ارزیابی اثر بقایای گیاه فسکیوی بلند در حضور و عدم حضور اندوفیت بر پایداری ساختمان خاک‌های با بافت متفاوت به روش HEMC

فاطمه حسینی [۱]، محمد رضا مصدقی [۲]، محمد علی حاج‌عباسی [۳]
۱-دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲-دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۳-استاد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده
در این پژوهش اثر بقایای گیاه فسکیوی بلند با (E+) و بدون اندوفیت (E−) در سه سطح صفر، یک و دو درصد بر کربن آلی، تنفس میکربی پایه، شاخص‌های پایداری ساختمان (به روش منحنی مشخصه رطوبتی پر انرژی، HEMC) در چهار خاک با بافت مختلف در شرایط آزمایشگاهی بررسی شد. بقایای گیاهان E+ و E− با نمونه‌های خاك مرطوب مخلوط شده، تحت ۱۰ چرخه تر-خشك‌شدن قرار گرفته، در گرم‌خانه به مدت ۲ ماه نگهداری شده و در پایان ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با ریزشدن بافت، کربن آلی افزایش و تنفس میکربی کاهش یافت. افزایش مقدار بقایا سبب افزایش کربن آلی، تنفس میکربی و شاخص‌های پایداری ساختمان گردید. بقایای گیاهان E+ سبب افزایش معنی‌دار کربن آلی و در نتیجه پایداری ساختمان خاک شد. بنابراین می‌توان گفت که بقایای گیاه فسکیوی بلند به ویژه در حضور اندوفیت با افزایش ذخیره کربن آلی و شاخص‌های پایداری ساختمان سبب بهبود کیفیت فیزیکی خاک می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اندوفیت، منحنی مشخصه رطوبتی پر انرژی، پایداری خاکدانه، بقایای گیاهی

مقدمه
پایداری خاکدانه ارتباط مستقیمی با کیفیت فیزیکی خاک، که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است، دارد. مقدار و ترکیب بقایای گیاهی افزوده‌شده توسط گونه‌های گیاهی مختلف می‌تواند پایداری ساختمان خاک را تحت تأثیر قرار دهد (دی‌گریز و همکاران، ۲۰۰۶). حضور ترکیبات آب‌دوست مانند کربوهیدرات‌ها از طریق تقویت پیوندهای بین ذرات از یک سو و حضور مواد آب‌گریز مانند اسید هومیک از طریق ایجاد پوشش بر دیواره منافذ از سوی دیگر سبب کاهش اثرات مخرب ناشی از مرطوب‌شدن سریع بر ساختمان خاک می‌شود (پیکولو و باگوو، ۱۹۹۹؛ دی‌گریز و همکاران، ۲۰۰۶). یکی از روش‌های ارزیابی پایداری ساختمان خاک، منحنی مشخصه رطوبتی پر انرژی[۱۰۹] (HEMC) می‌باشد که بر اساس منحنی مشخصه رطوبتی خاک در بخش پرانرژی (دامنه مرطوب) در دو حالت مرطوب‌شدن سریع و آهسته استوار است. در این روش حساسیت خاکدانه‌ها به پاشیدگی[۱۱۰] ناشی از هوای محبوس در منافذ خاک با استفاده از شاخص نسبت پایداری[۱۱۱] (SR) سنجیده می‌شود. دامنه تغییرات این شاخص بین صفر تا یک بوده و هر چه مقدار آن بزرگ‌تر باشد به معنای پایداری بیش‌تر ساختمان خاک است (لوی و ممدو، ۲۰۰۲).
گیاه فسکیوی بلند (Festuca arundinacea Shereb.) یک گراس دائمی و سرمادوست است که در طول دوره‌های تکامل خود، رابطه هم‌زیستی با قارچ‌های اندوفیت (Epichloë coenophaila) برقرار کرده است (مالینوسکی و بلسکی، ۲۰۰۰). حضور اندوفیت در اندام هوایی گیاه به دلیل ترشح آلکالوئیدها و ترکیبات فنولی بر میزان تجزیه‌پذیری بقایای گیاهی موثر است (اماسینی و همکاران، ۲۰۰۴). علاوه بر اثر حضور قارچ اندوفیت در اندام هوایی گیاه بر ویژگی‌های بیولوژیک خاک، اثر این قارچ بر افزایش ذخایر کربن آلی و نیتروژن خاک نیز به خوبی به اثبات رسیده است (فرنزلوئبرز و هیل، ۲۰۰۵). از آنجایی‌که کشور ایران تنوع وسیعی از گیاهان چمنی و قارچ‌های اندوفیت هم‌زیست با آن‌ها را داراست بنابراین زمینه مناسبی برای استفاده از این گیاهان و قارچ‌های هم‌زیست و هم‌چنین بقایای آن‌ها در طرح‌های احیا مراتع و حفاظت خاک وجود دارد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر بافت خاک، حضور اندوفیت در بقایای گیاهی و مقدار بقایای گیاه فستوکا بر پایداری ساختمان خاک انجام شد.

مواد و روش‌ها
چهار خاک سطحی با بافت‌های مختلف از زمین‌های کشاورزی شهر اصفهان انتخاب شد. پس از هوا-خشک‌شدن، نمونه‌های خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و ویژگی‌های ذاتی خاک تعیین شد. خاک‌های انتخاب‌شده از نوع آهکی با ماده آلی کم بودند. به جز بافت، ویژگی‌های اولیه خاک‌ها شباهت زیادی به یکدیگر داشته (جدول ۱) و بنابراین بررسی اثر نوع (بافت) خاک بر ویژگی‌های خاک پس از افزودن بقایای گیاهی امکان‌پذیر بود. گیاه مورد بررسی، فسکیوی بلند (F. arundinacea) بودکه پنجه‌های آن به

[۱۰۹] High energy moisture characteristic
[۱۱۰] Slaking
[۱۱۱] Stability ratio

طور طبیعی دارای قارچ اندوفیت (E. coenophaila) بودند. برای حذف قارچ اندوفیت، برخی از پنجه‌ها با مخلوط دو قارچ‌کش به نام‌های پروپیکونازول و تبوکونازول به ترتیب با مقادیر ۱ میلی‌لیتر در لیتر و ۲ گرم در لیتر تیمار شدند. بقایای گیاهی مورد استفاده در این پژوهش از اندام هوایی گیاه فسکیوی بلند دارای اندوفیت و بدون اندوفیت در بهار سال ۱۳۹۲ برداشت شد. بقایای برداشت‌شده به آزمایشگاه منتقل شده و در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و به دور از تابش مستقیم نور خورشید خشک شد. پس از خشک‌شدن، بقایای گیاهی آسیاب گردید و از الک ۱ میلی‌متری عبور داده شد. برخی از ویژگی‌های بقایا شامل کربن آلی، نیتروژن کل، نسبت کربن به نیتروژن، غلظت ترکیبات فنلی محلول در آب اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی

شماره خاک	مکان	بافت	رس	سیلت	شن	کربنات کلسیم	کربن آلی	رسانایی الکتریکی	pH
			---------- گرم برکیلوگرم ----------					($dS\ m^{-1}$)	
۱	خمینی‌شهر	لوم	۱۶۱	۴۸۷	۳۵۲	۴۸۲	۵۱/۵	۷/۲	۱/۸
۲	نجف‌آباد	لوم	۲۶۳	۳۸۸	۳۴۹	۴۰۴	۸۶/۵	۲/۲	۸/۷
۳	اصفهان	لوم رسی سیلتی	۳۸۶	۵۰۹	۱۰۵	۴۵۵	۷۳/۶	۵/۲	۸/۷
۴	اصفهان	رس سیلتی	۴۲۶	۴۵۶	۱۱۸	۴۳۱	۱۵/۶	۴/۲	۸/۷
CV	–	–	۳۹	۱۱	۶۰	۷	۵۲/۸	۵/۸	۹/۱

جدول۲- برخی از ویژگی‌های شیمیایی بقایای گیاهی دارای اندوفیت (+E) و بدون اندوفیت (−E)

نوع بقایا	کربن آلی	نیتروژن کل	نسبت کربن به نیتروژن (C/N)	ترکیبات فنلی محلول در آب ($g\ g^{-1}DW$)
	--گرم بر کیلوگرم ماده خشک--			
+E	۲/۴۸۲	۵۸/۲	۸۹/۱۸۶	۹/۲۸۷۰
−E	۶/۴۶۳	۰۱/۳	۰۲/۱۵۴	۵/۲۴۵۰

نمونه‌های خاک در سیلندرهای استیل به ارتفاع ۴ سانتی‌متر و قطر ۵ سانتی‌متر تهیه شد. چگالی ظاهری مناسب برای متراکم‌کردن نمونه‌های خاک برابر ۸۵ درصد چگالی ظاهری مرجع (BDref) که به روش هکنسون (۱۹۹۰) تعیین شد، در نظر گرفته شد. نمونه‌های خاک هوا-خشک‌شده از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و بقایای گیاه فسکیوی بلند دارای اندوفیت و بدون اندوفیت در سه سطح صفر، یک و دو درصد بر اساس وزن خشک خاک به آن‌ها افزوده شد. سپس رطوبت نمونه‌های خاک به حد خمیری رسانده شد و در استوانه‌های فلزی به چگالی ظاهری مناسب رسانده شد. نمونه‌ها به مدت دو ماه در گرم‌خانه و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. در این مدت به منظور تأثیر بیش‌تر بقایای افزوده‌شده بر ساختمان خاک و هم‌چنین شبیه‌سازی بهتر شرایط طبیعی خاک، درطول مدت خوابانیدن، ۱۰ چرخه خشک و مرطوب‌شدن بر نمونه‌های خاک اعمال شد. پس از چرخه خشک و مرطوب‌شدن دهم میزان کربن آلی خاک با روش اکسیداسیون تر و تنفس میکربی پایه خاک اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها به روش HEMC، نمونه‌های خاک پس از اعمال چرخه‌های تر و خشک‌شدن از سیلندرها خارج شده و خاکدانه‌ها به آرامی با دست از یکدیگر جدا شدند. خاکدانه‌های با اندازه ۲۵/۰ تا ۱ میلی‌متر با الک جدا شده و ۵ گرم از آن‌ها در سیلندرهای پلاستیکی با قطر ۲۰ میلی‌متر و تا ارتفاع ۱۵ میلی‌متر قرار داده شدند. خاکدانه‌ها در دو سری (مرطوب‌شدن سریع و آهسته) تهیه شدند. برای مرطوب‌کردن سریع خاکدانه‌ها، نمونه‌ها در آب مقطر قرار گرفت به گونه‌ای که تا ارتفاع ۱۰ میلی‌متری از آن‌ها در آب غوطه‌ور شود و خاکدانه‌ها به مدت ۲۴ ساعت از پایین اشباع شدند (لوی و ممدو، ۲۰۰۲). برای مرطوب‌کردن آهسته، سیلندرهای آماده‌شده در دستگاه جعبه شن با مکش ۳۰ هکتوپاسکال قرار داده شد و با کاهش تدریجی مکش ماتریک نمونه‌ها اشباع شد (بیردن، ۲۰۰۱). پس از اشباع‌شدن، منحنی مشخصه رطوبتی دو سری نمونه‌ها در دامنه مکش ماتریک ۰ تا ۷۰ هکتوپاسکال تعیین شد.

مدل اصلاح‌شده ون‌گنوختن (پیرسون و مولا، ۱۹۸۹) با استفاده از ابزار Excel Solver بر داده‌های HEMC برازش داده شد:

$$\theta(h) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r)\left[1+(\alpha h)^n\right]^{\left(\frac{1}{n}-1\right)} + Ah^2 + Bh + C \qquad (1)$$

که در این معادله s و r به ترتیب رطوبت اشباع و باقی‌مانده ($g\ g^{-1}$)، h مکش ماتریک (hPa)، و n پارامترهای برازش و A، B و C پارامترهای افزوده‌شده برای برازش بهتر مدل بر دو انتهای داده‌های اندازه‌گیری‌شده است (پیرسون و مولا، ۱۹۸۹). پس از مدل‌سازی HEMC، شاخص پایداری خاک (SI, hPa^{-1}) در دو حالت مرطوب‌شدن سریع و آهسته با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$SI = \frac{VDP}{h_{modal}} \qquad (۲)$$

در این رابطه VDP حجم منافذ قابل زهکشی ($g\ g^{-1}$) و hmodal مکش ماتریک در نقطه عطف HEMC (hPa) است. برای محاسبه VDP، گنجایش ویژه رطوبتی خاک (C(h)) برابر شیب (مشتق اول) معادله (۱) محاسبه شد. مقدار VDP برابر با سطح محصور بین منحنی C(h) و خط انقباض 2Ah+B است که با انتگرال‌گیری به روش سیمپسون محاسبه شد. با محاسبه شاخص پایداری در دو حالت مرطوب‌شدن سریع و آهسته، نسبت پایداری ساختمان (SR) از رابطه زیر محاسبه شد:

$$SR = \frac{SI_{fast\ wetting}}{SI_{slow\ wetting}} \qquad (۳)$$

هم‌چنین از نسبت VDP (VDPR) به عنوان شاخص دیگری برای ارزیابی پایداری ساختمان خاک استفاده شد:

$$VDPR = \frac{VDP_{fast\ wetting}}{VDP_{slow\ wetting}} \qquad (۴)$$

با توجه به اینکه در این پژوهش برای سطح صفر بقایا (شاهد)، نوع بقایا متغیر نبود (کرت‌های غیرواقعی یا موهوم)، تجزیه واریانس با کمی تغییر انجام شد. به منظور بررسی اثر تیمارهای آزمایشی از آزمون فاکتوریل سه عاملی (بافت خاک در ۴ سطح، نوع بقایا در ۲ سطح و مقدار بقایا در ۳ سطح) در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار استفاده شد. برای مقایسه شاهدها و هم‌چنین مقایسه شاهد با سایر تیمارها از مقایسات گروهی استفاده شد. برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه ۱/۹) استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها به روش LSD و در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که افزودن بقایای گیاهی به خاک از هر نوع و در هر مقدار سبب ایجاد تغییرات معنی‌دار در کربن آلی و پایداری ساختمان خاک می‌گردد ($p<۰/۰۰۱$). به طور کلی افزودن بقایا سبب افزایش کربن آلی، تنفس میکربی پایه و پایداری خاکدانه‌ها گردید (جدول ۳). افزایش کربن آلی خاک با ایجاد پیوند بین ذرات و پوشش‌های آب‌گریز حاصل از تنفس میکربی سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شود. مقدار بقایا اثر معنی‌داری بر کربن آلی و تنفس میکربی خاک داشته است ($p<۰/۰۰۱$). با افزایش مقدار بقایا (از سطح ۱ به ۲ درصد)، میزان کربن آلی و تنفس میکربی خاک به طور معنی‌داری افزایش یافته است (جدول ۳). جعفری و همکاران (۱۳۹۱) نیز دریافتند که کاربرد بقایای گیاهی بر سرعت معدنی‌شدن کربن و نیتروژن اثر مثبت و معنی‌دار داشته و سبب افزایش معدنی‌شدن کربن تا ۲ برابر گردید. افزایش مقدار بقایا از ۱ به ۲ درصد هم‌چنین سبب افزایش معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) شاخص‌های پایداری ساختمان و در نتیجه بهبود کیفیت فیزیکی خاک گردیده است (جدول ۳). به عبارت دیگر افزایش بقایا از یک سو سبب افزایش کربن آلی و از سوی دیگر افزایش فعالیت‌های میکربی خاک شده است که می‌تواند افزایش ترشحات ناشی از فعالیت‌های میکربی مانند پلی‌ساکاریدهای برون‌سلولی را به همراه داشته باشد. این مواد به عنوان مواد سیمانی‌کننده سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شوند (دی‌گریز و همکاران، ۲۰۰۶).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر مقدار بقایا بر کربن آلی (SOC)، تنفس میکربی پایه (BSR)، نسبت پایداری (SR) ونسبت حجم منافذ قابل زهکشی (VDPR)

مقدار بقایا (درصد وزنی)	SOC (گرم بر کیلوگرم)	BSR (میلی‌گرم CO_2 بر کیلوگرم خاک)	SR	VDPR
شاهد	۲۴/۸ ± (۶۵/۰)	۲۸۱ ± (۲۰)	۲۸۸/۰ ± (۰۳۴/۰)	۳۵۶/۰ ± (۰۴۲/۰)
۱	[b](۵۱/۰) ± ۲۰/۱۰	[b](۱۳) ± ۳۵۰	[b](۰۳۰/۰) ± ۳۴۹/۰	[b](۰۳۱/۰) ± ۴۴۱/۰
۲	[a](۴۴/۰) ± ۳۴/۱۳	[a](۲۶) ± ۴۵۲	[a](۰۲۹/۰) ± ۴۲۳/۰	[a](۰۳۸/۰) ± ۵۱۹/۰

مقایسه میانگین بر اساس مقدار بقایا صورت گرفته و ردیف شاهد تنها جهت مقایسه ارائه شده است. در هر ستون اعداد دارای حروف مختلف تفاوت معنی‌دار دارند ($LSD, p<۰/۰۵$). اعداد داخل پرانتز مقادیر خطای معیار می‌باشند.

بافت خاک نیز دارای اثر معنی‌دار بر مقدار کربن آلی و تنفس میکربی خاک بوده اما بر پایداری خاکدانه‌ها اثر معنی‌داری نداشته است ($p<۰/۰۰۱$). مقدار کربن آلی و تنفس میکربی در خاک‌های ریزبافت به ترتیب بیش‌تر و کم‌تر از خاک‌های درشت‌بافت است

(شکل ۱). هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین تنفس میکربی خاک به ترتیب در خاک‌های شماره ۱ و ۴ دیده شد (شکل ۱). به نظر می‌رسد که افزایش مقدار رس با محدودیت تهویه سبب کاهش فعالیت‌های میکربی و در نتیجه انباشت مواد آلی در خاک شده است. جین‌دالوانگ و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش نمودند که با در نظر گرفتن ورودی یکسان مواد آلی، خاک‌های ریزبافت به دلیل حفاظت فیزیکی از مواد آلی دارای کربن آلی بیش‌تری نسبت به خاک‌های درشت‌بافت می‌باشند.

شکل ۱- مقایسه میانگین اثر بافت خاک بر (الف) کربن آلی (SOC) و (ب) تنفس میکربی پایه (BSR). ستون‌های دارای حروف مختلف تفاوت معنی‌دار دارند (LSD, p <۰۵/۰).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نوع بقایا بر کربن آلی، تنفس میکربی پایه و شاخص‌های پایداری ساختمان خاك اثر معنی‌دار داشت (p<۰۰۱/۰). حضور اندوفیت در بقایای فسکیوی بلند در مقایسه با شرایط بدون اندوفیت سبب افزایش کربن آلی، کاهش تنفس میکربی و افزایش مقادیر SR و VDPR شده است (جدول ۴). غلظت ترکیبات فنلی در بقایای فسکیوی بلند دارای اندوفیت بیش‌تر از بقایای بدون اندوفیت است (جدول ۲). بنابراین می‌توان گفت حضور قارچ‌های اندوفیت و تولید متابولیت‌های ثانویه مانند آلکالوئیدهای مختلف و ترکیبات فنلی در گیاه سبب کاهش تجزیه میکربی بقایای گیاهی و انباشت کربن آلی در خاک شده است (فرنزلوئبرز و هیل، ۲۰۰۵). نتایج اُماسینی و همکاران (۲۰۰۴) نیز نشان داد که سرعت تجزیه بقایای شاخ‌ساره رای‌گراس ایتالیایی (Lolium multiflorum Lam.) دارای اندوفیت به دلیل حضور آلکالوئیدها و آثار سمّی آن‌ها بر جمعیت‌های میکربی تجزیه‌کننده خاک در مقایسه با گیاهان بدون اندوفیت آهسته‌تر است. به نظر می‌رسد که افزایش بیش‌تر کربن آلی خاک در نمونه‌های دارای بقایای با اندوفیت سبب پایداری بیش‌تر خاکدانه‌های خاک شده باشد (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر نوع بقایا (دارای اندوفیت (E+) و بدون اندوفیت (E−)) بر (الف): کربن آلی (SOC)، (ب): تنفس میکربی (BSR) (ج) نسبت پایداری (SR) و (د) نسبت حجم منافذ قابل زهکشی (VDPR).

وضعیت اندوفیت	SOC (گرم بر کیلوگرم)	BSR (میلی‌گرم CO_2 بر کیلوگرم خاک)	SR	VDPR
+E	[a] ۱۳/۱۲	[b] ۸/۳۷۰	[a] ۴۳/۰	[a] ۵۴/۰
−E	[b] ۴۱/۱۱	[a] ۲/۴۳۱	[b] ۳۴/۰	[b] ۴۲/۰

در هر ستون اعداد دارای حروف مختلف تفاوت معنی‌دار دارند (LSD, p <۰۵/۰)

اثرات متقابل بافت خاک و مقدار بقایا و هم‌چنین بافت خاک و نوع بقایا بر کربن آلی و تنفس میکربی پایه خاک معنی‌دار است (p<۰۰۱/۰). در خاک درشت‌بافت شماره ۱، افزایش مقدار بقایا از ۱ به ۲ درصد سبب کاهش معنی‌دار کربن آلی خاک شده ولی در خاک‌های متوسط تا ریزبافت با افزایش مقدار بقایای افزوده‌شده، کربن آلی خاک نیز به صورت معنی‌داری افزایش یافته است (جدول ۵). از سوی دیگر، بررسی برهم‌کنش بافت خاک و مقدار بقایا بر تنفس میکربی خاک نشان می‌دهد که در خاک شماره ۱، با افزایش مقدار بقایا، تنفس میکربی پایه خاک حدود ۴۲ درصد افزایش یافت در صورتی که در خاک‌های متوسط تا ریزبافت شدت افزایش تنفس میکربی کم‌تر از خاک شماره ۱ بود به طوری که در خاک ریزبافت شماره ۴، میزان افزایش تنفس میکربی تنها ۱۰ درصد است (جدول ۵). بنابراین می‌توان گفت که در خاک شماره ۱ با رس کم‌تر، تهویه مناسب‌تر، افزایش مقدار سوبسترا با نسبت کربن به نیتروژن زیاد (جدول ۲) سبب افزایش ناگهانی فعالیت میکربی و اکسیداسیون بیش‌تر کربن آلی خاک و در نتیجه کاهش معنی‌دار آن با افزایش مقدار بقایا شده است. در حالی که در خاک‌های متوسط تا ریزبافت با مقدار رس بیش‌تر، محدودیت تهویه و حفاظت فیزیکی بیش‌تر از ماده آلی سبب شده است که با افزایش مقدار بقایا، میزان کربن آلی خاک نیز افزایش یابد.

جدول ۵- مقایسه میانگین برهم‌کنش بافت خاک و مقدار بقایا بر کربن آلی و تنفس میکربی پایه خاک.

شماره خاک	مقدار بقایا (درصد وزنی)	کربن آلی (گرم بر کیلوگرم)	تنفس میکربی (میلی‌گرم CO_2 بر کیلوگرم خاک)
۱	۱	[d](۱۱/۰) ± ۱۱/۱۱	[c](۳۱) ± ۳۸۲
	۲	[c](۷۶/۰) ± ۷۴/۱۰	[a](۲) ± ۵۴۲
۲	۱	[f](۴۰/۰) ± ۶۸/۸	[d](۱۲) ± ۳۹۵
	۲	[b](۳۳/۰) ± ۷۱/۱۳	[b](۱۷) ± ۴۹۰
۳	۱	[g](۹۹/۰) ± ۸۰/۷	[g](۱۰) ± ۳۲۰
	۲	[c](۱۵/۰) ± ۰۳/۱۳	[c](۷) ± ۴۸۳
۴	۱	[c](۱۲/۰) ± ۲۰/۱۳	[h](۲۹) ± ۳۰۵
	۲	[a](۳۸/۰) ± ۸۹/۱۵	[f](۸۸) ± ۳۳۷

در هر ستون اعداد دارای حروف مختلف تفاوت معنی‌دارند (LSD, p <۰۵/۰). اعداد داخل پرانتز مقادیر خطای معیار می‌باشند.

نتایج این پژوهش نشان داد که بقایای گیاه فسکیوی بلند به ویژه در حضور اندوفیت با افزایش ذخیره کربن آلی و افزایش پایداری ساختمان، سبب بهبود کیفیت فیزیکی و ساختمان خاک گردیده‌اند و بنابراین کاربرد آن در طرح‌های حفاظت خاک در زمین‌های مرتعی و کشاورزی و احیای مراتع به دستگاه‌های اجرایی حفاظت از منابع طبیعی پیشنهاد می‌گردد.

منابع

جعفری، س. و رئیسی، ف. ۱۳۹۱. معدنی‌شدن کربن و نیتروژن در یک خاک آهکی پس از افزودن بقایای گیاهی و گوگرد، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، شماره ۴۳، صفحه‌های ۷۵-۸۶.

Bearden B.N. ۲۰۰۱. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on soil structure and soil water characteristics of Vertisols. Plant and Soil, ۲۲۹: ۲۴۵ ۲۵۸.

De Gryze S., Jassogne L., Six J., Bossuyt H., Wevers M. and Merckx R. ۲۰۰۶. Pore structure changes during decomposition of fresh residue: X-ray tomography analyses. Geoderma. ۱۳۴: ۸۲–۹۶.

Franzluebbers A. J. and Hill N. S. ۲۰۰۵. Soil carbon, nitrogen, and ergot alkaloids with short-and long-term exposure to endophyte-infected and endophyte-free tall fescue. Soil Science Society of America Journal, ۶۹: ۴۰۴-۴۱۲.

Jindaluang W., Kheoruenromne I., Suddhiprakarn A., Singh B. P. and Singh B. ۲۰۱۳. Influence of soil texture and mineralogy on organic matter content and composition in physically separated fractions soils of Thailand. Geoderma. ۱۹۵: ۲۰۷-۲۱۹.

Levy G.J. and Mamedov A.I. ۲۰۰۲.High-energy-moisture-characteristic aggregate stability as a predictor for seal formation. Soil Science Society of America Journal, ۶۶: ۱۶۰۳ ۱۶۰۹.

Malinowski D. P. and Belesky D. P. ۲۰۰۰. Adaptations of endophyte-infected cool-season grasses to environmental stresses: mechanisms of drought and mineral stress tolerance. Crop Science, ۴۰: ۹۲۳-۹۴۰.

Omacini M. J., Chaneton E. M., Ghersa C. and Otero P. ۲۰۰۴. Do foliar endophytes affect grass litter decomposition? A microcosm approach using Lolium multiflorum. Oikos, ۱۰۴: ۵۸۱–۵۹۰.

Piccolo A. and Mbagwu J. S. ۱۹۹۹. Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. Soil Science Society of America Journal, ۶۳: ۱۸۰۱-۱۸۱۰.

Pierson F.B. and Mulla D.J. ۱۹۸۹. An improved method for measuring aggregate stability of a weakly aggregated loessial soil. Soil Science Society of America Journal, ۵۳: ۱۸۲۵ ۱۸۳۱.

Abstract

In this study, the effect of endophyte-infected (E+) and endophyte-free (E−) tall fescue residues (۰, ۱ and ۲%) on soil organic carbon, basal microbial respiration and aggregate stability indices [determined by high energy moisture characteristic (HEMC) method] was investigated in four texturally-different soils in the laboratory. E+ and E− tall fescue residues were completely mixed with moist soil samples and then were incubated at ۲۵ ℃. During a ۲ months incubation period, the amended soil samples were subjected to ۱۰ wetting and drying cycles and then, the above-mentioned soil properties were measured. The results indicated that soil organic carbon was greater and soil respiration was lower in fine-textured soils. Furthermore, an increase in the application rate of plant residues led to enhancement of soil organic carbon, soil respiration and structural stability. E+ residues significantly increased soil organic carbon and aggregate stability indices. It is concluded that tall fescue residues (especially those for E+ ones) can improve soil physical quality due to increased soil organic carbon storage and aggregate stability indices.