

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

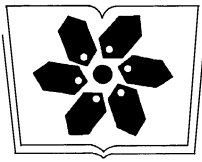
Acta Ecologica Sinica



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/stxb201203020281

梁轩, 汪智军, 袁道先, 杨平恒, 贺秋芳. 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. 生态学报, 2013, 33(10): 3031-3038.

Liang X, Wang Z J, Yuan D X, Yang P H, He Q F. Characteristics of concentrations and carbon isotope compositions of dissolved inorganic carbon in soil water under varying vegetations in karst watershed. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(10): 3031-3038.

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^{1,*}, 汪智军¹, 袁道先^{1,2}, 杨平恒¹, 贺秋芳¹

(1. 西南大学地理科学学院/三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715;

2. 中国地质科学院岩溶地质研究所/国土资源部岩溶动力学重点实验室, 桂林 541004)

摘要: 自 2010 年 7 月至 2011 年 7 月对重庆青木关岩溶区典型植被下的土壤水进行了月动态取样, 分析了土壤水溶解无机碳含量(DIC 浓度)及其稳定碳同位素组成($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值)的时空变化特征, 以揭示岩溶土壤系统碳酸盐岩溶蚀作用及其碳汇效应。研究表明: 草地和针叶林地土壤水的 DIC 浓度和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值相对较低, 分别为 59.12 mg/L 和 -17.22‰, 31.47 mg/L 和 -16.37‰; 而旱地、灌丛地、退耕还林地土壤水具有较高的 DIC 浓度和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值, 分别达 153.88 mg/L 和 -12.2‰, 221.82 mg/L 和 -11.9‰, 97.30 mg/L 和 -11.23‰, 其中灌丛和退耕还林地的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值与 DIC 浓度呈正比, 且雨季较早季偏高约 4‰—5‰。根据 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值, 结合各植被类型下土壤水 DIC 浓度与其相应的土壤碳酸盐含量呈正相关, 判断旱地、灌丛地、退耕还林地等岩溶土壤水中的 DIC 主要来自土壤中碳酸盐岩矿物的碳酸溶蚀, 即岩溶土壤巾存在着碳酸盐岩碳酸溶蚀作用, 从而在一定程度上减少了土壤系统向大气排放的 CO_2 量。

关键词: 青木关岩溶区; 土壤水; 溶解无机碳(DIC); 稳定碳同位素组成

Characteristics of concentrations and carbon isotope compositions of dissolved inorganic carbon in soil water under varying vegetations in karst watershed

LIANG Xuan^{1,*}, WANG Zhijun¹, YUAN Daoxian^{1,2}, YANG Pingheng¹, HE Qiufang¹

1 Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment (MOE), School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China

2 The Karst Dynamics Laboratory (MLR), Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin 541004, China

Abstract: Carbon plays a vital role in karst ecosystem. A proportion of carbon dioxide produced by microbial activities and respiration of roots can be dissolved and carried by the infiltration water and then dissolve carbonate materials in the karst soil system. This process can produce a lot of dissolved inorganic carbon (DIC) into the soil water and groundwater. The stable carbon composition of DIC ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) can be used as a tracer for studying biogeochemical processes in soil water because the potential biogenic, atmospheric and geologic sources of C have distinct $\delta^{13}\text{C}$ signatures. In order to reveal the characteristics of temporal and spatial variations of DIC fluxes, which can help us to get an insight into the carbonate dissolution and its related carbon cycling, and evaluate the carbon isotopic evolution of soil water in karst areas, soil water derived from different vegetations in Qingmuguan karst areas, Chongqing, SW China, were collected monthly from July,

基金项目: 国家自然科学基金项目(41072192, 41103068); 重庆市科委项目(CSTC, 2010BC7004); 重庆市国土房管局科技项目; 西南大学博士基金(SWU111009); 岩溶动力学重点实验室开放基金资助项目(KDL01-2010)

收稿日期: 2012-03-02; 修订日期: 2012-08-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liangziting1988@163.com

2010 to July, 2011, and the DIC concentrations and $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ values of soil water were analyzed. The results show that: (1) DIC concentrations and $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ of soil water showed distinct temporal and spatial variations in the study area. DIC concentrations and $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ values of soil water varied from 21.56 mg/L to 265.35 mg/L, and from -7.73‰ to -20.68‰ , respectively. (2) Soil water derived from grass and coniferous forest land had lower DIC concentrations and $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ values, with a mean value of 59.12 mg/L and -17.22‰ , 31.47 mg/L and -16.37‰ , respectively. The $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ indicated that these DIC were mainly derived from the dissolution of soil CO_2 . (3) Soil water derived from the dry land, shrub land and afforestation land had higher DIC concentrations and $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ values, with the averages of 153.88 mg/L and -12.2‰ , 221.82 mg/L and -11.9‰ , 97.30 mg/L and -11.23‰ , respectively. Meanwhile, these $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ values of soil water were generally 4‰ — 5‰ higher in the rainy season than those in the dry season. Moreover, these $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ values showed positive correlations with corresponding DIC concentrations. These indicated that DIC in these soil water were primarily derived from dissolution of carbonate materials by soil CO_2 , suggesting that great carbonate dissolution occurs in the karst soil system which could contribute to the reduction of soil CO_2 released to the atmosphere to some extent. Nevertheless, our research also indicated the carbonate was dissolved partly by sulphuric acid which derived from the atmospheric acid precipitation in the rainy season, supported by the stoichiometric analysis, elevated $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ and $\delta^{34}\text{S}$ of sulfate in the soil water. Besides, organic acids in the soil system could also facilitate the dissolution of carbonate materials, and result in the elevated $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ of soil water. Hydron produced by oxygenation of inorganic nitrogenous fertilizers from agricultural activities also probably participated in the dissolution of carbonate and elevated $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ of soil water. This study revealed the variations of DIC concentrations and $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ values in the karst soil water and their influencing factors, which will aid in understanding of the migration and transformation of soil CO_2 in karst soil system, especially the reduction effects of soil CO_2 released to the atmosphere. However, the accurate estimation of soil CO_2 reduction requires further research.

Key Words: Qingmuguan karst area; soil water; dissolved inorganic carbon; stable carbon isotope compositions

碳素在岩溶生态系统中扮演着极其重要的角色,土壤中生物活动产生的高浓度的 CO_2 ,部分溶于渗透水,溶蚀碳酸盐岩矿物,产生溶解无机碳(DIC)进入地下水中^[1-3]。由于溶解无机碳同位素组成($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$)能够反映碳的地球化学行为和地球化学循环特征,对土壤生物作用、呼吸作用和岩溶作用等过程都具有重要的指示意义^[4],故可以根据 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 来指示岩溶系统中碳的迁移转化。已有研究成果表明 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 受到地质背景、植被、气候和生物活动等影响而具有显著差异。如,不同植被下土壤往往具有不同的理化组成和 CO_2 浓度特征,使得土壤水的 DIC 浓度和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值也具有很大差异^[5];受气温和降雨影响,地下水的 DIC 和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 具有季节、昼夜甚至小时的动态变化特征^[6];人类活动产生的硫酸型酸雨能够改变流域岩溶作用的强度和方式,进而使得地下水 DIC 和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 发生改变^[7]。因此,可以利用 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 来探讨流域岩溶作用的强度和方式。另外,由于流域岩溶作用普遍具有碳汇效应^[8],故可根据岩溶水的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 指示岩溶碳汇效应及其影响因素。前人对岩溶地表水与地下水中的溶解无机碳同位素特征已有较多研究^[9-12],而对岩溶区土壤渗透水溶解无机碳同位素特征研究较少。本研究以重庆青木关岩溶区的浅层土壤渗透水为研究对象,采用土壤溶液取样器对不同植被类型下的土壤水进行高密度的采样检测,利用碳稳定同位素技术识别土壤水中 DIC 的来源,以进一步揭示土壤碳汇效应及其影响因素。

1 采样与方法

1.1 研究区概况

青木关岩溶区位于重庆市北碚区、沙坪坝区和璧山县的交界处,为“一山二岭一槽”式的典型岩溶槽谷,流域面积约为 11.36 km^2 。区内碳酸盐岩广布,主要出露地层为三叠系灰岩和白云岩。本区气候属于亚热带季风型气候,温暖湿润,年均气温为 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均降雨量为 1000 mm ,降雨主要集中在夏季,且多暴雨。其中,

5—10 月为雨季,11 月到翌年 4 月为旱季。植被主要有亚热带常绿阔叶林(大量为灌丛)和针叶林(马尾松、杉树、竹林等),土壤类型主要有地带性土壤黄壤和非地带性的石灰土,石灰土土层较薄,洼地中分布水稻土且土层较厚。

1.2 样品采集与测试

在流域内,选取典型的草地、灌丛地、旱地、针叶林地、退耕还林地等(表 1),安装 1900 土壤溶液取样器(美国 SoilMoisture 公司),利用真空提取法收集土下 30、60 和 90 cm 土壤水。自 2010 年 7 月—2011 年 7 月,每月收集两次土壤水样(除个别月份未取到土壤水),取样前 3—5 d 利用配套注射器将取样器中的渗滤水抽完,用真空泵把取样器抽成负压,折弯氯丁橡胶管并用夹紧环夹紧,确保取样器内保持真空状态,利用土壤取样器底部的陶瓷头自动吸取周围土壤水集于收集管中。在野外,用多参数水质分析仪(HQ340d,美国哈希公司)现场测定 pH 值,其测量精度为 0.01 pH 单位。用德国 Merck K GaA 公司的碱度和钙度测试盒现场滴定土壤水中的 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 浓度,其精度分别为 0.1 mmol/L 和 2 mg/L。取 100 mL 水样加酸用于测定阳离子,测试仪器为 ICP-OES。取 100 mL 水样用于测定阴离子,测试仪器为 761 Compact 离子色谱仪。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 取样量为 10 mL,加入两滴 HgCl_2 ,毒化抑制微生物活动,不留气泡,用封口胶密封盖紧,0—4 °C 冷藏,迅速运回实验室测试。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 测试仪器为 Gas Bench II 连接 Delta V Plus 气体稳定同位素质谱仪,测定结果用国际标准 V-PDB(Vienna PeeDee Belemnite)校准,测试精度<0.15‰。所有样品测试均在西南大学地理科学学院地球化学与同位素实验室和土壤实验室完成。此外,在不同土地利用类型下的土壤水取样器附近选取了土壤剖面,按 30 cm 间隔采集土壤样品,于室内采用气量法测定土壤碳酸盐岩含量。

表 1 采样点具体情况

Table 1 The conditions of the sampling sites

植被类型 Vegetation type	成土母质 Soil parent material	优势植物 Dominant plant	土层厚度/m Soil depth	土壤质地 Soil texture	人为影响 Human activities
旱地 Dry land	灰岩	玉米	0.5—1.5	上部壤土,下部粘土	化肥及粪肥
草地 Grassland	灰岩	草本植物	1—2	粘土	—
灌丛地 Shrub land	灰岩	灌木丛	0.5—1	上部壤土,下部粘土	—
退耕还林 Afforestation farmland	灰岩	人工经济林(如杜仲等)	0.5—1	上部壤土,下部粘土	退耕还林 4—5a
针叶林 Coniferous forest land	灰岩	马尾松、杉木和竹子等	1—2	上部壤土,下部粘土	—

2 结果

2.1 不同植被下土壤水 DIC 时空变化特征

溶解无机碳(DIC)由溶解态 CO_2 、碳酸(H_2CO_3)、重碳酸根(HCO_3^-)和碳酸根(CO_3^{2-})等组成,且各组分所占的比例与 pH 值有关,当 pH 值为 7—9 时,DIC 主要以(HCO_3^-)形式存在;pH 值较低时,DIC 主要是碳酸(H_2CO_3)^[13]。青木关岩溶区内的草地、旱地、灌丛地、针叶林地和退耕还林地的土壤水的 pH 值均值分别为灌丛地(7.48)>旱地(7.41)>退耕还林地(7.15)>针叶林地(6.52)>草地(5.93)。因此,旱地、灌丛地、退耕还林地土壤水的 DIC 主要以 HCO_3^- 为主,而草地和针叶林地的 DIC 主要以 H_2CO_3 为主。不同植被类型下土壤水的 DIC 浓度具有明显横向(不同植被类型之间)和垂向(同一植被类型下不同深度)差异特征(表 2 和图 1)。草地和针叶林地的 DIC 浓度较低,均值分别为 59.12 mg/L 和 31.47 mg/L,而旱地、灌丛地、退耕还林地 DIC 浓度较高,均值分别为 153.88、221.82 mg/L 和 97.30 mg/L。随着土壤深度的增加,各植被类型下的土壤水 DIC 浓度有所增加,以旱地最为明显。图 2 显示了土壤水 DIC 浓度的季节动态变化特征,除旱地外,各植被类型下土壤水的 DIC 都具有明显的季节变化特征,雨季 DIC 浓度较高,而旱季较低。旱地土壤水的 DIC 季节变化较为复杂。

2.2 不同植被下土壤水 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 时空变化特征

从图 3 可见,流域内不同植被下土壤水 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值也具有较大差异(表 3)。草地土壤水 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值变化范

围为-14.5‰—-20.68‰,均值为-17.22‰;旱地为-7.73‰—-15.56‰,均值为-12.2‰;灌丛为-6.9‰—-14.78‰,均值为-11.9‰;针叶林地-14.55‰—-19.21‰,均值为-16.37‰;退耕还林地为-8.38‰—-13.09‰,均值为-11.23‰。同一植被下,不同深度的土壤水 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值相差不大。

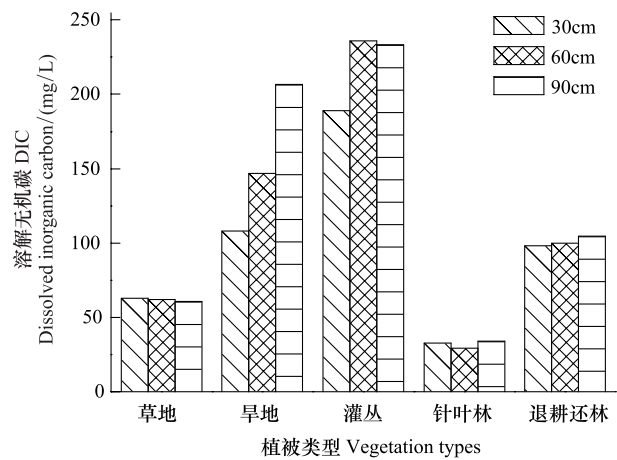


图1 不同植被下土壤水溶解无机碳 DIC 浓度差异

Fig. 1 Differences of DIC concentrations in soil water under different vegetations

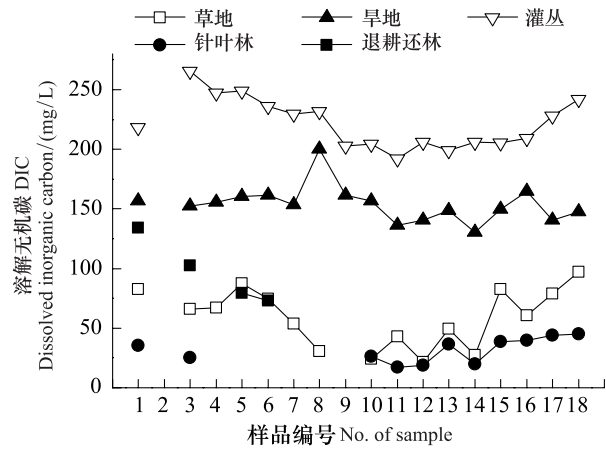


图2 不同植被下土壤水溶解无机碳 DIC 浓度的动态变化

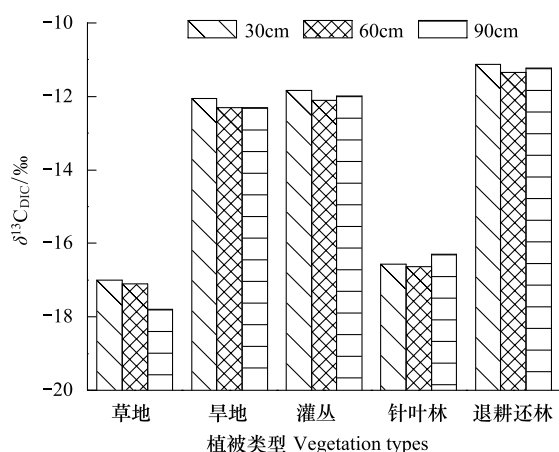
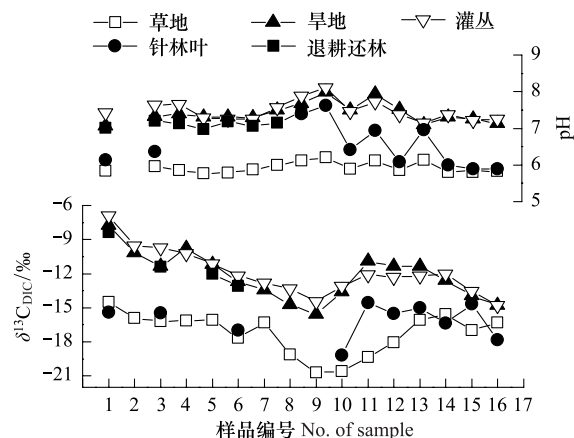
Fig. 2 Dynamic variations of DIC concentrations in soil water under different vegetations

表2 不同植被下土壤水 DIC 浓度与 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值

Table 2 DIC concentrations and $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ values of soil water under different vegetations

样品编号 No. of sample	采样日期 Sampling date	草地 Grassland		旱地 Dry land		灌丛地 Shrub land		针叶林地 Coniferous forest land		退耕还林地 Afforestation farmland	
		DIC	$\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$	DIC	$\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$	DIC	$\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$	DIC	$\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$	DIC	$\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$
		/(mg/L)	/‰	/(mg/L)	/‰	/(mg/L)	/‰	/(mg/L)	/‰	/(mg/L)	/‰
1	2010-07-06	82.39	-14.50	156.57	-7.73	218.08	-6.90	35.59	-15.39	134.2	-8.38
2	2010-09-10	-	-15.91	-	-10.19	-	-9.54	-	-	-	-
3	2010-09-23	66.06	-16.17	152.5	-11.34	265.35	-9.73	25.19	-15.45	102.48	-11.43
4	2010-10-10	66.95	-16.16	155.55	-9.76	247.05	-10.21	-	-	-	-
5	2010-10-24	87.45	-16.10	160.63	-11.20	249.08	-11.15	-	-	79.3	-12.02
6	2010-11-06	74.55	-17.65	161.24	-12.71	235.87	-12.17	-	-17.00	73.2	-13.09
7	2010-11-27	53.7	-16.33	153.52	-13.46	229.77	-12.80	-	-	-	-
8	2010-12-11	30.5	-19.10	200.28	-14.71	231.8	-13.32	-	-	-	-
9	2011-11-02	-	-20.68	161.65	-15.56	202.72	-14.47	-	-	-	-
10	2011-01-17	24.22	-20.61	156.57	-13.60	204.35	-13.12	26.43	-19.21	-	-
11	2011-03-08	43	-19.33	136.23	-10.88	192.15	-12.06	16.98	-14.55	-	-
12	2011-03-25	21.56	-18.06	140.3	-11.38	205.77	-12.32	18.6	-15.50	-	-
13	2011-04-09	49.5	-16.07	148.84	-11.38	199.27	-12.21	36.28	-15.02	-	-
14	2011-04-25	27.46	-15.55	130.13	-12.60	205.78	-12.01	19.69	-16.39	-	-
15	2011-5-12	82.48	-16.98	149.45	-13.95	205.37	-13.55	38.36	-14.68	-	-
16	2011-05-23	60.35	-16.31	164.7	-14.78	209.43	-14.78	39.92	-17.81	-	-
17	2011-06-15	78.64	-	140.3	-	-227.13	-	43.86	-	-	-
18	2011-06-28	97.11	-	147.42	-	241.97	-	45.26	-	-	-

部分 DIC 浓度数据运用 Phreeqc2 软件计算

图3 不同植被下土壤水 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值差异Fig.3 Differences of $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ values of soil water under different vegetations图4 不同植被下土壤水 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 与 pH 值的动态变化Fig.4 Dynamic variations of $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ and pH values of soil water under different vegetations

从季节变化来看,各植被类型下土壤水 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 变化基本一致,均呈现出雨季偏高,旱季偏低的特征(图4)。其中,旱季草地土壤水的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 均值为 -20.13‰ ,雨季为 -15.21‰ ;旱地土壤水旱季为 -14.62‰ ,雨季为 -9.75‰ ;灌丛地土壤水旱季为 -13.64‰ ,雨季为 -8.72‰ ;退耕还林地土壤水旱季为 -13.09‰ ,雨季为 -8.38‰ ;针叶林地土壤水旱季为 -19.21‰ ,雨季为 -15.39‰ 。总体上,各植被类型下土壤水的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值均表现为雨季比旱季偏高约 4‰ — 5‰ 。

3 讨论

3.1 土壤水中 DIC 来源及其影响因素

土壤水中 DIC 来源除了空气中的 CO_2 被雨水吸收后入渗到土壤中外,更主要的是土壤层中有机质分解和植物根系呼吸作用解释放出来的 CO_2 溶于土壤水中形成的碳酸,以及碳酸和其它酸等对碳酸盐岩矿物溶蚀形成的重碳酸根离子。故土壤水中的 DIC 广泛受到了地质背景、水岩反应、土壤 CO_2 的溶解、有机质降解以及 CO_2 在水-气之间交换等多种因素的共同影响^[14]。

草地和针叶林地土壤水具有较低的 DIC 浓度和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值,结合其较低的 pH 值(图4)和土壤碳酸盐岩含量(表3),判断其 DIC 主要来自于土壤 CO_2 的溶解。然而,旱地、退耕还林地和灌丛地土壤水 $\text{pH}>7$,其较高的 DIC 浓度和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值显示其 DIC 受到了土壤中碳酸盐岩矿物溶蚀的影响。受灰岩母质影响,旱地、灌丛地、退耕还林地的土壤中的碳酸盐含量较高(表3),土壤中高浓度 CO_2 溶于水后溶解碳酸盐岩矿物,使得这3种植被类型下的土壤水具有较高 DIC 浓度。随着深度的加深,越来越接近基岩,碳酸盐岩含量增大,其溶蚀量增多,使得土壤水中 DIC 浓度也增高。特别是灌丛地,土层较薄,碳酸盐含量均值高达 22.12 g/kg ,碳酸盐岩矿物溶蚀最为强烈,致使其土壤水的 DIC 浓度最高,且 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值高于 -17‰ ,表明其 DIC 来自碳酸岩矿物溶蚀的比例较高。从图5可以看出,退耕还林地和灌丛地土壤水的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值与 DIC 含量呈正相关关系,也表明

表3 不同植被下土壤碳酸盐含量(g/kg)

Table 3 Soil carbonate contents under different vegetations

土壤深度/cm Soil depth	草地 Grassland	旱地 Dryland	灌丛地 Shrub land	退耕还林地 Afforestation farmland	针叶林地 Coniferous forest land
0—30	4.57	11.6	12.31	10.44	7.62
30—60	5.02	13.93	31.93	11.66	4.89

了碳酸盐岩矿物的溶蚀对土壤水 DIC 具有重要贡献,而其它植被类型下,由于碳酸盐岩矿物含量较少,土壤水的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值与 DIC 含量无明显相关性,其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 变化受到多种因素影响。

除旱地外,不同植被下的土壤水 DIC 和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 都具有雨季较高,旱季较低的特征。一般地,雨季高温多雨,增强了土壤微生物活性与植物呼吸作用,使得土壤有机质经微生物分解释放出更多土壤 CO_2 , 溶蚀更多碳酸盐岩矿物,导致雨季土壤水 DIC 浓度升高,而 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 降低^[6,15],然而,土壤水 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值却表现为雨季较高,旱季较低,其原因可能是雨季土壤层中的其它酸(如硫酸和有机酸等)参与了碳酸盐岩溶蚀,使得土壤水中来自碳酸盐岩本身的 DIC 的比例增加,导致其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值升高。研究区内大气降水为硫酸型酸雨^[16],且分布有煤系地层,雨季气温较高、雨量较多,硫酸可能参与了碳酸盐岩溶蚀。通过水化学计算得知,所有灌丛地和退耕还林地土壤水中 $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]/[\text{HCO}_3^-]$ 远大于 1,而绝大多数样品的 $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]/[\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}]$ 比值约为 1,表明了土壤水中有多余 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 需要硫酸盐离子来平衡,由此说明硫酸可能参与了碳酸盐岩矿物的溶解和(或)蒸发岩的溶解。一般地,硫酸溶蚀碳酸盐岩 $[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{HCO}_3^-]$ 的当量比值约为 1, $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]/[\text{HCO}_3^-]$ 的当量比值约为 2。从图 6 可知,灌丛地和退耕还林地的大部分土壤水样品都分布于碳酸和硫酸溶蚀碳酸盐岩两个端元之间,且远离石膏溶解线,显示了硫酸溶蚀碳酸盐岩对土壤水化学组成影响显著^[17]。另外, $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值与 $\text{SO}_4^{2-}/[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]$ 成明显的正相关关系(图 7, $r^2_{\text{灌丛}} = 0.84$, $r^2_{\text{退耕还林}} = 0.98$),也证明了土壤水中的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值受到碳酸盐岩硫酸溶蚀的影响,这与许多研究是类似的^[18-19]。流域内大气降水的 $\delta^{34}\text{S}$ 值较低,为 0.97‰,其硫酸盐主要来自人类活动产生的 SO_2 和颗粒态硫。而土壤水的 $\delta^{34}\text{S}$ 均值为 2.97‰,指示其 SO_4^{2-} 主要来自大气酸沉降^[16]。综上所述,可以判断雨季来自大气的酸沉降形成的硫酸参与了土壤中碳酸盐岩矿物的溶解,使得土壤水 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 较早季偏高。

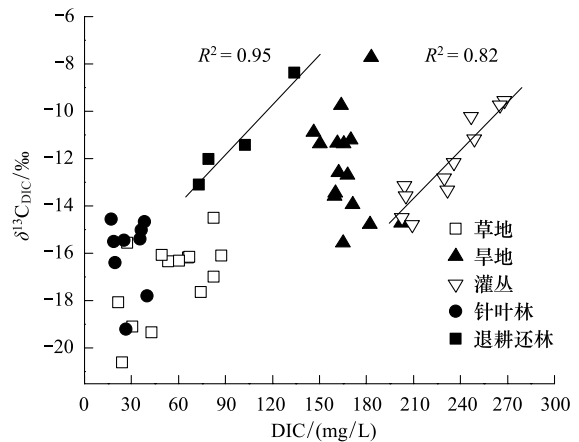


图 5 土壤水 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值与 DIC 浓度关系图

Fig. 5 Plot of $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ values versus DIC concentrations

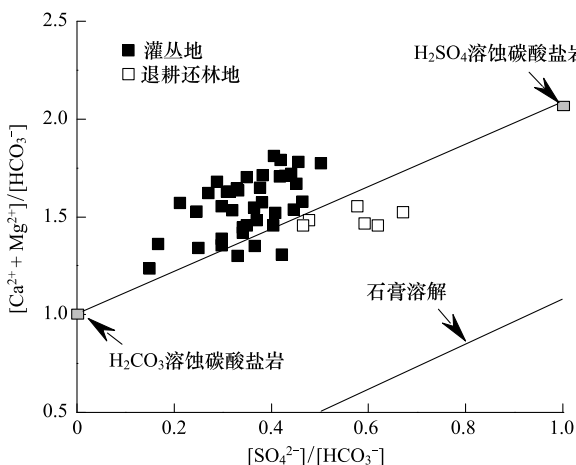


图 6 土壤水 $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]/[\text{HCO}_3^-]$ 与 $[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{HCO}_3^-]$ 当量比关系

Fig. 6 Plot of $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]/[\text{HCO}_3^-]$ versus $[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{HCO}_3^-]$ of soil water

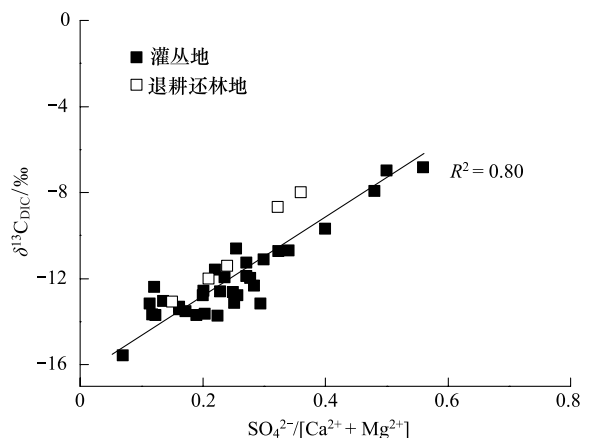


图 7 土壤水 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值与 $[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]$ 关系

Fig. 7 Plot of $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ values versus $[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]$ of soil water

此外,雨季土壤中强烈的微生物活动产生更多的有机酸也可能会增加碳酸盐岩溶蚀量,使得土壤水 DIC 浓度和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值都较旱季高。雨季较强的降雨也会使得空气中的 CO_2 随雨水渗入到土壤层中,使得大气成因的 CO_2 比例增加,进而致使土壤水中 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值偏高,石质化程度较高的土壤水 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值受其影响较大。在旱季各植被类型下土壤水 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值偏低,原因除了旱季生物活动较弱外,还可能与旱季土壤 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 偏低有关。土壤 CO_2 的同位素组成与土壤有机质的来源(C_3 或者 C_4 植被)和 CO_2 的扩散速率有关^[6],在旱季,呼吸速率基本为 0, CO_2 分子扩散和伴随而来的同位素分馏并不存在,使得土壤 CO_2 与土壤有机质具有相似的同位素组成,即比雨季偏低 4‰—5‰^[20]。

3.2 土壤水 $\delta^{13}\text{C}$ 对岩溶碳汇的指示意义

灌丛地和退耕还林地土壤水的 DIC 浓度明显高于草地和针叶林地土壤水的浓度,原因是这两个采样点土层较薄,且分布有许多灰岩石砾,为典型的岩溶土壤。这两种植被类型下的土壤水具有较高的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值,分别达 -11.9‰和 -11.23‰,与土壤 CO_2 溶于水溶蚀碳酸盐岩所形成的 DIC 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(约为 -11.5‰^[7])非常接近。由此表明岩溶土壤系统中存在着强烈的碳酸盐岩溶蚀作用,土壤石质化程度越高,碳酸盐岩溶蚀量越大。此外,流域土壤水的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值相对地下河水的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值(-8.47‰^[21])也较为偏高,显示岩溶土壤水的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值受土壤 CO_2 影响比岩溶地下水显著。

许多研究表明碳酸盐岩溶蚀作用能够消耗土壤 CO_2 (最初也是来自大气),即对大气 CO_2 具有碳汇效应^[8]。碳酸盐岩溶蚀作用越强,消耗的土壤 CO_2 越多,其碳汇效应越强。据上文分析可知,岩溶土壤系统具有较强的碳酸盐岩溶蚀作用,能够在一定程度上减少土壤向大气释放的 CO_2 量,故而也具有一定的碳汇效应。然而,自然界中由于硫酸、硝酸和有机酸等也会参与碳酸盐岩溶蚀作用,结果使得碳酸盐岩溶蚀量增加的同时,其产生的碳汇量却减少了,甚至变成了碳源^[7,20-21]。流域灌丛地和退耕还林地土壤水的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值与 DIC 浓度成正比,且雨季受来自大气降水的硫酸参与碳酸盐岩溶蚀的影响而较早季偏高,这在一定程度上会减少土壤中碳酸盐岩矿物溶蚀对 CO_2 的消耗量,最终减少岩溶碳汇量。另外,流域内植被分布广泛,故有机酸在一定程度上也能够增强岩溶作用,从而减弱了碳汇效应。流域中农田施用的无机氮肥会氧化产生氢离子,进而参与碳酸盐岩溶蚀,也会减少岩溶 CO_2 汇。当然,硝酸和有机酸在多大程度上参与了流域岩溶作用还有待进一步研究。

4 结论

(1) 青木关岩溶流域不同植被类型下的土壤水的 DIC 浓度具有时空变化特征,其中草地和针叶林地具有较低的 DIC 浓度,而旱地、灌丛地、退耕还林地 DIC 浓度较高,这与相应植被类型下的土壤碳酸盐含量呈正相关,且草地、灌丛地、退耕还林地和针叶林地 DIC 浓度雨季高于旱季。各植被类型下土壤水 DIC 浓度均随深度的增加而升高。

(2) 不同植被下土壤水 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值也具有时空差异,其中草地和针叶林地土壤水的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值较低,其 DIC 主要来源于土壤 CO_2 的溶解,而旱地、灌丛地、退耕还林地的 DIC 主要受碳酸盐岩矿物的碳酸溶蚀作用而具有较高的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值。受硫酸溶蚀碳酸盐岩的影响,灌丛地和退耕还林地的土壤水 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 表现为雨季较高,旱季较低,且 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值与 DIC 浓度成正比。

(3) 根据旱地、灌丛地、退耕还林地土壤水较高的 DIC 浓度和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值,判断岩溶土壤系统中存在着强烈的碳酸盐岩溶蚀作用,在一定程度上减少了土壤系统向大气释放的 CO_2 量。然而,结合化学计量分析以及 $\delta^{34}\text{S}$ 值,发现人类活动产生的酸沉降(主要是硫酸)能够溶蚀土壤中的碳酸盐岩矿物,导致土壤水 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值升高,且在一定程度上能减少碳酸盐岩矿物溶蚀对土壤 CO_2 的消耗量。

致谢:感谢伍坤宇、曹敏、肖琼等对论文写作给予的指导。

References:

- [1] Wang S J, Ji H B, Ouyang Z Y, Zhou D Q, Zhen L P, Li T Y. Preliminary study on weathering and pedogenesis of carbonate rock. Science in

- China, 1999, 42(6): 572-581.
- [2] Cao J H, Yuan D X, Pan G X. Some soil features in karst ecosystem. *Advance in Earth Sciences*, 2003, 18(1): 37-44.
- [3] 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): 1131-1139.
- [4] Liu C Q. Biogeochemical Processes and the Material Cycle on the Earth's Surface—Erosion and Biogenic Elements Cycle of Karst Area in Southwest China. Beijing: Science Press, 2007: 1-608.
- [5] Cao J H, Yuan D X, Pan G X, Jiang G H. Influence of soil carbon transfer under different vegetations on carbon cycle of karst dynamics system. *Earth and Environment*, 2004, 32(1): 90-96.
- [6] Liu Z H, Li Q, Sun H L, Wang J L. Seasonal, diurnal and storm-scale hydrochemical variations of typical epikarst springs in subtropical karst areas of SW China; soil CO₂ and dilution effects. *Journal of Hydrology*, 2007, 337(1/2): 207-223.
- [7] Liu C Q, Jiang Y K, Tao F X, Lang Y C, Li S L. Chemical weathering of carbonate rocks by sulfuric acid and the carbon cycling in Southwest China. *Geochimica*, 2008, 37(4): 404-414.
- [8] Yuan D X. The carbon cycle in karst. *Annual of Geomorphology*, 1997, 108: 91-102.
- [9] Lee S E, Krothe N C. A four-component mixing model for water in a karst terrain in South-central Indiana, USA; using solute concentration and stable isotopes as tracers. *Chemical Geology*, 2001, 179(1/4): 129-143.
- [10] Li S L, Liu C Q, Li J, Lang Y C, Ding H, Li L B. Geochemistry of dissolved inorganic carbon and carbonate weathering in a small typical karstic catchment of Southwest China; isotopic and chemical constraints. *Chemical Geology*, 2010, 277(3/4): 301-309.
- [11] Zhao M, Zeng C, Liu Z H, Wang S J. Effect of different land use/land cover on karst hydrogeochemistry: a paired catchment study of Chenqi and Dengzhanhe, Puding, Guizhou, SW China. *Journal of Hydrology*, 2010, 388(1/2): 121-130.
- [12] Pan G X, Cao J H, Teng Y Z, Tao Y X, Han F S, Cao J H, He S Y. Distribution and transferring of carbon in karst soil system of peak forest depression in humid subtropical region. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(1): 69-72.
- [13] Liu Z H, Dreybrodt W, Wang H J. A possible important CO₂ sink by the global water cycle. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(3): 402-407.
- [14] Li S L, Liu C Q, Tao F X, Bin L C, Han G L. Chemical and stable carbon isotopic compositions of the ground waters of Guiyang City, China; implications for biogeochemical cycle of carbon and contamination. *Geochimica*, 2004, 33(2): 165-170.
- [15] Liu Z H, Groves C, Yuan D X, Meiman J, Jiang G H, He S Y. Study on the hydrochemical variations caused by the water-rock-gas interaction——An example from the Guilin Karst experimental site. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2003, 30(4): 13-18.
- [16] Wang Z J. Characteristics of Carbon and Nitrogen Isotopic Compositions in Qingmuguan Karst Soil and Water Systems [D]. Chongqing: Southwest University, 2011: 22-23.
- [17] Li J, Liu C Q, Li L B, Li S L, Wang B L, Chetelat B. The impacts of chemical weathering of carbonate rock by sulfuric acid on the cycling of dissolved inorganic carbon in Changjiang River water. *Geochimica*, 2010, 39(4): 305-313.
- [18] Yoshimura K, Nakao S, Noto M, Inokura Y, Urata K, Chen M, Lin P W. Geochemical and stable isotope studies on natural water in the Taroko Gorge karst area, Taiwan-chemical weathering of carbonate rocks by deep source CO₂ and sulfuric acid. *Chemical Geology*, 2001, 177(3/4): 415-430.
- [19] Li S L, Han G L, Zhang H X, Liu C Q, Gaillardet M G, Damien C. Carbon isotopic evidence for the involvement sulfuric acid in carbonate weathering of Beipan River Catchment. *Earth and Environment*, 2006, 34(4): 57-60.
- [20] Perrin A S, Probst A, Probst J L. Impact of nitrogenous fertilizers on carbonate dissolution in small agricultural catchments; implications for weathering CO₂ uptake at regional and global scales. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2008, 72(13): 3105-3123.
- [21] Drever J I, Stillings L L. The role of organic acids in mineral weathering. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 1997, 120(1/3): 167-181.

参考文献:

- [2] 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.
- [3] 李恩香, 蒋忠诚, 曹建华, 姜光辉, 邓艳. 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): 1131-1139.
- [4] 刘丛强. 生物地球化学过程与地表物质循环——西南喀斯特流域侵蚀与生源要素循环. 北京: 科学出版社, 2007: 1-608.
- [5] 曹建华, 袁道先, 潘根兴, 姜光辉. 不同植被下土壤碳转移对岩溶动力系统中碳循环的影响. *地球与环境*, 2004, 32(1): 90-96.
- [7] 刘丛强, 蒋颖魁, 陶发祥, 郎赞超, 李思亮. 西南喀斯特流域碳酸盐岩的硫酸侵蚀与碳循环. *地球化学*, 2008, 37(4): 404-414.
- [12] 潘根兴, 曹建华, 滕永忠, 陶于祥, 韩富顺, 曹建华, 何师意. 湿润亚热带峰丛洼地岩溶土壤系统中碳分布及其转移. *应用生态学报*, 2000, 11(1): 69-72.
- [14] 李思亮, 刘丛强, 陶发祥, 郎赞超, 韩贵琳. 碳同位素和水化学在示踪贵阳地下水碳的生物地球化学循环及污染中的应用. *地球化学*, 2004, 33(2): 165-170.
- [15] 刘再华, Groves C, 袁道先, Meiman J, 姜光辉, 何师意. 水-岩-气相互作用引起的水化学动态变化研究——以桂林岩溶试验场为例. *水文地质工程地质*, 2003, 30(4): 13-18.
- [16] 汪智军. 青木关岩溶流域水-土系统碳氮同位素特征研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2011: 22-23.
- [17] 李军, 刘丛强, 李龙波, 李思亮, 王宝利, Chetelat B. 硫酸侵蚀碳酸盐岩对长江河水 DIC 循环的影响. *地球化学*, 2010, 39(4): 305-313.
- [19] 李思亮, 韩贵琳, 张鸿翔, 刘丛强, Gaillardet M G, Damien C. 硫酸参与喀斯特流域(北盘江)风化过程的碳同位素证据. *地球与环境*, 2006, 34(4): 57-60.

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 vegetation 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