

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第10期

Vol.34 No.10

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

南京地区大气气溶胶 PM _{2.5} 中稳定碳同位素组成研究	吴梦龙, 郭照冰, 刘凤玲, 孙德玲, 卢霞, 姜文娟 (3727)
太原市空气颗粒物中正构烷烃分布特征及来源解析	胡冬梅, 彭林, 白慧玲, 牟玲, 韩锋, 刘效峰, 冀豪栋, 张鹏九 (3733)
交通与气象因子对不同粒径大气颗粒物的影响机制研究	罗娜娜, 赵文吉, 晏星, 官兆宁, 熊秋林 (3741)
公交车燃用生物柴油的颗粒物排放特性	楼狄明, 陈峰, 胡志远, 谭丕强, 胡炜 (3749)
兰州及其周边区域大气降水 δ ¹⁸ O 特征及其水汽来源	陈粉丽, 张明军, 马潜, 李小飞, 王圣杰, 李菲 (3755)
天山乌鲁木齐河源 1 号冰川区气溶胶水溶性离子变化特征及来源分析	岳晓英, 李忠勤, 张明军, 周平, 樊晋 (3764)
O ₃ /H ₂ O ₂ 氧化苯乙烯气体性能及机制	何觉聪, 黄倩茹, 叶杞宏, 罗雨薇, 张再利, 樊青娟, 魏在山 (3772)
马尾松针叶组织稳定硫同位素地球化学特征及来源示踪	关晖, 肖化云, 朱仁果, 郑能建, 瞿玲露 (3777)
江西省表层土壤和苔藓硫含量及硫同位素组成对比研究	李男, 肖化云, 陈永忠, 周丹, 罗笠, 吴代敏 (3782)
辽河流域非点源污染空间特征遥感解析	王雪蕾, 蔡明勇, 钟部卿, 姚延娟, 殷守敬, 吴迪 (3788)
景观带尺度高寒区水文特征时空变化规律研究	杨永刚, 胡晋飞, 肖洪浪, 邹松兵, 尹振良 (3797)
金普湾海域表层沉积物中基质结合态磷化氢的分布特征	游丽丽, 宗海波, 张淑芳, 尹国宇, 李涛, 侯立军 (3804)
崇明东滩湿地干湿交替过程脲酶活性变化初探	韩建刚, 曹雪 (3810)
FDA 水解酶分析法表征近海泥滩微生物活性	刘叶, 邹立, 刘陆, 高冬梅 (3818)
中国东北主要河流沉积物中多溴二苯醚的含量状况及生态风险分析	袁海峰, 成杭新, 赵传冬, 刘应汉, 杨柯, 李括, 彭敏, 刘飞 (3825)
深圳大鹏湾海域表层沉积物和生物体中多环芳烃残留及其风险评价	孙闰霞, 柯常亮, 谷阳光, 卢腾腾, 杜飞雁, 马胜伟, 林钦 (3832)
PMF 和 PCA/MLR 法解析上海市高架道路地表径流中多环芳烃的来源	边璐, 李田, 侯娟 (3840)
三峡库区蓄水初期大宁河重金属食物链放大特征研究	余杨, 王雨春, 周怀东, 高博, 赵高峰 (3847)
小型封闭水体环境因子与叶绿素 a 的时空分布及相关性研究	李飞鹏, 张海平, 陈玲 (3854)
太湖氮、磷自净能力的实验与模型模拟	韩涛, 翟淑华, 胡维平, 张红举, 李钦钦 (3862)
湖泊疏浚方式对内源释放影响的模拟研究	陈超, 钟继承, 范成新, 孔明, 余居华 (3872)
水体/底泥生物基城市河道富营养化水体修复试验研究	周慧华, 宋晓光, 吴革, 谢鑫源 (3879)
底泥调控剂对感潮河涌沉积物中重金属的影响	区凤荏, 孙国萍, 许玫英 (3888)
区域水化学条件对淮南采煤沉陷区水域沉积物磷吸附特征的影响研究	易齐涛, 孙鹏飞, 谢凯, 曲喜杰, 王婷婷 (3894)
4 种人工湿地填料的 f2 噬菌体吸附特性	陈迪, 郑祥, 魏源送, 杨勇 (3904)
稻壳灰对抗生素磺胺的吸附特性研究	纪莹雪, 王凤贺, 张帆, 张艳红, 王国祥, 顾中铸 (3912)
紫外辐射对腐殖酸化学稳定性影响机制研究	王文东, 周礼川, 丁真真, 王洪平, 孙学军 (3921)
基于石墨烯载体的铁基材料制备及除砷性能比较	朝木尔乐格, 冯流, 霍艳霞 (3927)
nTiO ₂ 在水中的分散沉降行为研究	陈金媛, 方金凤, 魏秀珍 (3933)
微生物-铁氧化物交互作用对黄土中砷活化迁移的影响	谢芸芸, 陈天虎, 周跃飞, 谢巧勤 (3940)
两性离子在聚偏氟乙烯 (PVDF) 膜表面接枝改性的研究	周桂花, 肖峰, 肖萍, 王东升, 段晋明, 石健, 臧莉 (3945)
化粪池排口处土壤对典型农户生活污水氮素污染物的消减测算研究	周锋, 王文林, 王国祥, 马久远, 万寅婧, 唐晓燕, 梁斌, 季斌 (3954)
珠江三角洲典型集约化猪场废水污染特征及风险评价	李文英, 彭智平, 于俊红, 黄继川, 徐培智, 杨少海 (3963)
污泥堆肥草坪基质利用对草坪生长及土壤和水环境的影响	金树权, 周金波, 陈若霞, 林斌, 王德耀 (3969)
活性污泥絮体粒径分布与分形维数的影响因素	李振亮, 张代钧, 卢培利, 曾善文, 杨永浩 (3975)
不同恢复方式对硝化颗粒污泥活性的影响	郭秀丽, 高大文, 卢健聪 (3981)
生物陶粒反应器的氨自养反硝化研究	陈丹, 王弘宇, 宋敏, 杨开, 刘晨 (3986)
亚高山草甸土壤呼吸的空间异质性研究	严俊霞, 李君剑, 李洪建, 张义辉 (3992)
SiB3 模式对作物区 CO ₂ 通量的模拟研究	张庚军, 卢立新, 蒋玲梅, 蒋磊, Ian Baker (4000)
缙云山土地利用方式对土壤活性有机质及其碳库管理指数的影响	徐鹏, 江长胜, 郝庆菊, 祝滔 (4009)
典型农业城市街道灰尘重金属特征及其环境风险评价: 以许昌市为例	闫慧, 陈杰, 肖军 (4017)
苏州、无锡和南通道路灰尘中的多溴联苯醚和多氯联苯	史双昕, 董亮, 李玲玲, 张辉, 李斯明, 张天野, 黄业茹 (4024)
废旧汽车拆解区土壤中多环芳烃垂向分布特性	吴彦瑜, 胡小英, 洪鸿加, 彭晓春 (4031)
铬污染土壤的稳定化处理及其长期稳定性研究	王旌, 罗启仕, 张长波, 谈亮, 李旭 (4036)
典型磺胺类抗生素在土柱中的淋溶规律研究	李曼, 陈卫平, 魏福祥, 焦文涛 (4042)
3 种金属氧化物纳米材料在不同土壤中迁移行为研究	方婧, 余博阳 (4050)
多孔介质中 NAPLs 流体毛细管指进形态及分形表征	李慧颖, 杜晓明, 杨宾, 伍斌, 徐竹, 史怡, 房吉敦, 李发生 (4058)
毛竹入侵对常绿阔叶林主要树种的化感作用研究	白尚斌, 周国模, 王懿祥, 梁倩倩, 陈娟, 程艳艳, 沈蕊 (4066)
珠江口典型水产养殖区抗生素抗性基因污染的初步研究	梁惜梅, 袁湘平, 施震 (4073)
江苏盐城地区水产品重金属含量与安全评价	刘洋, 付强, 高军, 徐网谷, 殷波, 曹亚乔, 秦卫华 (4081)
铜胁迫对不同基因型谷子幼苗基因组 DNA 多态性的影响	张义贤, 付亚萍, 肖志华, 张喜文, 李萍 (4090)
利用高通量测序对封存 CO ₂ 泄漏情景下土壤细菌的研究	田地, 马欣, 李玉娥, 查良松, 伍洋, 邹晓霞, 刘爽 (4096)
酸性矿山废水区域废矿石中真核生物多样性分析	李思远, 郝春博, 王丽华, 吕铮, 张丽娜, 刘莹, 冯传平 (4105)
十溴联苯醚降解菌的特性及功能蛋白初步分析	常晶晶, 尹华, 秦华明, 叶锦韶, 彭辉, 宋小飞 (4112)
硒对水稻吸收积累和转运锰、铁、磷和硒的影响	胡堂, 黄益宗, 黄艳超, 刘云霞, 梁建宏 (4119)
外源铁对不同番茄品种生理特性、镉积累及化学形态的影响	刘俊, 周坤, 徐卫红, 陈惠, 张明中, 江玲, 杨芸, 王崇力, 熊治庭 (4126)
电子废物排放持久性有毒污染物的控制政策分析	李力, 吕永龙, 王铁宇 (4132)
《环境科学》征稿简则 (3926) 《环境科学》征订启事 (4057) 信息 (3878, 3953, 3999, 4041)	

缙云山土地利用方式对土壤活性有机质及其碳库管理指数的影响

徐鹏¹, 江长胜^{1,2}, 郝庆菊^{1,2*}, 祝滔¹

(1. 西南大学资源环境学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715; 2. 重庆市三峡库区农业面源污染控制工程技术研究中心, 重庆 400716)

摘要: 通过选取缙云山向阳坡同一海拔高度处的亚热带常绿阔叶林(简称林地)、坡耕地、果园和撂荒地,测定分析0~60 cm深度土壤样品有机质及3种活性有机质组分含量,从而揭示了西南地区缙云山不同土地利用方式对土壤有机质、3种活性有机质及其有效率(ER)以及碳库管理指数(CMI)的影响。结果表明,4种土地利用方式下,土壤有机质、活性有机质含量以及ER和CMI均随土壤深度的增加而降低,其中土壤有机质、活性有机质及其CMI的剖面分布趋势相似,林地土壤有机质、活性有机质及其CMI主要富集在0~10 cm土层,果园主要富集在0~20 cm土层,而坡耕地和撂荒地从上而下的降低则比较均匀。在0~60 cm土壤深度内的土壤有机质以及3种活性有机质平均含量均为撂荒地>林地>果园>坡耕地,将林地转变为果园和坡耕地后,有机质含量分别降低了21.56% ($P>0.05$)和55.90% ($P<0.05$),将坡耕地闲置撂荒后,有机质、低、中、高活性有机质含量分别升高了238.86% ($P<0.05$)、144.2% ($P<0.05$)、153.3% ($P<0.05$)和242.7% ($P<0.05$)。方差分析发现3种土壤ER在不同土地利用方式之间并无明显差异,表明土壤ER对土地利用变化并不敏感。不同土地利用方式下3种活性有机质CMI均为撂荒地最高,林地次之,果园和坡耕地最低,表明林地开垦导致土壤碳截存降低,土壤向着质量退化的方向发展,而坡耕地撂荒则增强了土壤的碳汇功能,土壤质量向着良性方向发展。3种活性有机质与全氮、速效磷和速效钾呈极显著正相关关系,与土壤容重呈极显著负相关关系,表明活性有机质与土壤理化性质关系密切,是反映土壤养分和衡量土壤质量的重要指标。

关键词: 土地利用方式; 土壤有机质; 土壤活性有机质; 活性有机质效率; 碳库管理指数(CMI)

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)10-4009-08

Effects of the Different Land Use on Soil Labile Organic Matter and Carbon Management Index in Junyun Mountain

XU Peng¹, JIANG Chang-sheng^{1,2}, HAO Qing-ju^{1,2}, ZHU Tao¹

(1. Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education), College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Chongqing Engineering Research Center for Agricultural Non-point Source Pollution Control in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 400716, China)

Abstract: The impacts of different land use on soil organic matter (SOM), soil labile organic matter (SLOM) and their efficiency ratios (ER), and soil carbon management index (CMI) were studied in this study. Subtropical evergreen broad-leaved forest (abbreviation: forest), sloping farmland, orchard and abandoned land were selected and soils at the depths of 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 and 50-60 cm were sampled in the spring of 2011 to determine the contents of soil organic matter and labile organic matter. The results showed that the contents of soil organic matter and soil labile organic matter both decreased with the increase of soil depth under all four land use types; however, forest and orchard enriched SOM and SLOM contents in the 0-10 cm and 0-20 cm soil layers, respectively, while the contents of SOM and SLOM decreased evenly in sloping farmland and abandoned land. In the whole soil layer (0-60 cm), the order of SOM and SLOM contents was abandoned land > forest > orchard > sloping farmland, indicating that at the conversion from forest into orchard or sloping farmland, SOM was reduced by 21.56% ($P>0.05$) and 55.90% ($P<0.05$), respectively, and at the conversion from sloping farmland into abandoned land, the low SLOM, middle SLOM and high SLOM increased by 144.2% ($P<0.05$), 153.3% ($P<0.05$) and 242.7% ($P<0.05$), respectively. There was no significant difference in low ER, middle ER and high ER among the four land uses as suggested by ANOVA which showed that SRs were not sensible to the change of land use. All three CMIs were in the order of abandoned land > forest > orchard > sloping farmland, revealing that forest reclamation resulted in the reduction of soil organic carbon storage and the decline of soil quality, and the abandonment of sloping farmland would increase soil carbon sink and improve soil quality. Three kinds of SLOM were all positively correlated with soil total nitrogen, available

收稿日期: 2013-01-10; 修订日期: 2013-03-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(41275160, 41005069, 40975095); 中央高校基本科研业务费专项(XDJK2012A005, XDJK2013A009)

作者简介: 徐鹏(1988~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为农田生态系统碳氮循环, E-mail: 836289912@qq.com

* 通讯联系人, E-mail: haoqingju@163.com

phosphorus and available potassium, while negatively correlated with soil density bulk, indicating that SLOM had close relationships with soil physical and chemical characters and could be used as an important index to reflect soil nutrient status and judge soil quality.

Key words: land use type; soil organic matter; soil labile organic matter; efficiency ratio; soil carbon management index (CMI)

土壤有机质是土壤植物生态系统的重要组成部分,是一种长效而稳定的碳源,对土壤物理、化学和生物特征的变化起着关键作用^[1]. 土壤活性有机质指在一定的时空条件下受植物、微生物影响,具有一定溶解性,在土壤中不稳定、易氧化、易分解矿化,有利于植物、微生物利用的那一部分土壤有机质^[2]. 土壤活性有机质可以直接参与土壤生物化学过程,同时也是土壤生物活动的能源和土壤养分的驱动力^[3].

在土壤活性有机质研究中,Logninow 等^[4]将易氧化的有机质分成高活性、中活性和低活性有机质 3 个活性程度不同的组分. 而 Blair 等^[5]提出土壤碳库管理指数(CMI)的概念,是指土壤有机质与对照土壤有机质的比值乘以土壤有机质的活度指数,CMI 是表征土壤管理措施引起土壤有机质变化的指标,能够反映不同利用方式对土壤质量影响的程度. 目前国内有关土壤活性有机质及碳库管理指数的研究主要集中于农田管理措施,包括耕作方式^[6,7]、施肥^[8,9]以及秸秆覆盖^[10,11]等,而关于土地利用变化对土壤有机质及其碳库管理指数的研究还少有报道^[12]. 土地利用的变化不仅直接改变土壤有机质的含量和分布,而且还通过影响土壤有机质的形成和转化因子来改变土壤有机质的含量与分布^[13],因此深入研究不同土地利用类型下土壤活性有机质各组分的动态特征,对调控土壤养分流,维持土壤肥力以及完善碳循环的动态平衡机制具有十分重要的意义. 本研究分析了缙云山不同土地利用方式下土壤有机质、活性有机质组分及其碳库管理指数的变化趋势,以期为深入研究和评价该地区土地利用变化对土壤有机质的影响提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

缙云山位于重庆市北碚区境内,东经 106°22′、北纬 29°45′,总面积 18 km²,地貌属于低山类型,亚热带季风湿润性气候,年平均气温 13.6℃,相对湿度年平均 87%,年均降雨量约为 1 611 mm,年均蒸发量约为 777 mm. 植被类型属于典型的亚热带常绿阔叶林,土壤以酸性黄壤和水稻土为主,并有少量零星分布的紫色土.

1.2 采样和分析方法

2011 年 5 月下旬,在缙云山同一海拔处的坡中向阳地带选取林地、果园、坡耕地和撂荒地 4 种不同土地利用类型进行采样. 其中林地属亚热带常绿阔叶林,主要树种为四川大头茶(*Gordonia acuminata*)、白毛新木姜子(*Neolitea aurata*)和四川杨桐(*Adinandra bockiana*);坡耕地为玉米地;果园为枣树和桔子种植园;撂荒地属弃耕 14 a 的坡耕地,地面植被为生长旺盛的杂草,无灌木和乔木. 每种土地利用类型选择 3 个采样点,挖掘土壤剖面,分别取 0~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60 cm 土层的样品. 采集的土样通过去除其中的植物根系,石块和一些可见的植物残体后,经过混匀风干研磨过 1 mm 和 0.25 mm 筛.

有机质采用 K₂CrO₇ 外加热法测定^[14],低活性、中活性、高活性有机质分别用浓度为 333、167 和 33 mmol·L⁻¹的 KMnO₄ 溶液测定^[14]. 凯氏定氮法测定全氮^[15];硫酸-高氯酸消解法测定全磷^[15];碳酸氢钠法测定速效磷^[15];火焰光度法测定速效钾^[15];pHSJ-4A 型酸度计测定 pH,其土水比为 1:2^[15];环刀法测定土壤容重^[15].

1.3 数据计算

各活性有机质有效率(ER)的计算为:

$$ER = LOM/TOM \quad (1)$$

以撂荒地作为对照土壤,计算不同土地利用方式下土壤 CMI^[9]:

$$L = LOM/NLOM \quad (2)$$

$$LI = L/L_0 \quad (3)$$

$$CPI = TOM/TOM_0 \quad (4)$$

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

式中,TOM 为样本有机质总量;LOM 为样本活性有机质;*L* 为样本的碳库活度;NLOM 为样本非活性有机质;LI 为活度指数;*L*₀ 为对照的碳库活度;TOM₀ 为对照总有机质含量;CPI 为碳库指数.

不同土地利用方式下 0~60 cm 深度内各参数的平均值由此深度上各土层数值的直接平均获得.

1.4 统计分析

用 SPSS 16.0 对不同土地利用类型之间的土壤有机质含量、3 种土壤活性有机质含量、土壤 ER 和 CMI 进行方差分析(ANOVA),当其通过方差齐次性

检验时($P > 0.05$),则进行均值间最小差异显著性(LSD)检验;若其不能通过方差齐次性检验($P < 0.05$),则采用 Tamhane's T2 进行差异显著性检验。

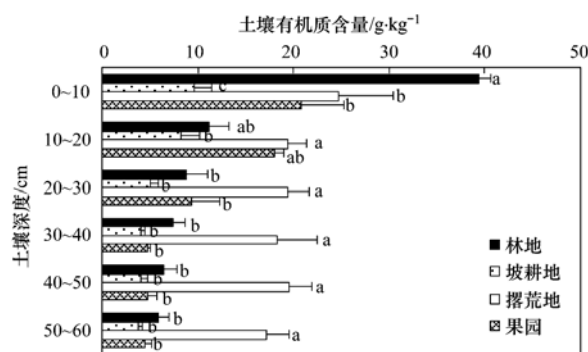
2 结果与讨论

2.1 不同土地利用方式下的土壤有机质含量

4 种不同土地利用类型下土壤有机质含量均随土壤深度的增加而降低(图 1),但不同土地利用方式下土壤有机质的剖面分布还存在一定的差异:林地和果园表现出明显的表层富集现象;其中,林地的土壤有机质主要富集在 0~10 cm 土层,果园富集在 0~20 cm 土层;而撂荒地和坡耕地则不存在显著的表层富集现象,其各个土壤深度的土壤有机质含量分化并不明显。土壤有机质含量取决于有机物料的投入与分解之间的平衡。在自然生态系统,地表枯枝落叶及细微根系的周转是土壤有机质输入的主要途径^[16]。林地和果园表层覆盖有大量的枯枝落叶,可为土壤表层提供丰富的有机质来源,但位于土壤表层之下的树木根系粗大,难于分解,土壤有机质来源缺乏,从而导致含量较低。而坡耕地由于翻耕,使土壤表层的有机质进入到更深层次的土壤中,从而使土壤有机质在 0~60 cm 的剖面上分布更均匀^[17];并且 Baker 等^[18]研究发现,翻耕使得植物根系进入土壤的深度增加,从而使其土壤中因根系带来的有机质能出现在更深的土层中,因此导致坡耕地土壤有机质含量在剖面分布上的分层现象并不明显。撂荒地则可能是由于其地表植被主要是草本植物,每年因地上部分枯死而形成的枯枝落叶可为土壤表层提供大量的碳源,而且草本植物的根系特别是细根分布较浅,根系的腐解转化快,从而在 0~60 cm 整个土壤剖面上土壤有机质含量都比较高,使其剖面分布也不存在显著的分层现象。

由图 1 可以看出,4 种不同土地利用方式下的土壤有机质含量在同一土层上存在的差异性与土壤深度有关。在 0~10 cm 土层,林地最高,并显著高于其它 3 种土地利用方式;在 10~20 cm 土层,撂荒地最高,但与林地及果园之间的差异并不显著;从 30~60 cm 各土层,撂荒地显著高于其它 3 种土地利用方式,而林地、果园及坡耕地之间差异不显著。在 0~60 cm 的所有土层上,坡耕地土壤有机质含量均最低。且在 0~60 cm 的深度内平均含量为撂荒地($19.71 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) > 林地($13.19 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) > 果园($10.35 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) > 坡耕地($5.82 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。将林地开垦为坡耕地后,土壤有机质降低了 55.90% ($P <$

0.05),转变为果园后降低了 21.56% ($P > 0.05$);而将坡耕地闲置撂荒后,土壤有机质增加 238.86% ($P < 0.05$)。说明不同土地利用方式下的土壤有机质含量存在差异且土地利用方式的改变对土壤有机质有较大的影响。



图中相同小写字母表示同一土层深度不同土地利用类型的有机质含量在 5% 水平上的差异性,不同字母表示差异显著,下同

图 1 不同土地利用方式下土壤有机质的剖面分布

Fig. 1 Distribution of organic matter in soil profiles under different land use patterns

土地利用及土地利用方式变化对土壤有机质有较大的影响^[19],植被物种的组成、土地利用类型以及管理措施都会影响到土壤有机质的质量、数量和周转^[20]。本研究结果表明林地变为坡耕地或果园后,土壤有机质含量大幅下降,而将坡耕地闲置为撂荒地后,土壤有机质含量大幅增加,这与 Blair 等^[21]在新南威尔士的研究结果一致:天然植被转变为耕地后,土壤有机质含量都有不同程度的下降,而把这些耕地闲置撂荒后,土壤有机质含量增加。林地和撂荒地由于没有人类活动的干扰,地表的植被凋落物可通过分解补充土壤碳库;而且林木和草本植物根系的转化也是土壤碳的主要来源。果园周围居住的大多为山地农民,由于运输不便以及经济落后等原因,这些居民依靠果树的剪枝作为木柴的主要来源,再加上果实的收获等,使得果园的土壤有机质含量比林地低。虽然当地的坡耕地有施粪肥和绿肥的习惯,但由于常年翻耕,土壤表面的水土流失严重,使得土壤中有机质的流失严重;并且人为翻耕增加了土壤的通透性,加剧了土壤有机碳的矿化;而且由于作物的收获,致使植物中的碳不能还田,这些原因都导致坡耕地不利于土壤有机质的积累。

2.2 不同土地利用方式下 3 种土壤活性有机质含量

4 种不同土地利用方式下低、中、高活性有机质含量的剖面分布趋势与土壤有机质相似(图 2),

即均随土壤深度增加而降低,林地的土壤低、中、高活性有机质主要富集在 0~10 cm 土层,果园富集在 0~20 cm 土层;撂荒地和坡耕地的表层富集现象不明显,在 0~60 cm 的土壤剖面上并未呈现出显著的分化现象。

对比图 1 和图 2 可以看出,4 种不同土地利用方式下的 3 种土壤活性有机质含量在同一土层上的差异与土壤有机质大体相似。在 0~10 cm 土层,林地的 3 种活性有机质含量最高,其它 3 种土地利用方式差异不明显。10~20 cm 土层,4 种土地利用类型下的 3 种活性有机质含量均无显著性差异。在 20~60 cm 深度的各土层上,撂荒地的 3 种活性有机质含量均最高,而其它 3 种土地利用方式下的 3 种活性有机质差异均不明显。不同土地利用方式下

低、中、高活性有机质在 0~60 cm 的平均含量与土壤有机质的分布顺序是相同的,低活性有机质含量为撂荒地($2.13 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 林地($1.74 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 果园($1.01 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 坡耕地($0.87 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$); 中活性有机质平均含量为撂荒地($1.56 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 林地($1.19 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 果园($0.71 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 坡耕地($0.62 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$); 高活性有机质平均含量为撂荒地($1.21 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 林地($0.73 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 果园($0.53 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 坡耕地($0.35 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)。表明林地开垦为耕地或果园后降低了土壤中 3 种活性有机质的含量,而坡耕地闲置为撂荒地后,能显著增加土壤中 3 种活性有机质含量,低、中、高活性有机质含量分别升高了 144.2% ($P < 0.05$)、153.3% ($P < 0.05$) 和 242.7% ($P < 0.05$)。

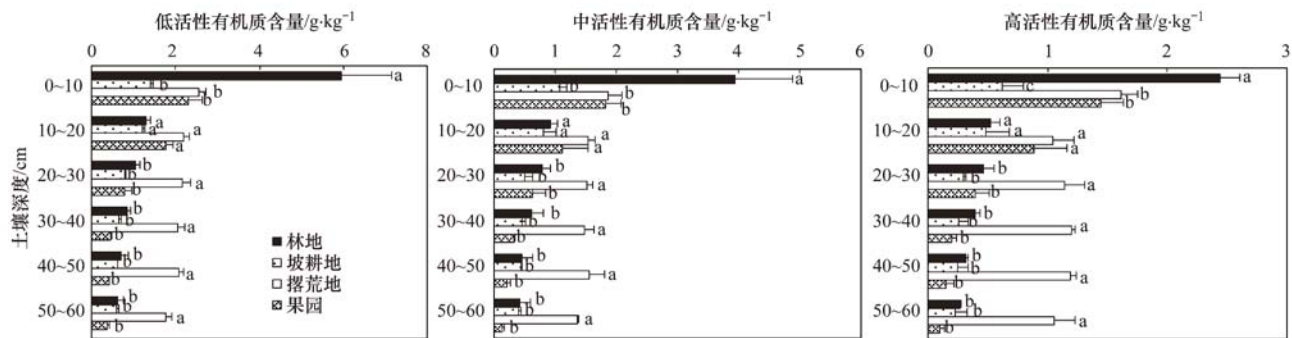


图 2 不同土地利用方式下 3 种土壤活性有机质的剖面分布

Fig. 2 Distribution of three labile organic matters in soil profiles under different land use types

不同土地利用方式下土壤活性有机质含量随土壤深度的增加而降低,林地在 0~10 cm 土层显著高于其它土地利用类型,而在 20 cm 土壤深度以下,则是撂荒地(未翻耕)最高,这与邱莉萍等^[12]在陕西子午岭的研究结果相似。另外,吴建国等^[22]在宁夏六盘山林区也发现几种土地利用方式下土壤活性有机质随土壤深度而递减的剖面分布趋势。

土壤活性有机质来源于植物凋落物的分解、根系分泌物、土壤有机质的水解、土壤微生物本身及其代谢产物,其中植物凋落物的分解及根系分泌物是其主要来源^[23]。而不同土地利用方式下,植物凋落物以及根系分布、人类活动的影响干扰程度是不同的,由此导致不同土地利用方式间活性有机质的差异。

2.3 不同土地利用方式下 3 种土壤的 ER

图 3 展示了不同土地利用方式下 3 种土壤的 ER。从中可以看出,3 种土壤的 ER 总体上均表现出随土壤深度增加而降低的趋势。在同一土层,由于各土地利用方式土壤有机质以及各活性有机质的含量不同,土壤的 ER 也不相同,但在土壤剖面的所

有土层上,3 种土壤的 ER 基本上都是坡耕地最高,果园最低。因此在 0~60 cm 土壤深度内,不同土地利用方式下 3 种土壤的 ER 均表现为坡耕地最高,撂荒地和林地居中,果园最低。低活性有机质 ER 为坡耕地 (13.79%) > 林地 (11.85%) > 撂荒地 (11.25%) > 果园 (9.43%); 中活性有机质 ER 为坡耕地 (10.44%) > 林地 (8.25%) = 撂荒地 (8.25%) > 果园 (6.07%); 高活性有机质 ER 为坡耕地 (6.43%) > 撂荒地 (6.33%) > 林地 (5.14%) > 果园 (4.35%)。

由图 3 还可以看出,3 种土壤 ER 在不同的土地利用方式之间基本上无明显差异,与吴建国等^[22]在宁夏六盘山林区的研究相似,他们的研究表明,天然次生林变成农田或草地后,土壤活性有机碳分配比例(即低活性有机质 ER)并没有明显下降,而造林后土壤活性有机碳分配比例也没有明显增加。与土壤有机质以及活性有机质相比,显然土地利用方式改变对土壤 ER 的影响要小得多。原因可能如吴建国等^[22]所阐述的那样:“土壤活性有机碳和非活性

有机碳都受到土地利用变化的影响,而且在土地利用变化过程中部分非活性有机碳可能变成活性有机碳或者部分的活性有机碳可能变成非活性有机碳,这些变化使土壤活性有机碳的比例并没有对土地利用变化有较大的敏感性”。另外,邱莉萍等^[12]在陕西子午岭的研究发现,在 100 cm 土层内,农用地 3 种土壤的 ER 都较低,而林地和撂荒未翻耕地则较

高,与本研究结果不一致,造成这种差异的原因可能是由于不同的农田管理措施引起的。本研究地点位于西南山区,人多地少,生产力相对落后,为了维持或者提高产量,当地农民一直有施粪肥和绿肥的习惯。粪肥和绿肥都是质量较高的有机肥,施加到土壤中后能加快土壤有机物料的循环和转化,从而提高土壤活性有机质的效率。

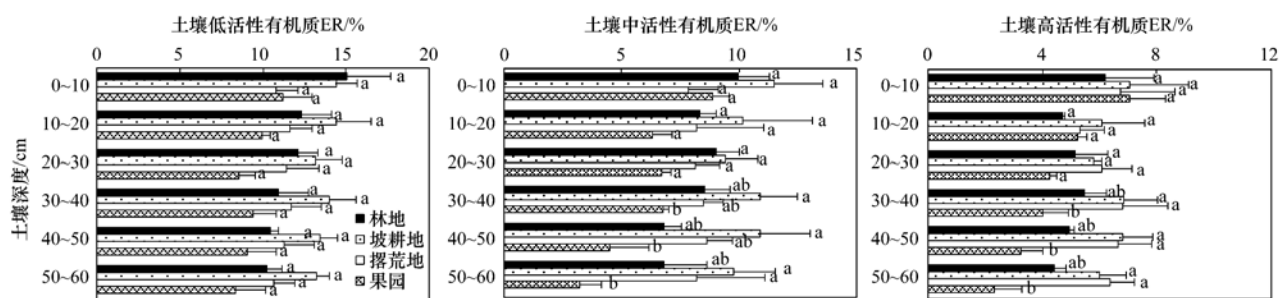


图3 不同土地利用方式下3种土壤活性有机质 ER 剖面分布

Fig. 3 Efficiency ratios of three labile organic matter in soil profiles under different land use patterns

2.4 不同土地利用方式下土壤的 CMI

基于不同组分活性有机质的碳库管理指数 (CMI) 能有效地反映土壤质量和土壤肥力状况^[9], 常被用来指示不同土地管理措施对土壤质量, 特别是对土壤碳库的影响程度^[21]。不同土地利用变化对土壤的 CMI 有何影响及其影响的形成机制, 至今仍然是一个热点前沿。

不同土地利用方式下 3 种活性有机质 CMI 的剖面分布如图 4 所示, 除了对照撂荒地以外, 其它 3 种土地利用方式都表现为随土壤深度的增加而减小。但不同土地利用方式下 CMI 的剖面分布趋势不同, 与土壤有机质以及活性有机质的剖面分布趋势相似, 即: 林地在 0~10 cm 土层最高, 至 10~20 cm 土层时有一个骤降, 低、中、高活性有机质 CMI 从 0~10 cm 土层的 264.51、220.58 和 154.31 陡然降低到 10~20 cm 土层的 63.90、65.98 和 61.33, 但从 20~60 cm 变化不大; 果园在 0~20 cm 的两个土层上均较高, 在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层上低活性有机质 CMI 分别为 93.90 和 84.42, 中活性有机质 CMI 分别为 103.12 和 73.05, 高活性有机质 CMI 分别为 96.21 和 91.46, 至 20~30 cm 土层时有一个比较大的下降, 低活性有机质 CMI 降低到 36.84, 中活性有机质 CMI 降低到 43.84, 高活性有机质 CMI 降低到 35.73, 而从 30~60 cm 变化较缓。林地和果园的这种 CMI 的剖面分布趋势与其表层凋落物的积累和深层根系对养分的吸收有关, 表层大量的凋落物堆积, 在亚热带气候年均温较高的环境下有利

于分解转化, 从而增加土壤碳库, CMI 较高; 底层因土壤根系对养分的强烈吸收, 促进了土壤有机质的分解, CMI 较低。坡耕地的 3 种活性有机质 CMI 剖面分布差异比较平缓, 也是与其土壤有机质比较平缓的剖面分布有关。

在 0~10 cm 土层, 3 种活性有机质的 CMI 以林地最高, 坡耕地最低, 果园和撂荒地基本相当; 10~20 cm 各土层, 4 种土地利用方式差异不显著; 20~60 cm, 3 种活性有机质 CMI 以撂荒地最高, 其它 3 种土地利用方式无显著差异。在 0~60 cm 的深度范围内, 不同土地利用方式下低活性有机质 CMI 为撂荒地 (100) > 林地 (80.27) > 果园 (46.33) > 坡耕地 (39.32), 中活性有机质 CMI 为撂荒地 (100) > 林地 (72.85) > 果园 (44.53) > 坡耕地 (39.87); 高活性有机质 CMI 为撂荒地 (100) > 林地 (56.35) > 果园 (43.76) > 坡耕地 (28.11)。撂荒地的 3 种活性有机质 CMI 均高于林地, 与已有的一些研究结果不同^[24], 造成这种差异的原因可能是因为本研究中的林地天然亚热带常绿阔叶林, 历史悠久, 已进入老年期, 森林的生物生产量下降, 土壤碳蓄积已趋于平衡; 而撂荒地才退耕 14 a, 生态系统正处于年轻的上升期, 植被生长旺盛, 生产量高, 土壤的碳积累能力较强。林地转变为果园和坡耕地后, 低活性有机质 CMI 分别减少 42.27% ($P < 0.05$) 和 51.01% ($P < 0.05$), 中活性有机质 CMI 分别减少 38.87% ($P < 0.05$) 和 45.27% ($P < 0.05$), 高活性有机质

CMI 分别减少 22.34% 和 50.12% ($P < 0.05$), 坡耕地闲置撂荒后, 低、中、高活性有机质 CMI 分别增加 154.31% ($P < 0.05$)、150.79% ($P < 0.05$)、255.77% ($P < 0.05$)。林地开垦为坡耕地

或果园, 碳库管理指数降低, 说明不利于土壤的碳截存, 土壤向着质量退化的方向发展; 坡耕地退耕撂荒, 碳库管理指数增加, 土壤碳库储量升高, 碳汇功能增强, 土壤质量向着良性方向发展。

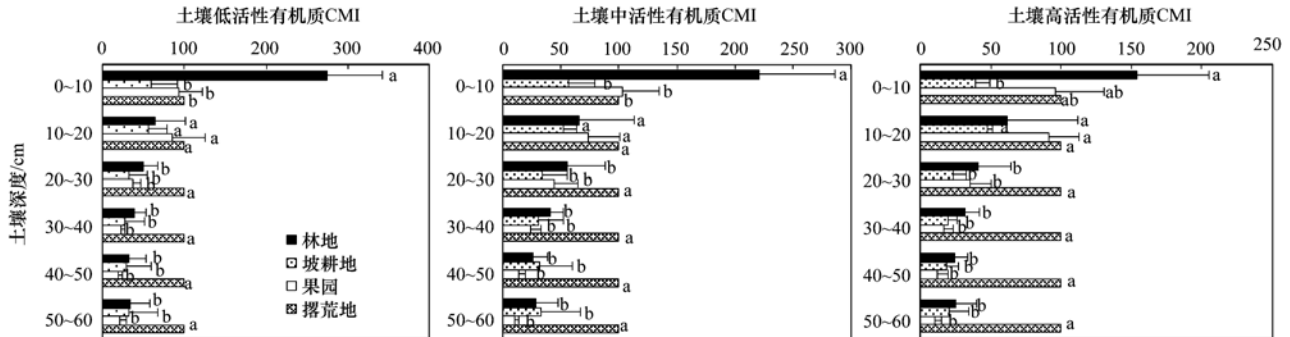


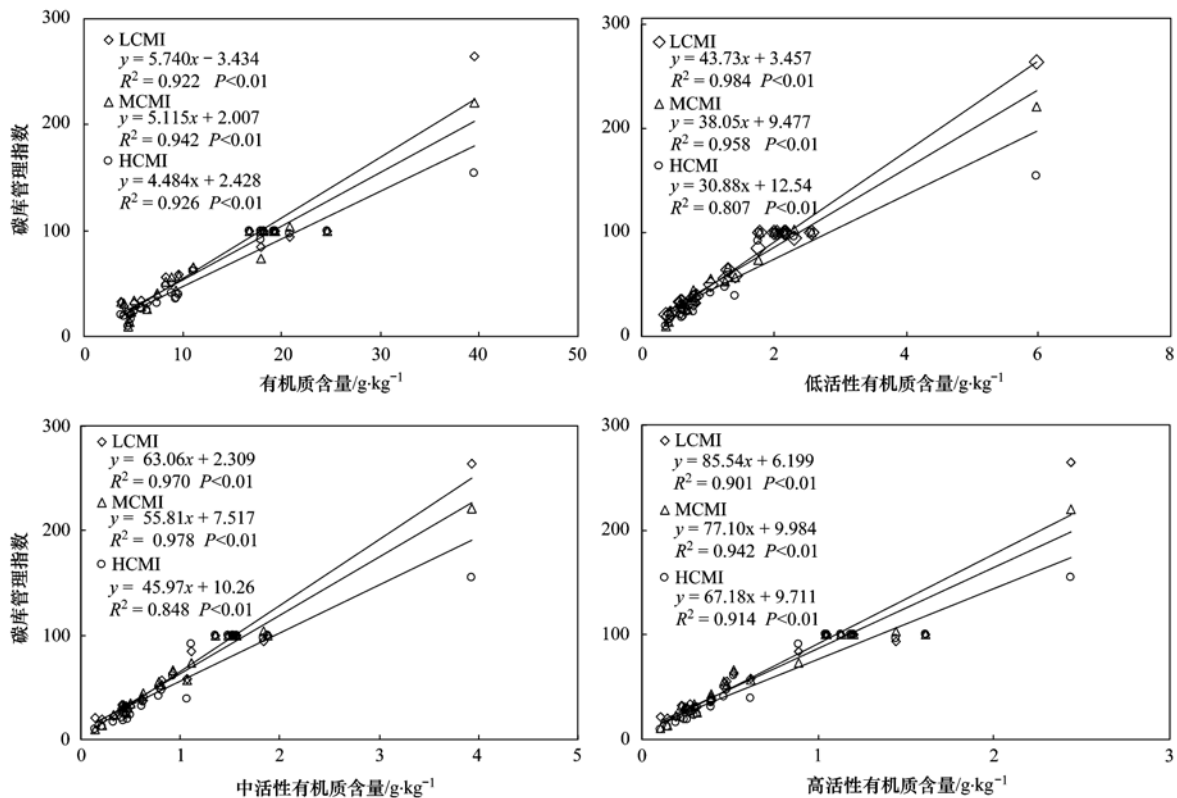
图 4 不同土地利用方式下 3 种活性有机质 CMI 的剖面分布

Fig. 4 Distribution of three labile organic matters CMI in soil profiles under different land use patterns

通过分析土壤有机质、活性有机质以及各活性有机质 CMI 的关系发现, 不同活性有机质 CMI 与土壤有机质及活性有机质均呈极显著正相关 (图 5), 在徐明岗等^[9]、邱莉萍等^[25]和薛蕙等^[26]的研究中也发现了这些相关关系, 表明 CMI 可以灵敏地反映土地利用变化对土壤有机质的影响。

2.5 土壤活性有机质与土壤理化性质的关系

土壤有机质及其活性是反映土壤有机质质量的重要指标, 它们在评价土壤有机质品质和肥力状况方面有重要意义^[20]。土壤有机质及其活性有机质与土壤理化性质指标有一定的相关性。徐明岗等^[9]研究表明土壤有机质与土壤活性有机质和产量有相关性,



LCMI 为低活性有机质碳库管理指数; MCMI 为中活性有机质碳库管理指数; HCMI 为高活性有机质碳库管理指数

图 5 土壤有机质及 3 种活性有机质含量与碳库管理指数的关系

Fig. 5 Relationships between CMI and the contents of soil organic matter and labile organic matters

所以土壤有机质及其活性有机质对提高作物产量有重要作用. 本研究通过分析土壤活性有机质与土壤理化性质之间的关系(表 1),发现 3 种活性有机质之间均呈极显著正相关,与全氮、速效磷和速效钾均呈极显著相关,与土壤容重呈极显著负相关,全磷与高

活性有机质呈显著正相关,pH 与有机质及中活性有机质呈显著负相关. 迄今为止,已有多项研究表明土壤活性有机质与土壤生物及理化性质关系密切^[9,11,12,25],表明土壤活性有机质作为衡量土壤质量的重要指标,可以很好地反映土壤肥力状况.

表 1 土壤活性有机质与其它理化性质指标的相关系数¹⁾

Table 1 Correlation coefficients between soil labile organic matters and soil physical and chemical properties									
项目	中活性有机质	高活性有机质	有机质	全氮	全磷	速效磷	速效钾	pH	土壤容重
低活性有机质	0.99**	0.96**	0.97**	0.95**	0.27	0.54**	0.59**	-0.38	-0.83**
中活性有机质		0.98**	0.97**	0.96**	0.32	0.59**	0.63**	-0.39*	-0.82**
高活性有机质			0.99**	0.94**	0.40*	0.66**	0.68**	-0.38	-0.77**

1) * 表示显著相关, ** 表示极显著相关

3 结论

(1)缙云山 4 种土地利用方式下,土壤有机质及活性有机质的含量随土壤深度的增加而降低. 在 0~60 cm 的土壤深度内,不同土地利用方式下有机质及活性有机质的平均含量均为撂荒地>林地>果园>坡耕地,表明林地开垦为果园和坡耕地后降低了土壤中的有机质及活性有机质,而坡耕地的退耕撂荒,则有助于土壤有机质及活性有机质的恢复.

(2)不同土地利用方式下 3 种土壤的 ER 均为坡耕地最高,林地和撂荒地居中,果园最低,但差异并不显著,表明土壤的 ER 对土地利用变化并不敏感.

(3)不同土地利用方式下 3 种活性有机质 CMI 为撂荒地最高,林地次之,果园和坡耕地最低,表明林地开垦导致土壤碳截存降低,土壤向着质量退化的方向发展;坡耕地退耕增强了土壤的碳汇功能,土壤质量向着良性方向发展.

(4)3 种活性有机质之间呈极显著正相关关系,与全氮、速效磷和速效钾呈极显著正相关关系,与土壤容重呈极显著负相关关系,表明活性有机质与土壤理化性质关系密切,是反映土壤养分动态变化和衡量土壤质量的一个重要指标.

参考文献:

[1] Bolinder M A, Angers D A, Gregonch E G, *et al.* The response of soil quality indicators to conservation management [J]. Canadian Journal of Soil Science, 1999, **79**(1): 37-45.

[2] 沈红,曹志红,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.

[3] 张瑞,张贵龙,姬艳艳,等. 不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响[J]. 环境科学, 2013, **34**(1): 277-282.

[4] Logninow W, Wisniewski W, Gonet S S, *et al.* Fractionation of organic carbon based on susceptibility to oxidation [J]. Polish

Journal of Soil Science, 1987, **20**(1): 47-52.

[5] 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.

[6] 罗友进,王子芳,高明,等. 不同耕作制度对紫色水稻土活性有机质及碳库管理指数的影响 [J]. 水土保持学报, 2007, **21**(5): 55-81.

[7] 李琳,伍芬琳,张海林,等. 双季稻区保护性耕作下土壤有机碳及碳库管理指数的研究 [J]. 农业环境科学学报, 2008, **27**(1): 248-253.

[8] 赵红,吕贻忠,杨希,等. 不同配肥方案对黑土有机碳含量及碳库管理指数的影响 [J]. 中国农业科学, 2009, **42**(9): 3164-3169.

[9] 徐明岗,于荣,王伯仁. 长期不同施肥下红壤活性有机质与碳库管理指数变化 [J]. 土壤学报, 2006, **43**(5): 723-729.

[10] 高飞,贾志宽,张鹏,等. 秸秆覆盖对宁南旱作农田活性有机质及碳库管理指数的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2011, **29**(3): 107-117.

[11] 陈尚洪,朱钟麟,刘定辉,等. 秸秆还田和免耕对土壤养分及碳库管理指数的影响研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, **14**(4): 806-809.

[12] 邱莉萍,张兴昌,程积民. 土地利用方式对土壤有机质及其碳库管理指数的影响 [J]. 中国环境科学, 2009, **29**(1): 84-89.

[13] Parton W J, Schimel D S, Cole C V, *et al.* Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands [J]. Soil Science Society of America Journal, 1987, **51**(5): 1173-1179.

[14] 于荣,徐明岗,王伯仁. 土壤活性有机质测定方法的比较 [J]. 土壤肥料, 2005, (2): 49-51.

[15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京:中国农业科技出版社, 1999.

[16] Zhong L, Zhao Q G. Organic carbon content and distribution in soils under different land uses in tropical and subtropical China [J]. Plant and Soil, 2001, **231**(2): 175-185.

[17] 李辉,张军科,江长胜,等. 耕作方式对紫色水稻土有机碳和微生物生物量碳的影响 [J]. 生态学报, 2012, **32**(1):

- 247-255.
- [18] Baker J M, Ochsner T E, Venterea R T, *et al.* Tillage and soil carbon sequestration-What do we really know? [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2007, **118**(1-4): 1-5.
- [19] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential[J]. *Global Change Biology*, 2000, **6**(3): 317-327.
- [20] Berger T W, Neubauer C, Glatzel G. Factors controlling soil carbon and nitrogen stores in pure stands of Norway spruce (*Picea abies*) and mixed species stands in Austria[J]. *Forest Ecology and Management*, 2002, **159**(1-2): 3-14.
- [21] Blair G J, Lefroy R D B, Singh B P, *et al.* Development and use of a carbon management index to monitor changes in soil C pool size and turnover rate[A]. In: Cadisch G, Giller K E (Eds.). *Drive by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition* [C]. Wallingford: CAB International, 1997. 273-281.
- [22] 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[J]. *植物生态学报* 2004, **28**(5): 657-664.
- [23] Bolan N S, Baskaran S, Thiagarajan S. An evaluation of the methods of measurement of dissolved organic carbon in soils, manures, sludges and stream water[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1996, **27**(13-14): 2732-2737.
- [24] 戴全厚, 刘国彬, 薛莲, 等. 侵蚀环境退耕撂荒地土壤活性有机碳与碳库管理指数演变[J]. *西北林学院学报*, 2008, **23**(6): 24-28.
- [25] 邱莉萍, 张兴昌, 程积民. 不同封育年限草地土壤有机质组分及其碳库管理指数[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, **17**(5): 1166-1171.
- [26] 薛莲, 刘国彬, 卜书海, 等. 黄土丘陵区不同农田类型土壤碳库管理指数分异研究[J]. *西北农业学报*, 2011, **20**(10): 192-195.

CONTENTS

Stable Carbon Isotopic Composition in PM _{2.5} in Nanjing Region	WU Meng-long, GUO Zhao-bing, LIU Feng-ling, <i>et al.</i> (3727)
Distribution and Source Apportionment of <i>n</i> -Alkanes in Atmospheric Particle in Taiyuan, China	HU Dong-mei, PENG Lin, BAI Hui-ling, <i>et al.</i> (3733)
Study on Influence of Traffic and Meteorological Factors on Inhalable Particle Matters of Different Size	LUO Na-na, ZHAO Wen-ji, YAN Xing, <i>et al.</i> (3741)
Particle Emission Characteristics of Diesel Bus Fueled with Bio-diesel	LOU Di-ming, CHEN Feng, HU Zhi-yuan, <i>et al.</i> (3749)
Characteristics of $\delta^{18}\text{O}$ in Precipitation and Water Vapor Sources in Lanzhou City and Its Surrounding Area	CHEN Fen-li, ZHANG Ming-jun, MA Qian, <i>et al.</i> (3755)
Characteristics and Sources of Soluble Ions in Aerosols from Glacier No. 1 at the Headwater of Urumqi River, Tianshan Mountains, China	YUE Xiao-ying, LI Zhong-qin, ZHANG Ming-jun, <i>et al.</i> (3764)
Mechanism and Performance of Styrene Oxidation by O ₃ /H ₂ O ₂	HE Jue-cong, HUANG Qian-ru, YE Qi-hong, <i>et al.</i> (3772)
Sulfur Isotopic Signatures in Leaves of <i>Pinus massoniana</i> Lamb. and Source Apportionment	GUAN Hui, XIAO Hua-yun, ZHU Ren-guo, <i>et al.</i> (3777)
Comparisons of Sulfur Contents and Isotopes Between Mosses and Surface Soils in Jiangxi Province	LI Nan, XIAO Hua-yun, CHEN Yong-zhong, <i>et al.</i> (3782)
Research on Spatial Characteristic of Non-point Source Pollution in Liaohe River Basin	WANG Xue-lei, CAI Ming-yong, ZHONG Bu-qing, <i>et al.</i> (3788)
Spatial and Temporal Variations of Hydrological Characteristic on the Landscape Zone Scale in Alpine Cold Region	YANG Yong-gang, HU Jin-fei, XIAO Hong-lang, <i>et al.</i> (3797)
Distribution of Matrix-Bound Phosphine in Surface Sediments of Jinpu Bay	YOU Li-li, ZONG Hai-bo, ZHANG Shu-fang, <i>et al.</i> (3804)
Effects of Drying-Rewetting Alternation on Urease Activity in Chongming East Intertidal Flat; Results of a Simulation Study	HAN Jian-gang, CAO Xue (3810)
Characterization of Microbial Activities in Marine Mudflat Sediment Using FDA Hydrolase Analysis	LIU Ye, ZOU Li, LIU Lu, <i>et al.</i> (3818)
Analysis of Ecological Risk and the Content Situation of Polybrominated Diphenyl Ethers in Sediments from Northeast China River Basin	NIE Hai-feng, CHENG Hang-xin, ZHAO Chuan-dong, <i>et al.</i> (3825)
Residues and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Sediments and Marine Organisms from Dapeng Bay, Shenzhen	SUN Run-xia, KE Chang-liang, GU Yang-guang, <i>et al.</i> (3832)
Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Using Two Mathematical Models for Runoff of the Shanghai Elevated Inner Highway, China	BIAN Lu, LI Tian, HOU Juan (3840)
Biomagnification of Heavy Metals in the Aquatic Food Chain in Daning River of the Three Gorges Reservoir During Initial Impoundment	YU Yang, WANG Yu-chun, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (3847)
Temporal and Spatial Distribution of Environmental Factors and Chlorophyll-a and Their Correlation Analysis in a Small Enclosed Lake	LI Fei-peng, ZHANG Hai-ping, CHEN Ling (3854)
Experiment and Model Simulation of Self-Purification Capacity of Nitrogen and Phosphorus in Lake Taihu	HAN Tao, ZHAI Shu-hua, HU Wei-ping, <i>et al.</i> (3862)
Simulation Research on the Release of Internal Nutrients Affected by Different Dredging Methods in Lake	CHEN Chao, ZHONG Ji-cheng, FAN Cheng-xin, <i>et al.</i> (3872)
Research of Urban Eutrophic Water Repair by Water/Sediment Biological Bases	ZHOU Hui-hua, SONG Xiao-guang, WU Ge, <i>et al.</i> (3879)
Effects of Regulatory Agent on the Heavy Metal Stability in Tidal Sediments	OU Feng-zhuang, SUN Guo-ping, XU Mei-ying (3888)
Impact of Regional Water Chemistry on the Phosphorus Isothermal Adsorption of the Sediments in Three Subsidence Waters of the Huainan Mine Areas	YI Qi-tao, SUN Peng-fei, XIE Kai, <i>et al.</i> (3894)
Adsorption Characteristics of f2 Bacteriophages by Four Substrates in Constructed Wetland	CHEN Di, ZHENG Xiang, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> (3904)
Adsorption Characteristics of the Antibiotic Sulfanilamide onto Rice Husk Ash	JI Ying-xue, WANG Feng-he, ZHANG Fan, <i>et al.</i> (3912)
Study on the Stability Variation Mechanism of Humic Acid Water Solution After Radiated by the UV Light	WANG Wen-dong, ZHOU Li-chuan, DING Zhen-zhen, <i>et al.</i> (3921)
Comparison of As Removal Performance by Graphene/Iron-Based Material	Chaomuerlege, FENG Liu, HUO Yan-xia (3927)
Studies on the Dispersion and Deposition Behavior of Nano-TiO ₂ in Aquatic System	CHEN Jin-yuan, FANG Jin-feng, WEI Xiu-zhen (3933)
Effect of the Interaction of Microorganisms and Iron Oxides on Arsenic Releasing into Groundwater in Chinese Loess	XIE Yun-yun, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (3940)
Surface Modification of Polyvinylidene Fluoride (PVDF) Membrane by Using the Zwitterionic Substance	ZHOU Gui-hua, XIAO Feng, XIAO Ping, <i>et al.</i> (3945)
Estimate the Abatement Rate of Septic Tank Sewage Outfall Soil on Nitrogen Pollutants of Typical Farmer Household Sewage	ZHOU Feng, WANG Wen-lin, WANG Guo-xiang, <i>et al.</i> (3954)
Wastewater Pollution Characteristics from Typical Intensive Pig Farms in the Pearl River Delta and Its Ecological Risk Assessment	LI Wen-ying, PENG Zhi-ping, YU Jun-hong, <i>et al.</i> (3963)
Effects of Sludge Compost Used as Lawn Medium on Lawn Growth and Soil and Water Environment	JIN Shu-quan, ZHOU Jin-bo, CHEN Ruo-xia, <i>et al.</i> (3969)
Influencing Factors of Floc Size Distribution and Fractal Dimension of Activated Sludge	LI Zhen-liang, ZHANG Dai-jun, LU Pei-li, <i>et al.</i> (3975)
Influence of Different Recovery Methods on the Activity of Nitrification Granular Sludge	GUO Xiu-li, GAO Da-wen, LU Jian-cong (3981)
Study on Hydrogen Autotrophic Denitrification of Bio-ceramic Reactor	CHEN Dan, WANG Hong-yu, SONG Min, <i>et al.</i> (3986)
Studies on Spatial Heterogeneity of Soil Respiration in a Subalpine Meadow	YAN Jun-xia, LI Jun-jian, LI Hong-jian, <i>et al.</i> (3992)
Modeling of CO ₂ Fluxes at Cropland by Using SIB3 Model	ZHANG Geng-jun, LU Li-xin, JIANG Ling-mei, <i>et al.</i> (4000)
Effects of the Different Land Use on Soil Labile Organic Matter and Carbon Management Index in Junyun Mountain	XU Peng, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju, <i>et al.</i> (4009)
Heavy Metal Content in Street Dust and Environmental Risk Assessment of Agricultural City: A Case Study of Xuchang City	YAN Hui, CHEN Jie, XIAO Jun (4017)
Polybrominated Diphenyl Ethers and Polychlorinated Biphenyls in Road Dust from Suzhou, Wuxi and Nantong	SHI Shuang-xin, DONG Liang, LI Ling-ling, <i>et al.</i> (4024)
Vertical Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Abandoned Vehicles Dismantling Area Soil	WU Yan-yu, HU Xiao-ying, HONG Hong-jia, <i>et al.</i> (4031)
Stabilization and Long-term Effect of Chromium Contaminated Soil	WANG Jing, LUO Qi-shi, ZHANG Chang-bo, <i>et al.</i> (4036)
Leaching Characteristics of Sulfadiazine and Sulfamethoxazole in Soil Column	LI Man, CHEN Wei-ping, WEI Fu-xiang, <i>et al.</i> (4042)
Transport Behaviors of Metal Oxide Nanomaterials in Various Soils	FANG Jing, YU Bo-yang (4050)
Fractal Characteristics of Capillary Finger Flow for NAPLs Infiltrated in Porous Media	LI Hui-ying, DU Xiao-ming, YANG Bin, <i>et al.</i> (4058)
Allelopathic Potential of <i>Phyllostachys edulis</i> on Two Dominant Tree Species of Evergreen Broad-leaved Forest in Its Invasive Process	BAI Shang-bin, ZHOU Guo-mo, WANG Yi-xiang, <i>et al.</i> (4066)
Preliminary Studies on the Occurrence of Antibiotic Resistance Genes in Typical Aquaculture Area of the Pearl River Estuary	LIANG Xi-mei, NIE Xiang-ping, SHI Zhen (4073)
Concentrations and Safety Evaluation of Heavy Metals in Aquatic Products of Yancheng, Jiangsu Province	LIU Yang, FU Qiang, GAO Jun, <i>et al.</i> (4081)
Effects of Cu ²⁺ Stress on DNA Polymorphism of Genome in Foxtail Millet of Different Genotypes	ZHANG Yi-xian, FU Ya-ping, XIAO Zhi-hua, <i>et al.</i> (4090)
Research on Soil Bacteria Under the Impact of Sealed CO ₂ Leakage by High-throughput Sequencing Technology	TIAN Di, MA Xin, LI Yu-e, <i>et al.</i> (4096)
Microeukaryotic Biodiversity in the Waste Ore Samples Surrounding an Acid Mine Drainage Lake	LI Si-yuan, HAO Chun-bo, WANG Li-hua, <i>et al.</i> (4105)
Characteristics and Functional Protein Analysis of an Effective Decabromodiphenyl Ether-Degrading Strain	CHANG Jing-jing, YIN Hua, QIN Hua-ming, <i>et al.</i> (4112)
Effect of Selenium on the Uptake and Translocation of Manganese, Iron, Phosphorus and Selenium in Rice (<i>Oryza sativa</i> L.)	HU Ying, HUANG Yi-zong, HUANG Yan-chao, <i>et al.</i> (4119)
Effect of Exogenous Iron on Accumulation and Chemical Forms of Cadmium, and Physiological Characterization in Different Varieties of Tomato	LIU Jun, ZHOU Kun, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (4126)
Analysis of Control Policy for Persistent Toxic Substances from Electronic Wastes in China	LI Li, LÜ Yong-long, WANG Tie-yu (4132)

《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)

2013年10月15日 34卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 10 Oct. 15, 2013

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