

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第7期 Vol.33 No.7 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 7 期

2013 年 4 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 线虫转型发育和寄主识别的化学通讯研究进展..... 张 宾,胡春祥,石 进,等 (2003)
- 生物物种资源监测原则与指标及抽样设计方法..... 徐海根,丁 晖,吴 军,等 (2013)

个体与基础生态

- 呼伦贝尔草原人为火空间分布格局..... 张正祥,张洪岩,李冬雪,等 (2023)
- 青藏高原草地地下生物量与环境因子的关系..... 杨秀静,黄 玫,王军邦,等 (2032)
- 1961—2010 年桂林气温和地温的变化特征 陈 超,周广胜 (2043)
- 黄泥河自然保护区狗冬季卧息地选择..... 朱洪强,葛志勇,刘 庚,等 (2054)
- 青藏高原草地植物叶解剖特征..... 李全发,王宝娟,安丽华,等 (2062)
- 青藏高原高寒草甸夏季植被特征及对模拟增温的短期响应..... 徐满厚,薛 娴 (2071)
- 高温影响番茄小孢子发育的细胞学研究..... 彭 真,程 琳,何艳军,等 (2084)
- 黄土丘陵半干旱区柠条林株高生长过程新模型..... 赵 龙,王振凤,郭忠升,等 (2093)
- 柝属 7 种植物种子的发芽抑制物质研究..... 李庆梅,刘 艳,刘广全,等 (2104)
- 水分胁迫和杀真菌剂对黄顶菊生长和抗旱性的影响..... 陈冬青,皇甫超河,刘红梅,等 (2113)
- 铜尾矿废弃地与相邻生境土壤种子库特征的比较..... 沈章军,欧祖兰,田胜尼,等 (2121)
- 云雾山典型草原火烧不同恢复年限土壤化学性质变化..... 李 媛,程积民,魏 琳,等 (2131)
- 根系分区交替灌溉条件下水肥供应对番茄果实硝酸盐含量的影响..... 周振江,牛晓丽,李 瑞,等 (2139)
- 喀斯特山区土地利用对土壤团聚体有机碳和活性有机碳特征的影响..... 李 娟,廖洪凯,龙 健,等 (2147)
- 自生固氮菌活化土壤无机磷研究..... 张 亮,杨宇虹,李 倩,等 (2157)
- 德国鳶尾对 Cd 胁迫的生理生态响应及积累特性 张呈祥,陈为峰 (2165)
- 施污土壤重金属有效态分布及生物有效性..... 铁 梅,宋琳琳,惠秀娟,等 (2173)
- 基于叶面积指数改进的直角双曲线模型在玉米农田生态系统中的应用..... 孙敬松,周广胜 (2182)
- 中稻田三种飞虱的捕食性天敌优势种及农药对天敌的影响..... 林 源,周夏芝,毕守东,等 (2189)

种群、群落和生态系统

- 珠江口超微型浮游植物时空分布及其与环境因子的关系..... 张 霞,黄小平,施 震,等 (2200)
- 输水前后塔里木河下游物种多样性与水因子的关系..... 陈永金,刘加珍,陈亚宁,等 (2212)
- 南海西北部陆架区鱼类的种类组成与群落格局..... 王雪辉,林昭进,杜飞雁,等 (2225)
- 滇西北高原碧塔湖滨沼泽植物群落分布与演替 韩大勇,杨永兴,杨 杨 (2236)
- 石羊河下游白刺灌丛演替过程中群落结构及数量特征..... 靳虎甲,马全林,何明珠,等 (2248)

资源与产业生态

- 土壤深松和补灌对小麦干物质生产及水分利用率的影响..... 郑成岩,于振文,张永丽,等 (2260)

豆科绿肥及施氮量对旱地麦田土壤主要肥力性状的影响..... 张达斌,姚鹏伟,李 婧,等 (2272)

沟壑全覆盖种植方式对旱地玉米生长及水分利用效率的影响..... 李 荣,侯贤清,贾志宽,等 (2282)

城乡与社会生态

北京北护城河河岸带的温湿度调节效应 吴芳芳,张 娜,陈晓燕 (2292)

西安太阳总辐射时空变化特征及对城市发展的响应..... 张宏利,张纳伟锐,刘敏茹,等 (2304)

研究简报

安徽琅琊山大型真菌区系多样性..... 柴新义,许雪峰,汪美英,等 (2314)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿通知 (2320)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-04



封面图说: 金灿灿的小麦熟了——小麦是世界上最早栽培的农作物之一,是一种在世界各地广泛种植的禾本科植物,起源于中东地区。全世界大概有 43 个国家,近 35%—40% 的人口以小麦为主要粮食。小麦是禾谷类作物中抗寒能力较强的越冬作物,具有一定的耐旱和耐盐碱能力。中国的小麦分布于全国各地,主要集中于东北平原、华北平原和长江中下游一带。小麦秋季播种、冬季生长、春季开花、夏季结实。子粒含有丰富的淀粉、较多的蛋白质、少量的脂肪,还有多种矿物质元素和维生素 B,是一种营养丰富、经济价值较高的粮食。

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/stxb201201050026

李娟, 廖洪凯, 龙健, 陈彩云. 喀斯特山区土地利用对土壤团聚体有机碳和活性有机碳特征的影响. 生态学报, 2013, 33(7): 2147-2156.

Li J, Liao H K, Long J, Chen C Y. Effect of land use on the characteristics of organic carbon and labile organic carbon in soil aggregates in Karst mountain areas. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(7): 2147-2156.

喀斯特山区土地利用对土壤团聚体有机碳和 活性有机碳特征的影响

李 娟^{1,2}, 廖洪凯², 龙 健^{2,*}, 陈彩云²

(1. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550001; 2. 贵州师范大学贵州省山地环境重点实验室, 贵阳 550001)

摘要:通过选取喀斯特山区火龙果园、草丛、花椒林、乔木林和灌草丛为研究对象, 对其土壤团聚有机碳和团聚体活性有机碳分布与积累特征进行研究, 结果表明: 各土地利用方式下的团聚体组成均以 >0.5 mm 团聚体为主, 其含量可占团聚体总量的 82.57%—94.79%; 各粒级团聚体中有机碳和活性有机碳的含量均以乔木林最高, 花椒林和火龙果园相对居中, 而以草丛和灌草丛较低, 随土壤团聚体粒径降低, 有机碳和活性有机碳的峰值基本出现在 <0.25 mm 粒级团聚体, 但该粒径对土壤有机碳和活性有机碳的贡献率却不足 6% 和 4%; 土壤有机碳和活性有机碳的累积均受 5—1 mm 团聚体中有机碳和活性有机碳含量增加的影响, 该粒级团聚体对有机碳和活性有机碳的贡献率也分别达 28.70%—49.47% 和 34.13%—47.47%, 可将 5—1 mm 粒级团聚体作为喀斯特山区的土壤有机碳固定的特征团聚体; 土壤团聚体活性有机碳含量与土壤团聚体总有机碳含量呈极显著正相关关系 ($r=0.8768$), 表明团聚体活性有机碳可以作为衡量喀斯特山区土壤团聚体有机碳动态的一个敏感性指标。

关键词:喀斯特山区; 土地利用; 团聚体; 有机碳; 活性有机碳

Effect of land use on the characteristics of organic carbon and labile organic carbon in soil aggregates in Karst mountain areas

LI Juan^{1,2}, LIAO Hongkai², LONG Jian^{2,*}, CHEN Caiyun²

1 Department of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China

2 Guizhou Key Laboratory of Mountain Environment, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China

Abstract: Soil organic carbon is a dynamic medium of carbon transfer and is a main pathway for the circulation of carbon through soils in Karst systems. Karst systems are typically ecologically fragile areas with limited environmental capacity and resistivity. In addition, the implementation of a state policy encouraging the return of farmland to woodland (grass) and labor output in recent years has led to considerable change in land use patterns over a short period in these areas, which is bound to have far-reaching impacts on the spatial distribution pattern of soil organic carbon. Extensive previous research has investigated the response characteristics of soil organic carbon under different land use patterns. However in general, most of these studies have only investigated the total soil organic carbon in whole soils, and have rarely studied the organic carbon and labile organic carbon in soil aggregates. Organic carbon and labile organic carbon in aggregates are largely isolated from microbial activity because of the physical protection of the aggregates, and this may have a major impact on their function as soil carbon sinks. Therefore, the purpose of this study was to explore the distribution and accumulation characteristics of organic carbon and labile organic carbon in aggregates through survey, sampling, and analysis of soils in selected Karst

基金项目:国家自然科学基金项目(40971160); 贵州省优秀青年科技人才培养对象专项资金项目(黔科合人字[2009]21号); 贵州省高层次人才科研经费项目(TZJF-2008-40号); 贵州省科学技术基金项目(黔科合J字[2011]2046号); 贵州省研究生教育教学改革研究课题

收稿日期: 2012-01-05; 修订日期: 2013-02-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: longjian22@163.com

mountain areas in China.

The experiment was conducted in a small watershed in Huajiang Karst areas in southwestern Guizhou ($25^{\circ} 38.988' - 25^{\circ} 41.322' \text{N}$ latitude and $105^{\circ} 38.031' - 106^{\circ} 40.505' \text{E}$ longitude). Samples of topsoils (0—15 cm) were collected from five kinds of typical land use patterns (Pitaya orchard, grassland, Chinese prickly ash orchard, forest and shrub-grassland). Soil aggregates were separated by dry sieving. Aggregate composition was dominated by particles $> 0.5 \text{ mm}$ which accounted for 82.57% to 94.79% of the whole soil under the different land use patterns. In all size classes of aggregate particles, forest had the highest values of organic carbon and labile organic carbon, followed by Chinese prickly ash orchard, while grassland and shrub-grassland were relatively lower. With decreasing aggregate particle size, the peak of organic carbon and labile organic carbon basically appeared in particles $< 0.25 \text{ mm}$ in size. However, these aggregate particles contributed less than 6% and 4%, respectively, to the contents of soil organic carbon and soil labile organic carbon. The accumulation of soil organic carbon and soil labile organic carbon were influenced by increasing aggregate size, with 5—1 mm aggregates contributing 28.70%—49.47% and 34.13%—47.47% of the organic carbon and labile organic carbon contents, respectively. Therefore, it can be assumed that particles of aggregate size 5—1 mm hold the majority of soil carbon fixed in Karst mountain areas. In addition, the labile organic carbon content and total organic carbon content in soil aggregates were highly significantly positively correlated ($r=0.8768$), which suggests that labile organic carbon may be a sensitive index for measuring the dynamics of organic carbon in soil aggregates in Karst mountain areas. Our results will help to reveal the regional soil organic carbon sequestration in Karst mountain areas in China.

Key Words: Karst mountain areas; land use; aggregates; organic carbon; labile organic carbon

土壤有机碳是岩溶系统中碳转移的动力学媒介,是岩溶系统中碳流通的主要途径,常被用来选作土壤质量评价的指标,用来综合反映土壤的生产、环境和健康功能^[1-2]。土壤活性有机碳是指在一定时空下受植物、微生物影响强烈、具有一定溶解性,且在土壤中移动较快、不稳定、易氧化、易分解、易矿化,其形态和空间位置对植物和微生物有较高活性的那部分土壤碳素^[3]。虽然它占土壤有机碳比例较小,但由于它直接参与土壤生物化学转化过程,并可在土壤全碳变化之前反映土壤有机碳微小变化^[4-5]。因而,它对于维持土壤肥力及土壤碳贮量变化方面具有重要现实意义。目前,许多研究者以土地利用方式为切入点,对喀斯特地区土壤有机碳和活性有机碳进行研究,表明不同土地利用方式对土壤有机碳和活性有机碳产生了明显的影响^[6-7]。然而,这些研究大多只关注全土,相对忽视了团聚体对土壤有机碳特别是对活性有机碳分布的影响。

团聚体是土壤结构的基本单元,也是微生物活动的主要场所,土壤物质和能量的循环也主要发生在团聚体内,而且团聚体的形成作用也被认为是土壤碳固定的最重要机制^[8-9]。毛艳玲等^[10]对红壤地区土壤团聚体有机碳含量与贮量进行研究,认为 $> 2 \text{ mm}$ 和 $0.5 - 2 \text{ mm}$ 粒级团聚体对土壤总有机碳含量的增加贡献最为突出。谭文峰等^[11]研究了江汉平原不同利用方式下土壤团聚体有机碳的分布特征,发现土壤有机碳含量的峰值均出现在 $200 - 2000 \mu\text{m}$ 团聚体中。华娟等^[12]对云雾山草原区植被恢复过程中土壤团聚体活性有机碳进行研究,表明 $0.5 - 0.25 \text{ mm}$ 粒级团聚体中有机碳含量最高,微团聚体($< 0.25 \text{ mm}$)中活性有机碳含量最低。喀斯特地区是典型的生态脆弱区,环境容量小,抗干扰能力差,加之近年来劳动力的大量转移,大量耕地被闲置或弃耕,或改种易于管理的花椒等水土保持植被,势必对土壤有机碳和活性有机碳的分布产生重要影响。根据目前的资料,有关喀斯特地区不同土地利用方式下土壤团聚体有机碳和活性有机碳的研究还鲜有报道。其主要的科学问题在于:(1)喀斯特山区土地利用方式对土壤团聚体有机碳和活性有机碳的分布有何影响,不同土地利用方式间有何异同;(2)不同粒级团聚体对土壤有机碳和活性有机碳的累积有何差异,哪些粒级团聚体对土壤有机碳和活性有机碳累积贡献较大。基于此,以贵州省西南部关岭县花江喀斯特小流域为研究区域,探讨不同土地利用方式对土壤团聚体有机碳和活性有机碳的影响特征,旨在研究喀斯特山区土壤固碳特征及碳库的保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区域位于贵州省安顺地区关岭县花江干热河谷小流域内(北纬 25°38.988'—25°41.322', 东经 105°38.031'—106°40.505'),海拔在 500—800 m 间,该地区碳酸岩盐广布,河谷深切,地下水深埋,热量丰沛,降水分布极其不均,5—10 月降水量达全年降水量的 83%,气候垂直变异明显,海拔 850 m 以下为南亚热带干热河谷气候,900 m 以上为中亚热带河谷气候。调查区域内成土母岩以白云质灰岩、泥质灰岩为主,土壤类型多以黑色石灰土和棕黄色石灰土为主。植被乔-灌-草层次明显,乔木林主要生长有香椿(*Toona sinensis*)、圆果化香(*Platycarya longipes*)、核桃(*Juglans regia*)和小叶榕(*Ficus concina*);灌木林中主要以花椒(*Zanthoxylum bungeanum*)为主;草丛以芒草(*Miscanthus sinensis*)、野古草(*Arundinella hirta*)等为主要优势种。根据研究区域植被及土地利用方式特征,本研究选取了火龙果园、草丛、花椒林、乔木林和灌草丛共计 5 种土地利用方式为研究对象,各样地基本信息见表 1。

表 1 喀斯特生态系统不同土地利用方式基本特征

Table 1 Basic characteristics of different land use patterns in Karst ecosystems

土地利用方式 Land use Patterns	全球定位位置 GPS position	海拔/m Altitude	坡向 Aspect	坡度/(°) Slope	坡位 Location	郁闭度/% Canopy closure	群落特征 Community characteristics
火龙果园 Pitaya orchard	25°40'28.07" 105°39'47.46"	626	阳坡	15—20	下部	45	人工种植,纯林;种植年限在 5 a 左右,现已成熟,植株间隔在 1.5 m 左右,根部埋有农家肥等肥料和滴灌设备,地表长有稀疏芒草,有一定人为干扰
草丛 Grassland	25°41'19.91" 105°39'52.58"	631	半阳坡	15—25	下部	80	天然次生;以芒草、野古草和苦蒿为优势种,人为干扰情况很少
花椒林 Chinese prickly ash orchard	25°39'40.74" 105°38'59.18"	674	阳坡	20—25	中部	65	人工种植,纯林;自 1992 年有规模种植,1995 年开始成熟,2000 年进入丰产期,林高 2.5 m 左右,树冠直径在 4.5 m 左右,地表长有稀疏芒草,有人为干扰
乔木林 Forest	25°39'34.21" 105°39'2.44"	711	阴坡	20—25	中上部	85	天然;林高在 5 m 以上,胸径 10—60 cm,主要树种为香椿,构树和小叶榕等,人为干扰活动很少
灌草丛 Shrub-grassland	25°40'20.03" 105°39'54.98"	617	阳坡	15—20	下部	70	天然次生;灌层高 1.2 m 左右,主要植被为火棘+白栎+鼠棘,草层以芒草为绝对优势种,人为干扰情况很少

1.2 样品采集与处理

2010 年 12 月下旬在每种土地利用方式中设置 3 个重复样地,每个样地按“S”形选取 5—7 个样点,采样时,先将土体表面枯枝落叶除掉,取样深度在 0—20 cm 间,混合制成一个土壤样品。土样带回实验室后,将土壤剥成直径为 1 cm 左右的小土块,挑除可见的小石砾及动植物残体,室内风干,混匀后,一部分(保持原样)进行团聚体分级,另一部分研磨过 100 目尼龙筛,备用。

1.3 测定方法

土壤团聚体分级采用干筛法^[13],具体方法如下:把孔径分别为 5、2、1、0.5 mm 和 0.25 mm 的 5 个系列土筛由上至下套合,放置在一无孔的底盘上,称一定量的风干土于最上面的土筛中,加盖后用人工手筛方法把风干土壤分为 6 个粒组,即>5 mm、5—2 mm、2—1 mm、1—0.5 mm、0.5—0.25 mm 和<0.25 mm。经筛分的各类团聚体分别称量计重,研磨过 100 目尼龙筛,用于土壤有机碳和活性有机碳的测定。

土壤有机碳测定采用重铬酸钾—外加热法进行测定。土壤活性有机碳的测定采用高锰酸钾氧化法测定,具体步骤如下:称取约含 15 mg 碳的土壤样品于 100 mL 的离心管中,加入 333 mmol/L 高锰酸钾溶液 25 mL,振荡 1 h,然后以 4000 r/min 离心 5 min,取上清液用去离子水按 1:250 稀释,将稀释液在 565 nm 波长处进行

比色,根据高锰酸钾的消耗量,可计算出土壤活性有机碳含量^[3,14]。

1.4 结果计算与统计分析

各级团聚体的质量百分含量=该级团聚体质量/土壤样品总质量×100%

团聚体对土壤养分的贡献率=(该级团聚体中养分含量×该级团聚体的含量(%))/全土中养分含量×100%

式中,团聚体中养分含量为团聚体中有机碳或活性有机碳含量。

试验数据应用 Excel 2003 和 DPS 6.55 软件进行处理,显著性检验用 LSD 法进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式下土壤团聚体组成特征

由表 2 可以看出,不同土地利用方式下团聚体组成差异明显,但各土地利用方式下均以<0.25 mm 团聚体含量为最低,变幅在 1.77%—5.58% 间,0.5—0.25 mm 次之,变幅在 2.72%—11.85% 间。灌草丛和火龙果园以>5 mm 团聚体为主,尤其以灌草丛团聚体含量最高,可达 54.43%,并显著高于其余粒径团聚体($P<0.05$);乔木林以 5—2 mm 和>5 mm 团聚体含量为主;草丛以 1—0.5 mm 团聚体为主,为 25.77%,但与 5—2 mm 和 2—1 mm 团聚体未达显著差异水平($P>0.05$)。在同一粒径下,灌草丛>5 mm 团聚体高出其它土地利用方式 62%—285%,差异显著($P<0.05$);乔木林、火龙果园和花椒林 5—2 mm 团聚体含量较高,变化范围在 29.20%—30.77% 间,以草丛最低;2—1 mm 团聚体含量以草丛最高,花椒林次之,灌草丛最低;1—0.5 mm 以草丛最高,花椒林次之,灌草丛最低;0.5—0.25 mm 团聚体含量以草丛最高,乔木林次之,灌草丛最低;<0.25 mm 团聚体以草丛最高,灌草丛次之,火龙果园最低。

表 2 不同土地利用方式下土壤团聚体组成特征

Table 2 Distribution of soil aggregates under different land use patterns/%

土地利用方式 Land use patterns	团聚体粒径范围 The range of particle sizes of aggregates					
	>5 mm	5—2 mm	2—1 mm	1—0.5 mm	0.5—0.25 mm	<0.25 mm
火龙果园 Pitaya orchard	33.60±2.84bA	30.74±3.40aA	16.63±1.82bB	13.80±2.56bcB	3.44±0.95bC	1.77±0.68bC
草丛 Grassland	14.13±2.05dBC	20.22±1.80bAB	22.45±2.09aA	25.77±3.14aA	11.85±1.70aCD	5.58±1.60aD
花椒林 Chinese prickly ash orchard	20.82±1.75cdB	29.20±1.56aA	22.15±0.98aB	20.67±1.16abB	4.75±0.61bC	2.42±0.31bC
乔木林 Forest	27.41±4.29 bcA	30.77±3.39aA	17.29±1.24bB	15.86±4.00bB	5.99±1.93bC	2.68±0.46abC
灌草丛 Shrub-grassland	54.43±5.70aA	24.58±0.92abB	8.87±1.17cC	6.68±2.18cC	2.72±1.57bC	2.72±1.00abC

不同大写字母表示团聚体粒径之间达显著差异水平($P<0.05$),不同小写字母表示土地利用方式之间差异达显著水平($P<0.05$)

2.2 不同土地利用方式下团聚体有机碳和活性有机碳分布特性

由图 1 可以看出,各土地利用方式下全土有机碳和活性有机碳含量差异明显,其中土壤有机碳含量按乔木林、花椒林、火龙果园、灌草丛和草丛的顺序依次较低,土壤活性有机碳含量按乔木林、火龙果园、花椒林、草丛、灌草丛顺序依次降低;且乔木林土壤有机碳和活性有机碳含量均显著高于后 4 种土地利用方式($P<0.05$),而后 4 种土地利用方式间均未达显著差异水平($P>0.05$)。与全土有机碳相似,各粒径团聚体有机碳含量和活性有机碳含量也表现出乔木林最高,火龙果园和花椒林居中,草丛和灌草丛相对较低的特征,这表明全土有机碳和活性有机碳含量在很大程度上影响各粒径团聚体有机碳及活性有机碳的含量分布。随团聚体粒径的减小,乔木林、火龙果园和灌草丛有机碳在<0.25 mm 团聚体达到峰值;草丛和火龙果园在 1—0.5 mm 团聚体达到最大;随团聚体粒径的降低,团聚体活性有机碳呈明显的“W”型分布,以 2—1 mm 和 0.5—0.25 mm 团聚体含量相对较低,并在<0.25 mm 团聚体含量达到最高(除草丛和花椒林外)。

2.3 土壤总有机碳与团聚体各粒径有机碳的相互关系

图 2 反映了土壤总有机碳与各粒径团聚体在单位土壤中有机碳含量均值的相关关系。随土壤总有机碳含量增加,各粒径团聚体土壤有机碳含量总体呈增加趋势,且土壤总有机碳与团聚体有机碳表现出正相关关系。其中 5—2 mm 粒径团聚体有机碳与总有机碳达极显著正相关($P<0.01$), R^2 值高达 0.9484;2—1 mm 粒径团聚体有机碳与总有机碳呈显著相关($P<0.05$), R^2 值为 0.8193;而>5 mm、1—0.5 mm、0.5—0.25 mm、

<0.25 mm 粒径团聚体有机碳与总有机碳未达显著水平 ($P>0.05$)。

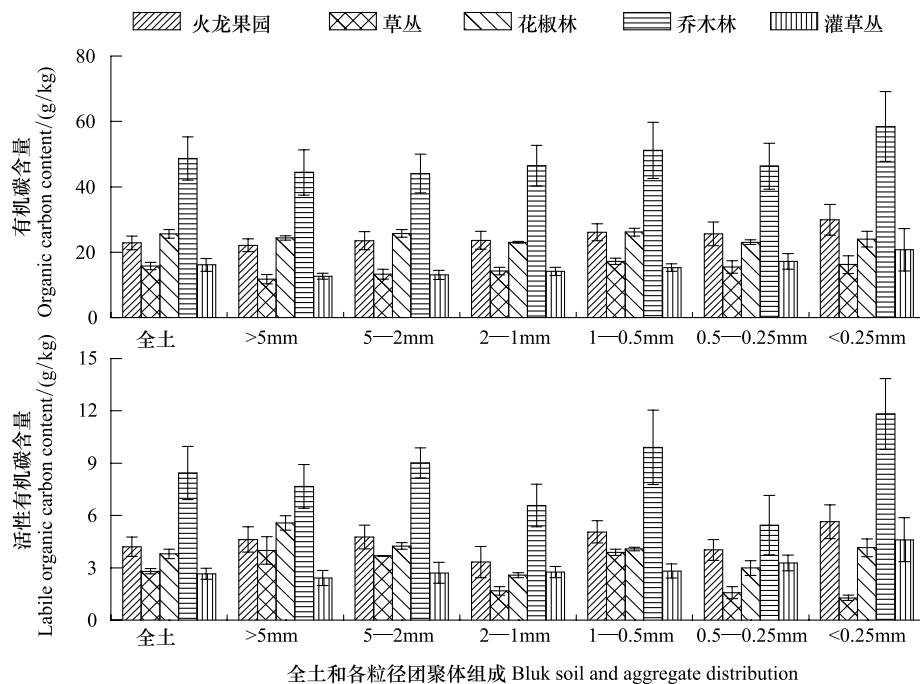


图 1 不同土地利用方式下各粒径团聚体有机碳和活性有机碳含量

Fig. 1 Content of organic carbon and labile organic carbon in each sizes aggregates under different land use patterns

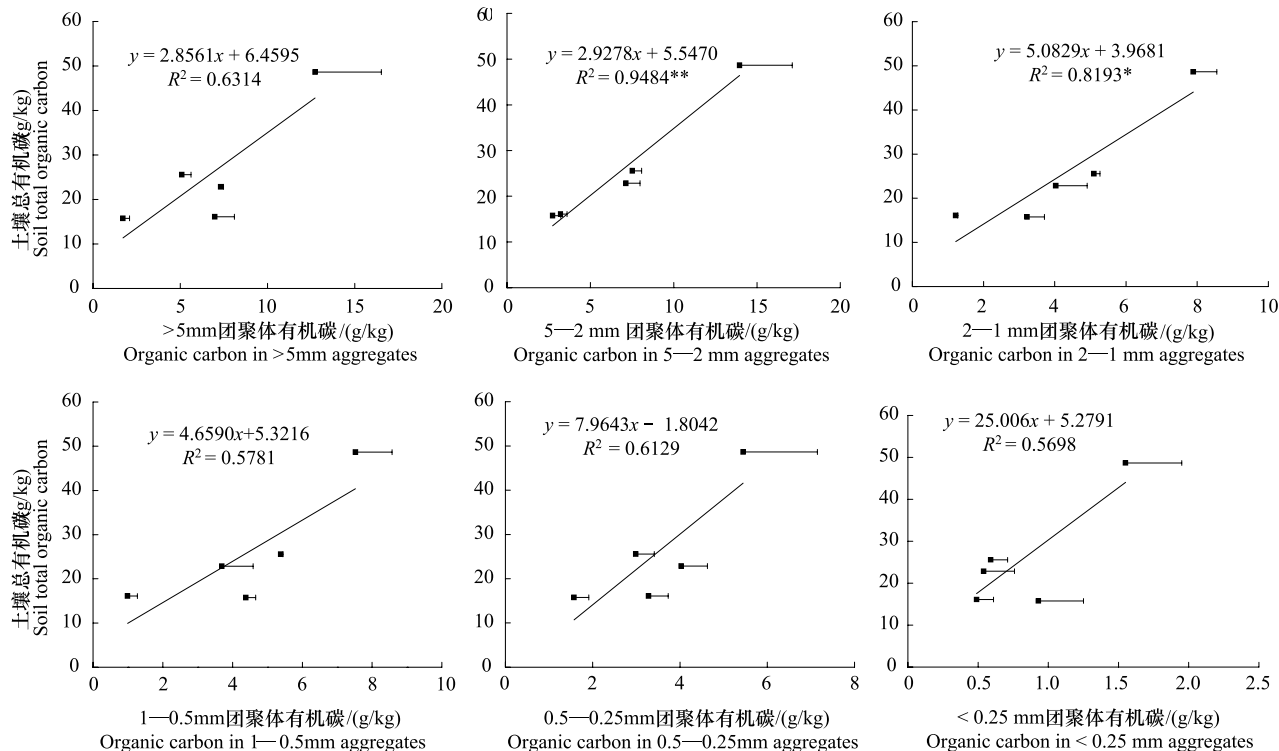


图 2 土壤各粒径团聚体有机碳与总有机碳的相互关系

Fig. 2 Relationship between organic carbon and total soil organic carbon in soil aggregates

2.4 土壤总活性有机碳与团聚体各粒径活性有机碳的相互关系

图 3 显示了土壤总活性有机碳与各粒径团聚体在单位土壤中活性有机碳含量均值的相关关系。随土壤

总活性有机碳含量增加,各粒径团聚体土壤活性有机碳含量总体呈增加趋势,且土壤总活性有机碳与团聚体总活性有机碳表现出一定的正相关关系,其中 5—2 mm 和 2—1 mm 团聚体活性有机碳含量与总活性有机碳含量达极显著正相关($P<0.01$), R^2 值分别可高达 0.9838 和 0.9542; <0.25 mm 团聚体活性有机碳含量与总活性有机碳含量呈显著正相关($P<0.05$), R^2 值为 0.8662;而 >5 mm、1—0.5 mm 和 0.5—0.25 mm 团聚体活性有机碳含量与总活性有机碳含量未达显著水平($P>0.05$)。

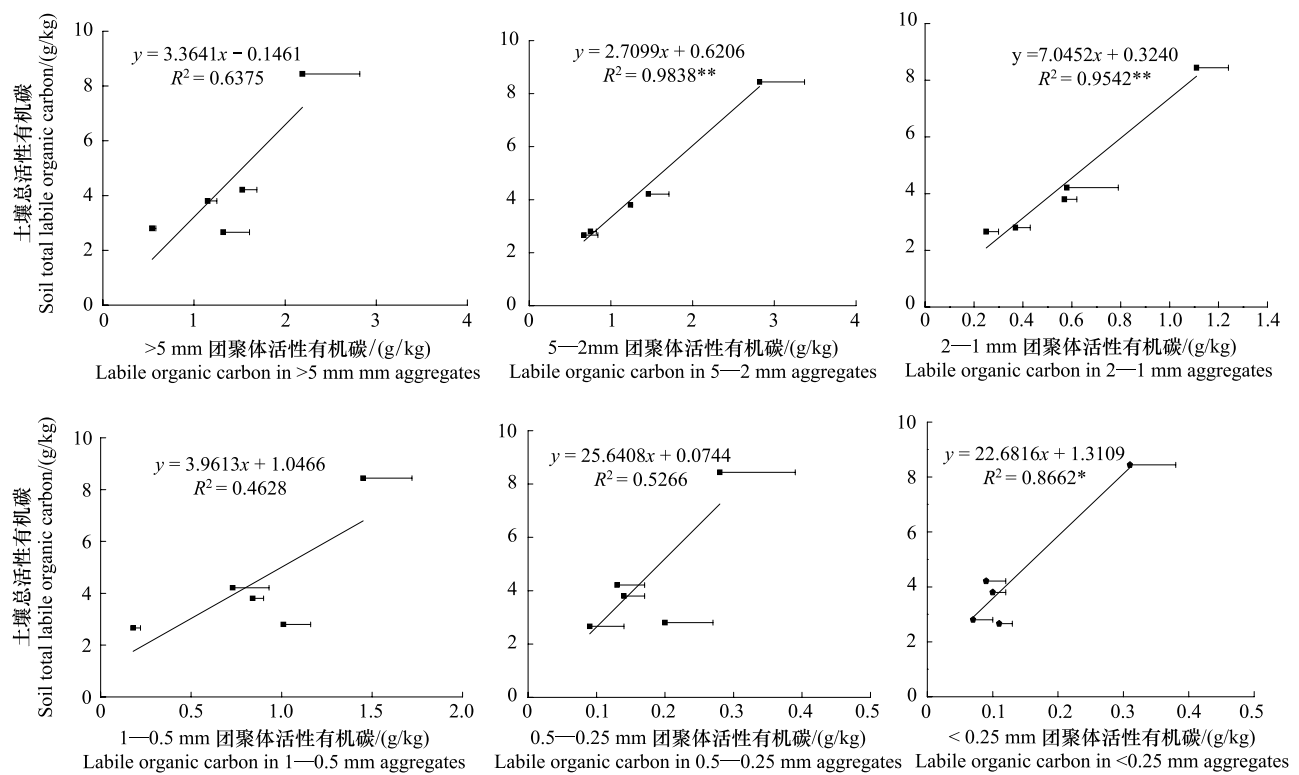


图3 土壤各粒径团聚体活性有机碳与总活性有机碳的相互关系

Fig. 3 Relationship between labile organic carbon and total soil labile organic carbon in soil aggregates

2.5 团聚体对土壤有机碳和活性有机碳的贡献率

由表 3 和表 4 可以看出,不同土地利用方式下各粒级团聚体对土壤有机碳和活性有机碳的贡献率表现出一定差异,其中火龙果园和灌草丛以 >5 mm 团聚体对土壤有机碳和活性有机碳达到最大,花椒林和乔木林以 5—2 mm 达到最大,草丛以 1—0.5 mm 达到最大。不同土地利用方式下,各粒级团聚体对土壤有机碳和活性有机碳的贡献率的最低值基本出现在 <0.25 mm 团聚体,0.5—0.25 mm 次之,并且这两个粒级团聚体对土壤有机碳和活性有机碳的贡献率总和不足 10% (草丛有机碳除外),这表明 >0.5 mm 的大团聚体是土壤有机碳和活性有机碳主要贡献载体。

表 3 土壤各级别团聚体对土壤有机碳含量的贡献率

利用方式 Land use patterns	团聚体粒径范围 The range of particle size of aggregates					
	>5 mm	5—2 mm	2—1 mm	1—0.5 mm	0.5—0.25 mm	<0.25 mm
火龙果园 Pitaya orchard	32.64±3.34ab	31.51±3.56a	17.20±2.23a	15.71±2.83b	3.79±0.95b	2.22±0.80b
草丛 Grassland	10.68±2.08c	17.21±2.62 c	20.56±1.82a	28.31±3.63a	11.56±1.67a	5.73±1.72a
花椒林 Chinese prickly ash orchard	19.79±1.05bc	29.37±1.05ab	20.10±1.72a	21.16±1.31ab	4.34±0.72b	2.33±0.48b
乔木林 Forest	25.17±4.86bc	27.88±3.08ab	16.53±1.24a	16.37±3.69b	5.66±1.77b	3.19±0.66ab
灌草丛 Shrub-grassland	45.96±11.19a	20.97±4.40bc	7.73±0.59b	5.91±0.93c	2.30±0.73b	3.06±0.79ab

不同小写字母表示土地利用方式之间差异达显著水平($P<0.05$)

表 4 土壤各级别团聚体对土壤活性有机碳含量的贡献率

Table 4 Contribution rates of different aggregate fractions to soil labile organic carbon content/%

利用方式 Land use patterns	团聚体粒径范围 The range of particle size of aggregates					
	> 5 mm	5—2 mm	2—1 mm	1—0.5 mm	0.5—0.25 mm	<0.25 mm
火龙果园 Pitaya orchard	36.98±4.17ab	34.89±4.99a	13.06±3.02a	17.10±4.13bc	3.13±0.80a	2.00±0.60a
草丛 Grassland	19.18±0.82c	27.01±3.38a	13.66±2.98a	35.74±3.81a	6.81±2.19a	2.68±0.96a
花椒林 Chinese prickly ash orchard	30.77±3.82bc	32.81±2.04a	15.05±0.29a	22.42±2.23b	3.71±0.47a	2.78±0.66a
乔木林 Forest	24.96±3.46bc	33.46±1.79a	13.52±1.19a	18.64±4.72b	3.37±1.07a	3.79±0.65a
灌草丛 Shrub-grassland	49.46±7.87a	24.41±3.68a	9.72±2.46a	6.98±1.75c	3.35±1.69a	3.90±0.48a

不同小写字母表示土地利用方式之间差异达显著水平 ($P<0.05$)

2.6 团聚体有机碳与团聚体活性有机碳的相互关系

由图 4 可以看出,土壤团聚体活性有机碳含量与团聚体有机碳含量呈极显著正相关($P<0.01$),相关系数达 0.8768,这表明团聚体活性有机碳含量的增加有赖于团聚体有机碳含量的增加。

3 结果与讨论

3.1 不同土地利用方式对团聚体分布的影响

土壤团聚体的形成是一个复杂的物理、化学、生物学及生物化学过程,其详细的机理目前还不完全清楚^[8],但现已明确土地利用方式对土壤团聚体组成具有重要影响。本研究显示,不同土地利用方式下团聚体均以 0.5—0.25 mm 和<0.25 mm 含量最低,这两个粒径之和占团聚体总量不足 10% (草丛除外),表明大团聚体(>0.5 mm)是该区域团聚体存正的主要形式,这与魏亚伟等^[15]对桂西北喀斯特山区的研究结果基本一致。毛艳玲等^[10]通过湿筛分离的方法发现,福建低山丘陵地带林地开垦为农业用地后,>2 mm 大团聚体数量明显下降,<0.25 mm 团聚体含量显著上升,章明奎等^[13]对美国佛罗里达州 St. lucie 地区的研究也表明,林

地开垦为农业用地后,大粒径团聚体向小粒级团聚体转化。而本研究结果中,与乔木林地相比,种植火龙果和花椒并未使大团聚体明显损失,相反,火龙果园较乔木林>2 mm 团聚体含量增加了 10.59%。可见,不同地区由于土壤管理和区域环境等因素的差异,导致团聚体机械组成、内部有机物质和菌丝胶结状况不同^[16],可能是造成林地开垦为农业用地后,大团聚体含量变化差异的重要原因。此外,灌草丛>5 mm 团聚体含量明显高于其它各土地利用方式,并为草丛的 3 倍以上。这可能与植被的种类或结构有关,Tisdall^[17]和 Oades 等^[18]认为大团聚体是由微团聚体形成后在根系和菌丝的缠绕作用下形成,灌-草搭配的植被层次可能更有利用>5 mm 团聚体的形成。

3.2 不同土地利用方式对团聚体有机碳和活性有机碳分布的影响

赵世伟等^[19]对黄土高原土壤团聚体有机碳的研究显示,土壤团聚体有机碳含量随着团聚体粒径的增加而增加。李恋卿等^[20]研究发现,退化红壤地区有机碳在团聚体中呈“V”形分布,<0.002 mm 和>2 mm 团聚体中有机碳含量均较高。不同土地利用方式由于有机物料的输入和输出差异,导致了其土壤物理性状和微生物活性不同,从而对土壤有机碳在各粒径团聚体分布产生影响^[21]。在本研究中,除草丛和花椒林外,乔木林、火龙果园和灌草丛<0.25 mm 团聚体有机碳较其它粒径分别增加了 14.27%—32.64%、14.41%—35.25% 和 20.66%—63.74%。这符合有机碳输入优先向小粒级团聚体积累的层次理论^[22],并与前人在喀斯特地区的研究保持一致^[21]。目前,对喀斯特山区土壤活性有机碳的研究大多关注全土,对团聚体活性有机碳的研究还

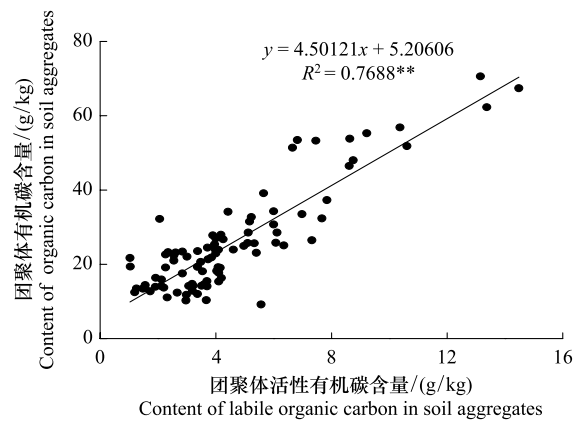


图 4 土壤团聚体有机碳与团聚体活性有机碳的相关关系

Fig.4 Relationship between organic carbon and labile organic carbon in soil aggregates

相对匮乏,由于团聚体内部的活性有机碳受团聚体物理的保护而隔离了微生物活动,其稳定性可能有所提高^[23],加之不同团聚体对土壤碳素的保护能力差异^[24],可能对土壤碳汇功能产生重要影响。本研究结果表明,随团聚体粒径的降低,各土地利用方式下团聚体活性有机碳呈现“W”形分布,以2—1 mm和0.5—0.25 mm团聚体最低,表明该两粒级团聚体对活性有机碳的固定能力相对较弱,活性有机碳易矿化分解或转移至下一粒级中,与土壤有机碳相似,土壤活性有机碳最终以<0.25 mm团聚体达到最高(草丛和花椒林除外)。由此可见,喀斯特山区<0.25 mm团聚体具有一定的碳汇效应,Oades等^[18]认为<0.25 mm团聚体的核心是植物碎屑,含有更多的土壤有机质。Six等^[25]也认为有机碳在微团聚体中能够稳定较长时间而获得累积。然而,由于<0.25 mm团聚体占总团聚体比例十分低下,导致其对土壤有机碳和活性有机碳的贡献率却分别不足6%和4%。

3.3 不同粒级团聚体对有机碳和活性有机碳累积的影响

对团聚体单位土壤有机碳和活性有机碳的研究显示,不同土地利用方式下5—2 mm和2—1 mm团聚体中有机碳与土壤总有机碳的关系较为密切,相关系数分别可达0.9739和0.9052,表明土壤总有机碳的积累主要受到5—2 mm和2—1 mm团聚体中有机碳含量增加的影响;5—2 mm、2—1 mm和<0.25 mm团聚中活性有机碳与土壤总活性有机碳的关系密切,相关系数分别可达0.9919、0.9768和0.9307。由此可见,土壤总活性有机碳含量的增加主要受到5—2 mm、2—1 mm和<0.25 mm团聚体中活性有机碳增加的影响。谭文峰等^[11]研究认为可以将2—20 μm 团聚体作为江汉平原土壤有机碳固定的特征团聚体,孙天聪等^[26]研究表明在黄土高原地区5—2 mm团聚体是土壤养分的主要载体。本研究结果表明,土壤总有机碳和总活性有机碳的累积均依赖于5—1 mm团聚体中有机碳和活性有机碳的增加,且不同土地利用方式下,该粒级团聚体对有机碳和活性有机碳的贡献率分别为28.70%—49.47%和34.13%—47.47%。可见,5—1 mm团聚体是喀斯特山区的土壤有机碳和活性有机碳的获得累积的关键团聚体。另外,土壤团聚体有机碳与土壤团聚体活性有机碳含量的相关系数可达0.8768,二者呈极显著正相关,与大多数研究结果保持一致^[12,27],表明团聚体活性有机碳可以作为判断喀斯特山区团聚体有机碳变化的敏感性指示因子。因此,加强对团聚体活性有机碳的研究,对于进一步了解喀斯特山区土壤碳素转化及其稳定性可能大有裨益。

4 结论

(1)不同土地利用方式下,乔木林全土和各粒径团聚体中有机碳和活性有机碳含量最高,而人工种植的火龙果和花椒林全土和各粒径团聚体中有机碳和活性有机碳含量总体要高于草丛和灌草丛,表明种植火龙果和花椒对土壤有机碳库具有一定的改善作用。因此,在喀斯特山区应加强对林地资源的管理和保护,农业生产过程中可优先考虑种植火龙果和花椒。

(2)不同土地利用方式下,尽管<0.25 mm团聚体中有机碳和活性有机碳表现出较高的含量水平,但该团聚体所占比例很小,对土壤有机碳和活性有机碳贡献率低下,而5—1 mm团聚体表现出利于土壤有机碳和活性有机碳积累、贡献率高的特征,故可将粒径为5—1 mm团聚体作为喀斯特山区土壤有机碳固定的特征团聚体。

(3)土壤团聚体活性有机碳与团聚体有机碳关系密切,表明利用团聚体活性有机碳作为判断喀斯特山区团聚体有机碳变化的敏感性指示因子是可行的。

References:

- [1] Pen G X, Cao J H. Karstification in epikarst zone: the earth surface ecosystem processes taking soil as a medium-case of the Yaji karst experiment site, Guilin. *Carsologica Sinica*, 1999, 18(4): 287-296.
- [2] Wang Q K, Wang S L, Feng Z W, Huang Y. Active soil organic matter and its relationship with soil quality. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 513-519.
- [3] 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.

- [4] Coleman D C, Reid C P P, Cole C V. Biological strategies of nutrient cycling in soil systems. *Advances in Ecological Research*, 1983, 13: 1-55.
- [5] Wander M M, Traina S J, Stinner B R, Peters S E. Organic and conventional management effects on biologically active soil organic matter pools. *Soil Science Society of America Journal*, 1994, 58(4): 1130-1139.
- [6] Duan Z F, Fu W L, Zhen X J, Du F Z, 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.
- [7] Mo B, Cao J H, Xu X M, Shen H G, Yang H, Li X F. Changes of soil active organic carbon under different land use types in karst area. *Ecology and Environment*, 2006, 15(6): 1224-1230.
- [8] Wen Q, Zhao X R, Chen H W, Tuo D B, Lin Q M. Distribution characteristics of microbial biomass carbon in different soil aggregates in semi-arid area. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(10): 1504-1509.
- [9] Liu E K, Zhao B Q, Mei X R, Hwat B S, Li X Y, Li J. Distribution of water-stable aggregates and organic carbon of arable soils affected by different fertilizer application. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(4): 1035-1041.
- [10] Mao Y L, Yang Y S, Xing S H, Chen G S, Cui J C. Effects of land use on soil organic carbon in water-stable aggregates. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(4): 132-137.
- [11] Tan W F, Zhu Z F, Liu F, Hu R G, Shan S J. Organic carbon distribution and storage of soil aggregates under land use change in Jiangnan Plain, Hubei Province. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(6): 973-980.
- [12] Hua J, Zhao S W, Zhang Y, Ma S. Distribution characteristics of labile organic carbon in soil aggregates in different stages of vegetation restoration of grassland in Yunwu Mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 4613-4619.
- [13] Zhang M K, Zheng S A, Wang L P. Chemical Forms and distributions of organic carbon, nitrogen and phosphorus in sandy soil aggregate fractions as affected by land uses. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(8): 1703-1711.
- [14] Wu J G, Zhang X Q, Xu D Y. Changes in soil labile organic carbon under different land use in the Liupan Mountain forest zone. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(5): 657-664.
- [15] Wei Y W, Su Y R, Chen X B, He X Y. Responses of soil properties to ecosystem degradation in Karst region of northwest Guangxi, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(5): 1308-1314.
- [16] Liu M Y, Zheng Z C, Li T X. Distribution characteristics of microbial biomass carbon and nitrogen in soil aggregates under tea plantation. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(15): 3162-3168.
- [17] Tisdall J M. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. *Plant and Soil*, 1994, 159(1): 115-121.
- [18] Oades J M, Waters A G. Aggregate hierarchy in soils. *Australia Journal of Soil Science*, 1991, 29(6): 815-828.
- [19] Zhao S W, Su J, Wu J S, Yang Y H, Liu N N. Changes of soil aggregate organic carbon during process of vegetation restoration in Ziwuling. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(3): 114-117.
- [20] Li L Q, Pan G X, Zhang X H. Changes in organic carbon storage in aggregates of the surface horizon in a degraded Paleudlt upon vegetation recovery. *Chinese Journal of Soil Science*, 2000, 31(5): 193-195.
- [21] Luo Y J, Wei C F, Li Y, Ren Z J, Liao H P. Effects of land use on distribution and protection of organic carbon in soil aggregates in Karst rocky desertification area. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(1): 257-266.
- [22] Hassink J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and Soil*, 1997, 191(1): 77-87.
- [23] Six J, Elliott E T, Paustian K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(14): 2099-2103.
- [24] Li H X, Yuan Y H, Huang Q R, Hu F, Pan G X, Fan H B. Effects of long-term fertilization on labile organic carbon in soil aggregates in red paddy soil. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(2): 259-266.
- [25] Six J, Callewaert P, Lenders S, de Gryze S, Morris S J, Gregorich E G, Paul E A, Paustian K. Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66(6): 1981-1987.
- [26] Sun T C, Li S Q, Shao M A. Effects of long-term fertilization on distribution of organic matters and nitrogen in cinnamon soil aggregates. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(9): 1841-1848.
- [27] Xu M X, Liu G B, Zhao Y G. Assessment indicators of soil quality in hilly Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(10): 1843-1848.

参考文献:

- [1] 潘根兴, 曹建华. 表层带岩溶作用: 以土壤为媒介的地球表层生态系统过程——以桂林峰丛洼地岩溶系统为例. *中国岩溶*, 1999, 18(4): 287-296.

- [2] 王清奎, 汪思龙, 冯宗炜, 黄宇. 土壤活性有机质及其与土壤质量的关系. 生态学报, 2005, 25(3): 513-519.
- [3] 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.
- [6] 段正峰, 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.
- [7] 莫彬, 曹建华, 徐祥明, 申宏岗, 杨慧, 李小方. 岩溶山区不同土地利用方式对土壤活性有机碳动态的影响. 生态环境, 2006, 15(6): 1224-1230.
- [8] 文倩, 赵小蓉, 陈焕伟, 妥德宝, 林启美. 半干旱地区不同土壤团聚体中微生物量碳的分布特征. 中国农业科学, 2004, 37(10): 1504-1509.
- [9] 刘恩科, 赵秉强, 梅旭荣, Hwat B S, 李秀英, 李娟. 不同施肥处理对土壤水稳定性团聚体及有机碳分布的影响. 生态学报, 2010, 30(4): 1035-1041.
- [10] 毛艳玲, 杨玉盛, 邢世和, 陈光水, 崔纪超. 土地利用方式对土壤水稳性团聚体有机碳的影响. 水土保持学报, 2008, 22(4): 132-137.
- [11] 谭文峰, 朱志峰, 刘凡, 胡荣桂, 单世杰. 江汉平原不同土地利用方式下土壤团聚体中有机碳的分布与积累特点. 自然资源学报, 2006, 21(6): 973-980.
- [12] 华娟, 赵世伟, 张杨, 马帅. 云雾山草原区不同植被恢复阶段土壤团聚体活性有机碳分布特征. 生态学报, 2009, 29(9): 4613-4619.
- [13] 章明奎, 郑顺安, 王丽平. 利用方式对砂质土壤有机碳、氮和磷的形态及其在不同大小团聚体中分布的影响. 中国农业科学, 2007, 40(8): 1703-1711.
- [14] 吴建国, 张小全, 徐德应. 六盘山林区几种土地利用方式下土壤活性有机碳的比较. 植物生态学报, 2004, 28(5): 657-664.
- [15] 魏亚伟, 苏以荣, 陈香碧, 何寻阳. 桂西北喀斯特土壤对生态系统退化的响应. 应用生态学报, 2010, 21(5): 1308-1314.
- [16] 刘敏英, 郑子成, 李延轩. 茶园土壤团聚体中微生物量碳、氮的分布特征. 中国农业科学, 2011, 44(15): 3162-3168.
- [19] 赵世伟, 苏静, 吴金水, 杨永辉, 刘娜娜. 子午岭植被恢复过程中土壤团聚体有机碳含量的变化. 水土保持学报, 2006, 20(3): 114-117.
- [20] 李恋卿, 潘根兴, 张旭辉. 退化红壤植被恢复中表层土壤微团聚体及其有机碳的分布变化. 土壤通报, 2000, 31(5): 193-195.
- [21] 罗友进, 魏朝富, 李渝, 任镇江, 廖和平. 土地利用对石漠化地区土壤团聚体有机碳分布及保护的影响. 生态学报, 2011, 31(1): 257-266.
- [24] 李辉信, 袁颖红, 黄欠如, 胡峰, 潘根兴, 樊后保. 长期施肥对红壤性水稻土团聚体活性有机碳的影响. 土壤学报, 2008, 45(2): 259-266.
- [26] 孙天聪, 李世清, 邵明安. 长期施肥对褐土有机碳和氮素在团聚体中分布的影响. 中国农业科学, 2005, 38(9): 1841-1848.
- [27] 许明祥, 刘国彬, 赵允格. 黄土丘陵区土壤质量评价指标研究. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1838-1848.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 7 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research progress on chemical communication of development and host-finding of nematodes ZHANG Bin, HU Chunxiang, SHI Jin, et al (2003)
- Principles, indicators and sampling methods for species monitoring XU Haigen, DING Hui, WU Jun, et al (2013)

Autecology & Fundamentals

- Spatial distribution pattern of human-caused fires in Hulunbeir grassland ZHANG Zhengxiang, ZHANG Hongyan, LI Dongxue, et al (2023)
- Belowground biomass in Tibetan grasslands and its environmental control factors YANG Xiuqing, HUANG Mei, WANG Junbang, et al (2032)
- Analysis on variation characteristics of air temperature and ground temperature in Guilin from 1961 to 2010 CHEN Chao, ZHOU Guangsheng (2043)
- Winter bed-site selection by roe deer (*Capreolus capreolus*) in Huangnihe Nature Reserve ZHU Hongqiang, GE Zhiyong, LIU Geng, et al (2054)
- Leaf anatomical characteristics of the plants of grasslands in the Tibetan Plateau LI Quanfa, WANG Baojuan, AN Lihua, et al (2062)
- A research on summer vegetation characteristics & short-time responses to experimental warming of alpine meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau XU Manhou, XUE Xian (2071)
- Cytological study on microsporogenesis of *Solanum lycopersicum* var. Micro-Tom under high temperature stress PENG Zhen, CHENG Lin, HE Yanjun, et al (2084)
- A new plant height growth process model of *Caragana* forest in semi-arid loess hilly region ZHAO Long, WANG Zhenfeng, GUO Zhongsheng, et al (2093)
- Germination inhibitory substances extracted from the seed of seven species of *Quercus* LI Qingmei, LIU Yan, LIU Guangquan, et al (2104)
- Effects of water stress and fungicide on the growth and drought resistance of *Flaveria bidentis* CHEN Dongqing, HUANGFU Chaohe, LIU Hongmei, et al (2113)
- Characters of soil seed bank in copper tailings and its adjacent habitat ... SHEN Zhangjun, OU Zulan, TIAN Shengni, et al (2121)
- Changes of soil chemical properties after different burning years in typical steppe of Yunwun Mountains LI Yuan, CHENG Jimin, WEI Lin, et al (2131)
- Effects of water and fertilizers on nitrate content in tomato fruits under alternate partial root-zone irrigation ZHOU Zhenjiang, NIU Xiaoli, LI Rui, et al (2139)
- Effect of land use on the characteristics of organic carbon and labile organic carbon in soil aggregates in Karst mountain areas LI Juan, LIAO Hongkai, LONG Jian, et al (2147)
- Mobilization of inorganic phosphorus from soils by five azotobacters ZHANG Liang, YANG Yuhong, LI Qian, et al (2157)
- Physiological-ecological responses of *Iris germanica* L. to Cd stress and its accumulation of Cd ZHANG Chengxiang, CHEN Weifeng (2165)
- The available forms and bioavailability of heavy metals in soil amended with sewage sludge TIE Mei, SONG Linlin, HUI Xiujuan, et al (2173)
- LAI-based photosynthetic light response model and its application in a rainfed maize ecosystem SUN Jingsong, ZHOU Guangsheng (2182)
- The dominant species of predatory natural enemies of three kinds of planthoppers and impact of pesticides on natural enemies in paddy field LIN Yuan, ZHOU Xiazhi, BI Shoudong, et al (2189)

Population, Community and Ecosystem

- Spatial and temporal variation of picophytoplankton in the Pearl River Estuary ZHANG Xia, HUANG Xiaoping, SHI Zhen, et al (2200)

Analysis of the relationship between species diversity and hydrologic factors during an interval of intermittent water delivery at the Lower Reaches of Tarim River, China	CHEN Yongjin, LIU Jiazhen, CHEN Yaning, et al (2212)
Fish species composition and community pattern in the continental shelf of northwestern South China Sea	WANG Xuehui, LIN Zhaojin, DU Feiyan, et al (2225)
Distribution and succession of plant communities in Lake Bita coastal swamp on the plateau region, northwestern Yunnan	HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang (2236)
Analysis on community structure and quantitative characteristics of <i>Nitraria tangutorum</i> nebkhas at different succession stage in lower reaches of Shiyang River	JIN Hujia, MA Quanlin, HE Mingzhu, et al (2248)
Resource and Industrial Ecology	
Effects of subsoiling and supplemental irrigation on dry matter production and water use efficiency in wheat	ZHENG Chengyan, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (2260)
Effects of two years' incorporation of leguminous green manure on soil properties of a wheat field in dryland conditions	ZHANG Dabin, YAO Pengwei, LI Jing, et al (2272)
Effects of planting with ridge and furrow mulching on maize growth, yield and water use efficiency in dryland farming	LI Rong, HOU Xianqing, JIA Zhikuan, et al (2282)
Urban, Rural and Social Ecology	
Effects of riparian buffers of North Mort of Beijing on air temperature and relative humidity	WU Fangfang, ZHANG Na, CHEN Xiaoyan (2292)
Characteristics of spatial and temporal variations of global solar radiation in Xi'an and relevant response in urban development	ZHANG Hongli, ZHANG Naweirui, LIU Minru, et al (2304)
Research Notes	
A analysis of macrofungal flora diversity in Langyashan Nature Reserve, Anhui Province, China	CHAI Xinyi, XU Xuefeng, WANG Meiyang, et al (2314)

《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 陈利顶

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 7 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 7 (April, 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