تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد نهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۵
۳۳۹-۳۵۱
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2017.462

تأثیر کود دامی و تلقیح باکتریایی بر شاخص‌های فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تنش خشکی

احمد نعمتی[۱]، محمد رفیعی الحسینی[۲*]، عبدالرزاق دانش شهرکی[۲]
۱. دانش‌آموخته دوره کارشناسی ارشد زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
۲. استادیار گروه مهندسی زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۸/۰۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۱۷

چکیده

به منظور بررسی اثر تلقیح باکتری و کود گاوی بر برخی خصوصیات نخود رقم هاشم در سطوح مختلف تنش خشکی، آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۲- ۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد اجرا گردید. آزمایش به صورت اسپیلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. فاکتور اصلی شامل سطوح مختلف تنش خشکی در سه سطح (۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ میلیمتر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس *A*) و فاکتور فرعی، شامل کود گاوی در سه سطح ۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کامل گیاه (۲۰ تن در هکتار) و تلقیح باکتریایی بذور (*Mesorhizobium*) در دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح) بود که به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفت. نتایج نشان داد وزن صد دانه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول در اثر تنش خشکی کاهش قابل توجهی نشان دادند، همچنین اثر فاکتور تلقیح باکتری نسبت به عدم تلقیح، بر اکثر صفات معنی‌دار بود.

***واژه‌های کلیدی*: بقولات، تلقیح باکتری، تنش خشکی، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، کود گاوی، نخود.**

مقدمه

دانه حبوبات با برخورداری از ۱۸ تا ۳۲ درصد پروتئین، مکمل کیفی دانه غلات می‌باشند. در میان تنش‌های محیطی، کمبود آب مهم‌ترین عاملی است که باعث محدودیت کاشت و کاهش عملکرد محصولات غذایی می‌گردد (Rebetzke et al, 2006; Mohamadi et al, 2010; Roostaee et al., 2012). در آزمایشی مشخص شد که در شرایط تنش خشکی، سطح برگ به دلیل بسته شدن روزنه و کاهش فشار تورژسانس سلول‌ها، کاهش می‌یابد (Khajepoor, 2004; Ganjeali et al., 2010).

کودهای آلی علاوه بر نقش تغذیه‌ای، در بهبود خواص فیزیکی و بیولوژیک خاک مؤثر هستند (Mahlooji et al., 2000; Parsa, 2003). استفاده از کودهای دامی و بیولوژیک به‌جای منابع شیمیایی می‌تواند باعث افزایش عملکرد نخود گردد (Parsa, 2003). تلقیح با نژادهای مؤثر و سازگار در زراعت نخود توصیه‌شده و اغلب با افزایش عملکرد دانه همراه بوده است (Mahlooji et al., 2000; Amooaghaee et al., 2003). در آزمایشی مشخص شد که مایه‌زنی بذور سیاه‌دانه با کود زیستی باعث افزایش شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول می‌شود (Bagheri et al., 2000). طبق تحقیقات گذشته، مشخص شد که با افزایش شدت تنش رطوبتی، درصد پروتئین دانه سویا افزایش می‌یابد، همچنین بیشترین درصد پروتئین دانه سویا در تیمار کود دامی کامل به دست آمد (Roostaee et al., 2012). در آزمایشی محققین گزارش کردند که وزن هزار دانه و درصد پروتئین دانه گندم تحت تأثیر باکتری ازتوباکتر افزایش یافت (Khoramdel et al., 2008). با

* نگارنده پاسخگو: محمد رفیعی الحسینی. پست الکترونیک: m_rafiee_1999@yahoo.com.

توجه به پیامدهای مثبت مصرف مایه‌های تلقیح ریزوبیومی ازجمله، کاهش غلظت نیترات در محصولات کشاورزی و آب-های زیرزمینی و حفظ محیط‌زیست، این پژوهش به‌منظور بررسی اثرات تلقیح باکتری و کود گاوی بر برخی شاخص-های نخود تحت شرایط تنش خشکی و ترویج مصرف کودهای سازگار با محیط‌زیست در منطقه طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. آزمایش به‌صورت اسپیلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. فاکتور اصلی شامل سطوح مختلف تنش خشکی در سه سطح (۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس *A*) و فاکتور فرعی، شامل کود گاوی پوسیده در سه سطح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کامل گیاه (۲۰ تن در هکتار) (Mahlooji et al., 2000) و تلقیح بذور توسط باکتری (Mesorhizobium) در دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح) انجام پذیرفت که به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفت. به‌منظور تعیین زمان آبیاری، میزان تبخیر روزانه از تشتک تبخیر هر روز عصر اندازه‌گیری شد و پس از رسیدن به حد موردنظر، آبیاری به روش سیفونی صورت گرفت (Koochaki et al., 2009). برداشت نهایی پس از تکمیل مراحل رشد و نمو گیاه هنگامی‌که برگ‌های بوته‌های نخود شروع به زرد شدن و ریزش نمودند و ۸۰ تا ۹۰ درصد غلاف‌ها به رنگ زرد مایل به قهوه‌ای درآمدند و دانه‌ها خشک شدند، از دو متر طولی خطوط عملکرد انجام شد. نمونه‌برداری با حذف حاشیه (دو خط کناری از هر واحد آزمایشی و حذف نیم متر از طرفین هر خط)، از هر واحد آزمایشی از خط عملکرد به طول ۲ متر انجام شد. سطح برگ در مرحله گلدهی با استفاده از دستگاه (Leaf Area Meter) اندازه‌گیری و برحسب سانتی‌متر مربع محاسبه گردید. درنهایت شاخص سطح برگ از طریق رابطه یک محاسبه شد. برای اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد، از ابتدای مرحله گلدهی دو مرحله نمونه‌برداری به فاصله زمانی ۱۴ روز، از اندام‌های هوایی گیاه به عمل آمد و سرعت رشد محصول در این بازه زمانی (طی مرحله گلدهی) با استفاده از رابطه دو محاسبه گردید. محاسبه‌سرعت فتوسنتز خالص نیز با استفاده از رابطه سه انجام شد (Ganjeali et al., 2010).

$$LAI=LA/P \quad [۱]$$

$$CGR=(1/GA)*[(W_2-W_1)/(t_2-t_1)] \quad [۲]$$

$$NAR = [(W_2-W_1)/(t_2-t_1)][\ln LA_2- \ln LA_1)/(LA_2- LA_1)] \quad [۳]$$

که در این معادلات، LAI: شاخص سطح برگ، LA: میزان سطح برگ (cm^2)، P: واحد سطح زمین، CGR: سرعت تولید ماده خشک، GA: واحد زمین، W: وزن خشک و t: زمان هستند.

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک و پس از برداشت نهایی از هر واحد آزمایشی، ۱۰ بوته برداشت شد و پس از انتقال به آزمایشگاه وزن صد دانه، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری پروتئین بذر با استفاده از روش کجلدال انجام پذیرفت (Pardo et al., 2000). تعداد بوته‌های برداشت‌شده در فاصله ۲ متر شمارش و تراکم بوته در واحد سطح محاسبه گردید. بوته‌های برداشت‌شده پس از بسته‌بندی و اتیکت گذاری به آزمایشگاه منتقل شدند و نمونه‌های مربوط به هر واحد آزمایشی به‌صورت جداگانه بوجاری و عملکرد دانه در هکتار به دست آمد و شاخص برداشت با استفاده از رابطه (چهار) محاسبه گردید (Courtney et al., 2008).

شاخص برداشت (درصد) = (عملکرد اقتصادی/عملکرد بیولوژیک) * ۱۰۰ [۴]

تجزیه واریانس داده های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم افزار SAS صورت گرفت. مقایسه میانگین ها نیز به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد و با استفاده از نرم افزار MSTAT C انجام شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش خشکی و تلقیح باکتری در سطح یک درصد بر سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ معنی‌دار بود. همچنین هیچ‌کدام از تیمارهای آزمایشی تأثیر معنی‌داری بر سرعت فتوسنتز خالص نداشتند (جدول ۱).

جدول ۱. تجزیه واریانس مربوط به‌سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و سرعت جذب خالص.

Table 1. Variances analysis of CGR, LAI and NAR.

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean squares) سرعت رشد محصول (CGR)	شاخص سطح برگ (LAI)	سرعت جذب خالص (NAR)
(Replication)	تکرار	2	0.41^{ns}	0.61^{*}	0.000006^{ns}
(Drought stress)	تنش خشکی	2	226^{**}	25.5^{**}	0.000019^{ns}
(Error a)	خطای a	4	3.25	0.55	0.000008
(Cow manure)	کود گاوی	2	1.87^{ns}	0.26^{ns}	0.000006^{ns}
(Bacterial inoculation)	تلقیح باکتری	1	17.5^{**}	13.2^{**}	0.000003^{ns}
(Drought stress × Cow manure)	تنش خشکی× کود گاوی	4	2.02^{ns}	0.1^{ns}	0.000004^{ns}
(Drought stress × Bacterial inoculation)	تنش خشکی× تلقیح باکتری	2	0.33^{ns}	0.05^{ns}	0.0000006^{ns}
(Cow manure × Bacterial inoculation)	کود گاوی× تلقیح باکتری	2	1.78^{ns}	0.01^{ns}	0.000003^{ns}
(Drought stress × Cow manure × Bacterial inoculation)	تنش خشکی× کود گاوی× تلقیح باکتری	4	0.83^{ns}	0.09^{ns}	0.0000007^{ns}
(Error b)	خطای b	30	1.69	0.13	0.000004
CV (%)	ضریب تغییرات (٪)		*6.67*	*4.97*	*7.49*

ns غیر معنی‌داری، *و **؛ به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

ns, not significant, * and **: significant at 5% and 1% probability level, respectively.

نتایج مقایسه میانگین سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ در تیمار تنش خشکی نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی از میزان سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ کاسته شد که این نتایج در توافق با یافته‌های قبلی است (Ganjeali et al., 2010; Pardo et al., 2000). بیشترین کاهش در تیمار تنش خشکی شدید بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار تنش ملایم و شاهد داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ در تیمار تلقیح باکتری نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین تیمار تلقیح باکتری با عدم تلقیح وجود داشت (جدول ۲) که نتایج مربوط به این صفات نتایج قبلی را مورد تائید قرار می‌دهد (Khoramdel et al., 2008).

مطابق با جدول ۳، عملکرد دانه با سایر صفات دارای همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشد. سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ بیشترین همبستگی مثبت را با عملکرد دانه نشان می‌دهند. کاهش سرعت رشد محصول در تیمارهای تنش خشکی به اثر منفی تنش خشکی بر شاخص سطح برگ مربوط می‌شود. افزایش شدت تنش خشکی از طریق کاهش تعداد و سطح برگ‌ها و دوام سطح برگ، سبب کاهش شاخص سطح برگ و به‌عبارت‌دیگر توان فتوسنتزی گیاه می‌شود. ازآنجاکه برگ‌ها محل تولید مواد فتوسنتزی جهت تأمین رشد گیاه می‌باشند، کاهش سطح برگ سبب کاهش میزان مواد فتوسنتزی قابل‌دسترس و درنتیجه کاهش سرعت رشد محصول می‌گردد.

جدول ۲. مقایسه میانگین شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول ($g/m^2.day$) و سرعت جذب خالص ($g/m^2.day$) در شرایط آزمایش.
Table 2. Means comparison of LAI, CGR ($g/m^2.day$) and NAR ($g/m^2.day$) under the experimental conditions.

تیمار treatment		سرعت رشد محصول (CGR)	شاخص سطح برگ (LAI)	سرعت جذب خالص (NAR)
تنش خشکی (میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) **Drought stress** (mm evaporation from class A pan)				
80		22.8[a]	8.3[a]	0.028[a]
100		19.9[b]	7.5[b]	0.026[a]
120		15.7[c]	5.9[c]	0.025[a]
کود گاوی (تن در هکتار) **Cow manure** (t/ha)				
20		19.8[a]	7.35[a]	0.027[a]
10		19.5[a]	7.3[a]	0.027[a]
0		19.1[a]	7.12[b]	0.026[a]
تلقیح باکتری **Bacterial inoculation**				
تلقیح **Bacterial inoculation**		20.08[a]	7.41[a]	0.027[a]
عدم تلقیح **Non inoculation**		18.94[b]	7.1[b]	0.026[a]

حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد (LSD) می‌باشد.
Different letters in each column and for each treatment present significant differences at 5% level of probability (LSD).

جدول ۳. ضرایب همبستگی ساده بین عملکرد دانه و شاخص‌های فیزیولوژیک.
Table 3. Simple correlation coefficients between grain yield and physiological indices.

Characteristics	صفات	عملکرد دانه (Grain Yield)	شاخص سطح برگ (LAI)	سرعت رشد محصول (CGR)	سرعت جذب خالص (NAR)
Grain Yield	**عملکرد دانه**	-			
LAI	**شاخص سطح برگ**	0.77**	-		
CGR	**سرعت رشد محصول**	0.79**	0.89**	-	
NAR	**سرعت جذب خالص**	0.38**	0.21ns	0.62**	-

تجزیه واریانس صفات موردبررسی نشان داد که اثر تنش خشکی بر تمامی صفات در سطح یک درصد و بر درصد پروتئین دانه در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). اثر کود گاوی نیز بر تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف در سطح یک درصد و بر درصد پروتئین دانه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. اثر تیمار تلقیح باکتری بر صفت تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف در سطح یک درصد و بر صفات وزن صد دانه و درصد پروتئین دانه در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۴). اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی × تلقیح باکتری بر صفت تعداد غلاف در بوته در سطح یک درصد معنی‌دار بود.

اثر متقابل تیمارهای کود گاوی × تلقیح باکتری برای تعداد غلاف در بوته و وزن صد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی × کود گاوی × تلقیح باکتری بر صفت وزن صد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). میزان دسترسی به نیتروژن از طریق مصرف کود یا تلقیح، به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر رشد گیاه تأثیر دارد. نیتروژن با شرکت در ترکیبات پروتئینی و آمینی علاوه بر نقش حفاظتی بر بعضی از آنزیم‌ها و pH سلول، در جابجایی عناصر دیگر از راه آوند چوبی نقش دارد. درنتیجه، این واکنش‌ها منجر به افزایش تعداد غلاف در بوته و وزن صد دانه می‌گردد.

جدول ۴ . تجزیه واریانس مربوط به تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و درصد پروتئین دانه

Table 4. Variance analysis of number of pods per plant, number of grain per pod, 100 grain weight and protein percentage.

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات(Mean square) تعداد غلاف در بوته (number of pod per plant)	تعداد دانه در غلاف (number of grain per pod)	وزن صد دانه (100 grain weight)	درصد پروتئین دانه (protein percentage)
(Replication)	تکرار	2	9.24^{ns}	1.63^{ns}	0.41^{ns}	1.53^{ns}
(Drought stress)	تنش خشکی	2	987^{**}	186^{**}	50.5^{**}	49.4^{*}
(Error a)	خطای a	4	66.4	8.64	9.5	1.02
(Cow manure)	کود گاوی	2	55^{**}	61.5^{**}	3.08^{ns}	3.96^{*}
(Bacterial inoculation)	تلقیح باکتری	1	393^{**}	69.7^{**}	10.9^{*}	7.02^{*}
(Drought stress × Cow manure)	تنش خشکی× کود گاوی	4	9.77^{ns}	0.37^{ns}	1.95^{ns}	1.6^{ns}
(Drought stress × Bacterial inoculation)	تنش خشکی× تلقیح باکتری	2	31.5^{**}	1.4^{ns}	2.84^{ns}	1.95^{ns}
(Cow manure × Bacterial inoculation)	کود گاوی× تلقیح باکتری	2	4.44^{**}	0.67^{ns}	25.4^{**}	2.81^{ns}
(Drought stress × Cow manure × Bacterial inoculation)	تنش خشکی× کود گاوی× تلقیح باکتری	4	7.72^{ns}	0.27^{ns}	7.58^{**}	1.45^{ns}
(Error b)	خطای b	30	4.89	5.65	1.74	1.24
CV (%)	ضریب تغییرات (٪)		*10.2*	*11*	*4.64*	*4.72*

ns غیر معنی‌داری و *و **؛ به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است

^{ns}, not significant, * and **: significant at 5% and 1% probability level, respectively.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش شدت تنش، تمامی صفات موردبررسی کاهش معنی‌داری داشتند اما درصد پروتئین دانه افزایش پیدا کرد که با نتایج قبلی مطابقت دارد (Roostaee et al., 2012) (جدول ۵). بیشترین تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف در تیمار ۲۰ تن کود گاوی در هکتار مشاهده شد و کمترین مقدار این صفات در تیمار عدم استفاده از کود گاوی مشاهده گردید. نتایج مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف کود گاوی نشان داد که با افزایش سطوح کود گاوی درصد پروتئین دانه افزایش معنی‌داری داشت که این نتایج در توافق با یافته‌های قبلی است (Roostaee et al., 2012). تیمار تلقیح باکتری نسبت به عدم تلقیح سبب افزایش معنی‌دار در تمامی صفات موردبررسی گردید که این نتایج در توافق با یافته‌های قبلی می‌باشد (Amooaghaee et al., 2003; Khoramdel et al., 2008) (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف تلقیح باکتری نشان داد که در تیمار تلقیح باکتری نسبت به عدم تلقیح درصد پروتئین دانه بیشتری به دست آمد (جدول ۵). ازآنجاکه ریزوبیوم‌ها، باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌باشند و این عنصر ماده اولیه تشکیل پروتئین است، احتمالاً یکی از دلایل افزایش درصد پروتئین در اثر کاربرد ازتوباکتر، تثبیت نیتروژن توسط این باکتری می‌باشد (Amooaghaee et al., 2003).

جدول ۵. مقایسه میانگین تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و درصد پروتئین دانه

Table 5. Means comparison of number of pods per plant, number of grain per pod, 100 grain weight and protein percentage.

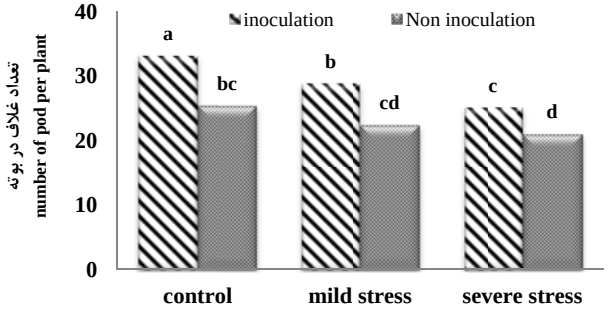
تیمار treatment		تعداد غلاف در بوته number of pod per plant	تعداد دانه در غلاف number of grain per pod	وزن صد دانه 100 grain weight	درصد پروتئین دانه protein percentage
تنش خشکی (میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) **Drought stress** (mm evaporation from class A pan)					
80		29.3[a]	29.3[a]	30.1[a]	21.7[b]
100		21[b]	21.3[b]	28.3[ab]	24.1[b]
120		14.5[c]	14[c]	26.8[b]	24.9[a]
کود گاوی (تن در هکتار) **manure** (t/ha)	**Cow**				
20		23.6[a]	22.7[a]	28.7[a]	23.8[a]
10		20.5[b]	21.9[a]	27.9[a]	23.8[a]
0		20.6[b]	20[b]	28.6[a]	23[b]
تلقیح باکتری inoculation	**Bacterial**				
تلقیح	**Bacterial inoculation**	24.3[a]	24.3[a]	28.9[a]	23.9[a]
عدم تلقیح	**Non inoculation**	18.9[b]	18.9[b]	28[b]	23.2[b]

حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد (LSD) می‌باشد.

Different letters in each column and for each treatment present significant differences at 5% level of probability (LSD).

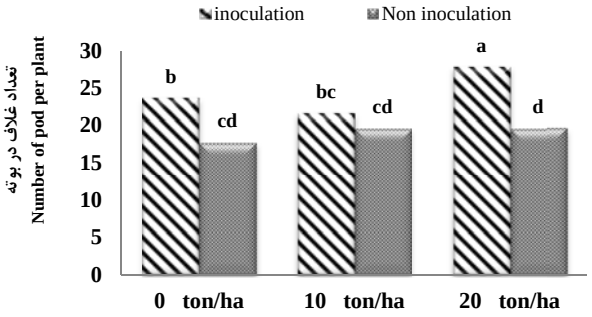
نتایج مقایسه میانگین اثرات دوگانه تنش خشکی × تلقیح باکتری نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته در تیمار شاهد × تلقیح باکتری حاصل شد که تفاوت معنی‌داری نسبت به کمترین تعداد غلاف در بوته در تیمار تنش شدید خشکی × عدم تلقیح باکتریایی داشت (شکل ۱). همچنین مشخص شد که در تیمار تنش شدید خشکی، تلقیح باکتری موجب تعدیل اثرات تنش شد که باعث شد تیمار تنش شدید خشکی × تلقیح باکتری تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد × عدم تلقیح باکتری نداشته باشد (شکل ۱).

با توجه به شکل (۲)، نتایج مقایسه میانگین اثرات دوگانه کود گاوی × تلقیح باکتری نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته (۲۷/۷۷) در تیمار ۲۰ تن کود گاوی در هکتار و تلقیح باکتری به دست آمد و کمترین تعداد غلاف در بوته در تیمار شاهد و عدم تلقیح باکتری با تعداد ۱۷/۶۸ غلاف در بوته حاصل شد. نتایج مقایسه میانگین اثرات دوگانه کود گاوی × تلقیح باکتریایی نشان داد که بیشترین وزن صد دانه در تیمار ۲۰ تن کود گاوی در هکتار و تلقیح باکتری به دست آمد (شکل ۳).



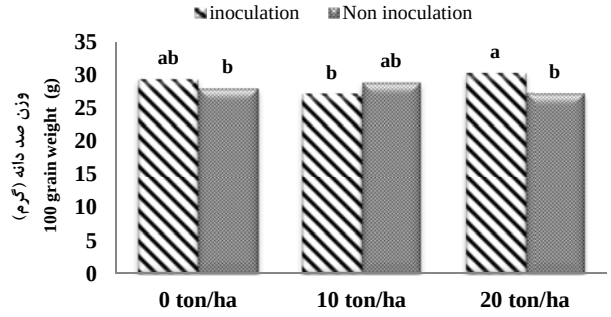
شکل ۱. اثرات متقابل تنش خشکی × تلقیح باکتری بر تعداد غلاف در بوته حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد (LSD) می‌باشد.

Fig. 1. Interaction effects of drought stress × bacterial inoculation on number of pod per plant Different letters present significant differences at 5% level of probability (LSD).



شکل ۲. اثرات متقابل کود گاوی × تلقیح باکتری بر تعداد غلاف در بوته حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد (LSD) می‌باشد.

Fig. 2. Interaction effect of cow manure × bacterial inoculation on number of pod per plant Different letters present significant differences at 5% level of probability (LSD).



شکل ۳. اثرات متقابل کود گاوی × تلقیح باکتری بر وزن صد دانه حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد (LSD) می‌باشد.

Fig. 3. Interaction effect of cow manure × bacterial inoculation on 100 grain weight Different letters present significant differences at 5% level of probability (LSD).

نتایج اثرات متقابل سه‌گانه نشان داد که در تیمار تلقیح باکتری، افزایش میزان کود گاوی در تیمار عدم تنش خشکی باعث افزایش وزن صد دانه گردید. همچنین در تیمار عدم تلقیح باکتری با افزایش میزان کود گاوی در تیمار تنش ملایم وزن صد دانه افزایش پیدا کرد. بیشترین وزن صد دانه در تیمار شاهد×۲۰ تن کود گاوی در هکتار × تلقیح باکتری به دست آمد (جدول ۶).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار تلقیح باکتری و اثر متقابل کود گاوی × تلقیح باکتری در سطح یک درصد و اثر تیمارهای تنش خشکی و کود گاوی و اثر متقابل تنش خشکی × کود گاوی × تلقیح باکتری در سطح پنج درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد و اثر تیمارهای تنش خشکی، کود گاوی و تلقیح باکتری بر عملکرد بیولوژیک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷) . همچنین اثر متقابل کود گاوی × تلقیح باکتری در سطح پنج درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار شد (جدول ۷). با توجه به نتایج تجزیه واریانس ملاحظه شد که اثر متقابل تیمار کود گاوی × تلقیح باکتری در سطح یک درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار گردید (جدول ۷).

جدول ۶. اثرات متقابل سه‌گانه تنش خشکی × کود گاوی × تلقیح باکتری بر صفت وزن صد دانه.

Table 6. Triple interaction effect of drought stress × cow manure × bacterial inoculation on 100 grain weight.

تلقیح باکتری (Bacterial inoculation)	سطوح کود گاوی (Cow manure level)	سطوح تنش خشکی (Drought stress level)		
		شاهد (Control)	تنش ملایم (Mild stress)	تنش شدید (Severe stress)
تلقیح (Bacterial inoculation)	20 ton/ha	32^{a}	28.2^{def}	27.5^{efg}
	10 ton/ha	3.5^{abc}	26.1^{fgh}	24.7^{h}
	0 ton/ha	30.6^{abc}	31^{ab}	29^{bcde}
عدم تلقیح (Non inoculation)	20 ton/ha	28.8^{cde}	29.3^{bcde}	25.6^{gh}
	10 ton/ha	29.8^{bcd}	28.9^{bcde}	27.6^{efg}
	0 ton/ha	29.1^{bcde}	26.1^{fgh}	26.4^{fgh}

حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد (LSD) می‌باشد.

Different letters present significant differences at 5% level of probability (LSD).

جدول ۷. تجزیه واریانس عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت.

Table 7. Variance analysis of grain yield, biological yield and harvest Index.

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean squares)		
			عملکرد دانه (Grain yield)	عملکرد بیولوژیک (Biological yield)	شاخص برداشت (Harvest index)
(Replication)	تکرار	2	619319^{**}	468689^{ns}	174^{*}
(Drought stress)	تنش خشکی	2	5316469^{*}	20199458^{**}	210^{ns}
(Error a)	خطای a	4	363980	454054	250
(Cow manure)	کود گاوی	2	139954^{*}	1487138^{**}	22^{ns}
(Bacterial inoculation)	تلقیح باکتری	1	1960118^{**}	5167928^{**}	153^{ns}
(Drought stress × Cow manure)	تنش خشکی× کود گاوی	4	34065^{ns}	72555^{ns}	36.9^{ns}
(Drought stress × Bacterial inoculation)	تنش خشکی× تلقیح باکتری	2	79186^{ns}	133045^{ns}	72.3^{ns}
(Cow manure × Bacterial inoculation)	کود گاوی× تلقیح باکتری	2	1435473^{**}	787875^{*}	456^{**}
(Drought stress × Cow manure × Bacterial inoculation)	تنش خشکی× کود گاوی× تلقیح باکتری	4	90998^{*}	265386^{ns}	54.1^{ns}
(Error b)	خطای b	30	26248	198094	44.2
CV (%)	ضریب تغییرات (٪)		*10.7*	*11.9*	*16.6*

ns غیر معنی‌داری، *و **؛ به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

ns, not significant, * and **: significant at 5% and 1% probability level, respectively.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت که این نتایج در توافق با یافته‌های قبلی است (Bagheri et al., 2000). کاهش عملکرد دانه در تیمار تنش شدید نسبت به شاهد برابر ۵۳/۵۶ درصد می‌باشد. بررسی مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد دانه براثر مصرف کود گاوی به ترتیب در تیمارهای ۲۰ تن کود گاوی در هکتار و عدم استفاده از کود گاوی بود که تیمار

۲۰ تن کود گاوی در هکتار نسبت به شاهد افزایشی معادل ۱۰/۹۱ درصد را نشان داد (جدول ۸) که این نتایج، یافته‌های قبلی را مورد تائید قرار می‌دهد (Mohamadi et al., 2010). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب در تیمار تلقیح باکتری و عدم تلقیح باکتری حاصل شد، این افزایش عملکرد در تیمار تلقیح باکتری برابر با ۲۲/۴۶ درصد نسبت به تیمار عدم تلقیح باکتری می‌باشد (جدول ۸) که مطابق با نتایج گذشته می‌باشد (Khoramdel et al., 2008).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد بیولوژیک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت که این کاهش در تیمارهای تنش خشکی ملایم و تنش خشکی شدید نسبت به تیمار شاهد به ترتیب برابر با ۱۲/۵۳ و ۴۴/۶۷ درصد بود (جدول ۸) که این نتایج در توافق با یافته‌های قبلی می‌باشد (Pardo et al., 2000; Ganjeali et al., 2010).

جدول ۸ . مقایسه میانگین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

Table 8. Means comparison of grain yield, biological yield and harvest Index.

تیمار treatment	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Grain yield (kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر هکتار) Biological yield (kg/ha)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
تنش خشکی (میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) **Drought stress** (mm evaporation from class A pan)			
80	2022[a]	4597[a]	43.8[a]
100	1554[a]	4021[a]	38.6[a]
120	939[b]	2543[b]	37.4[a]
کود گاوی (تن در هکتار) **Cow manure** (t/ha)			
20	1600[a]	3961[a]	39.2[a]
10	1491[ab]	3798[a]	39.5[a]
0	1425[b]	3402[b]	41.2[a]
تلقیح باکتری Bacterial inoculation			
تلقیح Bacterial inoculation	1696[a]	4030[a]	41.6[a]
عدم تلقیح Non inoculation	1315[b]	3411[b]	38.3[a]

حروف غیرمشابه در هر ستون و برای هر تیمار بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد (LSD) می‌باشد.

Different letters in each column and for each treatment present significant differences at 5% level of probability (LSD).

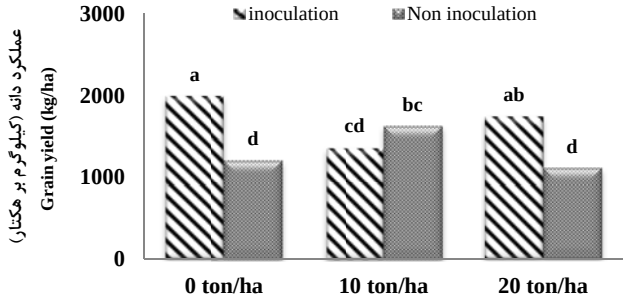
بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک به‌طور متوسط با میانگین ۴۵۹۷ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار تنش خشکی شدید داشت. بررسی مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک به ترتیب مربوط به تیمار ۲۰ تن کود گاوی در هکتار و شاهد بود که این افزایش در تیمار ۲۰ تن کود گاوی در هکتار نسبت به تیمار شاهد برابر با ۱۴/۱۱ درصد می‌باشد (جدول ۸). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک به ترتیب در تیمار تلقیح باکتری و عدم تلقیح باکتری حاصل شد، این کاهش عملکرد در تیمار عدم تلقیح باکتری برابر با ۱۵/۳۵ درصد می‌باشد (جدول ۸).

مقدار رطوبت موجود در خاک از عوامل مؤثر بر مقدار تثبیت نیتروژن است، نقش اولیه آن در کاهش تولید آسیمیلات و انتقال آن به ریشه و نقش دوم، اثر مستقیم بر باکتری‌های همزیست موجود در ریشه است. با توجه به رابطه مستقیم بین فتوسنتز، تنفس و تثبیت نیتروژن، عوارض تنش خشکی در زمان رشد رویشی باعث بسته شدن

روزنه‌ها، رشد کم برگ‌ها، قطر کم ساقه و کوتاهی ارتفاع بوته ظاهر گردید. که با کاهش عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه همراه بود.

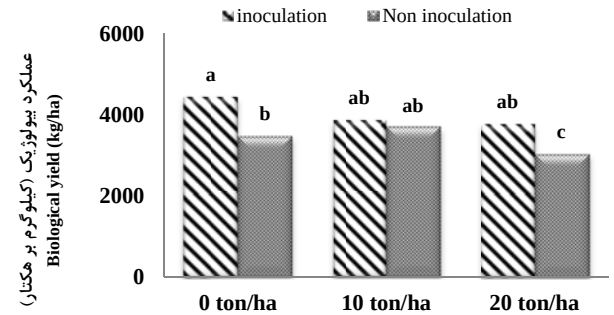
نتایج مقایسه میانگین اثرات دوگانه کود گاوی × تلقیح باکتری بر عملکرد دانه نشان داد که بیشترین میانگین عملکرد دانه در تیمار عدم استفاده از کود گاوی × تلقیح باکتری به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار استفاده از ۲۰ تن کود گاوی در هکتار × تلقیح باکتری نداشت ولی با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری را نشان داد. همچنین کمترین میانگین عملکرد دانه در تیمار عدم استفاده از کود گاوی × عدم تلقیح باکتری و ۲۰ تن کود گاوی در هکتار × عدم تلقیح باکتری بود (شکل ۴).

نتایج مقایسه میانگین اثرات دوگانه کود گاوی × تلقیح باکتری بر عملکرد بیولوژیک نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک در تیمار عدم استفاده از کود گاوی × تلقیح باکتری حاصل شد که تفاوت معنی‌داری را با تیمارهای ۲۰ و ۱۰ تن کود گاوی در هکتار × تلقیح باکتری نداشت (شکل ۵). در اثر متقابل کود گاوی × تلقیح باکتری بر میانگین شاخص برداشت، بیشترین میانگین شاخص برداشت در تیمار ۲۰ تن کود گاوی در هکتار × تلقیح باکتری حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار عدم استفاده از کود گاوی × عدم تلقیح باکتری داشت (شکل ۶). همان‌طور که مشخص است عملکرد دانه با سایر صفات دارای همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشد (جدول ۹) .



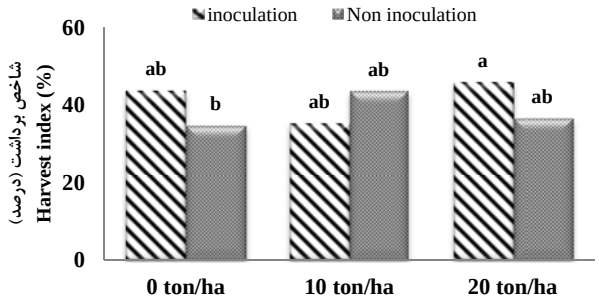
شکل ۴. تأثیر اثرات متقابل سطوح مختلف کود گاوی × تلقیح باکتری بر میانگین عملکرد دانه حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد (LSD) می‌باشد.

Fig. 4. Interaction effect of cow manure × bacterial inoculation on grain yield Different letters present significant differences at 5% level of probability (LSD).



شکل ۵. تأثیر اثرات متقابل سطوح مختلف کود گاوی × تلقیح باکتری بر میانگین عملکرد بیولوژیک حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد (LSD) می‌باشد.

Fig. 5. Interaction effect of cow manure × bacterial inoculation on biological yield Different letters present significant differences at 5% level of probability (LSD).



شکل ۶. تأثیر اثرات متقابل سطوح مختلف کود گاوی × تلقیح باکتری بر میانگین شاخص برداشت حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد (LSD) می‌باشد.

Fig. 6. Interaction effect of cow manure × bacterial inoculation on harvest index Different letters present significant differences at 5% level of probability (LSD).

جدول ۹. ضرایب همبستگی ساده بین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن صد دانه و تعداد غلاف در بوته.

Table 9. Simple correlation coefficients between grain yield, biological yield, 100 grain weight and number of pod per plant.

صفات Characteristics	عملکرد دانه (Grain yield)	عملکرد بیولوژیک (Biological yield)	وزن صد دانه (100 grain weight)	تعداد غلاف در بوته (Number of pod per plant)
عملکرد دانه (Grain yield)	-			
عملکرد بیولوژیک (Biological yield)	0.81^{**}	-		
وزن صد دانه 100 grain weight	0.63^{**}	0.49^{**}	-	
تعداد غلاف در بوته (Number of pod per plant)	0.81^{**}	0.85^{**}	0.66^{**}	-

ns غیر معنی‌داری، *و **؛ به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

ns, not significant, * and **: significant at 5% and 1% probability level, respectively.

همچنین نتایج مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه بر عملکرد دانه نشان می‌دهد که بیشترین عملکرد دانه در تیمار تلقیح باکتری × عدم استفاده از کود گاوی × شاهد به دست آمد و کمترین عملکرد دانه در تیمار عدم تلقیح باکتری × عدم استفاده از کود گاوی × تنش شدید خشکی مشاهده شد (جدول ۱۰). باکتری‌ها با استفاده از مکانیسم‌های مختلفی چون تثبیت زیستی نیتروژن، تولید هورمون اکسین، توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه و ترشح اسیدهای آلی در ریزوسفر که منجر به کاهش pH و افزایش جذب عناصر غذایی می‌گردد، تولید مواد فتوسنتزی و به تبع آن عملکرد را افزایش می‌دهند.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی در این پژوهش می‌توان بیان کرد که تیمارهای تنش خشکی و تلقیح باکتری تأثیر بیشتری بر شاخص‌های فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد دانه نخود می‌گذارند. تنش خشکی موجب کاهش منابع فتوسنتزی و محدودیت آسیمیلات‌ها می‌گردد و بنابراین منجر به کاهش وزن صد دانه و کاهش سطح برگ و درنتیجه کاهش سرعت رشد

محصول می‌شود. در این آزمایش مشخص شد که کاربرد باکتری در شرایط تنش خشکی موجب تعدیل اثرات تنش می‌گردد بنابراین پیشنهاد می‌گردد که در مناطقی که احتمال وقوع تنش خشکی وجود دارد، از تلقیح بذور استفاده گردد.

جدول ۱۰. مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه بر عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار).

Table 10. Means comparison of the triple interaction effects on grain yield (kg/ha).

تلقیح باکتری (Bacterial inoculation)	سطوح کود گاوی (Cow manure level)	(Drought stress levels) سطوح تنش خشکی		
		شاهد control	تنش ملایم Mild stress	تنش شدید Severe stress
تلقیح (Bacterial inoculation)	20 ton/ha	2278^{b}	1857^{cd}	1082^{ij}
	10 ton/ha	1771^{de}	1425^{fgh}	897^{jk}
	0 ton/ha	2714^{a}	2059^{bc}	1197^{hi}
عدم تلقیح (Non inoculation)	20 ton/ha	1471^{fg}	1133^{ij}	729^{k}
	10 ton/ha	2253^{b}	1569^{ef}	1049^{ij}
	0 ton/ha	1647^{def}	1285^{ghi}	697^{k}

حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد (LSD) می‌باشد.

Different letters present significant differences at 5% level of probability (LSD).

منابع

Amooaghaee, R., Mostajeran, A., Emtiazi, G., 2003. The effect of *Azospirillum* inoculation on some growth parameters and yield of three wheat cultivars. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 7, 127- 139. [In Persian with English Summary].

Bagheri, A., Nezami, A., Soltani, M., 2000. Breeding for Stress Tolerance in Cool Season Food Legumes. Agricultural Research, Education & Extension Organization Press [In Persian with English Summary].

Courtney, R. G., Mullen., G., 2008. Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. Bioresource Technology. 99, 2913-2918.

Ganjeali, A., Kaafi, M., Sabet Teimoori, M., 2010. Variations of root and shoot physiological indices in chickpea (*Cicer arietinum* L.) in response to drought stress. Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences. 3, 35-45. [In Persian with English Summary].

Khaje poor, M. 2004. Industrial Plants. Isfahan University of Technology Publication Center. 578p. [In Persian].

Khoramdel, S., Koochaki, A., Nasiri Mahalati, M., Ghorbani, A., 2008. Application effects of biofertilizers on the growth indices of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research. 6, 285-294. [In Persian with English Summary].

Koochaki, A., Sarmadnia, Gh.H., 2009. Crop Physiology. Mashhad University jihad Publications. 400p. [In Persian]

Mahlooji, M., Moosavi, F., Karimi, M., 2000. The effects of water stress and planting date on yield and yield components of Pinto bean (*Phaseolus vulgaris*). Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 1, 57-67. [In Persian with English Summary].

Mohamadi, Kh., Ghalavand, A., Agh Alikhani, M., Sohrabi, Y., Heidari, Gh., 2010. Impressibility of chickpea seed quality from different systems of increasing soil fertility. Electronic Journal of Crop Production. 3, 103-119. [In Persian with English Summary].

Pardo, A., Amato, M., Chiaranda, F.Q. 2000. Relationships between soil structure, root distribution and water uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Plant Growth and Water

Distribution. European Journal of Agronomy. 13, 39-45.

Parsa, M., 2003. Study the biodiversity of chickpea (*Cicer arietinum* L.) symbiotic bacteria in terms of nitrogen fixation ability in Khorasan province. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. Mashhad, Iran. [In Persian with English Summary].

Rebetzke, G.J., Richards, R.A., Condonl, A., Farquhar, G.D., 2006. Inheritance of carbon isotope discrimination in bread wheat (*Triticum aestivum* L.), Euphytica. 14, 324-341.

Roostaee, Kh., Movahedi Dehnavi, E., Oliaee, H.R., 2012. Effect of different super absorbent polymer and animal manure ratios on the quantitative and qualitative characteristics of soybean under drought stress. Journal of Agricultural Crop Management. 1, 33-42. [In Persian with English Summary].