اثر پلی‌آمین‌های برون‌زا بر برخی شاخص‌های رشد و فیزیولوژیک گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت تنش کم‌آبی

ژیلا توپچی خسروشاهی[۱]، سید یحیی صالحی لیسار*[۱]، کاظم قاسمی گلعذانی[۲] و روح اله متفکر آزاد[۱]

[۱] ایران، تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده علوم طبیعی، گروه علوم گیاهی

[۲] ایران، تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی، گروه اکوفیزیولوژی تبریز

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۸ تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۱۸

چکیده

تنش خشکی رایج‌ترین تنش غیرزیستی در ایران است و بیشترین اثر منفی را بر رشد و تولید گیاهان دارد. پلی‌آمین‌ها، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهان هستند و مقاومت آن‌ها را به تنش‌های محیطی مانند خشکی افزایش می‌دهند. در این پژوهش اثر غلظت‌های مختلف پوتریسین+ اسپرمین (۰+۰، ۴۰+۴۰، ۴۰+۶۰ و ۶۰+۴۰ میکرومولار) بر، برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت آبیاری مطلوب (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و آبیاری محدود (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) مورد بررسی قرارگرفت. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشگاه تبریز انجام گرفت. بدون کاربرد پلی‌آمین‌ها، خشکی سبب کاهش معنی‌دار شاخص‌های رشد، محتوای آب نسبی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، غلظت پروتئین محلول کل برگ و افزایش غلظت پرولین آزاد برگ و قندهای محلول اندام هوایی گردید. کاربرد برگی ۶۰+۴۰ میکرومولار پوتریسین+ اسپرمین بیشتر این صفات را در برگ‌ها به‌ویژه تحت شرایط تنش افزایش داد. کاربرد پلی‌آمین‌های برون‌زا میزان پرولین آزاد برگ را احتمالاً به دلیل افزایش غلظت کلروفیل کاهش داد. کاهش انباشت اسمولیت‌های سازگار نظیر پرولین آزاد در ریشه و قندهای محلول در برگ با تیمارهای ۴۰+۴۰ و ۴۰+۶۰ میکرومولار پوتریسین+ اسپرمین می‌تواند به دلیل نقش پلی‌آمین‌ها به عنوان اسمولیت و همچنین پاک‌کننده رادیکال‌های آزاد اکسیژن باشد. این نتایج نشان می‌دهد که اسپری برگی ۶۰+۴۰ میکرومولار پوتریسین+ اسپرمین می‌تواند برخی اثرات مخرب تنش خشکی را بر شاخص‌های فیزیولوژیک گلرنگ کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: اسمولیتها، پلی آمین، خشکی و گلرنگ

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۹۰۰۳۲۷۲ ، پست الکترونیکی: y_salehi@tabrizu.ac.ir

مقدمه

تنش‌های غیرزیستی دارای اثرات منفی بر رشد و نمو گیاهان هستند. تنش خشکی مهم‌ترین تنش غیرزیستی در دنیا و به‌خصوص کشور ایران می‌باشد و در مقایسه با سایر عوامل تنش‌زا بیشترین تأثیر نامطلوب را بر رشد و تولید گیاهان دارد (۱۵). خشکی با کاهش پتانسیل آب در گیاه، سبب بسته شدن روزنه، کاهش تثبیت CO_2، تولید گونه‌های اکسیژن فعال و القاء تنش اکسیداتیو، کاهش غلظت کلروفیل، کاهش فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد می‌شود (۱۹). پلی‌آمین‌ها پلی‌کاتیون‌های آلی با وزن ملکولی پایین هستند که برای رشد پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها ضروری می‌باشند و در پاسخ و مقاومت گیاهان به تنش‌های مختلف نقش دارند (۳۰). در گیاهان عالی، پلی‌آمین‌ها به فرم پوتریسین (Put)، اسپرمیدین (Spd) و اسپرمین (Spm) یافت می‌شوند. در سلول‌های گیاهی دی‌آمین پوتریسین، از

اورنی‌تین و آرژنین بترتیب توسط اورنی‌تین‌دکربوکسیلاز و آرژنین‌دکربوکسیلاز، تری‌آمین اسپرمیدین و تترآآمین اسپرمین با آنزیم‌های اسپرمیدین‌سنتاز و اسپرمین‌سنتاز سنتز می‌شوند. گروه آمین پلی آمین‌ها توسط پلی آمین اکسیداز جدا می‌شود. گاما آمینوبوتیریک اسید و پراکسیدهیدروژن حاصل از اکسیداسیون پلی‌آمین‌ها در نمو گیاه و پاسخ‌های تنش درگیر هستند (۱۴). پلی‌آمین‌ها در تنظیم تکثیر سلولی، تمایز و مورفوژنز، بیان ژن، حفظ یکپارچگی و بقای غشاهای زیستی هنگام مواجهه با تنش خشکی و مقابله با تنش‌های غیرزیستی نقش دارند (۲۰ و ۲۹). این ترکیبات در پاسخ به خشکی به مقدار زیادی انباشته شده و ملکول‌های مؤثر در مسیر ترارسانی علامت تنش‌ها به شمار می‌روند (۱۱ و ۳۲). اخیراً کاربرد پلی‌آمین‌ها در جهت افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی از طریق تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و افزایش راندمان فتوسنتزی، مورد توجه زیادی قرارگرفته است. به عنوان مثال، پلی‌آمین‌ها تحمل تنش آبی را در شبدر سفید (*Trifolium repense* L.) با افزایش توان دفاع آنتی-اکسیدانی افزایش دادند (۲۴). افزایش سطح کلسیم سیتوسلی تحت تنش خشکی، با فعال کردن NADPH اکسیداز غشای پلاسمایی سبب تولید گونه‌های فعال اکسیژن ازجمله پراکسیدهیدروژن می‌گردد. پلی‌آمین‌ها با تنظیم سطح کلسیم سیتوسلی عملاً سبب کنترل تولید پراکسیدهیدروژن می‌شوند (۳۸). گیاهان آرابیدوپسیس تراریخته که بیان ژن‌های بیوسنتزی پلی‌آمین‌ها در آن‌ها افزایش یافته از طریق کاهش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن، تحمل بیشتری به تنش خشکی نشان داده‌اند (۳۱). کاربرد برون‌زاد پلی‌آمین‌ها در گیاهان تحت تنش خشکی از پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب ماکروملکول‌ها جلوگیری کرده و سبب افزایش مقاومت گیاهان به خشکی می‌شوند. البته نوع واکنش گیاهان تحت تنش به پلی‌آمین‌ها بسته به نوع گیاه متفاوت است (۳۳ و ۳۶). کاربرد ۰/۱ میلی‌مولار پوتریسین در بابونه آلمانی (*Matricaria Chamomilla* L.) تحت خشکی، با تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سبب القاء تحمل به خشکی شده است (۸). محلول‌پاشی یک میلی‌مولار اسپرمین در گیاه ارزن (*Panicum miliaceum* L.) تحت تنش خشکی سبب افزایش محتوای نسبی آب، رنگیزه‌های فتوسنتزی و کاهش نشست الکترولیت شد (۶). گونه زراعی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گیاهی یک‌ساله از تیره آفتابگردان است. گلرنگ به عنوان گیاه زراعی چند منظوره روغنی، دارویی و صنعتی مطرح می‌باشد (۲۷). این گیاه به دلیل خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ویژه‌ای که دارد، به عنوان گیاه متحمل به خشکی شناخته شده است و برای کشت در اراضی مواجه با کمبود آب بسیار مناسب می‌باشد. باوجود این، عملکرد فیزیولوژیکی این گیاه در تنش‌های شدید کاهش می‌یابد (۲۷). تیمار کمبود آب در دو رقم گلرنگ به‌طور معنی‌داری طول ساقه، ماده خشک ساقه و ریشه، مقدار آب نسبی برگ را در تنش آبی شدید ۵۵ درصد کاهش داده است (۲۲). همچنین تنش خشکی سبب کاهش محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب و افزایش پرولین در ارقام مختلف گلرنگ بهاره شده است (۳ و ۲۲). باتوجه به این‌که پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاه گلرنگ (رقم گلدشت) به غلظت‌های ترکیبی پلی‌آمین‌های اسپرمین و پوتریسین تحت شرایط کمبود آب مشخص نبود، در این پژوهش برای اولین بار اثر ترکیبی این دو پلی‌آمین در افزایش احتمالی مقاومت به تنش خشکی گیاه گلرنگ مورد بررسی قرارگرفته است تا نتایج حاصل از آن برای افزایش عملکرد گیاه در شرایط کمبود آب که یکی از مشکلات کشور ایران است مورد استفاده واقع گردد.

مواد و روشها

کشت، اعمال تیمارها و برداشت: بذرهای گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) رقم گلدشت، از مرکز تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان شرقی تهیه گردید. بذرها به مدت ۵ تا ۷ دقیقه با استفاده از هیپوکلریت سدیم ۵ درصد

ضدعفونی و چندین بار با آب مقطر شستشو داده شدند. در یک آزمایش مقدماتی گیاهان در مرحله شروع سه برگی (۳۰ روز پس از کشت) در پنج سطح ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (FC) با سه تکرار به مدت دو هفته برای تعیین مناسب‌ترین سطح تنش خشکی تیمار شدند. با اندازه‌گیری شاخص‌های رشد، میزان آبیاری به‌اندازه ۴۰ درصد ظرفیت زراعی برای اعمال تنش خشکی در آزمایش‌های بعدی انتخاب شد (داده‌ها نشان داده نشده است). در آزمایش مقدماتی دیگر گیاهان سه برگی پس از دو هفته تنش (۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، با ۲۰، ۴۰،۶۰،۸۰ و ۱۰۰ میکرومولار پوتریسین و اسپرمین به‌طور جداگانه، فقط یک‌بار اسپری برگی شدند. در نهایت پس از مدت دو هفته غلظت‌های ۴۰ و ۶۰ میکرومولار از هر پلی-آمین به عنوان مؤثرترین غلظت در ایجاد مقاومت به خشکی گیاه گلرنگ، پس از اندازه‌گیری شاخص‌های رشد و فیزیولوژیک مانند وزن‌تر و خشک برگ، طول کل گیاهچه، طول و وزن‌تر اندام هوایی، سطح برگی، محتوای نسبی آب و رنگیزه‌های فتوسنتزی تعیین شد (داده‌ها نشان داده نشده است). پس‌ازاین آزمایش‌های مقدماتی، بذرها در گلدان‌های پلاستیکی و در بستر پرلیت کشت داده شدند. بذرها هر دو روز یک‌بار با آب مقطر تا حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند. پس از ظاهر شدن برگ اولیه، دانه‌رست‌های جوان به روشنایی انتقال یافتند. گیاهان در گلخانه در دمای ۳۰–۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۶۰ درصد و در دوره روشنایی/ تاریکی ۱۶/ ۸ ساعت نگهداری شدند. دانه‌رست هفت‌روزه با محلول هوگلند ۵۰ درصد و دانه‌رست ۱۴ روزه با محلول هوگلند ۱۰۰ درصد در حد ظرفیت زراعی جهت جبران آب از دست رفته گیاهان آبیاری شد. محلول غذایی هر هفته به گیاهچه‌ها داده شد. برای محاسبه میزان آب موردنیاز هر گلدان از روش توزین گلدان‌ها و تعیین میانگین آن به عنوان آب مصرفی تیمارها استفاده گردید (۵). گیاهان در مرحله شروع سه برگی با سطوح مختلف آبیاری (۴۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) به مدت دو هفته تیمار شدند. برای اعمال تیمار پلی‌آمین مقادیر لازم از اسپرمین و پوتریسین در آب مقطر حل شدند. سپس پوتریسین+اسپرمین با غلظت‌های مختلف (۰+۰، ۴۰ +۴۰، ۴۰+۶۰ و ۶۰+۴۰) میکرومولار فقط یک‌بار بر روی برگ گیاهان اسپری شدند. دو هفته پس از تیمار با پلی‌آمین‌ها، (۶۰ روز پس از کشت)، کلیه گیاهان جهت بررسی صفات رشد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک برداشت شدند.

شاخص‌های رشد: وزن‌تر و خشک برگ، وزن‌تر ریشه، وزن‌تر و طول اندام هوایی، طول ریشه اصلی و میانگین سطح برگ گلرنگ تحت تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد. سطح برگی با استفاده از کاغذ میلی‌متری اندازه‌گیری گردید.

محتوای آب نسبی برگ: ۶۰ روز پس از کشت گیاه، قبل از زمان آبیاری، نمونه‌برداری از برگ‌های توسعه‌یافته انجام شده و وزن‌تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن در حالت آماس کامل، برگ‌ها در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت غوطه‌ور شدند. سطح برگ‌ها با کاغذ صافی خشک گردیدند و وزن در حالت آماس کامل برگ‌ها ثبت شد. سپس برگ‌ها در آون با دمای ۷۰ ºC به مدت ۴۸ ساعت قرارگرفتند و دوباره وزن شدند (وزن خشک). میزان آب نسبی برگ با روش اسمارت و بینگهام (۱۹۷۴) و با فرمول زیر محاسبه گردید (۳۴).

(وزن خشک- وزن در حالت آماس کامل)/ (وزن خشک – وزن‌تر) =محتوای نسبی آب برگ

سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ: غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید کل پس از ۲۴ ساعت استخراج در استون ۱۰۰ درصد در دمای ۴ ºC با استفاده از اسپکتروفتومتر (Dynamica, Halo- db-20 series, Switzerland) با روش شوکران و همکاران (۱۹۹۸) محاسبه شد (۳۵).

$$C_a = ۱۱/۷۵\ A_{۶۶۲} - ۲/۳۵\ A_{۶۴۵}$$

$$C_b = ۱۸/۶۱\ A_{۶۴۵} - ۳/۹۶\ A_{۶۶۲}$$

$$C_t = ۱۰۰۰\ A_{۴۷۰} - ۲/۲۷\ A\ C_a - ۸۱/۴C_b\ /\ ۲۲۷$$

که در آن‌ها C_a: میزان کلروفیل a، C_b: میزان کلروفیل b، C_t: میزان کاروتنوئید کل، $A_{۴۷۰}$: جذب در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر(مربوط به کاروتنوئیدها) $A_{۶۴۵}$: جذب در طول‌موج ۶۴۵ نانومتر (مربوط به کلروفیل a) $A_{۶۶۲}$: جذب در طول‌موج ۶۶۲ نانومتر (مربوط به کلروفیل b) می‌باشند.

غلظت پروتئین کل و آمینواسیدهای آزاد کل برگ و ریشه: جهت سنجش پروتئین محلول کل به روش برادفورد، روشناور تهیه شده برای سنجش فعالیت آنزیم‌ها با آب مقطر و معرف برادفورد مخلوط شد و جذب نوری در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای تهیه منحنی استاندارد از سرم آلبومین گاوی در محدوده صفر تا ۲۰۰ میکروگرم بر لیتر استفاده گردید (۱۳). بر روی همان روشناور، معرف نین‌هیدرین اضافه گردید و پس از قرار دادن در بن ماری جوشان، جذب نمونه‌ها در ۵۷۰ نانومتر خوانده شد. برای ترسیم منحنی استاندارد از اسیدآمینه گلیسین استفاده شد (۲۳). معادله خطی پروتئین و آمینواسیدهای آزاد کل بترتیب زیر است.

$$y = ۰/۸۸۶x + ۰/۰۰۲۳۵$$

$$y = ۰/۴۹۷x - ۰/۴۹۴۲$$

قندهای محلول و نامحلول اندام هوایی و ریشه: غلظت قندهای محلول و نامحلول به روش فنل سولفوریک اسید تعیین گردید. مقدار ۰/۰۵ گرم از پودر خشک گیاه با پنج میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد مخلوط شد و مدت یک هفته در یخچال نگهداری گردید. پس از سانتریفوژ نمونه‌ها، ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول رویی با آب مقطر به حجم دو میلی‌لیتر رسانده شد. یک میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و پنج میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ به هریک از نمونه‌ها اضافه گردید و جذب نوری محلول‌ها در ۴۸۵ نانومتر ثبت شد. از غلظت‌های مختلف گلوکز (۱۰۰-۰ میکروگرم) برای تعیین منحنی استاندارد استفاده گردید. برای سنجش قندهای نامحلول، به رسوب خشک شده حاصل از سانتریفوژ، آب مقطر اضافه گردید و به مدت ۱۵ دقیقه جوشانده شد. پس از صاف کردن، دوباره با آب مقطر به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. مراحل بعدی به روش قندهای محلول انجام شد (۲۳).

پرولین آزاد برگ و ریشه: عصاره‌ها در محلول آبی سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد استخراج شدند و پس از سانتریفوژ، معرف نین‌هیدرین و اسیداستیک گلاسیال به آنها اضافه گردید. محلول حاصل به مدت یک ساعت در بن ماری ۱۰۰ ºC قرارگرفت و بلافاصله در داخل یخ سرد شد. و به محلول فوق تولوئن اضافه شده و به مدت ۳۰ ثانیه مخلوط گردید. جذب فاز فوقانی در ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. منحنی استاندارد با استفاده از محلول‌های استاندارد پرولین (صفر تا ۵۰ میکرومولار) تهیه شد (۱۲).

طرح آزمایش و تجزیه تحلیل داده‌ها: آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با دو عامل، شامل دو سطح خشکی ۴۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و غلظت‌های مختلف پوتریسین+اسپرمین بترتیب (۰+۰، ۴۰ +۴۰، ۴۰+۶۰ و ۶۰+۴۰) میکرومولار در سه تکرار اجرا گردید. تجزیه‌وتحلیل آماری با نرم‌افزار(۹/۲) SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام گردید. شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ تهیه گردیدند.

نتایج

شاخص‌های رشد: آبیاری در حد ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها، تمامی شاخص‌های رشد را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قراردادند. اثر متقابل آبیاری × محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها بر شاخص‌های رشد غیر از وزن خشک برگ معنی‌دار بود (جدول ۱) ($P \leq ۰/۰۱$). تیمار غلظت‌های ۴۰+۶۰ و ۶۰+۴۰ میکرومولار پوتریسین+

اسپرمین در شرایط خشکی سبب افزایش معنی‌دار این شاخص‌ها گردید.

اثر برون‌زاد غلظت‌های ترکیبی اسپرمین و پوتریسین بر شاخص‌های رشد در گیاهان شاهد نیز معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول۱- تجزیه واریانس شاخص‌های رشد گیاه گلرنگ تحت سطوح مختلف آبیاری در واکنش به محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول اندام هوایی	طول ریشه اصلی	وزن‌تر اندام هوایی	وزن‌تر ریشه	وزن‌تر برگ	وزن خشک برگ	سطح برگی
		میانگین مربعات						
تکرار	۲	۰/۸۷^{ns}	۲/۵۲^{ns}	۸۱۹/۲۹^{ns}	۱۲۰/۲۹^{ns}	۴/۱۵^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۲۹۲/۵۳^{ns}
آبیاری	۱	۴۱۷/۲۵**	۱۷/۶۹**	۱۵۳۴۱۹۲/۶**	۱۰۷۳۳۴/۳**	۳۳۶۰/۶۶**	۲۸/۶۰**	۱۰۱۶۴۷/۱۵**
محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها	۳	۱۸/۵۵**	۷۲/۲۵**	۷۶۶۶۲/۱**	۱۱۷۱۲۰/۱**	۶۶۲/۶۶**	۴/۲۷**	۴۶۵۶/۵۳^{ns}
محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها×آبیاری	۳	۲۲/۸۶**	۲۶/۸۵**	۴۰۸۶۸/۱**	۳۵۲۰۵/۳**	۲۵۱/۷۷**	۱/۴۳^{ns}	۵۵۰۹/۶۰**
خطا	۱۴	۰/۳۰	۰/۵۳	۴۱۳/۵۳	۲۲۱/۵۲	۰/۹	۰/۵۸	۱۱۱۰/۰۴**
ضریب تغییرات (٪)	-	۳/۴۲	۴/۷۲	۳/۴۱	۵/۳۵	۲/۴۴	۲۰/۳۰	۱۷/۵۰

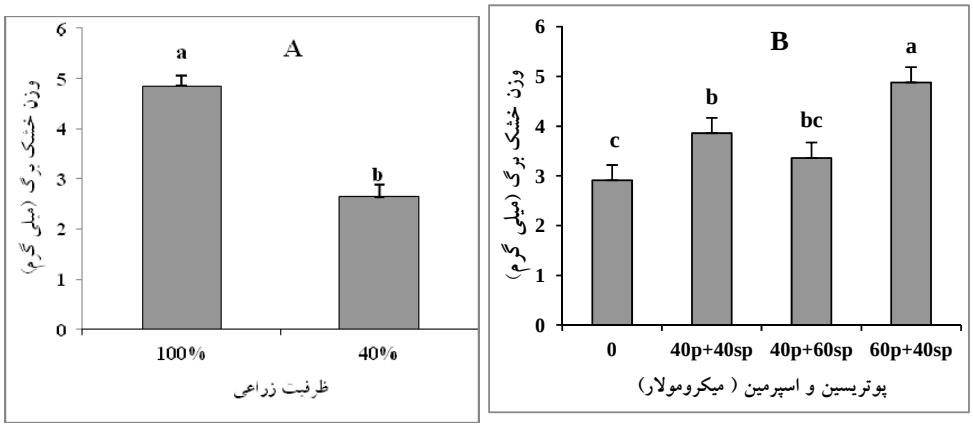
ns، * و ** بترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد. پلی‌آمین‌ها: غلظت‌های ترکیبی پوتریسین+ اسپرمین

جدول ۲- اثر غلظت‌های ترکیبی پوتریسین+ اسپرمین بر شاخص‌های رشد گلرنگ تحت سطوح مختلف آبیاری

آبیاری	غلظت پلی‌آمین‌ها (میکرومولار)	طول اندام هوایی(cm)	طول ریشه اصلی(cm)	وزن‌تر اندام هوایی (mg)	وزن‌تر ریشه (mg)	وزن‌تر برگ (mg)	وزن خشک برگ (mg)	سطح برگی (mm^2)
۱۰۰درصد	۰	۱۹/۵۰±۰/۰۵^{c}	۱۲/۸۳±۰/۲۸^{e}	۶۲۴±۲۳/۴۳^{d}	۱۶۰±۱۱/۹۳^{d}	۳۵/۳۳±۱/۵۲^{e}	۳/۶۶ ±۰/۵۷^{bc}	۲۰۳/۰۶±۱۱/۶۷^{cd}
	۴۰ p+۴۰ sp	۲۰/۶۲±۱/۲۳^{b}	۱۵/۳۷±۰/۱۷^{d}	۹۲۰±۴۲/۴۲^{b}	۳۱۹±۱۴/۱۴^{b}	۴۶/۰۰±۱/۰۰^{c}	۵/۶۶±۰/۷۶^{a}	۳۲۵/۰۰±۷/۰۰^{a}
ظرفیت	۴۰ p+۶۰ sp	۱۷/۳۳±۱/۱۵^{d}	۹/۵۰±۰/۵۰^{f}	۸۲۵±۳۰/۴۱^{c}	۲۷۵±۱۵/۰۰^{c}	۷۰/۰۰±۱/۰۰^{a}	۴/۴۰±۰/۶۰^{ab}	۲۶۶/۳۹±۱۸/۷۴^{b}
زراعی	۶۰ p+۴۰ sp	۲۳/۳۳±۱/۱۵^{a}	۲۱/۰۰±۱/۰۰^{a}	۱۰۲۰±۳۶,۲۱^{a}	۶۲۵±۲۵/۰۰^{a}	۵۲/۰۰±۱/۰۰^{b}	۵/۶۶±۱/۰۴^{a}	۲۲۷/۱۲±۹/۹۸^{bc}
۴۰درصد	۰	۹/۶۶±۰/۲۸^{g}	۱۲/۱۶±۱/۱۵^{e}	۲۵۰±۸/۶۶^{g}	۱۰۵±۸/۶۶^{f}	۲۰/۰۰±۱/۵^{g}	۲/۱۶±۰/۲۸^{d}	۱۰۲/۵۰±۲/۵۰^{e}
	۴۰ p+۴۰ sp	۹/۳۵±۰/۲۵^{g}	۱۶/۵۸±۰/۷۲^{cd}	۲۷۹±۱۱/۵۳^{g}	۱۳۳±۶/۰۸^{e}	۱۹/۳۳±۱/۱۵^{g}	۲/۰۶±۰/۹۰^{d}	۱۱۵±۵/۰۰^{e}
ظرفیت	۴۰ p+۶۰ sp	۱۴/۶۶±۰/۵۷^{e}	۱۷/۳۳±۰/۸۴^{c}	۴۷۲±۱۶/۶۲^{e}	۳۰۳±۱۵/۲۷^{b}	۲۹/۳۳±۱/۱۵^{f}	۲/۳۳±۰/۵۷^{cd}	۱۲۵/۹۷±۱/۷۸^{e}
زراعی	۶۰ p+۴۰ sp	۱۳/۶۶±۰/۲۸^{f}	۱۹/۵۰±۱/۳۲^{b}	۳۷۰±۲۰/۰۰^{f}	۳۰۳±۱۰/۰۰^{b}	۴۰/۰۰±۰۰/۵۰^{d}	۴/۱۰±۰/۸۱^{b}	۱۵۷/۵۰±۷/۵۰^{de}

داده‌ها میانگین سه تکرار ± انحراف معیار را نشان می‌دهند. میانگین‌های دارای حروف مشابه ازنظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند.

۴۰ p+۴۰sp: ۴۰ میکرومولار پوتریسین با ۴۰ میکرومولار اسپرمین، ۴۰ p+۶۰ sp: ۴۰ میکرومولار پوتریسین با ۶۰ میکرومولار اسپرمین، ۶۰p+۴۰ sp: ۶۰ میکرومولار پوتریسین با ۴۰ میکرومولار اسپرمین.



شکل ۱- میانگین وزن خشک برگ گلرنگ تحت (A) سطوح مختلف آبیاری (B) و در واکنش به محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها

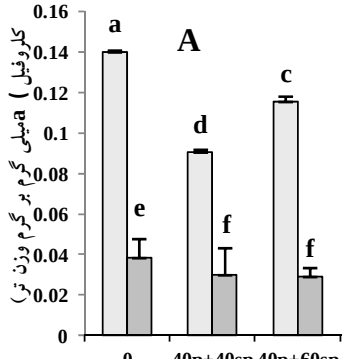
اثر متقابل این عامل‌ها برای وزن خشک برگ معنی‌دار نگردید (جدول ۱). خشکی سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک برگ شد (شکل ۱، A). تیمار پلی‌آمین‌ها وزن خشک برگ را افزایش داد (شکل ۱،B).

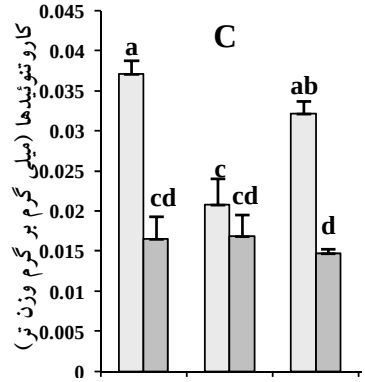
محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ: اثرات آبیاری و محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ‌های گیاه گلرنگ معنی‌دار بود. اثر متقابل این عامل‌ها برای این موارد معنی‌دار گردید (جدول ۳). سطح آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، غلظت کلروفیل a، b و کارتنوئیدها را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. بیشترین غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی با تیمار غلظت‌های ۶۰+۴۰ میکرومولار پوتریسین+ اسپرمین در خشکی مشاهده گردید (شکل ۲،C,B,A). در گیاهان با آبیاری کامل، محلول‌پاشی غلظت‌های ترکیبی پلی‌آمین‌ها سبب کاهش معنی‌دار کلروفیل a و کارتنوئیدها شد (شکل ۲، A و C).

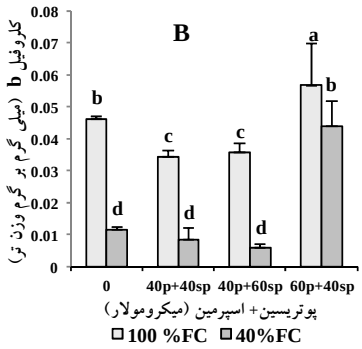
جدول۳- تجزیه واریانس میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و محتوای نسبی آب برگ گلرنگ تحت سطوح مختلف آبیاری در واکنش به محلول‌پاشی پلی-آمین‌ها

		میانگین مربعات			
منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئیدها	محتوای نسبی آب
تکرار	۲	۰/۰۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۷^{ns}	۰/۳۱۹^{ns}
آبیاری	۱	۰/۰۲**	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۰۴**	۵۴۱/۳۱**
محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها	۳	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۲۷/۴۰^{ns}
محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها × آبیاری	۳	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۲**	۷۵۸/۰۷**
خطا	۱۴	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۶/۶۲
ضریب تغییرات (٪)	-	۶/۱۰	۱۸/۷۳	۱۲/۸۴	۳/۸۷

ns، * و ** بترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.



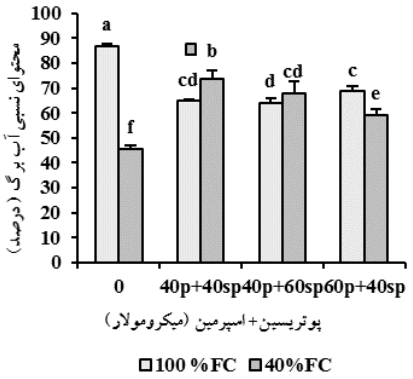




شکل۲- اثر غلظت‌های ترکیبی پوتریسین+ اسپرمین بر غلظت رنگیزه-های فتوسنتزی برگ گلرنگ، (A) کلروفیل a، (B) کلروفیل b (C) کارتنوئیدها تحت سطوح مختلف آبیاری. داده‌ها میانگین سه تکرار ± انحراف معیار را نشان می‌دهند. میانگین‌های دارای حروف مشابه ازنظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند. ۴۰: ۴۰ p+۴۰ sp میکرومولار پوتریسین با ۴۰ میکرومولار اسپرمین، ۴۰: ۴۰ p+۶۰ sp میکرومولار پوتریسین با ۶۰ میکرومولار اسپرمین، ۶۰: ۶۰ p+۴۰ sp میکرومولار پوتریسین با ۴۰ میکرومولار اسپرمین.

محتوای نسبی آب برگ: اثرات آبیاری و محلول‌پاشی پلی-آمین‌ها بر محتوای نسبی آب معنی‌دار بود. اثر متقابل این عامل‌ها نیز برای این مورد نیز معنی‌دار گردید (جدول ۳). کاربرد غلظت‌های ترکیبی پوتریسین+ اسپرمین در آبیاری محدود سبب افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب شد. تیمار با پلی‌آمین‌ها در شرایط آبیاری طبیعی محتوای نسبی آب را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (شکل ۳).

غلظت قندهای محلول و نامحلول اندام هوایی: آبیاری و پلی‌آمین‌ها، قندهای محلول و نامحلول اندام هوایی را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرارداد. اثر متقابل این عامل‌ها برای این موردها در برگ و ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۴).



شکل ۳- محتوای نسبی آب گلرنگ تحت سطوح مختلف آبیاری در واکنش به محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها. میانگین‌های دارای حروف مشابه ازنظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند، sp ۴۰ +۴۰p: ۴۰ میکرومولار پوتریسین با ۴۰ میکرومولار اسپرمین، sp ۶۰ +۴۰p: ۴۰ میکرومولار پوتریسین با ۶۰ میکرومولار اسپرمین، sp ۴۰ +۶۰p: ۶۰ میکرومولار پوتریسین با ۴۰ میکرومولار اسپرمین.

سطح آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، غلظت قندهای محلول اندام هوایی و ریشه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد، ولی سبب کاهش غلظت قندهای نامحلول اندام هوایی شد. میزان قندهای محلول با تیمار ۶۰+۴۰ میکرومولار پوتریسین+ اسپرمین تحت تنش خشکی در اندام هوایی افزایش و در ریشه کاهش یافت. محلول‌پاشی سایر غلظت-های ترکیبی پلی‌آمین‌ها در گیاهان تحت تنش سبب کاهش قندهای محلول اندام هوایی شد. در شرایط آبیاری کامل نیز استفاده از غلظت‌های ترکیبی اسپرمین و پوتریسین سبب کاهش معنی‌دار غلظت قندهای محلول اندام هوایی و ریشه گردید ($P\leq$۰/۰۵) (جدول ۵).

غلظت پرولین آزاد: اثرات آبیاری، پلی‌آمین‌ها و آبیاری × محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها روی پرولین برگ و ریشه معنی‌دار شد (جدول ۴).

تنش خشکی سبب افزایش معنی‌دار غلظت پرولین برگ و ریشه گردید. اسپری برگی غلظت‌های ترکیبی اسپرمین و پوتریسین در شرایط تنش خشکی غلظت پرولین را در برگ به‌طور معنی‌داری کاهش داد.

جدول ۴- تجزیه واریانس میزان اسمولیت‌های اندام هوایی، برگ و ریشه گلرنگ تحت سطوح مختلف آبیاری در واکنش به محلول‌پاشی‌پلی‌آمین‌ها

		میانگین مربعات				
منابع تغییرات	درجه آزادی	قندهای محلول اندام هوایی	قندهای نامحلول اندام هوایی	پرولین برگ	پروتئین محلول کل برگ	آمینواسید آزاد کل برگ
تکرار	۲	۰/۳۶۸۲^{ns}	۰/۳۳۴^{ns}	۰/۱۰^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}
آبیاری	۱	۱۰۷/۸۰**	۲۰/۹۲**	۱۱/۴۶**	۱۳/۷۸**	۰/۰۱۵**
محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها	۳	۳۱۳/۲۹**	۱۵۵/۵۴**	۱۲/۵۱**	۸۶/۷۳**	۱/۷۹**
محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها × آبیاری	۳	۴۵/۵۲**	۱۰۶/۸۷**	۴/۲۳**	۷۴/۲۷**	۰/۶۰**
خطا	۱۴	۱/۹۹	۱/۴۵	۰/۰۱۹	۰/۰۴۹	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۶/۲۷	۵/۷۳	۳/۸۳	۱/۸۸	۴/۸۵
		میانگین مربعات				

منابع تغییرات	درجه آزادی	قندهای محلول ریشه	قندهای نامحلول ریشه	پرولین ریشه	پروتئین محلول ریشه	آمینواسید آزاد کل ریشه
تکرار	۲	۰/۰۲^{ns}	۱/۴۱^{ns}	۰/۱۰^{ns}	۰/۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}
آبیاری	۱	۸/۲۶**	۱۷/۷۸**	۱۱/۴۶**	۱۰۲/۶۵^{ns}	۰/۰۱۵**
محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها	۳	۸/۹۸**	۵/۷۸^{ns}	۱۲/۵۱**	۵۷/۰۵**	۱/۷۹**
محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها × آبیاری	۳	۱/۳۷**	۲۱/۷۷**	۴/۲۳**	۳۹/۴۷**	۰/۶۰**
خطا	۱۴	۰/۱۴	۲۱/۷۷	۰/۰۱۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۵/۰۲	۸/۳۲	۴/۷۲	۰/۶۱	۶/۵۸

ns، * و ** بترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

در ریشه کاربرد غلظت ۶۰+۴۰ میکرومولار پوتریسین+ اسپرمین در خشکی سبب افزایش غلظت پرولین شد. در شرایط آبیاری طبیعی، محلول‌پاشی غلظت‌های ترکیبی اسپرمین و پوتریسین اثر معنی‌داری بر میزان پرولین برگ و ریشه نشان داد (جدول ۵).

غلظت پروتئین‌های محلول کل و آمینواسیدهای آزاد کل: میزان پروتئین کل برگ و آمینواسیدهای آزاد برگ و ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش آبیاری و تیمار پلی‌آمین‌ها قرارگرفت. اثر متقابل این عامل‌ها برای این موردها معنی‌دار بود ($P \leq ۰/۰۱$) (جدول ۴). خشکی سبب کاهش معنی‌دار غلظت پروتئین‌ها در برگ و ریشه و افزایش غلظت آمینواسیدهای آزاد ریشه گردید. غلظت پروتئین کل برگ و ریشه با تیمار ۶۰+۴۰ و ۴۰+۶۰ میکرومولار پوتریسین+ اسپرمین تحت تنش خشکی افزایش معنی‌داری نشان داد. کاربرد غلظت‌های ترکیبی اسپرمین و پوتریسین در شرایط آبیاری کامل موجب کاهش معنی‌دار غلظت پروتئین محلول کل برگ شد. در ریشه، استفاده از غلظت‌های ۴۰+۶۰ و۶۰+۴۰ میکرومولار پوتریسین+ اسپرمین در شرایط آبیاری نرمال سبب افزایش معنی‌دار غلظت پروتئین محلول کل گردید ($P \leq ۰/۰۵$) (جدول ۵).

جدول ۵- اثر غلظت‌های ترکیبی پوتریسین+ اسپرمین بر میزان قندهای محلول و نامحلول، پرولین، پروتئین محلول کل و آمینواسیدهای آزاد کل گلرنگ تحت سطوح مختلف آبیاری

آبیاری	غلظت پلی‌آمین‌ها (میکرومولار)	قندهای محلول اندام هوایی (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	قندهای نامحلول اندام هوایی (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	پرولین آزاد برگ (میکروگرم بر گرم وزن‌تر)	پروتئین محلول کل برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)	آمینواسید آزاد کل برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)
۱۰۰درصد ظرفیت زراعی	۰	۲۷/۱۷±۱/۴۵^{d}	۳۵/۷۶±۰/۷۳^{b}	۳/۶۶±۰/۳۳ ^{c}	۲۲/۷۳±۰/۰۸^{a}	۰/۳۱±۰/۰۱^{e}
	۴۰ p+۴۰ sp	۲۱/۷۱±۱/۱۱^{f}	۳۴/۵۲±۲/۷۶^{bc}	۳/۸۵±۰/۰۱^{c}	۵/۷۲±۰/۶۰^{f}	۲/۱۰±۰/۰۸^{a}
	۴۰ p+۶۰ sp	۲۴/۶۱±۱/۵۹^{e}	۲۸/۵۸±۳/۶۰^{de}	۲/۵۷±۰/۰۰۱^{e}	۹/۹۴±۰/۰۰۵^{e}	۰/۵۵±۰/۰۰۴^{d}
	۶۰ p+۴۰ sp	۲۷/۰۰±۰/۳۴^{d}	۳۶/۳۲±۱/۶۹^{e}	۱/۷۰±۰/۱۱^{f}	۱۱/۷۹±۰/۰۰۲^{c}	۰/۳۳±۰/۰۰۵^{e}
۴۰درصد ظرفیت زراعی	۰	۳۹/۴۲±۱/۴۴^{b}	۲۱/۵۳±۱/۷۸^{f}	۷/۳۶±۰/۱۴^{a}	۱۱/۳۲±۰/۰۴^{d}	۰/۷۴±۰/۰۱^{c}
	۴۰ p+۴۰ sp	۳۲/۰۵±۱/۵۰^{c}	۳۱/۶۵±۲/۰۰^{cd}	۴/۲۲±۰/۰۱^{b}	۱۰/۹۳±۰/۰۴^{d}	۱/۱۳±۰/۰۱^{b}
	۴۰ p+۶۰ sp	۲۹/۹۵±۰/۰۸^{c}	۲۸/۵۵±۰/۱۰^{de}	۲/۵۲±۰/۲۱^{e}	۹/۶۴±۰/۰۰۲^{e}	۰/۶۰±۰/۰۰۵^{d}
	۶۰ p+۴۰ sp	۴۱/۷۵±۱/۸۶^{a}	۴۵/۱۶±۱/۲۷^{a}	۳/۲۱±۰/۲۱^{d}	۱۲/۲۲±۰/۰۰۵^{b}	۰/۶۱±۰/۰۵^{d}

ریشه

	۰	۱۰/۶۱±۰/۶۰^{c}	۸/۷۳±۰/۳۴^{g}	۱/۵۶±۰/۰۸^{ef}	۱۲/۷۷±۰/۰۹^{d}	۰/۳۹±۰/۰۱^{d}
۱۰۰درصد	۴۰ p+۴۰ sp	۷/۰۴±۰/۶۳^{e}	۸/۳۳±۰/۴۰^{g}	۱/۳۹±۰/۰۰۲^{f}	۶/۷۰±۰/۱۰^{g}	۰/۳۲±۰/۰۳^{e}
ظرفیت	۴۰ p+۶۰ sp	۶/۹۷±۰/۱۳^{e}	۱۴/۲۴±۰/۲۳^{d}	۲/۹۵±۰/۱۷^{cd}	۱۳/۷۴±۰/۰۹^{b}	۰/۲۶±۰/۰۳^{f}
زراعی	۶۰ p+۴۰ sp	۵/۵۵±۰/۵۲^{f}	۱۰/۳۴±۰/۱۴^{f}	۳/۹۴±۰/۰۴^{b}	۱۸/۱۹±۰/۰۲^{a}	۰/۵۱±۰/۰۱^{b}
	۰	۸/۱۷±۰/۴۰^{d}	۱۶/۱۱±۰/۰۵^{a}	۳/۰۳±۰/۰۵^{c}	۸/۲۳±۰/۳۱^{e}	۰/۲۸±۰/۰۱^{ef}
۴۰درصد	۴۰ p+۴۰ sp	۱۱/۷۷±۰/۲۰^{b}	۲۳/۳۳±۱/۰۵^{b}	۱/۷۲±۰/۰۱^{e}	۶/۴۲±۰/۰۱^{h}	۰/۶۷±۰/۰۳^{a}
ظرفیت	۴۰ p+۶۰ sp	۳۵/۶۷±۰/۴۰^{a}	۳۳/۲۰±۱/۰۵^{a}	۲/۷۶±۰/۲۸^{d}	۱۳/۲۶±۰/۰۲^{c}	۰/۳۰±۰/۳۰^{e}
زراعی	۶۰ p+۴۰ sp	۵/۶۱±۰/۵۷^{f}	۱۲/۸۹±۰/۵۵^{e}	۵/۰۸±۰/۰۴^{a}	۶/۹۴±۰/۰۴^{f}	۰/۴۶±۰/۰۰۷^{c}

داده‌ها میانگین سه تکرار ± انحراف معیار را نشان می‌دهند. میانگین‌های دارای حروف مشابه ازنظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند.
۴۰ p+۴۰sp: ۴۰ میکرومولار پوتریسین با ۴۰ میکرومولار اسپرمین، ۴۰ p+۶۰ sp: ۴۰ میکرومولار پوتریسین با ۶۰ میکرومولار اسپرمین، ۴۰ sp +۶۰p: ۶۰ میکرومولار پوتریسین با ۴۰ میکرومولار اسپرمین.

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی در حد ۴۰ درصد ظرفیت زراعی سبب کاهش رشد گیاه گلرنگ شد. کاهش شاخص‌های رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و محتوای نسبی آب در شرایط خشکی به دلیل کاهش پتانسیل آب سبب بسته شدن روزنه می‌گردد. این موضوع به همراه کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی منجر به کاهش فتوسنتز و درنتیجه کاهش رشد می‌گردد که با نتایج انجام شده در گیاه کتان (*Linum usitatissimum* L.) (۷) و گیاه زیره سیاه (*Carum copticum* L.) (۳۰) مطابقت دارد. وزن خشک برگ، وزن‌تر ریشه، وزن‌تر اندام هوایی، طول اندام هوایی و سطح برگی تحت خشکی بترتیب ۴۶/۵۶، ۳۶/۷۹، ۵۹/۵۴، ۴۱/۴۰ و ۵۰/۹۶ درصد نسبت به شاهد کاهش یافتند. در مطالعاتی که در گیاه گلرنگ بهاره انجام شد، کمبود آب سبب کاهش محتوای نسبی آب و غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی گردیده است (۱۰و۲۷). طول اندام هوایی، وزن خشک و تر برگ با غلظت ۴۰+۴۰ میکرومولار پوتریسین+ اسپرمین کاهش یافتند ولی دو غلظت دیگر پلی‌آمین‌ها این صفات را افزایش دادند. تأثیر مثبت پلی‌آمین‌ها بر روی سایر صفات رشدی در شرایط تنش و تحت آبیاری کامل مشابه بود. پژوهش‌های پیشین نشان داده است که استفاده از پلی‌اتیلن‌گلیکول در گیاه یونجه (*Medicago sativa* L.) سبب کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی و پروتئین برگ می‌شود و تیمار با پوتریسین سبب افزایش این صفات می‌گردد (۳۷). در بررسی دیگری مشخص‌شده است که تنش خشکی در حد ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، باعث کاهش محتوای آب برگ گیاه برنج (*Orysa sativa* L.) می‌شود و اسپری برگی ۱۰ میکرومولار اسپرمین باعث عملکرد بهتر در این شرایط می‌گردد (۱۸). در مطالعه دیگری که در گیاه سیتروس (*Citrus aurantifolia* L.) انجام شده است، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تنش خشکی کاهش نشان داده است که با تیمار اسپرمیدین ۰/۱ و دو میکرومولار بهبود یافته است (۱۲).

در این بررسی افزایش محتوای قندهای محلول اندام هوایی و ریشه تحت تنش خشکی ممکن است ناشی از کاهش نیاز به مواد فتوسنتزی به دلیل کاهش رشد و افزایش فعالیت آنزیم اینورتاز باشد (۱۷). انباشت قندهای محلول در شرایط تنش، علاوه بر نقش‌های فیزیولوژیکی مهمی که ازنظر تأمین انرژی دارد، می‌تواند سبب کاهش پتانسیل آب گیاه و تداوم جذب آب و درنتیجه افزایش میزان تحمل گیاه به خشکی گردد (۲۶). نتایج مشابهی در گیاه بابونه آلمانی (*Matricaria Chamomilla* L.)، گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) و لوبیا سفید (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط خشکی نیز گزارش شده است (۱،۲ و ۴). در گیاه ارزن (*Panicum miliaceum* L.) از بین

تیمارهای صفر، نیم و یک میلی‌مولار اسپرمین در تنش خشکی (۵۰ درصد ظرفیت زراعی)، اسپرمین یک میلی-مولار در رفع آسیب‌های ناشی از تنش خشکی نقش موثرتری نشان داده است (۶). همچنین پرولین آزاد نیز به عنوان تنظیم‌کننده اسمزی در گیاهان عمل می‌کند و در پایداری غشاها، پروتئین‌ها و خاموش‌سازی رادیکال‌های آزاد در شرایط تنش نقش دارد. افزایش میزان پرولین در خشکی می‌تواند به دلیل القای فعالیت آنزیم پیرولین- ۵- کربوکسیلات سنتاز باشد (۱۶). بنا به گزارش نیک‌روش و همکاران (۱۳۹۵) مقادیر پرولین و قند محلول گیاهان کلزا تحت تنش خشکی افزایش معنی‌داری نشان دادند (۹). میزان قند محلول اندام هوایی و پرولین برگ و ریشه بسته به غلظت پلی‌آمین‌ها متفاوت بود. تنها غلظت ۶۰+۴۰ میکرومولارپوتریسین+ اسپرمین در ریشه سبب افزایش میزان پرولین شد. دراین پژوهش، کاهش غلظت پرولین برگ و قندهای محلول اندام هوایی در گیاهان تحت تنش تیمار شده با پلی‌آمین‌ها نشان می‌دهد که پلی‌آمین‌ها با بهبود وضعیت آبی گیاه، سبب کاهش اثرات تنش خشکی و درنتیجه نیاز کمتر گیاه به انباشت پرولین آزاد و قندهای محلول شده‌اند. همچنین کاهش پرولین آزاد با پلی‌آمین‌ها می‌تواند به دلیل افزایش سنتز کلروفیل با تیمار ترکیبی پلی-آمین‌ها باشد، چرا که پیش‌ساز هر دو ترکیب گلوتامات است. از سوی دیگر نقش پلی‌آمین‌ها به عنوان اسمولیت و پاک‌کننده رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاهان نیز مطرح می‌باشد (۲۵) که دلیلی بر کاهش تولید و انباشت اسمولیت‌های سازگار نظیر پرولین آزاد و قندهای محلول می‌تواند باشد. هرچند بین مقاومت به تنش و تجمع پرولین آزاد در گیاهان عالی ارتباط قوی وجود دارد، ولی این ارتباط برای همه گیاهان صادق نیست، زیرا برخی از گیاهان تراریخت شده که مقادیر زیادی پرولین آزاد تولید می‌کنند، مقاومت چندانی به خشکی ندارند (۱۷). کاربرد پوتریسین (۲ppm و ۱ و۰) در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در گیاه پنبه (*Gossypium barbadense* L.) سبب کاهش پرولین آزاد شده است که با یافته حاصل از این پژوهش مطابقت دارد (۲۱).

کاهش پروتئین برگ و ریشه و افزایش آمینواسیدهای آزاد ریشه در خشکی می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت پروتئاز یا کاهش بیوسنتز پروتئین‌ها در تنش خشکی باشد (۱۸). افزایش محتوای پروتئین‌های محلول برگ و ریشه با ۶۰ +۴۰ میکرومولار پوتریسین+ اسپرمین در گیاهان تحت تنش خشکی نیز شاید به دلیل سنتز از نو پروتئین‌های خاص یا جلوگیری از تجزیه پروتئین‌ها با این تنظیم‌کننده-های رشد باشد. پلی‌آمین‌ها جهت حفاظت از غشای پلاسمایی در برابر صدمات تنش، از فعالیت پروتئاز ممانعت می‌کنند. همچنین پیوند کووالان پلی‌آمین‌ها با پروتئین‌ها به پایداری ساختار و عمل سلول کمک می‌کند (۲۸).

نتیجه‌گیری

تنش خشکی سبب تغییرات فیزیولوژیک و کاهش رشد گیاه گلرنگ شد و کاربرد غلظت‌های ترکیبی پوتریسین و اسپرمین در کاهش اثرات تنش خشکی مؤثر بودند. محلول‌پاشی ۶۰+۴۰ میکرومولار پوتریسین+اسپرمین بیشترین اثر مثبت در بهبود شاخص‌های رشد و افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، سطح برگی، پروتئین محلول کل برگ و قندهای محلول اندام هوایی را به همراه داشت. پلی‌آمین‌ها می‌توانند در کاهش اثرات مخرب تنش خشکی مؤثر باشند و سبب افزایش تحمل خشکی و افزایش عملکرد در گیاه گلرنگ شوند. این نتیجه می‌تواند در استفاده از آن‌ها به‌منظور کشت گیاه گلرنگ در مناطق کم باران و همچنین کاهش مصرف آب در کشاورزی مفید واقع گردد.

منابع

۱- آرزمجو، ا.، حیدری، م.، و قنبری، ا.، ۱۳۸۹. اثر تنش خشکی و نوع کود بر عملکرد و کیفیت بابونه آلمانی، مجله علوم زراعی ایران، ۱۲، صفحات ۱۱۱- ۱۰۰.

۲- احمدی موسوی، ع.، منوچهری کلانتری، خ.، و ترکزاده، م.، ۱۳۸۴. اثر نوعی براسینواستروئید (epibrassinolide -24) بر مقدار تجمع مالون‌دی‌آلدئید، پرولین، قند و رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) تحت تنش کم‌آبی، مجله زیست‌شناسی ایران، ۱۸، صفحات ۳۰۶-۲۹۵.

۳- باغخانی، ف.، و فرحبخش، ح.، ۱۳۸۵. اثرات تنش خشکی بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی سه رقم گلرنگ بهاره. مجله پژوهش کشاورزی، آب، خاک و گیاه در کشاورزی، ۸ ، صفحات ۵۷-۴۵.

۴- جوانمردی، ش.، زاده باقری، م.، و کامل منش، م. م.، ۱۳۸۹. اثر تنش خشکی بر تجمع پرولین، قندهای محلول و تغییرات عناصر سدیم و پتاسیم در ژنوتیپ‌های لوبیا سفید، مجله علوم زراعی ایران، ۲، صفحات ۹۴-۸۳.

۵- دانشمندی، م. ح.، و عزیزی، م.، ۱۳۸۸. بررسی اثر تنش خشکی و کاربرد زئولایت معدنی بر خصوصیات کمی و کیفی ریحان، رقم اصلاح شده مجارستانی، ششمین کنگره علوم باغبانی ایران، صفحات ۱۲۹-۱۲۳.

۶- فرحبخش، ح.، توحیدی‌نژاد، ع.، و رشاد، س.، ۱۳۹۳. تأثیر پلی-آمین‌ها بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و شیمیایی ارزن علوفه‌ای تحت تنش خشکی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان، صفحات ۵۱-۵۰.

۷- موحدی‌دهنوی، م.، رنجبر، م.، یدوی، ع.، و کاووسی، ب.، ۱۳۹۰. اثر سایکوسل بر میزان پرولین، قندهای محلول، پروتئین، درصد روغن و اسیدهای چرب کتان روغنی تحت تنش خشکی در شرایط کشت گلدانی، مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۳، صفحات ۱۳۸-۱۲۹.

۸- نظرلی، ح.، هادیان، ج.، و احمدی، ع.، ۱۳۹۴. ارزیابی تأثیر پوتریسین در القاء تحمل به خشکی و تغییر فعالیت آنزیم‌های ضد اکسنده در گیاه بابونه آلمانی (*Matricaria Chamomilla* L.)، مجله علوم گیاهان زراعی ایران، ۴، صفحات ۲۹۳-۲۲۲.

۹- نیک‌روش، م.، خلدبرین، ب.، نژادستاری، ط.، و نجفی، ف.، ۱۳۹۵. اثر سدیم نیتروپروساید (SNP) بر برخی عوامل فیزیولوژیکی گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) تحت تنش خشکی، مجله زیست‌شناسی ایران، ۲۹، صفحات ۶۵۸-۶۴۴.

۱۰- معراجی‌پور، م.، موحدی‌دهنوی، م.، دهداری، ا.، فرجی، ه.، و معراجی‌پور، م.، ۱۳۹۱. تأثیر تنش خشکی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی چهار رقم گلرنگ بهاره در منطقه یاسوج، مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۵، صفحات ۱۳۴-۱۲۵.

11- Alcazar, R., Bitrian, M., Zarza, X., and Tiburcio, A. F., 2012. Polyamines metabolism and signaling in plant abiotic stress. Recent Advances Pharmacol. Sci. II, 5, PP: 29-47.

12- Amri, E., and Shahsavar, A. R., 2010. Response of lime seedling (*Citrus aurantifolia* L.) to exogenous spermidine treatments under drought stress. Aust. J. Basic Appl. Sci, 4, PP: 4483-4489.

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

14- Bitrián, M., Zarza, X., Altabella, T., Antonio, F., and Alcázar, R., 2012. Polyamines under Abiotic Stress: Metabolic Crossroads and Hormonal Crosstalks in Plants. Metabolites, 2, PP: 516-528.

15- Bradford, M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem, 72, PP: 248-254.

16- Farhangi-Abriz, S., and Ghassemi-Golezani, K., 2018. How can salicylic acid and jasmonic acid mitigate salt toxicity in soybean plants? Ecotoxicol. Environ. Saf, 147, PP: 1010-1016.

17- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Barsa, S. M., 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agric. Sustain. Dev, 29, PP: 185-212.

18- Farooq, M., Wahid, A., and Lee, D. J., 2009. Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. Acta Physiol. Plant, 31, PP: 937–945.

19- Ghassemi-Golezani, K., Dalil, B., and Dastborhan, S., 2013. Water stress in plants. West Azerbaijan Jahad Daneshgahi Publication, Iran. PP: 30-40.

20- Hajiboland, R., and Ebrahimi, N., 2011. Growth, photosynthesis and phenolic metabolism in tobacco plants under salinity and application of polyamines. Iran. J. Plant Biol, 3, PP: 13-26.

21- Hanafy Ahmed, A. H., Darvish, E., and Alobaidy, M. G., 2017. Impact of putrescine and 24-epibrassinolide on growth, yield and chemical constituents of cotton (*Gossypium barbadense* L.) plant grown under drought stress conditions. Asian J. Plant Sci, 16, PP: 9-23.

22- Hojati, M., Modarres-Sanavy, S. M. M., Karimi, M., and Ghanati, F., 2011. Responses of growth and antioxidant systems in *Carthamus tinctorius* under water deficit stress. Acta Physiol. Plant, 33, PP: 105-112.

23- Hwang, M., and Ederer, G. M., 1975. Rapid hippurate hydrolysis method for presumptive identification of group B *streptococci*. J. Clin. Microbiol, 1, PP: 14-115.

24- Kochert, G., 1978. Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method, In Helebust , J. A., Craig, J. S. (ed) Handbook physiological methods, Cambridge university, Press Cambridge, 9697 p.

25- Kotakis, C., Theodoropoulou, E., Tassis, K., Oustamanolakis, C., and Kotzabasis, K., 2014. Putrescine, a fast-acting switch for tolerance against osmotic stress, J., Plant Physiol, 171, PP : 48–51.

26- Li, Z., Jing, W., Peng, Y., Zhang, X. Q., and Huang, L. K., 2015. Spermine alleviates drought stress in white clover with different resistance by influencing carbohydrate metabolism and dehydrins synthesis, PLOS J., 10, PP: 250-258.

27- Mohammadi, M., Ghassemi-Golezani, K., Zehtab-Salmasi, S., and Nasrollahzade, S., 2016. Assessment of some physiological traits in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under water stress. Int. J. Life Sci, 10, PP: 58-64.

28- Pal, M., Szalai, G., and Janda, T., 2015. Polyamines are important in abiotic stress signaling. Plant Sci, PP: 1-34.

29- Pasban-Eslam, B., 2011. Evaluation of physiological indices for improving water deficit tolerance in spring safflower. J. Agric. Sci, Technol, 13, PP: 327-338.

30- Razavizadeh, R., Adabavazeh, F., Rostami, F., and Teimouri, A., 2017. Comparative study of osmotic stress effects on the defense mechanisms and secondary metabolites in *Carum copticum* seedling and callus. J. Plant Proc. Function, 18, PP: 23-33.

31- Sathe, A. P., Paserkar, N. G., Thakre, M. B., and Gaikwad, S. M., 2015. Engineeing polyamines for abiotic stress tolerance. Indian J. Appl. Res, 5, PP: 20-25.

32- Shukla, V., Ma, Y., and Merevitz, V., 2015. Creeping Bentgrass responses to drought stress and polyamine application. J. Am. Soc Hort. Sci, 140, PP: 94-101.

33- Singh-Gill, S., and Tuteja, N., 2010. Polyamines and abiotic stress tolerance in plants. Plant Signal Behav, 5, PP: 26-31.

34- Smart, R. E., and Bingham, G. E., 1974. Rapid estimates of relative water content. Plant Physiol, 53, PP: 258-260.

35- Sukran, D., Gunes, T., and Sivaci, R., 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. Turk J. Bot, 22, PP: 13-18.

36- Vladimir, V., Kuznetsov, N., and Shevyakova, I., 2007. Polyamines and stress tolerance of plants. Plant Stress. 1, PP: 50-71.

37- Zeid, I. M., and Shedeed, Z. A., 2007. Alternations in nitrogen matabolites after putrescine treatment in alfalfa under drought stress. Pak. J. Biol. Sci. 10, PP: 1513-1518.

38- Zhou, L., Yn, Z. H., Danda, P., Xiaojan, W., Yan, P., and Yan, Y., 2015. Polyamine regulates tolerance to water stress in leaves of white clover associated with antioxidant defense and dehydrin genes via involvement in calcium messenger system and hydrogen peroxide signaling. Front. Physiol, 6, PP: 1-16.

Effects of exogenous polyamines on some growth and physiological parameters of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress

Toupchi Khosrowshahi Zh.,[1] Salehi-Lisar S.Y.,[1] Ghassemi-Golezani K.[2] and Motafakkerazad R.[1]

1. Dept. of Plant Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, I.R. of Iran.

2. Dept. of Plant Eco-physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, I.R. of Iran.

Abstract

Drought stress is the most prevalent abiotic stress in Iran and has highest negative effect on plant growth and productivity. Polyamines are plant growth regulators that enhance resistance of plants to environmental stresses such as water deficit. In this research, the effect of different putrescine+spermine concentrations (0+0, 40+40, 40+60, and 60+40 µM) on some of the physiological characters of spring safflower under well-watering (100% FC) and limited-watering (40% FC) were studied. The experiment was arranged as factorial based on randomized complete block design with three replications in a greenhouse at the University of Tabriz. Without polyamines application, water deficit was decreased growth parameters, leaf relative water content, photosynthetic pigments, and soluble protein in the leaves. Proline and soluble sugar contents of leaf were increased under water deficit. Foliar application of 60+40 µM putrescine+spermine improved most of these traits in the leaves, particularly under water stress conditions. However, exogenous polyamines reduced leaf proline content probably due to increase in chlorophyll content. Reduction in compatible osmolytes such as free proline in root and soluble sugars in leaf with application of 40+40 and 40+60 µM putrescine+spermine could be due to polymines role as osmolyte as well as ROS scavenger. These results suggest that foliar spray of 60+40 µM putrescine+spermine can mitigate some of the harmful effects of drought stress on physiological parameters of safflower.

Key words: *Carthamus tinctorius*, drought stress, osmolytes, polyamine