

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

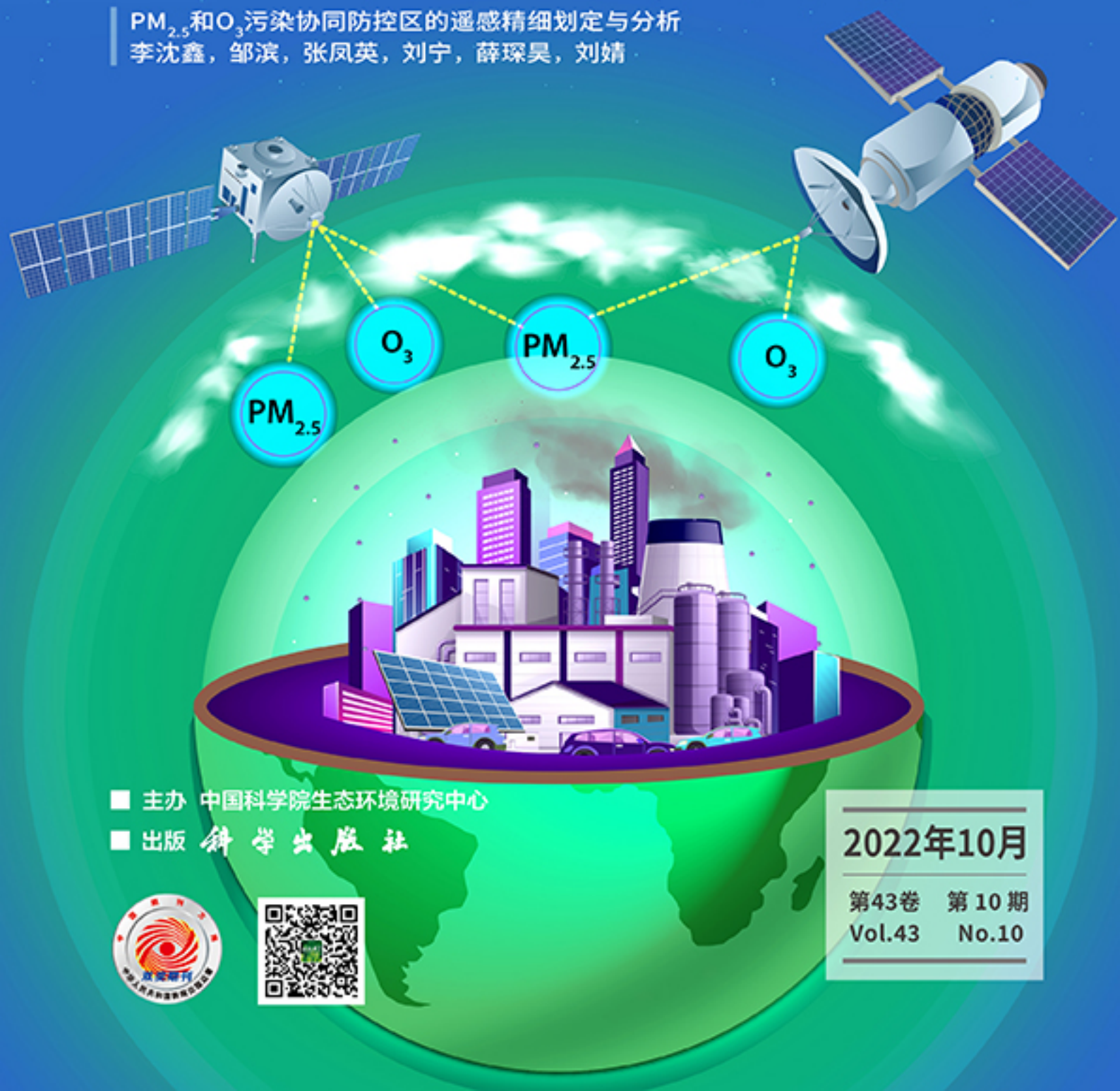
环境科学

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)	

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^{1,2}, 贡璐^{1,2*}, 唐军虎^{1,2}, 罗艳^{1,2}, 丁肇龙^{1,2}, 朱海强^{1,2}, 张涵^{1,2}, 李蕊希^{1,2}

(1. 新疆大学生态与环境学院, 乌鲁木齐 830017; 2. 绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830017)

摘要: 开展绿洲连作棉田土壤有机碳组分研究, 有助于阐明干旱区农田土壤有机碳稳定性机制在人地关系作用下变化特征。以塔里木盆地北缘阿拉尔垦区为研究区, 以空间代替时间序列法分析了 2、5、12、20 和 35 a 等不同连作年限棉田土壤有机碳、易氧化有机碳、可溶性有机碳和微生物量碳的含量特征, 结合冗余分析探讨了土壤有机碳组分与土壤其它理化因子(含水量、容重、pH 值、全盐、全氮、有效磷和速效钾)的相互关系, 结果表明: ①不同年限的连作对研究区土壤有机碳组分含量具有显著影响, 土壤有机碳、易氧化有机碳、可溶性有机碳和微生物量碳含量整体表现为连作 12、20 和 35 a 棉田高于连作 2 a、5 a 棉田和荒草地, ω (土壤有机碳)在 20 a 棉田达到峰值($7.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), 高出荒草地 76.91%, 各土壤有机碳组分含量均随着土层的加深而下降。②基于对土壤有机碳组分含量与土壤其它理化因子的冗余分析结果表明, 土壤有机碳组分含量与全氮、有效磷和含水量呈正相关关系, 与 pH 值和容重呈负相关关系。土壤其它理化因子对土壤有机碳组分含量解释的重要性排序为: 全氮 > 有效磷 > pH 值 > 容重 > 含水量 > 速效钾 > 全盐。

关键词: 连作年限; 土壤有机碳组分; 土壤理化因子; 冗余分析(RDA); 阿拉尔垦区

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)10-4639-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.202110128

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^{1,2}, GONG Lu^{1,2*}, TANG Jun-hu^{1,2}, LUO Yan^{1,2}, DING Zhao-long^{1,2}, ZHU Hai-qiang^{1,2}, ZHANG Han^{1,2}, LI Rui-xi^{1,2}

(1. College of Ecology and Environment, Xinjiang University, Urumqi 830017, China; 2. Key Laboratory of Oasis Ecology, Ministry of Education, Urumqi 830017, China)

Abstract: The study of soil organic carbon components in continuous cropping cotton fields in oases is helpful to reveal the change characteristics of the soil organic carbon stability mechanism in arid areas under the effects of man-land relationships. In this study, the contents of soil organic carbon, easily oxidized organic carbon, dissolved organic carbon, and microbial biomass carbon in cotton fields with different continuous cropping years (2 a, 5 a, 12 a, 20 a, and 35 a) were collected and analyzed by using space instead of the time series method. Through redundancy analysis, the relationship between soil organic carbon components and other soil physical and chemical factors was discussed. The results showed that: ① continuous cropping for different years had a significant impact on the content of soil organic carbon components in the study area. The contents of soil organic carbon, easily oxidized organic carbon, dissolved organic carbon, and microbial biomass carbon in continuous cropping cotton fields for 12 a, 20 a, and 35 a were higher than those in continuous cropping cotton fields and wasteland for 2 a and 5 a. ω (soil organic carbon) reached the peak value ($7.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) in the cotton field in 20 a, which was 76.91% higher than that in the wasteland. The content of soil organic carbon decreased with the deepening of the soil layer. ② Based on the redundancy analysis of soil organic carbon content and soil environmental factors, the results showed that the content of soil organic carbon was positively correlated with total nitrogen, available phosphorus, and water content and negatively correlated with pH value and bulk density. The importance of soil environmental factors on the interpretation of soil organic carbon content was as follows: total N > available P > pH value > bulk density > water content > available K > total salt.

Key words: continuous cropping years; soil organic carbon composition; soil physicochemical properties; redundancy analysis(RDA); Alar reclamation area

作为土壤碳库中最为活跃的部分,农田土壤碳库是唯一在较短时间尺度上受人类活动调节和干扰的碳库,其稳定性较低,易受到气候、植被、土壤类型和农田管理措施等差异的影响^[1,2]。土壤碳库包含土壤有机碳库和土壤无机碳库,农田土壤碳库中土壤有机碳是重要的组成部分,其对农业措施敏感性高,能直接反映土壤肥力和土壤质量水平^[3]。在不同耕作模式及土壤其它理化因子间的交互作用下,土壤物理、化学性状均会发生变化,土壤有机碳组分也相应改变。研究农田土壤有机碳组分及其与土壤其它理化因子的相互作用关系,有助于揭示农田土壤有机碳组分分配特征及其稳定性机制,可为

区域土壤资源管理和农业可持续发展提供科学依据。

土壤有机碳库特征研究一直是土壤碳循环与全球变化研究的热点领域。国内外学者主要从土壤有机碳及其组分含量的时空分布、有机碳储量、稳定性和转化规律等方面开展了广泛研究,讨论了不同土地利用方式、土壤类型、海拔高度和土壤微环境

收稿日期: 2021-10-17; 修订日期: 2022-01-31

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2020D01C035); 新疆维吾尔自治区高校科研计划项目(XJEDU202111005)

作者简介: 李昕竹(1996~),女,硕士研究生,主要研究方向为干旱区资源与环境, E-mail:lixinzhul08@163.com

* 通信作者, E-mail:gonglu721@163.com

对土壤碳库的影响,研究对象涉及森林、草地、湿地和农田等不同生态系统类型^[4~8].干旱半干旱地区生态系统净初级生产力较低,其土壤碳库含量明显低于湿润地区^[9,10].绿洲是干旱区生态系统的关键组分,其土壤碳库在系统内外的物质循环中发挥着重要作用.学者们针对绿洲土壤有机碳含量的时空分布特征开展了一定研究^[11~18],但针对农业活动作用下人工绿洲土壤碳循环的研究相对不足,需要进一步明确不同耕作制度、种植模式、施肥等行为对土壤碳库的影响.开展人工绿洲土壤碳库特征研究,可作为评价绿洲土壤“源/汇”效应的基础,同时为干旱区碳循环研究提供丰富而准确的信息.

阿拉尔垦区位于塔里木盆地北缘,是新疆典型的农业绿洲,也是全国重要产棉基地.该区域地处极端干旱区,生境脆弱^[12].自20世纪50年代开垦以来,大规模开发利用水土资源,棉田布局集中且连作时间长,原始荒漠土壤在耕作、灌溉和施肥等农业活动的作用下逐步演变为耕作土壤,其土壤有机碳随之产生增高或降低的变化趋势^[13].本文以新疆阿拉尔垦区为研究区,系统分析2、5、12、20和35 a等不同连作年限棉田土壤有机碳组分特征,讨论土壤有机碳组分与土壤其它理化因子的相互关系,通过深入理解连作对农业绿洲土壤碳库的影响,以期为提高塔里木河流域绿洲土壤固碳潜力、促进土壤资源的可持续利用提供可靠数据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

阿拉尔垦区地处塔里木盆地北缘、天山中段南麓(80°30'~81°58'E、40°22'~40°57'N).属塔里木河冲积细土平原,沿河岸及冲沟两侧略有抬升,地势由西北向东南倾斜,东西相距281 km,南北相距180 km,海拔平均值为1 012 m^[19].雨量稀少,冬季少雪,地表蒸发强烈,年均降水量为40.1~82.5 mm,年均蒸发量1 876.6~2 558.9 mm;光热条件良好,昼夜温差大,年平均温度为12.4℃,属典型的暖温带大陆性干旱荒漠气候.土壤母质主要为棕漠土,土壤偏碱性,含盐量高.主要土地利用类型为棉田、果园、人工林、天然林、荒草地、盐碱地和沙地等,适宜种植长绒棉和细绒棉,是我国重要的长绒棉和细绒棉生产基地.

1.2 野外采样

野外土样采集于2020年6~7月进行.采样地点为阿拉尔垦区的十二团附近农田,当地种植品种

为“新陆中82号”,由当地兵团统筹管理耕作方式,采用地膜滴灌,生育期滴灌5~7次,基肥为磷酸二铵、尿素、硫酸钾和混合有机肥等.在该区域选择地理位置相近且土壤质地一致的5种不同连作年限棉田,分别为2年(2 a)棉田、5年(5 a)棉田、12年(12 a)棉田、20年(20 a)棉田和35年(35 a)棉田,采样前15 d无灌溉;对照组(即荒草地,CK)为荒草地,植被覆盖主要为骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、怪柳(*Tamarix* spp.)和花花柴(*Karelinia caspica*)等荒漠植被.每块样地约0.12 hm²,以上每种类型分别选取3个1 m×1 m的典型样方,采集表土层(0~20 cm)、心土层(20~40 cm)和底土层(40~60 cm)土样,去除较明显的根茬、石块等杂物,将土块捏碎后充分混匀,每层土样用四分法取土带回实验室.将一部分新鲜土样过筛冷藏保存,用于测定土壤可溶性有机碳与土壤微生物量碳含量.另一部分风干处理,过筛装袋保存,用于测定其他指标.

1.3 实验室分析

本研究选择的土壤碳组分包括土壤有机碳、土壤易氧化有机碳、土壤可溶性有机碳和土壤微生物量碳.土壤有机碳采用重铬酸钾外加热法;易氧化有机碳采用高锰酸钾氧化-比色法;可溶性有机碳采用冷水浸提法;微生物量碳采用氯仿熏蒸-提取法^[20].

选择的土壤其它理化因子包括土壤含水量、容重、pH值、全盐、全氮、有效磷和速效钾,共7个指标.具体测定方法为^[21]:土壤含水量采用烘干法;容重采用环刀法;pH值采用电位法;全盐由CO₃²⁻、HCO₃⁻、Cl⁻、SO₄²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺和K⁺这8种离子加和得出;CO₃²⁻和HCO₃⁻采用双指示剂中和法^[21],Cl⁻采用AgNO₃滴定法^[21],SO₄²⁻采用EDTA间接滴定法^[21],Ca²⁺和Mg²⁺采用EDTA络合滴定法^[21],Na⁺和K⁺采用火焰光度法^[21];全氮采用半微量凯氏法^[21];有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法^[21];速效钾采用醋酸铵浸提-火焰光度计法^[21].

1.4 数据处理与统计方法

对本研究的数据首先采用Excel 2012进行整理和基本统计学分析,其次通过SPSS 17.0软件对不同连作年限和不同土层土壤有机碳组分含量和土壤其它理化因子进行最小显著性差异法检验(least-significant difference, LSD),检验其含量的差异性($\alpha=0.05$),并对土层深度和连作年限之间交互作用进行分析.选用Canoco 4.5进行冗余分析(redundancy analysis, RDA),对土壤有机碳组分含量与土壤其它理化因子之间的相关性进行研究.

2 结果与分析

2.1 土壤有机碳组分与土壤其它理化因子经典统计学分析

研究区土壤有机碳组分与土壤其它理化因子统计学分析结果如表 1 所示. 研究区土壤有机碳组分含量均不高,土壤有机碳、易氧化有机碳、可溶性有机碳和微生物量碳均值分别为 3.83 g·kg⁻¹、1.36 g·kg⁻¹、0.10 g·kg⁻¹ 和 116.54 mg·kg⁻¹. 土壤其它理化因子中,含水量较低,均值

为 21.22%; 容重在 1.23 ~ 1.45 g·cm⁻³之间; 研究区土壤偏碱性,盐渍化程度较高,pH 值均值为 8.04,全盐变化幅度较大,范围在 0.79 ~ 34.77 g·kg⁻¹; 全氮、有效磷和速效钾的均值分别为 0.38 g·kg⁻¹、16.11 mg·kg⁻¹和 197.20 mg·kg⁻¹. 变异系数是描述变量空间变异程度的主要指标,综合分析土壤有机碳及其组分以及土壤其它理化因子的变异性可知,容重和 pH 值变异系数小于 0.1,为弱变异,其余指标变异系数均在 0.19 ~ 0.97 之间,为中等变异.

表 1 土壤有机碳组分含量与土壤其它理化因子的统计学参数

Table 1 Statistical parameters of soil organic carbon content and other soil physical and chemical factors

变量指标	最大值	最小值	均值	标准差	偏度	峰度	变异系数
含水量/%	31.70	9.37	21.22	5.53	-0.41	-0.64	0.26
容重/g·cm ⁻³	1.45	1.23	1.33	0.06	0.32	-0.99	0.05
pH	8.79	7.59	8.04	0.24	0.78	1.33	0.03
ω(土壤有机碳)/g·kg ⁻¹	7.06	0.95	3.83	1.70	0.20	-1.16	0.44
ω(易氧化有机碳)/g·kg ⁻¹	2.48	0.58	1.36	0.63	0.22	-1.48	0.47
ω(可溶性有机碳)/g·kg ⁻¹	0.15	0.05	0.10	0.03	-0.13	-1.03	0.28
ω(微生物量碳)/mg·kg ⁻¹	175.96	52.31	116.54	36.07	-0.02	-1.37	0.31
ω(全盐)/g·kg ⁻¹	34.77	0.79	6.40	6.20	2.25	7.15	0.97
ω(全氮)/g·kg ⁻¹	0.63	0.15	0.38	0.13	0.31	-1.00	0.33
ω(有效磷)/mg·kg ⁻¹	35.93	2.693	16.11	9.23	0.24	-0.93	0.57
ω(速效钾)/mg·kg ⁻¹	311.77	133.90	197.20	36.91	1.00	1.17	0.19

2.2 不同连作年限棉田土壤有机碳组分含量特征及差异性分析

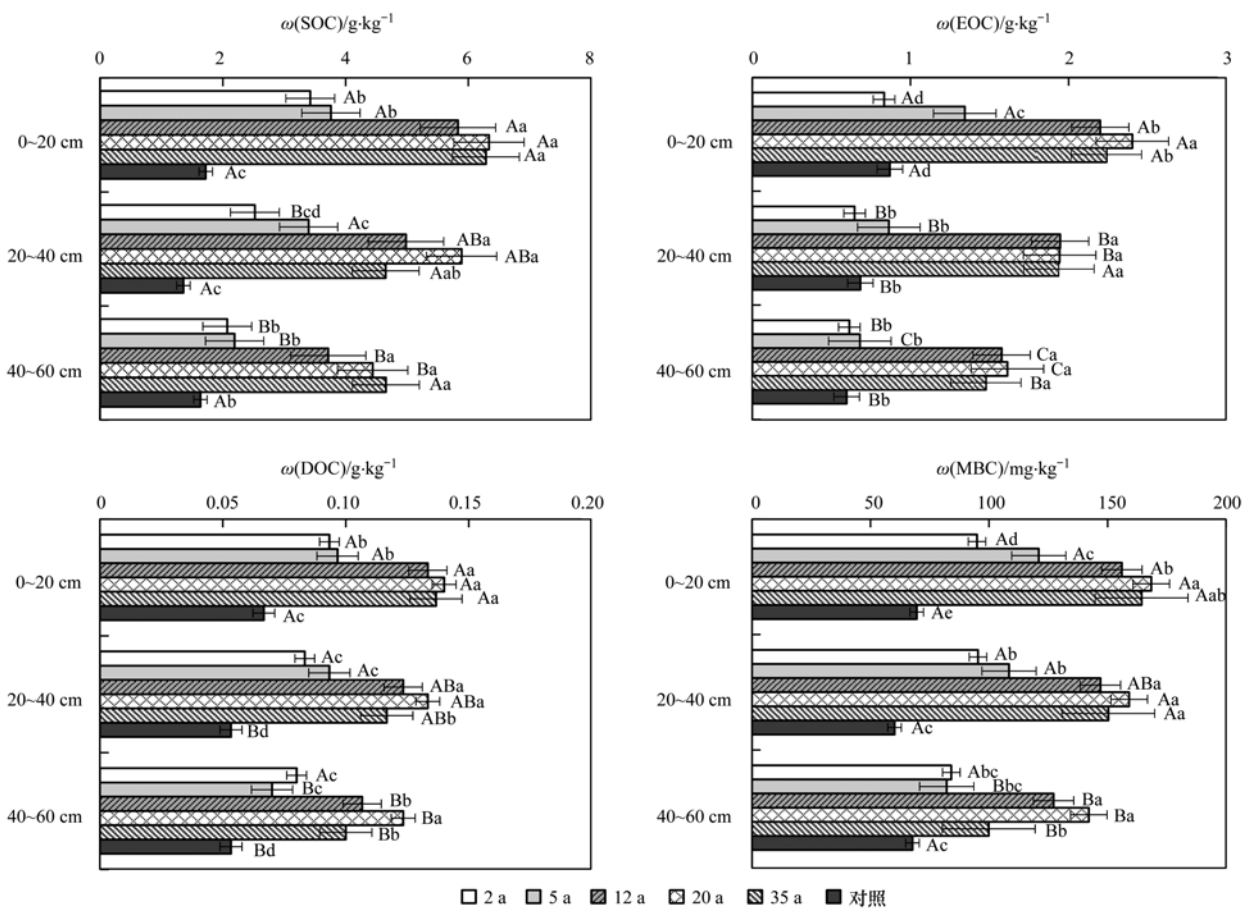
阿拉尔垦区不同连作年限棉田土壤有机碳组分含量特征如图 1 所示. 各年限棉田土壤有机碳组分含量均在 0 ~ 20 cm 土层最高,且大部分有机碳组分含量均随着土层的加深呈下降趋势. 荒草地土壤有机碳、微生物量碳含量及连作 35 a 棉田土壤有机碳含量表现为 40 ~ 60 cm 略高于 20 ~ 40 cm. 同一土层不同连作年限棉田间土壤有机碳组分含量也呈现出一定差异性. 在 0 ~ 20 cm 土层中,有机碳组分呈现相同的变化趋势:20 a > 35 a > 12 a > 5 a > 2 a > 荒草地,且连作 20 a 棉田中 ω(有机碳)最高,为 7.06 g·kg⁻¹,显著高于连作 5 a、2 a 棉田和荒草地. 在 20 ~ 40 cm 土层中,土壤有机碳和微生物量碳呈现出和表层相同的规律,易氧化有机碳含量在连作 12、20 和 35 a 棉田间差异不显著,可溶性有机碳含量表现为连作 20 a 和 12 a 棉田显著高于其它年限. 在 40 ~ 60 cm 土层中,连作 35 a 棉田中 ω(有机碳)最大,为 5.81 g·kg⁻¹,ω(易氧化有机碳)在 20 a 达到最大,为 1.68 g·kg⁻¹,连作 12 a 棉田和连作 35 a 棉田次之,且均显著高于其它年限,可溶性有机碳和微生物量碳含量表现为:20 a > 12 a > 35 a > 2 a > 5 a > 荒草地.

2.3 不同连作年限棉田土壤其它理化因子特征及差异性分析

随着土层深度的变化不同连作年限土壤其它理化因子呈现出不同的动态变化,如图 2. 连作棉田土壤含水量显著高于荒草地,随着连作年限增加呈先增大后减小趋势,并随着土层加深而增大. 连作 12 a 和 20 a 棉田土壤容重显著低于其他类型,在各土层间变化不大. 研究区土壤偏碱性,pH 值整体随连作年限的增加而减小,荒草地显著高于其它连作年限棉田. 全盐含量随连作年限的增加而增大,且表现为表层含盐量较高. 土壤全氮及有效磷含量整体呈现为连作 12、20 和 35 a 棉田显著高于 2 a 和 5 a 棉田和荒草地,其中全氮和有效磷分别在 5、12、35 a 和 12、20、35 a 中表现为随土层加深逐渐降低. 连作 12 a 棉田速效钾含量显著高于荒草地,各土层速效钾含量无显著性差异.

2.4 土壤有机碳组分的整体变异分析

土层深度和连作年限以及两因素交互作用对土壤有机碳组分含量影响程度各不相同. 如表 2,土层深度和连作年限对土壤有机碳组分的影响均达到极显著水平(P < 0.01),土壤有机碳、易氧化有机碳、可溶性有机碳和微生物量碳受连作年限影响较大,其Ⅲ型平方和分别为 115.553、20.979、0.036 和



SOC:土壤有机碳; EOC:易氧化有机碳; DOC:可溶性有机碳; MBC:微生物量碳; 不同大写字母表示同一连作年限棉田不同土层之间土壤有机碳组分的显著性差异($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一土层不同连作年限棉田之间土壤有机碳组分的显著性差异($P < 0.05$)

图 1 不同连作年限棉田土壤有机碳组分含量

Fig. 1 Content of soil organic carbon components in cotton fields with different continuous cropping years

表 2 层深度和连作年限对土壤有机碳组分的变异来源分析¹⁾

Table 2 Analysis of variation sources of soil layer depth and continuous cropping years on soil organic carbon components

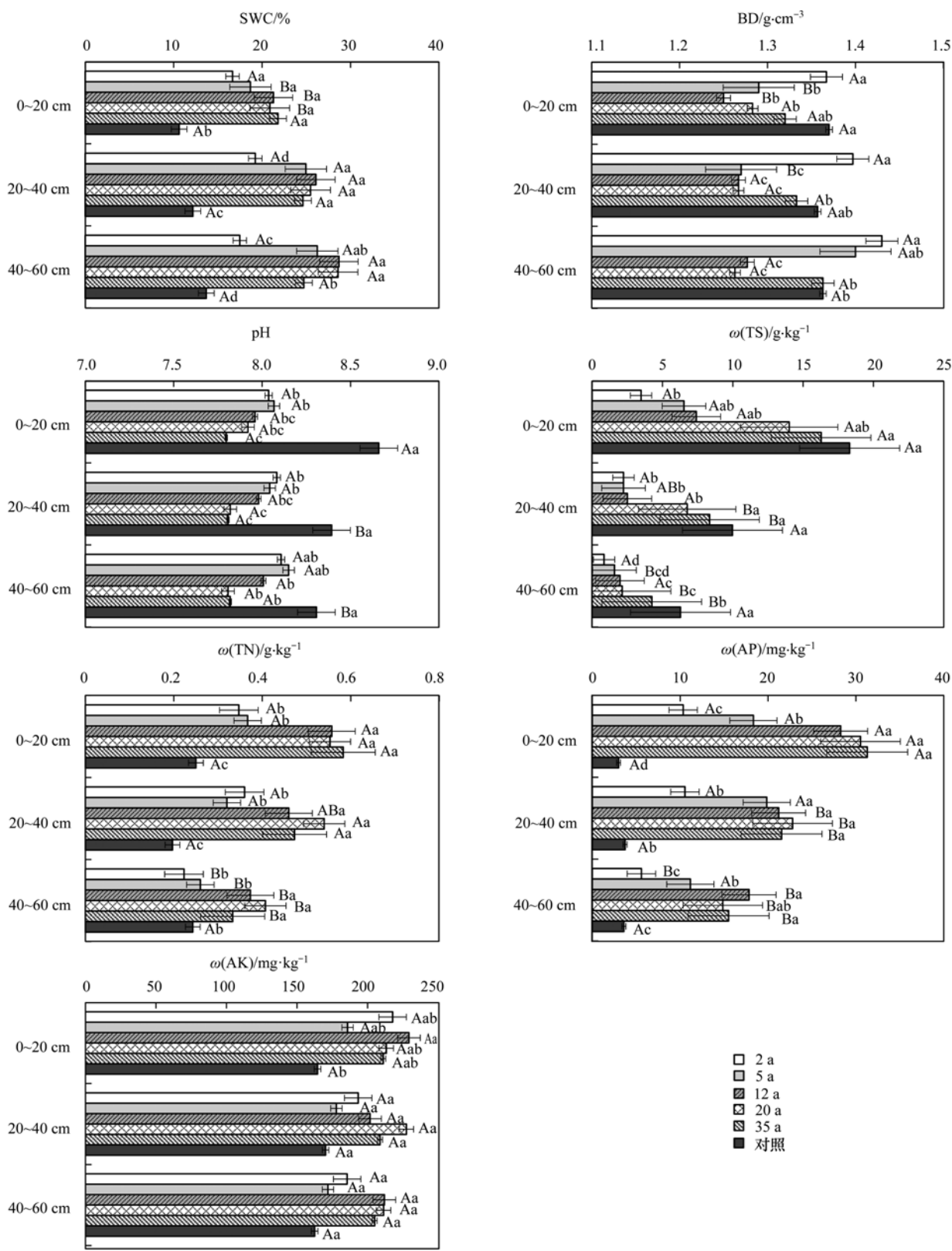
源	因变量	Ⅲ型平方和	df	均方	F	Sig.
土层深度	土壤有机碳	18.727	2	9.362	21.809	0.000**
	易氧化有机碳	1.161	2	0.581	30.769	0.000**
	可溶性有机碳	0.004	2	0.002	29.293	0.000**
	微生物量碳	7 654.414	2	3 827.207	48.349	0.000**
连作年限	土壤有机碳	115.553	5	23.111	53.837	0.000**
	易氧化有机碳	20.979	5	4.196	222.306	0.000**
	可溶性有机碳	0.036	5	0.007	94.093	0.000**
	微生物量碳	55 403.473	5	11 080.695	139.981	0.000**
土层 × 连作年限	土壤有机碳	6.407	10	0.641	1.493	0.182
	易氧化有机碳	0.170	10	0.017	0.902	0.541
	可溶性有机碳	0.001	10	9.963	1.312	0.261
	微生物量碳	4 367.133	10	436.713	5.517	0.000**

1) ** 表示 $P < 0.01$

55 403.473; 微生物量碳含量除受到土层深度、连作年限的影响,还受到土层深度和连作年限两因素交互作用的影响,其Ⅲ型平方和为4 367.133. 两因素的交互作用对其它有机碳组分未达到显著影响水平.

2.5 土壤有机碳组分含量与土壤其它理化因子相关性分析

从 RDA 排序和相关性热图可见(图 3),各土壤有机碳组分含量和土壤其它理化因子中全氮、有效磷和含水量的连线最长,且和土壤有机碳、易氧化



SWC:含水量; BD:容重; TS:全盐; TN:全氮; AP:有效磷; AK:速效钾; 不同大写字母表示同一连作年限棉田不同土层之间土壤其它理化因子的显著性差异 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一土层不同连作年限棉田之间土壤其它理化因子的显著性差异 ($P < 0.05$)

图2 不同连作年限棉田土壤其它理化因子特征

Fig. 2 Characteristics of other physical and chemical factors in cotton soil with different continuous cropping years

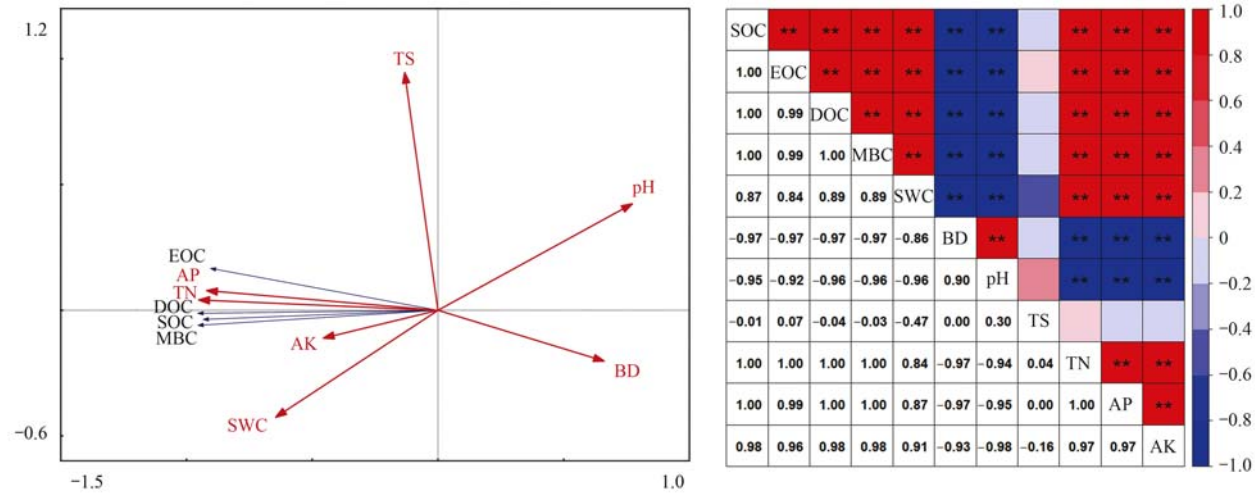
有机碳、可溶性有机碳、微生物量碳含量的夹角余弦值较大,说明这3种理化因子与土壤有机碳组分含量相关系数较大且呈正相关,土壤氮磷含量以及

含水量对土壤中有机碳的转化有较大影响;全盐连线较长但夹角余弦值较小,全盐与土壤有机碳组分含量呈正相关关系,但相关性小;速效钾与土壤有

机碳组分含量呈正相关关系,相关性较小;pH 值和容重与土壤有机碳组分含量呈负相关关系。

7 种土壤其它理化因子对各土壤有机碳组分含量的影响存在一定差异,其重要性排序和显著性检验结果如表 3 所示.其重要性排序为:全氮>有效磷>pH 值>容重>含水量>速效钾>全盐.其中,全

氮、有效磷、pH 值、容重、含水量、速效钾对土壤有机碳组分的影响达到显著水平 ($P = 0.002 < 0.05$),解释率分别为 79.0%、73.9%、52.3%、38.2%、36.5% 和 18.2%,而全盐对土壤有机碳组分含量的影响未达到显著水平 ($P = 0.308 > 0.05$),其解释率为 2.3%。



热图中红色表示正相关,蓝色表示负相关,颜色强度与相关系数成正比, ** 表示相关性呈显著水平

图 3 土壤有机碳组分含量与土壤其它理化因子相关性的 RDA 二维排序和相关性热图

Fig. 3 RDA two-dimensional ranking map and correlation heatmap of the correlation between soil organic carbon content and other soil physical and chemical factors

表 3 土壤其它理化因子解释的重要性排序和显著性检验结果

Table 3 Importance ranking and significance test results of interpretation of other soil physical and chemical factors

土壤其它理化因子	重要性排序	解释率/%	F	P
全氮	1	79.0	195.295	0.002
有效磷	2	73.9	147.041	0.002
pH	3	52.3	56.978	0.002
容重	4	38.2	32.156	0.002
含水量	5	36.5	29.859	0.002
速效钾	6	18.2	11.532	0.002
全盐	7	2.3	1.2	0.308

3 讨论

3.1 不同连作年限和土层对土壤有机碳组分含量特征的影响

土壤有机碳含量是土壤、植被类型和人为干扰等多重因素综合影响下有机碳动态平衡的体现,在不同土地利用方式下,土壤所受的干扰程度不同,致使土壤有机碳含量存在显著差异^[10]. 本研究中,不同年限连作对研究区土壤有机碳组分含量具有显著影响,土壤有机碳组分含量整体表现为连作 12、20 和 35 a 棉田高于连作 2 a、5 a 棉田和荒草地,并且多在 20 a 达到峰值. 这与 Mustafa 等^[22]对连作玉米和 Majhi 等^[23]对连作水稻土壤有机碳的研究结果相似. 土壤有机碳含量与地表覆被植物的归还量与分解速率密切相关. 土地由荒草地转为耕地后,伴随

耕作、施肥和灌溉等农田管理活动,作物长势不断转好,生物量提升,作物残体分解补充了土壤中的有机物质,碳积累增多,易氧化有机碳、可溶性有机碳和微生物量碳等活性有机碳不断增加. 开垦一段时间后有机物的输入和输出之间达到相对均衡,碳含量从增长趋于稳定状态^[24]. 然而,随着耕作年限的增加,35 a 棉田的土壤有机碳组分含量出现了下降趋势,尤其是相对活跃的活性有机碳组分如可溶性有机碳和微生物量碳在土壤各层均较 20 a 棉田有所降低. 连作年限控制在一定时间内有利于土壤养分积累,长期连作则导致土壤板结限制了棉花根系的生长,同时土壤质量下降,致使土壤有机碳储量降低^[25]. 但是,也有学者对连作棉田土壤的研究发现^[26,27],随着连作年限增大有机碳含量一直呈增加趋势,未出现下降趋势. 这可能是由耕作方式不同引起,其研究对象采用秸秆机械还田方式,秸秆中的碳素补充了土壤有机碳库.

在土壤垂直剖面中,不同连作年限土壤有机碳组分含量均随着土层的加深而下降. 表层土壤腐殖质较厚、通气性好、微生物丰富度较高^[28],并且秸秆还田补充了有机质,有利于有机碳的积累,而土层越深微生物的活动相对较少,同时外源性碳输入降低. 陈春兰等^[29]和 Wang 等^[30]在对于土壤剖面有机碳组分分布特征的研究中得到了相同的结论.

3.2 不同连作年限和土层对土壤其它理化因子含量特征的影响

耕作制度直接作用于土壤,影响着土壤的物理和化学性质. 土壤容重可反映土壤紧实程度,表征了土壤孔隙度的大小,也是评估不同耕作方式土壤质量的重要指标^[31]. 研究区中荒草地和初开垦农田土壤较为紧实,随着连作年限增加,翻耕等人为干扰导致容重减小,这与孙小花等^[32]的研究结果相同. 同时,有学者在针对艾比湖流域连作棉田的研究中发现连作 10 a 后容重趋于增大^[33]. 事实上,随着连作年限的持续增加,有机肥补充不足及氮磷肥施入过多,破坏了土壤团粒结构使土壤板结,造成土壤容重变大,因此本研究中 30 a 棉田的容重相对较高.

土壤 pH 值和全盐对微生物活性、植物生长和土壤养分有效性等有直接影响. 卢维宏等^[34]和 Liang 等^[35]的研究发现,随着连作年限增加,长期施用大量相同肥料使土壤中盐分不断积累, pH 值降低,土壤酸化现象加剧. 本研究中,阿拉尔垦区棉田土壤在长期施肥过程中酸化现象普遍, pH 值由 8.79 下降至 7.59. 同时发生在农田内部的次生盐渍化现象加剧,荒草地开垦为农田后,全盐含量随连作年限增加而增加,尤其在表土层较高,呈现明显表聚性特征.

土壤全氮、有效磷和速效钾是土壤生态系统中重要的养分指标,其含量表征了土壤持续供给氮磷钾的能力. 研究区土壤全氮和有效磷含量总体随连作年限增加呈现上升趋势,底土层和心土层在 30 a 略有降低,而速效钾变化不大. 这与已有的研究结论一致^[36, 37],主要是与耕作过程中长期施加氮肥和磷肥有关,也有学者得出全氮和有效磷随连作年限增大呈先上升后下降趋势^[38],这主要与农田种植作物类型和施肥方式不同有关.

3.3 不同连作年限棉田土壤有机碳组分含量与土壤其它理化因子的关系

不同连作年限棉田中,土壤物理属性、盐渍化程度及水分和养分的利用率异质性较大,土壤有机碳组分含量受土壤其它理化因子不同程度的影响. 在本研究中,全氮和有效磷与土壤有机碳组分的相互关系最为密切. 外源氮、磷输入增加了根系生物量和分泌物的种类和数量,显著促进了农田生态系统土壤有机碳积累,因此全氮和有效磷与土壤有机碳组分呈显著正相关关系^[39~41].

除此以外,对土壤有机碳组分含量变化作用较大的指标有 pH 值、容重和含水量. 本研究发现,土壤有机碳组分含量与含水量呈正相关,与 pH 值和容重呈负相关. 土壤 pH 值通过影响作物根系的成

长发育,以及土壤微生物活跃程度间接影响土壤中有机碳组分的积累. 刘红宜等^[42]和 Motavalli 等^[43]的研究表明有机碳的周转受到土壤酸碱度影响,在平原农田中有机碳组分与土壤 pH 值呈负相关关系. 土壤容重通过影响孔隙度而影响土壤水分和土壤空气的关系, de Panl Obade 等^[44]的研究发现在 3 种不同耕种模式下土壤容重的变化显著影响了土壤有机碳含量,本文中连作年限增加容重增大抑制了土壤中碳转化过程,因此土壤有机碳各组分含量与容重呈负相关. 水分的升高有利于凋落物分解、有机碳矿化和微生物活性状态,含水量的增加能够通过改善土壤环境的氧气条件从而对微生物活性产生影响,进而促进土壤有机碳积累^[45, 46],因此连作棉田土壤有机碳组分含量与含水量表现为正相关.

4 结论

(1) 不同年限的连作对研究区土壤有机碳组分含量具有显著影响,土壤有机碳、易氧化有机碳、可溶性有机碳和微生物量碳含量整体表现为连作 12、20 和 35 a 棉田高于连作 2 a、5 a 棉田和荒草地, ω (土壤有机碳)在 20 a 棉田达到峰值($7.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)高出荒草地 76.91%,各土壤有机碳组分含量均随着土层的加深而下降.

(2) 基于对土壤有机碳组分含量与土壤其它理化因子的冗余分析结果表明,土壤有机碳组分含量与全氮、有效磷和含水量呈正相关关系,与 pH 值和容重呈负相关关系. 土壤其它理化因子对土壤有机碳组分含量解释的重要性排序为:全氮 > 有效磷 > pH 值 > 容重 > 含水量 > 速效钾 > 全盐.

参考文献:

- [1] Fang J Y, Yu G R, Liu L L, *et al.* Climate change, human impacts, and carbon sequestration in China[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2018, **115**(16): 4015-4020.
- [2] Bhattacharya S S, Kim K H, Das S, *et al.* A review on the role of organic inputs in maintaining the soil carbon pool of the terrestrial ecosystem[J]. *Journal of Environmental Management*, 2016, **167**: 214-227.
- [3] 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.
- [4] Zhao W, Hu Z M, Li S G, *et al.* Impact of land use conversion on soil organic carbon stocks in an agro-pastoral ecotone of Inner Mongolia[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, **27**(8): 999-1010.
- [5] 殷有, 刘源跃, 井艳丽, 等. 辽东山区三种典型林型土壤有机碳及其组分含量[J]. *生态学杂志*, 2018, **37**(7): 2100-2106.
Yin Y, Liu Y Y, Jing Y L, *et al.* Contents of soil organic carbon

- and components in three types of forests in the mountain area of Eastern Liaoning [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, **37** (7): 2100-2106.
- [6] 常帅, 于红博, 曹聪明, 等. 锡林郭勒草原土壤有机碳分布特征及其影响因素[J]. *干旱区研究*, 2021, **38**(5): 1355-1366.
- Chang S, Yu H B, Cao C M, *et al.* Distribution characteristics of soil organic carbon in Xilin Gol steppe and its influencing factors[J]. *Arid Zone Research*, 2021, **38**(5): 1355-1366.
- [7] 张燕江, 王俊鹏, 王瑜, 等. 农牧交错带典型区土壤氮磷空间分布特征及其影响因素[J]. *环境科学*, 2021, **42**(6): 3010-3017.
- Zhang Y J, Wang J P, Wang Y, *et al.* Spatial patterns of nitrogen and phosphorus in soil and their influencing factors in a typical agro-pastoral ecotone[J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(6): 3010-3017.
- [8] 王玉竹, 肖和艾, 周萍, 等. 江汉平原农田土壤有机碳分布与变化特点: 以潜江市为例[J]. *环境科学*, 2015, **36**(9): 3422-3428.
- Wang Y Z, Xiao H A, Zhou P, *et al.* Distribution and dynamics of cropland soil organic carbon in Jiangnan Plain: a case study of Qianjiang city [J]. *Environmental Science*, 2015, **36**(9): 3422-3428.
- [9] 李成, 王让会, 李兆哲, 等. 中国典型农田土壤有机碳密度的空间分异及影响因素[J]. *环境科学*, 2021, **42**(5): 2432-2439.
- Li C, Wang R H, Li Z Z, *et al.* Spatial differentiation of soil organic carbon density and influencing factors in typical croplands of China [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(5): 2432-2439.
- [10] 李金全, 李兆磊, 江国福, 等. 中国农田耕层土壤有机碳现状及控制因素[J]. *复旦学报(自然科学版)*, 2016, **55**(2): 247-256, 266.
- Li J Q, Li Z L, Jiang G F, *et al.* A study on soil organic carbon in plough layer of China's arable land [J]. *Journal of Fudan University (Natural Science)*, 2016, **55**(2): 247-256, 266.
- [11] Kou T J, Zhu P, Huang S, *et al.* Effects of long-term cropping regimes on soil carbon sequestration and aggregate composition in rainfed farmland of Northeast China [J]. *Soil and Tillage Research*, 2012, **118**: 132-138.
- [12] 贡璐, 朱美玲, 刘曾媛, 等. 塔里木盆地南缘典型绿洲土壤有机碳、无机碳与环境因子的相关性[J]. *环境科学*, 2016, **37**(4): 1516-1522.
- Gong L, Zhu M L, Liu Z Y, *et al.* Correlation among soil organic carbon, soil inorganic carbon and the environmental factors in a typical oasis in the southern edge of the Tarim Basin [J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(4): 1516-1522.
- [13] 安申群, 贡璐, 李杨梅, 等. 塔里木盆地北缘绿洲4种土地利用方式土壤有机碳组分分布特征及其与土壤环境因子的关系[J]. *环境科学*, 2018, **39**(7): 3382-3390.
- An S Q, Gong L, Li Y M, *et al.* Soil organic carbon components and their correlation with soil physicochemical factors in four different land use types of the northern Tarim Basin [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(7): 3382-3390.
- [14] 陈新, 贡璐, 李杨梅, 等. 典型绿洲不同土壤类型有机碳含量及其稳定碳同位素分布特征[J]. *环境科学*, 2018, **39**(10): 4735-4743.
- Chen X, Gong L, Li Y M, *et al.* Spatial variation of soil organic carbon and stable isotopes in different soil types of a typical oasis [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(10): 4735-4743.
- [15] 李杨梅, 贡璐, 安申群, 等. 基于稳定碳同位素技术的干旱区绿洲土壤有机碳向无机碳的转移[J]. *环境科学*, 2018, **39**(8): 3867-3875.
- Li Y M, Gong L, An S Q, *et al.* Transfer of soil organic carbon to inorganic carbon in arid oasis based on stable carbon isotope technique [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(8): 3867-3875.
- [16] 史常明, 柳洋, 张富荣, 等. 焉耆盆地绿洲农田不同类型土壤有机碳空间分布特征及储量估算[J]. *干旱区研究*, 2021, **38**(3): 672-681.
- Shi C M, Liu Y, Zhang F R, *et al.* Soil organic carbon spatial distribution and reserve estimation of different soil types in Yanqi Basin oasis area [J]. *Arid Zone Research*, 2021, **38**(3): 672-681.
- [17] 孔君治, 杜泽玉, 杨荣, 等. 荒漠绿洲农田垦殖过程中耕层土壤碳储量演变特征[J]. *应用生态学报*, 2019, **30**(1): 180-188.
- Kong J Q, Du Z Y, Yang R, *et al.* Evolutionary characteristics of soil organic carbon storage in soil plough layer under a cropland reclamation process in desert oasis [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, **30**(1): 180-188.
- [18] Tong J H, Hu J H, Lu Z, *et al.* The impact of land use and cover change on soil organic carbon and total nitrogen storage in the Heihe River Basin: a meta-analysis [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2019, **29**(9): 1578-1594.
- [19] 张伟. 基于棉花新标准阿拉尔垦区棉花品质特点及其影响因素分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. (第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [21] 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.
- [22] Mustafa A, Hu X, Abrar M M, *et al.* Long-term fertilization enhanced carbon mineralization and maize biomass through physical protection of organic carbon in fractions under continuous maize cropping [J]. *Applied Soil Ecology*, 2021, **165**, doi: 10.1016/J.APSOIL.2021.103971.
- [23] Majhi P, Rahman F H, Bhattacharya R. Continuous rice cropping system with integrated use of inorganic and organic sources of nutrients for soil quality improvement [J]. *International Journal of Environment and Climate Change*, 2021, **11**(2): 109-123.
- [24] Haas H J, Evans C E. Nitrogen and carbon changes in great plains soils as influenced by cropping and soil treatments [J]. *Technical Bulletins*, 1957, doi: 10.22004/ag.econ.157187.
- [25] 叶祖鹏, 白旭明, 陈波浪. 不同连作年限对棉花根系形态和产量的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2020, **38**(2): 135-141.
- Ye Z P, Bai X M, Chen B L. Effects of different years of continuous cropping on cotton root morphology and yield [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2020, **38**(2): 135-141.
- [26] 雷军, 张风华, 林海荣, 等. 干旱区盐渍化荒地不同开垦年限土壤碳氮储量研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2017, **35**(3): 266-271.
- Lei J, Zhang F H, Lin H R, *et al.* Soil carbon and nitrogen storage of different reclamation years in salinized wasteland in arid region [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2017, **35**(3): 266-271.
- [27] 景峰, 曹晶晶, 刘建国. 秸秆还田下绿洲连作棉田土壤有机碳储量的积累动态[J]. *石河子大学学报(自然科学版)*, 2016, **34**(3): 295-300.
- Jing F, Cao J J, Liu J G. Accumulation of soil organic carbon

- storage under straw returning in the continuously cropped cotton field in Oasis [J]. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 2016, **34**(3): 295-300.
- [28] 马维伟, 孙文颖. 尕斯库勒湖湿地植被退化过程中有机碳及相关土壤酶活性变化特征[J]. *自然资源学报*, 2020, **35**(5): 1250-1260.
- Ma W W, Sun W Y. Changes of organic carbon and related soil enzyme activities during vegetation degradation in Gahai Wetland [J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, **35**(5): 1250-1260.
- [29] 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.
- [30] Wang Y Q, Shao M A, Zhang C C, *et al.* Soil organic carbon in deep profiles under Chinese continental monsoon climate and its relations with land uses [J]. *Ecological Engineering*, 2015, **82**: 361-367.
- [31] Logsdon S D, Karlen D L. Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage [J]. *Soil and Tillage Research*, 2004, **78**(2): 143-149.
- [32] 孙小花, 胡新元, 陆立银, 等. 黄土高原马铃薯不同连作年限土壤理化性质及微生物特性[J]. *干旱地区农业研究*, 2019, **37**(4): 184-192.
- Sun X H, Hu X Y, Lu L Y, *et al.* Soil physical and chemical properties and microbial characteristics of potato in different continuous cropping years on the Loess Plateau [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2019, **37**(4): 184-192.
- [33] 何学敏, 吕光辉, 秦璐, 等. 干旱地区棉田连作对土壤氮素含量及氮转化速率的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2019, **37**(2): 64-71, 80.
- He X M, Lv G H, Qing L, *et al.* Effect of continuous cotton cropping on soil nitrogen content and its transformation rate in arid area [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2019, **37**(2): 64-71, 80.
- [34] 卢维宏, 张乃明, 包立, 等. 我国设施栽培连作障碍特征与成因及防治措施的研究进展[J]. *土壤*, 2020, **52**(4): 651-658.
- Lu W H, Zhang N M, Bao L, *et al.* Study advances on characteristics, causes and control measures of continuous cropping obstacles of facility cultivation in China [J]. *Soils*, 2020, **52**(4): 651-658.
- [35] Liang Y, Lin X, Yamada S, *et al.* Soil degradation and prevention in greenhouse production [J]. *SpringerPlus*, 2013, **2**(S1), doi: 10.1186/2193-1801-2-S1-S10.
- [36] Shang Q Y, Ling N, Feng X M, *et al.* Soil fertility and its significance to crop productivity and sustainability in typical agroecosystem: a summary of long-term fertilizer experiments in China [J]. *Plant and Soil*, 2014, **381**(1-2): 13-23.
- [37] 唐光木, 张云舒, 徐万里, 等. 长期耕作对新疆绿洲农田土壤颗粒中有机碳和全氮含量的影响[J]. *中国农业科学*, 2020, **53**(24): 5039-5050.
- Tang G M, Zhang Y S, Xu W L, *et al.* Effects of long-term cultivation on contents of organic carbon and total nitrogen in soil particulate fraction in oasis farmland of Xinjiang [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, **53**(24): 5039-5050.
- [38] 高文翠, 杨卫君, 史春玲, 等. 呼图壁县不同连作年限棉田土壤理化性质变化分析[J]. *新疆农业大学学报*, 2020, **43**(2): 144-149.
- Gao W C, Yang W J, Shi C L, *et al.* Analysis of changes of soil physical and chemical properties in different continuous cropping cotton fields in Hutubi County [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2020, **43**(2): 144-149.
- [39] Lu M, Zhou X H, Luo Y Q, *et al.* Minor stimulation of soil carbon storage by nitrogen addition: a meta-analysis [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2011, **140**(1-2): 234-244.
- [40] DeBusk W F, Reddy K R. Turnover of detrital organic carbon in a nutrient-impacted everglades marsh [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, **62**(5): 1460-1468.
- [41] 刘诗蓉, 王红兰, 孙辉, 等. 四川盆地丘陵区半夏连作对土壤理化性状的影响研究[J]. *灌溉排水学报*, 2020, **39**(S1): 159-164.
- Liu S R, Wang H L, Sun H, *et al.* Effects of continuous cropping of *Pinellia ternata* on soil physical and chemical properties in hilly area of Sichuan Basin [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2020, **39**(S1): 159-164.
- [42] 刘红宜, 陈冲, 卢瑛, 等. 珠江三角洲平原农田土壤有机碳组分及剖面分布特征[J]. *土壤通报*, 2017, **48**(2): 399-405.
- Liu H Y, Chen C, Lu Y, *et al.* Characteristics of organic C fractions and its distribution in soil profiles of cultivated land in Pearl River Delta Plain [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2017, **48**(2): 399-405.
- [43] Motavalli P P, Palm C A, Parton W J, *et al.* Soil pH and organic C dynamics in tropical forest soils: evidence from laboratory and simulation studies [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, **27**(12): 1589-1599.
- [44] de Paul Obade V, Lal R. Using meta-analyses to assess pedo-variability under different land uses and soil management in central Ohio, USA [J]. *Geoderma*, 2014, **232-234**: 56-68.
- [45] 李佳玉, 吕茂奎, 李晓杰, 等. 水分对武夷山草甸土壤有机碳激发效应的影响[J]. *应用生态学报*, 2021, **32**(4): 1250-1258.
- Li J Y, Lyu M K, Li X J, *et al.* Effects of soil moisture on priming effect of soil organic carbon in meadow in Wuyi Mountain, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, **32**(4): 1250-1258.
- [46] Manns H R, Parkin G W, Martin R C. Evidence of a union between organic carbon and water content in soil [J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 2016, **96**(3): 305-316.

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)