نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، ص. ۷۲۰-۷۰۹

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 3, Fall. 2017, p. 709-720

تأثیر سطوح مختلف نیتروژن، کودهای زیستی و نانونیتروژن بر عملکرد و کارآیی مصرف نیتروژن سویا در منطقه داراب (استان فارس)

سمیه شعبانی[۱]- محسن موحدی دهنوی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۱۸

چکیده

به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف نیتروژن، کودهای زیستی و نانو نیتروژن بر عملکرد و کارآیی مصرف نیتروژن سویا رقم ویلیامز، در سال ۱۳۹۲ آزمایشی مزرعه‌ای در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس (داراب) به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کود شیمیایی نیتروژن در سه سطح (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن) به‌عنوان عامل اصلی و منبع نیتروژن در چهار سطح (ریزوبیوم جاپونیکوم، نانونیتروژن، نیتروکسین و شاهد) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد بیشترین میزان عملکرد دانه و شاخص برداشت از کاربرد تلفیقی ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ریزوبیوم به‌دست آمد. کاربرد تلفیقی ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ریزوبیوم بیشترین پروتئین و عملکرد پروتئین دانه را ایجاد نمود. حداکثر محتوای نیتروژن اندام هوایی در مرحله رسیدگی در نتیجه کاربرد تلفیقی ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و نانو کود نیتروژن ایجاد شد. در این تحقیق کمترین شاخص برداشت نیتروژن از کاربرد تلفیقی ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و نانو نیتروژن و حداکثر کارآیی مصرف نیتروژن از کاربرد تلفیقی ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ریزوبیوم مشاهده گردید. بیشترین کارآیی استفاده از نیتروژن از کاربرد نانو کود نیتروژن و بیشترین شاخص کارآیی جذب نیتروژن از کاربرد ۷۵ کیلوگرم نیتروژن و ریزوبیوم حاصل گردید. براساس یافته‌های این تحقیق بنظر می‌رسد استفاده تلفیقی ۷۵ کیلوگرم کود نیتروژن و ریزوبیوم راهکار مناسبی برای تولید گیاه روغنی سویا رقم ویلیامز در منطقه گرم و خشک داراب (فارس) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پایداری خاک، پروتئین، ریزوبیوم جاپونیکوم، شاخص برداشت نیتروژن، کارآیی جذب نیتروژن

مقدمه

سویا (*Glycine max*) گیاهی یکساله و از خانواده بقولات می‌باشد و به دلیل درصد بالای روغن (۲۴-۱۴ درصد) و پروتئین (۵۰- ۳۰ درصد) در بین دانه‌های روغنی یک گیاه با ارزش و راهبردی برای کشور محسوب می‌گردد (Ebrahimi Monfared and Delkhosh, 2011). نیتروژن یکی از عناصر بسیار مهمی است که نقش آن در تولید سویا به دلیل بالا بودن درصد پروتئین این گیاه نسبت به گیاهان دیگر، پررنگ‌تر می‌باشد. نتایج به‌دست آمده توسط حاتمی و همکاران (Hatami *et al.*, 2009) حاکی از افزایش عملکرد سویا در اثر افزایش کابرد کود نیتروژن تا سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در مقایسه با شاهد می‌باشد. چنین استنباط می‌شود که وجود نیتروژن، ریزش گل و غلاف را کاهش و باعث افزایش تعداد دانه در گیاه و نهایتاً بالا رفتن عملکرد دانه می‌شود. طبق گزارش محسنی و همکاران (Mohseni *et al.*, 2015) بیشترین پروتئین دانه سویا با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار به‌دست آمد. با توجه به اینکه نیتروژن یکی از اساسی‌ترین عناصر ساخت پروتئین بوده و سبب افزایش پروتئین در گیاه می‌شود، به همین دلیل گیاه سویا به میزان زیادی به آن نیاز دارد (Akbari *et al.*, 2012). نتایج حاصل از مطالعه رفیعی و همکاران (Rafeie *et al.*, 2014) نشان داد که عملکرد پروتئین دانه در سویا با افزایش کاربرد کود نیتروژن (۲۰۰

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج
(*- نویسنده مسئول: Email: Movahhedi1354@yu.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v15i3.53300

کیلوگرم نیتروژن در هکتار) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. یکی از مهم‌ترین دلایل آن فراهم بودن مقادیر مناسب نیتروژن می‌باشد.

کودهای زیستی به مجموعه مواد نگهدارنده با تعداد زیاد از یک یا چند ریز جاندار مفید خاکزی و یا فرآورده‌های متابولیک آنها که بیشتر به منظور تأمین عناصرغذایی مورد نیاز گیاه و ایجاد شرایط مناسب برای رشد و نمو آن و به‌صورت مایه تلقیح زنده برای مصرف در خاک و یا همراه با بذر تولید می‌شوند، اطلاق می‌گردد (Hojattipor *et al.*, 2014). کود زیستی نیتروکسین، حاوی مؤثرترین باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از جنس ازتوباکتر و آزوسپریلیوم بوده که علاوه بر تثبیت نیتروژن هوا و متعادل کردن جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف مورد نیاز گیاه، از طریق سازوکارهای مختلفی باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شوند (Moghimi *et al.*, 2011). سجادی‌نیک و همکاران (Sajadi Nik and Yadavi, 2011) افزایش ۸/۳ درصدی عملکرد نسبت به شاهد در اثر کاربرد کود زیستی نیتروکسین در گیاه کنجد (*Sesamum indicum*) را گزارش کردند. همچنین نتایج مشابهی در مورد تأثیر مثبت کود زیستی نیتروکسین بر عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه سویا توسط اردکانی و همکاران (Ardekani *et al.*, 2006)، در کلزا (*Brassica napus*) توسط یساری و پاتواردهان (Yasari and Patwardhan, 2007) و در آفتاب‌گردان توسط رشدی و همکاران (Roshdi *et al.*, 2009) گزارش شده است. علت این افزایش بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه در اثر کاربرد کود زیستی بیان شده است (Sajadi Nik *et al.*, 2011).

استفاده از نانو کودها یکی از مؤثرترین و در عین حال ساده‌ترین شیوه‌ها به‌منظور کاهش تلفات عناصر غذایی و افزایش کارآیی مصرف کودها است. مسلماً با به‌کارگیری فناوری نانو در بهینه کردن فرمولاسیون کودهای شیمیایی، می‌توان به دستاوردهای شگرفی از جمله کاهش هزینه‌های تولیدات کشاورزی و جلوگیری از معضلات زیست‌محیطی نائل آمد (Naderi and Danesh Shahraki, 2011).

به دلیل پویایی بالای نیتروژن و حلالیت زیاد ترکیبات کودی، مصرف بیش از حد آن‌ها باعث هدررفت نیتروژن از طریق فرآیندهای مختلف از قبیل آبشویی، نیترات‌زدایی، فرسایش سطحی و تصعید شده و باعث شده است کارآیی مصرف آن برای تولید محصولات کشاورزی پایین باشد (Koocheki *et al.*, 2012). کارآیی مصرف نیتروژن نشان‌دهنده بازدهی گیاه در تبدیل نیتروژن قابل دسترس در خاک به عملکرد دانه و یا زیستی می‌باشد. درک صحیح مکانسیم‌های مؤثر بر تنظیم کارآیی نیتروژن می‌تواند نقش مؤثری در افزایش تولید در واحد سطح داشته باشد. با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن، شاخص کارآیی استفاده از نیتروژن کاهش می‌یابد (Naushad *et al.*, 2012). کارآیی استفاده از نیتروژن به عوامل داخلی گیاه بستگی دارد (Fan *et al.*, 2004). نتایج به‌دست آمده توسط برخی محققین نشان داد که کاربرد تلفیقی ۷۵ درصد کود شیمیایی نیتروژن و کودهای زیستی باعث افزایش جذب نیتروژن و در نتیجه افزایش کارآیی جذب آن شده است (Hamzei and Sarmadi, 2010). در اثر استفاده از کود زیستی نیتروکسین کارآیی مصرف نیتروژن در ذرت شیرین (*Zea mays*) افزایش یافت (Sharifi *et al.*, 2012). لذا با توجه به مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و مشکلات ناشی از آن، همچنین نظر به اهمیت سویا به‌عنوان یک گیاه روغنی سازگار با اقلیم کشور و نیز عدم وجود اطلاعاتی مستند و جامع درخصوص واکنش‌های رشد و عملکرد این گیاه به کودهای غیرشیمیایی و نانو کودها و کارآیی مصرف نیتروژن، این مطالعه با هدف ارزیابی اثر سطوح مختلف نیتروژن، کودهای زیستی و نانو نیتروژن بر عملکرد و کارآیی مصرف نیتروژن سویا (رقم ویلیامز) در منطقه داراب (فارس) اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۲ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب واقع در ۲۷۰ کیلومتری جنوب شرق شیراز، با طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱۱۵ متر از سطح دریا، با بیشنه و کمینه دما و میانگین بارندگی سالیانه به‌ترتیب ۴۸ و ۳- درجه سانتی‌گراد و ۲۵۰ میلی‌متر و در خاکی شنی لومی اجرا گردید. خصوصیات خاک زراعی مزرعه اجرای طرح تحقیقاتی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات خاک زراعی محل اجرای آزمایش

Table 1- Properties of experimental soil

عمق خاک Soil depth (cm)	هدایت الکتریکی ($EC\times10^3$) mS cm^{-1}	اسیدیته pH	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	فسفر Available phosphorous (mg kg^{-1})	پتاسیم Available potassium (mg kg^{-1})	بافت خاک Soil texture
(0-30)	3.66	7.69	0.78	0.06	13.5	214	Sandy loam
(30-60)	1.35	7.95	0.68	0.05	9	178	Sandy loam

آزمایش به‌صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و با ۱۲ تیمار اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل سطوح کود نیتروژن (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع اوره (Hatami *et al.*, 2009) در کرت‌های اصلی و منبع نیتروژن در چهار تیمار (ریزوبیوم جاپونیکوم، نانونیتروژن، نیتروکسین و شاهد) در کرت‌های فرعی بودند. به منظور تأمین فسفر و پتاس مورد نیاز گیاه، قبل از کاشت، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به‌طور یکنواخت روی خاک پخش شده و به کمک دیسک با آن مخلوط گردید. هر کرت آزمایش شامل چهار ردیف کاشت به طول چهار متر بود. کشت به صورت جوی و پشته، فاصله ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف پنج سانتی‌متر و عمق کاشت چهار سانتی‌متر انتخاب گردید. رقم سویای مورد استفاده "ویلیامز" بود. نیتروژن به‌صورت تقسیط شده در سه مرحله زمان کاشت، بعد از وجین اول و اوایل گلدهی به خاک اضافه شد. برای مصرف باکتری ریزوبیوم جاپونیکوم، طبق دستور سازنده (مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر و نهال بیله سوار)، قبل از کاشت، بذور سویا به اندازه کافی برای کاشت هر تیمار جدا شده و به‌وسیله آب قند مرطوب گردید، سپس باکتری‌ها به بذور اضافه شدند.

مصرف نیتروکسین (با جمعیتی معادل 10^8 سلول زنده از هر یک از جنس‌های باکتری در هر میلی‌لیتر[1]) به‌صورت تلقیح با غلظت ۰/۵ لیتر برای ۹ کیلوگرم بذر بود. بذور با میزان نیتروکسین تعیین شده بذرمال شد و سپس کشت انجام گردید. ماده پیشنهادی نانو نیتروژن (نانو کود نیتروژن ۲۷ درصد) به میزان ۱۰ لیتر در هکتار (طبق دستور شرکت سازنده صدور احرار ضرق (خضراء)) به‌صورت تقسیط مساوی در مراحل مختلف (یک سوم همزمان با کاشت، یک سوم بعد از وجین اول و یک سوم اوایل گلدهی) همزمان با آبیاری مصرف گردید.

عملیات برداشت نهایی برای کلیه‌ی تیمارها زمانی صورت گرفت که کلیه‌ی برگ‌های روی ساقه ریزش و غلاف‌ها قهوه‌ای شده بودند. بدین منظور پس از حذف دو ردیف حاشیه هر کرت و ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر ردیف، سطحی معادل سه متر مربع جهت مقایسه عملکرد برداشت گردید. همچنین بعد از جداسازی دانه‌ها از غلاف‌ها، کاه و کلش غلاف‌ها به کمک ترازو توزین شد و سپس جهت تعیین رطوبت کاه و کلش و به‌دست آوردن عملکرد زیستی کل خشک گردید. علاوه بر این صفاتی از جمله درصد پروتئین دانه از حاصلضرب درصد نیتروژن دانه گیاه در عدد ۶/۲۵ محاسبه شد (Bremner, 1996)، عملکرد پروتئین (حاصلضرب درصد پروتئین دانه در عملکرد دانه)، محتوای نیتروژن در مرحله رسیدگی دانه (به روش کجلدال)، شاخص برداشت نیتروژن، کارآیی استفاده از نیتروژن، کارآیی جذب و کارآیی مصرف نیتروژن نیز به روش زیر برآورد گردید (Tousikehal *et al.*, 2011):

۱- شاخص برداشت نیتروژن (NHI^2)

$$NHI = \frac{Ng}{Nt} \times 100 \quad (۱)$$

در این رابطه NHI شاخص برداشت نیتروژن بر حسب درصد، Ng مقدار نیتروژن جذب شده در دانه و Nt مقدار نیتروژن جذب شده در کل بوته بر حسب کیلوگرم در هکتار می‌باشند.

۲- کارآیی استفاده از نیتروژن ($NUTE^3$)

$$NUTE = \frac{Wg}{Nt} \quad (۲)$$

که NUTE کارآیی استفاده از نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم) و Wg وزن دانه و Nt کل نیتروژن جذب شده توسط گیاه (کیلوگرم) می‌باشند.

۳- کارآیی جذب نیتروژن ($NUPTE^4$)

$$NUPTE = \frac{NT}{NF} \quad (۳)$$

که NUPTE کارآیی جذب نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم) NT کل نیتروژن جذب شده توسط دانه (کیلوگرم) و NF مقدار نیتروژن مصرف شده به‌صورت کود (کیلوگرم) می‌باشند.

۴- کارآیی مصرف نیتروژن (کارآیی ناخالص مصرف نیتروژن) (NUE^5)

$$NUE = \frac{Wg}{Nf} \quad (۴)$$

که NUE کارآیی مصرف نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)، Nf مقدار نیتروژن مصرفی به‌صورت کود بر حسب کیلوگرم و Wg وزن دانه بر حسب کیلوگرم می‌باشند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS انجام گردید. مقایسه میانگین اثرات اصلی به روش آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد و در صورت معنی‌دار بودن اثرات متقابل آن‌ها، برش‌دهی اثر متقابل انجام و مقایسه میانگین با روش L. S. Means صورت گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد زیستی

اثر نیتروژن و منبع نیتروژنه بر عملکرد زیستی معنی‌دار شد، ولی برهم‌کنش آن‌ها بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج نشان داد افزایش مقدار کود نیتروژن مصرفی باعث افزایش در میزان عملکرد زیستی شد؛ به‌طوری‌که عدم کاربرد نیتروژن مصرفی (شاهد) با

1- Colony Forming Unit (CFU)

2- Nitrogen Harvest Index
3- Nitrogen Utilization Efficiency
4- Nitrogen Uptake Efficiency
5- Nitrogen Use Efficiency

کمترین میزان (۳۷۸۲/۷ کیلوگرم در هکتار) این صفت همراه بود و بین سطوح ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از نظر آماری تفاوت معنی‌داری برای این صفت مشاهده نشد (جدول ۴). بیشترین میزان عملکرد زیستی (۴۵۰۸/۴ کیلوگرم در هکتار) مربوط به کاربرد ریزوبیوم بود و بین سایر تیمارهای منبع نیتروژن از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهد نشد. مصرف ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن هیچ‌گونه تفاوت آماری معنی‌داری ایجاد نکرد. بنابراین با مصرف ۷۵ کیلوگرم نیتروژن معدنی در هکتار و تلقیح با ریزوبیوم می‌توان در مصرف نیتروژن صرفه‌جویی و عملکرد زیستی را افزایش داد. حصول چنین نتیجه‌ای گویای این مطلب است که احتمالاً نیتروژن تمامی مشخصه‌های مؤثر بر عملکرد زیستی همچون، ارتفاع و تعداد شاخه فرعی، اندازه برگ، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه، را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در آزمایشی با بررسی اثر باکتری ریزوبیوم جاپونیکوم بر نخود (*Cicer aritenium* L.) مشخص شد که بیشترین عملکرد زیستی از کاربرد باکتری ریزوبیوم در مقایسه با نخود تلقیح نشده به‌دست آمد (Tagay *et al.*, 2008). به نظر می‌آید این باکتری باعث جذب بهتر و بیشتر عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر نیتروژن و منبع نیتروژن برای صفات مورد مطالعه

Table 2- Analysis of variance for nitrogen and nitrogen source effect for studied characteristics

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (Means of square) عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	محتوای نیتروژن اندام هوایی در مرحله رسیدگی دانه Seed nitrogen content at ripening stage	درصد پروتئین Protein percent	عملکرد پروتئین Protein yield	کارآیی استفاده از نیتروژن NutE	شاخص برداشت نیتروژن NHI
تکرار Replication	2	6496^{*}	7304^{ns}	5.38^{ns}	0.001^{ns}	3.78^{ns}	84.32^{ns}	0.006^{ns}	12.76^{*}
نیتروژن Nitrogen	2	1318^{*}	2002^{**}	9.06^{ns}	0.13^{*}	394.83^{**}	1770^{**}	0.66^{*}	215.61^{*}
خطای اصلی Main error	4	1242	9865	4.38	0.008	2.11	1810	0.04	12.21
منبع نیتروژن (NS) Nitrogen Souce	3	5741^{**}	1222^{**}	3.99^{ns}	0.01^{ns}	19.65^{*}	2717^{**}	0.06^{*}	43.66^{*}
N×NS	6	1417^{ns}	3722^{*}	22.38^{*}	0.16^{**}	13.85*	7192^{*}	0.01^{ns}	80.63^{**}
خطای فرعی Sub error	18	7744	1039	8.63	0.01	4.10	2249	0.02	8.86
ضریب تغییرات Cv (%)		6.72	6.23	7.41	12.06	8.62	12.17	13.54	4.26

ns، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1 probability levels, respectively.

جدول ۳- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس کارآیی جذب نیتروژن و کارآیی مصرف نیتروژن (کارآیی ناخالص)

Table 3- Mean squares obtained from analysis of variance for nitrogen uptake efficiency and nitrogen use efficiency

منابع تغییر S.O.V	میانگین مربعات (Means of square) درجه آزادی d.f	کارآیی مصرف نیتروژن NUE	کارآیی جذب نیتروژن NUPTE
تکرار Replication	2	1.23^{ns}	0.002^{ns}
نیتروژن Nitrogen	1	755.54^{**}	0.54^{**}
خطای اصلی Main error	2	1.36^{ns}	0.002
منبع نیتروژن Nitrogen Souce	3	20.58^{**}	0.07^{**}
N×NS	3	6.21^{**}	0.003^{ns}
خطای فرعی Sub error	12	0.95	0.004^{ns}
ضریب تغییرات Cv(%)		5.72	9.85

ns، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1 probability levels, respectively.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر نیتروژن و منبع نیتروژن برای برخی صفات سویا

Table 4- Mean comparisons of the effect of nitrogen and nitrogen source for some soybean characteristics

نیتروژن Nitrogen (kg ha^{-1})	عملکرد زیستی Biological yield (kg ha^{-1})	کارآیی استفاده از نیتروژن NUTE (kg kg^{-1})	کارآیی جذب نیتروژن NUPTE (kg kg^{-1})
0	3782.7	1.48	-
75	4197.1	1.11	0.84
150	4437.9	1.04	0.54
LSD 5%	399.4	0.22	0.09
منبع نیتروژنه (Nitrogen source)			
شاهد (Control)	4037.3	1.21	0.64
نانو (Nano)	3938.4	1.29	0.59
نیتروکسین (Nitroxin)	4037.0	1.25	0.68
ریزوبیوم (*Rhizobium*)	4508.4	1.09	0.84
LSD 5%	275.61	0.16	0.08

عملکرد دانه

اثر نیتروژن و منبع نیتروژن و برهم‌کنش آن‌ها بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۲). به‌طور کلی افزایش در سطح کاربرد نیتروژن مصرفی باعث افزایش در میزان عملکرد دانه شد. مقایسه میانگین برهم‌کنش نیتروژن و منبع نیتروژن نشان داد که در سطح ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تمامی تیمارهای منبع نیتروژن افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد برای این صفت ایجاد نمودند. به‌طوری‌که بیشترین مقدار عملکرد دانه (۲۰۱۸/۲۱ کیلوگرم در هکتار) مربوط به کاربرد ریزوبیوم بود. همچنین در سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار افزایش معنی‌داری از کاربرد نیتروکسین (۱۰ درصد) و ریزوبیوم (۱۸/۵ درصد) در مقایسه با شاهد برای این صفت مشاهده گردید، ولی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد (جدول ۵). با توجه به نتایج به‌دست آمده این‌گونه استنباط می‌شود که وجود نیتروژن کافی به‌عنوان آغازگر باعث تقویت رشد رویشی شده و گیاه با آمادگی بیشتر به مرحله زایشی وارد شده و در نهایت باعث افزایش عملکرد دانه در سطح ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار می‌شود. با توجه به نتایج (جدول ۵) مصرف ۷۵ کیلوگرم نیتروژن و تلقیح با رایزوبیوم در مقایسه با ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن با صرفه‌جویی، ۷۵ کیلوگرمی نیتروژن مصرفی عملکرد بالایی تولید می‌نماید. افزایش عملکرد دانه در نتیجه مصرف کود نیتروژن به‌ترتیب در سویا (Hatami *et al.*, 2009)، نخود (Tagay *et al.*, 2008) و گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.) (Tahmasebi Zadeh *et al.*, 2010) توسط محققین مختلفی گزارش شده است. این افزایش در میزان رشد و عملکرد دانه تحت تأثیر تلقیح با باکتری رایزوبیوم می‌تواند به دلیل افزایش تأمین عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن طی دوره رشد باشد.

شاخص برداشت

اثر نیتروژن و منبع نیتروژنه بر شاخص برداشت نیتروژن معنی‌دار نشد، ولی برهم‌کنش آن‌ها بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش نیتروژن و منبع نیتروژن برای شاخص برداشت نشان داد که در سطح ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار کاربرد ریزوبیوم شاخص برداشت را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۵). با توجه به اینکه در سطح ۷۵ کیلوگرم نیتروژن مصرفی، افزایش عملکرد دانه بیش از عملکرد زیستی از کاربرد ریزوبیوم متأثر شده، بنابراین شاخص برداشت را افزایش داده است. گزارش شده است که بیشترین شاخص برداشت نخود در نتیجه تلقیح با باکتری ریزوبیوم و کمترین میزان آن در نتیجه عدم تلقیح با باکتری به‌دست آمد (Tagay *et al.*, 2008). به‌طور کلی با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان اظهار داشت که کودهای زیستی با ایجاد تعادل بین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، ضمن افزایش رشد رویشی، رشد زایشی را افزایش داده و با ایجاد مقصد فراوان (دانه)، انتقال آسیمیلات تولیدی حاصل از رشد رویشی، به دانه‌ها و در نهایت شاخص برداشت دانه‌ی گیاه را افزایش می‌دهند (Yousefpour, 2012).

محتوای نیتروژن اندام هوایی در مرحله رسیدگی دانه

اثر منبع نیتروژنه بر محتوای نیتروژن اندام هوایی در مرحله رسیدگی دانه معنی‌دار نبود، ولی اثر نیتروژن و برهم‌کنش نیتروژن و منبع نیتروژنه بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش نیتروژن و منبع نیتروژن نشان داد که در سطح ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، مصرف نیتروکسین افزایش معنی‌دار، ولی ریزوبیوم کاهش معنی‌دار نسبت به شاهد ایجاد کردند. اما در سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ریزوبیوم و نانونیتروژن موجب افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد شدند. مصرف ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار

همراه با کاربرد نیتروکسین بیشترین و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار همراه با کاربرد نیتروکسین کمترین میزان درصد محتوای نیتروژن اندام هوایی در مرحله رسیدگی دانه را ایجاد نمودند. به‌طور کلی با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش این‌گونه استنباط می‌شود که با مصرف کود نیتروژن در ابتدا محتوای نیتروژن اندام هوایی روند افزایشی و سپس روند کاهشی یافت (جدول ۵). کاهش محتوای نیتروژن اندام‌های هوایی در زمان رسیدگی دانه می‌تواند به دلیل انتقال مجدد نیتروژن از ساقه‌ها به دانه‌ها و همچنین تولید ماده خشک بیشتر، نسبت به جذب نیتروژن در طی دوره رسیدگی دانه باشد. همچنین در تحقیق دیگری عنوان شده که درصد نیتروژن در گیاه در طی فصل رشد کاهش می‌یابد و علت آن را در مرحله قبل از پرشدن دانه، رقیق شدن نیتروژن (پدیده رقیق شدن نیتروژن در کل گیاه و در هر یک از اندام‌ها در طول فصل رشد به دلیل افزایش سهم ساختمان‌های فقیر همچون ساقه از نظر نیتروژن و با پیشرفت نمو گیاه رخ می‌دهد) و کاهش آن پس از این مرحله را انتقال مجدد ساقه و برگ به دانه‌های در حال رشد بیان نمودند. حصول چنین نتیجه‌ای شاید به این دلیل باشد که با گذشت زمان در طول فصل رشد، به‌تدریج غلظت نیتروژن در کل گیاه کاهش می‌یابد (Bakhshandeh, 2013).

درصد پروتئین دانه

اثر نیتروژن و منبع نیتروژنه و برهم‌کنش بین آن‌ها بر درصد پروتئین دانه معنی‌دار شد (جدول ۲). بنابر نتایج به‌دست آمده در سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بیشترین میزان پروتئین دانه (۳۴/۶۵ درصد) مربوط به کاربرد ریزوبیوم بود که افزایش معنی‌داری در مقایسه با شاهد برای این صفت ایجاد نمود و بین سایر تیمارهای منبع نیتروژن برای این صفت از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). در کاربرد تلفیقی کود شیمیایی و کود زیستی، از طریق جلوگیری از هدرروی نیتروژن به علت وجود کود زیستی، نیتروژن بیشتری در اختیار گیاه قرار گرفته و لذا میزان پروتئین افزایش می‌یابد (Yousefpour, 2012). به‌طور کلی افزایش در سطح کاربرد نیتروژن مصرفی باعث افزایش در میزان پروتئین دانه شد. دلیل بالا بودن پروتئین دانه در کاربرد نیتروژن را می‌توان جذب سریع‌تر نیتروژن و افزایش غلظت نیتروژن در اندام‌های هوایی و در نتیجه انتقال بیشتر آن به دانه ذکر کرد. بر اساس نتایج اثر نیتروژن بر میزان پروتئین بیش از اثر منبع نیتروژن بوده است. افزایش میزان نسبی پروتئین دانه ممکن است به این علت باشد که مصرف کود نیتروژن علاوه بر تغذیه‌ی اندام‌های رویشی انتقال آن به دانه‌ها را در مقایسه با انتقال ترکیبات کربوهیدراتی ناشی از فتوسنتز جاری افزایش داده و در نتیجه درصد حضور آن بالا رفته است.

عملکرد پروتئین دانه

اثر نیتروژن و منبع نیتروژنه و برهم‌کنش بین آن‌ها بر عملکرد پروتئین دانه معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش نیتروژن و منبع نیتروژن نشان داد که در سطح ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ریزوبیوم افزایش معنی‌داری در مقایسه با شاهد برای این صفت ایجاد نمود و بین سایر تیمارهای منبع نیتروژن از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ریزوبیوم افزایش معنی‌داری در مقایسه با شاهد برای این صفت ایجاد نمود و بین نیتروکسین، نانو نیتروژن و همچنین بین شاهد و نانو نیتروژن از نظر آماری تفاوت معنی‌داری برای این صفت مشاهده نشد. مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار همراه با کاربرد ریزوبیوم بیشترین میزان عملکرد پروتئین دانه (۶۵۸/۵۶ کیلوگرم بر هکتار) را ایجاد نمود. به‌طور کلی با افزایش کود نیتروژن مصرفی، عملکرد پروتئین دانه افزایش یافت (جدول ۵). نتایج برخی بررسی‌ها (Mohsen Abadi *et al.*, 2001) نشان داد که عملکرد پروتئین دانه با افزایش کاربرد کود نیتروژن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و این افزایش به علت افزایش عملکرد دانه می‌باشد. همچنین در تحقیق دیگری (Farnia and Madani, 2010) بر روی سویا چنین استنباط شد که استفاده از نژادهای باکتری رایزوبیوم جاپونیکوم باعث افزایش عملکرد پروتئین دانه شد. تلقیح با برادی‌ریزوبیوم جاپونیکوم باعث افزایش معنی‌دار عملکرد پروتئین سویا شد. در حقیقت عملکرد بالای پروتئین دانه متأثر از همزیستی مناسب باکتری با گیاه می‌باشد (Shokuhfar *et al.*, 2008).

شاخص‌های کارآیی نیتروژن

کارآیی استفاده از نیتروژن (NutE)

اثر نیتروژن و منبع نیتروژنه بر کارآیی استفاده از نیتروژن معنی‌دار بود، ولی برهم‌کنش آن‌ها بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارها برای این شاخص نشان داد که افزایش سطح کاربرد نیتروژن مصرفی باعث کاهش این صفت شد. به‌طوری‌که بیشترین کارآیی استفاده از نیتروژن در سطح صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد، بین سطوح ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر منبع نیتروژن برای این صفت نشان داد که بین تیمارها تفاوت معنی‌داری با شاهد وجود ندارد (جدول ۴). نتایج برخی بررسی‌ها (Daneshmand *et al.*, 2008) در به‌کارگیری مقادیر مختلف کود نیتروژن بر کارآیی استفاده از نیتروژن حاکی از آن است که با افزایش میزان کود مصرفی، کارآیی استفاده از نیتروژن کاهش یافت. بنابراین چنین استنباط می‌شود که کارآیی استفاده از نیتروژن ممکن است به خاطر هدر رفتن آن از طریق تصعید، دنیتریفیکاسیون، آبشویی و یا به علت عدم جذب نیتروژن و یا عدم استفاده مؤثر از آن کاهش یابد (Asadi *et al.*, 2011).

جدول ۵- مقایسه میانگین برهم‌کنش و میانگین اثرات اصلی نیتروژن و منبع نیتروژن برای صفات مورد مطالعه

Table 5- Mean comparison of interaction and main effect of nitrogen and source of nitrogen on studied characteristics

نیتروژن Nitrogen (kg ha^{-1})	منبع نیتروژن Nitrogen source	میانگین صفات (Trait means)						
		عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest (%) index	محتوای نیتروژن اندام هوایی در مرحله رسیدگی دانه Shoot nitrogen content at ripening stage (%)	پروتئین دانه Seed Protein (%)	عملکرد پروتئین دانه Seed protein yield (kg ha^{-1})	شاخص برداشت نیتروژن NHI (%)	کارآیی مصرف نیتروژن NUE (kg kg^{-1})
0	شاهد (Control)	1476.37a†	41.92a	0.89a	24.56a	260.30a	67.64a	-
	نانو (Nano)	1479.97a	38.96a	0.89a	22.57a	255.02a	66.32a	-
	نیتروکسین (Nitroxin)	1488.10a	38.54a	0.89a	24.15a	266.62a	66.71a	-
	ریزوبیوم (*Rhizobium*)	1501.99a	38.07a	1.05a	22.92a	281.41a	63.93a	-
75	شاهد (Control)	1564.85d	37.78b	1.28b	26.72a	384.28b	64.97c	20.86b
	نانو (Nano)	1600.04c	40.74ab	1.28b	27.94a	339.39b	60.55d	21.33b
	نیتروکسین (Nitroxin)	1621.04c	39.54b	1.51a	28.51a	390.37b	71.65b	21.61b
	ریزوبیوم (*Rhizobium*)	2018.21a	44.24a	1.00c	28.30a	463.34a	77.56a	26.90a
150	شاهد (Control)	1603.02b	36.16a	0.84c	31.43b	428.17c	70.62c	10.68b
	نانو (Nano)	1607.79b	39.86a	1.00b	31.04b	440.03b	77.81a	10.72b
	نیتروکسین (Nitroxin)	1763.74a	41.70a	0.82c	31.46b	504.66b	73.21bc	11.75ab
	ریزوبیوم (*Rhizobium*)	1899.92a	37.84a	1.19a	34.65a	658.56a	76.05ab	12.66a

اعداد با حروف مشابه در هر ستون و در هر سطح نیتروژن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ درصد بر اساس آزمون L. S. Means ندارند.

Numbers with the same letters in each column and in each level of nitrogen have not significant differences at 5% probability error level based on L. S. Means procedure.

شاخص برداشت نیتروژن (NHI)

اثر نیتروژن و منبع نیتروژنه و برهم‌کنش بین آن‌ها بر شاخص برداشت نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش نیتروژن و منبع نیتروژن نشان داد که در سطح ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بیشترین شاخص در تیمار ریزوبیوم (۷۷/۵۶ درصد) و سپس نیتروکسین (۷۱/۶۵ درصد) مشاهده شد که با شاهد تفاوت معنی‌دار نشان دادند و نانو نیتروژن (۶۰/۵۵ درصد) موجب کاهش این صفت شد. همچنین در سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تیمار ریزوبیوم (۷۶/۰۵ درصد) افزایش معنی‌داری در مقایسه با شاهد برای این صفت ایجاد نمود. ولی بین نانو نیتروژن و ریزوبیوم از نظر آماری تفاوت معنی‌داری برای این صفت مشاهده نشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش افزایش در سطح کاربرد نیتروژن مصرفی باعث افزایش شاخص برداشت نیتروژن می‌شود (جدول ۵).

کارآیی مصرف نیتروژن (کارآیی ناخالص مصرف نیتروژن) (NUE)

اثر نیتروژن، منبع نیتروژنه و برهم‌کنش بین آن‌ها بر کارآیی مصرف نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم‌کنش نیتروژن و منبع نیتروژن نشان داد که در سطوح ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بیشترین میزان کارآیی مصرف نیتروژن مربوط به کاربرد ریزوبیوم می‌باشد که افزایش معنی‌داری در مقایسه با شاهد برای این صفت ایجاد نمود (جدول ۵). در سطح ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بین سایر تیمارهای منبع نیتروژن به‌جز ریزوبیوم تفاوت معنی‌داری از نظر آماری برای این صفت مشاهده نشد. همچنین در سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بین ریزوبیوم و نیتروکسین از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین میزان کارآیی مصرف نیتروژن به تیمار ترکیبی ریزوبیوم و مصرف ۷۵ کیلوگرم کود نیتروژن (۲۶/۹۰ کیلوگرم بر کیلوگرم) و کمترین میزان آن به تیمار شاهد و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۱۰/۶۸ کیلوگرم بر کیلوگرم) تعلق داشت. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌توان بیان کرد که کاربرد تلفیقی ۷۵ کیلوگرم نیتروژن و باکتری ریزوبیوم باعث افزایش جذب نیتروژن و به دنبال آن افزایش عملکرد دانه (جدول ۵) و نهایتاً باعث افزایش کارآیی مصرف نیتروژن شده است. سایر محققان (Sadat Hosseini *et al.*, 2013) نشان دادند که با افزایش کود نیتروژن مصرفی، کارآیی مصرف نیتروژن روند کاهشی دارد. به‌طور کلی کارآیی مصرف عناصر غذایی با رفع تدریجی نیاز گیاه کمتر می‌شود و معمولاً بالاترین کارآیی مصرف کود در اولین واحدهای مصرف آن به‌دست می‌آید (Rabie and Tousikehal, 2011) و این موضوع گویای این است که میزان کارآیی نیتروژن با افزایش میزان آن روندی کاهشی خواهند داشت (Banisaeidi, 2012). دلیل این کاهش احتمالاً ناشی از این مسئله می‌باشد که رابطه‌ی بین مصرف کود نیتروژن و افزایش عملکرد خطی نیست. به‌عبارت دیگر در سطوح بالای مصرف کود نیتروژن، جذب نیتروژن در دسترس به آهستگی افزایش می‌یابد که باعث کاهش در کارآیی مصرف نیتروژن می‌شود (Sadat Hosseini *et al.*, 2013). بنابراین به نظر می‌رسد که تلقیح با باکتری رایزوبیوم باعث افزایش تأمین عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن در گیاه می‌گردد.

کارآیی جذب نیتروژن (NuptE)

اثر نیتروژن و منبع نیتروژنه بر کارآیی جذب نیتروژن معنادار بود، ولی برهم‌کنش آن‌ها برای این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارها برای این صفت نشان می‌دهد که با افزایش کاربرد کود نیتروژن، کارآیی جذب نیتروژن کاهش یافت. بیشترین میزان این صفت از کاربرد ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کمترین آن از کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شده است (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر منبع نیتروژن برای کارآیی جذب نیتروژن نشان داد که بیشترین میزان آن از کاربرد ریزوبیوم ایجاد گردید. بنابراین به‌نظر می‌رسد که کاربرد تلفیقی ۷۵ کیلوگرم کود نیتروژن و باکتری ریزوبیوم باعث افزایش جذب نیتروژن و در نتیجه افزایش کارآیی جذب آن شده است. این افزایش می‌تواند دلیلی بر مثبت بودن اثر باکتری بر جذب بهتر و بیشتر عناصر غذایی توسط گیاه باشد. نتایج برخی بررسی‌ها (Rahimizadeh *et al.*, 2010 and Dawson *et al.*, 2008) نشان می‌دهد که با افزایش کاربرد کود نیتروژن، کارآیی جذب نیتروژن کاهش می‌یابد. بنابراین به‌نظر می‌رسد که واکنش گیاه به مصرف کود نیتروژن از قانون بازده نزولی تبعیت می‌کند و به احتمال زیاد تلفات میزان نیتروژن در سطوح بالای کود نیتروژن از طریق تصعید، نیترات‌زدایی، آبشویی یا به علت عدم جذب نیتروژن به‌واسطه گیاه و بالاخره عدم استفاده مؤثر آن افزایش می‌یابد، که این خود موجب کاهش کارآیی جذب نیتروژن می‌گردد (Rabie and Tousikehal, 2011).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر کود شیمیایی نیتروژن، کود زیستی نیتروکسین و نانو کود نیتروژن بر روی عملکرد و کارآیی مصرف نیتروژن گیاه روغنی سویا مورد بررسی قرار گرفت و در این بین استفاده تلفیقی از ۷۵ کیلوگرم نیتروژن و ریزوبیوم بیشترین و بهترین

نتیجه بر عملکرد و کارآیی مصرف نیتروژن در منطقه داراب (فارس) ایجاد نمود. بدون تردید تلقیح بذر سویا با باکتری ریزوبیوم، مصرف کود نیتروژنه را تا نصف مقدار توصیه شده کاهش می‌دهد. می‌توان چنین نتیجه گرفت که هر زمان همراه کود زیستی منبعی از کود شیمیایی وجود داشته باشد این کود عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. این موضوع در کاهش هزینه‌ها، حفظ پایداری و سلامتی خاک کشاورزی می‌تواند تأثیر به‌سزایی داشته باشد.

References

1. Akbari, Gh. A., Khalaj, H., Labbafi Hossenabadi, M. R., and Sabzi, H. 2012. Investigation of different bacteria Bradyrhizobium japonicum inoculation on soybean seeds quality and quantity (*Glycine max* (L.) Merr.). Journal of Pajohesh and Sazandegi 25 (94): 1-6. (in Persian with English abstract).
2. Ardekani, M. R., Farahbakhsh, A., Sani, B., and Khosravi, H. 2006. Efficiency of diazotroph fertilizer in sustainable soybean cropping. 9th Iranian Crop Sciences Congress, Karaj. Seed and plant improvement institute Pp 1-4. (in Persian with English abstract).
3. Asadi, S., Zavareh, M., Shokri Vahed, H., and Shahin Rokhsar, P. 2011. Effect of supplement foliar application of nitrogen and potassium on yield, grain quality and nitrogen utilization efficiency of hybrid rice c.v. Bahar-1. Electronic Journal of Crop Production 4 (3): 175-190. (in Persian with English abstract).
4. Bakhshandeh, E., Soltani, A., Zeinali, E., and Ghadiryan, R. 2013. Study of dry matter and nitrogen accumulation, remobilization and harvest index in bread and durum wheat cultivars. Electronic Journal of Crop Production 6 (1): 39-59. (in Persian with English abstract).
5. Banisaeidi, A. K. 2012. Effect of nitrogen fertilizer on grain yield components and nitrogen use efficiency sunflower cultivars (*Helianthus annul* L.) in Khuzestan conditions. Crop Physiology Journal 4 (15): 71-86. (in Persian with English abstract).
6. Bremner, J. M. 1996. Nitrogen total. In Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Pp: 1085-1122. Soil Science Society of America and American Statistical Association, Madison, USA.
7. Clint, H. Bain. 2005. The effect of different seeding rate on soybean yield. A Research Papar Submitted to the faculty of the University of Tennessee at Martin. Pp: 1-36.
8. Daneshmand, A. R., Shirani-Rad, A. H., Nour-Mohammadi, Gh., Zarei, G., and J. Daneshian. 2008. Effect of irrigation regiems and nitrogen levels on seed yield and seed quality of two rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Iraniam Journal of Crop Sciences 10 (3): 244-261. (in Persian with English abstract).
9. Dawson, J. C., Huggins. D. R., and Jones, S. S. 2008. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agriculture systems. Field Crops Research 107: 89-101.
10. Ebrahimi Monfared, K., and Delkhosh, B. 2011. Chemical evaluation of oils extracted from Eight New varieties of soybean. Food Technology and Nutrition 8 (1): 72-84. (in Persian with English abstract).
11. Fan, X., Li, F., Lin, F., and Kumar, D. 2004. Fertilization with a new type of coated urea: Evaluation for nitrogen efficiency and yield in winter wheat. Journal of Plant Nutrition 25: 853-865.
12. Farnia. A., and Madani, H. 2010. Effect of drought stress and different bacterial strains *Rhizobium japanicum* on quantitative and qualitative characteristics of soybean cultivar Clark. New Findings in Agriculture 4 (4): 391-404. (in Persian with English abstract).
13. Gharakhani Beni, H., Movahhedi Dehnavi, M., Yadavi, A., and Hashemi Jazi, S. M. 2012. Study of the Quantitative and Qualitative Traits of Four Soybean (*Glycine max* L.) Cultivars under Different Sowing Dates in Shahrekord Region. Journal of Crop Production and Processing 1 (2): 19-33. (in Persian with English abstract).
14. Hamzei, J., and Sarmadi, H. 2010. Effect of biological and chemical fertilizers application on yield, yield components, agronomic efficiency and nitrogen uptake in corn. Plant technology Journal 10 (2): 52-63. (in Persian with English abstract).
15. Hatami, H., Inehband, A., Azizi, M., and Dadkhah, A. 2009. Effect of N fertilizer on growth and yield of soybean at north Khorasan. Electronic Journal of Crop Production 2 (2): 25-42. (in Persian with English abstract).
16. Hojattipor, A., Jafari Haghighi, B., and Drostkar, M. 2014. Effect of biological and chemical fertilizers integration on grain yield, yield components and growth indices of wheat. Journal of Plant Ecophysiology 5 (15): 36-48. (in Persian with English abstract).
17. Koocheki, A. R., Borumand Rezazadeh, Z., Nassiri Mahallati, M., and Khorramdel, S. 2012. Evaluation of nitrogen absorption and use efficiency in relay intercropping of winter wheat and maize. Iranian Journal of Field Crops Research 10 (2): 327-334. (in Persian with English abstract).
18. Moghimi, F., Yousefirad, M., and Eradatmand asli, D. 2011. Effect of nitroxin on yield and yield components of safflower. 1nd National Conference Moder Topic In Agriculture, The Islamic Azad University Sari branch Pp 1-5. (in Persian with English abstract).
19. Mohsen Abadi, G. R., Khodabande, N., Arshi, Y., and Peyghambari, S. A. 2001. Effect of different levels of

nitrogen fertilizer and irrigation on yield and yield components of two rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Iranian Journal of Agricultural Sciences 32 (4): 765-772. (in Persian with English abstract).
20. Mohseni, A. R., Khajoi nejad, Gh. R., and Mohammadi nejad, Gh. 2015. Yield and yield components reaction of soybean cultivars to inoculation by *Bradyrhizobium Japonicum* bacteria and nitrogen**.** International Journal of Plant Production 22 (1): 73- 88. (in Persian with English abstract).
21. Naderi, M. R., and Danesh Shahraki, A. R. 2011. The application of nano-technology in optimizing the formulation of chemical fertilizers. Nanotechnology 10 (4): 23-19. (in Persian with English abstract).
22. Naushad, H., Abdollahyan Noghabi, M., and Babaei, B. 2012. Effect of nitrogen and phosphorous application on the efficiency of nitrogen uptake and consumption in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) Iranian Journal of Plant Protection Science 43 (3): 529-539. (in Persian with English abstract).
23. Rabie, M., and Tousikehal, P. 2011. Effects of nitrogen and potassium fertilizer levels on nitrogen use efficiency and yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) as a second crop after rice in Gilan region. Iranian Journal of Crop Sciences 2 (3): 605-615. (in Persian with English abstract).
24. Rafeie, H. A., Agha alikhani, M., and Modares Sanavy, S. A. M. 2014 .Soybean response to nitrogen application rates in conventional, organic and integrated fertilizing system. Knowledge of Sustainable Agriculture 24 (2): 1-18. (in Persian with English abstract).
25. Rahimizadeh, M., Kashani, A., Zare Faizabadi, A., Koocheki, A. R., and Nassiri Mahallati, M. 2010. Investigation of nitogen use efficency in wheat- based double cropping systems under different rate of nitrogen and return of crop residue. Electronic Journal of Crop Production 3 (3): 125-142. (in Persian with English abstract).
26. Roshdi, M., Rezadust, S., Khalili Mahaleh, J., and Haji Hassani Asl, N. 2009. The effect of biofertilizers on yield and yield components of three varieties of oil sunflower cultivars (*Helianthus annuus* L.). Journal of Crop Ecophysiology 10 (3): 11-24. (in Persian with English abstract).
27. Sadat Hosseini, R., Galeshi, S., Soltani, A., Kalate, M., and Zahed, M. 2013. The effect of nitrogen rate on nitrogen use efficiency index in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Iranian Journal of Field Crops Research 11 (2): 300-306. (in Persian with English abstract).
28. Sajadi Nik, R., Yadavi, A. R., Balouchi, H. R., and Farajee, H. 2011. Effect of chemical (urea), organic (vermicompost) and biological (nitroxin) fertilizers on quantity and quality yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of Agricultural and sustainable production 21 (2): 87-101. (in Persian with English abstract).
29. Sharifi, M., Mirzakhani, M., and Sajedi, N. A. 2012. Effect of nitroxin, nitrogen and manure application on yield ,nitrogen use efficiency and agronomic characteristics some sweet corn. New Findings In Agriculture 6 (2): 139-149. (in Persian with English abstract).
30. Shokuhfar, A., Shahuly, R., and Godrati, G. 2008. Soybean response to different strains of the bacterium *Bradyrhizobium japonicum* in the northern region of Khuzestan. Journal of Agronomy and Plant Breeding 4 (2): 81-92. (in Persian with English abstract).
31. Tagay, N., Tagay, Y., Cimirin, K. M., and Turan, M. 2008. Effect of Rhizobium inoculation sulfur and phosphorus application on yield, yield components and nutrient uptake in chich pea (*Cicer aritenium* L.). African Journal of Biotecnology 7 (6): 776-782.
32. Tahmasebi Zadeh, H., Madani, H., Farahani, H., Mirzakhani, M., and Farmahini, A. 2010. Effect of temperature degree, different nitrogen levels and plant density on oil yield of spring safflower. Journal of Agronomy and Plant Breeding 6 (2): 21- 33. (in Persian with English abstract).
33. Tousikehal, P., Esfahani, M., Rabiei, M., and Rabiei, B. 2011. Effect of concentration and timing of application of supplementary nitrogen fertilizer on dry matter remobilization, grain yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.) cv. Hayola401. Iranian Journal of Field Crop Science 13 (2): 352-367. (in Persian with English abstract).
34. Yasari, E., and Patwardhan, M. 2007. Effects of *Azotobacter* and *Azospirillum* Inoculants and Chemical Fertilizers on Growth and Productivity of Canola (*Brassica napus* L.). Asian Journal of Plant Sciences 6 (1): 77-82. (in Persian with English abstract).
35. Yousefpour, Z. 2012. Effect of nitrogen and phosphorus biological and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of sunflower. M. Sc. Thesis. Yasouj University 132 p. (in Persian with English abstract).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 3, Fall. 2017, p. 709-720

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، ص. ۷۲۰-۷۰۹

Effect of Different Levels of Nitrogen, Bio-fertilizers and Nano-nitrogen on Yield and Nitrogen Use Efficiency of Soybean in Darab Region (Fars)

S. Shaabani[1]- M. Movahhedi Dehnavi[2*]

Received: 24-01-2016
Accepted: 08-08-2016

Introduction

Soybean is a member of leguminoseae family with average protein percentage of 40%, which needs a large amount of nitrogen fertilizer to get maximum yield. Using biofertilizers, beside chemical nitrogen fertilizers, can reduce proportion of chemical nitrogen demand without any undesirable effect on quantity and quality of its yield. Biological nitrogen fixation of soybean by *Rhizobium japonicam* can improve nitrogen use efficiency parameters beside its yield. This experiment was conducted with the aim of study the effect of different levels of nitrogen, bio-fertilizers and Nano-nitrogen on nitrogen use efficiency (NUE) and yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cv. Williamz.

Material and Methods

A field experiment was conducted as a spilt plot in a randomized complete block design with three replications in 2013 at research center for agriculture and natural resources of Darab, Fars, Iran. Main factor was mineral nitrogen at three levels (zero, 75 and 150 kg N ha^{-1}) and sub plot was nitrogen source at four levels (*Rhizobium japonicum*, nano-nitrogen, nitroxin and control). *Rhizobium japonicum* bacteria was inoculated in rate of 125 gr per 50 Kg seeds, nitroxin in rate of 0.5 L per 9 Kg seeds, and nano-nitrogen in rate of 10 L ha^{-1}. The experimental plot dimensions were 2 x 4 m consisting of 4 rows of cultivated soybean 50 cm apart. The seeds were planted 5cm apart on each row. A furrow irrigation system was employed during experimental period. After the physiological maturity the experimental plots were harvested and yield, yield components, protein, protein yield, seed nitrogen content at ripening stage, nitrogen use efficiency (NUE), nitrogen utilization efficiency (NUTE), nitrogen uptake efficiency (NUE) and nitrogen harvest index (NHI) were measured.

Results and Discussion

The results showed that the interaction of nitrogen and nitrogen source was significant for grain yield, harvest index, nitrogen percentage in the grain ripening phase, seed protein and protein yield. Mean comparison showed that the highest grain yield (2018 kg ha^{-1}) obtained from application of 75 kg N ha^{-1} with *Rhizobium* application and the lowest grain yield (1476 kg ha^{-1}) obtained from the no nitrogen fertilizer application. The highest seed protein percentage and seed protein yield observed in application of 150 kg N ha^{-1} with *Rhizobium* application. The highest nitrogen in the grain (1.51 %) was related to application of 75 kg ha^{-1} N with nano-nitrogen application. The highest nitrogen content of shoot in harvesting stage was achieved by integrated application of 75 kg ha^{-1} nitrogen and nano-fertilizer nitrogen. The highest nitrogen harvest index (NHI) (77.81 %) obtained from application 150 kg ha^{-1} N with nano-nitrogen application, maximum nitrogen use efficiency (NUE) (26.90 kg kg^{-1}) was obtained from application of 75 kg N ha^{-1} and *Rhizobium* application and the minimum (12.66 kg kg^{-1}) was obtained from application of 150 kg N ha^{-1} and *Rhizobium*. Generally, soybean production in Darab region had the best results with the use of 75 kg N ha^{-1} along with the *Rhizobium japonicum* application.

1and 2- M.Sc. Student and Associate Professor of Agronomy respectively, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran
(*- Corresponding Author Email: Movahhedi1354@yu.ac.ir)

Conclusions

Applying of biofertilizers beside chemical nitrogen, could decrease chemical nitrogen use without any impact on qualitative and quantitative yield of soybean. According to the results of this study application of half of the recommended amount of nitrogen (75 kg N ha^{-1}) and inoculation with *Rhizobium japonicum* bacteria (125 gr per 50 kg seeds) had the highest grain yield, harvest index, nitrogen use efficiency (NUE) and nitrogen harvest index (NHI). It seems that combined application of bacteria and chemical fertilizers can improve soybean performance and also reduce its chemical nitrogen demand. Our results suggested that, integrated application of 75 kg ha^{-1} nitrogen and Rhizobium can be suitable treatment to soybean production in Darab climatee.

Keywords: Nitrogen harvest index, Nitrogen uptake efficiency, Protein, *Rhizobium japonicum*, Soil stability