شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران

دانشگاه زنجان، ۵ تا ۷ شهریور ۱۳۹۸

محور مقاله: خاک و تغییر اقلیم

راه‌کارهای مدیریتی به منظور کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای نیتروزاکساید (N_2O) از خاک

رایحه میرخانی، مراد میرزایی[*1]، منوچهر گرجی، مهدی شرفا

کارشناس ارشد پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران

دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. .

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، تهران، ایران.

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، تهران، ایران.

چکیده

انتشار گازهای گلخانه‌ای به درون آتمسفر و اثرات آن‌ها بر تغییر اقلیم یکی از بزرگترین نگرانی‌های امروزی می‌باشد. دی اکسید کربن (CO_2)، نیتروز اکساید (N_2O) و متان (CH_4) گازهای گلخانه‌ای اصلی می‌باشند. نیتروز اکساید گاز گلخانه‌ای قوی بوده و پتانسیل گرمایش جهانی آن ۲۹۸ برابر بیشتر از دی اکسید کربن است. بیشترین میزان انتشار نیتروز اکساید مربوط به فعالیت‌های کشاورزی بوده و در خاک‌ها اتفاق می‌افتد. به طور عمده تشکیل نیتروز اکساید در خاک از طریق فرآیندهای نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون بوده و متأثر از عوامل مختلف زیست محیطی و مدیریتی می‌باشد. این مقاله به بررسی ساز و کارهای تشکیل و انتشار نیتروز اکساید در خاک‌های کشاورزی و تشریح عوامل موثر بر آن‌ها و همین‌طور ارائه راهبردهای کارآمد مدیریتی در کاهش انتشار این گاز گلخانه‌ای می‌پردازد. بکارگیری روش‌های نوین آبیاری، استفاده بهینه از کودهای شیمیایی نیتروژنی از جمله بهترین اقدامات مدیریتی هستند که پتانسیل قابل توجهی برای کاهش انتشار نیتروز اکساید را دارا می‌باشند. فناوری‌های هسته‌ای نیز به جهت تشخیص منشأ انتشار نیتروز اکساید (دنیتریفیکاسیون یا نیتریفیکاسیون) اهمیت قابل ملاحظه‌ای در انتخاب و اجرای عملیات زراعی مطلوب و جلوگیری از انتشار این گاز گلخانه‌ای دارد. بنابراین بکارگیری و عملیاتی نمودن راهکارهای ارائه شده در این مقاله به عنوان رهیافتی مهم در جهت کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای نیتروزاکساید و در نتیجه جلوگیری از پدیده گرمایش جهانی پیشنهاد می‌گردد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، دنیتریفیکاسیون، کشاورزی، گرمایش جهانی، نیتریفیکاسیون

مقدمه

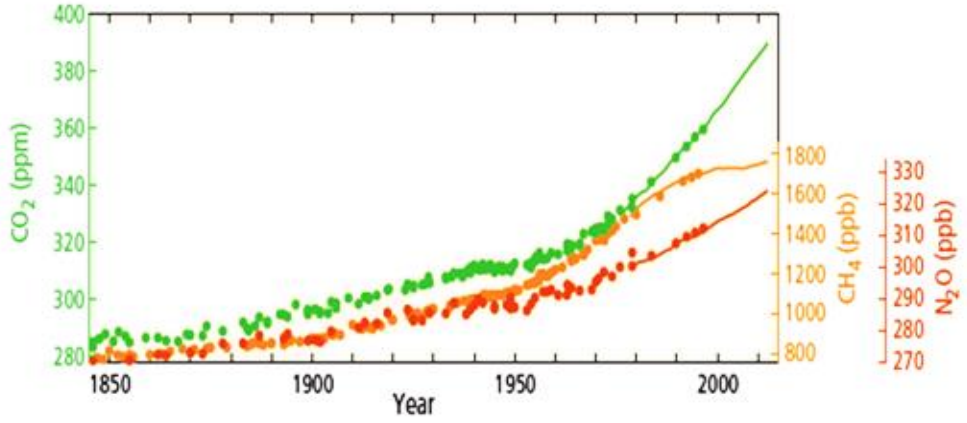
گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم

امروزه مردم جهان با مشکلات متعددی مواجه است که از مهمترین آن‌ها می‌توان به نبود امنیت غذایی، کمبود آب، تخریب خاک، کمبود انرژی، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم اشاره کرد. ارتباط مستقیمی بین این مسائل و استفاده پایدار از منابع وجود دارد (Lal, 2007). پدیده تغییر اقلیم به تأثیر فعالیت‌های بشر بر روی اقلیم اشاره دارد. گازهای گلخانه‌ای اصلی شامل دی اکسید کربن، متان و نیتروز اکساید هستند (Oertel و همکاران، ۲۰۱۶)، که در مقیاس جهانی سهم آنها در انتشار گازهای گلخانه‌ای به ترتیب حدود ۶۰، ۱۵ و ۶ درصد می‌باشد (جدول ۱). نیتروز اکساید یکی از گازهای گلخانه‌ای اصلی و تخلیه کننده اوزون اتمسفری است و پتانسیل گرمایش جهانی به ترتیب ۲۹۸ و ۱۶ برابر بیشتری نسبت به دی اکسید کربن و متان در طی یک دوره ۱۰۰ ساله دارا می‌باشد. تشدید فعالیت‌های کشاورزی از قبیل افزایش استفاده از کودهای شیمیایی (۱۰۳ مگاتن نیتروژن در سطح جهانی در سال ۲۰۱۰)، افزایش جمعیت بشر و تغییر در رژیم غذایی، استفاده ناکارآمد از آب آبیاری، افزایش تولید محصول، استفاده از کودهای حیوانی در اراضی کشاورزی و چراگاه‌ها و همچنین عملیات مدیریتی که منجر به افزایش معدنی شدن نیتروژن آلی خاک و تجزیه کربن می‌شود از قبیل کشت و کار، حذف و سوزاندن بقایا، عدم استفاده از تناوب زراعی منجر به افزایش انتشار نیتروزاکساید به اتمسفر می‌شوند (Zaman و همکاران، ۲۰۱۲). غلظت چند نوع از گازهای گلخانه‌ای از زمان انقلاب صنعتی به طور قابل توجهی تغییر کرده است که از دلایل عمده آن می‌توان به احتراق سوخت‌های فسیلی، تغییر کاربری اراضی و فعالیت‌های کشاورزی از قبیل شخم زدن، سوزاندن بقایای گیاهی، استفاده بی‌رویه و نامناسب از کودهای شیمیایی و دامی اشاره کرد (شکل ۱).

جدول ۱- پتانسیل گرمایش جهانی و زمان اقامت اتمسفری گازهای گلخانه‌ای اصلی

*ایمیل نویسنده مسئول: mirzaei.morad95@ut.ac.ir

گاز گلخانه‌ای	فرمول شیمیایی	پتانسیل گرمایش جهانی برای افق زمانی ۱۰۰ ساله	زمان اقامت(سال)
نیتروز اکساید	N_2O	۲۹۸	۱۱۴
متان	CH_4	۲۵	۱۲
دی اکسید کربن	CO_2	۱	متغیر



شکل ۱- انتشارات مصنوعی اخیر گازهای گلخانه‌ای (**FAO /IAEA**، ۲۰۱۸)

تولید نیتروز اکساید (N_2O) در خاک

باکتری‌های همزیست و آزادزی N_2 اتمسفری را با استفاده از آنزیم نیتروژناز (به عنوان کاتالیست برای شکستن پیوند سه تایی N_2) به فرم آمونیاک (NH_3) تثبیت می‌کنند. در خاک، آمونیاک (NH_3) می‌تواند به یون آمونیوم (NH_4^+) تبدیل شود و سپس در یک فرآیند سه مرحله‌ای که نیتریفیکاسیون نامیده می‌شود به یون نیترات (NO_3^-) اکسیده می‌شود. یون‌های نیتریت (NO_2^-) و نیترات (NO_3^-) در طی نیتریفیکاسیون تولید می‌شوند و ممکن است در طی فرآیند دنیتریفیکاسیون احیا گردند. احیاء گام به گام نیترات (NO_3^-) به N_2 بوسیله چهار آنزیم که تولید کننده ترکیبات بینابینی نیتریت (NO_2^-)، نیتریک اکسید (NO) و نیتروز اکساید (N_2O) می‌باشند انجام می‌گردد. همچنین در طی آمونیفیکاسیون نیترات (NO_3^-) به آمونیوم (NH_4^+)، احیا نیترات می‌تواند اتفاق افتد که نتیجه آن تولید نیتروز اکساید (N_2O) می‌باشد (Thomson و همکاران، ۲۰۱۲).

نقش فعالیت‌های کشاورزی در انتشار گاز گلخانه‌ای نیتروزاکساید

فعالیت‌های کشاورزی بزرگترین منبع تولید کننده N_2O می‌باشد؛ به طوری که خاک‌های کشاورزی تقریباً ۴ تراگرم N_2O در سال تولید می‌کنند (Reay و همکاران، ۲۰۱۲). منابع اصلی انتشار نیتروز اکساید کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنه در خاک‌ها، احتراق سوخت‌های فسیلی و بعضی ساز و کارهای طبیعی است که در زیست‌بوم‌های آبی و خشکی اتفاق می‌افتد. میزان افزایش سالیانه از ۰/۲ تا ۰/۳ درصد متغیر است. جدول ۲ منابع اصلی نیتروز اکساید در جهان در طی دهه ۱۹۹۰ به تفکیک منابع مصنوعی و طبیعی را نشان می‌دهد. تقریباً ۳۸ درصد انتشارات جهانی مرتبط با منابع مصنوعی می‌باشد و کشاورزی عامل مهمی (۱۵/۸۲ درصد) درانتشارات جهانی است. بنابراین، هر راهبردی که با هدف کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای باشد باید بر بخش کشاورزی تمرکز کند زیرا این منبع اصلی نیتروز اکساید است. علاوه بر این، کاهش هدررفت نیتروژن به اتمسفر به فرم نیتروز اکساید می‌تواند کارایی استفاده از نیتروژن در دسترس برای گیاهان و در نتیجه عملکرد محصول را افزایش دهد.

جدول ۲- منابع اصلی انتشار نیتروز اکساید به اتمسفر (Denman و همکاران، ۲۰۰۷؛ Brasil، ۲۰۱۰)

منبع	$N\text{-}N_2O$ (Tg N year-1) جهان (۱۹۹۰)
مصنوعی	
احتراق سوخت های فسیلی و فرآیندهای صنعتی	۰/۷
کشاورزی	۲/۸
تغییر کاربری اراضی و جنگل	-
غیره	۳/۲
کل	۶/۷
طبیعی	
خاک های تحت پوشش بومی	۶/۶
اقیانوس‌ها	۳/۸
رعد و برق	-
شیمی اتمسفر	۰/۶
کل	۱۱
کل	۱۷/۷

عوامل موثر بر انتشار نیتروز اکساید

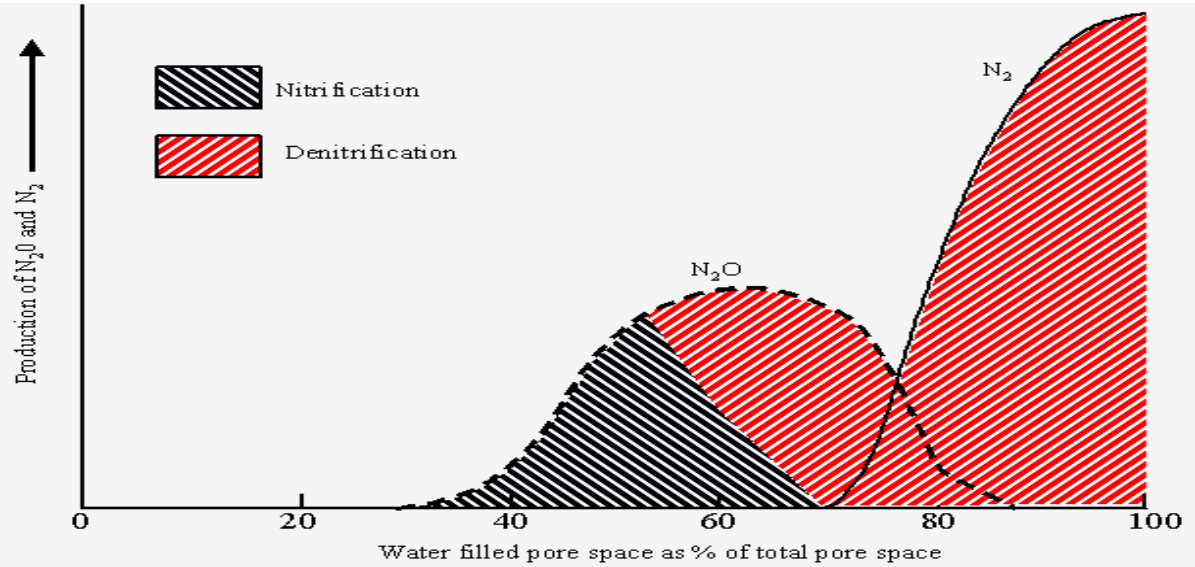
عوامل مختلفی بر انتشار نیتروز اکساید از خاک تأثیرگذار است. علی‌رغم اهمیت نیتروژن (نیترات و آمونیوم) برای واکنش‌های نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون، این فرآیندها همچنین متأثر از خصوصیات خاک از قبیل تهویه، فشردگی، دما، رطوبت، pH، ماده آلی، نیتروژن قابل دسترس، نسبت کربن به نیتروژن، بافت و همچنین مدیریت خاک و تناوب زراعی است (Snyder و همکاران، ۲۰۰۹). علاوه بر این، طول دوره اندازه‌گیری و توالی و شدت اندازه‌گیری‌ها همچنین به عنوان عامل کلیدی در تخمین انتشارات نیتروز اکساید در نظر گرفته می‌شود (Parkin, 2008). Eichner (۱۹۹۰) عوامل تأثیرگذار بر انتشار نیتروز اکساید ناشی از فعالیت‌های کشاورزی را به صورت زیر دسته‌بندی کرد. عوامل مدیریتی شامل نوع کود شیمیایی، میزان کاربرد، روش کاربرد، زمان‌بندی کاربرد، سامانه خاک‌ورزی، بقایای گیاهی، استفاده از دیگر مواد شیمیایی، نوع محصول، آبیاری و کربن و نیتروژن باقیمانده از محصولات و کودهای شیمیایی و ۲) عوامل زیست محیطی نیز دما، بارش، میزان رطوبت خاک، میزان کربن آلی خاک، نسبت کربن به نیتروژن، نوع خاک، فشردگی خاک، موقعیت توپوگرافیکی، وضعیت اکسیژن خاک، تخلخل خاک، واکنش شیمیایی خاک، چرخه‌های یخ زدن و ذوب شدن و فراوانی و فعالیت ریزجانداران را در بر می‌گیرد.

دما، رطوبت و تهویه

دما و رطوبت اهمیت قابل ملاحظه‌ای در فرآیندهای نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون دارد. چون این عوامل از جمله عوامل تعیین کننده فعالیت ریزجانداران محسوب می‌شود. علاوه بر این، دما و رطوبت نه تنها بر انتشار نیتروز اکساید بلکه همچنین بر پخشیدگی آن به اتمسفر تأثیر قابل توجه دارند (Davidson and Swank, 1986). تحت شرایط معتدل، میزان تبدیل نیتروژن اندک است و با افزایش دما افزایش می‌یابد (Brentrup و همکاران، ۲۰۰۰). افزایش دمای خاک باعث تحریک تنفس خاک (فعالیت میکروبی) شده و همچنین باعث افزایش مکان‌های غیرهوازی می‌شود که نتیجه آن افزایش دنیتریفیکاسیون می‌باشد. یک رابطه نمایی بین دمای خاک و تولید N_2O وجود دارد که این بخاطر توسعه مکان‌های کوچک غیرهوازی در خاک می‌باشد که هنگامی که دما افزایش می‌یابد منجر به افزایش دنیتریفیکاسیون می‌شود (Smith و همکاران، ۲۰۱۸).

رطوبت خاک یک پارامتر خیلی مهم و موثر بر انتشار گازها از خاک می‌باشد بدلیل اینکه فعالیت میکروبی و تمامی فرآیندهای مرتبط با آن را کنترل می‌کند. افزایش رطوبت خاک نیز باعث افزایش انتشار نیتروز اکساید می‌شود (Giacomini و همکاران، ۲۰۰۶)، زیرا هر دو فرآیندهای

نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون متأثر از رطوبت خاک هستند (Davidson and Swank, 1986). ولی با این وجود، تحت شرایط رطوبت خیلی زیاد، تولید نیتروز اکساید کاهش می‌یابد اما موقعی که تناوب‌های رطوبتی با دوره‌های متوالی خشک و مرطوب وجود دارد انتشار نیتروز اکساید افزایش می‌یابد (Brentrup و همکاران، ۲۰۰۰). دلیل این امر این است که اگرچه رطوبت خاک فعالیت میکروبی را افزایش می‌دهد اما رطوبت خیلی زیاد مانع فعالیت میکروبی می‌گردد. فضای منافذ پر شده از آب خاک به عنوان مهمترین عامل تاثیرگذار بر جریان N_2O در خاک‌های کشاورزی است (Castellano و همکاران، ۲۰۱۰) که این بخاطر نقش آن بر تهویه و میزان O_2 در تعیین سهم نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون برای تولید N_2O می‌باشد (شکل 2).



شکل 2- اثر افزایش رطوبت خاک (درصد منافذ پر از آب) بر انتشار گازهای نیتروز اکساید (N_2O) و دی نیتروژن (N_2) (گرانلی، ۱۹۹۴)

فشردگی خاک

فشردگی خاک که متأثر از عملیات زراعی از قبیل نوع سیستم کاشت و روش‌های خاک‌ورزی است (Boizard و همکاران، ۲۰۰۲) نیز یک عامل مهم است که تعیین کننده غالب بودن نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون در خاک به خاطر اثرات آن بر تهویه می‌باشد. کاهش تخلخل خاک که در نتیجه فشردگی بوجود می‌آید منجر به افزایش مقدار خاک غیرهوازی بخاطر افزایش مقدار فضای منافذ پر از آب و کاهش پخشیدگی اکسیژن می‌شود. این پدیده منجر به افزایش تولید N_2O می‌شود (Bessou و همکاران، ۲۰۱۰).

موقعیت توپوگرافیکی

انتشار نیتروز اکساید همچنین ممکن است متأثر از موقعیت زمین‌نما باشد چون این پارامتر بر عوامل دیگر دخیل در انتشار نیتروز اکساید از قبیل پراکنش رطوبت، میزان کربن آلی و حاصلخیزی خاک اثرگذار است. نواحی با پستی و بلندی کمتر در مقایسه با اراضی دارای پستی و بلندی دارای رطوبت و ماده آلی بیشتری می‌باشند، بنابراین، تنفس ریزجانداران و مصرف اکسیژن به طور بالقوه بیشتر است و این مساله بر تولید نیتروز اکساید تأثیرمی‌گذارد (Davidson and Swank, 1986).

نوع خاک

نسبت نیتروز اکساید متصاعد شده از خاک‌ها همچنین متأثر از نوع خاک می‌باشد (Stevens and Laughlin, 1998). خاک‌های رسی تمایل به نشان دادن انتشار بیشتر نیتروز اکساید نسبت به خاک‌های شنی دارند (Brentrup و همکاران، ۲۰۰۰) و مدیریت نیتروژن

ممکن است انتشار نیتروز اکساید را به ویژه در خاک‌های ریزبافت افزایش دهد (Tan و همکاران، ۲۰۰۹). Steudler و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که انتشار نیتروزاکساید در خاک‌های شنی با مقدار زیادتر رطوبت نسبت به خاک رسی بیشتر می‌باشد.

واکنش شیمیایی خاک (pH)

عامل مهم دیگر تأثیرگذار بر انتشار نیتروز اکساید از خاک، اسیدیته است، زیرا از فعالیت آنزیم نیتروز اکساید ردوکتاز در pH پایین و در حضور اکسیژن ممانعت بعمل می‌آید. به طور کلی، اگر دنیتریفیکاسیون منبع اصلی نیتروز اکساید است، مقادیر pH زیادتر انتشار نیتروز اکساید خاک را کاهش می‌دهد اما اگر نیتریفیکاسیون فرآیند اصلی تولید نیتروز اکساید باشد، افزایش pH تولید نیتروز اکساید را تحریک می‌کند. بر طبق Bremner (۱۹۹۷) تولید نیتروز اکساید به وسیله فرآیند دنیتریفیکاسیون در شرایط افزایش غلظت نیترات و pH پایین خاک مطلوب است. در pH پایین، انتشار نیتروز اکساید بزرگتر خواهد بود زیرا یک بخش کوچکی از این گاز به N_2 احیا می‌گردد (Chapuis-Lardy و همکاران، ۲۰۰۷). بنابراین، اسیدی شدن مداوم خاک‌های کشاورزی از طریق استفاده اضافی از کودهای شیمیایی نیتروژن می‌تواند به طور قابل توجهی انتشار نیتروز اکساید را افزایش دهد در حالی که تنظیم دقیق pH خاک به وسیله آهک‌دهی انتشارات را کاهش می‌دهد (Thomson و همکاران، ۲۰۱۲).

کربن آلی خاک

کربن آلی خاک کنترل کننده مهم دیگر تولید نیتروزاکساید و دی نیتروژن در خاک‌ها و رسوبات می‌باشد. چون دنیتریفیکاتورها شدیداً هتروتروف بوده و کربن آلی قابل دسترس را به عنوان دهنده الکترون استفاده می‌کنند و به طور غیر مستقیم بر غلظت اکسیژن خاک‌های هوازی تأثیر می‌گزارند (Groffman, 1987). با این حال، اثر کربن قابل دسترس بر مقدار نیتروزاکساید و دی نیتروژن تولید شده و متصاعد شده از خاک‌ها و همین طور نسبت بین دو گاز با توجه به غلظت نیترات خاک و درصد منافذ پر از آب (WFPS) متغیر است (Zaman و همکاران، ۲۰۰۸b,c). کربن قابل دسترس بر واکنش‌های نیتریفکاسیون و دنیتریفیکاسیون تأثیر می‌گذارد (Bremner، ۱۹۹۷) و می‌تواند تولید نیتروز اکساید را افزایش دهد (Brentrup و همکاران، ۲۰۰۰). زیرا این می‌تواند رشد و فعالیت میکروبی را تحریک کند و کربن آلی مورد نیاز به وسیله دنیتریفیکاتورها را فراهم کند (Cameron و همکاران، ۲۰۱۳). علاوه بر این، رشد میکروبی منجر به مصرف اکسیژن شده و شرایط غیر هوازی موردنیاز برای دنیتریفیکاسیون را ایجاد می‌نماید.

نسبت کربن به نیتروژن (C/N)

تغییر شکل نیتروژن در خاک‌ها شامل دو فرآیند زیستی مهم آلی شدن (یا جذب) است که جذب نیتروژن بوسیله ریزجانداران و تبدیل آن به نیتروژن آلی است، و معدنی شدن (یا آمونیفیکاسیون) است که تبدیل نیتروژن آلی به آمونیاک است (شکل ۲). تعادل بین معدنی شدن و آلی شدن بستگی به نسبت C/N و بقایای افزوده شده دارد. خاک و بقایای گیاهی با یک نسبت C/N کوچک (کمتر از ۳۰)، معدنی شدن در آن‌ها نسبت به آلی-شدن غالب است و نیتروژن قابل دسترس می‌تواند به وسیله گیاهان جذب شود یا در فرآیندهای میکروبی استفاده شود. حضور بقایا با نسبت C/N زیاد در سطح خاک ممکن است آلی شدن کود شیمیایی نیتروژن‌دار افزوده شده را افزایش دهد (Baggs و همکاران، ۲۰۰۰) و بنابراین واکنش‌های دنیتریفیکاسیون و انتشار نیتروز اکساید را کاهش دهد. در مواقعی که هیچ بقایایی و یا بقایایی با نسبت C/N کم در سطح خاک وجود دارد، آلی شدن نیتروژن احتمالاً اتفاق نمی‌افتد و در نتیجه نیتروژن بیشتر برای نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون قابل دسترس خواهد بود و انتشار بیشتر نیتروز اکساید ممکن است اتفاق افتد (Baggs و همکاران، ۲۰۰۰).

اقدامات مدیریتی مفید برای کاهش انتشار نیتروز اکساید از خاک

بکارگیری بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون[1] (NIS)، بازدارنده‌های اوره‌آز[2] (UIS) و کودهای آهسته‌رهش

بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون پاسخ آنزیمی برای مرحله اول نیتریفیکاسیون (اکسیداسیون NH_4^+ به NO_2^-) را غیرفعال می‌کنند. استفاده از این مواد با کاهش میزان نیتریفیکاسیون و متعاقباً سوبسترا برای دنیتریفیکاسیون، ممکن است منجر به کاهش انتشار نیتروز اکساید از ۳۰ تا ۵۰ درصد شود (Huerfano و همکاران، ۲۰۱۵). بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون در دامنه وسیعی از شرایط کشاورزی- اقلیمی استفاده می‌شوند (Gilsanz و همکاران، ۲۰۱۶). محدودیت اصلی برای اعمال بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون افزایش هزینه‌های کوددهی می‌باشد (Timilsena و همکاران، ۲۰۱۵). اما این می‌تواند به وسیله افزایش باروری محصول جبران شود (Abalos و همکاران، ۲۰۱۴a). بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون همچنین به عنوان یک راهبرد مهم برای کاهش انتشار نیتروز اکساید از کودهای شیمیایی نیتروژنه قلمداد می‌شوند (Zanatta و همکاران، ۲۰۱۰). بازدارنده‌های اوره‌آز از طریق بازدارندگی فعالیت آنزیم اوره‌آز در خاک، تبدیل اوره به آمونیوم را کاهش می‌دهند. با کاهش غلظت آمونیوم در محلول خاک قابلیت انتشار آمونیاک نیز کاهش می‌یابد (Saggar و همکاران، ۲۰۱۳). بازدارنده‌های اوره‌آز با جلوگیری موقت از فعالیت آنزیم اوره‌آز، آزادسازی نیتروژن در آب و خاک را کنترل نموده و در نتیجه منجر به همزمانی بهتر بین نیتروژن و تقاضای محصول می‌گردند که در نهایت باعث بهبود کارایی مصرف نیتروژن و کاهش هدررفت آن بفرم‌های گازی می‌گردد (Saggar و همکاران، ۲۰۱۳). استفاده از کودهای شیمیایی آهسته‌رهش یک راهبرد مهم برای کاهش انتشار نیتروز اکساید ایجاد شده به وسیله کودهای نیتروژنه می‌باشد، چون این کودها عناصر غذایی را به صورت آهسته آزاد می‌کنند.

اصلاح روش آبیاری

از آنجایی که رطوبت خاک و بویژه درصد منافذ پر از آب از عوامل کلیدی تأثیرگذار بر دنیتریفیکاسیون؟؟؟هدررفت نیتروز اکساید از خاک می‌باشد (García-Marco و همکاران، ۲۰۱۴)، از این رو استفاده از روش‌های مناسب آبیاری قابلیت تقلیل نیتروز اکساید را دارا می‌باشند (Guardia و همکاران، ۲۰۱۶). آبیاری می‌تواند انتشار نیتروز اکساید را در مقایسه با عدم آبیاری به وسیله افزایش فراهمی آب خاک، فعالیت میکروبی، معدنی شدن کربن و نیتروژن و تنفس افزایش دهد (Sainju و همکاران، ۲۰۱۰). انتشار نیتروز اکساید در خاک‌های غرقابی به دلیل آبیاری بیش از حد و یا بارندگی، از طریق دنیتریفیکاسیون افزایش می‌یابد. مقادیر کمتر آب بکاربرده شده در آبیاری قطره‌ای زیر سطحی یا رو سطحی از طریق دفعات آبیاری زیاد، نواحی خشک و مرطوبی را در خاک ایجاد می‌کند و در کل رطوبت خاک را کاهش و شرایط را برای نیتریفیکاسیون نسبت به دنیتریفیکاسیون مطلوب نموده و انتشار نیتروز اکساید را کاهش می‌دهد (Sanchez-Martín و همکاران، ۲۰۱۰a).

Sanz-Cobena و همکاران (۲۰۱۶)، گزارش کردند که سامانه آبیاری قطره‌ای به طور متوسط منجر به کاهش ۸۰ درصدی انتشار نیتروز اکساید نسبت به سامانه بارانی شد و آبیاری قطره‌ای در ترکیب با کوددهی بهینه کاهش بیش از ۵۰ درصدی در انتشار مستقیم نیتروز اکساید را نشان داد. آبیاری در ترکیب با کاربرد چند قسمتی کود شیمیایی نیتروژن روشی ایده آل برای افزایش کارایی استفاده از نیتروژن می‌باشد (Sanz-Cobena و همکاران، ۲۰۱۶). کاهش انتشار مستقیم نیتروز اکساید بین ۳۰ و ۵۰ درصد برای محصولات کود آبیاری شده در مقایسه با روش‌های کوددهی و آبیاری مرسوم گزارش شده است که به خاطر اثر بر مقادیر نیتریفیکاسیون می‌باشد (Abalos و همکاران، ۲۰۱۴b). از آنجایی که این روش جدید است، ممکن است موانع اقتصادی و فنی نگهداری نیز در این زمینه وجود داشته باشد. کود آبیاری ممکن است هزینه‌ها را به خاطر حفظ ورودی‌ها (آب، کودهای شیمیایی) کاهش دهد و سبب افزایش کیفیت محصول و باروری آن گردد (Ayars و همکاران، ۲۰۱۵).

مدیریت کوددهی

استفاده بهینه از کودهای شیمیایی نیتروژنی (میزان و زمان کاربرد) و همین طور انتخاب دقیق نوع کود استفاده شده، برای کاهش انتشار نیتروز اکساید و افزایش کارایی و کاهش نیتروژن اضافی استفاده شده در خاک ضروری است (Sanz-Cobena و همکاران، ۲۰۱۶). تقسیط کود به جای استفاده یکباره آن نیز روش دیگری است که علاوه بر تامین نیاز محصول، باعث کاهش هدررفت نیتروژن می‌گردد (Burton و همکاران، ۲۰۰۸). مشخص شده است که نوع کودهای شیمیایی استفاده شده برای مثال اوره یا نیترات آمونیوم نیز بر میزان انتشار نیتروز اکساید تاثیرگذار هستند.

[1] Nitrification Inhibitors (NIS)
[2] Urease Inhibitors (UIS)

بعضی محققین گزارش کرده‌اند که کاربرد اوره منجر به انتشار کمتر نیتروز اکساید نسبت به کاربرد نیترات آمونیوم می‌شود (Smith و همکاران، ۲۰۱۲)، البته این اثر بستگی به متغیرهای دیگر از قبیل زمان‌بندی کاربرد کود و رطوبت خاک نیز دارد. گزارش‌ها حاکی از آن است که انتشار آمونیاک بیش‌تر از نیترات آمونیوم است که این مسئله باید مد نظر قرار گیرد (Smith و همکاران، ۲۰۱۲). قابلیت کاهش انتشار نیتروز اکساید موقعی که از کودهای آلی از قبیل کودهای محلول و یا کودهای جامد استفاده می‌شود، نیز وجود دارد. همچنین روش کاربرد کود آلی ممکن است بر انتشار N_2O و NH_3 اثرگذار باشد. مشخص شده است جایگذاری کودهای آلی درون خاک به جای کاربرد سطحی آن انتشار NH_3 را کاهش می‌دهد (Wulf و همکاران، ۲۰۰۱). در حالی که این روش می‌تواند به خاطر افزایش میزان رطوبت خاک و میزان دنیتریفیکاسیون باعث افزایش انتشار N_2O شود (Perälä و همکاران، ۲۰۰۶).

استفاده از فنون هسته‌ای

اندازه‌گیری‌های ایزوتوپ پایدار اطلاعاتی را در مورد فرآیندهای کشاورزی فراهم می‌کند که در صورت استفاده از روش‌های مرسوم دست‌یابی به این اطلاعات امکانپذیر نیست. استفاده از این روش در انتخاب و اجرای عملیات زراعی مطلوب و همچنین راهبردهای مدیریتی مناسب در جلوگیری یا کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مفید می‌باشد. از آنجایی که به طور معمول ۲۵ تا ۵۰ درصد کودهای شیمیایی نیتروژنه مصرفی در سامانه گیاه-خاک هدر می‌رود از این رو با بکارگیری عملیات مدیریتی بهتر، پتانسیل قابل توجهی برای کاهش انتشار نیتروز اکساید و دیگر ترکیبات نیتروژن وجود دارد (Halvorson و همکاران، ۲۰۱۴).

اندازه‌گیری‌های ایزوتوپ پایدار[1] دارای مزیت‌هایی نسبت به تکنیک‌های غیر هسته‌ای در جهت شناسایی اثرات روش‌های مدیریتی مختلف بر انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. اندازه‌گیری میزان نیتروز اکساید انتشار یافته از خاک با استفاده از کروماتوگرافی گاز[2] (GC) انجام می‌گیرد ولی این روش قادر به تشخیص منشأ انتشار نیتروز اکساید (دنیتریفیکاسیون یا نیتریفیکاسیون) نمی‌باشد و این تنها به وسیله اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های پایدار امکانپذیر است. روش‌های ایزوتوپی منشأ نیتروز اکساید را شناسایی نموده و سهم هر یک از این فرآیندها در افزایش نیتروز اکساید متصاعد شده در اتمسفر را مشخص می‌کند (Sutka و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین این روش قادر به تشخیص انتشار نیتروز اکساید حاصل از نیتروژن موجود در کود شیمیایی استفاده شده یا نیتروژن خاک می‌باشد. روش‌های ایزوتوپی براساس ایزوتوپ‌های پایدار ^{18}O و ^{15}N هستند و می‌توانند به طور وسیعی به فراوانی طبیعی[3] و روش‌های غنی‌سازی[4] تمایز پیدا کنند. Linzmeier و همکاران (۲۰۰۱) دریافتند که با استفاده از اندازه‌گیری‌های N^{15} در نیتروز اکساید انتشار یافته مشخص گردید که ۴۰-۱۰ درصد آن مربوط به کود شیمیایی نیتروژن و ۹۰-۶۰ درصد مربوط به نیتروژن خاک بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات ترویجی

هدف اصلی این تحقیق ارائه راهکارهای مطلوب مدیریت زراعی به منظور کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای نیتروزاکساید می‌باشد. بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون، بازدارنده‌های اوره‌آز و کودهای آهسته‌رهش منجر به همزمانی بهتر بین نیتروژن و تقاضای محصول، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و در نهایت باعث بهبود کارایی مصرف نیتروژن و کاهش هدررفت آن بفرم‌های گازی از قبیل نیتروزاکساید می‌گردند. بکارگیری روش‌های نوین آبیاری از قبیل آبیاری قطره‌ای و کودآبیاری نیز باعث افزایش کارایی استفاده از نیتروژن و کاهش انتشار نیتروز اکساید می‌شود. استفاده بهینه از کودهای شیمیایی نیتروژنی، تقسیط کود به جای استفاده یکباره آن، جایگذاری کودهای آلی درون خاک به جای کاربرد سطحی آن نیز از جمله بهترین اقدامات مدیریتی هستند که پتانسیل قابل توجهی برای کاهش انتشار نیتروز اکساید را دارا می‌باشند. فناوری‌های هسته‌ای نیز به جهت تشخیص منشأ انتشار نیتروز اکساید (دنیتریفیکاسیون یا نیتریفیکاسیون) اهمیت قابل ملاحظه‌ای در انتخاب و اجرای عملیات زراعی مطلوب و جلوگیری از انتشار این گاز گلخانه‌ای دارد. بنابراین بکارگیری و عملیاتی نمودن راهکارهای ارائه شده در این مقاله به عنوان رهیافتی مهم در جهت کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای نیتروزاکساید و در نتیجه جلوگیری از پدیده گرمایش جهانی پیشنهاد می‌گردد.

[1] Stable Isotopes
[2] Gas Chromatography (GC)
[3] Natural Abundance
[4] Enrichment Techniques

منابع

Abalos, D., Jeffery, S., Sanz-Cobena, A., Guardia, G. and Vallejo, A. 2014a. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. Agriculture, Ecosystems & Environment, 189, 136-144.

Abalos, D., Sanchez-Martin, L., Garcia-Torres, L., Van Groenigen, J. W. and Vallejo, A. 2014b. Management of irrigation frequency and nitrogen fertilization to mitigate GHG and NO emissions from drip-fertigated crops. Science of the Total Environment, 490, 880-888.

Ayars, J. E., Fulton, A. and Taylor, B. 2015. Subsurface drip irrigation in California—Here to stay?. Agricultural Water Management, 157, 39-47.

Baggs, E. M., Rees, R. M., Smith, K. A. and Vinten, A. J. A. 2000. Nitrous oxide emission from soils after incorporating crop residues. Soil use and management, 16(2), 82-87.

Bessou, C., Mary, B., Léonard, J., Roussel, M., Gréhan, E. and Gabrielle, B. 2010. Modelling soil compaction impacts on nitrous oxide emissions in arable fields. European Journal of Soil Science, 61(3), 348-363.

Boizard, H., Richard, G., Roger-Estrade, J., Dürr, C. and Boiffin, J. 2002. Cumulative effects of cropping systems on the structure of the tilled layer in northern France. Soil and Tillage Research, 64(1-2), 149-164.

Brasil, Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação Geral de Mudanças Globais do Clima. Segunda comunicação nacional do Brasil à convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010.

Bremner, J. M. 1997. Sources of nitrous oxide in soils. Nutrient cycling in Agroecosystems, 49(1-3), 7-16.

Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J. and Kuhlmann, H. 2000. Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. The international journal of life cycle assessment, 5(6), 349.

Burton, D. L., Li, X. and Grant, C. A. 2008. Influence of fertilizer nitrogen source and management practice on N2O emissions from two Black Chernozemic soils. Canadian Journal of Soil Science, 88(2), 219-227.

Cameron, K. C., Di, H. J. and Moir, J. L. 2013. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. Annals of Applied Biology, 162(2), 145-173.

Castellano, M. J., Schmidt, J. P., Kaye, J. P., Walker, C., Graham, C. B., Lin, H. and Dell, C. J. 2010. Hydrological and biogeochemical controls on the timing and magnitude of nitrous oxide flux across an agricultural landscape. Global Change Biology, 16(10), 2711-2720.

Chapuis-Lardy, L. Y. D. I. E., Wrage, N., Metay, A., CHOTTE, J. L. and Bernoux, M. 2007. Soils, a sink for N2O? A review. Global Change Biology, 13(1), 1-17.

Davidson, E. A., and Swank, W. T. 1986. Environmental parameters regulating gaseous nitrogen losses from two forested ecosystems via nitrification and denitrification. Applied and Environmental Microbiology, 52(6), 1287-1292.

Denman, K. L., Chidthaisong, A., Ciais, P., Cox, P. M., Dickinson, R. E., Hauglustaine, D., ... and Dias, P. L. D. S. 2007. Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. International Panel on Climate Change, 499-587.

Eichner, M. J. 1990. Nitrous oxide emissions from fertilized soils: summary of available data. Journal of environmental quality, 19(2), 272-280.

FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture .2018. Standard Operating Procedure for Gas Flux Measurement.

García-Marco, S., Ravella, S. R., Chadwick, D., Vallejo, A., Gregory, A. S. and Cárdenas, L. M. 2014. Ranking factors affecting emissions of GHG from incubated agricultural soils. European journal of soil science, 65(4), 573-583.

Giacomini, S. J., Jantalia, C. P., Aita, C., Urquiaga, S. S., and Alves, B. J. R. 2006. Nitrous oxide emissions following pig slurry application in soil under no-tillage system. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 41(11), 1653-1661.

Gilsanz, C., Báez, D., Misselbrook, T. H., Dhanoa, M. S., and Cárdenas, L. M. 2016. Development of emission factors and efficiency of two nitrification inhibitors, DCD and DMPP. Agriculture, Ecosystems & Environment, 216, 1-8.

Granli, T. 1994. Nitrous oxide from agriculture. Norweg. J. Agr. Sci., 12, 128.

Groffman, P. M. 1987. Nitrification and denitrification in soil: a comparison of enzyme assay, incubation and enumeration methods. Plant and soil, 97(3), 445-450.

Guardia, G., Tellez-Rio, A., García-Marco, S., Martin-Lammerding, D., Tenorio, J. L., Ibáñez, M. Á. and Vallejo, A. 2016. Effect of tillage and crop (cereal versus legume) on greenhouse gas emissions and Global Warming Potential in a non-irrigated Mediterranean field. Agriculture, ecosystems & environment, 221, 187-197.

Halvorson, A. D., Snyder, C. S., Blaylock, A. D. and Del Grosso, S. J. 2014. Enhanced-efficiency nitrogen fertilizers: Potential role in nitrous oxide emission mitigation. Agronomy Journal, 106(2), 715-722.

Huerfano, X., Fuertes-Mendizábal, T., Duñabeitia, M. K., González-Murua, C., Estavillo, J. M. and Menéndez, S. 2015. Splitting the application of 3, 4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP): Influence on greenhouse gases emissions and wheat yield and quality under humid Mediterranean conditions. European Journal of Agronomy, 64, 47-57.

Lal, R. 2007. World soils and global issues. Soil & tillage research.

Linzmeier, W., Gutser, R. and Schmidhalter, U. 2001. 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.

Oertel, C., Matschullat, J., Zurba, K., Zimmermann, F. and Erasmi, S. 2016. Greenhouse gas emissions from soils—A review. Chemie der Erde-Geochemistry, 76(3), 327-352.

Parkin, T. B. 2008. Effect of sampling frequency on estimates of cumulative nitrous oxide emissions. Journal of environmental quality, 37(4), 1390-1395.

Perälä, P., Kapuinen, P., Esala, M., Tyynelä, S. and Regina, K. 2006. Influence of slurry and mineral fertiliser application techniques on N2O and CH4 fluxes from a barley field in southern Finland. Agriculture, ecosystems & environment, 117(1), 71-78.

Reay, D. S., Davidson, E. A., Smith, K. A., Smith, P., Melillo, J. M., Dentener, F. and Crutzen, P. J. (2012). Global agriculture and nitrous oxide emissions. Nature climate change, 2(6), 410.

Saggar, S., Singh, J., Giltrap, D. L., Zaman, M., Luo, J., Rollo, M., ... and Van der Weerden, T. J. 2013. Quantification of reductions in ammonia emissions from fertiliser urea and animal urine in grazed pastures with urease inhibitors for agriculture inventory: New Zealand as a case study. Science of the Total Environment, 465, 136-146.

Sainju, U. M., Stevens, W. B., Caesar-TonThat, T., and Jabro, J. D. 2010. Land use and management practices impact on plant biomass carbon and soil carbon dioxide emission. Soil Science Society of America Journal, 74(5), 1613-1622.

Sanchez-Martín, L., Meijide, A., Garcia-Torres, L. and Vallejo, A. 2010a. Combination of drip irrigation and organic fertilizer for mitigating emissions of nitrogen oxides in semiarid climate. Agriculture, ecosystems & environment, 137(1-2), 99-107.

Sanz-Cobena, A., Abalos, D., Meijide, A., Sanchez-Martin, L. and Vallejo, A. 2016. Soil moisture determines the effectiveness of two urease inhibitors to decrease N 2 O emission. Mitigation and adaptation strategies for global change, 21(7), 1131-1144.

Smith, K. A., Ball, T., Conen, F., Dobbie, K. E., Massheder, J. and Rey, A. 2018. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. European journal of soil science, 69(1), 10-20.

Smith, K. A., Dobbie, K. E., Thorman, R., Watson, C. J., Chadwick, D. R., Yamulki, S. and Ball, B. C. 2012. The effect of N fertilizer forms on nitrous oxide emissions from UK arable land and grassland. Nutrient cycling in Agroecosystems, 93(2), 127-149.

Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L. and Fixen, P. E. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. Agriculture, Ecosystems & Environment, 133(3-4), 247-266.

Steudler, C. N. P. A., Garcia-Montiel, D. C., Melillo, J. M., Feigl, B. J., Piccolo, M. C. and Cerri, C. C. 2005. Rates and controls of nitrous oxide and nitric oxide emissions following conversion of forest to pasture in Rondônia. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 71(1), 1-15.

Stevens, R. J. and Laughlin, R. J. 1998. Measurement of nitrous oxide and di-nitrogen emissions from agricultural soils. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 52(2-3), 131-139.

Sutka, R. L., Ostrom, N. E., Ostrom, P. H., Breznak, J. A., Gandhi, H., Pitt, A. J., and Li, F. 2006. Distinguishing nitrous oxide production from nitrification and denitrification on the basis of isotopomer abundances. Appl. Environ. Microbiol., 72(1), 638-644.

Tan, I. Y., van Es, H. M., Duxbury, J. M., Melkonian, J. J., Schindelbeck, R. R., Geohring, L. D., ... and Moebius, B. N. 2009. Single-event nitrous oxide losses under maize production as affected by soil type, tillage, rotation, and fertilization. Soil and Tillage Research, 102(1), 19-26.

Thomson, A. J., Giannopoulos, G., Pretty, J., Baggs, E. M. and Richardson, D. J. 2012. Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emissions.

Thomson, A. J., Giannopoulos, G., Pretty, J., Baggs, E. M. and Richardson, D. J. 2012. Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emissions.

Timilsena, Y. P., Adhikari, R., Casey, P., Muster, T., Gill, H. and Adhikari, B. 2015. Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. Journal of the Science of Food and Agriculture, 95(6), 1131-1142.

Wulf, S., Maeting, M., Bergmann, S. and Clemens, J. 2001. Simultaneous Measurement of NH~ 3, N~ 2O and CH~ 4 to Assess Efficiency of Trace Gas Emission Abatement After Slurry Application. PHYTON-HORN-, 41(3), 131-142.

Zaman, M., Nguyen, M. L. and Saggar, S. 2008c. N2O and N2 emissions from pasture and wetland soils with and without amendments of nitrate, lime and zeolite under laboratory condition. Soil Research, 46(7), 526-534.

Zaman, M., Nguyen, M. L., Gold, A. J., Groffman, P. M., Kellogg, D. Q. and Wilcock, R. J. 2008b. Nitrous oxide generation, denitrification, and nitrate removal in a seepage wetland intercepting surface and subsurface flows from a grazed dairy catchment. Soil Research, 46(7), 565-577.

Zaman, M., Nguyen, M. L., Šimek, M., Nawaz, S., Khan, M. J., Babar, M. N. and Zaman, S. 2012. Emissions of nitrous oxide (N_2O) and di-nitrogen (N2) from the agricultural landscapes, sources, sinks, and factors affecting N2O and N2 ratios. In Greenhouse gases-emission, measurement and management. InTech.

Zanatta, J. A., Bayer, C., Vieira, F. C., Gomes, J. and Tomazi, M. 2010. Nitrous oxide and methane fluxes in South Brazilian Gleysol as affected by nitrogen fertilizers. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34(5), 1653-1665.

Topic for submission: Soil and Climate Change

Management Strategies for mitigating nitrous oxide emission from agricultural soils

Mirkhani, R., Mirzaei*[1], M., Gorji, M., Shorafa, M

M.Sc, Nuclear Agriculture School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran.

Ph.D Student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, Tehran University, Tehran, Iran.

Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, Tehran University, Tehran, Iran.

Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, Tehran University, Tehran, Iran.

Abstract

Nowadays the emission of greenhouse gases into the atmosphere and their effects on climate change is one of the biggest concerns. The carbon dioxide (CO_2), nitrous oxide (N_2O) and methane (CH_4) are the main greenhouse gases. Nitrous oxide is a strong greenhouse gas and its global warming potential is 298 times higher than carbon dioxide. Most of the N_2O emissions take place in soils and are related to agricultural activities. The N_2O formation in the soil occurs mainly through nitrification and denitrification processes, which are influenced by various environmental and management factors. This paper examines mechanisms for the formation and emission of nitrous oxide in agricultural soils and describes the factors affecting them, and also presents efficient management strategies for mitigating the emission of this greenhouse gas. The application of new irrigation methods, optimum use of nitrogen fertilizers, is one of the best management measures that can significantly reduce the release of nitrous oxide. Nuclear technology not only detected the source of nitrous oxide emissions (denitrification or nitrification) but also it can perform significant role in selection and implementation of desirable agronomic activities, and the prevention of the release of this greenhouse gas. Therefore, the implementation and operation of the solutions presented in this paper is proposed as an important approach to reduce nitrous oxide greenhouse gas emissions and preventing the phenomenon of global warming.

Keywords: Agriculture; Climate change; Denitrification;; Global Warming; Nitrification

* Corresponding author, Email: mirzaei.morad95@ut.ac.ir.