نشریه گیاهان زراعی ایران
دوره ۴۵شماره ۱ بهار ۱۳۹۳(ص۶۴-۵۳)

بررسی تأثیر برخی کودهای زیستی بر روابط آبی، محتوای کلروفیل و تبادلات گازی گیاه نخود (*Cicer arietinum*) در کشت دیم و فاریاب

فرهاد جباری[1]* و وحیده خالق‌نژاد[2]
۱ و۲. دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه زنجان
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۴/۲- تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۲/۳)

چکیده

استفاده از کودهای زیستی یکی از راهکارهای مهم کاستن از پیامدهای فاجعه‌بار مصرف بی‌رویهٔ کودهای شیمیایی و توسعهٔ کشاورزی پایدار در ایران است. برای ارزیابی تأثیر نژادهای ریزوبیومی و ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر روابط آبی و ویژگی‌های فتوسنتزی گیاه نخود زراعی (*Cicer arietinum L.*) گونهٔ آرمان، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های تصادفی در مزرعهٔ پژوهشی دانشگاه زنجان اجرا شد. در این آزمایش، سطوح آبیاری در دو سطح (آبیاری مطلوب در فصل رشد و بدون آبیاری در کل دورهٔ رشد) در کرت‌های اصلی؛ و سطوح کودی با ۷ سطح (شاهد یا فقدان مصرف کود شیمیایی و بیولوژیکی، مصرف ۵۰ کیلوگرم اوره هنگام کاشت، تلقیح بذر با *Mesorhizobium ciceri* نژاد SWRI-3، تلقیح بذر با *Mesorhizobium ciceri* نژاد SWRI-17، تلقیح بذر با PGPR، تلقیح مشترک با نژادهای ریزوبیومی SWRI-3+ SWRI-17 و تلقیح مشترک با نژادهای ریزوبیومی و ریزوباکترهای محرک رشد SWRI-3+SWRI-17+PGPR) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. طبق نتایج این پژوهش، محتوای نسبی آب، فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای، محتوای کلروفیل و عملکرد دانه در وضعیت تنش خشکی نسبت به آبیاری مناسب به‌ترتیب ۲۳، ۶۲، ۹۱، ۲۹ و ۴۱ درصد کاهش یافت. همچنین در وضعیت تنش خشکی محتوای نسبی آب، فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای و عملکرد دانه در تیمار تلقیح بذر با نژادهای ریزوبیومی و ریزوباکتری‌های محرک رشد (SWRI-3+SWRI-17+PGPR) بیش از سایر تیمارها بود و برای نمونه در مقایسه با شاهد (فقدان مصرف کودهای شیمیایی و زیستی) به‌ترتیب ۱/۱۴، ۱/۶۷، ۱/۶، ۱/۴۹ و ۳/۵۸ برابر بود. به نظر می‌رسد در هر دو وضعیت فاریاب و دیم، تلقیح مشترک بذر با نژادهای ریزوبیومی و ریزوباکتری‌های محرک رشد با تأثیر بر روابط آبی و ویژگی‌های فتوسنتزی، باعث افزایش فراوان عملکرد دانه در مقایسه با مصرف متداول کودهای شیمیایی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ریزوباکتری‌های محرک رشد، ریزوبیوم، فتوسنتز خالص، محتوای نسبی آب.

مقدمه

گیاهان همواره در وضعیت‌های طبیعی و زراعی با تنش مواجهند. چندین عامل زنده (حشرات، قارچ‌ها، ویروس‌ها و علف‌های هرز) و غیر زنده (خشکی، شوری، درجه حرارت‌های زیاد و کم، غرقابی و تشعشع) بر رشد گیاهان عالی تأثیر می‌گذارد (Lawlor, 2002). از بین تنش‌های محیطی، تنش خشکی بیش از هر عامل دیگری رشد گیاه و تولید محصولات زراعی را محدود می‌کند (Zhu, 2002). یکی از ویژگی‌های مناطق نیمه‌خشک بارندگی کم همراه با تلفات تبخیری زیاد است که موجب می‌شود رطوبت مهم‌ترین عامل محدودکننده برای تولید محصول در این مناطق باشد (Harris *et al*., 2000).

درمجموع حبوبات دومین گروه مهم محصولات زراعی پس از غلات به‌شمار می‌روند و بخش مهمی از جیرهٔ اصلی غذایی بسیاری از مردم فقیر جهان را تشکیل می‌دهند (Parsa & Bagheri, 2007). پروتئین موجود در

تلفن: ۰۹۱۲۶۴۲۰۰۷۸ E-mail: JABBARIFARHAD@YAHOO.COM

حبوبات ۳-۲ برابر غلات و ۲۰ برابر گیاهان غده‌ای است (Majnoun Hosseini, 2007). نخود (*Cicer arietinum* L.) از لحاظ سطح زیر کشت بین حبوبات مقام سوم و بین سایر گیاهان زراعی مقام نوزدهم را دارد و در سی‌وچهار کشور دنیا کشت می‌شود (Onyari, 2010). سطح زیر کشت نخود در ایران ۵۶۵۰۰۰ هکتار و تولید آن ۳۱۵۰۰۰ تن است (FAO, 2012). تنش خشکی بی‌شک مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد نخود است (Boutraa Sanders, 2001). ۹۵ درصد سطح زیر کشت نخود در ایران به‌صورت دیم است. به دلیل فقدان بارندگی در دورهٔ گل‌دهی، غلاف‌دهی و پُر شدن دانه، تنش خشکی انتهایی مهم‌ترین عامل بهره‌وری پایین نخود در ایران است (Sabbaghpoor, 2006). در آزمایشی نشان داده شد که عملکرد دانهٔ نخود در اثر تنش خشکی انتهایی از ۲۷۶۶ کیلوگرم در هکتار در وضعیت آبیاری کافی به ۹۰۹ کیلوگرم در هکتار در وضعیت دیم کاهش یافت. به‌عبارتی کاهش ۶۷ درصدی رخ داد (Onyari, 2003). یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد نخود در وضعیت تنش خشکی، کاهش فتوسنتز است (Boutraa Sanders, 2001). فتوسنتز در متابولیسم گیاهان عالی جایگاه بسیار تعیین‌کننده‌ای دارد و سرعت فتوسنتز عامل اصلی تعیین‌کنندهٔ تولید مادهٔ خشک و توان تولید گیاهان محسوب می‌شود (Hopkins, 1999). پژوهشگران بسیاری کاهش فتوسنتز در وضعیت تنش خشکی را گزارش کرده‌اند (Lawlor & Cornic, 2002; Reddy *et al*., 2004).با این حال، اینکه آیا آسیب‌های متابولیکی فتوسنتز را محدود می‌کند یا تنش خشکی با بستن روزنه‌ها؟ (Lawson *et al*., 2003). اغلب پذیرفته شده است که محدودیت روزنه‌ای عامل اصلی تعیین‌کنندهٔ کاهش فتوسنتز در وضعیت تنش خشکی است (Cornic, 2000).در عین حال برخی عوامل غیرروزنه‌ای شامل فسفوریلاسیون نوری (Meyer & Genty, 1999)، تولید مجدد ریبولوز- او ۵-بیس فسفات (RuBP) (Cornic, 2000)، فعالیت رابیسکو (Medarno *et al*., 1997) و سنتز ATP در وضعیت تنش خشکی آسیب‌دیده و باعث کاهش فتوسنتز می‌شوند. کاهش فتوسنتز در گیاه نخود در وضعیت تنش خشکی گزارش شده است (Leport *et al*., 1999). میانگین سرعت فتوسنتز در گیاهان آبیاری‌شدهٔ نخود ۲۷-۲۱ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه گزارش شده است. در حالی‌که، در کشت دیم و ۱۲۴ روز بعد از کاشت، سرعت فتوسنتز به ۲ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه کاهش یافت؛ همچنین به دلیل همزمانی کاهش سرعت فتوسنتز با آغاز تشکیل نیام، عملکرد دانه بسیار کاهش یافت (Leport *et al*., 1999). در آزمایش دیگری که بر روی شش لگوم دانه‌ای سرما دوست انجام شد، میانگین سرعت فتوسنتز نخود در وضعیت آبیاری مناسب ۲۶ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه بود. اما ۱۰۵ روز بعد از کاشت، فتوسنتز به ۱۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه کاهش یافت که دلیل اصلی آن کاهش هدایت روزنه‌ای بود (Boutraa Sanders, 2001). گزارش شده است که در گیاه لوبیا محتوای کلروفیل، فتوسنتز خالص، غلظت دی‌اکسیدکربن بین سلولی و سرعت تعرق در اثر تلقیح با باکتری‌های ریزوبیومی افزایش یافته است. و تلقیح ریزوبیومی همراه با کاربرد مولیبدن، میزان افزایش متغیرهای فتوسنتزی بارزتر بود (Bambara & Ndakidemi, 2009).

باکتری‌های مختلفی رشد گیاه را تقویت می‌کنند که درمجموع، ریزوباکترهای تقویت‌کنندهٔ رشد گیاه (PGPR) نامیده می‌شوند (Verna *et al*., 2010).این باکتری‌ها با افزایش انحلال فسفر (Singh & Kapoor, 1999)، تولید سیدروفورها و تولید هورمون‌های گیاهی اثر مثبت چشمگیری بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌گذارند (Verna *et al*., 2010). براساس بررسی‌های انجام شده دربارهٔ تأثیر باکتری‌های ریزوبیومی بر پارامترهای تبادلات گازی، مطالعات کمی در سطح بین‌المللی و داخلی انجام شده است، بنابراین هدف از این پژوهش ارزیابی متغیرهای تبادلات گازی در ارتباط با تلقیح با کودهای ریزوبیومی و ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه در وضعیت آبیاری مناسب و تنش خشکی در گیاه نخود است تا اطلاعات تازه‌ای دربارهٔ مکانیسم تأثیر خشکی بر کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دست یابیم.

مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر تلقیح بذر نخود با کودهای زیستی ریزوبیومی و ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه بر روابط آبی و پارامترهای تعیین‌کنندهٔ فتوسنتزی گیاه نخود

(*Cicer arietinum* L.)، آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های تصادفی در چهار تکرار در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه زنجان انجام گرفت. برخی ویژگی‌های اقلیمی محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول۱. برخی ویژگی‌های اقلیمی محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰. ویژگی‌های اقلیمی منطقه، در دورهٔ رشد گیاه به‌صورت اعداد برجسته در داخل جدول نشان داده شده‌اند.

	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر
بارندگی کل(mm)	۱	۸۲/۱	۱/۱	۲۶/۵	۴۵/۳	۲۱/۵	۹۴/۳	۵۵	۱۷/۷	۱/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲
حداکثر میانگین حرارت روزانه (سلسیوس)	۲۳/۱	۹/۹	۷/۴	۶/۴	۲/۴	۵/۶	۱۵/۴	۲۲/۳	۲۶/۷	۳۰/۲	۳۲/۸	۲۹/۱	۲۴/۴
حداقل میانگین حرارت روزانه (سلسیوس)	۶/۴	۰/۶	-۵/۹	-۴/۶	-۷/۱	-۴/۹	۲/۶	۷/۲	۱۱/۱	۱۳/۷	۱۵/۸	۱۳/۴	۶/۹

در این آزمایش سطوح آبیاری در دو سطح (آبیاری مناسب از سبز شدن تا رسیدگی محصول و فقدان آبیاری در کل طول دورهٔ رشد) در کرت‌های اصلی و کودهای زیستی و شیمیایی در ۷ سطح (شاهد یا فقدان کاربرد کود، مصرف ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار موقع کاشت، تلقیح بذر با *Mesorhizobium ciceri* نژاد SWRI-3، تلقیح با *Mesorhizobium ciceri* نژادSWRI-17[1]، PGPR، ترکیب نژادهای ریزوبیومی (SWRI-17 + SWRI-3)،ترکیب همهٔ کودهای زیستی (SWRI-3+ SWRI-17+ PGPR) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) استفاده‌شده ترکیبی از *Azotobacter chroococcum* strain 12، *Azospirillum lipoferum* strain of و *Pseudomonas flourescens* strain 169 بود که همه از باکتری‌های طبیعی و بومی خاک‌های کشور هستند و با بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب، جدا و خالص‌سازی شده‌اند. برخی ویژگی‌های مرتبط با خاک مزرعهٔ محل اجرای آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است. برای تعیین ویژگی‌های مرتبط با خاک مزرعهٔ محل اجرای پژوهش، ۵ نقطهٔ مزرعه از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد. سپس این نمونه‌های خاک با هم مخلوط شدند و از نمونهٔ مرکب، مقداری خاک به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه زنجان برای تعیین ویژگی‌های مدنظر تحویل داده شد.

جدول ۲. برخی ویژگی‌های مرتبط با خاک محل اجرای آزمایش

بافت خاک	pH	EC(dS/m)	OC(%)	N(%)	P(mg/kg)	K(mg/kg)
لوم شنی	۷/۶	۱/۲	۱/۷۵	۰/۲	۸/۴	۱۵۶

گونهٔ نخود استفاده‌شده در این آزمایش آرمان بود. این گونه جز گونه‌های پر محصول اصلاح‌شده، تیپ بوتهٔ ایستاده و مقاوم به بیماری برق‌زدگی دارد که از مؤسسهٔ تحقیقات دیم سرارود تهیه شد. برای تلقیح بذر با کودهای زیستی نامبرده، ۱۲ ساعت قبل از کاشت بذرها داخل مایع تلقیح فرموله‌شده خیسانده شدند. به توصیهٔ کارشناسان مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب، به‌ازای هر ۸۰ کیلوگرم نخود حدوداً ۱ لیتر کود مایع زیستی مصرف می‌شود. بدین ترتیب، برای تلقیح بذر مورد نیاز برای هر کرت که حدود یک کیلوگرم بود، ۱۵ میلی‌لیتر از کودهای زیستی استفاده شد. برای تیمارهای ترکیبی (SWRI-3+SWRI-17 و PGPR+SWRI-3+SWRI-17) نیز این مقدار بین کودهای زیستی تقسیم و به نسبت‌های مساوی برای تلقیح استفاده شد. سپس قبل از کاشت، بذرها در پارچه‌ای تمیز قرار گرفتند تا خشک شوند و بلافاصله کشت شدند. عملیات کاشت نیمهٔ دوم فروردین ۱۳۹۱ انجام شد. فاصلهٔ ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر و فاصلهٔ بوته‌ها بر روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کشت به‌صورت کپه‌ای بود و در هر کپه ۳ بذر کاشته شد. هر کرت آزمایش شامل ۵ خط ۵ متری بود. گیاهچه‌ها در مرحلهٔ ۵برگی تنک شدند تا در هر کپه فقط یک بذر باقی بماند و تراکم ۲۰ بوته در

1. Soil and Water Research Institute

مترمربع به‌دست آید. عمق کاشت بذر، ۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. عملیات مبارزه با علف‌های هرز در ۲ نوبت با وجین دستی انجام گرفت. در هر واحد آزمایشی ۲ ردیف از ۵ ردیف و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای ردیف‌ها حاشیه در نظر گرفته شد.

محتوای نسبی آب

برای تعیین اثر تنش خشکی و تلقیح با کودهای زیستی و شیمیایی بر روابط آبی، محتوای نسبی آب در مرحلهٔ پر شدن دانه اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب که بالاترین و پهن‌ترین برگ در هر بوته نمونه‌برداری شد. برگ‌های بریده‌شده از انتهای دمبرگ، در فویل آلومینیومی پیچیده و داخل کیسهٔ پلاستیکی قرار گرفتند و در جای خنک نگهداری شدند. وزن تازه[1] دو ساعت بعد از قطع برگ‌ها تعیین شد. برای تعیین وزن آماسیده[2] ابتدا برگ‌ها به قطعه‌های یک سانتی‌متری تقسیم و سپس این قطعه‌های برگی به مدت ۱۸-۱۶ ساعت در دمای اتاق (تقریباً ۲۰ درجهٔ سلسیوس) در آب مقطر قرار داده شدند. پس از این مدت، این قطعه‌ها سریع و به‌دقت با استفاده از دستمال کاغذی خشک شدند و وزن آنها تعیین شد. آنگاه قطعه‌های برگ به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجهٔ سلسیوس در آون قرار گرفتند تا وزن خشک[3] آنها نیز اندازه‌گیری شود. محتوای آب نسبی از رابطهٔ ۱ اندازه‌گیری شد (Merah, 2001):

رابطهٔ (۱)

محتوای نسبی آب= [(وزن تازه) – (وزن خشک)/ (وزن آماس – وزن خشک)] × ۱۰۰

محتوای کلروفیل

برای تعیین مقدار کلروفیل از روش ارائه‌شده توسط میدنر و همکاران (Midner *et al*., 1981) استفاده شد. به‌این ترتیب که همزمان با اندازه‌گیری محتوای نسبی آب، برگ‌های کاملاً یافته از بوته‌های تیپیک نمونه‌برداری شدند. سپس یک گرم از نمونه‌های برگی انتخاب و بعد از قطعه‌قطعه کردن، ۱۰ ثانیه در هاون چینی ساییده شدند تا کاملاً له شوند. آنگاه ۵ میلی‌لیتر استون به لولهٔ آزمایش حاوی نمونه‌های برگی له‌شده اضافه شد و درپوش لولهٔ آزمایش گذاشته و ۱۰ ثانیه به‌شدت تکان داده شد. لولهٔ آزمایش به مدت ۱۰ دقیقه ساکن نگه داشته شد و ۳ میلی‌لیتر آب به آن افزوده شد. در ادامه ۳ میلی‌لیتر اتر افزوده و به‌شدت تکان داده شد تا حلال‌ها جدا شوند. آنگاه یک میلی‌لیتر از محلول سبز تیره بالایی با پیپت جدا و ۹ میلی‌لیتر استون به آن اضافه شد و میزان جذب محلول با دستگاه اسپکتر و فتومتر (Spectrophotometer, model:V-530, JASCO, Japan) مشخص شد. برای این منظور ابتدا اسپکتروفتومتر با استون صفر شد و مقدار جذب محلول در طول موج‌های ۶۴۵ نانومتر (کلروفیل a) و ۶۶۳ نانومتر (کلروفیل b) به‌دست آمد (Ashraf *et al*., 1994).

میلی‌گرم کلروفیل a در هر گرم وزن تر = [(جذب در ۶۶۳ نانومتر) ۱۲/۷ – (جذب در ۶۴۵ نانومتر) ۲/۶۹] × V / (۱۰۰۰ * W)

میلی‌گرم کلروفیل b در هر گرم وزن تر = [(جذب در ۶۴۵ نانومتر) ۲۲/۹ – (جذب در ۶۶۳ نانومتر) ۴/۶۹] × V / (۱۰۰۰ * W)

میلی‌گرم کلروفیل a , b در هر گرم وزن تازه = [(جذب در ۶۶۳ نانومتر) ۲۰/۲ + (جذب در ۶۴۵ نانومتر) ۸/۰۲] × V / (۱۰۰۰ * W)

در روابط فوق V حجم نهایی نمونهٔ استخراج‌شده و W وزن تر نمونه است.

تبادلات گازی

برای اندازه‌گیری فتوسنتز در واحد سطح برگ (میکرومول دی‌اکسیدکربن در مترمربع در ثانیه)، هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) و غلظت دی‌اکسیدکربن بین سلولی (میکرومول بر مول) از دستگاه تحلیل‌گر گاز مادون قرمز[4] (IRGA, model: LCA4, ADC Biosientific Ltd. Hoddeston, UK) استفاده شد. اندازه‌گیری ساعت ۱۲-۱۰ صبح و با شدت نور معادل ۱۴۰۰-۱۲۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه انجام شد. زیرا در شدت نوری معادل ۱۰۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه هدایت روزنه‌ای به

1. Fresh Weight
2. Turgid Weight
3. Dry Weight
4. Infra Red Gas Analyser

حداکثر می‌رسد. مشاهده شده است که هدایت روزنه‌ای ساعت ۱۰ صبح تا یک بعدازظهر تغییرات چندانی ندارد (Clark & Mc Ciag, 1982; Gruters *et al*., 1995). قبل از شروع اندازه‌گیری، دستگاه به مدت ۱۰ دقیقه روشن شد تا اصطلاحاً گرم[1] شود. برای اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به تبادلات گازی، قسمت میانی بالاترین برگ بوته از هر تیمار در اتاقک[2] شیشه‌ای انبرک دستگاه قرار داده شد و پس از ثبات شرایط درون اتاقک، داده‌های مربوط ثبت شد.

عملکرد دانه

برای تعیین عملکرد دانه پس از رسیدگی محصول (۱۱۰ روز بعد از کاشت)، ۱۰ بوته از هر کرت تصادفی انتخاب و عملکرد دانه آن تعیین شد.

تجزیهٔ داده‌ها

تجزیهٔ واریانس و سایر محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و مقایسهٔ میانگین صفات با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب

همان‌گونه که مشاهده می‌شود تنش خشکی اثر معناداری بر محتوای نسبی آب داشت (جدول ۳). محتوای نسبی آب در وضعیت آبیاری مناسب و تنش خشکی به‌ترتیب ۷۳/۷۵ و ۵۹/۹۲ درصد بود. به عبارت دیگر در اثر تنش خشکی، محتوای نسبی آب ۱۸/۷ درصد کاهش یافت. پژوهشگران دیگر نیز کاهش محتوای نسبی آب گیاه نخود در اثر تنش خشکی را گزارش کرده‌اند (Leport *et al*., 1999). اثر متقابل سطوح آبیاری در سطوح کودی نیز با سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود (جدول ۳). در وضعیت آبیاری مناسب، بیشترین محتوای نسبی آب از ترکیب دو تیمار کود زیستی ریزوبیومی (SWRI-3+SWRI-17) به اندازهٔ ۸۰/۴۴ درصد به‌دست آمد. در عین حال، کمترین محتوای نسبی آب در تیمار کود نیتروژنهٔ اوره و شاهد کودی به‌ترتیب ۶۸/۲۷ و ۶۵/۱۲ درصد مشاهده شد (جدول ۴). با مراجعه به جدول ۴ معلوم می‌شود که تلقیح بذر با کودهای زیستی (به‌صورت انفرادی یا ترکیبی) در وضعیت آبیاری مناسب، محتوای نسبی آب بیشتری را در مقایسه با شاهد کودی و کود نیتروژنهٔ اوره موجب شده است (جدول ۴). درضمن مشخص می‌شود که استفاده از ترکیب کودهای زیستی نسبت به کاربرد جداگانهٔ آنها سبب افزایش محتوای نسبی آب شده است (جدول ۴). بیشترین محتوای نسبی آب در وضعیت تنش خشکی ۶۴/۳۸ درصد، از تیمار ترکیب همهٔ کود زیستی (SWRI-3+SWRI-17+PGPR) به‌دست آمد. ترکیب دو کود زیستی ریزوبیومی (SWRI-3+SWRI-17) و تیمار شاهد کودی به‌ترتیب با ۵۶/۸ و ۵۶/۲ درصد کمترین مقدار محتوای نسبی آب را در وضعیت تنش خشکی به خود اختصاص داده بودند. کود زیستی PGPR با تولید ترکیب‌های مختلف محرک رشد از جمله فیتوهورمون‌ها (Verma, 2010) موجب بهبود رشد ریشه (Dashti *et al*., 1998) می‌شود. افزایش رشد ریشه در وضعیت تنش خشکی یک مزیت عمده به‌شمار می‌رود چون باعث افزایش جذب آب و بهبود ویژگی‌های محتوای نسبی آب در وضعیت تنش خشکی می‌شود و گیاه را به تنش خشکی سازگار می‌کند (Merah, 2001).

فتوسنتز خالص

تنش خشکی اثر معناداری بر فتوسنتز خالص گیاه نخود داشت (جدول ۳). فتوسنتز خالص در وضعیت آبیاری مناسب و تنش خشکی به‌ترتیب ۱۷/۳۱ و ۶/۵۲ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه بود. به عبارت دیگر سرعت فتوسنتز خالص در وضعیت تنش خشکی در گیاه نخود ۶۲ درصد کاهش یافت. دلیل کاهش فتوسنتز در وضعیت تنش خشکی، بسته‌شدن روزنه‌ها (محدودیت روزنه‌ای) یا آسیب به مجموعه عوامل بیوشیمیایی تثبیت‌کنندهٔ دی‌اکسیدکربن است (ردی و همکاران، ۲۰۰۴). پژوهشگران دیگر نیز کاهش شدید فتوسنتز نخود در وضعیت تنش خشکی را گزارش کرده‌اند

1. Warm up
2. Chamber

(Leport *et al.*, 1999). اثر متقابل سطوح کودی بر سطوح آبیاری نیز معنادار بود (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیهٔ واریانس صفات مرتبط با روابط آبی و تبادلات گازی نخود تلقیح‌شده با کودهای زیستی در وضعیت آبیاری مناسب و تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		محتوای نسبی آب	فتوسنتز خالص	هدایت روزنه‌ای	غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای
تکرار	۳	۱۲/۲۶۶^{ns}	۳۴/۹۵**	۰/۰۳۱۳۴^{ns}	۲۳۵۶/۰*
سطوح آبیاری	۱	۲۶۷۶/۱۰۵**	۱۶۴۷/۵۷**	۳/۹۶۴۴۶**	۲۶۶۰۱/۲**
خطای اصلی	۳	۷۲/۲۸۴	۱۷/۰۷	۰/۰۰۴۳۳	۲۴۲۷/۵
سطوح کودی	۶	۹۶/۰۹۶**	۸/۱۱^{ns}	۰/۲۰۲۷۲**	۳۳۷۹/۲**
سطوح آبیاری در سطوح کودی	۶	۶۳/۰۹۴*	۲۰/۱۷**	۰/۲۰۴۰۱**	۱۶۹۴/۶*
خطای کل	۳۶	۲۰/۱۹۳	۴/۰۲	۰/۰۱۸۰۹	۵۳۷/۳
ضریب تغییرات(٪)		۶/۷۲	۱۳/۵۴	۱۵/۱۴	۸/۹۱

ns، * و ** به‌ترتیب: فقدان تفاوت معنادار، تفاوت معنادار با سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

در وضعیت آبیاری مناسب بیشترین فتوسنتز خالص از ترکیب دو کود زیستی ریزوبیومی (SWRI-3+SWRI-17) و کود زیستی SWRI-17 به‌ترتیب ۲۰/۴۳ و ۱۸/۱۳ میکرومول دی‌اکسیدکربن بر مترمربع در ثانیه به‌دست آمد. سایر تیمارهای کودی از نظر سرعت فتوسنتز خالص در وضعیت آبیاری مناسب تفاوت معناداری نداشتند. همچنین کمترین اندازهٔ فتوسنتز خالص در این وضعیت مربوط به PGPR، ۱۵/۸۱ میکرومول دی‌اکسیدکربن بر مترمربع در ثانیه بود (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسهٔ میانگین صفات مرتبط با روابط آبی و تبادلات گازی نخود تلقیح‌شده با کودهای زیستی در وضعیت آبیاری مناسب و تنش خشکی. هر ستون میانگین ۴ عدد است. میانگین‌های با حروف مشابه تفاوت معناداری با سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

سطوح کودی	محتوی نسبی آب(RWC)(٪)		فتوسنتز خالص $molC0_2\ m^{-2}.s^{-1}\mu$		هدایت روزنه‌ای $mol.\ m^{-2}.s^{-1}$		غلظت CO_2زیر روزنه‌ای $mmol.mol^{-1}$	
	آبیاری مناسب	تنش خشکی	آبیاری مناسب	تنش خشکی	آبیاری مناسب	تنش خشکی	آبیاری مناسب	تنش خشکی
شاهد	CD۶۵/۱۲	E۵۶/۲	B۱۶/۴۳	D۶/۴۵۰	B۰/۴۴۷۵	C۰/۰۵۰۰۰	DEF۲۳۵/۵	B۲۹۶/۰
کود نیتروژن	C۶۸/۲۷	DE۶۰/۱۶	B۱۷/۱۳	D۶/۰۷۳	B۰/۴۶۲۵	C۰/۰۴۷۵۰	EF۲۲۹/۸	DEF۲۳۱/۶
SWRI3	BC۷۰/۹	DE۶۰/۴۶	AB۱۷/۹۱	D۷/۳۵۰	A۱/۱۲۵	C۰/۰۶۰۰۰	BCD۲۶۷/۹	BC۲۸۹/۸
SWRI17	AB۷۷/۸۸	DE۶۰/۷۹	AB۱۸/۱۳	D۴/۳۹۲	B۰/۴۲۲۵	C۰/۰۳۵۰۰	F۲۱۸/۸	BC۲۸۰/۰
PGPR	AB۷۷/۶۵	DE۶۰/۶۷	B۱۵/۸۱	D۵/۲۸۰	B۰/۳۴۵۰	C۰/۰۵۷۵۰	EF۲۲۲/۸	BC۲۸۵/۵
SWRI3+SWRI17	A۸۰/۴۴	E۵۶/۸	A۲۰/۴۳	D۵/۴۱۰	A۰/۹۶۰۰	C۰/۰۵۰۰۰	CDEF۲۵۲/۸	A۳۳۱/۷
PGPR+SWRI3+SWRI17	AB۷۵/۹۶	CD۶۴/۳۸	B۱۵/۸۳	C۱۰/۷۹	B۰/۳۴۲۵	C۰/۰۸۰۰۰	DEF۲۴۱/۰	BCDE۲۵۸/۹

بیشترین فتوسنتز خالص در وضعیت تنش خشکی از ترکیب همهٔ کودهای زیستی (SWRI3+SWRI17+PGPR) ۱۰/۷۹ میکرومول دی‌اکسیدکربن بر مترمربع در ثانیه به‌دست آمد. همان‌گونه که مشاهده شد، در وضعیت آبیاری مناسب ترکیب دو کود زیستی ریزوبیومی (SWRI-3+SWRI-17) و در وضعیت تنش خشکی ترکیب همهٔ کودهای زیستی (SWRI-3+SWRI-17+PGPR) بیشترین محتوای نسبی آب را داشتند. به نظر می‌رسد در وضعیت آبیاری مناسب و تنش خشکی تلقیح بذر با ترکیب کودهای زیستی منجر به افزایش محتوای نسبی آب و درنهایت افزایش فتوسنتز خالص می‌شود. در این پژوهش افزایش فتوسنتز خالص نسبت به شاهد کودی و کود نیتروژنهٔ اوره در وضعیت تنش خشکی به‌ترتیب ۶۷ و ۷۷ درصد بود.

در پژوهشی بر روی لوبیا، میزان افزایش فتوسنتز در اثر تلقیح ریزوبیومی در آزمایش گلخانه‌ای و آزمایش مزرعه‌ای به‌ترتیب ۱۴۰ و ۸۱ درصد گزارش شده است (Bambara & Ndakidemi, 2009).

هدایت روزنه‌ای

میزان هدایت روزنه‌ای در سطوح مختلف آبیاری، متفاوت بود (جدول ۴). میزان هدایت روزنه‌ای در وضعیت شاهد و تنش خشکی به‌ترتیب به ۰/۶۲۷ و ۰/۰۵ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه بود. به عبارت دیگر در وضعیت تنش خشکی، هدایت روزنه‌ای ۹۲ درصد کاهش یافت. دلیل اصلی کاهش هدایت روزنه‌ای در وضعیت تنش خشکی، کاهش تورژسانس سلول‌های نگهبان اطراف منفذ روزنه است (ردی و همکاران، ۲۰۰۴). اغلب بسته‌شدن روزنه‌ها دلیل اصلی کاهش فتوسنتز در وضعیت تنش خشکی گزارش شده است (ریتچی و همکاران، ۱۹۹۰). پژوهشگران دیگر نیز کاهش هدایت روزنه‌ای نخود در وضعیت تنش خشکی را گزارش کردند (Leport *et al.*, 1999). در این پژوهش میزان کاهش فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای در وضعیت تنش خشکی به‌ترتیب ۶۲ و ۹۲ درصد بود. به‌عبارت دیگر، حساسیت فتوسنتز به تنش خشکی از هدایت روزنه‌ای کمتر است. پژوهشگران دیگر نیز این نتیجه را تأیید کرده‌اند (Shiferaw & Baker, 1996). گزارش شده است که با اعمال تنش خشکی ابتدا هدایت روزنه‌ای کاهش می‌یابد و سپس محتوای نسبی آب و فتوسنتز شروع به کاهش می‌کند (Ritchie *et al.*, 1990). اثر متقابل سطوح آبیاری در سطوح کودی با سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود (جدول ۳). بیشترین هدایت روزنه‌ای در وضعیت آبیاری مناسب از کود زیستی SWRI-3 و ترکیب دو کود زیستی ریزوبیومی (SWRI-3+SWRI-17) به‌ترتیب ۱/۱۲۵ و ۰/۹۶ مول بر مترمربع بر ثانیه به‌دست آمد (جدول ۴). بیشترین هدایت روزنه‌ای در وضعیت تنش خشکی از تیمار ترکیب همهٔ کودهای زیستی (PGPR+SWRI-3+SWRI-17) ۰/۰۸ مول بر مترمربع بر ثانیه حاصل شد (جدول۴). تیمارهای ترکیب دو کود زیستی ریزوبیومی (SWRI-3+SWRI-17) و ترکیب همهٔ کودهای‌زیستی(SWRI-3+SWRI-17+PGPR) به‌ترتیب در وضعیت آبیاری مناسب و تنش خشکی حداکثر محتوای نسبی آب و فتوسنتز خالص را داشتند. به نظر می‌رسد که در وضعیت تنش خشکی تلقیح بذر با کودهای زیستی باعث افزایش رشد ریشه (Dashti *et al.*, 1998) و تنظیم اسمزی (Dazzo *et al.*, 2010) می‌شود که موجب حصول محتوای نسبی آب بالاتر و فتوسنتز بیشتر می‌شود.

غلظت CO_2 زیرروزنه‌ای

تنش خشکی اثر معناداری بر غلظت CO_2 زیرروزنه‌ای داشت (جدول ۳). اندازهٔ CO_2 زیرروزنه‌ای در وضعیت آبیاری مناسب و تنش خشکی به‌ترتیب ۲۳۸/۳۷ و ۲۸۱/۹۲ میلی‌مول بر مول رسید. بنابراین در وضعیت تنش خشکی CO_2 زیرروزنه‌ای ۱۸ درصد افزایش نشان داد. غلظت CO_2 زیرروزنه‌ای نشان‌دهندهٔ مصرف یا فقدان مصرف CO_2 در چرخهٔ کالوین است و میزان آسیب به عوامل تثبیت‌کنندهٔ آن را نشان می‌دهد. در وضعیت تنش خشکی آسیب واردشده به عوامل بیوشیمیایی تثبیت CO_2 سبب شد که اسیمیلاسیون CO_2 کاهش و درنتیجه CO_2 در فضای زیرروزنه‌ای افزایش یابد (Reddy *et al.*, 2004). اثر متقابل سطوح آبیاری در سطوح تنش هم با سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود.

به این ترتیب که در وضعیت آبیاری مناسب، بیشترین CO_2 زیرروزنه‌ای در تیمار تلقیح بذر با SWRI-3، ۲۶۷/۹ میلی‌مول بر مول مشاهده شد. در وضعیت تنش خشکی هم بیشترین CO_2 زیرروزنه‌ای در تیمار ترکیب دو کود زیستی ریزوبیومی (SWRI-3+SWRI-17) ۳۳۱/۷ میلی‌مول بر مول مشاهده شد. همچنین کمترین اندازهٔ CO_2 زیرروزنه‌ای در تیمار کود نیتروژنهٔ اوره و ترکیب سه کود زیستی (PGPR+SWRI-3+SWRI-17) به‌ترتیب ۲۳۱/۶ و ۲۵۸/۹ میلی‌مول بر مول مشاهده شد. احتمالاً غلظت CO_2 زیرروزنه‌ای کمتر در وضعیت تنش خشکی به مفهوم آسیب کمتر به دستگاه فتوسنتزی است (Reddy *et al.*, 2004).

محتوای کلروفیل

تنش خشکی اثر معناداری بر محتوای کلروفیل a داشت (جدول ۵). میزان کلروفیل a در وضعیت آبیاری مناسب و تنش خشکی به‌ترتیب ۴۳/۴۷ و ۴۰/۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود. بنابراین کلروفیل a در وضعیت تنش خشکی ۷ درصد کاهش یافت. اثر متقابل سطوح آبیاری در سطوح کودی هم با سطح احتمال ۱ درصد معنادار

بود (جدول ۵). در وضعیت آبیاری مناسب از لحاظ میزان کلروفیل a تفاوتی بین تیمارهای مختلف کودی وجود نداشت. اما در وضعیت تنش خشکی کلروفیل a تیمارهای تلقیح بذر با کودهای زیستی (به‌صورت انفرادی و ترکیب) بیش از تیمار شاهد کودی و کود نیتروژنهٔ اوره بود (جدول ۶).

جدول ۵. تجزیهٔ واریانس محتوای کلروفیل و عملکرد دانه گونهٔ نخود آرمان تلقیح شده با کودهای زیستی و شیمیایی در وضعیت آبیاری مناسب وتنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	عملکرد دانه
تکرار	۳	۵/۱۲۴ns	۴۶۴/۸**	۵۰۹/۸**	۶۱۶۹۲ns
سطوح آبیاری	۱	۱۱۳/۹۶۷**	۱۵۴۷۲/۶**	۱۷۵۷۰/۹**	۵۶۶۹۹۳۸**
خطای اصلی	۳	۱/۸۷۲	۳۴۸/۸	۳۶۱/۱	۱۳۴۸۸۷
سطوح کودی	۶	۷/۵۳۲**	۲۸۷/۷**	۳۹۵/۷**	۱۹۸۳۶۲۹**
سطوح آبیاری در سطوح کودی	۶	۸/۸۳۴**	۱۷۹/۱**	۲۷۱/۹**	۲۲۹۷۳۲**
خطای کل	۳۶	۲/۱۶۹	۵۰/۵	۵۳/۷	۸۶۶۶
ضریب تغییرات(٪)		۶/۲۰	۱۹/۲۱	۷/۰۲	۱۲/۰۵

ns، * و ** به‌ترتیب: فقدان تفاوت معنادار، تفاوت معنادار با سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

تنش خشکی اثر معناداری بر میزان کلروفیل b داشت (جدول ۵). میزان کلروفیل b در وضعیت آبیاری مناسب و تنش خشکی به‌ترتیب ۷۸/۶ و ۳۶/ ۴۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود. بنابراین در وضعیت تنش خشکی، کلروفیلb ، ۴۲ درصد کاهش یافت. اثر متقابل سطوح آبیاری در سطوح کودی هم با سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود. در حالی‌که در وضعیت آبیاری مناسب تفاوتی بین سطوح کودی مشاهده نمی‌شود. در وضعیت تنش خشکی ترکیب دو کود زیستی ریزوبیومی (SWRI-3+SWRI-17) بیشترین کلروفیل را برابر با ۷۹/۸۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به خود اختصاص داده است (جدول ۶). در عین حال همانند کلروفیل a، در اثر تلقیح بذر با کودهای زیستی (به‌صورت انفرادی و ترکیب) میزان کلروفیل b در وضعیت تنش خشکی نسبت به شاهد کودی و کود نیتروژنهٔ اوره افزایش یافت (جدول ۶).

کلروفیل کل نیز در وضعیت تنش خشکی کاهش یافت. کلروفیل کل در وضعیت آبیاری مناسب و تنش خشکی به‌ترتیب ۱۲۲/۰۸ و ۸۶/۶۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود. بنابراین در وضعیت تنش خشکی، کلروفیل کل ۲۹ درصد کاهش یافت. اثر متقابل سطوح آبیاری در سطوح تنش نیز با سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود (جدول ۵). در وضعیت شاهد تفاوتی بین تیمارهای مختلف کودهای زیستی و شیمیایی وجود نداشت اما در وضعیت تنش خشکی، کلروفیل کل ترکیب دو کود زیستی ریزوبیومی (SWRI-3+SWRI-17) ۹۸/۸۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیشتر از سایر تیمارهای کودی بود. درضمن کلروفیل کل در تیمارهای تلقیح بذر با همهٔ کودهای زیستی (به‌صورت مجزا و ترکیب) در وضعیت تنش خشکی، بیش از شاهد کودی و تیمار کود نیتروژنهٔ اوره بود (جدول ۶).

پژوهشگران دیگر نیز کاهش کلروفیل در وضعیت تنش خشکی را گزارش کرده‌اند (Reddy *et al*., 2004). به نظر می‌رسد کاهش کلروفیل در وضعیت تنش خشکی به علت تجزیهٔ آن (Schuttz *et al*., 2001) یا تجزیهٔ آن در اثر افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز (Reddy *et al*., 2004) است.

همان‌گونه که مشاهده شد در این پژوهش تیمارهای تلقیح بذر با کودهای زیستی در وضعیت تنش خشکی محتوای کلروفیل بیشتری در مقایسه با تیمار شاهد کودی یا کود نیتروژنهٔ اوره داشتند؛ احتمالاً دلیل آن محتوای نسبی بیشتر کودهای زیستی در وضعیت تنش خشکی است که موجب اجتناب نخود از تنش خشکی می‌شود. وجود همبستگی مثبت معنادار بین محتوای نسبی آب و محتوای کلروفیل دلیلی بر این استدلال است (جدول ۷).

گزارش شده است که در لوبیا، تلقیح بذر با کودهای زیستی موجب افزایش میزان کلروفیل شد و همراهی

تلقیح بذر با کاربرد مولیبدن، درصد افزایش را بیشتر می‌کند (Bambara & Ndakidemi, 2009).

جدول ۶. مقایسهٔ میانگین کلروفیل و عملکرد دانهٔ نخود زراعی گونهٔ آرمان تلقیح‌شده با کودهای شیمیایی و زیستی در وضعیت آبیاری مناسب و تنش خشکی. هر ستون میانگین ۴ عدد است. میانگین‌های با حروف مشابه تفاوت معناداری با سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

سطوح کودی	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)		کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)		کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)		عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	
	آبیاری مناسب	تنش خشکی	آبیاری مناسب	تنش خشکی	آبیاری مناسب	تنش خشکی	آبیاری مناسب	تنش خشکی
شاهد	AB۴۳/۴۶	D۴۶/۷۲	A۷۴/۵۴	D۲۵/۴۰	A۱۱۸/۰	D۶۲/۱	FG۱۱۸۹	H۵۴۱/۷
کود نیتروژن	A۴۴/۰۴	C۳۹/۱۸	A۸۱/۲۰	C۳۹/۲۲	A۱۲۵/۲	C۷۸/۴۰	DE۱۴۷۱	H۴۳۵
SWRI3	AB۴۳/۵۹	AB۴۱/۷۴	A۷۶/۳۷	BC۴۸/۴۸	A۱۲۰/۰	B۹۰/۲۲	CD۱۶۴۹	G۹۸۳/۴
SWRI17	AB۴۳/۱۰	6AB۴۱/۸۶	A۷۹/۷۶	BC۴۵/۷۹	A۱۲۲/۹	BC۸۷/۶۵	B۱۹۶۵	EF۱۲۸۲
PGPR	A۴۳/۷۴	AB۴۱/۶۵	A۷۹/۳۷	B۵۴/۸۴	A۱۲۳/۱	B۹۶/۴۹	BCD۱۷۱۵	E۱۰۰۸
SWRI3+SWRI17	AB۴۳/۵۸	AB۴۲/۰۹	A۷۹/۸۹	B۵۶/۷۲	A۱۲۳/۵	B۹۸/۸۱	BC۱۷۳۶	E۹۵۱/۴
PGPR+SWRI3+SWRI17	AB۴۲/۷۵	BC۴۱/۰۵	A۷۹/۱۱	BC۴۷/۰۹	A۱۲۱/۹	B۹۲/۸۴	A۲۳۳۵	B۱۹۴۰

عملکرد دانه

تنش خشکی بر عملکرد دانهٔ نخود تأثیر گذاشت (جدول ۵). میانگین عملکرد دانه در وضعیت فاریاب و دیم به‌ترتیب ۱۷۲۳ و ۱۰۲۰ کیلوگرم در هکتار بود. بنابراین تنش خشکی باعث کاهش ۴۰ درصدی عملکرد دانهٔ نخود شد. در آزمایشی نشان داده شد که عملکرد دانهٔ نخود از ۲۷۶۶ کیلوگرم در هکتار در وضعیت آبیاری کافی به ۹۰۹ کیلوگرم در وضعیت دیم کاهش یافت. بدین‌ترتیب ۶۷ درصد کاهش رخ داد (Onyari *et al.*, 2003). براساس نتایج پژوهشی، عملکرد دانهٔ نخود بر اثر آبیاری ۱۲۴-۷۴ درصد افزایش یافت (Rajin anvar *et al.*, 2003). در این پژوهش مشخص شد که عملکرد دانهٔ نخود در وضعیت دیم بسیار کاهش یافت. میانگین عملکرد دانهٔ نخود در ایران کمتر از نصف میانگین جهانی آن است (Sabaghpour *et al*, 2006)، دلایل زیادی برای کم بودن عملکرد نخود در ایران وجود دارد اما بی‌شک مهم‌ترین آنها تنش خشکی است (Leport *et al.*, 1999). به دلیل فقدان بارندگی در دورهٔ گل‌دهی، غلاف‌دهی و پُر شدن دانه، تنش خشکی انتهایی مهم‌ترین عامل بهره‌وری پایین نخود در ایران است (Sabaghpour *et al*, 2006) . عملکرد دانهٔ نخود دیم را در تاریخ‌های کاشت مختلف از ۱۲۹۳-۸۳۲ کیلوگرم در هکتار و در تراکم‌های متفاوت از ۱۰۳۷-۹۶۱ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Fallah, 2008). اثر متقابل سطوح آبیاری در سطوح کودی از لحاظ عملکرد دانه معنادار بود (جدول۳). بیشترین عملکرد دانه در وضعیت آبیاری مناسب از تیمار ترکیب سایر کودهای زیستی (SWRI-3+SWRI-17+PGPR) ۲۳۳۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه در همین وضعیت از شاهد کودی، ۱۱۸۹ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. در وضعیت تنش خشکی هم بیشترین عملکرد دانه از ترکیب همهٔ کودهای زیستی (SWRI-3+SWRI-17+PGPR) ۱۹۴۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن از تیمارهای شاهد کودی و تیمار کود نیتروژنهٔ اوره به‌ترتیب ۵۴۱/۷ و ۴۳۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. همچنین می‌توان گفت که مصرف کودهای زیستی (به‌صورت منفرد و ترکیبی) باعث به‌دست آوردن عملکرد دانهٔ بیشتر نسبت به تیمار شاهد کودی (فقدان مصرف کود) و تیمار کود نیتروژنهٔ اوره در هر دو وضعیت آبیاری مناسب و تنش خشکی شد. عملکرد دانه در تیمار ترکیب سایر کودهای زیستی (SWRI-3+SWRI-17+PGPR) نسبت به تیمار شاهد کودی و کود نیتروژنهٔ اوره در وضعیت آبیاری مناسب به‌ترتیب ۵۰ و ۴۰ درصد بیشتر بود. این افزایش در وضعیت تنش خشکی به‌ترتیب ۷۵ و ۷۶ درصد بود. به نظر می‌رسد که کودهای زیستی ریزوبیومی با افزایش مقدار و کارایی تثبیت زیستی نیتروژن و ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه با افزایش دسترسی گیاه به عناصر مغذی مهمی همچون نیتروژن و فسفر و افزایش رشد ریشه باعث افزایش عملکرد دانهٔ نخود در هر دو وضعیت آبیاری مناسب و تنش خشکی می‌شوند (Sabaghpour *et al.*, 2006; Dashti *et al.*, 1998). افزایش عملکرد دانهٔ نخود

در اثر تلقیح با نژاد TAL 1148 نخود ۷۲ و ۷۰ درصد گزارش شده است (Elsheik & Hadi, 1999) که این افزایش عملکرد دانه با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

در این پژوهش، افزایش عملکرد دانهٔ نخود در اثر تلقیح با کودهای زیستی در مقایسه با شاهد کودی و کود نیتروژنهٔ اوره در وضعیت دیم به مراتب بیش از وضعیت فاریاب است که نشان می‌دهد کودهای زیستی ریزوبیومی و PGPR می‌توانند در کاهش آثار تنش خشکی تأثیر داشته باشند. همچنین در این بررسی ترکیب همهٔ کودهای زیستی به‌کار رفته در آزمایش، بیشترین عملکرد دانه را منجر شده است و استفاده از همه کودهای زیستی به‌صورت ترکیبی یا انفرادی در مقایسه با شاهد کودی و کود نیتروژنهٔ اوره عملکرد بیشتری را موجب شده است(جدول ۶). بین فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای همبستگی مثبت و معناداری در هر دو وضعیت آبیاری مناسب و تنش خشکی وجود دارد (جدول ۷). روزنه‌ها محل ورود دی‌اکسیدکربن مصرفی در چرخهٔ کالوین است، بنابراین اندازهٔ باز بودن منفذ روزنه ممکن است میزان ورود دی‌اکسیدکربن به برگ، و درنتیجه فتوسنتز را به اندازهٔ چشمگیری افزایش دهد. وجود همبستگی مثبت معنادار بین هدایت روزنه‌ای و غلظت دی‌اکسیدکربن زیرروزنه‌ای (جدول ۷) هم دلیلی بر این استدلال است. بین عملکرد دانه و محتوای کلروفیل a در هر دو وضعیت آبیاری مناسب و تنش خشکی همبستگی مثبت و معناداری با سطح احتمال ۵ درصد دیده می‌شود (جدول ۷). کلروفیل رنگدانهٔ اصلی مؤثر در فتوسنتز است و محتوای بالا موجب جذب نور بیشتر و درنهایت عملکرد بالاتر در هر دو وضعیت شاهد و تنش خشکی می‌شود.

جدول ۷. ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در وضعیت آبیاری مناسب (اعداد بالا) و تنش خشکی (اعداد پایین)

	عملکرد دانه	کلروفیل کل	bکلروفیل	aکلروفیل	محتوای نسبی آب	فتوسنتز خالص	هدایت روزنه‌ای
غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای	۰/۰۰۷^{ns}	-۰/۲۴۱^{ns}	۰/۱۱۳^{ns}	۰/۲۵۷^{ns}	-۰/۱۸۱^{ns}	۰/۱۹۶^{ns}	۰/۶۹۸**
	.۰/۰۹۲^{ns}	۰/۲۵۹^{ns}	۰/۱۴۱^{ns}	-۰/۱۴۸^{ns}	-۰/۴۵۱^{ns}	-۰/۱۹۲^{ns}	۰/۰۲۲^{ns}
هدایت روزنه‌ای	-۰/۱۲۹^{ns}	-۰/۰۸۰^{ns}	۰/۱۱۹^{ns}	۰/۲۷۷^{ns}	۰/۰۴۱^{ns}	۰/۵۸۵**	
	۰/۲۴۴^{ns}	-۰/۳۹۰*	-۰/۲۲۱^{ns}	-۰/۱۰۱^{ns}	-۰/۱۰۱^{ns}	۰/۸۴۲**	
فتوسنتز خالص	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۰۱۵^{ns}	-۰/۰۴۰^{ns}	۰/۲۶۲^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}		
	۰/۳۵۳^{ns}	-۰/۴۳۱*	-۰/۲۴۲^{ns}	-۰/۰۸۲^{ns}	-۰/۴۱۵*		
محتوای نسبی آب	۰/۱۱۶^{ns}	۰/۹۸۰**	۰/۶۸۱**	۰/۱۱۶^{ns}			
	۰/۲۷۸^{ns}	۰/۹۹۶**	۰/۸۴۳**	۰/۵۱۹**			
aکلروفیل	۰/۵۴۱**	۰/۱۷۳^{ns}	-۰/۱۴۲^{ns}				
	۰/۴۱۷*	۰/۵۲۲**	۰/۴۱۲*				
bکلروفیل	-۰/۳۰۴^{ns}	۰/۵۲۳**					
	۰/۳۳۳^{ns}	۰/۷۹۴**					
کلروفیل کل	۰/۲۱۷^{ns}						
	۰/۲۶۱^{ns}						

ns، * و ** به‌ترتیب: فقدان تفاوت معنادار، تفاوت معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

براساس نتایج این پژوهش، تنش خشکی با کاهش شدید محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز موجب کاهش عملکرد دانهٔ نخود شد. عوامل روزنه‌ای بیش از از عوامل غیرروزنه‌ای متأثر از تنش خشکی بود و در تعیین فتوسنتز نقش بیشتری داشت. تلقیح مشترک بذر با نژادهای ریزوبیومی و ریزوباکتری‌های محرک رشد در هر دو وضعیت فاریاب و دیم با تأثیر بر روابط آبی و ویژگی‌های فتوسنتزی، باعث افزایش بسیار عملکرد دانه در مقایسه با مصرف متداول کودهای شیمیایی شد و از آثار سوء تنش خشکی بر نخود کاست.

REFERENCES

1. Ashraf, M. Y., Azim, A. R., Khan, A. H. & Ala, S. A. (1994). Effect of water stress on total phenols,peroxidase activity and chlorophyll content in wheat(*Triticum aestivum* L.). *Acta physiologia Plan*, 16, 185-191.
2. Bambara, S. & Ndakidemi, P. A. (2009). Effects of *Rhizobium* inoculation, lime and molybdenum on photosynthesis and chlorophyll content of *Phaseolus vulgaris* L. *African J. Microbiology Res*, 3(11) , 791-798.

3. Boutraa, T. & Sanders, F. E. (2001). Influence of water stress on grain yield and vegetative growth of two cultivars of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *J. Agron. Crop Sci*, 187, 251–257.
4. Clark, J. M. & Mc Ciag, T. N. (1982). Evaluation of techniques for screening for drought resistance in wheat. *Crop Sci*, 22, 503 – 505.
5. Cornic, G. (2000). Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture - Not by affecting ATP synthesis. *Trends Plant Sci*, 5, 187- 198.
6. Dashti, N., Zhang, F., Hynes, R. & Smith, D. L. (1998). Plant growth promoting rhizobacteria accelerate nodulation and increase nitrogen fixation activity by field grown soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] under short season conditions. *Plant and Soil*, 200, 205–213.
7. Dazzo, F., Asghari, B. & Batoo, R. (2010). Adaptaion of chickpea to dessication stress is enhanced by symbiotic rhizobacteria. *Jourrnal of Symb*, 50, 129-133.
8. Elsheikh, E. A. & Hadi, E. El, E. A. (1999). Effect of Rhizobium inoculation and nitrogen fertilization on yield and protein content of six chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars in marginal soils under irrigation. *Nutrient Cycling in Agroeco*, 54, 57–63.
9. Fallah, S. (2008). Effect of sowing date and plant density on yield and yield component on chickpea(*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Agriculture and Natural Resource Sci. and Tech*, 45, 123-135(In Farsi).
10. FAOSTAT Agriculture Data (2012).http://faostat.fao.org
11. Gruters, U., Fangmeir, A. & Jager, H. J. (1995). Modelling stomatal responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Turbo) to ozone and different levels of water supply. *Environmental Pollution*, 86, 141-149.
12. Harrris, H., Oweis, T., Pala, M. & Zhang, H. (2000). Water use and water use efficiency of chickpea and lentil in a Mediterranean environment. *Australian Journal of Agricultural Res*, 51, 295-304.
13. Hopkins, W. G. (1999). Introduction to plant physiology. *John Wiely*. New York.
14. Lawlor, D. W. & cornic, G. (2002).Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environ*, 25, 275 – 294.
15. Lawlor, D. W. & G. cornic. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environ*, 25, 275 – 294.
16. Lawson, T., oxborough, K. Morison, J. I. L. & Baker, N. R. (2003). The responses of guard and Mesophyll cell photosynthesis to Co_2, O_2, light and water stress in Range of species are similare. *J. Exp. Bot*, 54, 1743-1752.
17. Leport, L., Turner, N. C., French, R. J., Barr, M. D., Dua, R., Davies, S. L., Tennant, D. & Siddique, K. H. M. (1999). Physiological responses of chickpea genotypes to terminal drought in a Mediterranean-type environment . *European J. Agron*, 11, 279-291.
18. Majnoun Hosseini, N. (2008). *Agronomy and Production of Pulses*. Tehran University press(In farsi).
19. Medarno, H., Parry, M. A., socias, X. & Lawlor, D. W. (1997). Long term water stress inactivates rubisco in subterranean clover. Ann. *Appled Biol*, 131, 491-501.
20. Meidner, H. (1981). *Class experiments in plant physiology*,. British library catalogaing in publication Data. London.
21. Merah, O. (2001). Potential importance of water status traits for durum wheat improvement under Mediterranean conditions. *J. Agric. Res*, 137, 139- 145.
22. Meyer, S. & Genty, B. (1999). Heterogenous inhibition of photosynthesis over the leaf surface of *Rosa rubinosa* L. during water stress and abscisic acid treatment: Induction of a metabolic component by limitation of co2 diffusion. *Planta*, 210, 126-131.
23. Onyari, C. A. N., Mc Kenzie, B. A. & Hill, G. H. (2003). The effect of irrigation and sowing date on crop yield and yield components of chickpea(*Cicer arietinum* L.) under semi-arid conditions in keniya. *Journal of Applied Biosci*, 34, 2156-2165.
24. Onyari, C. A. N., Ouma, J. P. & Kibe, A. M. (2010). Effect of tillage method and sowing time on phenology, yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under semi-arid conditions in Kenya. *Journal of Applied Biosci*, 34, 2156-2165.
25. Parsa, M. & Bagheri, A. R.(2009). *Pulses*. Jahad daneshgahi mashhad press. pp:267-290(In Farsi).
26. Rajin anvar, M., Mc Kenzie, B. A. & Hill, G. H. (2003). The effect of irrigation and sowing date on crop yield and yield components of kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) in a cool-temprate subhumid climate. *Journal of Agricultural Sci*, 141, 259-271.
27. Reddy, R., Choityana, K. V. A. & Ivekanadan, A. (2004). Drought-induced respones of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J. Plant Physiol*, 161, 1189-1202.

28. Ritchie, S. W., Nguyan, H. T. & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Sci*, 30, 105-111.
29. Sabaghpour, H., Mahmoudi, A. A., Saeed, A., Kamel, M. & Malthora, R. S. (2006). Study on chickpea drought tolerance lines under dryland condition of Iran. *Indian Journal of Crop Sci*, 1, 70-73.
30. Schutzz, M. & Fangmeier, A. (2001). Growth and yield Responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret). *Pollution*, 114, 187-149.
31. Shiferaw, B. & Baker, D. A. (1996). An evaluation of drought screening techniques for *Eragrostis* tef. *Tropical Sci*, 36, 74-85.
32. Singh, S. & Kapoor, K. K. (1999). Inoculation with phosphate-solubilizing microorganisms and a vesicular-arbuscular mycorhiza fangus improves dry matter yield and nutrient uptake by wheat grown in a sandy soil. *Biol. and Fert. of Soil*, 28, 139-144.
33. Verma, J., Yadav, P., Tiwari, J., Lavakush, K. N. & Singh, V. (2010). impact of plant growth rhizobacteria on crop production. *International Journal of Agricultural Reas*, 5(11), 954-983.
34. Zhu, j. k. (2002). Salt and drought stess signal transduction in plants. *Ann Rev. Plant Biology* , 53, 247 – 273.