تأثیر شرایط رطوبتی و غلظت آمونیوم بر نیتراتسازی در دو خاک با بافت متفاوت

رویا دارابی کندلجی، شاهین اوستان*، ناصر علی‌اصغرزاد و نصرت‌اله نجفی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۸)

چکیده

نیتراتسازی یکی از فعال‌ترین فرایندهای زیستی در خاک‌هایی است که نیتروژن آمونیومی دریافت کرده‌اند. سرعت این فرایند تحت تأثیر عوامل متعدد و برهمکنش آنها قرار دارد. در تحقیق حاضر تأثیر غلظت آمونیوم و رطوبت بر میزان نیتراتسازی در دو نمونه خاک A (لوم) و B (لوم رسی)، به‌ترتیب از دو منطقه مرند و اهر مطالعه شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار با پنج سطح نیتروژن از منبع اوره (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک)، سه سطح رطوبت (۶۰-۵۵، ۸۰-۷۵ و ۱۰۰-۹۵ درصد FC) و دو نوع خاک (A و B) در انکوباتور با دمای ۰/۵±۲۵ درجه سانتی‌گراد، به‌مدت دو هفته انجام شد و در پایان انکوباسیون، غلظت‌های نیترات و آمونیوم و مقادیر pH و EC خاک اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که نیتراتسازی در سطح رطوبت ۶۰-۵۵ درصد FC، به‌طور میانگین ۲۲ درصد کمتر از سطح رطوبت ۱۰۰-۹۵ درصد FC بود و تفاوت معنی‌داری بین سطوح رطوبت ۸۰-۷۵ و ۱۰۰-۹۵ درصد FC، مشاهده نشد. نیتراتسازی در تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم و ۶۰-۵۵ درصد FC به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت و سبب تجمع بیش از ۲۵ درصد آمونیوم افزوده شده، شد. تفاوت معنی‌داری از نظر میانگین غلظت آمونیوم بین سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم وجود نداشت، ولی این غلظت‌ها به‌طور معنی‌داری کمتر از سطح ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم بودند. همچنین، نیتراتسازی همراه با سایر فرایندها، به‌طور معنی‌داری سبب افزایش EC و کاهش pH خاک‌ها (به‌ترتیب به‌میزان ۰/۵۴ دسی‌زیمنس بر متر و ۰/۵۹ واحد به ازای ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم) شدند. میانگین میزان نیتراتسازی در خاک A (بافت لوم) به‌میزان ۴۰/۳ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم، بیشتر از خاک B (بافت لوم رسی) بود.

واژه‌های کلیدی: اوره، رطوبت خاک، نیتراتسازی، EC، pH

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: oustan@hotmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

نیترات‌سازی تبدیل بیولوژیک آمونیاک (NH_3) یا آمونیوم (NH_4^+) به نیتریت (NO_2^-) و به‌دنبال آن نیترات (NO_3^-) است. تبدیل آمونیوم به نیترات، فرایند کلیدی در تعیین سرنوشت نیتروژن در خاک است (۳۹). نیترات‌سازی تحرک نیتروژن را با توجه به خالص بار منفی خاک، افزایش داده و آلودگی آب‌های زیرزمینی را سبب می‌شود. نیترات‌سازی تحت تأثیر دما (۴۴ و ۵۰)، رطوبت (۱۰، ۲۰ و ۳۹)، pH (۲۷)، مواد آلی (۱)، بافت خاک (۱۹)، جرم مخصوص ظاهری خاک (۲۲)، ماهیت سوبسترا (۵۲) و فراهمی سوبسترا (۳۸ و ۴۶)، فراهمی عناصر غذایی (۸ و ۳۶) و مدیریت زراعی (۵۵) قرار دارد. کراوه و همکاران (۲۶) رطوبت، pH و فراهمی سوبسترا را مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر نیترات‌سازی معرفی کرده‌اند.

در بسیاری از اکوسیستم‌ها، رطوبت یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل کننده سرعت نیترات‌سازی است (۲۱). گزارش شده است که اثر منفی کمبود آب بر نیترات‌سازی در پتانسیل‌های آب بیشتر از ۶۰۰- کیلوپاسکال، به‌دلیل کاهش فراهمی سوبسترا و در پتانسیل‌های آب کمتر از ۶۰۰- کیلوپاسکال به‌دلیل اثرات مضر فیزیولوژیک بر باکتری‌های نیترات‌ساز اتفاق می‌افتد (۵۱). مالهی و مک‌گیل (۲۸) گزارش کردند که با افزایش پتانسیل آب خاک از ۱۵۰۰- به ۳۳- کیلوپاسکال، سرعت نیترات‌سازی افزایش یافت. نیترات‌سازی در رطوبت اشباع خاک متوقف شد و در رطوبت ظرفیت مزرعه، ۲/۸ برابر بیشتر از رطوبت نقطه پژمردگی دائم بود، بنابراین می‌توان انتظار داشت که نیترات‌سازی در نقطه پژمردگی دائم نیز قابل اندازه‌گیری است که توسط فلاورز و اوکالاگان (۱۶) گزارش شده است. دوبی (۱۵) تفاوت معنی‌داری را بین میزان نیترات‌سازی در دو پتانسیل آب خاک ۱۵۰۰- و ۳۳- کیلوپاسکال مشاهده نکرد و علت آن را استمرار فعالیت میکروارگانیسم‌های نیترات‌ساز در رطوب‌های خیلی پایین‌تر از نقطه پژمردگی دائم گزارش کرد. همچنین، این محقق نیترات‌سازی قابل ملاحظه‌ای را در رطوبت اشباع اندازه‌گیری کرد. همچنین، سرعت نیترات‌سازی در یک خاک با افزایش مقدار رطوبت از ۴۰ به ۶۰ درصد وزنی، ۱/۲ برابر افزایش یافت (۳۲). چنگ و همکاران (۱۲) مشاهده کردند که سرعت نیترات‌سازی در خاک جنگل پهن‌برگ در سه سطح رطوبتی ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه، بیشتر از سطح رطوبتی ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه بود ولی این سرعت در خاک جنگل سوزنی‌برگ در رطوبت‌های ۷۰ و ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه، بیشتر از رطوبت‌های ۳۰ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه بود. همچنین، شیونینگ و همکاران (۴۱) گزارش کردند که پتانسیل آب خاک برای حداکثر نیترات‌سازی تابعی از بافت خاک است و با افزایش درصد رس کاهش می‌یابد. چنگ و همکاران (۱۱) نشان دادند که تأثیر رطوبت خاک بر نیترات‌سازی تابع نوع کاربری زمین است. آنان دریافتند که این فرایند در خاک مرتع برخلاف خاک جنگل، تحت تأثیر مقدار رطوبت خاک قرار نگرفت. سرعت نیترات‌سازی در خاک جنگل ۳۰ برابر کمتر از خاک مرتع بود و با افزایش رطوبت خاک از ۶۵ به ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه افزایش یافت. زامن و چنگ (۵۵) مشاهده کردند که سرعت نیترات‌سازی در خاک زیر پوشش گیاهی چمن و نیز زمین بایر در رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه کمتر از رطوبت ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه بود، درحالی‌که در پوشش گیاهی یونجه خلاف آن مشاهده شد و علت آن تأثیر حاصل از نوع کاربری خاک، گزارش شد. محققان از روش‌های مختلفی برای بررسی اثر رطوبت خاک بر نیترات‌سازی استفاده کرده‌اند. در این تحقیقات، از پتانسیل آب خاک (۱۰)، رطوبت ظرفیت مزرعه (۵۵) یا ظرفیت نگهداری آب خاک (۱۱)، منافذ پر از آب (۳۴) و درصد جرمی رطوبت خاک (۵۴) برای ایجاد شرایط مختلف رطوبتی در خاک استفاده شده است. با توجه به هوازی بودن باکتری‌های نیتریت‌ساز و نیترات‌ساز، تأثیر رطوبت خاک بر این فرایندها عموماً از طریق تأثیر فراهمی اکسیژن است، گرچه تغییر رطوبت می‌تواند فراهمی سوبسترا را مستقیماً نیز تحت تأثیر قرار دهد (۲).

تحقیقات انجام‌گرفته در زمینه عوامل مؤثر بر نیترات‌سازی عمدتاً محدود به خاک‌های جنگلی بوده و اطلاعات کمی در مورد تأثیر این عوامل در خاک های زراعی (به‌ویژه آهکی) در

www.SID.ir

Archive of SID

دست است. در این تحقیق تأثیر توأم سطوح رطوبت خاک بر مبنای کسری از ظرفیت مزرعه و غلظت آمونیوم از منبع اوره بر میزان نیترات‌سازی در دو خاک با بافت متفاوت مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تعداد ۱۲ نمونه مرکب خاک (عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری) از اراضی زراعی شهرستان‌های اهر و مرند با حداقل بهم‌خوردگی نمونه‌برداری شدند. نمونه‌ها به‌میزان حدود ۱۰ کیلوگرم پس از انتقال به آزمایشگاه و عبور ملایم از الک دو میلی‌متری تا پایان آزمایش به‌صورت مرطوب (۲±۲۰ درصد جرمی) در دمای اتاق نگهداری شدند. بعد از دو هفته غلظت نیترات و آمونیوم خاک‌ها به روش‌هایی که در ادامه ذکر خواهند شد، اندازه‌گیری شد. از بین ۱۲ نمونه خاک، دو نمونه خاک متوسط بافت منطقه مرند واقع در آذربایجان شرقی (خاک A) و نسبتاً ریز بافت منطقه اهر واقع در آذربایجان غربی (خاک B) با حداقل غلظت نیترات برای انجام آزمایش‌ها بعدی انتخاب شدند (۴۲). مقدار معینی از هر دو خاک هواخشک شده و بعد از نرم کردن و عبور از الک دو میلی‌متری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنها شامل بافت (۱۸)، pH و EC عصاره سوسپانسیون ۱:۲ خاک و آب مقطر(۱۷)، درصد کربن آلی (۳۰)، درصد کربنات کلسیم معادل (۵)، ظرفیت تبادل کاتیونی (۹)، رطوبت ظرفیت مزرعه به روش گلدانی (۲۴) اندازه‌گیری شدند.

دو نمونه خاک انتخابی به‌مدت سه ماه در رطوبت ۲±۲۰ درصد جرمی به‌منظور نزدیک شدن به حالت تعادل بیولوژیک نگهداری شدند (۲). دو هفته قبل از افزودن نیتروژن به خاک‌ها، رطوبت سه کیلوگرم از هر دو خاک به‌طور جداگانه در ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد FC تنظیم شد. سپس به ۱۵۰ گرم خاک مرطوب (براساس جرم خاک خشک)، مقادیر صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک از منبع اوره به‌صورت محلول اضافه شد، به‌طوری‌که رطوبت خاک‌ها به ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد FC برسد. خاک‌ها در سه تیمار رطوبتی ۶۰-۵۵، ۸۰-۷۵ و ۱۰۰-۹۵ درصد FC در دمای ۰/۵±۲۵ درجه سلسیوس انکوباتور به‌مدت دو هفته انکوبه شدند. نمونه‌ها به‌صورت روزانه توزین و در صورت لزوم با اضافه کردن آب مقطر رطوبت آنها تنظیم شد. همچنین، روزنه‌هایی در درب ظرف‌ها برای برقراری تهویه تعبیه شد. بعد از دو هفته غلظت آمونیوم و نیترات در ۱۰ گرم از خاک‌ها (براساس جرم خاک خشک) به روش بلک و وارینگ (۶) با عصاره‌گیر سولفات پتاسیم ۵ درصد (۱:۱۰، یک ساعت) به‌ترتیب به روش ایندوفنول بلو (۳۷) و سالسیلیک اسید (۵۳) با دستگاه اسپکتروفتومتر Hach مدل DR/۲۰۰۰ اندازه‌گیری شد. با توجه به عدم استفاده از مهارکننده‌های مصرف نیترات، آنچه در این تحقیق مورد اندازه‌گیری قرار گرفت، نیترات‌سازی ناخالص بود (۳۳). همچنین، pH و EC خاک‌ها در عصاره سوسپانسیون ۱:۲ خاک و آب مقطر اندازه‌گیری شدند.

نرخ نیترات‌سازی برحسب درصد تولید نیترات در روز ($\%N\ d^{-1}$) پس از دو هفته انکوباسیون از رابطه (۱) به‌دست آمد (۲):

$$\%Nd^{-1} = \frac{(A-B)\times 100}{(S+NA)\times n} \qquad [1]$$

A: غلظت نیتروژن نیتراتی پس از انکوباسیون ($mg\ N\ kg^{-1}\ soil$)، B: غلظت اولیهٔ نیتروژن نیتراتی ($mg\ N\ kg^{-1}\ soil$)، S: غلظت نیتروژن افزوده شده به خاک ($mg\ urea\text{-}N\ kg^{-1}\ soil$)، n: مدت انکوباسیون (روز)، NA: فاکتور تصحیح برای آمونیاک‌سازی و آلی شدن در طی انکوباسیون که از رابطه (۲) به‌دست آمد:

$$NA = C-[S+D] \qquad [2]$$

C: غلظت نیتروژن معدنی پس از انکوباسیون (مجموع NH_4^+-N و NO_3^--N برحسب $mg\ N\ kg^{-1}\ soil$)، D: غلظت اولیهٔ نیتروژن معدنی ($mg\ N\ kg^{-1}\ soil$)، NA<0: آلی‌شدن کمتر از آمونیاک‌سازی است، NA>0: آلی‌شدن نامتحرک سازی بیشتر از آمونیاک‌سازی است.

آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و با فاکتور نیتروژن از منبع اوره در پنج سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک) و

www.SID.ir

Archive of SID

رطوبت خاک در سه سطح (۶۰-۵۵، ۸۰-۷۵ و ۱۰۰-۹۵ درصد FC) در انکوباتور انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها توسط نرم‌افزارهای SPSS و MSTATC انجام شد و نمودارها با نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

میانگین غلظت آمونیوم و نیترات در ۱۲ نمونه خاک به‌ترتیب ۳/۳±۲۲/۳ و ۲۰/۳±۲۷/۸ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک بود. به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود دامنه تغییرات غلظت نیترات به مراتب بیشتر از دامنه تغییرات غلظت آمونیوم بود. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دو خاک مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است. خاک‌ها دارای بافت‌های لوم (خاک A) و لوم رسی (خاک B)، غیرشور، آهکی و دارای قلیائیت ضعیف بودند. رطوبت FC دو خاک یکسان بود که علت آن را می‌توان مقدار بیشتر مواد آلی در خاک متوسط بافت A در مقایسه با خاک نسبتاً ریز بافت B دانست. زیرا، خاک A دارای رس کمتر و در عوض ماده آلی بیشتر و خاک B دارای ماده آلی کمتر و در عوض رس بیشتر بود. با این حال، CEC خاک B بیشتر از خاک A بود. در هر دو خاک، غلظت نیترات و آمونیوم در خاک A بیشتر از خاک B بود. همچنین، در هر دو خاک غلظت نیترات کمتر از آمونیوم بود.

نتایج نشان داد که سه ماه نگهداری خاک‌ها در شرایط مرطوب باعث افزایش غلظت نیترات و کاهش غلظت آمونیوم شده است (جدول ۱، ۳ و ۴). برای دو خاک، میانگین غلظت نیترات و آمونیوم به‌ترتیب حدودا شش برابر افزایش و دو برابر کاهش یافت. میزان افزایش غلظت نیترات و کاهش غلظت آمونیوم در خاک A بیشتر از خاک B بود که می‌تواند به‌دلیل وجود مواد آلی بیشتر و تهویه بهتر خاک A در مقایسه با خاک B باشد (۳۵). این نتایج حاکی از شرایط مطلوب انکوباسیون برای نیترات‌سازی بود، به‌طوری‌که نه تنها تجمع آمونیوم حاصل از آمونیاک‌سازی صورت نگرفته، بلکه آمونیوم تولید شده از این راه نیز صرف نیترات‌سازی شده است. چنانچه، نیترات‌سازی به‌دلایلی کاهش می‌یافت، تجمع آمونیوم صورت می‌گرفت (۲۵). نجیانگ و همکاران (۲۳) با انکوباسیون دو نمونه خاک در دمای ۳۰ درجه سلسیوس در ۶۰ درصد WHC به‌مدت ۲۸ روز، ملاحظه کردند که غلظت نیترات تا هشت برابر افزایش یافت. گرچه برخی محققان نیز تغییر معنی‌داری را گزارش نکردند (۱۴) که نشان‌دهنده تأثیر عوامل متعدد (از قبیل تهویه، pH، رطوبت، جمعیت باکتری‌های نیترات‌ساز، بازدارنده‌ها، غلظت آمونیم و سرعت پخش آمونیوم و نیترات) بر نیترات‌سازی در خاک است (۴۰).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرهای اصلی غلظت نیتروژن، رطوبت و نوع خاک و نیز اثرهای متقابل غلظت و رطوبت، غلظت و خاک، رطوبت و خاک، و غلظت و رطوبت و خاک بر غلظت نیترات، آمونیوم، EC و pH خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲).

نیترات

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت نیترات در تیمارهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۱/۴، ۲/۱ و ۳/۲ برابر تیمار ۵۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک بود (جدول ۳). افزایش غلظت نیترات با افزایش غلظت نیتروژن افزوده شده، نشان‌دهنده فعال بودن نیترات‌سازی در خاک‌هاست (۴۷). مالهی و مک‌گیل (۲۸) گزارش کردند که میزان نیترات‌سازی با افزایش غلظت آمونیوم از ۵۰ به ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک، ۲/۵ برابر افزایش یافت که این رقم در تحقیق حاضر ۲/۱ بود. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، در تیمارهای ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک، تقریباً تمام نیتروژن آمونیومی اضافه شده به نیترات تبدیل شد، درحالی‌که در تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک، این رقم ۸۲ درصد بود. غلظت نیترات در همه تیمارهای اوره بیشتر از تیمار شاهد بود که مطابق با نتایج سایر محققان در خاک‌های اسیدی ضعیف (۵۲) و قلیایی (۴۷) و مغایر با نتایج تونگ و زو (۵۲) در خاک‌های اسیدی قوی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دو خاک مورد مطالعه

خاک	بافت	رس	سیلت	شن	FC	CCE	OC	$EC_{1:2}$	$pH_{1:2}$	CEC	آمونیوم	نیترات
		(%)						($dS\ m^{-1}$)		($cmol_c\ kg^{-1}$)	($mg\ kg^{-1}$)	
A	L	۲۰	۴۴	۳۶	۲۶/۵	۹/۸	۲/۳	۰/۶۱	۷/۵	۱۹/۳	۲۸/۰۵	۱۷/۴۳
B	CL	۳۲	۳۴	۳۴	۲۶/۴	۷/۰	۱/۷	۰/۷۰	۷/۶	۲۹/۸	۲۳/۲۷	۸/۶۵

EC: شوری، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، OC: کربن آلی، CCE: کربنات کلسیم معادل و FC: ظرفیت مزرعه

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر نیتروژن، رطوبت و نوع خاک بر غلظت‌های نیترات و آمونیوم، pH و EC

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		نیترات	آمونیوم	EC	pH
نیتروژن	۴	۱/۴۵۴**	۳۳۲۳/۳**	۲/۱۵۴**	۱/۶۰۹**
رطوبت	۲	۰/۱۱۹**	۳۱۶۶/۶**	۰/۱۹۳**	۰/۱۰۳**
نوع خاک	۱	۰/۲۶۶**	۷۲/۹۰۴^{ns}	۰/۰۴۲**	۰/۰۱۹^{ns}
نیتروژن × رطوبت	۸	۰/۰۰۹**	۲۷۳۹/۹**	۰/۰۰۶**	۰/۰۷۲**
نیتروژن × نوع خاک	۴	۰/۰۱۴**	۱۴۳/۷۰**	۰/۰۰۷**	۰/۰۳۶**
رطوبت × نوع خاک	۲	۰/۰۰۴**	۸۳۷/۴۷**	۰/۰۳۲**	۰/۱۲۷**
نیتروژن × رطوبت × نوع خاک	۸	۰/۰۰۵**	۲۰۶/۲۷**	۰/۰۰۴**	۰/۰۴۱**
خطای آزمایش	۶۰	۰/۰۰۱	۳۸/۷۸۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹
ضریب تغییرات (٪)	–	۱/۱۰	۲۶/۸	۳/۳۰	۱/۳۱

ns، ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های مربوط به اثرهای اصلی نیتروژن، رطوبت و نوع خاک بر غلظت‌های نیترات و آمونیوم، pH و EC

اثر اصلی	سطح نیتروژن	نیترات	آمونیوم	EC	pH
		($mg\ kg^{-1}$)		($dS\ m^{-1}$)	
نیتروژن	صفر	۷۷/۲۷^{e}	۱۱/۶۱^{c}	۰/۶۹۳^{e}	۷/۷۴^{a}
	۵۰	۱۲۷/۰^{d}	۱۸/۴۸^{b}	۰/۸۲۴^{d}	۷/۵۴^{b}
	۱۰۰	۱۷۶/۳^{c}	۱۹/۲۸^{b}	۰/۹۸۹^{c}	۷/۳۳^{c}
	۲۰۰	۲۶۷/۸^{b}	۲۰/۰۴^{b}	۱/۲۸۹^{b}	۷/۱۵^{d}
	۴۰۰	۴۰۵/۵	۴۶/۷۹^{a}	۱/۷۷۸^{a}	۷/۰۰^{e}
رطوبت	۰/۵۵FC–۰/۶۰FC	۱۷۸/۴^{b}	۳۴/۹۱^{a}	۱/۰۳۸^{c}	۷/۴۱^{a}
	۰/۷۵FC–۰/۸۰FC	۲۲۴/۶	۱۹/۲۹^{b}	۱/۰۹۷^{b}	۷/۲۹^{c}
	۰/۹۵FC–FC	۲۲۹/۳	۱۵/۵۴^{c}	۱/۲۲۰^{a}	۷/۳۴^{b}
نوع خاک	A	۲۳۰/۹	۲۴/۱۴	۱/۰۹۵	۷/۳۶
	B	۱۹۰/۶	۲۲/۳۴	۱/۱۴۱	۷/۳۴

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

بود. محققان اخیر میزان نیترات‌سازی در خاک شاهد را بیشتر از خاک تیمار شده با سولفات آمونیوم گزارش کردند که نشان‌دهنده اثر بازدارنده آمونیوم افزوده شده بر فعالیت آنزیم‌های دخیل در تبدیل نیتریت به نیترات است (۱۳). ژائو و همکاران (۵۶) نیز در خاک‌های اسیدی قوی تفاوت معنی‌داری را ملاحظه نکردند، درحالی‌که در یک خاک اسیدی ضعیف، تفاوت معنی‌دار بود. شن و همکاران (۴۷) در خاکی با ۶۳ میلی‌گرم نیتروژن نیتراتی بر کیلوگرم خاک، مشاهده کردند که با افزودن نیتروژن آمونیومی به‌میزان ۱۱۲ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک، نیترات‌سازی در طی پنج روز اول انکوباسیون از ۷۵ به ۱۷۵ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک افزایش یافت و تا روز بیستم تغییری نکرد. غلظت بالای نیتروژن آمونیومی

www.SID.ir

Archive of SID

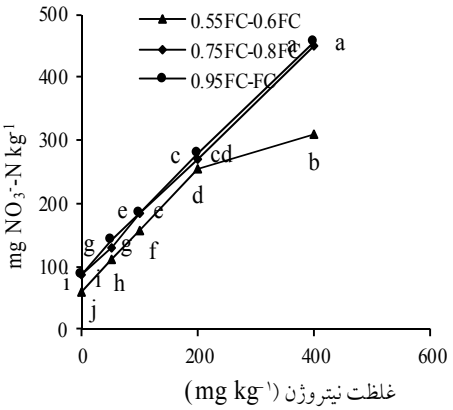
افزوده شده به خاک‌های قلیایی سبب مهار اکسایش نیتریت به نیترات می‌شود (۴) که می‌تواند به تولید آمونیاک بیشتر و تشدید اثر بازدارندگی نیتروژن آمونیومی مربوط باشد (۴۹). مالهی و مک‌گیل (۲۸) نیز گزارش کردند که نیترات‌سازی در غلظت‌های اولیه ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک، به‌ترتیب سریع و کند بود. این محققان مهار نیترات‌سازی در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک را به کاهش pH و افزایش شوری نسبت دادند. گرچه برخی دیگر از محققان غلظت نیتروژن آمونیومی بین ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک را گزارش کرده‌اند (۲۶). ژائو و همکاران (۵۶) مهار ناچیز نیترات‌سازی را حتی در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک مشاهده کردند. تونگ و زو (۵۲) نیز مهار کامل نیترات‌سازی را در غلظت‌های ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک گزارش کردند. در مقابل، نیشیو و فوجیموتو (۳۱)، آغاز مهار نیترات‌سازی را در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک مشاهده کردند. فلاورز و اوکالاگان (۱۶) مهار نیترات‌سازی را در غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک گزارش کردند.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت نیترات در سطح رطوبتی ۶۰–۵۵ درصد FC، ۲۲ درصد کمتر از سطح رطوبتی ۱۰۰–۹۵ درصد FC بود. میزان نیترات‌سازی در سطح رطوبتی ۸۰–۷۵ درصد FC، تفاوت معنی‌داری با سطح رطوبتی ۱۰۰–۹۵ درصد FC نداشت که نشان‌دهنده عدم افزایش میزان نیترات‌سازی در پاسخ به افزایش رطوبت در دامنه رطوبتی مذکور و در خاک‌های مورد مطالعه است (جدول ۳). وانگ و همکاران (۵۴) نیز گزارش کردند که نیترات‌سازی در سطوح رطوبتی ۲۵ و ۳۵ درصد، به‌طور معنی‌داری بیشتر از سطح رطوبتی ۱۵ درصد بود و تفاوت معنی‌داری بین سطوح رطوبتی ۲۵ و ۳۵ درصد مشاهده نشد. نیشیو و همکاران (۳۲) نیز با افزایش رطوبت خاک از ۴۰ به ۶۰ درصد WHC، تنها دو درصد افزایش را در نیترات‌سازی مشاهده کردند. همچنین، زامن و چنگ (۵۵) با استفاده از سه سطح رطوبتی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد FC گزارش کردند که نیترات‌سازی در رطوبت ۵۰ درصد FC حتی بیش از رطوبت ۷۵ درصد FC بود. با این حال، چن و همکاران (۱۰) بیشترین میزان نیترات‌سازی را در رطوبت ۱۰۰ درصد FC گزارش کردند. علت این نتایج متفاوت می‌تواند وابستگی نیترات‌سازی به تهویه علاوه‌بر تأمین رطوبت باشد. میانگین میزان نیترات‌سازی در خاک A (با بافت لوم) به‌میزان ۴۰/۳ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم بیشتر از خاک B (با بافت لوم رسی) بود (جدول ۳) که ممکن است به‌دلیل بهتر بودن شرایط تهویه در خاک A در مقایسه با خاک B باشد. با این حال، محمود و همکاران (۲۷) میزان نیترات‌سازی در خاک لوم را بیشتر از خاک شنی گزارش و علت آن را تصاعد بیشتر آمونیاک از خاک شنی در مقایسه با خاک لوم ذکر کردند. شیونینگ و همکاران (۴۱) حداکثر نیترات‌سازی برای خاک‌های با ۱۱، ۲۲ و ۳۴ درصد رس را به‌ترتیب در ۲۶، ۳۷ و ۴۲ درصد رطوبت حجمی معادل پتانسیل آب خاک ۱۴–، ۱۷– و ۴۳– کیلوپاسکال گزارش کردند که نشان می‌دهد حداکثر نیترات‌سازی برای هر خاک در یک پتانسیل آب معین، رخ می‌دهد.

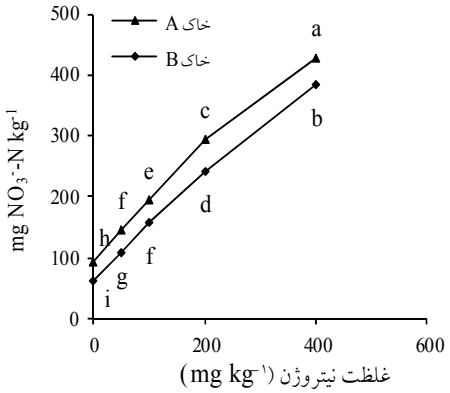
اثر متقابل غلظت نیتروژن و رطوبت نشان داد که کاهش رطوبت فقط در سطح ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک سبب کاهش معنی‌دار نیترات‌سازی (به‌میزان ۱۴۵/۷ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم) شد (شکل ۱). کاهش رطوبت به افزایش انتشار آمونیاک و تشدید اثر مهارکنندگی نیتروژن آمونیومی کمک می‌کند. با این حال، این نتیجه مغایر نتایج فلاورز و اوکالاگان (۱۶) است که مهار نیترات‌سازی را مستقل از رطوبت و حتی دمای خاک گزارش کردند. اثر متقابل غلظت و خاک نشان داد که نیترات‌سازی در تمام سطوح نیتروژن به‌طور معنی‌داری در خاک A بیشتر از خاک B بود (شکل ۲). اثر متقابل رطوبت و خاک نیز نشان داد که نیترات‌سازی در تمام سطوح رطوبتی به‌طور معنی‌داری در خاک A بیشتر از خاک B بود (شکل ۳). اثر متقابل غلظت، رطوبت و خاک بر غلظت نیترات در جدول (۴) ارائه شده است. بیشترین غلظت نیترات (۴۹۰/۳ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم) در تیمار ۴۰۰

www.SID.ir

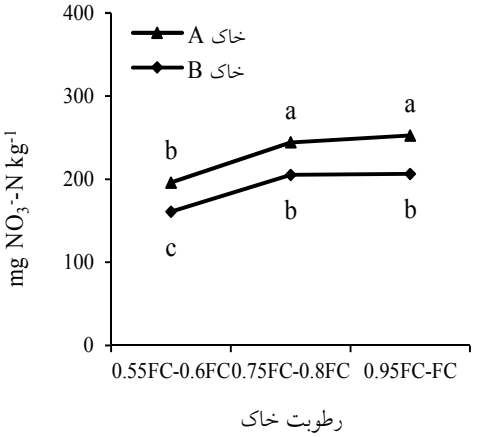
Archive of SID



شکل ۱. اثر متقابل غلظت نیتروژن و رطوبت بر غلظت نیترات میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معناداری ندارند.



شکل ۲. اثر متقابل غلظت نیتروژن و نوع خاک بر غلظت نیترات میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معناداری ندارند.



شکل ۳. اثر متقابل رطوبت و نوع خاک بر غلظت نیترات. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معناداری ندارند.

میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک و رطوبت ۱۰۰–۹۵ درصد FC (همچنین رطوبت ۸۰–۷۵ درصد FC به‌میزان ۴۷۱/۹ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک) در خاک A و کمترین غلظت نیترات (۳۷/۸۴ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم) در تیمار سطح صفر نیتروژن (شاهد) و رطوبت ۶۰–۵۵ درصد FC در خاک B مشاهده شد.

آمونیوم

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثرات اصلی غلظت نیتروژن و رطوبت بر غلظت آمونیوم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اما اثر اصلی خاک بر غلظت آمونیوم معنی‌دار نبود. همچنین، اثرهای متقابل غلظت و رطوبت، غلظت و خاک، رطوبت و خاک، و غلظت و رطوبت و خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند.

مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان داد که میانگین غلظت آمونیوم در سطوح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک، به‌ترتیب ۱/۰۴، ۱/۰۸، ۲/۵۳ برابر بیشتر از سطح ۵۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک بود. با این حال، میانگین

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های مربوط به اثرهای متقابل نیتروژن، رطوبت و نوع خاک غلظت‌های نیترات و آمونیوم، pH و EC

سطح نیتروژن ($mg\ kg^{-1}$)	رطوبت	نوع خاک	نیترات ($mg\ kg^{-1}$)	آمونیوم ($mg\ kg^{-1}$)	EC ($dS\ m^{-1}$)	pH
صفر	۰/۵۵FC–۰/۶۰FC	A	۸۰/۲۱^{op}	۱۳/۱۸$^{d-g}$	۰/۶۵۰^{o}	۷/۸۲۴^{ab}
		B	۳۷/۸۴^{q}	۱۱/۶۷^{fg}	۰/۶۴۰^{o}	۷/۵۳۸^{efg}
	۰/۷۵FC–۰/۸۰FC	A	۱۰۱/۲^{mno}	۹/۵۴۰^{g}	۰/۶۵۶^{o}	۷/۷۳۴^{bcd}
		B	۷۳/۱۹^{p}	۱۲/۸۳^{efg}	۰/۷۱۸^{n}	۷/۸۰۱^{bc}
	۰/۹۵FC–FC	A	۹۶/۴۵^{nop}	۸/۵۶۳^{g}	۰/۷۶۳^{mn}	۷/۶۰۹^{def}
		B	۷۴/۷۵^{p}	۱۳/۸۹$^{d-g}$	۰/۷۲۸^{mn}	۷/۹۶۵^{a}
۵۰	۰/۵۵FC–۰/۶۰FC	A	۱۳۱/۴^{jkl}	۲۲/۶۹$^{c-f}$	۰/۷۶۳^{mn}	۷/۵۶۵$^{d-g}$
		B	۹۰/۲۳^{nop}	۱۷/۰۳$^{c-g}$	۰/۷۸۱^{m}	۷/۴۴۱^{fgh}
	۰/۷۵FC–۰/۸۰FC	A	۱۴۷/۷^{ij}	۱۴/۵۶$^{d-g}$	۰/۷۶۹^{mn}	۷/۵۳۰^{efg}
		B	۱۱۲/۲^{lmn}	۲۰/۵۸$^{c-g}$	۰/۸۸۰^{l}	۷/۶۴۵^{cde}
	۰/۹۵FC–FC	A	۱۵۷/۲^{hi}	۲۰/۵۸$^{c-g}$	۰/۹۶۳^{k}	۷/۴۰۶$^{g-j}$
		B	۱۲۳/۴^{klm}	۱۵/۴۷$^{d-g}$	۰/۸۹۵^{l}	۷/۶۲۷^{de}
۱۰۰	۰/۵۵FC–۰/۶۰FC	A	۱۷۴/۵^{h}	۲۲/۰۸$^{c-f}$	۰/۸۹۰^{l}	۷/۵۱۴$^{e-h}$
		B	۱۴۲/۱^{ijk}	۱۶/۳۸$^{c-g}$	۰/۹۷۵^{jk}	۷/۲۴۶^{jkl}
	۰/۷۵FC–۰/۸۰FC	A	۲۰۵/۴^{g}	۱۷/۶۴$^{c-g}$	۰/۸۹۶^{l}	۷/۲۶۷$^{i-l}$
		B	۱۶۵/۰^{hi}	۲۵/۴۲^{cd}	۱/۰۱۸^{ij}	۷/۲۶۳$^{i-l}$
	۰/۹۵FC–FC	A	۲۰۵/۷^{g}	۱۳/۷۳$^{d-g}$	۱/۰۴۸^{i}	۷/۲۵۶$^{i-l}$
		B	۱۶۵/۲^{hi}	۲۰/۴۴$^{c-g}$	۱/۱۰۹^{h}	۷/۴۲۸^{ghi}
۲۰۰	۰/۵۵FC–۰/۶۰FC	A	۲۷۲/۹^{e}	۲۵/۴۸^{cd}	۱/۱۶۰^{gh}	۷/۳۴۵$^{h-k}$
		B	۲۳۵/۶^{f}	۱۵/۷۳$^{d-g}$	۱/۲۹۸^{h}	۷/۲۱۳^{kl}
	۰/۷۵FC–۰/۸۰FC	A	۲۹۵/۰^{d}	۲۲/۳۳$^{c-f}$	۱/۱۶۶^{g}	۷/۰۰۶^{m}
		B	۲۴۳/۵^{f}	۲۵/۰۷^{cde}	۱/۲۹۶^{f}	۶/۹۹۶^{m}
	۰/۹۵FC–FC	A	۳۱۲/۷^{cd}	۱۴/۶۳$^{d-g}$	۱/۳۸۷^{e}	۷/۲۱۲^{kl}
		B	۲۴۷/۱^{f}	۱۷/۰۱$^{c-g}$	۱/۴۲۵^{e}	۷/۱۰۳^{lm}
۴۰۰	۰/۵۵FC–۰/۶۰FC	A	۳۲۱/۲^{c}	۱۲۵/۵^{a}	۱/۶۹۰^{c}	۷/۲۳۹^{jkl}
		B	۲۹۸/۱^{cd}	۷۹/۳۶^{b}	۱/۵۳۰^{d}	۷/۱۹۵^{kl}
	۰/۷۵FC–۰/۸۰FC	A	۴۷۱/۹^{a}	۱۶/۵۰$^{c-g}$	۱/۶۹۶^{c}	۶/۹۴۰^{mn}
		B	۴۳۰/۹^{b}	۲۸/۳۹^{c}	۱/۸۷۳^{b}	۶/۷۶۶^{o}
	۰/۹۵FC–FC	A	۴۹۰/۳^{a}	۱۵/۱۸$^{d-g}$	۱/۹۳۰^{a}	۷/۰۲۶^{m}
		B	۴۲۰/۳^{b}	۱۵/۸۷$^{d-g}$	۱/۹۴۸^{a}	۶/۸۱۵^{no}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. مقادیر حداقل و حداکثر با کشیدن یک خط در زیر آن‌ها مشخص شده‌اند.

www.SID.ir

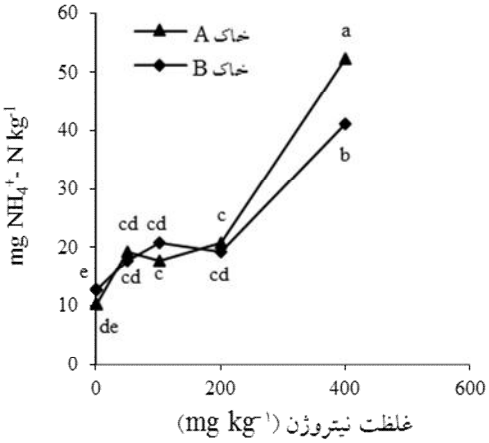
Archive of SID

غلظت آمونیوم در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک تفاوت معنی‌داری نداشتند که نشان‌دهنده شرایط مناسب انکوباسیون برای نیترات‌سازی بود. غلظت آمونیوم در همه تیمارها به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود. با این حال، دونگ و همکاران (۱۴) گزارش کردند که با افزودن اوره به خاک، غلظت آمونیوم طی یک هفته به حداکثر رسید و بعد از یک ماه تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت. همچنین، میانگین غلظت آمونیوم در سطح رطوبتی ۶۰-۵۵ درصد FC، ۱۲۵ درصد بیشتر از سطح رطوبتی ۱۰۰-۹۵ درصد FC بود. به‌علاوه، میانگین غلظت آمونیوم در سطح رطوبتی ۸۰-۷۵ درصد FC، ۲۴/۱ درصد بیشتر از سطح رطوبتی ۱۰۰-۹۵ درصد FC بود. با این حال، چنگ و همکاران (۱۱) عدم تأثیرپذیری غلظت آمونیوم از رطوبت خاک را گزارش کرده‌اند. میانگین غلظت آمونیوم در خاک A فقط ۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشتر از خاک B بود.

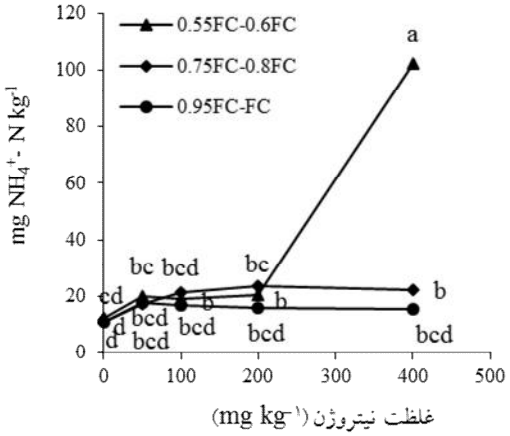
اثر متقابل غلظت نیتروژن و رطوبت نشان داد که با افزایش غلظت نیتروژن، میانگین غلظت آمونیوم (برخلاف میانگین غلظت نیترات) فقط اندکی افزایش یافت که معنی‌دار نبود. با این حال، این افزایش در تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک و رطوبت ۶۰-۵۵ درصد FC، زیاد بود. به‌طوری‌که، حدود بیش از ۲۵ درصد از آمونیوم افزوده شده در خاک تجمع یافت. افزایش غلظت آمونیوم با کاهش غلظت نیترات در همین تیمار همراه بود که علت آن می‌تواند فقدان رطوبت کافی برای پخشیدگی آمونیوم به سمت باکتری در خاک و تبدیل آن به نیترات باشد. گرچه استارک و فایر استون (۵۱) محدودیت فراهمی سوبسترا را در رطوبت‌های بالاتر نیز گزارش کرده است. همچنین، اثر مهارکنندگی غلظت زیاد آمونیوم بر نیترات‌سازی (فعالیت نیتروباکتر)، می‌تواند دلیل دیگری بر تجمع آمونیوم در تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک باشد (۳). مناسب‌ترین غلظت آمونیوم برای انجام فرایند نیترات‌سازی در محیط کشت، ۰/۵ تا ۵ میلی‌مولار آمونیوم گزارش شده است و در بیشتر از آن این فرایند به‌طور قابل ملاحظه‌ای مهار می‌شود (۷) (شکل ۴). اثر متقابل غلظت نیتروژن و نوع خاک نشان داد که غلظت آمونیوم دو خاک در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک تفاوت معنی‌داری نداشت. با این حال، در سطح ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک، غلظت آمونیوم خاک A به‌طور معنی‌داری (به‌میزان ۱۱/۱۷ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم) بیشتر از خاک B بود (شکل ۵) که با توجه به بیشتر بودن مواد آلی و بهتر بودن تهویه خاک A نسبت به خاک B، حاکی از آمونیاک‌سازی بیشتر در خاک A و با توجه به اثر مهارکنندگی آمونیوم بر نیترات‌سازی، در سطح ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک، حاکی از غلظت بالاتر آمونیوم در این خاک است. هرچند، نیترات‌سازی خاک A هنوز در سطح مناسبی قرار دارد (شکل ۲). اثر متقابل رطوبت و خاک نشان داد که غلظت آمونیوم در رطوبت ۶۰-۵۵ درصد FC، در خاک A به‌طور معنی‌داری (به‌میزان ۱۳/۷۴ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم) بیشتر از خاک B بود. برعکس، این غلظت در رطوبت ۸۰-۷۵ درصد FC، در خاک B به‌طور معنی‌داری (به‌میزان ۶/۳۴ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم)، بیشتر از خاک A بود. در رطوبت ۱۰۰-۹۵ درصد FC، غلظت آمونیوم دو خاک تفاوت معنی‌داری نداشتند. به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود، تغییرات غلظت آمونیوم با رطوبت در دو خاک، بر خلاف تغییرات غلظت نیترات با رطوبت در دو خاک، متفاوت بود که نشان‌دهنده پیچیدگی تفسیر نتایج مربوط به آمونیوم در مقایسه با نیترات به‌دلیل درگیری آمونیوم در هر دو واکنش آمونیاک‌سازی و نیترات‌سازی است (شکل ۶). اثرهای متقابل غلظت نیتروژن، رطوبت و خاک بر غلظت آمونیوم در جدول (۴) ارائه شده است. بیشترین غلظت آمونیوم (۱۲۵/۵ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک) در تیمار۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک و رطوبت ۶۰-۵۵ درصد FC در خاک A و کمترین غلظت آمونیوم (۸/۶ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک) در تیمار سطح صفر نیتروژن (شاهد) و رطوبت ۱۰۰-۹۵ درصد FC در خاک A که با برخی تیمارهای دیگر تفاوت معنی‌داری نداشت، مشاهده شد.

www.SID.ir

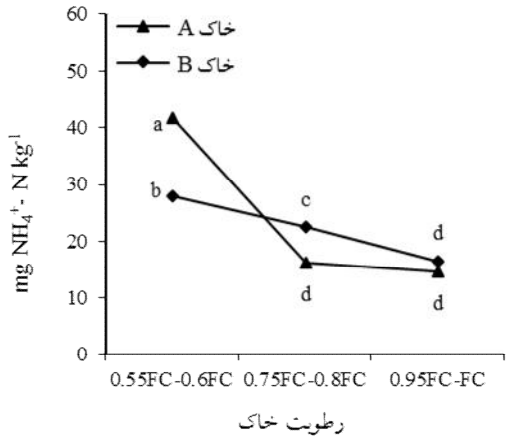
Archive of SID



شکل ۴. اثر متقابل غلظت نیتروژن و رطوبت بر غلظت آمونیوم میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معناداری ندارند.



شکل ۵ .اثر متقابل غلظت نیتروژن و نوع خاک بر غلظت آمونیوم میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معناداری ندارند.



شکل ۶ .اثر متقابل رطوبت و نوع خاک بر غلظت آمونیوم. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معناداری ندارند.

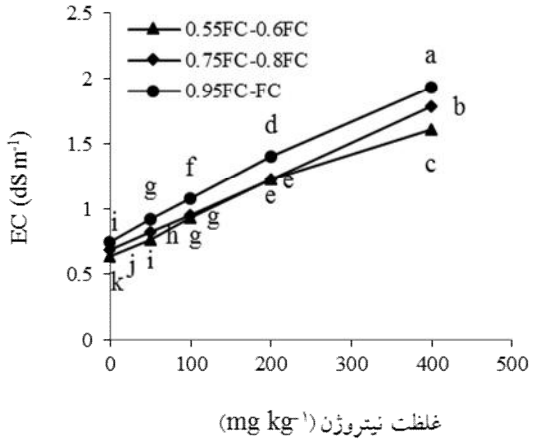
شوری (EC)

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثرات اصلی غلظت نیتروژن، رطوبت و خاک و اثرهای متقابل غلظت و رطوبت، غلظت و خاک، رطوبت و خاک، و غلظت و رطوبت و خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند.

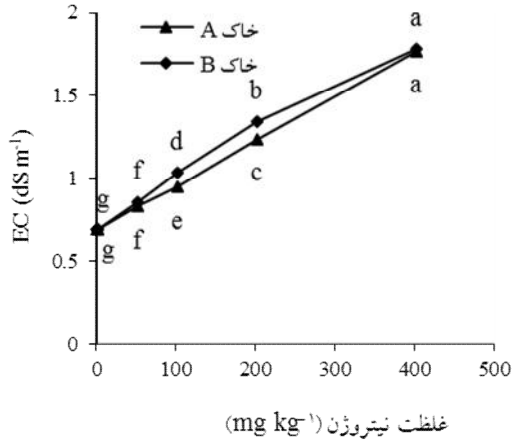
مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان داد که EC خاک در سطوح ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۱۳/۱، ۴۲، ۸۶/۷ و ۱۵۶/۶ درصد بیشتر از سطح صفر نیتروژن (شاهد) بود. هیدرولیز اوره و تولید کربنات آمونیوم که متعاقباً به یون‌های نیترات و پروتون تبدیل می‌شود، به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم (از طریق انحلال کربنات‌های خاک) سبب افزایش غلظت نمک‌های محلول و در نتیجه افزایش EC می‌شود. مالهی و مک‌گیل (۲۸) نیز گزارش کردند که EC سه نمونه خاک که سطوح ۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات آمونیوم را در رطوبت FC دریافت کرده بودند، بین ۶۷ تا ۱۳۵۰ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. همچنین، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که EC خاک در سطوح رطوبتی ۶۰–۵۵ و ۸۰–۷۵ درصد FC، به‌ترتیب ۱۴/۹ و ۱۰/۱ درصد کمتر از سطح

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷. اثر متقابل غلظت نیتروژن و رطوبت بر EC میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معناداری ندارند.



شکل ۸ . اثر متقابل غلظت نیتروژن و نوع خاک بر EC میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معناداری ندارند.

رطوبتی ۱۰۰–۹۵ درصد FC بود. همچنین، میانگین EC دو خاک تفاوت چندانی نداشتند (جدول ۳).

اثر متقابل غلظت نیتروژن و رطوبت نشان داد که EC خاک در سطح رطوبتی ۱۰۰–۹۵ درصد FC در همه سطوح نیتروژن بیشتر از دو سطح رطوبتی دیگر بود (شکل ۷). فراهمی رطوبت، نیترات‌سازی و سایر فرایندهای ذکر شده را افزایش داد و در نهایت منجر به افزایش EC شده است. اثر متقابل غلظت نیتروژن و نوع خاک نشان داد که EC خاک B در سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک، به‌طور معنی‌داری (به‌ترتیب به‌میزان ۰/۰۸۹ و ۰/۱۰۲ دسی‌زیمنس بر متر) بیشتر از خاک A بود و در سایر سطوح، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۸). شکل (۸) نشان می‌دهد که با افزایش غلظت نیتروژن، EC خاک تقریباً به شکل خطی افزایش یافت. با توجه به نتایج، به‌ازای هر ۱۰۰ میلی‌گرم نیتروژن آمونیومی افزوده شده به خاک، EC به‌طور میانگین حدود ۰/۲۷ دسی‌زیمنس بر متر افزایش داشت. اثر متقابل رطوبت و خاک نشان داد که EC خاک B، فقط در سطح رطوبتی ۸۰–۷۵ درصد FC به‌طور معنی‌داری (به‌میزان ۰/۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) بیشتر از خاک A بود و در دو سطح رطوبتی دیگر، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۹). اثرهای متقابل غلظت نیتروژن، رطوبت و خاک بر EC خاک در جدول (۴) ارائه شده است. بیشترین EC خاک (۱/۹۵ دسی‌زیمنس بر متر) در تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک و رطوبت ۱۰۰–۹۵ درصد FC در خاک B و کمترین EC خاک (۰/۶۴ دسی‌زیمنس بر متر)، در تیمار سطح صفر نیتروژن (شاهد) و رطوبت ۶۰–۵۵ درصد FC در خاک B که با برخی دیگر از تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت، مشاهده شد.

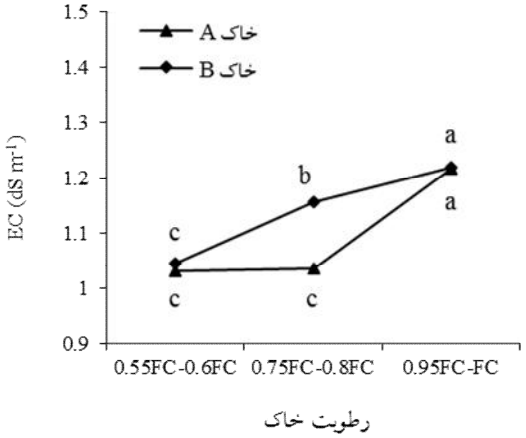
pH

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثرات اصلی غلظت نیتروژن و رطوبت بر pH در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اما نوع خاک اثر معنی‌داری بر pH نداشت. همچنین، اثرهای متقابل غلظت و رطوبت، غلظت و نوع خاک، رطوبت و نوع خاک، و غلظت و رطوبت و نوع خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند.

مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان داد که میانگین pH خاک در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۰/۲۰، ۰/۴۱، ۰/۵۹ و ۰/۷۴ واحد کمتر از سطح صفر نیتروژن (شاهد) بود. علت ادامه روند کاهش pH خاک در سطح ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک، علیرغم

www.SID.ir

Archive of SID



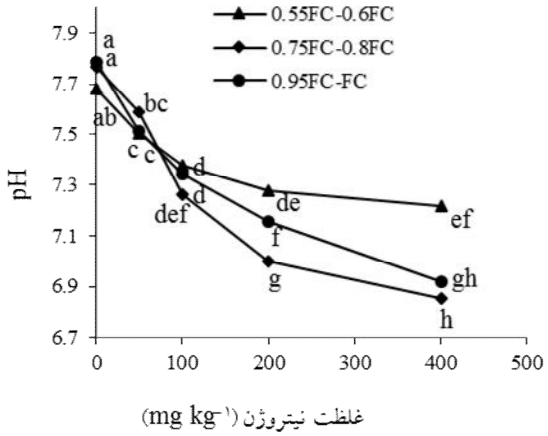
شکل ۹. اثر متقابل رطوبت و نوع خاک بر EC. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معناداری ندارند.

کاهش نیترات‌سازی، می‌تواند استمرار رهاسازی پروتون در مرحله نیتریت‌سازی (۳) و یا سهم بیشتر تصاعد آمونیاک و در نتیجه رهاسازی پروتون بیشتر در این سطح از آمونیوم باشد. تونگ و زو (۵۲) مشاهده کردند که با افزودن اوره به خاک، ابتدا افزایش pH (بر اثر هیدرولیز اوره) و سپس کاهش pH (بر اثر نیترات‌سازی) اتفاق افتاد. آنان میانگین کاهش pH در تیمارهای ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک را به‌ترتیب ۱/۱، ۱/۳۹ و ۱/۷۶ واحد گزارش کردند که بیشتر از مقادیر به‌دست آمده در تحقیق حاضر بود. دلیل این امر ظرفیت بافری کمتر این خاک‌ها در مقایسه با تحقیق حاضر بود. میانگین CEC این خاک‌ها ۹/۰۴ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم و میانگین CEC خاک‌ها در تحقیق حاضر، ۲۴/۵ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم بود. مطالعات دونگ و همکاران (۱۴) نیز نشان داد که pH با افزودن نیتروژن از منبع اوره (۴۷۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک) طی یک هفته از ۷/۵۱ به ۶/۹۳ کاهش یافت. مالهی و مک‌گیل (۲۸) گزارش کردند که با افزودن نیتروژن از منبع سولفات آمونیوم (۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک)، pH خاک طی پنج روز از ۷/۲ به ۶/۵ کاهش یافت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میانگین pH خاک در سطح رطوبتی ۶۰–۵۵ درصد FC، ۰/۰۷ واحد بیشتر از سطح رطوبتی ۱۰۰–۹۵ درصد FC بود. همچنین، میانگین pH خاک در سطح رطوبتی ۸۰–۷۵ درصد FC، ۰/۰۵ واحد کمتر از سطح رطوبتی ۱۰۰–۹۵ درصد FC بود. میانگین pH دو خاک تفاوت چندانی نداشتند (جدول ۳). گرچه عوامل متعددی بر غلظت نیترات مؤثر هستند، ولی مشاهده می‌شود که بین حداکثر کاهش pH و حداکثر نیترات‌سازی که در سطح رطوبتی ۸۰–۷۵ درصد FC مشاهده شد، هماهنگی وجود دارد.

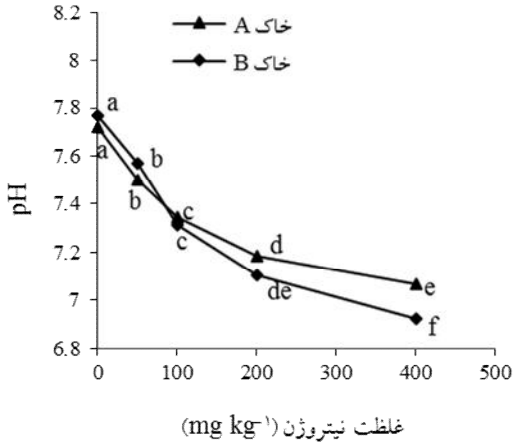
اثر متقابل غلظت نیتروژن و رطوبت نشان داد که pH خاک در دو سطح ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک (به‌ترتیب به‌میزان ۰/۲۸و ۰/۳۶ واحد) در رطوبت ۶۰–۵۵ درصد FC، بیشتر از رطوبت ۸۰–۷۵ درصد FC و در این سطح رطوبتی نیز (به‌ترتیب به‌میزان ۰/۱۲و ۰/۳ واحد) بیشتر از سطح رطوبتی ۱۰۰–۹۵ درصد FC بود. pH خاک در سطوح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۱۰). به‌طورکلی، تأمین رطوبت و نیترات‌سازی بیشتر در سطوح بالاتر نیتروژن، سبب کاهش pH شده ولی در سطوح پایین‌تر نیتروژن، این اثر ناچیز بود. اثر متقابل غلظت نیتروژن و نوع خاک نشان داد که فقط در سطح ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک، pH خاک A به‌طور معنی‌داری (به‌میزان ۰/۱۴ واحد) بیشتر از خاک B بود و در بقیه سطوح نیتروژن، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱۱). بیشتر بودن pH خاک A نسبت به خاک B در بالاترین سطح نیتروژن را می‌توان به آمونیاک‌سازی بیشتر در خاک A در مقایسه با

www.SID.ir

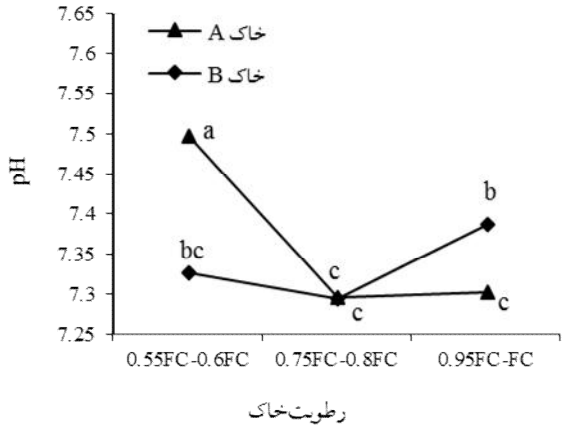
Archive of SID



شکل ۱۰. اثر متقابل غلظت نیتروژن و رطوبت بر pH میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معناداری ندارند.



شکل ۱۱. اثر متقابل غلظت نیتروژن و نوع خاک بر pH میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معناداری ندارند.



شکل ۱۲. اثر متقابل رطوبت و خاک بر pH. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معناداری ندارند.

خاک B نسبت داد (۴۸). این نتیجه‌گیری با غلظت بالاتر آمونیوم در خاک A در مقایسه با خاک B (شکل ۴) هماهنگی دارد. شکل (۱۱) نشان می‌دهد که با افزایش غلظت نیتروژن، pH به شکل غیرخطی کاهش یافت. اثر متقابل رطوبت و خاک نشان داد که pH خاک A در رطوبت‌های ۶۰-۵۵ و ۱۰۰-۹۵ درصد FC، به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به‌میزان ۰/۱۷ واحد بیشتر و به‌میزان ۰/۰۹ واحد، کمتر از pH خاک B بود و در رطوبت ۸۰-۷۵ درصد FC، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۱۲). اثرهای متقابل غلظت نیتروژن، رطوبت و خاک بر pH خاک در جدول (۴) ارائه شده است. بیشترین pH خاک (۷/۹۶) در تیمار سطح صفر نیتروژن و رطوبت ۱۰۰-۹۵ درصد FC در خاک B و کمترین pH (۶/۷۶)، در تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک و رطوبت ۸۰-۷۵ درصد FC در خاک B بود (جدول ۵).

نرخ نیترات‌سازی

مقادیر فاکتور تصحیح (NA) و نرخ نیترات‌سازی ($\%N\ d^{-1}$) بعد از دو هفته انکوباسیون در جدول (۵) ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵. مقادیر فاکتور تصحیح (NA) و نرخ نیترات‌سازی ($\%N\ d^{-1}$) بعد از دو هفته انکوباسیون در سطوح مختلف نیتروژن و رطوبت در دو خاک A و B

نوع خاک	رطوبت	سطح نیتروژن (mg urea-N kg^{-1} soil)	NA (mg N kg^{-1} soil)	$\%N\ d^{-1}$
A	۰/۵۵FC–۰/۶۰FC	۵۰	۱۰/۷	۶/۰۳
		۱۰۰	۳/۱۹	۶/۵۳
		۲۰۰	۴/۹۶	۶/۷۱
		۴۰۰	−۴۶/۸	۴/۸۷
	۰/۷۵FC–۰/۸۰FC	۵۰	۸/۵۷	۶/۵۳
		۱۰۰	۱۲/۳	۶/۶۳
		۲۰۰	۶/۶۲	۶/۷۰
		۴۰۰	−۲۲/۳	۷/۰۱
	۰/۹۵FC–FC	۵۰	۲۲/۷۹	۵/۹۶
		۱۰۰	۱۴/۴۵	۶/۸۲
		۲۰۰	۲۳/۲	۶/۹۵
		۴۰۰	۰/۵۰۷	۷/۰۲
B	۰/۵۵FC–۰/۶۰FC	۵۰	۷/۷۵	۶/۴۸
		۱۰۰	۸/۹۲	۶/۸۳
		۲۰۰	۱/۷۸	۷/۰۰
		۴۰۰	−۷۲/۱	۵/۶۷
	۰/۷۵FC–۰/۸۰FC	۵۰	۳/۰۴	۶/۱۵
		۱۰۰	۲/۷۳	۶/۲۹
		۲۰۰	−۷/۱۳	۶/۷۰
		۴۰۰	−۲۲/۶	۶/۸۶
	۰/۹۵FC–FC	۵۰	۰/۱۸۲	۶/۹۲
		۱۰۰	−۲/۹۷	۶/۶۶
		۲۰۰	−۲۴/۶	۷/۰۲
		۴۰۰	−۵۲/۵	۷/۱۰

جدول (۵) نشان می‌دهد که در سطح رطوبتی ۶۰–۵۵ درصد FC و سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک در هر دو خاک A و B آلی شدن بیشتر از آمونیاک‌سازی بود. در سطح رطوبتی ۸۰–۷۵ درصد FC و سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک در خاک A و در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک در خاک B، آلی‌شدن بیشتر از آمونیاک‌سازی بود. در سطح رطوبتی ۱۰۰–۹۵ درصد FC و سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک در خاک A، آلی شدن بیشتر از آمونیاک‌سازی بود، درحالی‌که برای همین سطوح نیتروژن در خاک B، آلی‌شدن

www.SID.ir

Archive of SID

کمتر از آمونیاک‌سازی بود. همچنین، برای همه سطوح رطوبت و سطح ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک، در هر دو خاک A و B، آلی شدن کمتر از آمونیاک‌سازی بود. به‌طورکلی، نتایج نشان می‌دهد در کلیه تیمارهایی که آلی شدن کمتر از آمونیاک‌سازی بود، غلظت نسبی نیترات در پایان انکوباسیون کمتر اندازه‌گیری شد. با این حال، فراوانی این تیمارها در خاک B، بیشتر از خاک A بود که علت آن را می‌توان به استخراج مقادیر کمتر آمونیوم از این خاک به‌دلیل بافت ریزتر و تثبیت مقادیر بیشتر آمونیوم نسبت داد (۴۵). نرخ نیترات‌سازی در سطوح رطوبتی ۸۰-۷۵ و ۱۰۰-۹۵ درصد FC، با افزایش غلظت نیتروژن افزایش یافت. برعکس، این نرخ در سطح رطوبتی ۶۰-۵۵ درصد FC، ابتدا با افزایش غلظت نیتروژن افزایش یافت و سپس در سطح ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن برکیلوگرم خاک، کاهش نشان داد که به‌دلیل کمبود رطوبت برای تبدیل آمونیوم به نیترات و نیز اثر مهارکنندگی آمونیوم بر نیترات‌سازی بود. میانگین نرخ نیترات‌سازی در سطوح رطوبتی ۶۰-۵۵، ۸۰-۷۵ و ۱۰۰-۹۵ درصد FC به‌ترتیب $۶/۲۶\ \%N\ d^{-1}$، $۶/۶۱\ \%N\ d^{-1}$ و $۶/۸۰\ \%N\ d^{-1}$ به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کاهش رطوبت خاک تا ۷۵ درصد FC در هیچ‌یک از سطوح نیتروژن، تأثیر معنی‌داری بر نیترات‌سازی نداشت. کاهش رطوبت تا ۵۵ درصد FC، نیترات‌سازی را در همه سطوح نیتروژن به‌طور معنی‌دار کاهش داد، ولی بیشترین کاهش در بالاترین سطح آمونیوم مشاهده شد. این میزان کاهش رطوبت تأثیر معنی‌داری بر تجمع آمونیوم در هیچ‌یک از سطوح نیتروژن به‌استثنای بالاترین سطح نداشت. EC خاک در سطح رطوبتی ۱۰۰-۹۵ درصد FC، در همه سطوح نیتروژن به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو سطح رطوبتی دیگر بود. در سطوح پایین نیتروژن، اثر رطوبت بر pH خاک ناچیز بود، ولی در سطوح بالاتر، با کاهش رطوبت، pH افزایش یافت.

منابع مورد استفاده

۱. سودائی مشاعی، ص.، ن. علی‌اصغرزاد و ش. اوستان. ۱۳۸۶. سینتیک معدنی شدن نیتروژن در یک خاک تیمار شده با کمپوست، ورمی‌کمپوست و کود دامی. *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی* ۱۱ (۴۲): ۴۱۴-۴۰۵.

۲. علی‌اصغرزاد، ن.۱۳۸۵. *روش‌های آزمایشگاهی در بیولوژی خاک (ترجمه)*. انتشارات دانشگاه تبریز. تبریز.

۳. علی‌اصغرزاد، ن. ۱۳۸۹. *میکروبیولوژی و بیوشیمی خاک (ترجمه)*. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه تبریز. تبریز.

4. Alexander, M. 1977. Introduction to Soil Microbiology. 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York.
5. Allison, L. E. and C. D. Moodie. 1965. Carbonate. PP. 1379–1396. *In:* C. A. Black et al. (Eds.) Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Madison, WI.
6. Black, A. S. and S. A Waring. 1978. Nitrate determination in an Oxisol using K_2SO_4 extraction and the nitrate-specific ion electrode. *Plant and Soil* 49: 207-211.
7. Bloem, J., D. W. Hopkins and A. Benedetti. 2006. Microbiological Methods for Assessing Soil Quality. CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire OX10 8DE, UK.
8. Carlyle J. C., J. R. Lowther, P. J. Smethurst and E. K. S. Nambiar.1990. Influence of chemical properties on nitrogen mineralization and nitrification in podzolized sands. Implications for forest management. *Australian Journal of Soil Research* 28: 981–1000.
9. Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity. PP. 891-901. *In:* C. A. Black et al. (Eds.). Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Madison, WI.
10. Chen, Y. T., W. Borken, C. F. Stange and E. Matzner. 2011. Effects of decreasing water potential on gross ammonification and nitrification in an acid coniferous forest soil. *Soil Biology and Biochemistry* 43: 333–338.
11. Cheng, Y., Z. C. Cai, J. B. Zhang, M. Lang, B. Mary and X. C. Scott. 2012. Soil moisture effects on gross nitrification differ between adjacent grassland and forested soils in central Alberta, Canada. *Plant and Soil* 352:

www.SID.ir

Archive of SID

289–301.
12. Cheng, Y., J. Wang, S. Q. Wang, J. B. Zhang and Z. C. Cai. 2014. Effects of soil moisture on gross N transformations and N_2O emission in acid subtropical forest soils. *Biology Fertilizer Soils* 50: 1099–1108.
13. Clough T. J., G. J. Lanigan, C. A. M. de Klein, M. S. Samad, S. E. Morales, D. Rex, R. L. Bakken, C. Johns, L. M. Condron, J. Grant and K. G. Richards. 2017. Influence of soil moisture on codenitrification fluxes from a urea-affected pasture soil. *Scientific Reports* 7(1): 21-85.
14. Dong, L., A. L. Cordova-Kreylos, J. Yang, H. Yuan and K. M. Scow. 2009. Humic acids buffer the effects of urea on soil ammonia oxidizers and potential nitrification. *Soil Biology and Biochemistry* 41: 1612–1621.
15. Dubey, H. D. 1968. Effect of soil moisture levels on nitrification. *Canadian Journal of Microbiology* 14: 1348–1350.
16. Flowers, T. H. and J. R. O'Callaghan. 1983. Nitrification in soils incubated with pig slurry or ammonium sulphate. *Soil Biology and Biochemistry* 15(3): 337–342.
17. Gavlak, R. G., D. A. Horneck, R. O. Miller and J. Kotuby-Amacher. 2003. Soil, Plant and Water Reference Methods for the Western Region. 2nd Edition. WCC-103 Publication, WREP-125. University of Alaska, Fairbanks.
18. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. PP. 383–411. *In:* A. Klute (Ed.). Methods of Soil Analysis. Part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI.
19. Gödde, M. and R. Conrad .2000.Influence of soil properties on the turnover of nitric oxide and nitrous oxide by nitrification and denitrification at constant temperature and moisture. *Biology and Fertility of Soils* 32: 120–128.
20. Hayatsu, M. and N. Kosuge 1993. Autotrophic nitrification in acid tea soils. *Soil Science and Plant Nutrition* 39: 209–217.
21. Haynes, R. J. 1986. Nitrification, PP. 127–165. *In:* R. J. Haynes (Ed.), Mineral Nitrogen in the Plant-Soil System. Academic Press, New York.
22. Hulpoi, N., S. Dakesian, GH. Eliade and L. Ghinea.1970.The effect of soil physical conditions on the nitrification of NH_4. *Plant and Soil* 32: 468-477.
23. Jiang, X., X. Shi, W. Liu and L.W. Alan. 2011. Kinetics of net nitrification associated with soil aggregates under conventional and no-tillage in a subtropical rice soil. *Plant and Soil* 347: 305–312.
24. Kirkham, M. B. 2014. Principles of Soil and Plant Water Relations. 2nd Edition. Academic Press. Elsevier, Amsterdam.
25. Kladivko E. J. and D. R. Keeney.1987. Soil nitrogen mineralization as affected by water and temperature interactions. *Biology and Fertility of Soils* 5: 248–252.
26. Krave, A. S., N. M. Van Straalen and H. W. Van Verseveld. 2002. Potential nitrification and factors influencing nitrification in pine forest and agricultural soils in Central Java, Indonesia. *Pedobiologia* 46: 573–594.
27. Mahmoud, S. A. Z., Y. Z. Ishac, S. H. Salem and M. Z. El-Fouly. 1980. Effect of urea application at different rates on the microbial activity and mineralization of urea in Egyptian soils. Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten und Hygiene. *Zweite naturwissenschaftliche Abteilung: Mikrobiologie der Landwirtschaft der Technologie und des Umweltschutzes*. 135(6): 501-509.
28. Malhi, S. S. and W. B. McGill. 1982. Nitrification in three Alberta soils: Effect of temperature, moisture and substrate concentration. Original Research Article. *Soil Biology and Biochemistry* 14(4): 393–399.
29. Martikainen, P.1985.Nitrification in forest soil of different pH as affected by urea, ammonium sulphate and potassium sulphate. *Soil Biology and Biochemistry* 17(3): 363-367.
30. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. PP. 539–579. *In:* A. L. Page et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Madison, WI.
31. Nishio, T. and T. Fujimoto. 1990. Kinetics of nitrification of various amounts of ammonium added to soils. *Soil Biology and Biochemistry* 22(1): 51–55.
32. Nishio, T., T. Kanamorj and T. Fujimoto. 1985. Nitrogen transformations in an aerobic soil as determined by a $^{15}NH_4^+$ dilution technique. *Soil Biology and Biochemistry* 17(2): 149–154.
33. Norton, J. M. and J. M. Stark. 2011. Regulation and measurement of nitrification in terrestrial systems. PP: 343-368 *In:* M. G. Klotz (Ed.). Methods in Enzymology. Vol. 486. Research on Nitrification and Related Processes, Part A. Academic Press (Elsevier Inc.), Oxford.
34. Pihlatie, M., E. Syväsalo, A. Simojoki, M. Esala and K. Regina. 2004. Contribution of nitrification and denitrification to N_2O production in peat, clay and loamy sand soils under different soil moisture conditions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 70: 135–141.
35. Price, G. H. 2006. Australian Soil Fertility Manual. 3rd edition. Csiro Publishing. Collingwood, Victoria, Australia.
36. Purchase, B. S. 1974. The influence of phosphate deficiency on nitrification. *Plant and Soil* 41: 541–547.
37. Riley, J. P. and P. Sinhaseni. 1957. The determination of ammonia and total ionic inorganic nitrogen in sea water.

www.SID.ir

Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 36: 161–168.
38. Robertson, G. P. and P. M. Vitousek. 1981. Nitrification potentials in primary and secondary succession. *Ecology* 62: 376–386.
39. Robertson, G. P. 1982. Factors regulated nitrification in primary and secondary succession. *Ecology* 63(5): 1561–1573.
40. Sahrawat, K. L. 2008. Factors affecting nitrification in soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39: 1436-1446.
41. Schjønning, P., I. K. Thomsen, P. Moldrup and B. T. Christensen. 2003. Linking soil microbial activity to water- and air-phase contents and diffusivities. *Soil Science Society of America Journal* 67: 156–165.
42. Schmidt, E. L. and L. W. Belser. 1982. Nitrifying bacteria. PP.1027-1042. *In:* A. L. Page et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Madison, WI.
43. Schulten, H. R. and M. Schnitzer. 1998. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. *Biology and Fertility of Soils* 26: 1-15.
44. Seifert, J.1980. Effect of temperature on nitrification intensity in soil. *Folia Microbiological* 25: 144-147.
45. Sharpley, E. N. 1990. Reaction of fertilizer potassium in soils of differing mineralogy. *Soil Science* 149(1): 44-51.
46. Shaviv, A. 1988. Control of nitrification rate by increasing ammonium Concentration. *Fertilizer Research* 17: 177–188.
47. Shen, Q. R., W. Ran and Z. H. Cao. 2003. Mechanisms of nitrite accumulation occurring in soil nitrification. *Chemosphere* 50: 747–753.
48. Singh, B. P. and Z. Rengel. 2007. The role of crop residues in improving soil fertility. PP. 183-214. *In:* P. Marschner and Zdenko Rengel (Eds.), Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems. Springer. Berlin, Germany.
49. Smith, R. V., L. C. Burns, R. M. Doyle, S. D. Lennox, B. H. L. Kelso, R.H. Foy and R.J. Stevens.1996. Free ammonia inhibition of nitrification in river sediments leading to nitrite accumulation. *Environmental Quality* 26(4): 1049-1055.
50. Stark, J. M. 1996. Modeling the temperature response of nitrification. *Biogeochemistry* 35: 433-445.
51. Stark, J. M. and M. K. Firestone .1995. Mechanisms for soil moisture effects on activity of nitrifying bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 61(1): 218–221.
52. Tong, D. and R. Xu. 2012. Effects of urea and $(NH_4)_2SO_4$ on nitrification and acidification of Ultisols from Southern China. *Journal of Environmental Sciences* 24(4): 682–689.
53. Vendrell, P. F. and J. Zupancic. 1990. Determination of soil nitrate by transnitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 21:1705-1713.
54. Wang, C., S. Wan, X. Xing, L. Zhang and X. Han. 2006. Temperature and soil moisture interactively affected soil net N mineralization in temperate grassland in Northern China. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 1101–1110.
55. Zaman, M. and S. X. Chang. 2004. Substrate type, temperature, and moisture content affect gross and net N mineralization and nitrification rates in agroforestry systems. *Biology Fertilizer Soils* 39: 269–279.
56. Zhao, W., Z. C. Cai. and Z. H. Xu. 2007. Does ammonium-based N addition influence nitrification and acidification in humid subtropical soils of China? *Plant and Soil* 297(1-2): 213– 221.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 22, No. 3, Fall 2018, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effects of Moisture Conditions and Ammonium Concentration on Nitrification in Two Soils with Different Textures

R. Darabi Kandlaji, SH. Oustan*, N. Aliasgharzad and N. Najafi[1]

(Received: June 24-2016 ; Accepted: October 30-2017)

Abstract

Nitrification is one of the most active biological processes in the soils receiving ammonium nitrogen. The rate of this process is under the influence of several factors and their interactions. In this study, the effects of ammonium concentration and moisture content on the extent of nitrification in two soil samples named A (Loam) and B (Clay loam), which had been taken, respectively, from Marand and Ahar areas, were investigated. A two-week factorial incubation experiment (25±0.5°C) was conducted in a completely randomized design with three replications. Factors were urea nitrogen at five levels (0, 50, 100, 200 and 400 mg N kg^{-1}), moisture content at three levels (0.55FC-0.60FC, 0.75FC-0.80FC and 0.95FC-FC) and two soil types (A and B). At the end of the experiment, concentrations of ammonium and nitrate as well as the values of pH and EC were determined. Based on the results, average nitrification at 0.55FC-0.60FC was 22 percent lower than that at 0.95FC-FC and no significant difference was observed between 0.75FC-0.80FC and 0.95FC-FC. Nitrification at the treatment of 400 mg N $kg^{-1}$and 0.55FC-0.60FC was decreased considerably and 25 percent of the added ammonium was accumulated. The average ammonium concentrations did not significantly vary among the levels of 50, 100 and 200 mg N kg^{-1}, but these concentrations were significantly lower than those of 400 mg N kg^{-1}. Moreover, EC and pH values of the soils were significantly increased and decreased in response to the nitrification (0.54 dS m^{-1} and 0.59 at the application level of 200 mg N kg^{-1}, respectively). On average, the results showed higher nitrification (40.3 mg N kg^{-1}) in the soil A (Loam texture) than the soil B (Clay loam).

Keywords: EC, pH, Nitrification, Soil moisture, Urea

1. Department of Soil Science, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
*: Corresponding Author, Email: oustan@hotmail.com

www.SID.ir