Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 48, No 1, Spring 2017 (159-169)
DOI: 10.22059/ijfcs.2017.135975.653977

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۴۸، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۶ (ص ۱۶۹-۱۵۹)

تأثیر کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی فسفر بر عملکرد دانه، عملکرد روغن و اسیدهای چرب گلرنگ بهاره (IL111) در شرایط کمبود آب

سیاوش حشمتی[۱]، مجید امینی دهقی[۲*] و کیوان فتحی امیرخیز[۱]
۱ و ۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه زراعت، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۸/۲۳ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱/۳۱)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی فسفر بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی یک رقم گلرنگ بهاره (IL111) در شرایط تنش خشکی، آزمایشی در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰، در مزرعهٔ پژوهشی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شاهد اجرا شد. طرح آزمایشی به‌صورت اسپلیت- فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در نظر گرفته شد. عامل اصلی شامل تنش خشکی در سه سطح: آبیاری کامل یا بدون تنش (آبیاری بر پایهٔ تخلیهٔ ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی)، تنش خشکی در مرحلهٔ رشد رویشی و تنش در مرحلهٔ زایشی (آبیاری بر پایهٔ تخلیهٔ ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) و عامل فرعی به‌صورت فاکتوریل شامل شش تیمار که سه سطح آن کود شیمیایی فسفر با مقادیر (۰، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار) و کود زیستی فسفات بارور-۲، در ۲ سطح (تلقیح و بدون تلقیح) بود. تأثیر تنش خشکی روی صفات مورد اندازه‌گیری در این آزمایش معنی‌دار بود. کاربرد کود فسفر در سطح ۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار به همراه کود زیستی در هنگام اعمال تنش در مرحلهٔ زایشی باعث افزایش عملکرد دانه به میزان ۱۷۶۱/۶۷ کیلوگرم در هکتار و افزایش ۱۲/۵۳ درصدی شاخص برداشت نسبت به تیمار شاهد شد. با اعمال تنش در مرحلهٔ زایشی، میزان اسیدهای چرب غیراشباع و همچنین درصد و عملکرد روغن در نتیجهٔ کابرد کود زیستی همراه با کاربرد کود شیمیایی فسفر افزایش معنی‌داری داشتند. بنابراین به نظر می‌رسد ویژگی‌های گلرنگ در شرایط تنش در اثر کاربرد همزمان کود زیستی فسفات بارور-۲ با کود شیمیایی فسفر، نتیجهٔ بهتری دارند.

واژه‌های کلیدی: **اسید لینولئیک، تنش خشکی، درصد روغن، سوپرفسفات تریپل، فسفر بارور-۲.**

Effects of biological and chemical phosphorous fertilizer on grain yield, oil seed and fatty acids of Spring Safflower in water deficit conditions

Siavash Heshmati[1], Majid Amini Dehaghi[2]* and Kayvan Fathi Amirkhiz[1]
1, 2. Former M.Sc. Student and Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran
(Received: Nov. 14, 2015 - Accepted: Apr. 19, 2016)

ABSTRACT

In order to study the effect of biologic and chemical phosphorous fertilizer on the yield and physiological characteristics of a safflower cultivar (IL111) under water deficit conditions, 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 tested were the three levels of water stress: full irrigation or non-stress (irrigation up to 50% soil moisture depletion relative to field capacity), water stress during the vegetative and flowering stages (irrigation up to 75% soil moisture depletion relative to field capacity). There were six sub-factor treatments created using three concentrations of phosphate chemical fertilizer (0, 50, and 100 kg ha^{-1}Triple Super Phosphate) and two concentrations of Barvar-2 bio-fertilizer (with and without inoculation with Barvar-2). The results indicated that all traits were significantly affected by water stress condition in this experiment.The use of biological fertilizer and chemical phosphorus fertilizer at a concentration of 50 kg ha^{-1}Triple Super Phosphate during water stress at the flowering stage increased the seed yield and harvest index by 1761.67 kg ha^{-1} and %12.53, respectively in comparison with control treatment (non-stress). Applying drought conditions during the flowering stage also significantly increased the fatty acid content (oleic, linoleic), oil content and oil yield when the plants were treated with biofertilizer and chemical fertilizer. Therefore, the characteristics of safflower cultivars under water stress conditions can be improved by applying both biological fertilizer and chemical fertilizer.

Keywords: Barvar 2, drought stress, linoleic acid, oil content, triple super phosphate.

* Corresponding author E-mail: amini@shahed.ac.ir Tel: +98 912 661 5055

مقدمه

تنش‌های محیطی از جمله عامل‌های محدودکنندهٔ تولید گیاهان زراعی هستند (Smirnoff, 1993). در این رابطه اظهار شده است که میزان دسترسی به رطوبت خاک مهم‌ترین عامل در تعیین عملکرد گیاهان زراعی در مناطق نیمه‌خشک است (Stone *et al*., 2001). هنگامی‌که خشکی در هر مرحله از رشد و نمو گیاه رخ دهد، عملکرد کاهش فراوانی می‌یابد، اما بیشترین کاهش هنگامی است که خشکی در هنگام آغاز گلدهی رخ دهد (Richards & Thurling, 1978). گیاهان دانه‌ای، شامل گلرنگ نیز در مرحلهٔ تعیین شمار دانه نسبت به تنش بسیار حساس‌تر از مرحلهٔ رویشی است (Saini & Westgate, 2000). گزارش شده است، عملکرد دانه در گلرنگ با افزایش تنش خشکی کاهش داشت (Erdem *et al*., 2006). گلرنگ به دلیل تنوع ترکیب‌های اسیدهای چرب در روغن دانه یکی از بهترین مثال‌های گیاهان زراعی است (Knowles, 1989). تأثیر خشکی بر محتوا و ترکیب اسیدهای چرب دانهٔ گلرنگ، ارزش اقتصادی روغن و ترکیب اسیدهای چرب دانه را تعیین می‌کند. بنابراین خشکی می‌تواند اثر برجسته‌ای بر کیفیت و کمیت روغن استخراج‌شده از دانه داشته باشد (Ashrafi & Razmjoo, 2010). فسفر در تغذیهٔ گیاه پس از نیتروژن در رتبهٔ دوم اهمیت قرار گرفته است. بنابراین تأمین فسفر مورد نیاز گیاه برای رسیدن به بیشترین عملکرد بسیار مهم و حیاتی است. به‌رغم کودهای فسفردار، به‌طورمعمول حدود ۲/۳ کود فسفر در نتیجهٔ سازوکارهای مختلف از جمله فرآیند تثبیت آن توسط گیاه قابل‌جذب نیست (Abraham Christopher *et al*., 2007). افزون بر کاربرد کودهای شیمیایی یکی دیگر از روش‌های تأمین فسفر مورد نیاز گیاهان استفاده از کودهای زیستی (بیولوژیک) است. کودهای زیستی محصولات آلی بوده که شامل انواع ریزجانداران (میکروارگانیسم‌های) زنده هستند که می‌توانند به‌واسطهٔ فرآیندهای زیستی، عنصرهای غذایی مهم را از صورت غیرقابل‌دسترس به صورت قابل‌دسترس تبدیل کنند (Vessey, 2003). بنابراین کاهش کاربرد کودهای شیمیایی در تولید محصولات زراعی، با استفاده از کودهای زیستی به‌عنوان جایگزین یا مکمل کودهای شیمیایی پرمصرف، از جنبه‌های بوم‌شناختی (اکولوژیکی) و اقتصادی برتری‌هایی را به دنبال دارد. به‌طوری‌که استفاده از کودهای فسفر زیستی و جایگزینی آن بجای بخشی از کودهای شیمیایی حاوی فسفر مانند فسفات آمونیوم و سوپرفسفات در سال‌های اخیر نظر علاقه‌مندان بر کشاورزی پایدار را نیز به خود جلب کرده است (Malbubi, 1998). کود فسفر بارور-۲ از ۲۲ سویهٔ باکتری حل‌کنندهٔ فسفات از خاک‌های بومی ایران جداسازی شده و آزمایش‌های متعدد انجام‌شده روی آن‌ها نشان می‌دهد که بارور-۲ با شرایط محیطی بومی کشتزارهای کشور سازگار است (Malbubi, 2004). این کود، حاوی دو نوع باکتری حل‌کنندهٔ فسفات از گونه‌های *Bacillus lentus* (سویهٔ P5) و *Pseudomonas putida* (سویهٔ P13) است که به ترتیب با استفاده از دو سازوکار ترشح اسیدهای آلی و اسید فسفاتاز باعث تجزیهٔ ترکیب‌های فسفره نامحلول و در نتیجه قابل‌جذب شدن آن برای گیاه می‌شوند (Malbubi, 2007). گزارش‌های چندی نیز در مورد تأثیر کودهای زیستی در تولید عملکرد گیاهان زراعی وجود دارد که از این میان می‌توان بر تأثیر آن‌ها بر وزن خشک، عملکرد دانه و وزن هزاردانهٔ کلزا اشاره کرد (Yasari & Patwardhan, 2007). کاربرد باکتری‌های محرک رشد و حل‌کننده‌های فسفات در تلفیق با کود شیمیایی، نشان داده که می‌توانند کاربرد کود فسفر را بدون کاهش عملکرد دانهٔ ذرت تا ۵۰ درصد کاهش دهند (Yazdani *et al*., 2009). تحقیقات نشان داده، کاربرد فسفر به میزان ۲۵ کیلوگرم در هکتار به همراه ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد در یک خاک لومی رسی، بیشترین عملکرد دانهٔ گلرنگ را با میانگین ۳/۱۲ تن در هکتار تولید کرده است (Abbas *et al*., 1995). همچنین مشاهده شده است که تلقیح باکتری‌های محرک رشد می‌توانند سبب افزایش مادهٔ خشک، عملکرد دانه و وزن دانه در غلات شوند (Boddy & Dobereiner, 1988). گزارش‌های دیگر گویای این است که کاربرد کود فسفر در تنش خشکی ملایم روی نخود، همراه با منابع کود فسفردار مختلف (سوپر فسفات) و باکتری‌های

حل‌کنندهٔ فسفات، اثر افزاینده‌ای روی تولید مادهٔ خشک و کارایی مصرف آب داشته است (Prabhakar & Saraf, 1991). گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از گیاهان روغنی و بومی کشور است. وجود انواع جور (تیپ)های 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 داشتن روغنی با کیفیت بالا، از ویژگی‌های بارز این گیاه است (Ahmadi & Omidi, 1996). بدین منظور برای گسترش سطح زیر کشت و افزایش عملکرد دانه و روغن گیاهان روغنی مانند گلرنگ، آزمایشی به‌منظور بررسی تأثیر کودهای شیمیایی فسفر و کود زیستی فسفر بارور-۲ روی عملکرد و روغن دانه و اسیدهای چرب روغن یک رقم گلرنگ بهاره (IL111) در شرایط تنش خشکی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۰ در مزرعهٔ پژوهشی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شاهد در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۰ دقیقهٔ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقهٔ شمالی واقع در ابتدای آزادراه تهران-قم انجام گرفت. میانگین بارندگی سالانه در این منطقه ۲۳۸/۹ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۷/۷ درجهٔ سلسیوس است. آزمایش به‌صورت اسپلیت-فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی عبارت‌اند از: دور آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح: آبیاری کامل یا بدون تنش (آبیاری بر پایهٔ تخلیهٔ ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی)، تنش خشکی در مرحلهٔ رشد رویشی (آبیاری بر پایهٔ تخلیهٔ ۷۵ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی).

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مکان آزمایش

Table 1. Physico-chemical properties of the soil

Depth (cm)	Texture	pH	Total N (%)	Available P (ppm)	Available K (ppm)	Fe ($mg\ kg^{-1}$)	Zn ($mg\ kg^{-1}$)	Cu ($mg\ kg^{-1}$)	Mn ($mg\ kg^{-1}$)
0-30	Loam	7.7	0.089	10	320	2.8	2.4	2.6	14
30-60	Loam-Clay	7.7	0.062	5	260	2.4	0.5	1.4	7.8

و تنش خشکی در مرحلهٔ زایشی (آبیاری بر پایهٔ تخلیه ۷۵ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی)، که در کرت‌های بزرگ‌تر قرار گرفت و عامل فرعی نیز شامل کود شیمیایی فسفر در سه سطح (۰، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار) و کود زیستی فسفر بارور ۲ در دو سطح (تلقیح و بدون تلقیح) به‌صورت فاکتوریل، در کرت‌های کوچک‌تر قرار داشتند. لذا در هر بلوک (۱۸=۶×۳) ۱۸ کرت وجود داشت. هر کرت شامل چهار ردیف کشت به فاصلهٔ ۵۰ سانتی‌متر بود. طول هر ردیف ۴ متر و بین هر کرت نیز دو ردیف نکاشت در نظر گرفته شد. فاصلهٔ بوته‌ها روی ردیف‌های کشت ۵ سانتی‌متر و تراکم نهایی برابر چهل بوته در مترمربع بود (Khajehpour, 2005). تاریخ کشت ۲۵ اسفندماه بود. پیش از کاشت و بر پایهٔ نتایج تجزیهٔ شیمیایی خاک (جدول ۱)، کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت یکجا و پیش از کشت به خاک داده شد. بذر گلرنگ رقم IL-111 از مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (کرج) دریافت و کشت آن به‌صورت دستی انجام شد. پس از باز کردن شیارهایی به عمق ۵ سانتی‌متر روی هر ردیف، بذرها به‌صورت خطی، درون هر شیار ریخته شد و روی آن‌ها با خاک نرم، پوشانده شد. برای کاربرد کود زیستی فسفر بارور۲ به‌صورت بذرمال، محتویات بستهٔ کود فسفر بارو۲ را در ۱۰ لیتر آب حل کرده و روی ۲۵ کیلوگرم بذر مورد نیاز برای کاشت در ۱ هکتار، پاشیده و به‌خوبی مخلوط شد. برای تعیین مراحل رشد (از نظر زمان اعمال تیمارهای آبیاری)، از روش Allen *et al.* (1998) استفاده شد. بنابراین، در طول مرحلهٔ رویشی، ۷۰ تا ۸۰ روز پس از کاشت (Vb) تا انتهای مرحلهٔ رویشی (مرحلهٔ طبق‌دهی)، آبیاری کرت‌هایی که باید در این مرحله در شرایط تنش قرار می‌گرفت بر پایهٔ تخلیهٔ ۷۵ درصد رطوبت از حد ظرفیت زراعی خاک انجام گرفت و از آن به بعد هم با آغاز مرحلهٔ گلدهی تا حدودی به میزان ۵۰

درصد (F) تا مرحلهٔ تشکیل عملکرد و پر شدن دانه (Y) آبیاری در کرت‌های تنش خشکی، پس از اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک و رسیدن رطوبت خاک به ۷۵ درصد تخلیهٔ رطوبت ظرفیت زراعی انجام گرفت. نخستین آبیاری پس از کاشت و آبیاری دوم سه روز بعد برای آسانگری سبز شدن و سپس آبیاری‌های بعدی بر پایهٔ رسیدن رطوبت خاک به ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی انجام گرفت و در کرت‌های شاهد تا پایان فصل و زمان رسیدگی گیاه، صورت گرفت. پس از استقرار مناسب گیاهچه‌ها، با در نظر گرفتن فاصلهٔ ۵ سانتی‌متر روی ردیف، تنک کردن صورت گرفت. اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی انجام شد(Alizadeh, 2008). بدین منظور، ۴۸ ساعت پس از آبیاری، اقدام به برداشت نمونهٔ خاک از عمق توسعهٔ ریشه (۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) شد. نمونه‌های برداشت‌شده بی‌درنگ وزن و برای تعیین درصد رطوبت، به آون به دمای ۱۰۰ درجهٔ سلسیوس، منتقل شد. بنابراین پیش از آبیاری دوباره، اجازه داده شد تا رطوبت خاک در عمق ریشه به ۷۵ درصد تخلیهٔ رطوبت ظرفیت زراعی برسد. بنابراین زمان آبیاری برای سطوح آبیاری ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه از حد رطوبت ظرفیت زراعی به ترتیب، هنگامی بود که رطوبت خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر، به ۱۱/۵ و ۵/۷۵ درصد و در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر، به ۱۴ و ۷ درصد رسید. حجم آب مصرفی مورد نیاز هر تیمار از رابطهٔ زیر (Alizadeh, 2008) محاسبه شد:

$$V= (FC- \Theta_m)\ \rho_b \times D_{Root} \times A\ /E_i$$

در این رابطه:

V حجم آب آبیاری برحسب مترمکعب، FC درصد رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی، Θ_m درصد رطوبت وزنی خاک پیش از آبیاری، ρ_b وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D_{Root} عمق توسعهٔ ریشه برحسب متر، A مساحت آبیاری شده برحسب مترمربع و E_i کارایی آبیاری هستند. همچنین درصد رطوبت وزنی خاک مکان آزمایش در حد ظرفیت مزرعه، در عمق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر به ترتیب عبارت بودند از ۲۳ و ۲۸ درصد، همچنین وزن مخصوص ظاهری خاک مکان آزمایش در عمق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر به‌ترتیب عبارت بودند از ۱/۵ و ۱/۴۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب. بدین ترتیب حجم آب مورد نیاز در هر بار آبیاری در هر آزمایش محاسبه و بر پایهٔ کارایی توزیع آب ۹۰ درصد با استفاده از پمپ و کنتور به‌صورت یکنواخت توزیع شد. میانگین حجم آب مصرفی در هر کرت در سطوح آبیاری به‌ترتیب ۳/۰۳۷ و ۲/۷۲ مترمکعب بود. برای تعیین عملکرد گلرنگ از هر کرت آزمایشی، مساحتی برابر با ۱/۵ مترمربع، برداشت شد. پس از کوبیدن و جدا کردن دانه‌ها با غربال، عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد زیستی محاسبه شد. برای استخراج روغن دانهٔ گلرنگ، از روش استاندارد سوکسله استفاده شد (AOAC, 1995). اندازه‌گیری اسیدهای چرب روغن بر پایهٔ روش Metcalf et al. (1966) و با استفاده از دستگاه فام‌نگار (کروماتوگرافی) گازی (UNICAM 4600, England) با ستون کاپیلاری BPX 70 به طول ۳۰ متر و قطر ۰/۲۵ میلی‌متر، انجام شد. به‌منظور انجام محاسبات آماری از نرم‌افزار آماری SAS استفاده شد. مقایسهٔ میانگین‌ها نیز در با استفاده از روش برش‌دهی اثر متقابل (LSMEANS) توسط دستور PDIFF انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد، اثر سادهٔ سطوح کود شیمیایی فسفر و کود زیستی فسفر بارور ۲ و همچنین برهمکنش سطوح تنش خشکی و کود شیمیایی فسفر، سطوح تنش خشکی و کود زیستی فسفر بارور ۲، کود شیمیایی فسفر و کود زیستی فسفر بارور ۲ و اثر سه جانبهٔ تیمارهای تنش خشکی، کود شیمیایی فسفر و کود زیستی فسفر بارور۲، بر همهٔ صفات مورد اندازه‌گیری، معنی‌دار شد (جدول ۲).

عملکرد دانه و روغن

نتایج این بررسی نشان داد، در شرایط بدون تنش و در تیمار بدون تلقیح با کود زیستی فسفر بارور ۲، کاربرد کود فسفر موجب افزایش عملکرد دانه و روغن شد. اما بالاترین میزان عملکرد دانه و روغن در نتیجهٔ کاربرد

کود زیستی در سطح بدون تنش و تنش در مرحلهٔ رویشی در بدون کاربرد کود فسفر به دست آمد. اما در سطح تنش در مرحلهٔ رویشی، بیشترین میزان عملکرد دانه و روغن به ترتیب با ۲۹۳۵/۸۶ و ۷۰۱/۰۸ کیلوگرم در هکتار در تیمار بدون تلقیح با کود زیستی فسفر بارور۲، از کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به دست آمد. نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد، در شرایط تنش در مرحلهٔ زایشی در سطوح مختلف کود زیستی فسفر بارور۲، کاربرد کود فسفر به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه و روغن را در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کاربرد کود فسفر) افزایش داد. به‌طوری‌که در سطح بدون تلقیح با کود زیستی فسفر بارور۲، بیشترین عملکرد دانه و روغن به ترتیب با ۲۳۸۰/۳۱ و ۶۱۱/۷۷ کیلوگرم در هکتار از کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار به دست آمد که در مقایسه با تیمار شاهد، عملکرد دانه با ۴۴/۷ درصد و عملکرد روغن ۴۸/۱۲ درصد افزایش داشت. اما در نتیجهٔ به‌کارگیری کود زیستی فسفر بارور۲، کاربرد ۵۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل عملکرد دانه و روغن را به ترتیب در حدود ۳/۱ و ۳/۴ برابر نسبت به تیمار بدون کاربرد کود فسفر افزایش داد (جدول ۳). Jabari *et al*. (2007) گزارش کردند که عملکرد دانه در گلرنگ، با اعمال تنش خشکی در حدود ۸۳ درصد کاهش داشت که ناشی از وزن هزاردانه و شمار دانه در طبق بود. Gill & Dellon (1995) نیز بیان داشتند که کاربرد کود زیستی فسفر به همراه ۵۰ درصد کود فسفات آمونیوم در شرایط تنش خشکی شدید در مرحلهٔ رویشی و زایشی در گیاه سورگوم عملکرد دانه را افزایش داده است. با توجه به همبستگی بالایی که بین عملکرد دانه و روغن وجود دارد (داده‌ها نشان داده نشده) می‌توان بیان داشت که لازمهٔ تولید عملکرد روغن مطلوب، عملکرد دانهٔ مطلوب است. بنابراین کاربرد کود زیستی در سطوح تنش به همراه کود فسفر، می‌تواند موجب افزایش عملکرد دانه و روغن در گلرنگ شود. تأمین میزان کافی عنصرهای غذایی می‌تواند باعث افزایش کارایی ریزجانداران محرک رشد شود اگرچه در شرایط نامطلوب تغذیه‌ای هم این باکتری‌ها قادر به افزایش رشد و عملکرد گیاه هستند. باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات می‌توانند فسفر قابل‌دسترس در خاک را به‌وسیلهٔ آبکافت (هیدرولیز) فسفر از ترکیب‌های غیر آلی به علت اسیدی کردن خاک و یا تراوش آنزیم‌های فسفاتاز افزایش دهند (Akmakc *et al*., 2006). به نظر می‌رسد بالا رفتن جذب فسفر در هنگام مرحلهٔ گلدهی باعث افزایش گرده‌افشانی در گیاه شده، چرا که فسفر نقش مهمی در گرده‌افشانی گیاهان دارد. بنابراین فسفر از راه افزایش اجزای عملکرد موجب افزایش عملکرد دانه و روغن شده است.

جدول ۲. نتایج تجزیهٔ واریانس مربوط به تأثیر تنش خشکی، کود شیمیایی فسفره و کود زیستی فسفر بر عملکرد زیستی، شاخص برداشت، عملکرد دانه، روغن و اسیدهای چرب دانهٔ گلرنگ

Table 2. Analysis of variance for effect of water deficit condition, chemical and biologic phosphorus fertilizers on biological yield, harvest index, seed yield, oil and fatty acids of safflower seed

S.O.V	d.f	Mean squares				
		Harvest Index	Biological Yield	Seed Yield	Oil Yield	Oil Percentage
Replication (R)	2	0.335ns	314978ns	1415.78ns	4.549ns	0.480ns
Water Stress (A)	2	77.167**	17557922.89**	9034780.84**	594946.850**	7.271**
Error a	4	0.312	47566	6991.14	6.661	0.150
Phosphorus (B)	2	114.667**	782354991**	980044.70**	68241.92**	1.518**
Barvar-2 (C)	1	46.481**	50224409**	168746.45**	2849.26**	4.318**
A × B	4	158.246**	71260624**	1354867.45**	123324.75**	6.798**
A × C	2	78.92**	93030329**	69613.67**	8971.56**	1.761**
B × C	2	19.727**	7275736**	642912.4**	32972.06**	4.145**
A × B × C	4	52.330**	79836188**	1216007.46**	82582.50**	3.104**
Error bc	30	0.246	38052	5412.03	5.734	0.127
C.V (%)		14.2	12.1	13.4	13.5	3.1

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

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

ادامه جدول ۲. نتایج تجزیهٔ واریانس مربوط به تأثیر تنش خشکی، کود شیمیایی فسفره و کود زیستی فسفر بر عملکرد زیستی، شاخص برداشت، عملکرد دانه، روغن و اسیدهای چرب دانهٔ گلرنگ

Continued table 2. Analysis of variance for effect of water deficit condition, chemical and biologic phosphorus fertilizers on biological yield, harvest index, seed yield, oil and fatty acids of safflower seed

S.O.V	d.f	Mean squares			
		Linoleic acid	Oleic acid	Stearic acid	Palmitic acid
Replication (R)	2	0.191ns	0.0038ns	0.150ns	0.014ns
Water Stress (A)	2	19.769**	0.171**	18.969**	0.100*
Error a	4	0.134	0.003	0.057	0.008
Phosphorus (B)	2	20.872**	0.450**	25.737**	0.406**
Barvar-2 (C)	1	16.061**	0.129**	22.950**	0.0830ns
A*B	4	9.040**	0.089**	9.675**	0.202**
A*C	2	3.492**	0.359**	7.603**	0.474**
B*C	2	4.518**	0.223**	5.109**	0.269**
A*B*C	4	9.643**	0.066**	13.290**	0.442**
Error bc	30	0.036	0.0024	0.039	0.0064
C.V (%)		2.0	4.3	4.1	3.2

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

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

عملکرد زیستی و شاخص برداشت

در بررسی تأثیر تیمارهای کود سوپر فسفات تریپل، کود زیستی فسفر بارور۲ و تنش خشکی بر عملکرد زیستی، مشاهده شد در شرایط بدون تنش و اعمال تنش در مرحلهٔ رویشی، کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار در سطوح کود زیستی فسفر بارور ۲، افزایش عملکرد زیستی را در پی داشته است. به‌طوری‌که در سطح تنش رویشی، میزان عملکرد زیستی در تیمارهای کاربرد کود زیستی فسفر بارور۲ و بدون کاربرد آن در نتیجهٔ کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار، به ترتیب ۲/۷ و ۲/۴ برابر بیشتر از تیمار شاهد (استفاده نکردن از کود فسفر) بود. در هنگام اعمال تنش در مرحلهٔ زایشی نیز در سطوح مختلف کود زیستی فسفر بارور ۲، کاربرد کود فسفر موجب افزایش چشمگیر عملکرد زیستی شد. به‌طوری‌که در سطح بدون تلقیح با کود زیستی، بیشترین عملکرد زیستی با میانگین ۲۱۱۹۳/۷ کیلوگرم در هکتار از کاربرد ۵۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد (۲/۵ برابر) افزایش داشت و در سطح تلقیح شده با کود زیستی فسفر بارور۲، تیمار ۱۰۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل در هکتار بیشترین عملکرد زیستی را با میانگین ۲۸۰۷۹/۳ کیلوگرم در هکتار به خود اختصاص داد (جدول ۳). Haydari & Assad (1998) در نتایج بررسی خود اظهار داشتند که کمبود آب، یکی از عامل‌های محدودکنندهٔ رشد و نمو گیاه است که نه تنها باعث کاهش تولید مادهٔ خشک می‌شود، بلکه همچنین باعث اختلال در تقسیم‌بندی کربوهیدرات‌ها به دانه در نتیجه کاهش شاخص برداشت می‌شود. ازآنجایی‌که فسفر در استقرار اولیهٔ گیاه، فعالیت مریستمی و تقسیم یاخته‌ای نقش بسیار مهمی دارد بنابراین گیاه تحت تیمار با فسفر بیشتر، استقرار اولیهٔ زودتری داشته و در رشد رویشی و زایشی تأثیر مثبت بیشتری می‌گذارد و در عملکرد زیستی نقش مؤثری را ایفاء می‌کند (Malakouti & Gheibi, 1998). Prabhakar & Saraf (1991) گزارش کردند که کاربرد کود فسفر در تنش خشکی ملایم روی نخود همراه با باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات، اثر افزاینده‌ای روی تولید زیست‌توده (بیوماس) داشت. مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد در سطح بدون تنش بیشترین شاخص برداشت در تیمار تلقیح‌شده با کود زیستی فسفات بارور-۲، از کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار به دست آمد. نتایج اثر متقابل تنش، کود فسفر و زیستی فسفات بارور-۲ بر شاخص برداشت نشان داد، در تیمار تنش رویشی در سطوح کود زیستی، کاربرد کود شیمیایی فسفر نتوانست شاخص برداشت را افزایش دهد.

اما در هنگام بروز تنش خشکی در مرحلهٔ زایشی گلرنگ، کود زیستی فسفات بارور-۲ و کاربرد کود فسفر اثر مثبت و معنی‌داری بر شاخص برداشت

داشتند، به‌طوری‌که استفاده از ۵۰ کیلوگرم کود فسفر در هر دو سطح کود زیستی فسفات بارور-۲، سبب افزایش ۷/۶ درصدی شاخص برداشت در تیمار بدون تلقیح با کود زیستی فسفر بارور-۲ و ۱۲/۵۳ درصدی در تیمار تلقیح شده با کود زیستی فسفاته در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۳).

Pandey *et al.* (2001) در نتایج بررسی خود تأکید کردند که دلیل کاهش شاخص برداشت در تنش شدید خشکی حساسیت زیادتر رشد زایشی به شرایط نامطلوب در مقایسه با رشد رویشی است. تنش خشکی به‌طور قابل‌توجهی روی شاخص برداشت اثر می‌گذارد و باعث کاهش شاخص برداشت می‌شود. نتایج پژوهشگران دیگر نیز نشان داده است، تنش کمبود آب باعث کاهش شاخص برداشت می‌شود. آنان دلیل این موضوع را کاهش ارسال مواد نورساختی (فتوسنتزی) از اندام‌های هوایی بیان کردند که در نهایت اجزای عملکرد گیاه کاهش می‌یابد و با کاهش این اجزاء شاخص برداشت نیز کاهش می‌یابد (Turk *et al.*, 1980). بررسی نتایج این آزمایش مشخص می‌کند که کاربرد ۵۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار در هر دو سطح کود زیستی، تحت تنش زایشی در گلرنگ بیشترین تأثیر را بر تسهیم مادهٔ خشک در پی داشته است به‌طوری‌که در شرایط آبیاری کامل نیز کاربرد کود شیمیایی همراه با تلقیح باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات (بارور۲) موجب افزایش شاخص برداشت شده است.

جدول ۳. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل بررسی تأثیر کود زیستی فسفر بارور-۲ بر ویژگی‌های عملکردی و روغن دانهٔ گلرنگ، در شرایط کمبود آب

Table 3. Mean comparison of effect of different phosphorus fertilizers on yield characteristic and oil seed of safflower under water deficit condition

Water stress	Barvar-2	Phosphorus (kg ha^{-1})	Harvest Index (%)	Biological Yield (kg ha^{-1})	Seed Yield (kg ha^{-1})	Oil Yield (kg ha^{-1})	Oil Percentage (%)
No stress	without inoculation	0	30.66 a	9190.0 c	3028.27 b	724.94 c	25.72 b
		50	31.26 a	13252.3 b	3657.16 a	966.07 a	25.74 b
		100	32.46 a	21820.3 a	2928.67 b	816.76 b	26.90 a
	Inoculation	0	18.40 b	17801.3 c	3563.20 a	958.46 a	26.33 ab
		50	28.56 a	19278.3 b	2309.46 c	570.17 c	25.53 b
		100	28.30 a	24542.3 a	3045.93 b	818.42 b	26.71 a
Water stress at vegetative stage	without inoculation	0	32.43 a	12054.7 c	2524.41 b	637.76 b	24.60 b
		50	32.43 a	16021.7 b	1846.32 c	478.77 c	25.42 a
		100	25.26 b	33625.0 a	2935.86 a	701.08 a	23.91 c
	inoculation	0	37.83 a	11015.0 c	2954.35 a	742.80 a	25.58 b
		50	28.60 b	14683.3 b	1958.91 c	492.48 c	24.74 b
		100	20.46 c	26750.3 a	2460.86 b	680.72 b	27.42 a
Water stress at flowering stage	Without inoculation	0	20.46 c	8303.0 c	1644.89 b	413.02 b	24.95 b
		50	28.06 a	21193.7 a	1177.03 c	339.10 c	28.49 a
		100	25.03 b	17207.7 b	2380.31 a	611.77 a	25.55 b
	Inoculation	0	21.33 c	13842.0 b	811.00 c	208.76 c	27.02 b
		50	33.86 a	14035.7 b	2572.67 a	719.10 a	27.77 a
		100	24.03 b	28079.3 a	1458.33 b	374.59 b	25.28 c

در هر ستون و هر سطح تیمار آبیاری، میانگین‌هایی که حرف‌های مشترک دارند، بر پایهٔ آزمون برش‌دهی اثر متقابل در سطح احتمال ۵ درصد 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.

درصد روغن

در این آزمایش مشخص شد که تیمار ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار در سطوح مختلف کود زیستی فسفر بارور-۲، از لحاظ درصد روغن نسبت به دیگر تیمارها در شرایط بدون تنش برتری داشت. با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود، در شرایط تنش در مرحلهٔ رویشی، کاربرد ۵۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار در تیمار بدون کاربرد کود زیستی، تأثیر بیشتری نسبت به دیگر تیمارها روی درصد روغن داشته است. همچنین مشاهده‌ها نشان می‌دهد که بیشترین درصد روغن در تیمار کود زیستی، در نتیجهٔ کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار بوده است. در بررسی کاربرد کود زیستی فسفر بارور-۲ و کود فسفر بر میزان درصد روغن در تیمار تنش در مرحلهٔ

زایشی مشاهده شد، کاربرد کود شیمیایی فسفر در سطوح مختلف کود زیستی فسفر بارور-۲، اثر مثبت و معنی‌داری بر درصد روغن در سطح تنش در مرحلهٔ زایشی دارد به‌گونه‌ای که بیشترین درصد روغن در هر دو سطح کود زیستی، از تیمار ۵۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار به دست آمد (جدول ۳).

گزارش شده است که کمبود آب در مرحلهٔ گلدهی باعث کاهش عملکرد، اجزای عملکرد و محتوای روغن رقم‌های گلرنگ می‌شود (Nabipour *et al.*, 2007). Bouchereau *et al.* (1996) گزارش کردند که تنش خشکی در مرحلهٔ گلدهی و گرده‌افشانی میزان روغن دانهٔ کلزا را کاهش داد. آنان علت کاهش روغن را در مرحلهٔ گلدهی و گرده‌افشانی به علت تأثیر آنی تنش خشکی بر تخریب فرآیندهای سوخت‌وسازی (متابولیک) بذر، صدمه در انتقال آسیمیلات‌ها به دانه و به‌احتمال تولید ترکیب‌های ثانویه نامطلوب در تولید روغن دانه اعلام کرده‌اند. Engel & Bergman (1997) در نتایج تحقیق خود روی گلرنگ با اعمال تنش خشکی به‌صورت آبیاری کامل تا تأمین رطوبت بسیار کم مشاهده کردند که تنش رطوبتی تأثیر ناچیزی بر محتوای روغن دانه دارد اما تأثیر رقم بر محتوای روغن بسیار معنی‌دار است با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان بیان داشت، کاربرد کود فسفر به همراه کود زیستی فسفر بارور۲، می‌تواند موجب افزایش محتوای روغن در گلرنگ در شرایط کم‌آبی شود.

اسیدهای چرب (اشباع و غیراشباع)

نتایج این آزمایش نشان داد، در شرایط تنش خشکی در مرحلهٔ رویشی، و در تیمار بدون کاربرد کود فسفر بارور ۲، کاربرد کود فسفر بیشترین تأثیر را در کاهش میزان اسید پالمیتیک و اسید استئاریک داشت. به‌طوری‌که کمترین میزان آن‌ها به ترتیب با ۷/۰۱ و ۱۳/۳۷ درصد مربوط به کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار و بیشترین میزان آن‌ها در نتیجهٔ بدون کاربرد کود فسفر بود (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل بررسی تأثیر کود زیستی فسفر بارور-۲ بر ترکیب اسیدهای چرب گلرنگ، در شرایط کمبود آب

Table 4. Mean comparison of effect of different phosphorus fertilizers on fatty acids composition of safflower under water deficit condition

Water stress	Barvar-2	Phosphorus (kg ha^{-1})	Linoleic acid (%)	Oleic acid (%)	Stearic acid (%)	Palmitic acid (%)
No stress	Without inoculation	0	77.10 a	1.87 c	13.97 ab	6.94 b
		50	76.50 c	1.97 b	14.25 a	7.11 ab
		100	76.61 b	2.06 a	13.58 b	7.47 a
	Inoculation	0	77.73 a	1.90 b	13.20 a	6.86 a
		50	77.50 ab	2.05 ab	12.93 a	7.38 a
		100	77.44 b	2.17 a	13.33 a	6.85 a
Water stress at vegetative stage	Without inoculation	0	75.08 b	1.89 b	15.90 a	7.32 a
		50	75.03 b	2.59 a	15.39 b	7.10 a
		100	77.06 a	2.09 b	13.37 c	7.01 a
	Inoculation	0	77.26 a	2.04 a	13.92 b	6.49 b
		50	74.46 c	2.03 a	15.65 a	7.54 a
		100	76.59 b	1.98 a	14.04 b	7.20 a
Water stress at flowering stage	Without inoculation	0	76.09 b	1.34 c	14.05 ab	7.25 a
		50	77.30 a	2.05 a	14.50 a	7.05 a
		100	77.48 a	1.75 b	13.62 b	6.73 b
	inoculation	0	76.51 b	1.93 b	13.93 a	7.30 b
		50	76.84 b	2.06 b	5.79 b	7.24 b
		100	83.76 a	2.33 a	14.09 a	7.85 a

در هر ستون و هر سطح تیمار آبیاری، میانگین‌هایی که حرف‌های مشترک دارند، بر پایهٔ آزمون برش‌دهی اثر متقابل در سطح احتمال ۵ درصد 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

اما هنگامی‌که تنش در مرحلهٔ رویشی اعمال شد، در تیمار بدون تلقیح با کود زیستی، کاربرد همهٔ سطوح کود فسفر سبب کاهش میزان اسید پالمیتیک و اسید استئاریک در مقایسه با تیمار شاهد شدند. اما کاربرد کود زیستی فسفر بارور ۲، به تنهایی موجب کاهش معنی‌دار اسیدهای چرب اشباع شد. اعمال تنش در مرحلهٔ زایشی گلرنگ در تیمار بدون کاربرد کود زیستی فسفاتهٔ بارور ۲، کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر توانست میزان اسیدهای

چرب پالمیتیک و استئاریک را کاهش دهد درصورتی‌که در نتیجهٔ کاربرد کود زیستی فسفاتهٔ بارور ۲، کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر، سبب کاهش معنی‌دار اسید پالمیتیک و اسید استئاریک شد (جدول ۴). افزایش در محتوای اسیدهای چرب اشباع در بادام‌زمینی در شرایط تنش خشکی توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Dwivedi *et al*., 1993). اما در مقابل Ashrafi & Razmjoo (2010) در نتایج بررسی خود اظهار داشتند که میزان اسیدهای چرب استئاریک و پالمیتیک در روغن دانهٔ گلرنگ تحت تنش آب کاهش معنی‌داری داشت. بنابراین با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان گفت که کاربرد کود سوپر فسفات تریپل و کود زیستی فسفر بارور۲، در شرایط تنش می‌تواند در کاهش اسیدهای چرب اشباع گلرنگ، نقش مؤثری داشته باشد.

مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تنش خشکی، کاربرد کود زیستی فسفر بارور ۲ و کود فسفر نشان داد، کاربرد کود فسفر در سطوح مختلف کود زیستی در شرایط بدون تنش نتوانست اسید لینولئیک را افزایش دهد. اما بیشترین درصد اولئیک اسید در سطوح کود زیستی فسفر بارور۲ با بیشترین سطح کودی فسفر به دست آمد. اما کاربرد کود فسفر در تیمارهای کود زیستی هنگامی‌که تنش خشکی در مرحلهٔ زایشی رخ داد، میزان اسید لینولئیک را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. به‌طوری‌که بیشترین درصد اسید لینولئیک به ترتیب در تیمارهای کاربرد کود زیستی و بدون کاربرد آن با ۸۳/۷ و ۷۷/۴ درصد در نتیجهٔ کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار به دست آمد. همچنین کاربرد ۵۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار، در این شرایط توانست میزان اسید اولئیک را در سطح بدون کاربرد کود زیستی، در مقایسه با تیمار شاهد، افزایش معنی‌دار داشت. اما هنگامی‌که تنش در مرحلهٔ رویشی اعمال شد، کاربرد کود فسفر در تیمار کود زیستی فسفر بارور۲، تأثیر چندانی در افزایش اسید لینولئیک و اولئیک نداشت (جدول ۴). خشکی موجب کاهش معنی‌دار محتوای کل اسیدهای چرب و ترکیب اسیدهای چرب تحت کمبود شدید آب می‌شود (Laribi *et al*., 2009). این موضوع می‌تواند به دلیل کاهش میزان اسیدهای چرب اولئیک و لینولئیک هم‌جهت با افزایش اسیدهای چرب پالمیتیک و استئارئیک باشد (Rie De Vos *et al*., 1993). Ashrafi & Razmjoo (2010) نیز در نتایج بررسی خود گزارش کردند در شرایط تنش خشکی، محتوای اسیدلینولئیک و اولئیک در روغن دانهٔ گلرنگ کاهش یافت. بنابراین به نظر می‌رسد کاربرد کود زیستی به همراه کود سوپرفسفات تریپل در هنگام اعمال تنش در مرحلهٔ زایشی می‌تواند روی اسیدهای چرب غیراشباع مثبت باشد.

نتایج نشان داد، کاربرد کودهای شیمیایی فسفر به تنهایی و همچنین همراه با کودهای زیستی فسفر بارور-۲، در شرایط کم آبی به‌ویژه در مرحلهٔ رشد زایشی گیاه گلرنگ می‌تواند در جلوگیری از کاهش عملکرد دانه سودمند باشد. همچنین نتایج این آزمایش گویای کاهش میزان اسیدهای چرب اشباع (پالمیتیک و استئاریک اسید) و افزایش میزان اسیدهای چرب غیراشباع (اولئیک و لینولئیک اسید)، درصد روغن و عملکرد روغن دانهٔ گلرنگ در شرایط کم آبی با کاربرد کودهای شیمیایی فسفر و کودهای زیستی فسفر بارور-۲، بود. بنابراین به نظر می‌رسد کاربرد کودهای شیمیایی فسفر به تنهایی و یا همراه با کودهای زیستی فسفر می‌تواند موجب بهبود عملکرد روغن دانهٔ گلرنگ در چنین شرایطی باشد.

REFERENCES

1. Abbas, M., Tomar S. S. & Nigam, K. B. (1995). Effect of phosphorus and sulphur fertilization in safflower (*Carthamus tinctorius*). *Indian Journal of Agronomy*, 40, 243-248.
2. Abraham Christopher, P., Viswajith, V., Prabha, S., Sundhar, K. & Malliga, P. (2007). Effect of coir pith based Cynobacterial basal and foliar biofertilizer on *Basellarubra* L. *Acta agriculturae Slovenica*, 89(1), 59-63.
3. Ahmadi, M. R. & Omidi, 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 Farsi).
4. Akmakc, C. I. R., Donmez F., Aydin A. & Ahin F. S. (2006). Growth promotion of plants by plant growthpromotingrhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions. *Soil Biology & Biochemistry*, 38, 1482-1487.

5. Alizadeh, A. (2008). *Soil, water and plant relationship*. Emam Reza University of Mashhad. pp. 484. (in Farsi)
6. 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. Italy.
7. AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1995). Official Methods of Analysis, 16th Edition. AOAC International, Gaithersburg, MD.
8. Ashrafi, E. & Razmjoo, Kh. (2010). Effect of Irrigation Regimes on Oil Content and Composition of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Cultivars. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 87, 499-506.
9. Boddy, R. M. & Dobereiner, J. (1988). Nitrogen fixation associated with grasses and cereals: Recent result and perspectives for future research. *Plant and Soil*, 108, 53-65.
10. Bouchereau, A., Clossais, B. N., Bensaoud, A., Beport, L. & Renard, M. (1996). Water stress effects on rapeseed quality. *Europian Journal of Agronomy*, 5, 19-30.
11. Dwivedi, S. L., Nigam, S. N., Jambunathan, R., Sahrawate, K. L., Nagabhushanam, G. V. S. & Raghunath, K. (1993). Effects of genotypes and environments on oil content and oil quality parameters and their correlations in peanut (*Arachishypogaea* L.). *Peanut Science*, 20, 84-89.
12. Engel, R. & Bergman, J. (1997). Safflower seed yield and oil content as affected by water and N. *Fertilizer Facts*, 14, 14-25.
13. Erdem, T., Erdem, Y., Orta, A. H. & Okursoy, H. (2006). Use of a crop water stress index for scheduling the irrigation of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30, 11-20.
14. Gill, M. P. S. & Dellon, N. S. (1995). Phosphorus fertilizer requirements of pearl-millet and sorghum fodders as affected by native fertility of arid brown soil. *Indian Journal of Agricultural Research*, 29 (1/2), 83-88.
15. Haydari, H. & Assad, M. T. (1998). Effects of irrigation regimes, nitrogen fertilizer and plant density on seed yield of safflower cultivar Zargan 279 in Arsanjanregion.Abstracts of the 5th Iranian Congress of Crop Sciences. Karaj, Iran. pp. 41-45 (in Persian).
16. Jabari, H., Akbari, G. A., Daneshian, A., Alahdadi, I. and Shahbazian, I. (2007). Effect of water deficit stress on agronomic characteristics of sunflower hybrids. *Agricultural Research*, 9(1), 13-22.
17. Khajehpour, M. (2005). Industrial crop production. Isfahan Technology University, Jehad daneshgahi press. 580 pp.
18. Knowles, P. F. (1989). Safflower. In: Downey R.K., Robbelen G, Ashri A (eds) *Oil crops of the world*. New York, pp 363-374.
19. Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A. & Marzouk, B. (2009). Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oil and fattyacid composition. *Industrial Crops and Products*, 30, 372-379.
20. Malakouti, M. J. & Gheibi, M. N. (1998). *The soil chemical analysis methods technical publication*. No. 883. Soil and water Research Institute of Iran.
21. Malbubi, A. (2004). Wheat and barley production by Barvar-2 phosphorus biofertilizer application. Technical publication No. 1.Zist Fannavar Sabz Publications. Tehran, Iran.
22. Malbubi, A. (2007). *Characteristic of Barvar-2 phosphorus biofertilizer*. Technical Publication. Zist Fannavar Sabz Publications. Tehran, Iran.p.104.
23. Malbubi, M. A. (1998). *Plant molecular biology response to environmental factors*. Artices 5th Congress Agrobreed Sciences in Iran. p.11.
24. Metcalf, L. C., Schmitz, A. A. & Pelka, J. R. (1966). Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. *Analytical Chemistry*, 38,514-515.
25. Nabipour, M., Meskarabashee, M. & Yousefpour, H. (2007). The effect of water deficit on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(3), 421-426.
26. Pandey, P. K., Maranville, J. W. & Admou, A. (2001). Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a Sahelian environment. I. Grain yield, yield components and water use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 15, 93-105.
27. Prabhakar, M. & Saraf, C. S. (1991). Effect of irrigation regimes and management of phosphorus sources on yield biomass and water use of Chickpea. *Journal of Maharashtra Agricultural Universities*, 16(2), 221-223.
28. Richards, R. A. & Thurling N. (1978). Variation between and within species of rapeseed (*Brassica napus* L.) in response to drought stress. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 479-490.
29. Rie De Vos, C. H., Ten Bookum, W. M., Voojis, R., Schat, H. & Deko, L. J. (1993). Effect of copper on fatty acid composition and peroxydation of lipids in the roots of copper tolerant and sensitive *Silene cucubalus*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 31, 151-158.

30. Saini, H. S. & Westgate M. E. (2000). Reproductive development in crops during drought. *Advances in Agronomy*, 68, 60-95.
31. Smirnoff, N. (1993). The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytologist*, 125, 27-58.
32. Stone, L. R. D., Goodrum, E., Jafar, M. N. & Khan, A. H. 2001. Rooting front and water depletion Depths in Grain sorghum and sunflower. *Agronomy Journal*, 93, 1105-1110.
33. Turk, K. J., Hall, A. E. & Asbell, G. W. (1980). Drought adaptation of cowpea. I. Influence of drought on seed yield. *Agronomy Journal*, 72(3), 413-42.
34. Vessey, J. K. (2003). Plant groeth promoting rhizobacteria as biofertilizers.*Plant and Soil*, 255, 571-586.
35. Yasari, E. & Patwardhan, A. M. (2007). Effects of aztobacter and azospirillium inoculations and chemical fertilizers on growth and productivity of canola. *Asian Journal of Plant Sciences*, 6(1), 77-82.
36. Yazdani, M., Bahmanyar, M. A., Pirdashti, H. & Esmaili, M. A. (2009). Effect of Phosphate solubilization microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of Corn (*Zea mays* L.). Proc. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 37, 90-92.