بررسی کارایی DMPP در بازدارندگی نیتریفیکاسیون تحت سطوح مختلف کاه گندم با استفاده از ردیاب ایزوتوپی ^{15}N

میراحمد موسوی شلمانی[1]، امیر لکزیان، رضا خراسانی، کاظم خاوازی و سید محمود محاطی

استادیار پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران؛ amoosavi@nrcm.org

استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ alakzian@ferdowsi.um.ac.ir

دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ khorasani@ferdowsi.um.ac.ir

عضو هیأت علمی، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ kkhavazi@yahoo.com

عضو هیأت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران؛ mmohati@nrcam.org

دریافت: 95/4/27 و پذیرش: 95/9/17

چکیده

با توجه به لزوم افزایش مواد آلی در اراضی کشاورزی (از طریق برگرداندن بقایای محصولات زراعی به خاک) و انجام فرایند غیرمتحرک شدن نیتروژن و کمبود موقتی منابع نیتروژنی، تحقیق و پژوهش در رابطه با افزایش بهره‌مندی هر چه بیشتر از این منابع امری بدیهی خواهد بود. در این راستا به منظور بررسی اثرات بازدارنده DMPP تحت سطوح مختلف کاه گندم و پاسخ آن در تجمع نیترات و آمونیوم در خاک و افزایش عملکرد و کارایی مصرف کود در گندم، آزمایش گلخانه‌ای در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با آرایش فاکتوریل شامل سه سطح کاه گندم (صفر، پنج و ده تن کاه در هکتار) و فاکتور دوم در سه سطح بدون کود، کود سولفات آمونیوم نشاندار و کود سولفات آمونیوم نشاندار به همراه DMPP در سه تکرار و در طی دو سال زراعی (1393 و 1394) انجام شد. نتایج موید این مطلب بود که با استفاده از بازدارنده DMPP می‌توان تبدیل آمونیوم به نیترات را حدود یک ماه و نیم به تأخیر انداخت. کاربرد کاه گندم در تیمار بدون بازدارنده منجر شد تا میزان عملکرد و کارایی مصرف کود کاهش یابد. افزودن DMPP به کود سولفات آمونیوم روند فوق را تغییر داد و سبب شد تا عملکرد افزایش یافته و کارایی مصرف کود نیز سیر صعودی پیدا نماید. با افزایش بازدارنده (DMPP) غلظت آمونیوم مشتق شده از کود در خاک افزایش یافته و ریزجانداران تجزیه‌گر با منبع تغذیه‌ای آمونیومی مواجه شده‌اند. با توجه به ترجیح جذب آمونیوم به نیترات جهت تغذیه این موجودات، به نظر می‌رسد حضور مقادیر زیادی از آمونیوم، رشد آنان را تحت تأثیر قرار داده و لذا از رقابت با گیاه کاسته می‌گردد. بدین ترتیب برآیند فرایند فوق به نفع گیاه تمام‌شده و روند کاهش عملکرد و کارایی مصرف کود (به‌واسطه غیرمتحرک شدن نیتروژن) تا حدودی خنثی (و یا تعدیل) گردیده است.

واژه‌های کلیدی: 3و4-دی‌متیل‌پیرازول‌فسفات، آمونیوم، کارایی مصرف کود، کلش، نیترات، نیتروژن 15

[1] نویسنده مسئول، آدرس: کرج، انتهای رجایی شهر، بلوار موذن، بلوار مرکز تحقیقات هسته‌ای، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، صندوق پستی 498-31485

مقدمه

یکی از راه‌های ممکن، ارزان و قابل‌اجرا برای افزایش مواد آلی در اراضی کشاورزی، برگرداندن بقایای محصولات زراعی به خاک است. کشاورزان اکثراً کاه و کلش غلات را به علت قیمت بالای آن همراه با دانه برداشت و در معرض فروش قرار می‌دهند. این در حالی است که در کشورهای پیشرفته برای بهبود وضعیت فیزیکی و حاصلخیزی خاک، معمولا بخشی از کاه و کلش حاصل از برداشت با کمباین (بعد از جدا کردن دانه) به زمین برگردانده می‌شود (فیضی‌اصل، 1393). از سوی دیگر پس از اضافه نمودن مواد آلی با نسبت C/N بالا، فرایند غیرمتحرک شدن نیتروژن[1] رخ می‌دهد. این امر باعث می‌گردد تا گیاه با کمبود موقتی منابع نیتروژنی مواجه گردد. در حقیقت نسبت کربن به نیتروژن خاک در نتیجه کاربرد کاه گندم در خاک افزایش یافته و در پی آن، افزایش جمعیت ریزجانداران واکافت‌گر (تجزیه‌گر) ترکیبات کربن‌دار (که برای دریافت نیتروژن خاک با ریشه گیاه رقابت می‌کنند) به کاهش نیتروژن دریافتی گیاه می‌انجامد.

یکی از راهکارهای مؤثر در افزایش بهره‌وری منابع کودی، استفاده از بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون گزارش شده است (عباسی و آدامز، 2000؛ مراح و همکاران، 2001؛ دکامپو و همکارن، 1998). در حقیقت بازدارنده‌ها ترکیباتی هستند که اکسیداسیون زیستی آمونیوم به نیتریت را بدون تأثیر بر اکسیداسیون نیتریت به نیترات به تأخیر می‌اندازند (لی و همکاران، 2008). این امر به‌واسطه جلوگیری و یا دخالت در سوخت‌وساز باکتری‌های مؤثر در نیتریت‌زایی (از قبیل باکتری نیتروزوموناس[2]) صورت می‌گیرد (کیانی، 1389). تاکنون انواع متعددی از بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون به بازار عرضه شده است. برخی از انواع بازدارنده‌ها از قبیل نیتراپیرین و DCD به‌طور وسیع در دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما برخی دیگر مثل 3 و 4-دی متیل‌پیرازول‌فسفات[3] (DMPP) در سال‌های اخیر وارد بازار شده و هنوز در سطح گسترده مورد بهره‌برداری قرار نگرفته‌اند (کیانی، 1389).

به طور عموم پس از کاربرد بازدارنده نیتریفیکاسیون، تبدیل آمونیوم به نیترات به مدت چند هفته با تأخیر مواجه می‌شود. غلظت آمونیوم مشتق شده از کود در خاک افزایش یافته و ریزجانداران تجزیه‌گر با منبع تغذیه‌ای آمونیوم مواجه گردیده که می‌تواند به‌منظور رشد آنان مورد استفاده قرار گیرد. برخی مطالعات نشان داده‌اند که جهت تغذیه ریزجانداران، جذب آمونیوم به نیترات ترجیح داده می‌شود (علی‌اصغرزاده، 1385). زیرا برای شرکت در ساختمان اسیدهای آمینه، حالت احیاء شده آن بیشتر مورد نیاز است. به بیان دیگر حتی مقادیر کم یون آمونیوم برای آنزیم‌های احیاکننده نیترات بازدارنده خواهد بود. لذا به نظر می‌رسد حضور مقادیر زیادی از آمونیوم، رشد ریزجانداران تجزیه‌گر را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه از رقابت این جانداران با گیاه کاسته می‌گردد. برآیند همکنش فوق به نفع گیاه تمام‌شده و روند کاهش عملکرد و کارایی مصرف کود (به‌واسطه غیرمتحرک شدن نیتروژن) تا حدودی خنثی (و یا تعدیل) می‌گردد. این در حالی است که برنان و همکاران (2014) در مقایسه سامانه‌های مدیریتی بقایای گیاهی گزارش نمودند که افزایش کاه و کلش گندم به خاک کمترین تأثیر را در عملکرد گندم در آب و هوای سرد کشتزارهای آتلانتیک داشته است. از سوی دیگر استاگناری و همکاران (2014) در بررسی تأثیر کاه گندم به‌صورت مالچ در تولید گندم دوروم در آب و هوای مدیترانه‌ای گزارش نمودند که با افزایش سطح کاه، تعداد سنبله گیاه افزایش یافته است. سو و همکاران (2014) در بررسی اثر کاه برنج در عملکرد و کارایی مصرف کود نیتروژنی در کلزا زمستانی گزارش نمودند که افزودن کاه باعث می‌گردد تا محصول خشک و جذب نیتروژن در مرحله گیاهچه‌ای افزایش یابد. پس‌ازاین مرحله، تأثیر کاه برنج کاهش یافته است. نتایج همچنین نشان داد که افزایش سطح کاه باعث افزایش میزان تصاعد گاز آمونیاک گردیده است. لی و همکاران (2014) در خصوص تأثیر کاه گندم در افزایش تصاعد گاز N_2O همبستگی معنی‌داری را گزارش ننمودند.

در بررسی نقش مواد آلی در فرایند نیتریفیکاسیون و تأثیر خاک‌های مختلف در آبشویی نیتروژن و بهبود کارایی مصرف آن، محمود و همکاران (2011) تأثیر سطوح مختلف کاه گندم را در تناوب (گندم، پنبه و ذرت) تحت تأثیر DCD و با استفاده از کودهای نیتروژنی نشاندار ^{15}N در خاک قلیایی آهکی در آب‌وهوای گرم مورد بررسی قرار دادند. ایشان گزارش نمودند که کاربرد سطوح زیاد از کاه، باعث می‌شود تا محصول ماده خشک و برداشت نیتروژن کل در گیاه پنبه افزایش یابد که این امر به‌واسطه اضافه شدن منبع ثانویه نیتروژن در کنار منبع کودی خواهد بود. ایچیر و همکاران (2003) در بررسی بازیافت بقایای

---

[1]. تثبیت ازت از فرم معدنی به فرم آلی را غیرمتحرک شدن نیتروژن (N-Immobilization) گویند.

[2]. Nitrosomonas

[3]. 3,4-Dimethylpyrazole Phosphate (DMPP)

گندم نشاندار شده با ^{15}N و اثرات بقایای کود نیتروژن در سیستم تناوبی گندم- گندم با کاربرد 85 کیلوگرم نیتروژن در هکتار (9/764 اتم درصد اضافی[1]) دریافتند که بازیافت نیتروژن کود توسط گندم در سال اول 33/1 درصد و میزان آن در عمق 80-0 سانتی‌متری خاک 64/8 درصد بود. بازیافت بقایای کود نیتروژن نشاندار شده توسط محصول گندم در سال بعدی در صورت برگرداندن بقایای گندم 7/4 درصد و در غیر این صورت 6/4 درصد بود. آن‌ها دلیل احتمالی برای این بازیافت پائین را توسط گیاه غیرمتحرک شدن نیتروژن کود عنوان کردند. سان‌فرانسیسکو و همکاران (2011) در بررسی تأثیر DCD در خاک‌های مختلف، تحت سطوح مختلف مالچ گندم به این نتیجه دست یافتند که حضور بقایای آلی در سطح خاک تحت تیمار کودی اوره، تصاعد گاز آمونیاک را افزایش می‌دهد و این امر خصوصاً در خاک‌های شنی بیشتر از خاک‌های رسی ملاحظه می‌شود. همچنین کاربرد DCD تأثیر معنی‌داری در کاهش تصاعد گاز آمونیاک در خاک‌های شخم نخورده نخواهد داشت.

همانطور که ملاحظه می‌گردد در سطح جهانی در بیست‌وپنج سال گذشته تحقیقات گسترده در خصوص کاربرد طیف وسیعی از بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون صورت گرفته است. ازجمله فعالیت‌های تحقیقاتی که در رابطه با آن، مورد خاصی گزارش نشده است می‌توان به تأثیر بازدارنده نیتریفیکاسیون DMPP تحت سطوح مختلف کاه گندم در افزایش میزان عملکرد و کارایی مصرف کود نیتروژنی در گیاه گندم اشاره نمود. تأخیر در فرآیند تبدیل آمونیوم به نیترات (به‌واسطه کاربرد بازدارنده نیترات‌ساز DMPP) ممکن است دو رویکرد به همراه داشته باشد. در رویکرد اول، جذب ترجیحی منبع تغذیه‌ای آمونیوم توسط ریزجانداران تجزیه‌گر و رقابت آن با گیاه ممکن است سبب تشدید و یا تضعیف فرایند غیر متحرک شدن نیتروژن شود. درنتیجه بواسطه حضور مقادیر زیادی از آمونیوم، رشد ریزجانداران تجزیه‌گر تحت تأثیر قرار گرفته و ممکن است از رقابت این جانداران با گیاه کاسته شود. بدیهی است که نتیجه نهایی فرایند فوق تغییر در درصد جذب نیتروژن از منبع کود و در نهایت افزایش و یا کاهش کارایی مصرف کود نیتروژنی خواهد بود. در رویکرد دوم، مدت زمان بازدارندگی تبدیل آمونیوم به نیترات مدنظر خواهد بود. در دیم‌زارهای مناطق سرد و نیمه سرد شمال غرب ایران، کاشت گندم در مهر ماه صورت می‌گیرد. به دلیل کاهش عملیات خاک‌ورزی و متعاقباً کاهش هزینه‌های کارگری، مصرف کودهای نیتروژنی نیز هم‌زمان با کاشت بذور انجام می‌شود (فیضی‌اصل و همکاران، 1393). درصورتی‌که بتوان با استفاده از بازدارنده نیتریفیکاسیون DMPP تبدیل آمونیوم به نیترات را دو ماه به تأخیر انداخت، به دلیل دمای پائین هوا در آذرماه[2]، فرایند نیتریفیکاسیون بطور طبیعی کاهش یافته و تبدیل آمونیوم به نیترات به سطح کمینه خواهد رسید. بدین ترتیب به دلیل عدم نیاز گندم به منابع کودی در زمستان، یون‌های آمونیوم تا پایان یخبندان زمستانی در خاک باقی مانده و با شروع فصل گرما در اختیار گیاه قرار می‌گیرند. لذا به نظر می‌رسد مدت زمان کافی جهت تجزیه کاه و کلش در خاک فراهم خواهد بود.

در این بررسی سعی بر این است تا با توجه به فرضیه پژوهش، مبتنی بر تأثیر بقایای گیاهی در غیرمتحرک شدن نیتروژن (حاصل از اختلاط کاه گندم و خاک) و با نظر به هر دو رویکرد، تاثیر بازدارنده نیتریفیکاسیونDMPP تحت سطوح مختلف کاه گندم مورد بررسی قرار گیرد. از آنجا که تمامی ریزجانداران تولیدکننده نیترات، شیمیولیتوتروف[3] می‌باشند، علی‌رغم نقش‌های متعدد مواد آلی در بهبود روند تغذیه‌ای گیاه، حضور مواد آلی کربنی، ممکن است باعث تأثیر منفی در فرایند نیتریفیکاسیون شود. لذا سعی بر این است تا به این سوال پاسخ داده شود که در چه سطحی از کاه گندم، بازدارنده نیتریفیکاسیون DMPP بیشترین پاسخ را به بهبود عملکرد و یا افزایش کارایی مصرف کود خواهد داشت؟

مواد و روش‌ها

آزمایش گلخانه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی(RCBD) به‌صورت فاکتوریل در سه تکرار و در طی سال‌های 1393 و 1394 طی دو سال متوالی در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای (مجموعه گلخانه‌های پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای-کرج) به اجرا درآمد. آزمون در هر سال بصورت کاملاً مستقل انجام شد و در شروع هر سال گلدان‌ها تخلیه و دوباره پر گردید. فاکتور اول در سه سطح شامل سطوح مختلف کاه گندم (بدون کاه (S0)، پنج تن کاه در هکتار (S1)، ده تن کاه در هکتار

[1]. کمیت ایزوتوپ‌های پایدار در یک نمونه، بر حسب واحد اتم درصد اضافه، نسبت به فراوانی طبیعی آن گزارش می‌شود.

[2]. بر اساس آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی مراغه

[3]. گروهی از ریزجانداران که قادر هستند در زنجیره انتقال الکترون از عناصر معدنی (نظیر نیتروژن) به عنوان پایانه گیرنده الکترون استفاده کنند (Chemiolithotroph).

(S2)) و فاکتور دوم در سه سطح بدون کود (N)، کود سولفات آمونیوم[1] نشاندار ^{15}N (F) کود سولفات آمونیوم نشاندار ^{15}N + بازدارنده نیتریفیکاسیون DMPP (D) در نظر گرفته شد. جهت ردیابی نیتروژن از فناوری نشاندارسازی مضاعف (کلش نشاندار-کود غیرنشاندار (*D-S یا *F-S) و کلش غیرنشاندار-کود نشاندار (S-*D یا S-*F)) استفاده شد.

بافت خاک لوم رسی شنی (شن: 58/67، سیلت: 20/10، رس: 21/23 درصد) بود. از سایر خصوصیات خاک می‌توان به EC 0/63 (dS/m)، 375/3 (mg/l) TDS، pH 7/75، N_{total} 0/041 (%)، P 7/81 (ppm)، K 125/5 (ppm)، OC[2] 0/42 (%)، CCE[3] 16/00 (%)، CO_3 0/2 (meq/l)، HCO_3 1/33 (meq/l)، SO_4 2/88 (meq/l)، Ca 5/54 (meq/l)، Mg 4/42 (meq/l)، Cl 1/50 (meq/l)، Mn 2/80 (ppm)، Cu 0/40 (ppm)، Zn 0/80 (ppm)، FC 16/80 (%W)، PWP 9/53 (%W)، SP 26/77 (%W) اشاره نمود. شرایط گلخانه بر اساس حرارت زیر 25 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 60-70 درصد تنظیم شده بود.

میزان کاه مورد نیاز (32 گرم در گلدان برای تیمار S1 و 64 گرم در گلدان برای تیمار S2) با غنی‌سازی 2 اتم درصد اضافه ^{15}N توزین گردید و با خاک مخلوط شد. پس از آبیاری گلدان‌ها جهت ایجاد تعادل به مدت بیست روز رها گردید. سپس فرایند کوددهی مطابق با الگوی آزمایش بر روی آن صورت گرفت. به منظور ردیابی عنصر نیتروژن از کود سولفات آمونیوم نشاندار با غنی-سازی 5 اتم درصد اضافه ^{15}N استفاده شد که در سطح 120 کیلوگرم نیتروژن در هکتار (0/540 گرم در گلدان) در یک مرحله (قبل از کاشت گیاه) اعمال گردید. کود DMPP استفاده شده نیز بصورت نواتک‌سلوب[4] از شرکت بازرگان کالا بصورت مخلوط با سولفات آمونیوم تأمین گردید. با احتساب میزان رقیق‌سازی صورت گرفته در حین اختلاط سولفات آمونیوم نشاندار شده با ^{15}N و نواتک سلوب، غلظتDMPP بکار رفته 0/54 کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید که این مقدار در دامنه غلظت مورد قبول شرکت سازنده (0/5 تا 1/5 کیلوگرم DMPP در هکتار) در خصوص بازداندگی فرایند نیتریفیکاسیون قرار داشت (کیانی، 1389). در خصوص نحوه استفاده از کود و بازدارنده، کلیه عناصر کودی (ماکرو و میکرو) (بر اساس آزمون خاک و سطوح بحرانی) برای تمامی گلدان-ها آماده شده و در حجم مشخصی از آب حل گردیده و بطور یکنواخت با خاک مخلوط گردید. روش آبیاری بصورت وزنی بوده و با کاهش رطوبت به کمتر از 20 درصد از FC آبیاری صورت می‌گرفت. قبل از شروع آزمایش، آنالیز شیمیایی و فیزیکی بر روی خاک گلدان‌ها انجام شد.

گلدان‌ها به گنجایش 13/6 کیلوگرم خاک بود. دو و شش[5] هفته پس از کاشت بذور در گلدان‌ها، نمونه‌برداری از خاک صورت گرفت. بدین ترتیب با احتساب نمونه-برداری نهایی، تعداد نمونه‌برداری‌های خاک به 3 سری رسید. جهت تعیین میزان آمونیوم در عصارهٔ خاک، از روش طیف‌سنجی نوری[6] و واکنش رنگ‌سنجی استفاده گردید. در این روش با استفاده از اختلاط عصارهٔ KCl با معرف‌های N_1 (سالیسیلات سدیم، سیترات سدیم، تارتارات سدیم و نیتروپروساید سدیم) و N_2 (هیدروکسید سدیم و هیپوکلریت سدیم) شدت رنگ حاصل در طول موج 655 نانومتر تعیین شد (موسوی شلمانی، 1387). در خصوص تعیین غلظت نیترات نیز از مبانی روش جذب پرتو ماوراء بنفش (UV) در طول موج 210 نانومتر استفاده گردید. در این روش دو اندازه‌گیری، یکی قبل از احیاء نیترات (توسط دانه‌های Zn روکش داده شده توسط Cu) و دیگری پس از آن صورت می‌گیرد و سپس توسط تفاوت دو داده، غلظت نیترات موجود در عصاره تعیین می‌گردد (موسوی شلمانی، 1387). پس از برداشت محصول، نمونه‌های گیاهی به دانه و کاه تفکیک شده و نمونه‌گیری فرعی ایزوتوپی از هر یک از آن‌ها صورت پذیرفت. درصد نیتروژن کل گیاه به روش کجلدال تعیین

---

[1] با توجه به اینکه در بررسی حاضر امکان تهیه DMPP خالص ممکن نگردید و تنها شرکت تأمین کننده، آنرا بصورت مخلوط با کود سولفات آمونیم (تحت عنوان نواتک سلوب 21) ارایه می‌نمود، لذا علی رغم کاربرد گسترده کود اوره در دیم‌زارهای شمال غرب کشور، از کود سولفات آمونیوم در این بررسی استفاده شد.

[2] Organic carbon

[3] CCE: Calcium carbonate equivalency

[4] Novatec Solub

[5] انتخاب زمان‌های نمونه‌برداری و تمرکز آن در هفته‌های نخست (پس از کاشت)، بر اساس تجارب سایر محققین در تعیین مدت زمان اثر بخشی بهینه بازدارنده DMPP و تعیین غلظت نیترات و آمونیوم (مشتق شده از منابع خاک و کود) در آن بازه زمانی بوده است.

[6] {XE"آمونیوم"}Spectrophotometry

شد و نسبت ایزوتوپی $^{15}N/^{14}N$ در نمونه گیاه توسط دستگاه اسپکترومتر گسیلیNOI7 اندازه‌گیری گردید (موسوی شلمانی و همکاران، 1388). تعیین نسبت $^{15}N/^{14}N$ در عصاره خاک نیز با روش ریز انتشار انجام شد (موسوی شلمانی، 1387). مبانی این روش بر اساس تبدیل و انتشار نیترات و آمونیوم موجود در عصاره خاک {XE"عصاره خاک"} (در یک محیط بسته) بصورت گاز و جذب آن توسط فیلتر اسیدی می‌باشد. بدین ترتیب با استفاده از اکسید منیزیم و آلیاژ Devarda's[1] گاز آمونیاک متصاعد گردیده که توسط فیلتر اسیدی جذب می‌شود. در نهایت با استفاده از دستگاه طیف‌سنج گسیلی، نسبت ایزوتوپی $^{15}N/^{14}N$ در نیتروژن نیتراتی موجود در عصاره خاک تعیین گردید. کلیه تجزیه‌های آماری با نرم‌افزار GenStat14 صورت گرفت.

نتایج و بحث

تأثیر DMPP بر غلظت نیترات خاک تحت سطوح مختلف کاه

تغییرات غلظت نیترات موجود در خاک (مشتق شده از منابع خاک و کود)، تحت تأثیر بازدارنده DMPP و سطوح مختلف کاه گندم در هفته‌های مختلف نمونه‌برداری در جدول 1 ارائه شده است.

همانطور که ملاحظه می‌شود در بررسی عامل آزمایشی اول (تیمار کودی) و در هفته دوم، با افزایش بازدارنده DMPP تغییر معنی‌دار در غلظت یون نیترات مشتق شده از کود ملاحظه نگردیده است. در هفته ششم با ممانعت از فرایند نیتریفیکاسیون، یون نیترات مشتق شده از کود از 3/03 به 2/13 میلی‌گرم نیتروژن در گرم خاک کاهش یافته است. این در حالی است که اثر آن بر روی نیتروژن نیتراتی مشتق شده از منبع خاک کاملا معکوس بوده و با افزایش بازدارنده، غلظت نیترات از 1/71 به 6/49 میلی‌گرم نیتروژن در گرم خاک افزایش یافته است (جدول 1). لذا به نظر می‌رسد کاربرد DMPP در خاک‌های با سطوح بالای نیتروژن پایه، کمترین اثر را خواهد داشت.

در بررسی عامل آزمایشی دوم (سطح کاه) در هفته دوم با افزایش سطح کاه یک مقدار از میزان نیترات خاک کاسته شده که به نظر می‌رسد این امر به دلیل غیرمتحرک شدن نیتروژن حاصل از تجزیه ماده آلی با نسبت C/N بالا بوده باشد. از هفته ششم به بعد (تا آخر فصل رشد) با افزایش سطح کاه، در غلظت نیترات موجود در خاک تغییر معنی‌دار حاصل نگردیده است (جدول 1).

در بررسی اثرات متقابل تیمار کودی در سطح کاه، بیشترین میزان نیترات موجود در خاک مشتق شده از منبع کود در هفته‌های ششم و انتهایی با مقادیر میانگین به ترتیب 7/17 و 4/15 میلی‌گرم نیتروژن در گرم خاک در تیمار بازدارنده در هر دو سطح کاه S1 و S2 مشاهده شده است (جدول 1). اثر متقابل بازدارنده و سطوح بقایای گیاهی در غلظت نیترات مشتق شده از کود در هفته‌های دوم و ششم با استفاده از مدل آماری چند متغیره GGE بای‌پلات[2] در شکل 1 نشان داده شده است (گلاسر، 2010). همانطور که ملاحظه می‌گردد در هفته دوم، مولفه‌های PC1 و PC2 توانسته‌اند به ترتیب 82/38 و 17/62 درصد از کل تغییرات را توجیه نمایند. عمودهای ترسیم شده بر سه ضلعی (که از مرکز بای پلات عبور نموده) محیط مورد آزمایش را به سه قسمت تقسیم کرده است. تفسیر چند متغیره تیمارها با استفاده از این مدل آماری نشان می‌دهد که در هفته دوم، نیترات موجود در خاک، مشتق شده از منبع کود، همبستگی متفاوت با تیمارهای مختلف برقرار نموده است به گونه‌ای که سطوح کاه .S و S1 با قرارگیری در گروه I بیشترین سازگاری را با تیمار F و سطح کاه S2 با قرارگیری در گروه II بیشترین تشابه را با تیمار D داشته است (شکل 1). این در حالی است که در هفته ششم سطح کاه S0 با قرارگیری در گروه I بیشترین تشابه را با تیمار F و سطوح کاه S1 و S2 نیز با قرارگیری در گروه II بیشترین سازگاری را با تیمار D داشته است (شکل 1). فرایند فوق گویای این مطلب می‌باشد که با بازدارندگی تبدیل آمونیوم به نیترات، سازگاری غلظت نیترات موجود در خاک مشتق شده از منبع کود با تیمار D افزایش یافته است. به بیان دیگر در سطوح متفاوت کاه (S2 و S1) کاربرد بازدارنده DMPP

---

[1]. Devarda’s alloy {XE"آمونیوم"}

[2]. در GGE Biplot (با استفاده از میانگین داده‌ها) اثر دو عامل در روی یک گراف نمایش داده می‌شود. در اینگونه از گراف‌ها دو مولفه (PC1 & PC2) وجود دارند که به طور تجمعی می‌توانند n درصد از کل تغییرات فاکتور اصلی (E) در اثر متقابل (GE) را توجیه نمایند. پس از رسم نمودار بای‌پلات (توسط نرم افزار Genstat) عامل اول تشکیل پلی‌گون (چند ضلعی) می‌دهد. ژنوتیپ‌هایی که در رئوس پلی‌گون قرار می‌گیرند، حداکثر فاصله را از مرکز بای پلات (مبداء) داشته و در نتیجه واکنش بیشتری به شرایط آزمایشی نشان می‌دهند. عمودهای ترسیم شده بر هر ضلع پلی‌گون که از مرکز بای پلات عبور می‌کنند محیط‌های مورد آزمایش را به بخش‌های یکسان (و یا متفاوت) تقسیم می‌کنند. بدین‌ترتیب امکان پیشنهاد گروه‌های محیطی معنی‌دار در یک ناحیه (یا منطقه) فراهم گردیده سپس با توجه به خصوصیات ویژه، وجه تشابه و تفاوت این گروه‌ها تفسیر می‌شود.

باعث می‌گردد تا به غلظت نیترات موجود در خاک در هفته ششم افزوده شود. این بدان معنی است که در صورت اضافه کردن کاه گندم به خاک و در صورت کاربرد بازدارنده نیتریفیکاسیون، غلظت نیترات موجود در خاک در سطح بیشینه قرار خواهد گرفت.

تأثیر DMPP در غلظت آمونیوم خاک تحت سطوح مختلف کاه

تغییرات غلظت آمونیوم موجود در خاک (مشتق شده از منابع خاک و کود)، تحت تأثیر بازدارنده DMPP و سطوح مختلف کاه گندم در هفته‌های مختلف نمونه‌برداری در جدول 2 ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد در بررسی عامل آزمایشی اول (تیمار کودی)، بازدارندگی تبدیل آمونیوم به نیترات تا هفته ششم ادامه یافته و باعث گردیده تا غلظت نیتروژن آمونیومی مشتق شده از منبع کود از 0/01 (µgN/g soil) به (µgN/g soil) 2/49 افزایش یابد. این فرایند در هنگام برداشت محصول به حد کمینه خود رسیده و کمترین میزان آمونیوم (µgN/g soil) 1/06 در خاک ملاحظه گردیده است (جدول 2). در بررسی عامل آزمایشی دوم (سطح کاه)، بیشترین غلظت آمونیوم در هفته دوم و سطح بدون کاه اختصاص یافته است. همانطور که ملاحظه می‌گردد در هفته دوم با افزایش سطح کاه (S1 به S2) از غلظت آمونیوم کاسته شده است. اما از هفته ششم به بعد افزایش سطح کاه تغییر معنی‌داری در غلظت آمونیوم حاصل ننموده است.

جدول 1- نیترات موجود در خاک (مشتق شده از منابع خاک و کود)، تحت تأثیر بازدارنده DMPP و سطوح مختلف کاه گندم در هفته‌های مختلف نمونه‌برداری (میانگین نتایج دو آزمایش)

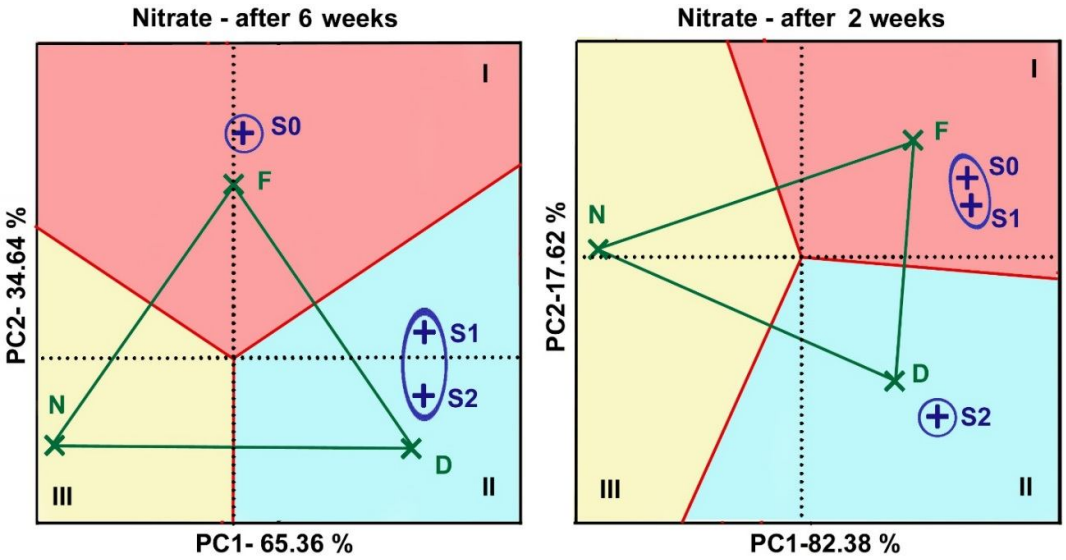
عامل آزمایشی		منشأ ماده نشاندار	غلظت نیترات (µgN/g soil)					
			هفته دوم		هفته ششم		هفته آخر	
			NO_{3dfs}	NO_{3dff}	NO_{3dfs}	NO_{3dff}	NO_{3dfs}	NO_{3dff}
تیمار کودی	N	کاه ^{15}N	0/59 ^{c}	0/01 ^{b}	0/59 ^{c}	0/01 ^{c}	0/36 ^{c}	0/00 ^{c}
	F	کود ^{15}N	1/94 ^{b}	1/80 ^{a}	1/71 ^{b}	3/03 ^{a}	1/85 ^{b}	1/24 ^{b}
	D	کود ^{15}N	9/65 ^{a}	1/81 ^{a}	6/49 ^{a}	2/13 ^{b}	5/97 ^{a}	1/75 ^{a}
سطح کاه	S0	کود ^{15}N	3/91 ^{a}	2/27 ^{a}	1/27 ^{b}	1/38 ^{b}	1/23 ^{b}	0/87 ^{b}
	S1	کاه ^{15}N	3/42 ^{ab}	1/85 ^{ab}	1/97 ^{a}	3/29 ^{a}	2/29 ^{a}	2/01 ^{a}
	S2	کاه ^{15}N	3/11 ^{b}	1/73 ^{b}	1/41 ^{b}	3/69 ^{a}	2/23 ^{a}	1/94 ^{a}
اثرات متقابل	NS0	-	2/10 ^{d}	-	2/06 ^{de}	-	1/47 ^{d}	-
	NS*1	کاه ^{15}N	0/61 ^{e}	0/03 ^{f}	0/60 ^{fg}	0/03 ^{e}	0/29 ^{e}	0/00 ^{d}
	NS*2	کاه ^{15}N	0/26 ^{e}	0/01 ^{f}	0/28 ^{fg}	0/01 ^{e}	0/06 ^{e}	0/00 ^{d}
	F*S0	کود ^{15}N	1/09 ^{de}	4/18 ^{a}	1/23 ^{ef}	3/90 ^{c}	1/91 ^{d}	2/48 ^{b}
	FS*1	کاه ^{15}N	4/38 ^{c}	0/08 ^{f}	3/95 ^{c}	0/09 ^{e}	3/36 ^{c}	0/15 ^{d}
	F*S1	کود ^{15}N	1/26 ^{de}	3/20 ^{bc}	0/75 ^{fg}	3/70 ^{c}	1/38 ^{d}	2/14 ^{b}
	FS*2	کاه ^{15}N	2/08 ^{d}	0/06 ^{f}	3/18 ^{d}	0/09 ^{e}	1/63 ^{d}	0/03 ^{d}
	F*S2	کود ^{15}N	0/61 ^{de}	1/53 ^{e}	0/40 ^{fg}	2/87 ^{d}	0/98 ^{de}	1/39 ^{c}
	D*S0	کود ^{15}N	8/53 ^{b}	2/64 ^{cd}	0/51 ^{fg}	0/24 ^{e}	0/32 ^{e}	0/11 ^{d}
	DS*1	کاه ^{15}N	11/30 ^{a}	0/06 ^{f}	11/29 ^{a}	0/21 ^{e}	8/82 ^{a}	0/12 ^{d}
	D*S1	کود ^{15}N	9/00 ^{b}	2/36 ^{d}	5/15 ^{b}	6/16 ^{b}	5/52 ^{b}	3/88 ^{a}
	DS*2	کاه ^{15}N	11/41 ^{a}	0/26 ^{f}	11/66 ^{a}	0/35 ^{e}	9/92 ^{b}	0/22 ^{d}
	D*S2	کود ^{15}N	8/00 ^{b}	3/67 ^{ab}	3/81 ^{c}	8/19 ^{a}	5/71 ^{b}	4/43 ^{a}

- حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد (آزمون دانکن) است.

- تیمار کودی: N= بدون مصرف کود، F= سولفات آمونیوم نشاندار ، D= سولفات آمونیوم نشاندار بعلاوه بازدارنده DMPP

- * کاربرد ماده نشاندار (*F یا *D = منبع کودی نشاندار ، *S= منبع کلش نشاندار)

NO_{3dff} = غلظت نیترات در خاک مشتق شده از منبع کود نشاندار ، NO_{3dfs} = غلظت نیترات در خاک مشتق شده از منبع خاک،



شکل 1- اثر متقابل تیمار کودی (N، F و D) در سطوح مختلف کاه گندم (S0، S1 و S2) با استفاده از مدل آماری چند متغیره GGE بای‌پلات، غلظت نیتروژن نیتراتی مشتق شده از کود در هفته دوم (راست)، هفته ششم (چپ)

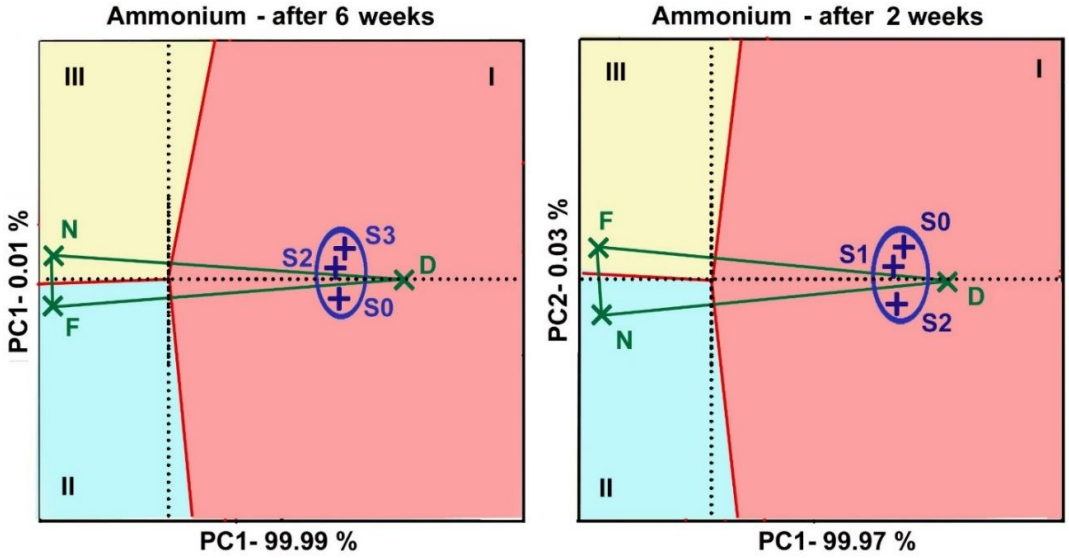
جدول 2- آمونیوم موجود در خاک (مشتق شده از منابع خاک و کود)، تحت تأثیر بازدارنده DMPP و سطوح مختلف کاه گندم در هفته‌های مختلف نمونه‌برداری (میانگین نتایج دو آزمایش)

عامل آزمایشی		منشأ ماده نشاندار	غلظت آمونیوم (µgN/g soil)					
			هفته دوم		هفته ششم		هفته آخر	
			NH_{4dff}	NH_{4dfs}	NH_{4dff}	NH_{4dfs}	NH_{4dff}	NH_{4dfs}
تیمار کودی	N	کاه ^{15}N	0/00 ^{b}	0/12 ^{c}	0/00 ^{b}	0/15 ^{b}	0/00 ^{b}	0/08 ^{b}
	F	کود ^{15}N	0/02 ^{b}	0/67 ^{b}	0/01 ^{b}	0/30 ^{b}	0/01 ^{b}	0/21 ^{b}
	D	کود ^{15}N	4/74 ^{a}	1/20 ^{a}	2/49 ^{a}	1/08 ^{a}	1/06 ^{a}	1/05 ^{a}
سطح کاه	S0	کود ^{15}N	4/30 ^{a}	0/42 ^{b}	3/59 ^{a}	0/51 ^{a}	1/72 ^{a}	1/24 ^{a}
	S1	کاه ^{15}N	2/42 ^{b}	0/56 ^{a}	0/29 ^{b}	0/53 ^{a}	0/01 ^{b}	0/13 ^{b}
	S2	کاه ^{15}N	1/17 ^{c}	0/40 ^{b}	0/26 ^{b}	0/16 ^{b}	0/03 ^{b}	0/10 ^{b}
اثرات متقابل	NS0	-	-	0/13 ^{c}	-	0/20 ^{de}	-	0/10 ^{c}
	NS*1	کاه ^{15}N	0/00 ^{d}	0/27 ^{bc}	0/00 ^{c}	0/28 ^{de}	0/00 ^{b}	0/16 ^{c}
	NS*2	کاه ^{15}N	0/00 ^{d}	0/20 ^{c}	0/00 ^{c}	0/27 ^{de}	0/00 ^{b}	0/14 ^{c}
	F*S0	کود ^{15}N	0/06 ^{d}	0/86 ^{bc}	0/01 ^{c}	0/49 ^{cde}	0/01 ^{b}	0/26 ^{c}
	FS*1	کاه ^{15}N	0/01 ^{d}	0/59 ^{bc}	0/00 ^{c}	0/20 ^{de}	0/00 ^{b}	0/32 ^{c}
	F*S1	کود ^{15}N	0/03 ^{d}	0/57 ^{b}	0/01 ^{c}	0/19 ^{de}	0/01 ^{b}	0/31 ^{c}
	FS*2	کاه ^{15}N	0/00 ^{d}	0/31 ^{bc}	0/00 ^{c}	0/23 ^{de}	0/00 ^{b}	0/18 ^{c}
	F*S2	کود ^{15}N	0/00 ^{d}	0/31 ^{c}	0/00 ^{c}	0/24 ^{e}	0/00 ^{b}	0/18 ^{c}
	D*S0	کود ^{15}N	13/13 ^{a}	0/00 ^{bc}	10/75 ^{a}	0/86 ^{bcd}	5/14 ^{a}	3/37 ^{a}
	DS*1	کاه ^{15}N	0/08 ^{d}	7/38 ^{a}	0/04 ^{c}	1/97 ^{a}	0/01 ^{b}	0/73 ^{b}
	D*S1	کود ^{15}N	7/22 ^{b}	0/24 ^{bc}	0/87 ^{b}	1/15 ^{b}	0/03 ^{b}	0/71 ^{c}
	DS*2	کاه ^{15}N	0/04 ^{d}	4/51 ^{bc}	0/03 ^{c}	1/10 ^{bc}	0/02 ^{b}	0/89 ^{b}
	D*S2	کود ^{15}N	3/52 ^{c}	3/52 ^{bc}	0/78 ^{b}	0/35 ^{de}	0/10 ^{b}	0/80 ^{c}

- حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد (آزمون دانکن) است.
- تیمار کودی: N= بدون مصرف کود، F= سولفات آمونیوم نشاندار ، D= سولفات آمونیوم نشاندار بعلاوه بازدارنده DMPP
- * کاربرد ماده نشاندار (*F یا *D = منبع کودی نشاندار ، *S= منبع کلش نشاندار)

NH_{4dff} = غلظت آمونیوم در خاک مشتق شده از منبع کود نشاندار ، NH_{4dfs} = غلظت آمونیوم در خاک مشتق شده از منبع خاک،

در بررسی اثرات متقابل تیمار کودی در سطح کاه، بیشترین میزان آمونیوم موجود در خاک مشتق شده از منبع کود در هفته‌های ششم و انتهایی با مقادیر میانگین به ترتیب 10/75 و 5/14 میلی‌گرم نیتروژن در گرم خاک در تیمار بازدارنده در سطح کاه S0 مشاهده شده است (جدول 2). اثر متقابل بازدارنده و سطوح بقایای گیاهی در غلظت آمونیوم مشتق شده از کود در هفته‌های دوم و ششم با استفاده از مدل آماری چند متغیره GGE بای‌پلات در شکل 2 نشان داده شده است.



شکل 2- اثر متقابل تیمار کودی (N، F و D) در سطوح مختلف کاه گندم (S0، S1 و S2) با استفاده از مدل آماری چند متغیره GGE بای‌پلات، غلظت نیتروژن آمونیومی مشتق شده از کود در هفته دوم (راست)، هفته ششم (چپ)

همانطور که ملاحظه می‌گردد در هفته دوم، مولفه‌های PC1 و PC2 توانسته‌اند به ترتیب 99/97 و 0/03 درصد از کل تغییرات را توجیه نمایند. تفسیر چند متغیره تیمارها با استفاده از این مدل آماری نشان می‌دهد که در هفته دوم، آمونیوم موجود در خاک مشتق شده از منبع کود همبستگی یکسان با تیمار D برقرار نموده است. به بیان دیگر کلیه سطوح کاه .S، S1 و S2 با قرارگیری در گروه I بیشترین سازگاری را با تیمار D داشته است (شکل 2). این امر در هفته ششم نیز صادق بوده و سطوح کاه بیشترین سازگاری را با تیمار D داشته است (شکل 2). فرایند فوق گویای این مطلب می‌باشد که پس از گذشت 42 روز، بازدارندگی تبدیل آمونیوم به نیترات به عنوان عامل اصلی در برقراری یون آمونیوم از هر دو منبع کود و خاک بوده است. همچنین الگوی توزیع آمونیوم در خاک در زمان برداشت محصول نیز از بازدارندگی تبدیل آمونیوم به نیترات، متأثر بوده است.

تأثیر DMPP در عملکرد و کارایی مصرف کود تحت سطوح مختلف کاه

مقایسه میانگین عملکرد، درصد نیتروژن و کارایی مصرف کود نیتروژنی در دانه و کاه گندم تحت تیمار مختلف کودی و بقایای گیاهی در جدول 3 ارائه گردیده است.

جدول 3- مقایسه عملکرد، درصد نیتروژن و کارایی مصرف کود نیتروژنی در دانه و کاه گندم تحت تیمار مختلف کودی و بقایای گیاهی (میانگین نتایج دو آزمایش)

عامل آزمایشی		منشأ ماده نشاندار	دانه			کاه		
			عملکرد	نیتروژن	کارایی مصرف کود	عملکرد	نیتروژن	کارایی مصرف کود
			kg/ha	%	%	kg/ha	%	%
تیمار کودی	N	کاه ^{15}N	2074 b	1/73 b	-	6085 b	0/33 b	-
	F	کود ^{15}N	5207 a	2/54 a	35/10 a	8416 a	0/60 a	15/00 a
	D	کود ^{15}N	5314 a	2/48 a	35/10 a	8302 a	0/62 a	15/00 a
سطح کاه	S0	کود ^{15}N	4521 a	2/27 a	53/09 b	7884 a	0/57 a	24/98 a
	S1	کاه ^{15}N	4271 ab	2/24 a	54/71 ab	7696 ab	0/50 a	26/02 a
	S2	کاه ^{15}N	3803 b	2/24 a	61/81 a	7222 a	0/48 a	21/90 a
اثرات متقابل	NS0	-	3669 c	1/68 c	-	7437 b	0/28 cd	-
	NS*1	کاه ^{15}N	2167 d	1/64 c	0/79 d	6091 c	0/23 d	0/57 b
	NS*2	کاه ^{15}N	387 e	1/88 c	0/41 d	4726 d	0/48 bc	1/42 b
	F*S0	کود ^{15}N	5473 ab	2/48 ab	58/45 abc	8828 a	0/66 ab	25/55 a
	FS*1	کاه ^{15}N	5005 ab	2/57 a	2/12 d	8177 ab	0/56 ab	1/22 b
	F*S1	کود ^{15}N	5005 ab	2/57 a	51/65 bc	8177 ab	0/56 ab	23/10 a
	F*S2	کاه ^{15}N	5144 ab	2/57 a	3/21 d	8244 ab	0/57 ab	1/16 b
	F*S2	کود ^{15}N	5144 ab	2/57 a	59/82 ab	8244 ab	0/57 ab	24/11 a
	D*S0	کود ^{15}N	4422 bc	2/64 a	47/72 c	7387 b	0/77 a	24/41 a
	DS*1	کاه ^{15}N	5641 a	2/50 ab	1/95 d	8821 a	0/64 ab	0/87 b
	D*S1	کود ^{15}N	5641 a	2/50 ab	57/77 abc	8821 a	0/64 ab	28/95 a
	D*S2	کاه ^{15}N	5878 a	2/28 b	4/21 d	8696 a	0/44 bcd	1/28 b
	D*S2		5878 a	2/28 b	63/79 a	8696 a	0/44 bcd	19/69 a

- حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد (آزمون دانکن) است.
- تیمار کودی: N= بدون مصرف کود، F= سولفات آمونیوم نشاندار ، D= سولفات آمونیوم نشاندار بعلاوه بازدارنده DMPP
- سطح کاه: S0= بدون کاه، S1= پنج تن کاه در هکتار ، S2= ده تن کاه در هکتار
- * کاربرد ماده نشاندار (*F یا *D = منبع کودی نشاندار ، *S= منبع کلش نشاندار)

همانطور که ملاحظه می‌شود در رابطه با عملکرد دانه، تیمارهای F و D با میانگین عملکرد 5260 (کیلوگرم در هکتار) در گروه اول آماری قرار گرفته و پس از آن تیمار کنترل (N) با میانگین 2074 (کیلوگرم در هکتار) در گروه دوم عملکرد قرار گرفته است (جدول 3). به بیان دیگر با افزایش کود 151 درصد به عملکرد دانه اضافه گردیده است. این در حالی است که پس از افزایش بازدارنده فقط دو درصد به عملکرد دانه افزوده شده است که از لحاظ آماری غیر معنی‌دار بوده است.

در ارزیابی سطوح مختلف بقایا در عملکرد دانه گندم (بدون احتساب تیمار کودی) با افزایش 5 تن کاه در هکتار ، عملکرد دانه 6 درصد کاهش یافته است (کاهش از 4521 به 4271 کیلوگرم در هکتار). پس از کاربرد 10 تن کاه در هکتار گندم، کاهش عملکرد دانه به 11 درصد رسیده است (جدول 3). این امر در خصوص عملکرد کاه نیز صادق بوده و با افزایش 5 تن در هکتار بقایا، عملکرد کاه 2/4 درصد کاهش یافته است و پس از کاربرد 10 تن در هکتار بقایا، کاهش عملکرد کاه به 6/1 درصد رسیده است (جدول 3). در ارزیابی کارایی مصرف کود در عامل آزمایشی دوم (سطوح کاه) از فناوری ردیابی ایزوتوپی ^{15}N مضاعف استفاده گردید. بدین ترتیب که در سطح کاه صفر، NUE در دانه 53/09 اتم درصد ملاحظه گردید (جدول 3).

وقتی کاه در سطح 5 تن در هکتار اضافه شد، NUE کل در دانه گندم 54/71 درصد بود (52/68 درصد مربوط به کود نشاندار و 2/03 درصد مربوط به کلش نشاندار). پس از افزودن کاه در سطح 10 تن در هکتار، NUE در دانه 61/81 درصد ملاحظه شد (58/10 درصد مربوط به کود نشاندار و 3/71 درصد مربوط به کلش نشاندار) (جدول 3). البته تفاوت‌های ناچیز و غیر معنی‌دار ارزیابی فاکتور اصلی تیمار کودی بیشتر به دلیل اثرات منفی کاربرد بقایا در شاخص‌های رشد گیاه می‌باشد. لذا در ارزیابی عملکرد باید به اثرات متقابل عوامل توجه بیشتری حاصل گردد. اثر متقابل سطوح مختلف کاه و کلش (S0، S1 و S2) و تیمار کودی (N، F و D) نشان داد که کاربرد بازدارنده نیتریفیکاسیونDMPP به همراه کود سولفات آمونیوم اثر معنی‌داری بر عملکرد گندم، درصد نیتروژن و کارایی مصرف کود نیتروژنی در مقایسه با سولفات آمونیوم بدون بازدارنده داشته است. در تیمار سولفات آمونیوم (F) پس از کاربرد 5 تن کاه در هکتار ، تولید دانه گندم به میزان 8/5 درصد (نسبت به تیمار بدون کاه) کاهش یافته است (کاهش از 5472 به 5005 کیلوگرم در هکتار). پس از اضافه کردن DMPP به کود سولفات آمونیوم، تولید دانه 12/7 درصد افزایش یافت (افزایش از 5005 به 5641 کیلوگرم در هکتار) (جدول 3). در تیمار فوق (F) پس از کاربرد 10 تن کاه در هکتار ، تولید دانه گندم به میزان 6 درصد (نسبت به تیمار بدون کاه) کاهش یافته است (کاهش از 5473 به 5144 کیلوگرم در هکتار). پس از اضافه کردن DMPP به کود سولفات آمونیوم، تولید دانه 14 درصد افزایش یافت (افزایش از 5144 به 5878 کیلوگرم در هکتار) (جدول 3).

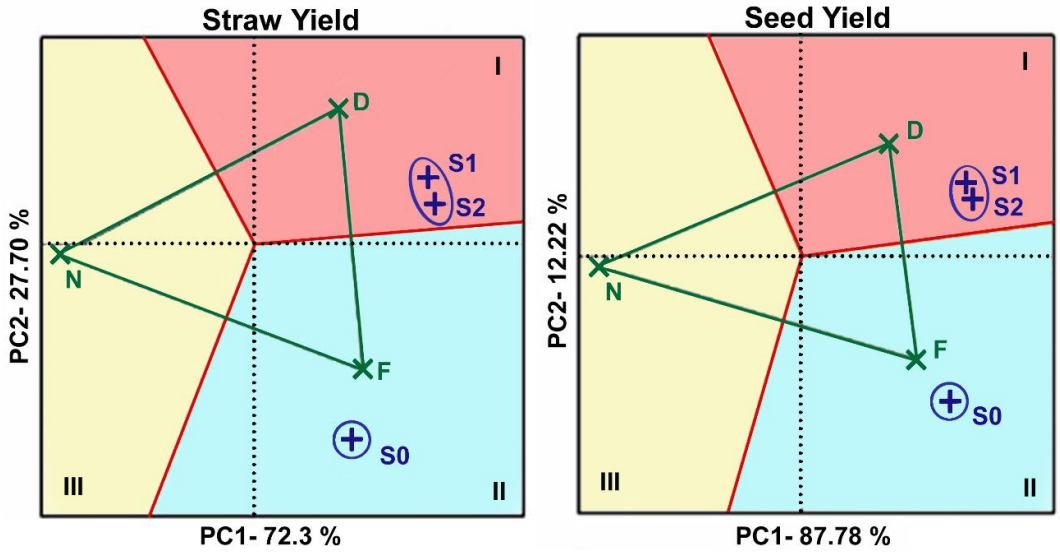
در رابطه با تأثیر DMPP در کارایی مصرف کود نیتروژنی دانه گندم، در تیمار سولفات آمونیوم (F) پس از کاربرد 5 تن کاه در هکتار ، کارایی مصرف کود به میزان 11/6 درصد (نسبت به تیمار بدون کاه) کاهش یافته است (کاهش از 58/4 به 51/6 درصد). پس از اضافه کردن DMPP به کود سولفات آمونیوم، کارایی مصرف کود دانه 11/8 درصد افزایش یافت (افزایش از 51/6 به 57/8 درصد). در تیمار فوق (F) پس از کاربرد 10 تن کاه در هکتار ، کارایی مصرف کود دانه گندم به میزان 2/3 درصد (نسبت به تیمار بدون کاه) کاهش یافت (کاهش از 58/4 به 59/8 درصد). پس از اضافه کردن DMPP به کود سولفات آمونیوم، کارایی مصرف کود دانه 6/6 درصد افزایش یافت (افزایش از 59/8 به 63/8 درصد) (جدول 3).

در خصوص تأثیر DMPP در کارایی مصرف کود نیتروژنی کاه گندم، در تیمار سولفات آمونیوم (F) پس از کاربرد 5 تن کاه در هکتار، کارایی مصرف کود به میزان 9/6 درصد (نسبت به تیمار بدون کاه) کاهش یافته است (کاهش از 25/5 به 23/1 درصد). پس از اضافه کردن DMPP به کود سولفات آمونیوم، کارایی مصرف کود دانه 25/3 درصد افزایش یافت (افزایش از 23/1 به 28/9 درصد). در تیمار فوق (F) پس از کاربرد 10 تن کاه در هکتار ، کارایی مصرف کود دانه گندم به میزان 5/6 درصد (نسبت به تیمار بدون کاه) کاهش یافت (کاهش از 25/5 به 24/1 درصد). پس از اضافه کردن DMPP به کود سولفات آمونیوم، کارایی مصرف کود دانه 18/3 درصد افزایش یافت (افزایش از 24/1 به 19/7 درصد) (جدول 3).

در بررسی تأثیر DMPP در کارایی مصرف کود نیتروژنی در کل گیاه گندم، در تیمار سولفات آمونیوم (F) پس از کاربرد 5 تن کاه در هکتار، کارایی مصرف کود به میزان 11/0 درصد (نسبت به تیمار بدون کاه) کاهش یافته است (کاهش از 84/0 به 74/7 درصد). پس از اضافه کردن DMPP به کود سولفات آمونیوم، کارایی مصرف کود دانه 16/0 درصد افزایش یافت (افزایش از 74/7 به 86/7 درصد). در تیمار فوق (F) پس از کاربرد 10 تن کاه در هکتار ، کارایی مصرف کود دانه گندم چه در حضور DMPP و چه در عدم حضور آن تغییر ننموده است (جدول 3).

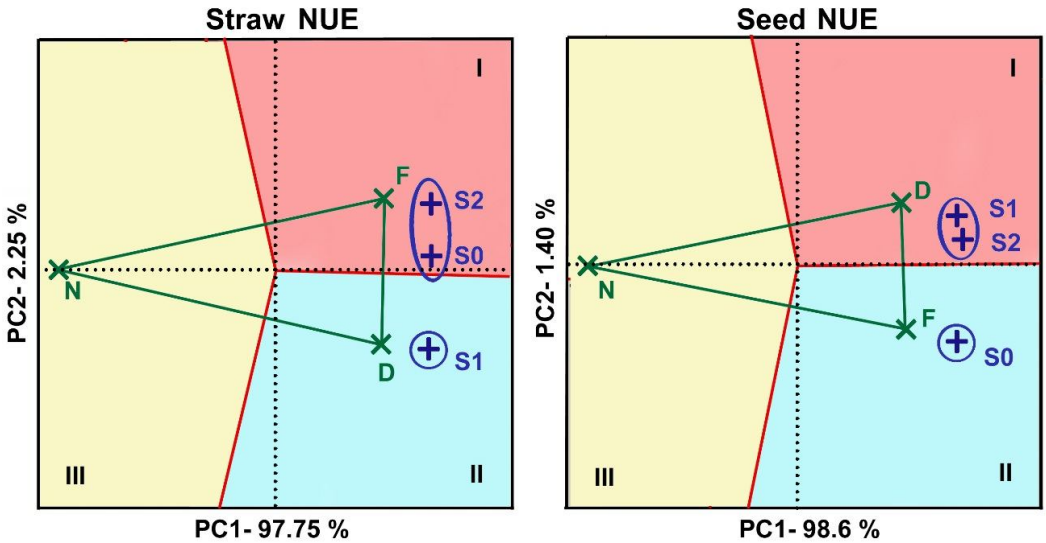
اثر متقابل تیمار کودی در سطوح مختلف کاه گندم با استفاده از مدل آماری چند متغیره GGE بای‌پلات در شکل‌های 3 و 4 نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد در عملکرد دانه، مولفه‌های PC1 و PC2 توانسته‌اند به ترتیب 87/78 و 12/22 درصد از کل تغییرات را توجیه نمایند. تفسیر چند متغیره تیمارها با استفاده از این مدل آماری نشان می‌دهد که عملکرد دانه همبستگی متفاوت با تیمارهای مختلف برقرار نموده است به گونه‌ای که سطوح کاه S1 و S2 با قرارگیری در گروه I بیشترین سازگاری را با تیمار D و سطح کاه S0 با قرارگیری در گروه II بیشترین تشابه را با تیمار F داشته است (شکل 3- راست). این امر در رابطه با عملکرد کاه گندم نیز دقیقاً صدق نموده و سطوح کاه S1 و S2 بیشترین سازگاری را با تیمار D برقرار نموده است (شکل 3- چپ). لذا به نظر می‌رسد در صورت اختلاط کاه باقی مانده از کاشت گندم با خاک (در سطح 5 تن در هکتار) پس از برداشت محصول و از طریق عملیات خاک‌ورزی (نظیر شخم) کاربرد بازدارنده نیتریفیکاسیون می‌تواند منجر به افزایش عملکرد دانه (به میزان 636

کیلوگرم در هکتار) و افزایش عملکرد کاه (به میزان 644 کیلوگرم در هکتار) گردد.



شکل 3- اثر متقابل تیمار کودی (N، F و D) در سطوح مختلف کاه گندم (S0، S1 و S2) با استفاده از مدل آماری چند متغیره GGE بای‌پلات، عملکرد دانه (راست)، عملکرد کاه (چپ)

در رابطه با کارایی مصرف کود نیتروژنی مولفه‌های PC1 و PC2 توانسته‌اند به ترتیب 98/60 و 1/40 درصد از کل تغییرات را توجیه نمایند. تفسیر چند متغیره تیمارها با استفاده از این مدل آماری نشان می‌دهد که در رابطه با کارایی مصرف کود نیتروژنی در دانه گندم، سطوح کاه S1 و S2 با قرارگیری در گروه I بیشترین سازگاری را با تیمار D و سطح کاه S0 با قرارگیری در گروه II بیشترین تشابه را با تیمار F داشته است (شکل 4- راست). این امر در رابطه با کارایی مصرف کود نیتروژنی در کاه گندم یک مقدار متفاوت بوده است و سطوح کاه S0 و S2 بیشترین سازگاری را با تیمار F و سطح کاه S1 با قرارگیری در گروه II بیشترین تشابه را با تیمار D برقرار نموده است (شکل 4- چپ). لذا به نظر می‌رسد در صورت اختلاط کاه باقی مانده از کاشت گندم با خاک (در سطح 10 تن در هکتار) پس از برداشت محصول و از طریق عملیات خاک‌ورزی (نظیر شخم) کاربرد بازدارنده نیتریفیکاسیون می‌تواند منجر به افزایش کارایی مصرف کود نیتروژنی در دانه و کاه به ترتیب به میزان 6/1 و 5/9 درصد (جمعاً به میزان 12 درصد) گردد.



شکل 4- اثر متقابل تیمار کودی (N، F و D) در سطوح مختلف کاه گندم (S0، S1 و S2) با استفاده از مدل آماری چند متغیره GGE بای‌پلات، کارایی مصرف کود دانه (راست)، کارایی مصرف کود کاه (چپ)

نتیجه‌گیری:

در بررسی حاضر، کاربرد کاه گندم در تیمار سولفات آمونیوم منجر شد تا میزان عملکرد و کارایی مصرف کود کاهش یابد. اما پس از افزودن DMPP به کود سولفات آمونیوم، روند فوق تغییر یافت و سبب شد عملکرد افزایش یابد و کارایی مصرف کود نیز سیر صعودی پیدا نماید. در حقیقت به دلیل بالا بودند نسبت کربن به نیتروژن در کاه گندم (C/N=28)، پس از افزایش آن به خاک جمعیت ریزجانداران واکافت‌گر (تجزیه‌گر) ترکیبات کربن‌دار (که برای دریافت نیتروژن خاک با ریشه گیاه رقابت می‌کنند) افزایش یافته و دور از انتظار نخواهد بود که از نیتروژن دریافتی گیاه کاسته شده باشد. اما پس از کاربرد DMPP و تأخیر حداقل 42 روزه تبدیل آمونیوم به نیترات و افزایش غلظت آمونیوم مشتق شده از کود در خاک، ریزجانداران تجزیه‌گر با منبع تغذیه‌ای آمونیوم مواجه گردیده که به نظر می‌رسد به‌منظور رشد آنان مورد استفاده قرار گرفته باشد. از سوی دیگر مطالعات متعدد نشان داده است که جهت تغذیه ریزجانداران خاک، جذب آمونیوم به نیترات ترجیح داده می‌شود. لذا به نظر می‌رسد حضور مقادیر زیادی از آمونیوم، رشد ریزجانداران تجزیه‌گر را تحت تأثیر قرار داده و از رقابت این جانداران با گیاه کاسته شده است. بدین ترتیب برآیند بر همکنش فوق به نفع گیاه تمام‌شده و روند کاهش عملکرد و کارایی مصرف کود (به‌واسطه غیرمتحرک شدن نیتروژن) تا حدودی خنثی (و یا تعدیل) گردیده است. از سوی دیگر با توجه به نتایج متناقض ارائه شده مبنی بر نقش مثبت، منفی و یا خنثی بقایای گیاهی در مدیریت تغذیه گیاه و تأثیر غیرمستقیم آن در اتلاف کودهای نیتروژنی (چه از طریق تصاعد گاز N_2O، آمونیاک و یا آبشویی نیترات) لزوم انجام تحقیقات بنیادی در زمینه کاربرد بازدارنده DMPP در شرایط مزرعه‌ای و تعیین میزان تأثیرپذیری آن در تعدیل فرایندهای فوق امری بدیهی خواهد بود.

فهرست منابع:

1. علی‌اصغرزاده، ن. 1385. روش های آزمایشگاهی در بیولوژی خاک. انتشارات دانشگاه تبریز. ص 474.
2. فیضی‌اصل، و. 1393. مدیریت بهینه نیتروژن برای ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم با استفاده از نیتروژن- 15، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، 267 صفحه.
3. کیانی، ش. 1389. کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی برای افزایش کارایی مصرف نیتروژن، بهبود کیفیت محصولات کشاورزی و حفظ محیط‌زیست، مجموعه خلاصه مقالات اولین کنگره چالش‌های کود در ایران، نیم‌قرن مصرف کود، 12-1.
4. موسوی شلمانی، م.ا. 1387. کاربرد ایزوتوپ پایدار ^{15}N در حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه"، تألیف، انتشارات پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای (سازمان انرژی اتمی ایران)، ISBN: 978-964-7899-87-1، 394 صفحه.
5. موسوی شلمانی، م.ا.؛ ح. اهری مصطفوی؛ ب. ناصریان خیابانی؛ م. حیدریه و ع. مجدآبادی. 1388. کشاورزی هسته‌ای (از علم تا عمل)"، تألیف، انتشارات پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای (سازمان انرژی اتمی ایران)، ISBN: 978-964-04-4801-4، 518 صفحه.
6. Abbasi, M., and W. Adams. 2000. Estimation of simultaneous nitrification and denitrification in grassland soil associated with urea-N using ^{15}N and nitrification inhibitor. Biology and Fertility of Soils. 31 (1):38-44.
7. Brennan, J., R. Hackett, T. McCabe, J. Grant, R.A. Fortune, and P.D. Forristal. 2014. The effect of tillage system and residue management on grain yield and nitrogen use efficiency in winter wheat in a cool Atlantic climate. European Journal of Agronomy. 54: 61-69.
8. de Campo, L.B.C., E.S. Sosa, W. Lindemann, M. Cardenas, and N. Christensen. 1998. Nitrogen mineralization and distribution through the root zone in two tillage systems under field conditions. TERRA. 16 (2).

9. Glaser, A. 2010. The use of biplots in statistical analysis: with examples in GenStat, European GenStat and ASReml Applied Statistics Conference.
10. Ichir, L., M. Ismaili, and G. Hofman. 2003. Recovery of ^{15}N labeled wheat residue and residual effects of N fertilization in a wheat–wheat cropping system under Mediterranean conditions. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 66 (2): 201-207.
11. Li, H., X. Liang, Y. Chen, Y .Lian, G. Tian, and W. Ni. 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 (2): 149-155.
12. Li, Y., L.-g. WANG, L. Hu, J.-j. QIU, and H.-y. LIU. 2014. Impacts of Fertilization Alternatives and Crop Straw Incorporation on N_2O Emissions from a Spring Maize Field in Northeastern China. Journal of Integrative Agriculture. 13(4): 881-892.
13. Mahmood, T., R. Ali, Z. Latif, and W. Ishaque. 2011. Dicyandiamide increases the fertilizer N loss from an alkaline calcareous soil treated with ^{15}N-labelled urea under warm climate and under different crops. Biology and Fertility of Soils. 47(6): 619-631.
14. Merah, O., E. Deléens, I. Souyris, M. Nachit, and P. Monneveux. 2001. Stability of carbon isotope discrimination and grain yield in durum wheat. Crop Science no. 41 (3): 677-681.
15. San Francisco, S., O. Urrutia, V. Martin, A. Peristeropoulos, and J.M. Garcia-Mina. 2011. Efficiency of urease and nitrification inhibitors in reducing ammonia volatilization from diverse nitrogen fertilizers applied to different soil types and wheat straw mulching. Journal of the Science of Food and Agriculture no. 91 (9): 1569-1575.
16. Stagnari, F., A. Galieni, S. Speca, G. Cafiero, and M .Pisante. 2014. Effects of straw mulch on growth and yield of durum wheat during transition to Conservation Agriculture in Mediterranean environment. Field Crops Research. 167: 51-63.
17. Su, W., J. Lu, W .Wang, X. Li, T. Ren, and R. Cong. 2014. Influence of rice straw mulching on seed yield and nitrogen use efficiency of winter oilseed rape (Brassica napus L.) in intensive rice–oilseed rape cropping system. Field Crops Research no. 159: 53-61.

Efficiency of Nitrification Inhibitor DMPP under Different Levels of Wheat Straw Using ^{15}N Tracer Isotope

M. A. Mousavi Shalmani[1], A. Lakzian, R. Khorassani, K. Khavazi, and S. M. Mohati

Assistant Professor, Nuclear Science and Technology Research Institute, Atomic Energy Organization of Iran; E-mail: amoosavi@nrcm.org

PhD Professor, Dep. of Soil Science, Faculty of Agricultural, Ferdowsi University of Mashhad; E-mail: alakzian@ferdowsi.um.ac.ir

Associated Professor, Dep. of Soil Science, Faculty of Agricultural, Ferdowsi University of Mashhad; E-mail: khorasani@ferdowsi.um.ac.ir

Academic member, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, E-mail: kkhavazi@yahoo.com

Academic member, Nuclear Science and Technology Research Institute, Atomic Energy Organization of Iran; E-mail: mmohati@nrcam.org

Received: July, 2016 , & Accepted: December, 2016

Abstract

Regarding the necessity of increasing organic matter in agricultural land (through application of crop residues to the soil) and due to net immobilization and temporary shortage of nitrogen sources in the soil, conducting more research on utilization of N resources is inevitable. In order to evaluate the effects of nitrification inhibitor DMPP on soil nitrate and ammonium accumulation and wheat yield production and fertilizer use efficiency, a greenhouse experiment was carried out in a factorial randomized complete block design (CRD) in three replications during two consecutive years (2014-2015). The first factor was three levels of wheat straw (zero, five and ten tons per hectare) and the second factor was three fertilization treatments (no-fertilizer, labeled ^{15}N ammonium sulfate, and ^{15}N fertilizers containing nitrification inhibitor). The results showed that DMPP could delay conversion of ammonium to nitrate for more than a month. The use of wheat straw (treated with ammonium sulfate) reduced yield and nitrogen fertilizer use efficiency. But, the addition of DMPP (mixed with ammonium sulfate fertilizer) changed the above process and led to increased yield and nitrogen fertilizer use efficiency. By the application of DMPP inhibitor, ammonium concentration in the soil (derived from fertilizer) increased and, consequently, soil microorganisms benefitted from ammonium nutritional source. Considering that absorption of ammonium is preferred by these microorganisms, it seems that presence of large amounts of ammonium affect microorganisms growth and, consequently, their competition with plant will decrease. The outcome of the above actions is over in favor of the plant and reduction in yield and nitrogen use efficiency (due to the net immobilization) partially adjusted (or neutralized).

Keywords: Ammonium, Dimethylpyrazole Phosphate, Fertilizer use efficiency, Nitrate

[1] Corresponding author: Nuclear Agriculture Research College, Nuclear Science and Technology Research Institute, Atomic Energy Organization of Iran, Rejaeeshahr St. Moazen St. PO Box: 31485-498, Karaj- Iran.