

吉林西部草地生态系统不同退化演替阶段表层土壤有机碳变化

韩维峥, 汤洁, 李昭阳, 李娜, 刘森

吉林大学环境与资源学院, 长春 130012

摘要 草地退化是吉林西部主要的生态环境问题之一, 改变了草地生态系统碳收支平衡。以吉林西部不同退化演替阶段的草地为研究对象, 以大安市姜家甸草场为典型区, 经过野外样地调查, 选取 40 个样地, 采集 160 份土壤样品, 进行室内实验分析。土壤理化性质测定及群落植被调查结果表明, 随着各群落逆行演替的进行, 土壤含水率逐渐降低、土壤的透水性变差、土壤逐步贫瘠化、盖度变小, 植被生物量及生物多样性先升高再降低; 不同退化演替阶段期间, 从羊草群落 (*Leymus chinense*) 到碱蓬群落 (*Suaeda glauca*) 直至退化为盐碱地, 40cm 土壤有机碳密度从羊草群落的 47.72t/hm² 升高到羊草-虎尾草群落的 48.46t/hm², 再减少至盐碱地的 27.44t/hm², 与羊草群落相比减少约 42%; 草地退化所形成的逆行演替对 0-40cm 土层土壤有机碳密度分别降低了 8.45, 5.72, 3.68 和 1.74t/hm²。草地适度退化能增加草地碳储量, 而过度退化则会加速草地碳库的损失。

关键词 吉林西部; 退化; 草地生态系统; 演替; 土壤有机碳

中图分类号 X171.1

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.13.005

Changes of Surface Soil Organic Carbon in Different Degradation Succession Stages of Grassland Ecosystem in the Western Part of Jilin Province

HAN Weizheng, TANG Jie, LI Zhaoyang, LI Na, LIU Sen

College of Environment and Resource, Jilin University, Changchun 130012, China

Abstract Grassland degradation is one of the major ecological problems in the western part of Jilin Province; grassland degradation changes the carbon balance of grassland ecosystem. By taking different succession stages of grassland degradation in the western part of Jilin Province as the research object, 40 sample plots were selected, and 160 soil samples were collected for further experimental analysis via wild plots investigation in Jiangjiadian of Da'an City. The following results are achieved through determining soil characteristic and investigating vegetation community. As converse succession is on the way, the water ratio of soil and coverage is decreasing, soil permeability is worse while vegetation biomass and biology diversity first go up and then fall. In different stage of degradation succession, organic carbon density in 40cm soil is increased from 47.72 t/hm² in *Leymus chinense* to 48.46 t/hm² in *Carex diuiscula*, and then the density is cutting down to 27.44 t/hm² in salt flat. Converse succession caused by grassland degradation made the organic carbon density in surface soil (0-40cm) decrease 8.45, 5.72, 3.68, and 1.74t/hm², respectively. The conclusions are listed as follows: Grassland degradation causes the large influence of organic carbon on surface soil, meanwhile has little influence on deep soil. It is not a simple carbon exposed process. Certain grassland degradation might increase the carbon reserves caused by artificial or natural impacts, while excessive degradation could accelerate the loss of grassland carbon store.

Keywords Western Jilin Province; degradation; grassland ecosystem; succession; soil organic carbon

收稿日期: 2010-10-23; 修回日期: 2011-04-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(40871088); 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20090061110057)

作者简介: 韩维峥, 博士研究生, 研究方向为退化草地修复及陆地生态系统碳循环, 电子信箱: blackhwz@163.com; 汤洁 (通信作者, 中国科协所属全国学会个人会员登记号: S110003248M), 教授, 研究方向为 LUCC 及陆地生态系统碳循环, 电子信箱: tangjie0724@163.com

0 引言

草地生态系统在全球碳循环中作用重大。据统计,中国草地生态系统碳储量为 44.09Pg (1Pg=10¹⁵g), 储存在土壤中的碳为 41.03Pg, 约占整个生态系统碳储量的 90%^[1]。许多研究表明,草地生态系统土壤碳储量受到土地利用方式和草地生态系统管理的显著影响^[2-9],放牧是对吉林西部草地生态系统影响最为广泛的土地利用方式。自 20 世纪 60 年代以来,广泛分布于吉林西部的草地生态系统在自然扰动与人为因素的干扰下,呈现出明显的退化趋势^[6],从生态学角度而言,草地退化是草地生态系统背离顶级的逆向演替过程^[7]。吉林西部草地生态系统在退化过程中,植物群落具有“羊草群落→羊草-虎尾草群落→羊草-碱茅群落→碱蓬群落”的退化演替规律直至退化为盐碱地^[8]。

国内外有关草地生态系统退化过程中土壤有机碳含量变化的研究很多,但因草地类型以及研究方法的不同,对草地土壤有机碳含量变化的影响尚不能达到一致结论^[9-11]。由于自然土壤有机碳高背景值和土壤类型多样性等因素,土壤碳的微小变化对外界的反应总是难以被观测到^[12-16]。为了降低多种因素的影响,本文采用空间序列代替时间序列的方法,以大安市姜家甸草场同种土壤上的各群落为研究对象,通过监测各群落及盐碱地土壤有机碳储量,旨在为进一步准确计算草地生态系统碳收支情况和草地长时间尺度的变化对陆地生态系统碳循环的影响研究提供数据资料和科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区域概况

吉林西部草原区,位于松嫩平原的西南部,是欧亚大陆草原带在东部的延伸部分,位于东经 121°38′—126°11′,北纬 43°22′—46°18′。该区属半干旱半湿润的大陆性季风气候区,四季变化明显,春季干旱多风少雨,夏季炎热多雨,秋季凉爽,冬季漫长寒冷。光热资源丰富,区内年日照 2800—3000h,年平均气温 4.3℃,无霜期 130—150d,多年平均降雨量为 450mm,且呈现出平原的东部向西部递减的趋势。降雨主要集中在 7—8 月,占全年降雨量的 80%。多年平均蒸发量为 1800mm,为降水量的 4 倍。草地主要有平原草甸草原类、平原草甸类和丘陵干草原类 3 个类型,草地土壤主要为盐碱化黑钙土、盐碱化淡黑钙土、盐碱化草甸土、盐土、碱土以及盐碱化沼泽土。

吉林省大安市的姜家甸草场是中国仅有的三大天然羊草草原之一,面积 8.8 万 hm²,草地类型主要有平原草甸草原类、平原草甸类和丘陵干草原类 3 个类型,草地土壤主要为盐碱化黑钙土、盐碱化淡黑钙土、盐碱化草甸土、盐土、碱土以及盐碱化沼泽土^[17]。该草场分布的顶级群落为羊草群落,在人为及自然因素的影响下,逐渐退化演替为其他群落,吉林西部的主要草地群落类型在此均有分布。

1.2 样地设置及样品采集

本次样地设置及样品采集参考第二次全国土壤普查数

据资料,土壤剖面采样按照土壤发生学层次采样,采样深度在 100—140cm 不等,土壤分层厚度在 5—90cm 不等,由于土壤有机碳 (Soil Organic Carbon, SOC) 多分布于土壤剖面的 40cm 以内,且随着时间的推移,表层土壤 SOC 变化最显著,而 40cm 以下土壤 SOC 的垂向变化幅度相对较小,因此,本研究选择 40cm 为鉴定深度,分析 SOC 含量随深度变化,并按 0—10cm、10—20cm、20—30cm 和 30—40cm 4 个层次进行分析,每层土壤 SOC 含量为该层土壤均匀混合后的测定值。

2009 年 8 月下旬在吉林省大安市姜家店草场内,选取逆向演替过程的羊草群落、羊草-虎尾草群落、碱茅群落、碱蓬群落及盐碱地进行样品采集,选取 100m×100m 各群落典型样地。在进行植被调查的基础上,在每个样地内挖 40cm 深剖面 8 个,取 0—10cm、10—20cm、20—30cm 及 30—40cm 层土样,并用环刀取相应土层的样品,共采集各剖面土壤样品 160 份,带回实验室进行土壤理化性质的测定。

1.3 室内测定及数据处理

在实验室进行土壤样品有机碳含量测定,同时测定样品的含水量、土壤容重、全氮等理化性质。土壤含水量用烘干法,土壤容重用环刀法测定,土壤有机质用重铬酸钾容量法,土壤全氮用半微量开氏法测定^[18]。实验中得到各层的土壤容重和不同深度土壤有机质含量。

运用 Microsoft Office Excel 对 160 份土壤剖面数据进行土壤理化性质的统计,由于 SOC 含量在有机质中的大致范围为 55%—65%,0.58 是土壤有机质中碳含量的平均值,是将有机质含量转为有机碳含量的 Bemmelen 系数,国际上采用 0.58 作为碳含量转换系数^[19]。因此,本研究采用系数 0.58 计算演替中各土层土壤有机碳含量。

群落生物多样性指数采用香农-威纳指数 (Shannon-Weiner index)^[20],公式为

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \quad (1)$$

其中, S 为物种数目, P_i 为属于种 i 的个体在全部个体中的比例, H 为物种的多样性指数。

土壤有机碳密度 (SOCD) 的计算公式为^[18]

$$M_{\text{SOCD}} = \sum_{i=1}^n 0.58 \times T_i \times \rho_i \times f_{\text{OM}_i} \times (1 - C_i) \quad (2)$$

其中, M_{SOCD} 为土壤有机碳密度 (t/hm²), n 为剖面土层数, T_i 、 ρ_i 、 f_{OM_i} 和 C_i 分别代表厚度 (m)、容重 (g·cm⁻³)、有机质含量 (%) 和第 i 层 >2mm 砾石的体积百分比。

2 结果与讨论

2.1 不同退化演替阶段生态特征变化

羊草群落是吉林西部草地各群落中的顶级群落,随着退化演替的进行,改变了羊草在群落中的优势地位,群落的种类组成发生变化。土壤开始盐渍化,不耐盐碱的植物消退,耐盐碱的虎尾草、碱茅、碱蓬等迅速增加,形成单优势的盐生植物群落。不同群落生态特征统计结果见表 1。

表 1 不同演替阶段的生态特征 ($n=30$)

Table 1 Ecological characteristics for different grassland succession stages ($n=30$)

项目	羊草群落	羊草-虎尾草群落	羊草-碱茅群落	碱蓬群落	盐碱地
植被生物量/(g·m ⁻²)	100.26±2.14	114.18±2.38	96.27±1.01	73.1±2.81	56.48±0.05
多样性指数	1.68±0.41	1.79±0.26	0.84±0.13	0.67±0.14	0.14±0.09
总盖度/%	65—80	60—70	40—55	30—45	0—20

如表 1 所示,随着退化演替的进行,多样性指数和植被生物量先升后降,主要原因是在演替的过程中,伴随着羊草等优势种的减少,群落内出现了大量的增加者和入侵者等,最终演化成盐生植物的单优势种群落,多样性指数和植被生物量因此而变化。草地的不断退化,至盐碱地时,地表仅有少量的盐生植物,总盖度降至不足 20%。

2.2 不同退化演替阶段土壤理化特征

土壤有机质是土壤特性的重要指标之一,是形成土壤结构的重要因素,直接影响着土壤持水能力、土壤抗侵蚀能力和土壤容重等,有机质、氮素等也是土壤的主要养分,其变化状况对土壤肥力产生一定的影响,不同演替阶段的土壤理化特征见表 2。

表 2 不同演替阶段的土壤特征 ($n=40$)Table 2 Soil characteristics for different grassland succession stages ($n=40$)

项目	羊草群落	羊草-虎尾草群落	羊草-碱茅群落	碱蓬群落	盐碱地
含水率/%	26.23±0.41	25.39±0.68	23.32±0.70	23.07±0.32	20.58±0.35
容重	18.46±0.01	21.38±0.46	22.54±0.66	28.21±1.42	33.39±0.47
有机质/%	1.33±0.02	1.54±0.08	1.09±0.02	0.87±0.05	0.54±0.27
pH 值	9.24±0.31	8.26±0.31	9.36±0.12	10.42±0.21	10.86±0.01
全 N	0.186±0.018	0.124±0.073	0.082±0.011	0.063±0.015	0.042±0.083

本次研究采用空间序列代替时间序列,由表2可以看出,同种土壤分布的各植被群落下的土壤理化特征差异较大。土壤含水率及全N指数逐渐降低,同时,土壤的pH值和土壤容重逐步升高,土壤有机质呈现先升高再降低趋势。这种趋势形成的主要原因是由于研究区气候干旱,土壤水分大量蒸发,土壤含水率下降,孔隙度下降,引起土壤容重的增大,而蒸腾力带动深层土壤盐分向表层土壤迁移,造成土壤pH值增大,全N指数降低,导致土壤逐渐盐碱化。

2.3 不同退化演替阶段土壤有机碳含量的变化

土壤有机碳储量高低,决定于土壤有机碳的输入、输出过程和土壤性质。同时由于放牧强度的不同及自然因素的影响,不仅使得植物群落结构、功能发生了变化,而且土壤的肥力水平显著下降(见表2),土壤有机碳含量发生改变。对剖面的土壤数据进行统计,得到不同演替阶段0—40cm土层土壤有机碳密度的分布状况,见图1。

从图 1 可以看出,从羊草群落到盐碱地,0—40cm 各土层的土壤有机碳含量呈先升高再降低的趋势,40cm 土壤有机碳密度从羊草群落的 $47.72\text{t}/\text{hm}^2$ 升高到羊草-虎尾草群落的 $48.46\text{t}/\text{hm}^2$,再减少到盐碱地的 $27.44\text{t}/\text{hm}^2$,与羊草群落相比较,减少约 42%。草地退化过程中,土壤有机碳密度先升高再降低,说明草地适度退化能增加草地碳储量,这是因为一定程度的放牧加速了地表凋落物的物理分解,提高了地表凋落

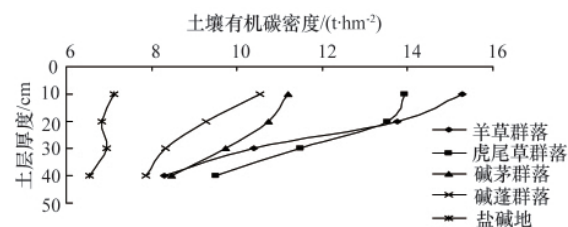


图 1 不同演替阶段 0—40cm 土层土壤有机碳密度

Fig 1 Organic carbon density of 0—40cm soil layer in different grassland succession stages

物的分解速率,促进了碳素由地上部分向土壤的转移,因此羊草-虎尾草群落相对于其他群落土壤有机碳含量略高;而过度退化则会加速草地碳库的释放,草地退化过程中 0—40cm 的土壤有机碳密度变化显著,外界影响对表层土壤的有机碳含量产生较大扰动,对深层土壤的影响相对比较小。

3 结论

通过实地勘查及实验室研究, 获得了准确可靠的数据, 并对这些数据进行了充分有效的分析处理, 得到以下结论。

(1) 通过对样品的测试,逆行演替中各群落土壤含水率逐渐降低。随着植被的退化演替,全 N、指数降低,土壤养分随着演替而流失,土壤也逐步贫瘠化。

(2) 随着各群落逆行演替的进行,出现了大量的增加者及侵入者,从羊草单优势种的羊草群落演变为盐生植物单优势种,多样性指数及植被生物量先升后降。至盐碱地时,地表仅有少量的盐生植物,总盖度降至不 0—20%。

(3) 从羊草群落到盐碱地,土壤有机碳密度呈稍微升高再逐渐降低趋势,40cm 土壤有机碳密度从羊草群落的 47.72 t/hm² 升高到羊草-虎尾草群落的 48.46t/hm²,再减少到盐碱地的 27.44t/hm²,与羊草群落相比,减少约 42%。羊草-虎尾草群落的土壤有机碳密度较其他群落高。

参考文献 (References)

- [1] 肖胜生,董云社,齐玉春,等.草地生态系统土壤有机碳库对人为干扰和全球变化的响应研究进展 [J]. 地球科学进展, 2009, 24 (10): 1138-1148.
Xiao Shengsheng, Dong Yunshe, Qi Yuchun, et al. *Advance in Earth Science*, 2009, 24(10): 1138-1148.
- [2] Lugo A E, Brown S. Management of tropical soils as sinks or sources of atmospheric carbon[J]. *Plant and Soil*, 1993, 149(1): 27-41.
- [3] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land-use change: Processes and potential[J]. *Global Change Biology*, 2000, 6(3): 317-327.
- [4] Jones M. B, Donnelly A. Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO₂ [J]. *New Phytologist*, 2004, 164(3): 423-439.
- [5] Billings S A. Soil organic matter dynamics and land use change at a grassland/forest ecotone [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38 (9): 2934-2943.
- [6] 汤洁,李昭阳,林年丰,等.松嫩平原西部草地的时空变化特征 [J]. 资源与科学, 2006, 28(1): 63-69.
Tang Jie, Li Zhaoyang, Lin Nianfeng, et al. *Resource and Science*, 2006, 28(1): 63-69.
- [7] 王俊明,张兴昌.退耕草地演替过程中的碳储量变化 [J]. 草业学报, 2009, 18(1): 1-8.
Wang Junming, Zhang Xingchang. *Acta Prataculturae Sinica*, 2009, 18 (1): 1-8.
- [8] 曲国辉,郭继勋.松嫩平原不同演替阶段植物群落和土壤特性的关系 [J]. 草业学报, 2003, 12(1): 18-22.
Qu Guohui, Guo Jixun. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, 12(1): 18-22.

- [9] Liao J D, Boutton T W, Jastrow J D. Storage and dynamics of carbon and nitrogen in soil physical fractions following woody plant invasion of grassland[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38(11): 3184-3196.
- [10] Derner J D, Boutton T W, Briske D D. Grazing and ecosystem carbon storage in the North American Great Plains [J]. *Plant and Soil*, 2006, 280(1-2): 77-90.
- [11] Zhao Y, Peth S, Krummelbein J, et al. Spatial variability of soil properties affected by grazing intensity in Inner Mongolia grassland [J]. *Ecological Modelling*, 2007, 205(1-2): 241-254.
- [12] Schuman G E, Herrick J E, Janzen H H. The dynamics of soil carbon in rangelands [C]//Follet R F, Kimble J M, Lal R, ed. *The Potential of US Grazing Lands to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 2001.
- [13] Raiesi F, Asadi E. Soil microbial activity and litter turnover in native grazed and ungrazed rangelands in a semiarid ecosystem[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2006, 43(1): 76-82.
- [14] Holt J A. Grazing pressure and soil carbon, microbial biomass and enzyme activities in semi-arid northeastern Australia [J]. *Applied Soil Ecology*, 1997, 5(2): 143-149.
- [15] Reeder J D, Schuman G E, Morgan J A, et al. Response of organic and inorganic carbon and nitrogen to long-term grazing of the short grass steppe[J]. *Environmental Management*, 2004, 33(4): 485-495.
- [16] Xie Z B, Zhu J G, Liu G, et al. Soil organic carbon stocks in China and changes from 1980s to 2000s [J]. *Global Change Biology*, 2007, 13(9): 1989-2007.
- [17] 赵明清,孙景林.吉林省姜家甸草地植被退化现状与恢复途径[J]. 草业学报, 2004, 21(12): 46-48.
Zhao Mingqing, Sun Jinglin. *Pratacultural Science*, 2004, 21(12): 46-48.
- [18] 赵锦梅.祁连山东段不同退化程度高寒草地土壤有机碳储量的研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2006.
Zhao Jinmei. Study on the soil organic carbon stock of alpine grassland under different degraded degrees in Eastern Qilian Mountains [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2006.
- [19] Post W M, Pastor J, Zinke P J, et al. Global patterns of soil nitrogen storage [J]. *Nature*, 1985, 317: 613-616.
- [20] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001.
Song Yongchang. *Vegetation ecology* [M]. Shanghai: East China Normal University Press, 2001.

(责任编辑 代丽)

2011中国力学学会学术大会

时间:2011年8月
地点:哈尔滨

主办:中国力学学会
哈尔滨工业大学

联系方式:北京北四环西路15号中国力学学会办公室(100190)
电 话:010-82543903
电子信箱:liuyang@cstam.org.cn
会议网址:www.cstam.org.cn