

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第1期 Vol.33 No.1 **2013**

中国生态学会
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 1 期 2013 年 1 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 生态整合与文明发展..... 王如松 (1)
- 干旱半干旱区坡面覆被格局的水土流失效应研究进展 高光耀,傅伯杰,吕一河,等 (12)
- 城市林木树冠覆盖研究进展 贾宝全,王 成,邱尔发,等 (23)
- 环境质量评价中的生物指示与生物监测 Bernd Markert,王美娥,Simone Wünschmann,等 (33)
- 水溶性有机物电子转移能力及其生态效应 毕 冉,周顺桂,袁 田,等 (45)

个体与基础生态

- 凋落物和增温联合作用对峨眉冷杉幼苗抗氧化特征的影响 杨 阳,杨 燕,王根绪,等 (53)
- 不同浓度 5-氨基乙酰丙酸(ALA)浸种对 NaCl 胁迫下番茄种子发芽率及芽苗生长的影响
..... 赵艳艳,胡晓辉,邹志荣,等 (62)
- 缺镁胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响 凌丽俐,彭良志,王男麒,等 (71)
- 松嫩草地 66 种草本植物叶片性状特征..... 宋彦涛,周道玮,王 平,等 (79)
- 花蜜中酚类物质对群落中同花期植物传粉的影响..... 赵广印,李建军,高 洁 (89)
- 桉树枝瘿姬小蜂连续世代种群生命表..... 朱方丽,邱宝利,任顺祥 (97)

种群、群落和生态系统

- 蒙古栎地理分布的主导气候因子及其阈值 殷晓洁,周广胜,隋兴华,等 (103)
- 河静黑叶猴果实性食物组成、选择及其对种子的扩散作用..... 阮海河,白 冰,李 宁,等 (110)
- 2010 秋季东海今生颗石藻的空间分布 靳少非,孙 军,刘志亮 (120)
- OPRK1 基因 SNP 与梅花鹿日间行为性状的相关性 吕慎金,杨 燕,魏万红 (132)
- 鄱阳湖流域非繁殖期鸟类多样性 邵明勤,曾宾宾,徐贤柱,等 (140)
- 人工巢箱条件下两种山雀鸟类的同域共存机制 李 乐,张 雷,殷江霞,等 (150)
- 桉-栎不同混合比例凋落物分解过程中土壤动物群落动态 李艳红,杨万勤,罗承德,等 (159)
- 三峡库区生态系统服务功能重要性评价 李月臣,刘春霞,闵 婕,等 (168)

景观、区域和全球生态

- 黄土高原小流域不同地形下土壤有机碳分布特征 李林海,郜二虎,梦 梦,等 (179)
- 海岸带地理特征对沉水植被丰度的影响..... 吴明丽,李叙勇,陈年来 (188)
- 玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质 曹国栋,陈接华,夏 军,等 (195)

资源与产业生态

- 农田开垦对三江平原湿地土壤种子库影响及湿地恢复潜力 王国栋,Beth A Middleton,吕宪国,等 (205)
- 漫溢干扰过程中微地形对幼苗定居的影响 安红燕,徐海量,叶 茂,等 (214)
- 黑龙江流域夏玉米产量提升限制因素 徐丽娜,陶洪斌,黄收兵,等 (222)
- 黑龙江省药用植物根际土壤真菌多样性 慕东艳,吕国忠,孙晓东,等 (229)

桑沟湾养殖生态系统健康综合评价 傅明珠,蒲新明,王宗灵,等 (238)

城乡与社会生态

基于“OOAO 原则”的罗源湾生态质量状况综合评价 吴海燕,吴耀建,陈克亮,等 (249)

四十里湾营养状况与浮游植物生态特征 李 斌,白艳艳,邢红艳,等 (260)

生态足迹深度和广度:构建三维模型的新指标 方 恺 (267)

中国东西部中小城市景观格局及其驱动力 齐 杨,邬建国,李建龙,等 (275)

研究简报

南海陆坡沉积物细菌丰度预测 李 涛,王 鹏 (286)

浑善达克沙地榆树疏林幼苗更新空间格局 刘 振,董 智,李红丽,等 (294)

光 and 不同打破种子休眠方法对紫茎泽兰种子萌发及幼苗状态的影响 姜 勇,李艳红,王文杰,等 (302)

学术争鸣

关于植物群丛划分的探讨 邢韶华,于梦凡,杨立娟,等 (310)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2013-01



封面图说: 外来入侵物种紫茎泽兰——紫茎泽兰约于 20 世纪 40 年代由缅甸传入中国云南南部后迅速蔓延,现已在云南、贵州、四川、广西、重庆、湖北、西藏等省区广泛分布和危害,并仍以每年大约 30 km 的速度扩散。紫茎泽兰为多年生草本或亚灌木,号称“植物界杀手”。其对环境的适应性极强,疯长蔓延,能极大耗损土壤肥力。它的植株能释放多种化感物质,排挤其他植物生长而形成单优种群,它破坏生物多样性,威胁到农作物、畜牧草甚至林木,且花粉能引起人类过敏性疾病等,目前尚无有效治理对策。

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

DOI: 10.5846/stxb201202040143

李林海, 郜二虎, 梦梦, 魏孝荣. 黄土高原小流域不同地形下土壤有机碳分布特征. 生态学报, 2013, 33(1): 0179-0187.

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): 0179-0187.

黄土高原小流域不同地形下土壤有机碳分布特征

李林海^{1,2}, 郜二虎³, 梦梦⁴, 魏孝荣^{5,*}

(1. 北京自然博物馆, 北京 100050; 2. 北京林业大学生物科学与技术学院, 北京 100083;

3. 国家林业局调查规划设计院, 北京 100714; 4. 中国野生动物保护协会, 北京 100714;

5. 西北农林科技大学水土保持研究所, 杨凌 712100)

摘要:研究了黄土高原小流域尺度塬面、坡地、沟道和梯田 4 种地形条件下土壤有机碳总量和活性组分的分布、储量及碳库管理指数的差异。结果表明, 小流域土壤有机碳和不同活性有机碳的变异系数介于 32%—70% 之间, 表现出中到高度的变异特征。4 种地形下各组分有机碳含量和储量以塬面土壤最高, 沟道土壤最低, 并随土层深度的增加而降低, 降低程度随有机碳活性增强而增加。以塬面土壤为对照所获得的碳库管理指数可灵敏指示有机碳对地形条件的响应特征, 中活性有机碳库管理指数的指示效果最好。研究结果可部分解释黄土高原土壤有机碳地带性分布特征。

关键词:黄土高原; 地形条件; 土壤有机碳; 活性有机碳; 碳库管理指数

The distribution of soil organic carbon as affected by landforms in a small watershed of gully region of the Loess Plateau

LI Linhai^{1,2}, GAO Erhu³, MENG Meng⁴, WEI Xiaorong^{5,*}

1 Beijing Museum of Nature History, Beijing 100050, China

2 College of Biological Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

3 Academy of Forest Inventory and Planning, State Forestry Administration, Beijing 100714, China

4 China Wildlife Conservation Association, Beijing 100714, China

5 Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

Abstract: Soil organic carbon plays important role in soil quality changes and terrestrial carbon cycling. However, the relationships between soil organic carbon distribution and landscape positions were not well understood, which are essential for the precisely predication of the spatial distribution of soil organic carbon and for the rational management of soil organic carbon, as well as for the assessment of the dynamics of soil organic carbon at different landscape positions at different landscape scales. China's Loess Plateau is a major region for agricultural production, and an ecological ecotone in northwest China, which suffers serious land degradation and ecologically economic problems due to the soil erosion in the region. The distribution and cycling of soil organic carbon were related not only with the maintaining and improving of soil quality in the region, but also with the response and adaptation of soil ecosystems to the future global climate change, and thus should be carefully assessed. In this study, we investigated the distribution of soil organic carbon and labile organic carbon at various landforms, that is, plateau land, sloping land, gully bottom and terrace land. We also analyzed the differences of carbon management index at various landscape positions. The objectives were to establish the relationships between soil organic carbon and the landscape positions in a gully watershed of the Loess Plateau, and to understand how the labile organic

基金项目:北京市科学技术研究院萌芽项目; 国家林业局野生动植物保护项目(林规发[2011]95号)

收稿日期:2012-02-04; **修订日期:**2012-07-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xrwei78@163.com

carbon and carbon pool management index respond to the landscape positions. The results showed that soil organic carbon and labile organic carbon in the small watershed of the Loess Plateau have variance coefficients ranging from 32% to 70%, indicating medium to high variation. The highest and lowest of total and labile organic carbon were observed in plateau land and gully bottom, respectively. Additionally, total and labile organic carbon decreased with soil depth and the most decrease was tested in high labile organic carbon fraction. The carbon management index in this study can sensitively indicate the response of soil organic carbon to landforms. Among the 3 labile organic carbon fractions, the middle labile organic carbon based carbon management index present the best indication for carbon along soil profile. Our results indicate that the effects of landform on soil organic carbon can partly explain the regional distribution of soil organic carbon in the Loess Plateau.

Key Words: the Loess Plateau; landform; soil organic carbon; labile organic carbon; carbon management index

土壤有机碳是土壤中较为活跃的部分,其含量和动态在土壤质量演变和全球碳循环中起着十分重要的作用。土壤活性有机碳是指土壤中转化快、稳定性差,并对植物和土壤微生物活性较高的那部分有机态碳,它可用易氧化态碳、水溶性碳和微生物量碳等来表征^[1-2]。活性有机碳直接参与土壤生物化学转化过程,也是土壤微生物活动的能源和土壤养分循环的驱动力,在表征土壤质量方面有着重要意义^[2-4]。

地形是成土过程中的一个重要因素,它不但支配着地表和土壤中水热资源的重新分配,而且影响着土壤生态系统的物质循环过程和强度,对土壤有机碳分布和储量有着深远影响。目前在地形条件与有机碳关系方面的研究中,许多研究者比较了不同坡位土壤有机碳的分布特征,对坡地土壤有机碳的管理提供了比较充分的理论依据^[5-9];还有学者研究了较大尺度空间上土壤有机碳的分布格局,并对大尺度区域有机碳变化特征进行了预测^[10-16]。但这些研究对地形地貌特征与有机碳分布之间的关系涉及得较少,而且研究对象多为表层土壤^[7-11],研究结果所揭示的有机碳与地形特征之间的信息较少,对不同地形下有机碳库管理的指导性不强。

黄土高原地区是我国主要的农业生产区,也是我国西北生态环境脆弱区,该区强烈的水土流失造成的土壤退化和生态经济问题十分严重^[17],在很大程度上影响着该区粮食安全的保障和生态、经济、社会的和谐发展。土壤有机碳库的分布及碳循环过程的变化不但关系到该区土壤质量的维持和保育以及生态环境的持续发展,而且影响到该区土壤及其脆弱的生态环境对全球变化的响应和适应^[18-20],需要开展系统的研究。黄土高原地区主要地形为塬面、梯田、坡地和沟道,要对该区土壤有机碳状况进行全面准确地评估,必须深入了解不同地形条件对土壤有机碳分布特征的影响。本文在位于黄土高原的王东沟小流域选择了塬面、梯田、坡地和沟道 4 种典型地形条件,研究了小流域尺度不同地形条件下土壤有机碳和活性有机碳的分布特征及其储量,并分析了不同地形条件下的碳库管理指数,以期合理评价黄土高原地区土壤碳的分布和循环并对其进行合理的管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究在地处黄土高原南部的王东沟小流域进行。王东沟小流域位于陕西省长武县境内,东经 107°40′30″—107°42′30″,北纬 35°12′—35°16′,海拔 1 200 m,流域总面积 8.3 km²。该流域土壤母质为中壤质马兰黄土。气候属暖温带半湿润大陆型气候,多年平均气温 9.1 ℃,多年平均无霜期 171 d,≥ 0 ℃ 活动积温 3866 ℃,≥ 10 ℃ 活动积温 3 029 ℃,多年平均降雨量 584.1 mm,降水变率大,年内季节分布不均,主要集中在 7—9 月份。

1.2 样品采集与分析

于 2005 年 7 月在王东沟小流域不同地形条件采集 37 个土壤剖面样品,所选取的地形条件分别为塬面(剖面数为 12)、梯田(剖面数为 12)、坡地(剖面数为 7)和沟道(剖面数为 6)。各样点的分布及基本情况见文

献^[21]。各地形条件下的土壤剖面特征相似,塬面和梯田多为农地,坡地和沟道多为林草地。在每个采样点分别采集 0—20、20—40、40—60、60—80 cm 土层土壤样品,每点采 3 次重复组成混合土样,同时用环刀法测定各个土层的土壤容重。土壤样品自然风干,分别处理通过 0.25 mm 和 1.0 mm 筛孔以供测定。

土壤总有机碳用 K_2CrO_7 氧化法测定,土壤活性有机碳用 $KMnO_4$ 氧化法测定^[22],其操作步骤为:称取 2.500 g 土壤样品于 100 mL 塑料离心管中,加入 25 mL 不同浓度的高锰酸钾溶液,振荡 1 h,然后在转速 4000 r/min 下离心 5 min,将上清液稀释后在 565 nm 下测定吸光度,通过其与不加土壤的空白吸光度之差,计算出高锰酸钾浓度的变化,进而计算出氧化的有机碳即活性有机碳(氧化过程中 1 mmol $KMnO_4$ 消耗 0.75 mmol 或 9 mg C)。试验中选择的 $KMnO_4$ 浓度为 333、167 和 33 mmol/L,由此测定的有机碳分别代表低活性、中活性和高活性有机碳。

1.3 数据处理

土壤有机碳储量(SOC, Mg/hm^2)计算如下:

$$SOC = \frac{C \times h \times \rho}{10} \quad (1)$$

式中,C 为有机碳含量(g/kg),h 为土层厚度(cm), ρ 为土壤容重(g/cm^3)。

土壤碳库管理指数(CMI)计算参照文献^[23]进行:

$$L = \frac{LOC}{NLOC} \quad (2)$$

$$LI = \frac{L}{L_0} \quad (3)$$

$$CPI = \frac{TOC}{TOC_0} \quad (4)$$

$$CMI = CPI \times LI \times 100 \quad (5)$$

式中,TOC 为样本总有机碳含量(g/kg);LOC 为样本活性有机碳(g/kg);L 为样本的碳库活度;NLOC 为样本非活性有机碳(g/kg);LI 为活度指数; L_0 为对照的碳库活度; TOC_0 为对照总有机碳含量(g/kg),CPI 为碳库指数。

采用二元方差分析方法对各变量进行统计分析,以检验地形条件、土层深度以及二者的交互作用对各变量的影响;用 Excel 作图,图中误差线为标准误。

2 结果与讨论

2.1 小流域剖面土壤有机碳和活性有机碳总体分布特征

研究小流域范围内土壤不同组分有机碳在剖面的平均含量及其统计特征,可以查明该流域不同土层土体有机碳的整体分布状况,为进一步揭示其在流域范围内不同地形条件下的分布特征提供参考,从而为辨别影响有机碳在流域范围内分布的因子提供依据。

研究区土壤总有机碳及不同活性有机碳的平均值在 0—80 cm 土层范围内均随土层深度增加而显著降低,其变幅和标准差也在土壤剖面上呈现出降低趋势,但变异系数却与此相反,表现为深层土壤(40—80 cm)大于上层土壤(0—40 cm)(表 1)。Wilding^[24]根据土壤性质的变异系数对其变异程度进行了分类:变异系数小于 15% 的为小变异,在 16%—35% 之间的为中等变异,大于 36% 的为高度变异。本研究中表层土壤总有机碳和低活性有机碳的变异系数分别为 32% 和 35%,为中度变异;这一土层中活性和高活性有机碳及其它土层各组分有机碳的变异系数均高于 36%,为高度变异。

不同组分有机碳的均值、变幅和标准差表现为:总有机碳>低活性有机碳>中活性有机碳>高活性有机碳,而变异系数则随有机碳活性的增高而增大,这是因为活性有机碳在土壤中转快、稳定性差、易于氧化矿化^[1-4],随着活性的增强,其受外界环境因素的影响就越大,从而表现出较大的变异性。在本研究条件下,地形条件引起的水热资源分配、土壤水热状况差异及土壤管理措施的不同是导致土壤有机碳变异的主要原因,

因此需要分析不同地形条件下土壤有机碳的分布特征。

表 1 小流域土壤有机碳总体分布特征

Table 1 The overall distribution of total and labile organic carbon in the watershed

	土壤层次/cm Soil depth	均值/(g/kg) Mean	最大值/(g/kg) Max	最小值/(g/kg) Min	标准差/(g/kg) StdEv	变异系数/% CV
总有机碳	0—20	5.84	9.61	1.73	1.90	32
Total organic carbon	20—40	4.46	7.89	1.50	1.65	37
	40—60	3.75	6.93	1.26	1.44	38
	60—80	3.54	7.30	1.18	1.58	45
低活性有机碳	0—20	1.14	2.20	0.41	0.40	35
Low labile organic	20—40	0.84	1.68	0.38	0.35	42
carbon	40—60	0.71	1.59	0.23	0.32	45
	60—80	0.67	1.28	0.28	0.26	40
中活性有机碳	0—20	0.77	1.44	0.24	0.32	41
Medium labile organic	20—40	0.51	1.01	0.22	0.25	49
carbon	40—60	0.39	0.99	0.04	0.22	57
	60—80	0.33	0.76	0.08	0.18	54
高活性有机碳	0—20	0.42	0.78	0.06	0.18	41
High labile organic	20—40	0.27	0.61	0.04	0.15	54
carbon	40—60	0.18	0.54	0.01	0.13	70
	60—80	0.14	0.36	0.01	0.10	70

2.2 地形条件对土壤有机碳的影响

2.2.1 对有机碳含量的影响

不同地形条件下总有机碳和各组分有机碳含量差异显著 ($P < 0.05$), 并且基本上呈现出塬面 > 坡地、梯田 > 沟道的分布趋势(图 1)。如塬面土壤总有机碳、低活性、中活性和高活性有机碳在 0—20 cm 土层的含量分别是沟道土壤的 1.9、1.6、2.4 和 2.3 倍, 在 60—80 cm 分别是沟道土壤的 3.3、1.2、4.7 和 4.4 倍。尽管不同地形条件有机碳在土壤剖面均随土层深度的增加而降低, 但其降低程度与有机碳活性有关, 随活性增高, 降低程度增加(图 1), 如总有机碳、中活性和高活性有机碳在塬面土壤降低较少, 从 0—20 cm 土层到 60—80 cm 土层降低了 32%、50% 和 61%, 在沟道土壤降低较多, 分别降低了 62%、75% 和 80%。

不同地形条件下土壤有机碳的分布特征与地形条件引起的水热过程及土壤管理措施有关。在水热过程方面, 沟坡光、热资源优于塬面, 而雨水资源劣于塬面^[25], 其土壤中有机碳的矿化作用也因此强于塬面土壤, 有机碳含量较低。在土壤管理方面, 塬面主要为农地, 有机肥料投入量大, 土壤有机碳含量较高; 梯田开垦后土壤贫瘠, 而且梯田和坡地离居住地较远, 有机肥料施用量少, 土壤有机碳含量较低; 沟道土壤无有机肥料施用, 有机碳含量最低。另一方面, 塬面土壤土层较厚, 剖面分布较为均匀^[25], 有机碳剖面变异小于其它地形条件, 而沟道土壤土层较薄, 剖面分布不均^[25], 有机碳剖面变异大于其它地形条件。此外, 对于深层土壤而言, 塬面土壤有机碳含量较高, 而且土壤环境较有利于有机碳向各个组分的转化, 这就缓和了各组分有机碳在深层土壤的降低程度, 而沟道深层土壤接近成土母质, 土壤环境不利于有机碳向活性组分的转化, 从而加剧了深层土壤活性有机碳含量的降低。

2.2.2 对土壤有机碳储量的影响

不同地形条件下土壤有机碳储量的剖面分布趋势与其含量相似, 即随剖面深度的增加和活性的增加而减少(图 2)。不同组分活性有机碳储量的差异以沟道土壤较大, 塬面和梯田土壤较小; 以深层土壤较大, 表层土壤较小。如在 0—20、20—40、40—60 和 60—80 cm 土层, 土壤低活性有机碳储量分别是高活性有机碳储量的 2.4—3.4、2.8—4.0、3.5—4.3 和 3.7—14.5 倍。4 个土层土壤有机碳和各组分活性有机碳储量均以塬面土

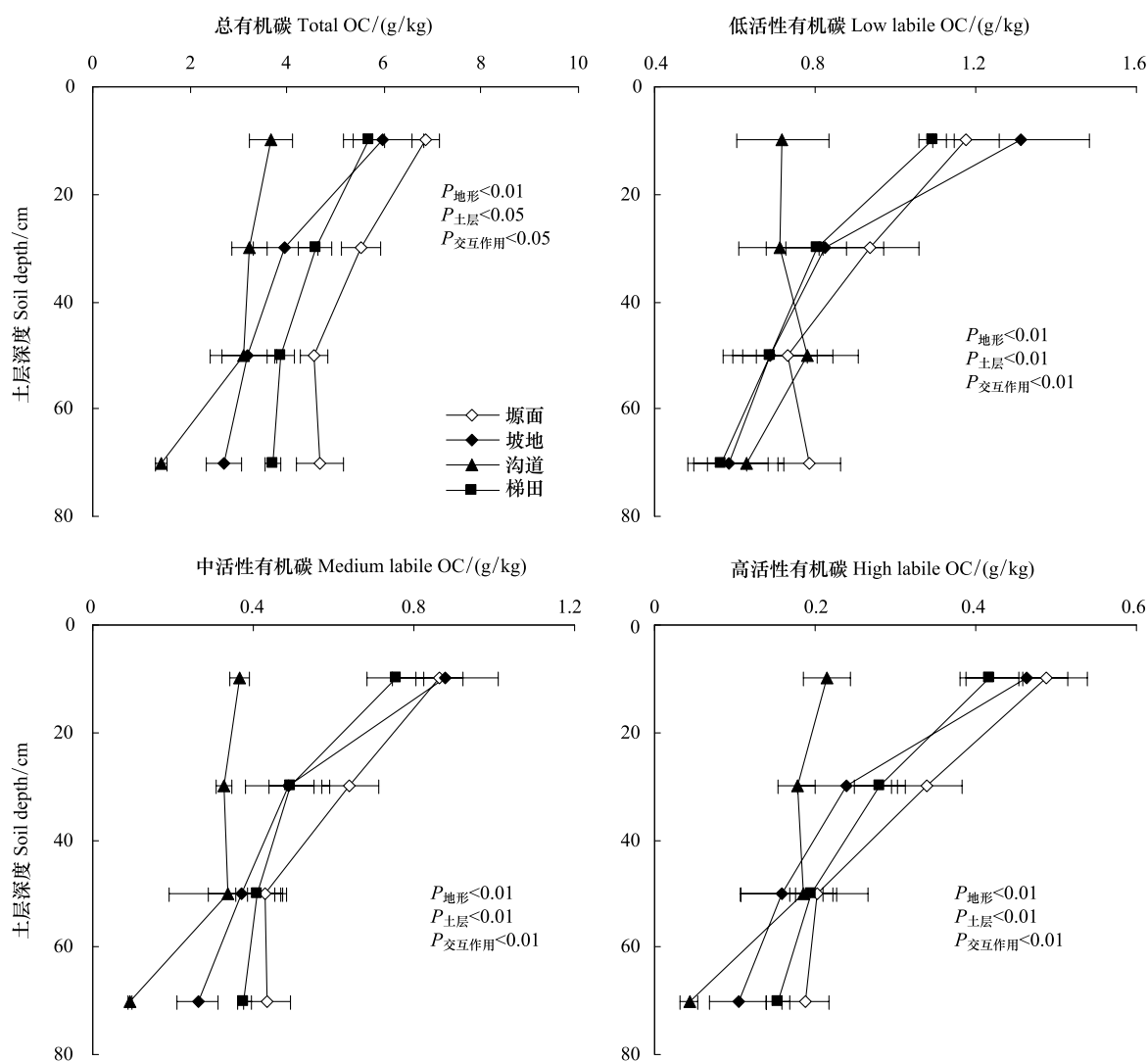


图1 不同地形条件下土壤有机碳含量的剖面分布特征 (误差限为标准误)

Fig. 1 Profile distribution of total and labile organic carbon (OC) concentration at different landforms (Error bars are SE)

壤最大,分别是坡地、梯田和沟道土壤的1.5、1.2、1.3、1.4倍,1.3、1.3、1.3、1.3倍和1.9、1.3、2.1、2.0倍。

土壤有机碳储量是研究生态系统碳平衡的关键因素^[26],不同地形条件下有机碳储量的巨大差异往往是流域或区域范围内碳平衡计算误差的一个来源。本研究结果表明,小流域尺度不同地形条件下有机碳储量差异较大,这主要取决于不同地形条件下有机碳含量的差异。此外,根据有机碳储量计算公式可知,土壤容重的不同也会造成有机碳储量的差异。本研究中原面土壤容重最大,坡地和梯田土壤较小(图3),加之原面土壤有机碳含量显著高于其它地形条件,这就加大了不同地形之间有机碳储量的差异。由于不同活性有机碳与总有机碳含量之间显著相关^[27],4种地形下各组分有机碳储量也呈现出与总有机碳储量相似的分布特征(图2)。

本文对黄土高原小流域不同地形条件下有机碳储量的观测结果表明,塬面为高有机碳储量地貌单元,沟道为低有机碳储量地貌单元。在流域景观中,塬面地貌单元所占比例越大,流域有机碳储量就越高;沟道地貌单元所占比例越大,流域有机碳储量就越低。这表明,除气候条件、土地利用和土壤类型外,黄土高原地区有机碳储量的地带性分布还与地形条件有关。黄土高原地区从北向南,高有机碳储量地貌单元塬面所占比例逐渐增加,其在区域土壤有机碳构成中的比例相应增加;低有机碳储量地貌单元沟道的比例逐渐减少,其在区域土壤有机碳构成中的比例相应减少^[17],因此有机碳储量逐渐升高,这与其他研究者得到的黄土高原地区土壤

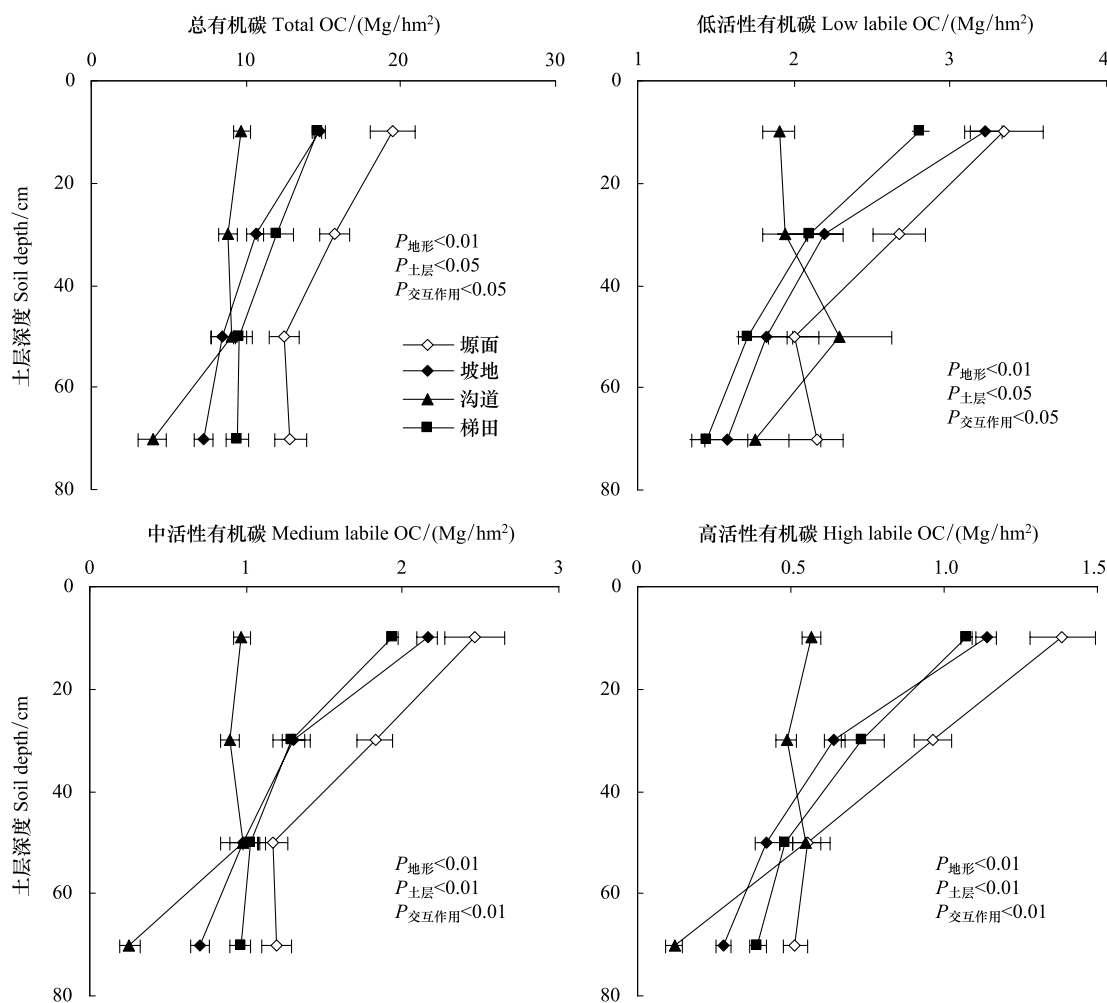


图2 不同地形条件下土壤有机碳储量的剖面分布特征 (误差限为标准误)

Fig. 2 Profile distribution of total and labile organic carbon (OC) storage at different landforms (Error bars are SE)

有机碳储量分布趋势一致^[28-30]。

2.2.3 对土壤有机碳库管理指数(CMI)的影响

Blair 在 1995 年根据土壤中活性有机碳和非活性有机碳的关系提出了土壤有机碳管理指数 (CMI)^[27], 以指示土壤有机碳库变化情况。目前 CMI 主要用于农地或者土地利用方式改变后土壤有机碳变化的研究中^[2-3, 23, 28, 31-33], 在不同地形条件下的应用尚未见报道。一般情况下, CMI 大于 1, 表明土壤有机碳比对照土壤有所增加, 反之, 则有所损失。为确定在计算 CMI 时对照地形的选取, 引用 15a 前的历史资料比较不同地形下土壤有机碳的变化情况。在本研究中, 塬面土壤有机碳含量在最近 15a 内变化最小 (图 4), 所以本文选取塬面土壤为对照计算不同地形下土壤各组分有机碳 CMI。

坡地 0—20 cm 土层和沟道 40—60 cm 土层低活性有机碳 CMI 为 1.2, 坡地 0—20 cm 中活性有机碳 CMI

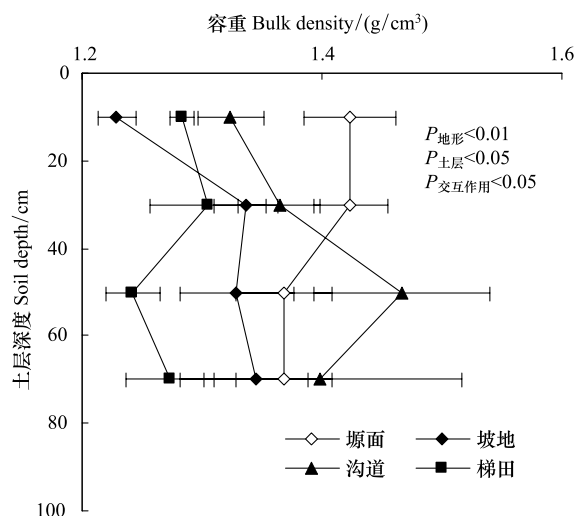


图3 不同地形条件下土壤容重分布特征

Fig. 3 Soil bulk density along profile at different landforms

为 1.0 (表 2),表明这些土层相应的活性有机碳含量稍高于塬面土壤;其余地形条件下各组分有机碳 CMI 均低于 1,表明相应的有机碳含量均低于塬面土壤,这与不同地形条件下土壤有机碳分布特征相似(图 1),表明本研究获得的各组分有机碳 CMI 可以指示不同地形条件下土壤有机碳的剖面分布趋势,也证明了不同活性有机碳 CMI 对各组分有机碳分布特征指示的敏感性。在 3 种活性有机碳的 CMI 中,中活性有机碳 CMI 与中活性有机碳差值之间的相关系数最大,表明其对土壤有机碳的指示效果最好。

3 结论

3.1 黄土高原小流域土壤总有机碳和不同活性有机碳为中到高度变异,其变异程度随土层深度的增加和有机碳活性的增强而增大。

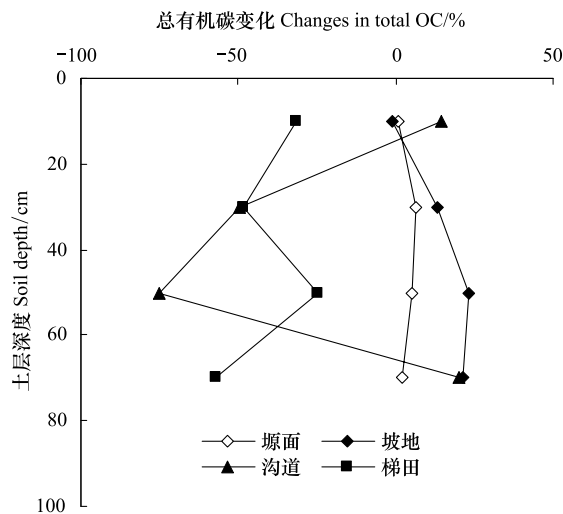


图 4 15a 来土壤总有机碳的变化情况
Fig. 4 Changes in soil organic carbon (OC) after 15 years

表 2 不同活性有机碳库管理指数

Table 2 The carbon management index (CMI) for different labile organic carbon (OC)

土层深度 Soil depth	低活性有机碳 CMI Low labile OC CMI			中活性有机碳 CMI Medium labile OC CMI			高活性有机碳 CMI High labile OC CMI		
	坡地 SL	沟道 GB	梯田 TL	坡地 SL	沟道 GB	梯田 TL	坡地 SL	沟道 GB	梯田 TL
0—20 cm	1.19	0.63	0.96	1.04	0.41	0.88	0.96	0.43	0.86
20—40 cm	0.92	0.81	0.86	0.77	0.50	0.76	0.71	0.52	0.83
40—60 cm	1.00	1.20	0.96	0.88	0.79	0.97	0.79	0.94	0.97
60—80 cm	0.79	1.20	0.71	0.60	0.20	0.88	0.55	0.23	0.82
P									
地形 Landforms	<0.01			<0.01			<0.01		
土层 Soil depths	<0.05			<0.01			<0.05		
地形×土层 Interaction	<0.01			<0.01			<0.01		

3.2 各组分有机碳含量和储量均呈现出塬面>坡地>梯田>沟道的分布趋势,并随土层深度的增加而降低,降低程度随有机碳活性增高而增加。塬面为高有机碳储量地貌单元,沟道为低有机碳储量地貌单元。本研究获得的 不同地形条件下土壤有机碳分布特征的信息可部分解释黄土高原土壤有机碳地带性分布规律。

3.3 不同活性的有机碳库管理指数可以灵敏指示相应组分有机碳对地形条件的响应特征,中活性有机碳库管理指数的指示效果最好。

References:

[1] Shen H, Cao Z H, Hu Z Y. Characteristics and ecological effects of the active organic carbon in soil. Chinese Journal of Ecology, 1999, 18(3): 32-38.

[2] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. Australian Journal of Agricultural Research, 1995, 46(7): 1459-1466.

[3] Xu M G, Yu R, Sun X F, Liu H, Wang B R, Li J M. Effects of long-term fertilization on labile organic matter and carbon management index (CMI) of the typical soils of China. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(4): 459-465.

[4] Grandy A S, Robertson G P. Land-use intensity effects on soil organic carbon accumulation rates and mechanisms. Ecosystems, 2007, 10: 58-73.

[5] Fang H J, Yang X M, Zhang X P, Liang A Z. Distribution character of organic carbon in black soil of sloping field and calculation of loss amount of soil carbon. China Environmental Science, 2005, 25(S1): 81-84.

- [6] Fang H J, Cheng S L, Zhang X P, Liang A Z, Yang X M, Drury C F. Impact of soil redistribution in a sloping landscape on carbon sequestration in Northeast China. *Land Degradation and Development*, 2006, 17(1): 89-96.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Wei X R, Shao M A. The distribution of soil nutrients on sloping land in the gully region watershed of the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2): 603-612.
- [10] Tian Y Q, Ouyang H, Xu X L, Song M H, Zhou C P. Distribution characteristics of soil organic carbon storage and density on the Qinghai-tibet plateau. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5): 933-942.
- [11] Wu J S, Tong C L, Liu S L. Responses of soil organic carbon to global climate changes in cultivated soils in the subtropical and the loess plateau regions. *Advance in Earth Sciences*, 2004, 19(1): 131-137.
- [12] Wang S Q, Tian H Q, Liu J Y, Pan S F. Pattern and change of soil organic carbon storage in China: 1960s—1980s. *Tellus*, 2003, 55(2): 416-427.
- [13] Ji J J, Hang M, Li K R. Prediction of carbon exchanges between China terrestrial ecosystem and atmosphere in 21st century. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2008, 51(6): 885-898.
- [14] Li K R, Wang S Q, Cao M K. Vegetation and soil carbon storage in China. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2004, 47(1): 49-57.
- [15] Zhang Y Q, Tang Y H, Jiang J. Characterizing the dynamics of soil organic carbon in grasslands on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2007, 50(1): 113-120.
- [16] Pan G X. Soil organic carbon stock, dynamics and climate change mitigation of China. *Advances in Climate Change Research*, 2008, 4(5): 282-289.
- [17] Tang K L. *Soil and Water Conservation in China*. Beijing: Science Press, 2004.
- [18] Hang Y, Fu B J, Chen L D. Effect of soil and water conservation on environment in Loess Plateau. *Journal of Soil Water Conservation*, 2003, 17(1): 29-32.
- [19] Li F M, Xu J Z, Sun G J. Restoration of degraded ecosystems and development of water-harvesting ecological agriculture in the semi-arid Loess Plateau of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1901-1909.
- [20] Pan G X, Zhao Q G. Study on evolution of organic carbon stock in agricultural soils of China: facing the challenge of global change and food security. *Advance in Earth Sciences*, 2005, 20(4): 384-393.
- [21] Wei X R, Shao M A, Zhuang J, Horton R. Soil iron fractionation and availability at selected landscape positions in a loessial gully region of northwestern China. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2010, 56(4): 617-626.
- [22] Blair G J, Lefroy R, Whitbread A, Blair N, Conte A. The development of the KMnO_4 oxidation technique to determine labile carbon in soil and its use in a carbon management index // Lal R, Kimble J M, Follett R F, Stewart B, eds. *Assessment Methods for Soil Carbon*. Boca Raton: Lewis Publishers, 2001: 323-337.
- [23] Qiu L P, Zhang X C, Cheng J M. Effects of land-use type on soil organic matter and carbon management index in Ziwoing area. *China Environmental Science*, 2009, 29(1): 84-89.
- [24] Wilding L P. Spatial variability: its documentation, accommodation and implication to soil surveys // Nielson D R, Bouma J, eds. *Soil Spatial Variability*. Wageningen: Purdoc, 1984: 166-193.
- [25] Hao M D, Liang Y L. *Principles and Techniques of Agro-ecosystem Structure, Function, and Adjustment in Changwu Station*. Beijing: Meteorology Press of China, 1998.
- [26] Valentini R, Matteucci G, Dolman A J, Schulze E D, Rebmann C, Moors J E, Granier A, Gross P, Jensen N O, Pilegaard K, Lindroth A, Grelle A, Bernhofer C, Grünwald T, Aubinet M, Ceulemans R, Kowalski A S, Vesala T, Rannik Ü, Berbigier P, Loustau D, Guðmundsson J, Thorgeirsson H, Ibrom A, Morgenstern K, Clement R, Moncrieff J, Montagnani L, Minerbi S, Jarvis P G. Respiration as the main determinant of carbon balance in European forest. *Nature*, 2000, 404(6780): 861-865.
- [27] 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.
- [28] Dang Y A, Li S Q, Wang G D, Shao M A. Distribution characteristics of soil Organic carbon and microbial biomass carbon on the Loess Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(6): 936-945.
- [29] Xu X L, Zhang K L, Xu X L, Peng W Y. Spatial distribution and estimating of soil organic carbon on Loess Plateau. *Journal of Soil Water Conservation*, 2003, 17(3): 13-15.

- [30] Tu X M, Cao J J, Han Y M, Shen Z X, Zhang B C. Storage and spatial distribution of organic and inorganic carbon in the topsoil of Loess Plateau. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2012, 26(2): 114-118.
- [31] Xu M G, Yu R, Wang B R. Labile organic matter and carbon management index in red soil under long-term fertilization. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(5): 723-729.
- [32] Whitbread A, Blair G J, Konboon Y, Lefroy R, Naklang K. Managing crop residues, fertilizers and leaf litters to improve soil C, nutrient balances, and the grain yield of rice and wheat cropping systems in Thailand and Australia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, 100(2/3): 251-263.
- [33] Collard S J, Zammit C. Effects of land-use intensification on soil carbon and ecosystem services in Brigalow (*Acacia harpophylla*) landscapes of southeast Queensland, Australia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 117(2/3): 185-194.

参考文献:

- [1] 沈宏, 曹志洪, 胡正义. 土壤活性有机碳的表征及其生态效应. *生态学杂志*, 1999, 18(3): 32-38.
- [3] 徐明岗, 于荣, 孙小凤, 刘骅, 王伯仁, 李菊梅. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质与碳库管理指数的影响. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(4): 459-465.
- [5] 方华军, 杨学明, 张晓平, 梁爱珍. 坡地黑土有机碳分布特征与土壤碳损失量计算. *中国环境科学*, 2005, 25(S1): 81-84.
- [9] 魏孝荣, 邵明安. 黄土高原沟壑区小流域坡地土壤养分分布特征. *生态学报*, 2007, 27(2): 603-612.
- [10] 田玉强, 欧阳华, 徐兴良, 宋明华, 周才平. 青藏高原土壤有机碳储量与密度分布. *土壤学报*, 2008, 45(5): 933-942.
- [11] 吴金水, 童成立, 刘守龙. 亚热带和黄土高原区耕作土壤有机碳对全球气候变化的响应. *地球科学进展*, 2004, 19(1): 131-137.
- [16] 潘根兴. 中国土壤有机碳库及其演变与应对气候变化. *气候变化研究进展*, 2008, 4(5): 282-289.
- [17] 唐克丽. 中国水土保持. 北京: 科学出版社, 2004.
- [18] 黄奕龙, 傅伯杰, 陈利顶. 黄土高原水土保持建设的环境效应. *水土保持学报*, 2003, 17(1): 29-32.
- [19] 李凤民, 徐进章, 孙国钧. 半干旱黄土高原退化生态系统的修复与生态农业发展. *生态学报*, 2003, 23(9): 1901-1909.
- [20] 潘根兴, 赵其国. 我国农田土壤碳库演变研究: 全球变化和国家粮食安全. *地球科学进展*, 2005, 20(4): 384-393.
- [23] 邱莉萍, 张兴昌, 程积民. 土地利用方式对土壤有机质及其碳库管理指数的影响. *中国环境科学*, 2009, 29(1): 84-89.
- [25] 郝明德, 梁银丽. 长武农业生态系统结构、功能及调控原理与技术. 北京: 气象出版社, 1998.
- [27] 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.
- [28] 党亚爱, 李世清, 王国栋, 邵明安. 黄土高原典型土壤有机碳和微生物碳分布特征的研究. *自然资源学报*, 2007, 22(6): 936-945.
- [29] 徐香兰, 张科利, 徐宪立, 彭文英. 黄土高原地区土壤有机碳估算及其分布规律分析. *水土保持学报*, 2003, 17(3): 13-15.
- [30] 涂夏明, 曹军骥, 韩永明, 沈振兴, 张宝成. 黄土高原表土有机碳和无机碳的空间分布及碳储量. *干旱区资源与环境*, 2012, 26(2): 114-118.
- [31] 徐明岗, 于荣, 王伯仁. 长期不同施肥下红壤活性有机质与碳库管理指数变化. *土壤学报*, 2006, 43(5): 723-729.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.1 January, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Integrating ecological civilization into social-economic development WANG Rusong (1)
- The effect of land cover pattern on hillslope soil and water loss in the arid and semi-arid region: a review
..... GAO Guangyao, FU Bojie, LÜ Yihe, et al (12)
- The status and trend on the urban tree canopy research JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa, et al (23)
- Bioindicators and Biomonitoring in Environmental Quality Assessment
..... Bernd Markert, WANG Mei'e, Simone Wünschmann, et al (33)
- Electron transfer capacities of dissolved organic matter and its ecological effects ... BI Ran, ZHOU Shungui, YUAN Tian, et al (45)

Autecology & Fundamentals

- Antioxidative responses of *Abies fabri* seedlings to litter addition and temperature elevation
..... YANG Yang, YANG Yan, WANG Genxu, et al (53)
- Effects of seed soaking with different concentrations of 5-aminolevulinic acid on the germination of tomato (*Solanum lycopersicum*)
seeds under NaCl stress ZHAO Yanyan, HU Xiaohui, ZOU Zhirong, et al (62)
- Influence of magnesium deficiency on chlorophyll fluorescence characteristic in leaves of Newhall navel orange
..... LING Lili, PENG Liangzhi, WANG Nanqi, et al (71)
- Leaf traits of 66 herbaceous species in Songnen grassland in Northeast China
..... SONG Yantao, ZHOU Daowei, WANG Ping, et al (79)
- Effects of nectar secondary compounds on pollination of co-flowering species in a natural community
..... ZHAO Guangyin, LI Jianjun, GAO Jie (89)
- The continuous life-table of *Leptocybe invasa* ZHU Fangli, QIU Baoli, REN Shunxiang (97)

Population, Community and Ecosystem

- Dominant climatic factors of *Quercus mongolica* geographical distribution and their thresholds
..... YIN Xiaojie, ZHOU Guangsheng, SUI Xinghua, et al (103)
- Fruit diet, Selectivity and Seed dispersal of Hatinh langur (*Trachypithecus francoisi hatinhensis*)
..... Nguyen Haiha, BAI Bing, LI Ning, et al (110)
- The distribution of living coccolithophore in East China Sea in autumn, 2010 JIN Shaofei, SUN Jun, LIU Zhiliang (120)
- The association of OPRK1 gene SNP with sika deer (*Cervus nippon*) diurnal behavior traits
..... LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanhong (132)
- Preliminary study on bird composition and diversity in Poyang Lake watershed during non-breeding period
..... SHAO Mingqin, ZENG Binbin, XU Xianzhu, et al (140)
- Coexistence mechanism of two species passerines in man-made nest boxes LI Le, ZHANG Lei, YIN Jiangxia, et al (150)
- Dynamics on soil faunal community during the decomposition of mixed eucalypt and alder litters
..... LI Yanhong, YANG Wanqin, LUO Chengde, et al (159)
- RS/GIS-based integrated evaluation of the ecosystem services of the Three Gorges Reservoir area (Chongqing section)
..... LI Yuechen, LIU Chunxia, MIN Jie, et al (168)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The distribution of soil organic carbon as affected by landforms in a small watershed of gully region of the Loess Plateau
..... LI Linhai, GAO Erhu, MENG Meng, et al (179)
- Effects of coastal geographical characteristics on the abundance of submerged aquatic vegetation
..... WU Mingli, LI Xuyong, CHEN Nianlai (188)
- Analysis of soil physical properties under different vegetation types in the alluvial fan area of Manas River watershed
..... CAO Guodong, CHEN Jiehua, XIA Jun, et al (195)

Resource and Industrial Ecology

- Effects of farming on wetland soil seed banks in the Sanjing Plain and wetland restoration potential
..... WANG Guodong, Beth A Middleton, LÜ Xianguo, et al (205)

Effects of the microhabitats on the seedling emergence during the flooding disturbance	
.....	AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (214)
Analysis on the limiting factors to further improve yield of summer maize in Heilonggang River Valley	
.....	XU Lina, TAO Hongbin, HUANG Shoubing, et al (222)
Fungal diversity in rhizosphere soil of medicinal plants in Heilongjiang Province	
.....	MU Dongyan, LÜ Guozhong, SUN Xiaodong, et al (229)
Integrated assessment of mariculture ecosystem health in Sanggou Bay	FU Mingzhu, PU Xinming, WANG Zongling, et al (238)
Urban, Rural and Social Ecology	
The integrative assessment on ecological quality status of Luoyuan Bay based on ‘OOAO principle’	
.....	WU Haiyan, WU Yaojian, CHEN Keliang, et al (249)
Trophic state of seawater and ecological characteristics of phytoplankton in Sishili Bay	
.....	LI Bin, BAI Yanyan, XING Hongyan, et al (260)
Ecological footprint depth and size: new indicators for a 3D model	FANG Kai (267)
Landscape dynamics of medium- and small-sized cities in eastern and western China: a comparative study of pattern and driving forces	QI Yang, WU Jianguo, LI Jianlong, et al (275)
Research Notes	
Prediction of bacterial species richness in the South China Sea slope sediments	LI Tao, WANG Peng (286)
Spatial pattern of seedling regeneration of <i>Ulmus pumila</i> woodland in the Otindag Sandland	
.....	LIU Zhen, DONG Zhi, LI Hongli, et al (294)
Impacts on seed germination features of <i>Eupatorium adenophorum</i> from variable light stimulation and traditional dormancy-broken methods	JIANG Yong, LI Yanhong, WANG Wenjie, et al (302)
Opinions	
Discus for classification of plant association	XING Shaohua, YU Mengfan, YANG Lijuan, et al (310)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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,300 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

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 1 期 (2013 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 1 (January, 2013)

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



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元