر تجمع پرولین در گلرنگ به جهت جلوگیری از برخی آسیب‌های ناشی از تنش خشکی وجود دارد [۱۱]. در یک بررسی افزایش پرولین در گیاه گلرنگ تحت تنش خشکی را مرتبط با کاهش میزان کلروفیل در این شرایط گزارش کردند [۱۳].

بررسی نتایج تجزیه واریانس محتوای کلروفیل a نشان داد که اثر آبیاری در سطح احتمال پنج درصد و اثر رقم در سطح احتمال یک درصد، کلروفیلa را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). تنش کم‌آبی شدید نسبت به عدم تنش کم‌آبی سبب کاهش حدود ۱۸ درصدی، کلروفیلa گردید (جدول ۳). همچنین بیشترین کلروفیلa مربوط به رقم گلدشت بود که نسبت به رقم سینا حدود ۱۳ درصد و رقم صفه هفت درصد بیشتر بود (جدول ۳). بررسی نتایج تجزیه واریانس محتوای کلروفیل bنشان داد که اثرات آبیاری و رقم در سطح احتمال پنج درصد کلروفیل

Archive of SID
www.SID.ir

b را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). تنش کم‌آبی شدید نسبت به عدم تنش کم‌آبی سبب کاهش حدود ٤٢ درصدی، کلروفیلb گردید (جدول ۳). همچنین، بیشترین کلروفیل b مربوط به رقم گلدشت بود که نسبت به رقم سینا حدود ۱۲ درصد بیشتر بود ولی نسبت به رقم صفه در یک گروه آماری قرار داشت (جدول ۳). بررسی نتایج تجزیه واریانس محتوای کلروفیل کل نشان داد که اثرات آبیاری و رقم در سطح احتمال یک درصد کلروفیل کل را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۳). تنش کم‌آبی شدید نسبت به عدم تنش کم‌آبی سبب کاهش حدود ٢٦ درصدی کلروفیل کل گردید (جدول۳). بیشترین کلروفیل کل مربوط به رقم گلدشت بود که نسبت به رقم سینا حدود ۱۳ درصد و نسبت به رقم صفه حدود پنج درصد بیشتر بود (جدول ۳). در مطالعه حاضر رقم گلدشت به علت پتانسیل ژنتیکی، بالاترین کلروفیل کل در بین ارقام مورد بررسی را داشت و در شرایط تنش شدید کم‌آبی این رقم کمترین کاهش میزان کلروفیل نسبت به دو رقم دیگر را دارا بود. در آزمایشی رقم گلدشت توانست در شرایط تنش آبی با کاهش سطح تعرق‌کننده میزان کلروفیل a خود را بیشتر از سایر ارقام حفظ نماید [۱۳]. گزارش شده است که متابولیسم فتوسنتز تا زمانی که هدایت روزنه‌ای کاملاً کاهش نیابد، آسیب نمی‌بیند ولی بعد از آن در اثر محدودیت‌های روزنه‌ای، فتوسنتز به‌شدت کاهش می‌یابد [۲۲]. بر این اساس به‌نظر می‌رسد که کاهش فتوسنتز در ارقام مورد مطالعه در شرایط تنش ملایم بیشتر در اثر ایجاد شدن محدودیت‌های روزنه‌ای بوده و بعد از آن محدودیت‌ها در جهت افزایش آسیب‌های متابولیکی پیش رفته است. کاهش محتوای کلروفیل و در نتیجه کاهش فتوسنتز در ارقام حساس گلرنگ در شرایط تنش کم‌آبی در تحقیقی گزارش گردید [۱۷].

بررسی نتایج تجزیه واریانس محتوای کارتنوئید نشان داد که اثرات آبیاری و رقم در سطح احتمال پنج درصد میزان کارتنوئید را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). تنش کم‌آبی شدید نسبت به عدم تنش کم‌آبی سبب افزایش حدود ۲۰ درصدی، کارتنوئید گردید (جدول ۳). همچنین، بیشترین کارتنوئید مربوط به رقم گلدشت بود که نسبت به رقم سینا حدود نه درصد بیشتر، ولی نسبت به رقم صفه فاقد اختلاف آماری بود (جدول ۳). کاروتنوئیدها رنگدانه‌های کمکی می‌باشند که در جذب و انتقال نور تأثیر دارند و حفاظت‌کننده‌های کلروفیلی طی فرآیند اکسیداسیون نوری محسوب می‌شوند [٢٤]. در این بررسی دو رقم گلدشت و صفه دارای میزان کاروتنوئید بالاتری نسبت به رقم سینا بودند، در نتیجه این دو رقم با کمک این رنگیزه کمکی، دارای توان مقاومتی بالاتر و در نتیجه فتوسنتز بیشتری نسبت به رقم سینا بودند که عملکرد دانه بالاتر این دو رقم نسبت به رقم سینا نشان‌دهنده این موضوع می‌باشد. نتایج تحقیقات انجام‌شده روی گلرنگ بیانگر افزایش محتوای کاروتنوئید جهت مقابله با تنش خشکی می‌باشد [۱ و ۲].

٤. نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این مطالعه بالاترین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپراکسیددیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز در رقم گلدشت مشاهده شد که این ویژگی‌های فیزیولوژیکی باعث عملکرد بالا و مقاومت به تنش خشکی در این رقم گردید. رقم صفه که همراه با رقم گلدشت بالاترین عملکرد را داشت، دارای بالاترین میزان آنزیم پراکسیداز و پرولین بود. همچنین، نتایج نشان داد که با تشدید تنش آبی، عملکرد دانه در هر سه رقم کاهش قابل‌توجهی داشت، ولی میزان کاهش در رقم گلدشت به علت افت کمتر کلروفیل و در نتیجه فتوسنتز بالاتر کمتر از سایر ارقام مورد بررسی بود. همچنین، با افزایش تنش

Archive of SID
www.SID.ir

کم‌آبی میزان پرولین در ارقام مورد بررسی افزایش یافت که این میزان در رقم صفه بیشتر بود. در این تحقیق پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک با کاهش خسارت گونه‌های فعال اکسیژن، موجب جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدهای غشا شده و از افزایش مالون‌دی آلدئید جلوگیری نمود. نتایج این تحقیق بیانگر افزایش توان مقاومت به تنش کم‌آبی و بهبود عملکرد گلرنگ در شرایط تنش با اعمال پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک بود.

منابع

۱. آزادبخت ف، احمدی خ و امیدی ح (۱۳۹۵) اثر تنش خشکی آخر فصل بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رنگیزه‌های فتوسنتزی ژنوتیپ‌های پایه مادری گلرنگ (*Carthamus tinctrorius* L.). فصلنامه فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۸(۳۲): ۷۵-۹۰.

۲. اسماعیلی منزه ع، امیدی ح و بستانی ع ا (۱۳۹۱) تأثیر تنش خشکی بر عملکرد واجزای عملکرد، پرولین، رنگدانه‌های فتوسنتزی و آب نسبی برگ چند ژنوتیپ گلرنگ. مجله پژوهش‌های آب در کشاورزی. ۲(٦۲): ۱۸۷-۱۹٦.

۳. اشرفی ا و رزمجو خ (۱۳۹۳) اثر هیدروپرایمینگ بذر و رژیم آبیاری بر عملکرد دانه،عملکرد زیستی، درصد روغن و پروتئین دانه ارقام مختلف گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی). ۱۰۳: ٦۱-٦۸.

٤. امیری ا، باقری ع ا، خواجه م، نجف‌آبادی پور ف و یداللهی پ (۱۳۹۲) تأثیر محلول‌پاشی سیلیکون بر عملکرد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گلرنگ در شرایط کم آبیاری. مجله پژوهش‌های به‌زراعی. ۵(٤): ۳٦۱-۳۷۲.

۵. امیری ا، سیروس مهر ع ر، یداللهی پ، اصغری پور م ر و اسماعیل‌زاده بهابادی ص (۱۳۹۵) تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک و کیتوزان بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گلرنگ. به زراعی کشاورزی. ۱۸(۲): ٤۵۳-٤٦٦.

٦. بالجانی ر و شکاری ف (۱۳۹۱) تأثیر پیش‌تیمار با سالیسیلیک اسید بر روابط شاخص‌های رشد و عملکرد در گیاه گلرنگ تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل. مجله دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۲(۱): ۸۷-۱۰۳.

۷. بهدانی م ع و جامی الاحمدی م (۱۳۸۹) عکس العمل ارقام گلرنگ بهاره به فواصل مختلف آبیاری در شرایط بیرجند. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۸(۲): ۳۱۵-۳۲۳.

۸. پالیزدار م، دلخوش ب، شیرانی‌راد ا ح و نورمحمدی ق (۱۳۹۱) بررسی اثر رژیم‌های آبیاری و مقادیر پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ. فصلنامهٔ علمی پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۸(٤): ٦۲۸-٦٤۵.

۹. خواجه‌پور م ر (۱۳۸٦) گیاهان صنعتی. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، اصفهان، ۵٦٤ صفحه.

۱۰. دانشمند ف، آروین م ج، کرامت ب (۱۳۹۳) تغییرات ایجادشده توسط سالیسیلیک اسید در گیاهان گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت تنش شوری. مجله پژوهش‌های گیاهی ۲۷(۲): ۲۰٤-۲۱۵.

۱۱. کریمی ا، تدین ع و تدین م ر (۱۳۹۵) اثر اسید هیومیک بر عملکرد، اجزای عملکرد و میزان پرولین برگ گلرنگ در سطوح مختلف آبیاری. به‌زراعی کشاورزی. ۱۸(۳): ٦۰۹-٦۲۳.

Archive of SID
www.SID.ir

۱۲. محمودیه چم پیری ر، احسان‌زاده پ و سعیدی ق (۱۳۸۵) اثر رقم و سایه‌اندازی طبق و برگ‌های نزدیک آن بر عملکرد دانه گلرنگ و اجزای آن در اصفهان. دانش کشاورزی. ۱(۳۷): ۱۵۷-۱۶۵.

۱۳. معراجی پور م، موحدی دهنوی م، دهداری ا، فرجی ه و معراجی پور م (۱۳۹۱) تأثیر تنش خشکی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی چهار رقم گلرنگ بهاره در منطقه یاسوج. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۵(۲): ۱۲۵-۱۳٤.

۱٤. موحدی دهنوی م، مدرس ثانوی س ع م، سروش‌زاده ع و جلالی م (۱۳۸۳) تغییرات میزان پرولین، قندهای محلول کل، کلروفیل و فلورسانس کلروفیل در ارقام گلرنگ پاییزه تحت تنش خشکی و محلول‌پاشی روی و منگنز. مجله بیابان. ۹(۱): ۹٤-۱۰۸.

۱۵. موسوی فر ب، بهدانی م ا و جامی الاحمدی م (۱۳۸۸) پاسخ ارقام گلرنگ بهاره به فواصل مختلف آبیاری در شرایط بیرجند. همایش منطقه‌ای بحران آب و خشکسالی. رشت، ایران.

۱٦. یداللهی پ، اصغری‌پور م ر، خیری ن و قادری ا (۱۳۹۳) اثر تنش خشکی و انواع کود آلی بر عملکرد روغن و ویژگی‌های بیوشیمیایی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). مجله تولید گیاهان روغنی. ۱(۲): ۲۷-٤۰.

17. Amini H, Arzani A and Bahrami F (2013) Seed yield and some physiological traits of safflower as affected by water deficit stress. International Journal of Plant Production. 7: 597-614.
18. Asada K and Takahashi M (1987) Production and scavenging of active oxygen radicals in photosynthesis. In: Kyle DJ, Osmond CB and Arntzen CJ (Eds.), Photoinhibition. Elsivier, Amsterdam. pp. 227-288.
19. Bates LS, Aldren RP and Teare LD (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39: 205-207.
20. Beauchamp C and Fridovich I (1971) Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Analytical Biochemistry. 44(1): 276-287.
21. Chandlee JM and Scandalios JG (1984) Analysis of variance affecting the catalase development program in Maize scutellum. Journal of Applied Genetics. 69: 71-77.
22. Cornic G and Fresneau C (2002) Photosynthetic carbon reduction and carbon oxidation cycles are the main electron sinks for photosystem II activity during a mild drought. Annals of Botany. 89: 887-894.
23. Davatgar N, Neishabouri MR, Sepaskhah AR and Soltani A (2009) Physiological and morphological responses of rice (*Oryza sativa* L.) to varying water stress management strategies. International Journal of Plant Production. 3: 19-32.
24. Eldahshan OA and Singab AB (2013) Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry Carotenoids. [Online]. Available at http://www.phytojournal.com. 2(1): 225-234.
25. Gambel PE and Burke JJ (1984) Effect of water stress on the chloroplast antioxidant system. I. Alterations in glutathione reductase activity. Plant Physiology. 76: 615-621.
26. Hamrouni I, Ben-Salah H and Marzouk B (2001) Effects of water-deficit on lipids of safflower aerial parts. Journal of Photochemistry. 58: 277-280.
27. Harris D, Pathan AK, Gothkar P, Joshi A, Chivasa W and Nyamudeza P (2001) On-farm seed priming: using participatory methods to revive and refine a key technology. Agricultural Systems. 69: 151-164.
28. Hayat S and Ahmad A (2007) Salicylic acid: a plant hormone. Springer.
29. Heath RL and Packer L (1968) Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives in Biochemistry and Biophysics. 125: 189-198.
30. Hisao TC (1973) Plant responses to water stress. Annual Review Plant Physiology. 24: 519-570.
31. Hojati M, Modarres-Sanavy AMM, Karimi M and Ghanati F (2011) Responses of growth and antioxidant systems in *Carthamus tinctorius* L. under water deficit stress. Acta Physiologiae Plantarum. 33: 105-112.

Archive of SID

www.SID.ir

32. Holy MC (1972) Indole acetic acid oxidase: a dual catalytic enzyme. Plant Physiology. 50: 15-18.
33. Huang J, Hirji R, Adam L, Rozwadowski KL, Hammerlindl JK, Keller WA and Selvaraj G (2000) Genetic engineering of glycinebetaine production toward enhancing stress tolerance in plants: metabolic limitations. Plant Physiology 122: 747-756.
34. Jabeen N and Ahmad R (2013) The activity of antioxidant enzymes in response to salt stress in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) seedlings raised from seed treated with chitosan. Journal of the Science of Food and Agriculture. 93(7): 1699-1705.
35. Mittler R (2002) Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends Plant Science. 7: 405-409.
36. Mittler R, Vanderauwera S, Gollery M and Vanbreusegem F (2004) Reactive oxygen gene network of plants. Trends in Plant Science. 9: 490-498.
37. Movahhedy Dehnavy M, Modarres Sanavy SAM and Mokhtassi Bidgoli A (2009) Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. Industrial Crops and Products. 30: 82-92.
38. Noctor B and Foyer CH (1998) Ascorbate and glutathione: Keeping active oxygen under control. Annual Review Plant Physiology. 49: 249-279.
39. Pasban Eslam B (2011) Evaluation of physiological indices for improving water deficit tolerance in spring safflower. Journal of Agricultural Science and Technology. 13: 327-338.
40. Soltani E and Soltani A (2015) Meta-analysis of seed priming effects on seed germination, seedling emergence and crop yield: Iranian studies. International Journal of Plant Production. 9(3): 413-432.
41. Sumanta N, Imranul Haque C, Nishika J and Suprakash R (2014) Spectrophotometric analysis of chlorophylls and carotenoids from commonly grown fern species by using various extracting solvents. Research Journal of Chemical Sciences. 4(9): 63-69.
42. Wood AJ (2005) Eco-physiological adaptions to limited water environments. *In*: Ajenks M and Hasegawa PM (Eds.), Plant Abiotic Stress. Blackwell Publisher, New York, pp. 10-41.

Archive of SID

www.SID.ir

Crops Improvement
(Journal of Agricultural Crops Production)
Vol. 20 ■ No. 2 ■ Summer 2018

Alleviation of water deficit stress effects on safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars by seed priming

Shahram Taheri[1*], Ahmad Gholami[2], Hamid Abbasdokht[2], Hassan Makarian[2]

1. Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

Received: November 1, 2017 Accepted: December 24, 2017

Abstract
In order to evaluate the effects of seed priming to reduce water deficit stress in safflower cultivars, an experiment was conducted as a split-plot factorial based on randomized complete block design with three replications at Shahrood Agricultural Research Center in 2015. The main plot consisted of irrigation at three levels based on the evaporation from class A evaporation pan: non-water deficit stress (60 mm evaporation), mild water deficit stress (120 mm evaporation) and severe water deficit stress (180 mm evaporation) and subplots consisted of two factors include safflower cultivars (Goldasht, Sina, and Soffeh) and seed priming (Primed seeds with salicylic acid and non-primed). The results showed that severe water stress reduced the grain yield by about 29 percent compared to non-stress conditions. In these conditions activity of superoxide dismutase, peroxidase, ascorbate peroxidase, and catalase enzymes were increased by about 33, 25, 29 and 40 percent respectively. In severe water deficit condition, the content of malondialdehyde, proline, and carotenoid significantly increased, but the amount of chlorophyll was reduced. Priming of seeds with salicylic acid caused to increase the antioxidant defense system activity by about 7-9 percent, therefore increased the resistance of safflower plants to water stress and resulted in greater seed yield under water stress conditions. Interaction of irrigation and cultivar appeared to be significant on seed yield and activity of catalase peroxidase, and ascorbate peroxidase enzymes.

Keywords: Antioxidant, chlorophyll, malondialdehyde, proline, salicylic acid.

Corresponding author: taheri4448@gmail.com

www.SID.ir