دوماهنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران
جلد ۳۰، شماره ۲، صفحه ۲۷۴-۲۶۰ (۱۳۹۳)

مقایسه تأثیر منابع آلی، شیمیایی و بیولوژیک نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن در سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)

پرویز رضوانی‌مقدم[1*]، سیدمحمد سیدی[2] و مسعود آزاد[2]

۱*- نویسنده مسئول، استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، پست الکترونیک: rezvani@ferdowsi.um.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: خرداد ۱۳۹۰ تاریخ اصلاح نهایی: مرداد ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۳۹۱

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات منابع آلی و غیرآلی نیتروژن و نیز کودهای مختلف بیولوژیک بر کارایی مصرف نیتروژن و کود در سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و ۲۵ تیمار در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. تیمارهای آزمایش براساس ترکیبی از ۵ منبع تأمین‌کننده نیتروژن (کود دامی، کمپوست، ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی اوره و شاهد) و نیز ۵ کود بیولوژیک (نیتروکسین (شامل ازتوباکتر و آزوسپیریلوم)، میکوریزا، نیتروکسین + میکوریزا، بیوسولفور (شامل تیوباسیلوس) + گوگرد و شاهد) تعیین شدند. نتایج نشان داد که با وجود معنی‌دار شدن اثرات ساده منابع کود نیتروژنی و کودهای بیولوژیک بر کارایی مصرف کود و نیتروژن در سیاهدانه، اثرات متقابل بین منابع کود نیتروژنی و کود بیولوژیک بر کارایی مصرف کود و نیتروژن معنی‌دار نبود. نتایج نشان داد که کارایی جذب و مصرف نیتروژن سیاهدانه در کودهای آلی به‌طور معنی‌داری بیش از کود شیمیایی اوره بود. همچنین در بین کودهای بیولوژیک بجز کود بیوسولفور + گوگرد، سایر کودها نقش معنی‌داری در افزایش کارایی جذب و مصرف نیتروژن نداشتند. براساس نتایج حاصل، به نظر می‌رسد که در خاک‌های آهکی کود بیولوژیک بیوسولفور + گوگرد می‌تواند با کاهش اسیدیته خاک به افزایش کارایی جذب و مصرف نیتروژن سیاهدانه کمک کند.

واژه‌های کلیدی: ازتوباکتر، میکوریزا، تیوباسیلوس، گوگرد، کارایی مصرف کود.

مقدمه

سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گیاهی یکساله و علفی است که به خانواده آلاله (Ranunculaceae) تعلق دارد. این گیاه در طول هزاران سال در طب سنتی و در درمان طیف وسیعی از بیماریها بکار گرفته می‌شده‌است. استفاده از اثرات ضدقارچی و ضدباکتریایی سیاهدانه نیز سابقه‌ای بسیار طولانی دارد (Mehta *et al*., 2009).

نیتروژن از مؤثرترین عناصر در بهبود عملکرد کمّی و کیفی گیاهان دارویی می‌باشد (رحمتی و همکاران، ۱۳۸۸). موسی‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) گزارش کردند که نیتروژن می‌تواند تأثیر مثبتی در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه داشته باشد. Shah (۲۰۰۷) نیز به نقش نیتروژن در بهبود عملکرد دانه، روغن و نیز عملکرد پروتئین سیاهدانه اشاره کرد.

مدیریت صحیح کودهای حاوی نیتروژن به‌منظور بهبود کارایی مصرف این عنصر می‌تواند افزایش بهره‌وری اکوسیستم‌های زراعی را امکان‌پذیر سازد (Ankumah *et al*., 2003). از آنجایی که کارایی مصرف نیتروژن نشان‌دهنده بازدهی گیاه در تبدیل نیتروژن قابل دسترس در خاک به عملکرد دانه و یا بیولوژیک می‌باشد (Salvagiotti *et al*., 2009)، درک صحیح مکانسیم‌های مؤثر بر تنظیم کارایی نیتروژن می‌تواند نقش مؤثری در افزایش تولید در

واحد سطح داشته باشد. علاوه بر این آگاهی از واکنش گیاهان براساس شرایط محیطی به سطوح و یا منابع تأمین‌کننده این عنصر ضروری می‌باشد (Kant *et al.*, 2011). با توجه به آنکه کارایی جذب نیتروژن می‌تواند به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع منبع تأمین‌کننده نیتروژن قرار گیرد (Elwan & Abd El-Hamed, 2011)، در راستای تحقیقات گذشته می‌توان اثرات منابع آلی و غیرآلی نیتروژن را به‌منظور افزایش کارایی مصرف این عنصر بررسی نمود (صادقی‌پور مروی، ۱۳۸۹).

با توجه به آنکه همزمانی تأمین نیتروژن با نیاز گیاه نقش مهمی در افزایش کارایی این عنصر دارد، کودهای آلی می‌توانند نقش بسیار مهمی را در افزایش کارایی نیتروژن ایفا کنند (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۶؛ Fageria & Baligar, 2005). همچنین نقش کودهای دامی و یا کمپوست حاصل از آن در بهبود کارایی نیتروژن را می‌توان به باز چرخش عناصر غذایی و بهبود خصوصیات فیزیکی و بیولوژیکی خاک نسبت داد (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۶). علاوه بر کودهای آلی، استفاده از باکتریهای تثبیت‌کننده نیتروژن مانند ازتوباکتر و آزوسپیریلوم و نیز ارتباطات میکوریزایی می‌تواند در بهبود فراهمی این عنصر برای گیاه تأثیرگذار باشد (Kizilkaya, 2008؛ Ozturk *et al.*, 2003)، به‌طوری که در نهایت منجر به افزایش کارایی مصرف این عناصر در واحد سطح شود. در این ارتباط خرم‌دل و همکاران (۱۳۸۹) با مشاهده افزایش عملکرد سیاهدانه در نتیجه کاربرد کودهای بیولوژیک ازتوباکتر، آزوسپیریلیوم و میکوریزا گزارش کردند که به‌دلیل عدم کاربرد کودهای شیمیایی، افزایش فعالیت این میکروارگانیسم‌ها منجر به توسعه سیستم ریشه و در نتیجه جذب بهتر عناصر غذایی در این گیاه شد.

علاوه بر نیتروژن، گوگرد نیز ازجمله عناصر غذایی پُرمصرف و محدودکننده رشد گیاه زراعی می‌باشد (فروغی‌فر و ابراهیم‌پور کاسمانی، ۱۳۸۱؛ Jackson, 2000). اعمال میزان مناسبی از گوگرد به همراه نیتروژن می‌تواند نقش مؤثری در افزایش جذب عناصر پُرمصرفی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم (Jackson, 2000) و نیز عناصر کم‌مصرفی مانند آهن، منگنز، روی و مس (Togay *et al.*, 2008) داشته باشد. از سویی به‌دلیل قلیایی بودن اسیدیته خاک در بیشتر مناطق ایران، تولید اسید سولفوریک در خاک در نتیجه فعالیت باکتریهای اکسیدکننده گوگرد، می‌تواند در افزایش جذب عناصر پُرمصرف و کم‌مصرفی مانند فسفر، روی و آهن مؤثر باشد (فروغی‌فر و ابراهیم‌پور کاسمانی، ۱۳۸۱). Salimpour و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که باکتریهای اکسیدکننده گوگرد می‌توانند در افزایش جذب فسفر و نیز عملکرد روغن کلزا مؤثر باشند. محمدی آریا و همکاران (۱۳۸۹) نیز به نقش مؤثر باکتریهای اکسیدکننده گوگرد در افزایش قابلیت جذب فسفر اشاره کردند. ازاین‌رو، با توجه به این که کارایی مصرف نیتروژن می‌تواند با تغییر هر عامل مؤثر بر تولید تغییر کند (Salvagiotti *et al.*, 2009)، استفاده از باکتریهای اکسیدکننده گوگرد در کنار اعمال میزان متعادلی از گوگرد می‌تواند در افزایش جذب نیتروژن و در نتیجه بر عملکرد نهایی گیاه تأثیر مثبتی داشته باشد.

بر این اساس، با توجه به نقش مؤثر نیتروژن در بهبود عملکرد سیاهدانه و نیز اهمیت شناخت منابع تأمین‌کننده این عنصر بر روند کارایی مصرف نیتروژن، این مطالعه با هدف بررسی اثرات کودهای آلی، بیولوژیک و شیمیایی بر روند کارایی جذب، فیزیولوژی و مصرف نیتروژن و نیز کارایی مصرف کود در سیاهدانه انجام شد.

مواد و روشها

این آزمایش در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و ۲۵ تیمار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (طول جغرافیایی ۲۸َ ۵۹ شرقی و عرض جغرافیایی ۱۵َ ۳۶ شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) به اجرا در آمد.

تیمارهای آزمایش براساس ترکیبی از پنج منبع تأمین‌کننده نیتروژن (کود دامی، کمپوست، ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی اوره و شاهد (بدون اعمال هیچگونه کودی)) و نیز پنج کود بیولوژیک (نیتروکسین (شامل ازتوباکتر و آزوسپیریلوم)، میکوریزا، نیتروکسین + میکوریزا، بیوسولفور (شامل تیوباسیلوس) + گوگرد و شاهد (بدون هیچ‌گونه کودی)) تعیین شدند. زمین مورد نظر در سال قبل از اجرای این آزمایش به صورت آیش بود. قبل از انجام آزمایش، از خاک این زمین نمونه‌برداری تصادفی انجام شد که نتایج آنالیز آن در جدول ۱ آمده‌است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه خاک مزرعه برای انجام آزمایش

بافت	نیتروژن (٪)	کربن آلی (٪)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	فسفر قابل جذب (ppm)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته
لومی- سیلتی	۰/۰۹۵	۰/۱۹۵	۵/۷۶۲	۰/۳۷۷۷	۳/۷۲	۸/۳۶

مراحل آماده‌سازی زمین شامل شخم اولیه در آذر ماه و عملیات خاک‌ورزی ثانویه شامل دو دیسک عمود بر هم، تسطیح زمین توسط لولر و همچنین ایجاد جوی و پشته توسط فاروئر قبل از کاشت در اوایل اسفند ماه سال ۱۳۸۸ بود. هر یک از کرت‌های آزمایش با ابعاد ۴×۲ (۸ مترمربع) ایجاد شد. فاصله کرت‌ها از یکدیگر ۰/۵ متر، فاصله پشته‌ها از یکدیگر ۰/۵ متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر ۱ متر بود.

به‌دلیل کوتاه بودن دوره رشد سیاهدانه از کودهای آلی کاملاً پوسیده استفاده شد. با توجه به این که نیاز سیاهدانه به نیتروژن با اعمال ۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار تأمین می‌شود و از سویی اعمال نیتروژن بیش از ۸۰ کیلوگرم در این گیاه بیشتر جنبه تجملی دارد (جوادی، ۱۳۸۷)، اعمال ۱۵۰ کیلوگرم کود شیمیایی اوره (حاوی ۴۶٪ نیتروژن خالص) به‌عنوان معیار کودی در نظر گرفته شد که در سه مرحله قبل از کاشت (۵۰ کیلوگرم در هکتار) و به صورت سرک در مراحل ۴ برگی (همزمان با تنک کردن) و نیز قبل از شروع رشد زایشی (هر مرحله ۵۰ کیلوگرم در هکتار) انجام گردید. ازاین‌رو اعمال کودهای آلی کمپوست و ورمی‌کمپوست در تیمارهای آزمایش و در هر یک از کرت‌ها براساس محتوی نیتروژن آنها (برحسب درصد) به ترتیب به میزان ۴۶۰۰ و ۴۳۱۳ کیلوگرم در هکتار و در یک مرحله (قبل از کاشت) انجام شد. از سویی با توجه به این که نیمی از نیتروژن موجود در کود دامی در سال اول در خاک آزاد نمی‌شود، ۱۵/۳۴ تن کود دامی کاملاً پوسیده (حاوی ۰/۹٪ نیتروژن خالص) براساس تیمارهای آزمایش، در یک مرحله (قبل از کاشت) به هر یک از کرت‌ها اعمال شد. بر این اساس برحسب تیمارهای مورد نظر، در هر یک از کرت‌های آزمایش میزان نیتروژن مساوی از منابع متفاوت آلی و شیمیایی اعمال شد. نتایج حاصل از آنالیز کود دامی، کمپوست و ورمی‌کمپوست در جدول ۲ آمده‌است.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکوشیمیایی کودهای آلی کمپوست و ورمی‌کمپوست مورد استفاده در آزمایش

شاخص‌های مورد اندازه‌گیری	کمپوست	ورمی‌کمپوست	کود دامی
اسیدیته	۷/۲۵	۶/۹	۶/۷
هدایت الکتریکی	۶	۵	۶/۱
کربن آلی (٪)	۲۰/۵	۱۹/۵	۲۰
نیتروژن (٪)	۱/۴۵	۱/۶	۰/۹
مواد آلی (٪)	۳۷/۵	۳۷/۵	-

به‌منظور تلقیح بذرهای سیاهدانه با میکوریزا از سویه *Glomus mosseae* استفاده شد که همزمان با کاشت به صورت دو لایه تلقیح با خاک در بالا و پایین بذرها انجام شد. اعمال کود نیتروکسین (حاوی باکتریهای ازتوباکتر و آزوسپیریلوم) در سه مرحله به صورت تلقیح با بذرها قبل از کاشت (۴ لیتر در هکتار) و به صورت سرک در مراحل ۴ برگی (همزمان با تنک کردن) و نیز قبل از شروع رشد زایشی (هر مرحله به میزان ۵ لیتر در هکتار) و همزمان با اعمال کود شیمیایی انجام شد (براساس توصیه کودی شرکت زیستی مهر آسیا). همچنین اعمال کود بیوسولفور (حاوی تیوباسیلوس) به همراه مصرف گوگرد آلی بنتونیت‌دار (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) در یک مرحله به‌صورت تلقیح با بذرها

انجام گردید (براساس توصیه کودی شرکت زیستی مهر آسیا). عملیات کاشت در هجدهم اسفند ماه ۱۳۸۸ انجام شد. بذرهای مورد استفاده به‌منظور کاشت در این آزمایش، توده بذر محلی اصفهان بود. بذرهای سیاهدانه روی ۸ ردیف (بر روی هر پشته دو ردیف در طرفین پشته‌ها) به طول ۴ متر در هر کرت کشت شد. گیاهچه‌های سیاهدانه در مرحله ۴ برگی برای رسیدن به تراکم مورد نظر (۲۰۰ بوته در مترمربع) با فاصله روی ردیف ۲سانتی‌متر تنک شدند (نوروزپور و رضوانی‌مقدم، ۱۳۸۵). اولین آبیاری (با لوله‌گذاری و نصب جداگانه شیرهای آب در هر کرت) بلافاصله بعد از کاشت و سایر آبیاری‌ها هر ۷ روز یک‌بار انجام شد. آخرین آبیاری نیز ۲ هفته قبل از عملیات برداشت انجام گردید. عملیات برداشت با زرد شدن بوته‌ها و فولیکول‌ها در هفته دوم تیر ماه ۱۳۸۹ انجام شد. عملکرد دانه و بیولوژیک (برحسب کیلوگرم در هکتار) در ۵۰٪ از مساحت هر کرت و با رعایت اثر حاشیه اندازه‌گیری شد. در طول مراحل انجام آزمایش نیز از هیچ‌گونه کود شیمیایی، علف‌کش و آفت‌کش استفاده نشد.

نمونه‌های مورد نیاز جهت تعیین درصد نیتروژن به‌طور جداگانه برای هر تیمار از مجموعه وزن خشک اندام‌های تفکیک شده این گیاه شامل دانه، ساقه و برگ و نیز زیست‌توده در هر کرت تهیه شد. برای تعیین درصد نیتروژن اندام‌های ذکر شده در سیاهدانه از دستگاه میکرو کجلدال استفاده شد.

برای تعیین کارایی جذب، فیزیولوژیکی (درونی) و نیز مصرف (زراعی) نیتروژن و همچنین شاخص برداشت نیتروژن در سیاهدانه به‌ترتیب از معادله ۱، ۲، ۳ و ۴ استفاده شد (پارسا و همکاران، ۱۳۸۸).

معادله ۱: کارایی جذب نیتروژن (٪) = (محتوی نیتروژن خاک/ محتوی نیتروژن زیست‌توده) ×۱۰۰

معادله ۲: کارایی فیزیولوژی نیتروژن = (محتوی نیتروژن زیست‌توده/ عملکرد دانه)

معادله ۳: کارایی مصرف نیتروژن = (محتوی نیتروژن خاک / عملکرد دانه)

معادله ۴: شاخص برداشت نیتروژن (٪) = (محتوی نیتروژن زیست‌توده/ محتوی نیتروژن دانه) ×۱۰۰

در تمامی معادلات ذکر شده عملکرد دانه، محتوی نیتروژن دانه، زیست‌توده و خاک برحسب گرم در مترمربع محاسبه شد. همچنین محتوی نیتروژن دانه، کاه و کلش (ساقه و برگ) و زیست‌توده سیاهدانه (نمونه‌گیری در زمان برداشت) به‌ترتیب از حاصل‌ضرب درصد نیتروژن در وزن خشک هر یک از آنها (برحسب گرم در مترمربع) تعیین شد.

در این مقاله کارایی جذب و مصرف نیتروژن به دو صورت محاسبه گردید: در روش اول محتوی نیتروژن خاک براساس محتوی نیتروژن منابع کودی اعمال شده و با در نظر گرفتن نیتروژن اولیه خاک محاسبه گردید. در روش دوم به‌منظور محاسبه محتوی نیتروژن خاک، تنها نیتروژن اعمال شده توسط منابع کودی مورد محاسبه قرار گرفت و از محاسبه نیتروژن اولیه خاک خودداری شد.

به‌منظور محاسبه کارایی مصرف کود نیز از معادله زیر استفاده شد (Hazeri Niri *et al.*, 2010):

معادله ۵: کارایی مصرف کود = (محتوی نیتروژن خاک در هر کرت ناشی از اعمال کود/ عملکرد کرت شاهد – عملکرد در کرت کود داده شده)

در این معادله نیز عملکرد در کرت کود داده شده، عملکرد در کرت شاهد و محتوی نیتروژن خاک برحسب گرم در مترمربع محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵٪ مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرات متقابل بین منابع کود نیتروژنی و کودهای بیولوژیک بر هیچ کدام از شاخص‌های مورد مطالعه در سیاهدانه معنی‌دار نبود (جدول ۳ و ۴). ازاین‌رو نتایج و بحث این مقاله براساس اثرات ساده این دو عامل بررسی گردید.

جدول ۳- تجزیه واریاس صفات مورد مطالعه سیاهدانه در ارتباط با اعمال کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		درصد نیتروژن دانه	درصد نیتروژن زیست‌توده	درصد نیتروژن ساقه و برگ	محتوی نیتروژن دانه	محتوی نیتروژن زیست‌توده	محتوی نیتروژن ساقه و برگ
بلوک	۲	۰/۰۰۹ ns	۰/۰۰۹ ns	۰/ ۰۳۶ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۸۵ ns	۰/۰۹۱ ns
منابع کود نیتروژنی	۴	۰/۰۳۰ ns	۰/۰۳۵ ns	۰/۰۲۷ ns	۰/۷۷۵ **	۵/۰۸۶ **	۱/۹۴۴ **
کود بیولوژیک	۴	۰/۰۱۶ ns	۰/۰۰۹ ns	۰/۰۰۸ ns	۰/۱۱۶ **	۰/۶۷۵ **	۰/۲۳۹ ns
منابع کود نیتروژنی× کود بیولوژیک	۱۶	۰/۰۷۱ ns	۰/۰۱۴ ns	۰/۰۱۱ ns	۰/۰۲۰ ns	۰/۰۶۷ ns	۰/۰۴۱ ns
خطا	۴۸	۰/۰۴۸	۰/۰۱۶	۰/۰۲۲	۰/۰۲۰	۰/۱۲۴	۰/۰۹۹
ضریب تغییرات	–	۱۲/۳۶	۱۳/۵۹	۲۱/۲۱۷	۱۴/۳۹۱	۱۶/۲۸۱	۲۶/۵۶۴

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۵٪، ۱٪ و عدم تفاوت معنی‌دار

جدول ۴- تجزیه واریاس صفات مورد مطالعه سیاهدانه در ارتباط با اعمال کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		کارایی جذب نیتروژن[1]	کارایی فیزیولوژی نیتروژن	کارایی مصرف نیتروژن[1]	شاخص برداشت نیتروژن	کارایی مصرف کود	کارایی جذب نیتروژن[2]	کارایی مصرف نیتروژن[2]
بلوک	۲	۰/۰۰۹ ns	۱۱/۰۹۵ ns	۰/۰۰۱ ns	۶۱/۷۸۰ ns	۳/۳۲۶ **	۱۵/۶۲۷ ns	۰/۰۱۲ns
منابع کود نیتروژنی	۴	۰/۴۷۳ **	۲۸/۱۴۸ ns	۰/۰۲۳ **	۹۹/۶۴۱ ns	۱۲/۹۶۳ **	۳۷۲/۵۰۶ **	۱۲/۹۶۳ ns
کود بیولوژیک	۴	۰/۰۶۶ **	۶/۳۸۸ ns	۰/۰۰۶ **	۱۳/۵۰۶ ns	۸/۱۹۵ **	۹۵/۳۵۶ *	۸/۱۹۵ ns
منابع کود نیتروژنی× کود بیولوژیک	۱۶	۰/۰۶۶ ns	۱۲/۰۸۶ ns	۰/۰۰۱ ns	۳۶/۴۷۰ ns	۰/۴۳۸ ns	۱۶/۹۳۰ ns	۰/۴۳۸ ns
خطا	۴۸	۰/۰۱۲	۱۵/۱۸۸	۰/۰۰۱	۴۵/۸۵۴	۰/۲۵۳	۳۱/۴۳۴	۰/۲۵۳
ضریب تغییرات	–	۱۶/۲۵۴	۱۴/۶۱۳	۵/۹۲	۱۴/۵۸۱	۱۲/۶۵۵	۱۶/۲۱۴	۵/۶۶۰

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۵٪، ۱٪ و عدم تفاوت معنی‌دار

۱: با در نظر گرفتن نیتروژن اولیه خاک

۲: صرف نظر از نیتروژن اولیه خاک

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات درصد و محتوی نیتروژن دانه، ساقه و برگ (کاه و کلش) و زیست‌توده سیاهدانه در منابع آلی و غیرآلی نیتروژن

تیمار	دانه		ساقه و برگ		زیست توده	
	نیتروژن (٪)	محتوی نیتروژن (گرم بر مترمربع)	نیتروژن (٪)	محتوی نیتروژن (گرم بر مترمربع)	نیتروژن (٪)	محتوی نیتروژن (گرم بر مترمربع)
کود دامی	۱/۸۳ a	۱/۱۵ a	۰/۶۶ a	۱/۳۲ a	۰/۹۳ a	۲/۴۶ a
کمپوست	۱/۷۲ a	۱/۱۱ a	۰/۶۸ a	۱/۴۵ a	۰/۹۲ a	۲/۵۵ a
ورمی‌کمپوست	۱/۷۴ a	۱/۱۵ a	۰/۶۸ a	۱/۵۲ a	۰/۹۲ a	۲/۶۶ a
کود شیمیایی	۱/۷۵ a	۰/۹۲ b	۰/۷۲ a	۰/۹۸ b	۱/۰۰ a	۱/۸۹ b
شاهد	۱/۷۵ a	۰/۶۲ c	۰/۷۶ a	۰/۶۶ c	۱/۰۲ a	۱/۲۷ c

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های درصد و محتوی نیتروژن دانه، ساقه و برگ (کاه و کلش) و زیست‌توده سیاهدانه در کودهای بیولوژیک

تیمار	دانه		ساقه و برگ		زیست‌توده	
	نیتروژن (٪)	محتوی نیتروژن (گرم بر مترمربع)	نیتروژن (٪)	محتوی نیتروژن (گرم بر مترمربع)	نیتروژن (٪)	محتوی نیتروژن (گرم بر مترمربع)
نیتروکسین	۱/۷۴ a	۰/۹۳ b	۰/۶۷ a	۱/۰۸ b	۰/۹۴ a	۲/۰۱ b
مایکوریزا	۱/۸۰ a	۰/۹۷ b	۰/۷۱ a	۱/۱۲ b	۰/۹۸ a	۲/۰۸ b
نیتروکسین+ مایکوریزا	۱/۷۸ a	۰/۹۶ b	۰/۷۲ a	۱/۱۶ b	۰/۹۹ a	۲/۱۲ b
بیوسولفور+ گوگرد	۱/۷۲ a	۱/۱۴ a	۰/۶۹ a	۱/۴۰ a	۰/۹۴ a	۲/۵۴ a
شاهد	۱/۷۶ a	۰/۹۴ b	۰/۷۲ a	۱/۱۶ b	۰/۹۹ a	۲/۰۹ b

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

درصد نیتروژن اندام‌های سیاهدانه

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات ساده منابع کود نیتروژنی حکایت از آن داشت که بین تیمارهای مربوط به کودهای آلی، کود اوره و شاهد تفاوت معنی‌داری از نظر درصد نیتروژن دانه، ساقه و برگ و نیز زیست‌توده سیاهدانه وجود نداشت (جدول ۵). علاوه بر این نتایج مقایسه میانگین اثر ساده کود بیولوژیک نشان داد که درصد نیتروژن اندام‌های مختلف سیاهدانه تحت تأثیر اعمال تیمارهای مربوط به کود بیولوژیک (نیتروکسین، میکوریزا، نیتروکسین + میکوریزا، بیوسولفور + گوگرد و شاهد) قرار نگرفت (جدول ۶).

محتوی نیتروژن اندام‌های سیاهدانه

مقایسه میانگین اثرات ساده منابع کود نیتروژنی نشان داد که با وجود عدم تأثیر درصد نیتروژن، محتوی نیتروژن دانه، ساقه و برگ و نیز زیست‌توده سیاهدانه (بر حسب گرم در مترمربع) تحت تأثیر اعمال تیمارهای مربوط به کودهای آلی و کود اوره قرار گرفت. به‌طوری که اعمال این تیمارها در مقایسه با تیمار شاهد، منجر به افزایش معنی‌دار شاخص‌های ذکر شده گردید (جدول ۵). در بین تیمارهای آزمایش، کود گاوی و ورمی‌کمپوست بیشترین تأثیر را در افزایش محتوی نیتروژن دانه (۱/۱۵ گرم در مترمربع) داشتند؛ به‌طوری که در نتیجه اعمال این تیمارها، محتوی نیتروژن دانه در مقایسه با شاهد (۰/۶۲ گرم در مترمربع) تا ۸۵٪ افزایش یافت. از سویی نتایج آزمایش حکایت از برتری معنی‌دار کودهای آلی بر کود شیمیایی اوره از نظر محتوی نیتروژن دانه، ساقه و برگ و نیز زیست‌توده سیاهدانه داشت (جدول ۵). به‌طوری که در نتیجه کاربرد تیمارهای کود دامی، کمپوست و

ورمی‌کمپوست در مقایسه با تیمار کود اوره، محتوی نیتروژن دانه به‌ترتیب ۲۵، ۲۱ و ۲۵ درصد افزایش یافت. در بین تیمارهای مربوط به کودهای بیولوژیک، بجز تیمار بیوسولفور+ گوگرد، تفاوت معنی‌داری بین سایر تیمارها با تیمار شاهد از نظر محتوی نیتروژن اندام‌های مختلف سیاهدانه وجود نداشت (جدول ۶). براساس نتایج بدست آمده، کاربرد تیمار بیوسولفور + گوگرد در مقایسه با شاهد منجر به افزایش معنی‌دار درصد نیتروژن دانه، ساقه و برگ و زیست توده سیاهدانه به ترتیب تا ۲۱/۳، ۲۰/۷ و ۲۱/۵ درصد شد.

کارایی نیتروژن

براساس نتایج مربوط به مقاسیه میانگین اثر ساده منابع کود نیتروژنی، اعمال کودهای آلی و شیمیایی در مقایسه با تیمار شاهد منجر به افزایش معنی دار کارایی جذب و نیز مصرف نیتروژن (براساس نیتروژن اعمال شده توسط منابع کودی و نیز نیتروژن اولیه خاک) شد (جدول ۷). با در نظر گرفتن نیتروژن اولیه در خاک، تیمار ورمی‌کمپوست بیشترین تأثیر را در افزایش کارایی جذب (۰/۸۳٪) و کارایی مصرف نیتروژن (۰/۲۲ گرم بذر بر گرم نیتروژن) داشت. به طوری که در نتیجه کاربرد تیمار ذکر شده، کارایی جذب و کارایی مصرف نیتروژن در مقایسه با شاهد (۰/۴۱٪و ۰/۱۲ گرم بذر بر گرم نیتروژن) تا حدود دو برابر افزایش یافت. از سویی نتایج جدول ۷ نشانگر برتری معنی‌دار کودهای آلی (کود دامی، کمپوست و ورمی کمپوست) بر کود اوره از نظر کارایی جذب و مصرف نیتروژن (براساس نیتروژن اعمال شده و نیتروژن اولیه خاک) بود. همچنین نتایج نشان داد که صرف‌نظر از نیتروژن اولیه خاک، دو شاخص کارایی جذب و کارایی مصرف نیتروژن در هر سه کود آلی (کود دامی، کمپوست و ورمی کمپوست) به‌طور معنی‌دار بیش از کود آوره بود (جدول ۹).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثرات ساده کود بیولوژیک نیز حکایت از وجود اثرات معنی‌دار کودهای بیولوژیک بر کارایی جذب و مصرف نیتروژن سیاهدانه (براساس کل نیتروژن موجود در خاک و نیز صرف‌نظر از نیتروژن اولیه در خاک) داشت (جدول ۴). باوجوداین نتایج حاصل از مقایسه میانگین این اثر نشان داد که بجز تیمار بیوسولفور+ گوگرد، سایر کودهای بیولوژیک نقشی در افزایش معنی دار این دو شاخص در سیاهدانه نداشتند (جدولهای ۸ و ۱۰). تیمار بیوسولفور+ گوگرد در مقایسه با شاهد منجر به افزایش معنی‌دار کارایی جذب و مصرف نیتروژن (با در نظر گرفتن نیتروژن اولیه خاک) به ترتیب تا ۲۲٪ و ۲۴٪ شد. همچنین با صرف‌نظر از نیتروژن اولیه در خاک، در نتیجه کاربرد بیوسولفور+ گوگرد، کارایی جذب و مصرف نیتروژن در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب تا ۱۹٪ و ۲۲٪ افزایش یافت.

جدول ۷- اثرات منابع آلی و غیرآلی نیتروژن بر کارایی جذب، فیزیولوژیکی، مصرف و شاخص برداشت نیتروژن در سیاهدانه (براساس نیتروژن اعمال شده و نیتروژن اولیه در خاک)

تیمار	کارایی جذب نیتروژن (٪)*	کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن (گرم بذر بر گرم نیتروژن)	کارایی مصرف نیتروژن (گرم بذر بر گرم نیتروژن)*	شاخص برداشت نیتروژن (٪)
کود دامی	۰/۷۷ a	۲۷/۲۳ a	۰/۲۰ b	۴۷/۲۲ a
کمپوست	۰/۸۰ a	۲۵/۹۶ a	۰/۲۱ ab	۴۴/۳۹ a
ورمی‌کمپوست	۰/۸۳ a	۲۵/۰۱ a	۰/۲۲ a	۴۳/۱۳ a
کود شیمیایی	۰/۵۹ b	۲۸/۰۲ a	۰/۱۷ c	۴۸/۵۰ a
شاهد	۰/۴۱ c	۲۸/۱۶ a	۰/۱۲ d	۴۹/۰۰ a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

*: با در نظر گرفتن نیتروژن اولیه خاک

کارایی فیزیولوژی و شاخص برداشت نیتروژن

با وجود نقش مؤثر اثرات ساده منابع کود نیتروژنی و کود بیولوژیک بر کارایی جذب و مصرف نیتروژن (جدول ۵)، نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که کارایی فیزیولوژی نیتروژن در سیاهدانه به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر اثرات ساده منابع کود نیتروژنی (حداقل ۲۵/۰۱ تا حداکثر ۲۸/۱۶) و نیز کود بیولوژیک (حداقل ۲۶/۳۰ تا حداکثر ۲۷/۸۳) قرار نگرفت (جدول ۴). همانند کارایی فیزیولوژی نیتروژن، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اعمال تیمارهای مربوط به منابع کود نیتروژنی و کود بیولوژیک بر شاخص برداشت نیتروژن سیاهدانه معنی‌دار نبود (جدول ۴).

کارایی کود

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر ساده منابع کود نیتروژنی در سیاهدانه نشان داد که هر سه کود آلی (دامی، کمپوست و ورمی‌کمپوست) در مقایسه با کود شیمیایی اوره به‌طور معنی‌داری از کارایی کود بالاتری برخوردار بودند (جدول ۹). نتایج نشان داد که میانگین کارایی کود در نتیجه کاربرد سه کود آلی ذکر شده (۴/۴۳٪) تا ۶۸٪ بیش از کود شیمیایی (۲/۶۳٪) بود.

از سوی دیگر، با وجود تأثیر معنی‌دار اثر ساده کود بیولوژیک بر کارایی کود سیاهدانه (جدول ۴)، نتایج نشان داد که در بین تیمارهای مربوط به کودهای بیولوژیک، بجز تیمار بیوسولفور+ گوگرد، سایر کودهای بیولوژیک نقشی در افزایش کارایی کود در سیاهدانه نداشتند (جدول ۱۰). براساس داده‌های آزمایش، شاخص کارایی کود در نتیجه اعمال تیمار ذکر شده (۵/۴۵٪) در مقایسه با شاهد (۳/۵۵٪) تا ۵۴٪ افزایش یافت.

جدول ۸- اثرات کودهای بیولوژیک بر کارایی جذب، فیزیولوژیکی، مصرف و شاخص برداشت نیتروژن در سیاهدانه (براساس نیتروژن اعمال شده و نیتروژن اولیه در خاک)

تیمار	کارایی جذب نیتروژن (٪)*	کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن (گرم بذر بر گرم نیتروژن)	کارایی مصرف نیتروژن (گرم بذر بر گرم نیتروژن)*	شاخص برداشت نیتروژن (٪)
نیتروکسین	۰/۶۳ b	۲۷/۸۳ a	۰/۱۷ b	۴۷/۸۰ a
مایکوریزا	۰/۶۵ b	۲۶/۳۳ a	۰/۱۷ b	۴۷/۷۸ a
نیتروکسین+ مایکوریزا	۰/۶۶ b	۲۶/۳۷ a	۰/۱۷ b	۴۷/۲۷ a
بیوسولفور+ گوگرد	۰/۷۹ a	۲۶/۵۵ a	۰/۲۱ a	۴۵/۱۹ a
شاهد	۰/۶۵ b	۲۶/۳۰ a	۰/۱۷ b	۴۶/۲۲ a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

*: با در نظر گرفتن نیتروژن اولیه خاک

جدول ۹- اثرات منابع آلی و غیرآلی نیتروژن بر کارایی کود و نیز کارایی جذب و مصرف نیتروژن در سیاهدانه (صرف‌نظر از نیتروژن اولیه خاک)

تیمار	کارایی کود (٪)	کارایی جذب نیتروژن (٪)*	کارایی مصرف نیتروژن (گرم بذر بر گرم نیتروژن) *
کود دامی	۴/۱۲ b	۳۵/۵۶ a	۹/۰۳ b
کمپوست	۴/۴۷ ab	۳۶/۸۹ a	۹/۳۸ ab
ورمی‌کمپوست	۴/۶۹ a	۳۸/۵۳ a	۹/۶۰ a
کود شیمیایی	۲/۶۳ c	۲۷/۳۴ b	۷/۵۴ c
شاهد	–	–	–

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

*: صرف نظر از نیتروژن اولیه خاک

جدول ۱۰- اثرات کودهای بیولوژیک بر کارایی کود و نیز کارایی جذب و مصرف نیتروژن در سیاهدانه (صرف‌نظر از نیتروژن اولیه خاک)

تیمار	کارایی کود (٪)	کارایی جذب نیتروژن (٪)*	کارایی مصرف نیتروژن (گرم بذر بر گرم نیتروژن)*
نیتروکسین	۳/۶۳ b	۳۲/۶۶ b	۸/۵۴ b
مایکوریزا	۳/۵۴ b	۳۳/۵۸ b	۸/۴۵ b
نیتروکسین+ مایکوریزا	۳/۷۲ b	۳۳/۷۵ b	۸/۶۳ b
بیوسولفور+ گوگرد	۵/۴۵ a	۳۹/۵۷ a	۱۰/۳۶ a
شاهد	۳/۵۵ b	۳۳/۳۶ b	۸/۴۶ b

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

*: صرف‌نظر از نیتروژن اولیه خاک

بحث

درصد نیتروژن اندام‌های سیاهدانه

عدم تأثیر درصد نیتروژن اندام‌های مورد مطالعه سیاهدانه در نتیجه اعمال تیمارهای مربوط به منابع کودی و نیز تیمارهای مربوط به کودهای بیولوژیک ممکن است در ارتباط با متحرک بودن عنصر نیتروژن در گیاه و انتقال مجدد این عنصر از اندام‌های ذخیره‌ای به سمت اندام‌های رویشی و دانه باشد که می‌تواند در نهایت منجر به جبران کمبود نیتروژن در دانه شود. همچنین از آنجایی‌که درصد نیتروژن ساقه و برگ و نیز دانه سیاهدانه در پایان فصل رشد این گیاه تعیین شد، کمتر بودن درصد نیتروژن ساقه و برگ در مقایسه با دانه این گیاه (بیش از دو برابر) در تیمار شاهد (عدم اعمال هیچ‌گونه کودی) می‌تواند توجیهی در مورد پدیده انتقال مجدد نیتروژن از برگ‌ها و ساقه به سمت دانه باشد. در این ارتباط Ashraf و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که بین سطوح اعمال شده نیتروژن (صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری از نظر درصد پروتئین (براساس رابطه نیتروژن × ۶/۲۵) و نیز درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم بذر سیاهدانه مشاهده نشد. Hazeri Niri و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش کردند که افزایش سطوح نیتروژن (صفر، ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار) تأثیری در افزایش معنی‌دار درصد نیتروژن اندام‌های رویشی عدس (*Lens culinaris* Medik.) ندارد. ازاین‌رو به نظر می‌رسد درصد نیتروژن در اندام‌های سیاهدانه (براساس واحد وزن خشک گیاه) شاخصی است که در ارتباط با متحرک بودن و فرایندهای تأثیرگذار بر تخصیص این عنصر در داخل گیاه می‌باشد، به‌طوری که کمتر تحت تأثیر منبع و یا میزان نیتروژن در خاک قرار می‌گیرد.

محتوی نیتروژن اندام‌های سیاهدانه

افزایش محتوی نیتروژن اندام‌های سیاهدانه در نتیجه اعمال تیمارهای مربوط به کودهای آلی و کود اوره را می‌توان در ارتباط با تحریک سطح فتوسنتزکننده و رشد رویشی سیاهدانه در نتیجه جذب نیتروژن دانست. به‌طوری که این تحریک منجر به افزایش وزن خشک سیاهدانه و در نهایت افزایش محتوی نیتروژن این گیاه در واحد سطح شد. از آنجایی‌که نیتروژن از عناصر اصلی تشکیل‌دهنده اسیدهای نوکلئیک بوده و این اسیدها نقش مهمی در میزان مواد انتقال یافته به دانه‌ها به عهده دارند (جعفریانی و همکاران، ۱۳۸۹)، افزایش جذب نیتروژن می‌تواند بر عملکرد نهایی سیاهدانه تأثیر مستقیمی را اعمال کند. در این ارتباط Mollafilabi و همکاران (۲۰۱۰) به نقش نیتروژن در افزایش عملکرد دانه و نیز عملکرد بیولوژیک سیاهدانه اشاره کردند. Vukovic و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش کردند که با افزایش میزان نیتروژن در خاک محتوی کل نیتروژن در دانه گندم به‌طور معنی‌داری رو به افزایش گذاشت. از سویی گزارش شده که به‌دلیل وجود اثرات افزایشی مثبت بین عناصر غذایی، افزایش فراهمی و جذب متعادل نیتروژن در سیاهدانه منجر به افزایش جذب و تجمع عناصر غذایی پُرمصرف اولیه مانند فسفر و پتاسیم در اندام‌های هوایی و زمینی و در نتیجه افزایش بیشتر عملکرد دانه و زیست‌توده این گیاه شد (Ashraf *et al*., 2005).

نتایج آزمایش حکایت از برتری معنی‌دار کودهای آلی بر کود شیمیایی اوره از نظر محتوی نیتروژن دانه، ساقه و برگ و نیز زیست‌توده سیاهدانه داشت. به‌طور کلی پایین بودن محتوی کل نیتروژن سیاهدانه در تیمار کود اوره در مقایسه با کودهای آلی را می‌توان در ارتباط با آبشویی بیشتر نیتروژن در کود اوره در مقایسه با نیتروژن موجود در کودهای آلی در نظر گرفت. به‌طوری که کاهش فراهمی نیتروژن در خاک در نتیجه اعمال کود شیمیایی منجر به کاهش تحریک رشد اندام‌های سیاهدانه شد. تهامی زرندی و همکاران (۱۳۸۹) نیز افزایش معنی‌دار وزن خشک برگ و نیز زیست‌توده ریحان (*Ocimum basilicum* L.) را در نتیجه اعمال کودهای گاوی و ورمی‌کمپوست در مقایسه با کود شیمیایی مشاهده کردند. علاوه بر این اثرات مثبت کودهای آلی مانند کمپوست و کود گاوی در مقایسه با کود شیمیایی ممکن است در نتیجه بهبود خواص فیزیکی خاک مانند افزایش ظرفیت نگهداری آب، کاهش چگالی ظاهری و نیز افزایش تخلخل خاک باشد که می‌تواند منجر به افزایش ظرفیت نگهداری عناصر در خاک شود (خندان و آستارایی، ۱۳۸۴).

براساس نتایج ذکر شده، بجز تیمار بیوسولفور+ گوگرد، سایر کودهای بیولوژیک (ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و میکوریزا) نقشی در افزایش معنی‌دار محتوی نیتروژن اندام‌های سیاهدانه نداشتند. باوجوداین خرم‌دل و همکاران (۱۳۸۷) گزارش کردند که تلقیح بذر سیاهدانه با کودهای بیولوژیک ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع، سطح برگ، تجمع ماده خشک و سرعت رشد محصول سیاهدانه در مقایسه با تیمار شاهد شد. فلاحی و همکاران (۱۳۸۸) نیز به نقش مؤثر کود بیولوژیک نیتروکسین در افزایش معنی‌دار تعداد شاخه اصلی و نیز عملکرد گل و بذر بابونه (*Matricaria chamomolla*) در مقایسه با تیمار شاهد اشاره کرده‌اند. Kumar و Ahlawat (۲۰۰۶) نیز نقش ازتوباکتر را در افزایش معنی‌دار جذب نیتروژن توسط گندم مثبت ارزیابی کردند. چنین نتایج متفاوتی در مورد نقش کودهای بیولوژیک در بهبود عملکرد گیاهان دارویی ممکن است در ارتباط با شرایط آب و هوایی، خصوصیات فیزیکی و بیوشیمیایی خاک و یا تلقیح مؤثر بذرهای این گیاهان با باکتریهای محرک رشد باشد. در این رابطه Rodríguez Cáceres و همکاران (۱۹۹۶) نیز عنوان کردند که به‌طور کلی در شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک، تلقیح بذرهای گیاهان زراعی با باکتریهای محرک رشد گیاه زمانی می‌تواند مؤثر باشد که علاوه بر شناسایی و انتخاب نژادهای مؤثری از این باکتریها، شرایط خاک نیز جهت استقرار و تکثیر این باکتریها مناسب باشد.

کارایی نیتروژن

پایین بودن کارایی نیتروژن در تیمار شاهد در مقایسه با تیمارهای مربوط به کودهای آلی و شیمیایی می‌تواند در ارتباط با کاهش محتوی نیتروژن زیست توده (جدول ۵) در این تیمار باشد که به‌طور مستقیم عملکرد دانه و نیز کارایی جذب نیتروژن سیاهدانه را تحت تأثیر قرار دهد. Otto و du Preez (۲۰۱۰) نیز پایین‌ترین کارایی مصرف نیتروژن در گندم را در تیمار شاهد (تیماری که هیچ نوع کودی دریافت نکرده بود) مشاهده کردند.

همان‌طور که پیش‌تر به آن اشاره گردید، به نظر می‌رسد کاهش کارایی مصرف نیتروژن در کود اوره در مقایسه با کودهای آلی احتمالاً در نتیجه آزاد شدن سریعتر و شسته شدن بیشتر نیتروژن در این کود ناشی از عواملی مانند آبیاری از خاک باشد. در این ارتباط Yang و همکاران (۲۰۱۱) نیز ضمن آنکه آزاد شدن سریع نیتروژن در کود اوره را در کاهش کارایی جذب نیتروژن در گندم مؤثر دانستند، گزارش کردند که اعمال روشهایی که بتواند منجر به کاهش سرعت آزاد شدن عناصر از کودهای شیمیایی شود، می‌تواند علاوه بر افزایش رفع نیاز گیاه به این عنصر، منجر به افزایش کارایی مصرف نیتروژن شود. شریفی عاشورآبادی و همکاران (۱۳۸۲) نیز بر پایه سیستم‌های مدیریت تغذیه تلفیقی، نقش کود دامی را در افزایش کارایی مصرف نیتروژن در رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) مثبت ارزیابی کردند. بر این اساس، با توجه به آنکه افزایش کارایی استفاده از عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن نقش مهمی در بهبود عملکرد پایدار اکوسیستم‌های زراعی دارد (Weih *et al.*, 2011)، اعمال کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیای می‌تواند در توسعه عملکرد پایدار در سیاهدانه مؤثر باشد.

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، نقش مثبت بیوسولفور+ گوگرد در افزایش کارایی جذب و مصرف نیتروژن می‌تواند ناشی از اعمال گوگود باشد که به‌طور مؤثری منجر به افزایش جذب عناصر پُرمصرف مانند نیتروژن و نیز عناصر

کم مصرف توسط ریشه سیاهدانه شده‌است. Salvagiotti و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش کردند که افزایش کارایی جذب نیتروژن در نتیجه اعمال گوگرد در گندم در نهایت منجر به افزایش کارایی مصرف این عنصر در گندم شد. علاوه بر این از آنجایی‌که گوگرد ازجمله عناصر اصلی در ساختمان آنزیم‌های موجود در متابولیسم نیتروژن می‌باشد، افزایش متعادل گوگرد در خاک می‌تواند نقش مؤثری در افزایش اسیمیلاسیون نیتروژن داشته باشد (Salvagiotti *et al.*, 2009). از سویی اثرات مثبت این تیمار می‌تواند در ارتباط با وجود باکتریهای تیوباسیلوس باشد که می‌توانند با تولید اسید سولفوریک به‌طور فعال منجر به کاهش اسیدیته خاک شوند.

با توجه به همبستگی زیاد بین اسیدیته خاک با فراهمی عناصر غذایی، کاهش اسیدیته خاک‌های قلیایی در نتیجه فعالیت این باکتریها می‌تواند در افزایش جذب عناصری مانند فسفر، روی و آهن مؤثر باشد (مظاهری و مجنون حسینی، ۱۳۸۵؛ فروغی‌فر و ابراهیم‌پور کاسمانی، ۱۳۸۱). Mostafavian و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش کردند که در خاک‌های قلیایی اعمال گوگرد می‌تواند نقش مؤثری در افزایش عملکرد دانه و نیز محتوی پروتئین سویا (*Glycine max* L.) داشته باشد. براساس معادله ۱ و ۳، عدم تأثیر باکتریهای موجود در کود نیتروکسین و میکوریزا در افزایش این دو کارایی نیز می‌تواند ناشی از عدم تأثیر این باکتریها در افزایش محتوی نیتروژن زیست‌توده در مقایسه با تیمار شاهد باشد (جدول ۷) که می‌تواند منجر به عدم تأثیر بر کارایی جذب و نیز مصرف سیاهدانه شود.

کارایی فیزیولوژی و شاخص برداشت نیتروژن

همان‌طور که در قسمت نتایج به آن اشاره شد، هیچ یک از تیمارهای کودی در آزمایش تأثیر معنی‌داری بر کارایی فیزیولوژی و شاخص برداشت نیتروژن نداشتند. براساس معادله ۲ و ۴، عدم تأثیر تیمارهای آزمایش بر کارایی فیزیولوژی و نیز شاخص برداشت نیتروژن می‌تواند به این دلیل باشد که محتوی نیتروژن دانه، عملکرد دانه و نیز زیست‌توده سیاهدانه در نتیجه اعمال تیمارهای کودی به یک نسبت افزایش و یا کاهش یافتند. به عبارتی دیگر شاخص برداشت براساس سهمی از نیتروژن زیست‌توده بیان می‌شود که به دانه اختصاص یافته است (معادله ۴). با توجه به عدم معنی‌دار شدن این شاخص، به نظر می‌رسد که در شرایط اعمال و عدم اعمال تیمارهای کودی سهم تخصیص نیتروژن به دانه ثابت بوده‌است.

کارایی کود

براساس نتایج ذکر شده، کودهای آلی (دامی، کمپوست و ورمی‌کمپوست) در مقایسه با کود شیمیایی اوره به‌طور معنی‌داری از کارایی کود بالاتری برخوردار بودند. در این راستا عرب (۱۳۸۹) گزارش کرد که می‌توان با محاسبه درصد نیتروژن موجود در کودهای آلی مانند کود دامی و جایگزینی آن با کودهای شیمیایی نتیجه‌ای مشابه و یا حتی عملکردی بهتر از کود شیمیایی کسب کرد. وی همچنین خاطرنشان کرد از آنجایی‌که آزادسازی نیتروژن و نیز سایر عناصر غذایی در کودهای دامی هماهنگ با نیاز گیاه است، با بکارگیری کودهای آلی می‌توان افزایش کارایی این عناصر را امکان‌پذیر نمود. همان‌طور که پیش‌تر اشاره گردید، در بین تیمارهای مربوط به کودهای بیولوژیک، بجز تیمار بیوسولفور+ گوگرد، سایر کودهای بیولوژیک نقش معنی‌داری در افزایش کارایی کود در سیاهدانه نداشتند. Salvagiotti و همکاران (۲۰۰۹) نیز با مشاهده نقش مؤثر گوگرد در افزایش جذب نیتروژن در گندم گزارش کردند که اعمال گوگرد می‌تواند نقش مؤثری در کاهش آلودگی ناشی از نیترات داشته باشد. عدم تأثیر ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و میکوریزا در بهبود کارایی کود سیاهدانه در مقایسه با تیمار شاهد می‌تواند به‌دلیل عدم تأثیر این ریزوباکتریها بر محتوی نیتروژن اندام‌های سیاهدانه به‌ویژه دانه در مقایسه با تیمار شاهد باشد.

اثرات متقابل منابع کود نیتروژنی و کود بیولوژیک

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، اثرات متقابل بین تیمارهای مربوط به منابع کود نیتروژنی و کودهای بیولوژیک بر کارایی مصرف و نیز کارایی کود در سیاهدانه معنی‌دار نبود. عدم تأثیر باکتریهای مؤثر بر رشد در کنار مصرف کودهای آلی و یا شیمیایی می‌تواند به‌دلیل تأمین کافی نیتروژن و یا سایر عناصر غذایی توسط این منابع کودی باشد. به‌طوری که ممکن است منجر به عدم نیاز و یا کاهش نیاز گیاه به ارتباطات همزیستی شود. در این راستا Ozturk و همکاران (۲۰۰۳) نیز بیان کردند که افزایش میزان نیتروژن

در خاک با تأثیر منفی بر فعالیت آزوسپیریلوم می‌تواند سبب کاهش اثرات مفید این باکتری بر عملکرد گندم شود. از سویی همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، عدم تأثیر کودهای زیستی در کنار مصرف کودهای آلی را می‌توان در ارتباط با شرایط خاک به‌ویژه در ناحیه ریزوسفر ریشه دانست که می‌تواند بر جمعیت این ریزوباکتریها تأثیر نامطلوبی داشته باشد. بر این اساس به نظر می‌رسد که کودهای بیولوژیک از کارایی کافی در سیستم‌های پُرنهاده و رایج برخوردار نباشند (Ozturk *et al*., 2003).

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که نتایج آزمایش نشان‌دهنده عدم تأثیر باکتریهای ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و میکوریزا بر محتوی نیتروژن و نیز کارایی جذب و مصرف نیتروژن در سیاهدانه بود. باوجوداین نتایج آزمایش این نکته را مورد تأیید قرار داد که در خاک‌های با اسیدیته قلیایی باکتریهای اکسیدکننده گوگرد در کنار مصرف گوگرد می‌توانند با کاهش اسیدیته خاک در بهبود شاخص‌های ذکر شده در این گیاه نقش مؤثری را ایفا کنند. براساس نتایج این مقاله استفاده از کودهای زیستی در بهبود کارایی مصرف سیاهدانه نیازمند شناخت دقیق مجموعه عواملی است که می‌توانند منجر به کاهش فعالیت ریز موجودات در محیط رشد ریشه گیاه شوند. از سویی نتایج آزمایش حکایت از برتری کودهای آلی از نظر افزایش کارایی مصرف نیتروژن سیاهدانه در واحد سطح در مقایسه با کود شیمیایی نیتروژنه داشت. باوجوداین به‌دلیل دوره رشد کوتاه سیاهدانه، این برتری باید با مطالعه دقیق‌تر سایر عواملی که بر سرعت آزادسازی عناصر از منابع کودی تأثیرگذار می‌باشند، مورد تأمل قرار گیرد. به‌طور کلی می‌توان با در نظر گرفتن کارایی بالاتر کودهای آلی، با پذیرفتن هزینه‌های بالاتر در نتیجه اعمال اولیه این کودها در راستای کشاورزی پایدار گام برداشت.

سپاسگزاری

هزینه‌های اجرای این تحقیق توسط معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد و دانشکده کشاورزی و از محل بودجه گرانت با کد ۱۶۰۵۹تأمین شده است، بنابراین از مسئولان مراکز یادشده تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

- پارسا، س.، کافی، م. و نصیری محلاتی، م.، ۱۳۸۸. مطالعه اثرات سطوح شوری و نیتروژن بر محتوی نیتروژن ارقام گندم نان. پژوهش‌های زراعی ایران، ۷(۲): ۳۵۵-۳۴۷.
- تهامی زرندی، س.م.ک.، رضوانی‌مقدم، پ. و جهان، م.، ۱۳۸۹. مقایسه تأثیرکودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد و درصد اسانس گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.). بوم شناسی کشاورزی، ۲(۱): ۸۲-۷۰.
- جعفریانی، س.، بهشتی، س.ع. و طاهری، ق.، ۱۳۸۹. ارزیابی کارایی نیتروژن در ژنوتیپهای سورگوم دانه‌ای (*Sorghum bicolor* L. Moench). بوم‌شناسی کشاورزی، ۲(۳): ۵۱۱-۵۰۲.
- جوادی، ح.، ۱۳۸۷. اثر تاریخ کاشت و مقادیر نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). پژوهش‌های زراعی ایران، ۶(۱): ۶۶-۵۹.
- خرم‌دل، س.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م. و قربانی، ر.، ۱۳۸۷. اثر کاربرد کودهای بیولوژیک بر شاخص‌های رشدی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). پژوهش‌های زراعی ایران، ۶(۲): ۲۹۴-۲۸۵.
- خرم‌دل، س.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م. و قربانی، ر.، ۱۳۸۹. اثر کاربرد کودهای بیولوژیک بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). پژوهش‌های زراعی ایران، ۸(۵): ۷۶۶-۷۵۸.
- خندان، ا. و آستارایی، ع.، ۱۳۸۴. تأثیر کودهای آلی (کمپوست زباله شهری، کود گاوی) و شیمیایی بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک. بیابان، ۱۰(۲): ۳۶۸-۳۶۱.
- رحمتی، م.، عزیزی، م.، حسن‌زاده خیاط، م. و نعمتی، ح.، ۱۳۸۸. بررسی تأثیر سطوح مختلف تراکم بوته و نیتروژن بر صفات مورفولوژیک، عملکرد، میزان اسانس و درصد کامازولن گیاه دارویی بابونه رقم بودگلد (*Matricaria recutita*). علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۳(۱): ۳۵-۲۷.
- شریفی عاشورآبادی، ا.، عباس‌زاده، ب. و متین، ا.، ۱۳۸۲. تأثیر کودهای آلی و شیمیایی بر قابلیت جذب و کارایی نیتروژن در گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۱۹(۳): ۳۲۹-۳۱۳.

- صادقی‌پور مروی، ه.، ۱۳۸۹. بررسی کارایی استفاده از کود نیتروژن در گیاه اسفناج. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۴(۲): ۲۵۳- ۲۴۴.
- عرب، ف.، ۱۳۸۹. برآورد کارایی مصرف نیتروژن در گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.
- فروغی‌فر، ح.ا. و ابراهیم‌پور کاسمانی، م.، ۱۳۸۱. علوم و مدیریت خاک (جلد اول) (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۳۶ صفحه.
- فلاحی، ج.، کوچکی، ع. و رضوانی‌مقدم، پ.، ۱۳۸۸. بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک بر عملکرد کمّی و کیفی گیاه دارویی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*). پژوهش‌های زراعی ایران، ۷(۱): ۱۳۵- ۱۲۷.
- کوچکی، ع.، غلامی، ا.، مهدوی دامغانی، ع.م. و تبریزی، ل.، ۱۳۸۶. اصول کشاورزی زیستی (ارگانیک) (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۸۶ صفحه.
- محمدی آریا، م.، لکزیان، ا. و حق‌نیا، غ.، ۱۳۸۹. تأثیر مایه تلقیحی حاوی باکتری تیوباسیلوس و قارچ آسپرژیلوس بر رشد گیاه ذرت. پژوهش‌های زراعی ایران، ۸(۱): ۸۹-۸۲ .
- مظاهری، د. و مجنون حسینی، ن.، ۱۳۸۵. مبانی زراعت عمومی. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۲۰ صفحه.
- موسی‌زاده، م، برادران، ر. و ثقه‌الاسلامی، م.ج.، ۱۳۸۹. مطالعه اثر تراکم گیاهی و زمان محلول‌پاشی اوره بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). پژوهش‌های زراعی ایران، ۸(۱): ۴۸-۴۲.
- نوروزپور، ق. و رضوانی‌مقدم، پ.، ۱۳۸۵. اثر فواصل مختلف آبیاری و تراکم بوته بر عملکرد روغن و اسانس دانه سیاهدانه (*Nigella sativa*). پژوهش و سازندگی (در زراعت و باغبانی)، ۱۹(۴): ۱۳۸-۱۳۳.

- Ankumah, R.O., Khan, V., Mwamba, K. and Kpomblekou-A, K., 2003. The influence of source and timing of nitrogen fertilizers on yield and nitrogen use efficiency of four sweet potato cultivars. Agriculture, Ecosystems and Environment, 100(2-3): 201-207.
- Ashraf, M., Ali, Q. and Rha, E.S., 2005. The effect of applied nitrogen on the growth and nutrient concentration of kalonji (*Nigella sativa*). Australian Journal of Experimental Agriculture, 45(4): 459-463.
- Elwan, M.W.M. and Abd El-Hamed, K.E., 2011. Influence of nitrogen form, growing season and sulfur fertilization on yield and the content of nitrate and vitamin C of broccoli. Scientia Horticulturae, 127(3): 181-187.
- Fageria, N.K. and Baligar, V.C., 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Advances in Agronomy, 88: 97-185.
- Hazeri Niri, H., Tobeh, A., Gholipouri, A., Mostafaei, H. and Jamaati-E-Somarin, S., 2010. The effect of nitrogen and phosphorous rates on fertilizer use efficiency in lentil. World Applied Sciences Journal, 9(9): 1043-1046.
- Jackson, G.D., 2000. Effects of nitrogen and sulfur on canola yield and nutrient uptake. Agronomy Journal, 92(4): 644-649.
- Kant, S., Bi, Y.M. and Rothstein, S.J., 2011. Understanding plant response to nitrogen limitation for the improvement of crop nitrogen use efficiency. Journal of Experimental Botany, 62(4): 1499-1509.
- Kizilkaya, R., 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. Ecological Engineering, 33(2): 150-156.
- Kumar, V. and Ahlawat, I.P.S., 2006. Effect of biofertilizer and nitrogen on wheat (*Triticum aestivum*) and their after effects on succeeding maize (*Zea mays*) in wheat-maize cropping system. The Indian Journal of Agricultural Sciences, 76(8): 465-468.
- Mehta, B.K., Pandit, V. and Gupta, M., 2009. New principle from seeds of *Nigella sativa*. Natural Product Research: Formerly Natural Product Letters, 23(2): 138-148.
- Mollafilabi, A., Moodi, H., Rashed, M.H. and Kafi, M. 2010. Effect of plant density and nitrogen on yield and yield components of black cumin (Nigella sativaL.). Acta Horticulturae. 853: 115-126.
- Mostafavian, S.R., Pirdashti, H., Ramzanpour, M.R., Andarkhor, A.A. and Shahsavari, A., 2008. Effect of mycorrhizae, *Thiobacillus* and sulfur nutrition on the chemical composition of soybean [*Glycine max* (L.)] Merr. seed. Pakistan Journal of Biological Sciences, 11(6): 826-835.
- Otto, W.M. and du Preez, C.C., 2010. Grain yield, nitrogen uptake and use efficiency components of South African irrigation wheat cultivars under different nitrogen management strategies. South African Journal of Plant and Soil, 27(3): 199-206.
- Ozturk, A., Caglar, O. and Sahin, F., 2003. Yield response of wheat and barley to inoculation of plant growth promoting rhizobacteria at various levels of nitrogen fertilization. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 166(2): 262-266.
- Rodríguez Cáceres, E.A., González Anta, G., López, J.R., Di Ciocco, C.A., Pacheco Basurco, J. C. and Parada, J.L., 1996. Response of field-grown wheat to inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bacillus polymyxa* in the semiarid region of Argentina. Arid Soil Research and Rehabilitation, 10(1): 13-20.
- Salimpour, S., Khavazi, K., Nadian, H., Besharati, H. and Miransari, M., 2010. Enhancing phosphorous availability to canola (*Brassica napus* L.) using P solubilizing and sulfur oxidizing bacteria. Australian Journal of Crop Science, 4(5): 330-334.

- Salvagiotti, F., Castellarín, J.M., Miralles, D.J. and Pedrol, H.M., 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. Field Crops Research, 113(2): 170-177.
- Shah, S.H., 2007. Influence of nitrogen and phytohormone spray on seed, inorganic protein and oil yields and oil properties of *Nigella sativa* L. Asian Journal of Plant Science, 6(2): 364-368.
- Togay, N., Togay, Y., Cimrin, K.M. and Turan, M., 2008. Effects of rhizobium inoculation, sulfur and phosphorus applications on yield, yield components and nutrient uptakes in chickpea (*Cicer arietinum* L.). African Journal of Biotechnology, 7(6): 776-782.
- Vukovic, I., Mesic, M., Zgorelec, Z., Jurisic, A. and Sajko, K., 2008. Nitrogen use efficiency in winter wheat. Cereal Research Communications, 36: 1199-1202.
- Weih, M., Asplund, L. and Bergkvist, G., 2011. Assessment of nutrient use in annual and perennial crops: a functional concept for analyzing nitrogen use efficiency. Plant and Soil, 339(1-2): 513-520.
- Yang, Y.C., Zhang, M., Zheng, L., Cheng, D.D., Liu, M. and Geng, Y.Q., 2011. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, yield, and quality of wheat. Agronomy Journal, 103(2): 479-485.

Effects of organic, chemical and biological sources of nitrogen on nitrogen use efficiency in black seed (*Nigella sativa* L.)

P. Rezvani Moghaddam[1]*, S.M. Seyedi[2] and M. Azad[2]

1*- Corresponding Author, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- MSc. Student, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: June 2011 Revised: July 2012 Accepted: August 2012

Abstract

In order to investigate the effects of organic, chemical and biological sources of nitrogen on nitrogen and fertilizer use efficiency of black seed (*Nigella sativa* L.), a field experiment was conducted at Agricultural Research Station of Ferdowsi University of Mashhad, Iran, in 2009-2010. The experiment was arranged by using a completely randomized block design based on factorial fashion with three replications and twenty-five treatments. The experimental treatments included different sources of nitrogen (manure, compost, vermicompost, urea fertilizer and control) and different biological fertilizers (nitroxin including *Azotobacter* sp. and *Azospirillum* sp), mycorrhizae, nitroxin+mycorrhizae, biosulfur ((including *Thiobacillus* sp.) +sulfur and control (no biofertilizer). Results indicated that in spite of significant effects of sources of nitrogen and biological fertilizer on nitrogen and fertilizer use efficiency of black seed, interactions between these factors had no significant effects on mentioned traits. Results showed that nitrogen and fertilizer use efficiency of black seed in organic fertilizer treatments were significantly higher than that of urea fertilizer. The biological fertilizer had no significant increasing effects on mentioned traits, except biosulfur + sulfur bentonite. It seems that in the alkalic soils, biosulfur biofertilizer plus sulfur could contribute in increasing the nitrogen uptake and use efficiency of black seed, by decreasing the soil pH.

Key words: *Azotobacter*, mycorrhizae, *Thiobacillus*, sulfur, fertilizer use efficiency.