نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۵۰-۲۳۷

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 237-250

مقاله پژوهشی

تأثیر بازدارنده نیترات‌سازی ۳ و٤ دی متیل پیرازول فسفات بر کارایی مصرف نیتروژن در اسفناج

محبوبه قیطاسی[۱]- شهرام کیانی[۲*]- علیرضا حسین‌پور[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۵

چکیده

مصرف زیاد کودهای نیتروژن‌دار در کشت سبزی‌ها برای دستیابی به عملکرد بهینه ضروری است. استفاده از بازدارنده‌های نیترات‌سازی می‌تواند در افزایش کارایی مصرف نیتروژن و کاهش میزان کود مصرفی موثر باشد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کاربرد بازدارنده نیترات‌سازی ۳ و۴ دی متیل پیرازول فسفات (DMPP) بر کارایی مصرف نیتروژن در اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه عامل نوع کود نیتروژن، نوع خاک و نوع واریته در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد انجام شد. کودهای نیتروژن شامل اوره، سولفات نیترات آمونیوم با و بدون بازدارنده نیترات‌سازی DMPP بودند که به همراه تیمار شاهد (عدم کاربرد نیتروژن) در سه خاک با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوت مورد استفاده قرار گفتند. همچنین واریته‌های مورد استفاده شامل یک واریته برگ صاف (*گیانت سانتوس*) و یک واریته برگ چروک (*وایکینگ*) بودند. نتایج نشان داد کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP منجر به کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی اسفناج در خاک‌های شماره ۱ و ۲ و همچنین کارایی زراعی و فیزیولوژیک نیتروژن در مقایسه با کاربرد سولفات نیترات آمونیوم شد. دلیل این مسئله را می‌توان به کاهش رشد اسفناج به دلیل عدم همخوانی فراهمی نیترات خاک با نیاز اسفناج به نیتروژن در نتیجه تعویق روند اکسایش آمونیوم به نیترات نسبت داد. بیشترین کارایی مصرف نیتروژن در خاک شماره ۲ (لوم) مشاهده شد و واریته *گیانت سانتوس* در مقایسه با *وایکینگ* کارایی بیشتری در استفاده ار نیتروژن داشت. براساس نتایج این پژوهش، استفاده از سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در کشت اسفناج در خاک‌های مشابه شرایط این تحقیق قابل توصیه نیست، اگرچه کاربرد آن در بهبود ظاهر کیفی آن (رنگ سبز تیره) موثر است. همچنین با توجه به نبود تفاوت معنی‌دار بین اوره و سولفات نیترات آمونیوم از نظر شاخص‌های مورد بررسی، کاربرد هر دو کود برای تولید اسفناج در شرایط مشابه این پژوهش قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: اوره، جذب نیتروژن، سولفات نیترات آمونیوم، کیفیت

مقدمه

اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) به گروهی از سبزی‌های برگی تعلق دارد که دارای دوره رشد کوتاه و سرعت رشد بالا است. برگ‌های سبز آن به صورت بخارپز، سرخ شده و یا به صورت خام در اوایل دوره رشد مصرف می‌شود. اسفناج حاوی مقادیر قابل توجهی ویتامین A، B، C و همچنین عناصر معدنی است (۲۰). مصرف فراوان کودهای نیتروژنه در تولید سبزی‌ها برای دستیابی به عملکرد بهینه ضروری است (۳۴). کاربرد مقادیر زیاد نیتروژن در کشت‌های مکرر، دوره رشد کوتاه و سیستم ریشه کم‌عمق (۳) و پایین بودن کارایی مصرف نیتروژن (۷) چالش‌های مدیریت مصرف نیتروژن را در سبزی‌ها تشدید می‌کند. به طور کلی بازیافت نیتروژن در مزارع زیر کشت سبزیها کم است. کارایی مصرف نیتروژن در اسفناج کمتر از ۲۰ درصد (۴۴)، در کاهو ۱۲ درصد (۳۹) و در فلفل قلمی تنها ۱۰ درصد (۳۸) است. بنابراین افزایش کارایی مصرف کودهای نیتروژن یکی از چالش‌های کشاورزی مدرن امروزی است که از گذشته نیز به آن توجه ویژه‌ای شده است. براساس برآوردهای انجام شده افزایش کارایی مصرف نیتروژن تنها به میزان ۲ درصد بیش از ۲/۵ میلیارد دلار به اقتصاد جهانی کمک می‌کند (۲۱).

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: (Email: shkiani2002@yahoo.com
DOI: 10.22067/jsw.2021.14929.0

بازدارنده‌های نیترات‌سازی ترکیب‌هایی هستند که اکسایش زیستی یون آمونیوم (NH_4^+) به نیتریت (NO_2^-) را به‌واسطه کاهش فعالیت باکتری *نیتروزموناس* به تأخیر انداخته (۳۲) و منجر به نگهداری نیتروژن به شکلی با تحرک کمتر (آمونیوم) می‌گردند. یکی از بازدارنده‌های نیترات‌سازی ترکیب ۳ و ۴- دی متیل پیرازول فسفات[1] (DMPP) است که توسط شرکت باسف آلمان تولید شده است (۴۶). مطالعات متعددی در مورد اثرات مثبت این بازدارنده بر کاهش هدررفت نیتروژن (نیترات و آمونیوم) در خاک و زه‌آب (۸، ۲۲، ۳۵ و ۴۵)، تغذیه مطلوب نیتروژن گیاه (۲۸) و افزایش تولید محصول (۵، ۱۵، ۱۹، ۲۰ و ۳۵) انجام شده است. مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد بازدارنده DMPP نه تنها عملکرد محصول را در گندم، جو و ذرت افزایش داده بلکه در هویج و کاهو نیز عملکرد محصول قابل فروش را در مقایسه با تیمار مشابه اما بدون بازدارنده افزایش داده است (۳۲). این تأثیر احتمالا در نتیجه افزایش ذخیره نیتروژن معدنی (آمونیوم و نیترات) خاک، نگهداری نیتروژن خاک به شکل آمونیوم (۴۶) و در نتیجه تغذیه بهتر نیتروژن گیاه (۲۸) است.

تحقیقات انجام شده در مورد تأثیر بادارنده‌های نیترات‌سازی بر کارایی مصرف نیتروژن متفاوت است. در برخی از پژوهش‌های انجام شده کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌سازی منجر به افزایش کارایی مصرف نیتروژن شده است (۹، ۱۰، ۳۲، ۳۳، ۳۷ و ۴۱). در این زمینه دوما و همکاران (۹) عنوان کردند مصرف بازدارنده نیترات‌سازی DMPP منجر به افزایش کارایی مصرف نیتروژن در گندم پاییزه و پنبه در یونان شد. همچنین شارما و کومار (۴۱) مشاهده کردند کاربرد بازدارنده نیترات‌سازی دی سیانو دی آمید منجر به کاهش میزان کود نیتروژن مصرفی و افزایش جذب نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن در گندم گردید. نتایج تحقیقات رکو و بلو (۳۷) نیز نشان داد کاربرد کود سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP منجر به افزایش وزن خشک، نگهداشت نیتروژن خاک به مقدار بیشتر و افزایش کارایی مصرف کود نیتروژن در کلم بروکلی و چاودار شد. اما همیشه کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌سازی کارایی مصرف نیتروژن را افزایش نداده است (۸ و ۱۴). به عنوان مثال دیزلوپز و همکاران (۸) عنوان کردند که کاربرد اوره به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP بر کارایی مصرف نیتروژن در ذرت موثر نبوده است. هوئرفانو و همکاران (۱۴) نیز گزارش کردند که کاربرد ۷۰ کیلوگرم نیتروژن از منبع سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در مقایسه با کاربرد همین کود اما بدون بازدارنده تاثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک، کارایی مصرف نیتروژن و مقدار نیتروژن برگ در کاهو نداشته است. در برخی از پژوهش‌ها نیز کاربرد بازدارنده نیترات سازی منجر به کاهش کارایی مصرف نیتروژن شده است. به عنوان مثال کانالی و همکاران (۴) گزارش نمودند که کاربرد اوره به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در مقایسه با اوره به تنهایی منجر به کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک اسفناج، جذب نیتروژن، کارایی زراعی و بازیافت نیتروژن گردید.

پژوهش‌های انجام شده نشان داده است که کارایی بازدارنده‌های نیترات‌سازی به شرایط آب و هوایی مانند دما و رطوبت (۳۲)، ویژگی های خاک از قبیل بافت، اسیدیته، درصد ماده آلی (۱) و احتمالا نوع گیاه کشت شده (۴۶) بستگی دارد. بنابراین انجام تحقیقات بیشتر برای تصمیم‌گیری در مورد مصرف کودهای حاوی بازدارنده‌های نیترات‌سازی در خاک‌های مختلف ضروری است (۱). بنابراین با توجه به موارد فوق، در تحقیق حاضر سعی گردید تا تاثیر استفاده از بازدارنده نیترات‌سازی DMPP بر کارایی مصرف نیتروژن در دو واریته اسفناج در سه نوع خاک مختلف مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه عامل نوع کود نیتروژن، نوع خاک و نوع واریته گیاه اسفناج در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد انجام شد. کودهای نیتروژن شامل اوره (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن)، سولفات نیترات آمونیوم (حاوی ۲۴ درصد نیتروژن: ۲۰/۸ درصد به شکل آمونیوم و ۳/۲ درصد به شکل نیترات ($(NH_4)_3SO_4NO_3$) و سولفات نیترات آمونیوم با بازدارنده نیترات‌سازی DMPP (حاوی ۰/۸ درصد وزنی/وزنی DMPP) بودند. با توجه به کمبود ماده آلی در خاک‌های مورد مطالعه و جلوگیری از خطر احتمالی بروز سمیت آمونیوم و کاهش رشد اسفناج به خصوص در مرحله استقرار گیاه، ترجیح داده شد از کودی استفاده شود که علاوه بر آمونیوم حاوی مقدار اندکی نیترات باشد تا بتواند نیتروژن مورد نیاز گیاه را به خصوص در مراحل اولیه رشد تامین کند. یک تیمار بدون کاربرد نیتروژن نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. کودهای سولفات نیترات آمونیوم و سولفات نیترات آمونیوم با بازدارنده نیترات‌سازی DMPP از شرکت بازارگان کالا تهیه شدند. سه نوع خاک با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوت شامل خاک شماره ۱ (شن لومی)، شماره ۲ (لوم) و شماره ۳ (رس سیلتی) به عنوان عامل خاک استفاده شد. واریته‌های مورد استفاده شامل یک واریته برگ صاف (*گیانت سانتوس*[2]) و یک واریته برگ چروک (*وایکینگ*[3]) بودند. میزان نیتروژن مصرفی در تمام تیمارهای آزمایشی ثابت و برابر ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم

1- 3,4-Dimethylpyrazole Phosphate

2- *Giant Santos*

3- *Viking*

خاک بود که به منظور جلوگیری از هدررفت آن در اثر فرآیندهای کاهشی در دو تقسیط مساوی یک روز قبل از کشت و یکماه پس از کشت (۱۳) مصرف شد.

سه نمونه خاک از مناطق اطراف شهرکرد از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آنها از قبیل بافت به روش هیدرومتر (۱۱)، pH در سوسپانسیون ۱ به ۲ خاک به آب مقطر توسط دستگاه pH متر (۴۳)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۱ به ۲ خاک به آب مقطر توسط دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (۳۶)، درصد کربنات کلسیم معادل به روش خنثی کردن کربنات کلسیم با اسید کلریدریک و تیتراسیون اسید اضافی با سود (۲۴) و درصد کربن آلی به روش اکسایش تر (۳۰) اندازه‌گیری شدند. مقادیر نیترات و آمونیوم (محلول و تبادلی) پس از عصاره‌گیری با سولفات پتاسیم به ترتیب با روش‌های سولفوسالیسیلیک اسید و سالیسیلات- نیتروپروساید با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شدند (۲۹). میزان فسفر قابل دسترس پس از عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم (۳۱) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر، میزان پتاسیم قابل دسترس پس از عصاره-گیری با استات آمونیوم (۱۸) توسط دستگاه فلیم فتومتر، آهن، منگنز، مس و روی قابل دسترس پس از عصاره‌گیری با DTPA-TEA (۲۳) با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. پس از تهیه خاک‌ها و برای جلوگیری از بروز کمبود عناصر غذایی به غیر از نیتروژن نسبت به مصرف کودهای شیمیایی مورد نیاز اسفناج اقدام شد. غلظت عناصر غذایی مورد استفاده برای هر سه نوع خاک (برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک) به این شرح بودند: فسفر ۱۰۰ (از منبع سوپر فسفات تریپل)، آهن ۵ (از منبع سکوسترین ۱۳۸ آهن)، روی ۱۵ (از منبع سولفات روی)، منگنز ۵ (از منبع سولفات منگنز) و مس ۲/۵ (از منبع سولفات مس). این کودها به همراه مرحله اول تقسیط نیتروژن یک روز قبل از کشت اسفناج به کار برده شدند. همچنین برای خاک شماره ۱ (شن لومی) ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم) نیز استفاده شد. نمونه‌های خاک به درون گلدان‌های پلاستیکی به میزان هفت کیلوگرم ریخته شد و به داخل گلخانه منتقل شدند. سپس در هر گلدان ۱۲ عدد بذر اسفناج کاشته شد که پس از مرحله استقرار پنج بوته حذف شد. سپس مراقبت‌های زراعی معمول در حین دوره داشت (به مدت ۹ هفته) در گلخانه تا زمان برداشت صورت گرفت. مقدار و زمان آبیاری با آب چاه بر مبنای تامین رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی و به روش وزنی تعیین شد. برای جلوگیری از هدررفت نیتروژن از طریق آبشویی برای گلدان‌ها، زیرگلدانی گذاشته و زهآب حاصله به گلدان‌ها برگردانده شد. در فاصله زمانی یک هفته قبل از برداشت، شاخص میزان کلروفیل برگ با دستگاه کلروفیل‌سنج (Hansatech, Model: CL-01) اندازه‌گیری شد. بدین منظور برای هر گلدان آزمایشی ۱۰ قرائت از برگ‌های مختلف انجام شد و سپس میانگین آنها به عنوان شاخص میزان کلروفیل برگ آن گلدان درنظر گرفته شد. در پایان آزمایش گیاهان اسفناج برداشت شده و به مدت ۷۲ ساعت در آون فن‌دار در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شده و وزن خشک آنها توسط ترازوی رقومی اندازه‌گیری شد. گیاهان با استفاده از آسیاب برقی خرد شده و غلظت نیتروژن در آنها با استفاده از روش کلدال اندازه‌گیری شد (۱۶). جذب نیتروژن اندام هوایی اسفناج از حاصل‌ضرب غلظت نیتروژن در وزن خشک نمونه‌ها محاسبه شد. شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن شامل کارایی زراعی[1]، کارایی بازیافت[2] و کارایی فیزیولوژیک[3] با استفاده از روابط ۱، ۲ و ۳ محاسبه شدند (۲۱).

$$AE_N = (Y_T - Y_0)/F_N \quad (۱)$$

در این رابطه: AE_N معادل کارایی زراعی نیتروژن بر حسب گرم ماده خشک تولیدی بر گرم نیتروژن مصرفی، Y_T مساوی وزن خشک اندام هوایی در تیمار دارای نیتروژن کودی، Y_0 نماینده وزن خشک اندام هوایی در تیمار شاهد (بدون مصرف نیتروژن) و F_N نشان‌دهنده میزان نیتروژن مصرفی است.

$$RE_N = (U_T - U_0)/F_N \quad (۲)$$

در این رابطه: RE_N نشان‌دهنده کارایی بازیافت نیتروژن بر حسب گرم بر ۱۰۰ گرم، U_T نماینده جذب نیتروژن توسط اندام هوایی در تیمار دارای نیتروژن کودی، U_0 مساوی جذب نیتروژن توسط اندام هوایی در تیمار شاهد (بدون مصرف نیتروژن) و F_N معادل میزان نیتروژن مصرفی است.

$$PE_N = (Y_T-Y_0)/(U_T-U_0) \quad (۳)$$

در در این رابطه PE_N نشان‌دهنده کارایی فیزیولوژیک نیتروژن بر حسب گرم ماده خشک تولیدی بر میلی‌گرم نیتروژن جذب شده بوده و سایر پارامترها مشابه روابط ذکر شده قبلی هستند. نتایج حاصل توسط نرم افزار آماری SAS (نسخه ۸/۰۲) تجزیه و تحلیل شد و برای مقایسه و کلاسه‌بندی میانگین‌ها آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار فیشر (LSD) با سطح احتمال ۵٪ به‌کار گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش نشان داد که خاک‌های مورد مطالعه دارای مشکل شوری نبوده و pH آنها به دلیل وجود کربنات کلسیم معادل بیشتر از هفت بود. همچنین درصد ماده آلی در خاک‌های مورد بررسی بسیار کم بود که این مسئله احتمالا منجر به پاسخ مثبت گیاه اسفناج نسبت به کاربرد نیتروژن می‌شود. نتایج حاصل حاکی از برتری مقدار قابل استفاده عناصر

1- Agronomic Efficiency
2- Recovery Efficiency
3- Physiological Efficiency

غذایی در خاک شماره ۳ (رس سیلتی) نسبت به خاک شماره ۲ (لـوم) و در خاک شماره ۲ نسبت به خاک شماره ۱ (شن لومی) است (جدول ۱). بنابراین به‌نظر می‌رسد خاک‌های شـماره ۳ و ۲ نسـبت بـه خـاک شماره ۱ توانایی بیشتری در عرضه متناسب و متعادل عناصر غذایی به گیاه داشته باشند.

جذب نیتروژن اندام هوایی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تأثیر نوع کود نیتروژن، نوع خاک، نوع واریته و برهمکنش نوع کـود نیتـروژن بـا نـوع خـاک بـر جـذب نیتروژن اندام هوایی در سطح یک درصد آماری معنی‌دار شد در حـالی که برهمکنش نوع کود نیتروژن با نوع واریته در سطح ۵ درصد آماری معنی‌دار شد (جدول ۲).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

Table 1- Some physical and chemical properties of studied soils

شماره خاک Soil number	$pH_{1:2}$	قابلیت هدایت الکتریکی $EC_{1:2}$	ماده آلی Organic matter	کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent	آمونیوم Ammonium	نیترات Nitrate	بافت خاک Textural class
		($dS\ m^{-1}$)		(%)	($mg\ kg^{-1}$)		
1	7.9	0.14	0.26	28.5	3.7	0.5	Loamy Sand
2	7.9	0.23	0.30	29.0	9.9	1.5	Loam
3	8.0	0.31	0.35	36.2	13.6	4.6	Silty Clay
شماره خاک Soil number	**فسفر P**	**پتاسیم K**	**آهن Fe**	**منگنز Mn**	**روی Zn**	**مس Cu**	
	Available ($mg\ kg^{-1}$)						
1	6.3	119.5	7.0	5.0	0.17	0.36	
2	13.0	604.4	5.6	9.0	0.43	0.85	
3	14.5	776.7	5.3	10.3	0.61	0.84	

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تاثیر تیمارها بر جذب نیتروژن اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی و شاخص میزان کلروفیل برگ اسفناج

Table 2- Variance analysis (mean square) of the treatments effects on shoot nitrogen uptake, shoot dry weight and leaf chlorophyll content index of spinach

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	جذب نیتروژن اندام هوایی Shoot nitrogen uptake	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	شاخص میزان کلروفیل برگ Leaf chlorophyll content index
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	3	790232.65^{**}	1030.10^{**}	$79.83.63^{**}$
نوع خاک Soil type	2	188425.50^{**}	349.89^{**}	93.31^{*}
واریته اسفناج Spinach variety	1	68404.26^{**}	176.09^{**}	3.99^{ns}
کود نیتروژن × نوع خاک Nitrogen fertilizer × soil type	6	13265.70^{**}	19.69^{**}	288.92^{**}
کود نیتروژن × واریته اسفناج Nitrogen fertilizer × spinach variety	3	8138.01^{*}	22.32^{**}	27.45^{ns}
نوع خاک × واریته اسفناج Soil type × spinach variety	2	642.74^{ns}	3.70^{ns}	41.33^{ns}
کود نیتروژن × نوع خاک × واریته اسفناج Nitrogen fertilizer × soil type × spinach variety	6	1515.81^{ns}	3.12^{ns}	44.66^{ns}
خطا Error	48	2350.12	3.56	34.06

^{ns} غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح ۵٪ ** معنی‌دار در سطح ۱٪

^{ns} Non significant, * significant at 5%, ** significant at 1%

بر اساس نتایج، منابع مختلف نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر جذب نیتروژن اندام هوایی در خاک‌های شماره ۱ و ۳ داشتند. به طوری‌که در خاک شماره ۳ کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP باعث افزایش معنی‌دار جذب نیتروژن اندام هوایی در مقایسه با کاربرد تیمار مشابه اما فاقد بازدارنده و همچنین تیمار شاهد گردید (جدول ۳). افزایش جذب نیتروژن اندام هوایی در نتیجه مصرف سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP را احتمالا می‌توان به جذب ترجیحی آمونیوم در مقایسه با نیترات (۶)، افزایش نگهداشت آمونیوم در خاک‌های تیمار شده با بازدارنده نیترات‌سازی (۴۰) و اثر هم‌افزایی (سینرژیسم) بین آمونیوم و نیترات (۲۶) نسبت داد. افزایش جذب نیتروژن با کاربرد سولفات نیترات آمونیوم همراه با بازدارنده نیترات‌سازی در خاک شماره ۳ در مطابقت با تحقیقات انجام شده در گندم (۶، ۱۷ و ۴۱)، چاودار (۱۰)، مرکبات (۴۰) و توت فرنگی (۲۸) بود. نتایج نشان داد در خاک شماره ۱، کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP باعث کاهش معنی‌دار جذب نیتروژن اندام هوایی در مقایسه با کاربرد تیمار مشابه اما فاقد بازدارنده شد (جدول ۳) که دلیل این مسئله کاهش وزن خشک اندام هوایی اسفناج بود. در این میان نبود تفاوت معنی‌دار بین دو کود اوره و سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی در کلیه خاک‌های مورد بررسی از نظر جذب نیتروژن اندام هوایی را احتمالا می‌توان به تامین مقدار یکسان نیتروژن توسط این دو کود برای اسفناج نسبت داد. بر مبنای نتایج حاصل، اسفناج رشد کرده در خاک شماره ۳ (رس سیلتی) در تیمار فاقد کود نیتروژن نسبت به خاک شماره ۲ (لوم) و شماره ۱ (شن لومی) دارای جذب نیتروژن بیشتری توسط اندام هوایی بودند (جدول ۳). حاصلخیزی بیشتر خاکهای رسی سیلتی و توانایی بهتر آنها در تامین عناصر غذایی (۲۵) از جمله دلایل جذب بهتر نیتروژن توسط اندام هوایی اسفناج در مقایسه با خاک لوم می‌باشد.

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود نیتروژن با نوع واریته اسفناج نشان داد در هر دو واریته، کاربرد منابع مختلف نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر جذب نیتروژن اندام هوایی نداشت (جدول ۴). در این میان جذب نیتروژن اندام هوایی در واریته *گیانت سانتوس* به طور معنی‌داری بیشتر از واریته *وایکینگ* بود. به طور کلی توانایی ارقام گیاهی در جذب عناصر غذایی به ویژگی‌های ژنتیکی آنها مربوط بوده که این امر منجر به ایجاد اختلاف در بین ارقام گیاهی از لحاظ جذب عناصر غذایی می‌شود (۲۶).

جدول ۳- مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود نیتروژن و نوع خاک بر جذب نیتروژن اندام هوایی اسفناج (میلی‌گرم بر گلدان)

Table 3- Mean comparison of the interaction effect of nitrogen fertilizer types and soil types on shoot nitrogen uptake (mg pot^{-1}) of spinach

شماره خاک Soil number	شاهد Control	اوره Urea	سولفات نیترات آمونیوم Ammonium sulphate nitrate	سولفات نیترات آمونیوم + DMPP Ammonium sulphate nitrate +DMPP	میانگین Mean
1	52.66^{f}	386.61^{cd}	441.30^{c}	356.46^{d}	309.26^{C}
2	56.43^{f}	535.65^{b}	544.84^{b}	540.88^{b}	419.45^{B}
3	161.75^{e}	581.59^{ab}	565.51^{b}	629.35^{a}	484.55^{A}
میانگین (Mean)	90.28^{B}	501.28^{A}	517.21^{A}	508.89^{A}	

میانگین‌ها در هر ستون و ردیف با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند. اثرات اصلی با حروف بزرگ نشان داده شده است (آزمون LSD).

Means in each column and row with the same letter are not statistically different at α =0.05 (LSD Test). The main effects are shown by capital letters.

جدول ٤- مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود نیتروژن و نوع واریته بر جذب نیتروژن اندام هوایی اسفناج (میلی‌گرم بر گلدان)

Table 4- Mean comparison of the interaction effect of nitrogen fertilizer types and variety types on shoot nitrogen uptake (mg pot^{-1}) of spinach

واریته اسفناج (Spinach variety)	شاهد Control	اوره Urea	سولفات نیترات آمونیوم Ammonium sulphate nitrate	سولفات نیترات آمونیوم + DMPP Ammonium sulphate nitrate +DMPP	میانگین Mean
گیانت سانتوس *Giant Santos*	94.06^{c}	544.03^{a}	558.70^{a}	534.17^{a}	435.24^{A}
وایکینگ *Viking*	86.50^{c}	448.54^{b}	475.73^{b}	483.62^{b}	373.59^{B}
میانگین (Mean)	90.28^{B}	501.28^{A}	517.21^{A}	508.89^{A}	

میانگین‌ها در هر ستون و ردیف با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند. اثرات اصلی با حروف بزرگ نشان داده شده است (آزمون LSD).

Means in each column and row with the same letter (small letters) are not statistically different at α =0.05 (LSD Test). The main effects are shown by capital letters.

وزن خشک اسفناج

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تاثیر نوع کود نیتروژن، نوع خاک، نوع واریته، برهمکنش نوع کود نیتروژن با نوع خاک و برهمکنش نوع کود نیتروژن با نوع واریته بر وزن خشک اسفناج در سطح یک درصد آماری معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد در خاک‌های شماره ۱ و ۲ کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP منجر به کاهش معنی‌دار وزن خشک اسفناج در مقایسه با سولفات نیترات آمونیوم گردید، در حالی که تفاوت معنی‌داری با اوره نشان نداد (جدول ۵). این کاهش می‌تواند به دلایل مختلفی باشد. کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP با تعویق روند تبدیل آمونیوم به نیترات می‌تواند در افزایش قابل توجه آمونیوم خاک و تاثیر منفی آن بر رشد اسفناج موثر باشد. تجمع آمونیوم آزاد در بافت گیاهی با توقف فرایندهای سوخت و ساز از قبیل فتوسنتز می‌تواند منجر به کاهش رشد گیاه شود (۲۶). در مطابقت با این دلیل پاسدا و همکاران (۳۲) عنوان کردند با کاربرد بازدارنده نیترات‌سازی DMPP تنها بخش کمی از کود آمونیومی در طول دوره رشد اسفناج به نیترات تبدیل شده و بنابراین گیاهان عمده نیتروژن خود را به شکل آمونیوم (به جای نیترات) جذب کرده‌اند. از طرف دیگر جذب بیش از حد آمونیوم توسط گیاه ممکن است باعث کاهش pH ریزوسفر شده و مانع از جذب کاتیونهایی مانند پتاسیم، کلسیم و منیزیم که برای رشد گیاه ضروری هستند (۲۶) شود. همچنین، کانالی و همکاران (۴) در خصوص کاهش رشد اسفناج با کاربرد بازدارنده DMPP عنوان کردند که استفاده از بازدارنده نیترات سازی به طور موثری فرایند نیترات‌سازی آمونیوم حاصل از اوره را تحت تاثیر قرار داده و احتمالا فراهمی نیترات خاک با نیاز اسفناج به نیتروژن همخوانی نداشته است. آنها عنوان کردند کاربرد اوره به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در مقایسه با اوره به تنهایی منجر به کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک اسفناج شد. تأثیر منفی کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌سازی بر عملکرد اسفناج در تحقیقات پاسدا و همکاران (۳۲) نیز مشاهده شده که در مطابقت با نتایج این تحقیق است.

از طرفی، کاهش عملکرد اسفناج با کاربرد بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در خاک‌های شماره ۱ و ۲ برخلاف یافته‌های کرزل و کولوتا (۲۰) است. آنها بیشترین عملکرد محصول قابل فروش اسفناج را با کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP گزارش کردند. همچنین کاسار و همکاران (۵) عنوان کردند کاربرد یکباره کود نیتروژن (۷۰ درصد به صورت آمونیوم و ۳۰ درصد به صورت نیترات) به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با عرف کوددهی منطقه مورد آزمایش (۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در دو تقسیط) باعث افزایش معنی‌دار عملکرد اسفناج شد. در مطابقت با این امر کولوتا و همکاران (۱۹) عنوان کردند کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP منبع خوبی برای تامین نیتروژن در مقایسه با نیترات آمونیوم به تنهایی بود که باعث تولید بیشترین عملکرد قابل فروش گل کلم و کمترین غلظت نیترات در آن شد. نتایج نشان داد در خاک شماره ۳ (رس سیلتی) کاربرد نیتروژن از منابع مختلف تأثیر معنی‌داری بر عملکرد نداشت (جدول ۵). به نظر می‌رسد دلیل این عدم واکنش، توانایی خاک شماره ۳ در عرضه آمونیوم و نیترات به ریشه گیاه به دلیل قدرت بافری بیشتر باشد.

مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود نیتروژن با نوع واریته اسفناج بر وزن خشک گیاه نشان داد که کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در واریته *گیانت ساتوس* منجر به کاهش معنی‌دار وزن خشک اسفناج در مقایسه با دو کود سولفات نیترات آمونیوم و اوره گردید (جدول ۶). با این حال در واریته *وایکینگ* منابع مختلف نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک اسفناج نداشتند.

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود نیتروژن و نوع خاک بر وزن خشک اندام هوایی اسفناج (گرم بر گلدان)

Table 5- Mean comparison of the interaction effect of nitrogen fertilizer types and soil types on shoot dry weight (g pot^{-1}) of spinach

شماره خاک Soil number	شاهد Control	اوره Urea	سولفات نیترات آمونیوم Ammonium sulphate nitrate	سولفات نیترات آمونیوم + DMPP Ammonium sulphate nitrate +DMPP	میانگین Mean
1	3.49^{f}	16.08^{cd}	17.59^{c}	14.07^{d}	12.90^{C}
2	3.89^{f}	22.78^{ab}	23.23^{a}	20.71^{b}	17.65^{B}
3	9.75^{e}	23.76^{a}	23.74^{a}	24.56^{a}	20.45^{A}
میانگین (Mean)	5.71^{C}	20.87^{AB}	21.64^{A}	19.78^{B}	

میانگین‌ها در هر ستون و ردیف با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند. اثرات اصلی با حروف بزرگ نشان داده شده است (آزمون LSD).

Means in each column and row with the same letter (small letters) are not statistically different at $\alpha = 0.05$ (LSD Test). The main effects are shown by capital letters.

جدول ٦- مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود نیتروژن و نوع واریته بر وزن خشک اندام هوایی اسفناج (گرم بر گلدان)

Table 6- Mean comparison of the interaction effect of nitrogen fertilizer types and variety types on shoot dry weight (g pot^{-1}) of spinach

واریته اسفناج (Spinach variety)	شاهد Control	اوره Urea	سولفات نیترات آمونیوم Ammonium sulphate nitrate	سولفات نیترات آمونیوم + DMPP Ammonium sulphate nitrate +DMPP	میانگین Mean
گیانت سانتوس *Giant Santos*	5.89^{d}	23.35^{a}	24.09^{a}	20.93^{b}	18.56^{A}
وایکینگ *Viking*	5.53^{d}	18.39^{c}	19.19^{bc}	18.63^{c}	15.44^{B}
میانگین (Mean)	5.71^{C}	20.87^{AB}	21.64^{A}	19.78^{B}	

میانگین‌ها در هر ستون و ردیف با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند. اثرات اصلی با حروف بزرگ نشان داده شده است (آزمون LSD).

Means in each column and row with the same letter (small letters) are not statistically different at α =0.05 (LSD Test). The main effects are shown by capital letters.

بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، واریته *گیانت سانتوس* نسبت به کاربرد نیتروژن واکنش بهتری نشان داد و وزن خشک بیشتری در مقایسه با واریته *وایکینگ* تولید کرد. با این وجود، این واریته در مقایسه با واریته *وایکینگ* حساسیت بیشتری نسبت به آمونیوم داشت. تفاوت در بین ارقام گیاهی در پاسخ نسبت به نیتروژن ناشی از متفاوت بودن راندمان فیزیولوژیکی آنها در استفاده از نیتروژن است (۲۱). بر مبنای نتایج این پژوهش، کاربرد نیتروژن از هر سه منبع مورد استفاده باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اسفناج در هر دو واریته در مقایسه با عدم مصرف نیتروژن گردید. با این وجود، بیشترین وزن خشک اندام هوایی در هر دو واریته با کاربرد سولفات نیترات آمونیوم حاصل شد و در این تیمار وزن خشک اندام هوایی اسفناج در واریته *گیانت سانتوس* به طور معنی‌داری از واریته *وایکینگ* بیشتر بود (جدول ۶). پاسخ متفاوت واریته‌های اسفناج نسبت به منابع مختلف نیتروژن در تحقیقات کرزل و کولوتا (۲۰) نیز مشاهده شد که در مطابقت با نتایج این پژوهش است.

شاخص میزان کلروفیل برگ اسفناج

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تأثیر نوع کود نیتروژن و همچنین برهمکنش نوع کود نیتروژن با نوع خاک بر شاخص میزان کلروفیل برگ در سطح ۱ درصد آماری معنی‌دار بود (جدول ۲). در حالی که تأثیر نوع خاک بر این شاخص در سطح ۵ درصد آماری معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود نیتروژن و نوع خاک نشان داد که کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP باعث افزایش معنی‌دار شاخص میزان کلروفیل برگ در مقایسه با دو کود اوره و سولفات نیترات آمونیوم و همچنین تیمار شاهد در هر سه خاک مورد مطالعه شد (جدول ۷). به عبارت دیگر گیاهان کوددهی شده با سولفات نیترات آمونیوم به همراه DMPP در مقایسه با سایر منابع نیتروژن از رنگ سبز تیره بیشتری برخوردار بوده‌اند. شاخص میزان کلروفیل برگ که نشان‌دهنده شدت رنگ سبز برگ است یکی از شاخص‌های کیفی در اسفناج می‌باشد (۳۲). نتایج نشان داد همبستگی مثبت و معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) بین شاخص میزان کلروفیل برگ و غلظت نیتروژن آن (r= ۰/۷۹) وجود داشت که این نتیجه با توجه به نقش نیتروژن در ساختمان کلروفیل برگ منطقی بوده و با تحقیقات انجام شده در این زمینه (۲) همسو است. در این پژوهش تاثیر مثبت کاربرد بازدارنده نیترات‌سازی DMPP بر افزایش شدت رنگ سبز برگ اسفناج را می‌توان به تغذیه آمونیومی اسفناج نسبت داد. کاربرد آمونیوم بر سنتز پلی‌آمین‌ها، سیتوکنین و جیبرلین در گیاه اثرات مثبت دارد (۲۷). به طوری که مقادیر زیادی از پلی‌آمین‌ها مانند پوترسین و اسپرمین در گیاهان تغذیه شده با آمونیوم در مقایسه با نیترات گزارش شده است (۱۲). نقش پلی‌آمین‌ها به عنوان پیام‌رسان ثانویه در القای گلدهی و باردهی در اکثر میوه‌ها در نتیجه تغذیه آمونیومی به خوبی شناخته شده است. این امر ممکن است به افزایش متابولیسم سیتوکنین مرتبط باشد. حضور هورمون‌های گیاهی سیتوکنین و جیبرلین با تعویق فرایند پیری و تخریب کلروفیل، موجب می‌شود که گیاهان کوددهی شده با DMPP ظاهر بهتری (رنگ سبز تیره) در مقایسه با گیاهانی که DMPP دریافت نکرده‌اند، داشته باشند (۲۷). تاثیر مثبت کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌سازی بر افزایش شاخص میزان کلروفیل برگ در سایر تحقیقات انجام شده در اسفناج (۴، ۱۵ و ۳۲) نیز مشاهده شده که با نتایج این پژوهش همسو می‌باشد. در این زمینه، مطالعه کانالی و همکاران (۴) نشان داد که برگ‌های اسفناج کوددهی شده با DMPP دارای رنگ سبز تیره بوده و حاوی نیترات کمتری بودند. همچنین مارتینز و همکاران (۲۸) گزارش کردند بیشترین شاخص میزان کلروفیل برگ در توت‌فرنگی با کاربرد ۱۰۰ درصد کل نیتروژن از منبع سولفات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP مشاهده شد. آنها دلیل این امر را به تقویت میزان کلروفیل برگ‌ها با کاربرد بازدارنده نیترات‌سازی DMPP نسبت دادند. به طور مشابه کولوتا و همکاران (۱۹) گزارش کردند که پیازهای ژاپنی کوددهی شده با سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده DMPP در مقایسه با نیترات آمونیوم دارای مقدار بیشتری کلروفیل بودند.

جدول ۷- مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود نیتروژن و نوع خاک بر شاخص میزان کلروفیل برگ اسفناج

Table 7- Mean comparison of the interaction effect of nitrogen fertilizer types and soil types on leaf chlorophyll content index of spinach

شماره خاک Soil number	شاهد Control	اوره Urea	سولفات نیترات آمونیوم Ammonium sulphate nitrate	سولفات نیترات آمونیوم + DMPP Ammonium sulphate nitrate +DMPP	میانگین Mean
1	18.28^{fg}	45.78^{d}	49.89^{cd}	74.44^{a}	47.23^{AB}
2	15.70^{g}	55.03^{c}	53.60^{c}	65.22^{b}	47.39^{A}
3	23.40^{f}	43.13^{de}	36.39^{e}	72.67^{a}	43.90^{B}
میانگین (Mean)	19.30^{C}	47.98^{B}	46.63^{B}	70.77^{A}	

میانگین‌ها در هر ستون و ردیف با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند. اثرات اصلی با حروف بزرگ نشان داده شده است (آزمون LSD).

Means in each column and row with the same letter are not statistically different at α =0.05 (LSD Test). The main effects are shown by capital letters.

کارایی مصرف نیتروژن اسفناج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر نوع کود نیتروژن و نوع واریته اسفناج در سطح ۵ درصد آماری و تأثیر نوع خاک در سطح ۱ درصد آماری بر کارایی فیزیولوژیک نیتروژن معنی‌دار شد. همچنین تاثیر نوع خاک و نوع واریته اسفناج بر کارایی زراعی و بازیافت نیتروژن در سطح ۱ درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار شد (جدول ۸). کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP باعث کاهش کارایی زراعی نیتروژن نسبت به تیمار مشابه اما فاقد بازدارنده به مقدار حدود ۱۲ درصد شد (جدول ۹). همچنین، کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP منجر به کاهش معنی‌دار کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در مقایسه با تیمار مشابه اما فاقد بازدارنده و اوره به میزان حدود ۸ درصد شد (جدول ۹). کاهش معنی‌دار کارایی زراعی و فیزیولوژیک نیتروژن با کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه DMPP در مقایسه با تیمار مشابه اما بدون بازدارنده را می‌توان به کاهش معنی‌دار وزن خشک اسفناج نسبت داد. کاهش معنی‌دار وزن خشک اسفناج را احتمالا می‌توان به اثرات منفی سطوح زیاد آمونیوم بر رشد گیاه و کاهش جذب برخی از عناصر غذایی از قبیل پتاسیم، کلسیم و منیزیم (۲۶) و عدم همخوانی فراهمی نیترات خاک با نیاز اسفناج (۴) در اثر کاربرد بازدارنده نیترات‌سازی DMPP نسبت داد. بر اساس نتایج، کاربرد منابع مختلف نیتروژن تأثیری بر کارایی بازیافت نیتروژن نداشت. عدم تأثیر کاربرد بازدارنده نیترات‌سازی DMPP بر کارایی بازیافت نیتروژن را احتمالا می‌توان از یک طرف به دوره رشد کوتاه و سیستم کم عمق ریشه اسفناج (۳) و از طرف دیگر هدررفت بخشی آز آمونیوم در اثر پدیده تصعید آمونیاک به خصوص در خاک‌های آهکی (۲۱) نسبت داد. در مطابقت با نتایج این پژوهش کانالی و همکاران (۴) عنوان کردند کاربرد اوره به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در مقایسه با اوره به تنهایی منجر به کاهش معنی‌دار کارایی زراعی نیتروژن از ۱۸/۵ به ۱۴/۹ گرم ماده خشک گیاهی بر گرم نیتروژن مصرفی و بازیافت آن از ۳۸/۱ به ۱۳/۶ گرم بر ۱۰۰ گرم در اسفناج شد. لازم به ذکر است که مقادیر ذکر شده در این تحقیق برای کارایی زراعی و جذب نیتروژن در اسفناج با اعداد گزارش شده توسط این پژوهش‌گران مشابهت داشت.

همچنین بر اساس نتایج، تفاوت معنی‌داری بین سه نوع خاک در کارایی مصرف نیتروژن وجود داشت؛ به طوری‌که کارایی زراعی و بازیافت نیتروژن در خاک شماره ۲ (لوم) نسبت به خاک‌های شماره ۱ (شن لومی) و شماره ۳ (رس سیلتی) افزایش معنی‌داری یافت. همچنین کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در خاک‌های شماره ۱ و ۲ در مقایسه با خاک شماره ۳ به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۱۰). کاهش معنی‌دار کارایی مصرف نیتروژن (زراعی، بازیافت و فیزیولوژیک) در خاک شماره ۳ نسبت به خاک شماره ۲ را می‌توان به وضعیت حاصلخیزی این خاک‌ها و افزایش وزن خشک و جذب نیتروژن اندام هوایی اسفناج در تیمار شاهد در خاک شماره ۳ (رس سیلتی) نسبت به خاک شماره ۲ (لوم) نسبت داد که با توجه به محاسبات کارایی مصرف نیتروژن منجر به کاهش معنی‌دار کارایی مصرف نیتروژن در خاک شماره ۳ نسبت به خاک شماره ۲ شده است. همچنین، توانایی ضعیف خاک شماره ۱ (شن لومی) در عرضه نیترات و آمونیوم به اسفناج می‌تواند دلیل احتمالی کاهش معنی‌دار کارایی زراعی و بازیافت نیتروژن این خاک در مقایسه با خاک شماره ۲ (لوم) باشد.

جدول ۸- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تاثیر تیمارها بر کارایی مصرف نیتروژن در اسفناج

Table 8- Variance analysis (mean square) of the treatments effects on nitrogen use efficiency in spinach

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	کارایی زراعی Agronomic efficiency	کارایی بازیافت Recovery efficiency	کارایی فیزیولوژیک Physiological efficiency
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	3	14.27^{ns}	10.36^{ns}	0.00006^{*}
نوع خاک Soil type	2	145.29^{**}	838.13^{**}	0.00012^{**}
واریته اسفناج Spinach variety	1	167.83^{**}	636.76^{**}	0.00010^{*}
کود نیتروژن × نوع خاک Nitrogen fertilizer × soil type	6	8.63^{ns}	75.71^{ns}	0.000005^{ns}
کود نیتروژن × واریته اسفناج Nitrogen fertilizer × spinach variety	3	9.39^{ns}	31.12^{ns}	0.00001^{ns}
نوع خاک × واریته اسفناج soil type × spinach variety	2	1.25^{ns}	5.65^{ns}	0.000003^{ns}
کود نیتروژن × نوع خاک × واریته اسفناج Nitrogen fertilizer × soil type × spinach variety	6	4.09^{ns}	19.91^{ns}	0.000007^{ns}
خطا Error	48	5.47	31.90	0.00001

^{ns} غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح ۵٪ ** معنی‌دار در سطح ۱٪

^{ns} Non significant, * significant at 5%, ** significant at 1%

جدول ۹- تأثیر نوع کود نیتروژن بر کارایی زراعی، بازیافت و فیزیولوژیک نیتروژن در اسفناج

Table 9- The effects of nitrogen fertilizer types on agronomic, recovery and physiological efficiency of nitrogen in spinach

نوع کود نیتروژن Nitrogen fertilizer type	کارایی زراعی (گرم بر گرم) Agronomic efficiency ($g\ g^{-1}$)	کارایی بازیافت (گرم بر ۱۰۰ گرم) Recovery efficiency ($g\ 100\ g^{-1}$)	کارایی فیزیولوژیک (گرم بر میلی‌گرم) Physiological efficiency ($g\ mg^{-1}$)
اوره Urea	14.43^{AB}	39.14^{A}	0.036^{A}
سولفات نیترات آمونیوم Ammonium sulphate nitrate	15.17^{A}	40.66^{A}	0.036^{A}
سولفات نیترات آمونیوم + DMPP Ammonium sulphate nitrate +DMPP	13.39^{B}	39.86^{A}	0.033^{B}

میانگین‌ها (اثرات اصلی) در هر ستون با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند (آزمون LSD).

Means (main effects) in each column with the same letter are not statistically different at α =0.05 (LSD Test).

جدول ۱۰- تأثیر نوع خاک بر کارایی زراعی، بازیافت و فیزیولوژیک نیتروژن در اسفناج

Table 10- The effects of soil types on agronomic, recovery and physiological efficiency of nitrogen in spinach

شماره خاک Soil number	کارایی زراعی (گرم بر گرم) Agronomic efficiency ($g\ g^{-1}$)	کارایی بازیافت (گرم بر ۱۰۰ گرم) Recovery efficiency ($g\ 100\ g^{-1}$)	کارایی فیزیولوژیک (گرم بر میلی‌گرم) Physiological efficiency ($g\ mg^{-1}$)
1	11.94^{C}	32.58^{C}	0.037^{A}
2	17.47^{A}	46.09^{A}	0.036^{A}
3	13.58^{B}	40.99^{B}	0.032^{B}

میانگین‌ها (اثرات اصلی) در هر ستون با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند (آزمون LSD).

Means (main effects) in each column with the same letter are not statistically different at α =0.05 (LSD Test).

جدول ۱۱- تأثیر واریته اسفناج بر کارایی زراعی، بازیافت و فیزیولوژیک نیتروژن

Table 11- The effects of spinach variety on agronomic, recovery and physiological efficiency of nitrogen

واریته اسفناج Spinach variety	کارایی زراعی Agronomic efficiency ($g\ g^{-1}$)	کارایی بازیافت Recovery efficiency ($g\ 100\ g^{-1}$)	کارایی فیزیولوژیک Physiological efficiency ($g\ mg^{-1}$)
گیانت سانتوس (Giant Santos)	16.09^{A}	43.32^{A}	0.037^{A}
وایکینگ (Viking)	12.57^{B}	36.45^{B}	0.034^{B}

میانگین‌ها (اثرات اصلی) در هر ستون با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند (آزمون LSD).

Means (main effects) in each column with the same letter are not statistically different at α =0.05 (LSD Test).

برمبنای نتایج جدول ۱۱، نوع واریته اسفناج تاثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف نیتروژن داشت؛ به طوری که کارایی زراعی، بازیافت و فیزیولوژیک نیتروژن در واریته *گیانت سانتوس* نسبت به واریته *وایکینگ* به طور معنی‌داری افزایش یافت. افزایش معنی‌دار جذب نیتروژن اندام هوایی (جدول ۴) و وزن خشک اسفناج (جدول ۶) در پاسخ به منابع مختلف نیتروژن در واریته *گیانت سانتوس* نسبت به واریته *وایکینگ* می‌تواند دلیل احتمالی افزایش کارایی مصرف نیتروژن در این واریته باشد. افزایش کارایی بازیافت نیتروژن نشان-دهنده ظرفیت بیشتر واریته *گیانت سانتوس* برای جذب نیتروژن در مقایسه با واریته *وایکینگ* است. بدون شک افزایش کارایی بازیافت نیتروژن توسط گیاه منجر به هدررفت نیتروژن کمتری از خاک شده و در درازمدت در کاهش آلاینده‌های زیست محیطی نقش بسزایی خواهد داشت (۴۲). همچنین کارایی فیزیولوژیک بیشتر واریته *گیانت سانتوس* بیانگر توانایی بیشتر این واریته برای تولید زیست توده یا ماده خشک از نیتروژن جذب شده در مقایسه با واریته *وایکینگ* است (۲۱). توانایی واریته‌های گیاهی در استفاده بهتر از عناصر غذایی مربوط به ویژگی‌های ژنتیکی آنها بوده (۲۶) و استفاده از این عامل در مدیریت تولید محصول می‌تواند به کاهش هزینه‌های تولید کمک شایانی کند.

بر مبنای نتایج این تحقیق، کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP منجر به افزایش معنی‌دار شاخص میزان کلروفیل برگ در مقایسه با سولفات نیترات آمونیوم به تنهایی و اوره در کلیه خاک‌های مورد بررسی شد. بهبود شاخص میزان کلروفیل برگ که به منزله افزایش شدت رنگ سبز تیره برگ است با بهبود رنگ ظاهری اسفناج در افزایش کیفیت و ظاهرپسندی آن نقش مهمی دارد. با این وجود کاربرد این بازدارنده منجر به کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی در خاک‌های شماره ۱ و ۲ و همچنین کارایی زراعی و فیزیولوژیک نیتروژن در مقایسه با عدم کاربرد آن شد که این مسئله از دیدگاه تولیدکننده دارای اهمیت زیادی است. بر مبنای نتایج این پژوهش چنانچه هدف از کاربرد بازدارنده بهبود کیفیت ظاهری اسفناج باشد مصرف آن می‌تواند مدنظر قرار گیرد. اما چنانچه وزن خشک اسفناج مدنظر قرار گیرد کاربرد آن به خصوص در شرایط خاک‌های شماره ۱ (شن لومی) و ۲ (لوم) این پژوهش قابل توصیه نمی‌باشد. اگرچه کاربرد کود سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در خاک شماره ۳ (رس سیلتی) که افزایش شاخص میزان کلروفیل برگ با عدم کاهش وزن خشک اسفناج توام بوده است می‌تواند قابل توجه باشد. نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین دو کود اوره و سولفات نیترات آمونیوم از نظر جذب نیتروژن و وزن خشک اندام هوایی، شاخص میزان کلروفیل برگ و کارایی مصرف نیتروژن وجود نداشت؛ بنابراین کاربرد هر دو کود برای تولید اسفناج قابل توصیه است. همچنین از آنجایی که واریته *گیانت سانتوس* در مقایسه با *وایکینگ* بیشترین جذب نیتروژن و وزن خشک اندام هوایی را داشته و کارایی بیشتری در استفاده از نیتروژن داشت استفاده از آن در خاک‌های مشابه این تحقیق می‌تواند مطرح باشد. با این حال به منظور ارزیابی دقیق‌تر کارایی کودهای حاوی بازدارنده نیترات‌سازی DMPP، انجام تحقیقات بیشتر با کودهای نیتراته و آمونیومی حاوی آن در خاک‌های دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوت توصیه می‌شود.

منابع

1- Barth G., Tucher S.V., and Schmidhalter U. 2001. Influence of soil parameters on the effect of 3,4-dimethylpyrazole-phosphate as a nitrification inhibitor. Biology and Fertility of Soils 34: 98–102.

2- Bullock D.G., and Anderson D.S. 1998. Evaluation of the Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. Journal of Plant Nutrition 21: 741–755.

3- Cameron K.C., Di H.J., and Moir J.L. 2013. Nitrogen losses from the soil/plant system: A review. Annals of Applied Biology 162: 145–173.

4- Canali S., Diacono M., Ciaccia C., Masetti O., Tittarelli F., and Montemurro F. 2014. Alternative strategies for nitrogen fertilization of over winter processing spinach (*Spinacia oleracea* L.) in Southern Italy. European Journal of Agronomy 54: 47–53.

5- Casar C., Munos-Guerra L.M., Ordiales E., and Lopez J. 2009. Ammonium fertilizers with nitrification inhibitors improve the nutritional quality of horticultural crops for industrial processing. p. 68–72. In C. Nunes (ed.) Proceedings of the International Conference "Environmentally friendly and safe technologies for quality of fruit and vegetables", 14-16 Jan. 2009. Universidade do Algarve, Faro, Portugal.
6- Crawford D.M., and Chalk P.M. 1993. Sources of N uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) and N transformations in soil treated with a nitrification inhibitor (nitrapyrin). Plant and Soil 149: 59–72.
7- Di H.J., and Cameron K.C. 2002. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. Nutrient Cycling in Agroecosystems 64: 237–256.
8- Díez-López J.A., Hernaiz-Algarra P., Arauzo-Sánchez M., and Carrasco-Martín I. 2008. Effect of a nitrification inhibitor (DMPP) on nitrate leaching and maize yield during two growing seasons. Spanish Journal of Agricultural Research 6: 294–303.
9- Douma A.C., Polychronaki E.A., Giourga C., and Loumou A. 2005. Effects of fertilizers with the nitrification inhibitor DMPP (3, 4-Dimethylpyrazole Phosphate) on yield and soil quality. Proceedings of the 9th International Conference on Environmental Science and Technology, 1-3 Sept 2005. Rhodes, Greece.
10- Fangueiro D., Fernandes A., Coutinho J., Moreira N., and Trindade H. 2009. Influence of two nitrification inhibitors (DCD and DMPP) on annual ryegrass yield and soil mineral N dynamics after incorporation with cattle slurry. Communications in Soil Science and Plant Analysis 40: 3387–3398.
11- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Partical size analysis. p. 383-411. In: A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1. ASA and SSSA, Madison, WI.
12- Gerendás J., and Sattelmacher B. 1995. Influence of ammonium supply on growth, mineral and polyamine content of young maize plants. Z. flanzenernaehr. Bodenk 158: 299–305.
13- Hähndel R., and Zerulla W. 2001. Effects of ammonium stabilized N-fertilizers on yield and quality of vegetables. Acta Horticulture 563: 81–86.
14- Huérfano X., Menéndez S., Bolaños-Benavides M.M., González-Moro M.B., Estavillo J.M., and González-Murua C. 2016. The nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate decreases leaf nitrate content in lettuce while maintaining yield and N_2O emissions in the Savanna of Bogotá. Plant and Soil Environment 62: 533–539.
15- Irigoyen I., Lamsfus C., Aparicio-Tejo P., and Muro J. 2006. The influence of 3,4 dimethylpyrazole phosphate and dicyandiamide on reducing nitrate accumulation in spinach under Mediterranean conditions. Journal of Agricultural Science 144: 555–562.
16- Karla Y.P. 1998. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Taylor & Francis Group. London.
17- Kiani S. 2012. Effects of nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate on the nitrogen uptake, yield components and yield of wheat in greenhouse conditions. Journal of Water and Soil 26: 1226–1235.
18- Knudsen D., Peterson G.A., and Partt P.F. 1982. Lithium, sodium, and potassium. p. 225–246. In: A.L. Page et al (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2. ASA and SSSA, Madison, WI.
19- Kolota E., Adamczewska-Sowinska K., and Uklanska-Pusz C. 2013. Response of Japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L.) to nitrogen fertilization. Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus 12: 51–56.
20- Krężel J., and Kołota E. 2014. Source of nitrogen affects the yield and quality of spinach cultivars grown for autumn harvest. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil and Plant Science 64: 583–589.
21- Ladha J.K., Pathak H., Krupnik T.J., Six J., and Kessel C.V. 2005. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. Advanced in Agronomy 87: 85–156.
22- Li H., Liang X., Chen Y., Lian Y., Tian G., and Ni W. 2008. Effect of nitrification inhibitor DMPP on nitrogen leaching, nitrifying organisms, and enzyme activities in a rice-oilseed rape cropping system. Journal of Environmental Sciences 20: 149–155.
23- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal 42: 421–428.
24- Loeppert R.H., and Suarez D.L. 1996. Carbonate and gypsum. p. 437–474. In: D.L. Sparks et al (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3. SSSA and ASA, Madison, WI.
25- Malakouti M.J., Keshavarz P., and Karimian N. 2008. A Comprehensive Approach towards Identification of Nutrients Deficiencies and Optimal Fertilization for Sustainable Agriculture. Tarbiat Modares University Press, Tehran.
26- Marschner P. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.
27- Martíneza F., Palencia P., Alonso D., and Oliveira J.A. 2017. Advances in the study of nitrification inhibitor DMPP in strawberry. Scientia Horticulturae 226: 191–200.
28- Martíneza F., Palencia P., Weiland C.M., Alonso D., and Oliveira J.A. 2015. Influence of nitrification inhibitor DMPP on yield, fruit quality and SPAD values of strawberry plants. Scientia Horticulturae 185: 233–239.
29- Mulvaney R.L. 1996. Nitrogen–inorganic forms. p. 1123–1184. In: D.L. Sparks et al (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3. SSSA and ASA, Madison, WI.
30- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961–1010. In: D.L.

Sparks et al (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3. SSSA and ASA, Madison, WI.
31- Olsen S.R., and Sommers L.E. 1982. Phosphorus. p. 403–430. In: A.L. Page et al (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2. ASA and SSSA, Madison, WI.
32- Pasda G., Hahndel R., and Zerulla W. 2001. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. Biology and Fertility of Soils 34: 85–97.
33- Pereira J., Fangueiro D., Chadwick D., Misselbrook T.H., Coutinho J., and Trindade H. 2010. Effect of cattle slurry pre-treatment by separation and addition of nitrification inhibitors on gaseous emissions and N dynamics: a laboratory study. Chemosphere 79: 620–627.
34- Pionke H.G., Sharma M.L., and Hirschberg K.J. 1990. Impact of irrigated horticulture on nitrate concentrations in groundwater. Agriculture, Ecosystems and the Environment 32: 119–132.
35- Quiñones A., Martínez-Alcàntra B., Chi-Bacab U., and Legaz F. 2009. Improvement of the N fertilization by using the nitrification inhibitor (DMPP) in drip-irrigated citrus trees. Spanish Journal of Agricultural Research 7: 190–199.
36- Rhodes J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. p. 417-435. In: D.L. Sparks et al (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3. SSSA and ASA, Madison, WI.
37- Roco M.M., and Blu R.O. 2006. Evaluation of the nitrification inhibitor 3, 4-dimethylpyrazole phosphate in two Chilean soils. Journal of Plant Nutrition 29: 521–534.
38- Romic D., Romic M., Borosic J., and Poljak M. 2003. Mulching decreases nitrate leaching in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivation. Agricultural Water Management 60: 87–97.
39- Sanchez C.A. 2000. Response of lettuce to water and nitrogen on sand and the potential for leaching of nitrate-N. HortScience 35: 73–77.
40- Serna M., Balnus J., and Quinones A. 2000. Evaluation of 3,4-dimethylpyrazole phosphate as a nitrification inhibitor in citrus-cultivated soil. Biology and Fertility of Soils 32: 41–46.
41- Sharma S.N., and Kumar R. 1998. Effects of dicyandiamide (DCD) blended with urea on growth, yield and nutrient uptake of wheat. Journal of Agriculture Science 131: 389–394.
42- Singh S.N., and Verma A. 2007. The potential of nitrification inhibitors to manage the pollution effect of nitrogen fertilizers in agricultural and other soils: a review. Environmental Practice 9: 266–279.
43- Thomas G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. p. 475-490. In: D.L. Sparks et al (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3. SSSA and ASA, Madison, WI.
44- Uzochukwu V. 2018. Exploring the use of environmentally friendly fertilizers for desert vegetable production. M.Sc. Thesis, The University of Arizona.
45- Yang W.H., Weber K.A., and Silver W.L. 2012. Nitrogen loss from soil through anaerobic ammonium oxidation coupled to iron reduction. Nature Geoscience 5: 538–541.
46- Zerulla W., Barth T., Dressel J., Von Locquenghien K.E.K.H., Pasda G., Radle M., and Wissemeier A.H. 2001. 3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) –a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. Biology and Fertility of Soils 34: 79–84.

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 237-250

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۵۰-۲۳۷

Effects of Nitrification Inhibitor 3,4-Dimethylpyrazole Phosphate (DMPP) on the Nitrogen Use Efficiency of Spinach

M. Gheitasi[1]- Sh. Kiani[2]*- A.R. Hosseinpur[3]
Received: 09-12-2019
Accepted: 13-02-2021

Introduction: Large amounts of nitrogen (N) fertilizers are being applied to optimize yield in vegetable production. Nitrogen use efficiency in vegetable fields is low due to high application of N fertilizers in frequent cultivation, short growth cycles and their shallow rooting system. Nitrification inhibitors (NI) are compounds that retard the biological oxidation of ammonium to nitrite by depressing the activity of *Nitrosomonas* bacteria in soil. In different studies, the positive effects of these compounds on the reduction of N losses from soil and increase of N use efficiency and crop yield have been demonstrated. The 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) is a very popular nitrification inhibitor around the world. The efficacy of this molecule depends on climatic conditions and soil properties including of texture, pH, organic matter, moisture, temperature and mineral nitrogen. In this experiment, the effects of NI 3, 4-dimethylpyrazole phosphate on the N use efficiency of two spinach varieties were investigated in different soils.

Materials and Methods: A pot experiment was conducted in a completely randomized design with a factorial arrangement with three replications at Shahrekord University. Experimental factors were different N fertilizer sources, soil types and spinach varieties. Three N fertilizer sources consisted of urea, ammonium sulfate nitrate (ASN) and ASN plus DMPP (0.8 %). A no added N fertilizer treatment was considered as the control. The soil factor contained three different soils with different physical and chemical characteristics. The textures of the soils No. 1, 2 and 3 were loamy sand, loam and silty clay, respectively. Three selected soils were non-saline ($EC_{1:2}$=0.14-0.31 dS m^{-1}) and alkaline ($pH_{1:2}$=7.9-8.0). Organic carbon and calcium carbonate equivalent (CCE) ranged from 0.26 to 0.35%, and 28.5 to 36.2%, respectively. Two spinach varieties were smooth-leaf (*Giant Santos*) and wrinkled-leaf (*Viking*). The used soils were mixed homogenously with 100 mg P kg^{-1} soil as triple super phosphate, 5 mg Fe kg^{-1} soil as Fe-EDDHA, 15 mg Zn kg^{-1} soil as $ZnSO_4.7H_2O$, 5 mg Mn kg^{-1} soil as $MnSO_4.H_2O$ and 2.5 mg Cu kg^{-1} soil as $CuSO_4.5H_2O$. Nitrogen was applied at the rate of 150 mg kg^{-1} soil in two split doses before sowing and after one month. Twelve seeds were sown in 7 kg soil in plastic pots, and then placed in a greenhouse. The pots were thinned to 7 seedlings per pot after plant establishment. One week before harvesting, 10 measurements were done using a chlorophyll content meter to determine chlorophyll content index of leaves. At the end of the experiment, shoot dry weight was determined and plants were mixed and dried to measure N concentration. Finally, shoot N uptake and N use efficiency were calculated in different treatments.

Results and Discussion: In the present study, spinach plants fertilized with ASN+DMPP had a better appearance (dark green color) than those grown without DMPP. The results indicated that application of ASN with DMPP led to significant increase of leaf chlorophyll content index in comparison of ASN and urea fertilizers in all studied soils. Application of DMPP slowed down the process of ammonium oxidation to nitrite. Thus, this increase may be due to the role of ammonium in N nutrition of spinach plants treated with DMPP. This may be explained by the fact that ammonium has a positive effect on the synthesis of polyamines, cytokinins and gibberellins. The presence of these two phytohormones retarded senescence and chlorophyll degradation in plants. However, adding ASN to DMPP resulted in a significant decrease of shoot dry weight as compared with the ASN and urea fertilizers in soils No. 1 (loamy sand) and 2 (loam). In soil No. 3, shoot dry weight was not affected in plants fertilized with ASN+DMPP. Also, agronomic and physiological efficiencies of N significantly decreased by applying ASN+DMPP in comparison with ASN. It seems that application of DMPP strongly delayed the ammonium nitrification to nitrate, and consequently the soil nitrate availability appears not to be synchronized with spinach N needs. Due to short growth cycle of spinach, low availability of nitrate

1, 2 and 3- Former M.Sc. Student, Associate Professor and Professor of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, ShahreKord University, respectively.
(*- Corresponding Author Email: shkiani2002@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jsw.2021.14929.0

resulted in decreased shoot dry weight of spinach. The highest N use efficiency was observed is soil No. 2 (loam) and *Giant Santos* had more N use efficiency than *Viking*.

Conclusion: The results demonstrated that using ASN+DMPP led to yield loss, and we cannot recommend its application as a nitrogen fertilizer for spinach. However, application of ASN+DMPP is an effective strategy for improving qualitative appearance (dark green color) of spinach. Also, all studied indices were not affected in plants fertilized with ASN and urea. Therefore, application of both fertilizers is recommended for spinach production under similar conditions of the present study.

Keywords: Ammonium sulfate nitrate, Nitrogen uptake, Quality, Urea