مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی
جلد چهارم، شماره اول، بهار ۹۰
۷۵-۹۵
ejcp.gau@gmail.com

تأثیر محلول‌پاشی روی و پتاسیم بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ در شرایط تنش خشکی

سودابه عابدی باباعربی[۱]، *محسن موحدی دهنوی[۲]، علیرضا یدوی[۲] و ابراهیم ادهمی[۱]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه زراعت و اصلاح‌نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج،
[۲]استادیار گروه زراعت و اصلاح‌نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی روی و پتاسیم بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ بهاره رقم اصفهان ۱٤، در شرایط تنش خشکی، آزمایشی گلدانی در گلخانه دانشگاه یاسوج در سال ۱۳۸۷ اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. عامل‌های آزمایشی شامل تنش خشکی در چهار سطح (S_1: بدون تنش، S_2: تنش در مرحله رویشی، S_3: تنش در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی، S_4: تنش در مرحله پرشدن دانه) و محلول‌پاشی در چهار سطح (F_1: بدون محلول‌پاشی، F_2: محلول‌پاشی آب مقطر، F_3: محلول‌پاشی سولفات روی، F_4: محلول‌پاشی سولفات پتاسیم) اعمال شد. نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی در مرحله رشد رویشی، گیاهانی که با عناصر روی و پتاسیم محلول‌پاشی شده بودند، دارای میزان بالاتری از کلروفیل a (۲۵/۲ درصد)، پرولین (۸۷/۸ درصد) و قندهای محلول کل (۹۹/۵ درصد) نسبت به تیمارهای بدون محلول‌پاشی بودند. محلول‌پاشی در تیمار تنش مرحله زایشی باعث افزایش کلروفیل a (۲٦ درصد)، کلروفیل a+b (۳۲ درصد)، پرولین (۵۱ درصد) و قندهای محلول کل (۲٦/۹ درصد) شد؛ اما در تیمار تنش مرحله پرشدن، تنها قندهای محلول کل (٤۱/٤ درصد) افزایش یافت. محلول‌پاشی روی و پتاسیم عملکرد دانه را در همه تیمارهای تنش، به‌جز تنش مرحله گلدهی و گرده‌افشانی، افزایش داد. به‌طورکلی، هم تنش خشکی و هم محلول‌پاشی روی و پتاسیم سبب افزایش میزان کلروفیل، پرولین و قندهای محلول کل برگ در همه مراحل رشد گلرنگ شدند. در پایان نیز عملکرد دانه گیاه در گیاهان تحت تنش کاهش یافت؛ اما با محلول‌پاشی روی و پتاسیم افزایش نشان داد. بنابراین محلول‌پاشی این

* مسئول مکاتبه: Movahhedi54@yahoo.com

دو عنصر، با افزایش غلظت اسمولیت‌هایی از جمله قندهای محلول و پـرولین و در نتیجـه کمـک بـه حفظ فشار اسمزی در سلول‌ها، در تحمل تنش خشکی به گیاه کمک کرد.

واژه‌های کلیدی: کلروفیل، پرولین، قندهای محلول کل، مراحل رشد

مقدمه

با وجود تولید سالانه ۲۷۱ هزار تن دانه روغنی در کشور، بخش عمده‌ای از روغن مصرفی از منابع خارجی تامین می‌شود. بنابراین، توسعه کشت دانه‌های روغنی از اهمیـت بـه‌سـزایی برخـوردار اسـت (یونس‌سینکی، ۲۰۰۸). از بین دانه‌های روغنی سازگار با شرایط کشور، گلرنگ به‌عنوان یک گیاه مقاوم به تنش شوری و خشکی (باسیل و کافکا، ۲۰۰۲) و با داشتن تیپ‌های بهاره و پاییزه، آینده نویدبخشی دارد (پاسبان‌اسلام، ۲۰۰۱). بیش از ٦٠ کشور جهان تولیدکننده گلرنگ هستند. در ایران نیـز کـشت آن به‌عنوان یک گیاه روغنی از سال ١٣٣٦ آغاز شد (یونس‌سینکی، ۲۰۰۸).

رشد و عملکرد گیاهان زراعی تابعی از عوامل محیطی و اثرات متقابل آن‌هاست. مطالعات گسترده‌ای در مورد نقش عوامل محیطی مانند عوامل آب و هوایی (بارندگی، درجه حرارت، رطوبت، نور و بـاد)، عوامل غیراقلیمی (رطوبت خاک، مواد غذایی، گازها، آفات و بیماری‌ها، رقابت با علف‌های هرز)، عوامل مدیریتی زراعی و میزان نهاده‌های کشاورزی در کاهش یا افزایش رشد و نمو گیاه به انجام رسیده است (لویت، ۱۹۸۰). لویت (۱۹۸۰) تنش را نتیجه روند غیرعادی فرایندهای فیزیولوژیکی دانست که از تأثیر یک یا ترکیبی از عوامل زیستی و محیطی به‌دست می‌آید. در حقیقت مقدار یا شدت نامناسب این عوامل است که می‌تواند برای موجود زنده مشکل‌ساز باشد (میرمحمدی‌میبدی و قره‌یاضی، ۲۰۰۲).

گیاهان در معرض انواع زیادی از تنش‌های محیطی‌اند. در بین این تنش‌ها، تنش اسـمزی، بـه‌ویـژه ناشی از خشکی و شوری، جدی‌ترین مسأله‌ای است که رشد گیاه و تولیـد محـصول را در کـشاورزی محدود می‌کند (کوزنتسوف و شویاکوا، ۱۹۹۹). گیاهان در هنگام تنش خشکی با تغییراتی که در برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی خود ایجاد می‌کنند، به تنش‌های مختلـف پاسـخ مـی‌دهنـد. تجمـع مـواد محلول در پاسخ به خشکی (تنظیم اسمزی) راهی برای حفظ آماس است (سانچز و همکاران، ۲۰۰۳). به‌نظر می‌رسد که تجمع پرولین آزاد در گیاهان عالی، واکنشی عمومی به تنش است. البتـه مقـادیری از چند اسید آمینه دیگر نیز تحت تنش خشکی و شوری افزایش می‌یابد، اما درجـه ایـن تغییـرات قابـل

مقایسه با تجمع پرولین نیست (گزیک، ۱۹۹٦). از دیگر موادی کـه در شـرایط تـنش در گیـاه تجمـع می‌یابد، قندهای محلول است که تحت تنش آب، می‌تواند بـه دو روش عمـل کنـد: بـه‌عنـوان عوامـل اسمزی، و یا به‌عنوان "حفاظت‌کننده‌های اسـمزی" (اینگـرام و بـارتلز، ۱۹۹٦؛ بـوهنرت و همکـاران، ۱۹۹۹). به‌عنوان عامل اسمزی، افزایش قند طی تنش آب، به‌طور معنی‌داری با تنظیم اسـمزی و حفـظ آماس همبستگی دارد؛ و به‌عنوان حفاظت‌کننده اسمزی، باعث پایداری پروتئین‌هـا و غـشاها مـی‌شـود (سانچز و همکاران، ۱۹۹۸). قندهای محلول و پرولین می‌توانند در تنظیم اسمزی به‌عنوان مواد محلول سازگار استفاده شوند (اینگرام و بارتلز، ۱۹۹٦). میزان کلروفیل برگ نیز از جمله صفات فیزیولوژیـک مهم است که تحت تنش، تغییر می‌یابد. زارکو- تجادا و همکاران (۲۰۰۰)، کلروفیـل بـرگ را یکـی از مهمترین شاخص‌های نشان‌دهنده فشارهای محیطی وارد بر گیاه دانستند و معتقدند مقدار کلروفیـل در گیاهان تحت تنش کاهش می‌یابد و باعث کاهش کل جذب نور توسط گیاه می‌شود.

تغذیه مناسب تحت شرایط تنش می‌تواند تا حدی به گیاه در تحمل تنش‌های مختلف کمک کنـد. روی از عناصر کم‌مصرف ضروری است که برای رشد طبیعی و تولیدمثل گیاهان زراعی ضروری است (آلووی، ۲۰۰٤)؛ و در سنتز پروتئین‌ها و هورمون گیاهی اکسین به‌کـار مـی‌رود (اسـتمپر و همکـاران، ۱۹۹۸). نیاز به روی برای رشد بهینه و مراحل فیزیولوژیکی (میسرا، ۱۹۹۲) و غلظت بحرانی آن بـرای عملکرد روغن ضروری (میسرا و شارما، ۱۹۹۱) گزارش شده است. این عنصر از عناصری است که یا به‌عنوان یک جزء فلزی آنزیم‌های مختلف و یا به‌عنوان یک کوفاکتور عاملی، ساختاری یا تنظیمی عمل می‌کند و بنابراین با متابولیسم ساکارید، فتوسنتز و سنتز پـروتئین رابطـه دارد (مارشـنر، ۱۹۸٤؛ بـولر و همکاران، ۱۹۹٤).

پتاسیم جزو عناصر پرمصرف مورد نیاز گیاه است. که در گیاه بیش‌تر نقش کاتالیزور دارد و کمبود آن، مقاومت گیاه را در برابر آفات و بیماری‌ها کاهش می‌دهد. وجود پتاسیم در نگهداری آب بافت‌های گیاهی اهمیت خاصی دارد (ملکوتی، b۲۰۰۰). در مورد تجمع آن در هنگام تنش اسمزی، نتایج زیادی گزارش شده است (شابالا و همکاران، ۲۰۰۰؛ کیدامبی و همکاران، ۱۹۹۰). این کاتیون در تنظیم فشار اسمزی و کنترل روزنه‌ای نقش ایفا می‌کند (حمیدی و صفرنژاد، ۲۰۰۳).

برای جذب عناصر، ریشه‌ها اندام اولیه گیاه هستند که این نقش را به عهده دارند. وجود عاملی کـه دسترسی عناصر غذایی را در خاک محدود می‌کند، استفاده مورد انتظار از کودها را کاهش می‌دهد. تحت این شرایط، عناصر غذایی برای گیاهان می‌تواند به‌وسیله استعمال برگـی فـراهم شـود (آلتیندیـسلی و

همکاران، ۱۹۹۸). کوددهی برگی یا محلول‌پاشی در واقع اسپری کردن عناصر غذایی بر برگ‌ها و ساقه‌های گیاه و جذب آن‌ها از این مکان‌هاست (کوپر، ۲۰۰۳). استعمال برگی می‌تواند دسترسی گیاهان به عناصر غذایی را برای به‌دست آمدن عملکرد بالا تضمین کند. از دید اکولوژیکی، کوددهی برگی قابل‌قبول‌تر است چون مقادیر کم‌تر عناصر غذایی برای مصرف سریع به‌وسیله گیاه، فراهم می‌شود (استمپر و همکاران، ۱۹۹۸).

ایران کشوری است که در منطقه جغرافیایی خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است. گیاهان موجود در این مناطق، در مراحل مختلف رشد خود در معرض تنش خشکی هستند؛ از طرفی عناصر غذایی می‌توانند در مقاومت گیاه به تنش‌های مختلف محیطی نقش به‌سزایی داشته باشند. از آنجا که روی و پتاسیم وظایف مهمی در متابولیسم گیاهان دارند؛ بنابراین این تحقیق جهت تعیین اثرات این دو عنصر بر عملکرد و صفات فیزیولوژیک مهم گیاه گلرنگ در شرایط تنش خشکی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی عنصر کم‌مصرف روی و پرمصرف پتاسیم بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک گلرنگ در شرایط تنش خشکی، آزمایشی گلدانی در سال ۱۳۸۷ در گلخانه دانشگاه یاسوج انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. عوامل آزمایشی شامل تنش خشکی در چهار سطح (S_1: تیمار بدون تنش خشکی، S_2: تنش خشکی در مرحله رشد رویشی، S_3: تنش خشکی در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی و S_4: تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه) و تیمار محلول‌پاشی نیز در چهار سطح (F_1: بدون محلول‌پاشی، F_2: محلول‌پاشی آب خالص، F_3: محلول‌پاشی سولفات روی و F_4: محلول‌پاشی سولفات پتاسیم) بودند. رقم مورد استفاده در این آزمایش رقم اصفهان ١٤ بود که رقمی بهاره، دیررس، پرمحصول، کم‌خار با گل‌های قرمز و تا حدودی مقاوم به بوته‌میری فیتوفترایی می‌باشد (علی‌نقی‌زاده، ۲۰۰۹).

اعمال تنش خشکی به‌صورت قطع آبیاری بود. آبیاری مجدد زمانی انجام شد که علایم تنش از جمله پیچیدگی جوان‌ترین برگ‌ها، در نمونه‌های تحت تنش مشاهده گردید (صدیق و همکاران، ۲۰۰۰). این عمل تا پایان مرحله فیزیولوژیکی موردنظر ادامه یافت. در هر مرحله از اعمال تنش، با تیمارهای سایر مراحل مشابه تیمار بدون تنش رفتار شد. محلول‌پاشی سولفات روی و پتاسیم به‌میزان ۳ در هزار و در دو نوبت به فاصله ده روز از هم انجام شد. نوبت اول محلول‌پاشی با شروع رشد ساقه انجام گرفت (لویس و مک‌فارلین، ١٩٨٦). جهت انجام این آزمایش از گلدان‌هایی به قطر ۲۲ و ارتفاع

۲۵ سانتی‌متر استفاده شد، که حاوی ۱۲ کیلوگرم از خاک موردنظر بود. مشخصات خاک مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. خاک مورد استفاده برای کشت، شامل رس و شن به نسبت مساوی بود که کود اوره به‌میزان ۰/۲۵ گرم اوره و کود فسفره از منبع فسفات آمونیوم به‌میزان نیم گرم فسفات آمونیوم به هر گلدان اضافه گردید. شایان ذکر است که مقدار نیم گرم اوره به‌ازای هر گلدان، به‌صورت سرک در مرحله ابتدای رشد ساقه، به خاک هر گلدان افزوده شد. قبل از کاشت، بذور با قارچ‌کش ویتاواکس به‌میزان یک در هزار ضدعفونی شدند. کشت بذر در دهم مهرماه صورت گرفت. در هر گلدان ٦ بذر کاشته شد که پس از استقرار گیاهچه‌ها به ۳ گیاهچه در هر گلدان تنک شدند. عمق کاشت ٤ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

جدول ۱- مشخصات خاک مورد استفاده

مشخصات مورد ارزیابی	واکنش گل اشباع (pH)	هدایت الکتریکی	درصد اشباع	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	روی	آهن	منگنز	مس	بافت خاک
مقادیر	۷/۹	۱/۹	۲۵/۷	۰/۱۹۵	۰/۰۳۵	۷/٦	۱۱٤	۰/٥٤	۸/٦۸	٦/۷۲	۰/۳۸	SaL
واحد	–	دسی‌زیمنس بر متر	درصد	درصد	درصد	میلی‌گرم در کیلوگرم	میلی‌گرم در کیلوگرم	میلی‌گرم در کیلوگرم	میلی‌گرم در کیلوگرم	میلی‌گرم در کیلوگرم	میلی‌گرم در کیلوگرم	سیلتی لوم

برای اندازه‌گیری پرولین و قندهای محلول نمونه‌های برگ، اولین نمونه‌گیری بعد از دو بار قطع آبیاری و آبیاری مجدد در مرحله رویشی و نمونه‌گیری‌های بعدی به همین ترتیب در مراحل زایشی و پرشدن دانه صورت گرفت؛ به این صورت که از برگ‌های جوان ساقه اصلی برداشت و به سرعت داخل یخ قرار داده شد و سپس به فریزر منتقل و در دمای ٢٤- درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمایش‌های لازم نگهداری شد.

میزان کلروفیل موجود در برگ گیاه با استفاده از روش پیشنهادی آرنون (آرنون، ۱۹٤۹) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری پرولین از روش پاکوئین و لچاژر (۱۹۷۹) و برای اندازه‌گیری قندهای محلول نیز از روش ایریگوئن و همکاران (۱۹۹۲) استفاده شد. جهت اندازه‌گیری میزان پرولین و قندهای محلول ابتدا لازم بود تا عصاره الکلی از برگ‌ها تهیه شود. به این منظور ابتدا ۰/۵ گرم از بافت برگ، نگهداری شده در فریزر (دمای ٢٤- درجه سانتی‌گراد) انتخاب و در هاون کاملاً له گردید. سپس ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد به آن اضافه و به لوله آزمایش دربدار منتقل گردید و به‌مدت ۳۰ ثانیه ورتکس

(به‌شدت تکان داده) شد. بعد مایع رویی جدا و به لوله درب‌دار به حجم ۲۰ سی‌سی منتقل شد. سپس دو مرتبه و هر بار ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد به بخش جامد باقی‌مانده اضافه و کاملاً شستشو گردید. کلیه مراحل فوق در حمام یخ و نور کم انجام گرفت. سپس بخش مایع رویی به لوله آزمایش منتقل شد. در نهایت ۱۵ میلی‌لیتر از عصاره به‌دست آمده به‌مدت ۱۵ دقیقه با سانتریفیوژ ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شده و فاز مایع بالایی به دقت جدا و به یخچال ٤ درجه سانتی‌گراد منتقل گردید (ترک‌نژاد، ۱۳۷۸؛ پاکوئین و لچاژر، ۱۹۷۹). برای اندازه گیری پرولین ابتدا به تعداد تیمارها لوله‌های آزمایشی درب‌دار به حجم حداقل ۳۰ میلی‌لیتر تهیه گردید. در مرحله بعد، ۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی را به لوله‌های یادشده منتقل و ۱۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر شده به آن اضافه گردید. سپس ۵ میلی‌لیتر نین‌هیدرین به نمونه‌ها اضافه شد (جهت تهیه نین‌هیدرین به‌ازای هر نمونه ۰/۱۲۵ گرم نین‌هیدرین در ۲ میلی‌لیتر اسید فسفریک ٦ مولار و ۳ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال (۹۹/۹ درصد) ریخته شد و به‌مدت ١٦ ساعت با هم‌زن مگنت‌دار به هم می‌زنیم تا کاملاً حل گردد). بعد از آن ۵ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال (۹۹/۹ درصد) به هر نمونه اضافه گردید و نمونه‌ها داخل حمام آب جوش (بن‌ماری) به‌مدت ٤٥ دقیقه قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها خارج و در دمای محیط خنک گردید. بعد از آن به هر نمونه ۱۰ میلی‌لیتر بنزن اضافه و به‌شدت تکان داده شد تا پرولین وارد فاز بنزن گردد. بعد از این مرحله، نمونه‌ها به‌مدت نیم ساعت به حال سکون قرار داده شد و سپس میزان جذب نور نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (مدل SHIMADZO 54A) قرائت گردید. قبل از انجام مراحل فوق لازم بود تا استانداردهایی ازپرولین (ال- پرولین[1]) با غلظت‌های ۰، ۰/۰۱، ۰/۰۲، ۰/۰۳، ۰/۰٤، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/٤، ۰/۵ و ۰/٦ میکرومول بر میلی‌لیتر تهیه گردد. به این منظور ابتدا وزن مولکولی پرولین قرائت گردید (وزن مولکولی ال- پرولین برابر ۱۱۵/۱۳ گرم بر مول می‌باشد). سپس محلول یک میلی‌مولار از پرولین تهیه گردید که به‌عنوان محلول مادر از آن استفاده شد. به این منظور ۱۱۵/۱۳ میلی‌گرم پرولین (توزین با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم) در یک لیتر آب دو بار تقطیر شده حل گردید.

1- L-Proline

جدول ۲a- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس میزان کلروفیل برگ

منابع تغییر	درجه آزادی	مرحله رویشی			مرحله زایشی			مرحله پرشدن		
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b
تنش	۳	۰/۰۰۰۵۱**	۰/۰۰۰۰۱۸^{ns}	۰/۰۰۰۰۹۹^{ns}	۰/۰۰۰۵۷*	۰/۰۰۲۳**	۰/۰۰۱۱**	۰/۰۰۶٤**	۰/۰۰۰۳۳^{ns}	۰/۰۰۸۰**
محلول پاشی	۳	۰/۰۰۰۱۷۳**	۰/۰۰۰۰٤٤^{ns}	۰/۰۰۰٤٦**	۰/۰۰۰۸٦**	۰/۰۰۱٤^{ns}	۰/۰۰۱۳**	۰/۰۰۱٤**	۰/۰۰۰۵۷**	۰/۰۰۲٤**
محلول‌پاشی × تنش	۹	۰/۰۰۰۳۳**	۰/۰۰۰۳۷^{ns}	۰/۰۰۰۳۳^{ns}	۰/۰۰۰۳٦*	۰/۰۰۲۰^{ns}	۰/۰۰۸۱**	۰/۰۰۱۹^{ns}	۰/۰۰۰۳٦^{ns}	۰/۰۰۰۲۲^{ns}
خطا	۳۲	۰/۰۰۰۰۸٦	۰/۰۰۰۰۲٦	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۲۱	۰/۰۰۰۷۵	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۳۱	۰/۰۰۰۱۷۲
ضریب تغییرات		۱۰/۲۹	۱۱/۱۲	۹/۲۷	۱۱/۹٦	۱۱/۲۱	۵/۹٦	۱۱/۹۱	۱۲/۲۱	۹/۲۱

**معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، *معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و ^{ns}غیرمعنی‌دار.

جدول 2b- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس پرولین و قندهای محلول کل برگ و عملکرد دانه

منابع تغییر	درجه آزادی	مرحله رویشی		مرحله زایشی		مرحله پرشدن		عملکرد دانه
		پرولین	قندهای محلول	پرولین	قندهای محلول	پرولین	قندهای محلول	تک‌بوته
تنش	۳	۳۳۱/۸۵٦**	۳۹۵۵۱/٦۰**	۱٤۱/۳۷۲**	۸٦۱٦/۳۹**	۷۱/۱۳۸**	۲۲۲۸۸/۹۳**	۲/۳۱۳**
محلول‌پاشی	۳	۵۰/۷۱۵**	۳۱۲۲/۷٦**	۱۳/٦٦۳**	۸٦٤/۸ns	۱/۹۳۳ns	۱۸۹٦/۷۲**	۰/۲۹۹**
محلول‌پاشی × تنش	۹	۳٤/۱۲۷**	٦۹۸٦/۸۳**	٦/٦۲۰**	۲۲۵۹/٦۵**	۲/۷۲۲ns	۱۰۱۸/۰۷*	۰/۰۳۹**
خطا	۳۲	٤/۲۱٤	۵۷۵/٤٦	۰/٦۸۸	۳۱۱/۳۲	۱/٤۸۷	٤۲٤/۲۷	۰/۰۰٦
ضریب تغییرات		۱۵/۸۳۱	۱۵/۳۱	۷/٤۳۵	۱۲/٤۹	۱۲/۱۵۵	۱۳/٤۸	۹/۲۸۵

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

برای اندازه‌گیری قندهای محلول ابتدا به تعداد تیمارهای آزمایشی لوله‌های آزمایشی درب‌دار انتخاب گردید. بعد ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی انتخاب و داخل لوله‌های آزمایش ریخته شد. سپس ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه شده به آن اضافه و به‌مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شد. برای تهیه آنترون، ۱۵۰ میلی‌گرم آنترون در ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد وزن/ وزن (W/W) حل شد. توجه شود که آنترون باید با توجه به تعداد نمونه‌ها به‌صورت تازه در هر روز تهیه گردد. پس از خنک شدن نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه، میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ٦٢٥ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل SHIMADZO 54A) قرائت گردید. قبل از انجام مراحل فوق استانداردهایی از گلوکز با غلظت‌های ۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام تهیه گردید و کلیه مراحل یادشده روی آن‌ها نیز انجام شد. سپس منحنی کالیبراسیون با استفاده از استاندارد گلوکز رسم و میزان قندهای محلول نمونه‌ها براساس میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ محاسبه گردید (موحدی‌دهنوی، ۲۰۰٤).

به هنگام برداشت، عملکرد دانه هر سه بوته درون گلدان، پس از جداسازی کاه و کلش و توزین دانه‌ها به‌وسیله ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ و بر حسب گرم، محاسبه گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

کلروفیل a: اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی روی و پتاسیم برای میزان کلروفیل a در مرحله رویشی در سطح احتمال یک درصد و در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول 2a)، محلول‌پاشی در این مراحل، میزان کلروفیل a را نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی افزایش داد (جدول ۳). این برهم‌کنش در تیمار بدون تنش معنی‌دار نبود.

کلروفیل b: برهم‌کنش محلول‌پاشی و تنش در مورد کلروفیل b در هیچ‌یک از نمونه‌گیری‌ها معنی‌دار نشد (جدول 2a).تنها در نمونه‌گیری مرحله گلدهی و گرده‌افشانی کلروفیل b تحت‌تأثیر تنش همین مرحله ٤٢ درصد کاهش نشان داد (جدول ٤). محلول‌پاشی روی و پتاسیم در نمونه‌گیری مرحله پرشدن دانه، به‌ترتیب ۹/۳۱ و ۱۳/٦٤ درصد افزایش در کلروفیل b را سبب شدند (جدول ۵). قربانلی و نیاکان (۲۰۰۵) نیز بعد از سنجش میزان کلروفیل b در گیاه سویا، از کاهش معنی‌دار این صفت در تیمارهای تحت تنش آبی نسبت به گیاه شاهد خبر دادند. در بادرنجبویه نیز کلروفیل b با تنش خشکی کاهش یافت (عباس‌زاده و همکاران، ۲۰۰۷).

جدول ۳- مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش و محلول‌پاشی برای صفات فیزیولوژیک گلرنگ

عامل‌های آزمایش		مرحله رویشی				مرحله زایشی		مرحله پرشدن دانه		عملکرد دانه
تنش	محلول‌پاشی	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر برگ)	قندهای محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	کلروفیل a+b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر برگ)	قندهای محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	قندهای محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	تک‌بوته (گرم)
بدون تنش	بدون محلول‌پاشی	۰/۷۵۰^{a}	۱۰/٤۱۳^{a}	۱۲۱/۹۳^{a}	۰/۹۱۸^{a}	۹/۱۹٤^{a}	۱۳۲/۰٤^{a}	۱۳۱/۵۱^{a}	۱/۱۲۱^{c}
	محلول‌پاشی آب مقطر	۰/۷۵۹^{a}	۹/٤۲۹^{a}	۱۲٦/۳۳^{a}	۰/۹۹۳^{a}	۹/۱۸۲^{a}	۱۳۷/۵۰^{a}	۱٤٤/۷۳^{a}	۱/۱٦۰^{c}
	محلول‌پاشی روی	۰/۸۹۲^{a}	۸/۲۹۳^{a}	۱٤۸/۳۳^{a}	۱/۰۹۰^{a}	۹/۵۹٦^{a}	۱٦۱/۰۵^{a}	۱۵٦/٤۲^{a}	۱/۱۹۳^{a}
	محلول‌پاشی پتاسیم	۰/۸٦۵^{a}	۱۰/۸۸٦^{a}	۱۲٤/۰٤^{a}	۰/۹۲۵^{a}	۹/۳۹۲^{a}	۱٤۰/۵۷^{a}	۱۲۹/۳۳^{a}	۱/٤۱۱^{b}
تنش رویشی	بدون محلول‌پاشی	۰/۸۹۰^{b}	۱٦/٤٤۵^{c}	۱۷٦/۵۱^{c}	۱/۰۱۵^{b}	۹/۲۰٤^{a}	۱٤۳/۳٤^{a}	۱٤٤/۳٤^{a}	۰/٤۸۳^{c}
	محلول‌پاشی آب مقطر	۰/۸۷۹^{b}	۱۵/۳٤۵^{c}	۱۸۸/۸۳^{c}	۱/۱۰۸^{b}	۸/۹٦٦^{a}	۱۵۲/۷٤^{a}	۱۵۷/٦٦^{a}	۰/٤٤٤^{c}
	محلول‌پاشی روی	۱/۱۱۹^{a}	۲۰/۹۱^{b}	۲٤٦/۹٦^{b}	۱/۱۲۹^{a}	۹/۱٦۵^{a}	۱۵۰/۰۳^{a}	۱٤٦/۸۰^{a}	۰/۸۹۲^{a}
	محلول‌پاشی پتاسیم	۰/۱۱۱٤^{a}	۳۰/۵۲۳^{a}	۳۵۲/۲٦^{a}	۱/۱۲۱۹^{a}	۱۰/۰۱۵^{a}	۱۳۳/۸٦^{a}	۱۲٦/۱۹^{a}	۰/٦۵۹^{b}
تنش زایشی	بدون محلول‌پاشی	۰/۰۹۰۱^{a}	۹/٦۰۳^{a}	۱٤۰/۱۳^{a}	۰/۹۱۹^{b}	۱۳/٤۷٤^{c}	۱٤٤/۸۰^{b}	۱۱۸/۷۲^{a}	۰/۳٤٦^{a}
	محلول‌پاشی آب مقطر	۰/۰۸٦۸^{a}	۱۰/۲۵۷^{a}	۱۱۵/۳۳^{a}	۱/۰۱۵^{b}	۱۳/۸۸۰^{c}	۱۵۳/۱۸^{b}	۱۲۱/٦۱^{a}	۰/۳۵۱^{a}
	محلول‌پاشی روی	۰/۰۹۰۷^{a}	۹/۳۱۳^{a}	۱۳۲/٦۱^{a}	۱/۱۱٦^{a}	۱۷/۳٤۱^{b}	۱۸۰/۳۰^{a}	۱۲۲/۳۳^{a}	۰/۳۵٤^{a}
	محلول‌پاشی پتاسیم	۰/۰۹۲۸^{a}	۹/۵۰۸^{a}	۱۱۳/۷۳^{a}	۱/۱۱۵۹^{a}	۲۰/۳۵۰^{a}	۱۸۳/۸۰^{a}	۱۲٦/٤۸^{a}	/۳۱۰^{a}
	بدون محلول‌پاشی	۰/۰۸۹۱^{a}	۱۰/٤٤۱^{a}	۱۲۷/۰۸^{a}	۰/۹۰۷^{a}	۹/۵۶٦^{a}	۱۳۷/۵۳^{a}	۱۹۱/۱۰^{b}	۰/۸۷۳^{b}
	محلول‌پاشی آب مقطر	۰/۰۸۸۷^{a}	۱۰/۹۰۵^{a}	۱۲۷/۲۸^{a}	۱/۱۰٤۸^{a}	۹/۹٤۲^{a}	۱٤۱/۱۱^{a}	۱۸۰/۰۱^{b}	۰/۸۰٦^{b}
تنش برشدن	محلول‌پاشی روی	۰/۰۸۹٤^{a}	۱۱/٤۱۳^{a}	۱٤۷/۱۸^{a}	۰/۹۷۲^{a}	۹/٦۰۳^{a}	۱٦۰/٤۳^{a}	۲۵٤/٦۲^{a}	۱/۳۳۱^{a}
	محلول‌پاشی پتاسیم	۰/۰۸۵۰^{a}	۱۱/۱۰۳^{a}	۱۲۱/۸۲^{a}	۰/۹۹٦^{a}	۱۰/۲۵۷^{a}	۱۳۳/۰۵^{a}	۲۳۳/٤۲^{a}	۱/۸۳٤^{a}

- در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار براساس آزمون LSD ندارند.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرهای اصلی سطوح مختلف تنش برای کلروفیل به روش LSD در سطح احتمال ٥ درصد

متغیر	مرحله زایشی	مرحله پرشدن دانه
	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر برگ)
بدون تنش	٠/٠٤٦٥[a]	٨/٢٥٥[b]
تنش رویشی	٠/٠٤٦٤[a]	٩/١١٤[b]
تنش زایشی	٠/٠٢٦٨[b]	٧/٦١٦[b]
تنش پرشدن	٠/٠٤٨٠[a]	١٢/١٤٣[a]

- در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ٥ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ٥- مقایسه میانگین اثرهای اصلی سطوح مختلف محلول‌پاشی برای کلروفیل به روش LSD در سطح احتمال ٥ درصد

متغیر	مرحله رویشی	مرحله پرشدن دانه
	کلروفیل a+b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)
بدون محلول‌پاشی	٠/١٢٨٨[b]	٠/٠٤٦٢[b]
محلول‌پاشی آب مقطر	٠/١٢٩٢[b]	٠/٠٤٤٥[b]
محلول‌پاشی روی	٠/١٤٠٧[a]	٠/٠٥٠٥[a]
محلول‌پاشی پتاسیم	٠/١٣٦٩[a]	٠/٠٥٢٥[a]

- در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ٥ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

کلروفیل a+b: برهم‌کنش تنش و محلول‌پاشی تنها در نمونه‌گیری مرحله زایشی بر میزان کلروفیل a+b معنی‌دار بود (P<٠/٠١) (جدول ٢a). در این نمونه‌گیری گیاهانی که تحت تنش قرار گرفته بودند، با محلول‌پاشی روی و پتاسیم کلروفیل a+b خود را حدود ١٥/٦٦ درصد افزایش دادند (جدول ٣). همان‌گونه که در جدول ٤ مشاهده می‌شود، تنش مرحله رویشی تأثیری بر کلروفیل a+b نداشت، هر چند آن را از لحاظ عددی افزایش داد (از ٠/١٢٩٣ به ٠/١٣٥٦) (جدول ٤). تنش در مرحله پرشدن دانه سبب افزایش کلروفیل a+b به‌میزان ٠/٠٣٨٣ گرم بر گرم وزن تر برگ شد (جدول ٤). در نمونه‌گیری مرحله رویشی، محلول‌پاشی روی و پتاسیم و در مرحله پرشدن دانه، تنها محلول‌پاشی روی سبب افزایش معنی‌دار کلروفیل a+b شد (جدول ٥).

در نمونه‌گیری مرحله زایشی، گیاهان دارای تیمار تنش رویشی، با وجود رفع تنش در این مرحله از نمونه‌گیری، همچنان دارای میزان کلروفیل a و a+b بیش‌تری در اثر محلول‌پاشی روی و پتاسیم

بودند؛ که این مسأله می‌تواند در نتیجه تنش مرحله قبل باشد، چرا که محلول‌پاشی روی و پتاسیم در شرایط تنش خشکی سبب افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل شده بود و هر چند تنش برطرف شده است، گیاه هنوز دارای میزان بالایی از کلروفیل است که تخریب نشده‌اند. همبستگی بین کلروفیل a+b، در مرحله رویشی تنها با کلروفیل a، و در مرحله زایشی و پرشدن دانه هم با کلروفیل a و هم با کلروفیل b، مثبت و معنی‌دار بود که در نتایج نیز مشاهده می‌شود (جدول ٦).

این احتمال وجود دارد که خشکی با کاهش سطح برگ، باعث تجمع کلروفیل در سطح کم‌تر برگ‌ها و بنابراین افزایش غلظت آن شده باشد. موحدی‌دهنوی و همکاران (٢٠٠٤) نیز افزایش میزان کلروفیل در اثر تنش خشکی در گلرنگ را تأیید کردند. در سیب‌زمینی نیز افزایش فاصله بین دوره‌های آبیاری باعث افزایش محتوای کلروفیل شد (خسروی‌فر و همکاران، ٢٠٠٨). روی به‌طور مستقیم بر تشکیل کلروفیل مؤثر نیست، اما می‌تواند بر غلظت عناصر غذایی درگیر در تشکیل کلروفیل یا عناصری که قسمتی از مولکول کلروفیل هستند مانند آهن و منیزیم مؤثر باشد (کایا و هیگس، ٢٠٠٢). در تحقیقی بر روی گلرنگ، محلول‌پاشی روی و منگنز موجب افزایش کلروفیل شد؛ که این امر می‌تواند به‌علت نقش این عناصر در متابولیسم نیتروژن و ساخت کلروفیل باشد (موحدی‌دهنوی و همکاران، ٢٠٠٤). وبریک و همکاران (٢٠٠٥) نیز گزارش کردند که محلول‌پاشی پتاسیم سبب بهبود فتوسنتز در برگ‌های سیب شد. در کل می‌توان گفت زمانی‌که گیاه در مراحل رویشی و یا زایشی رشد خود در معرض تنش خشکی قرار گیرد، محلول‌پاشی عناصری از جمله روی و پتاسیم می‌تواند موجب افزایش کلروفیل شود یا به‌عبارتی از کاهش شدید کلروفیل جلوگیری کند و این امر سبب جلوگیری از کاهش فتوسنتز در اثر کاهش سبزینگی و در نتیجه رشد گیاه می‌شود و به این طریق به گیاه کمک می‌کند تا سعی در حفظ ثبات عملکرد خود داشته باشد.

پرولین: مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش تنش و محلول‌پاشی نشان داد که در نمونه‌گیری مرحله رویشی و نیز گلدهی و گرده‌افشانی، اثر متقابل معنی‌داری بین تنش و محلول‌پاشی وجود داشت (جدول 2b). در نمونه‌گیری مرحله رویشی، در تیمار تنش، محلول‌پاشی پتاسیم سبب افزایش پرولین به‌میزان ٨٧/٨٤ درصد شد و محلول‌پاشی روی افزایش ٢٧/٣٤ درصدی پرولین را سبب شد. در نمونه‌گیری مرحله زایشی و تیمار تنش، میزان پرولین در تیمارهای محلول‌پاشی روی و پتاسیم به‌ترتیب ٢٠/٣٥٠ و ١٧/٣٤١ میکرومول بر گرم وزن تر برگ بود؛ در حالی‌که این میزان در تیمار بدون محلول‌پاشی ١٣/٤٧٤ میکرومول بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ٣). در نمونه‌گیری مرحله پرشدن دانه، اثر متقابل

تنش و محلول‌پاشی معنی‌دار نبود (جدول ۲b). در این نمونه‌گیری، گیاهان تحت تنش میزان پرولین بیش‌تری (۱۲/۱٤۳) نسبت به گیاهان بدون تنش (۸/۲۵۵) داشتند (جدول ٤). در این نمونه‌گیری محلول پاشی نیز تأثیر معنی‌داری بر میزان پرولین برگ نداشت (جدول ۵).

قندهای محلول کل: اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی بر قندهای محلول کل در مرحله رویشی و زایشی در سطح احتمال یک درصد و در مرحله پرشدن دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲b). جدول ۳ نشان می‌دهد که در سطوح بدون تنش، تفاوت معنی‌داری بین سطوح محلول‌پاشی مشاهده نمی‌شود، اما در سطوح مختلف تنش (مرحله رویشی، مرحله زایشی و مرحله پرشدن دانه) محلول‌پاشی روی و پتاسیم موجب افزایش معنی‌دار در قندهای محلول کل شد. در نمونه‌گیری مرحله رویشی، در گیاهان تحت تنش رویشی، میزان قندهای محلول برگ با محلول‌پاشی روی و پتاسیم، به‌ترتیب ۳۹/۹ درصد و ۹۹/۵ درصد نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی افزایش داشت (جدول ۳). در نمونه‌گیری مرحله زایشی، محلول‌پاشی روی و پتاسیم، قندهای محلول برگ را حدود ۲٦/۹۳ درصد نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی افزایش دادند. در مرحله پرشدن دانه نیز قندهای محلول برگ با محلول‌پاشی روی، ۳۳/۲٤ درصد و با محلول‌پاشی پتاسیم، ۲۲/۱۵ درصد نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی افزایش نشان داد (جدول ۳). خشکی نه تنها رشد و نمو گیاهان را کاهش می‌دهد، بلکه موجب تغییر در مسیر برخی فرایندهای متابولیسی نیز می‌گردد. در طی تنش خشکی درازمدت، انتقال مواد به‌علت کاهش آب قابل دسترس، منجر به تغییر غلظت برخی متابولیت‌ها می‌شود. از سوی دیگر میزان مواد محلول سازگار به خشکی مانند قندها، قندهای الکلی، آمینواسیدهای ویژه نظیر پرولین، گلایسین و بتائین افزایش می‌یابد (دورینگ، ۱۹۹۲؛ وو و گارگ، ۲۰۰۳). قندهای محلول و پرولین نیز اسمولیت‌هایی هستند که با افزایش فشار اسمزی و نگهداری تورژسانس و نیز پایداری غشاها و پروتئین‌ها به گیاه در مقاومت به تنش خشکی کمک می‌کند (سانچز و همکاران، ۱۹۹۸؛ پالگ و همکاران، ۱۹۸۱؛ پالگ و همکاران، ۱۹۸٤). در مجموع قندهای محلول طی تنش خشکی (به‌ویژه تنش شدید) می‌تواند به‌دلیل (۱) تخریب کربوهیدرات‌های نامحلول و تبدیل به قندهای محلول (۲) سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیرفتوسنتزی و (۳) متوقف شدن رشد افزایش یابد (هیسائو، ۱۹۷۳). هر چند برخی از محققان بیان کرده‌اند که تخریب نشاسته نیز می‌تواند سبب افزایش منوساکاریدها شود (دورینگ، ۱۹۹۲). سوزا و همکاران (۲۰۰۳) در لوبیا چشم‌بلبلی نیز گزارش کردند که تنش آب باعث کاهش محتوای نشاسته گردید. رفیعی و همکاران (۲۰۰۸) گزارش دادند که میزان قندهای محلول ریشه و برگ ارقام مختلف ذرت با اعمال تنش خشکی به‌طور معنی‌داری افزایش

یافت؛ اما میزان نشاسته در برگ و ریشه کاهش معنی‌دار نشان داد. این محققان چنین بیان کردند که افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز به هنگام تنش کمبود آب موجب تجزیه نشاسته و تبدیل این ماکرومولکول به واحدهای کوچک‌تر می‌گردد که این عمل در ارقام مختلف ذرت برای تحمل تنش از طریق تنظیم اسمزی صورت می‌گیرد. در مورد پرولین نیز پژوهش‌های بسیاری در گیاهان مختلف مبنی بر افزایش این اسید آمینه در شرایط تنش خشکی وجود دارد. از جمله در گلرنگ (موحدی‌دهنوی و همکاران، ٢٠٠٤) و گندم (احمدی و سی‌وسه‌مرده، ٢٠٠٤) که افزایش در میزان پرولین گیاهان تحت تنش خشکی مشاهده شد. چنین نتایجی همچنین در گیاهانی چون سورگوم (بلوم و ابرکون، ١٩٧٦؛ ضیف‌نژاد و همکاران، ١٩٩٧)، بادرنجبویه (عباس‌زاده و همکاران، ٢٠٠٧)، زیتون (ارجی و همکاران، ٢٠٠٣؛ ارجی و ارزانی، ٢٠٠٣) نیز گزارش شده است. مقادیر تجمع پرولین در گیاهان مختلف و حتی ارقام مختلف متفاوت است. هنسون و همکاران (١٩٧٧) مقادیر متفاوت تجمع پرولین طی تنش را در سه رقم جو، به اختلاف در میزان کاهش پتانسیل آب برگ نسبت دادند.

از دلایل تجمع پرولین می‌تواند تخریب پروتئین‌ها باشد. تخریب پروتئین‌ها و انباشت برخی آمینواسیدهای آزاد در جهت حفظ و تنظیم فشار اسمزی سلول و کاهش سنتز پروتئین در شرایط تنش خشکی مشاهده شده است (موران و همکاران، ١٩٩٤؛ هیسائو، ١٩٧٣). قربانلی و نیاکان (٢٠٠٥) بیان کردند که با تشدید میزان تنش در سویا، مقدار کل پروتئین‌های محلول، هم در بخش هوایی ساقه و برگ و هم در ریشه، کاهش یافت که این روند با افزایش غلظت پرولین همراه بود. آنان افزایش پرولین را به کاهش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز نیز نسبت دادند؛ چرا که آنزیم نیترات ردوکتاز حساس به تغییرات وضعیت رطوبت برگ بوده و فعالیت آن با کاهش شدید پتانسیل آبی در برگ، مهار می‌شود (تجو و سانتوس- دیاز، ١٩٨٧).

روی عنصری ضروری و کم‌مصرف است که در هر ٦ کلاس آنزیم موجود در گیاهان (اکسیدو-ردوکتازها، ترانسفرازها، لیازها، ایزومرازها، هیدرولازها و لیگازها) شرکت داشته و بنابراین در سنتز پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها، متابولیسم سلول، محافظت غشا از رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر فرآیندهای مرتبط با امر سازگاری گیاهان به تنش‌ها، نقش مهمی ایفا می‌کند (همانترانجان، ١٩٩٦). وجود پتاسیم کافی نیز با توجه به نقشی که در حفظ پتانسیل آبی گیاه و جلوگیری از هدر رفتن آب دارد، در شرایط تنش آبی، سبب حفظ فعالیت فتوسنتزی و جلوگیری از کاهش شدید فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی می‌گردد (دانشیان و همکاران، ٢٠٠٢). بنابراین نقش این عناصر را می‌توان در کمک به تنظیم اسمزی در شرایط تنش رطوبتی دانست، که با دخالت در سنتز اسمولیت‌ها برای سازگاری با

تنش و حفظ فشار تورژسانس، نقش خود را اجرا می‌کنند. محلول‌پاشی روی و منگنز در گلرنگ میزان پرولین را نسبت به شاهد بدون محلول‌پاشی به‌طور معنی‌داری افزایش داده‌اند (موحدی‌دهنوی و همکاران، ۲۰۰٤). استعمال برگی پتاسیم نیز به‌طور معنی‌داری محتوای پرولین گیاه ماش را افزایش داد (تالوث و همکاران، ۲۰۰٦). دهقانزاده و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که تنش باعث افزایش معنی‌دار مقادیر پرولین و قندهای آزاد محلول در گندم گردید. در همین تحقیق مشخص شد رقمی که دارای بالاترین مقدار پرولین، درصد قندهای آزاد محلول و درصد پتاسیم بود، محتوای نسبی آب برگ بیش‌تری داشت و این امر سبب شد که تعداد دانه در سنبله بیش‌تری نیز داشته باشد که این به افزایش عملکرد کمک می‌کند.

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر متقابل بین تنش خشکی و محلول پاشی عناصر را روی عملکرد دانه معنی‌دار ($P<۰/۰۱$) نشان داد (جدول 2b). بالاترین عملکرد دانه (۱/٦۹۲ گرم در بوته) از ترکیب تیماری بدون تنش و محلول پاشی روی؛ و کم‌ترین مقدار آن (۰/۳۱۰ گرم در بوته) مربوط به تیمار تنش مرحله زایشی و محلول‌پاشی پتاسیم به‌دست آمد (جدول ۳). داده‌ها نشان دادند که عملکرد دانه در همه تیمارهای تنش، به‌جز تنش مرحله گلدهی و گرده‌افشانی، با محلول‌پاشی روی و پتاسیم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳). در تیمار بدون تنش این افزایش در مورد محلول‌پاشی روی (۵۱ درصد) بیش‌تر از پتاسیم (۲۵/۸ درصد) بود. در تیمار تنش مرحله رویشی نیز این روند دنبال شد و محلول‌پاشی روی افزایش ۸٤/٦۸ درصدی و محلول‌پاشی پتاسیم افزایش ۳٦/٤٤ درصدی را در پی داشت. در تنش مرحله پرشدن دانه محلول‌پاشی عملکرد دانه را حدود ٤۱/۰۱ درصد نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی افزایش داد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان کاهش عملکرد دانه در تنش زایشی رخ داد که می‌تواند به‌دلیل سقط گل‌ها در اثر تنش خشکی باشد و نشان‌دهنده حساسیت زیاد این مرحله به تنش خشکی است. در تنش رویشی نیز کاهش زیادی در عملکرد دانه مشاهده شد که احتمالاً به خاطر مدت زمان این مرحله است، چرا که طولانی بودن این مرحله باعث کاهش شدید سطح برگ و فتوسنتز و در نتیجه ذخیره اسیمیلات‌ها در اندام‌های مختلف رویشی برای انتقال در مرحله زایشی و پرشدن دانه و در واقع تولید عملکرد است. موحدی‌دهنوی و همکاران (۲۰۰٤)، ابوالحسنی و سعیدی (۲۰۰٦) و نادری درباغ‌شاهی و همکاران (۲۰۰٤) نیز کاهش عملکرد دانه طی تنش رطوبتی در گلرنگ را گزارش کردند. در سویا نیز عملکرد دانه دچار کاهش قابل توجه ناشی از تنش خشکی گردید (کارگر و همکاران، ۲۰۰٤؛ دورنبوس و همکاران، ۱۹۸۹). یافته‌های گابال و

همکاران (۱۹۸۵) نشان داد که استعمال برگی روی، به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه و ماده خشک کل را در رقم لوبیای Giza-3 افزایش داد. در پنبه نیز کوددهی پتاسیم و محلول‌پاشی روی و فسفر سبب افزایش عملکرد دانه در گیاه شد (ساوان و همکاران، ۲۰۰۸). باخاش‌کلارستاقی و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که استفاده از کود روی، چه به‌صورت محلول‌پاشی و چه استعمال خاکی، عملکرد دانه گندم و درصد پروتئین دانه را به‌طور نسبی افزایش داد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این بررسی، می‌توان اظهار داشت که گیاه در مواجهه با تنش خشکی سعی در حفظ فشار اسمزی خود دارد و این کار را با افزایش اسمولیت‌هایی از جمله پرولین و قندهای محلول انجام می‌دهد که به حفظ فشار و تورژسانس سلول‌های گیاه کمک می‌کنند. با محلول‌پاشی عناصری از جمله روی و پتاسیم که نقش مهمی در کاتالیزوری فرآیندهای متابولیسمی و حفظ آماس سلولی در گیاه بر عهده دارند، گیاه عناصر مورد نیاز خود برای افزایش اسمولیت‌ها را بهتر و راحت‌تر در اختیار دارد. بدین‌ترتیب سلول به فعالیت‌های حیاتی خود ادامه می‌دهد و در نهایت عملکرد قابل‌قبول‌تری در این شرایط تولید می‌کند. پس برای جبران حداقل برخی اثرهای مضر تنش و کمک به گیاه در جهت بازگشت به شرایط رشد طبیعی بعد از آب‌دهی مجدد، محلول‌پاشی چنین عناصری می‌تواند در مقاومت به خشکی گیاه مؤثر بوده و ایفای نقش کند.

منابع

Abbas-Zade, B., Sharifi Ashour-Abadi, A., Lebaschi, M.H., Naderi Haji-Bagher Kandi, M., and Maghdami, F. 2007. Effect of drought stress on proline, soluble sugars, chlorophyll and relative water content of *Melissa officinalis* L. J. Res. Aroma. Plants Iran, 23: 4. 504-513.

Abolhasani, Kh., and Saeidi, A.M. 2006. Evaluation of agronomic traits of safflower under two irrigation regimes in Isfahan. J. Agric. Sci. Natur. Resour. 13: 4. 54-43.

Ahmadi, A., and Siosemarde, A. 2004. Effect of drought stress on soluble carbohydrates, chlorophyll and proline in four wheat varieties compatible with different climatic conditions in Iran. Ir. Agric. Sci. 35: 3. 753-763.

Alinaghizadeh, M. 2009. Effect of sowing date on growth, yield and yield components of different spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars as double crop in Yasouj. M.Sc. Thesis in agronomy, Faculty of Agriculture Yasouj University, 90p.

Alloway, B.J. 2004. Zinc in Soils and Crop Nutrition. Int. Zinc Assoc. (IZA), Belgium, 128p.

Altındişli, A., İrget, M.E., Kalkan, H., Kara, S., and Oktay, M. 1998. Effect of foliar applied KNO_3 on yield, quality and leaf nutrients of Carignane and Colombard wine grapes. In: Anac, D. and P. Martin- Prével, Improved Crop Quality by Nutrient Management. Pp: 103-106.

Arji, A., Arzani, K., and Ebrahim-Zadeh, M.H. 2003. Quantitative study of proline and soluble carbohydrates in five olive cultivars under drought stress. J. Bio. 16: 4. 59-47.

Arji, A., and Arzani, A. 2003. Evaluation of growth response and proline accumulation in three native Iranian olive cultivars to drought. J. Agric. Sci. and Natur. Resour. 10: 2. 101-91.

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenol oxidase in Beta vulgaris. J. Plant Physiol. 24: 1-15.

Bakhash Kelarestaghi, K., Madani, H., Bazoobani, M., and Asadi, M. 2007. Optimizing of zinc quantity and application method on bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in Bam region of Iran. In: Proceedings of Zinc Crops Conference, Istanbul, Turkey. Page?.

Bassil, B.S., and Kaffka, S.R. 2002. Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to saline soils and irrigation. II Crop response to salinity. J. Agric Water Manag. 54: 81-92.

Blum, A., and Ebercon, A. 1976. Genotypic responses in sorghum to drought stress. III. Free proline accumulation and drought resistance. Crop Sci Soc Am. 16: 428-431.

Bohnert, H.J., Nelson, D.E., and Jensen, R.G. 1999. Adaptations to environmental stresses. Plant Cell, 7: 1099-1111.

Bowler, C., Vancamp, W., Vanmontagu, M., and Inze, D. 1994. Superoxide-dismutase in plants. Crit. Rev. of Plant Sci. 13: 3. 199-218.

Daneshian, J., Majidi Hrvan, A., and Jonoubi, P. 2002. The effect of drought stress and different amounts of potassium on quantitative and qualitative characteristics of soybean. J. Agric Sci. 8: 1. 108-95.

Dehqanzadeh, H., Khajehpour, M.R., Heidari Sharif Abad, H., and Soleimani, A.S. 2008. Effect of limited irrigation on the accumulation of proline, free soluble sugars and potassium in bread wheat cultivars. 10th Iran Cong Agron and Plant Breed Sci. 430p.

Dornbos, D.L., Mullen, R.E., and Shibles, R.E. 1989. Drought stress effects during seed fill on soybean seed germination and vigor. Crop Sci. 29: 476-780.

During, H. 1992. Evidence for osmotic adjustment to drought in grapevines (*Vitis vinifera* L.). Vitis, 23: 1-10.

Gabal, M.R., Abdellah, I.M., Abed, I.A., and Ei-Assioty, F.M. 1985. Effect of Cu, Mn and Zn foliar application on common bean growth, flowering and seed yield. In: proceedings of 10th African Symposium on Hortic Crops, ISHS: 15.

Ghorbanli, M., and Niakan, M. 2005. Study the effect of drought stress on soluble sugars, protein, proline, phenol compounds and reductase enzyme activity in soybean plants cv. Gorgan 3. Tarbiat Moallem University Sci Magazin. 5: 1, 2. 537-550.

Gzik, A. 1996. Accumulation of proline and pattern of α-amino acids in sugar beet plants in response to osmotic, water and salt stress. Environ and Exp Bot. 36: 1. 29-38.

Hamidi, H., and Safarnejad, A. 2003. Evaluation of morphological and biochemical characteristics of alfalfa (*Medicago sativa* L.) calluses and their regeneration against osmotic stress. Pajuhesh and Sazandegi, 58: 84-89.

Hanson, A.D., Nelsen, C.E., and Evanson, E.H. 1977. Evaluation of free proline accumulation as an index of drought resistance using two contrasting barley cultivars. Crop Sci. 17: 720-726.

Hemantaranjan, A. 1996. Physiology and biochemical significance of zinc in plants. In: Advancement in Micronutrient Research, Ed. Hemanteranjan, A. Scientific Publishers, Joudhpur, Rajasthan, India, Pp: 151-178.

Hissao, T. 1973. Plant responses to water stress. Ann. Rev. Plant Physiol. 24: 519-570.

Ingram, J., and Bartels, D. 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. Ann. Rev. Plant Physiol. and Molecu. Bio. 47: 377-403.

Irigoyen, J.J., Emerich, D.W., and Sanchez-Diaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants. Physiol. Plant. 84: 55-60.

Kargar, M., Ghanadha, M.R., Bozorgypour, R., Khajeh Ahmad Attari, A.A., and Babaei, R. 2004. Evaluation of drought tolerance indices in some soybean genotypes under limited irrigation. J. Agric Sci. 35: 1. 142-129.

Kaya, C., and Higgs, D. 2002. Response of tomato (*Lycopersicom esculentum* L.) cultivars to foliar application of zinc when grown in sand culture at low zinc. Sci. Hortic. 93: 53-64.

Khosravi-Far, S., Yarnia, M., Khorshidi Benam, M.B., and Hossein-Zade Moghbeli, A.H. 2008. Effect of potassium on drought tolerance in potato variety Agria. In: Proc 10th Ir. Agron and Plants Breed Cong, 358p.

Kidambi, S., Matches, P.A.G., and Bolger, T.P. 1990. Mineral concentration in alfalfa and sainfoinas influenced by soil moisture level. Agron. J. 82: 229-239.

Kuepper, G. 2003. Foliar fertilization. ATTRA. available online: www.attra.ncat.org.

Kuznetsov, V., and Shevyakova, N.I. 1999. Proline under stress: Biological role, metabolism and regulation. Rus. J. Plant Physiol. 46: 274-287.

Levitt, J. 1980. Response of plants to environmental stresses. Vol. 2. Water, Radiation, Salt and other stresses. Acad Press. NewYork, 607p.

Lewis, D.C., and McFarlane, J.D. 1986. Effect of foliar applied manganese on the growth of safflower (*Carthamus tinctorious* L.) and the diagnosis of manganese deficiency by plant tissue and seed analysis. Aust. J. Agric Res. 37: 567-572.

Malakuoti, M.J. 2000. General diagnosis method and essentiality of optimum fertilizers application. 5th ed. Tarbiat Modaress University Press, 131p.

Marschner, H. 1984. Function of mineral nutrients: micronutrients. In: Mineral nutrition of higher plants, Acad Press. NewYork, Pp: 269-300.

Mir-Mohammadi Meybodi, A.M., and Ghare-Yazi, B. 2002. Physiologic and Breeding aspects of salt stress. Esfahan University of Technology Press, 274p.

Misra, A. 1992. Effect of zinc stress in Tapanese mint as related to growth, photosynthesis, chlorophyll content and secondary plant products-the monoterpenes. Photosyn, 26: 2225-2234.

Misra, A., and Sharma, S. 1991. Critical Zn concentration for essential oil yield and menthol concentration of Japanese mint. Fert Res. 29: 261-265.

Moran, J.F., Becana, M., Ormaetxe, I.I., Frechilla, S.L., Klucasc, R.V., and Tejo, D.A. 1994. Drought induces oxidative stress in pea plants. Plant, 194: 346-352.

Movahhedi Dehnavi, M., Modarres Sanavi, A.M., Soroush-Zade, A., and Jalali, M. 2004. Changes of proline, total soluble sugars, chlorophyll (SPAD) content and chlorophyll fluorescence in safflower varieties under drought stress and foliar application of zinc and maganese. Biaban, 9: 1. 93-110.

Movahhedi Dehnavi, M. 2004. Effect of foliar application of micronutrients (zinc and manganese) on the quantitative and qualitative yield of different autumn safflower cultivars under drought stress in in Isfahan. Ph.D. Thesis in the field of agronomy. Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University, 211p.

Naderi Darbaghshahy, M.R., Noor Mohammadi, Gh., Majidi Hervan, A., Darvish, F., and Shirani Rad, A.M. 2004. Evaluation of response of three safflower lines to different drought stress severity. Iranian Agric. Sci. 10: 4. 14-3.

Paleg, L.G., Stewart, G.R., and Bradbeer, J.W. 1984. Proline and glycine-betaine influence protein salvation. Plant Physiol. 75: 974-978.

Paleg, L.G., Douglas, T.J., Van, A., Daal and Keech, D.B. 1981. Proline, betaine and other organic solutes protect heat inactivation. Aus. J. Plant Physiol. 8: 107-114.

Paquine, R., and Lechasseur, P. 1979. Observation sur une methode dosage la libre dans les de plantes. Can. J. Bot. 57: 1851-1854.

Paseban Islam, B. 2001. Safflower. East Azarbayejan Jahade Keshavarzi, 694: 1-2.

Rafiee, M., Lari, H., and Abdipoor, F. 2008. Change of corn cultivars carbohydrate under drought stress. 10th Iranian Cong. of Agron and Plant Breeding Sci. 318p.

Sanchez, F.J., De Andres, E.F., Tenorio, J.L., and Ayerbe, L. 2003. Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress. Field Crop Res. 86: 81-90.

Sanchez, F.J., Manzanares, M., De Andres, E.F., Tenorio, J.L., and Ayerbe, L. 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. Field Crop Res. 59: 225-235.

Sawan, Z.M., Mahmoud, M.H., and H El-Guibali, A. 2008. Influence of potassium fertilization and foliar application of zinc and phosphorus on growth, yield components, yield and fiber properties of Egyptian cotton (*Gossypium barbadense* L.). J. Plant Ecol. 1: 4. 259-270.

Shabala, S., Babourina, O., and Newman, L. 2000. Ion-specific mechanisms of osmo- regulation in bean mesophyll cells. J. Exp Bot. 51: 1243-1253.

Siddique, M.R.B., Hamid, A., and Islam M.S. 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. Bot. Bull. Acad. Sin, 41: 35-39.

Souza, R.P., Machado, E.C., Silva, J.A.B., Lagoa, A.M.M.A., and Silveria, J.A.G. 2003. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic change in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. Environ and Exp Bot. 51: 1-13.

Stampar, F., Hudina, M., Dolenc, K., and Usenik, V. 1998. Influence of foliar fertilization on yield quantity and quality of apple (*Malus domestica* borkh.). In: Anac, D. and P. Martin- Prével. Improved crop quality by nutrient management. Pp: 91-94.

Tejo, P.A., and Santos-Diaz, M. 1987. Nodule and leaf nitrate reductase and nitrogen fixation in Medicago sativa L. under water stress. Plant Physiol. 69: 479-482.

Thalooth, A.T., Tawfik, M.M., and Magda Mohamed, H. 2006. A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. World J. Agric. Sci. 2: 1. 37-46.

Veberič, R., Vodnik, D., and Štampar, F. 2005. Influence of foliar- applied phosphorus and potassium on photosynthesis and transpiration of 'Golden Delicious' apple leaves (*Malus domestica* Borkh.). Acta Agric. Slovenica, Pp: 143-155.

Wu, R., and Garg, A. 2003. Engineering rice plants with trehalose producing genes improves tolerance to drought, salt and low temperature. ISB News.

Younes Sinki, N. 2008. Evaluation of oil quantitative and qualitative characteristics in safflower varieties produced at 2009. Aftaabgardan, 27: 11 (In Persian).

Zaifnejad, M., Clarck, R.B., and. Sullivan, C.Y. 1997. Aluminum and water stress effects on growth and proline of sorghum. J. Plant Physiol. 150: 338-244.

Zarco-Tejada, P.J., Miller, J.R., Mohammad, G.H., Noland, T.L., and Sampson, P.H. 2000. Chlorophyll fluorescence effects on vegetation apparent reflectance. Remo. Sens. Environ. 74: 596-608.

EJCP., Vol. 4 (1): 75-95
ejcp.gau@gmail.com

Effects of Zn and K foliar application on physiological traits and yield of spring safflower under drought stress

S. Abedi Baba-Arabi[1], *M. Movahhedi Dehnavi[2], A.R. Yadavi[2] and E. Adhami[2]

[1]M.Sc. Student of Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Yasouj University, [2]Assistant Prof., of Agronomy and Plant Breeding Dept., Faculty of Agriculture, Yasouj University

Abstract

In order to study the effects of foliar application of Zn and K on yield and some physiological traits of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.), cv. Esfahan 14, under drought stress, a pot experiment was conducted in research greenhouse of Yasouj University. Experiment was a factorial based on completely randomized design with three replications. Factors consisted of drought stress (S_1- without stress, S_2- stress at vegetative stage, S_3- stress at reproductive stage and S_4- stress at seed filling stage) and foliar application of nutrients (F_1- without foliar application, F_2- foliar application of water, F_3- foliar application of zinc sulfate and F_4- foliar application of potassium sulfate). Results showed that in drought stress at vegetative phase, foliar application of potassium has maximum chlorophyll a (25.7%), proline (87.8%) and total soluble sugars (26.9%) compared to without foliar application. Foliar application, compared to without foliar application, increased chlorophyll a (26%), chlorophyll a+b (32%), proline (51%) and total soluble sugars (26.9%) at S_3 stress. However, in stress at seed filling stage, total soluble sugars increased (41.4%) by foliar application only. Grain yield increased by foliar application of zinc and potassium at all stress treatments except the reproductive stage stress. Finally, foliar application of zinc and potassium increased the concentration of osmolytes, such as total soluble sugars and proline and led to improved osmotic adjustment and plant tolerant to drought stress.

Keywords: Chlorophyll; Growth stages; Proline; Total soluble sugars

* Corresponding Author; Email: Movahhedi54@yahoo.com