

## بررسی اثر حاصلخیزکننده‌های مختلف فسفر بر خصوصیات فیزیولوژیکی رنگدانه‌های فتوسنتزی و قندهای محلول در گلرنگ تحت شرایط کمبود آب

سیاوش حشمتی<sup>۱</sup> - مجید امینی‌دهقی<sup>۲\*</sup> - علیرضا رضازاده<sup>۳</sup> - کیوان فتحی امیرخیز<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۱۸

### چکیده

به منظور بررسی اثر کاربرد حاصلخیزکننده‌های مختلف آلی و شیمیایی فسفر بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی رقم گلرنگ بهاره (IL111) در تنش خشکی آزمایشی به صورت اسپلیت-فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ اجرا گردید. عامل اصلی تنش خشکی در سه سطح: آبیاری کامل یا بدون تنش (آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی)، تنش خشکی در مرحله رشد رویشی (آبیاری بر اساس تخلیه ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) و تنش در مرحله زایشی (آبیاری بر اساس تخلیه ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) و عامل فرعی به صورت فاکتوریل شامل شش تیمار که سه سطح آن کود شیمیایی فسفر با مقادیر (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات‌تریپل در هکتار) و کود زیستی فسفر بارور-۲، در ۲ سطح (تلقیح و بدون تلقیح با بارور ۲) بود. بررسی صفات مورد مطالعه نشان داد که با اعمال تنش در مرحله رشد رویشی و زایشی، بیشترین مقدار کلروفیل a، b و کلروفیل کل در تیمار به کارگیری کود زیستی فسفر بارور ۲ با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر بود. در سطح تنش زایشی، مصرف بالای کود فسفر در تیمار عدم به کارگیری کود زیستی فسفر بارور ۲، بیشترین تأثیر را در افزایش نسبت کلروفیل a به b داشت. اما در تیمار تلقیح کود زیستی، بیشترین میزان نسبت کلروفیل a به b از کمترین سطح کودی فسفر به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر حاصل شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار کاروتنوئیدها، fv/fm، آنتوسیانین، فلاونوئیدها و قندهای محلول در تیمار بدون کود زیستی فسفر بارور ۲ از مصرف ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار در شرایط تنش رویشی و زایشی بدست آمد. در سطح تنش در مرحله زایشی، تلقیح کود زیستی همراه با مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر، میزان آنتوسیانین و قندهای محلول برگ را به طور معنی‌داری افزایش داد. در حالی که مقدار کاروتنوئید و فلاونوئیدها در تیمار به کارگیری کود زیستی بدون استفاده از کود فسفر افزایش داشت. در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد کود زیستی به همراه کود فسفر، نقش مؤثری در افزایش صفات مورد مطالعه گلرنگ در شرایط تنش خشکی داشته است.

**واژه‌های کلیدی:** آنتوسیانین، تنش خشکی، کارایی فتوسنتز، کلروفیل، کود زیستی فسفر بارور ۲

### مقدمه

به حساب آید (Behra et al., 2002). به نظر می‌رسد که دلیل کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش آبی، تخریب این رنگیزه‌ها و یا کاهش ساخت آن‌ها و همچنین اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز و رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد (Voleti et al., 1998). یکی دیگر از مهم‌ترین دلایل کاهش کلروفیل، تخریب آن‌ها به وسیله انواع اکسیژن‌فعال می‌باشد (Navari-Izoo et al., 1990). کاهش در محتوای کلروفیل در گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) نیز تحت تنش خشکی گزارش شده است (Jaleel et al., 2008). همچنین نشان داده شده که محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی در ارقام گلرنگ تحت تنش آب کاهش یافت (Abdul Jaleel et al., 2007).

عمل هماهنگ آنتی‌اکسیدانت‌هایی با وزن مولکولی کم مانند آنتوسیانین‌ها، پلی‌فنل‌ها، فلاونوئیدها و کاروتنوئیدها می‌توانند به طور

غلظت کلروفیل در گیاهان زنده یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است (Jiang and Huang, 2001). حفظ غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش به ثبات فتوسنتزی در این شرایط کمک می‌کند (Bishop and Bughee, 1998). کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی به عنوان یک عامل محدودکننده غیرروزنه‌ای

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران

۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران

۳- استادیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران

(Email: amini@shahed.ac.ir

\*) نویسنده مسئول:

۲۰۰۸). میکروارگانیسم‌های خاک در ایجاد تعادل و حفظ پایداری اکوسیستم نقش مهمی برعهده دارند. بنابراین استفاده از کودهای زیستی یکی از راه‌کارهای مؤثر در حفظ کیفیت مطلوب خاک محسوب می‌گردد که باعث افزایش واکنش‌های مفید بین گیاه و میکروارگانیسم‌ها در ریزوسفر شده و توان گیاه را برای جذب بیش‌تر عناصر غذایی افزایش می‌دهد (Kokalis-Buerelle et al., 2006). هم‌چنین تلقیح گیاهان با میکروارگانیسم‌های مفید بومی، ممکن است تحمل به خشکی گیاهان رشد یافته در مناطق خشک و نیمه‌خشک را افزایش دهد (Marulanda et al., 2007). به‌طوری‌که گزارش شده‌است که تلقیح گیاهان با باکتری سودوموناس می‌تواند اثرات خشکی را جبران کرده و نمو گیاه را به‌واسطه تولید پرولین، اسیدهای آمینه، قندهای محلول بهبود دهد، زیرا آن‌ها آب و مواد غذایی را از خاک بهتر جذب می‌کنند (Sandhya et al., 2010). کود زیستی فسفر بارور ۲ حاوی دو نوع باکتری حل‌کننده فسفات از گونه‌های باسیلوس لتوس (سویه P5) و سودوموناس پوتیدا (سویه P13) می‌باشد که به‌ترتیب با استفاده از دو سازوکار ترشح اسیدهای آلی و اسیدفسفاتاز باعث تجزیه ترکیبات فسفره نامحلول و در نتیجه قابل جذب شدن آن برای گیاه می‌گردند (Malbubi, 2007). گزارشات مبنی بر این‌است که کود زیستی نیتروکسین، بیوسولفور و فسفات بارور ۲ از طریق کمک به جذب نیتروژن، فسفر و گوگرد و نقشی که این عناصر در تولید کلروفیل و تأمین آنزیم‌های مورد نیاز گیاه دارند، باعث افزایش میزان بافت‌های فتوسنتزی در گیاهان می‌شوند (Darzi, 2007). هم‌چنین تحقیقات نشان داده‌است که در اثر تلقیح باکتریایی بر گیاه آفتابگردان، میزان رنگدانه‌های کلروفیل a و b قبل و بعد از گلدهی افزایش یافته و در نتیجه تولید انرژی و در نهایت رشد آفتابگردان در تیمار کود زیستی نسبت به تیمار کنترل (عدم تلقیح) بیش‌تر بوده‌است (Marius et al., 2005). گلرنگ یکی از گیاهان روغنی و بومی کشور است. وجود انواع تیپ‌های وحشی که در سراسر کشور پراکنده‌اند، نشان از سازگاری خوب این گیاه با شرایط آب‌وهوایی ایران دارد، تحمل نسبی به شوری خاک و خشکی هوا و هم‌چنین دارا بودن روغنی با کیفیت بالا، از مشخصات بارز این گیاه است (Ahmadi and Omid, 1996). بنابراین هدف از این تحقیق، بررسی اثر کودهای شیمیایی و زیستی فسفر بر روی رنگدانه‌های فتوسنتزی و کارایی فتوسنتز تحت شرایط تنش خشکی بر روی گلرنگ بوده‌است تا با شناسایی سازوکارهای مؤثر در مقابله با تنش، بتوان اثرات سوء ناشی از تنش خشکی را در این گیاه دانه‌روغنی کاهش داد.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد

مؤثری خنثی‌کننده رادیکال‌های آزاد مضر باشند و بدین‌طریق سبب پایداری اکسیداسیون لیپیدها شوند (Basu et al., 2010). فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها از مهم‌ترین ترکیبات آنتی‌اکسیدانتهی هستند، این ترکیبات نه تنها رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برند، بلکه از تولید بیش‌تر آن‌ها در گیاه نیز جلوگیری می‌کنند (Nasibi and Kalantari, 2005). فلاونوئیدها به‌عنوان عامل آنتی‌اکسیدانت به‌واسطه تعدادی از گروه‌های هیدروکسیل که در حلقه‌های ساختاری خود دارند، انواع اکسیژن‌فعال را پاک‌سازی می‌کنند و توانایی آن‌ها به‌عنوان آنتی‌اکسیدانت بستگی به پتانسیل احیاء رادیکال‌ها و دستیابی به آن‌ها دارد (Rice-Evans, 2001). آنتوسیانین‌ها نیز هم از ساختارهای حساس مانند غشاهای حفاظت می‌کنند و هم از زوال کلروفیل جلوگیری می‌کنند (Leng et al., 2000). بنابراین گیاهانی که در بافت‌شان آنتوسیانین دارند، اغلب مقاوم به خشکی هستند (Paine et al., 1992). دسته دیگری از ترکیبات آنتی‌اکسیدانتهی محلول در سلول‌های گیاهی کاروتنوئیدها می‌باشند، این ترکیبات نیز از مسیر غیرآنزیمی در جهت کاهش خسارت اکسیداتیو بر گیاه عمل می‌کنند، کاروتنوئیدها، تتراترپن‌های ۴۰ کربنه‌ای هستند که در کلروپلاست بافت‌های گیاهی حضور داشته و در تنش‌های محیطی محرک تنش اکسیداتیو در گیاه، حفاظت از بافت‌های فتوسنتزی به‌خصوص کلروفیل‌ها را برعهده دارند (Candan and Tarhan, 2003). خشکی علاوه بر کاهش در محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، موجب آسیب و تغییرات در پارامترهای فلورسانس کلروفیل می‌شود (Mohsenzadeh et al., 2006). فلورسانس کلروفیل a می‌تواند معیاری از کارایی فتوسنتزی باشد و اطلاعاتی در مورد ارتباط بین ساختار مرکز واکنش در فتوسیستم II و هسته مرکزی فراهم‌کند (Papageorgiou and Govindjee, 2004). در مطالعه‌ای که بر روی گلرنگ انجام شده، نشان داده شده که تنش خشکی حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II را کاهش می‌دهد (Miladi Lari and Ehsanzadeh, 2010). افزایش تجمع محافظت‌کننده‌های اسمزی ممکن است از گیاهان در برابر آسیب‌ها حفاظت کند و به‌حفظ ساختار پروتئین‌ها و یا به پاک‌سازی انواع اکسیژن‌فعال در کنار حفظ تعادل در پتانسیل اسمزی در سیتوزول کمک‌کنند (Parvanova et al., 2004). به‌طوری‌که سنتز قندهای محلول تحت شرایط خشکی افزایش می‌یابد (De Carvalho, 2005). این مواد می‌توانند به‌عنوان محافظت‌کننده‌های اسمزی واکنش دهند و منبعی از کربن برای حفظ بقای گیاهان در طی دوره‌های تنش آبی باشد (Chaves et al., 2003).

فسفر یکی از مهم‌ترین عناصر معدنی ضروری برای رشد گیاهان بعد از نیتروژن است. اگرچه قابلیت دسترسی به این ماده غذایی برای گیاهان توسط واکنش‌های شیمیایی مختلف، به‌ویژه در خاک‌های خشک و نیمه‌خشک محدود می‌شود (Mehrzar and Chaichi, 2003).

دستگاه PSM (مدل بیومانتور AB ساخت کشور سوئد) قرائت‌شد. بدین‌منظور ابتدا در حدود نیم‌ساعت با استفاده از گیره‌های مخصوص دستگاه، سازگاری به‌تاریکی بر روی برگ‌ها انجام‌گرفت. اندازه‌گیری محتوی کلروفیل و کاروتنوئید با دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-1601PC مدل Shimadzu, Japan در طول موج‌های ۶۴۶/۸ و ۶۶۳/۲۰ نانومتر قرائت و غلظت رنگدانه‌ها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه‌گردید (Lichtenthaler, 1987). سنجش فلاونوئیدها در سه طول موج ۲۷۰، ۳۰۰ و ۳۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت و برای محاسبه غلظت، از ضریب‌خاموشی  $\epsilon = 33300 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  استفاده و به‌صورت جذب در میلی‌گرم وزن تر برگ بیان‌گردید (Krizek et al., 1993). هم‌چنین غلظت آنتوسیانین نیز براساس میزان جذب در ۵۵۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد و برای محاسبه غلظت آنتوسیانین، از ضریب‌خاموشی  $(\epsilon = 33300 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1})$  استفاده و به‌صورت میکرومول در گرم وزن تر برگ بیان‌گردید (Krizek et al., 1993). برای اندازه‌گیری قندهای محلول کل نمونه‌های منجمد به‌میزان ۰/۲ گرم در سه میلی‌لیتر آب مقطر عصاره‌گیری شده و سپس محلول همگن حاصل به کمک کاغذ صافی صاف شد. برای اندازه‌گیری قند نمونه، به ۵۰ میکرولیتر از همگن صاف‌شده ۰/۵ میلی‌لیتر فنل پنج‌درصد و ۲/۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۹۸ درصد اضافه‌گردید. بلافاصله بعد از افزودن اسیدسولفوریک، یک‌واکنش گرمازا همراه با تولید رنگ نارنجی ایجاد می‌شود که تولید حرارت زیادی می‌کند. لذا ضروری است بعد از افزودن اسید، مخلوط واکنش ۱۰ دقیقه در دمای اتاق خنک شود. منحنی استاندارد با استفاده از غلظت‌های مختلف گلوکز، زایلوز و مانوز از ۰ تا ۲۰ میکروگرم در میلی‌لیتر ترسیم‌شد، جذب استانداردها به‌همراه جذب نمونه با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در سه طول‌موج ۴۸۰، ۴۸۵ و ۴۹۰ نانومتر برای سنجش گلوکز، زایلوز و مانوز اندازه‌گیری شد و مقدار قند نمونه، بر مبنای میکروگرم بر گرم وزن تازه برگ تعیین‌گردید (Dubois et al., 1956). به‌منظور انجام محاسبات آماری از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 استفاده‌شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از روش برش‌دهی اثر متقابل (LSMEANS) توسط دستور PDIFF انجام‌شد.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌داد که اثرات ساده سطوح کود شیمیایی فسفر و کود زیستی فسفر بارور ۲ و هم‌چنین برهم‌کنش سطوح آبیاری و کود شیمیایی فسفر، سطوح آبیاری و کود زیستی فسفر بارور ۲، کود شیمیایی فسفر و کود زیستی فسفر بارور ۲ اثر سه‌جانبه تیمارهای آبیاری، کود شیمیایی فسفر و کود زیستی فسفر بارور ۲، بر تمامی صفات مورد اندازه‌گیری، معنی‌دار شد (جدول ۱).

در عرض‌جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه شرقی واقع در ابتدای آزاد راه تهران-قم در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ انجام‌گرفت. میانگین بارندگی سالانه در این منطقه، ۲۳۸/۹ میلی‌متر، با میانگین درجه حرارت سالانه ۱۷/۷ درجه سانتی‌گراد است. بافت خاک در عمق ۳۰-۳۰ سانتی‌متری از نوع لومی و در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری از نوع لومی-رسی، میزان فسفر قابل‌جذب ۱۰ ppm، نیتروژن کل ۰/۰۸۹ درصد بود. آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت اسپلیت-فاکتوریل با عامل تنش خشکی در سه سطح: آبیاری کامل یا بدون تنش (آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت‌زراعی قطع آبیاری در مراحل رشد رویشی و زایشی) (آبیاری پس از تخلیه ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت‌زراعی) در کرت اصلی است. عامل فرعی شامل شش تیمار که عبارت‌اند از کود شیمیایی فسفر در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات‌تریپل در هکتار) و کود زیستی فسفر بارور ۲ در دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح بذر با کود زیستی فسفر بارور ۲) که به‌صورت فاکتوریل، عامل فرعی را تشکیل می‌دادند. کود زیستی مورد استفاده در این آزمایش، با نام تجاری فسفر بارور ۲، از شرکت زیست‌فناور سبز تهیه‌گردید. هم‌چنین کاربرد کود زیستی فسفر بارور ۲ به‌صورت بذر مال، به‌میزان ۱۰ لیتر در هکتار استفاده‌شد. قبل از کاشت نیز بر اساس نتایج تجزیه‌شیمیایی خاک، کود نیتروژن از منبع اوره به‌مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌خاک داده‌شد. بذر گل‌رنگ رقم IL-111 از موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کشور تهیه‌شد. عملکرد این رقم در شرایط بدون تنش ۸۰۴/۰۵ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش خشکی، ۶۲۰/۷۸ کیلوگرم در هکتار گزارش‌گردیده‌است که دارای شاخص تحمل به تنش (STI = ۱/۱۹) و شاخص حساسیت به تنش (SSI = ۰/۷۰) می‌باشد (Zarghami et al., 2011). مراحل رشد از نظر زمان اعمال تیمارهای آبیاری، تعیین‌گردید (Allen et al., 1998). بر این اساس، در طول مرحله رویشی، ۷۰ تا ۸۰ روز از زمان کاشت (Vb) تا انتهای مرحله رویشی تأخیری (مرحله طبق‌دهی)، آبیاری کرت‌هایی که باید در این مرحله تحت شرایط تنش قرار می‌گرفت بر اساس تخلیه ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت‌زراعی خاک انجام‌گرفت، از آن به‌بعد هم با شروع مرحله گل‌دهی تقریباً به‌میزان ۵۰ درصد (F) تا مرحله تشکیل عملکرد و پُرشدن دانه (Y) آبیاری در کرت‌های تنش خشکی، پس از اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک و رسیدن رطوبت خاک به ۷۵ درصد تخلیه رطوبت ظرفیت‌زراعی انجام‌گرفت. اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌روش وزنی انجام‌شد (Alizadeh, 2011). به‌منظور بررسی تأثیر تنش رطوبتی بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی، در انتهای مرحله گل‌دهی پس از اعمال تنش، از هر تیمار نمونه‌گیری از جوان‌ترین برگ توسعه‌یافته تهیه و در نیتروژن مایع قرار داده‌شدند. سپس تا زمان انجام آزمایش در فریزر ۸۰-درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در همین مرحله، از دو برگ هم‌سان بر روی دو بوته، میزان فلورسانس کلروفیل با استفاده از

بیش‌تر باشد (Kulshreshtha *et al.*, 1987). هم‌چنین گزارش شده که اعمال تنش خشکی غلظت کلروفیل a را به‌طور متوسط در حدود ۳۵ درصد و کلروفیل b را ۳۸ درصد کاهش داده‌است (Siosemardeh *et al.*, 2003). بنابراین با توجه به یافته‌های این تحقیق به‌نظر می‌رسد که کاربرد بیش‌ترین سطوح کود شیمیایی فسفر همراه با تلقیح باکتری و هم‌چنین بدون تلقیح توانسته‌است غلظت کلروفیل b را تحت شرایط تنش خشکی در مراحل رشد رویشی و زایشی به‌طور معنی‌داری افزایش دهد.

مقایسه میانگین‌ها نشان‌داد که در تیمارهای تنش در مرحله رویشی و عدم تلقیح با کود زیستی فسفر بارور ۲، تمامی تیمارهای کود فسفر موجب افزایش معنی‌دار مجموع کلروفیل شدند. مقایسه میانگین‌ها نشان‌داد که تحت شرایط کم‌آبی در مرحله رویشی، در تیمار تلقیح با کود زیستی، مجموع کلروفیل با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌طور چشم‌گیری افزایش یافت (جدول ۲). نتایج این آزمایش نشان‌داد در شرایط کم‌آبی در مرحله زایشی، با افزایش کود شیمیایی فسفر در هر دو تیمار کود زیستی فسفات، میزان کلروفیل کل به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کاهش مجموع کلروفیل در آفتابگردان تحت تنش آب گزارش شده‌است (Manirannan *et al.*, 2007). شواهدی در دست است مبنی بر آن که تنش آبی میزان کلروفیل برگ را کاهش می‌دهد.

پایداری کلروفیل به‌عنوان یک معیار مقاومت به خشکی برای ارقام پیشنهاد شده‌است (Siosemardeh *et al.*, 2003). به‌نظر می‌رسد افزایش مجموع کلروفیل در شرایط تنش خشکی در مراحل رشد رویشی و زایشی، تحت تأثیر کاربرد کود شیمیایی فسفر همراه با تلقیح باکتری‌های حل‌کننده فسفات بارور ۲ و هم‌چنین بدون تلقیح باکتری نمایان‌گر افزایش توانایی گیاه گلرنگ جهت تحمل به شرایط تنش خشکی باشد. هم‌چنین بیان شده که محتوای کلروفیل در تمام تیمارهای تلقیح‌شده با سویه‌های باکتری‌های حل‌کننده فسفات<sup>۱</sup> (PGPR) در شرایط تنش شوری، به‌طور معنی‌داری افزایش داشته‌است (Han and Lee, 2005).

در این آزمایش، در سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار در تیمار بدون استفاده از کود زیستی فسفر بارور ۲ تحت شرایط تنش کم‌آبی در مرحله زایشی، بیش‌ترین نسبت کلروفیل a/b مشاهده شد. اما در تیمار کود زیستی فسفر بارور ۲، با کاهش ۵۰ کیلوگرم کود فسفر بیش‌ترین تأثیر را در افزایش نسبت کلروفیل a/b داشت. هرچند بین سطوح مختلف فسفر در تیمار کود زیستی فسفر بارور ۲ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). تنش خشکی در نسبت کلروفیل a به b و کاروتنوئیدها تغییراتی ایجاد می‌کند (Farooq *et al.*, 2009).

نتایج حاصل از آزمایش نشان‌داد در سطح تنش رویشی، در تیمار عدم کاربرد کود زیستی، بین تیمارهای کودی فسفر از نظر میزان کلروفیل a اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار همراه با کود زیستی سبب افزایش مقدار کلروفیل a شد. هم‌چنین مشاهدات نشان‌داد در هر دو سطح کود زیستی با افزایش کود فسفر، در شرایط تنش زایشی، میزان کلروفیل a در تیمار عدم به‌کارگیری کود زیستی ۸۴ درصد و در تیمار به‌کارگیری کود زیستی ۱۰۴/۸ در مقایسه با شاهد (عدم مصرف کود فسفر) افزایش داشت و کم‌ترین مقادیر کلروفیل a در سطح تنش زایشی، در سطح کود زیستی با عدم مصرف کود فسفر حاصل شد (جدول ۲). میزان کلروفیل در گیاهان زنده یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است (Jiang and Huang, 2001). هم‌چنین بیان شده که دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک مقاومت به تنش است (Pessarkli, 1999). به‌نظر می‌رسد که کاهش میزان کلروفیل a در اثر تنش خشکی به‌علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن باشد، که این رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون کلروفیل (Wise and Naylor, 1989) و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می‌گردد (Schutz and Fangmeir, 2001). بنابراین مصرف کود شیمیایی فسفر در شرایط تنش خشکی همراه با تلقیح باکتری‌های حل‌کننده فسفات (بارور ۲) و بدون آن موجب افزایش میزان کلروفیل a گردیده‌است. بنابراین حفظ غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش به‌ثبات فتوسنتزی در این شرایط کمک می‌کند.

نتایج آزمایش نشان‌داد که در تیمار تنش در مرحله رویشی، بیش‌ترین غلظت کلروفیل b با ۲/۹۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ، در تیمار عدم تلقیح با کود زیستی فسفات بارور ۲ از تیمار ۵۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار عدم مصرف کود فسفر نداشت و بیش‌ترین این صفت در تیمار کاربرد کود زیستی با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار با ۴/۲۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ حاصل شد که با تیمار شاهد، در یک‌گروه آماری قرار گرفتند و با افزایش میزان کود مصرفی فسفر از ۵۰ به ۱۰۰ کیلوگرم مقدار کلروفیل b حدود ۲۲۸ درصد افزایش یافت و در شرایط تنش زایشی و تیمار عدم به‌کارگیری کود زیستی فسفات، میزان کلروفیل b با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر نسبت به تیمار شاهد، ۳۳/۹ درصد افزایش نشان‌داد. نتایج آزمایش هم‌چنین نشان‌داد که تحت شرایط تنش زایشی، در تیمار تلقیح‌شده با کود زیستی همراه با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف کود فسفر) کلروفیل b را به‌میزان ۱۱۵/۴ درصد افزایش داد (جدول ۲). کم‌بود آب سبب آسیب به‌رنگدانه و پلاستیدها می‌گردد، کاهش محتوای کلروفیل تحت تنش گزارش شده‌است (Castrillo and Turujillo, 1994). به‌نظر می‌رسد که این کاهش در کلروفیل b

جدول ۱ - تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کود شیمیایی و زیستی فسفر بر رنگدانه‌های فتوسنتزی، کارایی فتوسنتزم II و قندهای محلول برگ گلرنگ، تحت شرایط کمبود آب  
 Table 1- Analysis of variance for effect of different phosphorus fertilizers on photosynthetic pigment, fv/fm and soluble sugars of safflower under water deficit condition  
 میانگین مربعات مربعات

| S.O.V            | منابع تغییر        | درجه آزادی<br>d.f | کلروفیل a<br>Chlorophyll a | کلروفیل b<br>Chlorophyll b | کلروفیل کل<br>Total Chlorophyll | کلروفیل a به b<br>Chlorophyll a/b | کاروتنوئید<br>Carotenoids | آنتوسیانین<br>Anthocyanin | کارایی فتوسنتزم II<br>fv/fm |
|------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Replication (R)  | بلوک (R)           | 2                 | 0.179                      | 0.146                      | 0.028                           | 0.003                             | 0.0069                    | 0.058                     | 0.11                        |
| Water Stress (A) | تنش (A)            | 2                 | 0.628*                     | 2.348**                    | 5.156**                         | 0.036*                            | 1.0096**                  | 1.78**                    | 0.83*                       |
| Error a          | خطای a             | 4                 | 0.059                      | 0.067                      | 0.057                           | 0.002                             | 1.0027                    | 0.020                     | 0.076                       |
| Phosphorus (B)   | فسفر شیمیایی (B)   | 2                 | 1.365**                    | 0.377*                     | 3.204**                         | 0.086**                           | 0.452**                   | 0.55**                    | 1.59**                      |
| Barvar-2 (C)     | بارور (C)          | 1                 | 0.542**                    | 0.596*                     | 3.109**                         | 0.056**                           | 0.0700**                  | 0.15**                    | 1.61**                      |
| A*B              | تنش × فسفر         | 4                 | 4.640**                    | 3.534**                    | 17.326**                        | 0.123**                           | 1.269**                   | 0.25**                    | 1.88**                      |
| A*C              | تنش × بارور        | 2                 | 0.991**                    | 0.680**                    | 4.188**                         | 0.010 <sup>ns</sup>               | 0.289**                   | 0.25**                    | 2.28**                      |
| B*C              | فسفر × بارور       | 2                 | 3.471**                    | 5.760**                    | 18.763**                        | 0.094**                           | 0.980**                   | 0.15**                    | 0.68**                      |
| A*B*C            | تنش × فسفر × بارور | 4                 | 2.731**                    | 2.362**                    | 12.063**                        | 0.029**                           | 0.603**                   | 0.39**                    | 3.38**                      |
| Error bc         | خطای bc            | 30                | 0.069                      | 0.081                      | 0.133                           | 0.005                             | 0.0061                    | 0.011                     | 0.062                       |
| C.V (%)          | ضریب تغییرات (%)   |                   | 11.4                       | 10.3                       | 7.1                             | 9.2                               | 9.2                       | 3.9                       | 4.6                         |

ns, \* and \*\*: Non-Significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively

ns, \* and \*\*: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

جدول ۱- ادامه  
Table 1- Continued  
میانگین مربعات

| S.O.V            | منابع تغییر          | درجه آزادی<br>d.f | میانگین مربعات                                |   |   |   | گلوکز<br>Glucose | زایلوز<br>Xlose | مانوز<br>Mannose |
|------------------|----------------------|-------------------|---|---|---|---|------------------|-----------------|------------------|
|                  |                      |                   | فلاونوئید ۲۷۰<br>نانومتر<br>Flavonoids 270 nm | فلاونوئید ۳۰۰<br>نانومتر<br>Flavonoids 300 nm | فلاونوئید ۳۳۰<br>نانومتر<br>Flavonoids 330 nm | فلاونوئید ۳۰۰<br>نانومتر<br>Flavonoids 300 nm |                  |                 |                  |
| Replication (R)  | بلوک (R)             | 2                 | 83.661  | 3.062   | 36.867  | 0.138   | 0.126            | 0.107           |                  |
| Water Stress (A) | تنش (A)              | 2                 | 2522.951**                                    | 1390.394**                                    | 2386.750**                                    | 691.695**                                     | 232.782**        | 311.045**       |                  |
| Error a          | خطای a               | 4                 | 11.982  | 3.867   | 3.166   | 1.005   | 0.130            | 0.116           |                  |
| Phosphorus (B)   | فسفر شیمیایی (B)     | 2                 | 19451.667**                                   | 8029.94**                                     | 11696.35**                                    | 92.013**                                      | 2.085**          | 17.315**        |                  |
| Barvar-2 (C)     | بارور ۲ (C)          | 1                 | 636.608**                                     | 2417.64**                                     | 339.553**                                     | 5021.052**                                    | 1624.854**       | 2446.503**      |                  |
| A*B              | تنش × فسفر           | 4                 | 13796.595**                                   | 11156.95**                                    | 9665.59**                                     | 306.644**                                     | 126.787**        | 169.664**       |                  |
| A*C              | تنش × بارور ۲        | 2                 | 15814.570**                                   | 3204.31**                                     | 9108.65**                                     | 406.600**                                     | 159.472**        | 173.619**       |                  |
| B*C              | فسفر × بارور ۲       | 2                 | 25368.214**                                   | 4627.73**                                     | 15077.068**                                   | 544.890**                                     | 277.826**        | 436.478**       |                  |
| A*B*C            | تنش × فسفر × بارور ۲ | 4                 | 8997.168**                                    | 13291.28**                                    | 4567.26**                                     | 1349.720**                                    | 525.787**        | 768.164**       |                  |
| Error bc         | خطای bc              | 30                | 32.507  | 5.271   | 6.660   | 1.873   | 0.119            | 0.138           |                  |
| C.V(%)           | ضریب تغییرات (%)     |                   | 4.0   | 2.4   | 2.3   | 1.1   | 0.4              | 0.4             |                  |

ns, \*, \* and \*\* : Non-Significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively  
ns, \* and \*\* : Non-Significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل بررسی اثر کود زیستی فسفر بارور ۲ بر رنگدانه‌های فتوسنتزی و قندهای محلول گلرنگ، تحت شرایط کمبود آب

Table 2- Mean comparison of effect of different phosphorus fertilizers on photosynthetic pigment, fv/fm and soluble sugars of safflower under water deficit condition

| آبیاری   | کود زیستی<br>بارور ۲                | کود فسفر                             | محتوای<br>کلروفیل<br>a | محتوای<br>کلروفیل<br>b | کلروفیل کل<br>Total<br>Chlorophyll               | کاروتنوئید<br>Carotenoids | نسبت<br>کلروفیل a به b<br>Chlorophyll<br>a/b | آنتوسیانین<br>Anthocyanin  |
|--|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------|--|---------------------------|--|----------------------------|
| Irrigation   | Barvar-2                            | Phosphorus<br>(Kg ha <sup>-1</sup> ) | Chlorophyll<br>a       | Chlorophyll<br>b       | Total<br>Chlorophyll<br>(mg g FW <sup>-1</sup> ) | Carotenoids               | Chlorophyll<br>a/b                           | Anthocyanin<br>(μmol/g FW) |
| بدون قطع آبیاری<br>Without<br>irrigation<br>withholding                | عدم تلقیح<br>without<br>inoculation | 0                                    | 2.04b                  | 2.12b                  | 4.22b  | 1.11b                     | 0.98a  | 0.283a                     |
|  |                                     | 50                                   | 3.02a                  | 3.38a                  | 6.55a  | 0.70c                     | 0.95a  | 0.246b                     |
|  |                                     | 100                                  | 1.55b                  | 1.83b                  | 3.40c  | 1.87a                     | 0.84a  | 0.246b                     |
|  | تلقیح<br>inoculation                | 0                                    | 3.69a                  | 3.28a                  | 7.15a  | 0.82b                     | 1.10a  | 0.290b                     |
|  |                                     | 50                                   | 1.01b                  | 1.41b                  | 2.45c  | 1.21a                     | 0.71b  | 0.330a                     |
|  |                                     | 100                                  | 1.25b                  | 2.02b                  | 3.21b  | 0.99ab                    | 0.64b  | 0.270b                     |
| تنش در مرحله<br>رویشی<br>Water stress<br>in the<br>vegetative<br>stage | عدم تلقیح<br>without<br>inoculation | 0                                    | 1.99a                  | 2.80a                  | 4.72a  | 0.70a                     | 0.70b  | 0.240c                     |
|  |                                     | 50                                   | 2.06a                  | 2.98a                  | 5.10a  | 0.77a                     | 0.68b  | 0.340a                     |
|  |                                     | 100                                  | 2.26a                  | 2.12b                  | 4.37a  | 0.23b                     | 1.02a  | 0.320b                     |
|  | تلقیح<br>inoculation                | 0                                    | 3.38a                  | 4.07a                  | 7.63b  | 0.91b                     | 0.81b  | 0.290b                     |
|  |                                     | 50                                   | 1.01b                  | 1.28b                  | 2.20c  | 1.30a                     | 0.66c  | 0.310ab                    |
|  |                                     | 100                                  | 4.04a                  | 4.21a                  | 8.78a  | 0.21c                     | 0.90a  | 0.313a                     |
| تنش در مرحله<br>زایشی<br>Water stress<br>in the<br>flowering<br>stage  | عدم تلقیح<br>without<br>inoculation | 0                                    | 1.69c                  | 2.36b                  | 4.05c  | 0.66a                     | 0.77b  | 0.230c                     |
|  |                                     | 50                                   | 2.07b                  | 3.08ab                 | 5.16b  | 0.49b                     | 0.66b  | 0.240b                     |
|  |                                     | 100                                  | 3.11a                  | 3.16a                  | 6.28a  | 0.74a                     | 1.06a  | 0.260a                     |
|  | تلقیح<br>inoculation                | 0                                    | 1.45b                  | 1.88c                  | 3.25b  | 1.94a                     | 0.75a  | 0.190c                     |
|  |                                     | 50                                   | 2.80a                  | 3.52b                  | 6.53a  | 0.279b                    | 0.76a  | 0.290a                     |
|  |                                     | 100                                  | 2.97a                  | 4.05a                  | 6.97a  | 0.274b                    | 0.73a  | 0.230b                     |

در هر ستون و هر سطح تیمار آبیاری، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون برش‌دهی اثر متقابل در سطح احتمال پنج‌درصد اختلاف معنی‌داری ندارند  
Means in each column and irrigation treatment, followed by similar letter are not significantly different at 5% probability levels, using LSMEANS Test

موجب پایداری فتوسنتز در طی دوره تنش گردد. نتایج آزمایش نشان داد در شرایط تنش رویشی، کاربرد ۵۰ کیلوگرم کود فسفرتریپل در هکتار در هر دو سطح کود زیستی، بیش‌ترین تأثیر را بر روی مقدار کاروتنوئیدهای محلول برگ داشته‌است. مقایسات میانگین اثرات سه‌گانه نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کاروتنوئیدهای محلول برگ در تیمار تنش در مرحله زایشی و بدون استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات (بارور ۲)، به ترتیب از کاربرد ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار با ۰/۷۴ و ۰/۴۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ مشاهده شد.

به طوری که در آزمایشی تحت رژیم‌های رطوبتی، محتوای کلروفیل b در دو رقم برنج (اوکرا) افزایش داشت در صورتی که میزان کلروفیل a بدون تغییر ماند. اما نسبت کلروفیل a به b در هر دو رقم کاهش معنی‌داری نشان داد (Ashraf *et al.*, 1994). هم‌چنین گزارش شده که تنش آبی کوتاه‌مدت که باعث پژمردگی معمولی و توقف کامل فتوسنتز خالص در گندم می‌شود و اثری روی کلروفیل برگ نداشته ولی نسبت کلروفیل a به b را افزایش می‌دهد (Ahmdai and Baker, 2000). نتایج این آزمایش مشخص کرد که مصرف کود فسفر همراه با کود زیستی بارور ۲ تحت شرایط تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد گیاه گلرنگ می‌تواند با افزایش نسبت کلروفیل a به b

جدول ۲- ادامه

Table 2- Continued

| آبیاری  | کود زیستی<br>بارور ۲                | کود فسفر               | فلاونونوئید<br>۲۷۰   | فلاونونوئید<br>۳۰۰   | فلاونونوئید<br>۳۳۰   | fv/fm       | گلوکز   | زایلوز  | مانوز   |
|---|-------------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|---------|---------|---------|
| Irrigation  | Barvar-2                            | Phosphorus             | Flavonoids<br>270 nm | Flavonoids<br>300 nm | Flavonoids<br>330 nm |             | Glucose | Xlose   | Mannose |
|   |                                     | (kg ha <sup>-1</sup> ) | (Abs/mg F.W.)        |                      |                      | (µg/g F.W.) |         |         |         |
| بدون قطع آبیاری<br>Without irrigation<br>withholding          | عدم تلقیح<br>without<br>inoculation | 0                      | 130.47c              | 91.60c               | 94.23c               | 0.42b       | 103.84b | 62.07b  | 72.93b  |
|   |                                     | 50                     | 196.30b              | 141.02b              | 154.72b              | 0.61a       | 119.63a | 69.63a  | 79.80a  |
|   |                                     | 100                    | 227.80a              | 168.60a              | 185.53a              | 0.64a       | 101.84c | 61.80b  | 74.06b  |
|   | تلقیح<br>inoculation                | 0                      | 112.62b              | 83.55c               | 89.43b               | 0.52b       | 114.99b | 68.13c  | 82.75c  |
|   |                                     | 50                     | 128.66a              | 93.22a               | 100.52a              | 0.60a       | 127.46a | 75.73b  | 88.89b  |
|   |                                     | 100                    | 115.22ab             | 86.22b               | 89.85b               | 0.52b       | 134.41a | 79.86a  | 99.38a  |
| تنش در مرحله رویشی<br>Water stress in the<br>vegetative stage | عدم تلقیح<br>without<br>inoculation | 0                      | 138.42b              | 99.22c               | 106.01b              | 0.59a       | 95.40c  | 56.34c  | 67.07c  |
|   |                                     | 50                     | 167.58a              | 113.52a              | 127.07a              | 0.62a       | 118.14b | 69.68b  | 83.43b  |
|   |                                     | 100                    | 160.11c              | 110.78b              | 122.15c              | 0.53b       | 123.44a | 73.59a  | 88.61a  |
|   | تلقیح<br>inoculation                | 0                      | 217.91a              | 156.95a              | 168.39a              | 0.54a       | 173.68a | 105.08a | 124.09a |
|   |                                     | 50                     | 131.64b              | 98.56b               | 105.91b              | 0.46b       | 131.76b | 74.00b  | 85.97b  |
|   |                                     | 100                    | 114.06c              | 89.28b               | 73.50c               | 0.41b       | 120.54c | 72.50c  | 85.85b  |
| تنش در مرحله زایشی<br>Water stress in the<br>flowering stage  | عدم تلقیح<br>without<br>inoculation | 0                      | 123.47b              | 89.35b               | 92.27b               | 0.44c       | 106.01c | 65.57b  | 77.69b  |
|   |                                     | 50                     | 216.77a              | 161.02a              | 174.66a              | 0.55a       | 108.78b | 70.01a  | 83.57a  |
|   |                                     | 100                    | 96.28c               | 70.19c               | 75.05c               | 0.51b       | 116.41a | 61.72c  | 73.02c  |
|   | تلقیح<br>inoculation                | 0                      | 267.38a              | 190.69a              | 204.23a              | 0.38c       | 111.82c | 67.01c  | 79.63c  |
|   |                                     | 50                     | 78.16b               | 61.56b               | 74.86b               | 0.64a       | 130.73a | 68.71b  | 81.75b  |
|   |                                     | 100                    | 69.63c               | 89.53c               | 57.70c               | 0.55b       | 121.67b | 78.13a  | 93.03a  |

در هر ستون و هر سطح تیمار آبیاری، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون برش‌دهی اثر متقابل در سطح احتمال پنج‌درصد اختلاف معنی‌داری ندارند  
Means in each column and irrigation treatment, followed by similar letter are not significantly different at 5% probability levels, using LSMEANS Test

آنتوسیانین با مصرف توأم کود شیمیایی (به مقدار ۵۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار) داشت و کم‌ترین مقدار میزان آنتوسیانین در اثر عدم مصرف کود فسفر مشاهده شد، اما در اثر عدم به‌کارگیری کود زیستی فسفات بارور ۲، تحت شرایط تنش زایشی، بیش‌ترین مقدار این صفت از به‌کارگیری ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار مشاهده شد، بنابراین تحت شرایط کم‌آبی به‌خصوص در مرحله زایشی، کاربرد کود زیستی فسفات بارور ۲ به‌همراه حداقل مصرف کود فسفر موجب افزایش میزان آنتوسیانین شده است. تمامی تیمارهای کودی فسفر در سطح کود زیستی فسفات بارور ۲، موجب افزایش میزان آنتوسیانین در شرایط تنش رویشی در مقایسه با شاهد (عدم مصرف کود فسفر) شدند. در سطح عدم به‌کارگیری کود زیستی فسفات بارور ۲، نیز بیش‌ترین مقدار آنتوسیانین با ۳۴/۰ میکرومول در گرم وزن تر برگ از تیمار مصرف ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌دست آمد و کم‌ترین مقدار هم با ۲۴/۰ میکرومول در گرم وزن تر برگ از تیمار عدم به‌کارگیری کود فسفر بود (جدول ۲). هم‌چنین گزارش شده که تنش خشکی به‌طور معنی‌داری محتوای آنتوسیانین‌ها را در برگ‌های گیاهچه‌های لوبیا

ولی مصرف کود فسفرتریپل در تیمار کاربرد کود زیستی فسفات، موجب کاهش میزان کاروتنوئیدهای محلول برگ شد به‌طوری‌که با افزایش مصرف کود شیمیایی فسفر از میزان کاروتنوئیدهای محلول برگ به‌شدت کاسته شد. بنابراین استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات (بارور ۲)، به‌تنهایی و بدون استفاده از کودهای شیمیایی فسفره توانست میزان کاروتنوئیدهای محلول برگ را تحت شرایط تنش کم‌بود آب در مرحله زایشی افزایش دهد. بدین ترتیب بر اساس این نتایج می‌توان بیان نمود که استفاده از کود زیستی فسفر بارور ۲ در شرایط کم‌بود آب در مرحله زایشی می‌تواند در کاهش مصرف کودهای شیمیایی نیز تأثیرگذار باشد. از بررسی نتایج این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از کود زیستی تحت شرایط تنش خشکی، در مرحله زایشی گل‌رنگ می‌تواند با افزایش غلظت رنگدانه‌هایی نظیر کاروتنوئیدهای محلول سبب کاهش خسارت اکسیداتیو شود.  
نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد کود زیستی فسفات بارور ۲، تحت شرایط تنش در مرحله زایشی، تأثیر مثبتی بر روی میزان



چشم‌بلبلی افزایش داده‌است (Balakumar *et al.*, 1993). آنتوسیانین‌ها پتانسیل از بین بردن انواع اکسیژن‌فعال را دارند (Pietrini *et al.*, 2002). به نظر می‌رسد که کاربرد کود زیستی به همراه کود شیمیایی فسفر توانسته با افزایش غلظت آنتوسیانین، سطح تحمل گیاه به خشکی را افزایش داده‌باشد.

بررسی نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل سه‌گانه نشان داد، در هنگام اعمال تنش خشکی در مراحل رشد رویشی و زایشی گل‌رنگ، کاربرد کود شیمیایی فسفر (به مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار عدم به‌کارگیری کود زیستی، در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف کود فسفر) تأثیر مثبت بر روی مقادیر رنگدانه‌های فلاونوئیدهای اندازه‌گیری‌شده در سه طول موج (۲۷۰، ۳۰۰ و ۳۳۰ نانومتر) داشت، اما فلاونوئیدهای اندازه‌گیری‌شده در سه طول موج (۲۷۰، ۳۰۰ و ۳۳۰ نانومتر)، در اثر به‌کارگیری کود زیستی، بدون مصرف کود شیمیایی فسفر افزایش معنی‌داری داشت و با افزایش کود شیمیایی فسفر از میزان آن‌ها به‌طور چشم‌گیری کاسته‌شد (جدول ۲). بدین ترتیب می‌توان بیان نمود که استفاده از کود زیستی، به‌تنهایی تحت شرایط تنش در مراحل رشد رویشی و زایشی گل‌رنگ، می‌تواند سبب افزایش فلاونوئیدها گردد.

مشاهده‌شده که مقادیر فلاونوئیدها در خودفرنگی (*Pissum sativum*) در شرایط تنش شوری افزایش شدید ۴۵ درصدی داشته است (Noguees *et al.*, 1998). همچنین گزارش شده‌است که فلاونوئیدها به‌عنوان عامل آنتی‌اکسیدانت در پاک‌سازی انواع اکسیژن‌فعال عمل می‌کنند (Rice-Evans *et al.*, 2006). در این تحقیق افزایش این رنگدانه‌ها در اثر تلقیح کود زیستی و کود سوپرفسفات‌تریپل در شرایط تنش می‌تواند نقش مهمی در کاهش خسارت تنش اکسیداتیو داشته‌باشد.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد در شرایط تنش در مرحله رویشی، بیش‌ترین مقدار حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در زمان تنش خشکی، در تیمار بدون تلقیح با کود زیستی مربوط به مصرف ۵۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار می‌باشد و با افزایش فسفر مصرفی میزان حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، کاهش یافت. در تیمار تلقیح‌شده با کود زیستی بیش‌ترین مقدار عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در زمان تنش خشکی مربوط به عدم به‌کارگیری کود فسفر بود. بنابراین کاربرد کود زیستی به‌تنهایی مقادیر حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، در زمان تنش خشکی را افزایش داد. اما مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه نشان داد که در هر دو سطح کود زیستی، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در زمان اعمال تنش خشکی در مرحله زایشی، از تیمارهای ۵۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار و عدم مصرف کود شیمیایی فسفر به‌دست آمد (جدول ۲). گزارش شده که کاهش نسبت fv/fm (عملکرد فلورسانس : نسبت فلورسانس متغییر به فلورسانس حداکثر)

در طول خشکی در تمام گونه‌ها به‌عنوان یک تنظیم فیزیولوژیکی انتقال الکترون توسط فرآیندهای ساطع‌کننده انرژی، گیرنده فتوسیستم II می‌تواند اتفاق افتد (Nogues and Baker, 2000). سوء عمل فتوسیستم II که باعث کاهش کارایی انتقال الکترون برای واکنش فتوستتزی می‌شود می‌تواند نتیجه آن، تجمع مقدار زیاد انواع اکسیژن‌فعال باشد و از آنجایی که که کلروپلاست‌ها یکی از اصلی‌ترین مکان‌های تولیدکننده انواع اکسیژن‌فعال در سلول‌های گیاهی است (Garczarska *et al.*, 2004)، لذا تجمع رادیکال‌های آزاد موجب کاهش بیش از حد مراکز واکنش در فتوسیستم II و محدود کردن فتوستتزی در گیاهان تحت تنش خشکی می‌گردد (Demmig-Adams and Adams, 1992). از این رو به نظر می‌رسد کاربرد کود زیستی فسفر بارور ۲ و کود فسفر در شرایط تنش خشکی موجب بهبود عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در گل‌رنگ شده‌باشد.

نتایج این آزمایش نشان داد که روند تغییرات قندهای محلول (گلوکز، زایلوز و مانوز) در سطح تنش زایشی در سطوح کود زیستی مشابه بود. به‌نحوی که کاربرد کود زیستی به همراه ۵۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار بیش‌ترین تأثیر را در افزایش قندهای محلول در شرایط تنش زایشی داشت. به‌طوری که مقادیر قندهای محلول (گلوکز، زایلوز و مانوز) نسبت به شاهد به‌ترتیب در حدود ۱۶/۹، ۱۶/۶ و ۱۶/۸ درصد افزایش داشت. اما بالاترین مقادیر قندهای محلول در این شرایط در تیمار عدم تلقیح کود زیستی مربوط به مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار بود. نتایج نشان داد در هنگام اعمال تنش در مرحله رویشی، بالاترین مقادیر قندهای محلول (گلوکز، زایلوز و مانوز) در تیمار تلقیح‌شده با کود زیستی بدون استفاده از کود شیمیایی فسفر بود. بنابراین تلقیح کود زیستی تحت چنین شرایطی بدون مصرف کود فسفر موجب افزایش قندهای محلول شد. درحالی که در تیمار بدون تلقیح کود زیستی، بالاترین سطح کودهای شیمیایی فسفره اثر معنی‌داری بر میزان قندهای محلول داشت. تجمع قندها در پاسخ به تنش خشکی توسط سایر محققین نیز گزارش شده‌است (De Carvalho, 2005). هم‌چنین بیان‌شده که در شرایط خشکی، محتوای قندهای محلول کل در گیاهچه‌های ذرت که با باکتری‌های حل‌کننده فسفات تلقیح شده بودند، نسبت به گیاهچه‌های تلقیح‌نشده با باکتری افزایش داشت (Sandhya *et al.*, 2010). این امر نشان می‌دهد که سودوموناس در بیوستتزی آن‌ها به‌وسیله تخریب محتوای نشاسته بیش‌تر برای تنظیم اسمزی به‌منظور کاهش اثر تنش کمک می‌کند.

### نتیجه‌گیری

بنابراین باتوجه به نتایج این آزمایش به نظر می‌رسد که مصرف کودهای شیمیایی فسفره و هم‌چنین استفاده از کودهای زیستی

مانند کلروفیل‌های a و b می‌تواند سبب ثبات فتوسنتز در گیاه تحت شرایط کم‌آبی گردد، هم‌چنین افزایش رنگدانه‌هایی از قبیل آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها و کاروتنوئیدهای محلول در برگ و قندهای محلول نیز می‌تواند مقاومت گیاه را به خشکی افزایش دهند. از این رو به‌نظر می‌رسد که کاربرد کود زیستی به‌تنهایی و همراه با کود شیمیایی فسفر نقش مؤثری در افزایش مقاومت گلرنگ در شرایط تنش خشکی دارد.

تحت شرایط تنش به‌ویژه در مرحله زایشی گلرنگ از طریق تجمع قندهای محلول، موجب کاهش خسارت ناشی از تنش شده‌باشد. در این آزمایش مشخص گردید که کاربرد کود زیستی فسفر بارور ۲ و کود شیمیایی سوپرفسفات‌تریپل در شرایط تنش خشکی در مراحل مختلف رشد گلرنگ توانست بر میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل، نسبت کلروفیل a به b، کاروتنوئیدها، fv/fm، آنتوسیانین، فلاونوئیدها، قندهای محلول برگ تأثیر معنی‌داری داشته باشد. حفظ رنگیزه‌هایی

## References

- 1- Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Lakshmanan, G. M., Gomathinayagam, M., and Panneerselvam, R. 2007. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 61(2): 298-303.
- 2- Ahmadi, M. R. and Omid, A. H. 1996. Evaluation of seed yield and effect of harvesting time on oil content of spring and winter safflower. *Iranian Journal of Agriculture Science* 27(4): 29-36. (In Persian with English Abstract)
- 3- Ahmdai, A., and Baker, D. A. 2000. Stomata and nonstomatal of photosynthesis under water stress condition in wheat plant. *Iranian Journal of Agriculture Science* 31(4): 813-825. (In Persian with English Abstract)
- 4- Alizadeh, A. 2011. Soil, Water and Plant Relationship. Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
- 5- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements). Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, United Nations, Rome, Italy.
- 6- Ashraf, M. Y., Azmi, A. R., Khan, A., H., and Ala, S. A. 1994. Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under soil water deficits. *Acta Physiologiae Plantarum* 16: 185-191.
- 7- Balakumar, T., Vincent, V. H. B. and Paliwal, K. 1993. On the interaction of UV-B radiation (280-315 nm) with water stress in crop plants. *Physiologia Plantarum* 87: 217-222.
- 8- Basu, S., Roychoudhury, A., Saha, P. P., and Sengupta, D. N. 2010. Differential antioxidative responses of indica rice cultivars to drought stress. *Plant Growth Regulation* 60:51-59.
- 9- Behra, R. K., Mishra, P. C., and Choudhury, N. K. 2002. High irradiance and water stress induce alterations in pigment composition and chloroplast activities of primary wheat leaves. *Journal of Plant Physiology* 159: 967-973.
- 10- Bishop, D. L., and Bughee, B. G. 1998. Photosynthetic capacity and dry mass partitioning in dwarf and semi – dwarf wheats. *Journal of Plant Physiology* 153: 558-565.
- 11- Candan, N., and Tarhan, L. 2003. Change in chlorophyll-carotenoid contents, antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation levels in Zn-stressed *Mentha pulegium*. *Turkish Journal of Chemistry* 27: 21-30.
- 12- Castrillo, M., and Turujillo, I. 1994. Ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase activity and chlorophyll and protein contents in two cultivars of French bean plants under water stress and rewatering. *Photosynthetica* 30: 175-181.
- 13- Chaves, M. M., Maroco, J. P., and Pereira, J. S. 2003. Understanding plant responses to drought-from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology* 30: 239-264.
- 14- Darzi, M. 2007. Evaluation the effects of bio-fertilizers on quantitative and qualitative performance of Fennel for receiving to sustainable agriculture system. Ph.D. thesis. University of Tarbiat Modares. 115 pp. (In Persian)
- 15- De Carvalho, I. M. M. S. 2005. Effects of water stress on the proximate composition and mineral contents of seeds of two Lupins (*Lupinus Albus* et *Lupinus Mutabilis*). *Journal of Food Quality* 28(4):325-332.
- 16- Demmig-Adams, B., and Adams, W. W. 1992. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 43:599-626.
- 17- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28: 350-356.
- 18- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S. M. A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 185-212.
- 19- Garnczarska, M., Bednarski, W., and Morkunas, I. 2004. Re-aeration-induced oxidative stress and antioxidative defenses in hypoxically pretreated lupine roots. *Journal of Plant Physiology* 161: 415- 422.
- 20- Han, H. S., and Lee, K. D. 2005. Plant growth promoting rhizobacteria effect on antioxidant status, photosynthesis, mineral uptake and growth of lettuce under soil salinity. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 1(3): 210-215.
- 21- Jaleel, C. A., Gopi, R., and Panneerselvam, R. 2008. Growth and photosynthetic pigments responses of two varieties of *Catharanthus roseus* to triadimefon treatment. *Comptes rendus Biologies* 331: 272-277.

- 22- Jiang, Y., and Huang, B. 2001. Drought and heat injury to two cool-season turf grasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science* 41: 436-442.
- 23- Kokalis-Buerelle, N., Kloepper, J. W., and Reddy, M. S. 2006. Plant growth- promoting rhizobacteria as transplant amendments and their affects on indigenous rhizosphere microorganisms. *Applied Soil Ecology* 31: 91-100.
- 24- Krizek, D. T., Kramer, G. F., Upadhyaya, A., and Mirecki, R. M. 1993. UV-B Response of cucumber seedling grown under metal halide and high pressure sodium/deluxe lamps. *Plant Physiology* 88: 350-358.
- 25- Kulshreshtha, S., Mishra, D. P., and Gupta, R. K. 1987. Changes in contents of chlorophyll, proteins and lipids in whole chloroplast and chloroplast membrane fractions at different leaf water potentials in drought resistant and sensitive genotype of wheat. *Photosynthetica* 21: 65-70.
- 26- Leng, P., Itamura, H., Yamamura, H., and Deng, X. M. 2000. Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation. *Scientia Horticulturae* 83: 43-50.
- 27- Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 148: 350-382.
- 28- Malbubi, A. 2007. Characteristic of Barvar-2 phosphorus biofertilizer. Technical publication. Zist Fannavar Sabz Publications. Tehran, Iran. p.104.
- 29- Manirannan, P., Abdul Jaleel, C., Sankar, B., Kishore kumar, A., Soma sundaram, R., Lakshmanan, G. M., and Panneerselvam, R. 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus L.* as induced by drought stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 59(2): 141-149.
- 30- Marius, S., Octavita, A., Eugen, U., and Vlad, A. 2005. Study of a microbial inoculation on several biochemical indices in sunflower (*Helianthus annuus L.*). *Pakistanian Journal of Biological Science* 6(6): 539-543.
- 31- Marulanda, A., Porcel, R., Barea, J. M., and Azcón, R. 2007. Drought tolerance and antioxidant activities in lavender plants colonized by native drought-tolerant or drought-sensitive *Glomus* species. *Microbial Ecology* 54:543-552.
- 32- Mehrvarz, S., and Chaichi, M. R. 2008. Effect of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on forage and grain quality of barely (*Hordeum vulgare L.*). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences* 3(6): 855-860.
- 33- Miladi Lari, A., and 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 Persian with English abstract)
- 34- Mohsenzadeh, S., Malboobi, M. A., Razavi, K., and Farrahi-Aschtiani, S. 2006. Physiological and molecular responses of *Aeluropus lagopoides* (Poaceae) to water deficit. *Environmental and Experimental Botany* 56:314-322.
- 35- Nasibi, F., and 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* 29 (1):39-48.
- 36- Navari-Izoo, F., Quartacci, M. F., and 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.
- 37- Nogueés, S., Allen, D. J., Morison, J. I. L., and Baker, N. R. 1998. Ultraviolet-B radiation effects on water relations, leaf development, and photosynthesis in droughted pea plants. *Plant Physiology* 117:173-181.
- 38- Noguees, S., and Baker, N. R. 2000. Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation. *Journal of Experimental Botany* 348: 1309-1317.
- 39- Paine, T. D., Hanlon, C. C., Pittenger, D. R., Ferrin, D. M., and Malinoski, M. K. 1992. Consequences of water and nitrogen management on growth and aesthetic quality of drought-tolerant woody landscape plants. *Journal of Environmental Horticulture* 10:94-99.
- 40- Papageorgiou, G. C., and Govindjee (Eds.). 2004. Chlorophyll *a* Fluorescence: A Signature of Photosynthesis. *Advances in Photosynthesis and Respiration*. 19. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- 41- Parvanova, D., Ivanov, S., Konstantinova, T., Karanov, E., Atanassov, A., Tsvetkov, T., Alexieva, V., and Djilianov, D. 2004. Transgenic tobacco plants accumulating osmolytes show reduced oxidative damage under freezing stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 42: 57-63.
- 42- Pessarkli, M. 1999. Hand book of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Inc. 697 pages.
- 43- Pietrini, F., Iannelli, M. A., and Massacci, A. 2002. Anthocyanin accumulation in the illuminated surface of maize leaves enhances protection from photo-inhibitory risks at low temperature, without further limitation to photosynthesis. *Plant, Cell & Environment* 25:1251-1259.
- 44- Rice-Evans, C. 2001. Flavonoid antioxidants. *Current Medicinal Chemistry* 8:797-807.
- 45- Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., and Paganga, G. 2006. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine* 335: 166-180.
- 46- Sandhya, V., Ali, Sk Z., Grover, M., Reddy, G., and Venkateswarlu, B. 2010. Effect of plant growth promoting *Pseudomonas* spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress.

- Plant Growth Regulation 62:21-30.
- 47- Schutz, M., and Fangmeir, E. 2001. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO<sub>2</sub> and water limitation. Environmental Pollution 114: 187-194.
- 48- Siosemardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., and Ebrahimzadeh, H. 2003. Stomatal and nonstomatal limitations to photosynthesis and their relationship with drought resistance in wheat cultivars. Iranian Journal of Agriculture Science 35(1): 93-106. (in Persian with English abstract)
- 49- Voleti, S. R., Singh, V. P., and Uprety, P. C. 1998. Chlorophyll and proline as affected by moisture stress in young and mature leaf tissues of *Brassica carinata* hybrids and their plants. Journal of Agronomy and Crop Science 180(2): 123-126.
- 50- Wise, R. R., and Naylor, A. W. 1989. Chilling enhanced photo-oxidation, the peroxidative destruction of lipids during chilling injury to photosynthesis and ultra structure. Plant Physiology 83: 278-282.
- 51- Zarghami, R., Zahravi, M., Aslanzadeh, A. and Abbasali, M. 2011. Evaluation of autumn sown genotypes of safflower (*Carthamus tinctorius*) for tolerance to drought stress. Seed and Plant Improvement Journal 27(3): 339-355. (In Persian with English Abstract)

## Study the Effect of Different Phosphorus Fertilizers on Physiological Characteristic of Photosynthetic Pigments and Soluble Sugars of Safflower under Water Deficit Condition

S. Heshmati<sup>1</sup> - M. Amini Dehaghi<sup>2\*</sup> - A. Rezazadeh<sup>3</sup> - K. Fathi Amirkhiz<sup>1</sup>

Received: 15-09-2014

Accepted: 09-08-2015

### Introduction

Drought stress is one of the most important and effective factors in agricultural practices in arid and semi-arid regions of the world. The arid and semi-arid regions comprise more than 70% of the total area of Iran. Reduction in chlorophyll concentrations has been attributed to the increase in chlorophyll degradation in water deficit conditions and impairment in the enzymes activity responsible for the synthesis of photosynthetic pigments. Under drought stress, maintenance of photosynthetic capacities and leaf chlorophyll are physiological parameters which influence drought stress tolerant of crop. Phosphorus is one the most essential elements for plant growth after nitrogen. However, the availability of this nutrient for plants is limited by different chemical reactions especially in arid and semi-arid soils. Plant growth-promoting bacteria (PGPB) are soil and rhizosphere bacteria that can benefit plant growth by different mechanisms. Given the negative environmental impact of chemical fertilizers and their increasing costs, the use of PGPB as natural fertilizers is advantageous for the development of sustainable agriculture. Inoculation of plants with native beneficial microorganisms may increase drought tolerance of plants growing in arid or semi-arid areas.

### Materials and Methods

In order to study the effect of biologic and chemical phosphorous fertilizer on photosynthetic pigments of safflower cultivar (IL111), under water deficit condition, an experiment was conducted in 2012 at the Research Field of the Faculty of Agriculture, Shahed University. The experimental design was split-factorial arrangement in randomized complete block design with three replicates. The main factors were the three levels of irrigation treatment: full irrigation (irrigation up to 50% soil moisture depletion relative to field capacity), water stress in the vegetative and flowering stages (irrigation up to 75% soil moisture depletion relative to field capacity). The sub-factors were the six treatments resulting from three levels of phosphate chemical fertilizer (0, 50, and 100 kg ha<sup>-1</sup> Triple Super Phosphate), each at two levels of Barvar-2 bio-fertilizer (with and without inoculation with Barvar-2). The applied biological fertilizer was in the type of the bacteria which release the phosphorus from soil components and neutralize the soil pH. The commercial name of the biologic fertilizer is Barvar-2. The effective gradients of the biological phosphorus fertilizer is comprised of two bacteria strains of p5 (*Bacillus lentus*) and p13 (*Pseudomonas potida*) with 108 cfu (colony forming units) which have been screened from soil bacteria populations. The bacteria strain p5 (*Bacillus lentus*) dissolves P from soil mineral compounds while p13 (*Pseudomonas potida*) separates P from soil organic compounds by exerting a variety of phosphatase enzymes.

### Results and Discussion

The results showed that the highest amount of chlorophyll a, b and total chlorophyll obtained with application of chemical phosphorus by 100 kg ha<sup>-1</sup> Triple Super Phosphate followed by inoculation with Barvar-2 under water deficit condition at vegetation and flowering stages. At drought stress in flowering stage, use of high level of phosphorus without inoculation with Barvar-2, had highest effect in terms of increasing amount of chlorophyll a/b ratio, but at treatment of inoculation with Barvar-2, the highest amount of chlorophyll a/ b ratio obtained with low level of chemical phosphorus by 50 kg ha<sup>-1</sup> Triple Super Phosphate. The means comparison showed that highest amount of carotenoids, fv/fm, anthocyanin, flavonoids and soluble sugars obtained with application of chemical phosphorus by 50 kg ha<sup>-1</sup> Triple Super Phosphate without Barvar-2 under water stress condition at vegetation and flowering stages. The inoculation with Barvar-2 followed by chemical phosphorus by 50 kg ha<sup>-1</sup> Triple Super Phosphate significantly increased the amount of anthocyanin and soluble sugars of leaf

1- Former MSc Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

3- Assitant Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

(\* - Corresponding Author Email: amini@shahed.ac.ir)

under drought stress at flowering stage, while the amount of carotenoids and flavonoids, increased with Barvar-2 without using of chemical phosphorus.

#### **Conclusions**

Our experiment showed that application of chemical phosphorus fertilizer followed by inoculation with Barvar-2 had huge effect on chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, chlorophyll a/ b, carotenoids, fv/fm, anthocyanin, flavonoids and soluble sugars under water stress condition at vegetation and flowering stages. The highest amount of photosynthetic pigment such as anthocyanin, flavonoids, carotenoids and soluble sugars could increases stress tolerance of safflower under water deficit condition. In general, the results of this experiment showed that application of Barvar-2 followed by chemical phosphorus had effective role in improve of qualitative traits of safflower under drought stress condition.

**Keywords:** Anthocyanin, Barvar-2, Chlorophyll, Drought stress, fv/fm