فصلنامه علوم محیطی، دوره نوزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰

۳۳-۴۸

مقاله پژوهشی

بررسی اثر متقابل اسیدیته خاک و نوع کود نیتروژنی بر تصعید گاز آمونیاک از خاک

مصطفی بهبوئیه جوزم[۱]، مهدی کریمی[۲]* و امیر بستانی[۱]

[۱] گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
[۲] مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۸

بهبوئیه جوزم، م.، م. کریمی و ع. بستانی. ۱۴۰۰. بررسی اثر متقابل اسیدیته خاک و نوع کود نیتروژنی بر تصعید گاز آمونیاک از خاک. فصلنامه علوم محیطی. ۱۹(۴): ۳۳-۴۸.

سابقه و هدف: اگرچه مصرف کودهای شیمیایی برای افزایش تولید در واحد سطح محصول‌های کشاورزی ضرورت داشته و سالانه در کشور حدود دو میلیون تن کودهای نیتروژنی مصرف می‌شود ولی بخش زیادی از کودهای مصرفی جذب گیاه نشده (بیش‌از ۸۰ درصد از کودهای مصرف شده در برخی از مزرعه‌های گندم کشور) و به‌صورت گاز از سطح خاک به اتمسفر وارد شده و موجب آلودگی هوا می‌گردد. بنابراین بررسی راهکارهای کاهش تصعید نیتروژن در بخش کشاورزی ضرورت داشته و تحقیق اخیر با هدف اندازه‌گیری میزان تصعید نیتروژن و تعیین مناسب‌ترین منبع کود نیتروژنی برای خاک‌های با اسیدیته مختلف کشور طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: در مرحله اول نسبت به طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری تصعید نیتروژن اقدام گردید. خاک‌های با اسیدیته مختلف از مؤسسه تحقیقات چای کشور واقع در لاهیجان و همچنین ایستگاه تحقیقاتی مرکز ملی تحقیقات شوری واقع در شهرستان اشکذر از توابع استان یزد تهیه گردید. سپس اثر پنج نوع کود نیتروژنی (سولفات آمونیوم، نیترات آمونیوم، اوره، اوره با پوشش گوگردی و نیترات پتاسیم) و سه سطح اسیدیته خاک (۴/۵، ۶/۵ و ۷/۸۸) بر میزان تصعید روزانه و تجمعی نیتروژن به مدت ۲۲ روز بررسی شد. تیمارهای تحقیق در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طراحی و در مرکز ملی تحقیق‌های شوری اجرا گردید.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که اسیدیته خاک و نوع کود نیتروژنی تأثیر معنی‌داری بر میزان تصعید نیتروژن و هدرروی آن دارند. بیش‌از ۵۹ درصد از نیتروژن مصرفی از طریق کود سولفات آمونیوم در خاک با pH ۷/۸۸ به‌صورت گاز آمونیاک از دسترس گیاه خارج و موجب آلودگی هوا می‌گردد. این میزان برای کودهای نیترات آمونیوم و اوره به‌ترتیب معادل ۴۹ درصد و برای اوره با پوشش گوگردی و نیترات پتاسیم به ترتیب معادل ۷/۶ و ۰/۰۱۸ درصد است. کمترین تصعید نیتروژن در تمامی سطح‌های اسیدیته خاک مربوط به کود نیترات پتاسیم بود. میزان تصعید نیتروژن از این کود در تمام سطح‌های pH خاک بسیار ناچیز و کمتر از ۰/۰۷ میلی‌گرم نیتروژن خالص در کل دوره آزمایش (۲۲ روز) بود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد با کاهش pH خاک از ۷/۸۸ به ۶/۵ میزان کل نیتروژن تصعید شده در مورد کودهای سولفات و نیترات آمونیوم کاهش و به ترتیب از ۲۲۷/۱۵ و ۱۸۹/۸۲ به ۲/۳۹ و ۰/۹۹ میلی‌گرم نیتروژن خالص در کل دوره

* Corresponding Author: *Email Address*. m.karimizarchi@areeo.ac.ir
http://dx.doi.org/10.52547/envs.2021.33552
http://dorl.net/dor/ 20.1001.1.17351324.1400.19.4.10.8

آزمایش (۲۲ روز) کاهش یافت. میزان کل نیتروژن تصعید شده از کودهای سولفات و نیترات آمونیوم از خاک با pH معادل ۴/۵ به ترتیب معادل ۲/۵۱ و ۱/۳۳ میلی‌گرم نیتروژن خالص در کل دوره آزمایش (۲۲ روز) بود. اگرچه با کاهش pH خاک از ۷/۸۸ به ۴/۵، میزان نیتروژن تصعید شده از ۱۸۸ به ۱۵۷ میلی‌گرم نیتروژن خالص در کل دوره آزمایش (۲۲ روز) کاهش یافت اما با کاهش pH خاک از ۷/۸۸ به ۴/۵ میزان تصعید درمورد کود اوره با پوشش گوگردی از ۲۹/۲ به ۸۷/۰۵ میلی‌گرم، نیتروژن در کل دوره آزمایش (۲۲ روز) افزایش یافت. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که بیشترین سرعت تصعید نیتروژن به نوع کود و اسیدیته خاک بستگی داشت. بیشترین سرعت تصعید نیتروژن (۵۰/۷۵ میلی‌گرم نیتروژن در روز) مربوط به کود اوره بود که در خاک اسیدی (pH معادل ۴/۵) اتفاق افتاد. در خاک با pH معادل ۶/۵ نیز بیشترین سرعت تصعید نیتروژن مربوط به کود اوره و معادل ۴۰/۷۴ میلی‌گرم در روز بود. با افزایش pH خاک به ۷/۸۸ بیشترین تصعید روزانه متعلق به کود سولفات آمونیوم و معادل ۴۶/۰۳ میلی‌گرم در روز بود و پس از آن کودهای نیترات آمونیوم و اوره به ترتیب با تصعید روزانه ۲۲/۹۴ و ۱۵/۱۲ میلی‌گرم نیتروژن در جایگاه دوم و سوم قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری: درصورت انتخاب نوع کود مناسب، می‌توان سهم هدرروی کودهای نیتروژنی از طریق تصعید را به میزان معنی‌داری کاهش داد. براساس نتایج این پژوهش، جهت مصرف سطحی، کود نیترات پتاسیم مناسب‌ترین گزینه کود نیتروژنی در کلیه سطح‌های اسیدیته خاک می‌باشد. در خاک‌های با pH معادل و کمتر از ۶/۵۵، کودهای نیترات آمونیوم و سولفات آمونیوم و در خاک‌های با pH معادل و بیشتر از ۷/۸۸، کود اوره با پوشش گوگردی دارای کمترین میزان تصعید می‌باشند.

واژه‌های کلیدی:pH خاک، سولفات پتاسیم، هدرروی نیتروژن.

مقدمه

یکی از مشکل‌های اساسی بخش کشاورزی، پایین بودن کارایی جذب کودهای نیتروژنی می‌باشد. به‌عنوان نمونه کارایی جذب کودهای نیتروژنی در بیشتر مزرعه‌های گندم استان یزد کمتر از ۲۰ درصد گزارش شده است (Karimizarchi, 2015). به‌عبارت دیگر ۸۰ درصد از کودهای نیتروژنی مصرفی مورد استفاده گیاه قرار نگرفته و ممکن است زمینه آلودگی منابع آب و خاک را فراهم سازد. این در حالی است که مقدار کود نیتروژنی مورد نیاز کشور، ۲/۸ میلیون تن در سال برآورد شده است (FAO, 2011: Khavazi *et al.*, 2014). این واقعیت تلخ بیانگر تحمیل هزینه‌های اضافی برای کشاورزان، خروج ارز از کشور، تولید غذای ناسالم و افزایش احتمال آلودگی محیط زیست و منابع آب و خاک می‌باشد.

به‌غیراز آبشویی، تصعید نیتروژن از سطح خاک یکی از روش‌های هدرروی نیتروژن در بخش کشاورزی بوده و از دلیل‌های پایین بودن کارایی جذب کودهای نیتروژنی محسوب می‌گردد (Li *et al.*, 2018: Viero *et al.*, 2014). به‌عنوان نمونه نتایج تحقیق‌های مزرعه‌ای در چین (Pacholski *et al.*, 2006) نشان داد که بیش از ۴۵ درصد از کود اوره مصرفی در مزرعه به‌صورت گاز امونیاک از دسترس گیاه خارج می‌گردد. لازم به بیان است که هدرروی نیتروژن از طریق تصعید ممکن است تا ۸۰ درصد از کود مصرفی را شامل شود. منظور از تصعید نیتروژن خروج گاز امونیاک از فاز محلول خاک به هوای خاک می‌باشد. بنابراین هرچه میزان گاز امونیاک در فاز محلول خاک بیشتر باشد، احتمال خروج آن به هوای خاک و در نتیجه میزان تصعید بیشتر است (Dari *et al.*, 2019). از آنجا که میزان گاز آمونیاک در فاز محلول خاک به شدت به غلظت یون آمونیوم و هیدروکسید بستگی دارد، بنابراین با افزایش pH، غلظت یون هیدروکسید افزایش و در نتیجه غلظت گاز آمونیاک در فاز محلول خاک افزایش می‌یابد (Jones *et al.*, 2005). همچنین نتایج تحقیق‌های انجام شده بیانگر این واقعیت است که در pH کمتر از ۷/۵ میزان گاز حل شده در خاک نزدیک به صفر است اما با افزایش pH به بیش از ۷/۵ میزان گاز آمونیاک حل شده در خاک به شدت افزایش یافته و انتظار می‌رود میزان تصعید نیتروژن نیز به شدت افزایش یابد (Jones *et al.*, 2005).

عامل‌های زیادی بر میزان تصعید نیتروژن از سطح خاک مؤثر هستند (Liu *et al.*, 2018). اما اسیدیته خاک و نوع کود نیتروژنی دو عامل بسیار مهم در میزان تصعید نیتروژن شناخته شده‌اند. نتایج تحقیق‌های سایر محققان (Karimizarche *et al.*, 2016) نشان داد که بیش از ۸۰ درصد از اوره مصرفی در یک خاک در منطقه‌های حاره با pH معادل ۷/۶۵ از طریق تصعید از دسترس گیاه خارج می‌گردد. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که اسیدی کردن خاک موجب کاهش میزان تصعید از کود اوره گردید به نحوی که با کاهش اسیدیته خاک به ۳/۷۷ میزان تصعید به حدود ۳۰ درصد از کود اوره مصرفی کاهش یافت. اثر نوع کود نیتروژنی بر میزان تصعید نیتروژن بررسی شده است (Liu *et al.*, 2018). نتایج سایر تحقیق‌ها (Fenn and Kissel, 1974) نیز نشان داد که ۶۸/۰۰، ۵۵/۰۰، ۵۱/۰۰، ۱۶/۰۰ و ۱۸/۰۰ درصد از نیتروژن مصرفی به‌صورت فلورایدآمونیوم، سولفات‌آمونیوم، فسفات‌آمونیوم، یدید آمونیوم و کلرید آمونیوم مصرف شده در یک خاک آهکی به‌صورت گاز آمونیاک تصعید گردید.

راهکارهای مختلفی برای کاهش میزان تصعید نیتروژن ارائه شده است (Pan *et al.*, 2016). تغییر منبع کود نیتروژنی، جایگذاری عمیق کودها، مصرف کودهای پوشش‌دار و کاهش مقدار مصرف کود نیتروژنی از جمله راهکارهای کاهش میزان تصعید بیان شده است. این در حالی است که تقسیط کودها تأثیری بر میزان تصعید نیتروژن ندارد اما نگهداری بقایا در سطح خاک موجب افزایش تصعید نیتروژن می‌گردد (Pan *et al*, 2016). این موضوع توسط سایر محققان (Mansouri *et al.*, 2017) نیز تأیید شده است.

با توجه به موارد بیان شده بالا مشخص می‌شود که دو عامل اسیدیته خاک و نوع کود نیتروژنی تأثیر زیادی بر میزان تصعید نیتروژن دارند. با توجه به اینکه مطالعات مربوط به تصعید نیتروژن در مورد خاک‌های ایران بسیار محدود بوده و گزارشی توسط نگارندگان ملاحظه نگردید، این تحقیق با هدف بررسی اثر اسیدیته خاک و نوع کود نیتروژنی بر میزان تصعید نیتروژن طراحی و با همکاری دانشگاه شاهد در مرکز ملی تحقیقات شوری اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر نوع کود نیتروژنی و اسیدیته خاک بر میزان هدرروی نیتروژن از خاک به‌صورت گاز آمونیاک در شرایط آزمایشگاهی (دمای حدود بیست و پنج درجه سانتیگراد) و در فروردین ماه سال ۱۳۹۷ در مرکز ملی تحقیقات شوری انجام شد. در مرحله اول نسبت به ساخت دستگاه تصعید نیتروژن اقدام شد (Fenn and Kissel, 1974). هر واحد آزمایشی شامل یک پمپ آکواریوم جهت تولید باد، واحد مرطوب کننده به‌منظور جلوگیری از کاهش سریع رطوبت خاک، اتاقک تصعید نیتروژن (شامل خاک و کود) و واحد جمع آوری گاز آمونیاک (حاوی اسیدبوریک دو درصد) می‌باشد. بدین صورت که ابتدا هوای تولید شده توسط پمپ آکواریوم به‌وسیله یک لوله استیل به واحد مرطوب کننده منتقل می‌شود. سپس هوای مرطوب شده بوسیله یک لوله استیل دیگر وارد اتاقک تصعید می‌شود. درنهایت آمونیاک تصعید شده در واحد جمع‌آوری گاز آمونیاک (حاوی اسیدبوریک دو درصد) جمع آوری و با استفاده از اسید کلریدریک ۰/۰۱ نرمال تیتر و محاسبه شد (Karimizarchi *et al.*, 2015). رطوبت اولیه خاک معادل ۶۰ درصد رطوبت زراعی تنظیم گردید. به‌منظور جلوگیری از خشک خاک، وزن خاک به‌صورت روزانه اندازه گیری شد و مقدار رطوبت کاهش یافته از طریق اضافه نمودن آب مقطر تأمین گردید. خاک‌های مورد مطالعه از مزرعه تحقیقات شوری صدوق واقع در شهرستان اشکذر – منطقه حسین آباد (pH معادل ۷/۸۸) (Karimi, 2019) و مؤسسه تحقیقات چای واقع در لاهیجان (با pH معادل ۶/۵ و ۴/۵) تهیه شد. پس از انتقال خاک‌ها به مرکز ملی تحقیقات شوری، نسبت به خشک کردن، الک کردن و نگهداری آن‌ها در آزمایشگاه اقدام گردید. تیمارهای این تحقیق شامل سه

سطح اسیدیته عصاره گل اشباع خاک (۷/۸۸، ۶/۵ و ۴/۵) و پنج نوع کود نیتروژنی (اوره، نیترات آمونیوم، سولفات آمونیوم، نیترات پتاسیم و اوره با پوشش گوگردی) بودند که در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار در شرایط آزمایشگاهی اجرا شد. آزمایش تصعید در تاریخ دوازدهم اسفندماه سال ۱۳۹۶ با پخش سطحی کودها روی خاک شروع و به مدت بیست و دو روز ادامه داشت. میزان نیتروژن مصرفی برای کلیه تیمارها مساوی و معادل ۳۸۰ میلی‌گرم نیتروژن خالص بود. میزان تصعید روزانه نیتروژن با جمع آوری روزانه آمونیاک تصعید شده در اسید بوریک ۲ درصد اندازه گیری شد. تصعید تجمعی نیتروزن از جمع روزانه گاز آمونیاک تصعید شده محاسبه گردید. کل نیتروژن تصعید شده از مجموع نیتروژن تصعید شده در طول دوره آزمایش (۲۲ روز) حاصل شد. منظور از بیشترین تصعید روزانه، بیشترین مقدار نیتروژنی است که در یک روز به‌صورت گاز آمونیاک از سطح خاک خارج می‌شود. زمان حداکثر تصعید، تعداد روز پس از شروع انکوباسیون است که بیشترین تصعید روزانه مشاهده شود. هر اتاقک تصعید حاوی ۱۵۰ گرم خاک مرطوب بود.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های استفاده در آزمایش
Table 1. Some of physico-chemical properties of the soil used in the experiment

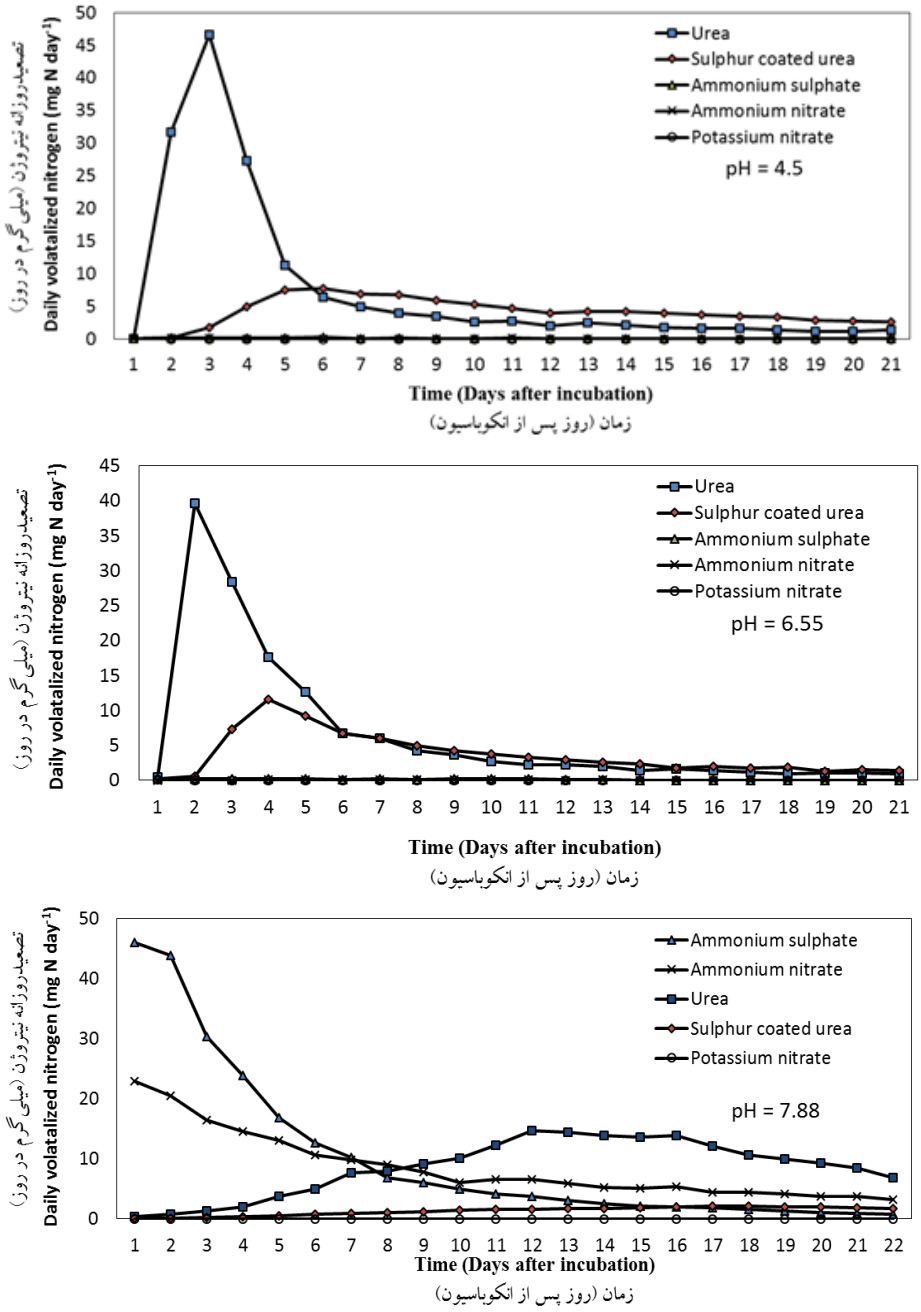
شماره خاک Soil source	اسیدیته pH	درصد مواد آلی O.M (%)	درصد مواد خنثی شونده T.N.V (%)	درصد شن Sand (%)	درصد سیلت Silt (%)	درصد رس Clay (%)	بافت خاک Soil texture
1	7.88	0.80	23.3	60	20	20	Sandy clay loam
2	6.5	2.81	0.4	60	14	26	Clay loam
3	4.5	2.81	0.4	60	14	26	Clay loam

نتایج و بحث

اثر نوع کود نیتروژنی بر تصعید روزانه نیتروژن

شکل ۱ الگوی تصعید روزانه نیتروژن از پنج نوع کود نیتروژنی (سولفات آمونیوم، نیترات آمونیوم، اوره، اوره با پوشش گوگردی و نیترات پتاسیم) و از خاک‌های با اسیدیته‌های مختلف را نشان داده است. همانطور که از این شکل مشخص است، الگوی تصعید روزانه نیتروژن از کودهای مورد مطالعه در pH های ۴/۵ و ۶/۵ مشابه بود. اما در pH معادل ۷/۸۸ الگوی تصعید روزانه نیتروژن در کودهای مورد مطالعه به‌طور کامل متفاوت از دو اسیدیته بیان شده بود. همچنین الگوی تصعید روزانه نیتروژن در pH معادل ۷/۸۸ به نوع کود بستگی دارد. میزان تصعید روزانه در مورد کودهای سولفات و نیترات آمونیوم در اولین روز انکوباسیون بیشترین میزان بود (به ترتیب ۴۶/۰۳۵ و ۲۲/۹۴۵ میلی گرم نیتروژن خالص در روز) و با گذشت زمان کاهش یافت. دلیل این مشاهده حلالیت زیاد این دو کود و رهاسازی مقادیر زیاد یون آمونیوم به‌عنوان منبع تأمین کننده گاز آمونیاک در اولین روز مصرف کود به خاک می‌باشد (He *et al.*, 1999). حداقل تصعید روزانه در مورد سولفات و نیترات آمونیوم در آخرین روز آزمایش (روز بیست و دوم) مشاهده شد و به ترتیب معادل ۰/۸۴ و ۳/۲۴ میلی‌گرم نیتروژن خالص در روز بود. این مشاهده به‌دلیل کاهش غلظت یون آمونیوم در خاک با افزایش زمان انکوباسیون است. برخلاف کودهای سولفات و نیترات آمونیوم، تصعید روزانه نیتروژن در pH معادل ۷/۸۸ و در مورد کودهای اوره و اوره با پوشش گوگردی در ابتدای انکوباسیون پایین بود (به ترتیب ۰/۳۲ و ۰/۰۹ میلی گرم نیتروژن خالص در روز) و با گذشت زمان از روند افزایشی برخوردار بود. دلیل این مشاهده زمان‌بر بودن فرایند هیدرولیز اوره و تولید یون آمونیوم به‌عنوان منبع تأمین کننده گاز آمونیاک می‌باشد (Fisher *et al.*, 2016). در مورد اوره روند افزایشی تصعید نیتروژن تا روز دوازدهم انکوباسیون ادامه یافت و پس از آن روند نزولی تصعید روزانه مشاهده گردید. دلیل این موضوع، کاهش غلظت یون آمونیوم می‌باشد (Jones *et al.*, 2005). بیشترین

تصعید روزانه در مورد کود اوره معادل ۱۴/۷۸ میلی‌گرم نیتروژن خالص تصعید بود. با توجه به شکل ۱ مقدار تصعید نیتروژن کود اوره با پوشش گوگردی در ابتدا روند افزایشی داشت. با گذشت زمان مقدار تصعید به مقدار حداکثر خود رسید و در نهایت تا روز پایانی انکوباسیون روند کاهشی داشت. مقدار تصعید برای کود نیترات پتاسیم در دو روز ابتدایی تصعید وجود داشت و پس از آن مقدار تصعید صفر بود. عدم تصعید نیتروژن از کود سولفات پتاسیم توسط سایر محققان Cevallos *et al.*, (2015) نیز گزارش شده است.



شکل ۱- اثر منبع کود نیتروژنی (سولفات آمونیوم، نیترات آمونیوم، اوره، اوره با پوشش گوگردی و نیترات پتاسیم) بر تصعید روزانه گاز آمونیاک از خاک‌های با pH متفاوت (۴/۵، ۶/۵ و ۷/۸۸)

Fig. 1- Effect of nitrogen fertilizer sources (ammonium sulphate, ammonium nitrate, urea, sulphur coated urea, and potassium nitrate) on daily ammonia volatilization from soils with different acidities (4.5, 6.5, and 7.88)

الگوی تصعید روزانه نیتروژن در خاک با pH ۴/۵ به نوع کود بستگی دارد (شکل ۱). تصعید روزانه نیتروژن در مورد کودهای اوره و اوره با پوشش گوگردی در ابتدای انکوباسیون پایین بود و به‌ترتیب معادل ۰/۰۴۵ و ۰/۰۴۵ میلی گرم نیتروژن خالص در روز بود. دلیل این مشاهده زمان‌بر بودن فرایند هیدرولیز اوره و تولید یون آمونیوم به‌عنوان منبع تأمین کننده گاز آمونیاک می‌باشد (Fisher *et al.*, 2016). در مورد اوره روند افزایشی تصعید نیتروژن تا روز سوم انکوباسیون و به‌دلیل فراوانی یون آمونیوم و افزایش موقت pH خاک ناشی از هیدرولیز اوره (He *et al.*, 1999) ادامه یافت و پس از آن روند نزولی تصعید روزانه به‌دلیل پایین بودن pH خاک مشاهده گردید. بیشترین تصعید روزانه در مورد کود اوره معادل ۴۶/۶۶۵ میلی‌گرم نیتروژن خالص تصعید شده بود. برای کود اوره با پوشش گوگردی روند افزایش تصعید تا روز ششم ادامه یافت و سپس روند نزولی تصعید مشاهده شد. بیشترین میزان تصعید روزانه برای کود اوره با پوشش گوگردی معادل ۷/۷۸ میلی‌گرم نیتروژن خالص بود. کمتر بودن حداکثر تصعید روزانه در مورد کود اوره با پوشش گوگردی و در مقایسه با کود اوره، به‌دلیل پوشش گوگردی آن می‌باشد (Karimizarchi *et al.*, 2015). برای دو کود سولفات و نیترات آمونیوم که در pH قلیایی تصعید بالایی دارند، میزان تصعید روزانه در این pH بسیار اندک می‌باشد. بیشترین مقدار تصعید روزانه برای سولفات آمونیوم در pH ۴/۵در روز ششم و معادل ۰/۳۱۵ میلی‌گرم نیتروژن خالص رخ داده است. همین مقدار برای کود نیترات آمونیوم در روز دوم و معادل ۰/۱۶۵ میلی‌گرم نیتروژن خالص بود. میزان تصعید روزانه برای کود نیترات پتاسیم در این pH بسیار ناچیز بوده و معادل صفر درنظر گرفته می‌شود. پایین بودن میزان تصعید روزانه در مورد این کودها، به‌دلیل پایین بودن pH خاک و عدم افزایش pH موقت خاک به‌دلیل نبود فرایند هیدرولیز می‌باشد (Dari *et al.*, 2019).

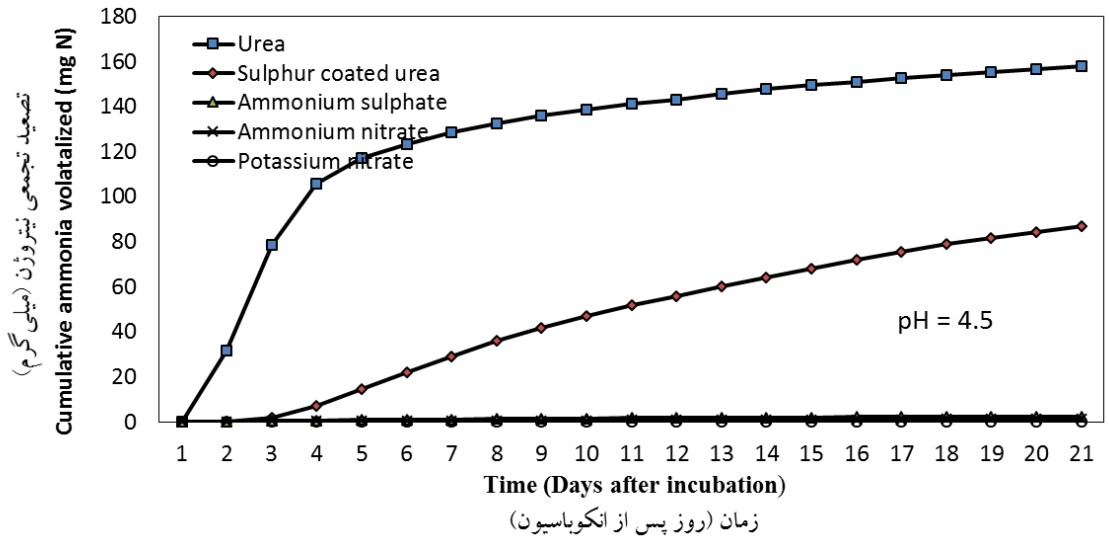
الگوی تصعید روزانه نیتروژن در خاک با pH معادل ۶/۵۵ شبیه تصعید روزانه در خاک با pH ۴/۵ بود و به نوع کود بستگی دارد (شکل ۱). تصعید روزانه نیتروژن در مورد کودهای اوره و اوره با پوشش گوگردی در ابتدای انکوباسیون پایین بود (به ترتیب ۰/۴۳۵ و ۰/۲۴۵ میلی گرم نیتروژن خالص در روز) و با گذشت زمان از روند افزایشی برخوردار بود. در مورد اوره روند افزایشی تصعید روزانه نیتروژن تا روز دوم انکوباسیون ادامه یافت و پس از آن روند نزولی تصعید روزانه مشاهده گردید. بیشترین تصعید روزانه در مورد کود اوره معادل ۳۹/۷ میلی‌گرم نیتروژن خالص تصعید شده بود. برای کود اوره با پوشش گوگردی روند افزایش تصعید تا روز چهارم ادامه یافت و سپس روند نزولی تصعید روزانه مشاهده شد. بیشترین میزان تصعید روزانه برای کود اوره با پوشش گوگردی معادل ۱۱/۶۴۵ میلی‌گرم نیتروژن خالص بود. برای دو کود سولفات و نیترات آمونیوم که در pH قلیایی تصعید بالایی دارند، میزان تصعید در این pH بسیار اندک می‌باشد. بیشترین مقدار تصعید روزانه برای سولفات آمونیوم در pH۶/۵۵ در روز دهم و معادل ۰/۲۷۵ میلی‌گرم نیتروژن خالص رخ داده است. همین مقدار برای کود نیترات آمونیوم در روز نهم و معادل ۰/۱۳۵ میلی‌گرم نیتروژن خالص بود. میزان تصعید برای کود نیترات پتاسیم در این pH بسیار ناچیز بوده و معادل صفر درنظر گرفته می‌شود.

اثر نوع کود نیتروژنی بر تصعید تجمعی نیتروژن

شکل ۲ الگوی تصعید تجمعی نیتروژن از کودهای شیمیایی نیترات آمونیوم، سولفات آمونیوم، اوره، اوره با پوشش گوگردی و نیترات پتاسیم را در خاک‌های با اسیدیته‌های مختلف (۴/۵، ۶/۵۵ و ۷/۸۸) نشان

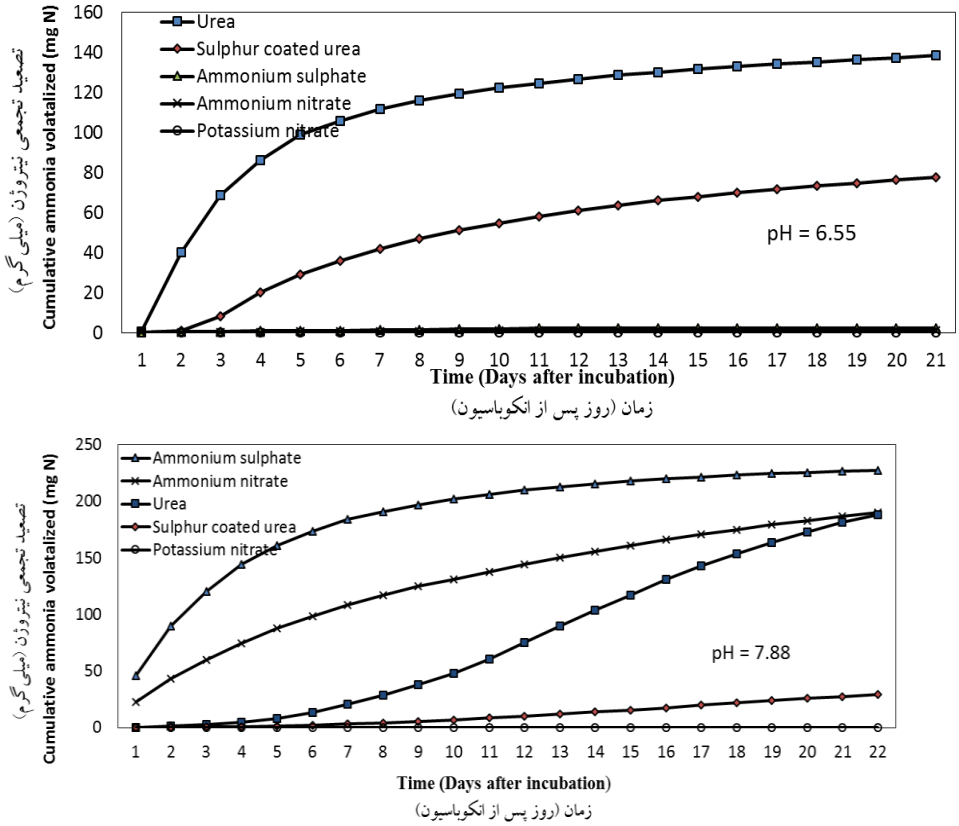
می‌دهد. همانطور که از این شکل‌ها مشخص است الگوی تصعید تجمعی نیتروژن در pH های ۴/۵ و ۶/۵۵ مشابه بود. ولی الگوی تصعید تجمعی در مورد pH ۷/۸۸ متفاوت از pH های ۴/۵ و ۶/۵۵ بود.

در خاک اسیدی با pH معادل ۴/۵، تصعید نیتروژن از کود نیترات پتاسیم اتفاق نیافتاد. این مشاهده به‌دلیل نبود یون آمونیوم در کود مورد استفاده و حضور تنها یون نیترات در کود می‌باشد. زیرا خروج گاز آمونیاک از خاک به اتمسفر (تصعید) تنها با حضور یون آمونیوم میسر می‌باشد. اما تصعید تجمعی در مورد کود سولفات آمونیوم تا هجدهمین روز انکوباسیون ادامه یافت و سپس به میزان ثابت رسید. روند افزایشی تصعید تجمعی در مورد سایر کودها شامل اوره، اوره با پوشش گوگردی و نیترات آمونیوم تا آخرین روز تحقیق ادامه یافت. بیشتر بودن میزان تصعید تجمعی در مورد کودهای اوره و اوره با پوشش گوگردی نسبت به نیترات پتاسیم، تبدیل کود اوره به یون آمونیوم (هیدرولیز) و تبدیل یون آمونیوم به گاز آمونیاک و خروج آن از سطح خاک می‌باشد. این در حالی است که نیتروژن موجود در نیترات پتاسیم از نوع نیتراتی است و فرایند تصعید در مورد نیترات اتفاق نمی‌افتد. در پایان این آزمایش مقدار تصعید کل برای کود اوره کمابیش ثابت شده (معادل ۱۵۷/۷۷ میلی‌گرم نیتروژن خالص تصعید شده) می‌باشد. مقدار کل نیتروژن تصعید شده برای کودهای سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم روند افزایشی کمی داشته و افزایش تصعید تجمعی در شکل ۲ مشهود نمی‌باشد. میزان تصعید تجمعی برای کود نیترات پتاسیم همانند خاک با pH قلیایی نه تنها روند افزایشی نداشته است بلکه بسیار ناچیز بوده و معادل صفر درنظر گرفته می‌شود. مقدار کل تصعید برای کودهای اوره، اوره با پوشش گوگردی، سولفات آمونیوم، نیترات آمونیوم و نیترات پتاسیم به‌ترتیب معادل ۱۵۷/۷۷، ۸۷/۰۵، ۲/۵۱، ۱/۳۳، ۰/۰۴ میلی‌گرم نیتروژن خالص تصعید شده می‌باشد. به عبارتی دیگر ۴۱/۵۱، ۲۲/۹، ۰/۶۶، ۰/۳۵ و ۰/۰۱ درصد از نیتروژن مصرف شده برای آزمایش تصعید شده است. بنابراین در این pH دو کود اوره و اوره با پوشش گوگردی در ردیف کودهای با پتانسیل تصعید بالا قرار می‌گیرند.



شکل ۲- اثر منبع کود نیتروژنی (سولفات آمونیوم، نیترات آمونیوم، اوره، اوره با پوشش گوگردی و نیترات پتاسیم) بر تصعید تجمعی متفاوت (۴/۵، ۶/۵ و ۷/۸۸) pHگاز آمونیاک از خاک‌های با

Fig. 2- Effect of nitrogen fertilizer sources (ammonium sulphate, ammonium nitrate, urea, sulphur coated urea and potassium nitrate) on cumulative ammonia volatilization from soils with different acidities (pH=4.5, 6.5 and 7.88)



ادامه شکل ۲- اثر منبع کود نیتروژنی (سولفات آمونیوم، نیترات آمونیوم، اوره، اوره با پوشش گوگردی و نیترات پتاسیم) بر تصعید تجمعی گاز آمونیاک از خاک‌های با pH متفاوت (۴/۵، ۶/۵ و ۷/۸۸)

Fig. 2 (Cont.)- Effect of nitrogen fertilizer sources (ammonium sulphate, ammonium nitrate, urea, sulphur coated urea and potassium nitrate) on cumulative ammonia volatilization from soils with different acidities (pH=4.5, 6.5 and 7.88)

این نتایج با مشاهدات سایر تحقیق‌ها (Dillon, *et al.*, 2012) هماهنگ بود. این محققان نشان دادند که کل نیتروژن تصعید شده از کود اوره معادل ۲۰ درصد از کل نیتروژن مصرفی است ولی تنها پنج درصد از کل نیتروژن مصرفی از کود سولفات آمونیوم به‌صورت گاز آمونیاک تصعید گردید (شکل ۳).

تصعید تجمعی گاز آمونیاک از کودهای اوره و اوره با پوشش گوگردی که در سطح خاک با pH معادل ۶/۵۵ مصرف شده‌اند، روند افزایشی داشت (شکل ۲). در پایان این آزمایش، مقدار تصعید کل برای کود اوره کمابیش ثابت شد و معادل ۱۳۸/۵۵ میلی‌گرم نیتروژن خالص بود. این در حالی است که روند خاصی از میزان تصعید تجمعی گاز آمونیاک از کودهای سولفات آمونیوم، نیترات آمونیوم و نیترات پتاسیم مشاهده نشد (شکل ۲) و کل نیتروژن تصعید شده از این سه کود بسیار کم و به‌ترتیب معادل۲/۳۹، ۰/۹۹ و ۰/۰۶ میلی‌گرم بود. به‌عبارت دیگر تنها ۰/۶۲۸۹، ۰/۲۶۰۵ و ۰/۰۱۵ درصد از نیتروژن مصرف شده از این سه کود به‌صورت گاز آمونیاک از خاک خارج شده است. بنابراین در این pH، دو کود اوره و اوره با پوشش گوگردی در دسته کودهای با پتانسیل بالای تصعید قرار می‌گیرند و پوشش‌دار کردن اوره با گوگرد موجب کاهش میزان تصعید نیتروژن گردید. این مشاهده با نتایج سایر تحقیق‌های گزارش شده نیز (Shan *et al.*, 2015) مطابقت دارد. این محققان (Shan *et al.*, 2015) نشان دادند که میزان تصعید نیتروژن از کود اوره با پوشش گوگردی حدود ۶۰ درصد از میزان تصعید نیتروژن از کود اوره می‌باشد.

اثر متقابل اسیدیته و نوع کود نیتروژنی بر کل نیتروژن تصعید شده، بیشترین تصعید روزانه و زمان حداکثر سرعت تصعید روزانه

نتایج این تحقیق نشان داد که اسیدیته، نوع کود نیتروژنی و اثرات متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر کل نیتروژن تصعید شده، بیشترین سرعت تصعید روزانه و زمان حداکثر تصعید روزانه دارد (جدول ۱). همانطور که از شکل ۳ مشخص است مقدار کل نیتروژن تصعیدی به نوع کود نیتروژنی و اسیدیته خاک بستگی داشت. کمترین میزان تصعید در مورد کود نیترات پتاسیم اتفاق افتاد و اسیدیته خاک تأثیری بر میزان تصعید نیتروژن از کود نیترات پتاسیم نداشت. در تمام سطح‌های اسیدیته خاک مورد مطالعه میزان تصعید از این کود کمتر از ۰/۰۸ میلی گرم نیتروژن خالص در ۲۲ روز بود. دلیل این مشاهده، نبود یون آمونیوم به‌عنوان منبع تأمین کننده گاز آمونیاک بود.

جدول ۲-نتایج تجزیه واریانس اثرهای نوع کود و سطح های مختلف اسیدیته خاک بر کل نیتروژن تصعید شده، بیشترین مقدار تصعید روزانه نیتروژن و زمانی که بیشترین تصعید روزانه اتفاق افتاد

Table 2. Analysis of variance for total volatilized nitrogen, maximum volatilization rate and day of highest volatilization rate with different soil acidity levels and nitrogen fertilizer sources

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square		
		کل نیتروژن تصعید شده Total volatilized nitrogen	بیشترین تصعید روزانه Maximum volatilization rate	زمان حداکثر تصعید Day of highest volatilization rate
تکرار Replication	2	33.77^{ns}	19.97^{ns}	1.68^{ns}
اسیدیته pH	2	26812.8^{**}	152.46^{**}	41.40^{**}
نوع کود Fertilizer source	5	32051.71^{**}	1593.52^{**}	100.24^{**}
اسیدیته × نوع کود pH × Fertilizer source	10	12810.25^{**}	708.03^{**}	58.00^{**}
خطا Error	34	50.99	18.00	2.25
ضریب تغییرات CV		11.65	28	28.78

میانگین مربعاتی که با ns ,*و ** مشخص شده‌اند به‌ترتیب نشانگر عدم‌معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد

Values of mean square followed by ** or * are significant at α=0.01 and α=0.05, respectively. ns= non- significant

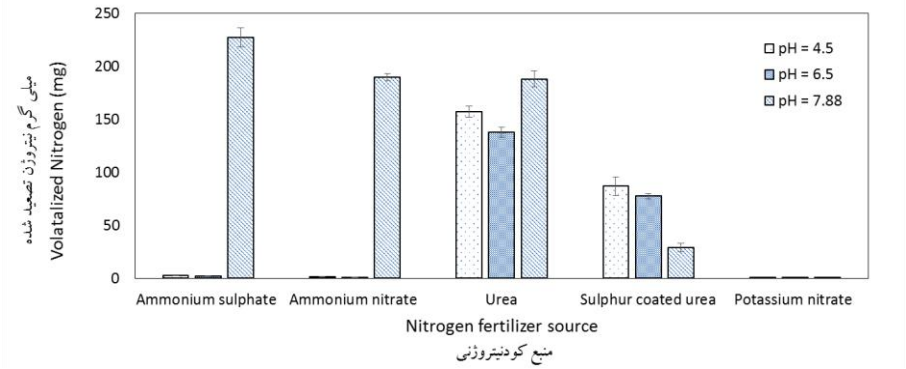
بیشترین تأثیر اسیدیته خاک بر میزان کل نیتروژن تصعید شده در مورد کودهای نیترات آمونیوم و سولفات آمونیوم و به‌دلیل داشتن مقادیر قابل توجهی از یون آمونیوم مشاهده شد (شکل ۳). مقدار کل نیتروژن تصعید شده از کود سولفات آمونیوم در pH های ۴/۵ و ۶/۵ به‌ترتیب معادل ۲/۵۱ و ۲/۳۹ میلی‌گرم بود و از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشتند. اما با افزایش pH به ۷/۸۸ مقدار نیتروژن تصعید شده از این کود به میزان ۲۲۷/۱۵ میلی‌گرم افزایش یافت. به‌عبارت دیگر میزان تصعید نیتروژن از کود سولفات آمونیوم از pH ۴/۵ تا ۶/۵ بسیار ناچیز است ولی با افزایش pH به بیش از هفت به شدت (۹۵ برابر) افزایش یافت. دلیل این مشاهده این است که میزان تصعید نیتروژن تا pH نزدیک هفت و نیم و به‌دلیل تبدیل مقادیر اندکی از یون آمونیوم به گاز آمونیاک، ناچیز است (Dari *et al.*, 2019: Jones *et al.*, 2005). اما هم-زمان با تبدیل یون آمونیوم به گاز آمونیاک که با افزایش pH به بیش از هفت و نیم رخ می‌دهد، میزان تصعید نیز به شدت افزایش می‌یابد. این نتایج شبیه مشاهدات سایر پژوهشگران (He *et al.*, 1999) می‌باشد. نتایج این محققان نشان داد که میزان تصعید نیتروژن از کود سولفات آمونیوم در pH های ۳/۵، ۴/۵، ۵/۵، ۶/۵ و ۷/۵ به‌ترتیب معادل ۲، ۷، ۲۰، ۲۲ و ۲۳ درصد از کل کود مصرفی می‌باشد. کود نیترات آمونیوم نیز روندی مانند کود سولفات آمونیوم داشت. به نحوی که میزان تصعید کل از این کود در pH های ۴/۵، ۶/۵ و ۷/۸۸ به ترتیب معادل ۱/۳۳، ۰/۹۹ و ۱۸۹/۸۲ میلی‌گرم نیتروژن بود. بررسی منابع (Jones *et al.*, 2005) بیانگر این واقعیت است که میزان تصعید نیتروژن به میزان گاز آمونیاک حل شده در محلول خاک بستگی دارد و با افزایش میزان آمونیاک حل شده در خاک، میزان تصعید افزایش می‌یابد. همچنین نتایج تحقیق‌های انجام شده بیانگر این واقعیت است که در pH کمتر از ۷/۵، میزان گاز حل شده در خاک نزدیک

به صفر است اما با افزایش pH به بیش از ۷/۵ میزان گاز آمونیاک حل شده در خاک به شدت افزایش یافته و انتظار می‌رود میزان تصعید نیتروژن نیز به شدت افزایش یابد (Jones *et al.*, 2005).

در مورد کود اوره، با افزایش pH از ۴/۵ به ۶/۵۵ مقدار تصعید کل تغییر معنی‌داری نداشت (شکل ۳). دلیل این مشاهده نیز تبدیل اندک یون آمونیوم به گاز آمونیاک در pH کمتر از ۷/۵ می‌باشد. اما با افزایش مجدد pH از ۶/۵۵ به ۷/۸۸ مقدار تصعید کل به‌طور معنی داری افزایش یافت و از ۱۳۸/۳۵ به ۱۷۱/۸۹ میلی‌گرم نیتروژن خالص رسید. این افزایش معادل ۲۴/۲۴ درصد نسبت به pH ۶/۵ می‌باشد. اثر pH بر تصعید نیتروژن توسط سایر محققان (Whitehead and Raistrick, 1999: Jones *et al.*, 2005) نیز مورد مطالعه قرار گرفت. به‌طورنمونه تحقیق انجام شده روی مزرعه‌های کلم چین (Shan *et al.*, 2015) نشان داد که تصعید آمونیاک با pH خاک سطحی و غلظت یون آمونیوم معنی‌دار بوده و دارای همبستگی مثبت می‌باشد. همچنین افزایش تصعید نیتروژن با افزایش pH، به دلیل حلالیت بالای یون‌ها تأیید شده است (Jones *et al.*, 2005).

برخلاف کلیه کودهای مورد مطالعه در این پژوهش، با افزایش pH خاک، میزان تصعید نیتروژن از کود اوره با پوشش گوگردی کاهش یافت (شکل ۳). مقدار کل نیتروژن تصعید شده در خاک با pH ۴/۵، برابر با ۲۲ درصد نیتروژن مصرفی بود. با افزایش pH به ۶/۵۵، میزان تصعید نیتروژن به ۲۰ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش pH به ۷/۸۸، میزان تصعید به حداقل میزان (معادل ۶ درصد) کاهش یافت. این مشاهده به‌دلیل کاهش سرعت هیدرولیز اوره و تبدیل آرام‌تر آن به یون آمونیوم و با افزایش pH خاک می‌باشد (Kumar *et al.*, 1988; Moraes *et al.*, 2017).

در مجموع می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که کودهای سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم کمترین تصعید نیتروژن در شرایط خاک‌های اسیدی دارند. اما کودهای اوره و اوره با پوشش گوگردی هم در شرایط اسیدی و هم در شرایط قلیایی دارای پتانسیل تصعید نیتروژن هستند. در ضمن کود نیترات پتاسیم برای کلیه شرایط اسیدی و قلیایی دارای پتانسیل تصعید بسیار کمی می‌باشد. پایین بودن پتانسیل تصعید نیتروژن در مورد کود نیترات پتاسیم نسبت به سایر کودهای مورد بررسی، وجود فرم نیتراته نیتروژن در ترکیب کود نیترات پتاسیم است. این در حالی است که نیتروژن موجود در کودهای سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم به‌طور عمده به شکل آمونیوم است و سریع‌تر به گاز آمونیاک تبدیل می‌گردد (Pan *et al.*, 2016). در مورد کود اوره نیز، محصول فرآیند هیدرولیز، یون آمونیوم است. این موضوع دلیل اصلی تصعید بیشتر نیتروژن از کود اوره و در مقایسه با کود نیترات پتاسیم می‌باشد (Dari *et al.*, 2019).



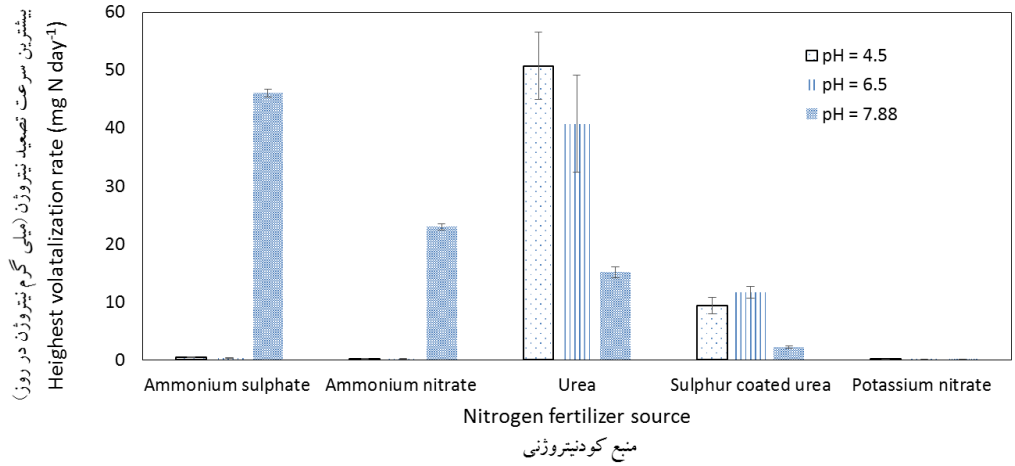
شکل ۳- اثر متقابل سطح‌های مختلف اسیدیته خاک و نوع کود نیتروژنی بر میزان کل نیتروژن تصعید شده از سطح خاک. خطوط عمودی روی میانگین‌ها مقدار خطای استاندارد می‌باشد

Fig. 3- Interactive effects of soil pH and nitrogen fertilizer source on volatilized nitrogen. Bars show standard errors

اثر اسیدیته بر حداکثر سرعت تصعید روزانه نیتروژن از پنج نوع کود نیتروژنی

شکل ۴ اثر متقابل pH و نوع کود نیتروژنی بر مقدار حداکثر سرعت تصعید روزانه نیتروژن را نشان می‌دهد. باتوجه به این شکل بیشترین سرعت تصعید روزانه در کودهای مختلف و pH متفاوت دارای الگوی متفاوت بود. در مورد کود اوره، بیشترین سرعت تصعید روزانه با کاهش pH افزایش یافت. بیشترین سرعت تصعید روزانه نیتروژن در خاک‌های با pHهای ۴/۵، ۶/۵ و ۷/۸۸ به‌ترتیب معادل ۴۶/۶۶، ۳۹/۷ و ۱۶/۲۱ میلی گرم در روز بود. به‌عبارت دیگر با افزایش pH از ۴/۵ به ۶/۵ حداکثر سرعت تصعید روزانه به میزان ۱۷ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش pH از ۶/۵۵ به ۷/۸۸ بیشترین سرعت تصعید روزانه به میزان ۱۴۳ درصد کاهش یافت. روند تغییرات حداکثر سرعت تصعید روزانه نیتروژن در مورد کود اوره با پوشش گوگردی مشابه کود اوره بود. بیشترین سرعت تصعید روزانه نیتروژن در خاک های با pH های ۴/۵، ۶/۵ و ۷/۸۸ که با کود اوره با پوشش گوگردی تیمار شده بودند به‌ترتیب معادل ۷/۷۸، ۱۱/۶۴و ۱/۷۹ میلی گرم در روز بود. به‌عبارت دیگر با افزایش pH از ۴/۵ به ۷/۸۸ حداکثر سرعت تصعید روزانه به میزان ۳۳۴ درصد کاهش یافت.

برخلاف کود اوره، با افزایش pH حداکثر سرعت تصعید روزانه برای کودهای نیترات آمونیوم و سولفات آمونیوم افزایش یافت. حداکثر سرعت تصعید روزانه در مورد کود سولفات آمونیوم در pH های ۴/۵، ۶/۵ و ۷/۸۸ به ترتیب معادل ۲/۵، ۲/۳ و ۳۸/۷ میلی گرم نیتروژن در روز بود. به‌عبارت دیگر با افزایش pH از ۴/۵ به ۶/۵۵ تغییر معنی‌داری بر سرعت تصعید روزانه مشاهده نشد. ولی با افزایش pH از ۴/۵ به ۷/۸۸ حداکثر سرعت تصعید روزانه به میزان ۱۴۰۰ درصد افزایش یافت. pH خاک تأثیر معنی‌داری بر حداکثر سرعت تصعید روزانه از کود نیترات پتاسیم نداشت و مقدار آن کمتر از ۰/۰۴ میلی گرم نیتروژن خالص در روز بود (شکل ۴).



شکل ۴- اثر متقابل اسیدیته خاک و نوع کود نیتروژنی بر حداکثر سرعت تصعید روزانه نیتروژن (میلی‌گرم نیتروژن خالص در روز). خطوط عمودی روی میانگین‌ها مقدار خطای استاندارد می‌باشد

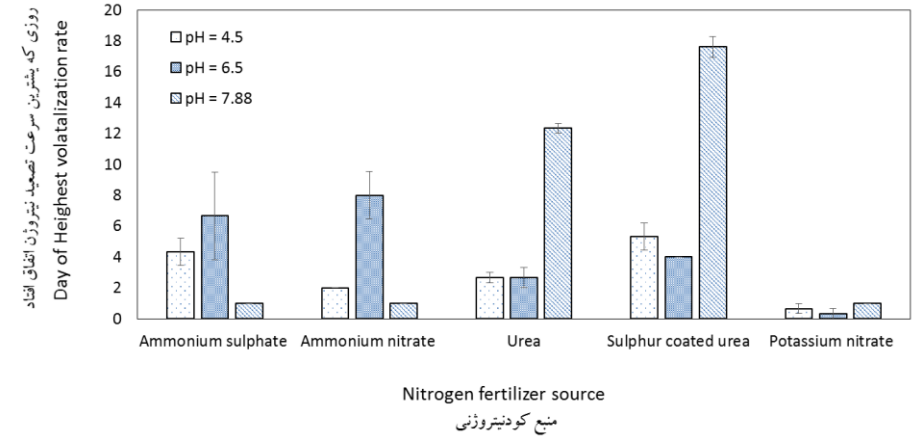
Fig. 4- Interactive effects of soil pH and nitrogen fertilizer source on highest volatilization rate ($mgday^{-1}$). Bars show standard errors

اثر اسیدیته خاک و نوع کود نیتروژنی بر زمان حداکثر سرعت تصعید روزانه نیتروژن

نتایج این تحقیق نشان داد که اسیدیته تأثیر معنی‌داری بر زمانی که حداکثر تصعید روزانه نیتروژن اتفاق می‌افتد دارد (جدول ۲). همچنین زمان رسیدن به حداکثر تصعید به نوع کود بستگی دارد (شکل ۵). تأثیر pH بر زمان حداکثر تصعید روزانه در مورد کودهای اوره و اوره با پوشش گوگردی مشابه بود. در مورد کود اوره زمان حصول حداکثر تصعید روزانه برای خاک با pHهای ۴/۵، ۶/۵ و ۷/۸۸ به‌ترتیب در روزهای سوم، دوم و دوازدهم رخداد.

این بدین معنی است که برای کود اوره در pH پایین در روزهای ابتدایی و در pH بالاتر در روزهای پایانی حداکثر میزان تصعید رخ می‌دهد. کود اوره با پوشش گوگردی در pHهای ۴/۵، ۶/۵ و ۷/۸۸ به‌ترتیب در روزهای ششم، چهارم و هفدهم انکوباسیون دارای حداکثر تصعید بود. این مشاهده با نتایج سایر تحقیق‌ها (Karimizarchi *et al.*, 2016) هماهنگ می‌باشد. آن‌ها نشان دادند که حداکثر تصعید روزانه در خاک با pH های ۷/۶۵، ۶/۳۳، ۴/۵۶ و ۳/۷۷ به ترتیب در روزهای ۴، ۵، ۵ و ۹ پس از انکوباسیون رخ داد. به عبارت دیگر با کاهش pH خاک زمان رسیدن به حداکثر تصعید روزانه افزایش یافت.

تأثیر pH بر زمان حداکثر تصعید روزانه در مورد کودهای سولفات آمونیوم، نیترات پتاسیم و نیترات آمونیوم مشابه بود (شکل ۵). مقدار حداکثر تصعید برای کود سولفات آمونیوم در خاک‌های با pHهای ۴/۵ و ۶/۵ به‌ترتیب روزهای ششم و دهم رخ داد. ولی با افزایش pH به ۷/۸۸ زمان حداکثر تصعید به روز اول کاهش یافت. در خاک تیمار شده با کود نیترات آمونیوم، حداکثر تصعید در خاک‌های با pHهای ۴/۵ و ۶/۵ به‌ترتیب در روزهای دوم و نهم رخ‌داد. با افزایش pH به ۷/۸۸، بیشترین تصعید در روز اول اتفاق افتاد. حداکثر تصعید در خاک با کود نیترات پتاسیم برای pH های ۴/۵، ۶/۵۵ و ۷/۸۸ در روز اول انکوباسیون رخ‌داد.



شکل ۵- اثر متقابل اسیدیته خاک و نوع کود نیتروژنی بر زمان حداکثر سرعت تصعید نیتروژن (روز پس از انکوباسیون). خطوط عمودی روی میانگین‌ها مقدار خطای استاندارد می‌باشد

Fig. 5- Interactive effects of soil pH and nitrogen fertilizer source on day of highest volatilization rate (day after incubation). Bars show standard error

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش ثابت کرد که با افزایش pH مقدار تصعید از کودهای اوره، سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم افزایش می‌یابد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که کودهای سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم کمترین پتانسیل تصعید نیتروژن در شرایط خاک‌های اسیدی دارند. اما کودهای اوره و اوره با پوشش گوگردی هم در شرایط اسیدی و هم در شرایط قلیایی دارای پتانسیل بالای تصعید نیتروژن هستند. نظر به اینکه کود نیترات پتاسیم برای کلیه شرایط اسیدی و قلیایی دارای پتانسیل تصعید بسیار اندکی می‌باشد، این کود می‌تواند یکی از گزینه‌های مناسب کود نیتروژنی بویژه در خاک‌های با پتاسیم قابل جذب محدود مطرح و جهت توصیه نهایی مطالعات بیشتری انجام پذیرد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از کلیه همکاران مرکز ملی تحقیقات شوری، دانشگاه شاهد و بخش خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد که در اجرای این تحقیق کمک نمودند و همچنین از زحمات آقای احسان کهنه عضو هیئت علمی پژوهشکده چای که در تهیه و ارسال نمونه خاک همکاری صمیمانه داشتند تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Dillon, K.A., Walker, T.W., Harrell, D.L., Krutz, L.J., Varco, J.J., Koger, C.H. and Cox, M.S., 2012. Nitrogen sources and timing effects on nitrogen loss and uptake in delayed flood rice. Agronomy Journal. 104(2), 466-472.

Bouyoucos, C.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soil. Agronomy Journal. 54, 406-465.

Cevallos, E., Correa1, L., Landázuri, P., Gía, J., Ulloa, S., Rueda, D., Manjunatha, B. and Selvanayagam, M., 2015. Evaluate the effect of three levels pH in leaching and volatilization of nitrogen fertilizers, in three soil types. Der Pharma Chemica. 7(10), 521-532.

Dari, B., Roger, C.W. and Walsh, O.S., 2019. Understanding Factors Controlling Ammonia Volatilization from Fertilizer Nitrogen Applications. Available online at: www.extension. uidaho. edu/publishing/pdf/BUL/BUL926.pdf.

FAO, 2005. Fertilizer use by crop in the Islamic Republic of Iran. Available online at: www.fao.org.

Fenn, L.B. and Kissel, D.E., 1973. Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds on calcareous soils: I. General theory. Soil Science Society of America Journal. 37(6), 855-859.

Fenn, L.B., and Kissel, D.E., 1974. Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds on calcareous soils: II. Effects of temperature and rate of ammonium nitrogen application. Soil Science Society of America Journal. 38(4), 606-610.

Fisher, K.A., Meisinger, J.J., and James, B.R., 2016. Urea Hydrolysis Rate in Soil Toposequences as Influenced by pH, Carbon, Nitrogen, and Soluble Metals. Journal of Environmental Quality. 45, 349–359.

He, Z., Kumar, A.A., Calvert, D.D. and Banks, D.J., 1999. Ammonia volatilization from different fertilizer sources and effects of temperature and soil pH. Soil Science. 164(10), 750-758.

Jones, C. and Jacobsen, J., 2005. Nitrogen cycling, testing and fertilizer recommendations. Available online at: https://store.msuextension.org /Products/Nutrient-Management-Module.

Karimi, M., 2019. Wheat responses to the interactive effects between salinity and potassium sulphate fertilization. Environmental Stresses in Crop Sciences, 1(12), 239-249. (In Persian with English abstract).

Karimizarchi, M., Aminuddin, H., Khanif, M. Y. and Radziah, O., 2015. Elemental sulphur effects on nitrogen loss in Malaysian high pH Bintang Series soil. Malaysian Journal of Soil Science. 19, 83-94.

Karimizarchi, M., 2015. A Guideline for Wheat Nitogen Fertilization. Sahrasharq Press, Mashhad, Iran.

Khavazi, K., Balali, M.R., Bazargan, K., Tehrani, M.M., Rezaei, H., Asadi Rahmani, H., Gheibi, M.N., Davoodi, M.H., Saadat, S., Moshiri, F. and Davatgar, N., 2014. Comprehensive Soil fertility and Plant Nutrition Program 2014-2025. Soil and Water Research Institute Press, Karaj, Iran.

Kumar, V., Yadav, D.S. and Singh, M., 1988. Effects of Urea Rates, Farmyard Manure, CaCO,, Salinity and Alkalinity Levels on Urea Hydrolysis and Nitrification in Soils. Australian Journal of Soil Research. 26, 367-74.

Li, Y., Huang, L., Zhang, H., Wang, M. and Liang,

Z., 2018. Assessment of Ammonia Volatilization Losses and Nitrogen Utilization during the Rice Growing Season in Alkaline Salt-Affected Soils. Sustainability. 9(132), 1-15.

Liu, T., Huang, J., Chai, K., Cao, C. and Li, C., 2018. Effects of N fertilizer sources and tillage practices on NH_3 volatilization, Grain yield, and N use efficiency of rice fields in Central China. Frontiers in Plant Science. 9, 1-10.

Mansouri, T., Golchin, A. and Rezaei, Z., 2017. Effect of source and amount of nitrogen, the amount of calcium carbonate of soil and different amounts of Alfalfa residue on nitrogen losses as ammonia. Journal of Water and Soil. 31(1), 286-301.

Moraes, L.E., Burgos, S.A., DePeters, E.J. Zhang, R. and Fadel, J.D., 2017. Urea hydrolysis in dairy cattle manure under different temperature, urea, and pH conditions. Journal of Dairy Science. 100, 1–7.

Nascimento, C.A.C.D., Vitti, G.C., Faria, L.D.A., Luz, P.H.C. and Mendes, F.L., 2013. Ammonia volatilization from coated urea forms. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 37(4), 1057-1063.

Pacholski, A., Cai, G., Nieder, R., Richter, J., Fan, X., Zhu, Z., and Roelcke, M., 2006. Calibration of a simple method for determining ammonia volatilization in the field – comparative measurements in Henan Province, China. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 74, 259-273.

Pan, B., Lam, S.K., Mosier, A., Luo, Y., Chen, D., 2016. Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: A global synthesis. Agriculture, Ecosystems and Environment. 232, 283–289.

Shan, L., He, Y., Chen, J., Huang, Q., and Wang, H., 2015. Ammonia volatilization from a Chinese cabbage field under different nitrogen treatments in the Taihu Lake Basin, China. Journal of Environmental Sciences. 38, 14-23.

Song Y.S., Fan X.H., Lin D.X., Yang L.Z. and Zhao J.M., 2004. Ammonia volatilization from paddy fields in the taihu lake region and its influencing factors. Acta Pedology Sinica. 41, 265-269.

Toufiq M., 2005. Measurement of ammonia emission following surface application of urea fertilizer from paddy fields. Pakistan Journal of Biological Sciences. 8, 429-432.

Whitehead, D. C., and Raistrick, N., 1990. Ammonia volatilization from five nitrogen compounds used as fertilizers following surface application to soils. European Journal of Soil Science. 41(3), 387-394.

Viero, F., Bayer, C., Mara, S., Fontoura, V., and Paulo, R., 2014. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers in no till wheat and maize in southern Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 38,1515-1525.

Environmental Sciences Vol.19 / No.4 / Winter 2022

33-48

Original Article

Interactive effects of nitrogen fertilizer sources and soil acidity on ammonia volatilization

Mostafa Behbouiehjozam[1], Mehdi Karimi[2*] and Amir Bostani[1]

[1] Department of Soil Sciences, Colledge of Agriculture, University of Shahed, Tehran, Iran
[2] Natioanl Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

Received: 2020.05.24 Accepted: 2021.08.30

Behbouiehjozam, M., Karimi, M. and Bostani, A., 2022. Interactive effects of nitrogen fertilizer sources and soil acidity on ammonia volatilization. Environmental Sciences. 19(4): 33-48.

Introduction: While more than 2 million tonnes of nitrogen (N) fertilizers are annually used in Iran, it is documented that only 20% of applied N is uptaken in some wheat farms of Iran. In other words, around 80% of N fertilizers are lost through leaching and volatilization, which increases the potential of environmental contamination with the increased N input expenditure of the farmer, or stored in the soil. So, the present study was aimed to quantify the role of ammonia volatilization from Iranian soils and to introduce simple and helpful techniques for ammonia volatilization reduction in Iranian wheat farms.

Material and methods: Firstly, a modified closed dynamic airflow system was provided. Soil materials were provided from the Tea Research Institute located in Lahijan, Iran as well as the National Salinity Research station located in Ashkezar, Yazd, Iran. The soils with three levels of acidity (7.88, 6.5, and 7.88) were incubated with five sources of nitrogenous fertilizers including ammonium sulfate, ammonium nitrate, urea, sulfur coated urea, and potassium nitrate for 22 days. Daily and cumulative volatilized ammonium was collected in 20 ml of 2% boric acid indicator solution and it was titrated with 0.01 N HCl. The analysis of variance for different parameters was done following the ANOVA technique. When F was significant at $p \leq 0.05$ level, treatment means were separated using DMRT.

Results and discussion: Results showed that soil acidity, fertilizer source, and their interactions had significant effects on total volatilized nitrogen, maximum volatilized rate, and day of highest volatilization rate. Total volatilized nitrogen depends on nitrogen fertilizer source and soil acidity. The results showed that more than 59% of applied ammonium sulfate at the soil with the pH value of 7.88 was lost through ammonia volatilization

[*] Corresponding Author: *Email Address*. m.karimizarchi@areeo.ac.ir

and resulted in air pollution. The volatilized nitrogen for sulfur-coated urea and potassium nitrate equaled 7.6 and 0.018% while that of ammonium nitrate and urea equaled 49%. The results showed that potassium nitrate had the minimum cumulative ammonium volatilization of less than 0.07 mg N and it was not affected by soil acidity. In addition, our results proved that soil pH reduction from 7.88 to 6.5, reduced total ammonia volatilization for ammonium sulfate and nitrate from 227.15 and 189.82 to 2.39 and 0.99 mg N, respectively. Total volatilized nitrogen from ammonium sulfate and nitrate from soils with pH of 4.5 were 2.51 and 1.33 mg N, respectively. While soil pH reduction from7.88 to 4.5 from soils treated with urea reduced ammonia volatilization from 188 to 157, this increased ammonia volatilization from sulfur coated urea from 29.2 to 87.05 mg N. In other words, our results proved that increasing soil pH resulted in a significant decrease in total volatilized ammonia from sulfur coated urea. The total volatilized nitrogen from soils with the pH values of 4.5, 6.55, and 7.88 was equal to 22, 20 and 6% of applied sulfur coated urea. The maximum volatilized rate of ammonium was affected by soil pH and fertilizer sources. With decreasing soil pH the maximum volatilization rate from urea fertilizer increased. A similar trend was found for sulfur-coated urea. However, the maximum volatilization rate from ammonium nitrate and sulfate increased with soil pH increase. Interestingly, soil pH had no significant effect on the maximum volatilized rate from potassium nitrate fertilizer and it was equal to 0.04 mg N per day.

Conclusion: As ammonia volatilization depends on N sources, it is possible to decrease ammonia loss by selecting the proper nitrogen fertilizer source. The results demonstrated that potassium nitrate had minimum ammonia loss and can be introduced as the optimum source of nitrogen fertilizer for a wide range of soil pH from 4.5 to 7.88. Ammonium nitrate and ammonium sulfate fertilizers had the least ammonia loss at soils with a pH of 6.55 and less. However, sulfur-coated urea had the least ammonia loss at soil pH of 7.88 and more.

Keywords: Soil pH, Potassium nitrate, Nitrogen loss, Urea.