

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第1期

Vol.35 No.1

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

雾霾重污染期间北京居民对高浓度 PM _{2.5} 持续暴露的健康风险及其损害价值评估	谢元博, 陈娟, 李巍 (1)
长白山 PM _{2.5} 中水溶性离子季节变化特征研究	赵亚南, 王跃思, 温天雪, 戴冠华 (9)
青岛大气颗粒物数浓度变化及对能见度的影响	柯馨姝, 盛立芳, 孔君, 郝泽彤, 屈文军 (15)
重庆市大气二噁英污染水平及季节变化	张晓岭, 卢益, 朱明吉, 蹇川, 郭志顺, 邓力, 孙静, 张芹, 罗财红 (22)
西南地区再生铝冶炼行业二噁英大气排放	卢益, 张晓岭, 郭志顺, 蹇川, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (30)
西南地区新型干法水泥生产中的二噁英大气排放	张晓岭, 卢益, 蹇川, 郭志顺, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (35)
杭州市办公场所室内空气中 PBDEs 的污染现状与特征	蒋欣慰, 孙鑫, 裴小强, 金漫彤, 李云龙, 沈学优 (41)
模拟不同排放源排放颗粒及多环芳烃的粒径分布研究	符海欢, 田娜, 商惠斌, 张彬, 叶素芬, 陈晓秋, 吴水平 (46)
川东北地区元素大气沉降通量及其季节变化	童晓宁, 周厚云, 游镇烽, 汤静, 刘厚均, 黄颖, 贺海波 (53)
重庆市铁山坪 2001 ~ 2010 年酸沉降变化	余德祥, 马萧萧, 谭炳全, 赵大为, 张冬保, 段雷 (60)
汉江上游金水河流域氮湿沉降	王金杰, 张克荣, 吴川, 张全发 (66)
麦秸及其烟尘中正构脂肪酸的组成	刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (73)
兰州市室内大气降尘环境磁学特征及其随高度变化研究	吴铎, 魏海涛, 赵瑞瑞, 张蕊, 刘建宝 (79)
中亚热带针阔混交林土壤-大气界面释汞通量研究	马明, 王定勇, 申源源, 孙荣国, 黄礼昕 (85)
水稻秸秆生物炭对耕地土壤有机碳及其 CO ₂ 释放的影响	柯跃进, 胡学玉, 易卿, 余忠 (93)
黄海和东海海域溶解铋地球化学分布特征	吴晓丹, 宋金明, 吴斌, 李学刚 (100)
浑河上游(清原段)水环境中重金属时空分布及污染评价	马迎群, 时瑶, 秦延文, 郑丙辉, 赵艳民, 张雷 (108)
POCIS 采样技术应用于九龙江流域水环境中雌激素的检测	张利鹏, 王新红, 李永玉, 吴玉玲, 张祖麟 (117)
降雨条件下岩溶地下水微量元素变化特征及其环境意义	陈雪彬, 杨平恒, 蓝家程, 莫雪, 师麟 (123)
锡林河流域地表水水化学主离子特征及控制因素	唐玺雯, 吴锦奎, 薛丽洋, 张明泉, Frauke Barthold, Lutz Breuer, Hans-Georg Frede (131)
子牙河水系河流氮素组成及空间分布特征	赵钰, 单保庆, 张文强, 王超 (143)
水稻种植对中亚热带红壤丘陵区小流域氮磷养分输出的影响	宋立芳, 王毅, 吴金水, 李勇, 李裕元, 孟岑, 李航, 张满意 (150)
黄东海表层沉积物中磷的分布特征	宋国栋, 刘素美, 张国玲 (157)
河流沉积物中有机磷提取剂 (NaOH-EDTA) 提取比例与机制研究	张文强, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (163)
沉积物短期扰动下 BAPP 再生和转化机制	武晓飞, 李大鹏, 汪明 (171)
三峡库区典型农村型消落带沉积物风险评价与重金属来源解析	敖亮, 雷波, 王业春, 周谐, 张晟 (179)
太湖东部不同类型湖区疏浚后沉积物重金属污染及潜在生态风险评价	毛志刚, 谷孝鸿, 陆小明, 曾庆飞, 谷先坤, 李旭光 (186)
滇池沉积物中主要污染物含量时间分异特征研究	王心宇, 周丰, 伊旋, 郭怀成 (194)
浓度层析荧光光谱局部匹配溢油鉴别技术	王春艳, 史晓凤, 李文东, 张金亮 (202)
光电 Fenton 技术处理污泥深度脱水液研究	王现丽, 王世峰, 吴俊峰, 濮文虹, 杨昌柱, 张敬东, 杨家宽 (208)
同步脱氮除磷颗粒污泥硝化反硝化特性试验研究	刘小英, 林慧, 马兆瑞, 王磊, 刘静伟, 郭超, 姜应和 (214)
垃圾填埋场渗滤液短程生物脱氮的长期稳定性实验研究	孙洪伟, 郭英, 彭永臻 (221)
油田区土壤石油烃组分残留特性研究	胡迪, 李川, 董倩倩, 李立明, 李广贺 (227)
水稻光合同化碳在土壤中的矿化和转化动态	谭立敏, 彭佩钦, 李科林, 李宝珍, 聂三安, 葛体达, 童成立, 吴金水 (233)
土地利用及退耕对喀斯特山区土壤活性有机碳的影响	廖洪凯, 李娟, 龙健, 张文娟, 刘云飞 (240)
水稻土团聚体 Cu ²⁺ 吸附过程中铝的溶出及土壤溶液 pH 变化	许海波, 赵道远, 秦超, 李玉姣, 董长勋 (248)
Cr(VI) 对两种黏土矿物在单一及复合溶液中 Cu(II) 吸附的影响	刘娟娟, 梁东丽, 吴小龙, 屈广周, 钱勋 (254)
淹水时长对 3 种丛枝菌根 (AM) 真菌感染 2 种湿地植物的影响	马雷猛, 王鹏腾, 王曙光 (263)
太湖水质与水生生物健康的关联性初探	周笑白, 张宁红, 张咏, 牛志春, 刘雷, 于红霞 (271)
3 种典型污染物对水生生物的急性毒性效应及其水质基准比较	姜东生, 石小荣, 崔益斌, 李梅 (279)
某制药废水对发光细菌急性毒性的评价研究	杜丽娜, 杨帆, 穆玉峰, 余若祯, 左剑恶, 高俊发, 余忻, 滕丽君, 汤薪瑶 (286)
异丙甲草胺与锌共存对斜生栅藻毒性手性差异影响	胡晓娜, 张淑娟, 陈彩东, 刘惠君 (292)
Biotic Ligand Model 的简化模型及预测性能评价	王万宾, 陈莎, 吴敏, 苏德丽, 赵婧 (299)
基于 USEtox 的焦化行业优先污染物筛选排序研究	郝天, 杜鹏飞, 杜斌, 曾思育 (304)
微囊藻毒素降解菌 <i>Paucibacter</i> sp. CH 菌的分离鉴定及其降解特性	游狄杰, 陈晓国, 向荟圯, 欧阳溱, 杨冰 (313)
硝酸盐抑制油田采出水中硫酸盐还原菌活性研究	杨德玉, 张颖, 史荣久, 韩斯琴, 李光哲, 李国桥, 赵劲毅 (319)
降解纤维素产甲烷的四菌复合系	吴俊妹, 马安周, 崔萌萌, 于清, 齐鸿雁, 庄绪亮, 庄国强 (327)
中国陆地生态系统土壤异养呼吸变异的影响因素	谢薇, 陈书涛, 胡正华 (334)
内蒙古羊草草原根呼吸和土壤微生物呼吸区分的研究	史晶晶, 耿元波 (341)
南京河流夏季水-气界面 N ₂ O 排放通量	韩洋, 郑有飞, 吴荣军, 尹继福, 孙霞 (348)
杀菌剂对湖泊水体温室气体浓度分析的影响	肖启涛, 胡正华, James Deng, 肖薇, 刘寿东, 李旭辉 (356)
生物表面活性剂强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性研究	彭海利, 张植平, 李小明, 杨麒, 罗琨, 易欣 (365)
不同硅铝比 Fe-ZSM-5 催化剂对氧化亚氮催化分解性能的研究	卢仁杰, 张新艳, 郝郑平 (371)
硫酸铵和尿素对废物焚烧过程中多种途径生成氯苯类的抑制作用	严密, 祁志福, 李晓东, 胡艳军, 陈彤 (380)
县域尺度的京津冀都市圈 CO ₂ 排放时空演变特征	汪浩, 陈操操, 潘涛, 刘春兰, 陈龙, 孙莉 (385)
保水剂性能及其农用安全性评价研究进展	李希, 刘玉荣, 郑袁明, 贺纪正 (394)

土地利用及退耕对喀斯特山区土壤活性有机碳的影响

廖洪凯¹, 李娟^{1,2}, 龙健^{1*}, 张文娟^{1,2}, 刘灵飞¹

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

摘要: 以西南喀斯特山区几种典型土地利用方式为对象, 研究了土地利用及退耕对全土、团聚体活性有机碳及其恢复能力的影响。结果表明, 随土壤深度的增加, 土壤活性有机碳含量及其离散程度呈下降趋势, 其中 0~10 cm 土壤活性有机碳含量与 10~20 cm 和 20~30 cm 两个剖面层次达极显著 ($P < 0.01$) 差异水平; 活性有机碳含量在 0~10 cm 范围内以 < 0.25 mm 团聚体粒径最高, 然而在 10~20 cm 和 20~30 cm 活性有机碳在各粒径中的分布并不明显; 不同土地利用方式下, 水田中无论全土还是团聚体中活性有机碳均表现出较高水平, 灌丛次之, 而以退耕 3 a 草丛最低。组内-组间主成分分析表明, 土地利用方式与土壤活性有机碳的累积特征表现为水田 > 灌丛 > 退耕 15 a 草丛 $\approx$ 旱地 > 退耕 3 a 草丛, 其中退耕 15 a 草丛在 0~10 cm 深度下较旱地增加了 20.3%, 且达到灌丛土壤活性有机碳的 80%, 表明喀斯特山区土地退耕初期土壤有机碳恢复速度相对缓慢, 而随退耕时间的推移, 土壤碳汇效应逐步显现。

关键词: 喀斯特山区; 土地利用; 退耕; 活性有机碳; 组内-组间主成分分析

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)01-0240-08

Effects of Land Use and Abandonment on Soil Labile Organic Carbon in the Karst Region of Southwest China

LIAO Hong-kai¹, LI Juan^{1,2}, LONG Jian¹, ZHANG Wen-juan^{1,2}, LIU Ling-fei¹

(1. Guizhou Key Laboratory of Mountain Environment, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; 2. Department of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

Abstract: Effects of land use and land abandonment on labile organic carbon (LOC) in whole soils and different aggregate sizes were studied by sampling analysis of the soils in some typical land uses of the Karst region, southwest China. Results showed that the content and degree of dispersion of labile organic carbon decreased with soil depth, and the content of LOC was highly significant ($P < 0.01$) in 0-10 cm than in 10-20 cm and 20-30 cm. In the 0-10 cm soil layer, the content of LOC distribution in different aggregates was higher in the < 0.25 mm size, while no obvious changes of LOC among aggregates were found in the 10-20 cm and 20-30 cm depths. In different land use patterns, the LOC was the highest in paddy whether in whole soils or aggregates, followed by shrub, and the lowest in abandoned 3 years grassland. Within-between principal component analysis showed that the accumulation characters between land use and LOC were in the order of paddy > shrub > abandoned 15 years grassland $\approx$ dry land > abandoned 3 years grassland, the content of LOC increased by 20.3% as compared to dryland, and had reached 80% of the content of shrub in abandoned 15 years grassland at the 0-10 cm depth, indicating that at the early stage of land abandonment, the natural recovery of carbon is relatively slow, while with the abandonment time increase, the carbon sink effect gradually appear.

Key words: Karst mountain area; land use; land abandonment; labile organic carbon (LOC); within-between PCA

土壤碳库储量分别是全球大气碳库(760 Gt)的 3.3 倍及生物碳库(560 Gt)的 4.5 倍, 土壤碳库是陆生碳库的重要组成部分, 保持土壤碳库合理的储量水平, 对于全球的气候变化及粮食安全具有重要战略意义^[1]。岩溶环境背景下, 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重要途径^[2]。然而, 土壤有机碳含量只是一个有机碳矿化平衡的结果, 不能较好地反映土壤质量的变化及转化速率^[3]。土壤活性有机碳是指在一定时空条件下受植物、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、易矿化、易氧化、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^[4]。现阶段, 由于土壤活性有机

碳能够快速地对气候变暖做出反应^[5,6], 以及其在控制陆生系统和大气交换 CO₂ 通量的能力^[7], 已受到越来越多的国内外研究者的关注。研究岩溶背景下土壤活性有机碳对于明确岩溶环境土壤固碳能力及增汇减排有重要意义。

近年来, 随着国家退耕还林(草)政策的顺利实施, 喀斯特局部生态得以有效恢复, 并在一定程度上

收稿日期: 2013-04-12; 修订日期: 2013-05-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(31360121); 贵州省学位与研究生教育教学改革研究项目; 贵州师范大学资助博士研究生项目; 贵州省科技厅-贵州师范大学联合基金项目(黔科合 J 字 LKS[2012]25 号)

作者简介: 廖洪凯(1987~), 男, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为喀斯特土壤生态学, E-mail: liaohongkai66@163.com

* 通讯联系人, E-mail: longjian0022@163.com

抑制了石漠化进程。然而,值得注意的是,土地利用方式在较短时间内的变化,势必将对土壤活性有机碳产生重要影响。就现阶段掌握的资料而言,有关喀斯特地区土地利用变化及退耕的研究仍停留在土壤养分库、土壤质量及其恢复能力^[8~11],而对土壤活性有机碳研究还相对少见。另一方面,包裹于土壤团聚体内的活性有机碳由于受团聚体的物理性保护作用而隔离了微生物活动,可能对碳汇功能产生重要影响^[12]。针对喀斯特地区土壤活性有机碳的研究现状,亟待解答的问题主要包括以下3点:①不同土地利用方式下,哪种土地利用方式更有利于活性有机碳的累积?②不同粒径团聚体中活性有机碳的分布有何规律?③土地退耕后,随着时间的推移,喀斯特活性有机碳有怎样的变化特征?基于此,以贵州普定县陈家寨石漠化治理试验示范区为研究区域,结合数量生态学的研究手段,探讨不同土地利用方式(灌丛、水田、旱地、退耕地)及不同退耕时间(退耕3 a和退耕15 a)下剖面层次(0~10、10~20、20~30 cm)对全土及团聚体活性有机碳的影响,旨在为丰富岩溶系统的固碳理论及合理利用土地资源提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区域位于贵州省安顺地区普定县陈家寨石漠化治理试验示范区(26°20'N, 105°48'E),研究区气候温和,属亚热带高原季风湿润气候,年均温15.1℃,年均相对湿度80%,年均日照时数1 202 h,年均降水量1 378 mm,但降水季节分布不均,约70%以上的降水量均集中在5~9月,常出现涝灾。土壤类型以黄色石灰土为主,岩石主要为三叠系灰岩及白云岩,研究区域为典型岩溶峰丛洼地景观。根据研究区域内的土地利用方式现状及耕作历史情况,选取了较小尺度内的槽谷地带内母岩均为石灰岩的5种典型土地利用类型:①灌丛(SR):天然次生,人为干扰情况很少,主要植被包括有火棘(*Pyracantha fortuneana*)、小果蔷薇(*Rosa cymosa*)、月月青(*Itea ilicifolia*)等,植被盖度达85%以上;②水田(PD):具有长期耕作历史,水旱轮作,春季主要种植有油菜和萝卜等;③旱地(DL):连续耕作历史长达50 a以上,主要种植玉米、红薯及大豆等;④退耕3 a草丛(ACS-3):退耕之前为具有连续耕作历史的旱地,经3 a的自然撂荒,地表植被以五节芒(*Miscanthus floridulus*)为绝对优势种,除较小强度

的人为践踏外,其余人为干扰活动较少;⑤退耕15 a草丛(ACS-15):退耕之前为具有连续耕作历史的旱地,地表除生长五节芒外,还生长有部分灌木植被,除每年少量的草本植被被收割外,其余人为干扰活动很少。

1.2 样地设置及样品采集

于2012年8月下旬,在研究区域各样地中设置3块10 m×10 m的重复样方,土壤按照0~10、10~20和20~30 cm这3个剖面层次进行样品采集。采样时先去除地表植被凋落物,尽量保持土壤原状结构,本研究共采集土壤样品45个。土样带回室内后,室内适当风干后沿土壤自然裂隙掰成10 mm左右的小土块,并仔细挑除土样中可见的土壤动植物残体,于室温下风干备用。

1.3 分析与测定方法

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和0.25 mm的3个系列土筛由上至下套合,放置在一无孔的底盘上,称取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4个粒组,即>5、5~2、2~0.25、<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,供土壤活性有机碳的测定。

土壤活性有机碳的测定采用高锰酸钾氧化法^[14],具体步骤为:称取约含15~30 mg碳的土样,加入333 mmol·L⁻¹的高锰酸钾溶液25 mL,振荡1 h,然后以4 000 r·min⁻¹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,计算出土壤活性有机碳含量。

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%。

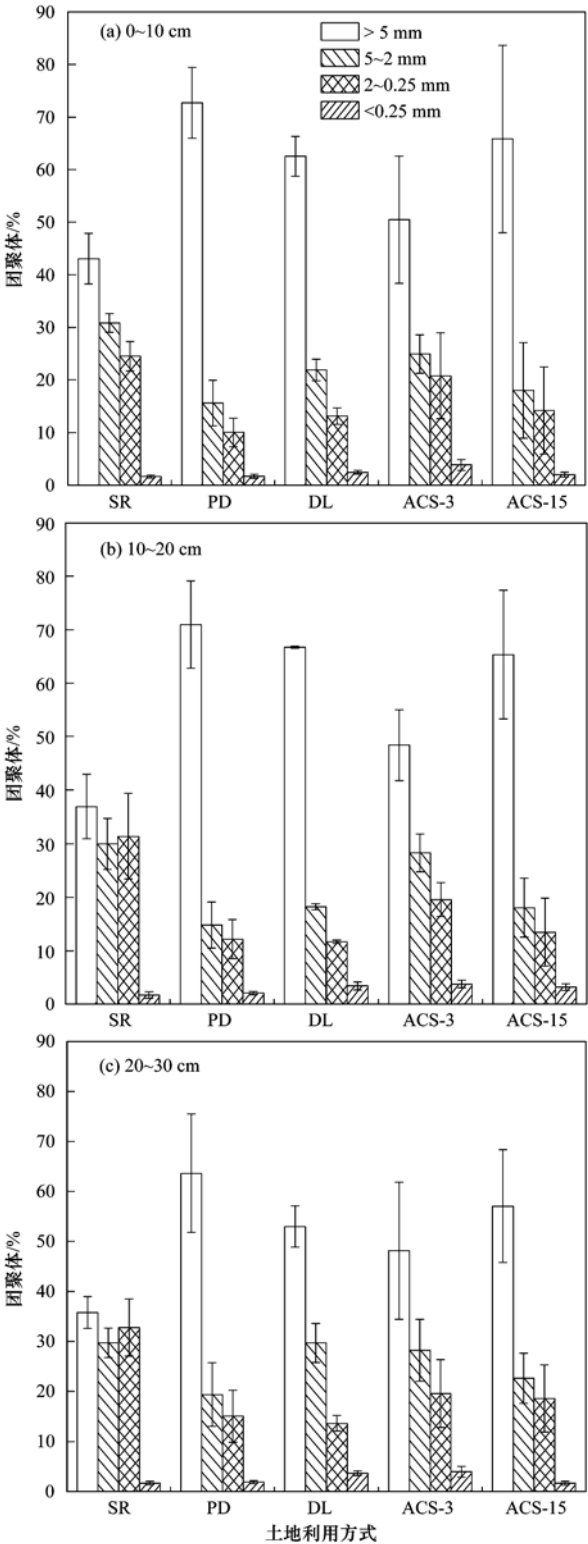
试验数据应用Excel 2003和DPS 6.55软件进行处理,显著性检验用LSD法进行分析,组内-组间主成分分析(within-between classes PCA)利用ADE-4生态学软件^[15]进行分析运算和绘图。

2 结果与分析

2.1 土地利用方式对团聚体组成的影响

不同土壤剖面层次下,随团聚体粒级的降低,土壤团聚体含量占全土比例均呈明显的降低趋势(图1)。各土地利用方式下土壤团聚体组成比例均以>5 mm粒级最高,变幅范围在35.8%~72.7%之间,

而 $<0.25\text{ mm}$ 团聚体比例十分低下,不足 5%。同一粒级水平下, $>5\text{ mm}$ 粒级团聚体比例在 3 个剖面层



SR. 灌丛, PD. 水田, DL. 旱地, ACS-3. 退耕 3 a 草丛, ACS-15. 退耕 15 a 草丛, 误差线表示均值 $\pm$ 标准误差, 下同

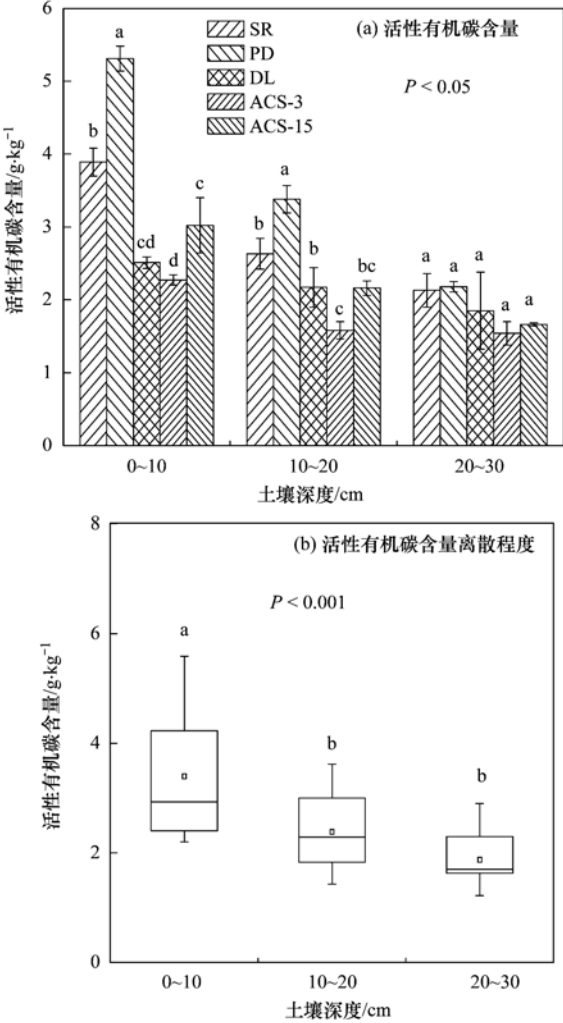
图 1 不同土地利用方式土壤团聚体分布示意

Fig. 1 Distribution of soil aggregates in different soil layers under different land use patterns

次下均以水田最高,变幅范围在 63.7% ~ 72.7% 之间,同时,退耕 15 a 草丛较退耕 3 a 草丛 $>5\text{ mm}$ 粒级团聚体比例在 0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 下也分别增加了 30.4%、35% 和 18.5%。5 ~ 2 mm 和 2 ~ 0.25 mm 两个粒径团聚体比例均以灌丛较高,均维持在 30% 左右,而该两粒级在水田相对较低。此外, $<0.25\text{ mm}$ 团聚体比例以退耕 3 a 草丛相对较高,但其仅在 3.75% ~ 3.97% 之间变化,反映出大粒径团聚体 ($>0.25\text{ mm}$) 是不同土地利用方式中土壤团聚体的组成主体。

2.2 土地利用方式对全土活性有机碳含量的影响

随土壤剖面深度的增加,各土地利用方式下土壤活性有机碳含量明显减少,且同一剖面层次下各土地利用类型土壤活性有机碳含量存在较大差异 [图 2(a)]。在 0 ~ 10 cm 剖面层次下,水田土壤活



不同小写字母表示差异达显著水平 ($P < 0.05$), 下同

图 2 不同土壤深度下土壤活性有机碳含量及其离散程度

Fig. 2 Soil labile organic carbon content and its degree of dispersion in different soil depths

性有机碳含量较灌丛、旱地、退耕 3 a 草丛、退耕 15 a 草丛分别显著高出了 ($P < 0.05$) 36.5%、112%、114% 和 75.8%。同时,与旱地相比,退耕 15 a 草丛土壤活性有机碳增加了 20.3%,但未达显著差异水平 ($P > 0.05$)。在 10 ~ 20 cm 剖面层次中,土壤活性有机碳含量仍以水田最高,灌丛次之,以退耕 3 a 草丛最低。其中水田土壤活性有机碳较其余几种土地利用方式增幅范围在 28.5% ~ 114% 之间,差异显著 ($P < 0.05$)。在 20 ~ 30 cm 剖面层次下,各土地利用方式下土壤有机碳的变幅范围 1.54 ~ 2.18 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,变幅相对较小,且各土地利用方式下均未达显著差异水平 ($P > 0.05$)。由土壤活性有机碳在不同剖面层次的分布也可以看出[图 2 (b)],随剖面深度的增加,活性有机碳的离散程度呈下降趋势。

2.3 土地利用方式对团聚体活性有机碳含量的影响

不同土地利用方式下,土壤团聚体活性有机碳在 0 ~ 10、10 ~ 20、20 ~ 30 cm 的变幅范围分别在 1.96 ~ 5.49、1.51 ~ 3.45 和 1.38 ~ 2.38 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,并随土壤剖面层次的增加降低明显(图 3)。与全土活性有机碳在各土地利用中的分配相似,在 0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 两个剖面层次下,水田中团聚体活性有机碳含量优势较其余土地利用方式十分明显,灌丛团聚体活性有机碳仅次于水田,且在 0 ~ 10 cm 剖面下,其含量显著高于 ($P < 0.05$) 旱地、退耕 3 a 草丛和退耕 15 a 草丛。然而,在 20 ~ 30 cm 剖面层次下,除水田 < 0.25 mm 团聚体活性有机碳含量显著高于 ($P < 0.05$) 其余土地利用方式外,其余粒径团聚体均未达显著差异水平 ($P > 0.05$)。与旱地相比,退耕 15 a 草丛 > 5、5 ~ 2、2 ~ 0.25 和 < 0.25 mm 粒径团聚体活性有机碳含量 0 ~ 10 cm 分别增加了 10%、16.8%、3.62% 和 19.7%,但未达显著差异水平 ($P > 0.05$)。此外,不同粒径水平下,除 > 5 mm 团聚体活性有机碳在 0 ~ 10 cm 剖面层次下稍高于其余粒径为外,其余剖面层次下团聚体活性有机碳的含量分配规律并不明显。

2.4 土地利用方式对土壤活性有机碳储量的影响

随剖面层次的增加,土壤活性有机碳的储量呈明显减少趋势[图 4(a)]。0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 范围内,活性有机碳储量均以水田较高,灌丛次之,退耕 3 a 草丛最低,差异显著 ($P < 0.05$)。然而,在 20 ~ 30 cm 剖面下,活性有机碳储量以灌丛最高,水田次之,未达显著差异水平 ($P > 0.05$)。与旱地相比,退耕 15 a 草丛活性有机碳储量在 0 ~ 10 cm 增

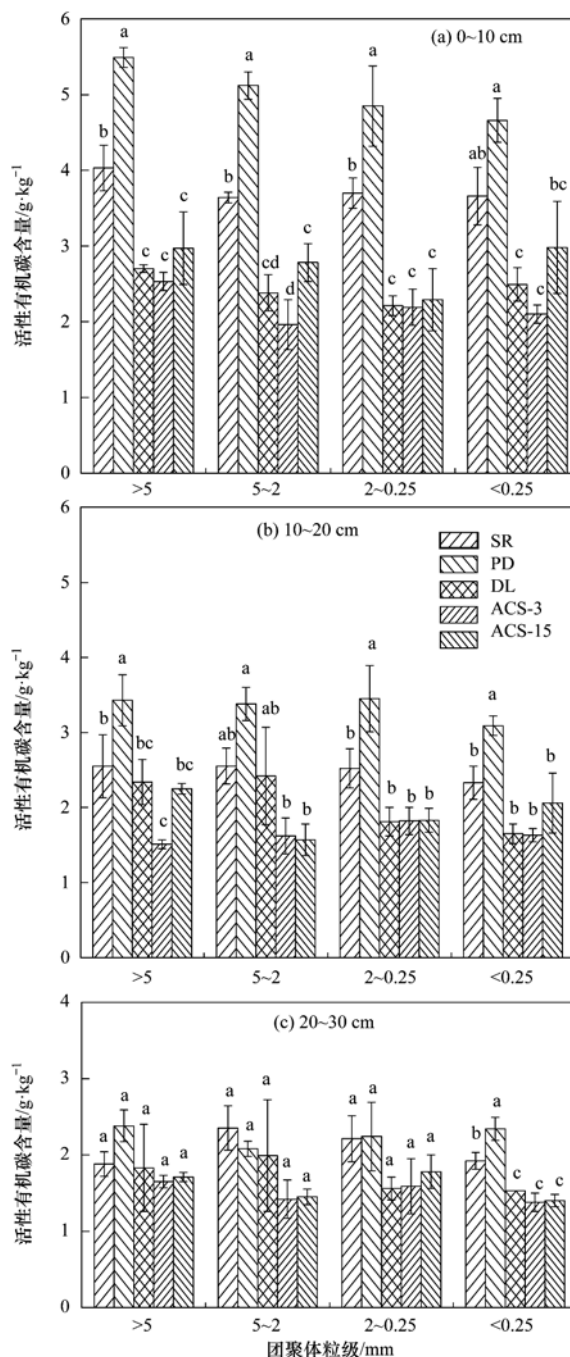


图3 不同土地利用方式土壤团聚体活性有机碳含量分布

Fig. 3 Distribution of soil labile organic carbon in aggregates under different land use patterns

加了 27.4%,而退耕 3 a 草丛在各剖面层次下均有一定程度的降低。总体上,0 ~ 30 cm 剖面范围内,不同土地利用方式下土壤活性有机碳储量表现为:水田 ($13.3 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 灌丛 ($13.2 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 退耕 15 a 草丛 ($10.2 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 旱地 ($9.05 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 退耕 3 a 草丛 ($8.08 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。另外,由活性有机碳储量在不同剖面分布可以看出[图 4(b)],随剖面深度的增加,土壤活性有机碳储量在离散程度

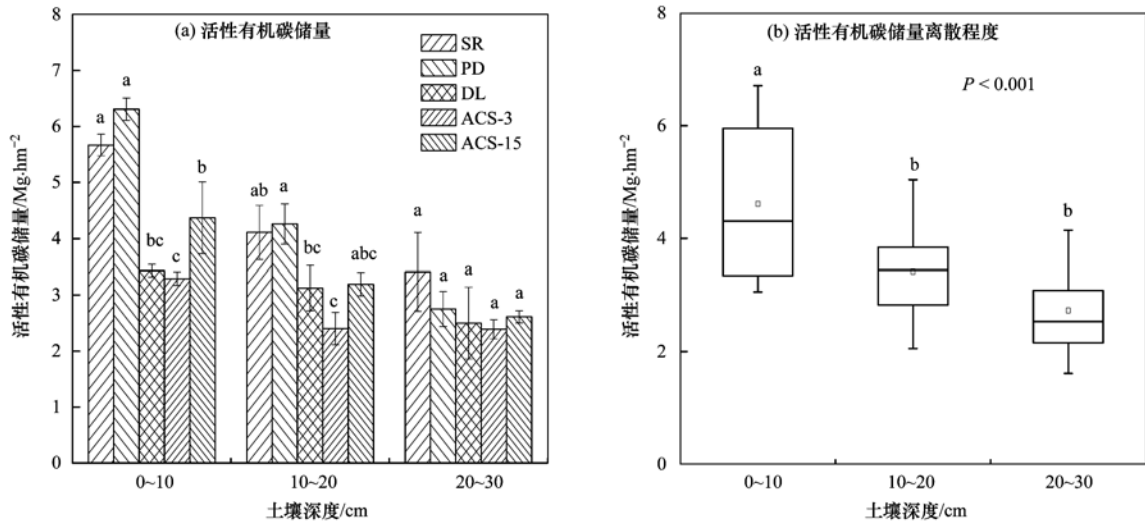


图4 不同土壤深度下土壤活性有机碳储量及其离散程度

Fig. 4 Soil labile organic carbon pool and its degree of dispersion in different soil depths

呈现降低的趋势。

2.5 不同土地利用方式下多变量排序分析

采用组内-组间主成分分析的手段,不仅能反映各环境变量间的相互关系,而且可将不同土地利用方式或剖面层次与环境变量的相互关系直观体现出来,从而为探明喀斯特山区土地利用方式或剖面层次与土壤环境变量的相互关系提供参考。

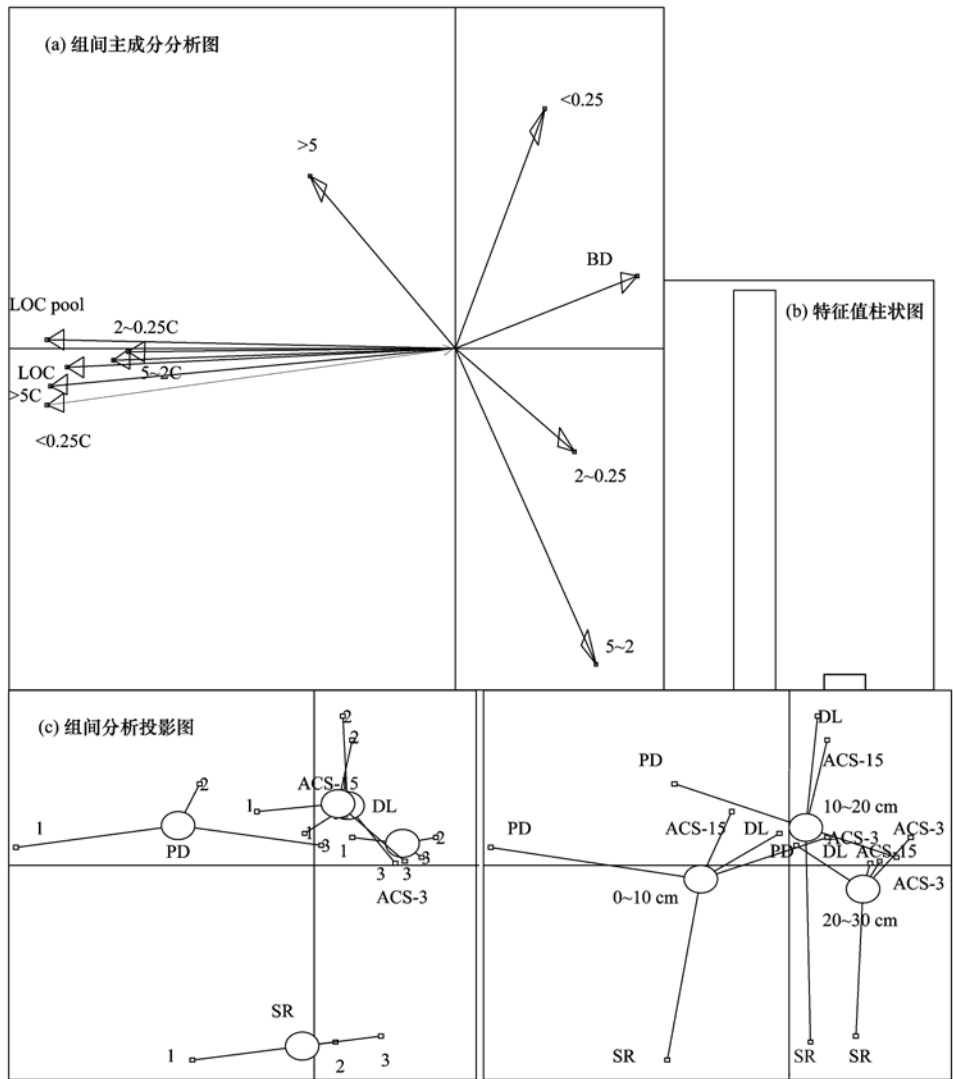
组间主成分分析第一排序轴和第二排序轴分别解释了 96.1% 和 3.90% 的信息量 [图 5(a) 和 5(b)], 其中,第一轴与全土及团聚体活性有机碳含量相关,而第二排序轴主要与土壤团聚体组成相关。沿第一排序轴负方向,反映出土壤活性有机碳是一个逐渐改善的过程。由组间主成分的变量按土地利用方式投影图可见 [图 5(c)], 水田与土壤活性有机碳含量的相关性最为明显,而退耕 15 a 草丛和旱地十分接近,几乎重叠,并且投影结果也将灌丛和其余几种土地利用方式明显区分开来。同样,将代表组间主成分按土壤剖面层次分布进行投影,发现 0~10 cm 与土壤活性有机碳的关系最为密切,10~20 cm 次之,而 20~30 cm 的相关性最弱 [图 5(c)]。

组内主成分分析第一排序轴和第二排序轴分别解释了 55.4% 和 32.1% 的信息量 [图 6(a) 和 6(b)], 第一轴主要与团聚体活性有机碳及全土团聚体活性有机碳相关,沿第一轴的正方向反映了土壤活性有机碳的改善过程。去除了土壤剖面 and 土地利用方式作用后 [图 6(c)], 发现各样点围绕排序轴原点具有很强的离散性特征,将组内主成分分析按土地利用方式投影后,仍然发现水田与土壤活性

有机碳含量的相关性最为明显,而退耕 15 a 草丛和旱地投影位置十分接近,并有进一步向第一排序轴正方向移动的趋势。同时,投影结果也将灌丛和其余几种土地利用方式明显区分开来 [图 6(c)]。

3 讨论

已有研究表明,水田由于长期处于湿润的环境,减少了土壤有机碳的矿化分解,加之充足的有机物输入,从而更有利于土壤活性有机碳的累积^[16]。周萍等^[17]通过长期试验表明水田中土壤有机碳的累积主要通过有机碳与氧化铁相结合的化学保护作用完成。Song 等^[18]研究表明,与其它区域相比,在我国东部与水稻为主的耕作区域表现出更高的表层有机碳含量和更低的有机碳损失量。本研究中,与自然背景下的灌丛群落相比较,水田全土活性有机碳含量在表层(0~10 cm)和亚表层(10~20 cm)分别增加了 36.5% 和 28.5%,并且在 0~30 cm 下内活性有机碳的储量也表现较高的水平。证实了水田有利于活性有机碳累积的结论,反映出在我国西南喀斯特山区种植水稻对于增加岩溶地质碳汇有一定现实意义。与旱地相比,退耕 3 a 草丛在各剖面层次内活性有机碳含量反而有所降低,这可能是因为土地退耕初期,地上部分的植物和微生物群落进行重新分配,消耗了半分解状态的有机质等活性成分来补充生物重建所必要的能量,加之退耕初期极少地表生物量的释归,进一步加速了对原有土壤中活性有机碳组分的消耗。本研究也与大多数研究者的结果相一致^[19~21]。随着退耕时间的推移,经 15 a 退耕的



图(a)中 $>5C$ 、 $5 \sim 2C$ 、 $2 \sim 0.25C$ 和 $<0.25C$ 分别代表活性有机碳在 >5 、 $5 \sim 2$ 、 $2 \sim 0.25$ 和 <0.25 mm 团聚体中的分布，BD 代表土壤容重；图(c)中数字 1、2、3 分别代表 0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm，下同

图 5 土壤变量的组间主成分分析排序图

Fig. 5 Between-class principal component analysis of soil variables

草丛在 0 ~ 10 cm 剖面下活性有机碳含量较旱地增加了 20.3%，并且接近灌丛的表层土壤的 80%。而 10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 两个剖面层次仍然较旱地低，这表明喀斯特山区土地退耕后土壤活性有机碳恢复优先发生在表层土壤。许明祥等^[22]对黄土丘陵区退耕还林（草）区的研究也显示表层土壤是退耕后土壤有机碳累积效果最为明显和敏感的层次。

团聚体是土壤结构的基本单元，并且团聚体的形成作用被认为是土壤碳固定的重要机制^[23]。本研究中，土地利用方式改变全土活性有机碳含量的同时，也对活性有机碳在团聚体中的分配产生了重要影响。Yang 等^[24]研究认为大团聚体中的有机碳含量较高。Jastrow 等^[25]利用¹³C 示踪的手段证实了

大团聚体有机碳具有含量高形成时间早的特征。而章明奎等^[13]发现随团聚体粒径的降低，有机碳含量呈现“V”型分布的特征。本研究中，0 ~ 10 cm 剖面范围内，各土地利用类型活性有机碳含量在 >5 mm 粒径稍高于其余粒级团聚体，但在 10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 剖面下无明显规律。其原因可能是由于处于表层之下的土壤更易受到植被细根的影响，细根分泌的胶结物及细根自身的分解作用，增加了活性有机碳在不同粒径分布的随机性。但这一方面还需进行深入的探究。此外，本研究证实了无论是处于耕作、自然还是退耕状态下的土地利用方式中，团聚体中活性有机碳含量均在很大程度上依赖全土活性有机碳含量的多少。

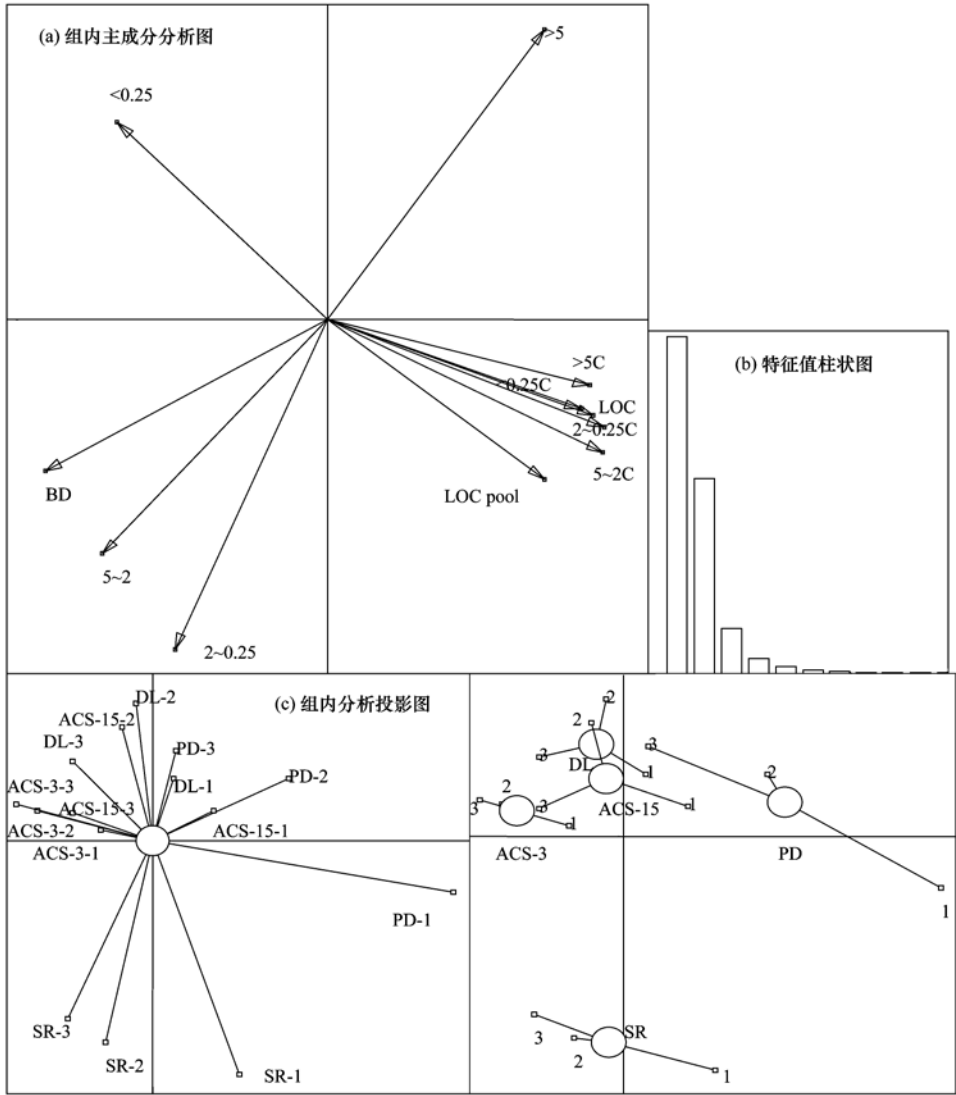


图 6 土壤变量的组内主成分分析排序图

Fig. 6 Within-class principal component analysis of soil variables

本研究结合组内-组间主成分分析的方法,表明喀斯特山区土壤活性有机碳含量具有很强的表聚性特征,且各土地利用之间及其剖面样点的离散性非常强. 由组内-组间主成分的投影平面的位置关系也可看出(图5和图6),退耕3 a的草丛与土壤活性有机碳含量及储量的低于旱地土壤,反映出在退耕初期土壤活性有机碳的自然恢复是一个相对缓慢的过程. 然而,经15 a自然恢复后,表土活性有机碳的含量得以明显恢复,在0~30 cm剖面范围内,经15 a自然恢复的草丛活性有机碳位置与旱地位置基本重叠,且其储量已经水平超过旱地,有进一步累积的趋势. 汪青等^[26]根据土壤碳库(CPMI)的变化曲线,发现需13 a的自然恢复,土壤质量才能达到对照水平. 许明祥等^[22]的研究也表明,以10 a为界,退耕还林(草)的近期土壤碳汇效应并不明显,而10

a后土壤碳汇增汇效应逐渐明显. 魏亚伟等^[27]认为,岩溶山区应该减少人为干扰,实行自然恢复是喀斯特地区退化生态系统恢复重建的有效方式. 为此,本研究认为喀斯特山区应坚定不移地落实和执行退耕还林(草)的政策,以长远的眼光看待喀斯特山区的土壤固碳效应,以此为我国碳汇增汇减排及生态可持续发展提供有力保障.

4 结论

(1)不同土地利用方式对全土及团聚体活性有机碳产生了明显的影响. 几种土地利用方式中,水田无论全土或团聚体中活性有机碳含量均高于灌丛、旱地及退耕地. 组内-组间主成分分析也表明水田对土壤活性有机碳具有良好的累积效应,表明在喀斯特山区种植水稻对岩溶山区的碳汇增汇有一定

积极意义。

(2)喀斯特山区土壤活性有机碳具有很强的表聚性特征,并且随剖面深度的增加,土壤活性有机碳含量和储量下降的同时,其离散程度也呈下降趋势。

(3)与旱地相比,退耕 3 a 草丛全土及各粒径团聚体活性有机碳含量反而有所降低,而退耕 15 a 草丛在表层(0~10 cm)获得良好恢复,且在 0~30 cm 剖面范围内含量水平与旱地接近,表明喀斯特山区土地退耕初期有机碳恢复不明显,而后期碳汇效应逐渐显现。因此在喀斯特山区应注重长期固碳效应,减少人为干扰,坚定不移地执行退耕还林(草)政策。

参考文献:

- [1] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security[J]. *Science*, 2004, **304**(5677): 1623-1627.
- [2] 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[J]. *中国岩溶*, 1999, **18**(4): 287-296.
- [3] 王清奎,汪思龙,冯宗炜,等. 土壤活性有机质及其与土壤质量的关系[J]. *生态学报*, 2005, **25**(3): 513-519.
- [4] 沈宏,曹志洪,胡正义. 土壤活性有机碳的表征及其生态效应[J]. *生态学杂志*, 1999, **18**(3): 32-38.
- [5] Zhang W, Parker K M, Luo Y, *et al.* Soil microbial responses to experimental warming and clipping in a tallgrass prairie[J]. *Global Change Biology*, 2005, **11**(2): 266-277.
- [6] Carrillo Y, Pendall E, Dijkstra F A, *et al.* Response of soil organic matter pools to elevated CO₂ and warming in a semi-arid grassland[J]. *Plant and Soil*, 2011, **347**(1-2): 339-350.
- [7] Xu X, Sherry R A, Niu S L, *et al.* Long-term experimental warming decreased labile soil organic carbon in a tallgrass prairie[J]. *Plant and Soil*, 2012, **361**(1-2): 307-315.
- [8] 龙健,黄昌勇,李娟. 喀斯特山区土地利用方式对土壤质量演变的影响[J]. *水土保持学报*, 2002, **16**(1): 76-79.
- [9] 袁海伟,苏以荣,郑华,等. 喀斯特峰丛洼地不同土地利用类型土壤有机碳和氮素分布特征[J]. *生态学杂志*, 2007, **26**(10): 1579-1584.
- [10] 刘淑娟,张伟,王克林,等. 桂西北喀斯特峰丛洼地表层土壤养分时空分异特征[J]. *生态学报*, 2011, **31**(11): 3036-3043.
- [11] 龙健,邓启琼,江新荣,等. 贵州喀斯特石漠化地区土地利用方式对土壤质量恢复能力的影响[J]. *生态学报*, 2005, **25**(12): 3188-3195.
- [12] 华娟,赵世伟,张扬,等. 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[J]. *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[J]. *中国农业科学*, 2007, **40**(8): 1703-1711.
- [14] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems[J]. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1995, **46**(7): 1459-1466.
- [15] Thioulouse J, Chessel D, Dolédec S, *et al.* ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software[J]. *Statistics and Computing*, 1997, **7**(1): 75-83.
- [16] Liao Q L, Zhang X H, Li Z P, *et al.* Increase in soil organic carbon stock over the last two decades in China's Jiangsu Province[J]. *Global Change Biology*, 2009, **15**(4): 861-875.
- [17] 周萍,宋国茵,潘根兴,等. 南方三种典型水稻土长期试验下有机碳积累机制研究 I. 团聚体物理保护作用[J]. *土壤学报*, 2008, **45**(6): 1063-1071.
- [18] Song G H, Li L Q, Pan G X, *et al.* Topsoil organic carbon storage of China and its loss by cultivation[J]. *Biogeochemistry*, 2005, **74**(1): 47-62.
- [19] Rumpel C, Kögel-Knabner I, Bruhn F. Vertical distribution, age, and chemical composition of organic carbon in two forest soils of different pedogenesis[J]. *Organic Geochemistry*, 2002, **33**(10): 1131-1142.
- [20] Baldock J A, Masiello C A, Gélinais Y, *et al.* Cycling and composition of organic matter in terrestrial and marine ecosystems[J]. *Marine Chemistry*, 2004, **92**(1-4): 39-64.
- [21] Desjardins T, Folgarait P J, Pando-Bahuon A, *et al.* Soil organic matter dynamics along a rice chronosequence in north-eastern Argentina: Evidence from natural ¹³C abundance and particle size fractionation[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, **38**(9): 2753-2761.
- [22] 许明祥,王征,张金,等. 黄土丘陵区土壤有机碳固存对退耕还林草的时空响应[J]. *生态学报*, 2012, **32**(17): 5405-5415.
- [23] 刘恩科,赵秉强,梅旭荣,等. 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[J]. *生态学报*, 2010, **30**(4): 1035-1041.
- [24] Yang Z H, Singh B R, Hansen S. Aggregate associated carbon, nitrogen and sulfur and their ratios in long-term fertilized soils[J]. *Soil & Tillage Research*, 2007, **95**(1-2): 161-171.
- [25] Jastrow J D, Miller R M, Boutton T W. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1996, **60**(3): 801-807.
- [26] 汪青,张平究,孟向东. 不同退耕年限对菜子湖湿地表土有机碳组分与质量的影响[J]. *生态学杂志*, 2012, **31**(8): 2038-2043.
- [27] 魏亚伟,苏以荣,陈香碧,等. 人为干扰对喀斯特土壤团聚体及其有机碳稳定性的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, **22**(4): 971-978.

CONTENTS

An Assessment of PM _{2.5} Related Health Risks and Impaired Values of Beijing Residents in a Consecutive High-Level Exposure During Heavy Haze Days	XIE Yuan-bo, CHEN Juan, LI Wei (1)
Seasonal Variation of Water-Soluble Ions in PM _{2.5} at Changbai Mountain	ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (9)
Variation of Atmospheric Particle Number Concentrations in Qingdao and Its Impact on Visibility	KE Xin-shu, SHENG Li-fang, KONG Jun, <i>et al.</i> (15)
Concentrations of PCDD/Fs in the Atmosphere of Chongqing City and Its Seasonal Variation	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, ZHU Ming-ji, <i>et al.</i> (22)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Secondary Aluminum Metallurgy Industry in the Southwest Area, China	LU Yi, ZHANG Xiao-ling, GUO Zhi-shun, <i>et al.</i> (30)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Modern Dry Processing Cement Kilns with Preheating in the Southwest Area, China	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, JIAN Chuan, <i>et al.</i> (35)
Pollution Status and Characteristics of PBDEs in Indoor Air of Hangzhou	JIANG Xin-wei, SUN Xin, PEI Xiao-qiang, <i>et al.</i> (41)
Size Distribution of Particle and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Particle Emissions from Simulated Emission Sources	FU Hai-huan, TIAN Na, SHANG Hui-bin, <i>et al.</i> (46)
Atmospheric Deposition Fluxes and Seasonal Variations of Elements in Northeast of Sichuan, Central China	TONG Xiao-ning, ZHOU Hou-yun, YOU Chen-feng, <i>et al.</i> (53)
Trend in Acid Deposition at Tieshanping, Chongqing During 2001-2010	YU De-xiang, MA Xiao-xiao, TAN Bing-quan, <i>et al.</i> (60)
Wet Deposition of Atmospheric Nitrogen of the Jinshui Watershed in the Upper Hanjiang River	WANG Jin-jie, ZHANG Ke-rong, WU Chuan, <i>et al.</i> (66)
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanoic Acids in Wheat Straw and Its Smoke	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> (73)
Magnetic Properties of Indoor Dustfall at Different Heights in Lanzhou	WU Duo, WEI Hai-tao, ZHAO Rui-rui, <i>et al.</i> (79)
Mercury Fluxes from Conifer-Broadleaf Forested Field in Central Subtropical Forest Zone	MA Ming, WANG Ding-yong, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> (85)
Impacts of Rice Straw Biochar on Organic Carbon and CO ₂ Release in Arable Soil	KE Yue-jin, HU Xue-yu, YI Qing, <i>et al.</i> (93)
Geochemical Distribution of Dissolved Bismuth in the Yellow Sea and East China Sea	WU Xiao-dan, SONG Jin-ming, WU Bin, <i>et al.</i> (100)
Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in the Upper Reaches of Hunhe River (Qingyuan Section), Northeast China	MA Ying-qun, SHI Yao, QIN Yan-wen, <i>et al.</i> (108)
Determination of Estrogenic Compounds in Water of Jiulong River Using Polar Organic Chemical Integrative Sampler	ZHANG Li-peng, WANG Xin-hong, LI Yong-yu, <i>et al.</i> (117)
Variation Characteristics and Environmental Significant of Trace Elements Under Rainfall Condition in Karst Groundwater	CHEN Xue-bin, YANG Ping-heng, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> (123)
Major Ion Chemistry of Surface Water in the Xilin River Basin and the Possible Controls	TANG Xi-wen, WU Jin-kui, XUE Li-yang, <i>et al.</i> (131)
Forms and Spatial Distribution Characteristics of Nitrogen in Ziya River Basin	ZHAO Yu, SHAN Bao-qing, ZHANG Wen-qiang, <i>et al.</i> (143)
Impact of Rice Agriculture on Nitrogen and Phosphorus Exports in Streams in Hilly Red Soil Earth Region of Central Subtropics	SONG Li-fang, WANG Yi, WU Jin-shui, <i>et al.</i> (150)
Study on Distribution of Phosphorus in Surface Sediments of the Yellow Sea and the East China Sea	SONG Guo-dong, LIU Su-mei, ZHANG Guo-ling (157)
Characterization and Optimization of the NaOH-EDTA Extracts for Solution ³¹ P-NMR Analysis of Organic Phosphorus in River Sediments	ZHANG Wen-qiang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (163)
Regeneration and Transformation of BAPP in Suspended Solids Under Short-term Sediment Disturbance	WU Xiao-fei, LI Da-peng, WANG Ming (171)
Sediment Risk Assessment and Heavy Metal Source Analysis in Typical Country Water Level Fluctuated Zone (WLFZ) of the Three Gorges	AO Liang, LEI Bo, WANG Ye-chun, <i>et al.</i> (179)
Pollution Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments from the Different Eastern Dredging Regions of Lake Taihu	MAO Zhi-gang, GU Xiao-hong, LU Xiao-ming, <i>et al.</i> (186)
Study on the Stages of Major Sediments in Dianchi Lake	WANG Xin-yu, ZHOU Feng, YI Xuan, <i>et al.</i> (194)
Oil Spill Identification Using Partial Surface Fitting Method Based on Concentration-Synchronous-Matrix-Fluorescence Spectra	WANG Chun-yan, SHI Xiao-feng, LI Wen-dong, <i>et al.</i> (202)
Treatment of Sludge Liquor Produced in Deep Dehydration by Photoelectro-Fenton Process	WANG Xian-li, WANG Shi-feng, WU Jun-feng, <i>et al.</i> (208)
Characteristics of Nitrification and Denitrification for Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal by Granular Sludge	LIU Xiao-ying, LIN Hui, MA Zhao-rui, <i>et al.</i> (214)
Study on Long-Term Stability of Biological Nitrogen Removal via Nitrite from Real Landfill Leachate	SUN Hong-wei, GUO Ying, PENG Yong-zhen (221)
Compositions and Residual Properties of Petroleum Hydrocarbon in Contaminated Soil of the Oilfields	HU Di, LI Chuan, DONG Qian-qian, <i>et al.</i> (227)
Dynamics of the Mineralization and Transformation of Rice Photosynthesized Carbon in Paddy Soils - a Batch Incubation Experiment	TAN Li-min, PENG Pei-qin, LI Ke-lin, <i>et al.</i> (233)
Effects of Land Use and Abandonment on Soil Labile Organic Carbon in the Karst Region of Southwest China	LIAO Hong-kai, LI Juan, LONG Jian, <i>et al.</i> (240)
Aluminum Dissolution and Changes of pH in Soil Solution During Sorption of Copper by Aggregates of Paddy Soil	XU Hai-bo, ZHAO Dao-yuan, QIN Chao, <i>et al.</i> (248)
Effect of Cr(VI) Anions on the Cu(II) Adsorption Behavior of Two Kinds of Clay Minerals in Single and Binary Solution	LIU Juan-juan, LIANG Dong-li, WU Xiao-long, <i>et al.</i> (254)
Effect of Flooding Time Length on Mycorrhizal Colonization of Three AM Fungi in Two Wetland Plants	MA Lei-meng, WANG Peng-teng, WANG Shu-guang (263)
Preliminary Study on the Relationship Between the Water Quality and the Aquatic Biological Health Status of Taihu Lake	ZHOU Xiao-bai, ZHANG Ning-hong, ZHANG Yong, <i>et al.</i> (271)
Acute Toxicity of Three Typical Pollutants to Aquatic Organisms and Their Water Quality Criteria	JIANG Dong-sheng, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (279)
Evaluation of the Acute Toxicity of Pharmaceutical Wastewater to Luminescent Bacteria	DU Li-na, YANG Fan, MU Yu-feng, <i>et al.</i> (286)
Influence of the Coexistence of Zn ²⁺ on the Enantioselective Toxicity of Metolachlor to <i>Scenedesmus obliquus</i>	HU Xiao-na, ZHANG Shu-xian, CHEN Cai-dong, <i>et al.</i> (292)
Simplification of Biotic Ligand Model and Evaluation of Predicted Results	WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> (299)
Priority Pollutants Ranking and Screening of Coke Industry based on USEtox Model	HAO Tian, DU Peng-fei, DU Bin, <i>et al.</i> (304)
Isolation, Identification and Characterization of a Microcystin-degrading Bacterium <i>Paucibacter</i> sp. Strain CH	YOU Di-jie, CHEN Xiao-guo, XIANG Hui-yi, <i>et al.</i> (313)
Inhibition of the Activity of Sulfate-reducing Bacteria in Produced Water from Oil Reservoir by Nitrate	YANG De-yu, ZHANG Ying, SHI Rong-jiu, <i>et al.</i> (319)
Bioconversion of Cellulose to Methane by a Consortium Consisting of Four Microbial Strains	WU Jun-mei, MA An-zhou, CUI Meng-meng, <i>et al.</i> (327)
Factors Influencing the Variability in Soil Heterotrophic Respiration from Terrestrial Ecosystem in China	XIE Wei, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua (334)
Study on the Distinguishing of Root Respiration from Soil Microbial Respiration in a <i>Leymus chinensis</i> Steppe in Inner Mongolia, China	SHI Jing-jing, GENG Yuan-bo (341)
Nitrous Oxide Flux at the Water-Air Interface of the Rivers in Nanjing During Summer	HAN Yang, ZHENG You-fei, WU Rong-jun, <i>et al.</i> (348)
Effects of Antiseptic on the Analysis of Greenhouse Gases Concentrations in Lake Water	XIAO Qi-tao, HU Zheng-hua, James Deng, <i>et al.</i> (356)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cell Enhanced by Biosurfactant	PENG Hai-li, ZHANG Zhi-ping, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (365)
Fe-ZSM-5 Catalysts with Different Silica-Alumina Ratios for N ₂ O Catalytic Decomposition	LU Ren-jie, ZHANG Xin-yan, HAO Zheng-ping (371)
Inhibition of Chlorobenzene Formation via Various Routes During Waste Incineration by Ammonium Sulfate and Urea	YAN Mi, QI Zhi-fu, LI Xiao-dong, <i>et al.</i> (380)
County Scale Characteristics of CO ₂ Emission's Spatial-Temporal Evolution in the Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region	WANG Hao, CHEN Cao-cao, PAN Tao, <i>et al.</i> (385)
Characterization and Soil Environmental Safety Assessment of Super Absorbent Polymers in Agricultural Application	LI Xi, LIU Yu-rong, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> (394)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年1月15日 35卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 1 Jan. 15, 2014

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行