万方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心
■ 出版 科学出版社

双奖期刊
中华人民共和国新闻出版总署

2020
Vol.41 No.3
第41卷 第3期

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第41卷 第3期
2020年3月15日

目 次

长江经济带$PM_{2.5}$分布格局演变及其影响因素 …… 黄小刚, 赵景波, 曹军骥, 辛未冬 (1013)
中国东海近海岛屿冬季与夏季气溶胶中水溶性离子化学组分特征及来源解析 …… 方言, 曹芳, 范美益, 章炎麟 (1025)
阳泉市秋冬季$PM_{2.5}$化学组分及来源分析 …… 王成, 闫雨龙, 谢凯, 李如梅, 徐扬, 彭林 (1036)
泰安市夏季$PM_{2.5}$中正构烷烃和糖类化合物的化学组成及其来源 …… 衣雅男, 侯战方, 杨千才, 刘晓迪, 李政, 孟静静, 燕丽, 魏本杰, 伏梦璇 (1045)
黄山秋季大气颗粒物理化特性 …… 卞逸舒, 银燕, 王红磊, 陈魁 (1056)
北碚区气溶胶光学厚度特征及其与颗粒物浓度的相关性 …… 曾唯, 郝庆菊, 赵仲婧, 熊维霞, 陈俊江, 辛金元, 江长胜 (1067)
淄博市重点工业行业 VOCs 排放特征 …… 王雨燕, 王秀艳, 杜淼, 白瑾丰, 杨文 (1078)
鄂州市大气 VOCs 污染特征及来源解析 …… 付昱萌, 杨红刚, 卢民瑜, 曾颜, 邹迦新 (1085)
浙江省汽车整车制造行业挥发性有机物产排污系数 …… 滕富华, 杨忠平, 董事壁, 付超, 缪孝平, 顾震宇 (1093)
基于工艺过程的金属包装业 VOCs 污染特征 …… 王迪, 聂磊, 赵文娟, 张玮琦, 党鸿雁, 邵霞, 张新民 (1099)
薪柴和经济作物秸秆燃烧 VOCs 排放特征 …… 牛真真, 孔少飞, 严沁, 郑淑睿, 郑煌, 曾昕, 姚立全, 吴剑, 张颖, 吴方琪, 程溢, 覃思, 刘玺, 燕莹莹, 祁士华 (1107)
精细化工园区工艺过程 VOCs 产生量核算方法 …… 叶菡韵, 田金平, 陈吕军 (1116)
2017年春季常州 HONO 观测及对大气氧化能力影响的评估 …… 施晓雯, 戈逸峰, 张玉婵, 马嫣, 郑军 (1123)
中国工程机械使用特征及其尾气排放趋势 …… 庞凯莉, 张凯山, 马帅, 王帆 (1132)
京津冀机场群飞机 LTO 大气污染物排放清单 …… 韩博, 孔魏凯, 姚婷玮, 王愚 (1143)
在用汽油和柴油车排放颗粒物的粒径分布特征实测 …… 王瑞宁, 胡磬遥, 任洪娟, 马冬, 徐冲, 赵玺乾, 王孟昊, 徐为标, 安静宇, 黄成 (1151)
参数选取对畜禽养殖业大气氨排放的影响:以长三角地区为例 …… 张琪, 黄凌, 殷司佳, 王倩, 李红丽, 王杨君, 王军, 陈勇航, 李莉 (1158)
乌海市煤矿区及周边春季降尘污染特征及来源分析 …… 吴红璇, 史常青, 张艳, 赵廷宁, 胡平, 刘韵, 陈童 (1167)
长江中下游地区丰水期河、湖水氢氧同位素组成特征 …… 李静, 吴华武, 周永强, 赵中华, 王晓龙, 蔡永久, 贺斌, 陈雯, 孙伟 (1176)
伊洛河流域河水来源及水化学组成控制因素 …… 刘松韬, 张东, 李玉红, 杨锦媚, 邹霜, 王永涛, 黄兴宇, 张忠义, 杨伟, 贾保军 (1184)
城镇化进程中新疆塔城盆地浅层地下水化学演变特征及成因 …… 吕晓立, 刘景涛, 韩占涛, 周冰, 朱亮, 陈玺 (1197)
基于 Sentinel-2 MSI 影像的河湖系统水体悬浮物空间分异遥感监测:以安徽省升金湖与连接长江段为例 …… 王行行, 王杰, 崔玉环 (1207)
黄土高原高浑浊水体 CDOM 光学特性及影响因素 …… 梁晓文, 邵田田, 王涛 (1217)
人工强制混合充氧及诱导自然混合对水源水库水质改善效果分析 …… 温成成, 黄廷林, 李楠, 张海涵, 林子深, 李衍庆, 杨尚业, 董亚军 (1227)
滤速与水质对低温含铁锰氨地下水中氨去除的影响 …… 张杰, 梅宁, 刘孟浩, 叶雪松, 李冬 (1236)
太湖梅梁湾浮游动物群落结构长期变化特征(1997~2017年) …… 杨佳, 周健, 秦伯强, 权秋梅, 黎云祥 (1246)
汤旺河着生硅藻群落及其与环境因子的关系 …… 薛浩, 王业耀, 孟凡生, 郑丙辉, 张铃松, 程佩瑄 (1256)
盐龙湖水源生态净化系统 FG 和 MBFG 演替特征及水质响应性评价 …… 王莲, 李璇, 马卫星, 邹立航, 赵强强, 丁成, 吴向阳 (1265)
三峡库区石盘丘小流域氮磷输出形态及流失通量 …… 陈仕奇, 龙翼, 严冬春, 高明, 黎嘉成, 徐国鑫, 黄容 (1276)
化肥减量配施生物炭对紫色土坡耕地磷流失的影响 …… 罗东海, 王子芳, 龙翼, 严冬春, 徐国鑫, 李娇, 高明 (1286)
利用铁改性方解石作为活性覆盖材料控制水体内源磷的释放 …… 柏晓云, 林建伟, 詹艳慧, 常明玥, 辛慧敏, 吴俊麟 (1296)
茶渣生物炭制备及其对溶液中四环素的去除特性 …… 范世锁, 刘文浦, 王锦涛, 胡红梅, 杨伊宁, 周娜 (1308)
3种典型多孔高温改性固废材料对磺胺二甲嘧啶的吸附特性 …… 王静, 朱晓丽, 韩自玉, 胡健, 秦之瑞, 焦文涛 (1319)
新制和老化微塑料对多溴联苯醚的吸附 …… 徐鹏程, 郭健, 马东, 葛蔚, 周震峰, 柴超 (1329)
三峡库区支流汝溪河沉积物重金属空间分布及生态风险 …… 方志青, 王永敏, 王训, 谢德体, 王定勇 (1338)
固城湖及出入湖河道表层水体、沉积物和鱼体中有机氯农药分布及风险评估 …… 阚可聪, 谷孝鸿, 李红敏, 陈辉辉, 毛志刚, 曾庆飞 (1346)
衡水湖沉积物中典型持久性有机污染物污染特征与风险评估 …… 张嘉雯, 魏健, 吕一凡, 段亮, 刘利, 王俭, 孟淑锦 (1357)
北京某污水处理厂及受纳水体中典型有机磷酸酯的污染特征和风险评估 …… 张振飞, 吕佳佩, 裴莹莹, 王春英, 郭昌胜, 徐建 (1368)
基于短程反硝化厌氧氨氧化的低碳源城市污水深度脱氮特性 …… 马斌, 许鑫鑫, 高茂鸿, 委燕, 彭永臻 (1377)
PD-DPR 系统处理城市污水与高硝酸盐废水实现稳定亚硝酸盐积累和磷去除的特性 …… 王秋颖, 于德爽, 赵骥, 王晓霞, 袁梦飞, 巩秀珍, 楚光玉, 何彤晖 (1384)
中试 MBBR 反应器启动 CANON 工艺及其短程硝化 …… 付昆明, 杨宗玥, 廖敏辉, 靳怡然, 张晓航 (1393)
抗生素对耐药型反硝化菌反硝化过程及微生物群落结构的影响 …… 代莎, 李彭, 彭五庆, 刘玉学, 王拯, 何义亮, 沈根祥, 胡双庆 (1401)
多次进水-曝气的好氧颗粒污泥系统实验 …… 张杰, 王玉颖, 李冬, 刘志诚, 曹思雨 (1409)
剩余污泥碱性发酵产物对硝化过程及性能的影响 …… 邱圣杰, 刘瑾瑾, 李夕耀, 彭永臻 (1418)
硫酸盐对污泥高级厌氧消化过程中甲基汞迁移转化的影响 …… 何湘琳, 刘吉宝, 阴永光, 谭颖锋, 朱爱玲, 左壮, 高山, 解立平, 魏源送 (1425)
工业城市农田土壤重金属时空变异及来源解析 …… 李艳玲, 卢一富, 陈卫平, 杨阳, 蔡斌 (1432)
耕地土壤重金属健康风险空间分布特征 …… 姬超, 侯大伟, 李发志, 包广静, 邓爱萍, 沈红军, 孙华 (1440)
黄河三角洲盐碱土根际微环境的微生物多样性及理化性质分析 …… 赵娇, 谢慧君, 张建 (1449)
不同土地利用方式对土壤细菌分子生态网络的影响 …… 李冰, 李玉双, 魏建兵, 宋雪英, 史荣久, 侯永侠, 刘厶瑶 (1456)
红壤丘陵区土壤有机碳组分对土地利用方式的响应特征 …… 章晓芳, 郑生猛, 夏银行, 胡亚军, 苏以荣, 陈香碧 (1466)
有机肥与无机肥配施对潮土N_2O排放的影响 …… 孙赫阳, 万忠梅, 刘德燕, 廖霞, 丁维新 (1474)
冬小麦吸收重金属特征及与影响因素的定量关系 …… 王怡雯, 芮玉奎, 李中阳, 苏德纯 (1482)
钙镁磷肥对石灰、海泡石组配修复镉污染稻田土壤的影响 …… 鄢德梅, 郭朝晖, 黄凤莲, 冉洪珍, 张鹏 (1491)
桉树遗态磷灰石材料对铅污染土壤的钝化修复效应 …… 方雅莉, 朱宗强, 赵宁宁, 朱义年, 李超, 张立浩 (1498)
外源亚精胺对As^{5+}胁迫下水稻种子萌发和 As 吸收积累的影响 …… 刘书锦, 黄益宗, 保琼莉, 黄永春, 张盛楠, 韩廿, 刘玉荣, 胡红青 (1505)
《环境科学》征订启事(1024)　《环境科学》征稿简则(1092)　信息(1226, 1264, 1417)

环 境 科 学
Environmental Science
第41卷 第3期 2020年3月
Vol.41, No.3 Mar., 2020

红壤丘陵区土壤有机碳组分对土地利用方式的响应特征

章晓芳[1,2], 郑生猛[1,2], 夏银行[1,2], 胡亚军[1], 苏以荣[1], 陈香碧[1*]
(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 亚热带农业生态过程重点实验室, 长沙 410125; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 土地利用方式影响土壤有机碳(SOC)及其组分,进而决定了碳库的稳定性. 以林地为参照,分析我国红壤丘陵区农田(水田和旱地)SOC 及其活性组分[可溶性有机碳(DOC)、微生物生物量碳(MBC)和颗粒有机碳(POC)]和惰性组分[矿物结合态有机碳(MAOC)]含量,探讨土壤有机碳组分对土地利用方式的响应特征. 结果表明,与旱地和林地相比,水田 SOC、MBC、POC 和 MAOC 含量均为最高. DOC 含量以林地显著高于旱地和水田($P < 0.001$). SOC 各组分占 SOC 的比例,即 DOC/SOC、MBC/SOC、POC/SOC 和 MAOC/SOC 范围分别为 0.22% ~ 0.93%、1.62% ~ 2.70%、31.08% ~ 40.00% 和 43.22% ~ 56.82%. 活性组分(MBC 和 POC)含量与占比趋势一致,均以水田 > 林地 > 旱地. MAOC 含量以水田最高、旱地最低,MAOC/SOC 则以旱地最高、水田最低. 相关分析表明,水田、旱地和林地中 MBC、POC 和 MAOC 分别与 SOC 呈极显著正相关($P < 0.001$),而 DOC 与 SOC 及其它组分均无显著相关性($P > 0.05$); 旱地、林地中 POC 与 MBC 呈极显著正相关($P < 0.001$); 水田、旱地 MAOC 与 MBC 呈极显著正相关($P < 0.001$); 3 种土地利用方式下 POC 与 MAOC 呈极显著正相关($P < 0.001$),POC/MAOC 以水田最大,旱地最低. 因而,与旱地和林地相比,水田 SOC 的活性组分比例高、惰性组分比例低,且其活性组分 POC 与微生物生物量关系不紧密,而惰性组分与微生物生物量显著相关. 综上,农业利用显著改变红壤丘陵区土壤有机碳及其组成,水田虽有利于 SOC 固持,但其不稳定性组分占比较高,可能容易因不当耕作管理而丢失.

关键词: 红壤丘陵区; 水田; 旱地; 林地; 土壤有机碳(SOC); 有机碳组分
中图分类号: X144 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2020)03-1466-08 **DOI**: 10.13227/j.hjkx.201908218

Responses of Soil Organic Carbon Fractions to Land Use Types in Hilly Red Soil Regions, China

ZHANG Xiao-fang[1,2], ZHENG Sheng-meng[1,2], XIA Yin-hang[1,2], HU Ya-jun[1], SU Yi-rong[1], CHEN Xiang-bi[1*]
(1. Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Land use type exerts important influences on soil organic carbon (SOC) and its fractions, and determines the stability of the carbon pool. Taking woodland as a reference, the content of SOC and its labile fractions [dissolved organic carbon (DOC), microbial biomass carbon (MBC), and particulate organic carbon (POC)] and non-labile fractions [mineral-associated organic carbon (MAOC)] in upland and paddy surface soils in hilly red soil regions were determined to explore the responses of SOC fractions to land use type. The results showed that the contents of SOC, MBC, POC, and MAOC ranked highest in paddy compared with upland and woodland. DOC content in woodland was significantly higher than in upland and paddy ($P < 0.001$). The proportion of each SOC fraction, i. e. DOC/SOC, MBC/SOC, POC/SOC, and MAOC/SOC, was in the range of 0.22%-0.93%, 1.62%-2.70%, 31.08%-40.00%, and 43.22%-56.82%, respectively. The contents of labile fractions (MBC and POC) and their proportions (MBC/SOC and POC/SOC) were in the order of paddy > woodland > upland. MAOC content ranked the highest in paddy but the lowest in upland, while MAOC/SOC exhibited the opposite trend. The correlation suggested that the labile fractions (MBC and POC) and inert fraction (MAOC) were significantly positively correlated with SOC ($P < 0.001$) in the three land use types, while no significant correlations were found between DOC and SOC and its fractions ($P > 0.05$). There was a significant positive correlation between POC and MBC in upland and woodland ($P < 0.001$). POC was significantly positively correlated with MAOC in the three land use types ($P < 0.001$). MAOC and MBC in paddy and upland were significantly positively correlated ($P < 0.001$). Therefore, compared with upland and woodland, SOC in paddy had a higher proportion of labile SOC fraction, but a lower proportion of inert fraction. Moreover, MBC content in paddy was not related to the accumulation of the labile fraction of POC, but positively related to the accumulation of the inert fraction of MAOC. In summary, agricultural land uses have great influence on SOC and its fractions in hilly red soil regions. Though paddy is beneficial for SOC sequestration, the proportions of labile fractions in its SOC are relatively higher, and thus it is vulnerable to loss due to improper agricultural management.

Key words: hilly red soil regions; paddy; upland; woodland; soil organic carbon (SOC); soil organic carbon fractions

收稿日期: 2019-08-27; **修订日期**: 2019-10-31
基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0505503); 国家自然科学基金项目(41877035,41671298,41977100); 中国科学院亚热带农业生态研究所开放基金项目(ISA2017302)
作者简介: 章晓芳(1994 ~),女,硕士研究生,主要研究方向为土壤生态与农业环境,E-mail:zhangxiaofang17@mails.ucas.ac.cn
* 通信作者,E-mail:xbchen@isa.ac.cn

土壤有机碳(soil organic carbon,SOC)数量和质量决定土壤肥力状况、碳库稳定性,是评估土壤质量的重要指标[1]. 0.1%的 SOC 相当于我国北方旱区 0.8 $t \cdot hm^{-2}$的粮食生产力,相当于南方稻区 0.6 $t \cdot hm^{-2}$的粮食产量[2]. 同时,SOC 库容量分别是大气碳库和生物碳库的 2 倍和 3 倍,其微小变化将对全球碳循环产生重大影响[3]. 因而,维持和提高农田 SOC 含量对保障粮食安全和缓解气候变化具有重要意义.

根据 SOC 的稳定性差异,可将其分为活性和惰性组分[3]. 可溶性有机碳(dissolved organic carbon,DOC)、微生物生物量碳(microbial biomass carbon,MBC)和颗粒有机碳(particulate organic carbon,POC)等活性有机碳组分,可用于评估土壤碳库稳定性[4]. DOC 主要来源于植物凋落物、根系分泌物、腐殖质和微生物[3],仅占 SOC 的 0.04%~0.22%,却是土壤微生物重要的能源[5]. MBC 是指土壤中体积 <5~105 μm^3 活的和死的微生物(细菌、真菌和藻类)及动物体内所含的碳[6],一般占 SOC 的 1%~5%,是土壤中较活跃和易变化的部分[7,8]. POC 是指粒径 >53 μm 未受保护的有机部分和与土壤团聚体结合有机物中的碳[9],是新鲜动植物残体和腐殖化有机物之间过渡的有机碳库,具有较高的 C/N 值,周转时间 5~20 a[10,11]. 土壤惰性有机碳组分即矿物结合态有机碳(mineral associated organic carbon,MAOC),是指土壤中粒径 <53 μm 与黏粉粒结合的有机碳,主要是由黏粉粒通过配位交换、阳离子共价键、氢键和范德华力等作用吸附形成[3,12]. 与 POC 相比,MAOC 具有较低的 C/N 值,相对稳定,周转时间较 DOC、MBC 和 POC 长[13]. 在一定程度上,MAOC 可用于表征 SOC 抗分解能力及微生物利用难易程度[3]. 因此,深入认识 SOC 组成特征是解析土壤碳库稳定性及其固碳机制的关键.

我国南方红壤丘陵区地域广阔,自然条件优越,是重要的粮食及经济作物产区. 该区农业利用方式以水田和旱地为主[14]. 两种土地利用方式下有机物料输入的数量和质量及其在土壤中的转化过程迥异,进而影响 SOC 形成和积累[15]. 基于小样本的研究表明,红壤丘陵区水田表层土壤的缓效性碳库和惰性碳库均显著高于旱地[16],且稻田土壤中外源秸秆的分解产物向 POC、铁铝结合态有机碳和 MBC 的分配比例高于旱地[17]. 基于长期定位施肥试验的研究表明,红壤旱地大团聚体和黏粉粒(<53 μm)中的有机碳含量显著低于稻田[18]. 显然,稻田土壤比旱地具有更大的固碳潜力,但对于两种土地利用方式下的固碳机制和调控措施认识仍存在不足. 并且,以往研究大多基于定位试验、县域和流域尺度的调研[16~20],从区域尺度研究有机碳组分还较为缺乏. 本研究拟从区域尺度,基于配对原则采集红壤丘陵区农田(水田和旱地)及其邻近林地表层 0~15 cm 土壤,重点分析 3 种土地利用方式下 SOC 及其不同稳定性组分(DOC、MBC、POC 和 MAOC)的含量,阐明 SOC 及其各组分间的关系,揭示 SOC 及其组分对土地利用方式的响应机制,以期为该区土地利用的科学优化管理提供参考依据.

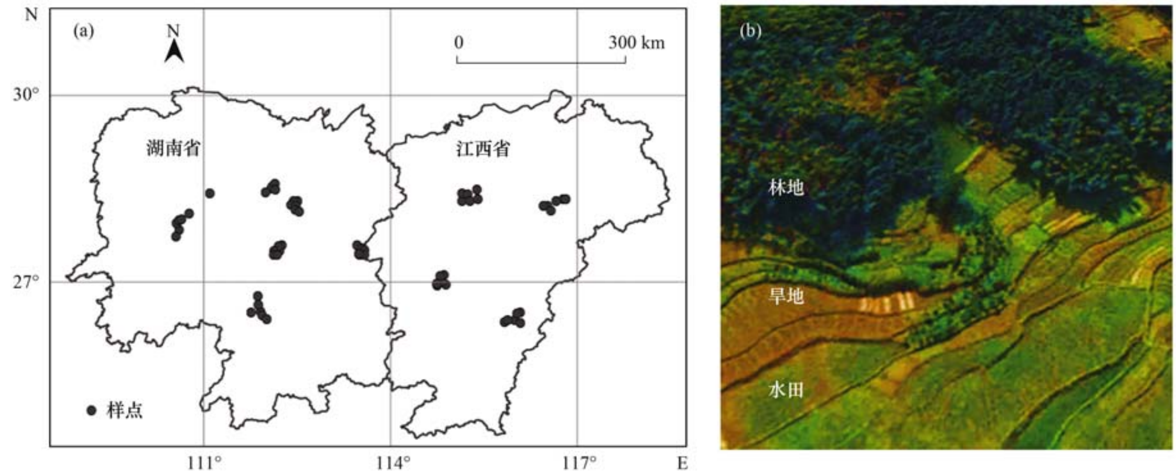
1　材料与方法

1.1　研究区域概况

红壤丘陵区属中亚热带季风气候,春夏多雨且集中,秋冬少雨干旱,年均温 14~16℃,年均降雨量 1 500~1 600 mm. 土壤母质主要有第四纪红色黏土、花岗岩和玄武岩等,质地较为黏重. 湖南和江西是南方红壤丘陵区代表性省份,其境内面积分别为 20.4 万 km^2 和 16.7 万 km^2[21,22]. 本研究选取湖南和江西共 10 个县,分别为鼎城、高安、东乡、宁都、吉安、双峰、祁阳、溆浦、醴陵和宁乡. 采样区位于 110°33′~116°49′E, 26°20′~28°31′N,平均海拔 200~500 m. 水田为双季稻(早稻:4 月下旬至 7 月中下旬; 晚稻:7 月下旬至 10 月中旬); 旱地主要种植油菜(*Brassica campestris*)、红薯(*Ipomoea batatas*)、大豆(*Glycine max*)、花生(*Arachis hypogaea*)等;林地为次生林,所选林地林龄均为 20 a 以上,优势树种有樟树(*Cinnamomum camphora*)、青冈栎(*Cyclobalanopsis jenseniana*)、马尾松(*Pinus massoniana*)和杉木(*Cunninghamia lanceolata*)等.

1.2　样品采集与处理

采样于 2016 年 12 月至 2017 年 1 月休耕季进行,每个县内选择 6 个样区,每个样区选择水田、旱地和林地 3 种土地利用方式. 为确保土地利用方式间具有可比性,所选样区的水田、旱地和林地相距不超过 500 m,尽量保证 3 种土地利用方式下的气候因子、成土母质一致. 每种土地利用方式选择代表性地块(面积 >100 m^2),随机布设 5~7 个点,按"S"型路线,采集表层(0~15 cm)土壤,剔除石头和动植物残体等杂物后混匀为一个土壤样品,共计 180 个样品. 带回实验室后,采用四分法将土样分成两份,一份自然风干,研磨分别过 2 mm 和 0.149 mm 筛,用于分析 SOC、POC 和 MAOC. 另一份置于 4℃冰箱,用于测定 MBC 和 DOC,且于样品采集后两个月内完成. 采集样品的同时,记录每个样点的地理坐标、植被类型和土地利用方式等基本信息. 基于 ArcGIS 10.5 绘制样点地理坐标,样点分布见图 1.



(b)为(a)中一个样区的林地、旱地和水田分布位置

图 1　研究区域采样分布示意

Fig. 1　Distribution of soil sampling in the study zone

1.3　土壤指标测定方法

SOC 含量采用重铬酸钾外加热法测定[23].

MBC 和 DOC 含量测定采用氯仿-K_2SO_4 浸提法[24]. 操作如下:称取两份 20.00 g 新鲜土样,分别做熏蒸与不熏蒸处理. 将进行熏蒸处理的土样放入干燥器中,将盛有 50 mL 左右的去乙醇氯仿的小烧杯(烧杯置沸石,防止暴沸)置于干燥器中. 对干燥器抽真空,直至氯仿沸腾 10 min 以上,然后关闭干燥器阀门,将其置于 25℃ 暗处理 24 h. 暗处理结束后对干燥器再次抽真空,直至无氯仿气味. 向未熏蒸与熏蒸土样分别加入 80 mL 0.5 $mol·L^{-1}$ K_2SO_4 溶液(土水比 1:4), 180 $r·min^{-1}$振荡 60 min 后于中速滤纸过滤. 岛津 TOC-5050A 有机碳分析仪测定滤液中有机碳含量. MBC 以熏蒸土壤与未熏蒸土壤浸提液有机碳含量差值除以转换系数 0.45. 以未熏蒸土壤浸提液有机碳含量作为 DOC.

POC 和 MAOC 含量测定参照 Cambardell 等[25]和沈艳等[26]的方法,操作如下:称取过 2 mm 筛的风干土样 10.00 g 于 100 mL 离心管中,向其中加入 50 mL　5 $g·L^{-1}$六偏磷酸钠溶液,以 90 $r·min^{-1}$连续振荡 18 h,将分散后的悬浊液过 53 μm 筛,用去离子水反复冲洗至筛下呈无色,将筛上和筛下内容物分别于 60℃ 烘干,其中筛上部分为颗粒有机物,筛下部分为矿物结合态有机物. 将两组分分别研磨过 0.149 mm 筛,以重铬酸钾外加热法测定组分中有机碳含量. 土壤中 POC、MAOC 含量及占 SOC 比例(%)计算公式如下:

$$\text{POC 含量}(g \cdot kg^{-1}) = \text{颗粒有机物中有机碳含量}(g \cdot kg^{-1}) \times \frac{\text{颗粒有机物质量(g)}}{\text{土壤质量(g)}} \times 100$$

$$\text{POC 占 SOC 比例}(\%) = \frac{\text{POC 含量}}{\text{SOC 含量}} \times 100$$

MAOC 含量计算将上述 POC 替换为 MAOC 即可,有机碳组分(DOC、MBC 和 MAOC)占 SOC 的比例计算与 POC 相同.

1.4　数据处理统计分析

利用 Excel 2016、SPSS 22.0 和 R 语言对数据进行处理及统计分析. 基于 SPSS 对不同土地利用方式下 SOC 及其组分含量和占比进行配对 *T* 检验($\alpha = 0.05$),运用 R 语言 corrplot[27] 和 psych 包[28]对 SOC 及其各组分进行相关矩阵计算,利用线性拟合描述 SOC 及其各组分间的相关性. 箱图在 SigmaPlot 14.0 中绘制.

2　结果与分析

2.1　不同土地利用方式下有机碳含量特征

3 种土地利用方式下 SOC 平均含量表现为:水田(22.40 $g·kg^{-1}$) > 林地(16.74 $g·kg^{-1}$) > 旱地(11.56 $g·kg^{-1}$)($P < 0.001$); 林地和旱地 SOC 含量分别比水田低 25.56% 和 48.62%. 3 种土地利用方式下,SOC 变化范围为 3.16 ~ 74.07 $g·kg^{-1}$; 林地变异系数最大,其次是水田,旱地最小(表 1).

2.2　土地利用方式对不同有机碳组分的影响

DOC 平均含量表现为:林地(141.81 $mg·kg^{-1}$) > 旱地(85.89 $mg·kg^{-1}$) > 水田(44.65 $mg·kg^{-1}$)($P < 0.001$)[图 2(a)]; 水田、旱地和林地中 DOC 占 SOC 的比例(DOC/SOC)分别为 0.22%、0.78% 和 0.93%, 以水田显著低于旱地和林地($P < 0.001$),旱地和林地间差异不显著($P > 0.05$)[图 2(e)].

MBC 平均含量趋势与 SOC 一致: 以水田

表 1 不同土地利用方式下土壤有机碳含量的描述性统计1)

Table 1 Descriptive statistics of the content of soil organic carbon for different land use types

土地利用方式	最小值 /g·kg^{-1}	最大值 /g·kg^{-1}	均值±标准差 /g·kg^{-1}	中值 /g·kg^{-1}	变异系数
水田	3.16	44.30	22.40±0.99 a	21.14	0.31
旱地	5.05	19.40	11.56±0.42 c	11.83	0.25
林地	6.04	74.07	16.74±1.40 b	15.20	0.58

1)不同小写字母表示各土地利用方式间差异显著($P<0.001$)

(610.84 mg·kg^{-1})>林地(301.87 mg·kg^{-1})>旱地(188.86 mg·kg^{-1})($P<0.001$)[图 2(b)]；其占 SOC 的比例(MBC/SOC)以水田(2.70%)>旱地(1.98%)>林地(1.62%)($P<0.01$)[图 2(f)].

POC 平均含量表现为水田(9.29 g·kg^{-1})>林地(5.28 g·kg^{-1})>旱地(3.51 g·kg^{-1})($P<0.001$)[图 2(c)]；水田、旱地及林地中 POC 占 SOC 比例(POC/SOC)分别为 40.00%、31.08% 和 32.57%,水田显著高于旱地和林地($P<0.001$),后两者差异不显著($P>0.05$)[图 2(g)].

MAOC 平均含量表现与 POC 和 SOC 一致:水田(11.46 g·kg^{-1})>林地(6.81 g·kg^{-1})和旱地(6.54 g·kg^{-1})($P<0.001$),林地和旱地间差异不显著($P>0.05$)[图 2(d)]；其占 SOC 的比例(MAOC/SOC)以旱地(56.82%)>水田(47.36%)>林地(43.22%)($P<0.05$)[图 2(h)].

2.3 不同土地利用方式下有机碳及其各组分间关系

3 种土地利用方式下 SOC 分别与 MBC、POC 和 MAOC 呈显著正相关($P<0.05$)；水田、旱地和林地 DOC 与 SOC、MBC、POC 和 MAOC 均无显著相关性($P>0.05$)；水田和旱地 MBC 与 MAOC 呈显著正相关($P<0.05$),而林地未表现显著相关性($P>0.05$)；旱地和林地 MBC 与 POC 呈极显著正相关($P<0.001$),水田则无显著相关($P>0.05$)；水田、旱地和林地 POC 与 MAOC 呈极显著正相关($P<0.001$)(图 3). POC 与 MAOC 的线性拟合关系表明(图 4),水田 POC/MAOC 斜率(0.74)最大,其次是林地(0.51),旱地(0.23)最小.

3 讨论

3.1 土地利用方式对土壤有机碳及其组分的影响

SOC 主要来源于植物凋落物和微生物残体及其分泌物和根系凋落物及其沉积物[29]. 本研究,红壤丘陵区水田 SOC 含量显著高于林地和旱地,旱地最低(表 1),这与王小利等[30]在广西红壤上的研究结果一致. 由于水稻生长季长期处于淹水条件,水田土壤微生物活性较低,会抑制 SOC 分解[31]；而旱地表层土壤长期处于好氧条件,微生物活性较高,加速 SOC 分解[32]. 此外,稻作系统水稻秸秆的生物量及其根系分泌物一般高于旱作系统(油菜、红薯)等,其外源碳输入以水田大于旱地[30]. 本研究以次生林为参照,其通过凋落物、根系分泌物等途径的碳输入量不高,甚至低于水田[33].

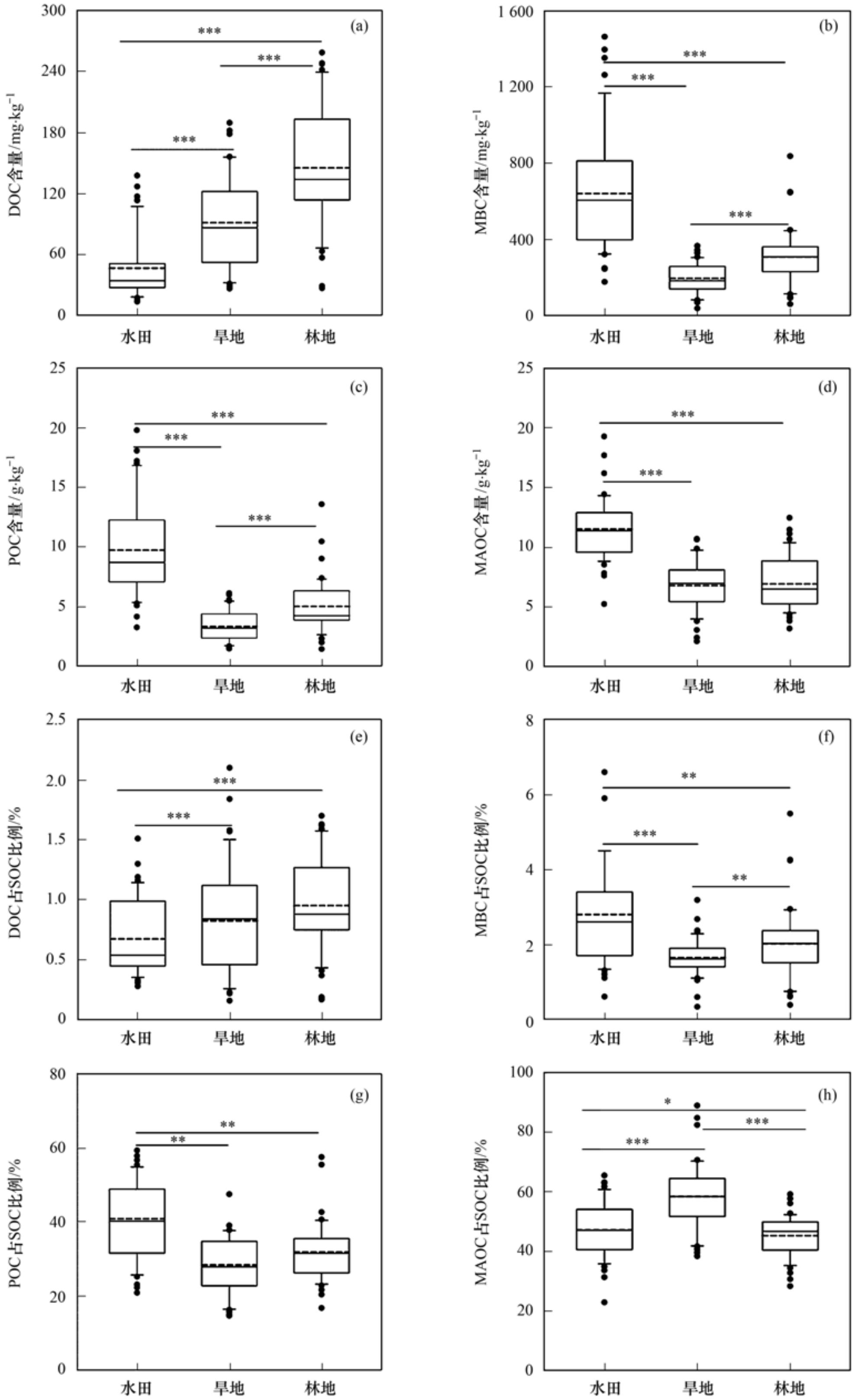
DOC 和 MBC 是表征土壤活性碳库的重要指标,虽然其只占土壤碳库很小一部分,却在土壤物质转化和养分循环中发挥重要作用[3,7]. 本研究区内,3 种土地利用方式下 DOC 含量与 SOC 不一致,说明 DOC 易受立地条件的影响,不能较好反映 SOC 状态. DOC 含量以水田最低[图 2(a)],可能是因为水田表面上覆水中含有一定可溶性有机物[34],且其易随水迁移而流失[35],而本研究未考虑此部分.

本研究区内,MBC 含量呈水田最高、林地次之和旱地最低趋势[图 2(b)]. 这与以往在红壤丘陵区的研究结果一致[14,30],整合分析结果显示,双季稻作系统地下碳输入量约为旱地的 2~3 倍[36],而充足的碳源输入可为微生物的繁殖提供能源[37]. 研究区内,MBC 占比以水田最高[图 2(f)]. MBC/SOC 大小可用于指示 SOC 活性,其值越大表明土壤 SOC 活性越高[38]. 因此,与旱地和林地相比,水田土壤 SOC 的活性较高、稳定性较低,微生物活性较高,在一定条件下容易被微生物分解和利用.

本研究,3 种土地利用方式下 SOC 组分中 POC 占比 31.08%~40.00%, MAOC 占比 43.22%~56.82%,说明该区农田和林地土壤中的 SOC 以矿物结合态结合的稳定有机碳组分较高. 此外,POC 含量、POC 占 SOC 的比例均表现为水田>林地>旱地(图 2). 即 3 种土地利用方式下,水田 SOC 含量高,其活性组分的相对比例最高、而惰性组分比例较低,这可能是水田淹水状态下 SOC 的物理、化学和生物保护过程较弱[39],植物残体直接被保留下来的活性组分比例高于旱地和林地. 这也反映了水田土壤 SOC 总体稳定性较弱,易受人为干扰(如水旱轮作)而丢失. 相对而言,旱地和林地土壤在好氧条件下,微生物活性高,植物残体的分解程度较高,保留在土壤中的碳的活性组分较低、惰性组分较高. 这种趋势尤以人为干扰最为强烈的旱地土壤最为明显.

3.2 土壤有机碳及其组分间的关系

水田、旱地和林地 3 种土地利用方式下,SOC

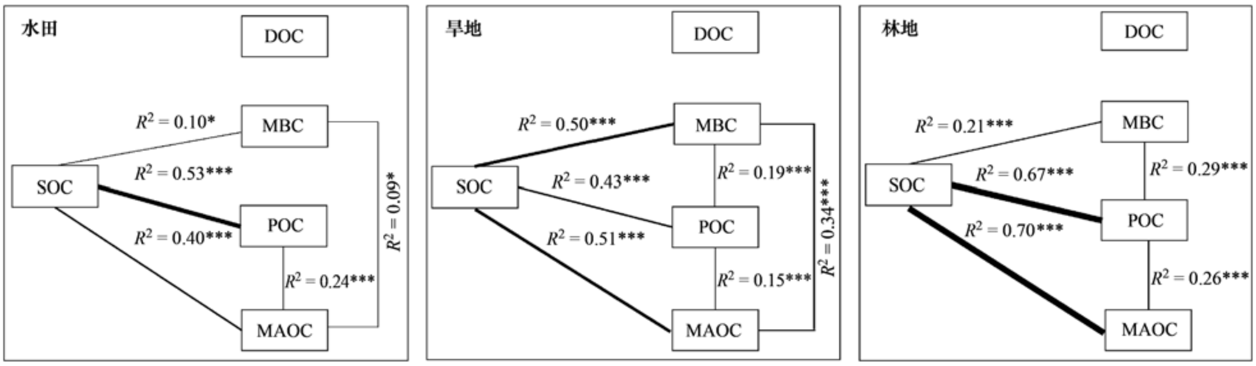


"*"、"**"、"***"分别表示在 $P<0.05$、$P<0.01$ 和 $P<0.001$ 水平达显著性水平,下同

图 2 不同土地利用方式下 SOC 各组分含量及占 SOC 比例

Fig. 2 Contents of SOC fractions and their proportions of SOC for different land use types

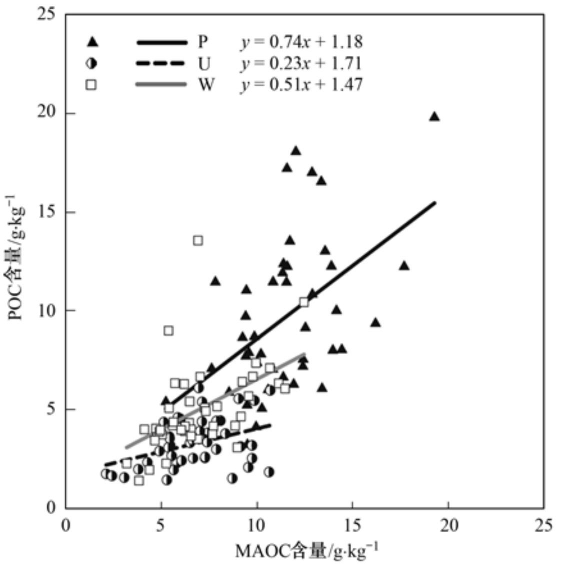
与活性组分中的 POC、MBC 呈极显著正相关(图 3). 3 种土地利用方式下,DOC 与 SOC 和其它组分均无显著相关(图 3). 由于 DOC 易受气候因子(温度、降水)、土壤理化性质和人为活动等诸多因素影响,变化迅速且响应机制较为复杂[40],因而 DOC 不宜作为红壤丘陵区 SOC 变化的关键指标.



图中线仅连接了具有显著相关性，无显著相关性($P > 0.05$)的未连接；线上的 R^2 表示相关系数，线的粗细表示相关程度的大小

图 3　不同土地利用方式下土壤有机碳及其各组分之间相关性

Fig. 3　Correlation between different soil organic carbon fractions for different land use types



P、U 和 W 分别代表水田、旱地和林地

图 4　不同土地利用方式下 POC 与 MAOC 线性拟合关系

Fig. 4　Linear relationship between POC and MAOC for different land use types

研究区内，水田 POC 与 MBC 无显著相关，而旱地和林地中二者显著正相关. 这再次反映了水田土壤中活性有机碳组分 POC 与 MBC 关系不紧密，而旱地和林地 POC 与 MBC 密切相关. 与之对应，水田、旱地的 MBC 与 MAOC 呈显著正相关，而林地未表现相关性(图 3)，表明水田和旱地的惰性有机碳组分与微生物生物量密切相关. 本课题组前期的研究结果显示，水田土壤中微生物以残留物(氨基糖)形式对碳固持有重要贡献[41]. 有研究表明，土壤黏粒中的稳定碳组分主要来源于微生物源代谢产物[42]，因而较高的微生物量可有利于 MAOC 形成. 此外，3 种土地利用方式下 POC 与 MAOC 均呈显著正相关(图 3). 在自然土壤中，植物残体与其它物质结合进入大团聚体，形成粗颗粒有机碳，进一步经分解和破碎，成为细颗粒有机碳，进而被黏土矿物和微生物黏液包裹，形成新微团聚体核心[43]，因而 POC 与 MAOC 间存在转化过程. 在一定程度上，POC/MAOC 可用于反映 SOC 的稳定性大小，即 POC/MAOC 值越大则 SOC 越不稳定[44]. 本研究，该比值以水田最高，旱地最低(图 4). 再次说明，水田 SOC 活性较高，而旱地 SOC 组分较为稳定.

4　结论

(1)红壤丘陵区土地利用方式影响 SOC 及其组成. 水田、旱地和林地这 3 种土地利用方式下，水田 SOC 含量最高，但其惰性组分 MAOC 比例较低、活性有机碳组分(MBC 和 POC)比例较高. 相反，旱地 SOC 含量较低，但其惰性组分比例高、活性组分比例低. 水田由于长期淹水抑制微生物对 SOC 的分解，有利于 SOC 增加总库存，但其 SOC 中不稳定组分相对较高，可能容易受人为干扰而损失.

(2)水田土壤中活性有机碳组分(POC)与 MBC 关系不紧密，旱地和林地 POC 均与 MBC 密切相关；水田和旱地土壤中惰性有机碳组分(MAOC)与 MBC 关系密切，而林地与 MBC 关系不密切. 因此，旱地、林地土壤中 POC 及水田和旱地土壤中 MAOC 的库存可能易受微生物活动调控.

参考文献：

[1]　Bongiorno G, Bünemann E K, Oguejiofor C U, *et al*. Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe[J]. Ecological Indicators, 2019, **99**: 38-50.

[2]　潘根兴, 赵其国. 我国农田土壤碳库演变研究：全球变化和国家粮食安全[J]. 地球科学进展, 2005, **20**(4): 384-393. Pan G X, Zhao Q G. Study on evolution of organic carbon stock in agricultural soils of China: facing the challenge of global change and food security[J]. Advances in Earth Science, 2005, **20**(4): 384-393.

[3]　Ramesh T, Bolan N S, Kirkham M B, *et al*. Soil organic carbon dynamics: impact of land use changes and management practices: a review[A]. In: Sparks D L (Ed.). Advances in Agronomy[M]. Amsterdam: Elsevier, 2019.

[4]　Haynes R J. Labile organic matter as an indicator of organic

matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000, **32**(2): 211-219.

[5] 李太魁, 朱波, 王小国, 等. 土地利用方式对土壤活性有机碳含量影响的初步研究[J]. 土壤通报, 2013, **44**(1): 46-51.
Li T K, Zhu B, Wang X G, *et al*. Effects of land use on the contents of soil active organic carbon[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2013, **44**(1): 46-51.

[6] Anderson T H, Domsch K H. Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1990, **22**(2): 251-255.

[7] Li Y, Wu J S, Liu S L, *et al*. Is the C:N:P stoichiometry in soil and soil microbial biomass related to the landscape and land use in southern subtropical China? [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2012, **26** (4): GB4002, doi: 10.1029/2012GB004399.

[8] Wardle D A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil [J]. Biological Reviews, 1992, **67**(3): 321-358.

[9] Chan K Y, Heenan D P, Oates A. Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management[J]. Soil and Tillage Research, 2002, **63**(3-4): 133-139.

[10] Chan K Y. Soil particulate organic carbon under different land use and management[J]. Soil Use and Management, 2001, **17**(4): 217-221.

[11] 彭新华, 张斌, 赵其国. 土壤有机碳库与土壤结构稳定性关系的研究进展[J]. 土壤学报, 2004, **41**(4): 618-623.
Peng X H, Zhang B, Zhao Q G. A review on relationship between soil organic carbon pools and soil structure stability[J]. Acta Pedologica Sinica, 2004, **41**(4): 618-623.

[12] 蔡岸冬, 张文菊, 杨品品, 等. 基于 Meta-Analysis 研究施肥对中国农田土壤有机碳及其组分的影响[J]. 中国农业科学, 2015, **48**(15): 2995-3004.
Cai A D, Zhang W J, Yang P P, *et al*. Effect degree of fertilization practices on soil organic carbon and fraction of croplands in China-based on Meta-Analysis [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, **48**(15): 2995-3004.

[13] Feng W T, Plante A F, Aufdenkampe A K, *et al*. Soil organic matter stability in organo-mineral complexes as a function of increasing C loading[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2014, **69**: 398-405.

[14] Wu J S, Zhou P, Li L, *et al*. Restricted mineralization of fresh organic materials incorporated into a subtropical paddy soil[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, **92**(5): 1031-1037.

[15] Yan X, Zhou H, Zhu Q H, *et al*. Carbon sequestration efficiency in paddy soil and upland soil under long-term fertilization in southern China[J]. Soil and Tillage Research, 2013, **130**: 42-51.

[16] 孟静娟, 史学军, 潘剑君, 等. 农业利用方式对土壤有机碳库大小及周转的影响研究[J]. 水土保持学报, 2009, **23**(6): 144-148.
Meng J J, Shi X J, Pan J J, *et al*. Effects of agricultural land use types on soil organic carbon pool size and turnover[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2009, **23**(6): 144-148.

[17] 王玉竹, 周萍, 王娟, 等. 亚热带几种典型稻田与旱作土壤中外源输入秸秆的分解与转化差异[J]. 生态学报, 2017, **37**(19): 6457-6465.
Wang Y Z, Zhou P, Wang J, *et al*. Decomposition and transformation of input straw in several typical paddy and upland soils in subtropical China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, **37**(19): 6457-6465.

[18] Liu K L, Huang J, Li D M, *et al*. Comparison of carbon sequestration efficiency in soil aggregates between upland and paddy soils in a red soil region of China [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2019, **18**(6): 1348-1359.

[19] Xie X L, Wang W, Tian W W, *et al*. Waterlogging accelerates the loss of soil organic carbon from abandoned paddy fields in the hilly terrain in subtropical China[J]. Scientific Reports, 2017, **7**: 14549.

[20] 胡尧, 李懿, 侯雨乐. 岷江流域不同土地利用方式对土壤有机碳组分及酶活性的影响[J]. 生态环境学报, 2018, **27**(9): 1617-1624.
Hu Y, Li Y, Hou Y L. The variation of soil organic carbon fractions and soil enzyme activity of different land use types in Minjiang River valley[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2018, **27**(9): 1617-1624.

[21] 魏文学, 谢小立, 秦红灵, 等. 促进南方红壤丘陵区农业可持续发展的复合农业生态系统长期观测研究[J]. 中国科学院院刊, 2019, **34**(2): 231-243.
Wei W X, Xie X L, Qin H L, *et al*. Long-term observational studies of complex agro-ecosystem promotes agricultural sustainable development in hilly red soil region of south China [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2019, **34**(2): 231-243.

[22] 孟丽红, 叶志平, 袁素芬, 等. 江西省2007-2011年水资源生态足迹和生态承载力动态特征[J]. 水土保持通报, 2015, **35**(1): 256-261.
Meng L H, Ye Z P, Yuan S F, *et al*. Dynamic characteristics of ecological footprint and ecological carrying capacity of water resources in Jiangxi Province during 2007-2011[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2015, **35**(1): 256-261.

[23] 鲍士旦. 土壤农业化学分析[M]. (第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000. 30-34.

[24] Wu J, Joergensen R G, Pommerening B, *et al*. Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction—an automated procedure[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1990, **22**(8): 1167-1169.

[25] Cambardella C A, Elliott E T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, **56**(3): 777-783.

[26] 沈艳, 傅瓦利, 蓝家程, 等. 岩溶山地不同土地利用方式土壤颗粒有机碳和矿物结合态有机碳的分布特征[J]. 水土保持研究, 2012, **19**(6): 1-6.
Shen Y, Fu W L, Lan J C, *et al*. Distribution characteristics of soil particulate organic carbon and mineral-associated organic carbon of different land use in Karst mountain[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, **19**(6): 1-6.

[27] Wei T Y, Simko V, Levy M, *et al*. Package 'corrplot'[J]. Statistician, 2017, **56**: 316-324.

[28] Revelle W. Psych: procedures for psychological, psychometric, and personality research [M]. Evanston, Illinois, USA: Northwestern University, 2019.

[29] Kögel-Knabner I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter: fourteen years on[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2017, **105**: A3-A8.

[30] 王小利, 苏以荣, 黄道友, 等. 土地利用对亚热带红壤低山区土壤有机碳和微生物碳的影响[J]. 中国农业科学, 2006, **39**(4): 750-757.

Wang X L, Su Y R, Huang D Y, *et al*, Effects of land use on soil organic C and microbial biomass C in hilly red soil region in subtropical China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, **39**(4): 750-757.

[31] 罗东海, 王子芳, 陆畅, 等. 缙云山不同土地利用方式下土壤植硅体碳的含量特征[J]. 环境科学, 2019, **40**(9): 4270-4277.
Luo D H, Wang Z F, Lu C, *et al*. Content of soil phytolith-occluded organic carbon in different land use patterns at Jinyun mountain[J]. Environmental Science, 2019, **40**(9): 4270-4277.

[32] 周莉, 李保国, 周广胜. 土壤有机碳的主导影响因子及其研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, **20**(1): 99-105.
Zhou L, Li B G, Zhou G S. Advances in controlling factors of soil organic carbon[J]. Advances in Earth Science, 2005, **20**(1): 99-105.

[33] 刘欢瑶, 周萍, 朱捍华, 等. 红壤丘陵景观土地利用变化对稻田土壤有机碳储量的影响[J]. 农业现代化研究, 2012, **33**(3): 359-362.
Liu H Y, Zhou P, Zhu H H, *et al*. Effect of land use change on topsoil organic carbon storage of paddy soil in a hilly landscape of red earth region[J]. Research of Agricultural Modernization, 2012, **33**(3): 359-362.

[34] Guo J, Zhang M Q, Zhang L, *et al*. Responses of dissolved organic carbon and dissolved nitrogen in surface water and soil to CO_2 enrichment in paddy field[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2011, **140**(1-2): 273-279.

[35] 白潇, 张世熔, 钟钦梅, 等. 中国东部区域土壤活性有机碳分布特征及其影响因素[J]. 生态环境学报, 2018, **27**(9): 1625-1631.
Bai X, Zhang S R, Zhong Q M, *et al*. Distribution and influencing factors of soil labile organic carbon among the east area of China[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2018, **27**(9): 1625-1631.

[36] Liu Y L, Ge T D, Zhu Z K, *et al*. Carbon input and allocation by rice into paddy soils: a review[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2019, **133**: 97-107.

[37] Spohn M, Klaus K, Wanek W, *et al*. Microbial carbon use efficiency and biomass turnover times depending on soil depth-Implications for carbon cycling[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2016, **96**: 74-81.

[38] 唐国勇, 李昆, 孙永玉, 等. 干热河谷不同利用方式下土壤活性有机碳含量及其分配特征[J]. 环境科学, 2010, **31**(5): 1365-1371.
Tang G Y, Li K, Sun Y Y, *et al*. Soil labile organic carbon contents and their allocation characteristics under different land uses at Dry-hot valley[J]. Environmental Science, 2010, **31**(5): 1365-1371.

[39] Sun Y N, Huang S, Yu X C, *et al*. Differences in fertilization impacts on organic carbon content and stability in a paddy and an upland soil in subtropical China[J]. Plant and Soil, 2015, **397**(1-2): 189-200.

[40] 刘荣杰, 李正才, 王斌, 等. 浙西北丘陵地区次生林与杉木林土壤水溶性有机碳季节动态[J]. 生态学杂志, 2013, **32**(6): 1385-1390.
Liu R J, Li Z C, Wang B, *et al*. Seasonal dynamics of soil water-soluble organic carbon in secondary forests and Chinese fir plantations in hilly region of northwest Zhejiang Province, East China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, **32**(6): 1385-1390.

[41] Xia Y H, Chen X B, Hu Y J, *et al*. Contrasting contribution of fungal and bacterial residues to organic carbon accumulation in paddy soils across eastern China[J]. Biology and Fertility of Soils, 2019, **55**(8): 767-776, doi: 10.1007/s00374-019-01390-7.

[42] von Lützow M, Kögel-Knabner I, Ekschmitt K, *et al*. SOM fractionation methods: relevance to functional pools and to stabilization mechanisms[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, **39**(9): 2183-2207.

[43] 陈建国, 田大伦, 闫文德, 等. 土壤团聚体固碳研究进展[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, **31**(5): 74-80.
Chen J G, Tian D L, Yan W D, *et al*. Progress on study of carbon sequestration in soil aggregates[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2011, **31**(5): 74-80.

[44] Fang H J, Cheng S L, Yu G R, *et al*. Nitrogen deposition impacts on the amount and stability of soil organic matter in an alpine meadow ecosystem depend on the form and rate of applied nitrogen[J]. European Journal of Soil Science, 2014, **65**(4): 510-519.

HUANJING KEXUE Vol. 41 No. 3
Environmental Science (monthly) Mar. 15, 2020

CONTENTS

Evolution of the Distribution of $PM_{2.5}$ Concentration in the Yangtze River Economic Belt and Its Influencing Factors …… HUANG Xiao-gang, ZHAO Jing-bo, CAO Jun-ji, *et al.* (1013)
Chemical Characteristics and Source Apportionment of Water-Soluble Ions in Atmosphere Aerosols over the East China Sea Island During Winter and Summer …… FANG Yan, CAO Fang, FAN Mei-yi, *et al.* (1025)
Analysis of Chemical Components and Sources of $PM_{2.5}$ During Autumn and Winter in Yangquan City …… WANG Cheng, YAN Yu-long, XIE Kai, *et al.* (1036)
Chemical Compositions and Sources of *n*-Alkanes and Saccharides in $PM_{2.5}$ from Taian City During the Summer …… YI Ya-nan, HOU Zhan-fang, YANG Qian-cai, *et al.* (1045)
Physical and Chemical Characteristics of Atmospheric Particles in Autumn in Mt. Huangshan …… BIAN Yi-shu, YIN Yan, WANG Hong-lei, *et al.* (1056)
Characteristics of Aerosol Optical Depth in the Urban Area of Beibei and Its Correlation with Particle Concentration …… ZENG Wei, HAO Qing-ju, ZHAO Zhong-jing, *et al.* (1067)
Emission Characteristics of Volatile Organic Compounds from Typical Industries in Zibo …… WANG Yu-yan, WANG Xiu-yan, DU Miao, *et al.* (1078)
Analysis of Pollution Characteristics and Sources of Atmospheric VOCs in Ezhou City …… FU Yu-meng, YANG Hong-gang, LU Min-yu, *et al.* (1085)
Producing Coefficients and Emission Coefficients of Volatile Organic Compounds from the Automobile Manufacturing Industry in Zhejiang Province …… TENG Fu-hua, YANG Zhong-ping, DONG Shi-bi, *et al.* (1093)
Pollution Characteristics of Volatile Organic Compounds Emission from the Metal Packaging Industry Based on Analysis of Process …… WANG Di, NIE Lei, ZHAO Wen-juan, *et al.* (1099)
Profile Characteristics of VOCs from Wood and Economic Crop Burning …… NIU Zhen-zhen, KONG Shao-fei, YAN Qin, *et al.* (1107)
Accounting Methods of VOCs Emission Associated with Production Processes in a Fine Chemical Industrial Park …… YE Han-yun, TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun (1116)
HONO Observation and Assessment of the Effects of Atmospheric Oxidation Capacity in Changzhou During the Springtime of 2017 …… SHI Xiao-wen, GE Yi-feng, ZHANG Yu-chan, *et al.* (1123)
Analysis of Activity and Its Emissions Trend for Construction Equipment in China …… PANG Kai-li, ZHANG Kai-shan, MA Shuai, *et al.* (1132)
Air Pollutant Emission Inventory from LTO Cycles of Aircraft in the Beijing-Tianjin-Hebei Airport Group, China …… HAN Bo, KONG Wei-kai, YAO Ting-wei, *et al.* (1143)
Particle Size Distribution of PM Emission from In-use Gasoline and Diesel Vehicles …… WANG Rui-ning, HU Qing-yao, REN Hong-juan, *et al.* (1151)
Impact of Parameterization on the Estimation of Ammonia Emissions: A Case Study over the Yangtze River Delta …… ZHANG Qi, HUANG Ling, YIN Si-jia, *et al.* (1158)
Characteristics and Source Apportionment of Dustfall Pollution in the Coal Mine Area and Surrounding Areas of Wuhai City in Spring …… WU Hong-xuan, SHI Chang-qing, ZHANG Yan, *et al.* (1167)
Variations of Stable Oxygen and Deuterium Isotopes in River and Lake Waters During Flooding Season Along the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River Regions …… LI Jing, WU Hua-wu, ZHOU Yong-qiang, *et al.* (1176)
Water Sources and Factors Controlling Hydro-chemical Compositions in the Yiluo River Basin …… LIU Song-tao, ZHANG Dong, LI Yu-hong, *et al.* (1184)
Chemical Evolution of Groundwater in the Tacheng Basin of Xinjiang in the Process of Urbanization …… LÜ Xiao-li, LIU Jing-tao, HAN Zhan-tao, *et al.* (1197)
Remote Sensing Monitoring on Spatial Differentiation of Suspended Sediment Concentration in a River-Lake System Based on Sentinel-2 MSI Imaging: A Case for Shengjin Lake and Connected Yangtze River Section in Anhui Province …… WANG Hang-hang, WANG Jie, CUI Yu-huan (1207)
CDOM Optical Characteristics and Related Environmental Factors of High-turbidity Waters on the Loess Plateau …… LIANG Xiao-wen, SHAO Tian-tian, WANG Tao (1217)
Effects of Artificial Destratification and Induced-natural Mixing on Water Quality Improvement in a Drinking Water Reservoir …… WEN Cheng-cheng, HUANG Ting-lin, LI Nan, *et al.* (1227)
Effect of Filter Speed and Water Quality on Ammonia Removal in Groundwater Containing Iron, Manganese, and Ammonia at Low Temperature …… ZHANG Jie, MEI Ning, LIU Meng-hao, *et al.* (1236)
Long-term Variation Characteristics of Zooplankton Community Structure in Meiliang Bay, Lake Taihu …… YANG Jia, ZHOU Jian, QIN Bo-qiang, *et al.* (1246)
Community of Benthic Diatoms and Their Relationship with Aquatic Environmental Factors in the Tangwang River, China …… XUE Hao, WANG Ye-yao, MENG Fan-sheng, *et al.* (1256)
Succession Characteristics and Water Quality Responsiveness Evaluation of FG and MBFG in Yanlong Lake Water Source Ecological Purification System …… WANG Lian, LI Xuan, MA Wei-xing, *et al.* (1265)
Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Output and Loss Flux in the Shipanqiu Watershed, Three Gorges Reservoir Area …… CHEN Shi-qi, LONG Yi, YAN Dong-chun, *et al.* (1276)
Effect of Optimized Fertilization and Biochar Application on Phosphorus Loss in Purple Soil Sloping Farmland …… LUO Dong-hai, WANG Zi-fang, LONG Yi, *et al.* (1286)
Use of Iron-modified Calcite as an Active Capping Material to Control Phosphorus Release from Sediments in Surface Water Bodies …… BAI Xiao-yun, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, *et al.* (1296)
Preparation of Tea Waste Biochar and Its Application in Tetracycline Removal from Aqueous Solution …… FAN Shi-suo, LIU Wen-pu, WANG Jing-tao, *et al.* (1308)
Adsorption Characteristics of Sulfamethazine on Three Typical Porous High-temperature Modified Solid Waste Materials …… WANG Jing, ZHU Xiao-li, HAN Zi-yu, *et al.* (1319)
Sorption of Polybrominated Diphenyl Ethers by Virgin and Aged Microplastics …… XU Peng-cheng, GUO Jian, MA Dong, *et al.* (1329)
Spatial Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of the Ruxi Tributary of the Three Gorges Reservoir …… FANG Zhi-qing, WANG Yong-min, WANG Xun, *et al.* (1338)
Distribution and Risk Assessment of OCPs in Surface Water, Sediments, and Fish from Lake Gucheng and Inflow and Outflow Rivers … KAN Ke-cong, GU Xiao-hong, LI Hong-min, *et al.* (1346)
Occurrence and Ecological Risk Assessment of Typical Persistent Organic Pollutants in Hengshui Lake …… ZHANG Jia-wen, WEI Jian, LÜ Yi-fan, *et al.* (1357)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Typical Organophosphate Esters in Beijing Municipal Wastewater Treatment Plant and the Receiving Water …… ZHANG Zhen-fei, LÜ Jia-pei, PEI Ying-ying, *et al.* (1368)
Advanced Nitrogen Removal Characteristics of Low Carbon Source Municipal Wastewater Treatment via Partial-denitrification Coupled with ANAMMOX …… MA Bin, XU Xin-xin, GAO Mao-hong, *et al.* (1377)
Stable Nitrite Accumulation and Phosphorus Removal from High-nitrate and Municipal Wastewaters in a Combined Process of Partial Denitrification and Denitrifying Phosphorus Removal (PD-DPR) …… WANG Qiu-ying, YU De-shuang, ZHAO Ji, *et al.* (1384)
Start-up of CANON Process and Short-cut Nitrification in a Pilot-scale MBBR Reactor …… FU Kun-ming, YANG Zong-yue, LIAO Min-hui, *et al.* (1393)
Influence of Antibiotics on the Denitrification Process of Antibiotic Resistant Denitrifying Bacteria and the Analysis of Microbial Community Structure …… DAI Sha, LI Peng, PENG Wu-qing, *et al.* (1401)
Aerobic Granular Sludge System with Multiple Influent-Aeration Operation Strategy …… ZHANG Jie, WANG Yu-ying, LI Dong, *et al.* (1409)
Effect of Alkaline Sludge Fermentation Products on the Nitrification Process and Performance …… QIU Sheng-jie, LIU Jin-jin, LI Xi-yao, *et al.* (1418)
Effect of Sulfate on the Migration and Transformation of Methylmercury in Advanced Anaerobic Digestion of Sludge …… HE Xiang-lin, LIU Ji-bao, YIN Yong-guang, *et al.* (1425)
Spatial-temporal Variation and Source Change of Heavy Metals in the Cropland Soil in the Industrial City …… LI Yan-ling, LU Yi-fu, CHEN Wei-ping, *et al.* (1432)
Assessment and Spatial Characteristics Analysis of Human Health Risk of Heavy Metals in Cultivated Soil …… JI Chao, HOU Da-wei, LI Fa-zhi, *et al.* (1440)
Microbial Diversity and Physicochemical Properties of Rhizosphere Microenvironment in Saline-alkali Soils of the Yellow River Delta …… ZHAO Jiao, XIE Hui-jun, ZHANG Jian (1449)
Effects of Different Land Use Typess on the Molecular Ecological Network of Soil Bacteria …… LI Bing, LI Yu-shuang, WEI Jian-bing, *et al.* (1456)
Responses of Soil Organic Carbon Fractions to Land Use Types in Hilly Red Soil Regions, China …… ZHANG Xiao-fang, ZHENG Sheng-meng, XIA Yin-hang, *et al.* (1466)
Effect of Organic Fertilizer and Inorganic Fertilizer Application on N_2O Emissions from Fluvo-aquic Soil in the North China Plain …… SUN He-yang, WAN Zhong-mei, LIU De-yan, *et al.* (1474)
Characteristics of Heavy Metal Absorption by Winter Wheat and Its Quantitative Relationship with Influencing Factors …… WANG Yi-wen, RUI Yu-kui, LI Zhong-yang, *et al.* (1482)
Effect of Calcium Magnesium Phosphate on Remediation Paddy Soil Contaminated with Cadmium Using Lime and Sepiolite …… YAN De-mei, GUO Zhao-hui, HUANG Feng-lian, *et al.* (1491)
Passivation and Remediation Effects and Mechanisms of Plant Residual Modified Materials on Lead-Contaminated Soils …… FANG Ya-li, ZHU Zong-qiang, ZHAO Ning-ning, *et al.* (1498)
Effects of Exogenous Spermidine on Seed Germination and As Uptake and Accumulation of Rice Under As^{5+} Stress …… LIU Shu-jin, HUANG Yi-zong, BAO Qiong-li, *et al.* (1505)