

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第5期 Vol.34 No.5 **2014**

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34卷第5期 2014年3月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 干旱指标研究进展..... 李柏贞,周广胜 (1043)
- 气候变化对作物矿质元素利用率影响研究进展..... 李堃清,吴正云,张强,等 (1053)
- 森林生态系统中植食性昆虫与寄主的互作机制、假说与证据..... 曾凡勇,孙志强 (1061)
- 线虫区系分析指示土壤食物网结构和功能研究进展..... 陈云峰,韩雪梅,李钰飞,等 (1072)
- 中国省际水足迹强度收敛的空间计量分析..... 赵良仕,孙才志,郑德凤 (1085)
- 高原河谷城市植被时空变化及其影响因素——以青海省西宁市为例..... 高云,谢苗苗,付梅臣,等 (1094)
- 土地利用和环境因子对表层土壤有机碳影响的尺度效应——以陕北黄土丘陵沟壑区为例.....
..... 赵明月,赵文武,钟莉娜 (1105)
- 赤子爱胜蚓和毛利远盲蚓对添加造纸污泥土壤的化学和生物学特征的影响.....
..... 陈旭飞,张池,戴军,等 (1114)

个体与基础生态

- 钾与信号抑制剂对外生菌根真菌分泌乙酸的调控作用..... 杨红军,李勇,袁玲,等 (1126)
- 砷诱导蚕豆气孔保卫细胞死亡的毒性效应..... 薛美昭,仪慧兰 (1134)
- 石油污染土壤中苯酚降解菌 ad049 的鉴定及降解特性..... 胡婷,谷洁,甄丽莎,等 (1140)
- 紫花苜蓿对铜胁迫生理响应的傅里叶变换红外光谱法研究..... 付川,余顺慧,黄怡民,等 (1149)
- 播种期对晚季稻香气 2-乙酰-1-吡咯啉含量和产量的影响..... 杨晓娟,唐湘如,闻祥成,等 (1156)
- 外源钙(Ca)对毛葱耐镉(Cd)胁迫能力的影响..... 王巧玲,邹金华,刘东华,等 (1165)
- 基于植被指数的北京军都山荆条灌丛生物量反演研究..... 高明亮,官兆宁,赵文吉,等 (1178)
- 三种暖季型草坪草对二氧化硫抗性的比较..... 李西,王丽华,刘尉,等 (1189)
- 恩施烟区无翅桃蚜在烤烟田空间动态的地统计学分析..... 夏鹏亮,王瑞,王昌军,等 (1198)
- 啮齿动物捕食和搬运蒙古栎种子对种群更新的影响..... 张晶虹,刘丙万 (1205)
- 高原鼠兔有效洞穴密度对高寒草甸优势植物叶片和土壤氮磷化学计量特征的影响.....
..... 李倩倩,赵旭,郭正刚 (1212)
- 光、温限制后铜绿微囊藻和斜生栅藻的超补偿生长与竞争效应..... 谢晓玲,周蓉,邓自发 (1224)

种群、群落和生态系统

- 人工巢箱繁殖鸟类主要巢捕食者及其影响因素..... 张雷,李东来,马锐强,等 (1235)
- 泉州湾埕埔潮间带大型底栖动物群落的时空分布..... 卓异,蔡立哲,郭涛,等 (1244)

不同尺度因子对滦河流域大型底栖无脊椎动物群落的影响.....	张海萍,武大勇,王赵明,等 (1253)
呼兰河湿地夏、秋两季浮游植物功能分组演替及其驱动因子.....	陆欣鑫,刘妍,范亚文 (1264)
江西桃红岭国家级自然保护区梅花鹿生境适宜性评价.....	李佳,李言阔,缪沪君,等 (1274)

景观、区域和全球生态

中国自然保护综合地理区划.....	郭子良,崔国发 (1284)
近 10 年来蒙古高原植被覆盖变化对气候的响应	缪丽娟,蒋冲,何斌,等 (1295)
人类活动与气候变化对洪湖春旱的影响	刘可群,梁益同,周金莲,等 (1302)
2000—2010 年武汉市中心城区湖泊景观变化	谈永利,王宏志,张欢,等 (1311)

资源与产业生态

三江源区冬虫夏草资源适宜性空间分布.....	李芬,吴志丰,徐翠,等 (1318)
------------------------	--------------------

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 282 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 30 * 2014-03



封面图说: 插秧季节的桂西——2009—2011 年,我国广西、云南、贵州、四川、重庆等西南地区遭受了百年不遇的特大旱灾,其中广西西北部、云南大部、贵州西部等石漠化地区最为严重,农作物大面积绝收,千百万人 and 大牲畜饮水困难,这种危害是巨大的、现实的。从对 2009—2011 年我国西南地区旱灾程度及其对植被净初级生产力影响结果显示:2009—2011 年西南地区年均降水量和湿润指数明显低于 1980—2008 年均值,植被净初级生产力低于 2001—2008 年均值,造成的碳损失约占我国总碳汇的 7.91%。全球气候变暖给大气环流提供了动力,也造成了许多极端灾害天气,因此如何应对气候变化形势显得更加紧迫。

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/stxb201306101597

赵明月, 赵文武, 钟莉娜. 土地利用和环境因子对表层土壤有机碳影响的尺度效应——以陕北黄土丘陵沟壑区为例. 生态学报, 2014, 34(5): 1105-1113.

Zhao M Y, Zhao W W, Zhong L N. Scale effect analysis of the influence of land use and environmental factors on surface soil organic carbon: a case study in the hilly and gully area of Northern Shaanxi Province. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(5): 1105-1113.

土地利用和环境因子对表层 土壤有机碳影响的尺度效应 ——以陕北黄土丘陵沟壑区为例

赵明月^{1,2}, 赵文武^{1,2,*}, 钟莉娜^{1,2}

(1. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;

2. 北京师范大学 资源学院, 北京 100875)

摘要: 土壤表层有机碳对土地利用和环境因子的变化非常敏感, 并具有尺度变异特征。研究不同尺度上表层土壤有机碳的空间分布及其与土地利用与环境因子的关系对于评价黄土丘陵沟壑区表层土壤有机碳状况具有重要意义。选择黄土丘陵沟壑区安塞集水区和集水区典型小流域——沐浴小流域作为研究区, 探讨两个尺度上, 表层土壤有机碳的分布特征及其与土地利用、环境因子的关系。结果表明: (1) 土地利用方式对有机碳的影响在不同尺度上差异明显, 对于不同利用方式下的有机碳含量, 沐浴小流域从高到低依次是荒草地>林地>灌木林地>耕地, 安塞集水区则依次为林地>灌木林地>耕地>荒草地; (2) 对于不同利用方式下的土壤有机碳密度, 沐浴小流域从高到低依次是荒草地>林地>耕地>灌木林地, 安塞集水区则是林地>耕地>荒草地>灌木林地; (3) 在沐浴小流域和安塞集水区两个尺度上, 坡向、坡度和植被盖度均与有机碳含量和有机碳密度正相关, 而相对海拔、土地利用与有机碳密度负相关; (4) 在小流域尺度上, 海拔高度、坡位、土地利用与有机碳含量负相关, 坡位与有机碳密度负相关, 但是在集水区尺度上, 相关性则与此相反。

关键词: 土地利用; 环境因子; 土壤有机碳; 有机碳密度; 尺度效应

Scale effect analysis of the influence of land use and environmental factors on surface soil organic carbon: a case study in the hilly and gully area of Northern Shaanxi Province

ZHAO Mingyue^{1,2}, ZHAO Wenwu^{1,2,*}, ZHONG Lina^{1,2}

1 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: Land use and environmental factors are considered significant in regulating the spatial distribution of surface soil organic carbon (SOC), but are not equally important at different scales. Accurate knowledge of SOC stocks and the effects of environmental factors on SOC are crucial, both from the perspective of regional carbon budgets and appropriate landscape management of SOC. The Muyu small watershed and the Ansai catchment in loess hilly-gully area were taken as study area in the paper. On the basis of soil sampling in the field, 35 and 79 samples were taken separately in Muyu small watershed and Ansai catchment. Classical statistics and RDA were applied to study on the relationship of the distribution of SOC, soil organic carbon density (SOCD) with land use and environmental factors at two different scales. The research results were as

基金项目: 国家自然科学基金 (41390462, 41171069); 长江学者和创新团队发展计划项目 (IRT1108)

收稿日期: 2013-06-10; **修订日期:** 2013-10-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaoww@bnu.edu.cn

follows. The effects of land use type on SOC and SOCD had significant difference at two scales. SOC varied with land use in the order: grass land > woodland > shrubland > farmland at the Muyu small watershed. And the order was woodland > shrubland > farmland > grassland at the Ansai catchment. Meanwhile, the SOCD was highest in the grassland and declined as follows: grassland > woodland > farmland > shrubland at the Muyu small watershed, and it was highest in the woodland and declined as: woodland > farmland > grassland > shrubland at the Ansai catchment. SOC and SOCD showed scale effects under different influence of land use. The main land use at the Muyu watershed was grassland. The soil physical and chemical properties were good enough to protect the soil and water. Thus the SOC and SOCD were both higher than other land use, which was different from that at the Ansai catchment. There were a lot of woodland and shrubland at the Ansai catchment. Since woodland was the optimal land use type to keep soil and water, and the SOC and SOCD were much higher in woodland at the catchment. Also since changes in land use had influences on physical, chemical and biological soil attributes, they changed SOC and SOCD by disturbing the equilibrium between the formation and mineralization of soil organic matter. The land use change played different roles in affecting SOC and SOCD at different scales.

Then we chose slope, slope position, slope aspect, altitude, vegetational cover and land use as environmental factors. Among them, aspect, slope and vegetational cover were positively related to the SOC and SOCD at both the Muyu watershed and the Ansai catchment. Altitude, slope position and land use were negatively related to SOC at the Muyu watershed while they were positively related to SOC at the Ansai catchment. Altitude and land use were negatively related to SOCD at two scales. Slope position was negatively related to SOCD at the Muyu watershed, and positively at the Ansai catchment. The influences of environmental factors were varies; slope aspect, slope and slope position decided the migration direction and speed of material, altitude affected the vertical distribution of the hydrothermal conditions, and vegetational coverage, with land use, reflected the input and output of soil organic carbon. But since different geographical conditions, the influences of those environmental factors were complex.

Key Words: land use; environmental factors; soil organic carbon; soil organic carbon density; scale effect

尺度是地理学研究中的一个基本概念^[1],本质上是自然界所固有的特征或规律。在景观生态学中,尺度是指研究客体或过程的时间维和空间维,是某一现象或过程在空间和时间上所涉及到的范围和发生的频率。尺度效应分析主要是评价和理解尺度变化对研究结果的影响,如随着尺度增加而造成景观格局的简单化、景观多样性的减少等。尺度效应不仅依赖于事物的本质,而且与整个环境或背景有关^[2-6]。土壤是时空连续的变异体,由于成土母质、气候、地形、植被和人类干预程度的不同,在不同尺度上都存在着空间变异性。在较大尺度上,土壤主要受母质、气候、地形等因子的控制比较明显;在较小尺度上,主要受土壤特性、植被覆盖、微立地以及干扰的影响^[7-9]。土壤有机碳是土壤质量的一个重要指标,由于土壤物理过程、化学过程以及生物过程在不同方向上存在显著差异,具有不均一性。即使在土壤质地相同的区域内,土壤有机碳在不同空间位置上也存在明显差异,即空间变异性^[10-11]。

研究表明,土地利用方式和环境因子是影响土壤有机碳库变化的重要因素^[12-17]。环境因子一方面通过侵蚀和水土流失影响土壤有机碳空间分布,另一方面地形支配着水、热资源的再分配,影响植被和土地利用方式在空间上的配置,进而影响土壤有机碳的输入。土地利用结构调整不仅有效控制了水土流失,而且是提高陆地生态系统碳蓄存的重要措施。大量的土壤有机碳集中在 20 cm 以内的表层中,在地形和土地利用方式下,表层土壤有机碳空间变异较深层大。

黄土高原地区地形破碎,土地利用类型复杂多样,土壤侵蚀程度差异较大。这些环境因子共同影响着土壤表层有机碳的分布。在不同尺度上研究表层土壤有机碳也受到关注^[18-21],但综合分析不同尺度土壤表层有机碳的分布特征及其与环境因子和土地利用关系的研究尚不多见。本研究以陕北黄土丘陵沟壑区安塞集水区和集水区典型小流域——沐浴小流域为例,基于野外采样和统计分析,运用数量

生态学中的冗余分析方法(RDA)研究土壤表层土壤有机碳含量和有机碳密度与环境因子的关系,探讨不同尺度不同土地利用条件下表层土壤有机碳的空间变异性,分析土壤表层有机碳与环境因子的关系,以期为深化土壤碳循环研究提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究选择中国陕西安塞集水区和沐浴小流域为研究对象。安塞集水区地处西北内陆黄土高原腹地(108°5′44″—109°26′18″E, 36°30′45″—37°19′3″N),属典型的黄土丘陵沟壑区,集水区面积 1334.00 km²。气候属中温带大陆性半干旱季风气候,年平均气温 8.8℃,年平均降水量 505.3 mm,74%集中在 6—9 月。区域地形地貌复杂多样,主要为梁峁状黄土丘陵,沟谷发育分布广泛。土壤以黄绵土为主,约占总面积的 95%。土壤的成土母质主要有黄土和洪积冲积两大类,黄土土层深厚,质地组成以粉沙为

主,抗蚀能力低。境内水土流失严重,水土流失面积占土地总面积的比重约 97%,属于强度水土流失区,也是西北典型的生态环境脆弱区。沐浴小流域位于安塞县郝家坪乡,面积 1.30 km²。地处安塞集水区中游,是安塞集水区典型的小流域之一。小流域内土地利用方式以农耕地、林地、荒草地、灌木林地为主,农耕地面积较小且分布零散,总体人为干扰较少。位置示意图见图 1。

1.2 采样及分析方法

土壤采样时间为 2012 年 7—8 月,结合研究区土地利用现状图、水系图、地形图、土壤类型图,进行安塞集水区的实地踏勘和采样点布设,选择沐浴小流域为集水区典型小流域,布设 35 个采样点,集水区尺度选取 79 个采样点,在两个尺度上不同土地利用类型的土壤样点采集数目见表 1。每个样点内土壤为 5 个重复随机采样,同时取环刀测土壤容重,样点分布情况见图 1。

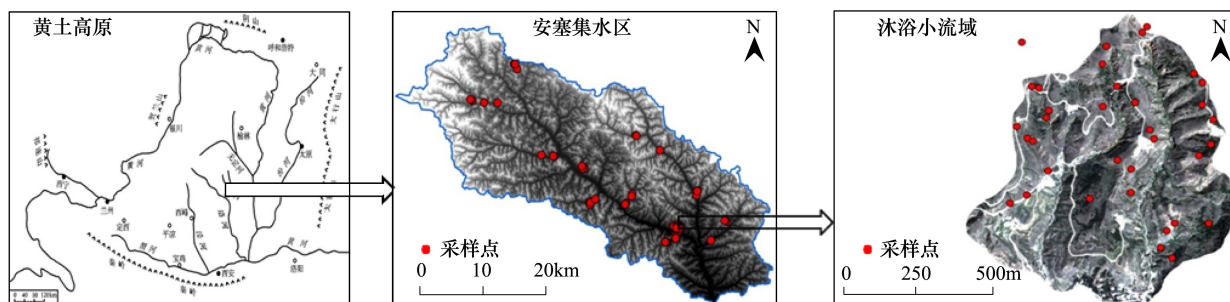


图 1 研究区位置示意和采样点分布图

Fig.1 Location of study area and the distribution of sampling sites

土壤样品过 0.28 mm 筛后采用油浴加热重铬酸钾氧化—容量法测定有机质。利用有机碳和有机质的系数比计算得到有机碳含量(SOC)(g/kg)。土壤有机碳密度(SOCD)通常是指单位面积一定深度土体中土壤有机碳质量(kg/m²)。研究表层(0—20 cm)土壤有机碳密度,其计算公式为:

$$\text{SOCD} = C \cdot \theta \cdot D \cdot (1 - \delta) / 100$$

式中, C 为表层土壤有机碳的平均含量(g/kg), θ 为土壤容重(g/cm³), D 为土壤厚度(cm), 本研究中取值 20, δ 为土壤中直径大于 2 mm 的石砾所占的体积百分比(%)。由于黄土丘陵沟壑区土壤中大于 2 mm 的石砾含量很少,可忽略不计。

1.3 统计分析

采用 SPSS18.0 对土壤表层有机碳含量和有

碳密度进行描述性统计分析,对 SOC、SOCD 和环境因子之间的关系进行 RDA 分析。选用 RDA 分析需要两个矩阵,一个是物种数据矩阵,即本文中的 SOC 和 SOCD,另一个是环境因子数据矩阵,即本文中的土地利用方式和环境因子。RDA 分析应用国际标准通用软件 CANOCO 4.5 进行。

CANOCO 是生态学应用软件中用于约束与非约束排序的工具。Canoco for Windows 整合了排序以及回归和排序方法学,可以建立生态数据统计模型。Canoco for Windows 包括线性和曲线单峰方法,RDA 属于约束性排序线性模型,它是在特定的梯度(排序轴)上探讨物种的变化情况,在本研究中,具体探讨 SOC 和 SOCD 在不同环境因子排序轴上的变化

情况。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用对表层土壤有机碳和有机碳密度的影响

土壤有机碳含量是指单位土壤中有有机碳的含量,代表土壤中有有机质的比例。不同土地利用类型

对土壤的干扰不同,对土壤有机碳输入和输出的影响也不同。且这种干扰对土壤表层影响比深层土壤大,表层土壤有机碳含量往往随着土地利用方式变化而表现出明显差异。应用 SPSS 对不同尺度不同土地利用方式下土壤有机碳含量和有机碳密度进行描述性统计,结果见表 1 和表 2。

表 1 不同尺度不同土地利用方式的表层土壤有机碳含量描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of surface organic carbon in different land use at different scales

土地利用 Land use	尺度 Scales	N Numbers	极小值 Maximum /(k/kg)	极大值 Minimum /(k/kg)	均值 Average	标准差 Standard deviation	方差 Variance	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	变异系数 Variable coefficient
耕地	沐浴	3	2.5852	4.2440	3.1523	0.9456	0.8942	1.7281	—	0.3000
Farmland	安塞	15	2.3464	4.8639	3.4049	0.8644	0.7472	0.2349	-1.5803	0.2539
荒草地	沐浴	14	2.6829	4.7752	3.6094	0.8137	0.6622	0.3578	-1.4661	0.2255
Grassland	安塞	24	2.3785	4.7752	3.3894	0.8130	0.6610	0.5342	-1.1969	0.2399
灌木林地	沐浴	4	3.2050	4.1351	3.5010	0.4354	0.1896	1.6808	2.7222	0.1244
Shrubland	安塞	11	2.8434	4.8070	3.6810	0.6442	0.4150	0.5565	-0.9254	0.1750
林地	沐浴	13	2.6296	4.0536	3.4128	0.5152	0.2654	-0.6436	-1.3620	0.1510
Woodland	安塞	27	2.5923	4.8581	3.4413	0.6094	0.3714	0.2233	-0.6414	0.1771

表 2 不同尺度不同土地利用方式的土壤表层有机碳密度描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of surface organic carbon density in different land use at different scales

土地利用 Land use	尺度 Scales	N Numbers	极小值 Maximum /(k/kg)	极大值 Minimum /(k/kg)	均值 Average	标准差 Standard deviation	方差 Variance	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	变异系数 Variable Coefficient
耕地	沐浴	3	0.3228	0.6032	0.4208	0.1581	0.0250	1.7178	—	0.3758
Farmland	安塞	15	0.2964	0.6318	0.4255	0.1111	0.0123	0.5558	-1.0375	0.2611
荒草地	沐浴	14	0.3302	0.5956	0.4451	0.0909	0.0083	0.1920	-1.4326	0.2043
Grassland	安塞	24	0.2683	0.5956	0.4152	0.0961	0.0092	0.3883	-1.2577	0.2315
灌木林地	沐浴	4	0.3804	0.5097	0.4275	0.0572	0.0033	1.5209	2.4206	0.1338
Shrubland	安塞	11	0.3358	0.5433	0.4434	0.0679	0.0046	0.0050	-1.4612	0.1531
林地	沐浴	13	0.2912	0.4911	0.4026	0.0646	0.0042	-0.5885	-1.0870	0.1604
Woodland	安塞	27	0.2912	0.6251	0.4125	0.0837	0.0070	0.5772	0.0193	0.2029

沐浴小流域的表层土壤有机碳含量分布在 2.585—4.775 g/kg,不同土地利用方式下平均有机碳含量从高到低依次是:荒草地>林地>灌木林地>耕地,荒草地的表层土壤有机碳含量最高。而在安塞集水区,表层土壤有机碳含量的变化幅度大于沐浴小流域,为 2.3464—4.8639 g/kg;不同土地利用方式下平均有机碳含量从高到低依次是:林地>灌木林地>耕地>荒草地,荒草地下的表层土壤有机碳含量则成为了最低。

土地利用方式会导致土壤表层的理化性质、地

表情况的变化,耕作地直接影响有机碳的输入和输出,进而导致表层土壤有机碳含量不同。沐浴小流域荒草地分布最多,且多由退耕而来,退耕年数较长,具有良好的群落结构和较好的土壤理化性质,抗蚀性较高,有机碳含量较高。而农耕地散落的分布在沟底和坡下,由于连续耕作和疏于管理,土壤结构松散,养分含量较低,有机碳含量也较低。在安塞集水区,地貌更加复杂,地形也更加破碎。林地土壤中贮存的有机碳是陆地系统土壤有机碳贮存最丰富的部分。集水区有封育林场分布,且林地多为落叶针

叶林和常绿针叶林,林地的表层土壤有机碳含量水平普遍高出其他土地利用方式。农耕地分布零散,施肥、收割等措施改变了有机碳的输入和输出,而且耕作、施肥等田间管理水平差距较大,同时变异系数也很高。从沐浴小流域到安塞集水区,由于主要土地利用方式的不同,不同土地利用方式表层土壤有机碳的含量也不同。小流域最主要的土地利用方式是退耕而来的荒草地,表层土壤有机碳也主要贮存于荒草地中,而集水区除荒草地外,有大量的林场,表层土壤有机碳的贮存也依赖林地和灌木林地。相同的是,耕地由于人为影响有机碳的输入和输出,加之水土流失较为严重,表层土壤有机碳含量较低。

有机碳密度是指单位面积一定深度土体中土壤有机碳的储量,由于排除了面积因素的影响而以土体体积为基础来计算,土壤碳密度是评价和衡量土壤中有有机碳储量的一个极其重要的指标。在沐浴小流域,表层土壤有机碳密度为 $0.2912\text{--}0.6032\text{ kg/m}^2$ 。不同土地利用方式下平均有机碳密度从高到低依次是:荒草地>林地>耕地>灌木林地。和土壤有机碳含量不同的是,小流域内耕地的土壤有机碳密

度要高于灌木林地。这主要是由于小流域内灌木林地土壤表层结构疏松,孔隙度大,土壤容重小。而耕地土壤相对紧实板硬,土壤孔隙度小,使得土壤容重大。这也说明在沐浴小流域内,有机碳含量低,土壤容重大,耕性较差。在安塞集水区,表层土壤有机碳密度分布在 $0.2683\text{--}0.6318\text{ kg/m}^2$ 。平均有机碳密度从高到低依次是:林地>耕地>荒草地>灌木林地。这与表层土壤有机碳含量差别较大。但与沐浴小流域相同的是,由于灌木林地的表层土质疏松,导致平均土壤表层有机碳密度最低。

2.2 不同尺度下表层土壤有机碳含量和有机碳密度与环境因子的关系分析

RDA 方法常被用来分析生物种群及其与环境因子之间的相互关系。应用 Canoco 4.5 软件,首先对有机碳含量和有机碳密度进行 DCA(除趋势对应分析),生成“梯度长度”,小流域和集水区数据的梯度长度结果均小于 3,选择线性模型(RDA 或 PCA)进行分析比较合理。本研究中采用 RDA 排序分析有机碳和环境因子之间的关系。排序图见图 2。

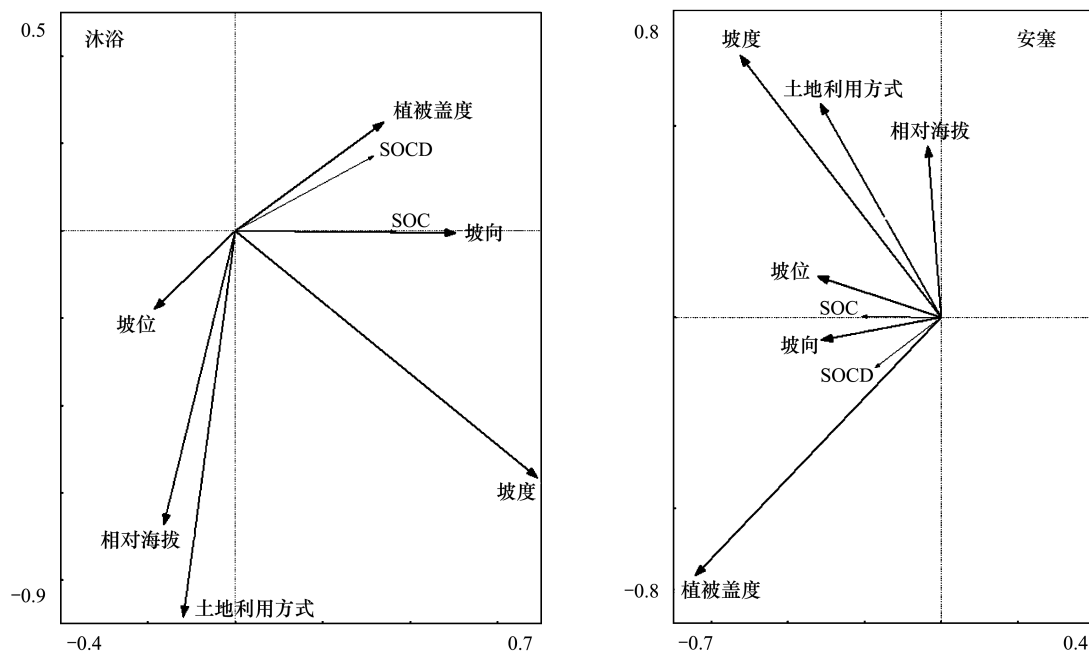


图 2 沐浴小流域和安塞集水区有机碳和环境因子关系的二维排序图

Fig.2 The two-dimensional RDA ordination diagram of SOC, SOCD and environmental factors in the Muyu small watershed area and the Ansai catchment

RDA 排序等直观反映环境因子对有机碳空间变异的影响程度。如图所示,在沐浴小流域和安塞集水区,表层土壤有机碳和有机碳密度夹角较小,方向

相同,说明二者均具有很强的正相关性。环境因子的箭头连线的长度表示土壤有机碳变异与环境因子的相关性,连线越长,表示相关性越大,夹角越小表

示相关性越高,小于 90° 表示正相关,大于 90° 表示负相关, 90° 表示不相关;各箭头连线之间的夹角表示各环境因子之间的相关性,同样夹角越小表示相关性越高。在沐浴小流域,坡向、盖度和坡度与有机碳含量和有机碳密度呈正相关关系,土地利用、海拔高度和坡位与有机碳含量和有机碳密度呈负相关关系。环境因子对有机碳含量影响从高到低依次是:坡向>植被盖度>坡度>坡位>海拔高度>土地利用;对有机碳密度影响的顺序是植被盖度>坡位>坡向>坡度>海拔高度>土地利用。在安塞集水区,环境因子对有机碳含量均表现出正相关,除土地利用和海拔高度,其他环境因子对有机碳密度表现正相关。环境因子对有机碳含量影响的顺序依次是:坡位>坡向>坡度>植被盖度>土地利用>海拔高度;对有机碳密度影响的顺序是:植被盖度>坡位>坡向>坡度>海拔高度>土地利用。坡度、坡位、坡长等地形因子主要通过通过对光照、温度、水分的空间分配来影响植被类型分布和土壤养分迁移,从而影响土壤有机碳的分布。而研究区位于黄土丘陵沟壑区,地形复杂,海拔高度差距不大,所以对有机碳分布的影响也不高。

3 结论与讨论

3.1 不同尺度土地利用对土壤有机碳的影响

土地利用方式的不同主要表现在覆被类型的不同。在自然土壤中,成土因素的空间差异性导致土壤性状的空间变异性,不同的土壤条件和气候条件又适宜于不同类型植被的生长。不同土地利用方式导致不同植被条件下土壤有机碳状况不同^[22]。人为因素,主要是耕作的影响,对土壤有机碳的输入和输出影响很大。研究表明,土地利用类型不仅直接影响土壤有机碳的含量和分布,还通过影响与土壤有机碳形成和转化有关的因子而间接影响土壤有机碳。吴建国^[23]等在研究天然次生林变成农田或草地,以及农田或草地改造成林地后对土壤有机碳贮量的影响时,发现农田和草地的土壤有机碳含量和有机碳密度均比次生林和人工林低,尤其是表层土壤。这与本文的研究结果是相似的。土壤有机碳方面,沐浴小流域和安塞集水区的林地、灌木林地的含量均比耕地要高。而有机碳密度方面,林地要高于耕地,但由于灌木林地表层土壤质地疏松,容重较低,而导致有机碳密度较低。

沐浴小流域和安塞集水区两个尺度上采样密度分别为每 0.03714 km^2 一个样点和每 16.89 km^2 一个样点。采样强度会对土壤表层有机碳的空间分布产生不同的影响,研究显示,在小流域尺度,平均 0.25 km^2 一个样点可以保证土壤有机碳的采样精度,在县域尺度为平均 $2\text{--}3\text{ km}^2$ ^[24-25]。在本研究中,小流域的采样强度较高,可以保证采样强度对土壤有机碳的影响在较小的范围内,而集水区面积较大,若保证采样强度将耗费巨大的人力物力。安塞集水区内的主要土地利用方式为荒草地和林地,灌木林地和耕地分布很少,两个尺度的采样点中,荒草地和林地的采样点所占的比例分别为 77.14% 和 64.56% 。所以,可以认为采样强度对土壤表层有机碳空间分布的影响基本上在可控制的范围内。

有机碳含量和密度表现出了不同的尺度效应。有机碳含量方面,沐浴小流域从高到低依次是:荒草地>林地>灌木林地>耕地;安塞集水区从高到低依次是:林地>灌木林地>耕地>荒草地。沐浴小流域的主要土地利用方式为荒草地,且荒草地的土壤理化性质较好,能较好的保持水土,表层土壤有机碳含量最高。集水区分布有大片的林地和灌木林地,林地是坡地保持水土最优的土地利用方式,表层土壤有机碳含量明显高于其他利用方式。在两个尺度上表现相似的是,耕地由于人为影响有机碳的输入和输出,加之水土流失较为严重,表层土壤有机碳含量较低。有机碳密度方面,沐浴小流域平均有机碳密度从高到低依次是:荒草地>林地>耕地>灌木林地。由于小流域内灌木林地土壤表层结构疏松,孔隙度大,土壤容重小。而耕地相对土壤紧实板硬,土壤孔隙度小,容重大,使得耕地有机碳密度高于灌木林地。安塞集水区平均有机碳密度从高到低依次是:林地>耕地>荒草地>灌木林地。这与表层土壤有机碳含量差别较大。但与沐浴小流域相同的是,由于灌木林地的表层土质疏松,导致平均土壤表层有机碳密度最低。

土地利用变化对土壤表层土壤有机碳含量和有机碳密度的分布也有很大影响。自20世纪80年代以来,黄土高原的土地利用和产业结构发生了一系列的调整,大面积退耕还林还草。研究表明,得益于国家退耕还林、还草政策的实施,以及行政区经济快速发展和城镇化的发展,延河流域的耕地面积明显

减少,林地和草地面积显著增加,植被恢复效果明显^[26-28]。这对土壤表层有机碳含量和有机碳密度有较大的影响。林地转为农地会降低土壤有机碳,农地转为林草地会使土壤有机碳增加,且转为灌木林地或荒草,比转化为人工林地更有利于土壤有机碳的固存^[29-32]。农耕地转为林地或荒草地一般会使土壤表层有机碳含量和有机碳密度增加,这是由于林、草地凋落物量和质量均较高且易分解,土壤有机碳稳定性增加,且随着林草地郁闭度的提高,地表温度降低,土壤湿度和水分得以保持,从而降低了有机碳的分解速率,促进了有机碳的积累^[23,33-34]。

由沐浴小流域到安塞集水区,随着尺度的增加,由耕地改造成的荒草地对 SOC 和 SOCD 的影响作用减小,由耕地和灌木林地改造成的林地对 SOC 和 SOCD 的影响作用明显增强。

3.2 不同尺度环境因子对土壤有机碳的影响

坡向、坡度和坡位等地形因子决定着物质迁移的方向和速率,海拔高度影响到水热的垂直分布。植被盖度反映植被覆盖情况,作为土地利用方式的补充共同对土壤有机碳造成影响。沐浴小流域环境因子对有机碳含量影响从高到低依次是:坡向>植被盖度>坡度>坡位>海拔高度>土地利用;对有机碳密度影响的顺序是植被盖度>坡位>坡向>坡度>海拔高度>土地利用。在安塞集水区环境因子对有机碳含量影响的顺序依次是:坡位>坡向>坡度>植被盖度>土地利用>海拔高度;对有机碳密度影响的顺序是:植被盖度>坡位>坡向>坡度>海拔高度>土地利用。

程先富^[35]等在江西的研究显示,在 0—20 cm 的土壤表层,坡向、海拔和有机碳含量呈显著正相关。田种存等在青海的研究得到海拔高度与有机质呈负相关。在本研究中,在沐浴小流域和安塞集水区,坡向、坡度和植被盖度均与有机碳含量和有机碳密度正相关;在沐浴小流域,海拔高度、坡位、土地利用与有机碳含量负相关,在集水区正相关;在两个尺度上,相对海拔、土地利用与有机碳密度负相关,坡位与有机碳密度在沐浴小流域负相关,在集水区正相关。由此可见,环境因子对土壤有机碳的影响具有复杂性,与研究区的地理环境有很大的关系。

References:

- [1] Xiao D J, Li X Z, Gao J, Chang Y, Li T S. Landscape Ecology. Beijing: Science Press, 2003: 5-6, 130-131.
- [2] Fu B J, Chen L D, Ma K M, Wang Y L. Principle and Application of Landscape Ecology. Beijing: Science Press, 2000: 16-41, 202-236.
- [3] Jan E V, Florian E, van den Bergha J C J M, Barendregt A, van Belle J. Aggregation and the matching of scales in spatial economics and landscape ecology: empirical evidence and prospects for integration. *Ecological Economics*, 2005, 52(2): 229-237.
- [4] Wu J G. Hierarchy and scaling: extrapolating information along a scaling ladder. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1999, 25(4): 367-380.
- [5] Padgham M, Webb J A. Multiple structural modifications to dendritic ecological networks produce simple responses. *Ecological Modelling*, 2010, 221(21): 2537-2545.
- [6] Mathieu D, Anthony L. Multi-scale effect of landscape processes and habitat quality on newt abundance: Implications for conservation. *Biological Conservation*, 2006, 130(4): 495-504.
- [7] Zhang Y Q, Liu J B, Jia X, Qin S G. Soil organic carbon accumulation in arid and semiarid areas after Afforestation: a Meta-Analysis. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2013, 22(2): 611-620.
- [8] Woldelessie M, Van Miegroet H, Gruselle M C, Hambly N. Storage and stability of soil organic carbon in Aspen and Conifer Forest soils of Northern Utah. *Soil Science Society of America Journal*, 2012, 76(6): 2230-2240.
- [9] 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.
- [10] Fang H J, Yang X M, Zhang X P, Liang A J. Spatial heterogeneity and pattern of black soil organic carbon of sloping field. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2005, 25(3): 20-24, 28-28.
- [11] Zhao J, Meng K, Sui Y Y, Han B J, Zhang Y, Li H W. Analysis for spatial heterogeneity of organic carbon and available nutrients in black soil region of Hailun county. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(4): 487-492.
- [12] Cheng X L, Yang Y H, Li M, Dou X L, Zhang Q F. The impact of agricultural land use changes on soil organic carbon dynamics in the Danjiangkou Reservoir area of China. *Plant and Soil*, 2013, 366(1/2): 415-424.
- [13] Sun W Y, Guo S L, Song X Y. Effects of topographies and land use on spatial distribution of surface soil organic carbon in hilly region of the Loess Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(3): 443-453.
- [14] Wei X R, Shao M A, Gao J L. Relationships between soil organic carbon and environmental factors in gully watershed of the Loess Plateau. *Environmental Science*, 2008, 29(10): 2879-2884.
- [1] Xiao D J, Li X Z, Gao J, Chang Y, Li T S. Landscape Ecology.

- [15] Nelson J D J, Schoenau J J, Malhi S S. Soil organic carbon changes and distribution in cultivated and restored grassland soils in Saskatchewan. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2008, 82 (2): 137-148.
- [16] Ritchie J C, McCarty G W, Venteris E R, Kaspar T C. Soil and soil organic carbon redistribution on the landscape. *Geomorphology*, 2007, 89(1/2): 163-171.
- [17] Wang R S, Li L H, Gao E H, Meng M, Wei X R. The distribution of soil organic carbon as affected by landforms in a small watershed of gully region of the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(1): 179-187.
- [18] Xue Z J, Hou X R, Cheng M, An S S. Spatial variability of soil organic carbon in catchment scale of Loess Hilly Area. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25(3): 160-163, 168-168.
- [19] Wang X L, Guo S L, Ma Y H, Huang D Y, Wu J S. Effects of land use type on soil organic C and total N in a small watershed in loess hilly-gully region. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(6): 1281-1285.
- [20] Li Y Y, Shao M A, Zheng J Y, Li Q F. Impact of grassland recovery and reconstruction on soil organic carbon in the northern Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2279-2287.
- [21] Li D Y, Pan G X, Chen L S, Li J. Spatial distribution and variability of topsoil organic carbon content at different scales in Lu'an City, Anhui province, China. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2008, 24(4): 37-41.
- [22] Xu X W. Agricultural Soil Organic Carbon Change Research. Wuhu: Anhui Normal Spatial distribution and variability of topsoil organic carbon content at different scales in Lu'an City, Anhui province, China. University Press, 2011:13-14
- [23] Wu J G, Zhang X Q, Xu D Y. Impact of land-use change on soil carbon storage. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15 (4): 593-599.
- [24] Yao L X, Zhou X C, Cai Y F, Chen W Z. Spatial variability of soil properties at different sampling intensities and accuracy of their estimation. *Soils*, 2004, 36(5): 538-542.
- [25] Liu C, Zhou Q, Qu J L, Zhu Y Q. Effect of spatial variability with soil nutrient and the sample point density under different terrain. *Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences*, 2013, 39(1): 80-85.
- [26] Liu T H. Landuse change and its dynamic driving forces in Hilly-Gully Area of Loess Plateau: A case study in Zichang County from 1990 to 2006. *Science of Soil and Water Conservation*, 2012, 10 (6): 6-11.
- [27] Liu D L, Hao S L, Li B C. An analysis of land use change and its driving forces in Shanghuang small watershed on the Loess Plateau. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2012, 32(3): 211-216.
- [28] Chen F J, Zhang X P, Fu Y L, Wu Y, Wan L, Liu G B. Land use change of Majiagou Catchment in Ansai county, Northern Shaanxi province in recent 20 years. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2011, 31(1): 244-248.
- [29] Zha X C, Tang K L. Study on soil degeneration of reclaimed forest-lands in loess hilly forest region. *Arid Land Geography*, 2001, 24(4): 359-364.
- [30] Wang G X, Ma H Y, Wang Y B, Chang J. Impacts of land use change on environment in the middle reaches of the Heihe River. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25(4): 359-367.
- [31] Gong J, Chen L D, Fu B J, Hu C X, Wei W. Effects of vegetation restoration on soil nutrient in a small catchment in Hilly Loess Area. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19 (1): 93-96.
- [32] Fu B J, Chen L D, Ma K M. The effect of land use change on the regional environment in the Yangjuangou catchment in the Loess Plateau of China. *Acta Geographica Sinica*, 1999, 54 (3): 241-246.
- [33] Laganière J, Angers D A, Paré D. Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 2010, 16(1): 439-453.
- [34] Chen Z, Lu C H, Fan L, Wu H. Effects of land use change on soil organic carbon: a review. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31 (18): 5358-5371.
- [35] Cheng X F, Shi X Z, Yu D S, Pan X J. Spatial variance and distribution of total nitrogen and organic matter of soil in Xingguo county of Jiangxi, China. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2004, 10(1): 64-67.

参考文献:

- [1] 肖笃宁, 李秀珍, 高峻, 常禹, 李团胜. 景观生态学. 北京: 科学出版社, 2003: 5-6, 130-131.
- [2] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 王仰麟. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2001: 16-41, 202-236.
- [9] 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.
- [10] 方华军, 杨学明, 张晓平, 梁爱珍. 坡耕地黑土有机碳空间异质性及其格局. *水土保持通报*, 2005, 25(3): 20-24, 28-28.
- [11] 赵军, 孟凯, 隋跃宇, 韩秉进, 张淦, 李宏伟. 海伦黑土有机碳和速效养分空间异质性分析. *土壤通报*, 2005, 36(4): 487-492.
- [13] 孙文义, 郭胜利, 宋小燕. 地形和土地利用对黄土丘陵沟壑区表层土壤有机碳空间分布影响. *自然资源学报*, 2010, 25 (3): 443-453.
- [14] 魏孝荣, 邵明安, 高建伦. 黄土高原沟壑区小流域土壤有机碳与环境因素的关系. *环境科学*, 2008, 29(10): 2879-2884.
- [18] 薛志婧, 侯晓瑞, 程曼, 安韶山. 黄土丘陵区小流域尺度上土壤有机碳空间异质性. *水土保持学报*, 2011, 25(3): 160-163, 168-168.
- [19] 王小利, 郭胜利, 马玉红, 黄道友, 吴金水. 黄土丘陵区小流域土地利用对土壤有机碳和全氮的影响. *应用生态学报*,

- 2007, 18(6): 1281-1285.
- [20] 李裕元, 邵明安, 郑纪勇, 李秋芳. 黄土高原北部草地的恢复与重建对土壤有机碳的影响. 生态学报, 2007, 27(6): 2279-2287.
- [21] 李典友, 潘根兴, 陈良松, 李军. 安徽六安市表层土壤有机碳的空间分布及尺度变异分析. 生态与农村环境学报, 2008, 24(4): 37-41.
- [22] 许信旺. 农田土壤有机碳变化研究. 芜湖: 安徽师范大学出版社, 2011: 13-14.
- [23] 吴建国, 张小全, 徐德应. 土地利用变化对土壤有机碳贮量的影响. 应用生态学报, 2004, 15(4): 593-599.
- [24] 姚丽贤, 周修冲, 蔡永发, 陈婉珍. 不同采样密度下土壤特性的空间变异特征及其推估精度研究. 土壤, 2004, 36(5): 538-542.
- [25] 刘聪, 周清, 屈金莲, 朱玉琼. 不同地形条件下样点密度对土壤养分空间变异的影响. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2013, 39(1): 80-85.
- [26] 刘铁辉. 近 16 年来黄土丘陵沟壑区土地利用动态变化及驱动因素分析——以陕北黄土高原的子长县为例. 中国水土保持科学, 2012, 10(6): 6-11.
- [27] 刘德林, 郝仕龙, 李壁成. 黄土高原上黄小流域土地利用变化动态变化及驱动力分析. 水土保持通报, 2012, 32(3): 211-216.
- [28] 陈凤娟, 张晓萍, 付艳玲, 吴艳, 万龙, 刘国彬. 陕北安塞县马家沟流域近 20 年来土地利用变化分析. 水土保持通报, 2011, 31(1): 244-248.
- [29] 查小春, 唐克丽. 黄土丘陵区林区开垦地土壤退化研究. 干旱区地理, 2001, 24(4): 359-364.
- [30] 王根绪, 马海燕, 王一博, 常娟. 黑河流域中游土地利用变化的环境影响. 冰川冻土, 2003, 25(4): 359-367.
- [31] 巩杰, 陈利顶, 傅伯杰, 虎陈霞, 卫伟. 黄土丘陵区小流域植被恢复的土壤养分效应研究. 水土保持学报, 2005, 19(1): 93-96.
- [32] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响——以延安市羊圈沟流域为例. 地理学报, 1999, 54(3): 241-246.
- [34] 陈朝, 吕昌河, 范兰, 武红. 土地利用变化对土壤有机碳的影响研究进展. 生态学报, 2011, 31(18): 5358-5371.
- [35] 程先富, 史学正, 于东升, 潘贤章. 江西省兴国县土壤全氮和有机质的空间变异及其分布格局. 应用与环境生物学报, 2004, 10(1): 64-67.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.5 Mar., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Advance in the study on drought index LI Bozhen, ZHOU Guangsheng (1043)
- State-of-the-art review of the impact of climatic change on bioavailability of mineral elements in crops
..... LI Longqing, WU Zhengyun, ZHANG Qiang, et al (1053)
- Mechanism, hypothesis and evidence of herbivorous insect-host interactions in forest ecosystem
..... ZENG Fanyong, SUN Zhiqiang (1061)
- Approach of nematode fauna analysis indicate the structure and function of soil food web
..... CHEN Yunfeng, HAN Xuemei, LI Yufei, et al (1072)
- A spatial econometric analysis of water footprint intensity convergence on a provincial scale in China
..... ZHAO Liangshi, SUN Caizhi, ZHENG Defeng (1085)
- Pattern dynamics of vegetation coverage of Plateau Valley-City in the Western China; a case study in Xining
..... GAO Yun, XIE Miaomiao, FU Meichen, et al (1094)
- Scale effect analysis of the influence of land use and environmental factors on surface soil organic carbon; a case study in the
hilly and gully area of Northern Shaanxi Province ZHAO Mingyue, ZHAO Wenwu, ZHONG Lina (1105)
- Effects of *Eisenia foetida* and *Amyntas morrisi* on the chemical and biological properties of soil amended with the paper mill
sludge CHEN Xufei, ZHANG Chi, DAI Jun, et al (1114)

Autecology & Fundamentals

- Regulation of potassium supply and signal inhibitors on acetate effluxes by ectomycorrhizal fungi
..... YANG Hongjun, LI Yong, YUAN Ling, et al (1126)
- Arsenic induces guard cell death in leaf epidermis of *Vicia faba* XUE Meizhao, YI Huilan (1134)
- Identification and characteristics of phenol degrading bacteria ad049 screened from oil contaminated soil
..... HU Ting, GU Jie, ZHEN Lisha, YANG Jiu, et al (1140)
- Physiological response of *Medicago sativa* L. to copper stress by FTIR spectroscopy
..... FU Chuan, YU Shunhui, HUANG Yimin, et al (1149)
- Effects of sowing date on 2-acetyl-1-pyrroline content and yield of late season aromatic rice
..... YANG Xiaojuan, TANG Xiangru, WEN Xiangcheng, et al (1156)
- Effects of exogenous calcium (Ca) on tolerance of *Allium cepa* var. *agrogarum* L. to cadmium (Cd) stress
..... WANG Qiaoling, ZOU Jinhua, LIU Donghua, et al (1165)
- The study of *Vitex negundo* shrubs canopy biomass inversion in Beijing Jundu mountainous area based on vegetation indices
..... GAO Mingliang, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1178)
- Comparison study of sulfur dioxide resistance of three warm-season turf grasses LI Xi, WANG Lihua, LIU Wei, et al (1189)
- Geostatistical analysis on spatial dynamics of the apterous *Myzus persicae* in flue-cured tobacco fields of Enshi tobacco area, China ...
..... XIA Pengliang, WANG Rui, WANG Changjun, et al (1198)
- Patterns of seed predation and removal of Mongolian oak (*Quercus mongolica*) by rodents
..... ZHANG Jinghong, LIU Bingwan (1205)
- Effect of available burrow densities of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) on leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry of dominant
plants and soil in alpine meadow LI Qianqian, ZHAO Xu, GUO Zhenggang (1212)

- Overcompensation and competitive effects of *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus obliquus* after low temperature and light stresses XIE Xiaoling, ZHOU Rong, DENG Zifa (1224)

Population, Community and Ecosystem

- The main nest predators of birds breeding in artificial nest-boxes and its influencing factors ZHANG Lei, LI Donglai, MA Ruiqiang, et al (1235)
- Temporal and spatial variation of macrobenthic communities in the intertidal zone of Xunpu, Quanzhou Bay ZHUO Yi, CAI Lizhe, GUO Tao, et al (1244)
- The influence of variables at different scales on stream benthic macroinvertebrates in Luanhe River Basin ZHANG Haiping, WU Dayong, WANG Zhaoming, et al (1253)
- Relationships between environmental variables and seasonal succession in phytoplankton functional groups in the Hulan River Wetland LU Xinxin, LIU Yan, FAN Yawen (1264)
- Habitat assessment of sika deer (*Cervus nippon*) in the Taohongling National Nature Reserve, Jiangxi Province, China LI Jia, LI Yankuo, MIAO Lujun, et al (1274)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The comprehensive geographical regionalization of China supporting natural conservation GUO Ziliang, CUI Guofa (1284)
- Response of vegetation coverage to climate change in Mongolian Plateau during recent 10 years MIAO Lijuan, JIANG Chong, HE Bin, et al (1295)
- Impact analysis of human activities and climate change on Honghu lake's spring drought LIU Kequn, LIANG Yitong, ZHOU Jinlian, et al (1302)
- Lakes evolution of central Wuhan during 2000 to 2010 DAN Yongli, WANG Hongzhi, ZHANG Huan, et al (1311)

Resource and Industrial Ecology

- The spatial distribution of *Ophiocordyceps sinensis* suitability in Sanjiangyuan Region ... LI Fen, WU Zhifeng, XU Cui, et al (1318)

《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 象伟宁

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 34 卷 第 5 期 (2014 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 5 (March, 2014)

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