

# 吉林西部草地生态系统不同退化演替阶段 土壤有机碳变化研究

汤洁<sup>1</sup>, 韩维峰<sup>1</sup>, 李娜<sup>1</sup>, 徐小明<sup>1</sup>, 李云飞<sup>1,2</sup>

1. 吉林大学环境与资源学院, 吉林 长春 130012; 2. 吉林省环境保护厅, 吉林 长春 130020

**摘要:** 草地盐碱化是吉林西部典型的生态环境问题。针对吉林西部具有“羊草群落 (*Leymus chinense*) → 羊草-虎尾草群落 (*Carex chiuuscula*) → 羊草-碱茅群落 (*Puccinellia distans*) → 碱蓬群落 (*Suaeda glauca*)”直至退化为盐碱地的逆向演替规律, 本文选取大安市姜家甸草场为典型区进行野外样地调查, 收集不同演替阶段植物样品 30 份, 土壤剖面样品 100 份, 表土样品 40 份, 监测群落生态特征、土壤理化性质, 计算土壤有机碳储量。分析结果表明: 随着退化演替的进行, 羊草-虎尾草群落的多样性指数、植被生物量、土壤有机质最高, 土壤含水率及全 N 指数逐渐降低, 土壤的 pH 值及土壤容重升高, 土壤有机碳含量在 0~100 cm 各土层呈现出先升高再降低的趋势, 其中 0~40 cm 内变化显著, 50~100 cm 内相差不大, 1 m 土壤有机碳密度从羊草群落的 75.37 t·hm<sup>-2</sup> 升高到羊草-虎尾草群落的 76.11 t·hm<sup>-2</sup>, 至盐碱地减少到 52.21 t·hm<sup>-2</sup>, 约减少 30%。研究结果对吉林省合理放牧、草地固碳量的增加和土壤碳储量的提高都有指导意义。

**关键词:** 吉林西部; 退化; 草地生态系统; 演替; 土壤有机碳 (SOC)

**中图分类号:** X171.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5906 (2010) 05-1182-04

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 44.09 Pg, 储存在土壤中的碳为 41.03 Pg, 约占整个生态系统碳储量的 90%<sup>[1]</sup>。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<sup>[2-5]</sup>, 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<sup>[6]</sup>, 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<sup>[7]</sup>。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 (*Puccinellia distans*) → 碱蓬群落”的退化演替规律直至退化为盐碱地<sup>[8]</sup>。

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还不能达到一致结论<sup>[9-11]</sup>。由于自然土壤有机碳高背景值和土壤类型的多样性等因素, 土壤碳的微小变化对外界的反应总是难以被观测到<sup>[12-16]</sup>, 为了降低多种因素的影响, 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, 分析草地退化对土壤碳储量的影响, 为区域草地生态系统碳循环研究提供数据

资料和科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

吉林西部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, 地理坐标为东经 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, 光热资源丰富, 区内日照 2 800~3 000 h。年平均气温 4~5 °C, 无霜期 130~150 d, 多年平均降雨量为 400~500 mm, 且呈现出平原的东部向西部递减的趋势。降雨主要集中于 7—8 月, 占全年降雨量的 80%。多年平均蒸发量为 1 500~1 900 mm, 为降水量的 3.5~4.75 倍<sup>[6]</sup>。该区自古以来是一个土地肥沃、水草丰盛、“风吹草低现牛羊”的大草原。伴随着人口增加和经济发展, 该区大部分草地开垦为耕地或者过度放牧, 在干旱气候及独特地质的叠加下, 草地逐渐退化, 并最终演变成盐碱地。

吉林省大安市的姜家甸草场是我国仅有的 3 大天然羊草草原之一, 面积 8.8 万 hm<sup>2</sup>, 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<sup>[17]</sup>。在此分布的顶级群落为羊草群落, 在人为及自然因素的影响下, 逐渐退化演替为其它群落, 吉林西部的主要草地群落类型均有分布。

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

**作者简介:** 汤洁 (1957 年生), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事 LUCC 及陆地生态碳循环研究。E-mail: tangjie0724@163.com

**收稿日期:** 2010-03-24

1.2 样地设置及样品采集

吉林省大安市的姜家甸草场是我国仅有的3大天然羊草草原之一, 面积8.8万hm<sup>2</sup>, 在吉林西部具有代表性。吉林西部的所有草地群落类型在该处均有分布, 是西部草地覆盖、草地转化和草地退化的缩影, 故本文将姜家店草场作为研究区。于2009年8月下旬在姜家店草场内, 分别采集了羊草群落、虎尾草群落、碱茅群落、碱蓬群落及盐碱地的植物和土壤样品。首先, 选取100m×100m各群落典型样地, 按对角线法在各样地内设置6个50cm×50cm的观测样方进行植物群落调查, 然后, 齐地面分类剪草, 收集样品30份, 带回实验室烘干称重, 获取地面生物量。在进行植被调查的基础上, 在每个样地内挖2个1m深的剖面, 分为0~10cm、10~20cm、20~30cm、30~40cm、40~50cm、50~60cm、60~70cm、70~80cm、80~90cm及90~100cm若干层, 用环刀法按层采集土壤样品, 共采集各剖面土壤样品100份。同时在各样地中按梅花形方法选定1m×1m样方8个, 在每个样方内分别取0~40cm表土样品1个, 共计40份, 带回实验室进行土壤理化性质的测定。

1.3 室内测定

土壤含水量采用烘干法测定, 土壤容重用环刀法测定, 土壤有机质采用重铬酸钾—硫酸外加热法测定, 土壤全氮用半微量开氏法测定<sup>[18]</sup>。实验中得到不同深度土壤有机质含量和各层的土壤容重, 依次计算出土壤有机碳储量。

1.4 数据处理与有机碳密度计算方法

运用Excel对40个表土理化性质及30个植被样方的植被调查数据进行土壤理化性质和生态特征(植被生物量、多样性指数、总盖度)的统计。群落生物多样性指数采用香农—威纳指数(Shannon-Weiner index)<sup>[19]</sup>, 见公式(1):

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

式中S为物种数目, P<sub>i</sub>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:

$$SOCD = \sum_{i=1}^n 0.58 \times T_i \times \rho_i \times OM_i \times (1 - C_i) \quad (2)$$

式中n为剖面土层数, 0.58是将有机质含量转

为有机碳含量的Bemmelen系数, T<sub>i</sub>、ρ<sub>i</sub>、OM<sub>i</sub>和C<sub>i</sub>分别代表厚度(m)、容重(g·cm<sup>-3</sup>)、有机质质量分数(%)和第i层>2mm砾石的体积百分比。

2 结果与分析

2.1 不同退化演替阶段生态特征的变化

吉林西部最具代表性的是羊草群落, 随着退化演替的进行, 改变了羊草在群落中的优势地位, 群落的种类组成出现变化。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。

如表1所示, 吉林西部草地由于人为活动及自然条件等因素的影响, 导致原生植被发生退化演替, 群落结构发生重大变化, 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如虎尾草、角碱蓬、小花碱茅、朝鲜碱茅及碱蒿等, 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10%。

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、氮素和磷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。

由表2可知, 随着逆行演替的进行, 土壤含水率、全N、全P及全K逐渐降低, 同时, 土壤的pH值及土壤容重逐步升高, 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、全P、全K指数降低, 导致土壤逐渐盐碱化。于此同时, 植物群落对土壤具有不同程度的依存性, 随着土壤理化性质的改变, 当地优势种经历了从“羊草—羊草-虎尾草—羊草-碱茅—碱蓬”的转变, 植被地上生物量先增加后减少(羊草-虎尾草群落植株最高, 其它群落植株高度依

表1 不同演替阶段的生态特征(n=30)

Table 1 The ecological characteristic of different grassland communities(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 <sup>-2</sup> )	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/%	60-75	45-50	30-35	20-30	0-10

表 2 不同演替阶段的土壤特征 ( $n=40$ )  
Table 1 The soil characteristic of different grassland communities ( $n=40$ )

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	9.17±0.17	8.13±0.13	9.603±0.16	10.08±0.17	10.13±0.03
全 N	0.186±0.018	0.124±0.073	0.082±0.011	0.063±0.015	0.042±0.083
全 P	0.025±0.003	0.081±0.005	0.017±0.004	0.021±0.008	0.023±0.008
全 K	0.587±0.04	0.321±0.06	0.297±0.02	0.226±0.04	0.023±0.06

次降低), 最终造成土壤有机质的变化趋势为先升高后降低。

### 2.3 不同退化演替阶段土壤有机碳密度的变化

土壤有机碳密度指单位面积上一定深度的土层中所包含的土壤有机碳数量, 通常以 1 m 深为标准<sup>[20]</sup>。由于研究区放牧强度的不同及自然因素的影响, 土壤的肥力水平显著下降 (见表 2), 植物群落结构、功能发生了变化, 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 0~100 cm 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, 0~100 cm 各土层的土壤有机碳含量呈先升高再降低的趋势, 1 m 土壤有机碳密度从羊草群落的 75.37 t·hm<sup>-2</sup> 升高到羊草-虎尾草群落的 76.11 t·hm<sup>-2</sup>。从羊草-虎尾草群落至盐碱地, 土壤有机碳密度减少到 52.21 t·hm<sup>-2</sup>, 减少约 30%。其次, 0~40 cm 各土层土壤有机碳密度分别降低了 8.45、5.72、3.68 及 1.74 t·hm<sup>-2</sup>, 占总减少的 84.59%; 50~100 cm 土层的土壤有机碳

于其它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损失。草地退化所形成的逆行演替对 0~40 cm 的土壤有机碳密度影响最显著, 说明草地退化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。

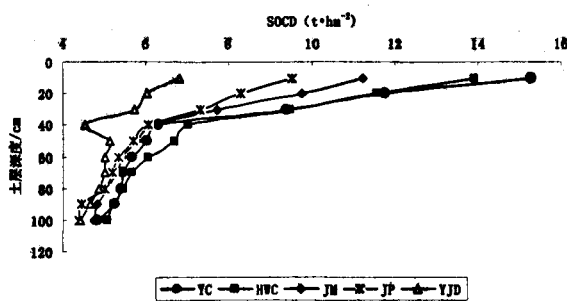
### 3 结论与展望

(1) 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, 从单优势种的羊草群落演变为单优势种盐生植物群落, 多样性指数及植被生物量先升后降。逆行演替至盐碱地时, 地表仅有少量的盐生植物, 总盖度降至不足 10%。

(2) 通过对样品的测试, 随着草地的退化, 各群落土壤含水率、孔隙度、全 N、全 P 及全 K 指数均降低, 土壤养分随着演替而流失, 土壤逐步贫瘠化。

(3) 逆行演替过程中, 1 m 深土壤有机碳密度呈先升高再降低的趋势; 草地退化所形成的逆行演替对 0~40 cm 土层的土壤有机碳密度影响最显著, 而 50~100 cm 土层的土壤有机碳密度相差不大。

本研究分析了不同退化演替阶段的土壤有机碳储量变化, 证明草地退化不是简单的碳释放过程, 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。因此, 通过合理放牧及品种改良等措施增加草地生态系统的碳储量是一种低成本的固碳减排途径, 对吉林省草地固碳量的增加、生物量碳的累积和土壤碳储量的提高都有很大意义。



YC(羊草群落); HWC(羊草-虎尾草群落); JM(羊草-碱茅群落); JP(碱蓬群落); YJD(盐碱地)。

图 1 不同演替阶段 0~100 cm 土层土壤有机碳密度

Fig.1 The SOCD of 0-100 cm soil layer in different grassland communities

密度相差不大。

可以看出, 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, 提高了地表凋落物的分解速率, 促进了碳素由地上部分向土壤的转移, 因此虎尾草群落相对

### 参考文献:

- [1] 肖胜生, 董云社. 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 YUNSHI. Advance in response of soil organic carbon pool of grassland ecosystem to human effects and global changes[J]. 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, 19: 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:

- 317-327.
- [4] JONES M B, DONNELLY A. Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO<sub>2</sub>[J]. *New Phytologist*, 2004, 164: 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: 2934-2943.
- [6] 汤洁, 李昭阳. 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. Spatio-temporal variation of grassland in western Songnen Plain[J]. *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. Changes of carbon storage in vegetation and soil during different successional stages of rehabilitated grassland[J]. *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. The relationship between different plant communities and soil characteristics in Songnen grassland[J]. *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] ZHAOY, 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, LALR. The potential of US grazing lands to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. USA: Lewis Publisher, 2001: 267-290.
- [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. Present status and renovation approach of deteriorated vegetation of grassland in Jangjadian, Jilin province[J]. *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]. 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]. Gansu Agricultural University, 2006.
- [19] 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.
- [20] 王丹丹, 史学正. 东北地区旱地土壤有机碳密度的主控自然因素研究[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(3): 1049-1053.  
WANG Dandan, SHI Xuezheng. Main natural factors controlling soil organic carbon density in the uplands of Northeast China[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(3): 1049-1053.

## Changes of soil organic carbon in different succession stages of degradation grassland of western Jilin province

TANG Jie<sup>1</sup>, HAN Weizheng<sup>1</sup>, LI Na<sup>1</sup>, XU Xiaoming<sup>1</sup>, LI Yunfei<sup>1,2</sup>

1. College of environment and resource, Jilin university changchun 130012, China;

2. Agency of Environmental Protection of Jilin Province changchun 130020, China

**Abstract:** Grassland degradation and salinization are the typical ecological problems in western Jilin province. In the process of degradation and salinization, *Leymus chinense* → *Carex diuiscula* → *Puccinellia tenuiflora* → *Suaeda glauca*, and became saline-alkali land gradually. In this paper, the grassland of Jiangjiadian in Da'an city is selected to investigate. The sampling numbers of vegetation, soil profile, surface soil are respectively 30, 100 and 40, which are taken to laboratory for testing community characteristics and soil properties, then calculate soil organic carbon storage. The results show that the diversity index, vegetation biomass, soil organic matter are highest in *Carex diuiscula* community with the ongoing degradation of succession. Soil moisture and total N are decreased while pH, soil bulk density are increased. The soil organic carbon goes up first and then declines in 0~100 cm soil layer. It is obvious in 0~40 cm. It has little difference in 50~100 cm. The results benefit reasonable grazing in Jilin province, grassland carbon increasing and soil carbon stocks growth.

**Key words:** western Jilin province; degradation; grassland ecosystem; succession; soil organic carbon (SOC)