

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 24 期 Vol.33 No.24 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 24 期 2013 年 12 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 中国南方红壤生态系统面临的问题及对策 赵其国, 黄国勤, 马艳芹 (7615)
- 《生态学基础》: 对生态学从传统向现代的推进——纪念 E.P. 奥德姆诞辰 100 周年
..... 包庆德, 张秀芬 (7623)
- 食物链长度理论研究进展 张 欢, 何 亮, 张培育, 等 (7630)

个体与基础生态

- 天山盘羊夏季采食地和卧息地生境选择 李 叶, 余玉群, 史 军, 等 (7644)
- 松果梢斑螟对虫害诱导寄主防御的抑制作用 张 晓, 李秀玲, 李新岗, 等 (7651)
- 菹草附着物对营养盐浓度的响应及其与菹草衰亡的关系 魏宏农, 潘建林, 赵 凯, 等 (7661)
- 濒危高原植物羌活化学成分与生态因子的相关性 黄林芳, 李文涛, 王 珍, 等 (7667)
- 四年 O₃ 熏气对小麦根际土壤氮素微生物转化的影响 吴芳芳, 郑有飞, 吴荣军, 等 (7679)
- 重金属 Cd²⁺ 和 Cu²⁺ 胁迫下泥蚶消化酶活性的变化 陈肖肖, 高业田, 吴洪喜, 等 (7690)

种群、群落和生态系统

- 不同生境中橘小实蝇种群动态及密度的差异 郑思宁 (7699)
- 亚热带樟树-马尾松混交林凋落物量及养分动态特征 李忠文, 闫文德, 郑 威, 等 (7707)

景观、区域和全球生态

- 中国陆地生态系统通量观测站点空间代表性 王绍强, 陈蝶聪, 周 蕾, 等 (7715)
- 雅鲁藏布江流域 NDVI 变化与风沙化土地演变的耦合关系 李海东, 沈渭寿, 蔡博峰, 等 (7729)
- 高精度遥感影像下农牧交错带小流域景观特征的粒度效应 张庆印, 樊 军 (7739)
- 高寒草原土壤有机碳及土壤碳库管理指数的变化 蔡晓布, 于宝政, 彭岳林, 等 (7748)
- 芦芽山亚高山草甸、云杉林土壤有机碳、全氮含量的小尺度空间异质性
..... 武小钢, 郭晋平, 田旭平, 等 (7756)
- 湘中丘陵区不同演替阶段森林土壤活性有机碳库特征 孙伟军, 方 晰, 项文化, 等 (7765)
- 东北黑土区片蚀和沟蚀对土壤团聚体流失的影响 姜义亮, 郑粉莉, 王 彬, 等 (7774)
- 滇西北高原纳帕海湿地土壤氮矿化特征 解成杰, 郭雪莲, 余磊朝, 等 (7782)
- 红壤区桉树人工林炼山后土壤肥力变化及其生态评价 杨尚东, 吴 俊, 谭宏伟, 等 (7788)
- 2000—2010 年黄河流域植被覆盖的时空变化 袁丽华, 蒋卫国, 申文明, 等 (7798)
- 庐山森林景观格局变化的长期动态模拟 梁艳艳, 周年兴, 谢慧玮, 等 (7807)

暖温带-北亚热带生态过渡区物种生境相关性分析 袁志良,陈 云,韦博良,等 (7819)

不同生境和去趋势方法下的祁连山柏径向生长对气候的响应 张瑞波,袁玉江,魏文寿,等 (7827)

资源与产业生态

大小兴安岭生态资产变化格局 马立新,覃雪波,孙 楠,等 (7838)

生态环境移动数据采集系统研究与实现 申文明,孙中平,张 雪,等 (7846)

城乡与社会生态

城市遥感生态指数的创建及其应用 徐涵秋 (7853)

研究简报

大明竹属遗传多样性 ISSR 分析及 DNA 指纹图谱研究 黄树军,陈礼光,肖永太,等 (7863)

干旱胁迫下 4 种常用植物幼苗的光合和荧光特性综合评价 卢广超,许建新,薛 立,等 (7872)

基于 ITS2 和 16S rRNA 的西施舌群体遗传差异分析 孟学平,申 欣,赵娜娜,等 (7882)

两种浒苔无机碳利用对温度响应的机制 徐军田,王学文,钟志海,等 (7892)

北京山区侧柏林冠层对降雨动力学特征的影响 史 宇,余新晓,张建辉,等 (7898)

学术信息与动态

景观生态学研究:传统领域的坚守与新兴领域的探索——2013 厦门景观生态学论坛述评
..... 杨德伟,赵文武,吕一河 (7908)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 33 * 2013-12



封面图说: 黄土丘陵农牧交错带——黄土丘陵是中国黄土高原的主要地貌形态,由于黄土质地疏松,加之雨季集中,降水强度较大,地表流水冲刷形成很多沟谷,斜坡所占的面积很大。这里千百年来的农牧交错作业,地表植被和生态系统均遭受了严重的破坏。利用高精度影像对小流域景观的研究表明,这里耕地、林地和水域景观相对比较规则简单,荒草地和人工草地景观比较复杂。农牧交错带小流域景观形态具有分形特征,各类景观斑块的分维数对粒度变化的响应不同,分维数随粒度的增大呈非线性下降趋势。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@ 163.com

DOI: 10.5846/stxb201209181311

蔡晓布, 于宝政, 彭岳林, 刘合满. 高寒草原土壤有机碳及土壤碳库管理指数的变化. 生态学报, 2013, 33(24): 7748-7755.

Cai X B, Yu B Z, Peng Y L, Liu H M. The changes of soil organic carbon and carbon management index in alpine steppe. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(24): 7748-7755.

高寒草原土壤有机碳及土壤碳库管理指数的变化

蔡晓布*, 于宝政, 彭岳林, 刘合满

(西藏大学农牧学院, 西藏林芝 860000)

摘要:高寒草原对高寒生态系统的稳定具有重大意义。为探明高寒草原土壤有机碳(SOC)、土壤活性有机碳(ASOC)变化,以及草地退化对土壤碳库稳定性的影响,对藏北高原正常、轻度和严重退化高寒草原表层(0—10 cm)、亚表层(10—20 cm)土壤进行了初步研究。结果表明:(1)轻度、严重退化草地各土层SOC、ASOC均呈不同程度的下降。其中,退化草地SOC的降幅均以表层最大,且各土层降幅均随草地退化加剧而下降;退化草地ASOC的降幅则均以亚表层最大,但各土层ASOC的降幅随草地退化加剧而提高。(2)正常草地、轻度和严重退化草地表层ASOC比率分别为16.8%、21.3%、16.6%,亚表层分别为21.8%、18.1%和16.0%;土壤碳库活度与ASOC比率的变化趋势完全一致。因此,轻度退化草地SOC的不稳定性主要体现在表层土壤。(3)退化草地表层、亚表层碳库管理指数(CMI)均呈显著下降,但表层降幅相对较低;与严重退化草地比,轻度退化草地不同土层CMI明显提高。(4)高寒草原环境中,正常草地、轻度和严重退化草地各土层SOC、ASOC间则均呈一定程度的负相关,表明土壤微生物对SOC、ASOC的影响和作用可能不同。

关键词:高寒草原;土壤有机碳;土壤活性有机碳;碳库管理指数;藏北高原

The changes of soil organic carbon and carbon management index in alpine steppe

CAI Xiaobu*, YU Baozheng, PENG Yuelin, LIU Heman

Agricultural and Animal Husbandry College, Tibet University, Linzhi 860000, China

Abstract: The alpine steppe plays a vital role in the stability of alpine ecosystem. To understand the variation of soil organic carbon (SOC) and active soil organic carbon (ASOC) in alpine steppe, and the influence of grassland degradation on soil carbon pool, We initially investigated the SOC and ASOC in the surface soil (0—10 cm) and subsurface soil (0—20 cm) in normal steppe, light degraded steppe, severely degraded steppe in The Northern Tibet Plateau. The results showed that: (1) The SOC and ASOC all declined with different degree in each layer soil in mildly degraded steppe and severely degraded steppe. The decline of SOC in surface soil were much higher than that in subsurface soil in these degraded steppe, and the decline of SOC in each layer soil decreased with the steppe degradation.. But the decline of ASOC in surface soil was much lower than subsurface soil, and which in severely degraded steppe was much higher than that in mildly degraded steppe. (2) The distribution ratio of ASOC in surface soil in normal steppe, mildly degraded steppe and severely degraded steppe were 16.8%, 21.3% and 16.6%, respectively, and which in the subsurface were 21.8%, 18.1 and 16.0%, respectively. Besides that, the variation tendencies of soil carbon pool activities were consistent with the distribution ratio of ASOC. So that, the SOC in the surface soil in the mildly degraded steppe is unstable. (3) The soil carbon management index (CMI) in the surface soil and subsurface soil all significantly declined in degraded steppe, the decline of CMI in surface soil much lower than subsurface soil. The CMI in each layer soil of mildly degraded steppe were much higher compared to severely degraded steppe. (4) The negative correlation was observed between SOC and ASOC in each layer

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40961023,40461005,41161052)

收稿日期:2012-09-18; 修订日期:2013-04-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: caitw21@sohu.com

soils in normal steppe, mildly degrade steppe and severely degraded steppe in alpine grassland. This result suggests that the effects of soil microorganism on SOC, ASOC might be different.

Key Words: alpine steppe; soil organic carbon; active soil organic carbon; Carbon management index; North Tibet Plateau

土壤有机碳(SOC)是深刻影响土壤环境的核心物质和全球变化研究所关注的焦点问题之一^[1-2]。作为土壤有机物质矿质化、腐殖化的结果, SOC 的变化是一个漫长的过程, 其含量多少并不能敏感的反映土壤环境、土壤质量的动态变化^[3]。因此, 研究者对能够响应短期土地管理措施影响的土壤活性有机碳(ASOC)给予了越来越多的关注。已有的研究表明, ASOC 是对环境变化敏感、易被微生物转化和生物直接利用的有机碳组分^[1,4], 对预测并揭示土壤碳库变化具有重要意义^[1,5-6], 由其计算的碳库管理指数(CMI)能够很好的反映土壤碳库的更新程度、质量变化^[3,7-8]以及环境对 SOC 性质的影响^[3,8]。目前, 我国对不同生态系统 SOC 的研究较多, 对 ASOC 的研究相对较少, 土壤碳库管理指数研究则主要集中于农田土壤^[3,8]、退耕还林土壤^[9-10]等, 针对草地, 特别是自然退化草地的研究少见报道。

青藏高原草地生态系统碳库对全球变化具有敏感响应和重要影响^[11]。由于青藏高原高寒草甸(发育于高原冷湿环境)区交通相对便利, 许多学者对该类草地中的 SOC 从不同层面开展了大量研究^[12-18], 对 ASOC 的研究明显不足^[17]。但长期以来, 受极端寒、旱环境, 特别是交通的严重限制, 对青藏高原的主体草地类型——高寒草原(发育于高原寒旱环境)的研究却十分匮乏^[19-20]。过去 40 年间, 在人为因素, 特别是气候变化等的综合影响下, 西藏高寒草原已呈现出整体退化的态势, SOC 含量持续下降^[12-13], 平均碳密度仅在 3.71—1.72 kg/m²之间, 分别占西藏低、极低土壤碳密度草地面积的 78.4%和 71.3%, 深刻地影响着高寒生态系统的碳循环过程^[14]。因此, 研究 ASOC 与 CMI 的变化过程对认识高寒草原土壤质量的演变、进而开展高寒草原生态恢复途径的研究十分重要, 对进一步认识高寒草地生态系统对全球变化的影响与响应等亦具有重要的参考价值。本研究以藏北高原北部高寒草原为研究区域, 通过对正常草地(未退化草地)、轻度和严重退化草地表层(0—10 cm)、亚表层(11—20 cm)土壤的研究, 以期初步探明高寒草原及其退化过程中 SOC、ASOC 的变化特征, 高寒草原退化对土壤碳库稳定性、土壤碳库管理指数的影响。研究结果对从整体上逐步认识并揭示高寒草地生态系统的土壤碳过程, 探索退化高寒草原的生态恢复过程等具有重要意义。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

藏北高原北部地处崇山环割、地势高亢而辽阔的青藏高原内流区域, 高原面平均海拔 4500—5000 m, 气候寒冷、干旱, 年均温 -6—0 ℃、年降水量 100—200 mm、年蒸发量 2000—2300 mm、年大风(≥ 17 m/s)日数 30—90 d。草地类型以高寒草原为主, 局部偶见高寒草甸。受高原寒、旱环境的强烈影响, 高寒草原土壤(高山草原土)前期发育过程普遍受阻, 土壤形成的生物与化学作用微弱, 成土过程缓慢^[21], 土层浅薄、质地轻粗; 植物构成简单、草类地上部干物质产量很低、地下/地上生物量比值大。尽管植物年提供土壤有机残体量十分有限, 但低温、干旱的土壤环境对微生物、植物根系生物活性的严重限制, 使其难以完全分解而逐年累积(有机残体厚度、C/N 比一般达 5—15 cm、10—12 cm)^[21], 从而形成低有机碳、高有机残体的土壤有机物赋存格局。因此, 在植被覆盖、地表角砾、土壤有机残体的“立体”保护下, 正常草地表层风蚀较为轻微。近几十年来, 受气候干暖化影响, 以植被稀疏化、土壤沙化为主的草地自然退化过程不断加剧, 且植被类型亦难发生自然演替。

1.2 采样方法

2009 年 9 月在藏北高原北部 32°52′13.20″ N—33°23′15.20″ N、88°26′53.49″ E—88°53′14.95″ E 区域内随机选择 3 处紫花针茅(*Stipa purpurea*)草地型高寒草原作为研究区域, 每一研究区域间隔 50—100 km。各研究区域土壤均为高山草原土, 分布海拔 4845.4—4969.0 m, 成土母质为湖积物、土壤质地为砂土, 土层厚度一般

仅在 20 cm 左右,土壤 pH 值 8.78—9.10。

为保证样品的代表性,本研究所采土壤样品均为 3 次重复;即研究区域、各研究区域内不同状态草地采样区、每一采样区内各采样点均按 3 次重复取样。具体方法:在所选 3 处高寒草原区域内,均分别选取正常草地(植被盖度 45%—65%,表层沙化轻微)、轻度退化草地(植被盖度>20%—45%,表层沙化较明显)、严重退化草地(植被盖度<20%,表层沙化较严重)等 3 个采样区,且每一状态草地面积均>10 hm²;每一采样区内,均随机设置 3 个采样微区,并在各采样微区内分别设置 3 个采样点;刮除地表角砾后,于每个采样点均分别按 0—10 cm、10—20 cm 土层采集土壤样品,并将各采样微区的 3 个同层土样组成 1 个混合土样(约 2.5 kg)。全部土壤混合样品数为 54 个(同一状态草地 0—10 cm、10—20 cm 土层混合样品数均为 9 个)。

1.3 分析与统计方法

1.3.1 分析与测试

土壤有机碳(SOC) 采用重铬酸钾容量法-外加热法。

土壤活性有机碳(ASOC) 采用 333 mmol/L 高锰酸钾氧化法。

非活性有机碳(Non- Active soil organic carbon, N-ASOC) 总有机碳-活性有机碳^[10]。

1.3.2 计算与统计

以 3 个重复平均测定值作为结果;相关分析以各微区混合土样测定值计算。相关分析、差异显著性测验分别采用 Excel 2003 和 DPS 数据处理系统(版本号:11.50):

$$\text{活性有机碳比率}^{[22]} = \text{ASOC 含量(g/kg)} / \text{SOC 含量(g/kg)} \times 100$$

$$\text{碳库活度}^{[3]} (\text{Carbon activity, CA}) = \text{ASOC 含量(g/kg)} / \text{N-ASOC 含量(g/kg)}$$

$$\text{碳库活度指数} (\text{Carbon activity index, CAI})^{[3]} = \text{CA} / \text{参考土壤 CA (以正常草地作为参考土壤)}$$

$$\text{碳库指数} (\text{Carbon pool index, CPI})^{[3]} = \text{样本 SOC 含量(g/kg)} / \text{参考土壤 SOC 含量(g/kg)}$$

$$\text{碳库管理指数} (\text{CMI})^{[3]} = \text{CAI} \times \text{CPI} \times 100$$

2 研究结果

2.1 不同状态高寒草原 SOC、ASOC 含量及其变化

高寒草原表层(0—10 cm)、亚表层(10—20 cm) SOC 含量均呈正常草地>严重退化草地>轻度退化草地。与正常草地相比,轻度、严重退化草地表层 SOC 损失量分别达 34.5%、22.4%,亚表层则分别为 25.0%、17.8%;轻度退化草地表层、亚表层单位重量土壤 SOC 损失量分别达 3.23、2.37 g/kg,严重退化草地则分别为 2.10、1.69 g/kg(图 1)。可见,退化草地 SOC 损失量以表层最大,但并未表现出随草地退化加剧而下降的趋势。从 SOC 含量的土层差异看,不同状态草地 SOC 含量随土层加深而均呈不同程度的提高。

不同状态草地 ASOC 含量及其垂直分布与 SOC 有所不同。高寒草原表层、亚表层 ASOC 含量均呈正常草地>轻度退化草地>严重退化草地,表现出随草地退化加剧而下降的趋势,反映了 ASOC 对环境变化的敏感性。其中,退化草地亚表层 ASOC 损失量较大,轻度、严重退化草地表层 ASOC 损失量分别为 16.6%、22.9%,亚表层则分别达 37.7%、39.6%;轻度退化草地表层、亚表层单位重量土壤 ASOC 损失量分别为 0.26、0.78 g/kg,严重退化草地则分别达 0.36、0.82 g/kg(图 2)。可见,轻度、严重退化草地亚表层 ASOC 损失量均明显大于表层,这与 SOC 完全不同。由图 1、图 2 可以看出,退化草地 ASOC 的降幅在总体上明显高于 SOC,亦表明环境变化对 ASOC 的影响相对较大。

因此,从高原寒旱环境中 SOC、ASOC 含量的相互关系看,正常草地、轻度退化草地、严重退化草地表层

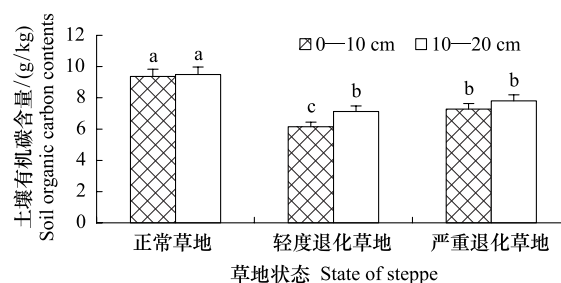


图 1 高寒草原土壤有机碳含量

Fig.1 Contents of soil organic carbon in alpine steppe

相同土层不同字母表示差异显著性达 5%

ASOC 含量均随 SOC 含量的增加而表现出一定程度的下降,亚表层亦表现出相同的趋势(表 1)。

表 1 高寒草原土壤有机碳(x)与土壤活性有机碳(y)的相关性

Table 1 The relationship between Soil organic carbon(x) and Active soil organic carbon(y) in alpine steppe

土层/cm Soil layer	正常草地 Normal steppe	轻度退化草地 Light degraded steppe	严重退化草地 Severely degraded steppe
0—10 cm	$y = -5.107x + 27.991$ $r = -0.405$	$y = -1.227x + 7.735$ $r = -0.205$	$y = -1.865x + 10.818$ $r = -0.496^*$
10—20 cm	$y = -14.310x + 75.984$ $r = -0.663^{**}$	$y = -2.130x + 12.533$ $r = -0.322$	$y = -1.975x + 11.309$ $r = -0.486^*$

2.2 不同状态高寒草原 ASOC 比率

ASOC 比率可以较好地反映环境对土壤碳行为、SOC 质量的影响程度^[9-10,23]。高寒草原环境中,轻度退化草地表层 ASOC 比率显著高于正常草地,严重退化草地,亚表层则呈正常草地>轻度退化草地>严重退化草地(图 3)。可见,轻度退化草地 SOC 的不稳定性主要体现在表层土壤。同一草地不同土层间,正常草地表层 ASOC 比率明显较低,土层差异则明显高于退化草地;退化草地则与正常草地不同,表层 ASOC 比率均高于亚表层(轻度退化草地尤为明显),ASOC 比率的土层差异亦明显缩小。

高寒草原环境下,ASOC 含量、ASOC 比率的垂直分布较为复杂,轻度退化草地表层 ASOC 含量、ASOC 比率均不同程度的高于亚表层,但 ASOC 含量的土层差异明显低于 ASOC 比率的土层差异;正常草地表层 ASOC 含量、ASOC 比率则均明显低于亚表层,但 ASOC 含量的土层差异较大;严重退化草地表层 ASOC 含量、ASOC 比率较亚表层分别表现出小幅增、减的趋势(图 2,图 3)。

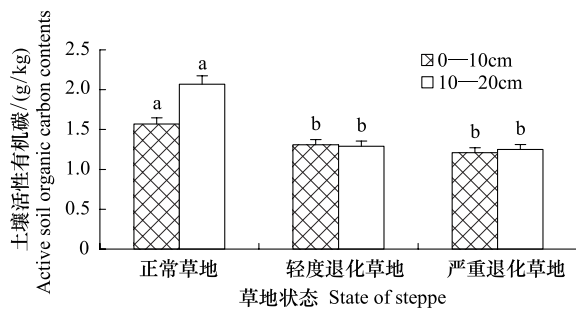


图 2 高寒草原土壤活性有机碳含量

Fig. 2 Contents of active soil organic carbon (ASOC) in alpine steppe

相同土层不同字母表示差异显著性达 5%

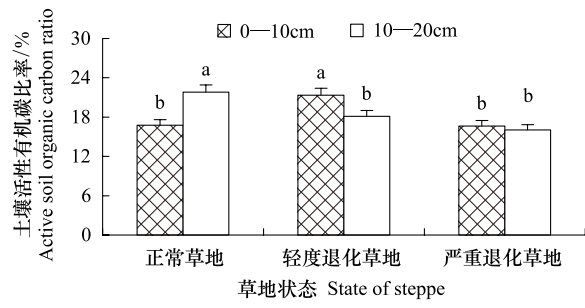


图 3 高寒草原土壤活性有机碳比率

Fig.3 ASOC ratio in alpine steppe

相同土层不同字母表示差异显著性达 5%

从退化草地 ASOC 损失量看,轻度、严重退化草地 0—20 cm 土层 ASOC 含量分别下降 28.6%、32.4%, ASOC 比率的变幅则明显较低,仅分别增、减 2.1%和 15.5%。可见,不同状态草地 0—20 cm 土层 ASOC 含量的差异明显大于 ASOC 比率的差异。

2.3 不同状态高寒草原土壤碳库活度与土壤碳库管理指数

综合反映活性、非活性有机碳动态变化的碳库管理指数(CMI)、碳库活度(CA)可以反映不同土壤碳库变化的差异及生态恢复能力^[3,24]。高寒草原条件下,CA 及其变化表现出与 ASOC 比率一致的特征(表 2,图 3)。不同程度退化草地表层碳库指数(CPI)均明显低于亚表层,轻度退化草地表层、亚表层 CPI 均明显低于严重退化草地,说明轻度退化草地中 SOC 含量与正常草地的差异较大。碳库活度指数(CAI)则相反,轻度退化草地各土层 CAI 均高于严重退化草地,且表层 CAI 较正常草地亦呈明显提高,表明轻度退化阶段表层土壤碳的不稳定性较强,损失较多(表 2)。可见,退化草地 CAI 与 CPI 的变化规律完全不同,表现出 CPI 越小,则 CAI

越大的特点,表明退化草地 SOC 含量与正常草地差异越大,则碳损失量越大。

CMI 是土壤管理措施或环境变化引起 SOC 变化的指标,因其综合了土壤碳库指数、碳库活性,可以通过 SOC、ASOC 的数量变化,反映出环境对土壤质量下降或更新的影响程度。从表 2 可以看出,退化草地各土层 CMI 均呈显著下降,且严重退化草地降幅均高于轻度退化草地,表明轻度退化草地 SOC 含量尽管较低,但其土壤碳库质量下降的程度却低于严重退化草地,同时也反映出严重退化草地中较高的 SOC 含量是以土壤有机残体的较大消耗为代价的。从退化草地表层 CMI 均明显大于亚表层看,草地退化过程中表层 CMI 的下降程度明显低于亚表层。

表 2 高寒草原土壤碳库活性与碳库管理指数

Table 2 Soil organic carbon activity and carbon management index in alpine steppe

草地状态 State of steppe	土层/cm Soil layer	碳库活性 Carbon activity (CA)	碳库指数 Carbon pool index (CPI)	碳库活性指数 Carbon activity index (CAI)	碳库管理指数 Carbon management index (CMI)
正常草地 Normal steppe	0—10	0.201b	1a	1b	100a
	10—20	0.279a	1a	1a	100a
轻度退化草地 Light degraded steppe	0—10	0.271a	0.655b	1.348a	88.29b
	10—20	0.221b	0.750b	0.792b	59.40b
严重退化草地 Severely degraded steppe	0—10	0.200b	0.776b	0.995b	77.21b
	10—20	0.191b	0.822a	0.685b	56.31b

同列相同土层不同字母表示差异显著性达 5%

3 讨论

对青藏高原高寒草甸的许多研究发现,受高原冷湿环境的强烈影响,SOC 含量均随草地退化加剧而显著下降^[13,15,17],并在总体上表现出随土壤深度增加而降低的趋势^[12,14];不同状态(正常、退化)高寒草甸轻组有机碳含量和比率亦表现出相同的趋势^[17]。对一些干旱草原的研究亦有类似结果,如美国科罗拉多东北部矮草草原 SOC 含量随土层加深而下降^[25]、内蒙古干旱草原长期放牧后 0—10 cm 土层微生物生物量碳、易分解碳降幅均高于 10—20 cm 土层^[26],我国西北、东北地区草地 ASOC 含量、ASOC 比率均随土层加深而递减,且 ASOC 含量随土层加深而递减的幅度较大^[22,27]。高原寒、旱环境中,不同状态草地表层 SOC 含量均低于亚表层,ASOC 亦基本表现出相同的趋势(仅轻度退化草地表层略高);同时,尽管退化草地各土层 SOC、ASOC 均呈下降,但不同土层的降幅、随草地退化加剧所表现出的变化趋势完全不同,SOC 均以表层降幅最大,且轻度退化草地各土层 SOC 降幅较大;ASOC 则均以亚表层降幅最大,但各土层降幅随草地退化加剧而提高(与草地退化过程中土沙化程度提高、土壤通透性增强所导致的 ASOC 矿化分解量增大^[28]有关)。可见,由于植被、土壤环境及其变化成因的不同,以及由此导致的土壤微生物结构及其活性的较大差异,对高寒草甸及其它类型草地的研究结果与本研究明显不同。

一般认为,风蚀、风积作用是导致青藏高原^[21]和其它干旱草原^[29]土壤表层 SOC 含量低于亚表层的主要原因。但是,从本研究中严重退化高寒草原各土层 SOC 含量均明显高于轻度退化草地看,显然与风蚀、风积作用无大的关联,而可能主要在于草地退化过程中土壤、植被环境的变化对微生物种群结构和活性的不同影响。已有研究表明,即使存在一定的水蚀、风蚀,微生物的分解、矿化作用仍是导致 SOC 损失的最主要途径^[30]。

ASOC 受植物、微生物的强烈影响,主要来源于 SOC 的分解,以及根系分泌物、微生物及其分泌物等,易氧化、矿化^[1,6,16]。一些研究表明,SOC、ASOC 含量间呈正相关^[3,9-10,16]。如对高寒湿地沼泽土、泥炭土的研究发现,SOC 与 ASOC 含量分别呈显著正相关和正相关^[16]。同时,由于微生物活性严重受阻,沼泽土、泥炭土 ASOC 比率仅分别在 3%—17%、7%—12%之间^[16]。土壤通透性能相对较好的黄壤、红壤中,SOC 与 ASOC 含量亦均呈极显著正相关^[3,10]。可见,在这些研究中,无论土壤环境怎样,土壤微生物对 SOC、ASOC 均具有相对一致的影响和作用,这可能与土壤在积累 ASOC 的同时,N-ASOC 亦呈增加有关^[9]。高寒草原中,不同状态

草地各土层 SOC、ASOC 间则均呈不同程度的负相关,这可能与高原寒、旱环境对 SOC、ASOC 密切相关微生物的不同影响有关。高寒环境中,影响有机残体转化的土壤微生物活性很低,SOC 的形成与积累极为缓慢,但一旦形成即较稳定;而干旱、疏松的土壤环境则不仅有利于多种来源 SAOC 的形成,亦有利于它的分解,并在总体上维持着相对较高的 ASOC 比率(表层、亚表层分别在 16.6%—21.3%、16.0%—21.8%之间),退化草地 SOC、ASOC 间的负相关可能还与团聚体崩解所导致的 SOC 的加速分解有关。

正常高寒草原低有机碳、高有机残体的有机物赋存格局不仅是微生物对高原寒、旱环境长期适应与进化的结果,更是微生物结构与功能稳定性的重要体现,这是讨论高寒草原不同土层 SOC 形成与分解的重要前提。据此推测,尽管正常草地表层含水量较低,但温度较高、通透性较强,促进 SOC 形成、分解的土壤微生物类群较亚表层均较活跃,以致有机残体消耗量、SOC 分解量相对较大。青藏高原气候干暖化背景下,高寒草原表层 SOC 分解加速、CO₂释放增加^[13,18]的趋势将可能进一步加剧表层 SOC 的不稳定性。亚表层土壤水、热状况与表层相反,微生物活性相对较弱,有机残体转化量较低,所形成的 SOC、ASOC 亦较稳定,加之较多土壤团聚体的物理保护,以致缓慢积累并不同程度的高于表层土壤。ASOC 比率的土层差异呈正常草地>轻度退化草地>严重退化草地,这可能在于正常草地亚表层土壤环境相对稳定,有利于微生物对 SOC 的分解和转化。

退化高寒草原土壤环境的恶化是导致物种适应性、群落复杂性和环境稳定性降低的主要原因^[18],而气候与环境变化所引起的土壤微生物种类、活性的改变影响着 SOC、ASOC 的分解^[16]。一般条件下,土壤微生物对环境变化具有较强的自适应能力。从轻度退化草地各土层 SOC 含量明显低于严重退化草地分析,草地退化初期土壤环境的变化可能易使微生物长期适应、进化所形成的结构与功能稳定性发生较大紊乱,进而导致有机残体转化受阻、SOC 加速分解。此过程中,由于亚表层较低的土壤通透性对微生物活性的影响,SOC 的分解量明显低于表层土壤;表层土壤碳的不稳定性较强,SOC 易发生变化,分解量较大。从总体分析,此阶段土壤有机残体的转化量较低、SOC 形成较少,SOC、ASOC 含量的下降主要在于其自身的分解与释放。因此,由于大量土壤有机残体未被分解、转化,其整体生态功能即未受到大的影响和破坏。从 CMI 看,亦表明此阶段土壤碳库质量的下降程度较低。

严重退化草地是植被盖度逐步下降、土壤沙化程度缓慢提高的结果。此过程中,大量 SOC、ASOC 随团聚体的逐步崩解而分解损失。但是,随团聚体的逐步崩解和沙化程度的不断提高,微生物对缓慢变化的土壤环境可能已产生较强的适应能力,并可能已完成向抗旱能力、酶分泌能力更强生理种群的演替,加速了土壤有机残体的转化,SOC 含量不仅明显高于轻度退化草地,土体分布格局亦未发生改变,但这是在土壤有机残体年补给量严重下降基础上所发生的、以有机残体的较大消耗和草甸层的逐步消失为代价的过程。尽管此阶段 SOC 含量明显高于轻度退化草地,但各土层 CMI 下降的幅度均较高。

本研究中,退化草地亚表层 ASOC 的降幅均明显高于表层,这是研究过程中所发现的另一重要现象。初步推测,尽管退化草地表层土壤环境的不稳定性促进了 ASOC 的分解、释放,但土壤团聚体不断崩解条件下由微生物转化形成的 ASOC 量可能较多,进而不同程度的弥补了其分解与释放的损失;草地退化过程中,亚表层土壤温度、含水量总体呈上升、下降趋势,土壤通透性能显著提升,可能降低了 ASOC 在土壤中的存留时间,以致 ASOC 分解与释放量明显大于形成量。因此,退化草地表层、亚表层 ASOC 对环境变化可能均较敏感,不同土层 ASOC 均是其形成与分解环境的具体反映。

4 结论

藏北高原北部高寒草原 SOC、ASOC 及 CMI 变化具有一定的特殊性。高寒草原 SOC 含量较低(<10 g/kg),ASOC 比率(近 20%)相对较高;正常草地、轻度和严重退化草地表层、亚表层 SOC、ASOC 间均呈不同程度的负相关,SOC、ASOC 损失量随草地退化加剧而分别表现出下降和提高的趋势;正常草地、轻度和严重退化草地表层 SOC 含量均低于亚表层,但退化草地表层 CMI 降幅明显较低;轻度退化草地 CMI 降幅则较低。因此,以 CMI 作为高寒草原自然退化的评价指标,能够客观地反映环境变化对土壤碳库质量的影响。进一步研究高寒草原 SOC 的变化与稳定机制,对制定科学的草地管理措施,维护高寒生态系统碳平衡具有重要的科

学和现实意义。

References:

- [1] Lü Y Z, Li B G. Soil Science. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 138-170.
- [2] Lal R. Forest soils and carbon sequestration. Forest Ecology and Management, 2005, 220(1/3): 242-258.
- [3] Xu M G, Yu R, Wang B R. Labile organic matter and carbon management index in red soil under long-term fertilization. Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(5): 723-729.
- [4] Khanna P K, Ludwig B, Bauhus J, O'Hara C. Assessment and significance of labile organic C pools in forest soils // Lal R, Kimble J M, Follett R F, eds. Assessment Methods for Soil Carbon. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, 2001: 167-182.
- [5] Partyka T, Hamkalo Z. Estimation of oxidizing ability of organic matter of forest and arable soil. Žemdirbyste-Agriculture, 2010, 97(1): 33-40.
- [6] Tirol-Padre A, Ladha J K. Assessing the reliability of permanganate-oxidizable carbon as an index of soil labile carbon. Soil Science Society of America Journal, 2004, 68(3): 969-978.
- [7] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. Australian Journal of Agricultural Research, 1995, 46(7): 1459-1466.
- [8] Xu M G, Yu R, Sun X F, Liu H, Wang B R, Li J M. Effects of long-term fertilization on labile organic matter and carbon management index (CMI) of the typical soils of China. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(4): 459-465.
- [9] Han X H, Tong X G, Yang G H, Xue Y L, Zhao F Z. Difference analysis of soil organic carbon pool in returning farmland to forest in loess hilly area. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(12): 223-229.
- [10] Xue S, Liu G B, Pan Y P, Dai Q H, Zhang C, Yu N. Evolution of soil labile organic matter and carbon management index in the *Artificial robinia* of Loess hilly area. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(4): 1458-1464.
- [11] Klein J A, Harte J, Zhao X Q. Experimental warming causes large and rapid species loss, dampened by simulated grazing, on the Tibetan Plateau. Ecology Letters, 2004, 7(12): 1170-1179.
- [12] Han D R, Cao G M, Guo X W, Zhang F W, Li Y K, Lin L, Li J, Tang Y H, Gu S. The potential of carbon sink in alpine meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(24): 7408-7417.
- [13] Li N, Wang G X, Gao Y H, Ji C Z. On soil organic Carbon of alpine Ecosystem in Qinghai-Tibet Plateau. Soils, 2009, 41(4): 512-519.
- [14] Fan Y, Liu S Q, Zhang S R, Deng L J. Background organic carbon storage of topsoil and whole profile of soils from Tibet district and their spatial distribution. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(9): 2834-2846.
- [15] Wang Q J, Li S X, Wang W Y, Jing Z C. The despondences of carbon and nitrogen reserves in plants and soils to vegetations cover change on *Kobresia pygmaea* meadow of Yellow River and Yangtze River source region. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(3): 885-894.
- [16] Gao J Q, Ouyang H, Bai J H. Vertical distribution characteristics of soil labile organic carbon in Ruorgai wetland. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(1): 76-86.
- [17] Wang W Y, Wang Q J, Lu Z Y. Soil organic carbon and nitrogen content of density fractions and effect of meadow degradation to soil carbon and nitrogen of fractions in alpine *Kobresia* meadow. Science in China Series D-Earth Sciences, 2009, 52(5): 660-668.
- [18] Li Y S, Zhang R H, Wang G X, Zhao L, Ding Y J, Wang Y B. Spatial variability characteristics of soil organic carbon and nitrogen reveal typical alpine meadow degradation on Qinghai-Tibetan Plateau. Environmental Science, 2009, 30(6): 1826-1831.
- [19] Cai X B, Zhou J, Qian C. Variation of soil microbial activities in alpine steppes different in degradation intensity in the north Tibet plateau. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(6): 1110-1118.
- [20] Guo X W, Han D R, Zhang F W, Li Y K, Lin L, Li J, Cao G M. The response of potential carbon sequestration capacity to different land use patterns in alpine rangeland. Acta Agrestia Sinica, 2011, 19(5): 740-745.
- [21] Land Administrative Office of Tibrt. Soil resources in Tibet Autonomous Region. Beijing: Science Press, 1994: 151-153.
- [22] Wu J G, Zhang X Q, Xu D Y. Changes in soil labile organic carbon under different land uses in the Liupan Mountain forest zone. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28(5): 657-644.
- [23] Leifeld J, Kögel-Knabner I. Soil organic matter fractions as early indicators for carbon stock changes under different land-use. Geoderma, 2005, 124(1/2): 143-155.
- [24] Niu X Z, Duiker S W. Carbon sequestration potential by afforestation of marginal agricultural land in the Midwestern U.S. Forest Ecology and Management, 2006, 223(1/3): 415-427.
- [25] Reeder J D, Schuman G E, Morgan J A, Lecain D R. Response of organic and inorganic carbon and nitrogen to long-term grazing of the shortgrass steppe. Environmental Management, 2004, 33(4): 485-495.

- [26] Ma X Z, Wang Y F, Wang S P, Wang J Z, Li C S. Impacts of grazing on soil carbon fractions in the grasslands of Xilin River basin, Inner Mongolia. *Acta phytocologica Sinica*, 2005, 29(4): 569-576.
- [27] Yu W T, Ma Q, Zhao X, Zhou H, Li J D. Changes of soil active organic carbon pool under different land use types. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(12): 2013-2016.
- [28] Xiao S S, Dong Y S, Qi Y C, Peng Q, He Y T, Yang Z J. Advance in responses of soil organic carbon pool of grassland Ecosystem to human effects and global changes. *Advances in Earth Science*, 2009, 24(10): 1138-1148.
- [29] Wang W, Wu J G, Han X G. Estimation of soil carbon sequestration potential in typical steppe of Inner Mongolia and associated uncertainty. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(1): 29-37.
- [30] Liu M Q, Hu F, Chen X Y. A review on mechanisms of soil organic carbon stabilization. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2642-2650.

参考文献:

- [1] 吕贻忠, 李保国. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2006: 138-170.
- [3] 徐明岗, 于荣, 王伯仁. 长期不同施肥下红壤活性有机质与碳库管理指数变化. *土壤学报*, 2006, 43(5): 723-729.
- [8] 徐明岗, 于荣, 孙小凤, 刘骅, 王伯仁, 李菊梅. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(4): 459-465.
- [9] 韩新辉, 佟小刚, 杨改河, 薛亚龙, 赵发珠. 黄土丘陵区不同退耕还林地土壤有机碳库差异分析. *农业工程学报*, 2012, 28(12): 223-229.
- [10] 薛蕊, 刘国彬, 潘彦平, 戴全厚, 张超, 余娜. 黄土丘陵区人工刺槐林土壤活性有机碳与碳库管理指数演变. *中国农业科学*, 2009, 42(4): 1458-1464.
- [12] 韩道瑞, 曹广民, 郭小伟, 张法伟, 李以康, 林丽, 李婧, 唐艳鸿, 古松. 青藏高原高寒草甸生态系统碳增汇潜力. *生态学报*, 2011, 31(24): 7408-7417.
- [13] 李娜, 王根绪, 高永恒, 籍长志. 青藏高原生态系统土壤有机碳研究进展. *土壤*, 2009, 41(4): 512-519.
- [14] 范宇, 刘世全, 张世熔, 邓良基. 西藏地区土壤表层和全剖面背景有机碳库及其空间分布. *生态学报*, 2006, 26(9): 2834-2846.
- [15] 王启基, 李世雄, 王文颖, 景增春. 江河源区高山嵩草 (*Kobresia pygmaea*) 草甸植物和土壤碳、氮储量对覆被变化的响应. *生态学报*, 2008, 28(3): 885-894.
- [16] 高俊琴, 欧阳华, 白军红. 若尔盖高寒湿地土壤活性有机碳垂直分布特征. *水土保持学报*, 2006, 20(1): 76-86.
- [17] 王文颖, 王启基, 鲁子豫. 高寒草甸土壤组分碳氮含量及草甸退化对组分碳氮的影响. *中国科学D 辑: 地球科学*, 2009, 39(5): 647-654.
- [18] 李元寿, 张人禾, 王根绪, 赵林, 丁永建, 王一博. 青藏高原典型高寒草甸区土壤有机碳氮的变异特性. *环境科学*, 2009, 30(6): 1826-1831.
- [19] 蔡晓布, 周进, 钱成. 不同退化程度高寒草原土壤微生物活性变化特征研究. *土壤学报*, 2008, 45(6): 1110-1118.
- [20] 郭小伟, 韩道瑞, 张法伟, 李以康, 林丽, 李婧, 曹广民. 青藏高原高寒草原碳增汇潜力的初步研究. *草地学报*, 2011, 19(5): 740-745.
- [21] 西藏自治区土地管理局. 西藏自治区土壤资源. 北京: 科学出版社, 1994: 151-153.
- [22] 吴建国, 张小全, 徐德应. 六盘山林区几种土地利用方式下土壤活性有机碳的比较. *植物生态学报*, 2004, 28(5): 657-644.
- [26] 马秀枝, 王艳芬, 汪诗平, 王金枝, 李长生. 放牧对内蒙古锡林河流域草原土壤碳组分的影响. *植物生态学报*, 2005, 29(4): 569-576.
- [27] 宇万太, 马强, 赵鑫, 周桦, 李建东. 不同土地利用类型下土壤活性有机碳库的变化. *生态学杂志*, 2007, 26(12): 2013-2016.
- [28] 肖胜生, 董云社, 齐玉春, 彭琴, 何亚婷, 杨智杰. 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. *地球科学进展*, 2009, 24(10): 1138-1148.
- [29] 王玮, 邬建国, 韩兴国. 内蒙古典型草原土壤固碳潜力及其不确定性的估算. *应用生态学报*, 2012, 23(1): 29-37.
- [30] 刘满强, 胡锋, 陈小云. 土壤有机碳稳定机制研究进展. *生态学报*, 2007, 27(6): 2642-2650.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.24 Dec., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The problems in red soil ecosystem in southern of China and its countermeasures ZHAO Qiguo, HUANG Guoqin, MA Yanqin (7615)
- Fundamentals of Ecology: promoting ecology from tradition to modern: To Commemorate The 100th Anniversary of E. P. Odum's Birthday BAO Qingde, ZHANG Xiufen (7623)
- Food chain length theory: a review ZHANG Huan, HE Liang, ZHANG Peiyu, et al (7630)

Autecology & Fundamentals

- Foraging and bed site selection of Tianshan argali (*Ovis ammon karelini*) in Central Tianshan Mountains in Summer LI Ye, YU Yuqun, SHI Jun, et al (7644)
- Inhibition of pine coneworm, larvae *Dioryctria pryeri*, on herbivore-induced defenses of *Pinus tabulaeformis* ZHANG Xiao, LI Xiuling, LI Xingang, et al (7651)
- Response of periphyton to nutrient level and relationships between periphyton and decay degree of *Potamogeton crispus* WEI Hongnong, PAN Jianlin, ZHAO Kai, et al (7661)
- Correlative study between chemical constituents and ecological factors of *Notopterygii Rhizoma* Et Radix of endangered plateau plant HUANG Linfang, LI Wentao, WANG Zhen, et al (7667)
- Induced changes in soil microbial transformation of nitrogen in maize rhizosphere by 4-year exposure to O₃ WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (7679)
- Changes of digestive enzyme activity of *Tegillarca granosa* exposed to cadmium and copper CHEN Xiaoxiao, GAO Yetian, WU Hongxi, et al (7690)

Population, Community and Ecosystem

- Population dynamics and density of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in different habitats ZHENG Sining (7699)
- Litter fall production and nutrient dynamic of *Cinnamomum camphora* and *Pinus massoniana* mixed forests in subtropics China LI Zhongwen, YAN Wende, ZHENG Wei, et al (7707)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Assessing the spatial representativeness of eddy covariance flux observation stations of terrestrial ecosystems in China WANG Shaoqiang, CHEN Diecong, ZHOU Lei, et al (7715)
- The coupling relationship between variations of NDVI and change of aeolian sandy land in the Yarlung Zangbo River Basin of Tibet, China LI Haidong, SHEN Weishou, CAI Bofeng, et al (7729)
- Effects of higher resolution image and spatial grain size on landscape pattern in a small watershed of the farming-pastoral zone ZHANG Qingyin, FAN Jun (7739)
- The changes of soil organic carbon and carbon management index in alpine steppe CAI Xiaobu, YU Baozheng, PENG Yuelin, et al (7748)
- Spatial heterogeneity of soil organic carbon and total nitrogen at small scale in subalpine meadow and *Picea meyeri* forest in Luya Mountain WU Xiaogang, GUO Jinping, TIAN Xuping, et al (7756)
- Active pools of soil organic carbon in subtropical forests at different successional stages in Central Hunan, China SUN Weijun, FANG Xi, XIANG Wenhua, et al (7765)
- The impact of sheet and gully erosion on soil aggregate losses in the black soil region of Northeast China JIANG Yiliang, ZHENG Fenli, WANG Bin, et al (7774)
- Net nitrogen mineralization in soils of Napahai wetland in Northwest Yunnan XIE Chengjie, GUO Xuelian, YU Leichao, et al (7782)

- Variation of soil fertility in *Eucalyptus robusta* plantations after controlled burning in the red soil region and its ecological evaluation YANG Shangdong, WU Jun, TAN Hongwei, et al (7788)
- The spatio-temporal variations of vegetation cover in the Yellow River Basin from 2000 to 2010 YUAN Lihua, JIANG Weiguo, SHEN Wenming, et al (7798)
- Long-term dynamic simulation on forest landscape pattern changes in Mount Lushan LIANG Yanyan, ZHOU Nianxing, XIE Huiwei, et al (7807)
- Species habitat correlation analysis in temperate-subtropical ecological transition zone YUAN Zhiliang, CHEN Yun, WEI Boliang, et al (7819)
- Responses of Qilian junipers radial growth of different ecological environment and detrending method to climate change in Qinghai Province ZHANG Ruibo, YUAN Yujiang, WEI Wenshou, et al (7827)
- Resource and Industrial Ecology**
- The pattern of ecological capital in Daxiaoxinganling, Heilongjiang Province, China MA Lixin, QIN Xuebo, SUN Nan, et al (7838)
- Research and implementation of mobile data collection system for field survey of ecological environment SHEN Wenming, SUN Zhongping, ZHANG Xue, et al (7846)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- A remote sensing urban ecological index and its application XU Hanqiu (7853)
- Research Notes**
- Genetic diversity and DNA fingerprint of *Pleioblastus* by ISSR HUANG Shujun, CHEN Liguang, XIAO Yongtai, et al (7863)
- Comprehensive evaluation on photosynthetic and fluorescence characteristics in seedlings of 4 drought resistance species LU Guangchao, XU Jianxin, XUE Li, et al (7872)
- Stock difference of *Coelomactra antiquata* based on nuclear (ITS2) and mitochondrial (16S rRNA) DNA sequence and secondary structure MENG Xueping, SHEN Xin, ZHAO Nana, et al (7882)
- The mechanism of the characters of inorganic carbon acquisition to temperature in two *Ulva* species XU Juntian, WANG Xuwen, ZHONG Zhihai, et al (7892)
- Research on changes of dynamic characteristics of rainfall though *Platycladus Orientalis* plantation canopy in Beijing Mountain Area SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jianhui, et al (7898)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 丁 平

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 24 期 (2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 24 (December, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元