علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۴ (ص ۱۴۵-۱۳۷)

بررسی اثر کلات آهن بر محتوای کلروفیل، کارایی کوانتومی فتوسیستم II و برخی صفات بیوشیمیایی در گلرنگ در شرایط کم‌آبیاری

کیوان فتحی امیرخیز[1]، مجید امینی دهقی[2*] و سیاوش حشمتی[3]
۱ و ۳. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران
۲. دانشیار، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۹/۲۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۲/۱۳)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کاربرد خاکی و برگی کلات آهن بر برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه گلرنگ (ژنوتیپ Il111) تحت دو رژیم آبیاری، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در دانشگاه شاهد انجام گرفت. در این بررسی سطوح تیمار آبیاری در دو سطح آبیاری کامل و کم‌آبیاری در مرحلهٔ گلدهی (به‌ترتیب آبیاری پس از تخلیهٔ ۵۰ و ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی)، عامل اصلی؛ و هشت سطح کلات آهن شامل چهار سطح به‌صورت مخلوط با خاک با مقادیر صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، و چهار سطح به‌صورت تغذیهٔ برگی با غلظت‌های محلول‌پاشی (با آب، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) از منبع سکوسترین ۱۳۸ عامل فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد در شرایط مطلوب آبیاری، استفاده از روش محلول‌پاشی کلات آهن موجب افزایش کلروفیل a، کلروفیلb، کلروفیل کل و نسبت کلروفیل a/b شد. کاربرد مقادیر کمتر کود کلات آهن در شرایط تنش رطوبتی سبب افزایش مقدار کلروفیل a، کلروفیل کل و کاروتنوئید شد؛ اما مصرف بیشتر کود آهن در خاک سبب افزایش غلظت کلروفیل b و FV/FM شد. در هر دو سطح آبیاری محلول‌پاشی کلات آهن به مقدار ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر موجب افزایش نسبت کلروفیل a/b شد. نتایج آزمایش نشان داد که در سطح تنش رطوبتی با افزایش کاربرد کلات آهن در خاک و سطوح محلول‌پاشی به‌ترتیب مقدار آنتوسیانین و فلاونوئیدها افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد استفاده از کلات آهن، با افزایش مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی سطح تحمل گلرنگ را نسبت به شرایط کمبود آب ارتقا می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آهن، تغذیهٔ برگی، تنش اکسیداتیو، رنگدانه‌های فتوسنتزی، فلورسانس کلروفیل، گلرنگ.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین برنامه‌های مدیریت زراعی برای دستیابی به شرایط مطلوب رشد جامعهٔ گیاهی و عملکرد مناسب، تأمین آب کافی است تا گیاه در مراحل حساس رشد، دچار تنش رطوبتی نشود. تنش‌های محیطی مانند خشکی، از جمله عوامل محدودکنندهٔ تولید گیاهان زراعی هستند (Chaves *et al.*, 2003). تنش آب، واکنش‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی زیادی را در گیاهان ایجاد می‌کند (Pattangual & Madore, 1999). تعداد زیادی از اختلالات فیزیولوژیک در گیاهان، به‌دلیل

* تلفن: ۰۹۱۲۶۶۱۵۰۵۵
E-mail: amini@shahed.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

افزایش تولید انواع اکسیژن فعال‌شده در نتیجهٔ تنش‌های محیطی مانند خشکی است (Sgherri & Navari-Izzo, 1995)؛ اما بیشترین خسارت در گیاهان، از طریق تنش‌های محیطی اعمال می‌شود که با خسارت اکسیداتیو در سطوح مختلف سلولی مرتبط است (Allen, 1995). در کلروپلاست‌ها انواع اکسیژن فعال به پروتئین‌های D1 و D2 در فتوسیستم II (Kruk *et al*., 2005) کمپلکس آهن-سولفور در فتوسیستم I و به رنگیزه‌ها در کلروپلاست‌ها صدمه می‌زند. آسیب به این مناطق، اختلال در انتقال الکترون کلروپلاستی و ایجاد بازدارندگی نوری را در پی خواهد داشت (Quiles & López, 2004). محتوای کلروفیل از مهم‌ترین عواملی است که ظرفیت فتوسنتزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش یا بی‌تغییر ماندن محتوای کلروفیل گیاه تحت تنش خشکی در گونه‌های گیاهی مختلف مشاهده شده و شدت آن به شدت تنش و مدت آن بستگی دارد (Jagtap *et al*., 1998). Pessarakli (1999) بیان می‌دارد که دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش، از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک مقاومت به تنش است؛ بنابراین یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش کلروفیل، تخریب آن توسط گونه‌های اکسیژن فعال است (Navari-Izoo *et al*., 1990). کاهش محتوای کلروفیل در گلرنگ تحت تنش خشکی نیز گزارش شده است (Jaleel *et al*., 2008). خشکی علاوه‌بر کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، موجب آسیب و تغییر پارامترهای فلورسانس کلروفیل می‌شود (Mohsenzadeh *et al*., 2006). FV/FM حداکثر عملکرد کوانتومی واکنش شیمیایی فتوسیستم II را نشان می‌دهد و شاخصی مهم برای تعیین وضعیت دستگاه فتوسنتزی است. تنش‌های محیطی که کارایی فتوسیستم II را تحت تأثیر قرار می‌دهند، سبب کاهش نسبت FV/FM می‌شوند (Krause & Weis, 1991). برای خنثی کردن اثر سمی انواع اکسیژن فعال، یک سیستم آنتی‌اکسیدانی خیلی مؤثر مورد نیاز است که در سلول‌های گیاهی، دو سیستم آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی و آنزیمی این نقش را بر عهده دارند (Sofo *et al*., 2004). آسکوربیک اسید، گلوتاتیون، آلفا توکوفرول و کاروتنوئیدها، بخش اصلی این سیستم دفاعی گیاه را تشکیل می‌دهند. ترکیبات فنولی با فعالیت آنتی‌اکسیدانی زیاد مانند آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدها نیز در این زمینه تأثیر زیادی دارند و خسارت ناشی از آن را کاهش می‌دهند (Nasibi & M-Kalantari, 2005). کاروتنوئیدها رنگدانه‌های کمکی‌اند که در جذب و انتقال نور تأثیر دارند و حفاظت‌کننده‌های کلروفیلی در طی فرایند اکسیداسیون نوری محسوب می‌شوند (Sharma & Hall, 1991). آهن فلزی فعال است که در بسیاری از فرایندهای گیاهی از قبیل فتوسنتز، تنفس میتوکندریایی، آسیمیلاسیون نیتروژن، بیوسنتز هورمون‌ها (اتیلن، اسید جیبرلیک و اسید جاسمونیک)، تولید و پاکسازی انواع اکسیژن فعال و حفاظت اسمزی تأثیر زیادی دارد (Hansch & Mendel, 2009). کمبود آهن در حدود ۳۰ درصد از خاک‌های قابل کشت جهان گسترش یافته است. Marschner (1995) اظهار می‌دارد میزان در دسترس بودن آهن در خاک در جذب آن توسط ریشهٔ گیاه به اسیدیته، شرایط اکسیداسیون و احیای خاک و شکل آهن محلول بستگی دارد. اولین آثار کمبود آهن بر ساختار و عملکرد کلروپلاست است. بنابراین در شرایط کمبود آهن، کاهش محتوای آهن برگ با کاهش محسوس مقدار کلروفیل همراه است (Gogor Cena *et al*., 2004). در برگ‌های دچار کمبود آهن، همهٔ رنگدانه‌های فتوسنتزی و اجزای زنجیرهٔ انتقال الکترون به یک اندازه کاهش نمی‌یابد. فعالیت فتوسیستم I بیشتر از فتوسیستم II کاهش می‌یابد و تأثیر مصرف آهن بر فتوسیستم I، بیش از فتوسیستم II است (Romheld & Marschner, 1991). گاهی واکنش گیاه به‌روش‌های مصرف کودها متفاوت است. برای مثال در خاک‌های آهکی، عنصر آهن، در دسترس گیاه نیست و کاربرد برگی روشی مفید برای تغذیهٔ گیاهان است (Bybordi & Mamedov, 2010). اگرچه کاربرد خاکی کلات آهن (سکوسترین) FE-EDDHA نیز می‌تواند روشی مؤثر برای اصلاح کمبود آهن در خاک‌های آهکی باشد (Ghasemi-Fasaei *et al*., 2005). قابلیت ضعیف استفاده از آهن در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران و همچنین کمبود آب می‌تواند بر رشد گیاهان در این مناطق تأثیرگذار باشد. ازاین‌رو هدف از این تحقیق، اثر کود کلات آهن (سکوسترین ۱۳۸) به دو روش خاکی و برگی بر تغییرات کلروفیل برگ، کاروتنوئید،

Archive of SID

www.SID.ir

آنتوسیانین، فلاونوئیدها و کارایی کوانتومی فتوسیستم II در گلرنگ تحت شرایط کم آبیاری است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شاهد به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آبیاری به‌صورت آبیاری کامل (آبیاری پس از تخلیهٔ ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) و کم‌آبیاری در مرحلهٔ گلدهی یا تنش رطوبتی (آبیاری براساس تخلیهٔ ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) به‌عنوان عامل اصلی، و ۸ هشت کلات آهن شامل چهار سطح به‌صورت مخلوط با خاک با مقادیر صفر، ۵۰ ، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و چهار سطح هم به‌صورت محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف (محلول‌پاشی با آب، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) از منبع سکوسترین ۱۳۸ به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. خاک مزرعه در عمق زراعی ۳۰-۰ سانتی‌متری دارای بافت لومی و اسیدیته ۷/۷ بود و مقدار نیتروژن کل (درصد) ۰/۰۸۹، مقدار آهن ۲/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. قبل از کاشت و براساس نتایج تجزیهٔ شیمیایی خاک، کود نیتروژن از منبع اوره به‌مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به خاک داده شد. پس از تهیهٔ بستر شامل شخم، تسطیح و تهیهٔ فارو، کرت‌هایی به‌طول ۴ و عرض ۲ متر و با فاصلهٔ ۵۰ سانتی‌متر از هم ایجاد شد. فاصلهٔ روی ردیف‌های کشت ۵ سانتی‌متر و فاصلهٔ بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کاربرد خاکی و برگی عنصر آهن در مرحلهٔ گلدهی و همزمان با اعمال تنش رطوبتی اجرا شد و به‌منظور کاربرد کلات آهن به‌روش خاکی، کود کلات آهن در پای بوته‌ها با خاک مخلوط شد. درصد رطوبت نمونهٔ خاک در شرایط ظرفیت زراعی توسط دستگاه صفحات فشاری تعیین شد. این مقدار برای اعماق زراعی ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه به‌ترتیب ۲۳ و ۲۸ درصد بود. اعمال تیمار محدودیت رطوبتی با شروع گلدهی تا پایان مرحلهٔ گلدهی بود. برای تعیین مراحل رشد (از نظر زمان اعمال تیمارهای آبیاری)، از روش Allen *et al.* (1998) استفاده شد. بر این اساس، تا انتهای مرحلهٔ رویشی تأخیری (مرحلهٔ طبق‌دهی)، ۷۰ تا ۸۰ روز از زمان کاشت (Vb) آبیاری تمامی کرت‌ها براساس تخلیهٔ ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی انجام گرفت و از این مرحله به بعد، با شروع مرحلهٔ گلدهی تقریباً به میزان ۵۰ درصد (F) تا مرحلهٔ تشکیل عملکرد و پر شدن دانه (Y) آبیاری در کرت‌های تنش خشکی، پس از مشخص شدن درصد رطوبت خاک و رسیدن رطوبت خاک به ۷۵ درصد تخلیهٔ رطوبت ظرفیت زراعی صورت پذیرفت. بنابراین گیاهان مربوط به تیمار آبیاری کامل یا بدون تنش پس از رسیدن رطوبت خاک به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (پس از تخلیهٔ ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) و تیمار محدودیت رطوبتی پس از رسیدن رطوبت خاک به ۲۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی (پس از تخلیهٔ ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) به‌نحوی آبیاری شدند که خاک در محدودهٔ عمق توسعهٔ ریشه به ظرفیت زراعی مورد نظر برسد. به این ترتیب فاصلهٔ بین دو آبیاری در تیمار محدودیت رطوبتی بیشتر از تیمار عدم محدودیت رطوبتی بود. برای تعیین دقیق زمان آبیاری برای هر تیمار، اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌روش وزنی صورت گرفت (Alizadeh, 2011). بدین منظور هر دو روز یک‌بار بعد از زمان آبیاری، نمونهٔ خاک از عمق توسعهٔ ریشه برداشت شد. نمونه‌های برداشت‌شده، توزین شده و برای تعیین درصد رطوبت به آون با دمای ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد منتقل شدند.

به‌منظور بررسی تأثیر تنش رطوبتی بر مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی، در انتهای مرحلهٔ گلدهی پس از اعمال تنش و قبل از آبیاری کامل، از هر تیمار نمونه‌گیری از جوان‌ترین برگ توسعه‌یافته انجام گرفت و نمونه‌ها در نیتروژن مایع قرار داده شدند و سپس تا زمان اجرای آزمایش در فریزر با دمای ۸۰- درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شدند. در همین مرحله، میزان فلورسانس کلروفیل (fv/fm) با استفاده از دستگاه PSM (مدل بیومانتور AB) قرائت شد. بدین منظور ابتدا در حدود نیم ساعت با استفاده از گیره‌های مخصوص دستگاه، سازگاری به تاریکی بر روی برگ‌ها انجام گرفت. در هر کرت دو برگ همسان بر روی دو بوته انتخاب و فلورسانس آنها ثبت شد.

Archive of SID

www.SID.ir

اندازه‌گیری مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی

از روش Lichtenthaler (1987) برای اندازه‌گیری مقدار کلروفیل و کاروتنوئید استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری کلروفیل و کاروتنوئید، ۰/۲ گرم از نمونه‌های تر برگ در استون ۸۰ درصد عصاره‌گیری شد. پس از صاف کردن به‌وسیلهٔ کاغذ صافی، جذب آنها با دستگاه اسپکتروفتومتر UV-1601PC مدل Shimadzu در طول موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲۰ و ۴۷۰ نانومتر قرائت شد. غلظت رنگدانه‌ها با استفاده از روابط موجود بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد. برای سنجش فلاونوئیدها از روش Krizek *et al.* (1993) استفاده شد. میزان جذب در سه طول موج ۲۷۰، ۳۰۰ و ۳۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV-1601PC مدل Shimadzu خوانده شد. برای محاسبهٔ غلظت، از ضریب خاموشی ε=۳۳۰۰$mol^{-1}cm^{-1}$ استفاده و مقدار آن به‌صورت جذب در میلی‌گرم وزن تر برگ بیان شد. غلظت آنتوسیانین نیز براساس روش Krizek *et al.* (1993) محاسبه و میزان جذب در ۵۵۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. برای محاسبهٔ غلظت آنتوسیانین، از ضریب خاموشی (ε=۳۳۰۰ $mol^{-1}cm^{-1}$) استفاده و به‌صورت میکرومول در گرم وزن تر برگ بیان شد.

برای اجرای محاسبات و تجزیهٔ واریانس از نرم‌افزارهای EXCELL و SAS استفاده شد. مقایسهٔ میانگین‌ها نیز در هر سطح به‌طور جداگانه و از روش برش‌دهی آثار متقابل استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج این بررسی نشان داد که در شرایط مطلوب رطوبتی (بدون تنش) هر یک از روش‌های کاربرد کود آهن (سکوسترین) سبب افزایش مقدار کلروفیل a و b شد و بیشترین مقدار کلروفیل a و b در اثر محلول‌پاشی کلات آهن ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد. اما در هنگام بروز تنش خشکی و افزایش تخلیهٔ رطوبت خاک تا حد ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی در مرحلهٔ گلدهی مقدار آهن مصرفی تأثیر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل a و b داشت. میانگین کلروفیل a در شرایط تنش رطوبتی با مصرف ۵۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار افزایشی معادل ۴۳/۱ درصد نسبت به تیمار عدم استفاده از کود کلات آهن نشان داد. اما بیشترین مقدار کلروفیل b در اثر مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد (عدم استفاده از کود کلات آهن) ۲۴ درصد افزایش داشت (جدول ۲). محتوای کلروفیل یکی از مهم‌ترین عواملی است که ظرفیت فتوسنتزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش یا بدون تغییر ماندن محتوای کلروفیل گیاه تحت تنش خشکی در گونه‌های مختلف گیاهی مشاهده می‌شود و شدت آن به میزان تنش و مدت آن بستگی دارد (Jagtap *et al.*, 1998). افزایش مقدار کلروفیل مشاهده‌شده در این آزمایش احتمالاً به‌دلیل تأثیر کلات آهن در خاک بر پیش‌سازهای سنتز کلروفیل است، زیرا آهن جزء متابولیک آنزیم کاپروپورفینوژن اکسیداز است (Chereskin & Castelfrance, 1982) و این آنزیم در بیوسنتز آلفا-آمینو لینوولنیک (ALA) که پیش‌ساز کلروفیل است تأثیر دارد (Marschner, 1995). به‌نظر می‌رسد در شرایطی که کمبود آهن در خاک کمتر از حد بهینه باشد، مقدار کلروفیل کاهش می‌یابد. بنابراین بهبود شرایط تغذیه‌ای با کاربرد کلات آهن در شرایط تنش خشکی می‌تواند در فتوسنتز و افزایش غلظت کلروفیل در گلرنگ مؤثر باشد.

مقدار کلروفیل کل به‌طور معنی‌داری تحت اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و سطوح مختلف کلات آهن قرار گرفت (جدول ۱). نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار کلروفیل کل برگ، نشان داد که در تیمار شاهد (آبیاری پس از تخلیهٔ ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) بیشترین مقدار کلروفیل کل از محلول‌پاشی آهن به مقدار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر با میانگین ۲/۱۹۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ حاصل شد و تیمار محلول‌پاشی با آب نیز با میانگین ۱/۷۳۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ کمترین مقدار کلروفیل کل را نشان داد (جدول ۲). Curie & Briat (2003) بیان داشتند که محلول‌پاشی برگی با عناصر ریزمغذی چه به‌صورت منفرد و چه ترکیبی، مقدار کلروفیل a، b و کلروفیل کل را در مقایسه با تیمارهای شاهد تحت شرایط شوری و بدون شوری افزایش می‌دهد. در این آزمایش نیز افزایش محتوای کلروفیل کل در شرایط آبیاری مطلوب در اثر

Archive of SID

www.SID.ir

محلول‌پاشی آهن چشمگیر بود. علت احتمالی افزایش محتوای کلروفیل، بهبود شرایط تغذیه‌ای از طریق محلول‌پاشی است؛ اما با افزایش شدت تنش آب، مقدار کلروفیل کل برگ با کاربرد کود کلات آهن در خاک افزایش چشمگیری داشت. بیشترین مقادیر کلروفیل کل از کاربرد ۵۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار حاصل شد که در مقایسه با تیمار شاهد (بدون استفاده از کود کلات آهن) ۳۷/۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). Jaleel *et al.* (2008) گزارش کردند که تنش خشکی موجب کاهش محتوای کلروفیل گلرنگ شده است. Yang *et al.* (2001) بیان کردند که کاهش مقدار کلروفیل در برگ‌های گیاهان ممکن است به‌دلیل تخریب بیشتر کلروفیل نسبت به سنتز آن تحت شرایط تنش باشد. در این آزمایش احتمالاً افزایش مقدار آهن در محیط ریشه و جذب بیشتر آن موجب افزایش کلروفیل کل در شرایط تنش شده است. بنابراین با توجه به نقش عنصر آهن در تشکیل کلروفیل، واکنش مثبت گیاه به کاربرد آهن در خاک در شرایط تنش دور از انتظار نیست.

جدول ۱. میانگین مربعات صفات مورد بررسی در گلرنگ تحت تأثیر سطوح آبیاری و کلات آهن

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات									
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a/b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	آنتوسیانین	fv/fm	فلاونوئید ۲۷۰	فلاونوئید ۳۰۰	فلاونوئید ۳۳۰
بلوک	۳	۰/۰۲۹۴	۰/۰۰۱۹۳	۰/۱۵۵	۰/۰۴۰۲	۰/۰۰۰۱۶۸	۰/۰۰۰۰۰۷۵۶	۰/۰۰۱۲۷	۲/۱۰۰۹	۳/۶۴۴	۴/۳۹۲
آبیاری	۱	۰/۱۹۶*	۰/۰۱۶۳**	۴/۹۴۲**	۰/۰۹۹۵ns	۰/۰۶۳۷**	۲/۰۰۱۰۳**	۰/۰۰۰۴۷۸ns	۳۷۶۲۷/۸۰۳**	۱۹۳۴۹/۹۲۲**	۱۷۳۵۱/۱۴۶**
خطای الف	۳	۰/۰۰۶۴۵	۰/۰۰۰۳۹۲	۰/۰۰۰۳۷۸	۰/۰۱۰۰۴	۰/۰۰۰۶۳۷	۰/۰۰۰۰۱۴۶	۰/۰۰۱۴۸	۱۲/۴۱۶	۳/۴۹۳	۰/۱۸۵
کلات آهن	۷	۰/۰۶۷۸**	۰/۰۰۵۳۶**	۰/۲۴۳**	۰/۰۹۹۸**	۰/۰۳۲۹**	۰/۰۰۲۰۰۹**	۰/۰۲۱۸**	۱۱۳۵۳/۸۲۴**	۴۵۸۸/۳۰۴**	۴۳۷۵/۳۳۸**
آبیاری×کلات آهن	۷	۰/۰۹۷۰**	۰/۰۰۳۳۱**	۱/۱۲۹**	۰/۰۸۹۲**	۰/۰۵۵۵**	۰/۰۰۲۰۰۲**	۰/۰۰۷۷۰**	۱۵۲۱/۷۳۱**	۵۲۹/۸۵۹**	۶۵۱/۰۸۱**
خطای ب	۴۲	۰/۰۰۵۷۵	۰/۰۰۰۴۴۲	۰/۰۹۵۹	۰/۰۰۵۳۹	۰/۰۰۱۱۹	۰/۰۰۰۰۴۰۶	۰/۰۰۰۳۸۱	۱۴/۶۶۶	۷/۲۷۰	۵/۲۴۸
ضریب تغییرات (٪)	-	۵/۰۳	۵/۱۴	۸/۳۳	۳/۸۳	۸/۱۶	۴/۱۱	۴/۶۷	۳/۵۷	۳/۳۶	۲/۹۶

*، ** و ns به‌ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد؛ و عدم اختلاف معنی‌دار.

اثر متقابل تیمارهای آبیاری و کلات آهن بر نسبت کلروفیل a به b معنی‌دار بود (جدول ۱) و روند تغییرات آن در هریک از رژیم‌های آبیاری نسبت به سطوح کلات آهن کاملاً یکسان بود. در هر دو سطح آبیاری، محلول‌پاشی کلات آهن تا سطح ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، سبب افزایش نسبت کلروفیل a به b شد، ولی افزایش غلظت محلول‌پاشی کلات آهن، از ۲۰۰۰ به ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، نسبت کلروفیل a به b را به‌طور معنی‌داری کاهش داد و کمترین نسبت کلروفیل a به b نیز متعلق به تیمار عدم استفاده از کلات آهن بود (جدول ۲). Antolin *et al.* (1995) گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی، مقدار کلروفیل برگ کاهش می‌یابد، ولی نسبت کلروفیل a به b افزایش پیدا می‌کند. به‌نظر می‌رسد در شرایطی که مقدار آهن عاملی به‌شدت محدودکننده به‌شمار می‌آید، محدودیت آهن ممکن است سبب عدم ثبات نسبت کلروفیل a به b به‌خصوص در شرایط تنش رطوبتی شود. بنابراین در چنین شرایطی استفاده از روش محلول‌پاشی می‌تواند با حفظ این نسبت سبب دوام فتوسنتز و کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی شود. حتی در شرایط آبیاری مطلوب نیز نقش این محلول‌پاشی‌ها بهتر نمایان شده است.

نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار آهن مصرفی (سکوسترون) در هریک از رژیم‌های آبیاری اثر چشمگیری بر مقدار کاروتنوئیدهای محلول برگ داشت (جدول ۱). مقایسهٔ میانگین‌ها در تیمار آبیاری کامل نشان داد که مقدار کاروتنوئیدهای محلول برگ با افزایش کاربرد کلات آهن تا سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در هنگام اعمال تنش نیز مقدار کاروتنوئیدهای محلول برگ، تحت تأثیر این روش قرار گرفت و بیشترین مقدار آن با مصرف ۵۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار حاصل شد که در مقایسه با تیمار عدم کاربرد کلات آهن، ۵۵/۵ درصد افزایش نشان می‌دهد (جدول ۲). کاروتنوئیدها گروهی از

Archive of SID

www.SID.ir

رنگدانه‌های نارنجی و زرد هستند که محلول در چربی‌اند و در غشای کلروپلاست یافت می‌شوند و وظیفهٔ آنها جمع‌آوری انرژی و حفاظت نوری است. کاروتنوئیدها از راه برگشت‌پذیر با رادیکال‌های اکسیژن و تشکیل زانتوفیل مانع تخریب کلروفیل‌ها می‌شوند (Amal & Aly, 2008). از طرفی آهن نیز عنصری ضروری برای رشدونمو گیاهان است و در سنتز کلروفیل، تیلاکوئیدها و نمو کلروپلاست‌ها دخالت دارد (Curie & Briat, 2003). بنابراین کمبود مقدار آهن در گیاه می‌تواند علاوه‌بر کاهش سنتز کلروپلاست، با کاهش محسوس کاروتنوئید همراه شود؛ چراکه این رنگدانه‌ها در غشای کلروپلاست جای دارند. بنابراین وجود آهن کافی برای سنتز کلروپلاست‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. در این تحقیق افزایش غلظت کاروتنوئید از طریق کاربرد کود کلات آهن می‌تواند تا حدودی خسارت ناشی از رادیکال‌های آزاد را کاهش دهد و در نتیجه بدین طریق موجب حفظ و پایداری کلروفیل شود.

براساس جدول ۳، در شرایط آبیاری کامل (بدون تنش) سطوح کودی ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار نسبت به سایر تیمارهای اعمال‌شده، بیشترین میانگین کارایی کوانتومی فتوسیستم II را نشان دادند. مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که افزودن عنصر آهن (سکوسترون ۱۳۸) به خاک در شرایط تنش رطوبتی، تأثیر معنی‌داری بر کارایی کوانتومی فتوسیستم II داشت. اضافه کردن ۱۰۰ کیلوگرم کلات آهن به خاک موجب افزایش ۵۰/۷ درصدی کارایی کوانتومی فتوسیستم II نسبت به تیمار عدم کاربرد کلات آهن شد. براساس نظر Yordanov *et al.* (2003)، هرچند فتوسیستم نوری II تا حد زیادی نسبت به خشکی مقاوم است، خشکی می‌تواند مانع انتقال الکترون در این نظام نوری شود. از این رو کارایی فتوسنتز کاسته شده و بر میزان فلورسانس کلروفیل افزوده می‌شود. در مطالعه‌ای که بر روی ژنوتیپ‌های گلرنگ انجام گرفت، نشان داده شده است که تنش خشکی کارایی کوانتومی فتوسیستم II را کاهش می‌دهد (Miladi Lari & Ehsanzadeh, 2010). در مقابل در تحقیق Movahhedy Dehnavy *et al.* (2004) در مورد گلرنگ، کارایی کوانتومی فتوسیستم II تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت. کمبود برخی از عناصر ریزمغذی مانند آهن، منگنز و مس سبب تغییراتی در واکنش‌های فلورسانس کلروفیل در برگ‌ها می‌شود (Henriques, 2003). تحقیقات نشان داده است که در برگ‌های دچار کمبود آهن، همهٔ رنگدانه‌های فتوسنتزی و اجزای زنجیرهٔ انتقال الکترون به یک اندازه کاهش نمی‌یابند. فعالیت فتوسیستمI بیشتر از فتوسیستمII کاهش می‌یابد. تأثیر مصرف آهن بر فتوسیستمI بیش از فتوسیستمII است، اما در صورت شدت یافتن کمبود آهن، فعالیت فتوسیستمII نیز کاهش پیدا می‌کند و برگرداندن آن به شرایط طبیعی با کوددهی بسیار مشکل است. همچنین در برگ‌های دچار کمبود آهن، انتقال الکترون در فرایند فتوسنتز، مختل می‌شود (Romheld & Marschner, 1991). به‌نظر می‌رسد که دلیل افزایش عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط تنش، با مصرف کود کلات آهن، افزایش کارایی فتوسیستم‌های نوری و بهبود زنجیرهٔ انتقال الکترون در فرایندهای فتوسنتزی باشد.

نتایج این تحقیق نشان داد که در شرایط کم‌آبیاری (آبیاری پس از تخلیهٔ ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) در مرحلهٔ گلدهی، آنتوسیانین برگ‌ها در اثر عدم استفاده از کود سکوسترین آهن، کاهش معنی‌داری نشان داد و به کمترین حد خود رسید، اما کاربرد کود آهن در شرایط کمبود آب آبیاری بر مقدار آنتوسیانین برگ گلرنگ تأثیر گذاشت و گیاهانی که کود کلات آهن بیشتری دریافت کردند، آنتوسیانین بیشتری داشتند همچنین کاربرد کود آهن به‌صورت مخلوط با خاک در شرایط آبیاری مطلوب نیز مقدار آنتوسیانین برگ را افزایش داد. به‌طوری که بیشترین مقدار این رنگدانه در سطح کودی ۵۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار مشاهده شد (جدول ۳). Balakumar *et al.* (1993) گزارش کردند که مقدار آنتوسیانین در برگ‌های گیاهچهٔ لوبیا چشم‌بلبلی در شرایط تنش خشکی افزایش معنی‌داری داشت. افزایش مقدار رنگدانه‌های غیرآنزیمی (آنتوسیانین) توسط کاربرد آهن در خاک می‌تواند از تخریب کلروفیل‌ها جلوگیری کند و به‌طور غیرمستقیم سبب افزایش آن شود. چرا که آنتوسیانین‌ها از ساختارهای حساسی مانند غشاها حفاظت کرده و از زوال کلروفیل جلوگیری می‌کنند (Leng *et al.*, 2000).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. مقایسهٔ میانگین رنگیزه‌های فتوسنتزی گلرنگ تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کلات آهن

سطوح آبیاری	سطوح کلات آهن	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	نسبت کلروفیل a به b
		(mg g FW^{-1})				
آبیاری کامل	کلات آهن (kg ha^{-1})					
	۰	۱/۳۷۷c	۰/۴۱۵b	۱/۷۹۳d	۰/۲۲۵d	۳/۳۲۰e
	۵۰	۱/۶۶۱a	۰/۴۵۵a	۲/۱۱۶ab	۰/۳۸۶c	۳/۶۵۰cd
	۱۰۰	۱/۵۷۳b	۰/۴۵۰a	۱/۰۲۴bc	۰/۵۷۸a	۳/۴۹۲cde
	۱۵۰	۱/۵۰۲b	۰/۴۳۷ab	۱/۹۴۰c	۰/۳۴۲c	۳/۴۳۲ed
	کلات آهن (mg l^{-1})					
	محلول‌پاشی با آب	۱/۳۸۷c	۰/۳۴۶c	۱/۷۳۳d	۰/۲۵۸d	۴/۰۰۷ab
	۱۰۰۰	۱/۷۳۵a	۰/۴۵۸a	۲/۱۹۳a	۰/۴۴۰b	۳/۳۷۸abc
	۲۰۰۰	۱/۶۹۳a	۰/۴۲۱b	۲/۱۱۵ab	۰/۵۴۹a	۴/۰۵۷a
	۳۰۰۰	۱/۵۵۴b	۰/۴۱۶b	۱/۹۷۱c	۰/۳۶۸c	۳/۷۳۷bc
کم‌آبیاری	کلات آهن (kg ha^{-1})					
	۰	۱/۱۶۱e	۰/۳۴۵d	۱/۵۰۷d	۰/۳۵۸e	۳/۳۸۰c
	۵۰	۱/۶۶۲a	۰/۴۰۹ab	۲/۰۷۱a	۰/۵۵۷a	۴/۱۰۰b
	۱۰۰	۱/۴۸۰bcd	۰/۴۲۸a	۱/۹۰۸b	۰/۵۴۸a	۳/۴۵۲c
	۱۵۰	۱/۴۲۶cd	۰/۳۹۵abc	۱/۸۲۲bc	۰/۵۰۹ab	۳/۶۰۷c
	کلات آهن (mg l^{-1})					
	محلول‌پاشی با آب	۱/۳۳۶d	۰/۳۶۲cd	۱/۶۹۹c	۰/۳۶۲e	۳/۶۸۲bc
	۱۰۰۰	۱/۴۹۱bc	۰/۴۲۳a	۱/۹۱۴ab	۰/۳۹۵ed	۳/۵۲۷c
	۲۰۰۰	۱/۵۸۷ab	۰/۳۴۵d	۱/۹۳۳ab	۰/۴۶۳bc	۴/۶۱۰a
	۳۰۰۰	۱/۴۵۳bcd	۰/۳۷۸bcd	۱/۸۳۱bc	۰/۴۴۱cd	۳/۸۴۵bc

حروف مشابه در داخل هر سطح تیمار آبیاری، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است (LSMEANS).

جدول ۳. مقایسهٔ میانگین رنگیزه‌های فتوسنتزی گلرنگ تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کلات آهن

سطوح آبیاری	سطوح کلات آهن	fv/fm	آنتوسیانین	فلاونوئید ۲۷۰	فلاونوئید ۳۰۰	فلاونوئید ۳۳۰
			(µmol/g FW)	(Abs/mg F.W.)		
آبیاری کامل	کلات آهن (kg ha^{-1})					
	۰	۰/۴۶۶c	۰/۱۲۶e	۵۷/۹۶۶d	۵۵/۵۸۲d	۴۹/۰۵۰e
	۵۰	۰/۵۵۷a	۰/۱۸۹a	۱۳۳/۱۵۳c	۹۹/۷۶۸c	۹۲/۳۲۰c
	۱۰۰	۰/۵۵۶a	۰/۱۸۵a	۱۳۳/۲۳۸c	۱۰۴/۲۴۸c	۱۰۰/۸۷۵c
	۱۵۰	۰/۵۴۶a	۰/۱۷۵b	۱۴۵/۸۸۸b	۱۰۳/۷۵۸c	۱۰۱/۸۰۸c
	کلات آهن (mg l^{-1})					
	محلول‌پاشی با آب	۰/۴۰۸d	۰/۱۲۳e	۵۷/۵۸۲d	۴۸/۵۰۰e	۴۵/۵۳۵e
	۱۰۰۰	۰/۴۴۹c	۰/۱۶۱c	۱۴۸/۱۲۰b	۱۰۱/۱۳۳c	۹۹/۳۲۰c
	۲۰۰۰	۰/۴۵۱c	۰/۱۶۲c	۱۸۷/۷۹۸a	۱۳۷/۳۴۰a	۱۳۲/۶۵۰a
	۳۰۰۰	۰/۵۰۹b	۰/۱۴۶d	۱۸۷/۶۰۸a	۱۳۰/۲۷۰b	۱۲۷/۰۲۵b
کم‌آبیاری	کلات آهن (kg ha^{-1})					
	۰	۰/۳۴۷c	۰/۱۲۹d	۴۸/۷۸۵e	۴۱/۸۹۵e	۴۰/۱۹۳f
	۵۰	۰/۴۳۲b	۰/۱۵۷b	۷۷/۸۹۱d	۶۳/۴۰۳c	۶۰/۸۸۰d
	۱۰۰	۰/۵۲۳a	۰/۱۷۸a	۸۸/۳۴۵c	۶۴/۴۹۶c	۶۶/۲۷۰c
	۱۵۰	۰/۴۶۷b	۰/۱۷۹a	۷۴/۴۵۴d	۵۶/۱۱۶d	۵۲/۳۴۸e
	کلات آهن (mg l^{-1})					
	محلول پاشی با آب	۰/۲۴۰d	۰/۱۴۰cd	۵۲/۹۷۱e	۴۲/۳۱۹e	۴۱/۹۶۸f
	۱۰۰۰	۰/۴۲۷b	۰/۱۴۹bc	۸۴/۴۵۰c	۶۳/۳۲۶c	۶۲/۸۵۵d
	۲۰۰۰	۰/۴۳۴b	۰/۱۳۶d	۱۰۹/۰۹۵b	۷۸/۲۹۵b	۷۵/۷۰۵b
	۳۰۰۰	۰/۴۳۷b	۰/۱۳۵d	۱۲۷/۴۰۳a	۹۲/۵۴۰a	۸۵/۲۶۰a

حروف مشابه در داخل هر سطح تیمار آبیاری، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است (LSMEANS).

Archive of SID

www.SID.ir

شدت و روند تغییرات فلاونوئیدهای اندازه‌گیری‌شده (در طول موج‌های ۲۷۰، ۳۰۰ و ۳۳۰ نانومتر) در اثر تغییر مقدار کاربرد کلات آهن در هر یک از سطوح آبیاری یکسان نبود. در تیمار تنش رطوبتی، آبیاری پس از تخلیهٔ ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی، با افزایش سطوح محلول‌پاشی کلات آهن تا سطح ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، مقادیر هر سه فلاونوئید اندازه‌گیری‌شده همچنان روند افزایشی داشت، ولی در رژیم مطلوب رطوبتی خاک این روند تا سطح ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایشی بود و پس از آن کاهش یافت؛ گرچه این کاهش برای عدد جذبی فلاونوئید ۲۷۰ نانومتر، معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیوسنتز فلاونوئیدها اغلب توسط تنش‌های غیرزنده تنظیم می‌شود. این ترکیبات در بافت‌های گیاهی تجمع می‌یابند و می‌توانند به‌واسطهٔ گروه‌های هیدروکسیل موجود در ساختارشان به‌عنوان خنثی‌کنندهٔ رادیکال آزاد عمل کنند (Grace & Logan, 2000). Balouchi *et al*. (2008) اظهار داشتند که کمبود آب سبب کاهش معنی‌دار مقادیر فلاونوئیدهای برگ گندم دوروم شد. به‌نظر می‌رسد افزایش این رنگدانه‌های آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی توسط محلول‌پاشی آهن از طریق پاکسازی گونه‌های فعال اکسیژن، از تنش‌های اکسیداتیو جلوگیری می‌کند و سبب افزایش مقاومت گیاهان می‌شود؛ بنابراین افزایش سطح آنها را می‌توان عامل ایجادکنندهٔ تحمل به تنش کم‌آبی در گلرنگ دانست.

به‌طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد کود کلات آهن در خاک، مقدار کلروفیل a ، b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، آنتوسیانین و کارایی کوانتومی فتوسیستم II را در گلرنگ در شرایط کم‌آبیاری افزایش بیشتری می‌دهد و مصرف برگی کلات آهن نیز بیشترین تأثیر را بر نسبت کلروفیل a به b و مقدار فلاونوئیدهای برگ دارد. به‌نظر می‌رسد کارایی کم روش محلول‌پاشی تغذیهٔ برگی کلات آهن در سطح تنش رطوبتی نسبت به‌روش خاکی کلات آهن، در شرایط اقلیمی منطقه، احتمالاً به‌دلیل افزایش سطح تبخیر از برگ‌ها، زمان جذب و همچنین انتقال آهن به داخل گیاه کاهش یافته باشد. ازاین‌رو کاربرد آهن به‌صورت مخلوط با خاک می‌تواند به‌علت فراهم شدن شرایط جذب مناسب‌تر برای گیاه در طول دورهٔ گلدهی برای کاهش آثار تنش رطوبتی، مناسب‌تر باشد.

REFERENCES

1. Alizadeh, A. (2011). Soil, Water, Plant Relationship. Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
2. Allen, R. D. (1995). Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. *Plant Physiology*, 57, 1049-1054.
3. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements). Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, United Nations, Rome.
4. Amal, A. M. & Aly, A. A. (2008). Alteration of some secondary metabolites and enzymes activity by using exogenous antioxidant compound in onion plants growth under seawater salt stress. *Americaneurasian Journal of Science Research*, 3, 139-146.
5. Antolin, M. C., Yoller, J. & Sanchez-Diaz, M. (1995). Effects of temporary drought on nitrate-fed and nitrogen–fixing alfalfa plants. *Plant Science*, 107,159-165.
6. Balakumar, T., Hani Babu Vincent, V. & Paliwal, K. (1993). On the interaction of UV-B radiation (280-3 15 nm) with water stress in crop plants. *Physiologia Plantarum*, 87, 217-222.
7. Balouchi, H. R., Modarres Sanavy, S. A. M., Emam, Y. & Barzegar, M. (2008). Effect of Water Deficit, Ultraviolet Radiation and Carbon Dioxide Enrichment on flagLeaf Qualitative Characters of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources*, 12 (45), 167-181. (In Farsi)
8. Bybordi, A. & Mamedov, G. (2010). Evaluation of Application Methods Efficiency of Zinc and Iron for Canola (*Brassica napus* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 2 (1), 94-103.
9. Chaves, M. M., Maroco, J. P. & Pereira, J. S. (2003). Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30, 239-264.
10. Chereskin, B. M. & Castelfrance, P. A. (1982). Effects of iron and oxygen on chlorophyll biosynthesis II. Observation on the biosynthetic pathway in isolatedetio-chloroplasts. *Plant Physiology*, 68, 112-116.
11. Curie, C. & Briat J. F. (2003). Iron transport and signaling in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 54, 183-206.
12. Ghasemi-Fasaei, R., Ronaghi, A. Maftoun, M., Karimianand, N. A. & Soltanpour, P. N. (2005). Iron Manganese Interaction in Chickpea as Affected by Foliar and Soil Application of Iron in a Calcareous Soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36, 1717-1725. (In Farsi)

Archive of SID

www.SID.ir

13. Gogor Cena, Y., Abadía, J. & Abadía, A. (2004). A new technique for screening iron-efficient genotypes in peach rootstocks elicitation of root ferric chelate reductase by manipulation of external iron concentrations. *Journal of Plant Nutrition*, 27, 1701-1715.
14. Grace, S.C. & Logan, B.A. (2000). Energy dissipation and radical scavenging by the plant phenylpropanoid pathway. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 355, 1499-1510.
15. Hansch, R. & Mendel, R. R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*, 12, 259-266.
16. Henriques, F. S. (2003).Gas exchange, chlorophyll *a* fluorescence kinetics and lipid peroxidation of pecan leaves with varying manganese concentrations. *Plant Science*, 165, 239-244.
17. Jagtap, V., Bhargava, S., Sterb, P. & Feierabend, J. (1998). Comparative effect of water, heat and light stresses on photosynthetic reactions in *Sorghum tricolor* (L.) Moench. *Journal of Experimental Botany*, 49, 1715-1721.
18. Jaleel, C. A., Gopi, R. Sankar, B., Gomathinayagam, M. & Panneerselvam, R. (2008). Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. *Comptes Rendus Biologies*, 33, 42-47.
19. Krause, G. H. & Weis, E. (1991). Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 42, 313-349.
20. Krizek, D. T., Kramer, G. F., Upadhyaya A. & Mirecki, R. M. (1993). UV-B Response of cucumber seedling grown under metal halid and high pressure sodium/deluxe lamps. *Plant Physiology*, 88, 350-358.
21. Kruk, J., Czytko, H. H., Oettmeier, W. & Trebest, A. (2005). Tocopherol as singlet oxygen scavenger in photosystem II. *Journal of Plant Physiology*, 162, 749-757.
22. Leng, P., Itamura, H., Yamamura, H. & M. Deng, X. (2000). Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation. *Scientia Horticulturae*, 83, 43-50.
23. Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382.
24. Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants* (2th Ed.). Academic Press, London.
25. Miladi Lari, A. & Ehsanzadeh, P. (2010). The Negative Effect of Drought on Safflower Grain Yield through Impact on Photosynthetic Surfaces and on Efficiency. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 41 (2), 375-384. (In Farsi).
26. Mohsenzadeh, S., Malboobi, M. A., Razavi, K. & Farrahi-Aschtiani, S. (2006). Physiological and molecular responses of *Aeluropus lagopoides* (Poaceae) to water deficit. *Environmental and Experimental* Botany, 56,314-322.
27. Movahhedy Dehnavy, M., Modarres Sanavi, S. A. M., Sorush Zadehand, A. & Jalali, M. (2004). Changes in proline, total soluble sugars, SPAD and chlorophyll fluorescence in winter safflower cultivars under drought stress and foliar application of zink and manganese. *Journal of Dessert*, 9(1), 93-109. (In Farsi)
28. Nasibi, F. & M-Kalantari, K. H. (2005). The effects of UV-a, UV-b and UV-c on protein and ascorbate content, lipid peroxidation and biosynthesis of screening compounds in *Brassica Napus*. *Iranian Journal of Science and Technology Transaction A- Science*, 29(1), 39-48. (In Farsi)
29. Navari-Izoo, F., Quartacci, M. F. & Izzo, R. (1990). Water-stress induced changed changes in protein and free amino acids in field grown maize and sun flower. *Plant Physiology and Biochemistry*, 28, 531-537.
30. Pattangual, W. & Madore, M. (1999). Water deficit effects on raffinose family oligosaccharide metabolism in *Coleus*. *Plant Physiology*, 121, 998-993.
31. Pessarakli, M. (1999). *Hand book of Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker Inc. pp.697.
32. Quiles, M. J. & López, N. L. (2004). Photoinhibition of photosystems I and II induced by exposure to high light intensity during oat plant grown effects on the chloroplastic NADH dehydrogenase complex. *Plant Science*, 166, 815-823.
33. Romheld, V. & Marschner, H. (1991). Function of micronutrients in plants.In.J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman, & R. M. Welch, *Micronutrients in Agriculture*, (2th ed.), (pp.297-328).Madison, WI: SSSA.
34. Sgherri, C. L. M. & Navari-Izzo F. (1995). Sunflower seedlings subjected to increasing water deficit stress: oxidative stress and defence mechanisms. *Physiologia Plantarum*, 93, 25-30.
35. Sharma, P. K. & Hall, D. O. (1991). Interaction of salt stress and photoinhibition on photosynthesis in barley and sorghum. *Journal of Plant Physiology*, 138(5), 614-619.
36. Sofo, A., Dichio, B., Xiloyannis C. & Masia A. (2004). Effects of different irradiance levels on some antioxidant enzymes and on malondialdehyde content during rewatering in olive tree. *Plant Science*, 166, 293-30.
37. Yang, J., Zhang, J., Wang, Z., Zhu, Q. & Liu, L. (2001). Water deficit induced senescence and its relationship to the remobilization of pre-stored carbon in wheat during grain filling. *Agronomy Journal*, 93, 196-206.
38. Yordanov, I., Velikova, V. & Tsonev, T. (2003). Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 187-206.

Archive of SID

www.SID.ir