Archive of SID

مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال دوازدهم، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۹
ص ۴۷-۳۳
مقاله پژوهشی

پاسخ مشخصه‌های شیمیایی خاک و لاشبرگ به شبیه‌سازی ته‌نشست نیتروژن در تودهٔ دست‌کاشت بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C. A. Mey)

اعظم‌السادات نورایی[۱]، حمید جلیلوند[۲]*، سید محمد حجتی[۳]، سید جلیل علوی[۴]

[۱] دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران.
[۲] استاد گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران.
[۳] دانشیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران.
[۴] استادیار گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران.

(تاریخ دریافت:۱۳۹۸/۶/۲۳؛ تاریخ پذیرش:۱۳۹۸/۹/۳۰)

چکیده

الگوهای توزیع نیتروژن در جهان در حال تغییر است و امروزه به یک معضل جدی زیست‌محیطی تبدیل شده است. هدف این تحقیق، بررسی پاسخ مشخصه‌های شیمیایی خاک و لاشبرگ به شبیه‌سازی ته‌نشست نیتروژن در تودهٔ دست‌کاشت بلندمازو در سری افراتخت جنگل‌های چوب و کاغذ مازندران واقع در شهرستان ساری بود. در این پژوهش چهار تیمار در سه تکرار به‌طور تصادفی در ۱۲ قطعه نمونهٔ ۲۰×۱۰ متر مربعی در عرصهٔ مورد پژوهش پیاده شد. تیمارهای شبیه‌سازی ته‌نشست نیتروژن شامل صفر (شاهد)، (۵۰، کم)، (۱۰۰، متوسط) و (۱۵۰، زیاد) کیلوگرم محلول نیترات آمونیوم در هکتار در سال بود که به‌صورت ماهیانه در عرصه اضافه شد. نمونه‌برداری از خاک و لاشبرگ در چهار فصل انجام گرفت. در انتهای دورهٔ شبیه‌سازی، افزایش مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم در تیمار زیاد ($P<0/01$) ته‌نشست نیتروژن در لایهٔ لاشبرگ مشاهده شد. این روند افزایشی در مورد کربن موجود در لایهٔ لاشبرگ در پایان دورهٔ شبیه‌سازی در سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن نیز دیده شد. در پایان دورهٔ شبیه‌سازی، کمترین مقدار pH خاک، مربوط به تیمار زیاد و بیشترین مقدار آن در تیمار شاهد بود. در مورد پتاسیم و فسفر، تیمار شاهد به‌ترتیب با ۵±۲۹۰ و ۰/۱±۱۵ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) دارای بیشترین و تیمار سطوح زیاد نیتروژن ۴±۲۲۱ و ۰/۱±۸/۱ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) دارای کمترین مقدار بودند. نتایج این پژوهش را می‌توان چنین تفسیر کرد که وقتی مقدار نیتروژن در خاک افزایش یابد، نرخ تجزیه و فعالیت میکروبی خاک را کاهش می‌دهد و موجب تغییر ترکیب شیمیایی لاشبرگ و خاک می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بلندمازو، ته‌نشست نیتروژن، شیمی خاک، لاشبرگ.

مقدمه

نیتروژن برای تشکیل DNA، کلروفیل و اسیدهای آمینه ضروری است؛ بنابراین در مقایسه با دیگر مواد مغذی معدنی به مقادیر بیشتری برای رشد و تکثیر جوامع گیاهی مورد نیاز است (Graham et al., 2006). با وجود این، مقدار دسترسی به این مادهٔ غذایی مهم، برای بیشتر گیاهان محدود است. جو زمین از ۷۸ درصد نیتروژن تشکیل شده است که کمتر از ۱ درصد

* نویسندهٔ مسئول
شمارهٔ تماس: ۰۹۱۱۲۱۴۰۶۱۶
ایمیل: h.jalilvand@sanru.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

از آن برای استفادهٔ گیاهان در دسترس است. برای اینکه نیتروژن در گیاهان استفاده شود، ابتدا باید از اشکال جذب‌نشدنی N_2 به اشکال جذب‌شدنی N_r تبدیل شود (Bobbink, 2010). پیوند سه‌گانهٔ دو عنصر نیتروژن بسیار قوی است و به همین علت انرژی زیادی برای شکستن این پیوند مورد نیاز است (Driscoll, 1997). جداسازی این دو اتم، تثبیت زیستی نیتروژن نام دارد. تثبیت نیتروژن در طبیعت از طریق رعدوبرق، دمای زیاد و باکتری‌های تثبیت‌کنندهٔ ازت، آکتینیوم‌ها و فرانکید و سیانوباکترها (جلبک‌های سبز- آبی) انجام می‌گیرد (Dentener et al., 2006). تثبیت نیتروژن از طریق فعالیت‌های صنعتی، سوخت‌های فسیلی و کودهای شیمیایی نیز امکان‌پذیر است؛ زمانی که دو اتم نیتروژن از هم جدا می‌شوند، اتم‌های هیدروژن (H) و اکسیژن (O) می‌توانند با آنها وارد پیوند شوند و نیتروژن واکنشی مانند آمونیوم (NH_4^+) یا N اکسیدها (NOx) مانند نیترواکسید (N_2O)، نیتریت (NO_2) و نیترات (NO_3^-) را بسازند (Friedman, 2006).

آمونیوم مصنوعی که در اثر فعالیت‌های انسانی مانند صنعتی شدن، سوخت‌های فسیلی و تولید محصولاتی مانند نایلون، پلاستیک، مواد منفجره و کود به وجود می‌آید، موجب انتشار و تولید گازهای مضر آمونیاک (NH_3) یا N اکسیدها (NO_x) می‌شود. کودهای شیمیایی در زمین‌های کشاورزی موجب افزایش محصول می‌شوند، اما از عوامل مهم فرایند آلودگی نیتروژن هستند. افزون‌بر آن، NH_3 مادهٔ اولیهٔ ایجاد محصولات متعدد، از جمله چسب، ملامین، حیوانات، ماهی، مکمل خوراک میگو و مواد منفجره است؛ اما دربارهٔ سرنوشت نیتروژن به‌کاررفته در این فعالیت‌های صنعتی شناخت کمی وجود دارد. این فعالیت‌های شدید کشاورزی و صنعتی به‌همراه سوخت‌های فسیلی به‌کاررفته در حمل‌ونقل و صنایع، موجب افزایش شدید گازهای گلخانه‌ای شده است؛ تا حدی که ورودی نیتروژن حاصل از فعالیت‌های صنعتی بیشتر از ورودی نیتروژن از طریق منابع طبیعی آن شده است، اما آنچه موجب نگرانی مضاعف پژوهشگران است، انتقال این نیتروژن اضافی است که می‌تواند هزاران کیلومتر را در استراتوسفر طی کرده و در نهایت در جایی ته‌نشست کند (Bobbink et al, 2010). در طی فرایند ته‌نشست، آمونیوم (NH_4^+) در نزدیکی زمین‌های کشاورزی و نیترات (NO_3^-) در نزدیکی مناطق صنعتی رسوب می‌کند. پژوهش‌های مختلف نشان داده است که چرخهٔ نیتروژن، یک مسئلهٔ جهانی و نیازمند همکاری و پژوهش‌های گستردهٔ جهانی است؛ زیرا مقدار نیتروژن ورودی به زمین به ده‌برابر افزایش یافته و از ۱۵ واحد برحسب تراگرم نیتروژن در سال[1] در ۱۸۶۰ به ۱۵۶ در اوایل ۱۹۹۰ رسیده است و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۵۰ به ۲۷۰ تراگرم نیتروژن در سال افزایش یابد. با همهٔ مسائل یادشده، جنگل‌ها به‌علت دریافت ته‌نشست بیشتر، آسیب‌پذیرترند (Gallagher et al., 1997). بنابراین رسوب نیتروژن بخش‌هایی از جنگل از جمله پوشش گیاهی، خاک، حیوانات، قارچ‌ها و موجودات میکروبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد تا جایی که پژوهش‌ها نشان داده که رسوب زیاد نیتروژن می‌تواند ۱۰ تا ۲۰ درصد منابع زمینی ترسیب‌کنندهٔ کربن (مانند جنگل‌ها) را از بین ببرد (De vries & Schulte-Uebbing, 2019). برخی از اثرهای خاص ته‌نشست بیش از حد نیتروژن در بوم‌سازگان شامل سمیت مستقیم بر گونه‌های حساس، گسترش گونه‌های نیتروژن‌دوست و کاهش تنوع زیستی، اسیدی شدن خاک، کاهش کاتیون‌های پایه و افزایش دسترسی به فلزات سمی (برای مثال AL^{3+}، Fe^{3+})، افزایش حساسیت به تنش‌های ثانویه و عوامل اختلال می‌شود (Kleijn et al., 2008; Sheppard et al; 2008; Munzi, 2013) و در نهایت اینکه الگوهای توزیع نیتروژن در جهان در حال تغییر است و یون‌های حاصل از ترکیبات نیتروژنی ممکن است هنگام عبور از زمین، وارد آب آشامیدنی شده یا در نتیجهٔ

1. TgN yr-1

www.SID.ir

Archive of SID

آلودگی آب با مواد آلی و تجمع زبالهٔ شهری و صنعتی و تجمع کود حیوانی و شیمیایی یا نشت تأسیسات فاضلاب شهری، وارد منابع آب زیرزمینی شود. در چند دههٔ اخیر در شمال کشور، جنگل‌زدایی و تغییرات کاربری جنگل (Kooch & Maughimian, 2015; Rasouli Sedighyani et al., 2016)، معدن‌کاوی (Tavakoli et al., 2019)، سوخت‌های فسیلی حاصل از صنعتی شدن و وسایل نقلیه، مصرف زیاد کودهای شیمیایی نیتروژنی و افزایش دام‌سراها سبب تغییر کیفیت خاک و تغییر منابع ورودی ته‌نشست نیتروژن شده است. نیترات در آب آشامیدنی دو اثر نامطلوب بهداشتی دارد که عبارت‌اند از ایجاد بیماری متهموگلوبینمیا در نوزادان و پتانسیل ایجاد سرطان در بزرگسالان (Yousefi & Naeich, 2007)؛ اما پژوهش‌های دقیقی دربارهٔ تأثیر نیتروژن اضافی بر بوم‌سازگان‌ها و به‌ویژه جنگل‌ها که اثر اساسی در زندگی انسان‌ها دارند در شمال کشور در دسترس نیست و بررسی آن ضروری به نظر می‌رسد. در این زمینه، پژوهش‌های شبیه‌سازی ته‌نشست نیتروژن[1] از متداول‌ترین و مطمئن‌ترین روش‌ها به‌منظور بررسی تأثیرات این نیتروژن اضافی در جهان است. در این پژوهش همزمان با بررسی تغییرات فصلی مشخصه‌های شیمیایی خاک و لاشبرگ، اندازهٔ تغییرات آنها با افزایش روند شبیه‌سازی ته‌نشست نیتروژن در تودهٔ بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C. A. Mey.) در بخشی از جنگل‌های هیرکانی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

شیوهٔ اجرای پژوهش

این پژوهش در تودهٔ جنگلکاری‌شدهٔ بلوط بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C. A. Mey.) واقع در سری افراتخت جنگل‌های چوب و کاغذ مازندران در شهرستان ساری انجام گرفت. این سری که در فاصلهٔ حدود پانزده کیلومتری شمال غربی مرکز اداری و مجتمع صنعتی شرکت چوب و کاغذ مازندران و حدود شش کیلومتری جنوب غربی شهرستان ساری واقع شده از شمال به زمین های زراعی منطقه، از جنوب به سری پرچینک، از شرق به سری مهدشت و از غرب به زمین‌های کشاورزی منطقه محدود است. این توده در قطعهٔ ۱۷، سری پنج مهدشت و به‌صورت خالص و دست‌کاشت و در عرض شمالی ″۱۳، ′۲۷، °۳۶ تا ″۳۵، ′۳۰، °۳۶ و طول شرقی ″۳۲، ′۵۵، °۵۳ تا ″۵۳، ′۵۲، °۵۳ واقع شده است. توده دارای میانگین سنی ۲۰ سال و فاصلهٔ کاشت ۳×۳ است و در ارتفاع ۴۰۰ متری از سطح دریا با شیب ۵ درصد استقرار دارد. متوسط دما در گرم‌ترین ماه سال (مرداد) ۳۱/۶ و در سردترین ماه سال (دی) ۲/۷ درجهٔ سانتی‌گراد و متوسط دمای سالیانه ۱۶/۹ درجهٔ سانتی‌گراد است. کمینه و بیشینهٔ دمای مطلق منطقه به‌ترتیب با ۹- و ۴۴ درجهٔ سانتی‌گراد به ماه‌های دی و خرداد تعلق دارد. مجموع باران سالیانه ۹۴۷/۴ میلی‌متر گزارش شده است. بافت خاک شنی-لومی و رده‌بندی خاک منطقه قهوه‌ای جنگلی گزارش شده است (Wood & paper organization, 2011).

روش اجرا در تودهٔ جنگلی

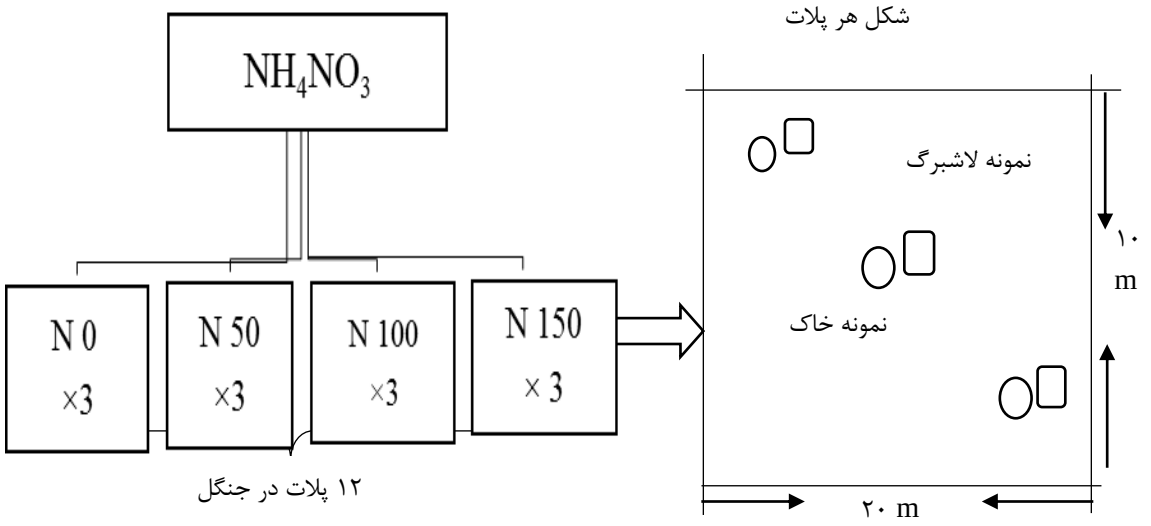
در این پژوهش به منظور بررسی تأثیر ته نشست نیتروژن بر تودهٔ جنگلی، ۱۲ قطعه نمونه با اندازهٔ ۱۰×۲۰ متر مربع در تابستان ۱۳۹۶ در منطقهٔ پژوهش در نظر گرفته شد و پژوهش تا تابستان ۱۳۹۷ ادامه داشت؛ محلول NH_4NO_3 (نیترات آمونیوم) در چهار سطح (با سه تکرار) صفر (شاهد)، ۵۰ (کم)؛ ۱۰۰ (متوسط) و ۱۵۰ (زیاد) برحسب کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال (Sun et al., 2016; Li et al., 2016) با آب مخلوط شده و محلول مورد نظر هر ماه روی هر قطعه نمونه به‌صورت دستی افشانده شد. به‌منظور تأثیر نگذاشتن تیمارها بر یکدیگر، فاصلهٔ ۱۰ متر بین قطعه نمونه‌ها به‌عنوان بافر در نظر گرفته شد. در تیمار کنترل یا شاهد به همان مقدار آب به زیراشکوب افشانده شد و

1. Nitrogen addition experiment

www.SID.ir

Archive of SID

آزمایش‌های شبیه‌سازی ته‌نشست نیتروژن به‌مدت یک سال انجام گرفت (Mo et al., 2008; He et al., 2016; Zhang et al., 2019) در هر قطعه نمونه، سه نمونه خاک از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر و سه نمونه لاشبرگ از سطح خاک جمع‌آوری شد، نمونه‌برداری در چهار فصل سال انجام گرفت و خصوصیات مورد نظر اندازه‌گیری شد (شکل ۱).



شکل ۱- تصویر شماتیک از روش نمونه‌برداری

بررسی آزمایشگاهی

در این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر ته‌نشست نیتروژن بر مشخصه‌های خاک، ابتدا لایهٔ لاشبرگ جمع‌آوری، کدگذاری و سپس نمونه‌ها برای بررسی خصوصیات شیمیایی لاشبرگ (شامل کربن، نیتروژن، پتاسم و فسفر) در هر فصل به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه نمونه‌ها خشک شدند و پس از الک کردن، عناصر شیمیایی موجود در لاشبرگ شامل نیتروژن کل با روش کجلدال، فسفر با دستگاه اسپکتروفتومتر، پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر و کربن به روش کوره (احتراق) اندازه‌گیری شد. برای بررسی ویژگی‌های خاک، در ابتدای پژوهش یک نمونه خاک در هر قطعه نمونه به‌منظور بررسی مشخصه‌های فیزیکی خاک از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر (با استفاده از استوانهٔ فلزی به قطر ۸ سانتی‌متر و به عمق ۱۰ سانتی‌متر برداشت شد. در آزمایشگاه درصد رطوبت به روش وزنی، چگالی ظاهری به روش کلوخه و بافت خاک به روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد. مقدار ترسیب کربن خاک از ضرب کربن آلی خاک در چگالی ظاهری در عمق خاک به‌دست آمد (Varamesh et al., 2014). به‌منظور بررسی عناصر شیمیایی موجود در خاک در آزمایشگاه، ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل واکنش خاک (pH) به روش پتانسیومتری، هدایت الکتریکی (EC) به روش هدایت‌سنجی، کربن آلی به روش والکی و بلاک (Nelson & Sommers, 1996)، نیتروژن به روش کجلدال، فسفر قابل جذب به روش اولسن و پتاسیم به روش عصاره‌گیری با استات آمونیم اندازه‌گیری شد (Jafarihaghighi, 2003).

روش تحلیل

این پژوهش در آزمایش دوعاملهٔ سطوح مختلف نیترات آمونیوم و چهار فصل سال در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار در هر تیمار (دوازده قطعه

www.SID.ir

Archive of SID

نمونه) اجرا شد. در ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو ویلکس و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون بررسی شد. برای مقایسهٔ ویژگی‌های شیمیایی از تجزیهٔ واریانس یکطرفه و برای بررسی اثرهای متقابل تکرار در زمان از تجزیهٔ واریانس دوطرفه با نرم‌افزار SPSS v.22 استفاده شد. برای مقایسهٔ چنددامنه‌ای میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد.

نتایج

نتایج این پژوهش نشان داد که بافت خاک در تودهٔ دست‌کاشت بلوط بلندمازو از نوع شنی- لومی است. مقدار رطوبت خاک ۲۹/۵۱ درصد، چگالی ظاهری ۱/۳۵ گرم در سانتی‌متر مکعب، pH خاک ۶/۱، EC خاک ۰/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار کربن ۴/۸ درصد و اندازهٔ ترسیب کربن برابر با ۷۱ تن در هکتار برآورد شد (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اعمال تیمارهای تەنشست نیتروژن در تودهٔ دست‌کاشت بلوط بلندمازو

مشخصه‌های خاک	بلوط بلندمازو
رطوبت (درصد)	۲۹/۵۱
چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۱/۳۵
بافت خاک	شنی= لومی
آهک (درصد)	۲/۸۵
pH	۶/۱
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۴۹
کربن آلی به درصد (درصد)	۴/۸
ترسیب کربن (تن در هکتار)	۷۱

نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس عناصر شیمیایی لاشبرگ و فصل‌های مختلف نشان داد که مقدار نیتروژن و پتاسیم در فصل و تیمار و اثر متقابل تکرار در زمان دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0/01$) است؛ ولی دربارهٔ فسفر اختلاف معنی‌داری در سطوح مختلف افزودن نیتروژن مشاهده نشد ($P>0/05$). مقدار کربن موجود در لاشبرگ نیز در سطوح مختلف افزودن نیتروژن ($P<0/05$) و در زمان ($P<0/01$) و اثر متقابل تکرار در زمان ($P<0/05$) دارای اختلاف معنی‌داری بودند (جدول ۲).

نتایج تجزیهٔ عناصر شیمیایی لاشبرگ نشان داد که در تیمار کنترل، بیشترین مقدار نیتروژن در تابستان (۱/۷ درصد) و کمترین مقدار در پاییز (۰/۸ درصد) مشاهده شد. تیمارهای نیتروژن مقدار نیتروژن لایهٔ لاشبرگ را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (زیاد> متوسط> کم> کنترل) و این روند در همهٔ فصل‌ها مشاهده شد؛ ولی اختلاف آن در پاییز و بهار و تابستان معنی‌دار بود. بیشترین مقدار نیتروژن لاشبرگ نیز در تیمار زیاد نیتروژن و در تابستان (۲/۸ درصد) مشاهده شد. دربارهٔ مقدار فسفر لاشبرگ در تیمار کنترل، بیشترین مقدار در تابستان (۰/۰۸ درصد) و کمترین مقدار در بهار (۰/۰۴ درصد) مشاهده شد. تیمارهای نیتروژن در دو فصل پاییز و زمستان تأثیر معنی‌داری بر مقدار فسفر لاشبرگ نداشتند ($P<0/05$)؛ اما این اختلاف در بهار و تابستان معنی‌دار بود ($P<0/01$). نتایج تجزیهٔ پتاسیم لاشبرگ نشان داد که در تیمار کنترل بیشترین مقدار در تابستان و کمترین مقدار در پاییز به‌دست آمد؛ این در حالی بود که مقدار پتاسیم در تیمار کم و زیاد، از تیمار کنترل و متوسط نیتروژن به‌طور معنی‌داری بیشتر بود ($P<0/01$). بیشترین مقدار کربن لاشبرگ نیز در تابستان و در تیمارهای کم و زیاد نیتروژن مشاهده شد (جدول ۳).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- نتایج تجزیهٔ واریانس عناصر موجود لایهٔ لاشبرگ در سطوح مختلف افزودن تەنشست نیتروژن و فصل‌های مختلف در تودهٔ دست‌کاشت بلندمازو

عناصر	منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	آمارهٔ F	معنی‌داری
نیتروژن (درصد)	فصل	۳	۱۳	۲۶۰/۶۵۳	۰/۰۰۰**
	تیمار	۳	۱/۶	۳۱/۵۶۲	۰/۰۰۰**
	تیمار×زمان	۹	۰/۵	۱۰/۵۱۲	۰/۰۰۰**
	خطا	۱۲۸	۰/۰۵		
فسفر (درصد)	فصل	۳	۰/۳۳	۶۲/۶۹۴	۰/۰۰۰**
	تکرار	۳	۰/۰۰۱	۲/۵۵۲	۰/۰۰۲**
	تیمار×زمان	۹	۰/۰۰۱	۱/۷۰۸	۰/۲۲۶ns
	خطا	۱۲۸	۰/۰۰۱		
پتاسیم (درصد)	فصل	۳	۷۴/۶	۱۶۱۴/۴۰۸	۰/۰۰۰**
	تکرار	۳	۰/۱۳	۲/۸۳۶	۰/۰۲۱*
	تیمار×زمان	۹	۰/۱۶	۳/۲۸۱	۰/۰۰۰**
	خطا	۱۲۸	۰/۰۵		
کربن آلی (درصد)	فصل	۳	۳۷۸۰/۷	۱۴۲/۹۵۸	۰/۰۰۰**
	تکرار	۳	۶۳/۴	۲/۳۸۸	۰/۰۱۴*
	تیمار×زمان	۹	۵۱/۸	۲/۵۲۷	۰/۰۰۲**
	خطا	۱۲۸	۲۶/۲		

** معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد؛ * معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد؛ ns نبود اختلاف معنی‌دار.

جدول ۳- اثر تیمارهای مختلف تەنشست نیتروژن بر غلظت عناصر غذایی لایهٔ لاشبرگ (میانگین± انحراف معیار) در تودهٔ دست‌کاشت بلندمازو

	فصل	شاهد (Control)	کم (Low)	متوسط (Medium)	زیاد (High)
نیتروژن (درصد)	پاییز	۰/۸۱±۰/۰۲a	۰/۸۳±۰/۰۲a	۰/۸۷±۰/۰۴b	۰/۹±۰/۰۶b
	زمستان	۱/۰۵±۰/۰۲a	۱/۱۱±۰/۰۶a	۱/۱۲±۰/۰۶a	۱/۲±۰/۰۷a
	بهار	۱/۴۵±۰/۱b	۱/۵۴±۰/۱b	۲/۰۱±۰/۲a	۲/۱±۰/۳a
	تابستان	۱/۷±۰/۰۲b	۱/۹۷±۰/۱ab	۲/۳±۰/۵ab	۲/۸±۰/۱a
فسفر (درصد)	پاییز	۰/۰۶۸±۰/۰۰۱a	۰/۰۶۸±۰/۰۰۲a	۰/۰۶۹±۰/۰۰۱a	۰/۰۸۳±۰/۰۰۱a
	زمستان	۰/۰۴±۰/۰۱a	۰/۰۳۵±۰/۰۰a	۰/۰۳۴±۰/۰۰a	۰/۰۲±۰/۰۰a
	بهار	۰/۰۷±۰/۰۰۴b	۰/۰۸±۰/۰۰ab	۰/۰۹۴±۰/۰۰ab	۰/۰۹۹±۰/۰۰a
	تابستان	۰/۰۸±۰/۰۲b	۰/۰۹±۰/۰۱ab	۰/۱±۰/۰۲ab	۰/۱±۰/۰۴a
پتاسیم (درصد)	پاییز	۱/۱۴±۰/۰۰a	۱/۱۳±۰/۰۰a	۱/۹±۰/۰۰a	۰/۸±۰/۰۰a
	زمستان	۱/۳۸±۰/۰۱a	۱/۲۸±۰/۰۲a	۱/۳۸±۰/۰۸b	۱/۴۲±۰/۰۵a
	بهار	۲/۶±۰/۰۲a	۲/۷±۰/۰۲ab	۲/۷±۰/۰۸ab	۲/۴±۰/۰۵b
	تابستان	۴/۰۷±۰/۳b	۴/۵±۰/۵a	۴/۱±۰/۲b	۴/۲±۰/۲b
کربن آلی (درصد)	پاییز	۴۷/۶±۴/۳a	۴۹/۲±۹/۵a	۴۶/۷±۲/۹a	۴۷/۶±۴/۱a
	زمستان	۳۰/۲±۳/۵a	۲۷/۴±۲/۴ab	۲۶/۰۱±۱/۹b	۳۰/۱±۵/۱a
	بهار	۳۵/۲±۳/۸b	۴۰/۱±۵/۷a	۴۱/۷±۴/۵a	۴۲/۰±۲/۵a
	تابستان	۴۸/۱±۲/۷a	۵۴/۱±۱/۷a	۵۰/۱±۱/۹a	۵۲/۰±۲/۶a

حروف لاتین غیرمشابه، نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) و حروف لاتین مشابه، نشان‌دهندهٔ نبود اختلاف معنی‌دار است.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج تجزیهٔ واریانس عناصر خاک در سطوح مختلف افزودن ته‌نشست نیتروژن و فصل‌های مختلف نشان داد که متغیرهای اندازه‌گیری‌شده در این پژوهش مانند نیتروژن، فسفر، پتاسم و کربن در فصل‌ها، تیمارهای مختلف افزودن نیتروژن و اثر متقابل آنها دارای اختلاف معنی‌دارند (P<۰/۰۱)؛ ولی pH و EC اگرچه در فصل‌ها و تیمارهای مختلف افزودن نیتروژن دارای اختلاف معنی‌دار بودند، اثرهای متقابل فصل‌ها و تیمار آنها اختلاف معنی‌داری (P>۰/۰۵) نشان ندادند (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج تجزیهٔ واریانس عناصر خاک در تیمارهای ته‌نشست نیتروژن و فصل‌های مختلف در تودهٔ بلندمازو

عناصر		df	میانگین مربعات	آمارهٔ F	Sig
pH	فصل	۳	۳/۵	۱۵۳/۳۸۴	**۰/۰۰۰
	تکرار	۳	۴/۰۷	۱۷۳/۸۳۸	**۰/۰۰۰
	تیمار×زمان	۹	۰/۰۴۵	۱/۸۷۱	ns۰/۰۷۶
	خطا	۱۲۸	۰/۰۲۳		
EC (دسی‌زیمنس بر متر)	فصل	۳	۰/۲	۱۳۱/۳۵۰	**۰/۰۰۰
	تکرار	۳	۰/۰۴	۲۴/۲۰۱	**۰/۰۰۰
	تیمار×زمان	۹	۰/۰۰۳	۱/۶۷۱	ns۰/۰۶۳
	خطا	۱۲۸	۰/۰۰۲		
فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فصل	۳	۱۴/۵	۳۳۰/۴۷۰	**۰/۰۰۰
	تکرار	۳	۳۸/۲	۸۶۰/۹۱۴	**۰/۰۰۰
	تیمار×زمان	۹	۶/۵	۱۴۹/۳۶۰	**۰/۰۰۰
	خطا	۱۲۸	۰/۰۳		
نیتروژن (درصد)	فصل	۳	۰/۳۵	۷۱۲/۵۸۲	**۰/۰۰۰
	تکرار	۳	۰/۱۲	۲۴۴/۳۶۳	**۰/۰۰۰
	تیمار×زمان	۹	۰/۰۱۳	۲۵/۶۷۱	**۰/۰۰۰
	خطا	۱۲۸	۰/۰۰۰		
پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فصل	۳	۱۶۵۸۲	۱۸۶۵/۵۲۰	**۰/۰۰۰
	تکرار	۳	۱۳۵۳۶	۱۵۵۲/۷۷۵	**۰/۰۰۰
	تیمار×زمان	۹	۱۳۴۶	۱۸۰/۴۰۵	**۰/۰۰۰
	خطا	۱۲۸	۹		
کربن آلی (درصد)	فصل	۳	۲/۱	۲۶/۷۳۹	**۰/۰۰۰
	تکرار	۳	۴/۲	۵۴/۵۲۹	**۰/۰۰۰
	تیمار×زمان	۹	۰/۵۴	۶/۸۵۷	**۰/۰۰۰
	خطا	۱۲۸	۰/۰۷		

**معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد؛ * معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد؛ ns نبود اختلاف معنی‌دار.

نتایج بررسی مقدار عناصر و تأثیر تیمارهای مختلف ته‌نشست نیتروژن بر خصوصیات شیمیایی خاک نشان داد که کمترین مقدار pH خاک مربوط به تیمارهای زیاد (۵/۳) و متوسط (۵/۶) نیتروژن و بیشترین مقدار مربوط به تیمار شاهد (۶/۸) بود و تیمارهای نیتروژن به‌طور معنی‌داری موجب کاهش pH خاک شد. در زمینهٔ هدایت الکتریکی خاک مقدار آن در تیمارهای زیاد و متوسط افزودن نیتروژن، بیشترین و در تیمار شاهد، کمترین و تفاوت معنی‌دار بود. دربارهٔ مقدار نیتروژن کل، نیتروژن به‌طور معنی‌داری در سطوح متوسط و زیاد نیتروژن بیشتر از تیمار کنترل بود؛ اما پتاسیم و فسفر در تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری بیشترین مقدار را داشتند و سطوح زیاد شبیه‌سازی ته‌نشست نیتروژن، کمترین مقدار

www.SID.ir

Archive of SID

پتاسیم و فسفر را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

نتایج بررسی تغییرات عناصر خاک در فصل‌های مختلف در تیمارهای شبیه‌سازی نشان داد که مقدار پتاسیم و فسفر در تیمار کنترل، در فصل زمستان به‌طور معنی‌داری کمتر بود، ولی بیشترین مقدار پتاسیم به فصل پاییز و بیشترین مقدار فسفر به فصل‌های بهار و تابستان اختصاص داشت و در این زمینه از مقدار فسفر و پتاسیم خاک در تیمار متوسط و زیاد شبیه‌سازی، به‌طور معنی‌داری کاسته شد. در زمینهٔ تغییرات فصلی pH، کمترین اسیدیته مربوط به بهار و تابستان و بیشترین اسیدیته مربوط به زمستان بود و تیمار زیاد شبیه‌سازی نیتروژن، بیشترین روند کاهشی را در ارتباط با اسیدیته نشان داد.

جدول ۵- اثر سطوح مختلف افزودن نیتروژن در پاییز (ته‌نشست نیتروژن) بر غلظت عناصر غذایی خاک (میانگین± انحراف معیار) در تودهٔ بلندمازو

	فصل	شاهد (Control)	کم (Low)	متوسط (Medium)	زیاد (High)
pH	پاییز	۶/۶±۰/۲a	۶/۰۱±۰/۱b	۵/۸۲±۰/۲bc	۵/۷±۰/۲c
	زمستان	۶/۸±۰/۰۳a	۶/۴±۰/۰۵b	۶/۲۲±۰/۱c	۵/۸±۰/۲d
	بهار	۶/۱±۰/۲a	۵/۸±۰/۰۵b	۵/۶±۰/۲c	۵/۴±۰/۱d
	تابستان	۶/۰±۰/۱a	۵/۷±۰/۱b	۵/۶±۰/۱b	۵/۳±۰/۱c
EC (دسی‌زیمنس بر متر)	پاییز	۰/۴۸±۰/۰۴a	۰/۴۸±۰/۰۲a	۰/۵±۰/۰۳a	۰/۵±۰/۰۳a
	زمستان	۰/۴۸±۰/۰۲a	۰/۴۹±۰/۰۲ab	۰/۵۴±۰/۰۲b	۰/۵۶±۰/۰۳b
	بهار	۰/۵۸±۰/۰۳c	۰/۶۱±۰/۰۳b	۰/۶۷±۰/۰۵a	۰/۶۸±۰/۰۳a
	تابستان	۰/۵۹±۰/۰۳b	۰/۶۱±۰/۰۳b	۰/۶۶±۰/۰۴a	۰/۶۸±۰/۰۵a
نیتروژن (درصد)	پاییز	۰/۲۶±۰/۰۰b	۰/۲۶±۰/۰۱b	۰/۲۷±۰/۰۲b	۰/۲۹±۰/۰۲a
	زمستان	۰/۳۷±۰/۰۱d	۰/۴±۰/۰۱c	۰/۴۶±۰/۰۲b	۰/۴۸±۰/۰۱a
	بهار	۰/۴۲±۰/۰۱c	۰/۴۳±۰/۰۱b	۰/۵۲±۰/۰۱a	۰/۵۵±۰/۰۲a
	تابستان	۰/۳۶±۰/۰۳d	۰/۴۵±۰/۰۲c	۰/۵۵±۰/۰۳b	۰/۵۸±۰/۰۳a
فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پاییز	۱۴/۰۳±۰/۲a	۱۳/۹±۰/۲a	۱۳/۸±۰/۲a	۱۳/۸±۰/۲a
	زمستان	۱۳/۳±۰/۱a	۱۲/۵±۰/۲b	۱۲/۱±۰/۵c	۱۰/۶±۰/۶d
	بهار	۱۵/۴±۰/۱a	۱۲/۱±۰/۱b	۱۰/۱±۰/۰۷c	۹/۵±۰/۱d
	تابستان	۱۵/۴±۰/۱a	۱۲/۸±۰/۴b	۹/۴±۰/۴c	۸/۱±۰/۱d
پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پاییز	۳۰۵±۲a	۲۹۹±۲b	۲۹۸±۳b	۲۸۲±۲c
	زمستان	۲۷۲±۴a	۲۶۹±۳a	۲۵۲±۴c	۲۴۹±۳c
	بهار	۲۹۴±۴a	۲۶۸±۲b	۲۴۰±۴c	۲۲۹±۴d
	تابستان	۲۹۰±۳a	۲۵۰±۳b	۲۳۱±۲c	۲۲۱±۴d
کربن آلی (درصد)	پاییز	۴/۷۵±۰/۰۳b	۴/۸±۰/۰۳ab	۵/۰۱±۰/۳a	۵/۲±۰/۵a
	زمستان	۴/۶۱±۰/۰۳b	۴/۶۵±۰/۰۳b	۴/۹±۰/۳۲a	۵/۰۵±۰/۵a
	بهار	۴/۸±۰/۰۵b	۴/۷±۰/۱b	۵/۲±۰/۰۸a	۵/۳±۰/۰۳a
	تابستان	۵/۰۱±۰/۴c	۴/۷±۰/۳c	۵/۴±۰/۳b	۶/۳±۰/۳a

حروف لاتین غیرمشابه، نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) و حروف لاتین مشابه، نشان‌دهندهٔ نبود اختلاف معنی‌دار است.

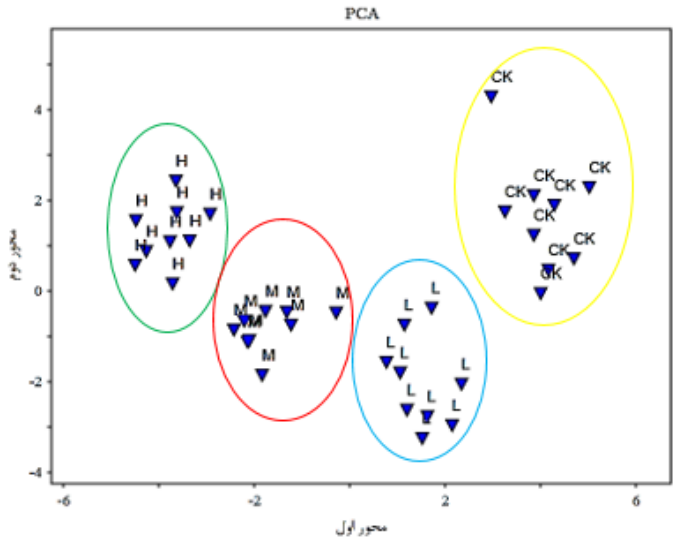
هدایت الکتریکی نیز در بهار و تابستان بیشترین اندازه را داشت. در مقایسه با مقدار نیتروژن خاک در تیمار کنترل در فصل‌های مختلف، فصل بهار بیشترین مقدار نیتروژن را نشان داد؛ ولی روند افزایشی مقدار نیتروژن از پاییز به تابستان و در تیمارهای کم به زیاد شبیه‌سازی به‌روشنی مشاهده شد. دربارهٔ مقدار کربن

www.SID.ir

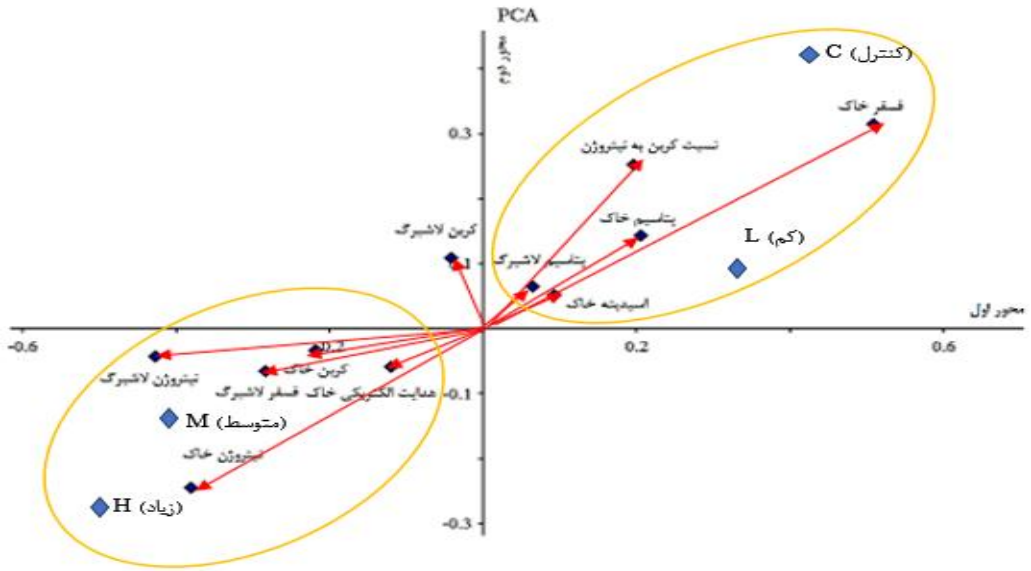
Archive of SID

خاک، اگرچه فصل‌های مختلف تأثیر چندانی بر مقدار کربن خاک از خود نشان نداد، مقدار آن در سطوح زیاد شبیه‌سازی، افزایشی بود و این روند افزایشی در بهار و تابستان مشاهده شد (جدول ۵).

براساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (شکل‌های ۲ و ۳) تیمارهای ته‌نشست نیتروژن در پایان دورهٔ شبیه‌سازی به‌طور کامل از یکدیگر جدا شدند و مشخصه‌هایی مانند اسیدیته، پتاسیم، فسفر، نسبت کربن به نیتروژن خاک و... که با افزایش نیتروژن روند کاهشی داشتند، در سمت راست محور اصلی قرار گرفتند، درحالی که مشخصه‌هایی مانند نیتروژن خاک، نیتروژن لاشبرگ، فسفر لاشبرگ و کربن خاک که روند افزایشی نشان دادند، در سمت چپ محور PCA قرار گرفتند.



شکل ۲- توزیع مکانی تیمارهای مختلف ته‌نشست نیتروژن شامل CK: شاهد، L (کم)، M (متوسط)، H (زیاد) در تحلیل PCA



شکل ۳- توزیع مکانی مشخصه‌های شیمیایی خاک و لاشبرگ در مواجهه با ته‌نشست نیتروژن
(عامل اول: مقدار ویژه= ۵/۸، درصد واریانس متناظر با عامل= ۵۳ درصد و درصد واریانس تجمعی= ۵۳ درصد
و عامل دوم: مقدار ویژه= ۱/۵۶، درصد واریانس متناظر با عامل= ۱۴ درصد و درصد واریانس تجمعی= ۶۷ درصد)

www.SID.ir

Archive of SID

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که ترکیب شیمیایی لاشبرگ تحت تأثیر افزایش ته‌نشست نیتروژن دچار تغییر شد و روند افزایش را به نمایش گذاشت. در این زمینه Cadisch & Giller (1997) بیان کردند که ترکیب شیمیایی لاشبرگ تحت تأثیر متغیرهای شیمیایی زیادی مانند مقدار کربن و لیگنین، نیتروژن و فسفر و نسبت‌های بین آنها قرار دارد و هر عاملی که هر یک از این متغیرها را تغییر دهد، می‌تواند بر ترکیب شیمیایی لاشبرگ اثرگذار باشد. ته‌نشست نیتروژن از عامل‌های مهم اثرگذار بر ترکیب شیمیایی لاشبرگ است (Li et al., 2019). در این زمینه یافته‌های Han et al. (2014) نشان داد که ته‌نشست نیتروژن می‌تواند مقدار کیفیت لاشبرگ را از طریق افزایش نیتروژن و تغییر مقدار C:N دچار تغییر کند. بنابراین ته‌نشست نیتروژن می‌تواند بر فرایند تجزیهٔ لاشبرگ از راه تأثیر بر کیفیت و ترکیب شیمیایی آن اثرگذار باشد (Knorr et al., 2005) و می‌تواند تجزیهٔ عناصر را افزایش دهد و روند تجزیه و آزادسازی آنها از لاشبرگ به خاک را تسریع کند. اگرچه برخی از گزارش‌های پژوهشی مانند Bragazza et al. (2012) در تحقیق خود نشان دادند که یک سال شبیه‌سازی نیتروژن می‌تواند روند تجزیهٔ لاشبرگ را کاهش دهد و به‌شدت فعالیت میکروبی و آنزیمی خاک را تحت تأثیر قرار دهد. نتایج پژوهش ما نشان می‌دهد که تجمع فسفر زیاد در لایهٔ لاشبرگ ممکن است محدودیت بیشتری برای فعالیت گیاهان و جانوران ایجاد کند. افزون‌بر آن، Li et al. (2019) در پژوهش خود بیان کردند که ته‌نشست نیتروژن می‌تواند ترکیب شیمیایی لاشبرگ را از طریق تأثیر بر جوامع میکروبی خاک تغییر دهد؛ زیرا هر زمان نیتروژن در خاک به فراوانی وجود داشته باشد، فعالیت جوامع میکروبی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد و مانع فعالیت آنها می‌شود. Sun et al. (2016) نیز دریافتند که ته‌نشست نیتروژن به‌شدت فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده لیگنین را تحت تأثیر قرار می‌دهد و مانع تجزیهٔ لیگنین، افزایش کربن و افزایش نیتروژن در لایهٔ لاشبرگ می‌شود. در این زمینه، نتایج پژوهش Chen et al. (2019) نیز مشخص کرد که مقدار فسفر و نیتروژن لاشبرگ در تیمارهای افزودن نیتروژن نسبت به تیمار شاهد، افزایش یافته است که نشان‌دهندهٔ کند شدن روند تجزیهٔ لاشبرگ در نتیجهٔ افزایش ته‌نشست نیتروژن است. در پژوهش پیش رو، نتایج بررسی تغییرات فصلی غلظت عناصر در لایهٔ لاشبرگ نشان داد که غلظت عناصر در لاشبرگ تابستان نسبت به پاییز و زمستان در تیمار کنترل بیشتر بوده است که آن را می‌توان به افزایش غلظت عناصر در تاج‌بارش و لاشه‌ریزی در این فصل‌ها نسبت داد. در این زمینه یافته‌های Stachurski & Zimka (2002) نشان داد که پتاسیم به‌راحتی هنگام عبور تاج‌بارش از شاخه و برگ درختان به‌ویژه در فصل بهار (هنگام جوانه‌زنی) و فصل تابستان (پیری برگ) جدا می‌شود و در نتیجه غلظت پتاسیم را در تاج‌بارش افزایش می‌دهد. علت این مسئله متحرک بودن پتاسیم در هنگام ریزش برگ‌ها و انتقال مجدد عناصر است (Jalilvand, 2003). دربارهٔ فسفر نیز نتایج تحقیق Potter et al. (1991) نشان داد که فسفر به‌شکل فسفات می‌تواند به سرعت به وسیلهٔ تاج‌بارش آبشویی شود. Sagheb-talebi et al. (2014) نیز بیان کردند که غلظت عناصر موجود در لاشبرگ در جنگل‌های هیرکانی در تابستان به‌علت دما و تاج‌پوشش درختان بیشتر از فصل‌های دیگر است.

نتایج بررسی مقدار عناصر و تأثیر تیمارهای مختلف ته‌نشست نیتروژن بر خصوصیات شیمیایی خاک نشان می‌دهد که کمترین مقدار pH خاک مربوط به بهار و تابستان و در تیمارهای زیاد و متوسط نیتروژن و بیشترین مقدار آن در تیمار شاهد است. در زمینهٔ تأثیر ته‌نشست نیتروژن بر pH خاک، پژوهش Zhang et al. (2019) نشان می‌دهد که افزایش مقدار نیتروژن موجب کاهش pH خاک و

www.SID.ir

Archive of SID

درنتیجه آبشویی کاتیون های قلیایی و افزایش دسترسی به فلزات سمی مانند آلومینیم در خاک می‌شود. آمونیوم با اتصال به کاتیون های قلیایی در خاک، به راحتی موجب جابه‌جایی و انتقال آنها به سطح خاک شده که این مسئله سبب آبشویی کاتیون های قلیایی و کاهش ظرفیت بافری آنها در برابر اسیدی شدن خاک می‌شود (Matschonat & Matzner, 1996). یکی دیگر از علت‌های کاهش pH خاک را در مواجهه با افزایش نیتروژن می‌توان افزایش آمونیوم در خاک دانست که در فرایند شبیه سازی به خاک اضافه شد. هنگامی که یون آمونیوم در خاک افزایش یابد، توسط گیاه جذب شده و در نتیجه موجب آزادسازی یون H^+ در محلول خاک و افزایش اسیدیتهٔ خاک می‌شود (Smith & Read, 2008). همچنین افزایش آمونیوم در خاک موجب افزایش فرایند نیتراتی شدن در خاک می شود که این مسئله خود به افزایش یون H^+ خواهد انجامید و اسیدی‌تر شدن خاک را به‌همراه خواهد داشت. درحالی که آنیون های NO_3^- سبب از بین رفتن کاتیون‌های فلزی از طریق شست‌وشو و جایگزینی H^+ برای حفظ تعادل بار در محلول خاک می‌شود که این فرایند نیز اسیدی شدن خاک را به‌همراه دارد (Gundersen et al., 2006).

براساس نتایج این پژوهش، مقدار نیتروژن خاک به‌طور معنی‌داری در تابستان و سطوح زیاد شبیه‌سازی نیتروژن افزایش یافت. افزایش نیتروژن در تیمارهای زیاد و متوسط نیتروژن، به‌علت افزایش NO_3^- و NH_4^+ است که در فرایند شبیه‌سازی به خاک اضافه شده است و به‌دنبال آن افزایش نیتروژن کل را به‌همراه خواهد داشت (Luo et al., 2014)؛ کم بودن مقادیر نیتروژن در پاییز و افزایش بیشتر آن در بهار و تابستان نیز به‌علت آغاز فرایند افزودن نیتروژن در پاییز است که با ادامهٔ روند افزودن، مقدار آن در تابستان به بیشترین حد خود می‌رسد.

فسفر از عناصر غذایی مهم برای رشد گیاهان محسوب می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین مقدار فسفر در تابستان و بهار بوده است که علت آن را می‌توان افزایش غلظت فسفر در مسیرهای ورودی عناصر غذایی (لاشه‌ریزی و تاج بارش) در این فصل‌ها دانست (Sayer, 2006). در این زمینه یافته‌های Potter et al. (1991) نشان داد که فسفر به‌شکل فسفات می‌تواند به‌سرعت به‌وسیلهٔ تاج‌بارش آبشویی شود و با توجه به غلظت بیشتر فسفر هم در تاج‌بارش و هم در لاشه‌ریزی این فصل‌ها، افزایش آن در خاک روشن است. در این پژوهش، غلظت فسفر در تیمارهای ته‌نشست نیتروژن به‌طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار کنترل کاهش یافت. پژوهش‌های Luo et al. (2014) در تودهٔ بلوط (*Quercus Acutissima*) در چین معلوم کرد که افزایش نیتروژن ورودی موجب کاهش فسفر خاک نسبت به تیمار کنترل شد. آنها نشان دادند که افزایش نیتروژن ورودی، جذب فسفر را در درخت بلوط و در محیط‌هایی که با کاهش فسفر خاک مواجه‌اند، افزایش می‌دهد و این مسئله می‌تواند یکی از عوامل کاهش فسفر خاک در ارتباط با افزایش ته‌نشست نیتروژن باشد. Treseder & Vitousek (2001) در تحقیقات خود علت کاهش فسفر را در ارتباط با افزایش ته‌نشست نیتروژن این‌طور بیان کردند که با افزایش نیتروژن در دسترس، گیاهان قادرند نیتروژن را در ساختار برون‌سلولی فسفاتاز جایگزین کنند که این امر موجب تبدیل فسفر معدنی به آلی و آزادسازی فسفات برای جذب توسط گیاه می‌شود. بنابراین، این مسئله یکی دیگر از دلایل کاهش فسفر خاک در رابطه با افزایش ته‌نشست نیتروژن است. همچنین با توجه به نتایج این پژوهش در لایهٔ لاشبرگ، کاهش فرایند تجزیهٔ لاشبرگ و آزادسازی فسفر از لاشبرگ به خاک، نیز می‌تواند یکی دیگر از دلایل مقدار فسفر خاک باشد.

نتایج این پژوهش کاهش روند غلظت پتاسیم را با افزایش ته‌نشست نیتروژن در هر تودهٔ بلندمازو نشان داد. علت کاهش مقدار پتاسیم خاک نیز افزایش مقدار No_3^- به‌علت افزودن نیترات آمونیوم در فرایند شبیه‌سازی نیتروژن است. در صورتی‌که نیترات توسط

www.SID.ir

Archive of SID

گیاه جذب نشود، در خاک شناور می‌شود و به‌وسیلهٔ کاتیون‌هایی مانند پتاسیم، کلسیم و منیزیم جذب می‌شود. این موضوع سبب آبشویی کاتیون‌های قلیایی به‌همراه نیترات می‌شود که نه‌تنها به افزایش اسیدیتهٔ خاک خواهد انجامید، بلکه سبب کاهش کاتیون‌های قلیایی خاک و افزایش دسترسی به فلزات سمی (برای مثال Fe^{3+}،AL^{3+}) (Sheppard et al., 2008) نیز خواهد شد.

نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهند که ته‌نشست نیتروژن می‌تواند بخش‌های مختلف بوم‌سازگان‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. اما با توجه به تغییرات جهانی اقلیم، مهم‌ترین چالش زیست‌محیطی در زمینهٔ ته‌نشست نیتروژن، درک درست تغییرات کربن و چرخهٔ آن است (Tu et al., 2014). نتایج این پژوهش در ارتباط با مقدار کربن خاک نشان داد که با افزایش مقدار نیتروژن به‌خصوص در انتهای دورهٔ شبیه‌سازی، افزایش معنی‌داری در مقدار کربن آلی خاک حاصل می‌شود. در این زمینه، نتایج پژوهش Chang et al. (2019) مشخص کرد که افزایش نیتروژن موجب افزایش کربن آلی در لایه‌های بالایی خاک می‌شود، ولی برای تأثیر نیتروژن بر کربن آلی در لایه‌های پایینی خاک به زمانی بیشتر از ده سال نیاز است؛ ورودی کوتاه‌مدت نیتروژن تنها در لایهٔ بالایی خاک تأثیرگذار است. آنها در پژوهش خود دلیل افزایش کربن در ارتباط با افزایش نیتروژن ورودی را افزایش کربن لاشبرگ دانستند که این موضوع به‌علت کاهش فعالیت آنزیم‌های برون‌سلولی تجزیه‌کنندهٔ لیگنین است که بر مقدار کربن آلی خاک در لایه‌های بالایی مؤثر بوده است.

نتایج کلی این پژوهش این است که ته‌نشست نیتروژن می‌تواند موجب تغییر مشخصه‌های شیمیایی خاک مانند کاهش اسیدیته، فسفر و پتاسیم و افزایش نیتروژن در تودهٔ بلندمازو شود. همچنین می‌تواند ترکیب شیمیایی لاشبرگ را نیز دچار تغییر کند. این مسئله در بلندمدت اثرهای بیشتری بر بوم‌سازگان‌ها به‌همراه خواهد داشت. در نتیجه به‌علت اثر مخرب ته‌نشست نیتروژن اقدامات لازم برای کاهش آلودگی ناشی از NO_x (از طریق ترافیک و صنایع) و با NH_y (از طریق کشاورزی) ضروری به‌نظر می‌رسد. اگرچه به‌منظور دستیابی به اطلاعات دقیق‌تر، پژوهش‌های بلندمدت و نیز تحقیق دربارهٔ گونه‌های دیگر نیز ضروری به‌نظر می‌رسد.

References

Bobbink, R., Hicks, K., Galloway, J., Spranger, T., Alkemade, R., & Ashmore, M. (2010). Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis. *Ecological Applications*, *20*, 30-59.

Bragazza, L., Buttler, A., Habermacher, J., Brancaleoni, L., Gerdol, R., Fritze, H., Hanajík, P., Laiho, R., & Johnson, D. (2012). High nitrogen deposition alters the decomposition of bog plant litter and reduces carbon accumulation. *Global Change Biology*, *18*(3), 1163-1172.

Cadisch, G., & Giller, K.E. (1997). Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition. *CABI Publishing, Wallingford*. 409 pp.

Chang, R., Zhou, W., Fang, Y., Bing, H., Sun, X., & Wang, G. (2019). Anthropogenic nitrogen deposition increases soil carbon by enhancing new carbon of the soil aggregate formation. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, *124*(3), 572-584.

Chen, F.S., Wang, G.G., Fang, X.M., Wan, S.Z., Zhang, Y., & Liang, C. (2019). Nitrogen deposition effect on forest litter decomposition is interactively regulated by endogenous litter quality and exogenous resource supply. *Plant and Soil*, *437*(1-2), pp.413-426.

www.SID.ir

Archive of SID

De Vries, W., & Schulte-Uebbing, L. (2019). Impacts of nitrogen deposition on forest ecosystem services and biodiversity. In *Atlas of Ecosystem Services* (pp. 183-189). Springer, Cham.

Dentener, F., Drevet, J., & Lamarque, J.F. (2006). Nitrogen and sulfur deposition on regional and global scales: A multimodel evaluation. *Global Biogeochemical Cycles*, *20*, GB 4003.

Driscoll, J. (1997). Acid rain demonstration: the formation of nitrogen oxides as a by-product of high-temperature flames in connection with internal combustion engines. *Journal of Chemical Education*, *74*, 1424–1425.

Friedman, S.D., Hébrard, G., Tripp, T.M., Chayer, P. and Sembach, K.R. (2006). The deuterium, oxygen, and nitrogen abundance toward LSE 44. The Astrophysical Journal, 638(2), p.847.

Gallagher, M., Fontan, J., Wyers, P., Ruijgrok, W., Duyzer, J., & Hummelshøj, P. (1997). Atmospheric particles and their interactions with natural surfaces: Springer.

Graham, L.E., Graham, J.M., & Wilcox, L.W. (2006). Plant Biology. Upper Saddle River, NJ, USA, *Pearson Education*, Inc.

Gundersen, P., Schmidt, I.K., & Raulund-Rasmussen, K. (2006). Leaching of nitrate from temperate forests effects of air pollution and forest management. *Environmental* Reviews, *14*(1), 1-57.

Han, X., Sistla, S.A., Zhang, Y., Lü, X., & Han, X. (2014). Hierarchical responses of plant stoichiometry to nitrogen deposition and mowing in a temperate steppe. *Plant and Soil*, *382*, 175–187.

He, T., Wang, Q., Wang, S., & Zhang, F. (2016). Nitrogen addition altered the effect of belowground C allocation on soil respiration in a subtropical forest. *PloS one*, *11*(5), p. e0155881.

Jafarihaghighi, M. (2003). Sampling and analysis of important physical and chemical soil analysis. Neda Zoha Press. Tehran, Iran.

Jalilvand, H. (2003). Modeling and simulation of forest tree growth response to nutrition and climatic variations. PhD. Thesis, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modarres University, Tehran, IR-Iran, 184 pp.

Kleijn, D., Bekker, R.M., Bobbink, R., De Graaf, M.C., & Roelofs, J.G. (2008). In search for key biogeochemical factors affecting plant species persistence in heathland and acidic grasslands: a comparison of common and rare species. *Journal of Applied Ecology*, *45*, 680-687.

Knorr, M., Frey, S.D., Curtis, P.S. (2005). Nitrogen additions and litter decomposition: a meta-analysis. *Ecology*, *86*, 3252–3257.

Kooch, Y., & Moughimian, N. (2015). The effect of deforestation and land use change on ecophysiology indices of soil carbon and nitrogen. *Iranian Journal of Forest*, *7*(2), 243-256.

Li, H., Xu, Z., Yang, S., Li, X., Top, E.M., Wang, R., Zhang, Y., Cai, J., Yao, F., Han, X., & Jiang, Y. (2016). Responses of Soil Bacterial Communities to Nitrogen Deposition and Precipitation Increment Are Closely Linked with Aboveground Community Variation. *Microbial Ecology*, *71*(4), 974-989.

Li, Y., Bezemer, T.M., Yang, J., Lü, X., Li, X., Liang, W., Han, X., & Li, Q. (2019). Changes in litter quality induced by N deposition alter soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, *130*, 33-42.

Luo, Y., Guo, W., Yuan, Y., Liu, J., Du, N., & Wang, R. (2014). Increased nitrogen deposition alleviated the competitive effects of the introduced invasive plant Robinia pseudoacacia on the native tree Quercus acutissima. *Plant and Soil*, *385*(1-2), 63-75.

Matschonat, G., & Matzner, E. (1996). Soil chemical properties affecting NH_4^+ sorption in forest soils Z. *Flanzenernahrung Bodenkunde*, https://doi.org/10.1002/jpln.1996.3581590514.

Mo, J., W.E.I. Zhang., W. Zhu., P.E.R. Gundersen., Y. Fang., D. Li., & H.U.I. Wang. (2008). Nitrogen addition reduces soil respiration in a mature tropical forest in southern China. *Global Change Biology*, 14(2), 403-412.

www.SID.ir

Archive of SID

Munzi, S., Branquinho, C., Cruz, C., & Loppi S. (2013). Nitrogen tolerance in the lichen Xanthoria parietina: the sensitive side of a resistant species. *Functional Plant Biology*, *40*: 237-243.

Nelson, D.W., & Sommers, L.E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A.L., Miller, R.H. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy, 2nd ed. *American Society of Agronomy*, Madison. WI, pp. 961–1010.

Potter, C.S., Ragsdale, H.L., & Swank, W.T. (1991). Atmospheric deposition and foliar leaching in a regenerating southern Appalachian forest canopy. *Journal of Ecology*, *79*, 97–115.

Rasouli Sadeghiani, M.H., Karimi, S., Khodavardillo, H., Brinvand, M., & Banjshafiei, A. (2016). Impact of forest ecosystem land use change on soil physical, chemical and biological indices. *Iranian Journal of Forest*, *8*(2), 167-178.

Sagheb-Talebi, K., Sajedi T., & Pourhashemi, M. (2014). Forests of Iran: a treasure from the past, a hope for the future. Springer, Dordrecht. 141 pp.

Sayer, E.J. (2006). Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews*, *81*(1): 1-31.

Sheppard, L.J., Leith, I.D., Crossley, A., Van Dijk, N., Fowler, D., Sutton, M.A., & Woods, C. (2008). Stress responses of Calluna vulgaris to reduced and oxidised N applied under 'real world conditions. *Environmental Pollution*, *154*(3), 404-413.

Smith, S. E., & Read, D.J. (2008). Mycorrhizal symbiosis (San Diego, CA: Academic). 800 pp.

Stachurski, A., & Zimka, J.R. (2002). Atmospheric deposition and ionic interactions within a beech canopy in the Karkonosze Mountains. *Environmental Pollution*, *118*, 75–87. https://doi.org/10.1016/S0269- 7491(01)00238-X.

Sun, T., Dong, L.L., Wang, Z.W., Lu, X.T., & Mao, Z.J. (2016). Effects of long-term nitrogen deposition on fne root decomposition and its extracellular enzyme activities in temperate forests. *Soil Biochemistry*, *93*, 50–59.

Tavakoli, M., Hojjati, S.M., & Kooch, Y. (2019). Impact of Traditional Coal Mining on Physical, Chemical Properties and Soil Heavy Metal Concentrations in Lavij Forest. *Iranian Journal of Forest*, *11*(1), 81-93.

Treseder, K.K., & Vitousek, P.M. (2001). Effects of soil nutrient availability on investment in acquisition of N and P in awaiian rain forests. *Ecology*, *82*, 946–954.

Tu, L., Hu, T., Zhang, J., Li, X., Hu, H., & Liu, L. (2014). Nitrogen addition stimulates different components of soil respiration in a subtropical bamboo ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, *58*, 255–264.

Varamesh, S., Hosseini, S.M., & Sephidi, K. (2014). Evaluation of Carbon Sequestration in Biomass, Litter and Soil in Acacia and Silver Cedar Stands in around Tehran. *Environmental Science and Technology in Tehran*, *16* (Special issue 93), 343-352.

Wood and paper organization, (2011). Booklet of Mahdasht and Afrarakht forest plan. Wood and paper in Mazandaran (Sari).

Yousefi, Z., & Naeich, O. (2007). Investigation and determination of amount nitrate sources of drinking water in rural Amol. *Journal of Medicine Sciences, University of Mazandaran*, *17*(61), 161-165.

Zhang, H., Liu, Y., Zhou, Z., & Zhang, Y. (2019). Inorganic Nitrogen Addition Affects Soil Respiration and Belowground Organic Carbon Fraction for a *Pinus tabuliformis* Forest. *Forests*, *10* (5), 1-15 p., 369, doi:10.3390/f10050369.

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Forest
Vol. 12, No. 1, Spring 2020
pp. 33-47

Research Article

Response of Soil and Litter Chemical Characteristics to Simulation of Nitrogen Deposition in *Quercus castaneifolia* Stand

A. S. Nouraei[1], H. Jalilvand[2]*, S. M. Hojjati[3], S. J. Alavi[4]

[1] Ph.D. Student., Dep. of Sciences and Forest Engineering, College of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I. R. Iran
[2] Professor., Dep. of Sciences and Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I. R. Iran
[3] Associate Prof., Dep. of Sciences and Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I. R. Iran
[4] Assistant Prof., Dep. of forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran

(Received: 14 September 2019, Accepted: 21 December 2019)

Abstract

The patterns of nitrogen distribution in the world are changing and today have become a serious environmental problem. The aim of this study was to investigate the biochemical response of soil and litter to simulated nitrogen deposition in chestnut-leaved oak (*Quercus castaneifolia*). Four treatments in twelve plots of 20 m × 10 m^2 were randomly established in the plantation stand. Four simulated nitrogen deposition treatments were considered including zero (control), 50 (low), 100 (medium) and 150 (high) kg N $ha^{-1}year^{-1}$, with four seasons in each month. At the end of the simulated period, an increasing trend in nitrogen, phosphorus and potassium was observed in high nitrogen deposition treatment. The carbon in the litter layer at the end of the simulated period was also significant ($P < 0.01$) at levels of 100 and 150 kg N. At the end of simulation period, the lowest soil pH changed were observed in the high treatment and the highest in the control treatment. The highest amount of potassium and phosphorus were observed in control treatment 290±5 and 15±0.1, respectively, while in the high simulated nitrogen treatments the lowest values were 221±4 and 8.1±0.1, respectively. The results of this study showed that when the nitrogen content in the soil increased, it could decrease the rate of decomposition and microbial activity in the soil and cause a change in the chemical composition of the litter layer.

Keywords: *Quercus castaneifolia*, Litter, Nitrogen cycle, Soil chemistry

∗Corresponding author Tel: +989112140616 Email: h.jalilvand@sanru.ac.ir

www.SID.ir