مجموعه مقالات
چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹٤، پژوهشکده کشاورزی هسته ای)
The 4th National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)

تاثیر بازدارنده نیتریفیکاسیون DMPP در افزایش جذب نیتروژن مشتق شده از کود نشاندار در ارقام مختلف گندم با استفاده از فناوری هسته‌ای

میراحمد موسوی شلمانی[۱]*، امیر لکزیان[۲]، رضا خراسانی[۲]، کاظم خاوازی[۳]، نازنین پورمحمد[۴]،
سید امید نجف آبادی[۴]

۱- محقق پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای (دانشجوی دکتری) دانشگاه فردوسی مشهد،
۲- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد،
۳- دانشیار و رئیس موسسه تحقیقات خاک و آب، وزارت جهاد کشاورزی،
۴- کارشناس پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای

چکیده: به منظور بررسی تاثیر بازدارنده نیتریفیکاسیون DMPP در افزایش نیتروژن مشتق شده از کود نشاندار در ارقام مختلف گندم پاییزه ، آزمایش گلخانه‌ای در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با آرایش فاکتوریل شامل پنج رقم مختلف گندم با شاخص Δ متفاوت و فاکتور دوم در سه سطح بدون کود، کود سولفات آمونیوم نشاندار ^{15}N و کود سولفات آمونیوم نشاندار حاوی DMPP در سه تکرار و در طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۹۳ انجام شد. تجزیه آماری داده‌ها موید این مطلب بود که ژنوتیپ‌های با شاخص تبعیض ایزوتوپی کوچکتر، بیشترین میزان تولید بذر، کاه و وزن هزار دانه را به خود اختصاص دادند. به نظر می‌رسد ژنوتیپ‌های با Δ پایین‌تر به دلیل سیستم ریشه‌ای توسعه یافته‌تر و سطح جذب گسترده‌تر آب، از سطوح مقاومت به خشکی بیشتری برخوردار بوده بدین ترتیب توانسته‌اند درصد بیشتری از عناصر کودی را در مرحله دانه‌بندی جذب نموده و کارایی مصرف کود نیتروژنی را نیز به میزان ۳۲/۳۵٪ افزایش دهند. نتایج همچنین نشان دهنده همبستگی معنی‌دار تولید محصول در نتیجه کاربرد DMPP بود. تفاوت تولید محصول دانه در ژنوتیپ‌های G۱، 2G و G۳ بارزتر بوده و این امر نشان میدهد که کاربرد DMPP در ژنوتیپ‌های با کلاس پایین‌تر از نظر مقاومت به خشکی، می‌تواند افزایش محصول بیشتری را به همراه داشته باشد.

واژگان کلیدی: تبعیض ایزوتوپی، گندم، DMPP، کربن۱۳، نیتروژن۱۵

Influence of nitrification inhibitor DMPP on absorption of nitrogen derived from labeled fertilizer in winter wheat varieties, using nuclear technology

Mir Ahmad Mousavi Shalmani[1]*, Amir Lakziyan[2], Reza Khorasani[2], Kazem Khavazi[3], Nazanin PourMohammad[4], SeyedOmid Najafabadi[4]

1. Reserchер at Nuclear Science and Technology Research Institute, University student of Ferdowsi Mashhad,
2. PhD professor (Ferdowsi University of Mashhad),
3. PhD professor, Head of Soil and Water Research Institute,
4. Technician at Nuclear Agriculture Research School

Abstract: In order to evaluate the effect of nitrification inhibitor of DMPP on nitrogen fertilizer derived from labeled fertilizer in different rain fed wheat varieties, a greenhouse experiment was carried out in a factorial randomized complete block design in three replications. The first factor was wheat varieties (five different Δ indexes) and the second factor was three fertilization systems (no fertilizer, labeled ^{15}N ammonium sulfate fertilizer and ^{15}N fertilizers containing nitrification inhibitor) during 2013-2014. Statistical

analysis of the data shows that genotypes with smaller ^{13}C isotope discrimination have maximum seed and straw yield production and thousand seed weight (TKW) index. It seems genotypes with lower Δ index have greater resistance to drought, due to more developed root system and the wider uptake of water. These genotypes could absorb higher proportion of the fertilizer nutrients in grain filling stage and nitrogen fertilizer use efficiency increased by 32.35%. The results also show a significant correlation between DMPP application and yield production. Differences in seed production in genotypes G1, G2 and G3under DMPP application were more obvious. This indicates that inhibitor application in genotypes with lower class of drought resistance could result in greater yield production.

Keywords: Isotope Discrimination, Wheat, DMPP, Carbon-13, Nitrogen-15

مقدمه:

امروزه کاربرد زیاده از حد کودهای شیمیایی در اراضی کشاورزی دلیل عمده آلودگی آب‌های زیرزمینی به شمار می-رود [1]. جدا از مخاطرات زیست‌محیطی، آبشویی نیترات به عنوان یکی از مهم‌ترین راه‌های اتلاف نیتروژن از خاک شناخته شده است [2]. بدین ترتیب کارایی مصرف پایین کودهای نیتروژنی از پیامدهای مستقیم این فرایند خواهند بود [3]. در این راستا تاخیر اکسیداسیون بیولوژیکی آمونیوم با استفاده از بازدارنده‌ها می‌تواند اتلاف نیتروژن را طی فرایند آبشویی کاهش دهد [4]. بعلاوه این فرایند می‌تواند باعث کاهش pH ریزوسفر شود و بدین ترتیب جذب فسفر افزایش یافته و در نتیجه کارایی مصرف آن افزایش خواهد یافت [5].

بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون ترکیباتی هستند که اکسیداسیون زیستی آمونیوم به نیتریت را بدون تاثیر بر اکسیداسیون نیتریت به نیترات به تاخیر می‌اندازند. ۳ و ۴-دی متیل‌پیرازول‌فسفات (DMPP) یک بازدارنده جدید با خصوصیات مطلوب است. امروزه این ماده در فرمولاسیون‌های مختلف کودی در بازار موجود بوده و قابلیت استفاده در مزرعه را دارد. DMPP به همراه کودهای معدنی (نیتراتی و آمونیومی) در مقادیر کمتر از یک دهم DCD مورد مصرف (بر اساس توصیه شرکت سازنده ۰/۵ تا ۱/۵ کیلوگرم در هکتار) می‌تواند فرایند نیتریفیکاسیون را به مدت ۱۰ هفته به تاخیر اندازد. البته میزان تاخیر، بسته به شرایط آب و هوایی و خصوصیات محل‌های مورد مطالعه متغیر خواهد [6]. در سطح جهانی در بیست و پنج سال گذشته تحقیقات گسترده در خصوص کاربرد طیف وسیعی از بازادارنده‌های نیتریفیکاسیون به منظور کاهش آلایندگی‌های زیست محیطی (ناشی از کاربرد بی‌رویه کودهای نیتروژنی) و افزایش بهره‌وری آن صورت گرفته است. عمده فعالیت انجام شده در دهه اول مطالعات، متمرکز بر تاثیر بازدارنده‌ها در بهبود عملکرد محصولات کشاورزی بوده است. در این راستا مطالعات اندکی نیز در خصوص آبشویی عنصر نیتروژن و سایر عناصر غذایی در خاک‌های مختلف صورت گرفته است [7]. *لینزمایر* و همکاران با استفاده از کودهای آمونیومی و نیتراتی نشاندار شده با ^{15}N میزان تصاعد گاز N_2O را تحت تاثیر بازدارنده DMPP در گندم زمستانه مورد بررسی قرار دادند [8]. ایشان گزارش نمودند که میزان تصاعد گاز N_2O در نتیجه استعمال کودهای نیتراتی، بیشتر از کودهای آمونیومی خواهد بود. این فرایند ۲۰ درصد کاهش در نتیجه کاربرد بازدارنده DMPP را

نشان داده و نتایج ردیابی ایزوتوپی نشان داد که ۱۰ الی ۴۰ درصد از تصاعد گاز N_2O مربوط به مخزن نیتروژنی کود و ۶۰ الی ۹۰ درصد نیز به مخزن نیتروژنی خاک نسبت داده شده است. نتایج گزارش نیز حاکی از آن بود که مخزن نیتروژن میکروبی، به عنوان یک منبع مهم از اتلاف نیتروژن بصورت تصاعد گاز N_2O عمل نموده است. در مقایسه کودهای جامد و محلول ایشان گزارش نمودند که کاربرد کودهای دانه‌ای باعث تصاعد ناچیزتر گاز N_2O می‌شود.

بطور کلی گستره فعالیت‌های پژوهشی در خصوص بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون را می‌توان به گزینش تقاطعی در دو گروه از عوامل نسبت داد. گروه اول شامل متغیرهای محیطی در کاهش و یا افزایش فرایند نیترات‌سازی (نظیر میزان رطوبت و درجه حرارت خاک، مشکلات شوری و قلیائیت، میزان مواد آلی، بافت و pH خاک، توزیع و گستره ترشحات ریشه‌ای، جمعیت باکتری‌های *نیتروزوموناس* و ...) و گروه دوم مربوط به شاخص‌های موثر در سودمندی‌های کاربرد DMPP (نظیر افزایش کارایی مصرف کودهای نیتروژنی و فعالیت‌های آنزیمی، افزایش میزان تولید محصول و کاهش آبشویی نیترات و سایر عناصر معدنی و ...) می‌باشد. به عنوان مثال *یوکیاگانگ* و همکاران تاثیر رطوبت و درجه حرارت خاک را در کاهش آبشویی نیترات تحت اثر DMPP مورد بررسی قرار داده‌اند [9] و یا *لی‌هووا* جمعیت باکتری‌های *نیتروزوموناس* را در افزایش میزان تولید محصول برنج و شلغم تحت اثر DMPP آزمایش نمودند [10]. به هر حال فعالیت‌های صورت گرفته در ۲۵ سال گذشته بسیاری از موارد تحقیقاتی فوق را پوشش داده است. از جمله فعالیت‌های تحقیقاتی که در رابطه با آن، مورد خاصی گزارش نشده است می‌توان به تاثیر ارقام مختلف گندم پاییزه (با شاخص تبعیض ایزوتوپی کربن۱۳ متفاوت) در کارایی DMPP در بازدارندگی نیترات سازی و افزایش میزان تولید محصول اشاره نمود. گیاهان با تبعیض ایزوتوپی کربن۱۳ پایین، از شاخص‌های فیزیولوژیکی متناظر با تحمل به شرایط تنش (نظیر توسعه سیستم ریشه‌ای گسترده جهت بهینه نمودن کارایی مصرف آب) برخوردار می‌باشند. تاخیر در فرایند تبدیل آمونیوم به نیترات منجر به جذب بیشتر آمونیوم توسط گیاه می‌شود. گیاه نیز جهت ایجاد توازن با الکتریکی از خود پروتون آزاد می‌نماید. این امر باعث می‌شود تا محیط ریزوسفر اسیدی‌تر شده و فراهمی عناصر غذایی افزایش یابد که پیامد مستقیم این امر، رشد بیشتر گیاه خواهد بود. لذا در این بررسی سعی بر این است تا اثرات ترکیبی کاربرد واریته‌های مختلف گندم دیم (با تبعیض ایزوتوپی کربن-۱۳ و سطوح مقاومت به خشکی متفاوت) در ارتباط با کارایی DMPP و تولید محصول مورد ارزیابی کمی و کیفی قرار گیرند. به بیان دیگر اثرات DMPP در کارایی مصرف کود سولفات آمونیوم و تولید محصول در پنج رقم مختلف گندم (سطوح بالا، متوسط و پایین تبعیض ایزوتوپی کربن-۱۳) مورد آزمون قرار گیرد.

مواد و روش‌ها:

آزمایش بصورت گلخانه‌ای در قالب طرح بلوک کامل تصادفی (CRD) و به صورت فاکتوریل در سه تکرار و در طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۹۳ طی دو کشت متوالی انجام شد. فاکتور اول شامل پنج رقم مختلف گندم به ترتیب با شاخص تبعیض ایزوتوپی کربن-۱۳ بالا (GΔ۱=۳/۴۳)، تا حدودی بالا (GΔ۲=۱/۹۱) متوسط (GΔ۳=۱/۳۰)، تا حدودی پایین (GΔ۴=-۰/۵۴) و پایین (GΔ۵=-۳/۴۰) و فاکتور دوم در سه سطح بدون کود (N)، کود سولفات آمونیوم نشاندار ^{15}N (F) و کود سولفات آمونیوم نشاندار ^{15}N+ بازدارنده نیتریفیکاسیون DMPP (D) در نظر گرفته شد. جهت انتخاب لاین‌های مورد نظر،

از خزانه بذور گندم دیم۵۰ لاین انتخاب گردید و نسبت ایزوتوپی $^{12}C/^{13}C$ و ارزش دلتا کربن۱۳ ($\delta^{13}C$) توسط آزمایشگاه اسپکترومتری جرمی نسبت ایزوتوپی دانشگاه آدلاید استرالیا اندازه‌گیری و متعاقبا پنج لاین جهت آزمون انتخاب گردید. کلیه نتایج مربوط به ایزوتوپ‌های پایدار کربن۱۳و نیتروژن۱۵ در سطح فراوانی طبیعی، بصورت ارزش دلتا (δ) و بر حسب انحرافات در هزار (‰) در مقایسه با استاندارد کربناتی فسیل دریایی (PDB) و استاندارد هوا ارائه گردیده است. به منظور ردیابی عنصر نیتروژن، کود سولفات آمونیوم نشاندار با غنی‌سازی ۵ اتم درصد اضافه ^{15}N در نظر گرفته شد که در سطح ۱۳۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۰/۵۴۰ گرم در گلدان) در یک مرحله (قبل از کاشت گیاه) اعمال گردید. در خصوص نحوه استفاده از کود و بازدارنده، کلیه عناصر کودی (ماکرو و میکرو) (بر اساس آزمون خاک و سطوح بحرانی) برای تمامی گلدان‌ها آماده شده و در حجم مشخصی از آب حل گردیده و بطور یکنواخت با خاک مخلوط گردید. قبل از شروع آزمایش، آنالیز شیمیایی و فیزیکی بر روی خاک گلدان‌ها انجام شد. بافت خاک لوم رسی شنی (شن: ۵۸/۶۷، سیلت: ۲۰/۱۰، رس: ۲۱/۲۳ درصد)، EC: ۰/۶۳ (dS/m)، TDS: ۳۷۵/۳ (mg/l)، pH: ۷/۷۵، N_{total}: ۰/۰۴۱ (%)، P: ۷/۸۱ (ppm)، K: ۱۲۵/۵ (ppm)، OC: ۰/۴۲ (%)، CCE: ۱۶/۰۰ (%)، CO_3: ۰/۲ (meq/l)، HCO_3: ۱/۳۳ (meq/l)، SO_4: ۲/۸۸ (meq/l)، Ca: ۵/۵۴ (meq/l)، Mg: ۴/۴۲ (meq/l)، Cl: ۱/۵۰ (meq/l)، Mn: ۲/۸۰ (ppm)، Cu: ۰/۴۰ (ppm)، Zn: ۰/۸۰ (ppm)، FC: ۱۶/۸۰ (%)، PWP: ۹/۵۳ (%)، SP: ۲۶/۷۷ (%) بود. گلدان‌ها به گنجایش ۱۳/۶ کیلوگرم خاک بود و در هر گلدان، چهار گیاه گندم پاییزه کاشته شد. پس از برداشت محصول، نمونه‌های گیاهی به اندام‌های دانه و کاه تفکیک شده و نمونه‌گیری فرعی ایزوتوپی از هر اندام صورت پذیرفت. درصد نیتروژن کل گیاه به روش کجلدال تعیین شد و نسبت ایزوتوپی $^{14}N/^{15}N$ در نمونه گیاه توسط دستگاه اسپکترومتر گسیلی NOI7 در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای (سازمان انرژی اتمی ایران) اندازه‌گیری گردید. کلیه تجزیه‌های آماری با نرم‌افزار GenStat۱۴ صورت گرفت.

نتایج و بحث:

شاخص‌های موثر در برآورد کارایی مصرف کود مشتمل بر عملکرد ماده خشک، درصد نیتروژن، برداشت نیتروژن کل، اتم درصد اضافه نیتروژن۱۵، نیتروژن مشتق شده از کود در گیاه، برداشت نیتروژن کود و کارایی مصرف کود نیتروژنی در بذر و کاه گندم به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- شاخص‌های موثر در برآورد کارایی مصرف کود نیتروژن در بذور ژنوتیپ‌های مختلف گندم تحت تیمار مختلف کودی

واریته/ لاین	تیمار کودی	DMY گرم در گلدان	وزن هزار دانه گرم	N %	NY میلی گرم در گلدان	^{15}N Excess %	NDFF %	FNY میلی گرم در گلدان	NUE %
G۱	N	۵/۲۷^{D}	۲۸/۰^{G}	۲/۰^{G}	۱۰۶^{E}	۰/۰۰۰^{F}	۰/۰^{F}	۰^{E}	۰/۰۰^{E}
	F	۵/۵۹^{D}	۳۰/۲^{FG}	۲/۲^{FG}	۱۲۳^{E}	۳/۲۶۵^{DE}	۷۰/۵^{DE}	۸۷^{AB}	۹/۴۶^{D}
	D	۶/۲۴^{CD}	۳۱/۱^{EFG}	۲/۳^{FG}	۱۴۳^{E}	۳/۴۰۵^{ABC}	۷۳/۵^{ABC}	۱۰۶^{A}	۱۱/۴۹^{D}
G۲	N	۵/۳۹^{D}	۳۱/۹^{DEFG}	۲/۴^{EFG}	۱۳۲^{E}	۰/۰۰۰^{F}	۰/۰^{F}	۰^{E}	۰/۰۰^{E}
	F	۶/۳۷^{CD}	۳۲/۶^{CDEFG}	۲/۷^{DEFG}	۱۷۱^{DE}	۳/۲۳۹^{E}	۶۹/۹^{E}	۱۱۹^{D}	۱۳/۰۰^{CD}
	D	۷/۳۶^{BCD}	۳۳/۸^{BCDEFG}	۲/۹^{CDEF}	۲۱۳^{CDE}	۳/۳۶۶^{BCD}	۷۲/۶^{BCD}	۱۵۵^{D}	۱۶/۸۳^{CD}
G۳	N	۸/۹۶^{ABC}	۳۴/۳^{ABCDEFG}	۳/۰^{CDE}	۲۷۳^{BCDE}	۰/۰۰۰^{F}	۰/۰^{F}	۰^{E}	۰/۰۰^{E}
	F	۹/۸۷^{AB}	۳۵/۰^{ABCDEF}	۳/۲^{BCD}	۳۱۵^{ABCD}	۳/۲۹۴^{CDE}	۷۱/۱^{CDE}	۲۲۴^{BC}	۲۴/۴۲^{BC}
	D	۱۰/۸۱^{A}	۳۶/۹^{ABCDE}	۳/۵^{ABC}	۳۸۱^{ABC}	۳/۳۶۲^{BCD}	۷۲/۵^{BCD}	۲۷۷^{AB}	۳۰/۱۳^{AB}
G۴	N	۱۰/۱۳^{A}	۳۸/۵^{ABC}	۳/۷^{AB}	۳۸۰^{ABC}	۰/۰۰۰^{F}	۰/۰^{F}	۰^{E}	۰/۰۰^{E}
	F	۱۰/۹۹^{CD}	۴۰/۶^{A}	۴/۰^{A}	۴۴۱^{AB}	۳/۴۵۱^{AB}	۷۴/۵^{AB}	۳۲۸^{AB}	۳۵/۷۳^{AB}
	D	۱۰/۹۹^{A}	۴۰/۰^{AB}	۴/۰^{A}	۴۴۳^{A}	۳/۵۱۰^{A}	۷۵/۷^{A}	۳۳۶^{A}	۳۶/۵۹^{A}
G۵	N	۱۱/۵۰^{A}	۴۰/۴^{A}	۳/۹^{A}	۴۵۱^{A}	۰/۰۰۰^{F}	۰/۰^{F}	۰^{E}	۰/۰۰^{E}
	F	۱۰/۴۶^{A}	۳۷/۴^{ABCD}	۳/۷^{AB}	۳۹۰^{AB}	۳/۳۸۴^{BC}	۷۳/۰^{BC}	۲۸۵^{AB}	۳۱/۰۳^{AB}
	D	۱۰/۷۱^{A}	۳۸/۱^{ABCD}	۳/۸^{AB}	۴۰۶^{AB}	۳/۴۵۴^{AB}	۷۴/۵^{AB}	۳۰۳^{AB}	۳۲/۹۹^{AB}

- حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ (از طریق آزمون دانکن) است.
- تیمار کودی: N= بدون مصرف کود، F= سولفات آمونیوم نشاندار، D= سولفات آمونیوم نشاندار بعلاوه بازدارنده DMPP
- DMY= عملکرد ماده خشک، NY= برداشت نیتروژن کل، ^{15}N excess= اتم درصد اضافه نیتروژن۱۵ NDFF= نیتروژن مشتق شده از کود نشاندار در گیاه، FNY= برداشت نیتروژن کود، NUE= راندمان مصرف کود نیتروژنی

تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های G۴ و G۵ با مقادیر شاخص تبعیض ایزوتوپی کوچکتر (به ترتیب ۰/۵۴- و ۳/۴۰-) بیشترین میزان تولید بذر، کاه و وزن هزار دانه را به خود اختصاص داده‌اند. تیمار G۵ با تولید ۱۰/۸۹ گرم بذر و ۳۹/۹۰ گرم کاه بیشترین مقدار تولید زیست‌توده گیاهی را به خود اختصاص داد. از سوی دیگر تیمارهای G۱ و G۲ نیز با میانگین تولید ۶/۰۴ گرم بذر و ۲۸/۹۷ گرم کاه کمترین مقدار را شامل گردیده و در گروه آماری انتهایی قرار گرفت. در خصوص وزن هزار دانه تیمارهای G۴ و G۵ با میانگین ۳۹/۱۷ گرم در گروه اول و تیمارهای G۲ و G۳ با میانگین ۳۴/۱۱ گرم در گروه دوم و تیمار G۱ با مقدار ۲۹/۷۶ گرم در گروه سوم آماری قرار گرفت. در رابطه با درصد نیتروژن بذر گندم تیمارهای G۴ و G۵ بیشترین درصد نیتروژن را به خود اختصاص داده (۳/۸۵٪) و پس از آن تیمار های G۱، G۲ و G۳ در سه گروه آماری متفاوت قرار گرفتند. علی رغم وجود تفاوت معنی‌دار درصد نیتروژن بذر، در خصوص درصد نیتروژن کاه، تفاوت معنی‌داری ملاحظه نگردید. به نظر می‌رسد در تیمارهای G۴ و G۵ با توجه به شاخص تبعیض ایزوتوپی ^{13}C پایین‌تر و کارایی بیشتر آن‌ها در تامین عناصر غذایی افزایش درصد نیتروژن در بذر این تیمارها توجیه پذیر باشد. بیشترین مقدار اتم درصد نیتروژن۱۵ در دانه و کاه تیمار G۴ به ترتیب ۳/۴۸۰ و ۳/۴۹۳ درصد و کمترین مقدار نیز در تیمار G۲ به میزان ۳/۳۰۲ و ۳/۱۶۴ اتم درصد ملاحظه گردید. درخصوص درصد نیتروژن مشتق شده از کود (NDFF) در سطح احتمال یک درصد، تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی و اثرات متقابل آن‌ها در بذر گندم ملاحظه شده است.

جدول ۲- شاخص‌های موثر در برآورد کارایی مصرف کود نیتروژن در کاه ژنوتیپ‌های مختلف گندم تحت تیمار مختلف کودی

واریته/ لاین	تیمار کودی	DMY گرم کاه در گلدان	DMY گرم عملکرد بیولوژیکی کل* در گلدان	N %	NY میلی گرم در گلدان	^{15}N Excess %	NDFF %	FNY میلی گرم در گلدان	NUE کاه %	NUE کل %
G۱	N	۳۴/۰۸^{CDE}	۳۹/۳^{EF}	۰/۹۰^{A}	۳۰۳^{A}	۰/۰۰۰^{E}	۰/۰۰^{E}	۰^{E}	۰/۰۰^{C}	۰/۰^{C}
	F	۳۳/۶۰^{CDE}	۳۹/۲^{EF}	۱/۰۹^{A}	۳۵۶^{A}	۳/۰۸۳^{CD}	۶۶/۵۴^{CD}	۲۳۹^{BC}	۲۵/۹۴^{AB}	۳۵/۴۶^{AB}
	D	۳۶/۰۰^{CDE}	۴۲/۲^{DE}	۱/۱۳^{A}	۴۰۷^{A}	۳/۴۴۵^{AB}	۷۴/۳۵^{AB}	۳۰۰^{AB}	۳۲/۷۰^{AB}	۴۴/۱۹^{AB}
G۲	N	۲۶/۵۷^{F}	۳۲/۰^{G}	۱/۱۷^{A}	۳۰۸^{A}	۰/۰۰۰^{E}	۰/۰۰^{E}	۰^{E}	۰/۰۰^{C}	۰/۰^{C}
	F	۲۴/۴۴^{F}	۳۰/۸^{G}	۱/۱۹^{A}	۲۹۹^{A}	۲/۹۲۰^{D}	۶۳/۰۲^{D}	۱۹۰^{D}	۲۰/۷۰^{B}	۳۳/۷۰^{B}
	D	۲۶/۷۵^{F}	۳۴/۱^{FG}	۱/۱۵^{A}	۳۱۱^{A}	۳/۴۰۸^{AB}	۷۳/۵۴^{AB}	۲۳۰^{BC}	۲۵/۰۹^{AB}	۴۱/۹۲^{AB}
G۳	N	۳۰/۱۷^{DEF}	۳۹/۱^{EF}	۱/۰۴^{A}	۳۱۴^{A}	۰/۰۰۰^{E}	۰/۰۰^{E}	۰^{E}	۰/۰۰^{C}	۰/۰^{C}
	F	۲۹/۵۸^{EF}	۳۹/۵^{EF}	۰/۸۹^{A}	۲۶۸^{A}	۳/۱۹۴^{BCD}	۶۸/۹۳^{BCD}	۱۸۵^{D}	۲۰/۲۰^{B}	۴۴/۶۲^{AB}
	D	۳۶/۳۳^{CD}	۴۷/۱^{CD}	۰/۹۱^{A}	۳۳۵^{A}	۳/۳۲۸^{ABC}	۷۱/۸۱^{ABC}	۲۳۸^{BC}	۲۵/۹^{AB}	۵۶/۰۷^{AB}
G۴	N	۳۶/۴۲^{BCD}	۴۶/۵^{CD}	۰/۹۹^{A}	۳۶۰^{A}	۰/۰۰۰^{E}	۰/۰۰^{E}	۰^{E}	۰/۰۰^{C}	۰/۰^{C}
	F	۳۶/۴۰^{BCD}	۴۷/۴^{CD}	۰/۹۱^{A}	۳۳۲^{A}	۳/۴۶۳^{AB}	۷۴/۷۳^{AB}	۲۴۹^{BC}	۲۷/۰۷^{AB}	۶۲/۸۱^{AB}
	D	۴۳/۳۹^{A}	۵۴/۴^{A}	۱/۱۲^{A}	۴۷۵^{A}	۳/۵۲۴^{A}	۷۶/۰۴^{A}	۳۶۰^{A}	۳۹/۲۶^{A}	۷۵/۸۵^{A}
G۵	N	۳۷/۱۶^{ABC}	۴۸/۷^{BC}	۰/۹۵^{A}	۳۵۲^{A}	۰/۰۰۰^{E}	۰/۰۰^{E}	۰^{E}	۰/۰۰^{C}	۰/۰^{C}
	F	۳۹/۶۵^{ABC}	۵۰/۱^{ABC}	۱/۱۱^{A}	۴۴۷^{A}	۳/۳۳۷^{ABC}	۷۲/۰۲^{ABC}	۳۲۲^{AB}	۳۵/۰۴^{AB}	۶۶/۰۸^{AB}
	D	۴۲/۸۸^{AB}	۵۳/۶^{AB}	۱/۲۰^{A}	۵۱۲^{A}	۳/۴۲۸^{AB}	۷۳/۹۷^{AB}	۳۷۹^{A}	۴۱/۲۴^{A}	۷۴/۲۴^{AB}

- حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ (از طریق آزمون دانکن) است.
- تیمار کودی: N= بدون مصرف کود، F= سولفات آمونیوم نشاندار، D= سولفات آمونیوم نشاندار بعلاوه بازدارنده DMPP
- DMY= عملکرد ماده خشک، NY= برداشت نیتروژن کل، ^{15}N excess= اتم درصد اضافه نیتروژن۱۵ NDFF= نیتروژن مشتق شده از کود نشاندار، FNY= برداشت نیتروژن کود، NUE= راندمان مصرف کود

*عملکرد بیولوژیکی کل= مجموع دانه بعلاوه کاه

بدین ترتیب تیمارهای G۴ و G۵ با میانگین ۷۴/۴۴ درصد بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده و تیمار G۲ با ۷۱/۲۶ درصد در گروه آخر قرار گرفت. به نظر می‌رسد ژنوتیپ‌های با شاخص تبعیض ایزوتوپی پایین‌تر، به دلیل سیستم ریشه‌ای توسعه یافته‌تر و سطح جذب گسترده‌تر آب توانسته‌اند درصد بیشتری از عناصر کودی را در مرحله دانه‌بندی جذب نمایند. الگوی اشاره شده در مورد کاه نیز صادق بوده بطوریکه بیشترین مقدار کارایی مصرف کود در تیمار G۴ به میزان ۷۵/۳۸ درصد و کمترین مقدار نیز در تیمار G۲ به میزان ۶۸/۲۸ درصد ملاحظه شد. کلیه فرایندهای ذکر شده سبب گردیده تا کارایی مصرف کود نیتروژنی در بذر گندم در تیمارهای G۱ تا G۵ به ترتیب ۱۰/۴۷، ۱۴/۹۱، ۲۷/۲۸، ۳۲/۰۱ و۳۶/۱۶ درصد ملاحظه شود. در خصوص کاه با توجه به مدت زمان رویش طولانی‌تر آن، مقادیر فوق در تیمارهایG۱ تا G۵ به ترتیب ۲۹/۳۵، ۲۲/۹۰، ۲۳/۰۷، ۳۳/۱۷ و ۳۸/۱۴ درصد ملاحظه شد. در رابطه با کارایی مصرف نیتروژن در کل گیاه گندم، تیمارهای G۵ و G۴ با میانگین ۶۹/۷۵ درصد بیشترین کارایی مصرف کود نیتروژنی را به خود اختصاص داده و تیمارهای G۳، G۱ و G۲ با مقادیر ۵۰/۳۴ ، ۳۹/۸۲ و ۳۷/۸۱ درصد در گروه‌های آماری بعدی قرار گرفتند. به نظر می‌رسد توسعه

سیستم ریشه‌ای کارآمدتر در تیمارهای با شاخص تبعیض ایزوتوپی کربن پایین، جدا از افزایش توانمندی مقابله با شرایط تنش رطوبتی، توانسته کارایی مصرف کود نیتروژنی ر ا نیز به میزان ۳۲/۳۵ درصد افزایش دهد.

در رابطه با بررسی اثر بازدارنده نیتریفیکاسیون در میزان تولید بذر گندم، این تیمار توانسته در سطح احتمال ۵ درصد با تولید ۹/۲۲ گرم بذر در هر گلدان در گروه اول قرار گیرد و پس از آن تیمارهای کودی (F) و بدون کود (N) نیز با مقادیر تولید ۸/۶۶ و ۸/۲۵ گرم بذر در گروه‌های آماری دوم و سوم قرار گیرند. فرایند فوق در خصوص تولید کاه گندم نیز یکسان بوده و تیمار DMPP توانسته با تولید ۴۶/۲۹ گرم کاه گندم در هر گلدان در گروه اول قرار گیرد و تیمارهای کودی و بدون کود نیز با میانگین ۴۱/۳۹ و ۴۱/۱۳ گرم در گروه دوم قرار گیرند. در خصوص وزن هزار دانه، کاربرد بازدارنده نیتریفیکاسیون تاثیر معنی‌داری در این خصوص نداشته و کلیه تیمارها از این نظر معنی‌دار نبودند. به نظر می‌رسد تاخیر در آزادسازی نیترات از منابع کودی سبب گردیده در تیمارهای فوق درصد نیتروژن موجود در دانه گندم تفاوت معنی‌دار داشته باشد. بصورتیکه تیمار بازدارنده (D) با میانگین ۳/۲۹ درصد در گروه اول، تیمار کودی (F) با میانگین ۳/۱۶ درصد در گروه دوم و تیمار بدون کود (N) نیز با میانگین ۳/۰۲ درصد در گروه سوم قرار گیرد. شایان ذکر است که درخصوص کاه تفاوت معنی‌دار در رابطه با درصد نیتروژن ملاحظه نگردید. در این راستا کاربرد بازدارنده نیتریفیکاسیون منجر شد تا ۷۳/۸ درصد از نیتروژن موجود در بذر گیاه (Ndff) از کود نشاندار مشتق گردد. این در حالی است که در شرایط بدون کاربرد بازدارنده ۷۱/۸ درصد از نیتروژن موجود در گیاه از کود مشتق گردیده است. به عبارت دیگر اثر تاخیری آزادسازی نیترات بواسطه کاربرد بازدارنده سبب گردیده است تا در مرحله دانه‌بندی، منابع نیتروژنی کود سهم بیشتری را در رابطه با تغذیه گیاه گندم ایفا نمایند. این فرایند در خصوص کاه گیاه نیز معنی‌دار بوده و تیمارهای D و F به ترتیب با مقادیر ۷۳/۹۴ و ۶۹/۰۵ درصد در دو گروه آماری متفاوت قرار گرفته‌اند.

در خصوص تاثیر بازدارنده نیتریفیکاسیون در کارایی مصرف کود در تیمارهای D و F با مقادیر ۲۵/۶۱ و ۲۲/۷۳ درصد در دو گروه آماری متفاوت قرار گرفته‌اند. بدین ترتیب کاربرد DMPP توانسته است سه درصد کارایی مصرف کود را در بذر گندم افزایش دهد. این امر در رابطه با کاه نیز معنی‌دار بوده و کارایی مصرف کود نیتروژنی در تیمارهای D و F به ترتیب ۳۲/۸ و ۲۵/۸ درصد ملاحظه شده است. در رابطه با کارایی مصرف کل کود نیتروژنی (صرفه‌نظر از ژنوتیپ‌های مختلف گندم) کاربرد بازدارنده DMPP سبب گردیده تا کارایی مصرف نیتروژن از ۴۸/۵ درصد در تیمار کودی به ۵۸/۵ درصد در تیمار DMPP افزایش یابد. لذا کاربرد بازدارنده در مجموع توانسته ده درصد کارایی مصرف کود نیتروژنی را بهبود بخشد. در خصوص اثرات متقابل ژنوتیپ در بازدارنده نیتریفیکاسیون، بیشترین میزان تولید دانه در تیمار G۵ بدون کاربرد کود و به میزان ۱۱/۵۰گرم در هر گلدان و کمترین مقدار نیز در تیمار G۱ بدون کاربرد کود به مقدار ۵/۲۷ گرم ملاحظه شد (جدول ۱). در خصوص مجموع زیست‌توده گیاهی بیشترین میزان آن در تیمار G۴ تحت اثر بازدارنده (۵۴/۴ گرم در هر گلدان) و کمترین مقدار نیز در تیمار G۲ تحت تیمار کودی (۲۴/۴۴ گرم) در هر گلدان ملاحظه شده است (جدول ۲). به نظر می‌رسد در تیمارهای کودی به واسطه اثرات سمیت کود در مراحل ابتدایی رشد گیاه، میزان محصول به کمینه خود رسیده باشد. در رابطه با وزن هزار دانه، تیمار کودی در ژنوتیپ G۴ و تیمار بدون کود در ژنوتیپ G۵ با میانگین

۴۰/۵ گرم بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده و ژنوتیپ G۱ بدون کاربرد کود نیز با مقدار ۲۸/۰ گرم کمترین مقدار را شامل گردیده است.

نتیجه‌گیری:

نتایج این بررسی نشان داد که ژنوتیپ‌های گندم دیم با Δ پایین‌تر، همبستگی منفی و معنی‌دار با میزان تولید بذر، عملکرد بیولوژیکی کل، وزن هزار دانه، درصد نیتروژن کل، درصد نیتروژن مشتق شده از کود نشاندار (Ndff) و کارایی مصرف کود نیتروژنی (NUE) از خود نشان دادند. کاربرد DMPP باعث شده تا کارایی مصرف کود در بذر به میزان سه درصد و در کاه و کلش به میزان هفت درصد (جمعا به میزان ۱۰ درصد) در گیاه گندم افزایش یابد. به بیان دیگر تاخیر در آزادسازی نیترات بواسطه کاربرد بازدارنده DMPP سبب گردیده تا در مرحله دانه‌بندی، منابع نیتروژنی کود، سهم بیشتری را در تغذیه گیاه گندم ایفا نماید. این امر باعث شده تا میزان تولید بذر، عملکرد بیولوژیکی و درصد نیتروژن در تیمار DMPP افزایش یابد و غلظت نیتروژن نیتراتی در خاک به میزان ۴۴ درصد کاهش و متعاقبا غلظت نیتروژن آمونیومی به میزان ۱۴۵/۱۵ میلی گرم در هر گلدان افزایش نشان دهد.

مراجع:

P
1. D. Fraters, L. J. M. Boumans, G. van Drecht, T. de Haan, and W. D. de Hoop, "*Nitrogen monitoring in groundwater in the sandy regions of the Netherlands.* Environmental Pollution". 102(1, Supplement 1), 479-485 (1998).
2. Q. R. Shen, W. Ran, and Z. H. Cao, "*Mechanisms of nitrite accumulation occurring in soil nitrification.* Chemosphere". 50(6), 747-753 (2003).
3. J. A. Camargo and Á. Alonso, "*Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment.* Environment International". 32(6), 831-849 (2006).
4. W. Zerulla, T. Barth, J. Dressel, K. Erhardt, K. Horchler von Locquenghien, G. Pasda, M. Rädle, and A. Wissemeier, "*3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) – a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture.* Biology and Fertility of Soils". 34(2), 79-84 (2001).
5. A. Amberger, "*Research on dicyandiamide as a nitrification inhibitor and future outlook.* Communications in Soil Science & Plant Analysis". 20(19-20), 1933-1955 (1989).
6. D. Chen, H. C. Suter, A. Islam, and R. Edis, "*Influence of nitrification inhibitors on nitrification and nitrous oxide (N2O) emission from a clay loam soil fertilized with urea.* Soil Biology and Biochemistry". 42(4), 660-664 (2010).
7. C. Xu, L.-h. Wu, X.-t. Ju, and F.-s. Zhang, "*Role of nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) in NO₃⁻-N accumulation in*

greengrocery (Brassica campestris L. Ssp. Chinensis) and vegetable soil. Journal of Environmental Sciences". 17(1), 81-83 (2005).

8. L. W, G. R, and S. U, "*Nitrous oxide emission from soil and from a nitrogen-15-labelled fertilizer with the new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP).* Biology and Fertility of Soils". 34(2), 103-108 (2001).
9. Q. Yu, X. Ye, Y. Chen, Z. Zhang, and G. Tian, "*Influences of nitrification inhibitor 3,4-dimethyl pyrazole phosphate on nitrogen and soil salt-ion leaching.* Journal of Environmental Sciences". 20(3), 304-308 (2008).
10. H. Li, X. Liang, Y. Chen, Y. Lian, G. Tian, and W. Ni, "*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(2), 149-155 (2008).