

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

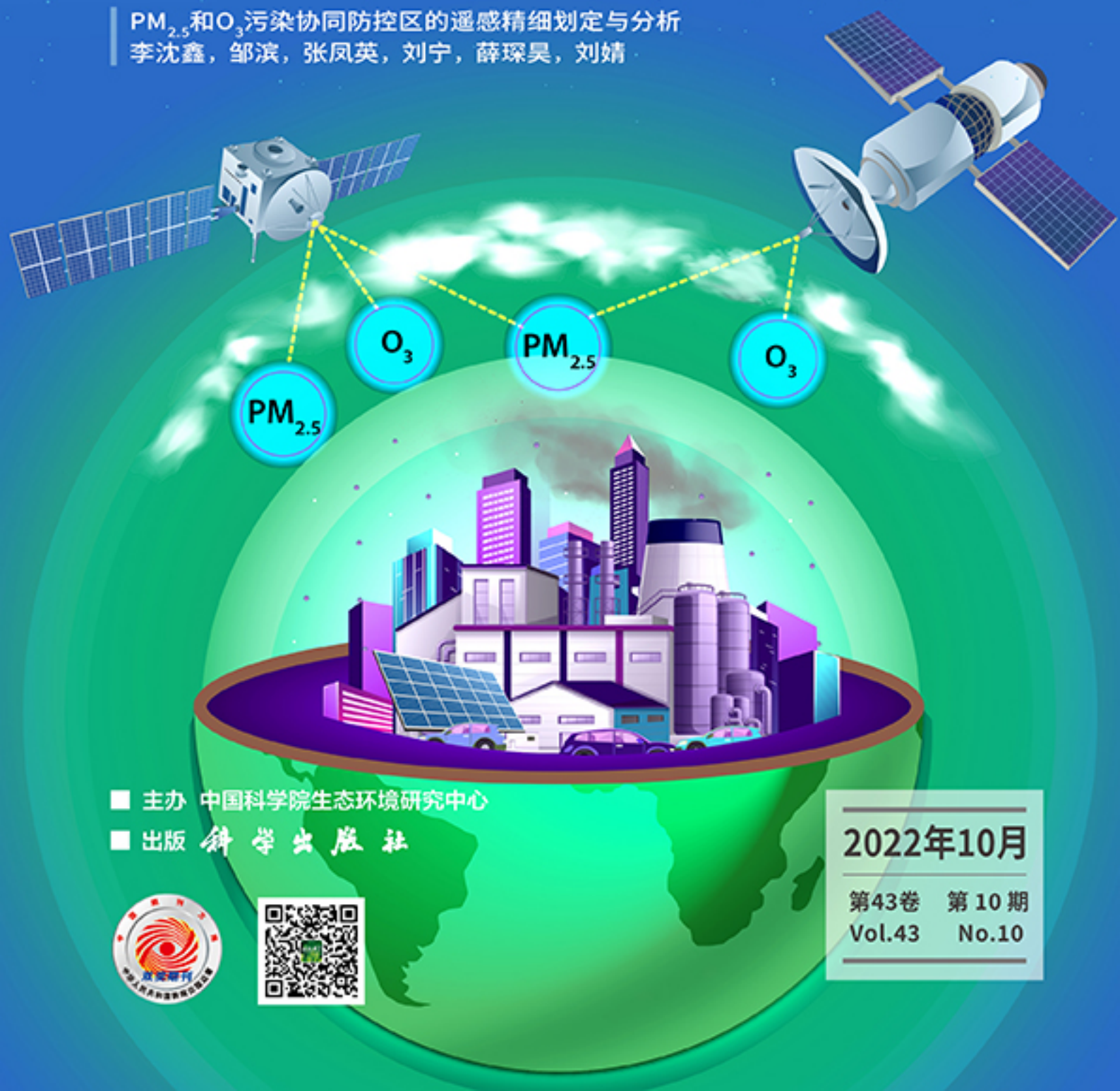
环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

PM_{2.5}和O₃污染协同防控区的遥感精细划定与分析
李沈鑫, 邹滨, 张凤英, 刘宁, 薛琛昊, 刘婧



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年10月

第43卷 第10期
Vol.43 No.10

目次

PM _{2.5} 和O ₃ 污染协同防控区的遥感精细划定与分析	李沈鑫, 邹滨, 张凤英, 刘宁, 薛琛昊, 刘婧 (4293)
广州市冬季一次典型臭氧污染过程分析	裴成磊, 谢雨彤, 陈希, 张涛, 邱晓暖, 王瑜, 王在华, 李梅 (4305)
佛山臭氧浓度预报方程的建立与应用	陈辰, 洪莹莹, 谭浩波, 司徒淑婷, 程银琳, 步巧利, 吴蒙, 潘巧英 (4316)
乌海市高分辨率大气污染源排放清单构建及其在臭氧污染成因探究中的应用	张瑞欣, 楚波, 尚春林, 曹喜萍, 李光耀, 朱玉凡, 刘晓, 夏佳琦, 陈强 (4327)
结合在线监测和自动识别系统分析东海沿岸船舶排放特征	邱浩, 刘丹彤, 吴杨周, 李思远, 丁朔, 胡康, 张家乐, 陈梅汀 (4338)
机动车制动磨损颗粒物及挥发性有机物的组分特征	门正宇, 刘笃优, 郭全有, 张静, 彭剑飞, 吴琳, 毛洪钧 (4348)
笼养鸡舍冬季挥发性有机物排放特征	曹甜甜, 郑云昊, 张羽, 王悦, 丛群欣, 王源昊, 董红敏 (4357)
上海市生活垃圾房气溶胶中可培养细菌污染状况及种群特征	卢冰洁, 张翔, 王川, 邱俊, 李丹 (4367)
浙江省2008~2018年人为源氨排放清单及分布特征	方利江, 杨一群, 叶观琼 (4380)
“双碳”目标下钢铁行业控煤降碳路线图	薛英岚, 张静, 刘宇, 陈瑜, 孙健, 蒋洪强, 张伟, 曹东 (4392)
空间关联网络结构特征的减排效应: 基于城市群视角	郑航, 叶阿忠 (4401)
中国对外直接投资的减污降碳效应及其实现机制	白梓函, 吕连宏, 赵明轩, 张楠, 罗宏 (4408)
近年全国地表水水质变化特征	嵇晓燕, 侯欢欢, 王姗姗, 杨凯 (4419)
湟水河流域地表水体微塑料分布、风险及影响因素	范梦苑, 黄懿梅, 张海鑫, 李好好, 黄倩 (4430)
汾河流域地表水化学同位素特征及其影响因素	赵春红, 申豪勇, 王志恒, 梁永平, 赵一, 谢浩, 唐春雷 (4440)
城镇化进程中珠江三角洲高锰地下水赋存特征及成因	吕晓立, 刘景涛, 韩占涛, 朱亮, 李海军 (4449)
喀什噶尔河下游平原区地下水咸化特征及成因分析	鲁涵, 曾妍妍, 周金龙, 孙英 (4459)
重庆市老龙洞地下河流域硝酸盐来源和生物地球化学过程的识别	王雨畅, 杨平恒, 张洁茹 (4470)
蓝藻水华过程中优势种群演替模式、效应及驱动因子分析	欧阳添, 赵璐, 纪璐璐, 杨宋琪, 郑保海, 杜雨欣, 李佳欣, 李玉鑫, 施军琼, 吴忠兴 (4480)
珠海市磨刀门水道输水水源水库群浮游植物群落特征及其环境驱动因子	张茉莉, 王思瑞, 昌盛, 王山军, 金德才, 樊月婷, 张坤峰, 谢琼, 付青 (4489)
营养物质对铜绿微囊藻生长和藻际细菌的影响	吕萍, 李慧莉, 徐勇, 郑效旭, 黄振华, 王聪, 徐圣君, 庄绪亮 (4502)
老化作用对微塑料吸附四环素的影响及其机制	王林, 王姝歆, 曾祥英, 何杨, 黄雯, 郑世界, 张建强 (4511)
沉积物和土壤中胶体对氯霉素吸附行为的影响	晏彩霞, 罗燕清, 聂明华, 周旋, 丁明军 (4522)
历史抗生素胁迫改变磺胺甲噁唑和甲氧苄啶对活性污泥的影响: ARGs及其潜在宿主	张忠兴, 樊晓燕, 李星, 高玉玺, 赵君如 (4536)
阳朔典型铅锌矿区流域土壤重金属空间分布特征及来源解析	陈盟, 潘泳兴, 黄奕翔, 王耀耀, 张睿东 (4545)
白洋淀及周边土壤重金属的分布特征及生态风险评估	郑飞, 郭欣, 汤名扬, 朱冬, 董四君, 康乐, 陈兵 (4556)
基于地理探测器的镇域尺度土壤重金属含量空间分异及其影响因素分析	龚仓, 王亮, 王顺祥, 张志翔, 董航, 刘玖芬, 王德伟, 严步青, 陈映 (4566)
燃煤电厂重金属排放与周边土壤中重金属污染特征及健康风险	车凯, 陈崇明, 郑庆宇, 范辉, 魏明磊, 罗蓬, 郁金星 (4578)
海南岛半干旱区农用地土壤重金属富集因素、健康风险及来源识别	杨剑洲, 龚晶晶, 王振亮, 高健翁, 杨建坤, 胡树起, 唐世新 (4590)
九龙江口红树林表层沉积物重金属赋存形态及污染评价	张华兰, 于瑞莲, 王瑞安, 胡恭任, 黄华斌, 吴雅清 (4601)
我国茶叶主产区有机肥重金属含量现状	伊晓云, 方丽, 杨向德, 马立峰, 刘美雅, 张群峰, 倪康, 石元值 (4613)
甘肃省农业土壤邻苯二甲酸酯累积特征及来源分析	陈玉玉, 张光全, 张杨, 李明凯, 郝佳欣, 熊有才, 李崇霄, 曹靖 (4622)
三峡库区澎溪河不同高程消落带土壤磷形态及磷酸酶活性分布特征	高艺伦, 方芳, 唐子超, 张蕊, 蒋艳雪, 郭劲松 (4630)
塔里木盆地北缘绿洲不同连作年限棉田土壤有机碳组分特征及其与理化因子的相关性	李昕竹, 贡璐, 唐军虎, 罗艳, 丁肇龙, 朱海强, 张涵, 李蕊希 (4639)
黄土丘陵区柠条人工林不同深度土壤呼吸速率对土壤湿度的响应	孙亚荣, 王亚娟, 赵敏, 薛文艳, 梁思琦, 刘乐, 刘超, 陈云明 (4648)
基于Meta-analysis的生物炭对土壤硝态氮淋失和磷酸盐固持影响	姜志翔, 崔爽, 张鑫, 郝敏, 孙德茂 (4658)
低分子有机酸强化植物修复重金属污染土壤的作用与机制	方治国, 谢俊婷, 杨青, 卢烨桢, 黄海, 朱芸娟, 尹思敏, 吴鑫涛, 都韶婷 (4669)
无机钝化剂对镉污染酸性水稻土的修复效果及其机制	张剑, 孔繁艺, 卢升高 (4679)
改良铅锌矿渣对栎树幼苗铅锌富集与耐性机制	谢天志, 陈永华, 苏荣葵, 刘慧, 姚海松 (4687)
CaO ₂ /FA复合材料富集磷效能及其回收物对土壤改良作用	岳薇, 李大鹏, 吴玲予, 王璐, 汤尧禹, 朱企, 黄勇 (4697)
早稻秸秆还田和减钾对晚稻产量和土壤肥力的影响	黄巧义, 黄建凤, 黄旭, 吴永沛, 李苹, 付弘婷, 唐拴虎, 刘一峰, 徐培智 (4706)
秸秆连续还田配施化肥对稻-油轮作土壤碳库及作物产量的影响	蔡影, 付思伟, 张博睿, 胡宏祥, 刘文雯, 俞金涛, 贾临东, 刘运峰 (4716)
化肥减量配施秸秆对双季稻田固氮微生物群落的影响	陈凯鹏, 韦菊娟, 陈丹, 王聪, 沈健林, 李勇, 吴金水 (4725)
化肥减量与有机物料添加对华北潮土微生物氮循环功能基因丰度和氮转化遗传潜力的影响	李胜君, 胡荷, 李刚, 王蕊, 赵建宁, 张贵龙, 修伟明 (4735)
长期覆膜条件下农田土壤微生物群落的响应特征	胡志娥, 肖谋良, 丁济娜, 李剑虹, 陈剑平, 葛体达, 鲁顺保 (4745)
长期秸秆还田对潮土真菌群落、酶活性和小麦产量的影响	马垒, 李燕, 魏建林, 李子双, 周晓琳, 郑福丽, 吴小宾, 王利, 刘兆辉, 谭德水 (4755)
土壤改良剂对再生水滴灌根际土壤菌群多样性及病原菌和抗生素抗性基因丰度的影响	崔丙健, 崔二革, 刘春成, 胡超, 樊向阳, 李中阳, 高峰 (4765)
氮素对苜蓿植物修复垃圾堆场镉-多环芳烃复合污染土壤及土壤细菌群落结构的影响	李怡佳, 马俊伟, 李玉倩, 肖琛, 沈心怡, 牛云, 陈家军 (4779)
抗生素降解剂对猪粪堆肥腐熟和细菌群落演替的影响	李琳琳, 张昕, 马军伟, 孙万春, 成琪璐, 林辉 (4789)
《环境科学》征订启事 (4337)	《环境科学》征稿简则 (4407)
信息 (4521, 4705, 4800)	

秸秆连续还田配施化肥对稻-油轮作土壤碳库及作物产量的影响

蔡影, 付思伟, 张博睿, 胡宏祥*, 刘文雯, 俞金涛, 贾临东, 刘运峰

(安徽农业大学资源与环境学院, 农田生态保育与污染防治安徽省重点实验室, 合肥 230036)

摘要: 依据田间连续 7 a 秸秆还田定位试验, 探讨秸秆还田配施化肥对巢湖地区农田土壤剖面(0~20、20~50 和 50~80 cm)的土壤总有机碳(TOC)、可溶性有机碳(DOC)、颗粒有机碳(POC)、活性有机碳(LOC)、碳库管理指数(CPMI)和作物产量的影响。试验设置无秸秆还田+无施肥(CK)、常规施肥(F)、秸秆还田+常规施肥(SF1)和秸秆还田+80%常规施肥(SF2)这 4 个处理, 分析不同土层土壤总有机碳和组分含量、CPMI 和油菜-水稻产量的变化规律。结果表明, 以 CK 为参考, 常规施肥和秸秆还田配施化肥均提高了垂直剖面土壤总有机碳和组分的含量, 且不同土层土壤总有机碳和组分的含量随土层深度增加而逐渐降低。在 0~20 cm 土层, 与 F 处理相比, SF1 和 SF2 处理显著提高 TOC、DOC、POC 和 LOC 的含量, 增幅分别为: 14.23%~28.97%、7.86%~27.01%、16.46%~24.24% 和 5.89%~6.64% ($P<0.05$); 在 20~50 cm 土层, SF1 较 F 处理的 TOC 和 LOC 的含量显著增加 9.43% 和 8.34% ($P<0.05$), SF2 较 F 处理的 DOC 和 POC 的含量显著增加 17.51% 和 65.83% ($P<0.05$); 在 50~80 cm 土层, 各处理间土壤总有机碳和组分的含量均无显著差异。秸秆还田配施化肥对土壤碳库管理指数影响显著, SF1 较 F 处理显著提高 0~50 cm 土层的 CPMI, 而 F 处理的 CPMI 在 50~80 cm 土层最大, 但各处理间均无显著差异。秸秆还田配施化肥对作物产量具有显著提升作用, 且 SF1 处理的产量最高, SF1 较 F 处理的水稻、油菜和周年产量分别显著增加 6.19%、7.67% 和 6.54% ($P<0.05$)。总的来说, 稻-油轮作模式下秸秆还田配施化肥对提高巢湖地区土壤碳库、土壤肥力和作物产量具有重要意义。

关键词: 秸秆还田; 不同土层; 土壤总有机碳和组分; 碳库管理指数; 作物产量

中图分类号: X171 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)10-4716-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.202112042

Effects of Continuous Straw Returning with Chemical Fertilizer on the Carbon Pool and Crop Yield of Rice-Rape Rotation Soils

CAI Ying, FU Si-wei, ZHANG Bo-rui, HU Hong-xiang*, LIU Wen-wen, YU Jin-tao, JIA Lin-dong, LIU Yun-feng

(Anhui Province Key Laboratory of Farmland Ecological Conservation and Pollution Prevention, College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: According to the positioning experiment of straw returning in the continuous field 7a, the effects of straw returning combined with chemical fertilizer on soil total organic carbon (TOC), dissolved organic carbon (DOC), particulate organic carbon (POC), labile organic carbon (LOC), carbon pool management index (CPMI), and crop yield in farmland soil profiles (0-20, 20-50, and 50-80 cm) in the Chaohu Lake area were studied. There were four treatments: no straw returning + no fertilization (CK), conventional fertilization (F), straw returning + conventional fertilization (SF1), and straw returning + 80% conventional fertilization (SF2). The changes in soil total organic carbon and component content, CPMI, and rape rice yield in different soil layers were analyzed. Taking CK as a reference, conventional fertilization and straw returning combined with chemical fertilizer increased the content of total organic carbon and components in the soil vertical profile, and the content of total organic carbon and components in different soil layers decreased gradually with the increase in soil depth. In the 0-20 cm soil layer, compared with that in the F treatment, the SF1 and SF2 treatments significantly increased the contents of TOC, DOC, POC, and LOC by 14.23%-28.97%, 7.86%-27.01%, 16.46%-24.24%, and 5.89%-6.64%, respectively ($P<0.05$). In the 20-50 cm soil layer, the contents of TOC and LOC in SF1 were significantly increased by 9.43% and 8.34%, respectively, compared with those in the F treatment ($P<0.05$), and the contents of DOC and POC in SF2 were significantly increased by 17.51% and 65.83% compared with those in the F treatment ($P<0.05$). In the 50-80 cm soil layer, there was no significant difference in the contents of total organic carbon and components among the treatments. The effect of straw returning and chemical fertilizer on the soil carbon pool management index was significant. SF1 significantly improved the CPMI of the 0-50 cm soil layer compared with that in the F treatment, whereas the CPMI of the F treatment was the largest in the 50-80 cm soil layer; however, there was no significant difference among all treatments. Straw returning combined with chemical fertilizer had a significant effect on crop yield, and the yield of the SF1 treatment was the highest; compared with that of the F treatment, the rice, rape, and annual yields were significantly increased by 6.19%, 7.67%, and 6.54%, respectively ($P<0.05$). In general, straw returning combined with chemical fertilizer was of great significance to improve the soil carbon pool, soil fertility, and crop yield in the Chaohu Lake area.

Key words: straw returning; different soil layers; soil total organic carbon and fraction; carbon pool management index; crop yield

土壤有机碳是评价土壤质量和肥力的重要指标 之一^[1], 土壤有机碳的保护、固定对于提高土壤肥

收稿日期: 2021-12-04; 修订日期: 2022-02-03

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07603-02-02); 合肥市环巢湖生态示范区项目(2018LJFD0033); 秸秆和畜禽养殖废弃物综合利用产业技术体系项目

作者简介: 蔡影(1995~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤质量与碳库保护, E-mail: yingcail020@163.com

* 通信作者, E-mail: hongxianghu@163.com

力水平和促进土壤养分循环具有重要意义^[2]. 秸秆还田不仅是土壤碳素重要的源和库, 同时在环境保护和农业可持续发展等方面起着重要作用^[3,4]. 耕作、施肥和秸秆还田等农业活动对农田土壤有机碳的影响较大^[5,6], 已有研究表明秸秆还田是增加土壤有机碳含量和提升土壤固碳速率的主导因素^[7,8]. 贺美等^[9]研究玉米秸秆还田对土壤有机碳组分的影响, 结果表明全量秸秆还田对碳库管理指数的提升最大. 李蓉蓉等^[10]的研究发现, 秸秆覆盖还田可以显著提高土壤有机碳及其组分含量, 并指出全生育期 9 000 kg·hm⁻² 的秸秆量覆盖还田效果最好. 叶超等^[11]的研究表明, 不同量的玉米秸秆还田均能增加土壤有机碳的含量. 高洪军等^[12]的研究表明, 黑钙土土壤有机碳含量随秸秆还田量增加而增加, 同时发现有机碳主要固持在大团聚体中. 同时, 有研究表明, 碳库管理指数 (carbon pool management index, CPMI) 结合土壤碳库和碳库活度常被用于表征不同农业管理措施下土壤有机碳及组分增减状况, 其值越高说明农业管理措施对土壤培肥作用越好^[13]. 徐蒋来等^[14]的研究也指出秸秆还田的数量和时间等对土壤不稳定性碳库组分和碳库管理指数具有重要影响. 因此, 开展秸秆还田对土壤碳库的相关研究, 有利于改善土壤质量和肥力.

目前, 多数学者主要研究秸秆还田对耕作层土壤有机碳的影响, 关于秸秆还田对土壤剖面总有机碳及组分垂直分布影响的研究较少, 而且不同耕作方式和种植作物种类对秸秆还田的响应也存在差异. 有研究表明^[15,16], 秸秆还田配施有机肥和常规施肥在一定程度上改变了土壤结构、团聚性能和肥力水平等微环境, 可能对土壤孔隙特性和养分运移规律产生影响, 进而引起土壤中速效氮磷等养分和水分在土壤剖面中的淋溶和迁移转化规律. 水稻土耕作层较浅, 犁底层厚而坚实, 土壤通透性差, 秸秆还田措施可以适当降低水稻土犁底层的土壤容重, 提高土壤孔隙度, 从而引起土壤有效养分和水分通过淋溶等方式由土壤表层向深层迁移转化. 因此, 本研究通过连续 7 a 的田间试验探讨巢湖地区稻-油轮作种植模式下秸秆粉碎翻耕还田配施化肥对不同深度土壤总有机碳、组分分布特征和水稻-油菜周年产量的影响, 以期对巢湖地区水稻土提升土壤碳库、土壤肥力和作物产量提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验地概况

长期定位试验点位于安徽省巢湖市烔炀镇安徽农业大学试验站 (117°41'37"E, 31°39'37"N), 属于

北亚热带湿润季风气候区, 气候温和, 雨量充足, 紧靠巢湖湿度较大, 无霜期长, 年平均气温 16 ~ 18℃, 年平均降水量 1 150 mm, 主要集中在 5 ~ 8 月, 占年总降水量的 55% 左右. 土壤类型为水稻土, 2013 年试验前耕层 (0 ~ 20 cm) 土壤理化性质: pH 为 6.08, ω (全氮) 为 1.37 g·kg⁻¹, ω (全磷) 为 0.35 g·kg⁻¹, ω (全钾) 为 8.57 g·kg⁻¹, ω (碱解氮) 为 142.06 mg·kg⁻¹, ω (速效磷) 为 12.28 mg·kg⁻¹, ω (总有机碳) 为 14.03 g·kg⁻¹.

1.2 试验设计

本试验始于 2013 年 6 月, 种植制度为水稻-油菜轮作, 水稻供试品种为“赣优 735”, 于每年 6 月中旬移栽, 10 月初收获; 油菜供试品种为“秦优十号”, 于每年 11 月中旬移栽, 次年 5 月收获. 试验设置 4 个处理: 无秸秆还田 + 无施肥 (CK)、常规施肥 (F)、秸秆还田 + 常规施肥 (SF1) 和秸秆还田 + 80% 常规施肥 (SF2). 每个处理 3 次重复, 共 12 个小区, 每个试验小区面积为 30 m² (5 m × 6 m), 呈随机区组分布.

秸秆还田的秸秆来源于水稻-油菜轮作中上季收获的水稻或油菜秸秆, 试验前先将上季作物收获, 留茬 10 cm 左右, 通过收割机将根部和地上部秸秆全部粉碎翻耕入土. 施肥方式按照当地农户生产种植的施肥习惯, 水稻季施肥分为: 基肥 (复合肥 N-P-K: 18-10-18) 和两次追肥 (尿素 N: 46.4%), 水稻季常规施肥: 基肥施肥量为 524.67 kg·hm⁻², 两次追肥施肥量均为 105 kg·hm⁻²; 水稻季 80% 常规施肥: 基肥施肥量为 419.74 kg·hm⁻², 两次追肥施肥量均为 84 kg·hm⁻². 油菜季施肥分为: 基肥 (复合肥 N-P-K: 18-10-18) 和两次追肥 (尿素 N: 46.4%), 油菜季常规施肥: 基肥施肥量为 502.3 kg·hm⁻², 两次追肥施肥量均为 150 kg·hm⁻²; 油菜季 80% 常规施肥: 基肥施肥量为 401.84 kg·hm⁻², 两次追肥施肥量均为 120 kg·hm⁻².

1.3 样品采集与处理

在长期秸秆还田定位试验的第 7 年, 即 2020 年 5 月油菜成熟收获后, 土壤样品按照五点取样方法, 采集各小区不同土层 (0 ~ 20、20 ~ 50 和 50 ~ 80 cm) 的土样, 混合均匀, 自然风干土壤后过 2、0.25 和 0.149 mm 筛备用. 油菜、水稻成熟后人工收获, 各试验小区单独测定籽粒产量.

1.4 土壤样品分析测试方法

土壤总有机碳 (TOC) 测定: 参照文献 [17] 中重铬酸钾外加热法测定; 土壤可溶性有机碳 (DOC) 测定: 参考田静等^[18]的方法, 并用 C/N 联合分析仪 (2000) 测定; 土壤颗粒有机碳 (POC) 测定: 参考

Lee^[19]的湿筛法,采用六偏磷酸钠分散-重铬酸钾-浓硫酸外加热氧化法测定;土壤活性有机碳(LOC)测定:参考 Lefroy 等^[20]的高锰酸钾氧化法(333 mmol·L⁻¹ KMnO₄ 溶液)测定.

1.5 数据计算与分析

碳库管理指数:用于反映秸秆还田后土壤质量的变化.以无秸秆无肥料的土壤为参考土壤,计算各添加处理的碳库管理指数.具体计算方法如下(CPMI 的计算方法参考文献[21]):

碳库指数(CPI) = 样品土壤有机碳含量/对照土壤有机碳含量

碳库活度(L) = 样品活性有机碳含量/惰性有机碳含量(总有机碳 - 活性有机碳)

碳库活度指数(LI) = 样品碳库活度(L)/对照碳库活度(L_1)

碳库管理指数(CPMI) = 碳库指数(CPI) × 碳库活度指数(LI) × 100

采用 Microsoft Excel 2016 进行数据处理,采用 SPSS 22.0 软件进行单因素方差分析和相关性分析,采用 OriginPro 2021 作图,图表数据均为 3 次重复的平均值 ± 标准误.

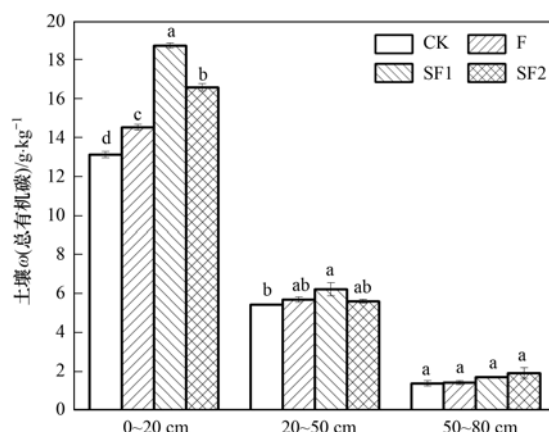
2 结果与分析

2.1 不同土层土壤总有机碳的变化

如图 1 所示,较 CK 处理,常规施肥和秸秆还田配施化肥均能增加不同土层的土壤总有机碳(TOC)含量,且随土层深度增加不同处理的 TOC 含量逐渐降低.在 0~20 cm 土层,较 CK 处理,F、SF1 和 SF2 处理均显著增加 TOC 的含量,增幅分别为 10.19%、42.11% 和 25.87% ($P < 0.05$);与 F 处理相比,SF1 和 SF2 处理的 TOC 含量显著增加 28.97% 和 14.23% ($P < 0.05$),SF1 处理的 TOC 含量较 SF2 处理显著增加 12.90% ($P < 0.05$).在 20~50 cm 土层,与 CK 处理相比,SF1 处理的 TOC 含量显著提高 14.60% ($P < 0.05$),F 和 SF2 处理的 TOC 含量分别提高 4.70% 和 3.16%,但差异不显著;较 F 处理,SF1 处理的 TOC 含量提高 9.43%,SF2 处理的 TOC 含量降低 1.47%,但 3 种处理无显著差异.在 50~80 cm 土层,较 CK 处理,F、SF1 和 SF2 处理的 TOC 含量均提高 2.90%、23.16% 和 38.67%,但各处理间均未达显著差异.由此可见,秸秆还田作为有机碳来源,通过配施化肥,加快分解和腐解过程,显著增加 0~50 cm 土层土壤总有机碳含量.

2.2 不同土层土壤有机碳组分的变化

如图 2(a) 所示,不同土层土壤可溶性有机碳(DOC)含量均受秸秆还田影响,但随土层深度增加



不同小写字母表示不同处理之间差异显著 ($P < 0.05$),下同

图 1 不同处理 0~80 cm 土层土壤总有机碳含量

Fig. 1 Content of total organic carbon in different treatments at a depth of 0-80 cm

各处理的 DOC 含量降低幅度较小.在 0~20 cm 土层,与 CK 处理相比,SF2 处理的 DOC 含量显著增加 34.56% ($P < 0.05$),F 和 SF1 处理的 DOC 含量分别增加 5.95% 和 14.27%,但无显著差异;较 F 处理,SF1 处理的 DOC 含量提高 7.86%,SF2 处理的 DOC 含量显著提高 27.01% ($P < 0.05$);SF1 处理的 DOC 含量低于 SF2 处理,但处理间无显著差异.在 20~50 cm 土层,较 CK 处理,SF2 处理的 DOC 含量显著提高 25.76% ($P < 0.05$),而 F 和 SF1 处理的 DOC 含量仅提高 7.03% 和 4.96%;与 F 处理相比,SF2 处理 DOC 含量显著提高 17.51% ($P < 0.05$),而 SF1 处理 DOC 含量降低 1.93%,但无显著差异.在 50~80 cm 土层,与 CK 处理相比,SF2 处理 DOC 含量显著增加 22.21% ($P < 0.05$),F 和 SF1 处理的 DOC 含量分别增加 4.65% 和 8.99%,但差异性不显著;较 F 和 SF1 处理,SF2 处理的 DOC 含量显著增加 16.78% 和 12.12% ($P < 0.05$).由此可见,不同土层的 DOC 均对 SF2 处理响应最为敏感.

与 CK 处理相比,常规施肥和秸秆还田配施化肥均能提高不同土层的土壤颗粒有机碳(POC)含量,且 0~50 cm 土层的 POC 含量受秸秆还田影响显著.在 0~20 cm 土层,与 CK 相比,F、SF1 和 SF2 处理的 POC 含量分别显著提高 14.50%、33.35% 和 42.26% ($P < 0.05$);较 F 处理,SF1 和 SF2 处理的 POC 含量显著提高 16.46% 和 24.24% ($P < 0.05$);SF1 处理的 POC 含量较 SF2 处理略有降低,但差异性不显著.在 20~50 cm 土层,较 CK 处理,F 处理的 POC 含量提高 12.01%,SF1 和 SF2 处理的 POC 含量显著提高 66.00% 和 85.74% ($P < 0.05$);与 F 处理相比,SF1 和 SF2 处理的 POC 含量显著提高 48.22% 和 65.83% ($P < 0.05$);较 SF1 处理,SF2 处

理的 POC 含量提高 11.89%,但无显著差异.在 50 ~ 80 cm 土层,不同处理间的 POC 含量均无显著差异 [图 2(b)].

较 CK 处理,常规施肥和秸秆还田配施化肥均能增加不同土层的土壤活性有机碳(LOC)含量,且随土层深度增加各处理的 LOC 含量逐渐降低,这与 TOC 含量变化趋势一致.在 0 ~ 20 cm 土层,较 CK 处理,F、SF1 和 SF2 处理的 LOC 含量分别显著提高 18.19%、30.34%和 29.43% ($P < 0.05$);与 F 处理相比,SF1 和 SF2 处理的 LOC 含量分别显著提高 6.64%和 5.89% ($P < 0.05$);SF1 和 SF2 处理间无显著差异.在 20 ~ 50 cm 土层,较 CK 处理,F、SF1 和 SF2 处理的 LOC 含量分别显著提高 22.68%、32.92%和 14.24% ($P < 0.05$);较 F 和 SF2 处理,SF1 处理的 LOC 含量显著提高 8.34%和 16.34% ($P < 0.05$),SF2 处理的 LOC 含量较 F 处理略有降低,但差

异不显著.在 50 ~ 80 cm 土层,较 CK 处理,F、SF1 和 SF2 处理的 LOC 含量分别提高 8.76%、13.13%和 18.75%,但各处理间均无显著差异[图 2(c)].

2.3 不同土层土壤碳库管理指数的变化

不同土层土壤碳库管理指数变化见表 1.以 CK 为参考,F、SF1 和 SF2 处理均能不同程度地提高不同土层的碳库管理指数.在 0 ~ 20 cm 土层,不同处理的土壤 CPMI 在 100 ~ 127.07 之间,且 CPMI 变化趋势表现为:SF1 > SF2 > F > CK;在 20 ~ 50 cm 土层,不同处理的土壤 CPMI 在 100.12 ~ 151.90 之间,CPMI 变化趋势表现为:SF1 > F > SF2 > CK;在 50 ~ 80 cm 土层,不同处理的土壤 CPMI 在 96.31 ~ 109.61 之间,且 CPMI 变化趋势表现为:F > SF2 > SF1 > CK.该结果表明,SF1 处理显著提高 0 ~ 50 cm 土层的 CPMI,而 F 处理大幅提高 50 ~ 80 cm 土层的 CPMI,但各处理间差异不显著.

表 1 不同处理 0 ~ 80 cm 土层土壤碳库管理指数¹⁾

Table 1 Soil carbon pool management indices in different treatments at a depth of 0-80 cm

土层/cm	处理	碳库指数	碳库活度	碳库活度指数	碳库管理指数
0 ~ 20	CK	1.00 ± 0.01d	0.79 ± 0.01bc	1.00 ± 0.02b	100.00 ± 1.55c
	F	1.10 ± 0.01c	0.85 ± 0.02a	1.07 ± 0.03a	117.85 ± 3.22b
	SF1	1.42 ± 0.01a	0.71 ± 0.01c	0.89 ± 0.01c	127.07 ± 0.66a
	SF2	1.26 ± 0.01b	0.75 ± 0.02bc	0.95 ± 0.02bc	119.28 ± 1.71b
20 ~ 50	CK	1.00 ± 0.01b	0.80 ± 0.06c	1.00 ± 0.07c	100.12 ± 8.04b
	F	1.05 ± 0.02ab	1.08 ± 0.02a	1.35 ± 0.02a	141.70 ± 1.61a
	SF1	1.15 ± 0.06a	1.07 ± 0.07ab	1.33 ± 0.09ab	151.90 ± 5.88a
	SF2	1.03 ± 0.02ab	0.90 ± 0.05bc	1.13 ± 0.06bc	116.09 ± 4.88b
50 ~ 80	CK	1.00 ± 0.10a	0.67 ± 0.15a	1.00 ± 0.22a	96.31 ± 14.57a
	F	1.05 ± 0.07a	0.73 ± 0.12a	1.09 ± 0.17a	109.61 ± 9.26a
	SF1	1.25 ± 0.02a	0.56 ± 0.02a	0.83 ± 0.04a	102.60 ± 5.44a
	SF2	1.22 ± 0.20a	0.58 ± 0.06a	0.86 ± 0.26a	109.40 ± 14.03a

1) 同列数据后不同小写字母表示处理间差异水平 ($P < 0.05$),下同

2.4 不同土层土壤总有机碳与组分的相关性

如表 2 所示,不同土层土壤总有机碳(TOC)与组分的相关性分析表明:在 0 ~ 50 cm 土层,除 DOC 外,TOC 与 POC 和 LOC 存在极显著或显著相关性;此外,POC 与 LOC 在 0 ~ 20 cm 土层存在显著相关性;POC 与 DOC 在 20 ~ 50 cm 土层存在显著相关性;然而,在 50 ~ 80 cm 土层,TOC 与有机碳组分均无相关性.

2.5 水稻-油菜周年产量

表 3 是 2020 年不同处理对水稻、油菜和周年产量的影响.与 CK 相比,不同处理的水稻、油菜和周年产量均显著提高,且不同处理的水稻、油菜和周年产量均表现为:SF1 > SF2 > F > CK.较 F 处理,SF1 和 SF2 处理的水稻、油菜和周年产量的增幅分别为 3.40% ~ 6.60%、0.96% ~ 8.31%和 2.84% ~ 6.99% ($P < 0.05$);较 SF2 处理,SF1 处理的水稻和

表 2 不同土层土壤有机碳组分与 TOC 的相关性¹⁾

Table 2 Correlation between soil organic carbon fraction and TOC in different soil layers

土层/cm	指标	TOC	DOC	POC	LOC
0 ~ 20	TOC	1			
	DOC	0.265	1		
	POC	0.616 **	0.409	1	
	LOC	0.549 *	0.227	0.508 *	1
20 ~ 50	TOC	1			
	DOC	0.253	1		
	POC	0.574 *	0.529 *	1	
	LOC	0.513 *	0.112	0.397	1
50 ~ 80	TOC	1			
	DOC	0.184	1		
	POC	0.430	0.305	1	
	LOC	0.241	0.057	0.208	1

1) * 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$

油菜产量分别显著增加 3.10%和 7.28% ($P < 0.05$),周年产量增加 4.04%.由此可见,与 F 处理

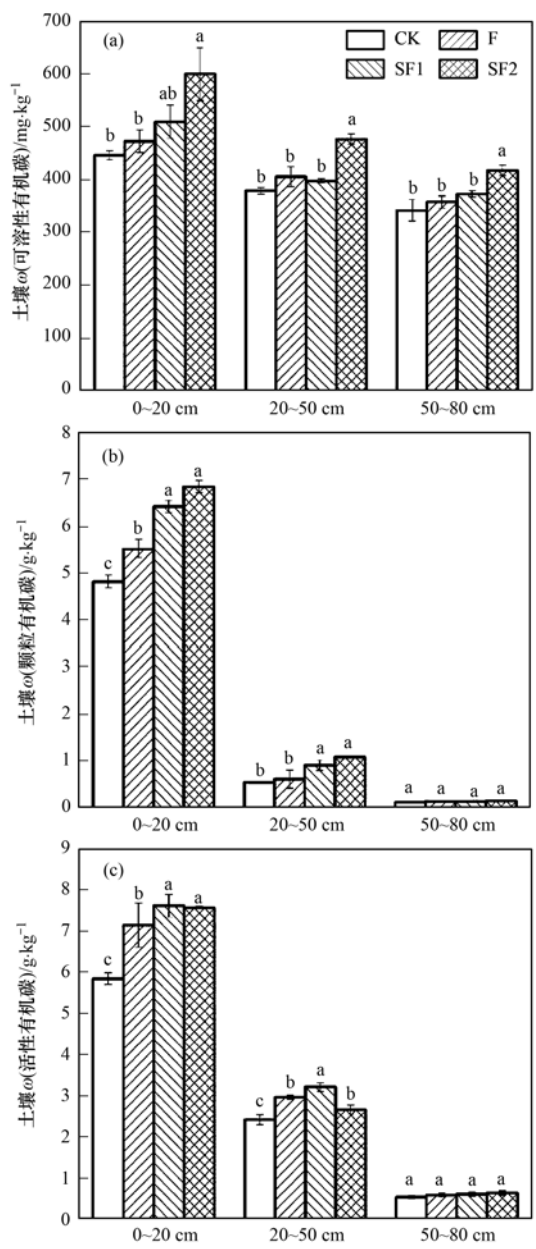


图2 不同处理0~80 cm 土层土壤有机碳组分含量

Fig. 2 Content of soil organic carbon fractions in different treatments at a depth of 0-80 cm

表3 不同处理对作物产量的影响/t·hm⁻²

Table 3 Effect of different treatments on crop yield /t·hm⁻²

处理	水稻	油菜	周年
CK	7.94 ± 0.09c	1.07 ± 0.20c	9.01 ± 0.24c
F	10.60 ± 0.12b	3.13 ± 0.04b	13.73 ± 0.36b
SF1	11.30 ± 0.12a	3.39 ± 0.06a	14.69 ± 0.28a
SF2	10.96 ± 0.17b	3.16 ± 0.04b	14.12 ± 0.17a

相比,SF1 处理显著提高作物产量,SF2 处理保证作物产量,且油菜的增产效果优于水稻。

3 讨论

3.1 秸秆还田配施化肥对土壤总有机碳和组分的影响

7 a 秸秆还田试验表明,秸秆还田对土壤总有机

碳和组分的垂直分布影响显著,这与叶新新等^[22]的研究结果一致.在0~20 cm 土层,秸秆还田处理(SF1 和 SF2)的 TOC 和 LOC 的含量显著高于秸秆不还田处理(CK 和 F),说明秸秆还田能够增加耕层土壤(0~20 cm) TOC 和 LOC 的含量^[23,24]. 秸秆中养分是提高土壤有机碳的重要来源,外源碳的持续加入激发了土壤微生物的活性和数量,加强了微生物矿化和固定过程,促进秸秆中碳在土壤中的固定和积累^[25]. 此外,秸秆为土壤微生物提供充足的碳源,提高微生物的数量和活性,进而促进惰性碳向活性有机碳的转化^[26],提高活性有机碳的含量.然而,在秸秆还田条件下,SF2 处理的 TOC 和 LOC 的含量低于 SF1 处理,一方面,可能是化肥减量尤其是氮肥的减少,导致油菜地上和根系生物量减少,地上部凋落物、根系及其分泌物进入土壤的量大大降低,有机碳的积累慢于其分解速率^[27,28],从而造成 SF2 处理的有机碳含量低于 SF1 处理;另一方面,可能由于秸秆输入的有机碳量超过了微生物对有机碳分解量,导致秸秆不完全腐解,从而不利于土壤有机碳含量的积累^[29]. 在20~50 cm 土层,较秸秆不还田处理,SF1 处理的 TOC 和 LOC 含量达到显著水平.由于秸秆腐解过程中,有机物料的投入改变了土壤的团聚体和孔隙结构^[30],一定程度增加土壤孔隙度和透气性^[15,31],从而促进土壤有机碳向深层迁移转化.在50~80 cm 土层,不同处理的土壤有机碳和组分的含量均无显著差异,这与 Li 等^[32]的研究结果一致.原因可能是土层越深植物根系残体和化肥等有机物料减少,土壤微生物活性降低,导致有机碳周转循环速度减小,使得有机碳在深层土壤中越稳定,所以对较深土层的土壤影响不显著^[33]. 本研究结果表明,秸秆还田能够显著增加不同土层土壤 DOC 的含量,且 DOC 的含量在不同土层变化幅度较小,这与贾生强等^[34]的研究结果一致.原因可能是秸秆还田后,土壤团聚体结构发生变化,土壤孔隙度增加,在一定程度上会促进土壤 DOC 随游离水向深层迁移,从而增加 DOC 的含量. Poll 等^[35]的研究也指出,秸秆碳转化形成的 DOC 可随土壤含水率的变化在土层中迁移,并影响土壤 MBC 的分布. 秸秆还田能够显著提高0~50 cm 土层土壤 POC 的含量,且 SF1 和 SF2 处理无显著差异,这与前人的研究结果一致^[36,37]. 主要缘于秸秆腐解过程释放的木质素、半纤维素等物质进入土壤与土壤团聚体结合,使得 POC 得到积累,但这样的物理结构决定其在土壤中的纵向迁移能力较弱^[38]. 因此,长期秸秆还田对深层土壤 POC 含量的影响甚微.

3.2 秸秆还田配施化肥对土壤碳库、有机碳和组分相关性分析的影响

土壤碳库管理指数(CPMI)综合了碳库指数(CPI)和碳库活度指数(LI),不仅可以通过土壤有机碳和组分含量的变化来评价田间管理措施的好坏,而且可以反映土壤质量的高低^[39,40]。有研究表明^[41,42],CPMI、土壤有机碳和组分含量的变化与秸秆还田方式、不同种植模式等措施密切相关。本研究结果表明,秸秆还田配施化肥处理(SF1和SF2)均能不同程度提高0~50 cm土层土壤CPMI,这与和江鹏等^[43]的关于秸秆深耕还田可提高0~40 cm土层CPMI的结果一致。在50~80 cm土层,F处理的CPMI最大,但各处理间均无显著差异,可能是由于土层越深,土壤碳库活性降低,使得有机碳在深层土壤中越稳定,所以不同处理的CPMI差异不显著^[44]。

土壤有机碳和组分的相关分析表明,在0~50 cm土层,TOC与POC和LOC存在极显著或显著相关性,说明POC和LOC在一定程度能够较快地反映土壤碳库变化,可以作为土壤质量和肥力变化的重要指示因子^[45];本研究结果表明,POC与LOC和DOC在0~50 cm土层存在显著相关性,这可能是因为POC一般是指与沙粒结合的植物残体分解产物和微生物组成,易受到地表植物根系和凋落物的腐化程度影响,分解和周转速度较快,对秸秆还田的响应也较快^[46]。

3.3 秸秆还田配施化肥对作物产量的影响

秸秆还田可以增加土壤养分,进而增加作物产量^[46~48],这与本研究结果一致。与F处理相比,SF1和SF2处理均能显著增加水稻和油菜的产量。由于秸秆中含有丰富的有机碳和氮、磷等营养元素^[49],秸秆腐解后,激发微生物活性促进微生物繁殖,形成微生物的活动层^[50],促进对秸秆有机养分的分解释放,从而补充和调节农田的土壤养分^[51],增加的养分经由根系、茎秆及叶向籽粒转运^[52],从而提高作物的产量^[53]。此外,在秸秆还田条件下,SF1较SF2处理显著增加水稻和油菜的产量,这可能由于一定范围内产量与施肥量呈正相关,全量化肥能够提供更为丰富的速效养分,及时补充因秸秆分解而被微生物同化的土壤有效养分,保证作物生长所需^[54]。本研究还发现,油菜增产效果优于水稻。由于油菜属于旱季作物,土壤中充沛的氧气环境能够有效促进稻秸腐解,有利于养分的释放和作物吸收^[55];反之,水稻生育期处于淹水厌氧环境,从而抑制土壤中好氧微生物的活性,降低微生物的呼吸强度^[56],导致油菜秸秆养分分解和释放速率较低,这与代文才

等^[57]得出旱地较水田环境更有利于秸秆腐解和养分积累的结果一致。

4 结论

(1)秸秆还田能够有效提高土壤垂直剖面的总有机碳和组分的含量。较常规施肥,在0~20 cm土层,秸秆还田配施不同量化肥均能显著提高土壤总有机碳和组分的含量;在20~50 cm土层,秸秆还田+常规施肥显著提高TOC和LOC的含量,秸秆还田+80%常规施肥显著提高DOC和POC的含量。

(2)秸秆还田能够有效提高0~50 cm土层的CPMI,同时POC和LOC与TOC在0~50 cm土层的显著相关性表明POC和LOC可作为土壤质量和肥力变化的重要指示因子。

(3)秸秆还田对水稻和油菜产量均具有提升作用,较常规施肥,秸秆还田+常规施肥具有显著增产作用,秸秆还田+80%常规施肥具有减肥稳产的效果。

(4)秸秆还田+常规施肥是有效提高巢湖地区土壤碳库、土壤肥力和作物产量的农田管理模式。

致谢:感谢巢湖市烔炀镇安徽农业大学试验站的田间管理人员给予本研究长期的支持与协助。

参考文献:

- [1] 袁嘉欣,杨滨娟,胡启良,等. 长江中游稻田种植模式对土壤有机碳及碳库管理指数的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(7): 1205-1214.
Yuan J X, Yang B J, Hu Q L, et al. Effects of paddy field cropping patterns on soil organic carbon and carbon pool management index in the middle reaches of the Yangtze River [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2021, 29(7): 1205-1214.
- [2] 张维理, Kolbe H, 张认连. 土壤有机碳作用及转化机制研究进展[J]. 中国农业科学, 2020, 53(2): 317-331.
Zhang W L, Kolbe H, Zhang R L. Research progress of SOC functions and transformation mechanisms [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(2): 317-331.
- [3] 王碧胜,于维水,武雪萍,等. 不同耕作措施下添加秸秆对土壤有机碳及其相关因素的影响[J]. 中国农业科学, 2021, 54(6): 1176-1187.
Wang B S, Yu W S, Wu X P, et al. Effects of straw addition on soil organic carbon and related factors under different tillage practices[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(6): 1176-1187.
- [4] Huang W, Wu J F, Pan X H, et al. Effects of long-term straw return on soil organic carbon fractions and enzyme activities in a double-cropped rice paddy in South China [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20(1): 236-247.
- [5] Guo T F, Zhang Q, Ai C, et al. Microbial utilization of rice root residue-derived carbon explored by DNA stable-isotope probing [J]. European Journal of Soil Science, 2021, 72(1): 460-473.
- [6] 徐国鑫,王子芳,高明,等. 秸秆与生物炭还田对土壤团聚

- 体及固碳特征的影响[J]. 环境科学, 2018, **39**(1): 355-362.
- Xu G X, Wang Z F, Gao M, *et al.* Effects of straw and biochar return in soil on soil aggregate and carbon sequestration[J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(1): 355-362.
- [7] 邓华, 高明, 龙翼, 等. 生物炭和秸秆还田对紫色土旱坡地土壤团聚体与有机碳的影响[J]. 环境科学, 2021, **42**(11): 5481-5490.
- Deng H, Gao M, Long Y, *et al.* Effects of biochar and straw return on soil aggregate and organic carbon on purple soil dry slope land[J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(11): 5481-5490.
- [8] Novelli L E, Caviglia O P, Piñeiro G. Increased cropping intensity improves crop residue inputs to the soil and aggregate-associated soil organic carbon stocks[J]. *Soil and Tillage Research*, 2017, **165**: 128-136.
- [9] 贺美, 王立刚, 王迎春, 等. 黑土活性有机碳库与土壤酶活性对玉米秸秆还田的响应[J]. 农业环境科学学报, 2018, **37**(9): 1942-1951.
- He M, Wang L G, Wang Y C, *et al.* Response of the active carbon pool and enzymatic activity of soils to maize straw returning[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, **37**(9): 1942-1951.
- [10] 李蓉蓉, 王俊, 毛海兰, 等. 秸秆覆盖对冬小麦农田土壤有机碳及其组分的影响[J]. 水土保持学报, 2017, **31**(3): 187-192.
- Li R R, Wang J, Mao H L, *et al.* Effects of straw mulching on soil organic carbon and fractions of soil carbon in a winter wheat field[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2017, **31**(3): 187-192.
- [11] 叶超, 张昀, 燕香梅, 等. 秸秆还田方式和数量对棕壤有机碳活性的影响[J]. 四川农业大学学报, 2019, **37**(3): 343-351.
- Ye C, Zhang Y, Yan X M, *et al.* Effects of straw returning method and quantity on organic carbon activity in brown soil[J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2019, **37**(3): 343-351.
- [12] 高洪军, 彭畅, 张秀芝, 等. 秸秆还田量对黑土区土壤及团聚体有机碳变化特征和固碳效率的影响[J]. 中国农业科学, 2020, **53**(22): 4613-4622.
- Gao H J, Peng C, Zhang X Z, *et al.* Effects of corn straw returning amounts on carbon sequestration efficiency and organic carbon change of soil and aggregate in the black soil area[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, **53**(22): 4613-4622.
- [13] 郭亚军, 邱慧珍, 张玉娇, 等. 不同施肥方式对马铃薯农田土壤有机碳组分和碳库管理指数的影响[J]. 土壤通报, 2021, **52**(4): 912-919.
- Guo Y J, Qiu H Z, Zhang Y J, *et al.* Effects of four fertilization regimes on soil organic carbon fractions and carbon pool management index of potato farmland[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2021, **52**(4): 912-919.
- [14] 徐蒋来, 胡乃娟, 张政文, 等. 连续秸秆还田对稻麦轮作农田土壤养分及碳库的影响[J]. 土壤, 2016, **48**(1): 71-75.
- Xu J L, Hu N J, Zhang Z W, *et al.* Effects of continuous straw returning on soil nutrients and carbon pool in rice-wheat rotation system[J]. *Soils*, 2016, **48**(1): 71-75.
- [15] Li D D, Li Z Q, Zhao B Z, *et al.* Relationship between the chemical structure of straw and composition of main microbial groups during the decomposition of wheat and maize straws as affected by soil texture[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2020, **56**(1): 11-24.
- [16] 宋佳丽, 王鸿雁, 张淑香, 等. 施肥和秸秆还田对黑土农田土壤剖面养分分布的影响[J]. 生态学杂志, 2022, **41**(1): 108-115.
- Song J L, Wang H Y, Zhang S X, *et al.* Effects of fertilization and straw return on nutrient distribution along soil profile in black soil croplands[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2022, **41**(1): 108-115.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. (第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [18] 田静, 郭景恒, 陈海清, 等. 土地利用方式对土壤溶解性有机碳组成的影响[J]. 土壤学报, 2011, **48**(2): 338-346.
- Tian J, Guo J H, Chen H Q, *et al.* Effect of land use on composition of soil dissolved organic carbon[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2011, **48**(2): 338-346.
- [19] Lee J H. An overview of phytoremediation as a potentially promising technology for environmental pollution control[J]. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 2013, **18**(3): 431-439.
- [20] Lefroy R D B, Blair G J, Strong W M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions and ^{13}C natural isotope abundance[J]. *Plant and Soil*, 1993, **155-156**(1): 399-402.
- [21] 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.
- [22] 叶新新, 王冰清, 刘少君, 等. 耕作方式和秸秆还田对砂姜黑土碳库及玉米小麦产量的影响[J]. 农业工程学报, 2019, **35**(14): 112-118.
- Ye X X, Wang B Q, Liu S J, *et al.* Influence of tillage and straw retention on soil carbon pool and maize-wheat yield in Shajiang black soil[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, **35**(14): 112-118.
- [23] 陈春兰, 陈安磊, 魏文学, 等. 长期施肥对红壤稻田剖面土壤碳氮累积的影响[J]. 水土保持研究, 2021, **28**(2): 14-20.
- Chen C L, Chen A L, Wei W X, *et al.* Effect of long-term fertilization on accumulation of soil carbon and nitrogen in reddish paddy soil profiles[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2021, **28**(2): 14-20.
- [24] 安艳, 姬强, 赵世翔, 等. 生物质炭对果园土壤团聚体分布及保水性的影响[J]. 环境科学, 2016, **37**(1): 293-300.
- An Y, Ji Q, Zhao S X, *et al.* Effect of biochar application on soil aggregates distribution and moisture retention in orchard soil[J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(1): 293-300.
- [25] Liu X, Zhou F, Hu G Q, *et al.* Dynamic contribution of microbial residues to soil organic matter accumulation influenced by maize straw mulching[J]. *Geoderma*, 2019, **333**: 35-42.
- [26] 黄金花, 刘军, 杨志兰, 等. 秸秆还田下长期连作棉田土壤有机碳活性组分的变化特征[J]. 生态环境学报, 2015, **24**(3): 387-395.
- Huang J H, Liu J, Yang Z L, *et al.* Changes of cotton straw incorporation on soil organic carbon activity matter of long-term continuous cropping cotton field[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2015, **24**(3): 387-395.
- [27] 罗永清, 赵学勇, 李美霞. 植物根系分泌物生态效应及其影响因素研究综述[J]. 应用生态学报, 2012, **23**(12): 3496-3504.
- Luo Y Q, Zhao X Y, Li M X. Ecological effect of plant root exudates and related affecting factors: a review[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, **23**(12): 3496-3504.

- [28] 潘剑玲, 代万安, 尚占环, 等. 秸秆还田对土壤有机质和氮素有效性影响及机制研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2013, **21**(5): 526-535.
- Pan J L, Dai W A, Shang Z H, *et al.* Review of research progress on the influence and mechanism of field straw residue incorporation on soil organic matter and nitrogen availability[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, **21**(5): 526-535.
- [29] 袁嫚嫚, 郭刚, 胡润, 等. 秸秆还田配施化肥对稻油轮作土壤有机碳组分及产量影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, **23**(1): 27-35.
- Yuan M M, Wu G, Hu R, *et al.* Effects of straw returning plus fertilization on soil organic carbon components and crop yields in rice-rapeseed rotation system[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2017, **23**(1): 27-35.
- [30] 张玉铭, 胡春胜, 陈素英, 等. 耕作与秸秆还田方式对碳氮在土壤团聚体中分布的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, **29**(9): 1558-1570.
- Zhang Y M, Hu C S, Chen S Y, *et al.* Effects of tillage and straw returning method on the distribution of carbon and nitrogen in soil aggregates[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2021, **29**(9): 1558-1570.
- [31] Lin Y X, Ye G P, Kuzyakov Y, *et al.* Long-term manure application increases soil organic matter and aggregation, and alters microbial community structure and keystone taxa[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2019, **134**: 187-196.
- [32] Li C H, Li Y, Tang L S. The effects of long-term fertilization on the accumulation of organic carbon in the deep soil profile of an oasis farmland[J]. Plant and Soil, 2013, **369**(1-2): 645-656.
- [33] 袁磊, 陈欣, 吕丽萍, 等. 黑土春玉米田氮素的淋溶风险与阻控机制研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, **29**(1): 102-112.
- Yuan L, Chen X, Lyu L P, *et al.* Nitrogen leaching risks and control mechanisms of spring maize fields in black soil[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2021, **29**(1): 102-112.
- [34] 贾生强, 范惠珊, 陈喜靖, 等. 长期秸秆还田下土壤反硝化细菌群落的有机碳驱动机制[J]. 浙江农业学报, 2021, **33**(9): 1686-1699.
- Jia S Q, Fan H S, Chen X J, *et al.* Driving mechanism of soil denitrifying bacterial community by soil organic carbon after long-term of straw return[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2021, **33**(9): 1686-1699.
- [35] Poll C, Marhan S, Ingwersen J, *et al.* Dynamics of litter carbon turnover and microbial abundance in a rye detritusphere[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, **40**(6): 1306-1321.
- [36] 郭瑞华, 靳红梅, 常志州, 等. 秸秆还田模式对土壤有机碳及腐植酸含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2017, **36**(4): 727-733.
- Guo R H, Jin H M, Chang Z Z, *et al.* Effects of returning patterns of straw to field on soil organic carbon and soil humus composition in rice-wheat double cropping systems[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2017, **36**(4): 727-733.
- [37] 曲晓晶, 吴景贵, 李建明, 等. 外源有机碳对黑土有机碳及颗粒有机碳的影响[J]. 水土保持学报, 2017, **31**(5): 278-286.
- Qu X J, Wu J G, Li J M, *et al.* Effect of exogenous organic carbon on soil organic carbon and particulate organic carbon in black soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2017, **31**(5): 278-286.
- [38] 马超, 周静, 刘满强, 等. 秸秆促腐还田对土壤养分及活性有机碳的影响[J]. 土壤学报, 2013, **50**(5): 915-921.
- Ma C, Zhou J, Liu M Q, *et al.* Effects of incorporation of pre-treated straws into field on soil nutrients and labile organic carbon in Shajiang black soil[J]. Acta Pedologica Sinica, 2013, **50**(5): 915-921.
- [39] 石小霞, 赵诣, 张琳, 等. 华北平原不同农田管理措施对于土壤碳库的影响[J]. 环境科学, 2017, **38**(1): 301-308.
- Shi X X, Zhao Y, Zhang L, *et al.* Effects of different agricultural practices on soil carbon pool in North China Plain[J]. Environmental Science, 2017, **38**(1): 301-308.
- [40] Tang H M, Xiao X P, Tang W G, *et al.* Long-term effects of NPK fertilizers and organic manures on soil organic carbon and carbon management index under a double-cropping rice system in Southern China[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2018, **49**(16): 1976-1989.
- [41] 苑广源, Munyampirwa T, 毛丽萍, 等. 16 年保护性耕作措施对粮草轮作系统土壤碳库及稳定性的影响[J]. 水土保持学报, 2021, **35**(3): 252-258, 267.
- Yuan G Y, Munyampirwa T, Mao L P, *et al.* Effects of conservational tillage measures on soil carbon pool and stability in a winter forage-crop rotation system on the Loess Plateau of China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021, **35**(3): 252-258, 267.
- [42] 杨苏, 刘耀斌, 王静, 等. 不同有机物料投入下黄河故道土壤有机碳积累特征的研究[J]. 土壤, 2021, **53**(2): 361-367.
- Yang S, Liu Y B, Wang J, *et al.* Soil organic carbon accumulation in old riverway of Yellow River under different organic material inputs[J]. Soils, 2021, **53**(2): 361-367.
- [43] 和江鹏, 王雨晴, 赵海超, 等. 春玉米秸秆还田对土壤碳组分及碳库管理指数的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, **49**(21): 224-230.
- He J P, Wang Y Q, Zhao H C, *et al.* Effects of spring corn stalks returning to field on soil carbon components and carbon pool management index[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, **49**(21): 224-230.
- [44] 马南, 陈智文, 张清. 不同类型秸秆还田对土壤有机碳及酶活性的影响综述[J]. 江苏农业科学, 2021, **49**(3): 53-57.
- Ma N, Chen Z W, Zhang Q. Effects of different types of straw returning on soil organic carbon contents and enzyme activity: a review[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, **49**(3): 53-57.
- [45] Mi W H, Wu L H, Brookes P C, *et al.* Changes in soil organic carbon fractions under integrated management systems in a low-productivity paddy soil given different organic amendments and chemical fertilizers[J]. Soil and Tillage Research, 2016, **163**: 64-70.
- [46] 慈恩, 王莲阁, 丁长欢, 等. 垄作免耕对稻田垄埂土壤有机碳累积和作物产量的影响[J]. 土壤学报, 2015, **52**(3): 576-586.
- Ci E, Wang L G, Ding C H, *et al.* Effects of no-tillage ridge-cultivation on soil organic carbon accumulation in ridges and crop yields in paddy fields[J]. Acta Pedologica Sinica, 2015, **52**(3): 576-586.
- [47] 王淑兰, 王浩, 李娟, 等. 不同耕作方式下长期秸秆还田对旱作春玉米田土壤碳、氮、水含量及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2016, **27**(5): 1530-1540.
- Wang S L, Wang H, Li J, *et al.* Effects of long-term straw mulching on soil organic carbon, nitrogen and moisture and spring maize yield on rain-fed croplands under different patterns of soil tillage practice[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, **27**(5): 1530-1540.
- [48] 吴玉红, 郝兴顺, 田霄鸿, 等. 秸秆还田对汉中盆地稻田土

- 壤有机碳组分、碳储量及水稻产量的影响[J]. 水土保持学报, 2017, **31**(4): 325-331.
- Wu Y H, Hao X S, Tian X H, *et al.* Effect of straw returning on the contents of soil organic carbon fractions, carbon storage and crop yields of paddy field in Hanzhong Basin[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2017, **31**(4): 325-331.
- [49] 靳玉婷, 李先藩, 蔡影, 等. 秸秆还田配施化肥对稻-油轮作土壤酶活性及微生物群落结构的影响[J]. 环境科学, 2021, **42**(8): 3985-3996.
- Jin Y T, Li X F, Cai Y, *et al.* Effects of straw returning with chemical fertilizer on soil enzyme activities and microbial community structure in rice-rape rotation [J]. Environmental Science, 2021, **42**(8): 3985-3996.
- [50] Chen Z M, Wang H Y, Liu X W, *et al.* Changes in soil microbial community and organic carbon fractions under short-term straw return in a rice-wheat cropping system[J]. Soil and Tillage Research, 2017, **165**: 121-127.
- [51] 王富华, 黄容, 高明, 等. 生物质炭与秸秆配施对紫色土团聚体中有机碳含量的影响[J]. 土壤学报, 2019, **56**(4): 929-939.
- Wang F H, Huang R, Gao M, *et al.* Effect of combined application of biochar and straw on organic carbon content in purple soil aggregates [J]. Acta Pedologica Sinica, 2019, **56**(4): 929-939.
- [52] 靳玉婷, 刘运峰, 胡宏祥, 等. 持续性秸秆还田配施化肥对油菜-水稻轮作周年氮磷径流损失的影响[J]. 中国农业科学, 2021, **54**(9): 1937-1951.
- Jin Y T, Liu Y F, Hu H X, *et al.* Effects of continuous straw returning with chemical fertilizer on annual runoff loss of nitrogen and phosphorus in rice-rape rotation [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, **54**(9): 1937-1951.
- [53] 成臣, 汪建军, 程慧煌, 等. 秸秆还田与耕作方式对双季稻产量及土壤肥力质量的影响[J]. 土壤学报, 2018, **55**(1): 247-257.
- Cheng C, Wang J J, Cheng H H, *et al.* Effects of straw returning and tillage system on crop yield and soil fertility quality in paddy field under double-cropping-rice system [J]. Acta Pedologica Sinica, 2018, **55**(1): 247-257.
- [54] 赵颖, 周枫, 罗佳琳, 等. 稻秸还田下不同施肥管理措施对土壤养分、冬小麦产量和氮肥利用率的影响[J]. 江苏农业学报, 2021, **37**(5): 1167-1174.
- Zhao Y, Zhou F, Luo J L, *et al.* Effects of different fertilization management measures on soil nutrient, winter wheat yield and nitrogen use efficiency under rice straw returning [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2021, **37**(5): 1167-1174.
- [55] 王昆昆, 刘秋霞, 朱芸, 等. 稻草覆盖还田对直播冬油菜生长及养分积累的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, **25**(6): 1047-1055.
- Wang K K, Liu Q X, Zhu Y, *et al.* Effects of straw mulching on growth and nutrients accumulation of direct-sown winter oilseed rape [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2019, **25**(6): 1047-1055.
- [56] 王景, 陈曦, 张雅洁, 等. 好气和厌氧条件下小麦秸秆的腐解特征研究[J]. 中国农业大学学报, 2015, **20**(3): 161-168.
- Wang J, Chen X, Zhang Y J, *et al.* Characteristic of wheat straw decomposition under aerobic and anaerobic condition in soil [J]. Journal of China Agricultural University, 2015, **20**(3): 161-168.
- [57] 代文才, 高明, 兰木玲, 等. 不同作物秸秆在旱地和水田中的腐解特性及养分释放规律[J]. 中国生态农业学报, 2017, **25**(2): 188-199.
- Dai W C, Gao M, Lan M L, *et al.* Nutrient release patterns and decomposition characteristics of different crop straws in drylands and paddy fields [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, **25**(2): 188-199.

CONTENTS

Regionalization and Analysis of PM _{2.5} and O ₃ Synergetic Prevention and Control Areas Based on Remote Sensing Data	LI Shen-xin, ZOU Bin, ZHANG Feng-ying, <i>et al.</i>	(4293)
Analysis of a Typical Ozone Pollution Process in Guangzhou in Winter	PEI Cheng-lei, XIE Yu-tong, CHEN Xi, <i>et al.</i>	(4305)
Establishment and Application of Foshan Ozone Concentration Forecast Equation	CHEN Chen, HONG Ying-ying, TAN Hao-bo, <i>et al.</i>	(4316)
Establishment of High-Resolution Emissions Inventory in Wuhai and Its Application in Exploring the Causes of Ozone Pollution	ZHANG Rui-xin, CHU Bo, SHANG Chun-lin, <i>et al.</i>	(4327)
Investigating the Pollutants of Marine Shipping Emissions Along the East China Sea by Combining in-situ Measurements and Automatic Identification System	QIU Hao, LIU Dan-long, WU Yang-zhou, <i>et al.</i>	(4338)
Chemical Component of Particulate Matters and VOCs Characteristics During Vehicle Brake Processes	MEN Zheng-yu, LIU Du-you, GUO Quan-you, <i>et al.</i>	(4348)
Characterization of VOCs Emissions from Caged Broiler House in Winter	CAO Tian-tian, ZHENG Yun-hao, ZHANG Yu, <i>et al.</i>	(4357)
Concentrations and Community Structures of Culturable Bacteria in Aerosols of Household Garbage Stations in Shanghai	LU Bing-jie, ZHANG Xiang, WANG Chuan, <i>et al.</i>	(4367)
Inventory and Distribution Characteristics of Anthropogenic Ammonia Emissions in Zhejiang Province from 2008 to 2018	FANG Li-jiang, YANG Yi-qun, YE Guan-qiong	(4380)
Roadmap of Coal Control and Carbon Reduction in the Steel Industry Under the Carbon Peak and Neutralization Target	XUE Ying-lan, ZHANG Jing, LIU Yu, <i>et al.</i>	(4392)
Carbon Emission Reduction Effect of Spatial Correlation Network Structure Characteristics: From the Perspective of Urban Agglomeration	ZHENG Hang, YE A-zhong	(4401)
Pollution and Carbon Reduction Effect of OFDI in China and Its Mechanism	BAI Zi-han, LÜ Lian-hong, ZHAO Ming-xuan, <i>et al.</i>	(4408)
Variation Characteristics of Surface Water Quality in China in Recent Years	JI Xiao-yan, HOU Huan-huan, WANG Shan-shan, <i>et al.</i>	(4419)
Distribution, Risk, and Influencing Factors of Microplastics in Surface Water of Huangshui River Basin	FAN Meng-yuan, HUANG Yi-mei, ZHANG Hai-xin, <i>et al.</i>	(4430)
Hydrochemical and Isotopic Characteristics in the Surface Water of the Fenhe River Basin and Influence Factors	ZHAO Chun-hong, SHEN Hao-yong, WANG Zhi-heng, <i>et al.</i>	(4440)
Characteristics and Causes of High-manganese Groundwater in Pearl River Delta During Urbanization	LÜ Xiao-li, LIU Jing-tao, HAN Zhan-tao, <i>et al.</i>	(4449)
Characteristics and Causes of Groundwater Salinization in the Plain Area of the Lower Kashgar River	LU Han, ZENG Yan-yan, ZHOU Jin-long, <i>et al.</i>	(4459)
Sources and Biogeochemical Processes of Nitrate in the Laolongdong Karst Underground River Basin, Chongqing	WANG Yu-yang, YANG Ping-heng, ZHANG Jie-ru	(4470)
Succession Pattern and Consequences of the Dominant Species During Cyanobacterial Bloom and Its Influencing Factors	OUYANG Tian, ZHAO Lu, JI Lu-lu, <i>et al.</i>	(4480)
Structural Characteristics of Phytoplankton Communities and Its Relationship with Environmental Factors in a Group of Drinking Water Reservoirs by Water Transmission from Modaomen Waterway in Zhuhai	ZHANG Mo-li, WANG En-rui, CHANG Sheng, <i>et al.</i>	(4489)
Effects of Nutrients on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i> and Bacteria in the Phycosphere	LÜ Ping, LI Hui-li, XU Yong, <i>et al.</i>	(4502)
Effect of Aging on Adsorption of Tetracycline by Microplastics and the Mechanisms	WANG Lin, WANG Shu-xin, ZENG Xiang-ying, <i>et al.</i>	(4511)
Effect of Colloids in Sediment and Soil on Their Sorption Behavior of Chloramphenicol	YAN Cai-xia, LUO Yan-qing, NIE Ming-hua, <i>et al.</i>	(4522)
Historical Antibiotic Stress Changed the Effects of Sulfamethoxazole and Trimethoprim on Activated Sludge: ARGs and Potential Hosts	ZHANG Zhong-xing, FAN Xiao-yan, LI Xing, <i>et al.</i>	(4536)
Spatial Distribution and Sources of Heavy Metals in Soil of a Typical Lead-Zinc Mining Area, Yangshuo	CHEN Meng, PAN Yong-xing, HUANG Yi-xiang, <i>et al.</i>	(4545)
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Baiyangdian Lake	ZHENG Fei, GUO Xin, TANG Ming-yang, <i>et al.</i>	(4556)
Spatial Differentiation and Influencing Factor Analysis of Soil Heavy Metal Content at Town Level Based on Geographic Detector	GONG Cang, WANG Liang, WANG Shun-xiang, <i>et al.</i>	(4566)
Heavy Metal Emissions from Coal-fired Power Plants and Heavy Metal Pollution Characteristics and Health Risks in Surrounding Soils	CHE Kai, CHEN Chong-ming, ZHENG Qing-yu, <i>et al.</i>	(4578)
Enrichment Factors, Health Risk, and Source Identification of Heavy Metals in Agricultural Soils in Semi-arid Region of Hainan Island	YANG Jian-zhou, GONG Jing-jing, WANG Zhen-liang, <i>et al.</i>	(4590)
Speciation and Pollution Assessment of Heavy Metals in Mangrove Surface Sediments in Jiulong River Estuary	ZHANG Hua-lan, YU Rui-lian, WAN Rui-an, <i>et al.</i>	(4601)
Status of Heavy Metal in Organic Fertilizers in Main Tea Growing Regions of China	YI Xiao-yun, FANG Li, YANG Xiang-de, <i>et al.</i>	(4613)
Accumulation Characteristics and Sources of PAEs in Agricultural Soils in Gansu Province	CHEN Yu-yu, ZHANG Guang-quan, ZHANG Yang, <i>et al.</i>	(4622)
Distribution Characteristics of Soil Phosphorus Forms and Phosphatase Activity at Different Altitudes in the Soil of Water-Level-Fluctuation Zone in Pengxi River, Three Gorges Reservoir	GAO Yi-lun, FANG Fang, TANG Zi-chao, <i>et al.</i>	(4630)
Characteristics of Soil Organic Carbon Components and Their Correlation with Other Soil Physical and Chemical Factors in Cotton Fields with Different Continuous Cropping Years in the Oasis on the Northern Edge of Tarim Basin	LI Xin-zhu, GONG Lu, TANG Jun-hu, <i>et al.</i>	(4639)
Response of Soil Respiration Rates to Soil Temperature and Moisture at Different Soil Depths of <i>Caragana korshinskii</i> Plantation in the Loess-Hilly Region	SUN Ya-rong, WANG Ya-juan, ZHAO Min, <i>et al.</i>	(4648)
Influence of Biochar Application on Soil Nitrate Leaching and Phosphate Retention: A Synthetic Meta-analysis	JIANG Zhi-xiang, CUI Shuang, ZHANG Xin, <i>et al.</i>	(4658)
Role and Mechanism of Low Molecular-Weight-Organic Acids in Enhanced Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soil	FANG Zhi-guo, XIE Jun-ting, YANG Qing, <i>et al.</i>	(4669)
Remediation Effect and Mechanism of Inorganic Passivators on Cadmium Contaminated Acidic Paddy Soil	ZHANG Jian, KONG Fan-yi, LU Sheng-gao	(4679)
Mechanism of Lead-zinc Enrichment and Resistance of Spent Mushroom Compost to Lead-Zinc Slag in <i>Koeleria paniculata</i>	XIE Tian-zhi, CHEN Yong-hua, SU Rong-kui, <i>et al.</i>	(4687)
Phosphorus Enrichment Efficiency of CaO ₂ @FA Composites and the Effect of Its Recovered Material on Soil Improvement	YUE Wei, LI Da-peng, WU Ling-yu, <i>et al.</i>	(4697)
Effects of Early Rice Straw Returning with Reducing Potassium Fertilizer on Late Rice Yield and Soil Fertility	HUANG Qiao-yi, HUANG Jian-feng, HUANG Xu, <i>et al.</i>	(4706)
Effects of Continuous Straw Returning with Chemical Fertilizer on the Carbon Pool and Crop Yield of Rice-Rape Rotation Soils	CAI Ying, FU Si-wei, ZHANG Bo-rui, <i>et al.</i>	(4716)
Effects of Chemical Fertilizer Reduction Combined with Straw Application on Diazotrophic Communities in a Double Rice Cropping System	CHEN Kai-peng, WEI Ju-xian, CHEN Dan, <i>et al.</i>	(4725)
Impacts of Co-application of Chemical Fertilizer Reduction and Organic Material Amendment on Fluvio-aquic Soil Microbial N-cycling Functional Gene Abundances and N-converting Genetic Potentials in Northern China	LI Sheng-jun, HU He, LI Gang, <i>et al.</i>	(4735)
Response Characteristics of Soil Microbial Community Under Long-term Film Mulching	HU Zhi-e, XIAO Mou-liang, DING Ji-na, <i>et al.</i>	(4745)
Effects of Long-term Straw Returning on Fungal Community, Enzyme Activity and Wheat Yield in Fluvio-aquic Soil	MA Lei, LI Yan, WEI Jian-lin, <i>et al.</i>	(4755)
Effects of Soil Amendments on the Bacterial Diversity and Abundances of Pathogens and Antibiotic Resistance Genes in Rhizosphere Soil Under Drip Irrigation with Reclaimed Water	CUI Bing-jian, CUI Er-ping, LIU Chun-cheng, <i>et al.</i>	(4765)
Effect of Nitrogen on the Phytoremediation of Cd-PAHs Co-contaminated Dumpsite Soil by Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) and on the Soil Bacterial Community Structure	LI Yi-jia, MA Jun-wei, LI Yu-qian, <i>et al.</i>	(4779)
Effect of Antibiotic-Degrading Bacteria on Maturity and Bacterial Community Succession During Pig Manure Composting	LI Wei-lin, ZHANG Xin, MA Jun-wei, <i>et al.</i>	(4789)