

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 O<sub>3</sub> 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 Cd<sup>2+</sup> 和 Cu<sup>2+</sup> 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圆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/stxb201210231466

武小钢, 郭晋平, 田旭平, 杨秀云. 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. 生态学报, 2013, 33(24): 7756-7764.  
Wu Xi G, Guo J P, Tian X P, Yang X Y. Spatial heterogeneity of soil organic carbon and total nitrogen at small scale in subalpine meadow and *Picea meyeri* forest in Luya Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(24): 7756-7764.

## 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, 杨秀云

(山西农业大学林学院, 太谷 030801)

**摘要:** 分析比较了山西芦芽山不同海拔处分布的亚高山草甸(样地 A, 海拔 2756.3 m; 样地 B, 海拔 2542.3 m)和云杉林(样地 C, 海拔 2656.8 m; 样地 D, 海拔 2387.2 m)土壤有机碳和全氮的小尺度空间异质性特征。结果表明: 相同植被类型下海拔较高的样地有机碳含量较高(A: 49.84 g/kg, B: 38.33 g/kg, C: 47.06 g/kg, D: 40.67 g/kg), 而较低海拔的样地土壤有机碳含量的异质性较高; 除样地 A 以外的其他 3 个样地均表现为高度空间依赖性。亚高山草甸土壤全氮含量的异质性远远高于云杉纯林, 四个样地中均表现出强的空间自相关性。亚高山草甸样地土壤有机碳和全氮含量均在较大尺度上空间自相关, 云杉纯林样地则表现为较小尺度的空间自相关变异。

**关键词:** 土壤有机碳; 全氮; 海拔; 空间异质性

### 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, YANG Xiuyun

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

**Abstract:** The patterns and controls of soil organic carbon (SOC) and total nitrogen are critical for our understanding of recycling of nutrients. Spatial heterogeneity causes uneven soil resource distribution. Quantification of the spatial variability is essential for evaluating attributes at unsampled locations.

This study was conducted in Luya Mountain, Shanxi Province, China. Four sample plots (30m×30m) were placed, two subalpine meadow plots (Plot A, 2756.3 m; Plot B, 2542.3 m) and two *Picea meyeri* forest plots (Plot C, 2656.8 m; Plot D, 2387.2 m). The spatial heterogeneity of soil organic carbon (SOC) and total nitrogen (TN) was analyzed based on theory and methodology of spatial pattern analysis in geostatistics. Soil samples ( $n=119$ ) were collected from each of the plots in the summer of 2010. We calculated the isotropic semivariograms of SOC and TN. Then spherical models were used to test the semi-variances of SOC and TN for spatial dependence.

The experiment results indicated that the SOC of four plots were 49.84 g/kg (A), 38.33 g/kg (B), 47.06 g/kg (C), and 40.67 g/kg (D), respectively. The SOC contents appeared to be higher in the plots with higher elevation. Rather, the spatially variance showed more intensively in the plots with lower altitude. In contrast to the random variation of SOC in plot A, there were high spatial dependences in the spatial distribution of SOC in the others. The spatial heterogeneity of TN in

**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); 山西农业大学博士科研启动资助项目; 山西农业大学“学术骨干”资助项目

收稿日期: 2012-10-23; 修订日期: 2013-04-18

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wxg354@163.com

*Picea meyeri* forest plots were higher than those in subalpine meadow plots, and spatial autocorrelation were high in all the plots. The ranges of spatial autocorrelation variation (the distances within which parameters are spatially dependent) for SOC and TN were larger for subalpine meadow plots, but smaller for *Picea meyeri* forest plots.

**Key Words:** soil organic carbon (SOC); total nitrogen (TN); elevation; spatial heterogeneity

生境的异质性,尤其是土壤要素在空间上呈现复杂的镶嵌性,与气候以及陆地植被和生物发生复杂的相互作用,从而使得分析土壤的空间分布格局成为异质性研究的一个重要领域<sup>[1-3]</sup>。不同植被类型下土壤由于承接其凋落物和根系分泌物类型的不同及气候因子等的差异,因而形成的土壤碳、氮库状况存在差异<sup>[4-6]</sup>。以往的研究,多集中在陆地不同生态系统土壤碳、氮空间分布特征,及不同干扰和管理条件下土壤碳氮特征<sup>[1,5,7-8]</sup>。山地区域海拔高度的变化为研究生态系统过程的空间异质性提供了条件,沿海拔梯度土壤碳氮变化特征的研究案例不断有报道<sup>[9-11]</sup>。海拔梯度上土壤属性空间异质性研究多在较大尺度上进行<sup>[10-12]</sup>。空间异质性是一个依赖于尺度的生态学概念,生态系统特性在不同尺度域上有着不同的变化速率,这种多尺度格局反映了生态系统的等级特征,指示着控制不同尺度格局的不同的生态学过程<sup>[13]</sup>。在等级关联的生态系统中,小尺度上的空间异质性研究可以为大尺度上的生态学格局与过程提供机制方面的解释<sup>[14]</sup>。

因此,本研究利用地统计学的理论和方法,分析比较了山西芦芽山不同海拔处分布的亚高山草甸和云杉林群落土壤有机碳和全氮的小尺度空间异质性特征,旨在了解暖温带中部山区地带性植被土壤碳氮的等级结构特征,同时可以为不同尺度土壤的采样设置提供理论依据,并希望有助于理解海拔对植被群落结构和土壤碳、氮循环过程的影响,进而为不同植被类型的土壤碳汇管理技术研究提供基础数据,为亚高山草甸和云杉林的合理利用和保护提供科学理论依据。

## 1 研究区概况

研究地点位于芦芽山国家级自然保护区(38°36′—39°02′E, 111°46′—112°54′N),位于山西省吕梁山脉北端,黄土丘陵区的东部边缘,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。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、云杉林带、针阔叶混交林带,灌草丛及农垦带<sup>[14]</sup>。

该区年均温 4.3—6.7 °C, 1 月均温 -19.6 °C, 极端最低温 -36.6 °C, 7 月均温 19.9 °C, 极端最高温 34.2 °C, 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。

## 2 研究方法

### 2.1 样地基本情况

依据海拔高度和植被类型选择不同海拔的亚高山草甸(A: 2756.3 m; B: 2542.3 m) 2 块样地和云杉林(C: 2656.8 m; B: 2387.2 m) 2 块样地。样地基本情况见表 1, 针叶林每木检尺测定样地内树木的胸径及位置, 立木断面积分布见图 1。

### 2.2 取样方法

样点布设依据地统计学理论和空间格局分析的小支撑、多样点的取样设计原则进行<sup>[15]</sup>。首先将样地(30 m×30 m)等距离的划分为 100 个 3 m×3 m 的小样方。在大样方内选取 45 个样点进行取样。然后在样地对角线上的两个 3 m×3 m 样方内, 分别设立 100 个小样方(0.3 m×0.3 m 的间隔距离), 从中各选取 37 个小样方钻取土样(图 2)。土壤取样用土钻法进行, 取样时, 先除去表层的枯枝落叶, 然后在每个取样点(共计 119 个)钻取 0—10 cm 表层土壤样品装入塑料袋内带回实验室分析测定。

表 1 研究样基本情况表

Table 1 General situation of research sites

样地 Plot	海拔 Elevation /m	经纬度 Latitudes and Longitudes	植被类型 Vegetation	树高 Height /m	胸径 DBH /cm	郁闭度 Canopy density	灌丛草本盖度 Coverage of shrub and herb/%	灌丛、草本层种类 Species of shrub and herb	枯枝落叶层厚度 Thickness of Litter/cm
A	2756.3	111°50'27.313" 38°43'31.480"	亚高山草甸	—	—	—	70	苔草 ( <i>Carex</i> spp.) 车前 ( <i>Plantagoasiatica</i> ), 老鹳草 ( <i>Geranium wilfordii</i> ), 马先蒿 ( <i>Pedicularis</i> sp.), 高山嵩草 ( <i>Kobresiapygmaea</i> )	1
B	2542.3	111°52'29.847" 38°43'44.454"	亚高山草甸	—	—	—	80	苔草 ( <i>Carex</i> spp.), 翼茎风毛菊 ( <i>Saussurea sobarocephala</i> ), 高山蒲 公英 ( <i>Taraxacummongolicum</i> )	0.8
C	2656.8	111°52'7.269" 38°43'32.694"	云杉纯林	18.7	22.3	0.86	60	毛茛 ( <i>Ranunculus japonicus</i> Thunb.), 苔草 ( <i>Carex</i> spp.), 老鹳 草 ( <i>Geranium wilfordii</i> Maxi.), 蕨类 ( <i>Pteridophyta</i> )	4.0
D	2387.2	111°53'19.310" 38°43'52.695"	云杉纯林	16.5	11.2	0.51	50	苔草 ( <i>Carex</i> spp.), 卫矛 ( <i>Euonymus</i> <i>alatus</i> ), 唐松草 ( <i>Thalictrum</i> <i>aquilegifolium</i> L. var. <i>sibiricum</i> Regel), 粗毛忍冬 ( <i>Lenicera</i> <i>hispida</i> )	3.0

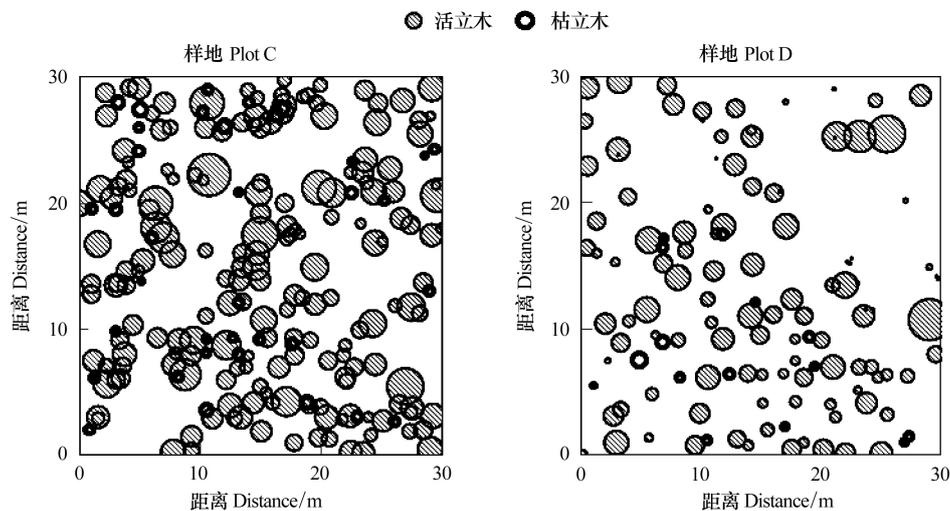


图 1 样地立木断面积分布图

Fig.1 The map of basal area distribution in plots

### 2.3 分析测试方法

土壤全氮的测定用半微量凯氏定氮法,土壤有机碳的测定采用重铬酸钾氧化-外加热法进行<sup>[16]</sup>。称取风干好的土壤样品进行分析测定,每个土样做3个重复,求其平均值作为土壤样品全氮及有机碳含量值。

### 2.4 数据分析

#### 2.4.1 经典统计分析

用 SPSS for windows 18.0 统计软件进行土壤有机碳含量、全氮含量的平均数、标准差、变异系数分析。

#### 2.4.2 异常值的识别、处理和原始数据的正态检验和转换

进行特异值的判断和处理。采用域法识别特异值,即样本平均值( $\bar{a}$ )加减3倍的标准差( $s$ ),在区间( $\bar{a} \pm 3s$ )以外的数据为特异值,而后分别用正常的最大值或最小值来代替。

采用柯尔莫哥洛夫-斯米诺夫 (Kolmogorov-Smirnov (K-S)) 正态性检验方法检验所测数据的正态分布,符合正态分布的数据直接进行地统计学分析 ( $P(K-S) > 0.05$ ); 对于不符合正态分布的数据,要经过对数转换或方根转换后再进行地统计学分析。

### 2.4.3 土壤有机碳和全氮含量的半方差函数模型分析

地统计学分析用 GS+Win5.0 软件进行。半方差函数用  $r(h)$  来表示,为区域化变量  $Z(x_i)$  和  $Z(x_i+h)$  增量平方的数学期望,即区域化变量的方差<sup>[17]</sup>。其通式为:

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [(Z(x_i) - Z(x_i+h))]^2$$

式中,  $r(h)$  为变异;  $h$  为步长,即为减少各样点组合对的空间距离个数而对其进行分类的样点空间间隔距离;  $N(h)$  为距离为  $h$  的点对的数量;  $Z(x_i)$  和  $Z(x_i+h)$  分别为变量  $Z$  在空间位置  $x_i$  和  $x_i+h$  的取值。

地统计学中的变异与经典统计学中方差的根本差异在于变异考虑了空间尺度,即公式中的  $h$ 。把植被的某一特征作为依赖变量,则变异能够反映出统计意义上该变量在各个不同尺度的异质性。

最优模型的选择,首先考虑决定系数 ( $R^2$ ) 和残差平方和 (RSS); 残差平方和 RSS 是对回归模型进行显著性检验的重要参数,其取值愈小,说明实际观测值与回归线靠近,拟合曲线与实际配合愈好。

$$RSS = \sum_{i=1}^n [\gamma(h_i) - \hat{\gamma}(h_i)]^2$$

分析理论模型参数,基台值 (Sill,  $C_0+C$ ) 表示变量的最大变异程度,它的值越大表示变量的异质性程度越高。而块金值  $C_0$  是空间距离为零时的变异值,表示随机部分的空间变异性,较大的块金值表明较小的尺度上某种生态学过程不容忽视。空间结构比 (Spatially structure variance)  $C/(C_0+C)$  可度量空间自相关的变异所占的比例。块金值 (Nugget,  $C_0$ ) 与基台值之比  $C_0/(C_0+C)$  可用于估计随机因素在所研究的空间异质性中的相对重要性。

变程表示研究变量空间变异中空间自相关变异的尺度范围,在变程内,空间越靠近的点之间其相关性越大,距离大于变程的点之间不具备自相关性。

分维数可对不同变量之间的空间自相关强度进行比较,  $D$  值越大表示格局变异中随机因素引起的异质性的比重越大,  $D$  值越小,格局变异的空间依赖性越强。

$$2\gamma(h) = h^{4-2D}$$

## 3 结果与分析

### 3.1 土壤有机碳含量的空间变异性

#### 3.1.1 土壤有机碳含量的描述性统计

对不同海拔高度的亚高山草甸和云杉林土壤表层 (0—10 cm) 有机碳含量的描述统计结果表明 (表 2), 样地 A (海拔 2756.3 m) 亚高山草甸土壤有机碳含量均值最高为 49.84 g/kg, 样地 B (海拔 2542.3 m) 的草甸土壤有机碳含量最低 (38.33 g/kg); 不同海拔云杉林样地 C (海拔 2656.8 m) 和样地 D (海拔 2387.2 m) 云杉纯林土壤有机碳含量分别为 47.06 g/kg 和 40.67 g/kg。从有机碳含量的均值比较分析,同一类型植被下,较高海拔的土壤有机碳含量高于较低海拔的土壤。从有机碳的变异分析,样地 A 土壤有机碳的波动范围 23.76—67.31 g/kg, 最大值是最小值的 2.83 倍; 变异系数为 15.81%。样地 B 有机碳的波动范围 21.01—60.84 g/kg, 最大值是最小值的 2.89 倍; 变异系数 (16.88%) 大于样地 A。样地 C 土壤有机碳的波动范围 21.34—83.81 g/kg, 最大值是最小值的 3.93 倍; 变异系数为 28.62%。样地 D 波动范围 17.03—92.39 g/kg, 变异系数 (32.06%) 大于样

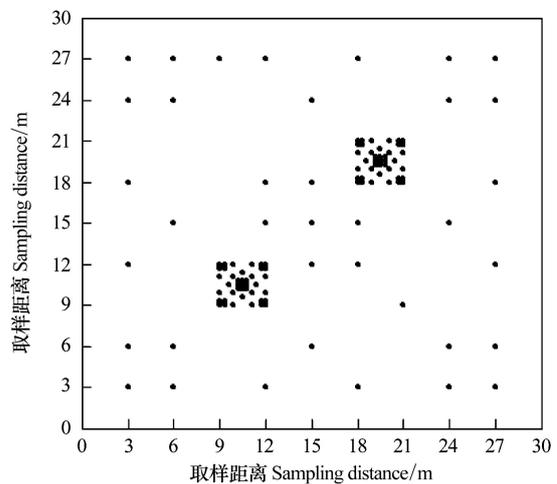


图 2 空间取样设计

Fig.2 Spatial sampling design

地 C。以上结果表明,土壤有机碳的变异表现为云杉林有机碳的变异明显大于亚高山草甸,同一植被类型,较低海拔土壤有机碳变异高于较高海拔的变异。

表 2 土壤有机碳含量的描述性统计结果

Table 2 Statistics of SOC in the research area

样地 Plot	平均数 Mean	中位数 Median	标准差 Std.deviation	方差 Variance	变异系数 Cv/%	最小值 Min	最大值 Max	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	K-S 值 K-S value
A	49.84	49.33	7.88	62.14	15.81	23.76	67.31	-0.11	0.63	2.35
B	38.33	38.38	6.47	41.83	16.88	21.01	60.84	0.46	2.09	1.8
C	47.06	44.88	13.47	171.34	28.62	21.34	83.81	0.62	-0.32	12.35
D	40.67	37.16	13.04	170.01	32.06	17.03	92.39	1.42	2.15	6.38

### 3.1.2 土壤有机碳含量的半方差函数分析

土壤有机碳含量变异函数理论模型拟合结果及参数见表 3。亚高山草甸和云杉林土壤有机碳含量的各向同性半方差理论模型为球状模型。同一植被类型不同海拔土壤有机碳半方差函数的基台值相比较,亚高山草甸样地 B(2542.3m,  $C_0+C = 0.107$ ) > 样地 A(2756.3m,  $C_0+C = 0.046$ ); 云杉林样地 D(2387.2m,  $C_0+C = 0.102$ ) > 样地 C(2656.8m,  $C_0+C = 0.089$ ), 总体上表现为较低海拔的样地土壤有机碳含量的基台值较高,进一步论证了上述变异系数所反映的同一植被类型下较低海拔土壤有机碳含量的异质性较高的现象。

亚高山草甸样地 A 土壤有机碳的空间结构比( $C/C_0+C$ )为 0.524, 表现为中等强度的空间自相关变异特征。样地 B 及云杉纯林样地 C 和样地 D 土壤有机碳含量表现为强烈的空间自相关性。亚高山草甸样地 A 和样地 B 空间自相关的范围为 61.0 m。云杉纯林样地 C 和样地 D 表现为小尺度的空间自相关变异(变程分别为 6.87, 6.55 m)。

表 3 土壤有机碳含量变异函数理论模型参数

Table 3 Parameters of semivariogram for SOC

样地 Plot	变异模型 Variogram model	块金值 Nugget ( $C_0$ )	基台值 Sill ( $C_0+C$ )	空间结构比 Spatially structure variance ( $C/C_0+C$ )	变程 Range/m	分维数 Fractal Dimension ( $D$ )	决定系数 ( $R^2$ )	残差平方和 ( $RSS$ )
A	Spherical	0.022	0.046	0.524	61	1.951	0.690	$1.356 \times 10^{-4}$
B	Spherical	0.011	0.107	0.900	61	1.803	0.909	$4.841 \times 10^{-4}$
C	Spherical	0.011	0.089	0.873	6.87	1.820	0.838	$2.132 \times 10^{-3}$
D	Spherical	0.018	0.102	0.824	6.55	1.851	0.662	$6.275 \times 10^{-3}$

用分维数 D 可对不同变量之间的空间自相关强度进行比较, 本研究结果表明, 土壤有机碳含量空间变异分维数值大小依次为样地 A > 样地 D > 样地 C > 样地 B。进一步表明样地 A 空间变异中随机因素引起的异质性的比重大, 而其他样地格局变异的空间依赖性强。

## 3.2 土壤全氮含量的空间异质性

### 3.2.1 土壤全氮含量的描述性统计

对不同海拔高度的亚高山草甸和云杉林土壤表层(0—10 cm)全氮含量的描述统计结果表明(表 4), 草甸土壤全氮含量高于云杉纯林; 同一植被类型中, 高海拔的样地高于低海拔样地。样地 A(海拔 2756.3 m)土壤全氮含量均值为 4.85 g/kg, 全氮含量的波动范围为 2.89—10.10 g/kg, 最大值是最小值 3.49 倍; 土壤全氮含量的变异系数为 24.33%。样地 B(海拔 2542.3 m)土壤全氮含量均值为 3.76 g/kg, 全氮含量的波动范围为 2.48—5.09 g/kg, 最大值是最小值 2.05 倍, 土壤全氮含量的变异表现为低海拔( $Cv = 13.83\%$ , 样地 B) 小于高海拔。样地 C(海拔 2656.8 m)云杉纯林土壤全氮量的均值为 3.01 g/kg, 全氮含量的变化范围 1.96—4.77

g/kg, 最大值为最小值的 2.43 倍; 变异系数为 33.22%。样地 D (海拔 2387.2 m) 云杉纯林土壤全氮量的均值为 2.90 g/kg, 全氮含量的变化范围 2.09—4.44 g/kg。云杉纯林土壤全氮在不同海拔的变异与亚高山草甸相似, 即较低海拔土壤全氮含量的变异 ( $C_v = 17.94\%$ ) 小于较高海拔。分析表明森林土壤全氮含量的变异大于草甸土壤。

表 4 土壤全氮含量的描述性统计结果

Table 4 Statistics of TN in the research area

样地 Plot	均数 Mean (g/kg)	中位数 Median	标准差 SD	方差 Variance	变异系数 Cv/%	最小值 Min.	最大值 Max.	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	K-S 值 K-S value
A	4.85	4.60	1.18	1.39	24.33	2.89	10.10	2.73	8.19	1.31
B	3.76	3.66	0.52	0.27	13.83	2.48	5.09	0.23	-0.11	3.56
C	3.01	3.00	0.54	0.29	33.22	1.96	4.77	0.58	0.50	8.67
D	2.90	2.81	0.52	0.27	17.94	2.09	4.44	1.02	0.66	5.32

### 3.2.2 土壤全氮含量的地统计学分析

小尺度下所研究的 4 块样地土壤全氮含量的空间变异均表现为球状模型的变化趋势 (表 5)。同一植被类型不同海拔土壤有机碳半方差函数的基台值相比较, 亚高山草甸样地 A (2756.3m,  $C_0+C = 6.02$ ) 和样地 B (2542.3m,  $C_0+C = 1.041$ ) 远大于云杉林样地 C 和 D, 表明亚高山草甸土壤全氮含量的异质性远远高于云杉林。而高海拔处的样地 A 土壤全氮含量的空间异质性也明显高于低海拔处的样地 B。

所研究 4 个样地的空间结构比 ( $C/C_0+C$ ) 值均大于 75%, 说明土壤全氮含量在 4 个样地种均表现出强的空间自相关性, 其空间变异主要由结构性因素造成的。亚高山草甸植被的空间自相关性明显大于寒温性针林样地。亚高山草甸样地 A 和样地 B 空间自相关的范围分别为 47.65 m 和 61.0 m。云杉林样地 C 和样地 D 表现为小尺度的空间变异 (变程分别为 7.87, 8.67 m)。D 值大小依次为样地 C > 样地 D > 样地 B > 样地 A。亚高山草甸样地 A 土壤全氮含量格局变异的空间依赖性较强。

表 5 土壤全氮含量变异函数理论模型参数

Table 5 Parameters of semivariogram for TN

样地 Plot	变异模型 Variogram model	块金值 Nugget ( $C_0$ )	基台值 Sill ( $C_0+C$ )	空间结构比 Spatially structure variance ( $C/C_0+C$ )	变程 Range/m	分维数 Fractal Dimension ( $D$ )	决定系数 ( $R^2$ )	残差平方和 (RSS)
A	Spherical	0.010	6.029	0.998	47.65	1.571	0.909	3.610
B	Spherical	0.059	1.041	0.943	61.00	1.752	0.953	0.022
C	Spherical	0.007	0.033	0.768	7.87	1.846	0.729	$4.478 \times 10^{-4}$
D	Spherical	0.007	0.041	0.836	8.67	1.812	0.779	$6.257 \times 10^{-4}$

## 4 讨论

不同海拔高度处两个亚高山草甸样地 (A: 2756.6 m; B: 2542.3 m) 和两个云杉林样地 (C: 2656.8 m; D: 2387.2 m) 土壤有机碳和全氮含量的空间变异表现出很大不同。单因素方差分析结果表明 (表 6), 样地 A 有机碳和全氮含量显著高于样地 B ( $P < 0.001$ ); 样地 C 和样地 D 土壤全氮含量差异不显著, 而有机碳含量差异达极显著水平 ( $P < 0.001$ )。大量研究表明, 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<sup>[10-11]</sup>。本研究中, 样地 A 土壤含水量显著高于样地 B, 样地 C 土壤含水量显著高于样地 D (表 6); 不考虑微地形对小气候的影响, 200—300 m 的海拔落差会造成约 1—2 °C 的气温差。因此, 水热要素的差异是不同海拔高度土壤有机碳和全氮含量空间异质性产生的重要原因。

表 6 土壤有机碳、全氮和含水量方差分析

Table 6 ANOVA for organic carbon, total nitrogen and moisture content of soils

土壤特性 Soil traits	统计变量 statistical variable	样地 A Plot A	样地 B Plot B	样地 C Plot C	样地 D Plot D
有机碳 Organic carbon	观测数	119	119	119	119
	平均	49.842	38.328	47.059	40.673
	方差	62.1448	41.8295	181.3427	170.0079
	组间差异	$F: 151.733, P: 0.0000$		$F: 13.811, P: 0.0002$	
全氮 Total nitrogen	观测数	119	119	119	119
	平均	4.851	3.755	3.010	2.901
	方差	1.3913	0.2717	0.2913	0.2716
	组间差异	$F: 85.974, P: 0.0000$		$F: 2.540, P: 0.112$	
含水量 Moisture	观测数	119	119	119	119
	平均	0.368	0.333	0.399	0.341
	方差	0.0006	0.0004	0.0027	0.0025
	组间差异	$F: 156.114, P: 0.0000$		$F: 77.265, P: 0.0000$	

比较小尺度上亚高山草甸样地和云杉林样地的空间异质性(表 3, 表 5), 可以发现同一植被类型下较低海拔土壤有机碳含量的异质性较高, 其中随机性因素对样地 A 有机碳含量的空间变异影响较大。芦芽山是山西省重要的夏季牧场, 样地 A 就位于林线以上亚高山草甸集中分布区(样地 B 则位于林缘空地), 牲畜的啃食、践踏及排泄等行为直接干扰草甸土壤环境, 这成为样地 A 土壤有机碳含量空间异质性降低及随机性变异比例增加的重要原因。对于云杉林样地, 通过比较样地 C 和 D 的立木断面积分布图(图 1)不难看出, 与样地 D 相比, 样地 C 中林分密度大, 立木空间分布较均一, 较为一致的林下微环境可能是样地 C 土壤有机碳含量空间异质性较低的原因。植物群落的组成和群落中植物种群分布格局的改变制约着土壤组成的异质化过程, 同时决定着土壤养分循环<sup>[18-19]</sup>。

有机碳含量空间异质性相反, 样地 A 的全氮含量表现为高异质性空间分布, 且空间自相关性强。在生态系统的物质循环中, 碳氮循环通过生产和分解紧密联系在一起。考察 4 个样地有机碳和全氮的相关性(图 3)可知, 样地 B、C、D 均呈现极显著的正相关性, 而样地 A 相关性不显著。进一步分析样地 A 土壤含氮量数据, 119 个样点中有 8 个高含氮量的(>8.0)异常值, 而平均值为 4.85; 如果去除这 8 个样点数据, 土壤有机碳和全氮含量相关性达极显著水平。这与亚高山草甸和云杉林土壤有机碳含量和全氮含量极显著正相关的研究结论相一致<sup>[20]</sup>。8 个高含氮量样点的坐标为(3, 3)、(3, 6)、(3, 12)、(3, 18)、(3, 24)、(3, 27)、(6, 3)、(6, 6), 由空间取样设计(图 2)可知, 这些样点在空间上呈连续带状分布, 暗示着样地 A 存在一个氮源在地形和降雨的共同作用下迁移形成一条富氮带。

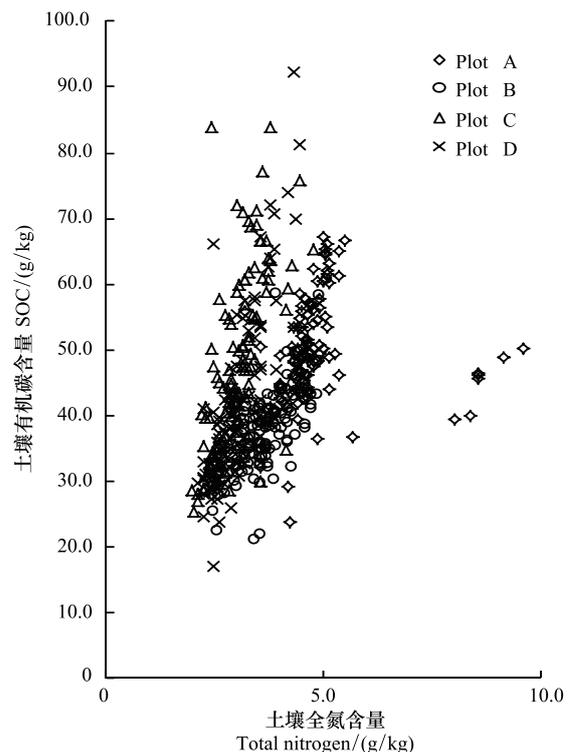


图 3 土壤有机碳和全氮含量相关性

Fig.3 Correlations between SOC and total nitrogen

Plot A:  $y = 0.0178x + 3.9646$  ( $R^2 = 0.0141$ ,  $p = 0.1977$ ); Plot B:  $y = 0.0561x + 1.6054$  ( $R^2 = 0.4842$ ,  $p = 0.000$ ); Plot C:  $y = 15.885x - 0.7586$  ( $R^2 = 0.4053$ ,  $p = 0.000$ ); Plot D:  $y = 20.748x - 19.511$  ( $R^2 = 0.6878$ ,  $p = 0.000$ )

不同海拔高度,相同植被类型下土壤有机碳和全氮含量的小尺度空间异质性具有一定相似性。变异函数均呈球状模型(表3,表5),空间自相关变异的尺度大小相似。亚高山草甸土壤有机碳和全氮含量表现为较大尺度的空间自相关,而云杉林则表现为较小尺度的空间自相关。土壤属性的空间分布是潜在的局地异质性的总和,它们受生物学和地质学等过程影响,使得区域化变量在空间分布上存在差异性,因而产生异质的土壤环境<sup>[21]</sup>。研究结果反映出相同植被类型下,影响土壤有机质和全氮的生态过程在相同的尺度上起作用;植被类型发生变化,则生态过程的尺度依赖性将发生显著改变,而人为干扰如放牧将显著改变碳氮循环的生态过程,表现为空间变异的增大和空间自相关性的下降。

## 5 结论

(1) 亚高山草甸样地 A(海拔 2756.3 m)和样地 B(海拔 2542.3 m)土壤有机碳含量均值分别为 49.84 g/kg 和 38.33 g/kg;云杉林样地 C(海拔 2656.8 m)和样地 D(海拔 2387.2 m)云杉纯林土壤有机碳含量分别为 47.06 g/kg 和 40.67 g/kg。有机碳空间异质性总体上表现为,相同植被类型下较高海拔样地有机碳含量高,而较低海拔的样地土壤有机碳含量的异质性较高。亚高山草甸样地 A 和样地 B 空间自相关的范围为 61.0 m。云杉纯林样地 C 和样地 D 表现为小尺度的空间自相关变异(变程分别为 6.87,6.55 m)。

(2) 亚高山草甸样地 A 和样地 B 土壤全氮含量平均值为 4.85 g/kg 和 3.76 g/kg,云杉样地 C 和样地 D 分别为 3.01 g/kg 和 2.90 g/kg。高山草甸土壤全氮含量的异质性远远高于云杉林。土壤全氮含量在 4 个样地中均表现出强的空间自相关性,其空间变异主要由结构性因素造成。亚高山草甸样地和云杉林样地全氮含量空间变异的尺度与有机碳含量空间变异表现相似,分别为 47.65、61.0 m 和 7.87、8.67 m。

## References:

- [ 1 ] Su S J, Liu J F, He Z S, Hong W, Zhang J B. The spatial heterogeneity of soil nutrients in a mid-subtropical castanopsis kawakamii natural forest. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(18): 5673-5682.
- [ 2 ] Liu Y L, Zeng F P, Song T Q, Peng W X, Wang K L, Qin W G, Tan W N. Spatial heterogeneity of soil nutrients in karst area's mulun national nature reserve. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(7): 1667-1673.
- [ 3 ] Pickett S T A, Cadenasso M. Landscape ecology: Spatial heterogeneity in ecological systems. *Science*, 1995, 269(5222): 331-334.
- [ 4 ] Xu G L, Mo J M, Zhou G Y, Fu S L. Preliminary response of soil fauna to simulated n deposition in three typical subtropical forests. *Pedosphere*, 2006, 16(5): 596-601.
- [ 5 ] Conant R T, Six J, Paustian K. Land use effects on soil carbon fractions in the southeastern united states. I. Management-intensive versus extensive grazing. *Biology and Fertility of Soils*, 2003, 38(6): 386-392.
- [ 6 ] Peikun J. Soil active carbon pool under different types of vegetation. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(1): 10-13.
- [ 7 ] Hungate B A, Dukes J S, Shaw M R, Luo Y, Field C B. Nitrogen and climate change. *Science*, 2003, 302(5650): 1512-1513.
- [ 8 ] Bai J H, Deng W, Zhu Y M, Luan Z Q, Zhang Y X. Spatial distribution characteristics and ecological effects of carbon and nitrogen of soil in huolin river catchment wetland. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(9): 1494-1498.
- [ 9 ] 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.
- [ 10 ] 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.
- [ 11 ] 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.
- [ 12 ] 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.
- [ 13 ] Cheng Y F, Dong M. Spatial heterogeneity in ecological systems. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(2): 346-352.
- [ 14 ] O'Neill R V, Deangelis D L. *A Hierarchical Concept of Ecosystems*. Princeton: Princeton University Press, 1986.
- [ 15 ] Mou P, Mitchell R J, Jones R H. Root distribution of two tree species under a heterogeneous nutrient environment. *Journal of Applied Ecology*, 1997, 34(3): 645-656.
- [ 16 ] Liu G S. *Soil Physical and Chemical Analysis and Profile Description*. Beijing: China Standards Press, 1996.

- [17] Wang Z Q. Geostatistic and Application in Ecology. Beijing: Science Press, 1999.
- [18] Wang H T, He X D, Gao Y B, Lu J G, Xue P P, Ma D. Density in artemisia ordosica successional community in response to spatial heterogeneity of soil moisture and organic matter. Chinese Journal of Plant Ecology, 2007, 31(6): 1145-1153.
- [19] Binkley D, Giardina C. Why do tree species affect soils? The warp and woof of tree-soil interactions. Biogeochemistry, 1998, 42(1/2): 89-106.
- [20] Wu X G, Guo J P, Yang X Y, Tian X P. Soil organic carbon storage and profile inventory in the different vegetation types of Luya Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(11): 3009-3019.
- [21] Gallardo A. Spatial variability of soil properties in a floodplain forest in Northwest Spain. Ecosystems, 2003, 6(6): 564-576.

#### 参考文献:

- [1] 苏松锦, 刘金福, 何中声, 洪伟, 张金彪. 格氏栲天然林土壤养分空间异质性. 生态学报, 2012, 32(18): 5673-5682.
- [2] 刘摇璐, 曾馥平, 宋同清, 彭晚霞, 王克林, 覃文更, 谭卫宁. 喀斯特木论自然保护区土壤养分的空间变异特征. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1667-1673.
- [8] 白军红, 邓伟, 朱颜明, 栾兆擎, 张玉霞. 霍林河流域湿地土壤碳氮空间分布特征及生态效应. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1494-1498.
- [9] 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.
- [10] 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] 向成华, 栾军伟, 骆宗诗, 宫渊波. 川西沿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.
- [13] 陈玉福, 董鸣. 生态学系统的空间异质性. 生态学报, 2003, 23(2): 346-352.
- [16] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [17] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999.
- [18] 王海涛, 何兴东, 高玉葆, 卢建国, 薛苹苹, 马迪. 油蒿演替群落密度对土壤湿度和有机质空间异质性的响应. 植物生态学报, 2007, 31(6): 1145-1153.
- [20] 武小钢, 郭晋平, 杨秀云, 田旭平. 芦芽山典型植被土壤有机碳剖面分布特征及碳储量. 生态学报, 2011, 31(11): 3009-3019.

**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 O<sub>3</sub> ..... 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 *Platyclus 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

**主 编** 王如松

**主 管** 中国科学技术协会

**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

**出 版** 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

**印 刷** 北京北林印刷厂

**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

**订 购** 全国各地邮局

**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

**广告经营** 京海工商广字第 8013 号  
**许 可 证**

**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

**Editor-in-chief** WANG Rusong

**Supervised** by China Association for Science and Technology

**Sponsored** by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

**Published** by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

**Printed** by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

**Distributed** by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel: (010)64034563  
E-mail: journal@cspg.net

**Domestic** All Local Post Offices in China

**Foreign** China International Book Trading  
Corporation  
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



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