

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

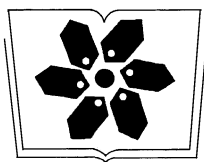
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 10 期 Vol.33 No.10 **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 10 期 2013 年 5 月 (半月刊)

目 次

福建长汀水土保持专题

- 福建省长汀县水土流失区的时空变化研究——“福建长汀水土保持”专题序言 徐涵秋 (2945)
- 福建省长汀县河田盆地近 35 年来地表裸土变化的遥感时空分析 徐涵秋 (2946)
- 福建省长汀县河田水土流失区植被覆盖度变化及其热环境效应 徐涵秋, 何 慧, 黄绍霖 (2954)
- 红壤侵蚀地马尾松林恢复后土壤有机碳库动态 何圣嘉, 谢锦升, 曾宏达, 等 (2964)
- 基于 RUSLE 的福建省长汀县河田盆地土壤侵蚀定量研究 杨冉冉, 徐涵秋, 林 娜, 等 (2974)
- 南方红壤水土流失区土地利用动态变化——以长汀河田盆地为例 林 娜, 徐涵秋, 何 慧 (2983)
- 亚热带地区马尾松林碳储量的遥感估算——以长汀河田盆地为例 黄绍霖, 徐涵秋, 林 娜, 等 (2992)
- 南方红壤侵蚀区土壤肥力质量的突变——以福建省长汀县为例 陈志强, 陈志彪 (3002)

前沿理论与学科综述

- 土壤有机质转化及 CO₂ 释放的温度效应研究进展 沈征涛, 施 斌, 王宝军, 等 (3011)
- 湖泊蓝藻水华发生机理研究进展 马健荣, 邓建明, 秦伯强, 等 (3020)

个体与基础生态

- 岩溶区不同植被下土壤水溶解无机碳含量及其稳定碳同位素组成特征 梁 轩, 汪智军, 袁道先, 等 (3031)
- 黄脊雷鳉越冬卵的滞育发育特性 朱道弘, 陈艳艳, 赵 琴 (3039)
- 香港巨牡蛎与长牡蛎种间配子兼容性 张跃环, 王昭萍, 闫喜武, 等 (3047)

种群、群落和生态系统

- 西藏珠穆朗玛峰国家级自然保护区鸟类群落结构与多样性 王 斌, 彭波涌, 李晶晶, 等 (3056)
- 采伐对长白山阔叶红松林生态系统碳密度的影响 齐 麟, 于大炮, 周旺明, 等 (3065)
- 胶州湾近岸浅水区鱼类群落结构及多样性 徐宾铎, 曾慧慧, 薛 莹, 等 (3074)
- 黄河口盐地碱蓬湿地土壤-植物系统重金属污染评价 王耀平, 白军红, 肖 蓉, 等 (3083)
- 不同起始状态对草原群落恢复演替的影响 杨 晨, 王 炜, 汪诗平, 等 (3092)
- 施肥梯度对高寒草甸群落结构、功能和土壤质量的影响 王长庭, 王根绪, 刘 伟, 等 (3103)
- 高寒退化草地狼毒种群株丛间格局控制机理 高福元, 赵成章 (3114)
- 藏东南色季拉山西坡土壤有机碳库研究 马和平, 郭其强, 刘合满, 等 (3122)
- 灵石山不同海拔米槠林优势种叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值与叶属性因子的相关性 王英姿 (3129)
- 西门岛人工秋茄林恢复对大型底栖生物的影响 黄 丽, 陈少波, 仇建标, 等 (3138)
- 喀斯特峰丛洼地土壤剖面微生物特性对植被和坡位的响应 冯书珍, 苏以荣, 秦新民, 等 (3148)
- 青藏高原高寒草甸植被特征与温度、水分因子关系 徐满厚, 薛 娴 (3158)

景观、区域和全球生态

近 60 年挠力河流域生态系统服务价值时空变化..... 赵 亮,刘吉平,田学智 (3169)

基于系统动力学的雏菊世界模型气候控制敏感性分析..... 陈海滨,唐海萍 (3177)

资源与产业生态

主要气候因子对麦棉两熟棉花产量的影响..... 韩迎春,王国平,范正义,等 (3185)

低覆盖度行带式固沙林对土壤及植被的修复效应..... 姜丽娜,杨文斌,卢 琦,等 (3192)

不同土地利用方式土下岩溶溶蚀速率及影响因素..... 蓝家程,傅瓦利,彭景涛,等 (3205)

农地保护的外部效益测算——选择实验法在武汉市的应用 陈 竹,鞠登平,张安录 (3213)

研究简报

温度、投饵频次对白色霞水母无性繁殖与螅状体生长的影响 孙 明,董 婧,柴 雨,等 (3222)

内蒙古达赉湖西岸地区大鸕巢穴特征和巢址选择..... 张洪海,王 明,陈 磊,等 (3233)

红外相机技术在鼠类密度估算中的应用..... 章书声,鲍毅新,王艳妮,等 (3241)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-05



封面图说: 色季拉山的长苞冷杉和高山杜鹃林——色季拉山高海拔处的植被主要有长苞冷杉、林芝云杉和高山杜鹃等,再高海拔地区则分布有高山灌丛、草甸等。长苞冷杉为我国特有种,属松科常绿乔木,分布于西藏东南部高山地带。树高可达 40m,树皮暗褐色,针叶较短;其球果圆柱形,直立。长苞冷杉的形态独特,与分布区内多种冷杉有密切的亲缘关系,和云杉、杜鹃的分布也彼此交叠。随着色季拉山体海拔的升高,区域气候对于山地土壤从黄壤至棕色森林土、直至高山草甸土的完整发育,以及对森林生态系统类型的形成都产生直接而深刻的影响。

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/stxb201202290269

蓝家程,傅瓦利,彭景涛,周小萍,肖时珍,袁波. 不同土地利用方式下岩溶溶蚀速率及影响因素. 生态学报, 2013, 33(10): 3205-3212.

Lan J C, Fu W L, Peng J T, Zhou X P, Xiao S Z, Yuan B. Dissolution rate under soil in karst areas and the influencing factors of different land use patterns. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(10): 3205-3212.

不同土地利用方式下岩溶溶蚀速率及影响因素

蓝家程¹, 傅瓦利^{1,*}, 彭景涛¹, 周小萍¹, 肖时珍^{1,2}, 袁波¹

(1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 贵州师范大学中国南方喀斯特研究院, 贵阳 550000)

摘要:以重庆中梁山为例,通过野外埋放标准溶蚀试片、土壤 CO₂ 收集装置和进行亮蓝染色示踪试验,测试不同土地利用方式下不同土层碳酸盐岩溶蚀速率、土壤 CO₂ 浓度、土壤溶解性有机碳(DOC)含量及土壤含水量、土壤 pH 值和孔隙度等性质,探讨不同土地利用方式下溶蚀速率差异及其影响因素。结果表明不同土地利用方式对土壤理化性质产生影响,形成特定的岩溶微环境,进而影响土下不同层次的岩溶作用;土壤 CO₂ 浓度是影响林地和草地旱季土下溶蚀速率的重要驱动力;土壤含水量和供水能力是影响旱季不同土地利用方式溶蚀速率的关键因素;菜地产生的酸性物质较多,土壤 pH 值最低,其平均溶蚀速率高于林地;土壤 DOC 随水下渗迁移性强,是林地土下 50 cm 处溶蚀速率高于土下 20 cm 处的原因之一。该文为西南岩溶区土下岩溶机理、岩溶碳汇提供理论依据和数据参考。

关键词:岩溶区;土地利用方式;溶蚀速率;影响因素

Dissolution rate under soil in karst areas and the influencing factors of different land use patterns

LAN Jiacheng¹, FU Wali^{1,*}, PENG Jingtao¹, ZHOU Xiaoping¹, XIAO Shizhen^{1,2}, YUAN Bo¹

1 School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China

2 The Institute of South China Karst, Guizhou Normal University, Guiyang 550000, China

Abstract: The unique karst ecosystem of Southwest China is an example of a typical vulnerable ecosystem and key eco-region in China. Rocky and soil desertification in the karst environment are two of the most serious problems, and unsuitable land use patterns will intensify the desertification. Increasing attention has been paid to the impact of land-use types on karst processes and consequently to investigate the best way to restore the ecosystem in rock and soil desertification areas, it is necessary to study the influences of changes in the soil environment on karst processes under different land use patterns. Soil physical and chemical variations result from land cover, and the resulting special karst micro-environments could intensively affect karst processes under different land use patterns.

A case study was conducted at Mt. Zhongliang, Chongqing, in order to analyze and investigate the dissolution rate in a karst area and the factors which influence it under different land use patterns. Standard limestone tablets were buried in the field, soil CO₂ collection devices were set up, and tracer experiments using a bright blue dye were carried out. The dissolution rate of carbonate rocks, soil CO₂ concentrations, and dissolved organic carbon (DOC) contents were measured in different soil layers at depths of 20 cm and 50 cm, as well as land use patterns and soil properties, such as moisture, porosity and pH.

The average contents of soil DOC from the highest to lowest were in the order: woodland>grassland>vegetable land.

基金项目:重庆市移民局课题资助(200909);重庆市自然科学基金(40701179);国家自然科学基金项目(41072192, 41103068);重庆市科委项目(CSTC, 2010BC7004)

收稿日期:2012-02-29; 修订日期:2012-09-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fuwali@swu.edu.cn

There was a significant difference in soil DOC content in the upper soil horizon (0—20 cm) between woodland and vegetable land, as well as in the lower horizon (20—50 cm) among woodland, vegetable land and grassland. The diversity of soil water content and porosity indicates that woodland and grassland are beneficial for maintaining water content. Use of the dye indicated an obvious distribution of soil preferential flow in woodland and grassland, but not in the vegetable land. Soil CO₂ concentrations and pH values at 50 cm depth were higher than at 20 cm, and were present in the order: grassland>woodland>vegetable land. Woodland and grassland have greater vegetation coverage, more plant residues, and greater microbial activity, which may be the reason for the variations in soil physical and chemical properties under the different land use patterns.

The study showed that soil physical and chemical properties were affected by different land use patterns, forming special karst micro-environments and resulting in different karst processes in different soil layers. Dissolution rates in the dry season were in the order: grassland>vegetable land>woodland. Soil CO₂ concentration is an important driving force affecting the dissolution rate in woodland and grassland during the dry season; soil moisture and water-supplying capacity are key factors influencing the dissolution rate under the different land use patterns in the dry season; the average dissolution rate in the vegetable land is higher than that in the woodland as more acid materials are produced in the vegetable land which has the lowest pH; the DOC of soil has a strong transforming ability with water infiltration, which is one of the reasons why the dissolution rate of forest land 50 cm beneath the soil is higher than that at 20cm. This research provides a theoretical basis and data reference for the mechanism of karst dissolution and the karst carbon sink in southwestern China.

Key Words: Karst area; land use patterns; dissolution rate; influencing factors

西南岩溶区特殊的地质背景形成的相对脆弱的生态环境,敏感度高^[1]。容易引起岩溶区地面塌陷、干旱洪涝、地下水污染、土壤贫瘠、水土流失、岩溶石漠化等一系列地质灾害问题。

前人研究岩溶作用主要从宏观角度进行对比,如不同地质背景、气候与水文条件下岩溶作用强度及其差异^[2-3];或从碳循环角度研究岩溶作用对 CO₂ 汇的贡献^[4-5];或探讨岩溶作用对环境变化的敏感性^[6-8]。已有的研究表明,土壤在岩溶作用与岩溶生态系统中扮演着极其重要的角色^[9-10]。气温和降雨控制溶蚀速率^[8,11]。不同季节,气候因子差异,土地利用方式的变化会对土壤理化性质产生影响,进而影响到岩溶作用的强度和方向^[12-15],而土壤各个因子又是相互联系,相互作用,共同影响岩溶作用过程^[16]。本文以土地利用为切入点,从土壤溶解性有机碳(DOC)含量、土壤 CO₂ 浓度、土壤含水量和优先流分布、土壤 pH 值和孔隙度等性质入手,分析其对旱季土下溶蚀速率的影响,有助于把握土地利用对岩溶作用的影响程度。

1 研究区概况

研究区位于重庆市中梁山,东经 106°18'14"—106°56'53",北纬 29°39'10"—30°3'53"之间,属于中亚热带季风性湿润气候,海拔 400—700 m,年均气温 18 ℃,多年平均降水量 1000 mm 左右,全年降雨量集中分布在 3—9 月,占全年降雨量的 75.8%。研究区土壤由三叠纪嘉陵江组的岩溶角粒状白云质灰岩发育而成,土层厚 0.15—1 m。该区地带性植被为中亚热带常绿阔叶林,受岩性、土壤和人类活动影响,岩溶槽谷已经没有典型的常绿阔叶林地,现有植被为人工次生林。目前该研究区的主要土地利用方式是林地、草地、耕地和菜地,其中耕地以坡耕地为主,草地由耕地撂荒而成。本文选取了林地、草地和菜地作为研究对象,其样地基本情况见表 1。

2 材料与方法

2.1 采样方法

2010 年 11 月 23 日至 2011 年 2 月 25 日在中梁山岩溶槽谷中每月选取了林地、草地和菜地,3 种土地利用方式分别开挖 2 个土壤剖面,按 0—20 cm 和 20—50 cm 从下往上采取土壤样品,每个层次取 1 kg 左右样品

装入自封袋中密封保存。将所取的土样马上带回实验室分成 2 份,一份作为新鲜样品用于测定土壤溶解性有机碳,如不能立即实验,贮藏于 4 ℃ 冰箱内尽快测定;另一份风干后用于测定土壤基本理化性质。

表 1 样地基本情况

Table 1 Basic information of sample plot

土地利用方式 Land use pattern	海拔 Elevation /m	坡度 Gradient	植被 Vegetation	植被覆盖度 Vegetation coverage	利用情况 Utilize situation
林地 Woodland	671	2—10°	柏树	85%	人工林 10a 以上
草地 Grassland	572	6—13°	白茅为主,夹蒿等	100%	利用 20a 以上,耕地撂荒而成
菜地 Vegetableland	514	2—5°	白菜、萝卜	80%	5a 以上轮种,月初刚施肥

2.2 试验和研究方法

土壤含水量、孔隙度和土壤 pH 值采用常规法^[17];土壤溶解性有机碳(DOC)的测定^[18]采用硫酸钾浸提法;土壤 CO₂ 浓度测定参照何师意等^[6]人设计,分别在土下 20 cm 处和土下 50 cm 处埋放土壤 CO₂ 收集装置(结构如图 1),每月测量各层 CO₂ 浓度 1—2 次。

标准溶蚀试片法^[11]:由袁道先在 20 世纪 80 年代末引进国内,并在 IGCP299 项目(1990—1994)中得到广泛应用,主要目的是对比不同地质、气候与水文条件下岩溶作用的强度及其差异。取当地地层中的嘉陵江组白云质灰岩岩块磨制成统一直径为 40 mm,厚为 3 mm 的圆形标准溶蚀试片。于 2010 年 11 月 22 日至 2011 年 3 月 23 日,将试片按土下 5 cm、土下 20 cm、土下 50 cm 埋放于 3 种土地利用方式下,每种土地利用方式每个土壤剖面埋放 2 块,共 18 块,用于测定旱季土下溶蚀速率。试片取出后小心洗净并风干,经过两次烘箱烘干后称重取平均值,按照公式(1)计算测试时间内各个试片的单位面积溶蚀量。计算公式如下:

$$ER = (W_1 - W_2) \times 10^7 / T / S \quad (1)$$

式中,ER 为 单位 面积 溶 蚀 量,即 溶 蚀 速 率 (mg·m⁻²·d⁻¹);W₁ 为 试 片 初 质 量 (g);W₂ 为 试 片 取 回 后 烘 干 质 量 (g);(W₁-W₂) 为 埋 放 时 间 内 试 片 绝 对 溶 蚀 量 (g);T 为 埋 放 天 数 (d);S 为 试 片 表 面 积 (约 28.91 cm²)。

亮蓝染色示踪优先流:分别在 3 种土地利用方式上随机选取试验点,首先除去表层的枯枝落叶层,平整出 0.5 m×0.5 m 的小区。根据当地降雨量,配置浓度为 10 g/L 的亮蓝溶液 6 000 mL。在小区上均匀的喷灌,过 24 h 开挖。开挖深度直到基本上没看到染色部分为止,然后用分辨率统一的数码相机对土壤剖面进行拍照。根据已有的试验,为了降低或消除试验误差,每次拍照时应调节相机镜头与土体表面一致,同时利用卷尺测量每一剖面的宽度和深度作为比例尺^[19]。

图像处理:将野外所拍的图像直接输入计算机,利用 CorelDraw 软件对照片的染色部分进行矢量化处理,将染色部分填充为黑色,未染色部分呈白色,制成染色示意图。最后将处理过的图像以 .jpg 格式输出。

数据处理在 Spss17.0 和 Excel2007 软件上实现。统计分析采用单因素方差分析(ANOVA)和多重比较 LSD 法判断不同土地利用方式土壤 DOC 含量变化是否有差异。方差分析前,对各组数据值进行检验,检验其是否满足正态分布和方差是否是齐性,若不满足,则需要通过数据转换使其满足方差分析的要求。

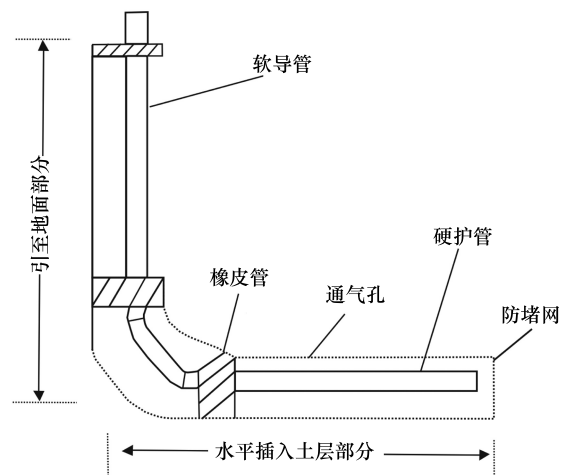


图 1 CO₂ 收集装置示意图

Fig. 1 Sketch of CO₂ collector

图片根据何师意^[6]进行修改

3 结果与分析

3.1 不同土地利用方式土壤溶解性有机碳差异

由表 2 可知,不同土地利用方式下 0—50 cm 土壤 DOC 含量平均值大小顺序为:林地>草地>菜地;就不同土层来看也是林地最大,菜地最小,草地居中。经过单因素方差分析和多重比较发现,0—20 cm 层林地和菜地 DOC 含量差异显著($P<0.05$),林地和草地以及草地和菜地有一定的差异,但不显著;20—50 cm 层林地和草地、菜地差异显著($P<0.05$),草地和菜地差异不显著。土壤 DOC 剖面分布除了林地下层大于上层外,草地和菜地均表现为上层大于下层,方差分析表明同一种土地利用方式不同土层土壤 DOC 含量差异不显著。

表 2 不同土地利用方式不同土层深度土壤环境因子

Table 2 Soil Environmental factors in different soil depth under different land use patterns						
利用方式 Land use pattern	土层深度 Soil layers /cm	DOC Dissolve organic carbon/(mg/kg)	CO ₂ /(mL/m ³)	pH	孔隙度 Porosity /%	含水量 Water content /%
林地 Woodland	0—20	64.86a	780	5.30	50.61	29.00
	20—50	81.04A	1559	6.10	41.42	37.08
草地 Grassland	0—20	56.05a	1391	6.14	50.69	27.45
	20—50	46.12B	1800	7.21	42.53	28.54
菜地 egetableland	0—20	39.16b	500	4.85	54.04	24.38
	20—50	32.58B	997	5.88	44.91	24.33

表中土壤 CO₂ 浓度是指土下 20 cm 处和土下 50 cm 处的浓度;相同小写字母表示不同土地利用方式同一土层土壤;DOC 含量差异不显著($P>0.05$),反之显著($P<0.05$);相同大写字母表示不同土地利用方式同一土层土壤 DOC 含量差异;不显著($P>0.05$),反之显著($P<0.05$)

一般来说,土壤 DOC 主要来源于植被凋落物、根系分泌物、微生物活动和土壤有机质以及外来施入的有机肥料等,其含量很大程度上取决于土壤有机碳含量。赵劲松等^[20] 人认为土壤 DOC 来源于腐殖化的有机质、植物凋落物、根系分泌物和微生物生物量。同时,土壤溶解性有机碳含量还受到温度、降雨量、土壤含水量、土壤质地、pH 值等因素的影响。林地枯枝落叶多,根系深且分泌物多,有机碳含量高,微生物活性强,粘粒含量最高,可吸附的土壤溶解性有机碳增加,下层 DOC 含量高可能是随水迁移的结果;菜地由于长期人为耕作和施用氮肥,土壤溶解性有机碳含量明显下降^[21];草地相对林地凋落物少,根系分布浅,土壤 DOC 含量居中。

3.2 不同土地利用方式土壤水分

3.2.1 不同土地利用方式土壤含水量和孔隙度变化

不同土地利用方式土壤含水量存在较大差异(表 2),其 0—50 cm 平均值大小顺序为林地>草地>菜地;土壤孔隙度表现为菜地>草地>林地,上层大于下层,说明林地、草地保水能力较强,这与林草地植被覆盖度较高,根系及枯枝落叶层的作用有关。随着土壤深度的增加,林地、草地土壤含水量有增加的趋势,而菜地有减小的趋势。土壤的通透性能是林草地土壤水源涵养的重要指标之一,林地、草地表面凋落物层较厚,有很强的吸水性能,蓄水能力强,并且表层孔隙度较大有利于水分下渗,下层孔隙度小,保存水分;菜地虽然孔隙状况也有利于水分下渗,但蓄水能力弱。李阳兵^[21] 等人研究表明,不同土地利用方式土壤含水量变化差异明显,林草地土壤持水供水性能好于人为影响因素较大的农用地;贾红杰^[22] 等人发现竹林地、草地等自然利用地被开垦为农用地后土地的蓄水能力和抗溅蚀性大大降低。

3.2.2 不同土地利用方式土壤优先流分布

染色试验表明,经 24 h 渗透后,亮蓝在研究区不同土地利用方式土下土层内迁移路径分布明显。根据垂直方向的染色剖面图像(图 2),可以清晰地观测到土壤水分基质流和优先流的发生。林地和草地土壤垂直剖面上亮蓝迁移具有明显的不均匀性,在染色区域内有未染色的小斑块,有的区域仅在表层被染色,而有的区域亮蓝的迁移相对较深,说明水分在快速的下渗中绕过了部分土壤,从而形成了不规则的染色区域。不同土地利用方式不同深度土层染色面积有所差异,染色面积比例随深度的增加显著降低。受基质流的影响,林

地和草地 0—10 cm 土壤大部分被亮蓝染色,亮蓝在该水平剖面中分布较为均匀,优先流现象不明显,土壤中基质流态的水分能够运移到达的深度在 10 cm 左右;10 cm 以下土壤受土壤优先路径的影响,染色区域呈一定的集中分布趋势(图 2),经优先路径运移的优先流部分水分能达到的深度为 30 cm 以上,优先流发生区域的土壤水分运移速度较未发生优先流的区域提高了很多。菜地没有明显的优先流现象,染色面积呈均匀分布,土壤中基质流态的水分能够运移到达的深度在 0—25 cm 范围,25 cm 以下染色部分几乎没有,水分能够到达深度浅且速度慢,不能供给深层的足够的水分。

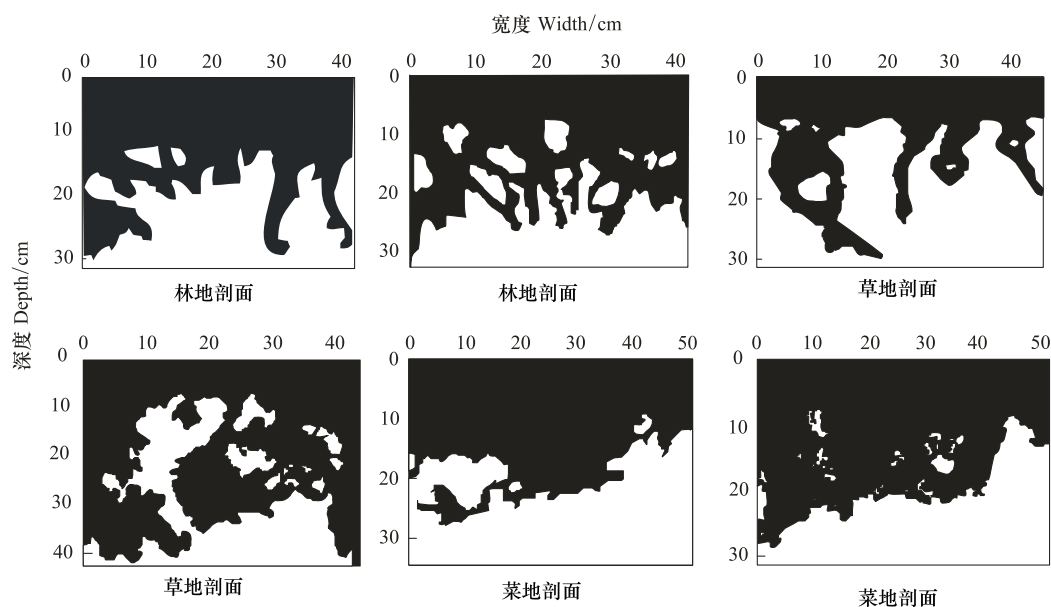


图 2 不同土地利用方式土壤剖面染色图^[15]

Fig. 2 Dyed vertical Patterns of Profiles in different land use patterns^[15]

黑色 black; 染色区域 dyed area, 白色 white; 未染色区域 undyed area

土壤优先流主要受植物根系、微生物活动、土壤结构和质地、土壤含水量、降雨和气温等因素的影响^[23]。Kim 等在对不同质地和结构的土壤进行染色示踪发现根系明显产生优势流,孔隙结构良好的土壤,示踪剂运移最深^[24]。王伟等人认为阔叶森林土壤优先流的发生区域主要位于较大的孔穴和裂隙周围,呈聚集状分布,土壤大孔隙的联通状况和分布特征影响优先流的发生^[25]。本研究在野外观察土壤剖面发现,林草地土壤质地和结构较好,根系分布的地方集中蓝色染色剂,产生明显的优先流。

3.3 不同土地利用方式土壤 pH 值和土壤 CO₂ 浓度变化

表 2 可知,研究区不同土地利用方式土下 0—50 cm 范围土壤 pH 值平均值大小顺序为草地>林地>菜地,林地产生的枯枝落叶多,有机质输入要多于草地,因而其土壤 pH 值小于草地;菜地土壤 pH 值最小,可能的原因是受人为施用有机肥、氮肥等肥料的影响,土壤产生的酸性物质多。旱季土壤 CO₂ 浓度变化与土壤 pH 值变化一致,不同土地利用方式土壤 CO₂ 浓度依次为:草地>林地>菜地,土壤 CO₂ 不仅来源于有机碳的分解作用,还主要来自植物、土壤动物和微生物的呼吸作用。一般来说,土下 50 cm 处土壤 CO₂ 浓度大于土下 20 cm 处,本研究符合这一规律。从土壤孔隙度来看,林地、草地小于菜地,下层小于上层,有利于土壤 CO₂ 的保存。

3.4 不同土地利用方式旱季土下溶蚀速率分析

表 3 的数据表明,不同土地利用方式不同土层土下溶蚀速率都有差异,旱季最大绝对溶蚀量出现在草地土下 50 cm,其值为 105.11 mg,最小的发生于林地土下 20 cm,其值为 49.60 mg。土下 0—50 cm 范围内旱季溶蚀速率平均值大小顺序为:草地>菜地>林地。同层土壤不同土地利用方式旱季溶蚀速率比较(表 3),土下 5 cm 处:菜地>林地>草地;土下 20 cm 处:草地>菜地>林地;土下 50 cm 处:草地>林地>菜地。旱季溶蚀速率随土壤剖面的变化,林地先减小后增加,草地逐渐增加,菜地差异不大,略微减小后略微增加。对比之前的研

究结果^[15,26]发现:研究区不同土地利用方式雨季溶蚀速率和全年溶蚀速率平均值依次为林地>草地>菜地;不同土壤剖面同一土层深度雨季、旱季及全年溶蚀速率变化规律均各不相同,说明不同季节土下溶蚀速率主要影响因素不同,由此造成不同土下溶蚀速率变化差异。但不论怎样,研究区土下溶蚀速率的影响因素最终归结为气候及土地利用产生的土壤性质及土壤环境因子的变化。

表 3 不同土地利用方式不同埋放位置试片溶蚀速率

Table 3 Tablet dissolution rates in soil at different land use patterns

利用方式 Land use pattern	深度 Depth	旱季溶蚀速率 Dissolution rate of dry season /($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	雨季溶蚀速率 Dissolution rate of rainy season /($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	全年溶蚀速率 Annual dissolution rate /($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)
林地 Woodland	土下 5cm	180.70	353.42	254.45
	土下 20cm	142.97	409.82	234.55
	土下 50cm	265.70	148.51	208.49
草地 Grassland	土下 5cm	147.44	270.71	168.69
	土下 20cm	247.23	253.79	228.39
	土下 50cm	302.98	244.39	243.55
菜地 Vegetableland	土下 5cm	233.08	199.27	186.69
	土下 20cm	219.20	270.71	215.60
	土下 50cm	224.69	161.67	170.11

表中雨季溶蚀速率为 2008 年 3 月 22 日—2008 年 9 月 25 日的溶蚀速率,全年溶蚀速率为 2007—2008 年的数据^[26]

已有的研究揭示了土壤 CO_2 对岩溶作用的驱动作用^[7],通气良好的土壤中,有利于有机碳分解产生 CO_2 ;土壤 CO_2 溶于水生成碳酸,可使水的溶蚀能力提高几十倍^[27],具有侵蚀性的土壤 CO_2 才构成对碳酸盐岩的溶蚀^[16]。由土壤含水量变化数据及土壤优先流分布可知,林地和草地土壤含水量大,土壤优先流明显,且分布深,保水、供水能力强,但土壤 CO_2 浓度草地大于林地,因此草地能形成较多的侵蚀性土壤 CO_2 ,土下溶蚀速率高于林地。说明,林地和草地旱季土下溶蚀速率受土壤 CO_2 浓度的驱动,但是无论是林地还是草地,土壤含水量表现为下层高于上层,孔隙度下层低于上层,有利于下层保水保气,优先流能通过土壤孔隙向下层提供充足的水分,相应的下层的溶蚀速率要高于上层;相反菜地土壤含水量有减小的趋势,没有明显的优先流现象,水分运移的深度浅,难以供给土壤深层足够的水分,下层溶蚀速率低于上层;另外土下 50 cm 处的溶蚀速率林草地高于菜地,因此土壤水分及其供给能力是制约土下溶蚀速率的关键因素。菜地土壤 CO_2 浓度最低,但土下平均溶蚀速率相对林地较高,这可能与菜地土壤 pH 值最低有关,土壤 pH 值越低,形成的氢离子浓度越高,促进碳酸盐岩的溶蚀。土壤有机碳越多,可以产生越多的 CO_2 和有机酸,降低 pH 值,会对溶蚀速率有明显地促进作用^[14,28];李恩香等^[10]研究表明植物输入的土壤有机质越多,产生的 CO_2 和酸性物质越多,土壤的 pH 值也会越低;长期施用氮肥等无机肥会降低土壤 pH 值^[29],由于菜地受人为施加氮肥等无机肥影响,可能会产生更多的酸性物质,降低土壤 pH 值,溶蚀速率高于林地和草地。

土壤 DOC 是土壤有机碳中活性部分,对土地利用和气候变化最为敏感,又是岩溶过程碳转移主要形式,其动态变化与溶蚀速率有很大的关系^[30]。在土壤溶解有机碳组分中,小分子酸性物质(≤ 5 个碳原子的脂肪酸、多官能团酸)占有 30%—50% 的比例^[31]。土壤溶解有机碳是岩溶作用的驱动力,这在岩溶生态系统中具有重要的理论意义,初步的研究结果显示,5 mmol/L 的柠檬酸与 $50000\times 10^{-6}\text{CO}_2$ 对碳酸盐岩有几乎相同的侵蚀能力^[31]。土壤 DOC 迁移性强,雨水淋溶作用使土壤 DOC 容易迁移到土壤下层,这可能是林地土下 50 cm 土壤 DOC 含量大于土下 20 cm 的原因之一,进而出现土下 50 cm 溶蚀速率高于土下 20 cm,另外下层土壤 CO_2 浓度高于上层可能是更主要的原因。从不同土地利用方式来看,林地土壤 DOC 含量最高,菜地最低,草地居中,但岩溶溶蚀速率却是草地最高,菜地次之,林地最低,进一步说明影响岩溶溶蚀速率的因素不能由某个因素来决定的,而是由各个因素相互联系,相互作用共同决定的。

4 结论

不同土地利用方式对土壤 DOC 含量、土壤含水量、土壤孔隙度、土壤 pH 值和土壤 CO₂ 浓度产生影响,进而影响到岩溶作用。不同的影响因素相互联系,相互作用,共同决定土下岩溶溶蚀速率。土壤 CO₂ 浓度是影响林地和草地旱季土下溶蚀速率的重要驱动因素;土壤含水量和供水能力是影响旱季不同土地利用方式溶蚀速率的关键因素;菜地由于受到人为活动影响,产生的酸性物质较多,土壤 pH 值最低,其平均溶蚀速率高于林地;土壤 DOC 随水下渗迁移性强,同土壤 CO₂ 浓度成为林地土下 50 cm 处溶蚀速率高于土下 20 cm 处的主要原因。

致谢:西南大学地理科学学院文志林老师,张治伟老师对实验给予指导,谢芳对写作给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Li Y B, Shao J G, Wang S J, Wei Z F. A conceptual analysis of Karst ecosystem fragility. *Advance in Earth Sciences*, 2006, 25(5): 1-8.
- [2] Ivan G. Comparative research of limestone solution by means of standard tablets// *Proceedings of the 8th International Congress of Speleology*. Huntsville: National Speleological Society, 1981: 273-275.
- [3] Pulina M. Chemical denudation on the carbonate karst areas (in Polish). *Polish Academy of Sciences, Institute of Geography, Geogr Studies* NR105. 1974. 1-159
- [4] Suchet P A, Probst J L. Modelling of atmospheric CO₂ consumption by chemical weathering of rocks: application to the Geronne, Congo and Amazon Basin. *Chemical Geology*, 1993, 107(3/4): 205-210.
- [5] Yuan D X. The carbon cycle in karst. *Zeitschrift fuer Geomorphologie* 1997, 108(Suppl): 91-102.
- [6] He S Y, Xu S Y, Zhang M L. Observation on soil CO₂ concentration, hydrochemistry, and their relationship with karst processes. *Carsologica Sinica*, 1997, 16(4): 319-323.
- [7] Liu Z H, He S Y, Yuan D X. The CO₂ regime of soil profile and its drive to dissolution. *Hydrology and Engineering Geology*, 1998, 25(4): 42-45.
- [8] Zhang D, Shi C X. CO₂ partial pressure, karst dissolution rate and karst micro-landforms on the Qinghai- Tibet Plateau. *Acta Geologica Sinica*, 2002, 76(4): 565-570.
- [9] Cao J H, Yuan D X, Pan G X. Some soil features in Karst ecosystem. *Advance in Earth Sciences*, 2003, 18(1): 37-44.
- [10] Li E X, Jiang Z C, Cao J H, Jiang G H, Deng Y. The comparison of properties of Karst soil and Karst erosion ratio under different successional stages of Karst vegetation in Nongla, Guangxi. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(6): 1131-1138.
- [11] Yuan D X, Cai G H. *The Science of Karst Environment*. Chongqing: Chongqing Publishing House, 1988: 62.
- [12] Zhang C, Xie Y Q, Lü Ys, Jiang Y J, Cao J H, Jiang G H, Yang P H, Wang D R. Impact of land-use patterns upon karst processes—taking Nongla Fengcong depression area in Guangxi as an example. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(11): 1181-1188.
- [13] Zhang C. Carbonate rock dissolution rates in different landuses and their carbon sink effect. *Chinese Science Bulletin*, 2011, 56(26): 2174-2180.
- [14] Wang D Y, Zhang C, Xie S, Yang P H, Zhang W H. Response of karstification to land-use types in mountain area—a case study of the karst areas in Bitan and Shuifang springs in Jinfo Mountain, Chongqing, China. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(4): 222-230.
- [15] Xie F, Fu W L, Wang X Y, Pu P, Zhang L, Tan B, Peng J T, Zhen X J. Study on response of carbonate rock dissolution rate to the season in Zhongliang Mountain, Chongqing. *Carsologica Sinica*, 2010, 29(4): 410-413.
- [16] Yang P H, Zhang C, Sun Y C, Wu Y X, Gao Y F, Wang D Y, Li L L. Effects of soil environmental factors on the dissolution rate of karst in soils—A case study of the State Jinfo Mountain Nature Reserve, Chongqing. *Geology in China*, 2007, 34(5): 920-926.
- [17] Institute of Soil Science, CAS, Nanjing. *Soil physical and chemical analysis*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978: 467, 512, 525.
- [18] Duan Z F, Fu W, Zhen X J, Ma Z M, Liu B Y. Effects of land use on soil organic carbon fractions and its distribution in Karst. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23(2): 109-114.
- [19] Vermeul V R, Istok J D, Flint A L, Pikul J L Jr. An improved method for quantifying soil macroporosity. *Soil Science Society of America Journal*, 1993, (51): 809-815.
- [20] Zhao J S, Zhang X D, Yuan X, Wang J. Characteristics and environmental significance of soil dissolved matter. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(1): 126-130.
- [21] Li Y B, Gao M, Wei C F, Xie D T, Liu G Y. Differences of Soil Water Characteristics under Different Land Use Patterns in Karst Mountains. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(5): 63-66.
- [22] Jia H J, Fu W L, Zhen X J, Du F Z, Ma Z M, Duan Z F. Study on moist conservative ability under different types of land use in karst mountain area — a case in Zhongliang mountain, Chongqing. *Carsologica Sinica*, 2007, 26(4): 304-309.
- [23] Niu J Z, Yu X X, Zhang Z Q. The present and future research on preferential flow. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1): 231-243.

- [24] Kim J G, Chon C M, Lee J S. Effect of structure and texture on infiltration flow pattern during flood irrigation. *Environmental Geology*, 2004, 46 (6/7): 962-969.
- [25] Wang W, Zhang H J, Cheng J H, Wu Y L, Du S C, Wang R. Macropore characteristics and its relation ships with the preferential flow in broadleaved forest soils of Simian Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(5): 1217-1223.
- [26] Zhen X J. Effects of Different Types of Land use on Soil Loss Tolerance in Karst [D]. Chongqing: Southwest University, 2009: 31.
- [27] Yuan D X, Zhu D H, Weng J T. Karst of China. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 23-30.
- [28] Ren M E, Liu Z Z. Conspectus of Karstology. Beijing: Commercial Press, 1983: 55, 89.
- [29] Cai Z J, Sun N, Wang B R, Xu M G, Huang J, Zhang H M. Effects of long-term fertilization on pH of red soil, crop yields and uptakes of nitrogen, phosphorus and potassium. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(1): 71-78.
- [30] Cao J H, Pan G X, Yuan D X, Jiang G H. Seasonal changes of dissolved organic carbon in soil: its environmental implication in karst area. *Ecology and Environment*, 2005, 14(2): 224-229.
- [31] Cao J H, Pan G X, Yuan D X. Simulation experiment on dissolution of calcite by citric and its Karst importance. *Carsologica Sinica*, 2001, 20 (1): 1-4.

参考文献:

- [1] 李阳兵, 邵景安, 王世杰, 魏朝富. 岩溶生态系统脆弱性研究. *地理科学进展*, 2006, 25(5): 1-8.
- [6] 何师意, 徐胜友, 张美良. 岩溶土壤中 CO₂ 浓度、水化学观测及其与岩溶作用关系. *中国岩溶*, 1997, 16(4): 319-323.
- [7] 刘再华, 何师意, 袁道先. 土壤中的 CO₂ 及其对岩溶作用的驱动. *水文地质工程地质*, 1998, 25(4): 42-45.
- [8] 章典, 师长兴. 青藏高原的大气 CO₂ 含量、岩溶溶蚀速率及现代岩溶微地貌. *地质学报*, 2002, 76(4): 565-570.
- [9] 曹建华, 袁道先, 潘根兴. 岩溶生态系统中的土壤. *地球科学进展*, 2003, 18(1): 37-44.
- [10] 李恩香, 蒋忠诚, 曹建华, 等. 广西弄拉岩溶植被不同演替阶段的主要土壤因子及溶蚀率对比研究. *生态学报*, 2004, 24(6): 1131-1138.
- [11] 袁道先, 蔡桂鸿. 岩溶环境学. 重庆: 重庆出版社, 1988: 62-62.
- [12] 章程, 谢运球, 吕勇, 蒋勇军, 曹建华, 姜光辉, 杨平恒, 王冬银. 不同土地利用方式对岩溶作用的影响——以广西弄拉峰丛洼地岩溶系统为例. *地理学报*, 2006, 61(11): 1181-1188.
- [13] 章程. 不同土地利用下的岩溶作用强度及其碳汇效应. *科学通报*, 2011, 56(26): 2174-2180.
- [14] 王冬银, 章程, 谢世友, 杨平恒, 张文晖. 山区岩溶作用对土地利用方式的响应——以金佛山碧潭泉和水房泉两区岩溶系统为例. *地学前缘*, 2007, 14(4): 222-230.
- [15] 谢芳, 傅瓦利, 王晓阳, 蒲鹏, 张蕾, 谭波, 彭景涛, 甄晓君. 重庆中梁山碳酸盐岩溶蚀速率对季节的响应研究. *中国岩溶*, 2010, 29 (4): 410-413.
- [16] 杨平恒, 章程, 孙玉川, 吴月霞, 高彦芳, 王冬银, 李林立. 土壤环境因子对土下岩溶溶蚀速率的影响: 以重庆金佛山国家自然保护区为例. *中国地质*, 2007, 34(5): 920-926.
- [17] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 467, 512, 525.
- [18] 段正锋, 傅瓦利, 甄晓君, 杜富芝, 马志敏, 刘邦友. 岩溶区土地利用方式对土壤有机碳组分及其分布特征的影响. *水土保持学报*, 2009, 23(2): 109-114.
- [20] 赵劲松, 张旭东, 袁星, 王晶. 土壤溶解性有机质的特性与环境意义. *应用生态学报*, 2003, 14(1): 126-130.
- [21] 李阳兵, 高明, 魏朝富, 谢德体, 刘国一. 岩溶山地不同土地利用土壤的水分特性差异. *水土保持学报*, 2003, 17(5): 63-66.
- [22] 贾红杰, 傅瓦利, 甄晓君, 杜富芝, 马志敏, 段正锋. 岩溶山区不同利用方式下土地蓄水能力研究——以重庆市中梁山为例. *中国岩溶*, 2007, 26(4): 304-309.
- [23] 牛健植, 余新晓, 张志强. 优先流研究现状及发展趋势. *生态学报*, 2006, 26(1): 231-243.
- [25] 王伟, 张洪江, 程金花, 吴煜禾, 杜士才, 王冉. 四面山阔叶林土壤大孔隙特征与优先流的关系. *应用生态学报*, 2010, 21(5): 1217-1223.
- [26] 甄晓君. 岩溶区不同土地利用方式下土壤容许侵蚀研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2009: 31.
- [27] 袁道先, 朱德浩, 翁金桃. 中国岩溶学. 北京: 地质出版社, 1993: 23-30.
- [28] 任美镠, 刘振中. 岩溶学概论. 北京: 商务印书馆, 1983: 55, 89.
- [29] 蔡泽江, 孙楠, 王伯仁, 徐明岗, 黄晶, 张会民. 长期施肥对红壤 pH、作物产量及氮、磷、钾养分吸收的影响. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(1): 71-78.
- [30] 曹建华, 潘根兴, 袁道先, 姜光辉. 岩溶地区土壤溶解有机碳的季节动态及环境效应. *生态与环境*, 2005, 14(2): 224-229.
- [31] 曹建华, 潘根兴, 袁道先. 柠檬酸对石灰岩溶蚀动力模拟及岩溶意义. *中国岩溶*, 2001, 20(1): 1-4.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 10 May, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Special Topics in Soil and Water Conservation of County Changting, Fujian Province

- Spatiotemporal dynamics of the bare soil cover in the Hetian basinal area of County Changting, China, during the past 35 years XU Hanqiu (2946)
- Analysis of fractional vegetation cover change and its impact on thermal environment in the Hetian basinal area of County Changting, Fujian Province, China XU Hanqiu, HE Hui, HUANG Shaolin (2954)
- Dynamic of soil organic carbon pool after restoration of *Pinus massoniana* in eroded red soil area HE Shengjia, XIE Jinsheng, ZENG Hongda, et al (2964)
- RUSLE-based quantitative study on the soil erosion of the Hetian basin area in County Changting, Fujian Province, China YANG Ranran, XU Hanqiu, LIN Na, et al (2974)
- Land use changes in a reddish soil erosion region of Southern China: Hetian Basin, County Changting LIN Na, XU Hanqiu, HE Hui (2983)
- Remote-sensing estimate of the carbon storage of subtropical *Pinus massoniana* forest in the Hetian Basin of County Changting, China HUANG Shaolin, XU Hanqiu, LIN Na, et al (2992)
- Mutation of soil fertility quality in the red eroded area of southern China: A case study in Changting County, Fujian Province CHEN Zhiqiang, CHEN Zhibiao (3002)

Frontiers and Comprehensive Review

- The temperature dependence of soil organic matter decomposition and CO₂ efflux: a review SHEN Zhengtao, SHI Bin, WANG Baojun, et al (3011)
- Progress and prospects on cyanobacteria bloom-forming mechanism in lakes MA Jianrong, DENG Jianming, QIN Boqiang, et al (3020)

Autecology & Fundamentals

- Characteristics of concentrations and carbon isotope compositions of dissolved inorganic carbon in soil water under varying vegetations in karst watershed LIANG Xuan, WANG Zhijun, YUAN Daoxian, et al (3031)
- The traits of diapause development of overwinter eggs in *Rammeacris kiangsu* Tsai (Orthoptera: Arcypteridae) ZHU Daohong, CHEN Yanyan, ZHAO Qin (3039)
- Analysis of gamete compatibility between *Crassostrea hongkongensis* and *C. gigas* ZHANG Yuehuan, WANG Zhaoping, YAN Xiwu, et al (3047)

Population, Community and Ecosystem

- Avifaunal community structure and species diversity in the Mt. Qomolangma National Nature Reserve, Tibet, China WANG Bin, PENG Boyong, LI Jingjing, et al (3056)
- Impact of logging on carbon density of broadleaved-Korean pine mixed forests on Changbai Mountains QI Lin, YU Dapao, ZHOU Wangming, et al (3065)
- Community structure and species diversity of fish assemblage in the coastal waters of Jiaozhou Bay XU Binduo, ZENG Huihui, XUE Ying, et al (3074)
- Assessment of heavy metal contamination in the soil-plant system of the *Suaeda salsa* wetland in the Yellow River Estuary WANG Yaoping, BAI Junhong, XIAO Rong, et al (3083)
- The effects of different original state on grassland community restoration succession YANG Chen, WANG Wei, WANG Shiping, et al (3092)
- Effects of fertilization gradients on plant community structure and soil characteristics in alpine meadow WANG Changting, WANG Genxu, LIU Wei, et al (3103)
- Pattern-controlling mechanics of different age classes of *Stellera chamaejasme* population in degraded alpine grassland GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang (3114)

- Soil organic carbon pool at the western side of the sygera mountains, southeast Tibet, China MA Heping, GUO Qiqiang, LIU Heman, et al (3122)
- Correlation between foliar $\delta^{13}\text{C}$ and foliar trait factors of dominant species in *Castanopsis carlessii* forests in Lingshishan National Forest Park WANG Yingzi (3129)
- Influences of artificial *Kandelia obovata* mangrove forest rehabilitation on the macrobenthos in Ximen Island HUANG Li, CHEN Shaobo, CHOU Jianbiao, et al (3138)
- Responses of soil microbial properties in soil profile to typical vegetation pattern and slope in karst-cluster depression area FENG Shuzhen, SU Yirong, QIN Xinmin, et al (3148)
- Correlation among vegetation characteristics, temperature and moisture of alpine meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau XU Manhou, XUE Xian (3158)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- The temporal and spatial variation of the value of ecosystem services of the Naoli River Basin ecosystem during the last 60 years ZHAO Liang, LIU Jiping, TIAN Xuezhi (3169)
- Sensitivity analysis of climate control in the Daisyworld model based on system dynamics CHEN Haibin, TANG Haiping (3177)
- Resource and Industrial Ecology**
- Analysis of key climatic factors influencing on seed cotton yield in cotton-wheat double cropping HAN Yingchun, WAN Guoping, FAN Zhengyi, et al (3185)
- The effect of low-covered sand-fixing forest belts on restoration of the soil and vegetation JIANG Lina, YANG Wenbin, LU Qi, et al (3192)
- Dissolution rate under soil in karst areas and the influencing factors of different land use patterns LAN Jiacheng, FU Wali, PENG Jingtao, et al (3205)
- Measuring external benefits of agricultural land preservation: an application of choice experiment in Wuhan, China CHEN Zhu, JU Dengping, ZHANG Anlu (3213)
- Research Notes**
- Effect of temperature and feeding frequency on asexual reproduction and polyp growth of the scyphozoan *Cyanea nozakii* Kishinouye SUN Ming, DONG Jing, CHAI Yu, LI Yulong (3222)
- The research on *Buteo hemilasius* nest-site selection on the west bank of Dalai Lake in Dalai Lake Natural Reserve ZHANG Honghai, WANG Ming, CHEN Lei, et al (3233)
- Estimating rodent density using infrared-triggered camera technology ZHANG Shusheng, BAO Yixin, WANG Yanni, et al (3241)

《生态学报》2013 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,探索自然奥秘,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,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

本期责任副主编 高玉葆

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 10 期 (2013 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 10 (May, 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