نشریهٔ پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد۵ شمارهٔ۲، صفحهٔ ۱۸-۹ نیمهٔ دوم۱۳۹۳

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 5, No. 2, 2014, p. 9-18

اثر محلول‌پاشی نانوکلات آهن و تلقیح با باکتری مزوریزوبیوم بر گره‌زایی ریشه، رشد و عملکرد نخود در شرایط دیم

جواد حمزه‌ئی[1]*، سعید نجاری[2]، فرشید صادقی[2] و محسن سیدی[2]

۱- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

۲- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۲۵

چکیده

تحقیق حاضر در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ اجرا شد. هدف آزمایش بررسی اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن و باکتری مزوریزوبیوم بر میزان گره‌زایی، رشد، عملکرد دانه و اجزای عملکرد نخود تحت شرایط دیم بود. طرح آزمایشی مورد استفاده بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و هشت تیمار (T_1: شاهد (عدم تلقیح بذر و عدم محلول‌پاشی)، T_2: تلقیح بذر با باکتری مزوریزوبیوم، T_3: محلول‌پاشی نانو کود در مرحله گلدهی، T_4: تلقیح بذر+محلول‌پاشی در مرحله گلدهی، T_5: محلول‌پاشی در مرحله غلاف‌دهی، T_6: تلقیح بذر+محلول‌پاشی در مرحله غلاف‌دهی، T_7: محلول‌پاشی در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی و T_8: تلقیح بذر+محلول‌پاشی در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی) بود. اثر تیمارهای آزمایشی بر همه صفات (به استثنای شاخص برداشت) معنی‌دار شد. بر اساس مقایسه میانگین‌ها، بیشترین مقدار صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکردهای دانه و بیولوژیک و تعداد و وزن خشک گره در ریشه در تیمار T_8 به‌دست آمد. با این وجود، بین تیمارهای T_4 و T_8 از نظر عملکردهای دانه و بیولوژیک تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. بنابراین، تلقیح بذر نخود با باکتری مزوریزوبیوم و محلول‌پاشی نانو کلات آهن در مرحله گلدهی و یا گلدهی+غلاف دهی، توانست بیشترین میزان گره‌زایی ریشه، شاخص‌های زراعی و عملکرد دانه را تولید کند.

واژه‌های کلیدی: تعداد غلاف در بوته، حبوبات، کود زیستی، محلول‌پاشی، وزن هزاردانه

مقدمه

نخود معمولی یا زراعی یکی از سه لگوم مهم در آسیای غربی و آفریقای شمالی است. این گیاه در بیشتر از ۶۰ کشور و در تمام قاره‌های جهان به جز مناطق قطبی کشت و کار می‌شود. بر اساس اطلاعات آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی کشور، محصول نخود در سال ۱۳۸۹ با سهم تولیدی ۴۳/۲۵ درصدی در بین حبوبات رتبهٔ اول را دارا می‌باشد. کشت نخود در اکثر نقاط ایران به استثنای سواحل دریای خزر رواج دارد. این گیاه جهت رشد مطلوب خود نیاز به مواد غذایی ضروری و نیز ریز عناصر کم مصرف به‌خصوص آهن، روی و منگنز دارد. کمبود این عناصر در خاک عملکردهای کمی و کیفی دانه نخود را کاهش می‌دهد (Majnoon Hosseini, 2008).

یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در زمینه‌های مختلف کشاورزی در بخش آب و خاک، استفاده از نانوکودها برای تغذیه گیاهان می‌باشد (Mohammadzadeh *et al*., 2011). این ترکیبات نانویی به سرعت و به‌صورت کامل جذب گیاه شده و به‌خوبی نیازها و کمبودهای غذایی آن را مرتفع می‌سازد. نانو کود آلی کلاته آهن خضراء امکان مصرف خاکی و برگی را برای عنصر آهن فراهم کرده است (Khalaj *et al*., 2009). این نانو کود کلاته آهن به‌علت پایداری مناسب و توان آزادسازی کنترلی، پایه کودی مطمئنی برای رهایش آهن می‌باشد. همچنین، نانو کود کلات آهن دارای کمپلکس منحصر به فرد و دارای نه درصد آهن محلول در آب در بازه پی اچ ۳ تا ۱۱ می‌باشد (Baghaei *et al*., 2012). آهن یکی از عناصر ضروری اما کم مصرف و کم تحرک است. گیاهان در بین عناصر کم مصرف، بیشترین نیاز را به آهن دارند. آهن در ساختار هموپروتئین‌ها مانند سیتوکروم‌ها، سیتوکروم اکسیداز و لگ‌هموگلوبین شرکت می‌کند و در سنتز کلروفیل نقش مهمی

* **نویسنده مسئول:** همدان، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده کشاورزی،گروه زراعت و اصلاح نباتات. ۰۹۱۸۳۱۵۸۰۸۷، j.hamzei@basu.ac.ir

دارد. عدم دسترسی گیاه به آهن منجر به زرد شدن برگ‌های جوان و کاهش چشمگیر فعالیت فتوسنتز و در نتیجه کاهش تولید بیوماس می‌گردد (Briat *et al*., 2007). بنابراین، نانو کود کلاته آهن علاوه بر رفع نیاز گیاهان به این عناصر، سبب افزایش عملکرد گیاه می‌گردد. تأثیر مثبت نانو کود کلات آهن بر افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه زراعی برنج گزارش شده است (Baghaei *et al*., 2012). گزارش شده است که محلول پاشی با نانو کود کلات آلی آهن موجب افزایش عملکرد و میزان آهن دانه گیاهان زراعی می‌شود (Khalaj *et al*., 2009).

از طرف دیگر استفاده از کودهای بیولوژیک از جمله راهکارهای بهبود تأمین عناصر غذایی در کشاورزی پایدار می‌باشد. باکتری ریزوبیوم، که بر روی ریشه بقولات به‌صورت همزیست زندگی می‌کند، نیتروژن هوا را تثبیت نموده و در اختیار گیاه قرار می‌دهد. بهبود مقدار تثبیت نیتروژن توسط ریزوبیوم‌ها، می‌تواند با روش‌های مختلفی از جمله انتخاب سویه‌های مناسب هر رقم و توجه به اثرات متقابل ریزوبیوم با دیگر ریزجانداران خاک انجام شود (Toro Beck *et al*., 1993; 1998). کود بیولوژیک تقویت شده رایزو چیک‌پی سوپر پلاس[1] ویژه گیاه نخود بوده که دارای باکتری مزوریزوبیوم[2] همزیست با ریشه نخود می‌باشد. کود بیولوژیک مورد نظر، افزایش رشد گیاه، مقاومت گیاه در برابر شرایط نامساعد محیطی و بعضی از بیماری‌های خاکزی، تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه به‌ویژه در شرایط دیم و در نهایت محصول بیشتر و با کیفیت بالاتر را تضمین خواهد کرد (Jose-Miguel *et al*., Bashan & Levanony, 1990; 2005). با عنایت به اینکه تاکنون مطالعه‌ای در خصوص اثرات کاربرد توأم نانو کلات آهن و باکتری مزوریزوبیوم بر روی گیاه زراعی نخود انجام نگرفته است، از این رو آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن در مراحل مختلف رشد در حضور باکتری مزوریزوبیوم بر میزان گره‌زایی، رشد، عملکرد دانه و اجزای عملکرد نخود تحت شرایط دیم به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان در قالب طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت شرایط دیم اجرا گردید. تیمارهای مورد مطالعه در این تحقیق شامل T_1: شاهد (عدم تلقیح بذر و عدم محلول‌پاشی)، T_2: تلقیح بذر با باکتری مزوریزوبیوم، T_3: محلول‌پاشی نانو کود در مرحله گلدهی، T_4: تلقیح بذر+ محلول‌پاشی در مرحله گلدهی، T_5: محلول‌پاشی در مرحله غلاف‌دهی، T_6: تلقیح بذر+ محلول‌پاشی در مرحله غلاف‌دهی، T_7: محلول‌پاشی در مرحله گلدهی و غلاف‌دهی و T_8: تلقیح بذر + محلول‌پاشی در مرحله گلدهی و غلاف‌دهی بودند. خلاصه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. در این آزمایش از رقم هاشم نخود استفاده شد. این رقم پابلند بوده و مقاوم به برق‌زدگی می‌باشد. همچنین، رنگ بذر آن روشن، اندازه دانه متوسط و وزن ۱۰۰ دانه آن ۲۵-۲۳ گرم است. در هر کرت ۵ خط کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته به بوته در هر ردیف ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. برای اعمال تیمارهای آزمایشی، در زمان کاشت ابتدا بذرها را با محلول قند و سپس با کود بیولوژیک رایزوچیک‌پی سوپر پلاس با جمعیت تقریبی 10^8 باکتری مزوریزوبیوم در هر میلی لیتر (تهیه شده از شرکت فن‌آوری زیستی مهر آسیا، تهران) آغشته شدند. طبق توصیه شرکت سازنده، میزان مصرف کود بیولوژیک رایزوچیک‌پی، یک کیلوگرم در هکتار به ازای ۸۰-۷۰ کیلوگرم بذر نخود بود. قابل ذکر است که در تیمار شاهد، علاوه بر اینکه بذور نخود به محلول قند آغشته شدند، توسط آب معمولی (آب فاقد آهن) نیز بوته‌های نخود محلول‌پاشی شدند. همچنین، نانو کود کلاته آهن از شرکت صدور احرار شرق تهیه شد و به میزان دو در هزار در مراحل مختلف رشد و بر اساس تیمارهای آزمایشی محلول‌پاشی شد. میزان محلول‌پاشی به نحوی بود که بوته‌های نخود به‌طور کامل آغشته به محلول شدند. در طول فصل رشد مراقبت‌های لازم برای گیاه مانند وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک ریشه‌های پنج بوته نخود از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و با دقت کافی از خاک خارج شدند و بعد از انتقال به آزمایشگاه تعداد گره‌های ریشه در پنج بوته شمارش و میانگین آن‌ها به‌عنوان تعداد گره در ریشه ثبت گردید. سپس گره‌ها به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و پس از خشک شدن توزین شدند و میانگین وزن به دست آمده در پنج بوته، به‌عنوان وزن خشک گره در ریشه در نظر گرفته شد (Serraj & Sinclair, 1998). همچنین، در این مرحله از رشد، صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه اندازه‌گیری و ثبت گردید. عملکردهای بیولوژیک و دانه نیز پس از حذف اثر حاشیه با نمونه‌برداری از مساحت سه متر مربعی در

1- Rhizo chickpea super plus
2- *Mesorhizobium ciceri*

واحد سطح و نیز شاخص برداشت اندازه‌گیری شدند. کلیه محاسبات آماری، تجزیه واریانس و مقایسات میانگین با استفاده از نرم افزار آماری SAS ver. 6.12 انجام شد و میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Soil physical and chemical properties of experimental location

بافت خاک Soil texture	پتاسیم قابل جذب Available potassium ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب Available phosphor ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	هدایت الکتریکی Ec ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته گل اشباع pH	عمق Depth (cm)
Sand clay	313	32.2	0.08	1.03	0.291	7.21	0-30

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن است که اثر تیمارهای مورد بررسی بر ارتفاع بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در این بررسی تیمار T_8 (تلقیح بذر با باکتری+ محلول‌پاشی نانو کود در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی) با میانگین ۴۶/۶۶ سانتی‌متر بیشترین و تیمار T_1 (شاهد) با میانگین ۳۵ سانتی‌متر کمترین میزان ارتفاع بوته را به‌خود اختصاص دادند و تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده شد (جدول ۳). در مقایسه تیمارهای T_7 و T_8، مشخص گردید که تلقیح با باکتری در تیمار T_8 توانسته است ارتفاع بوته را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد. برخی محققین دیگر نیز اثرات مثبت تلقیح با سویه‌های مختلف باکتری‌های همزیست ریزوبیوم را بر ارتفاع بوته گزارش کرده‌اند (Ansari *et al*., 2005). تیمار T_8 با تیمارهای T_2، T_4 و T_6 تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). این امر در حقیقت اثر تلقیح بذر با باکتری مزوریزوبیوم را بر ارتفاع بوته نشان می‌دهد. به‌عبارت دیگر، از آنجایی‌که ارتفاع بوته در مرحله گلدهی تقریباً ثابت می‌شود، بنابراین محلول‌پاشی نانو کود در مراحل گلدهی (تیمار T_4) و غلاف‌دهی (تیمار T_6) اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نخود نداشته است. نتایج این تحقیق با یافته‌های Bodaghi (2008) هماهنگ است. نامبرده اظهار داشت که محلول‌پاشی عناصر کم مصرف آهن و روی در مرحله‌ای که گیاه حداکثر رشد خود را داشته و ارتفاع بوته آن تقریباً ثابت شده است، تأثیری بر ارتفاع بوته ذرت ندارد.

جدول ۲- میانگین مربعات اثر تیمارهای آزمایشی بر برخی صفات نخود دیم

Table 2. Mean of squares for the effect of experimental treatments on some traits of rainfed chickpea

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی Df	میانگین مربعات				
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه در بوته N. of branch $plant^{-1}$	تعداد غلاف در بوته N. of pod $plant^{-1}$	تعداد دانه در بوته N. of grain $plant^{-1}$	وزن هزار دانه 1000-Seeds weight
تکرار Replication	2	1.54^{ns}	2.00^{ns}	6.12^{ns}	4.50^{ns}	32.00^{ns}
تیمار Treatment	7	39.18^{*}	95.42^{**}	164.35^{**}	214.92^{**}	5859.37^{**}
خطای آزمایشی Experimental error	14	1297	0.85	13.83	5.92	199.42
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		8.84	15.47	18.37	10.70	5.01

ns، ** و*: غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, ** and *: no significant and significant at probability levels of 1% and 5%, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات زراعی و اجزای عملکرد نخود تحت اثر تیمارهای آزمایشی

Table 3. Means comparison of agronomic traits and yield components of chickpea under experimental treatments

وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	تعداد دانه در بوته Number of grain per plant	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد شاخه در بوته Number of branches per plant	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تیمار Treatment
230 e	12 e	12 e	5 c	35 c	T_1
245 de	16 ef	13 c	7 b	42 ab	T_2
250 de	20 de	18 cde	4 c	40 bc	T_3
301 b	32 b	28 ab	7 b	43 ab	T_4
263 cd	17 e	15 ed	4 c	37 bc	T_5
332 a	26 c	23 bc	7 b	42 ab	T_6
277 bc	22 cd	20 cd	5 c	40 bc	T_7
355 a	37 a	33 a	9 a	47 a	T_8

T_1 الی T_8: به‌ترتیب شاهد (عدم تلقیح بذر و عدم محلول‌پاشی)، تلقیح بذر با مزوریزوبیوم، محلول‌پاشی نانو کود در مرحله گلدهی، تلقیح بذر+محلول‌پاشی در مرحله گلدهی، محلول‌پاشی در مرحله غلاف‌دهی، تلقیح بذر+محلول‌پاشی در مرحله غلاف‌دهی، محلول‌پاشی در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی، تلقیح بذر+محلول‌پاشی در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی

T_1-T_8: Control (non-inoculated and non-foliar application), seed inoculation with mesorhizobium, foliar application of nano fertilizer at flowering stage, seed inoculation+ foliar application at flowering stage, foliar application at podding stage, seed inoculation + foliar application at podding stage, foliar application at flowering and podding stages and seed inoculation + foliar application at flowering and podding stages, respectively

تعداد شاخه در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از این است که اثر تیمارهای آزمایشی، تعداد شاخه در بوته را در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). در مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی، مشخص گردید که تیمار تلقیح بذر با باکتری + محلول‌پاشی نانو کود در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی تعداد شاخه بیشتری را سبب شد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد که عناصر غذایی نظیر نیتروژن نقش عمده‌ای در فعالیت‌های بیوشیمیایی و بهبود فرآیندهای فتوسنتزی برگ‌ها داشته و در نتیجه ظرفیت تولید فتوآسمیلات‌ها و انتقال آن را به حداکثر رسانده است که این امر نیز به افزایش رشد و تولید بیشتر شاخه‌های فرعی منجر شد. نتایج این تحقیق با یافته‌های سایر پژوهشگران مطابقت دارد (Hall & Williams, 2003; Kassab *et al*., 2004). در بررسی اثر محلول‌پاشی آهن بر روی عدس و نخود نیز، چنین نتایجی گزارش شد (Mahmoudi *et al*., 2005). بنابراین، در آزمایش حاضر، افزون بر محلول‌پاشی نانو کود، با برقراری همزیستی باکتری مزوریزوبیوم با ریشه نخود در تیمار T_8 (تلقیح بذر با باکتری + محلول‌پاشی نانو کود در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی)، شرایط برای بهبود رشد گیاه نخود فراهم شده و در نتیجه تعداد شاخه در بوته افزایش یافته است. به‌عبارت دیگر، همانطوری که نتایج نشان می‌دهد (جدول ۵)، در تیمار T_8 به‌طور معنی‌داری تعداد و وزن خشک گره در ریشه بیشتر از سایر تیمارها است و این امر بیانگر این است که احتمالاً به‌دلیل افزایش تثبیت نیتروژن در تیمار مذکور، رشد گیاه و در نتیجه تعداد شاخه در بوته افزایش یافته است.

در این بررسی اختلاف بین تیمار تلقیح با باکتری مزوریزوبیوم (T_2) و تیمارهای T_3 و T_5 (T_3 و T_5: به‌ترتیب محلول‌پاشی در مرحله گلدهی و غلاف دهی) از نظر تعداد شاخه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). در این تیمار (T_2) نیز تعداد و وزن خشک گره در ریشه به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای T_3 و T_5 بود. بنابراین، احتمال می‌رود که همزیستی باکتری‌های مزوریزوبیوم با ریشه نخود سبب تثبیت بیشتر نیتروژن شده و به سبب افزایش جذب عناصر غذایی و آب در گیاه میزبان، رشد و تغذیه گیاه بهبود یافته است. فعالیت‌های حاصل از تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌های همزیست در لگوم‌ها، سبب همبستگی زیاد جذب کل نیتروژن با وضعیت تولید ماده خشک گیاهی می‌شود (Giller, 2001). به‌عبارت دیگر، وضعیت مناسب رشد و انشعابات جانبی گیاه با توانایی فعالیت مناسب گره‌ها در جهت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن مرتبط است (Giller, 1990).

تعداد غلاف در بوته

در مورد صفت تعداد غلاف در بوته نیز مشخص گردید که اثر تیمارهای آزمایشی بر این ویژگی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نیز حاکی از این بود که تعداد غلاف در بوته در تیمار T_8 نسبت به سایر تیمارها به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت (جدول ۳). در این تیمار محلول‌پاشی نانو کود کلاته آهن در دو مرحله گلدهی و غلاف دهی به همراه تلقیح با باکتری مزوریزوبیوم موجب دسترسی بهتر به مواد غذایی شده و به‌طور معنی‌داری افزایش تعداد غلاف در بوته را در پی داشته است. با این وجود،

تیمارهای T_4 و T_8 در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی در مرحله گلدهی اثر بیشتری نسبت به مصرف نانو کود در مرحله غلاف‌دهی داشته، بنابراین محلول‌پاشی در مرحله گلدهی تفاوت معنی‌داری با مصرف در دو مرحله رشد نخود (تیمار T_8) نداشت. به‌عبارت دیگر، محلول‌پاشی آهن در مرحله گلدهی به‌دلیل افزایش ماندگاری گل و تبدیل آن به غلاف، از طریق افزایش آسمیلات‌ها، به‌واسطه نقشی که این عنصر در فتوسنتز دارد، موجب افزایش تعداد غلاف در بوته می‌گردد (Marschner, 1995). برخی پژوهشگران نیز اظهار داشتند که مصرف نانو کود کلات آهن در مرحله گلدهی تأثیر مثبتی بر صفات کمی و کیفی لوبیا چیتی دارد (Mahmoudi *et al*., 2005). همچنین، این محققین کاربرد نانو کود در دو مرحله گلدهی و غلاف‌دهی را بهترین تیمار گزارش کردند (Mahmoudi *et al*., 2005).

تعداد دانه در بوته

تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از این است که اثر تیمارها بر تعداد دانه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه تیمارهای مورد بررسی نشان داد که تیمار مصرف توأم نانو کود در مراحل گلدهی و غلاف دهی و تلقیح با مزوریزوبیوم (T_8) از نظر تعداد دانه در بوته در بالاترین سطح و تیمار شاهد (T_1) در پایین‌ترین سطح قرار گرفت (جدول ۳). تیمار T_4 تعداد دانه در بوته را نسبت به تیمار T_6، ۱۸/۵ درصد افزایش داد. احتمالاً محلول‌پاشی در مرحله گلدهی موجب افزایش تعداد گل و در نتیجه تعداد دانه در بوته شده و از این رو تأثیر بیشتری بر ویژگی تعداد دانه در بوته در مقایسه با محلول‌پاشی در مرحله غلاف‌دهی داشته است. در تحقیقی اظهار شد که با مصرف نانو کود کلات در مرحله گلدهی، درصد پوکی دانه‌ها کاهش و تعداد دانه در بوته افزایش یافت (Baghaei *et al*., 2012). برخی محققین دیگر نیز نشان دادند که با مصرف عناصر ریز مغذی نظیر آهن، روی و منگنز اجزای عملکرد گیاهان زراعی به طور معنی‌دار افزایش می‌یابد (Chohura *et al*., 2007; Komosa *et al*., 2002). اثر تلقیح بذر با باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن بر رشد و عملکرد سویا بررسی و گزارش شد که برقراری رابطه همزیستی با ریشه این گیاه، تعداد دانه در بوته و در نتیجه عملکرد دانه سویا را افزایش می‌دهد (Gull *et al*., 2004).

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر تیمار در سطح احتمال یک درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود. با توجه به مقایسه میانگین تیمارها مشخص گردید که وزن هزار دانه در تیمار T_8 (تلقیح بذر با باکتری مزوریزوبیوم+ محلول‌پاشی نانو کود در مرحله گلدهی و غلاف‌دهی) بیشتر از سایر تیمارهاست و در مقایسه با تیمار شاهد (T_1)، ۳۵ درصد وزن هزار دانه را افزایش داد (جدول ۳). یافته‌هایی مبنی بر افزایش وزن هزار دانه گندم در اثر محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز، نتایج این پژوهش را تأیید می‌کند (Pahlavanrad *et al*., 2008). تیمار T_6 (محلول‌پاشی در مرحله غلاف دهی و تلقیح با باکتری) به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار T_4 (محلول‌پاشی در مرحله گلدهی و تلقیح با باکتری) وزن هزار دانه بیشتری را به‌خود اختصاص داد. به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی در مرحله غلاف‌دهی از طریق افزایش قابلیت دسترسی مواد مغذی نانو کلاته آهن و احتمالاً افزایش طول دوره پر شدن دانه‌ها، وزن دانه را افزایش داده است. درحالی‌که، که این امر در مورد ویژگی تعداد دانه بالعکس بود.

عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک نخود در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفت (جدول ۴)، به‌طوری‌که با مصرف نانو کود کلات آهن و نیز کود بیولوژیک ریزوچک‌پی سوپر پلاس، عملکرد بیولوژیک افزایش یافت (جدول ۵). بیشترین عملکرد بیولوژیک (۴۳۰ گرم بر متر مربع) در تیمار T_8 (تلقیح بذر با باکتری+ محلول‌پاشی نانو کود در مرحله گلدهی و غلاف‌دهی) به‌دست آمد که با سایر تیمارها (به استثنای تیمار T_4) نیز اختلاف معنی‌دار داشت. همانطوری که، قبلاً نیز ذکر شد، احتمالاً محلول‌پاشی در مرحله گلدهی از طریق افزایش رشد، تعداد شاخه در بوته و همچنین تعداد دانه در بوته، موجبات تشکیل ماده خشک بیشتری را فراهم کرد. همچنین، تیمارهای تلقیح با باکتری (T_2، T_4، T_6 و T_8) عملکرد بهتری در مقایسه با گیاهان غیر باکتریایی (T_1، T_3، T_5 و T_7) داشتند (جدول ۵) که این امر نقش نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیک را در افزایش رشد و در نتیجه افزایش عملکرد بیولوژیک نشان می‌دهد. گزارش شده که تلقیح بذر نخود با باکتری مزوریزوبیوم، عملکرد بیولوژیک را افزایش داد (Soleymani & Asgharzadeh, 2010). در پژوهشی روی ذرت علوفه‌ای اعلام گردید که کودهای حاوی عناصر کم مصرف از طریق افزایش سرعت رشد محصول، سطح جذب، دوام برگ و فتوسنتز، وزن خشک گیاه را افزایش دادند (Sajedi & Ardakani, 2008).

جدول ۴- میانگین مربعات اثر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد بیولوژیک و دانه، شاخص برداشت و تعداد و وزن خشک گره در ریشه نخود دیم
Table 4- Mean of squares for the effect of experimental treatments on biological and grain yield, harvest index and number and dry weight of root nodule in rainfed chickpea

میانگین مربعات						
وزن خشک گره در ریشه Nodule dry weight root^{-1}	تعداد گره در ریشه N. of root nodule	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Grain yield (g.m^{-2})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g.m^{-2})	درجه آزادی Df	منابع تغییرات Source of variance
112.5 ^{ns}	18.00 ^{ns}	91.12 ^{ns}	742.2 *	2.0 ^{ns}	2	تکرار Replication
6150.0**	853.71**	7.25 ^{ns}	55685.1**	25908.6**	7	تیمار Treatment
112.5	68.57	35.87	194.2	542.3	14	خطای آزمایشی Experimental error
12.9	19.71	13.40	10.7	7.9		ضریب تغییرات (٪) CV (%)

ns، ** و*: غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.
ns, ** and *: no significant and significant at probability levels of 1% and 5%, respectively

عملکرد دانه

تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۴ نشان می‌دهد که اثر تیمارها بر عملکرد دانه نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۱۹۴ گرم در متر مربع) مربوط به تیمار تلقیح بذر با باکتری+ محلول‌پاشی نانو کود در مرحله گلدهی و غلاف‌دهی (T_8) و کمترین مقدار (۷۰ گرم در متر مربع) مربوط به تیمار شاهد (T_1) بود (جدول ۵). تیمار T_8 در مقایسه با تیمار T_4، عملکرد دانه را ۱۲ درصد افزایش داد، ولی بین آن‌ها از لحاظ آماری تفاوتی مشاهده نشد (جدول ۵). این امر از یک طرف نشان‌دهنده اثر مثبت و معنی‌دار باکترهای همزیست با ریشه در گیاهان باکتریایی و از طرف دیگر فراهم کردن شرایط برای جذب عناصر ریز مغذی توسط محلول‌پاشی نانو کود است که می‌تواند علاوه بر افزایش رشد و نمو گیاه، عملکرد دانه را نیز افزایش دهد. به‌عبارت دیگر در تیمار T_8، استفاده از کود بیولوژیک ریزوچک پی سوپر پلاس در کنار محلول‌پاشی نانو کود در دو مرحله گلدهی و غلاف‌دهی، موجب افزایش دسترسی به عناصر غذایی اصلی (پر مصرف) نظیر نیتروژن و عناصر ریزمغذی (کم مصرف) به‌خصوص آهن شده و از طریق افزایش اجزای عملکرد (تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن دانه)، عملکرد دانه را افزایش داده است. نتایج این آزمایش با یافته‌های سایر پژوهشگران هماهنگ است (Kazemi *et al*., Zayed *et al*., 2011; Lashani, 2006; 2005).

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد دانه و بیولوژیک و تعداد و وزن خشک گره در ریشه نخود در اثر تیمارهای آزمایشی
Table 5- Means comparison of grain and biological yield and number and root nodule dry weight of chickpea under experimental treatments

وزن خشک گره در ریشه Nodule dry weight root^{-1} (g)	تعداد گره در ریشه N. of nodule root^{-1}	عملکرد دانه Grain yield (g.m^{-2})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g.m^{-2})	تیمار Treatment
20 f	21 e	70 e	170 e	T_1
100 c	50 bc	93 de	200 de	T_2
50 e	30 de	115 d	274 c	T_3
130 b	59 ab	171 ab	392 ab	T_4
40 e	22 e	100 d	233 d	T_5
100 c	52 ab	161 bc	355 b	T_6
70 d	37 cd	141 c	312 c	T_7
150 a	65 a	194 a	430 a	T_8

T_1 الی T_8: توضیحات تیمارها همانند جدول ۳ است
T_1- T_8: Treatments explanation are the same with Table 3

تعداد و وزن خشک گره در ریشه

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۴)، اثر تیمار بر صفت تعداد گره در ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نیز مؤید این بود که بیشترین میزان این ویژگی (۶۵ گره در ریشه) در تیمار تلقیح بذر با باکتری + محلول‌پاشی نانو کود در مرحله گلدهی و غلاف‌دهی (T_8) و کمترین مقدار (۲۱ گره در ریشه) در تیمار شاهد (T_1) به‌دست آمد و بین تیمار T_8 و T_4 به لحاظ آماری تفاوتی وجود نداشت (جدول ۵). به نظر می‌رسد وجود باکتری‌های همزیست در ریشه نخود در این تیمارها شرایط را برای افزایش تعداد گره در ریشه نخود فراهم کرده است. چنین نتایجی پیش‌تر از این توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Gull *et al*., 2004; Zaidi *et al*., 2003). در این بررسی تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری با تیمار محلول‌پاشی نانو کود در مرحله غلاف‌دهی (T_5) نداشت. می‌توان اظهار نمود که در مرحله غلاف‌دهی به دلیل اتمام تشکیل و ساخته شدن گره‌ها، محلول‌پاشی نانو کود تأثیری بر تعداد گره‌های ریشه نخود نداشت و در نتیجه تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای T_5 و T_1 مشاهده نشد. در واقع، به‌دلیل اینکه آهن در سنتز کلروفیل و انتقال الکترون در فتوسنتز نقش حیاتی دارد، بنابراین طبیعی است که با محلول‌پاشی نانو کلات آهن در مرحله گلدهی به موجب افزایش میزان آهن در برگ، میزان کلروفیل برگ نیز افزایش یافته و در نتیجه آن فعالیت فتوسنتزی و سهم فتوآسمیلات اختصاص یافته به ریشه‌ها بیشتر شده و در نهایت تعداد و وزن گره در ریشه افزایش یافته است (Goos & Johnson, 2000). همچنین، گزارش شده است که عنصر آهن در ساختار آنزیم‌های کلیدی مانند نیتروژناز، نیتریت و نیترات ردوکتاز و لگ‌هموگلوبین نقش اساسی دارد. افزون بر این، نتایج مطالعات مؤید این است که در صورت کمبود آهن میزان گره‌های تشکیل شده بر روی ریشه و رشد آن‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Slanti *et al*., 2008).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار بر وزن خشک گره در ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۴). بر اساس مقایسه میانگین تیمارها، بیشترین وزن خشک گره در ریشه مربوط به تیمار تلقیح بذر با باکتری+ محلول‌پاشی نانو کود در دو مرحله گلدهی و غلاف‌دهی (T_8) و کمترین مقدار نیز متعلق به تیمار شاهد (T_1) بود (جدول ۴). با توجه به بالا بودن تعداد گره در ریشه در تیمار T_8، برتری این تیمار از نظر وزن خشک گره در ریشه نیز دور از انتظار نیست. گزارش شده است که وزن خشک گره در ریشه و فعالیت آنزیم نیتروژناز در گیاه نخود تحت شرایط کاربرد ریزوبیوم افزایش می‌یابد (Zaidi *et al*., 2003; Gull *et al*., 2004).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج آزمایش حاضر نشان می‌دهد که تیمار محلول‌پاشی نانو کلات آهن در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی به همراه تلقیح با باکتری مزوریزوبیوم موجب دسترسی بهتر به عناصر غذایی و آب در گیاه میزبان شده و بیشترین میزان صفات مورد بررسی را به‌خود اختصاص داده است. به‌طوری‌که، این تیمار بیشترین میزان ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و همچنین عملکردهای دانه و بیولوژیک را به‌خود اختصاص داد. در واقع، محلول‌پاشی نانو کلات آهن در مرحله گلدهی به‌دلیل افزایش ماندگاری گل و تبدیل آن به غلاف و نیز از طریق افزایش آسمیلات‌ها، به واسطه نقشی که این عنصر در فتوسنتز دارد، موجب افزایش تعداد غلاف در بوته می‌گردد. همچنین، محلول‌پاشی در مرحله غلاف‌دهی به سبب افزایش ظرفیت فتوسنتزی برگ‌ها به افزایش وزن دانه‌ها منجر شده و در نتیجه میزان عملکرد افزایش یافته است. افزون‌براین، نتایج حاصل مؤید این است که کاربرد باکتری مزوریزوبیوم به همراه نانو کلات آهن میزان گره‌های تشکیل شده بر روی ریشه و رشد آن‌ها را افزایش داده که این نیز می‌تواند یکی دیگر از دلایل افزایش عملکرد در تیمار تلقیح بذر+محلول‌پاشی نانو کلات آهن در مرحله گلدهی و غلاف‌دهی باشد.

منابع

1. Ansari, M.H., Asadi Rahmani, H., Heidari Sharifabad, H., and Hosseini, A. 2005. Effect of different strains of rhizobia on the growth and yield of two cultivars of common bean. Agricultural Research 82:2-10.
2. Baghaei, N., Keshavarz, N., Shukrivahed, H., and Nazaran, M.H. 2012. Effect of nano-iron chelate on yield and yield components of rice. 12th Iranian Crop Sciences Congress, September 4-6. Islamic Azad University, Karaj, Iran. Pp: 1-5. (In Persian with English Summary).

3. Bashan, U., and Levanony, H. 1990. Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture. Canadian Journal of Microbiology 36: 591-608.
4. Beck, D.P., Materon, L.A., and Afandi, F. 1993. Practical Rhizobium Legume Technology Manual. ICARDA. Technical Manual.
5. Bodaghi, S. 2008. Effect of planting pattern and foliar application iron and zinc on yield and yield components of corn. MSc. Thesis. Islamic Azad University, Khoy, Iran. (In Persian with English Summary).
6. Briat, J.F., Curie, C., and Gaymard, F. 2007. Iron utilization and metabolism in plants. Current Opinion in Plant Biology 10: 276-282.
7. Chohura, P., Kołota, E., and Komosa, A. 2007. The effect of different source of iron on nutritional value of greenhouse tomato fruit grown in peat substrate. Vegetable Crops Research Bulletin 67: 55-61.
8. Giller, K.E. 2001. Nitrogen Fixation in Cropping Systems. 2nd Edition. CABI, Publishing.
9. Giller, K.E. 1990. Assessment and improvement of nitrogen fixation in tropical *Phaseolus vulgaris* L. Soil Use and Management 6: 82-84.
10. Goos, R.J., and Johnson, B.E. 2000. A comparison of three methods for reducing iron-deficiency chlorosis in soybean. Agronomy journal 92: 1135-1139.
11. Gull, F.Y., Hafeez, I., Saleem, M., and Malik, K.A. 2004. Phosphorus uptake and growth promotion of chickpea by co-inoculation of mineral phosphate solubilizing bacteria and a mixed rhizobial culture. Australian Journal of Experimental Agriculture 44: 623-628.
12. Hall, J.L., and Williams, L.E. 2003. Transition Metal Transporters in plants. Experimental Botany 54: 2601-2613.
13. Jose-Miguel, B., Mara, J.P., Rosario, A., Concepcio, N., and Azco, N. 2005. Microbial co-operation in the rhizosphere. Experimental Botany 417: 1761-1770.
14. Kassab, O.M., Zeing, H.A.E., and Ibrahim, M.M. 2004. Effect of water deficit and micronutrients foliar application on the productivity of wheat plants. Journal of Agricultural Research 29: 925-932.
15. Kazemi, S.H., Goloshi, S., Ghanbar, A., and Kianoush, G.A. 2005. Evaluation of planting date and seed inoculation with bacteria on yield and yield components of two soybean cultivars. Journal of Agriculture Science and Natural Resource. (In Persian with English Summary).
16. Khalaj, H., Razazi, A., Nazaran, M.H., Labbafi, M.R., and Beheshti, B. 2009. Efficiency of a nano-organic fertilizer with chelated iron in an external fertilizer on survival and quality characteristics of greenhouse cucumber. Seed and Plant improvement institute. 2th National Conference on Application of Nanotechnology in Agriculture, Karaj, Iran. pp. 2. (In Persian with English Summary).
17. Komosa, A., Kołota, E., and Chohura, P. 2002. Usefulness of iron chelates for fertilization of greenhouse tomato cultivated in Rockwool. Vegetable Crop Research Bulletin 55: 35-40.
18. Lashani, H. 2006. Effect of systems farming- nutritional on yield and yield components of (*Zea mays* L.) cultivar SC704 in Khorramabad region. M.Sc. Thesis. University of Lorestan. Lorestan, Iran.
19. Majnoon Hosseini, N. 2008. Agronomy and Pulses production. Jahad Daneshgahi publishers. pp. 284. (In Persian).
20. Mahmoudi, H., Ksouri, R., and Lachaal, M. 2005. Differences in responses to iron deficiency between two legumes lentil (*Lens culinaris*) and chickpea (*Cicer arietinum*). Journal of Plant physiology 162: 1237- 1254.
21. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition, Academic Press Inc London. 891 pages.
22. Mohammadzadeh, A., Majidi, H., Moghaddam, H., Majnoon Hosseini, N., and Baghaei, N. 2011. Effect of nano-iron chelate on iron content, photosynthesis pigments and leaf area index of bean. Second National Conference of Plant Physiology, Yazd University, Yazd, Iran. (In Persian with English Summary).
23. Pahlavanrad, M.R., Kykha, G., and Narouee Rad, M.R. 2008. Effect of application zinc, iron and manganese on yield, yield components and nutrient concentration of grain wheat. Journal of Research and Development 79: 1-6. (In Persian with English Summary).
24. Sajedi, N., and Ardakani, M.R. 2008. Effect of nitrogen fertilizer, zinc and iron on Physiological indices of corn. Journal of Agronomy Research 6: 99-109. (In Persian with English Summary).
25. Serraj, R., and Sinclair, T.R. 1998. Soybean cultivar variability for nodule formation and growth under drought. Plant and Soil 202: 159-166.
26. Slatni, T., Krouma, A. Samir, A., Chiffi, Ch., Gouia H., and Abdelly, C. 2008. Growth, nitrogen fixation ammonium assimilation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) subjected to iron deficiency. Journal of Plant Soil 312: 49-57.

27. Soleymani, R., and Asgharzadeh, A. 2010. Effects of Mesorhizobium inoculation and fertilizer application. Iranian journal of Pulses Research 1: 1-8. (In Persian with English Summary).
28. Toro, M., Azcon, R., and Barea, M. 1998. The use of isotopic dilution techniques to evaluate the interactive effects of Rhizobium genotype, mycorrhizal fungi, phosphate solubilizing rhizobacteria and rock phosphate on nitrogen and phosphorus acquisition by *Medicago sativa*. New Phytologist 138: 265-273.
29. Zaidi, A., Khan, M.S., and Amil, M. 2003. Interactive effects of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). European Journal of Agronomy 19: 15-21.
30. Zayed, B.A., Salem, A.K.M., and Sharkawy, H.M. 2011. Effect of different micronutrient treatments on rice (*Oryza sativa* L.) growth and yield under saline soil conditions. World Journal of Agricultural Sciences 7:179-184.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 5, No. 2, 2014, p. 9-18

Effect of foliar application of nano-iron chelate and inoculation with mesorhizobium bacteria on root nodulation, growth and yield of chickpea under rainfed conditions

Hamzei[*1], J., Najjari[2], S., Sadeghi[2], F. & Seyedi[2], M.

1. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
2. MSc. in Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Received: 12 March 2013
Accepted: 16 July 2014

Abstract

This research was carried out at the Research Farm, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University in growing season of 2011-2012. The aim of research was to evaluate the effect of foliar application of nano-iron chelate and bacterization of mesorhizobium bacteria on root nodulation, growth, grain yield and yield components of chickpea under rainfed conditions. A randomized complete block design with three replications and eight treatments (T_1: control; non-inoculated and non-foliar application, T_2: seed inoculation with mesorhizobium bacteria, T_3: foliar application of nano fertilizer at flowering stage, T_4: seed inoculation+ foliar application at flowering stage, T_5: foliar application at podding stage, T_6: seed inoculation + foliar application at podding stage, T_7: foliar application at flowering and podding stages and T_8: seed inoculation + foliar application at flowering and podding stages) were used. The effect of treatments on all traits (except harvest index) was significant. Based on mean comparisons, maximum values for traits of plant height, number of branches per plant, number of pods per plant, number of grain per plant, 1000-seeds weight, biological and grain yields, number and dry weight of root nodule were achieved at T_8 treatment. However, there is no significant difference for grain and biological yields between T_4 and T_8 treatments. Therefore, inoculation of chickpea seeds with mesorhizobium bacteria and foliar application of nano-iron chelate in either flowering stage or flowering + podding stages can produce the highest root nodulation, agronomic indices and grain yield.

Key words: Biological fertilizer, Foliar application, Pod number per plant, Pulses, Thousands seed weight

*** Corresponding Author:** j.hamzei@basu.ac.ir