



نشریه زراعت

شماره ۱۰۳، تابستان ۱۳۹۳

(پژوهش و سازندگی)

تأثیر بازدارنده نیترات سازی ۳، ۴- دی متیل پیرازول فسفات بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در گندم

- شهرام کیانی، استادیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد (نویسنده مسئول)
- علیرضا حسین پور، دانشیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد
- رامین ایرانی پور، عضو هیات علمی بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری

تاریخ دریافت: فروردین ماه ۱۳۹۰ تاریخ پذیرش: خرداد ماه ۱۳۹۱
تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۳۲۸۵۰۵۷۹
پست الکترونیک نویسنده مسئول: shkiani2002@yahoo.com

چکیده

یکی از مشکلات تولید گندم در جهان کارایی پایین مصرف نیتروژن می باشد. بنابراین به منظور بررسی تأثیر بازدارنده نیترات سازی ۳، ۴- دی متیل پیرازول فسفات بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با دو عامل نوع کود نیتروژن در چهار سطح (عدم مصرف نیتروژن (شاهد)، اوره، سولفات نیترات آمونیوم و سولفات نیترات آمونیوم با بازدارنده نیترات سازی ۳، ۴- دی متیل پیرازول فسفات (DMPP)) و نوع خاک در ۱۰ سطح (خاکها با خصوصیات فیزیکوشیمیایی مختلف) با سه تکرار در دانشگاه شهرکرد بر روی یک رقم گندم بهاره (رقم بهار) در سال ۱۳۸۹ انجام شد. نتایج نشان داد کاربرد بازدارنده نیترات سازی DMPP به همراه سولفات نیترات آمونیوم، وزن خشک اندام هوایی و دانه، و هم چنین کارایی زراعی و باز یافت نیتروژن اندام هوایی و دانه را در تعدادی از خاک های مورد مطالعه به طور معنی داری ($P \leq 0.05$) در مقایسه با سولفات نیترات آمونیوم و اوره افزایش داد. بیشینه وزن خشک اندام هوایی و دانه (به ترتیب ۲۵/۰۲ و ۱۱/۲۸ گرم در گل دان) در تیمار سولفات نیترات آمونیوم با بازدارنده نیترات سازی DMPP مشاهده شد؛ که نسبت به اوره به ترتیب ۷/۱ و ۹/۲ درصد افزایش داشت. هم چنین کاربرد DMPP به همراه سولفات نیترات آمونیوم، کارایی زراعی و باز یافت نیتروژن در اندام هوایی را به ترتیب در حدود ۸/۴ تا ۲۷/۷ و ۱۳/۴ تا ۳۱/۵ درصد نسبت به اوره در خاک های مختلف افزایش داد. بر مبنای نتایج حاصله کاربرد بازدارنده نیترات سازی DMPP می تواند به عنوان روشی مناسب در افزایش عملکرد و ارتقای کارایی مصرف نیتروژن در گندم محسوب گردد.

کلمات کلیدی: بازدارنده نیترات سازی، عملکرد، کارایی مصرف نیتروژن، گندم (*Triticum aestivum* L.)، ۳، ۴- دی متیل پیرازول فسفات (DMPP)

Effects of Nitrification Inhibitor 3, 4- Dimethylpyrazole Phosphate on the Yield and Nitrogen Use Efficiency of Wheat

- By: Sh. Kiani, (Corresponding Author; Tel: 09132850579), Assistant Professor of Shahrekord University
- A. R. Hosseinpour, Associate Professor of Shahrekord University
- R. Iranipour, Agricultural and Natural Resources of Chaharmahal Va Bakhtiari, Shahrekord

Received: February 2011

Accepted: May 2012

Low nitrogen (N) use efficiency is considered to be one of the major problems in wheat production fields all over the world. This experiment was conducted to evaluate the effects of nitrification inhibitor (NI) 3, 4- dimethylpyrazole phosphate (DMPP) on the yield and nitrogen use efficiency of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Bahar during 2011 at Shahrekord University. A factorial experiment in randomized complete block design was carried out with two factors of type of N fertilizer [1- control with no added N fertilizer, 2- urea, 3- ammonium sulphate nitrate (ASN) and 4- ASN plus DMPP] and soil kind (10 soils with different physical and chemical properties) with three replicates. The results indicated that application of nitrification inhibitor DMPP led to significant increase ($P \leq 0.05$) of both above ground and grain dry weight as well as N agronomic and recovery efficiency of wheat in some of the studied soils compared to ASN and urea. The greatest quantity of above ground and grain dry weight (25.02 and 11.28 g pot⁻¹, respectively) were obtained in ASN plus DMPP treatment – 7.1% and 9.2% greater than that obtained with urea. In different soils the agronomic and recovery efficiency of N in wheat above ground increased about 8.4%-27.7% and 13.4%-31.5%, respectively, in the ASN plus DMPP as compared to the urea. The results of this study suggest that the nitrification inhibitor DMPP could improve yield and N use efficiency of wheat.

Keyword: Nitrification inhibitor, yield, nitrogen use efficiency, wheat (*Triticum aestivum* L.), 3, 4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP)

مقدمه

مصرف نیتروژن در غلات پیشنهاد شده است. استفاده از کودهای کارا، مدیریت کاربرد شکل های مختلف نیتروژن (نیترات و آمونیوم)، روش های صحیح کاربرد کودهای نیتروژن دار، تغذیه متعادل، استفاده از رقم های دارای شاخص برداشت بالا، کاربرد شیوه های نو برای تعیین نیتروژن خاک و کاهش مصرف کودهای نیتروژن دار طی دوره گل دهی از جمله این راه بردها هستند که برای افزایش کارایی مصرف نیتروژن پیشنهاد شده اند (ران و جانسون، ۱۹۹۹؛ لدها و همکاران، ۲۰۰۵). در این میان مدیریت کاربرد شکل های مختلف نیتروژن می تواند در افزایش راندمان مصرف کودهای حاوی نیتروژن در غلات موثر باشد. نیترات و آمونیوم شکل های عمده جذب نیتروژن توسط گیاهان هستند. آمونیوم توسط سطوح کلونیدی خاک به شکل تبادلی نگه داری شده و در معرض فرایندهای هدررفتی کم تری در مقایسه با نیترات قرار دارد. اما مشکلی که در مورد آمونیوم وجود دارد تبدیل سریع آن به نیترات بر اثر فعالیت باکتری های نیتروزوموناس و نیتروباکتر است. یکی از روش های نگه داری نیتروژن خاک به شکل آمونیوم اضافه کردن بازدارنده های نیترات سازی به کودهای شیمیایی دارای نیتروژن است (لدها و همکاران، ۲۰۰۵). بازدارنده های نیترات سازی ترکیب هائی هستند که اکسایش زیستی یون آمونیوم (NH_4) به نیتريت (NO_2) را به واسطه کاهش فعالیت باکتری نیتروزوموناس به تأخیر می اندازند (پاسدا و همکاران، ۲۰۰۱). کاربرد بازدارنده های نیترات سازی منجر به افزایش عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در محصولات کشاورزی شده است. کاربرد بازدارنده نیترات سازی دی سیانو دی آمید (DCD) منجر به افزایش عملکرد دانه و کاه و هم چنین افزایش کارایی زراعی و جذب

کاربرد نیتروژن به ویژه در خاک هایی با ماده آلی کم یکی از راه کارهای افزایش عملکرد محصول در اغلب سامانه های کشاورزی است. در حال حاضر سالیانه حدود ۹۸ میلیون تن نیتروژن به صورت کود شیمیایی در جهان مصرف می شود. در ایران نیز کودهای شیمیایی نیتروژن دار با ۴/۲ میلیون تن، بیش از ۶۰ درصد کودهای مصرفی را به خود اختصاص می دهند (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷). هدررفت نیتروژن از طریق فرآیندهای مختلف از قبیل آب شویی، نیترات زدایی، فرسایش سطحی و تصعید باعث شده است کارایی مصرف آن برای تولید محصولات کشاورزی پایین باشد. تحقیقات انجام شده نشان می دهد که کارایی بازیافت نیتروژن برای تولید غلاتی از قبیل گندم، جو، ذرت و برنج حدود ۳۳ درصد بوده و ۶۷ درصد باقی مانده که ارزش کودی آن بالغ بر ۱۹ میلیارد دلار است، به هدر می رود. در این میان کارایی بازیافت نیتروژن در کشورهای در حال توسعه ۲۹ درصد و برای کشورهای توسعه یافته حدود ۴۲ درصد است (ران و جانسون، ۱۹۹۹). پایین بودن کارایی بازیافت کودهای نیتروژن دار نه تنها از لحاظ اقتصادی دارای اهمیت زیادی است، بلکه به خاطر جنبه های زیست محیطی نیز قابل توجه می باشد. آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی با یون نیترات باعث کاهش کیفیت آن ها برای مصارف شرب شده است. هم چنین فرآیند نیترات زدایی با رهاسازی گاز اکسید نیترو به اتمسفر باعث تخریب لایه ازن می شود. بنابراین افزایش کارایی مصرف کودهای نیتروژن دار یکی از چالش های کشاورزی مدرن امروزی است (لدها و همکاران، ۲۰۰۵). تاکنون راه بردهای مختلفی برای افزایش کارایی

۴، ۳- دی متیل پیرازول فسفات (DMPP) و عامل خاک نیز دارای ۱۰ نوع (خاک های دارای خصوصیات فیزیکوشیمیایی مختلف) بود. لازم به ذکر است بازدارنده نیترات سازی ۳، ۴- دی متیل پیرازول فسفات به میزان ۰/۸ درصد در ترکیب کودی سولفات نیترات آمونیوم وجود داشته و در نتیجه مصرف کود مورد نظر به خاک اضافه شده است. میزان نیتروژن مصرفی در تمام تیمارهای آزمایشی ثابت و برابر ۱۵۰ میلی گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک بود؛ که پس از تأمین از منابع ذکر شده در دو قسمت مساوی به هنگام کاشت و در زمان ساقه رفتن گندم در اختیار گیاه قرار گرفت.

برای انجام این آزمایش ۲۰ نمونه خاک از دشت های استان چهارمحال و بختیاری (شهرکرد و بروجن) از عمق ۲۰-۲۰ سانتی متری نمونه برداری و براساس روش های رایج در آزمایشگاه، ویژگی های فیزیکوشیمیایی و مقدار قابل دسترس هر یک از عناصر غذایی فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، مس و روی در آن ها اندازه گیری شد (علی احیایی و بهبهانی زاده، ۱۳۷۲). از میان خاک های نمونه برداری شده ۱۰ نمونه که دارای پراکنش مناسبی از نظر خصوصیات فیزیکوشیمیایی (درصد رس، میزان کربن آلی و گنجایش تبادل کاتیونی) بودند، انتخاب شدند. در جدول ۱ برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی و هم چنین میزان فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس قابل دسترس در ۱۰ خاک مورد مطالعه نشان شده است. کلیه خاک ها، بدون مشکل شوری و قابلیت هدایت الکتریکی در سوسپانسیون ۱ به ۲/۵ خاک به آب در آن ها بین ۰/۱۵ تا ۰/۲۵ دسی زیمنس بر متر متغیر بود (جدول ۱). اسیدیته (pH) سوسپانسیون ۱ به ۲/۵ خاک به آب در خاک های مورد استفاده بین ۸/۰ تا ۸/۷ بود؛ که این مسئله به دلیل وجود کربنات کلسیم در تمامی خاک ها بود. میزان کربن آلی در خاک های مورد استفاده در محدود ۳/۶ تا ۱۵/۱ گرم بر کیلوگرم خاک قرار داشت. خاک شماره ۲ دارای بیش ترین و خاک شماره ۸ حاوی کم ترین مقدار کربن آلی بود (جدول ۱). احتمالاً میزان پایین کربن آلی در تمامی خاک های مورد استفاده باعث پاسخ معنی دار آن ها نسبت به کاربرد نیتروژن می شود. براساس نتایج جدول ۱ اگرچه میزان برخی از عناصر غذایی در خاک های مورد استفاده کم تر از حد بحرانی آن ها برای کشت گندم بود، اما سعی شد با مصرف کودهای مربوطه، کمبود عناصر غذایی (به استثنای نیتروژن) برای کشت گندم محدودیت ایجاد ننماید.

جدول ۱- برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی و غلظت عناصر غذایی در خاک های مورد استفاده

شماره خاک قابلیت هدایت الکتریکی*	اسیدیته	گنجایش تبادل کاتیونی	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس	بافت خاک
(dS m ⁻¹)	(Cmolc kg ⁻¹)	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	قابل دسترس (mg kg ⁻¹)
۱	۸/۴	۲۷/۸	۴/۴	۲۷۲	۷/۷	۷۸۹	۴/۶۸	۲/۹۱	۰/۴۴	۰/۷۸	Clay Loam
۲	۸/۱	۲۵/۰	۱۵/۱	۳۲۵	۱۹/۹	۷۸۹	۴/۷۲	۸/۲۸	۰/۶۶	۰/۸۶	Silt Loam
۳	۸/۴	۳۰/۶	۶/۳	۲۳۸	۵/۵	۶۳۸	۴/۲۳	۴/۱۳	۰/۵۲	۰/۸۵	Silt Loam
۴	۸/۲	۲۸/۹	۱۲/۲	۲۷۶	۹/۳	۱۲۵۲	۲/۸۴	۷/۲۰	۰/۴۶	۰/۶۴	Silty Clay Loam
۵	۸/۰	۲۲/۹	۱۳/۰	۲۰۹	۲۹/۴	۱۱۶۳	۴/۳۵	۱۲/۶۱	۰/۸۰	۰/۹۸	Silt Loam
۶	۸/۳	۲۸/۲	۹/۸	۲۶۷	۴۲/۱	۱۰۰۴	۳/۸۲	۵/۱۹	۰/۸۵	۰/۹۱	Silt Loam
۷	۸/۷	۳۰/۸	۱۲/۴	۲۸۶	۴/۰	۷۰۶	۳/۸۲	۴/۵۹	۰/۴۵	۰/۷۶	Silt Loam
۸	۸/۵	۲۶/۹	۳/۶	۳۸۸	۷/۶	۱۲۷	۳/۰۲	۳/۱۵	۰/۷۱	۰/۲۳	Clay Loam
۹	۸/۳	۲۶/۵	۷/۸	۲۷۶	۶/۹	۷۶۶	۳/۵۹	۴/۵۹	۰/۵۴	۱/۰۴	Silt Loam
۱۰	۸/۳	۳۱/۰	۶/۷	۱۷۵	۹/۸	۶۳۱	۲/۹۸	۴/۸۰	۰/۴۷	۰/۷۲	Silt Loam

* قابلیت هدایت الکتریکی و اسیدیته در سوسپانسیون ۱ به ۲/۵ خاک به آب اندازه گیری شده است.

نیتروژن در گندم شده است (شارما و کومار، ۱۹۹۸). تحقیقات انجام شده نشان داده است که کاربرد بازدارنده نیترات سازی ۳، ۴- دی متیل پیرازول فسفات (DMPP) منجر به افزایش عملکرد گندم (به میزان ۰/۲۵ تن در هکتار) و هم چنین کارایی مصرف نیتروژن و به تبع آن کاهش میزان کود مصرفی شده است (پاسدا و همکاران، ۲۰۰۱). تحقیقات دوما و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که کاربرد بازدارنده نیترات سازی DMPP منجر به افزایش میانگین عملکرد گندم پاییزه بین ۲۶ تا ۴۰ درصد و عملکرد پنبه تا ۵ درصد شد؛ و کارایی مصرف نیتروژن را افزایش داد. تأثیر مثبت کاربرد بازدارنده های نیترات سازی بر افزایش عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در تحقیقات اورتگا و همکاران (۲۰۰۶) در محصولات کشاورزی شیلی نیز مشاهده شده است. هم چنین کاربرد کود سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات سازی DMPP منجر به افزایش وزن خشک، نگه داری نیتروژن خاک در سطح بالاتر و افزایش کارایی مصرف کود نیتروژن در کلم بروکلی و چاودار شد (رکو و بلو، ۲۰۰۶). علاوه بر آن، کاربرد بازدارنده های نیترات سازی دی سیانو دی آمید (DCD) و DMPP منجر به افزایش عملکرد ماده خشک چاودار به میزان ۳۲ تا ۵۴ درصد و هم چنین افزایش برداشت نیتروژن به میزان ۳۴ تا ۶۸ درصد در علفه تولیدی نسبت به تیمار بدون بازدارنده شد (فانگریو و همکاران، ۲۰۰۹). اگرچه استفاده از بازدارنده های نیترات سازی در جهان قدمتی ۵۰ ساله دارد، اما این مواد تاکنون در کشاورزی ایران مورد استفاده قرار نگرفته اند. بنابراین با توجه به موارد فوق، این پژوهش با هدف بررسی کاربرد بازدارنده نیترات سازی ۳، ۴- دی متیل پیرازول فسفات بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در گندم در تعدادی از خاک های استان چهارمحال و بختیاری اجرا شد.

مواد و روش ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با دو عامل نوع کود نیتروژن دار و نوع خاک در سه تکرار در گل خانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد بر روی یک رقم گندم بهاره (رقم بهار) در سال ۱۳۸۹ انجام شد. نوع کود حاوی نیتروژن شامل چهار سطح: ۱) عدم مصرف نیتروژن (شاهد)، ۲) اوره، ۳) 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 ۴) سولفات نیترات آمونیوم با بازدارنده نیترات سازی

نتایج و بحث

تأثیر منابع مختلف نیتروژن و نوع خاک بر میزان آمونیوم و نیترات خاک براساس نتایج حاصله، کاربرد بازدارنده نیترات سازی DMPP تأثیری بر غلظت آمونیوم و نیترات خاک (محلول و تبادل) در هر دو نوبت نمونه برداری ۴۵ و ۹۰ روز پس از کشت نداشت (نتایج ارائه نشده است). افزایش جذب آمونیوم توسط گندم و نمونه برداری در زمان بعد از دوره موثر کارکرد این بازدارنده از جمله دلایل احتمالی این امر است که با نتایج تحقیقات انجام شده در این زمینه هم سو بود (کرافورد و چالک، ۱۹۹۳؛ سرنا و همکاران، ۲۰۰۰؛ دوما و همکاران، ۲۰۰۵؛ دیز - لوپز و همکاران، ۲۰۰۸). بر مبنای توصیه شرکت سازنده، کاربرد مقدار ۰/۵ تا ۱/۵ کیلوگرم در هکتار از بازدارنده مزبور بر حسب میزان نیتروژن مصرفی می تواند فرایند نیترات سازی را به مدت ۲۸ تا ۷۰ روز بسته به ویژگی های فیزیکیوشیمیایی خاک و شرایط آب و هوایی با تأخیر مواجه نماید (پاسدا و همکاران، ۲۰۰۱). به نظر می رسد با توجه به انجام نمونه برداری در فواصل ۴۵ و ۹۰ روز پس از کشت، احتمالاً دوره موثر کارکرد بازدارنده نیترات سازی DMPP در خاک های مورد بررسی قبل از تاریخ های نمونه برداری بوده است. پی آمد این امر، عدم واکنش میزان آمونیوم و نیترات خاک به کاربرد بازدارنده بود.

تأثیر منابع مختلف نیتروژن و نوع خاک بر وزن خشک اندام

هوایی و دانه گندم

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، تأثیر منبع نیتروژن، نوع خاک و برهم کنش آن ها بر وزن خشک اندام هوایی و دانه گندم بسیار معنی دار ($P \leq 0.01$) بود. نتایج مقایسه میانگین های برهم کنش منبع نیتروژن و نوع خاک بر وزن خشک اندام هوایی (مجموع وزن خشک کاه و کلش و دانه) نشان داد که کاربرد بازدارنده نیترات سازی DMPP به همراه کود سولفات نیترات آمونیوم در خاک های ۲، ۳، ۴، ۵ و ۸ و ۹ منجر به افزایش معنی دار وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با دیگر منابع نیتروژن از قبیل سولفات نیترات آمونیوم، اوره و شاهد شده است (جدول ۲). با این حال در سایر خاک های مورد بررسی (۱، ۴، ۵ و ۱۰) اگرچه کاربرد نیتروژن از منابع مختلف منجر به افزایش معنی دار وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با شاهد شد؛ اما تفاوت معنی داری بین منابع مختلف نیتروژن دیده نشد (جدول ۲). در خاک ۷ نیز کاربرد بازدارنده مزبور به همراه کود سولفات نیترات آمونیوم منجر به کاهش معنی دار وزن خشک اندام هوایی (به میزان ۳/۷ درصد) در مقایسه با کود اوره شد؛ اگرچه تفاوت معنی داری با سولفات نیترات آمونیوم نداشت. نتایج مقایسه میانگین های برهم کنش منبع نیتروژن و نوع خاک بر وزن خشک دانه (عملکرد دانه) نشان داد که کاربرد بازدارنده نیترات سازی DMPP به همراه کود سولفات نیترات آمونیوم در خاک های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۸ و ۹ منجر به افزایش معنی دار عملکرد دانه در مقایسه با کود سولفات نیترات آمونیوم، اوره و شاهد شد (جدول ۲). در این میان، اگرچه کاربرد بازدارنده مورد بحث به همراه کود سولفات نیترات آمونیوم در خاک های ۳ و ۶ منجر به افزایش معنی دار عملکرد دانه در مقایسه با کود مشابه (اما بدون بازدارنده) و شاهد شد؛ اما تفاوت معنی داری با کود اوره نداشت (جدول ۲). کاربرد نیتروژن از منابع مختلف در خاک های ۴، ۵، ۷ و ۱۰ نیز منجر به افزایش معنی دار وزن خشک دانه در مقایسه با شاهد شد؛ اما تفاوت معنی داری بین منابع مختلف نیتروژن مشاهده نگردید.

پس از تهیه خاک ها و الک کردن آن ها با الک ۲۵ میلی متری، نسبت به مصرف عناصر غذایی مورد نیاز برای گندم، قبل از کشت اقدام شد. در این مرحله برای حذف تأثیر عناصر غذایی (به جز نیتروژن) بر میزان رشد و عملکرد، عناصر غذایی حاوی فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس به ترتیب به میزان ۱۵، ۲۰۰، ۴/۷، ۴/۶، ۰/۷۷ و ۰/۷۰ میلی گرم بر کیلوگرم بر مبنای حدود بحرانی برای کشت گندم به خاک گل دان ها اضافه شد (بلالی و همکاران، ۱۳۷۹). سپس در بهمن ماه ۱۳۸۹ در هر گل دان ۶ عدد بذر گندم کاشته شد؛ که پس از مرحله استقرار و در فاصله زمانی ۱ هفته پس از کشت، ۳ بوته مناسب انتخاب شد؛ و بقیه حذف گردیدند. گل دان های حاوی بوته های گندم در یک گل خانه دو طرفه با دمای روز 25 ± 2 و دمای شب 20 ± 2 درجه سانتی گراد قرار داده شدند؛ و مراقبت های زراعی معمول در حین دوره داشت تا زمان برداشت محصول (دانه) در محیط گل خانه صورت گرفت. در پایان آزمایش، وزن خشک اندام هوایی و دانه (عملکرد دانه)، غلظت نیتروژن در دانه و کاه و کلش، جذب نیتروژن توسط اندام هوایی، دانه و کاه و کلش و شاخص های کارایی مصرف نیتروژن اندازه گیری شدند.

برای اندازه گیری وزن خشک، نمونه ها به مدت ۴۸ ساعت در آون فن دار در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. به دنبال آن وزن خشک نمونه ها با استفاده از ترازوی رقومی اندازه گیری شد؛ و سپس نمونه ها با آسیاب برقی خرد شدند. نمونه های گیاهی با استفاده از روش ترسوزانی، هضم شده و سپس غلظت نیتروژن آن ها با بهره گیری از روش کلدال (امامی، ۱۳۷۵) اندازه گیری شد. برای محاسبه جذب نیتروژن کاه و کلش و دانه از حاصل ضرب وزن خشک آن ها در غلظت نیتروژن استفاده شد.

برای بررسی تأثیر کاربرد بازدارنده نیترات سازی ۳، ۴- دی متیل پیرازول فسفات بر تغییرات نیترات و آمونیوم خاک، از خاک گل دان ها در فواصل ۴۵ و ۹۰ روز پس از کشت نمونه برداری و میزان نیترات و آمونیوم محلول و تبدالی آن ها به روش رنگ سنجی (مولوانی، ۱۹۹۶) اندازه گیری شد. با استفاده از اطلاعات به دست آمده، شاخص های کارایی مصرف نیتروژن شامل کارایی زراعی و کارایی بازیافت براساس روابط زیر محاسبه شدند (لدها و همکاران، ۲۰۰۵).

$$AE_N = (Y_T - Y_0)/F_N = \Delta Y/\Delta N$$

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

$$RE_N = (U_T - U_0)/F_N = \Delta U/\Delta N$$

در این فرمول: RE_N نشان دهنده کارایی بازیافت نیتروژن بر حسب درصد، U_T نماینده جذب نیتروژن توسط اندام هوایی یا دانه در تیمار دارای نیتروژن کودی، U_0 مساوی جذب نیتروژن توسط اندام هوایی یا دانه در تیمار شاهد (بدون مصرف نیتروژن) و F_N معادل میزان نیتروژن مصرفی است.

در نهایت، نتایج حاصله به کمک نرم افزار SAS (نسخه ۸/۰۲) تجزیه و تحلیل شد؛ و برای مقایسه میانگین ها از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح آماری ۵ درصد استفاده گردید.

دلیل مقادیر نسبتاً بالاتر آمونیوم خاک، و تغذیه آمونیومی ریشه از جمله دلایل افزایش عملکرد محصولات کشاورزی در نتیجه کاربرد بازدارنده های نیترات سازی به شمار می آید (کرافورد و چالک، ۱۹۹۳؛ شارما و کومار، ۱۹۹۸؛ گولامس و ویلار، ۲۰۰۴؛ لی و همکاران، ۲۰۰۸). بررسی های انجام شده نشان می دهد که کاربرد آمونیوم در مقایسه با نیترات، نیازمند انرژی کم تری برای جذب و ساخت بوده؛ و از طرف دیگر با اسیدی کردن محیط ریشه، جذب نیترات را از طریق انتقال هم زمان پروتون/نیترات تسهیل می کند. این امر در نهایت منجر به افزایش عملکرد گیاه می شود (مارشور، ۱۹۹۵). با این وجود برخی از محققان بر این باورند که افزایش عملکرد در نتیجه کاربرد بازدارنده های نیترات سازی، بیش تر به دلیل ننگه داشت نیتروژن در درون سامانه خاک است تا به دلیل تغذیه آمونیومی ریشه (پاسدا و همکاران، ۲۰۰۱؛ دوما و همکاران، ۲۰۰۵). به هرحال در این پژوهش افزایش وزن خشک اندام هوایی و دانه در خاک های مورد بررسی (۱، ۲، ۳، ۶، ۸ و ۹) می تواند به دلایل فوق الذکر باشد؛ که با تحقیقات انجام شده در این زمینه نیز هم خوان است (پرساد و پاور، ۱۹۹۵؛ پاسدا و همکاران، ۲۰۰۱؛ رکو و بلو، ۲۰۰۶؛ فانگریو و همکاران، ۲۰۰۹).

پژوهش های انجام شده در مورد تأثیر کاربرد بازدارنده های نیترات سازی بر عملکرد محصولات کشاورزی حاکی از تأثیر متفاوت آن ها بوده است. در برخی از آزمایش ها کاربرد این گونه مواد منجر به افزایش عملکرد و میزان ماده خشک محصول تولیدی شده است (کرافورد و چالک، ۱۹۹۳؛ پرساد و پاور، ۱۹۹۵؛ شارما و کومار، ۱۹۹۸؛ سرنا و همکاران، ۲۰۰۰؛ پاسدا و همکاران، ۲۰۰۱؛ گولامس و ویلار، ۲۰۰۴؛ دوما و همکاران، ۲۰۰۵؛ ارتگا و همکاران، ۲۰۰۶؛ رکو و بلو، ۲۰۰۶؛ چن و همکاران، ۲۰۰۸؛ لی و همکاران، ۲۰۰۸؛ فانگریو و همکاران، ۲۰۰۹). در حالی که در بعضی از آزمایش ها مصرف بازدارنده ها بر عملکرد محصول تأثیری نداشته است (دیز - لوپز و همکاران، ۲۰۰۸؛ ویلار و گولامس، ۲۰۱۰).

نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد بازدارنده نیترات سازی DMPP منجر به افزایش وزن خشک اندام هوایی گندم در نیمی از خاک های مورد بررسی (خاک های ۲، ۳، ۶، ۸ و ۹) و افزایش عملکرد دانه گندم در خاک های ۱، ۲، ۸ و ۹ شد. کاهش هدررفت نیتروژن از طریق فرایندهای هدررفتی آب شویی و نیترات زدایی و به تبع آن بهبود عرضه نیتروژن به گیاه، افزایش فراهمی نیتروژن برای محصول در یک دوره طولانی تر به

جدول ۲- مقایسه میانگین برهمکنش نوع خاک و منبع نیتروژن بر وزن خشک اندام هوایی و دانه گندم

منبع نیتروژن	شاهد	اوره	سولفات نیترات آمونیوم	سولفات نیترات آمونیوم با DMPP	میانگین
شماره خاک	وزن خشک اندام هوایی* (گرم در گل دان)				
۱	۳/۰۶ ^v	۱۹/۰۵ ^k	۱۹/۴۳ ^{jk}	۱۹/۳۵ ^{jk}	۱۵/۲۲ ^E
۲	۱۷/۴۱ ^{lm}	۲۳/۳۷ ^{bc}	۲۳/۴۷ ^{bc}	۲۵/۰۲ ^a	۲۲/۳۲ ^A
۳	۴/۴۵ ^{ll}	۲۰/۰۸ ^{ij}	۱۹/۴۳ ^{jk}	۲۱/۳۳ ^{efgh}	۱۶/۳۲ ^D
۴	۱۵/۵۷ ^{op}	۲۲/۸۱ ^{cd}	۲۲/۵۳ ^{de}	۲۲/۸۱ ^{cd}	۲۰/۹۳ ^B
۵	۱۷/۱۸ ^m	۲۳/۵۶ ^{bc}	۲۳/۳۷ ^{bc}	۲۳/۴۷ ^{bc}	۲۱/۹۰ ^A
۶	۱۵/۱۰ ^{pq}	۲۲/۸۰ ^{cd}	۲۲/۸۱ ^{cd}	۲۳/۷۷ ^b	۲۱/۱۲ ^B
۷	۹/۵۵ ^t	۲۰/۸۶ ^{gh}	۲۰/۶۴ ^{hi}	۲۰/۰۸ ^{ij}	۱۷/۷۸ ^C
۸	۳/۲۹ ^v	۱۴/۴۷ ^{qr}	۱۴/۱۱ ^t	۱۷/۰۳ ^{mn}	۱۲/۲۳ ^G
۹	۴/۷۱ ^u	۱۵/۲۰ ^{pq}	۱۴/۹۸ ^{pq}	۱۶/۳۴ ^{no}	۱۲/۸۱ ^F
۱۰	۱۳/۰۲ ^s	۱۹/۶۷ ^{jk}	۱۹/۳۵ ^{jk}	۱۹/۷۸ ^{jk}	۱۷/۹۶ ^C
میانگین	۱۰/۳۳ ^C	۲۰/۱۹ ^B	۲۰/۰۱ ^B	۲۰/۹۰ ^A	
شماره خاک	عملکرد دانه* (گرم در گل دان)				
۱	۱/۰۹ ^x	۷/۰۸ ^{mnop}	۶/۴۸ ^{pqrs}	۷/۷۳ ^{ijkl}	۵/۶۰ ^E
۲	۶/۶۲ ^{opqrs}	۹/۷۰ ^{bc}	۹/۹۲ ^{bc}	۱۱/۲۸ ^a	۹/۳۸ ^A
۳	۱/۸۱ ^w	۷/۸۸ ^{hijk}	۷/۴۶ ^{klm}	۸/۵۳ ^{efgh}	۶/۴۲ ^D
۴	۶/۲۳ ^{tst}	۹/۲۲ ^{de}	۹/۴۰ ^{cd}	۹/۴۳ ^{cd}	۸/۵۷ ^B
۵	۶/۷۴ ^{nopqr}	۹/۵۲ ^{bed}	۹/۵۷ ^{bed}	۹/۳۷ ^{cd}	۸/۸۰ ^B
۶	۶/۵۶ ^{opqrs}	۹/۶۰ ^{bcd}	۹/۱۵ ^{def}	۱۰/۲۵ ^b	۸/۸۹ ^B
۷	۳/۵۹ ^v	۸/۳۴ ^{ghi}	۸/۷۱ ^{efg}	۸/۲۰ ^{ghi}	۷/۲۱ ^C
۸	۱/۴۷ ^{wx}	۵/۷۲ ^t	۵/۷۴ ^t	۷/۱۷ ^{lmno}	۵/۰۳ ^F
۹	۲/۱۲ ^w	۶/۲۴ ^{tst}	۶/۰۴ st	۶/۹۷ ^{mnpq}	۵/۳۴ ^E
۱۰	۴/۸۶ ^{ll}	۸/۰۸ ^{ghij}	۸/۲۰ ^{ghi}	۸/۶۲ ^{efg}	۷/۴۴ ^C
میانگین	۴/۱۱ ^C	۸/۱۴ ^B	۸/۰۷ ^B	۸/۷۶ ^A	

* میانگین های با حروف مشابه (حروف کوچک) در هر ستون و ردیف فاقد اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد آزمون LSD هستند. اثرات اصلی با حروف بزرگ نشان داده شده است. مقادیر LSD_{0.05} وزن خشک اندام هوایی برای نوع خاک، منبع نیتروژن و برهمکنش نوع خاک با منبع نیتروژن به ترتیب ۰/۴۴، ۰/۲۵ و ۰/۷۸ می باشد. مقادیر LSD_{0.05} عملکرد دانه برای نوع خاک، منبع نیتروژن و برهمکنش نوع خاک با منبع نیتروژن به ترتیب ۰/۳۳، ۰/۱۷ و ۰/۵۳ می باشد.

بازدارنده مزبور به همراه سولفات نیترا آمونیوم در خاک های ۱، ۲، ۳، ۸ و ۹ منجر به افزایش معنی دار کارایی باز یافت نیتروژن در اندام هوایی در مقایسه با دیگر منابع نیتروژن از قبیل سولفات نیترا آمونیوم، اوره و شاهد شد (جدول ۳). در خاک ۶ نیز اگرچه کاربرد این بازدارنده به همراه سولفات نیترا آمونیوم منجر به افزایش معنی دار کارایی باز یافت نیتروژن در اندام هوایی به میزان ۱۵/۲ درصد در مقایسه با سولفات نیترا آمونیوم شد، اما تفاوت معنی داری با اوره نشان نداد (جدول ۳). کاربرد بازدارنده مزبور به همراه سولفات نیترا آمونیوم در دیگر خاک های مورد بررسی (۴، ۵، ۷ و ۱۰) تأثیر معنی داری بر کارایی باز یافت نیتروژن اندام هوایی در مقایسه با دیگر منابع نیتروژن نداشت. نتایج مقایسه میانگین های برهم کنش منبع نیتروژن و نوع خاک بر کارایی باز یافت نیتروژن دانه نشان داد که کاربرد بازدارنده نیترا سازی DMPP به همراه سولفات نیترا آمونیوم در خاک های ۱، ۲، ۸ و ۹ منجر به افزایش معنی دار کارایی باز یافت نیتروژن دانه در مقایسه با دیگر منابع نیتروژن از قبیل سولفات نیترا آمونیوم، اوره و شاهد شد (جدول ۳). در خاک های ۳ و ۶ نیز اگرچه کاربرد این بازدارنده به همراه سولفات نیترا آمونیوم منجر به افزایش معنی دار کارایی باز یافت نیتروژن دانه به ترتیب به میزان ۱۷/۲ و ۱۷/۱٪ در مقایسه با سولفات نیترا آمونیوم شد، اما تفاوت معنی داری با اوره نشان نداد (جدول ۳). کاربرد بازدارنده نیترا سازی به همراه سولفات نیترا آمونیوم در دیگر خاک های مورد بررسی (۴، ۵، ۷ و ۱۰) تأثیر معنی داری بر کارایی باز یافت نیتروژن دانه در مقایسه با دیگر منابع نیتروژن نداشت. به طور کلی هدف از کاربرد بازدارنده های نیترا سازی طولانی کردن حضور نیتروژن در خاک به شکل آمونیوم و افزایش کارایی مصرف نیتروژن است (پاسدا و همکاران، ۲۰۰۱). پژوهش های انجام شده در مورد کاربرد این بازدارندها بیان گر تأثیر مثبت آن ها بر کارایی مصرف نیتروژن (کارایی زراعی و جذب) بوده است (پرساد و پاور، ۱۹۹۵؛ شارما و کومار، ۱۹۹۸؛ ویلیامسون و همکاران، ۱۹۹۸؛ سرنا و همکاران، ۲۰۰۰؛ پاسدا و همکاران، ۲۰۰۱؛ گولامس و ویلار، ۲۰۰۴؛ دوما و همکاران، ۲۰۰۵؛ ارتگا و همکاران، ۲۰۰۶؛ رکو و بلو، ۲۰۰۶؛ فانگریو و همکاران، ۲۰۰۹؛ ویلار و گولامس، ۲۰۱۰). با این وجود در برخی دیگر از بررسی ها کاربرد بازدارنده های مزبور تأثیری بر کارایی مصرف نیتروژن نداشته است (آرگویی و کومادا، ۲۰۰۸). نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد بازدارنده نیترا سازی DMPP منجر به افزایش کارایی زراعی نیتروژن در اندام هوایی (خاک های ۲، ۳، ۸ و ۹) و دانه (خاک های ۱، ۲، ۳، ۶، ۸ و ۹) و هم چنین کارایی جذب نیتروژن توسط اندام هوایی و دانه در خاک های ۱، ۲، ۳، ۶، ۸، ۹ شد. این دست آورد با پژوهش های انجام شده توسط محققان مختلف در گندم مطابقت دارد (شارما و کومار، ۱۹۹۸؛ پاسدا و همکاران، ۲۰۰۱؛ دوما و همکاران، ۲۰۰۵؛ ویلار و گولامس، ۲۰۱۰). افزایش کارایی زراعی و باز یافت نیتروژن در نتیجه کاربرد بازدارنده های نیترا سازی به دلیل تنظیم عرضه نیتروژن به گیاه، رهاسازی مداوم نیترا به خاک و کاهش هدررفت نیتروژن از طریق فرایندهای هدررفتی از قبیل آب شویی و نیترا زدایی (به دلیل نگره داری نیتروژن به شکل آمونیوم) است (سرنا و همکاران، ۲۰۰۰؛ پاسدا و همکاران، ۲۰۰۱؛ گولامس و ویلار، ۲۰۰۴؛ دیز - لوپز و همکاران، ۲۰۰۸). در حقیقت، افزایش کارایی زراعی نیتروژن دانه بیان گر این مطلب است که با کاربرد یک واحد کود حاوی نیتروژن،

براساس نتایج جدول ۲، کاهش ۳/۷ درصدی وزن خشک اندام هوایی در نتیجه کاربرد بازدارنده نیترا سازی DMPP به همراه کود سولفات نیترا آمونیوم در مقایسه با اوره در خاک ۷ می تواند به دلیل برآیند مجموعه ویژگی های خاک بر کارکرد بازدارنده مزبور از طریق افزایش میزان آمونیوم خاک باشد؛ که منجر به بروز اثرات سمی آمونیوم بر رشد گندم شده است. زمانی که جذب آمونیوم گیاه از میزان آسیمیلاسیون آن تجاوز کند، تجمع آمونیوم آزاد در بافت گیاهی رخ می دهد. تجمع آمونیوم آزاد و انتقال آن به برگ ها می تواند بسیاری از فرایندهای سوخت و ساز از قبیل فتوسنتز را مختل کرده و در نهایت منجر به کاهش عملکرد شود (مارشور، ۱۹۹۵). کاهش عملکرد اسفناج در نتیجه کاربرد بازدارنده نیترا سازی DMPP در تحقیقات پاسدا و همکاران (۲۰۰۱) نیز گزارش شده است. بر اساس نتایج این تحقیق، کاربرد بازدارنده فوق، تأثیری بر وزن خشک اندام هوایی در خاک های ۱، ۴، ۵ و ۱۰ و وزن خشک دانه در خاک های ۴، ۵، ۷ و ۱۰ نداشت. این یافته با تحقیقات دیز - لوپز و همکاران (۲۰۰۸) در ذرت، و ویلار و گولامس (۲۰۱۰) در گندم هم خوانی داشت.

تأثیر منابع مختلف نیتروژن و نوع خاک

بر کارایی مصرف نیتروژن در گندم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر منبع نیتروژن، نوع خاک و برهم کنش آن ها بر کارایی زراعی و باز یافت نیتروژن در اندام هوایی و دانه گندم حاکی از تأثیر بسیار معنی دار ($P \leq 0.01$) آن ها بر شاخص های فوق بود. نتایج مقایسه میانگین های برهم کنش منبع نیتروژن و نوع خاک بر کارایی زراعی نیتروژن در اندام هوایی (مجموع کاه و کلش و دانه) نشان داد که در خاک های ۲، ۳ و ۸ کاربرد بازدارنده نیترا سازی DMPP به همراه کود سولفات نیترا آمونیوم منجر به افزایش معنی دار کارایی زراعی نیتروژن در اندام هوایی در مقایسه با دیگر منابع نیتروژن از قبیل سولفات نیترا آمونیوم، اوره و شاهد شد (جدول ۳). در خاک ۹ نیز اگرچه کاربرد بازدارنده مزبور به همراه سولفات نیترا آمونیوم منجر به افزایش معنی دار کارایی زراعی نیتروژن در اندام هوایی به میزان ۱۳/۳ درصد در مقایسه با سولفات نیترا آمونیوم شد، اما تفاوت معنی داری با اوره نشان نداد. کاربرد این بازدارنده به همراه سولفات نیترا آمونیوم در دیگر خاک های مورد بررسی (۱، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۱۰) تأثیر معنی داری بر کارایی مصرف نیتروژن اندام هوایی در مقایسه با دیگر منابع نیتروژن نداشت (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم کنش منبع نیتروژن و نوع خاک بر کارایی زراعی نیتروژن دانه نشان داد که کاربرد بازدارنده نیترا سازی DMPP به همراه سولفات نیترا آمونیوم در خاک های ۱، ۲، ۶، ۸ و ۹ منجر به افزایش معنی دار کارایی زراعی نیتروژن دانه در مقایسه با دیگر منابع نیتروژن از قبیل سولفات نیترا آمونیوم، اوره و شاهد شد (جدول ۳). در خاک ۳ نیز اگرچه کاربرد این بازدارنده به همراه سولفات نیترا آمونیوم منجر به افزایش معنی دار کارایی زراعی نیتروژن دانه به میزان ۱۸/۹ درصد در مقایسه با سولفات نیترا آمونیوم شد، اما تفاوت معنی داری با اوره نشان نداد (جدول ۳). کاربرد بازدارنده نیترا سازی DMPP به همراه سولفات نیترا آمونیوم در دیگر خاک های مورد بررسی (۴، ۵، ۷ و ۱۰) تأثیر معنی داری بر کارایی مصرف نیتروژن دانه در مقایسه با دیگر منابع نیتروژن نداشت. مقایسه میانگین برهم کنش منبع نیتروژن و نوع خاک بر کارایی باز یافت نیتروژن در اندام هوایی (مجموع کاه و کلش و دانه) نشان داد که کاربرد

جدول ۳- مقایسه میانگین برهم کنش نوع خاک و منبع نیتروژن بر کارایی زراعی و بازیافت نیتروژن در اندام هوایی و دانه گندم

منبع نیتروژن	اوره	سولفات نیترات	سولفات نیترات	اوره	میانگین	سولفات نیترات	سولفات نیترات	میانگین	منبع نیتروژن
DMPP با آمونیوم	DMPP با آمونیوم	DMPP با آمونیوم	DMPP با آمونیوم	DMPP با آمونیوم	DMPP با آمونیوم	DMPP با آمونیوم	DMPP با آمونیوم	DMPP با آمونیوم	DMPP با آمونیوم
کارایی زراعی اندام هوایی* (گرم بر گرم نیتروژن مصرفی)	کارایی زراعی اندام هوایی* (گرم بر گرم نیتروژن مصرفی)	کارایی زراعی اندام هوایی* (گرم بر گرم نیتروژن مصرفی)	کارایی زراعی اندام هوایی* (گرم بر گرم نیتروژن مصرفی)	کارایی زراعی اندام هوایی* (گرم بر گرم نیتروژن مصرفی)	کارایی زراعی اندام هوایی* (گرم بر گرم نیتروژن مصرفی)	کارایی زراعی اندام هوایی* (گرم بر گرم نیتروژن مصرفی)	کارایی زراعی اندام هوایی* (گرم بر گرم نیتروژن مصرفی)	کارایی زراعی اندام هوایی* (گرم بر گرم نیتروژن مصرفی)	کارایی زراعی اندام هوایی* (گرم بر گرم نیتروژن مصرفی)
۲۳/۵۶ ^A	۲۶/۰۴ ^a	۲۱/۱۴ ^{cde}	۲۳/۴۹ ^{bc}	۶۳/۹۴ ^A	۶۳/۸۸ ^a	۶۴/۲۰ ^a	۶۳/۷۳ ^{ab}	۶۳/۷۳ ^{ab}	۱
۱۴/۴۳ ^D	۱۸/۲۷ ^{fgh}	۱۲/۹۴ ^{lmno}	۱۲/۰۸ ^{mno}	۲۵/۶۶ ^{EF}	۲۹/۸۴ ^{ij}	۲۳/۷۸ ^{kl}	۲۳/۳۷ ^{kl}	۲۳/۳۷ ^{kl}	۲
۲۳/۷۷ ^A	۲۶/۳۵ ^a	۲۲/۱۶ ^{bcd}	۲۲/۸۰ ^{ab}	۶۲/۰۱ ^A	۶۶/۲۰ ^a	۵۸/۷۵ ^{bcd}	۶۱/۰۷ ^{bc}	۶۱/۰۷ ^{bc}	۳
۱۲/۲۴ ^{EF}	۱۲/۵۵ ^{mno}	۱۲/۴۳ ^{mno}	۱۱/۷۳ ^{nopq}	۲۸/۰۴ ^E	۲۸/۳۹ ^{jk}	۲۷/۲۹ ^{jk}	۲۸/۳۹ ^{jk}	۲۸/۳۹ ^{jk}	۴
۱۰/۷۷ ^F	۱۰/۳۱ ^{pq}	۱۱/۱۰ ^{opq}	۱۰/۹۰ ^{opq}	۲۴/۶۵ ^F	۲۴/۶۷ ^{kl}	۲۴/۲۷ ^{kl}	۲۵/۰۲ ^{kl}	۲۵/۰۲ ^{kl}	۵
۱۲/۱۸ ^{EF}	۱۴/۴۷ ^{ijklm}	۱۰/۱۶ ^{pq}	۱۱/۹۲ ^{nopq}	۳۱/۴۸ ^D	۳۴/۰۰ ^{hi}	۳۰/۲۴ ^{ij}	۳۰/۲۰ ^{ij}	۳۰/۲۰ ^{ij}	۶
۱۸/۹۴ ^B	۱۸/۱۰ ^{fgh}	۲۰/۰۸ ^{def}	۱۸/۶۳ ^{efg}	۴۳/۰۴ ^C	۴۱/۲۹ ^{efg}	۴۳/۴۹ ^{ef}	۴۴/۳۵ ^{ef}	۴۴/۳۵ ^{ef}	۷
۱۸/۵۹ ^B	۲۲/۳۵ ^{bcd}	۱۶/۷۵ ^{ghij}	۱۶/۶۷ ^{ghij}	۴۶/۷۲ ^B	۵۳/۸۸ ^d	۴۲/۴۳ ^{efg}	۴۳/۸۴ ^{ef}	۴۳/۸۴ ^{ef}	۸
۱۶/۸۵ ^C	۱۹/۰۲ ^{efg}	۱۵/۳۷ ^{ijkl}	۱۶/۱۶ ^{hijk}	۴۲/۳۴ ^C	۴۵/۶۱ ^e	۴۰/۲۷ ^{fg}	۴۱/۱۴ ^{efg}	۴۱/۱۴ ^{efg}	۹
۱۳/۴۹ ^{DE}	۱۴/۷۵ ^{ijklm}	۱۳/۱۰ ^{lmno}	۱۲/۶۳ ^{mno}	۲۵/۸۰ ^{EF}	۲۶/۵۱ ^{jk}	۲۴/۸۲ ^{kl}	۲۶/۰۸ ^{jk}	۲۶/۰۸ ^{jk}	۱۰
	۱۸/۲۳ ^A	۱۵/۵۲ ^B	۱۵/۷۰ ^B		۴۱/۴۳ ^A	۳۷/۹۵ ^B	۳۸/۷۲ ^B	۳۸/۷۲ ^B	میانگین
	کارایی بازیافت دانه* (درصد)			کارایی بازیافت اندام هوایی* (درصد)					
۴۵/۳۸ ^A	۴۹/۶۹ ^a	۴۲/۴۶ ^{bcd}	۴۳/۹۸ ^{bc}	۵۷/۱۸ ^A	۶۴/۴۸ ^a	۵۲/۸۷ ^{defghi}	۵۴/۱۹ ^{bcdef}	۵۴/۱۹ ^{bcdef}	۱
۳۱/۸۲ ^F	۳۸/۸۰ ^{def}	۲۹/۲۷ ^{kl}	۲۷/۴۰ ^l	۴۸/۷۹ ^C	۵۸/۲۴ ^{bc}	۴۴/۵۸ ^{ijklm}	۴۳/۵۴ ^{klmno}	۴۳/۵۴ ^{klmno}	۲
۴۲/۸۷ ^{AB}	۴۶/۶۰ ^{ab}	۳۹/۷۷ ^{cde}	۴۲/۲۴ ^{bcd}	۵۷/۸۱ ^A	۶۳/۸۷ ^a	۵۳/۲۳ ^{cdefghi}	۵۶/۳۴ ^{bed}	۵۶/۳۴ ^{bed}	۳
۳۹/۴۸ ^{CD}	۴۰/۸۵ ^{cde}	۳۹/۵۰ ^{cdef}	۳۸/۱۰ ^{defgh}	۵۰/۷۵ ^C	۵۲/۲۰ ^{defgh}	۵۰/۳۹ ^{efghi}	۴۹/۶۶ ^{fghij}	۴۹/۶۶ ^{fghij}	۴
۴۱/۲۳ ^{BC}	۴۱/۳۸ ^{cd}	۴۱/۳۸ ^{cd}	۴۰/۹۳ ^{cde}	۵۵/۷۹ ^{AB}	۵۶/۷۱ ^{bed}	۵۵/۳۴ ^{bcde}	۵۵/۳۱ ^{bcde}	۵۵/۳۱ ^{bcde}	۵
۴۲/۲۴ ^B	۴۵/۷۳ ^{ab}	۳۹/۰۶ ^{def}	۴۲/۲۳ ^{bcd}	۵۴/۳۴ ^B	۵۸/۶۰ ^{bc}	۵۰/۸۵ ^{efghi}	۵۳/۵۸ ^{cdefghi}	۵۳/۵۸ ^{cdefghi}	۶
۳۵/۲۴ ^E	۳۳/۴۱ ^{hijk}	۳۴/۷۱ ^{ghij}	۳۷/۶۱ ^{defgh}	۴۱/۹۰ ^E	۴۱/۳۷ ^{lmno}	۴۰/۸۱ ^{lmno}	۴۲/۵۲ ^{klmno}	۴۲/۵۲ ^{klmno}	۷
۳۶/۸۱ ^{DE}	۴۲/۳۶ ^{bcd}	۳۴/۲۰ ^{ghijk}	۳۳/۸۶ ^{hijk}	۴۵/۳۲ ^D	۵۳/۲۳ ^{cdefghi}	۴۲/۲۷ ^{lmn}	۴۰/۴۷ ^{lmno}	۴۰/۴۷ ^{lmno}	۸
۳۱/۸۶ ^F	۳۶/۱۹ ^{efghi}	۲۸/۶۴ ^l	۳۰/۷۴ ^{ijkl}	۴۰/۱۱ ^E	۴۵/۱۹ ^{ijkl}	۳۶/۵۷ ^{op}	۳۷/۵۸ ^{nop}	۳۷/۵۸ ^{nop}	۹
۳۴/۸۲ ^{EF}	۳۵/۷۷ ^{efghi}	۳۴/۸۸ ^{ghij}	۳۳/۸۵ ^{hijk}	۴۰/۲۴ ^E	۴۰/۵۳ ^{lmno}	۴۰/۳۷ ^{lmno}	۳۹/۸۱ ^{lmno}	۳۹/۸۱ ^{lmno}	۱۰
	۴۱/۰۷ ^A	۳۶/۳۹ ^B	۳۷/۰۹ ^B		۵۳/۴۴ ^A	۴۶/۷۳ ^B	۴۷/۴۰ ^B	۴۷/۴۰ ^B	میانگین

* میانگین های با حروف مشابه (حروف کوچک) در هر ستون و ردیف فاقد اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد آزمون LSD هستند. اثرات اصلی با حروف بزرگ نشان داده شده است. مقادیر LSD_{0.05} کارایی زراعی نیتروژن اندام هوایی برای نوع خاک، منبع نیتروژن و برهمکنش نوع خاک با منبع نیتروژن به ترتیب ۲/۹۶، ۱/۶۲ و ۵/۱۲ می باشد. مقادیر LSD_{0.05} کارایی زراعی نیتروژن دانه برای نوع خاک، منبع نیتروژن و برهمکنش نوع خاک با منبع نیتروژن به ترتیب ۰/۸۲، ۱/۵۰ و ۲/۶۰ می باشد. مقادیر LSD_{0.05} کارایی بازیافت نیتروژن اندام هوایی برای نوع خاک، منبع نیتروژن و برهمکنش نوع خاک با منبع نیتروژن به ترتیب ۲/۰۵، ۱/۶۷ و ۵/۲۸ می باشد. مقادیر LSD_{0.05} کارایی بازیافت نیتروژن دانه برای نوع خاک، منبع نیتروژن و برهمکنش نوع خاک با منبع نیتروژن به ترتیب ۲/۷۴، ۱/۵۰ و ۴/۷۵ می باشد.

ترتیب برای سولفات نیترات آمونیوم و اوره به ۵۳/۴ برای سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات سازی DMPP افزایش یافت. به طور مشابه، ویلامسون و همکاران (۱۹۹۸) افزایش کارایی بازیافت نیتروژن از ۳۲ به ۴۲ درصد (در نتیجه کاربرد بازدارنده نیترات سازی دی سیانو دی آمید) و گولامس و ویلار (۲۰۰۴) افزایش کارایی بازیافت نیتروژن از ۲۲ به ۳۱ درصد را در چاودار گزارش کردند. افزایش کارایی بازیافت نیتروژن منجر به هدررفت نیتروژن کم تری از خاک شده و در درازمدت در کاهش آلایندگی های زیست محیطی نقش به سزایی خواهد داشت (سینگ و ورما، ۲۰۰۷). بر مبنای نتایج حاصل از بررسی حاضر، کارایی زراعی نیتروژن در اندام هوایی (خاک های ۱، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۱۰) و دانه (خاک های ۴، ۵، ۷ و ۱۰) و هم چنین کارایی بازیافت نیتروژن در اندام هوایی و دانه (خاک های ۴، ۵، ۷ و ۱۰) تحت تأثیر کاربرد بازدارنده نیترات سازی قرار نگرفت. این یافته با نتایج پژوهش های آرگویی و کومادا (۲۰۰۸) در گندم هم خوانی داشت.

مقدار دانه گندم بیش تری تولید شده است. بر مبنای نتایج جدول ۳، به طور میانگین در مجموع خاک های مورد استفاده با کاربرد یک گرم سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات سازی DMPP، ۱۸/۲۲ گرم دانه تولید شد؛ در حالی که این میزان برای سولفات نیترات آمونیوم و اوره به ترتیب ۱۵/۷۰ و ۱۵/۵۲ گرم بود. به طور مشابه، در بررسی شارما و کومار (۱۹۹۸) کارایی زراعی دانه گندم در نتیجه کاربرد بازدارنده نیترات سازی دی سیانو دی آمید با اوره به ازای هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی از ۱۸/۶ به ۲۳ کیلوگرم افزایش یافت. این امر بدین معنی است که برای تولید یک واحد دانه گندم نیاز به مصرف کود نیتروژن دار کم تری است. کاهش میزان کود مصرفی حاوی نیتروژن و به تبع آن کاهش تعداد دفعات کاربرد آن، از جهت اقتصادی دارای اهمیت بالایی بوده و هزینه های تولید را کاهش می دهد (شارما و کومار، ۱۹۹۸؛ پاسدا و همکاران، ۲۰۰۱؛ ویلار و گولامس، ۲۰۱۰). براساس نتایج جدول ۳، کارایی جذب نیتروژن به طور میانگین در مجموع خاک های مورد بررسی از ۴۶/۷ و ۴۷/۴ درصد به

7. Chen, D. Suter, H.C. Islam, A. Edis, R. and Freney, J.R. (2008). Prospects of improving efficiency of fertilizer nitrogen in Australian agriculture; a review of enhanced efficiency fertilizers. *Aust. J. Soil Res.*, 46: 289-301.
8. 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 Soil*, 149: 59-72.
9. Di, H.J. and Cameron, K.C. (2004). Effects of temperature and application rate of a nitrification inhibitor, dicyandiamide (DCD), on nitrification rate and microbial biomass in a grazed pasture system. *Aust. J. Soil Res.*, 42: 927-932.
10. 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. *Span. J. Agric. Res.*, 6: 294-303.
11. 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. *Proc. 9th Int. Conf. Environ. Sci. Technol.*, Rhodes Island, Greece.
12. Fanguero, 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. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 40: 3387-3398.
13. Guillaumes, E. and Villar, J.M. (2004). Effects of DMPP on the growth and chemical composition of ryegrass (*Lolium perenne* L.) raised on calcareous soil. *Span. J. Agric. Res.*, 2: 588-596.
14. Irigoyen, I. Muro, J. Azpilikueta, M. Aparicio-Tejo, P.M. and Lamsfus, C. (2003). Ammonium oxidation kinetics in the presence of nitrification inhibitors DCD and DMPP at various temperatures. *Aust. J. Soil Res.*, 41: 1177-1183.
15. 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. *Adv. Agron.*, 87: 85-156.
16. 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. *J. Environ. Sci.*, 20: 149-155.
17. Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. (2nd ed.). Academic Press, London.
18. Mulvaney, R.L. (1996). Nitrogen-inorganic forms. In: *Methods of Soil Analysis*. Part 3: Chemical Properties, ed. Sparks, D.L. pp.1123-1184. SSSA and ASA, Madison, Wisconsin.
19. Ortega, R. Maria, S. Molina, M. and Mackenna, V. (2006). Increasing nitrogen and phosphorus fertilizer use efficiency by using the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in Chile. *Proc. 18th World Cong. Soil Sci.*, Philadelphia, USA.
20. 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. *Biol. Fertil Soils*, 34: 85-97.
21. Prasad, R. and Power, J.F. (1995). Nitrification inhibitors for agriculture, health, and the environment. *Adv. Agron.*, 54: 233-281.
22. Raun, W.R. and Johnson, G.V. (1999). Improving nitrogen use efficiency for cereal. *Agron., J.* 91: 357-363.

نتیجه گیری

این پژوهش نشان داد که کاربرد بازدارنده نیترات سازی DMPP منجر به افزایش وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه، کارایی زراعی و بازیافت نیتروژن در اندام هوایی و دانه در خاک های ۱، ۲، ۳، ۶، ۸ و ۹ شد. با این وجود کاربرد این بازدارنده در سایر خاک های مورد بررسی تأثیری بر شاخص های مورد مطالعه نداشت. بر مبنای مطالعات انجام شده، تغییر پذیری در پاسخ به کاربرد بازدارنده های نیترات سازی به ویژگی های خاک از قبیل بافت، اسیدیته، رطوبت و دما، پتانسیل نیترات سازی، سابقه ی کوددهی و میزان مصرف نیتروژن ارتباط دارد (بارت و همکاران، ۲۰۰۱؛ ایرگوین و همکاران، ۲۰۰۳؛ دی و کامرون، ۲۰۰۴؛ چن و همکاران، ۲۰۰۸). در این میان، بررسی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های ۱، ۲، ۳، ۶، ۸ و ۹ نشان داد که میزان شن آن ها از ۲۳۰ گرم بر کیلوگرم بیش تر و در سایر خاک ها از این مقدار کم تر بود. نتایج حاصل از کاربرد بازدارنده های نیترات سازی نیز نشان داده است که این مواد در خاک های شنی و شرایط مرطوب از کارایی بالاتری برخوردار بوده اند (چن و همکاران، ۲۰۰۸؛ ویلار و گولامس، ۲۰۱۰)؛ به طوری که وجود هم بستگی منفی و معنی دار بین درصد شن و تشکیل نیتريت در حضور بازدارنده نیترات سازی DMPP در تحقیقات انجام شده ثابت شده است (بارت و همکاران، ۲۰۰۱). به هرحال کاربرد بازدارنده های نیترات سازی در خاک های مختلف به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن ها مربوط بوده و انجام تحقیقات بیش تر برای چگونگی پاسخ نسبت به کاربرد آن ها در خاک های ایران ضروری است. با این حال کاربرد کودهای نیتروژن دار حاوی بازدارنده نیترات سازی DMPP می تواند روش خوبی برای افزایش عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در گندم باشد.

سپاس گزاری

اعتبارات اجرای این پژوهش توسط معاونت پژوهشی دانشگاه شهرکرد تأمین شده است؛ که بدین وسیله تشکر و قدردانی می شود.

منابع مورد استفاده

۱. امامی، ع. (۱۳۷۵). روش های تجزیه گیاه. نشریه فنی شماره ۹۸۲، انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.
۲. بلالی، م. ملکوتی، م.ج. مشایخی، ح.ج. و خادمی، ز. (۱۳۷۹). اثر عناصر ریزمغذی بر افزایش عملکرد و تعیین حد بحرانی آن ها در خاک های تحت کشت گندم آبی ایران. در: تغذیه متعادل گندم راهی به سوی خودکفایی در کشور و تأمین سلامت جامعه. گردآورنده: ملکوتی، م.ج. صفحات ۱۳۴-۱۲۱. نشر آموزش کشاورزی، تهران.
۳. علی احیایی، م. و بهبهانی زاده، ع.ا. (۱۳۷۲). شرح روش های تجزیه شیمیایی خاک. نشریه فنی شماره ۸۹۳، انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.
۴. ملکوتی، م.ج. کشاورز، پ. و کریمیان، ن.ج. (۱۳۸۷). روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کودی برای کشاورزی. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
5. Arregui, L.M. and Quemada, M. (2008). Strategies to improve nitrogen use efficiency in winter cereal crops under rainfed conditions. *Agron. J.*, 100: 277-284.
6. 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. *Biol. Fertil Soils*, 34: 98-102.

23. Roco, M.M. and Blu, R.O. (2006). Evaluation of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate in two Chilean soils. *J. Plant Nutr.*, 29: 521-534.
24. Serna, M. Balnus, J. and Quinones, A. (2000). Evaluation of 3,4-Dimethylpyrazole phosphate as a nitrification inhibitor in citrus-cultivated soil. *Biol. Fertil Soils*, 32: 41-46.
25. Sharma, S.N. and Kumar, R. (1998). Effects of dicyandiamide (DCD) blended with urea on growth, yield and nutrient uptake of wheat. *J. Agric. Sci.*, 131: 389-394.
26. 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. *Environ. Pract.*, 9: 266-279.
27. Villar, J.M. and Guillaumes, E. (2010). Use of nitrification inhibitor DMPP to improve nitrogen recovery in irrigated wheat on a calcareous soil. *Span. J. Agric. Res.*, 8: 1218-1230.
28. Williamson, J.C. Taylor, M.D. Torrens, R.S. and Vojvodic-Vukovic, M. (1998). Reducing nitrogen leaching from dairy farm effluent-irrigated pasture using dicyandiamide: a Lysimeter study. *Agric Ecosyst Environ.*, 69: 81-88.