

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 11 期 Vol.31 No.11 **2011**

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 31 卷 第 11 期

2011 年 6 月 (半月刊)

目 次

微生物介导的碳氮循环过程对全球气候变化的响应·····	沈菊培, 贺纪正 (2957)
巢湖蓝藻水华形成原因探索及“优势种光合假说”·····	贾晓会, 施定基, 史绵红, 等 (2968)
我国甜菜夜蛾间歇性暴发的非均衡性循环波动·····	文礼章, 张友军, 朱 亮, 等 (2978)
庞泉沟自然保护区华北落叶松林的自组织特征映射网络分类与排序·····	张钦弟, 张金屯, 苏日古嘎, 等 (2990)
上海大莲湖湖滨带湿地的生态修复·····	吴 迪, 岳 峰, 罗祖奎, 等 (2999)
芦芽山典型植被土壤有机碳剖面分布特征及碳储量·····	武小钢, 郭晋平, 杨秀云, 等 (3009)
土壤微生物群落结构对中亚热带三种典型阔叶树种凋落物分解过程的响应·····	张圣喜, 陈法霖, 郑 华 (3020)
中亚热带几种针、阔叶树种凋落物混合分解对土壤微生物群落碳代谢多样性的影响·····	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3027)
桂西北喀斯特峰丛洼地表层土壤养分时空分异特征·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (3036)
重金属 Cd 胁迫对红树蚬的抗氧化酶、消化酶活性和 MDA 含量的影响·····	赖廷和, 何斌源, 范航清, 等 (3044)
海南霸王岭天然次生林边缘效应下木质藤本与树木的关系·····	乌玉娜, 陶建平, 奚为民, 等 (3054)
半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复土壤水分的相对亏缺·····	杨 磊, 卫 伟, 莫保儒, 等 (3060)
季节性干旱对中亚热带人工林显热和潜热通量日变化的影响·····	贺有为, 王秋兵, 温学发, 等 (3069)
新疆古尔班通古特沙漠南缘多枝桉柳光合作用及水分利用的生态适应性·····	王珊珊, 陈 曦, 王 权, 等 (3082)
利用数字图像估测棉花叶面积指数·····	王方永, 王克如, 李少昆, 等 (3090)
野生大豆和栽培大豆光合机构对 NaCl 胁迫的不同响应·····	薛忠财, 高辉远, 柳 洁 (3101)
水磷耦合对小麦次生根特殊根毛形态与结构的影响·····	张 均, 贺德先, 段增强 (3110)
应用物种指示值法解析昆崙山植物群落类型和植物多样性·····	孙志强, 张星耀, 朱彦鹏, 等 (3120)
基于 MSIASM 方法的中国省级行政区体外能代谢分析·····	刘 晔, 耿 涌, 赵恒心 (3133)
不同生态区烟草的叶面腺毛基因表达·····	崔 红, 冀 浩, 杨惠娟, 等 (3143)
B 型烟粉虱对 23 种寄主植物适应度的评估和聚类分析·····	安新城, 郭 强, 胡琼波 (3150)
杀虫剂啉虫脒和毒死蜱对捕食蜘蛛血细胞 DNA 的损伤作用·····	李 锐, 李生才, 刘 佳 (3156)
杀真菌剂咪鲜安对蓼花臂尾轮虫的影响·····	李大命, 陆正和, 封 琦, 等 (3163)
长、短期连续孤雌生殖对蓼花臂尾轮虫生活史和遗传特征的影响·····	葛雅丽, 席貽龙 (3170)
专论与综述	
区域景观格局与地表水环境质量关系研究进展·····	赵 军, 杨 凯, 邵 俊, 等 (3180)
露水对植物的作用效应研究进展·····	叶有华, 彭少麟 (3190)
葡萄座腔菌科研究进展——鉴定, 系统发育学和分子生态学·····	程燕林, 梁 军, 吕 全, 等 (3197)
人工林生产力年龄效应及衰退机理研究进展·····	毛培利, 曹帮华, 田文侠, 等 (3208)
树木年轮在干扰历史重建中的应用·····	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (3215)
植物中逆境反应相关的 WRKY 转录因子研究进展·····	李 冉, 娄永根 (3223)
研究简报	
三江源地区高寒草原土壤微生物活性和微生物量·····	任佐华, 张于光, 李迪强, 等 (3232)
3 种黑杨无性系水分利用效率差异性分析及相关 <i>ERECTA</i> 基因的克隆与表达·····	郭 鹏, 夏新莉, 尹伟伦 (3239)
猕猴桃园节肢动物群落重建及主要类群的生态位·····	杜 超, 赵惠燕, 高欢欢, 等 (3246)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 298 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-06



封面图说: 盘锦市盘山县水稻田——盘锦市位于辽宁省西南部, 自古就有“鱼米之乡”的美称。这里地处温带大陆半湿润季风气候, 有适宜的温度条件和较长的生长期以供水稻生长发育, 农业以种植水稻为主, 年出口大米达 1 亿多公斤, 是国家级水稻高产创建示范区和重要的水稻产区。

彩图提供: 沈菊培博士 中国科学院生态环境研究中心 E-mail: jpshe@reccs.ac.cn

芦芽山典型植被土壤有机碳剖面分布特征及碳储量

武小钢, 郭晋平*, 杨秀云, 田旭平

(山西农业大学林学院, 山西 太谷 030801)

摘要: 基于芦芽山沿海拔梯度分布的灌丛草地、针阔混交林、寒温性针叶林和亚高山草甸四类典型植被下土壤剖面实测数据, 分析了土壤有机碳的垂直分布特征及其与土壤理化因子的关系。结果表明, 各植被类型下土壤剖面上层 SOC 含量最高, 最大值往往出现在 10—20 cm 层, 然后向下逐渐减小。土壤有机质含量由剖面上层最大值向下降过程中, 某深度土壤剖面层段有机质含量急剧减小。亚高山草甸剖面这一深度为 20 cm, 寒温性针叶林剖面为 50 cm, 针阔混交林剖面为 20 cm, 灌丛草地剖面为 40 cm。0—10 cm 层各植被类型间 SOC 含量差异不显著; 10—20 cm 层, 亚高山草甸和寒温性针叶林 SOC 含量显著高于其他类型; 20—50 cm 层, 亚高山草甸 SOC 含量与灌丛草地接近, 显著高于针阔混交林, 低于寒温性针叶林。植被类型对有机碳剖面分布影响较大。土壤剖面各层有机碳含量与容重呈显著负相关, 与土壤含水量和全氮含量呈显著正相关, 与土壤 pH 值呈弱的负相关, 与深层黏粒和粉粒含量正相关, 在 30—50 cm 正相关性显著。逐步回归分析结果表明, 亚高山草甸 SOC 含量与土壤总氮含量、含水量和容重显著相关, 寒温性针叶林 SOC 含量与全氮含量显著相关, 针阔混交林 SOC 含量则与总氮含量和土壤容重显著相关, 而灌丛草地 SOC 含量与容重显著相关。在 20 cm 深度, 4 种植被土壤有机碳密度差异不显著; 50 cm 深度亚高山草甸、寒温性针叶林土壤有机碳储量显著高于针阔混交林和灌丛草地, 50 cm 深度土壤有机碳储量与海拔高度呈显著线性正相关 ($R^2=0.299, P=0.01$)。

关键词: 芦芽山; 土壤有机碳; 碳储量; 全氮; 容重; 含水量; 粘粒含量

Soil organic carbon storage and profile inventory in the different vegetation types of Luya Mountain

WU Xiaogang, GUO Jinping*, YANG Xiuyun, TIAN Xuping

Forestry College of Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China

Abstract: The patterns and controls of soil organic carbon (SOC) storage are critical for our understanding of the biosphere, given the importance of SOC for ecosystem process and feedback of this pool to atmospheric composition and the rate of climate change. Understanding the distribution of organic carbon inventories in soil profile is crucial for assessing regional, continental and global soil C storage and predicting and ameliorating the consequences of global change. This study was conducted to determine the soil organic carbon inventories of 0–1.0 m depth at 21 plots in four vegetation types from 1703 m to 2756 m in Luya Mountain. The four vegetation types were subalpine meadow (SM), cold-temperate needleleaf forest (CNF), coniferous and broad-leaved mixed forest (CBF) and shrub-grassland (SG) (former cropland). The results showed that the profile distribution of SOC was different under different vegetation types, indicating the effect of vegetation on SOC. The SOC storage in the profiles decreased generally with increasing depth under the four vegetation types, with sharp reduction at the depth of 20 cm for SM, 50 cm for CNF, 20 cm for CBF and 40 cm for SG. The maximum SOC storage occurred at the depth of 10–20 cm in most cases. The four vegetation types had no significant difference for SOC storage at the 0–10 cm soil profile. The SOC content of the SM was closer to that of SG at all the soil profiles, but was significantly higher than that of CBF and lower than that of CNF at the 20–50 cm soil depth. The SOC storage was

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30970480); 山西省自然基金资助项目 (2010021027-4, 2010021028-6); 山西农业大学引进人才科研基金项目 (416568)

收稿日期: 2010-11-10; **修订日期:** 2011-05-10

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

positively correlated with soil total nitrogen and water content, but negatively with bulk density. Soil organic carbon was significantly related with clay and silt content in deeper soil layers. The result of stepwise linear regression analysis showed that the SOC storage was correlated with total nitrogen, water content and bulk density for SM, with TN for CNF, TN and BD for CBF and BD for SG. Within 50 cm depth, the SOC storage was 13.564, 11.827, 9.461, 9.111 kg/m² for SM, CNF, CBF and SG respectively. The SOC storage in SM was significantly greater than in CBF and SG ($P=0.031$ and 0.021) within 50 cm depth, while there was no significant difference among the four vegetation types within 20 cm depth. There was an apparent trend that the soil organic carbon storage increased with increasing altitude ($R^2=0.299$, $P=0.01$).

Key Words: Luya Mountain; soil organic carbon; carbon storage; total nitrogen; bulk density; water content; clay content

土壤是陆地生态系统中最大的碳库,其碳储量占整个陆地生态系统碳库的 $2/3$ ^[1]。土壤有机碳(SOC)对于生态系统过程、大气组成及气候变化速率的作用及其重要意义已得到了普遍的认同^[2-4]。SOC在土壤剖面上垂直分布格局的差异影响土壤碳动态,因此土壤有机碳的垂直分布成为近10a来土壤有机碳库研究的一个重要内容。Jobbagy和Jackson基于对全球2700多个土壤剖面的分析研究了土壤有机碳含量与气候、质地的关系,验证了植被类型是土壤有机碳垂直分布控制因子的假说,随着土壤深度的增加,土壤有机碳含量与气候的关系逐渐减弱,而与质地的关系逐渐增强^[4]。Wang等利用第二次全国土壤普查获得的2473个土壤剖面数据对土壤有机碳与气候相关性的研究表明,SOC含量与年均降雨量显著正相关,而与年均温显著负相关,与年均降雨量相比,SOC的垂直分布与年均温的相关性更大^[5]。Batjes和Dijkshoor发现,降水和气候可以很好的预测土壤表层20 cm内SOC库^[6]。

近年来,国内学者对不同时空尺度上不同生态系统的SOC空间分布、动态及其与环境因子,如气候、植被、地形、海拔、成土母质和时间等的相关性开展了大量卓有成效的研究^[7-15],研究结果的发表为土壤碳管理技术研究提供了基础数据和理论支持,对土壤碳库的准确估算及碳通量评估提供了有力的支持。但是,土壤有机碳库并不是均匀的单一体,而是不同稳定性和周转期的异质复合体^[16]。土壤有机质的深度分布特征对于土壤有机碳库的总量计算及其稳定性均有直接影响,土壤有机质的剖面分布是有机质长期累积的结果,与土壤剖面的发育以及有机质的更新过程密切相关。全面翔实的土壤资料和观测数据对于SOC垂直分布格局及与气候、植被关系的认识和碳库估算精度具有重要意义。而更好地理解SOC的分布和控制因子,有助于提高我们预测并缓解全球气候和土地覆被变化不利影响的能力^[4]。

芦芽山是山西省北部的主要山脉之一,保存有大面积华北落叶林和云杉林,是目前黄土高原森林生态系统保存最完好的地区之一。芦芽山地区植被类型在中国暖温带中部山地森林区具有很强的典型性,目前对这一地区的研究报道多为植被群落生态^[17-19]、旅游开发与植被环境关系^[20]等方面,缺乏土壤碳相关研究案例。本文选择芦芽山沿海拔梯度分布的4种典型植被类型,调查了土壤有机碳在不同植被类型和不同土层深度的分布特征,探讨其控制机制,为研究不同植被类型土壤有机碳垂直分布特征提供基础资料,为山西乃至华北地区的土壤碳库精确估算提供更多基础数据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究地点位于芦芽山国家级自然保护区,芦芽山位于山西省吕梁山脉北端,黄土丘陵区东部边缘($38^{\circ}36'—39^{\circ}02'N$, $111^{\circ}46'—112^{\circ}54'E$),山体由东北向西南斜向延伸,地势高峻,最高峰荷叶坪海拔2772 m,是管涔山主峰,也是汾河水源。植被具有明显的垂直地带性,从高海拔到低海拔依次分布着亚高山草甸带、寒温性针叶林带、针阔叶混交林带、灌草丛及农垦带^[17]。土壤主要是在残积和坡积母质上发育起来的,随海拔高度增加依次为山地褐土(栗褐土)、山地淋溶褐土、棕色森林土和亚高山草甸土^[18]。地貌属吕梁土石山类型区,岩石以灰岩、片麻岩、花岗岩、沙岩等为主(表1)。受蒙古高原气候影响,具有明显的大陆性气候特点,夏季凉爽多雨,冬季寒冷干燥。据地理位置最近的五寨县气象站(海拔1401 m)提供的1971—2000年气象资料

数据(图1),该地区年均温4.3—6.7℃,1月均温-19.6℃,极端最低温-36.6℃,7月均温19.9℃,极端最

表1 样地基本情况表
Table 1 The basic characteristics of the study sites

样地植被类型 Vegetation type Plot No.	海拔 Altitude/m	坡度 Slope/(°)	坡向 Aspect	土壤与母质类型 Soil parent material	植物种类 Vegetation
亚高山草甸 (SM) (3)	2656.8—2756.3	11—18	阳坡	亚高山草甸土 母质以变质岩 风化残积物 为主	苔草(<i>Carex</i> sp.)、车前(<i>Plantago asiatica</i>)、珠芽蓼(<i>Polygonum viviparum</i>)、红纹马先蒿(<i>Pedicularis striata</i>)、高山嵩草(<i>Kobresia pygmaea</i>)、老鹳草(<i>Geranium wilfordii</i>)、蒲公英(<i>Taraxacum mongolicum</i>)
寒温性针叶林 (CNF) (9)	2182.1—2598.4	17—38	阴坡 半阴坡	棕壤 母质为花岗片 麻岩类风化的 残、坡积物	乔木种白杆(<i>Picea meyeri</i>)、青杆(<i>Picea wilsonii</i>)和华北落叶松(<i>Larix principis-rupprechtii</i>)为建群种,群落总盖度90%以上,乔木层郁闭度0.7—0.8;灌木种类主要有粗毛忍冬(<i>Lenicera hispida</i>)、三亚绣线菊(<i>Spiraea trilobata</i>)、悬钩子(<i>Rubus</i> sp.);草本植物主要有老鹳草(<i>Geranium danuricum</i>)、苔草(<i>Carex</i> spp.)、翼茎风毛菊(<i>Saussurea sobarocephala</i>)、乌头(<i>Aconitum</i> spp.)等
针阔混交林 (CBF) (5)	1906.1—2116.5	21—40	阳坡 半阳坡	淋溶褐土 母质为花岗片 麻岩类风化物	乔木种白杆、华北落叶松、白桦(<i>Betula platyphylla</i>)、红桦(<i>Betula albosinensis</i>)和山杨(<i>Populus davidiana</i>)为建群种,群落总盖度95%以上,乔木层郁闭度0.5—0.6;灌木种类主要有三亚绣线菊(<i>Spiraea trilobata</i>)、粗毛忍冬(<i>Lenicera hispida</i>)、多花栒子(<i>Cotoneaster multiflorus</i>);草本种类主要有苔草(<i>Carex</i> spp.)、马先蒿(<i>Pedicularis</i> sp.)、龙胆(<i>Gentiana</i> spp.)
灌丛草地 (SG) (4)	1703.1—1851.0	16—21	阳坡	褐土性土 黄土类母质	2005年农田退耕后撂荒后形成,原种植农作物为莜麦(<i>Avenanuda</i>)、马铃薯(<i>Solanum tuberosum</i>)、谷子(<i>Setaria italica</i>),现主要植被为蒿类(<i>Aster</i> sp.)、本氏针茅(<i>Stipa bungeana</i>)、大针茅(<i>Stipa grandia</i>)等,群落总盖度60%—70%

括号中的数字代表样地数量;土壤母质资料来源文献^[21]

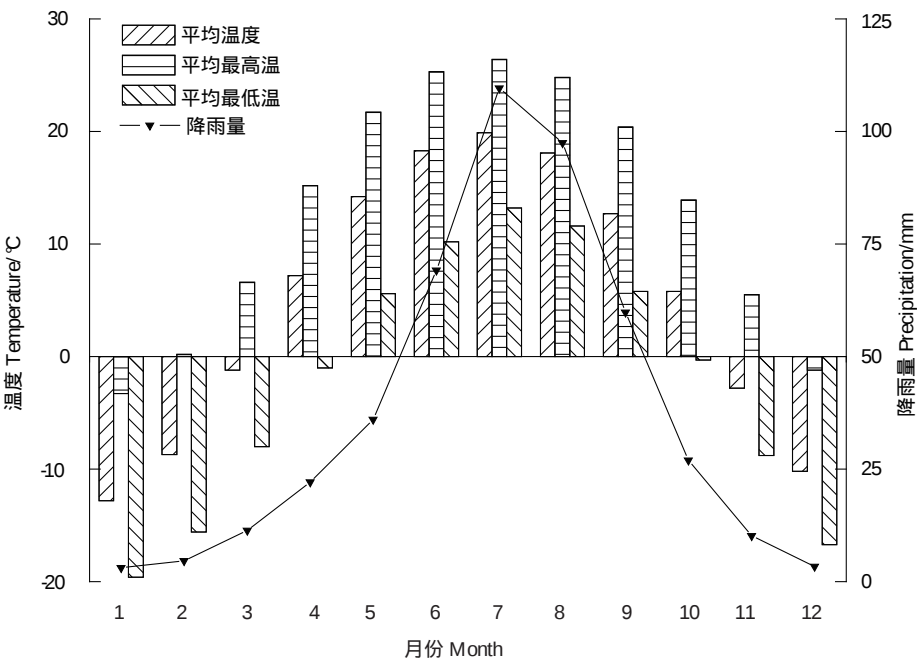


图1 五寨县 1971—2000 年逐月平均温度和降雨量
Fig. 1 Mean monthly temperature and precipitation in Wuzhai County

高温 34.2 ℃, 气温年较差和日较差大; 年均降雨量 453.9 mm, 分布不均, 6—9 月降雨量约占全年的 70%, 降水年际变化大, 历年最大降水量为 711.0 mm, 最少降水量为 252.9 mm; 年蒸发量 1800 mm, 年均相对湿度 50%—55%; 无霜期 130—170 d。

1.2 野外采样

2010 年 8 月, 在芦芽山从高海拔(2756.3 m)到低海拔(1703.1 m), 海拔每下降约 50 m 设置一个样地, 共计 21 块样地, 样地面积为 30 m×30 m。这些样地包括亚高山草甸、寒温性针叶林、针阔混交林和灌丛草地四种群落类型。现场调查每个样方中植物物种数、优势种、平均高度和平均盖度, 并调查坡度、海拔、坡向与土壤类型。

每个样地挖 1 个土壤剖面, 剖面深度视不同样地土层厚度而定, 以 1 m 为最大深度。首先在开挖的探坑一侧面选取采样柱位置, 削平采样柱侧面, 测定土壤表层凋落物层厚度后贴地面铲除采样柱表面(30 cm×30 cm)的植物和凋落物, 使用容积 100 cm³的环刀按 10 cm 间距分层采样以测定土壤容重, 同时用不锈钢采样刀分层采集用于测定土壤有机碳的土壤, 样品用塑料袋密封后带回实验室。

1.3 室内分析

土样基本理化性质的测定采用常规分析方法^[22], 土壤总有机碳采用重铬酸钾氧化-外加热法, 全氮采用半微量凯氏定氮法, 土壤 pH 值测定采用电位法, 土壤颗粒机械组成采用比重计法, 土壤含水量测定采用重量法, 土壤容重采用环刀法。每一测定项目做 3 个重复, 两个平行。

1.4 数据处理

本研究中, 将 21 个样地按照植被类型划分为亚高山草甸、寒温性针叶林、针阔混交林和灌丛草地 4 种, 用于分析过程的每一剖面层 SOC 含量及土壤理化指标值取同一植被类型样地测定值的算术平均值($N \geq 3$), 样本数不足 3 的土壤剖面层不计入; 由于不同植被类型不同样地下土层厚度不一, 为了便于分析和比较, 分别计算 20 cm 和 50 cm 深度的土壤碳储量。土壤碳储量采用分层法计算, 具体见公式(1):

$$SSOC = \sum_{i=1}^n 0.58 \times T_i \times \rho_i \times M_i \times (1 - C_i) \times 10^{-1} \quad (1)$$

式中, $SSOC$ 为特定深度的土壤有机碳含量(kg/m²), 0.58 为 Bemmelen 系数(将有机质浓度转化为有机碳浓度), T_i 为第 i 层土壤的厚度(cm), ρ_i 为第 i 层土壤容重(g/cm³); M_i 为第 i 层土壤有机质浓度(%), C_i 为 > 2mm 的砾石含量(%), n 为剖面土层数^[14]。

所有数据均采用 SPSS17.0 统计软件进行统计分析, 不同植被类型的土壤数据变量的差异运用 One-Way ANOVA 分析, 比较用 Turkey's-b 方差分析, 相关性分析用 Pearson 相关分析。图形用 Origin Pro8.0 软件制作。

2 结果与分析

2.1 SOC 含量剖面分布特征

芦芽山各植被类型下土壤剖面上层 SOC 含量最高, 最大值往往出现在 10—20 cm 层, 然后向下逐渐减小。土壤有机质含量由剖面上层最大值向下降过程中, 某深度土壤剖面层段有机质含量深度变率最大(图 2)。不同植被类型间 SOC 剖面分布明显不同。SM 剖面这一深度为 20 cm, CNF 剖面为 50 cm, CBF 剖面为 20 cm, SG 剖面为 40 cm。再向下, 有机质含量随深度增加逐渐减小, 有机质含量变化较小, 直至稳定。

0—10 cm 土层 SOC 含量各植被类型间差异不显著; 10—20 cm 土层 SOC 含量 SM 最大, 与 CNF 无显著差异, 与 CBF 和 SG 差异显著; 20—40 cm 土层 SOC 含量 SM 和 FS 接近, 显著高于 CBF, 而低于 CNF。40—50 cm 土层 CNF 的 SOC 含量仍处于较高水平, 达到 27.227 g/kg, 显著高于其他植被类型。50 cm 以下剖面各层 SOC 含量各植被类型间基本无显著差异。

2.2 SOC 含量与土壤理化因子的相关性

本研究中, 随着土壤深度增加, 4 种植被类型土壤容重总体上均表现为逐渐增加(图 3), 4 种植被类型下土壤容重表现为: CBF>SG>SM>CNF; 土壤含水量和全氮含量逐渐下降。灌丛草地土壤为褐土性土, 受成土母

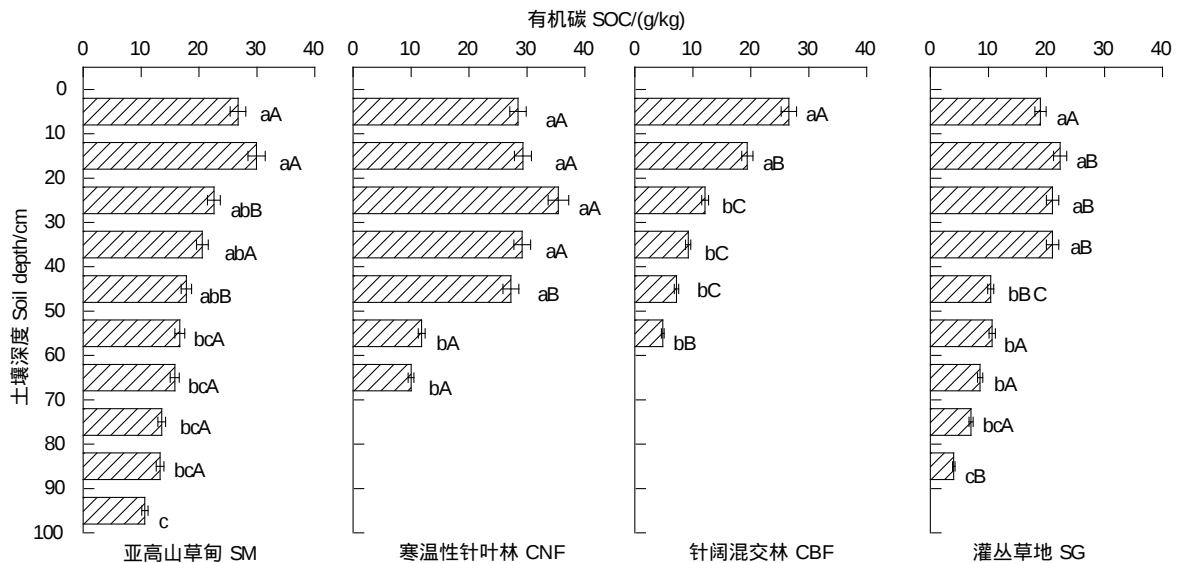


图2 不同海拔高度典型植被类型下各深度土层 SOC 含量

Fig. 2 The vertical distribution of SOC in the soil profile content along altitude gradient

SM; subalpine meadow; CNF; cold-temperate needle-leaf forest; CBF; coniferous and broad-leaved mixed forest; SG; shrub-grassland

数字后不同大、小写字母分别表示不同植被类型同一土层和同一植被类型不同土层间在 $P < 0.05$ 水平下差异性显著

质影响,土体有石灰反应,因此剖面各层 pH 值均呈现弱碱性(7.49—7.96),其他3种植被类型土壤母质为花岗片麻岩残坡积物,土体中碳酸钙淋溶过程强烈,均为弱酸性(6.27—6.96)。亚高山草甸土壤 pH 值随土层加深呈现逐渐降低趋势,其他3种植被类型表现为递增。

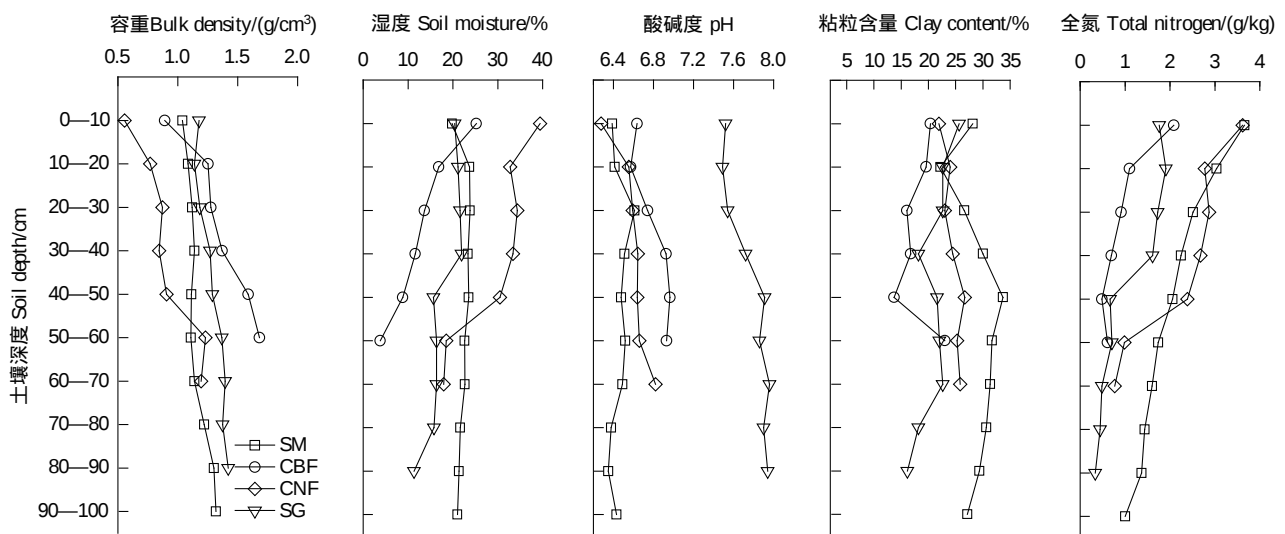


图3 不同植被类型土壤各层次理化指标的变化

Fig. 3 Changes of soil properties by depth interval under different vegetation types

在自然条件下,影响土壤有机碳分布的主要因素为气候、植被、土壤母质及土壤质地^[15]。由表2可知,土壤剖面各层有机碳含量与容重显著负相关关系,与土壤含水量显著正相关,与全氮含量显著正相关,与土壤 pH 值为弱负相关,而与黏粒和粉粒含量仅在 30—40 cm 和 40—50 cm 两个层次表现出显著正相关性。在此基础上,基于逐步回归分析进一步考察不同植被类型土壤有机碳与土壤理化性质的相关性(表3),结果表明亚高山草甸土壤有机碳含量与土壤总氮含量、含水量和容重的显著相关,寒温带针叶林 SOC 含量与全氮含量

显著相关,针阔混交林土壤有机碳含量则与总氮含量和土壤容重显著相关,而灌丛草地则 SOC 含量与容重显著相关。

表 2 不同深度土壤有机碳含量与土壤理化性质的相关性

Table 2 The statistic character and association of SOC content with soil properties by depth interval								
土层 Soil depth /cm	有机质含量 SOC content /(g/kg)	标准差 Std. deviation	相关性分析 Correlation analysis					
			容重 Bulk density	含水量 Water content	酸碱度 pH	全氮 Total nitrogen	黏粒含量 Clay content	粉粒含量 Silt content
0—10	27.598	10.067	-0.289	0.684 **	-0.377	0.606 **	0.382	-0.227
10—20	24.305	10.062	-0.502 *	0.508 *	-0.199	0.711 **	-0.055	0.375
20—30	24.453	13.663	-0.806 **	0.791 *	-0.276	0.763 **	0.335	0.403
30—40	22.708	10.241	-0.800 **	0.657 *	-0.239	0.612 **	0.509 *	0.671 **
40—50	20.213	10.700	-0.779 **	0.857 **	-0.264	0.840 **	0.500 *	0.562 *
50—60	17.323	7.397	-0.741 **	0.661 *	-0.025	0.461	0.117	0.084
60—70	17.527	8.991	-0.714 *	0.670 *	-0.373	0.863 **	0.224	0.411
70—80	15.045	12.358	-0.863 **	0.943 **	-0.572	0.928 **	0.586	0.203
80—90	12.517	6.032	-0.616 *	0.925 **	-0.795 *	0.786 *	0.729	-0.047

* 显著性水平 0.05 (双尾); ** 显著性水平 0.01 (双尾)

表 3 不同植被类型土壤有机碳与土壤理化性质的相关性

Table 3 Relationships between soil organic and soil properties			
植被类型 Vegetation types	回归关系 Regression model	复相关系数 R	显著性检验 P
亚高山草甸 SM	SOC = -30.106 + 7.457TN + 0.804WC + 13.245BD	0.946	<0.001
寒温性针叶林 CNF	SOC = 11.124 + 6.612TN	0.608	<0.001
针阔混交林 CBF	SOC = 20.394 + 8.592TN - 11.314BD	0.926	<0.001
灌丛草地 SG	SOC = 49.686 - 26.784BD	-0.721	<0.001

2.3 不同植被类型土壤有机碳储量及其与海拔的相关性

图 4 显示了不同植被类型下 20 cm、50 cm 深度的土壤有机碳储量。亚高山草甸、寒温性针叶林、针阔叶混交林和灌丛草地 0—20 cm 表层土壤有机碳储量占 50 cm 深度内有机碳储量的 40.9%、35.9%、52.9% 和 48.8%。在 20 cm 深度,亚高山草甸的土壤有机碳密度最大,高于寒温性针叶林、针阔叶混交林和灌丛草地,经独立样本 T 检验,差异未达到显著水平。50 cm 深度下亚高山草甸具有最高的土壤有机碳储量(13.564 kg/m²),其次寒温性针叶林和针阔混交林,灌丛草地最低(9.111 kg/m²),针阔混交林和灌丛草地土壤有机碳储量显著低于亚高山草甸(P=0.031、0.021)。50 cm 深度土壤有机碳储量与海拔高度呈显著线性正相关(P=0.01)。

3 讨论

3.1 不同植被类型下土壤有机碳含量剖面分布特征形成机制探讨

因土壤有机碳在全球碳循环中的重要性,土壤 0—100 cm 深度范围内,尤其是上层 20 cm、30 cm 和 50 cm 深度的有机碳垂直分布及其影响因素近来吸引了许多研究人员的关注^[4-5, 10, 13, 23]。Jobbágy 和 Jackson 利用 3

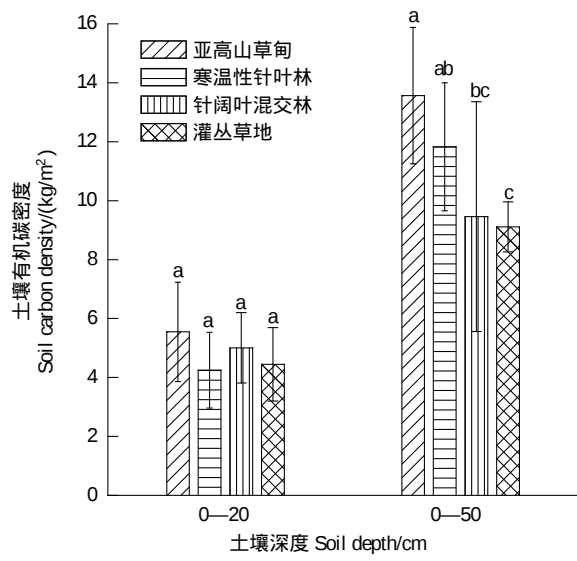


图 4 不同植被类型土壤有机碳密度

Fig. 4 Soil carbon density under different vegetation type

个全球数据库的数据分析了 2700 多个土壤剖面,发现不同植被类型 SOC 在土壤剖面上垂直分布显著不同,因此认为植被类型可能是影响 SOC 垂直分布格局的主要因素^[4],Wang 等也得出了同样结论^[5],其形成机理可能与不同植被光合产物的分配模式有关,光合产物分配模式的差异影响以凋落物形式输入的碳在 SOC 输入中的相对数量^[4]。本研究中,山西芦芽山沿海拔梯度分布的 4 种植被类型的土壤有机碳含量的垂直剖面分布具有各自的典型特征。森林生态系统土壤有机碳输入以地上凋落物为主,土壤形成了明显的有机质层,样地调查表明寒温性针叶林下有 30—50 cm 左右的腐殖质层,而针阔混交林下仅有 10—20 cm 的腐殖质层,这一层次含有 SOC 的大部分。草地光合产物主要分配于地下部分,根系是 SOC 输入的主要形式,这可能是草地 SOC 在土壤各剖面层分布较为均匀的原因^[24]。由农田撂荒后形成的灌丛草地由于年限较短,植被稀疏,根系较浅,根生物量较低,尤其是深层土壤中植物的根系更少,因此表层有机碳含量较高,而 40 cm 以下有机碳含量急剧下降。因此,草本、木本植被类型根系分布格局的差异是影响 SOC 垂直分布格局的一个重要因素。此外,与草地相比,森林植被凋落物品质较低^[4],寒温性针叶林分布于海拔较高处,冷湿的气候环境导致地表凋落物的分解速率较低^[8],造成有机碳在表层土壤积累。森林植被凋落物阔叶树叶 C/N 比低于针叶,两者混合可加速针叶树落叶的分解^[25],使得针阔混交林土壤表层有机碳更易损失^[8],下层积累少,加之较高的土壤容重不利于植物根系生长,因此针阔混交林 SOC 集中分布在 0—20 cm 层,20 cm 以下 SOC 含量急剧下降。而长期耕作过程中耕作措施对土壤的混合和有机物料的投入,可能是撂荒形成的灌丛草地 0—40 cm 层 SOC 含量较高且分布均匀的主要原因。

3.2 有机碳含量与土壤理化因子的相关性

土壤中有机质输入量在很大程度上取决于气候条件、土壤水分状况与养分有效性、植被生长及人为扰动等因素,而有机物质的分解速率则依赖于有机物质的化学组成、土壤水热状况及物理化学等因素^[26]。土壤容重直接影响土壤通气性和孔隙度、根系穿透阻力以及根系的生长和发育^[27]。本研究的结果显示土壤有机碳含量与容重显著负相关,这与张鹏等在祁连山获得研究结论相一致^[9],与 20 cm 以下土壤容重呈现极显著负相关性。其原因可能在于高容重土壤条件下,土壤碳的矿化和氮的硝化被抑制^[28]。王淑萍等对中国东北样带土壤活性有机碳的研究表明^[15],活性有机碳与容重显著正相关,这表明容重对土壤有机碳库不同组分具有不同的效应,其内在机制如何有待于进一步探讨。

土壤湿度是影响土壤有机碳库的重要因子,本研究的结果显示 0—90 cm 各层土壤有机碳含量与土壤含水量显著正相关,这与同类研究结果相同^[9,15],也符合在大尺度上获得的土壤有机碳含量与降雨量正相关的研究结论相一致^[4,7,10]。但也有研究认为随土壤湿度降低,根呼吸下降,有利于有机碳的积累,同时土壤湿度降低也有利于生物量向地下分配,因此碳库将增加^[29]。土壤水分含量的高低对土壤孔隙的通透性、植物根系和微生物活动有很大影响^[23],有研究表明如果所观测到的水分的变化不足以影响微生物与植物根系的活动,则难以明确水分对土壤呼吸的影响^[30]。因此,土壤有机碳含量与土壤水分含量的关系需要界定在一定范围来研究,所取得研究结论才具有普遍意义。

一般认为,土壤有机碳随粉粒和粘粒含量的增加而增加,这主要反映在粉粒对土壤水分有效性、植被生长的正效应及粘粒对土壤有机碳的保护作用^[13,26],土壤有机碳矿化潜力与土壤粘粒和粉粒含量极显著正相

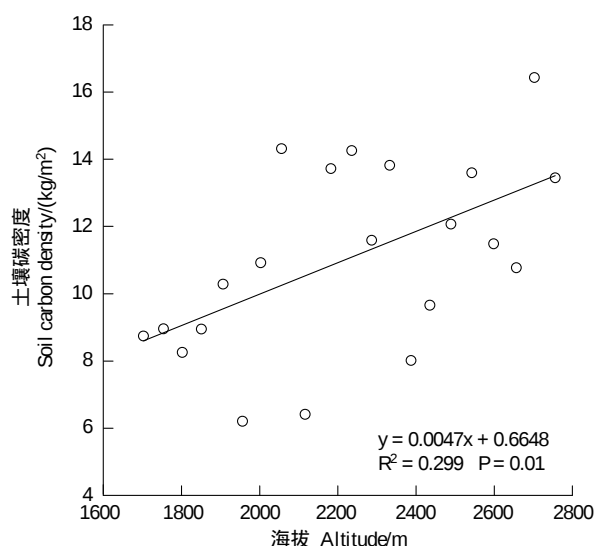


图 5 土壤有机碳密度与海拔的关系

Fig.5 Relationship of Soil carbon density and altitude

关^[31]。Batjes 和 Dijkshoor 的研究则显示^[6],降水和气候可以很好的预测土壤表层 20 cm 内 SOC 库,但是在土壤深层,SOC 则与粘粒含量关系更为密切,这可能与稳定性 SOC 增加有关。本研究中,SOC 含量与粘粒和粉粒的含量仅在土壤剖面 30—50 cm 层显著正相关,在其他剖面层次其正相关性未达到显著水平,本研究结果进一步支持了 Batjes 等人的研究结论。本研究中 50 cm 以下各层土壤 SOC 与粘粒含量相关性不显著的原因可能是样本量较小($n=7$)。

本研究中,不同类型植被各剖面层土壤有机碳与土壤全氮均为极显著正相关性(表 2)。碳氮循环通过生产和分解紧密联系,以往研究表明,土壤 N 主要以有机氮的形式存在于有机质中,较低的矿质态有效氮和较高的 C/N 使得土壤有机碳的矿化速率下降^[8,23,31],导致土壤中有机碳积累量较高。土壤微生物的活性要求一定的酸度范围,土壤 pH 值过高(>8.5)或过低(<5.5)都会抑制微生物的活动,使有机碳分解速率下降^[9],本研究中 pH 值均在 6.2—7.9 之间,有机碳含量与 pH 值表现为弱负相关性。

回归分析结果表明,不同植被类型下土壤有机碳含量与土壤因子的相关性差异较大。位于较高海拔处阳坡的亚高山草甸(表 1),光合产物主要分配于地下部分,根系是 SOC 输入的主要形式^[4],根系周转和根系分泌物来源的 C 可以直接输入土壤不同剖面层,土壤含水量和容重对植被根系生长、土壤通气性、微生物活性具有显著影响,因此与 SOC 含量显著正相关。森林生态系统土壤有机碳输入以地上凋落物为主,土壤形成了明显的有机质层,含有 SOC 的大部分。寒温性针叶林下土壤腐殖质层深厚,土壤湿度大,因此 SOC 含量与全氮显著相关。而针阔混交林大量的根系聚集在土壤表层,腐殖质层较薄(<10 cm),DOC 淋溶对针叶林土壤 C 在不同土层的分配起着重要作用^[32],研究样地中土壤 20 cm 以下容重高,粘粒含量低(图 3),土壤容重和粒径分布影响着土壤水分、空气的运行和存在状态,进而影响土壤中物质和能量的迁移转化^[31],因此 SOC 含量与全氮和容重显著相关。灌丛草地 SOC 含量仅与土壤容重显著负相关,撂荒地 SOC 的截获主要取决于植物根系的长度和生物量^[23],而土壤容重对于土壤孔隙度与孔隙大小、分配、根系穿透阻力以及土壤水、肥、气、热等变化具有显著作用,深刻影响土壤微生物学特征及植物生长所需要养分的生物有效性^[27]。

3.3 不同植被类型 SOC 储量变化

土壤 C 库是生物因子与非生物因子长期共同作用的结果,其库容大小受到气候、植被、土壤理化特性以及人类活动等诸多因素的影响^[26]。海拔作为环境因子的综合体现,通过对植被类型和植被生产力的制约直接影响输入土壤的有机物质量,通过土壤温度和水分等条件影响微生物对有机质的分解和转化。以 50 cm 深度土壤有机碳储量分析,SOC 储量与海拔高度显著正相关(图 5),这与前人的研究结果一致^[8,12-13]。

土壤是一个不均匀的三维结构体,在空间上呈现复杂的镶嵌性,且与气候以及陆地植被和生物发生复杂的相互作用,从而使 SOC 密度具有极大的空间异质性^[7,33]。本研究中,同一植被类型下各样地的 SOC 密度变异大(图 4),如寒温性针叶林 50 cm 土壤碳密度介于 14.261—8.014 kg/m²,标准差为 2.17,针阔混交林土壤碳密度介于 14.314—6.202 kg/m²,标准差为 3.90。20 cm 土壤碳密度的空间变异低于 50 cm。土壤碳储量受植被类型、气候(温度和降水)、母岩、土壤理化生物学性质(土壤结构、质地、温度、湿度)等的综合影响。由表 2 可知,SOC 含量与土壤含水率、容重、N 含量、粘粒含量显著相关。在成土母质、气候条件和植被类型没有发生根本性的改变下,林分结构状况、光温、水、土壤结构和生物活动的差异往往是使土壤性质发生变异的主要因素^[34]。赵安玖等研究也得出表层土壤有机碳含量与叶面积指数、地表辐射、土壤含水量、土壤容重与土壤总孔隙度等显著相关的结论^[33]。在较小的尺度上,SOC 及变异性受土壤特性、植被分布、微立地以及干扰的影响。

芦芽山是山西省重要的夏季牧场,不合理的放牧方式造成草甸不同程度的退化,牲畜的啃食、践踏及排泄等行为不但直接干扰草甸土壤环境,还会造成植物群落结构发生改变,从而间接影响土壤有机碳的垂直分布格局。对新疆天山中段巴音布鲁克亚高山草甸碳含量及其垂直分布的研究表明,0—20 cm 土层有机碳密度占 0—100 cm 土壤有机碳密度的 49%^[14],本研究的结果为 29.2%。放牧干扰可能是产生较大差异的主要原因。五台山亚高山草甸从轻度干扰至重度干扰,土壤表层有机质含量逐渐降低^[35]。因此应重视对芦芽山草

地的保护,严格控制放牧和旅游开发活动强度,降低浅层土壤有机碳发生变化的可能性,维护土壤碳库的稳定性。

本试验结果基本反映出了沿海拔梯度分布的不同植被类型 SOC 剖面分布及其与土壤理化因子的关系。另外,本研究结果对于区域土壤 SOC 储量的估算是有效的补充,有助于提高估值的精度。本研究只做了不同植被类型土壤有机碳含量剖面特征及其与土壤理化特性相关性分析及有机碳储量的调查,由于缺乏研究地区不同海拔高度上温度和降雨量数据实测资料,未能对土壤有机碳与气候因子的相关性进行分析,也未进行凋落物和根系生物量调查分析,因此难以准确评价各因子在土壤有机碳库形成机制中的作用。今后可在水平样带或垂直样带上,采用相邻样地法比较研究不同植被类型对 SOC 动态的影响机制,包括不同植被类型对土壤性质及气候因子的改变作用,不同植被类型凋落物的量/质量及年变化动态,细根的垂直分布与土壤有机碳的关系,土壤碳库存、输入输出与土壤性质的相关关系。

4 结论

芦芽山不同植被类型土壤有机碳剖面分布特征表明,植被类型是土壤有机碳的垂直分布的主要影响因素。土壤理化特性对土壤有机碳含量具有显著影响,土壤剖面各层有机碳含量与容重显著负相关,与土壤含水量和全氮含量显著正相关,与土壤 pH 值为弱负相关,与深层黏粒和粉粒含量正相关。不同植被类型下土壤有机碳含量与土壤容重、含水量和全氮含量的相关性存在显著差异。土壤有机碳储量与海拔高度呈显著线性正相关。亚高山草甸、寒温带针叶林 50 cm 深度内土壤有机碳储量显著高于针阔叶混交林和灌丛草地。在 20 cm 深度,四种植被土壤有机碳密度差异不显著。

芦芽山山地土壤有机碳剖面分布特征具有明显区域性特征。深入研究不同气候-植被带土壤剖面有机质深度分布的区域性特点并加以定量描述,对于深入了解不同植被类型 SOC 差异的机理,对于准确评价土壤碳储量以及土壤碳循环模型研制均具有重要意义,且有助于提高土壤碳库管理水平。

References:

- [1] Schlesinger W H. Evidence from chronosequence studies for a low carbon-storage potential of soils. *Nature*, 1990, 348(6298): 232-234.
- [2] Raich J W, Potter C S. Global patterns of carbon dioxide emissions from soils. *Global Biogeochemical Cycles*, 1995, 9(1): 23-36.
- [3] Trumbore S E, Chadwick O A, Amundson R. Rapid exchange between soil carbon and atmospheric carbon dioxide driven by temperature change. *Science*, 1996, 272(5260): 393-396.
- [4] Jobbágy E G, Jackson R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, 2000, 10(2): 423-436.
- [5] Wang S Q, Huang M, Shao X M, Mickler R A, Li K R, Ji J J. Vertical distribution of soil organic carbon in China. *Environmental Management*, 2004, 33(1): 5200-5209.
- [6] Batjes N H, Dijkshoorn J A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. *Geoderma*, 1999, 89(3/4): 273-286.
- [7] Xie X L, Sun B, Zhou H Z, Li Z P. Soil carbon stocks and their influencing factors under native vegetations in China. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(5): 687-699.
- [8] Wang L, Ouyang H, Zhou C P, Zhang F, Song M H, Tian Y Q. Soil organic matter dynamics along a vertical vegetation gradient in the Gongga Mountain on the Tibetan Plateau. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2005, 47(4): 411-420.
- [9] Zhang P, Zhang T, Chen N L. Vertical distribution patterns of soil organic carbon and total nitrogen and related affecting factors along northern slope of Qilian Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(3): 518-524.
- [10] Wang Y G, Li Y, Ye X H, Chu Y, Wang X P. Profile storage of organic/inorganic carbon in soil: from forest to desert. *Science of the Total Environment*, 2010, 408(5): 1925-1931.
- [11] Yi Z G, Yi W M, Zhou G Y, Zhou L X, Zhang D Q, Ding M M. Soil carbon effluxes of three major vegetation types in Dinghushan Biosphere Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(8): 1673-1678.
- [12] Xu X, Chen Y Q, Wang J S, Fang Y H, Quan W, Ruan H H, Xu Z K. Variations of soil labile organic carbon along an altitude gradient in Wuyi Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(3): 539-544.
- [13] Xiang C H, Luan J W, Luo Z S, Gong Y B. Labile soil organic carbon distribution on influenced by vegetation types along an elevation gradient in west Sichuan, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(4): 1025-1034.

- [14] Anwar M, Yang Y H, Guo Z D, Fang J Y. Carbon contents and its vertical distribution in alpine grassland in Bayingbulak, middle stretch of the Tianshan Mountains of Xinjiang. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(4): 545-552.
- [15] Wang S P, Zhou G S, Gao S H, Guo J P. Distribution of soil labile carbon along the northeast China transect (NECT) and its response to climatic change. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(6): 780-785.
- [16] Perruchoud D, Joos F, Fischlin A, Hajdas I, Bonani G. Evaluating timescales of carbon turnover in temperate forest soils with radiocarbon data. *Global Biogeochemical Cycles*, 1999, 13(2): 555-573.
- [17] Zhang J T. Vertical zones of vegetation in Luya Mountain in Shanxi Province. *Scientia Geographica Sinica*, 1989, 9(4): 346-353.
- [18] Zhang L X, Zhang F, Shangguan T L. Quantity analysis of plant communities on Mountain Luya, Shanxi. *Chinese Bulletin of Botany*, 2001, 18(2): 231-239.
- [19] Zhang J T. Two-dimensional pattern analysis for dominant species and community in mountain meadow of Luya Mountain, Shanxi Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1264-1268.
- [20] Cheng Z H, Zhang J T, Wu B H, Niu L Q. Relationship between tourism development and vegetation environment in Luya Mountain Nature Reserve: vegetation landscape types and ordination. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1940-1946.
- [21] Liu Y Z, Zhang J Y. *Shanxi Soil*. Beijing: Science Press, 1992: 68-116.
- [22] Liu G S, Jiang N H, Zhang L D, Liu Z L. *Soil Physical and Chemical Analysis and Profile Description*. Beijing: China Standards Press, 1996.
- [23] Jiang Y, Zhang Y G, Liang W J, Wen D Z. Profile distribution and storage of soil organic carbon in an aquic brown soil as affected by land use. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(3): 544-550.
- [24] Peterson G G, Neill C. Using Soil ^{13}C to detect the historic presence of *Schizachyrium scoparium* (little bluestem) grasslands on Martha's Vineyard. *Restoration Ecology*, 2003, 11(1): 116-122.
- [25] Li Z A, Zou B, Ding Y Z, Cao Y S. Key factors of forest litter decomposition and research progress. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(6): 77-83.
- [26] Zhou L, Li B G, Zhou G S. Advances in controlling factors of soil organic carbon. *Advance in Earth Sciences*, 2005, 20(1): 99-105.
- [27] Huang C Y. *Pedology*. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2000: 67-68.
- [28] de Neve S, Hofman G. Influence of soil compaction on carbon and nitrogen mineralization of soil organic matter and crop residues. *Biology and Fertility of Soils*, 2000, 30(5/6): 544-549.
- [29] Gansert D. Root respiration and its importance for the carbon balance of beech saplings (*Fagus sylvatica* L.) in a montane beech forest. *Plant and Soil*, 1994, 167(1): 109-119.
- [30] Chen Q S, Li L H, Han X G, Yan Z D. Effects of water content on soil respiration and the mechanisms. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 972-978.
- [31] Li S J, Qiu L P, Zhang X C. Mineralization of soil organic carbon and its relations with soil physical and chemical properties on the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(5): 1217-1226.
- [32] Garten C T Jr, Post W M III, Hanson P J, Cooper L W. Forest soil carbon inventories and dynamics along an elevation gradient in the southern Appalachian Mountains. *Biogeochemistry*, 1999, 45(2): 115-145.
- [33] Zhao A J, Hu T X, Chen X H. Influence of subtropical forest ecosystems types on spatial heterogeneity of surface soil organic carbon. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(10): 1748-1756.
- [34] Mallarino A P. Spatial variability patterns of phosphorus and potassium in no-tilled soils for two sampling scales. *Soil Science Society of American Journal*, 1996, 60(5): 1743-1781.
- [35] Jiang Y, Zhang Y P, Yang Y G, Xu J L, Li Y P. Impacts of grazing on the system coupling between vegetation and soil in the alpine and subalpine meadows of Wutai Mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(4): 837-846.

参考文献:

- [7] 解宪丽, 孙波, 周慧珍, 李忠佩. 不同植被下中国土壤有机碳的储量与影响因子. *土壤学报*, 2004, 41(2): 687-699.
- [9] 张鹏, 张涛, 陈年来. 祁连山北麓山体垂直带土壤碳氮分布特征及影响因素. *应用生态学报*, 2009, 20(3): 518-524.
- [11] 易志刚, 蚁伟民, 周国逸, 周丽霞, 张德强, 丁明慧. 鼎湖山三种主要植被类型土壤碳释放研究. *生态学报*, 2003, 23(8): 1673-1678.
- [12] 徐侠, 陈月琴, 汪家社, 方燕鸿, 权伟, 阮宏华, 徐自坤. 武夷山不同海拔高度土壤活性有机碳变化. *应用生态学报*, 2008, 19(3): 539-544.
- [13] 向成华, 栾军伟, 骆宗诗, 宫渊波. 川西沿海海拔梯度典型植被类型土壤活性有机碳分布. *生态学报*, 2010, 30(4): 1025-1034.
- [14] 安尼瓦尔·买买提, 杨元合, 郭兆迪, 方精云. 新疆天山中段巴音布鲁克高山草地碳含量及其垂直分布. *植物生态学报*, 2006, 30(4): 545-552.

- [15] 王淑平, 周广胜, 高素华, 郭建平. 中国东北样带土壤活性有机碳的分布及其对气候变化的响应. 植物生态学报, 2003, 27(6): 780-785.
- [17] 张金屯. 山西芦芽山植被垂直带的划分. 地理科学, 1989, 9(4): 346-353.
- [18] 张丽霞, 张峰, 上官铁梁. 山西芦芽山植物群落的数量分类. 植物学通报, 2001, 18(2): 231-239.
- [19] 张金屯. 芦芽山亚高山草甸优势种群和群落的二维格局分析. 生态学报, 2005, 25(6): 1264-1268.
- [20] 程占红, 张金屯, 吴必虎, 牛莉芹. 芦芽山自然保护区旅游开发与植被环境关系——植被景观的类型及其排序. 生态学报, 2006, 26(6): 1940-1946.
- [21] 刘耀宗, 张经元, 康瑞昌等. 山西土壤. 北京: 科学出版社, 1992.
- [22] 刘光崧, 蒋能慧, 张连弟, 刘兆礼. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [23] 姜勇, 张玉革, 梁文举, 闻大中. 潮棕壤不同利用方式有机碳剖面分布及碳储量. 中国农业科学, 2005, 38(3): 544-550.
- [25] 李志安, 邹碧, 丁永祯, 曹裕松. 森林凋落物分解重要影响因子及其研究进展. 生态学杂志, 2004, 23(6): 77-83.
- [26] 周莉, 李保国, 周广胜. 土壤有机碳的主导影响因子及其研究进展. 地球科学进展, 2005, 20(1): 99-105.
- [27] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000: 67-68.
- [30] 陈全胜, 李凌浩, 韩兴国, 阎志丹. 水分对土壤呼吸的影响及机理. 生态学报, 2003, 23(5): 972-978.
- [31] 李顺姬, 邱莉萍, 张兴昌. 黄土高原土壤有机碳矿化及其与土壤理化性质的关系. 生态学报, 2010, 30(5): 1217-1226.
- [33] 赵安玖, 胡庭兴, 陈小红. 森林类型对土壤表层有机碳空间异质性的影响. 自然资源学报, 2009, 24(10): 1748-1756.
- [35] 江源, 章异平, 杨艳刚, 徐军亮, 李俞萍. 放牧对五台山高山、亚高山草甸植被-土壤系统耦合的影响. 生态学报, 2010, 30(4): 837-846.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 11 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Responses of microbes-mediated carbon and nitrogen cycles to global climate change	SHEN Jupei, HE Jizheng (2957)
Formation of cyanobacterial blooms in Lake Chaohu and the photosynthesis of dominant species hypothesis	JIA Xiaohui, SHI Dingji, SHI Mianhong, et al (2968)
Unbalanced cyclical fluctuation pattern of intermittent outbreaks of beet armyworm <i>Spodoptera exigua</i> (Hübner) in China	WEN Lizhang, ZHANG Youjun, ZHU Liang, et al (2978)
Self-organizing feature map classification and ordination of <i>Larix principis-rupprechtii</i> forest in Pangquangou Nature Reserve	ZHANG Qindi, ZHANG Jintun, Suriguga, et al (2990)
Ecological effects of lakeside wetlands restoration in Dalian Lake, Shanghai	WU Di, YUE Feng, LUO Zukui, et al (2999)
Soil organic carbon storage and profile inventory in the different vegetation types of Luya Mountain	WU Xiaogang, GUO Jinping, YANG Xiuyun, et al (3009)
Response of soil microbial community structure to the leaf litter decomposition of three typical broadleaf species in mid-subtropical area, southern China	ZHANG Shengxi, CHEN Falin, ZHENG Hua (3020)
The decomposition of coniferous and broadleaf mixed litters significantly changes the carbon metabolism diversity of soil microbial communities in subtropical area, southern China	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3027)
Spatiotemporal heterogeneity of topsoil nutrients in Karst Peak-Cluster depression area of Northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (3036)
Effects of cadmium stress on the activities of antioxidant enzymes, digestive enzymes and the membrane lipid peroxidation of the mangrove mud clam <i>Geloina coaxans</i> (Gmelin)	LAI Tinghe, HE Binyuan, FAN Hangqing, et al (3044)
The edge effects on tree-liana relationship in a secondary natural forest in Bawangling Nature Reserve, Hainan Island, China	WU Yuna, TAO Jianping, XI Weimin, et al (3054)
Soilwater deficit under different artificial vegetation restoration in the semi-arid hilly region of the Loess Plateau	YANG Lei, WEI Wei, MO Baoru, et al (3060)
The diurnal trends of sensible and latent heat fluxes of a subtropical evergreen coniferous plantation subjected to seasonal drought	HE Youwei, WANG Qiubing, WEN Xuefa, et al (3069)
Ecological adaptability of photosynthesis and water use for <i>Tamarix ramosissima</i> in the southern periphery of Gurbantungut Desert, Xinjiang	WANG Shanshan, CHEN Xi, WANG Quan, et al (3082)
Estimation of leaf area index of cotton using digital Imaging	WANG Fangyong, WANG Keru, LI Shaokun, et al (3090)
Different response of photosynthetic apparatus between wild soybean (<i>Glycine soja</i>) and cultivated soybean (<i>Glycine max</i>) to NaCl stress	XUE Zhongcai, GAO Huiyuan, LIU Jie (3101)
Effects of water and phosphorus supply on morphology and structure of special root hairs on nodal roots of wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	ZHANG Jun, HE Dexian, DUAN Zengqiang (3110)
Applications of species indicator for analyzing plant community types and their biodiversity at Kunyushan National Forest Reserve	SUN Zhiqiang, ZHANG Xingyao, ZHU Yanpeng, et al (3120)
Societal metabolism for chinese provinces based on multi-scale integrated analysis of societal metabolism (MSIASM)	LIU Ye, GENG Yong, ZHAO Hengxin (3133)
Comparative gene expression analysis for leaf trichomes of tobacco grown in two different regions in China	CUI Hong, JI Hao, YANG Huijuan, et al (3143)
Performance evaluation of B biotype whitefly, <i>Bemisia tabaci</i> on 23 host plants	AN Xincheng, GUO Qiang, HU Qiongbo (3150)
Studies of hemocytes DNA damage by two pesticides acetamiprid and chlorpyrifos in predaceous spiders of <i>Pardosa astrigera</i> Koch	LI Rui, LI Shengcai, LIU Jia, (3156)
Effects of the fungicide prochloraz on the rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i>	LI Daming, LU Zhenghe, FENG Qi, et al (3163)
Effects of long- and short-term successive parthenogenesis on life history and genetics characteristics of <i>Brachionus calyciflorus</i>	GE Yali, XI Yilong (3170)
Review and Monograph	
Review of the relationship between regional landscape pattern and surface water quality	ZHAO Jun, YANG Kai, TAI Jun, et al (3180)
Review of dew action effect on plants	YE Youhua, PENG Shaolin (3190)
Advances in Botryosphaeriaceae: identification, phylogeny and molecular ecology	CHENG Yanlin, LIANG Jun, LÜ Quan, et al (3197)
Advances in research on the mechanisms of age-related productivity decline of planted forests	MAO Peili, CAO Banghua, TIAN Wenxia, et al (3208)
The application of tree-ring on forest disturbance history reconstruction	FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (3215)
Research advances on stress responsive WRKY transcription factors in plants	LI Ran, LOU Yonggen (3223)
Scientific Note	
The soil microbial activities and microbial biomass in Sanjiangyuan Alpine grassland	REN Zuohua, ZHANG Yuguang, LI Diqiang, et al (3232)
The differences of water use efficiency (WUE) among three <i>Populus deltoids</i> clones, and the cloning and characterization of related gene, <i>PdERECTA</i>	GUO Peng, XIA Xinli, YIN Weilun (3239)
Arthropod community reestablishment and niche of the main groups in kiwifruit orchards	DU Chao, ZHAO Huiyan, GAO Huanhuan, et al (3246)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 11 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 11 2011

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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 70.00 元