

目次

中国省域差异化碳达峰评价方法与应用	刘润璞, 彭栓, 陈玉烁, 陈民, 张楠, Nihed Benani, 吕连宏, 阳平坚 (1233)
全生命周期视角下中国建筑碳排放空间关联网络演化及影响因素分析	任晓松, 李昭睿 (1243)
京津冀地区城市三生空间碳代谢效率特征及演进模式	田超, 程琳琳, 邵盈钊 (1254)
太原市“十四五”规划大气污染防治政策的 CO ₂ 协同效益评估	肖婷玉, 束赕, 李慧, 王涵, 李俊宏, 严沁, 张文杰, 姜华 (1265)
湖南省工业领域碳减排与空气质量改善协同	李楠, 刘弯弯, 朱书涵, 邢晓雯, 汤克勤, 王松伟, 白露 (1274)
“双碳”背景下河南省电力行业中长期控煤降碳路径	张静, 杨萌, 张伟, 曹东, 赵静, 李勃, 薛英岚, 蒋洪强 (1285)
郑州市公交车队电动化减排降碳环境效益	邹超, 汪亚男, 吴琳, 何敬, 倪经纬, 毛洪钧 (1293)
长江中游城市群城市化对 PM _{2.5} 浓度的多尺度驱动机制	张政, 周廷刚, 周志衡, 昌悦 (1304)
天山北坡城市群 PM _{2.5} 浓度时空分布特征及影响因素分析	王相男, 张喆, 刘方青 (1315)
天津市 PM _{2.5} 碳组分空间差异性来源解析	武甫亮, 吴建会, 戴启立, 肖致美, 冯银厂 (1328)
贵阳市花溪城区大气 PM _{2.5} 中碳质气溶胶的变化特征及来源解析	桂佳群, 杨员, 王显钦, 李云武, 闫广轩, 徐鹏 (1337)
新乡市大气 PM _{2.5} 中水溶性离子的污染特征、来源解析及气象影响分析	刘恒嘉, 李岚清, 李焕莉, 任言, 许梦源, 贾梦珂, 刘恒志, 杨莹, 宋天颂, 洪启航 (1349)
2017~2018 年冬季菏泽大气 PM _{2.5} 中金属元素特征及健康风险评估	杜虹萱, 任丽红, 赵明升, 韩慧霞, 徐义生 (1361)
北京市臭氧污染跳变型特征及影响因素分析	潘锦秀, 安欣欣, 刘保献, 李云婷, 李倩, 孙峰, 张章, 邱启鸿, 陈阳 (1371)
南京夏季大气臭氧光化学特征与敏感性分析	罗丽彤, 章炎麟, 林煜棋, Ahsan Mozaffar, 曹梦瑶 (1382)
苏州市初夏臭氧污染成因及年际变化	吴也正, 张鑫, 顾钧, 缪青, 魏恒, 熊宇, 杨倩, 吴斌, 沈文渊, 马强 (1392)
长江中游典型湖泊沉积物重金属分布特征、生态风险评估及溯源	卢洪斌, 卢少勇, 李响, 张森霖, 黄张根 (1402)
基于 PCA-APCS-MLR 模型的乌梁素海表层沉积物重金属时空分布及来源解析	崔志谋, 史小红, 赵胜男, 卢俊平, 张昊, 刘莹慧, 郭鑫, 王彦隽 (1415)
重庆市长寿湖水表层水体重金属时空分布及风险评价	张瑞溪, 刘娅君, 罗泳楠, 李杰芹, 李彩霞, 李佳佳, 张成 (1428)
长江流域微塑料污染特征及生态风险评估	李思琼, 王华, 储林佑, 曾一川, 闫雨婷 (1439)
宜昌市东山运河微塑料污染评估及年排放量估算	丁爽, 李卫明, 张续同, 刘子健, 高雅坤, 李映成, 王芳炜 (1448)
汜水河(荥阳段)入河排污口水体微塑料赋存特征及风险评估	赵长民, 和兵, 李和通, 张瑞琪, 李银月, 张发文, 桂新, 马丽 (1457)
宁夏入黄排水沟中药物和个人护理品的污染特征与生态风险评价	高礼, 李凌云, 郑兰香, 吴海娟, 陶红, 刘邓超 (1468)
浙南瓯江流域水体抗生素污染特征及风险评价	钟奕昕, 李立湘, 吴鑫, 周施阳, 姚飞延, 董好刚 (1480)
鄱阳湖沉积物中多环芳烃的时空分布及源解析	马妍, 孙晨, 毕茹乐, 张波涛, 刘艳, 邵鹏, 刘统, 王圣瑞, 钟文军 (1492)
杭州湾南岸 20 a 水质净化功能变化及预测	王珊珊, 曹公平, 徐明伟, 黄君宝, 曾剑 (1502)
不同缓冲区的土地利用方式对地表水水质的影响:以海河流域天津段为例	代孟均, 张兵, 杜倩倩, 孙季琰, 田蕾, 王义东 (1512)
长江流域安庆段浅层地下水水化学特征及控制因素	刘海, 宋阳, 李迎春, 魏伟, 赵国红, 王旭东, 黄健敏 (1525)
富营养化湖泊藻华降解产生的溶解性有机质动态变化及其环境效应	张瑾, 陈明滢, 郝智能, 钟寰, 何欢, 雷沛杰 (1539)
紫外光活化亚硫酸盐降解水中卡马西平	林涛, 苑宇杰 (1553)
再生水消毒副产物的检测、生成与控制	廖雨枫, 王正, 潘旸, 李爱民 (1561)
3 种人工湿地基质材料对氨氮的吸附特性	何强, 陈博文, 杨雨静, 周全, 刘彦君, 王志刚, 程呈 (1577)
基于改进遥感生态指数的青藏公路那(曲)安(多)段生态环境评估及驱动机制分析	傅楷翔, 贾国栋, 余新晓, 王旭 (1586)
基于 AWRSEI 的岱海流域生态环境质量时空演变及驱动因子分析	赵嘉丽, 李兴, 孙冰 (1598)
定量评估气候变化对长江中下游地区植被 GPP _{GS} 变化的影响	徐勇, 盘钰春, 邹滨, 郑志成, 郭振东 (1615)
基于 Meta 分析的煤矿区植被恢复对土壤有机碳储量的影响	李健明, 康雨欣, 蒋福祯, 宋明丹, 祁凯斌, 卢素锦, 李正鹏 (1629)
连续周年轮作休耕对土壤团聚体稳定性及有机碳的影响	鲁泽让, 李永梅, 杨春怀, 夏梓泰, 程伟威, 王自林, 赵吉霞, 范茂攀 (1644)
4 种改良剂对酸性紫色土肥力及活性有机碳组分的影响	丁馨茹, 严宁珍, 王子芳, 李志琦, 黄容, 王洋, 代文才, 高明 (1655)
不同植茶年限土壤氮素组分变化及其与环境因子关系	邵奇, 吴涛, 解雪峰, 徐梓晴, 李文琦, 蒋国俊, 张建珍, 徐飞 (1665)
黄河下游典型湿地土壤养分及其生态化学计量特征	王传盈, 王凯月, 王浩然, 张梦迪, 周云凯 (1674)
覆膜年限和有机肥施用对花生田耕层土壤微塑料赋存特征的影响	宋宁宁, 李梦佳, 王学霞, 刘君, 王芳丽, 宗海英, 黄小丽, 王斌, 梁丽娜 (1684)
秸秆还田和添加生物炭对热带地区稻菜轮作体系中淹水后土壤温室气体排放的影响	胡天怡, 车佳玥, 胡煜杰, 陈琦琦, 张冬明, 雷菲, 曾建华, 汤水荣, 伍延正, 孟磊 (1692)
耕作深度调控秸秆还田对农田土壤呼吸的影响	陈曦, 张彦军, 邹俊亮, 李天姿, 于媛, 李晶 (1702)
基于遥感时-空-谱特征及随机森林模型的土壤重金属空间分布预测	王泽强, 张冬有, 徐夕博, 王兆鹏, 杨东宇, 宋晓宁 (1713)
黄河流域农田土壤重金属污染特征及其优先控制源分析	李军, 李旭, 李开明, 焦亮, 台喜生, 臧飞, 曹素珍 (1724)
广西贺州市典型矿区周边耕层土壤 Cd 通量特征	杨烨宇, 李程, 杨忠芳, 张起钻, 邹胜章, 宋淑娥, 蔡贺清 (1739)
基于信息扩散模型的沔东地区土壤重金属潜在生态风险评估	杨楠楠, 韩玲, 刘明 (1749)
湘西地区土壤重金属污染溯源分析及环境质量评价	肖凯琦, 徐宏根, 甘杰, 戴亮亮, 李毅, 李凯, 许青阳, 张俊, 邓世民, 李颖 (1760)
典型行业再利用土壤重金属含量分布、来源解析及生态风险评估	沈城, 王文娟, 沙晨燕, 谢雨晴, 王敏, 吴健 (1769)
省级尺度土壤 As 迁移转化与水稻安全种植区划:以贵州省为例	董心月, 吴勇, 周子寒, 王佛鹏, 张云霞, 宋波 (1781)
谷壳灰硅肥改善土壤质量降低水稻镉砷累积的效应	易轩韬, 欧阳坤, 辜娇峰, 李倩, 游萍, 周航, 廖柏寒 (1793)
EDDS 对土壤铜镉有效性及蓖麻吸收转运的影响	刘文英, 吴刚, 胡红青 (1803)
叶面调理剂对复合污染农田小麦籽粒 Cd、As 和 Pb 累积的阻控效应	肖冰, 王秋实, 高培培, 赵全利, 杨威, 王钊, 刘文菊, 薛培英 (1812)
民勤绿洲退耕地土壤微生物群落结构与功能多样性特征	李常乐, 张富, 王理德, 赵赫然, 赵学成, 张恒平 (1821)
宏基因组揭示紫色土中邻苯二甲酸酯去除的微生物学机制	李雨桐, 余海, 刘坤, 柏宏成, 汪军, 朱正杰 (1830)
养鸡场空气微生物污染及工人呼吸暴露风险	白渔樵, 孙兴滨, 仇天雷, 郭雅杰, 高敏, 王旭明 (1840)
玛瑙河多环境介质和铜锈环螺体内微塑料的赋存特征	高雅坤, 李卫明, 张续同, 刘子健, 李映成, 丁爽, 王芳炜, 刘流 (1849)
不同官能团微塑料对斑马鱼胚胎菌群和代谢功能的胁迫效应	闫振华, 张燕, 包旭辉, 朱培元, 陈玉芳 (1859)

连续周年轮作休耕对土壤团聚体稳定性及有机碳的影响

鲁泽让, 李永梅, 杨春怀, 夏梓泰, 程伟威, 王自林, 赵吉霞*, 范茂攀*

(云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201)

摘要: 为探究连续周年轮作休耕对红壤团聚体稳定性及有机碳含量的影响,以坡耕地红壤为研究对象,采用湿筛法和重铬酸钾-浓硫酸外加热法分别测定水稳性团聚体和有机碳含量,分析了2020~2022年玉米-苕子-玉米轮作(M-V-M)、玉米-豌豆-玉米轮作(M-P-M)、玉米-冬闲-玉米(M-F-M)和周年休耕(F-F-F)这4个处理下土壤团聚体稳定性及有机碳含量变化特征以及两者间的相互关系。结果表明,在2021年和2022年中,F-F-F、M-V-M和M-P-M处理的 $>2\text{ mm}$ 团聚体含量较M-F-M分别显著提高了67.01%~100.92%、29.71%~33.67%和29.68%~38.07%;2021年和2022年中F-F-F、M-V-M的团聚体稳定性参数显著高于M-F-M($P<0.05$)。M-V-M处理下的 $>2\text{ mm}$ 团聚体含量、GMD(几何平均直径)和MWD(平均重量直径)及F-F-F处理的 $R_{0.25}$ ($>0.25\text{ mm}$ 团聚体含量)、MWD和 $>2\text{ mm}$ 团聚体含量随着轮作休耕年限的延长而增加,而F-F-F处理下1~2 mm和 $<0.25\text{ mm}$ 团聚体含量随着休耕年限的增加而降低。绿肥轮作和休耕处理均能够提高SOC含量,且F-F-F和M-V-M处理的SOC含量随年限的延长而增加。相关性分析表明,所有处理下SOC含量与 $R_{0.25}$ 呈极显著正相关,与GMD呈显著正相关;F-F-F处理下的 $R_{0.25}$ 和GMD及M-V-M处理下的GMD和MWD均与SOC含量显著正相关。结果表明,连续周年轮作休耕有利于提高土壤大团聚体含量、团聚体稳定性和SOC含量,可为我国南方坡耕地红壤区推行合理的连续周年轮作休耕模式和水土流失防治提供理论依据。

关键词: 绿肥; 轮作; 休耕; 团聚体稳定性; 土壤有机碳

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2024)03-1644-11 DOI: 10.13227/j.hjxx.202304166

Effects of Continuous Annual Crop Rotation and Fallow on Soil Aggregate Stability and Organic Carbon

LU Ze-rang, LI Yong-mei, YANG Chun-huai, XIA Zi-tai, CHENG Wei-wei, WANG Zi-lin, ZHAO Ji-xia*, FAN Mao-pan*

(College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: In order to explore the effects of continuous annual crop rotation and fallow on aggregate stability and organic carbon content in red soil, the red soil in sloping farmland was taken as the research object, and the water-stable aggregates and organic carbon content were determined using the wet sieve method and potassium dichromate-concentrated sulfuric acid external heating method, respectively. The changes in soil aggregate stability and organic carbon content under the four treatments of maize-vech-maize rotation (M-V-M), maize-pea-maize rotation (M-P-M), maize-fallow-maize (M-F-M), and annual fallow (F-F-F) from 2020 to 2022 and the relationships between them were analyzed. The results showed that in 2021 and 2022, the contents of $>2\text{ mm}$ aggregates treated with F-F-F, M-V-M, and M-P-M were significantly increased by 67.01%-100.92%, 29.71%-33.67%, and 29.68%-38.07%, respectively, compared with that treated with M-F-M. In 2021 and 2022, the stability parameters of F-F-F and M-V-M were significantly higher than those of M-F-M ($P<0.05$). The content of $>2\text{ mm}$ aggregates, geometric mean diameter (GMD), and mean weight diameter (MWD) under the M-V-M treatment and $R_{0.25}$ ($>0.25\text{ mm}$ aggregate contents), MWD and $>2\text{ mm}$ aggregate contents under the F-F-F treatment increased with the increase in fallow years, whereas the content of 1-2 mm and $<0.25\text{ mm}$ under the F-F-F treatment decreased with the increase in fallow years. Both green manure rotation and fallow treatment could increase the SOC content, and the SOC content of F-F-F and M-V-M treatment increased with the extension in age. Correlation analysis showed that SOC content was significantly positively correlated with $R_{0.25}$ and GMD under all treatments. $R_{0.25}$ and GMD under the F-F-F treatment and GMD and MWD under M-V-M were significantly positively correlated with SOC content. The results showed that continuous annual crop rotation and fallow was beneficial to improve the content of soil macro-aggregates, aggregate stability, and SOC content, which could provide theoretical basis for the implementation of reasonable continuous annual crop rotation and fallow patterns and soil erosion control in red soil areas of sloping farmland in southern China.

Key words: green manure; crop rotation; fallow; aggregate stability; soil organic carbon

土壤侵蚀是土壤剥蚀、搬运和沉积的过程,影响土壤团聚体的稳定和有机碳的固存^[1],已成为一个严峻的环境挑战,会导致土地退化、降低土地生产力及威胁生态系统的稳定性和人类的粮食安全^[2,3]。据报道,云南省坡耕地水土流失面积达453.37万 hm^2 ,占全省水土流失总面积的43.29%^[3]。有研究表明,耕作是造成严重土壤侵蚀的关键原因^[4],作物种植和坡地管理对土壤侵蚀的发生和发展有显著影响^[5]。而实行绿肥轮作和周年休耕可有效改善土壤环境、提升地

力并提高土壤质量及其结构稳定性^[6,7]。土壤团聚体稳定性和有机碳含量常被作为评价土壤质量的关键指标,用来评价坡耕地水土保持效应^[8]。因此,研究轮

收稿日期: 2023-04-19; 修订日期: 2023-06-05

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD1901500, 2022YFD1901501, 2022YFD1901502); 国家自然科学基金项目(41661063); 云南农业大学学生科技创新创业行动基金项目(2022ZKX140, 2023N058)

作者简介: 鲁泽让(1998-),男,硕士研究生,主要研究方向为坡耕地水土保持, E-mail: 1781796294@qq.com

* 通信作者, E-mail: zhaojixiace@163.com; mpfan@126.com

作休耕模式下的土壤固碳机制和团聚体分形特征对于促进云南省滇中红壤坡耕地资源持续利用和水土流失防治具有重要意义。

土壤团聚体作为土壤结构的基本单元,能够综合反映土壤肥力^[9],其组成和稳定性影响着土壤孔隙状况、土壤肥力和保水通气性,且在提高土壤生产力、抵抗侵蚀能力和促进植物生长等方面有重要作用^[10, 11]。而土壤团聚体稳定性是评价土壤质量的重要指标^[12],通常由平均重量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)和分形维数(*D*)来表征^[13]。土壤团聚体按照抵抗水分散力的大小,可分为水稳性团聚体和非水稳性团聚体,按照其颗粒大小又可分为大团聚体(> 0.25 mm)和微团聚体(< 0.25 mm)^[14]。一般认为,> 0.25 mm 团聚体粒度对维持土壤结构稳定起着至关重要的作用^[15],> 0.25 mm 土壤团聚体含量越多,MWD 和 GMD 值越大,土壤团聚体分布状况及稳定性越好;*D* 值越小,土壤结构稳定性越好^[16]。而农田土壤有机碳(SOC)是陆地生态系统最为重要的碳库之一,对维持土壤肥力、保障农田生产力有重要作用。土壤团聚体一方面能包裹 SOC,从而对 SOC 起到物理保护,另一方面土壤有机碳又可促进团聚体自身的形成^[17]。维持和提高 SOC 含量及土壤结构稳定性已成为农业生态系统减少土壤侵蚀、确保粮食安全的目标,对改善土壤结构和肥力具有重要意义^[18, 19]。Seidel 等^[20]研究表

明,季节性休耕地播种绿肥,其发达的根系在土壤中持续活动及绿肥还田后的腐殖化作用,可改善土壤团聚体分布和团粒结构,达到休耕养地的效果。Thapa 等^[21]和 Kamran 等^[22]也得到相似的结果,即绿肥覆盖作物是改变土壤团聚体性质的重要措施,通过将苜蓿作为绿肥,提高了有机碳含量和团聚体稳定性。尽管最新研究发现轮作和休耕处理可以提高 SOC 含量和团聚体稳定性,但关于绿肥翻压和休耕年限对土壤团聚体组成和稳定性及有机碳含量的影响鲜见报道。

因此,本试验以坡耕地为研究对象,设置玉米-苕子-玉米(M-V-M)、玉米-豌豆-玉米(M-P-M)、玉米-冬闲-玉米(M-F-M)和周年休耕(F-F-F)这 4 个处理,进行了 2020~2022 年的定位试验,分析不同轮作休耕模式及年份下土壤团聚体粒径组成和稳定性及有机碳含量变化特征,旨在为当地推行合理的绿肥轮作模式和坡耕地水土流失防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验分别于 2020~2022 年在云南省昆明市松华坝水源保护区大摆村(25°02′29″N,102°58′39″E)进行。试验地坡度为 10°,海拔为 2 234 m,年降水量在 900~1 000 mm 之间,年平均气温约为 16℃,属亚热带高原季风气候,土壤基本理化性质如表 1 所示。

表 1 土壤基本理化性质
Table 1 Basic physical and chemical properties of soil

项目	pH	ω[有机质(SOM)]/g·kg ⁻¹	ω[碱解氮(AN)]/mg·kg ⁻¹	ω[速效磷(AP)]/mg·kg ⁻¹	ω[速效钾(AK)]/mg·kg ⁻¹
数值	5.20	30.15	115.30	6.41	92.36

1.2 试验材料与设计

本试验设置 4 个处理(表 2),每个处理 3 次重复,共 12 个小区,小区面积为 4 m×5 m,区组内小区随机排列,长期定位试验于 2018 年开始,本试验在 2020~2022 年进行,且均按同一试验方案进行。玉米采用宽窄行种植,宽行行距为 80 cm,窄行为 40 cm,株间距为 25 cm。以穴播的方式播种,每穴播两粒,间苗时每穴留 1 株,单个小区植株共计 9 行,每行 16 株;苕子和豌豆采用撒播的方式将种子均匀撒在已收获玉米的

轮作小区内,播种深度为 2~3 cm。玉米进行单株精准施肥,施 N 315 kg·hm⁻²,P₂O₅ 120 kg·hm⁻²,K₂O 120 kg·hm⁻²,其中氮肥分两次(50% 做基肥,50% 做追肥),并在喇叭口期追肥,磷肥和钾肥全部做基肥施用;苕子和豌豆作为绿肥作物,不做施肥处理。玉米在播种、施肥和灌水后用薄膜覆盖,后期根据作物的长势,适时进行田间管理。光叶紫花苕和白花矮茎豌豆在盛花期进行翻压处理(表 3),休耕地则不进行田间管理。

表 2 试验设计及处理
Table 2 Test design and treatment

代码	处理	种植模式	品种
M-V-M	玉米-苕子-玉米轮作	冬季播种苕子作为绿肥,夏季种植玉米	光叶紫花苕和玉米(云瑞“88”)
M-P-M	玉米-豌豆-玉米轮作	冬季播种豌豆作为绿肥,夏季种植玉米	白花矮茎豌豆和玉米(云瑞“88”)
M-F-M	玉米-冬闲-玉米	冬季休闲,夏季种植玉米	玉米(云瑞“88”)
F-F-F	周年休耕	撂荒处理,不进行田间管理	/

表 3 轮作处理下的绿肥翻压量¹⁾

Table 3 Green manure turnover under rotation treatment

处理	2020 年		2021 年		2022 年	
	鲜重	干重	鲜重	干重	鲜重	干重
M-V-M	10 341.41	2 667.73	10 300.13	2 631.20	12 674.74	3 734.30
M-P-M	7 937.32	1 760.27	9 738.13	2 193.87	10 372.68	2 760.27

1) M-V-M 及 M-P-M 分别表示玉米-苕子-玉米轮作及玉米-豌豆-玉米轮作,其鲜重和干重的单位均为 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$

1.3 样品采集

在 2020~2022 年中,每年的玉米成熟期用五点取样法采集 0~20 cm 土层的土样,并将土样按其自然裂缝掰开,剔除石块和植物根系等杂物后充分混匀,为避免运输过程中土样受到外力的影响,将土样装入塑料盒内,以保持土壤原状结构,在试验条件下风干后用于土壤团聚体的测定。

1.4 指标测定及计算

土壤有机碳的测定使用重铬酸钾-浓硫酸外加热法^[14];采用 Elliott 团聚体湿筛法^[23]测定团聚体粒径组成,按干筛法获得的各粒径团聚体按比例配制 50 g 土样用于湿筛,>2、1~2、0.25~1 和 <0.25 mm 这 4 个粒径的水稳性团聚体,团聚体稳定性指标计算公式如下^[9]。

>0.25 mm 水稳性团聚体含量($R_{0.25}$):

$$R_{0.25} = \frac{M_{r>0.25}}{M_T} \quad (1)$$

式中, $M_{r>0.25}$ 为粒径>0.25 mm 水稳性团聚体质量(g); M_T 为水稳性团聚体总质量(g)。

平均重量直径(MWD):

$$\text{MWD} = \sum_{i=1}^n x_i \omega_i \quad (2)$$

式中, x_i 为第*i*级水稳性团聚体平均直径(mm); ω_i 为第*i*级水稳性团聚体质量分数(%)。

几何平均直径(GMD):

$$\text{GMD} = \exp \left[\frac{\left(\sum_{i=1}^n \omega_i \ln \bar{d}_i \right)}{\left(\sum_{i=1}^n \omega_i \right)} \right] \quad (3)$$

式中, $\bar{d}_i$ 为各粒级水稳性团聚体平均直径(mm); ω_i 为各粒级水稳性团聚体质量分数(%)。

分形维数(*D*):

$$\frac{M_{r<\bar{R}_i}}{M_T} = \left(\frac{\bar{R}_i}{R_{\max}} \right)^{3-D} \quad (4)$$

式中, $\bar{R}_i$ 为某级团聚体平均直径(mm); $M_{r<\bar{R}_i}$ 为粒径小于 $\bar{R}_i$ 的团聚体质量(g); M_T 为团聚体总质量(g); $R_{\max}$ 为团聚体最大粒径(mm)。

1.5 数据处理

利用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS 23.0 软件进行数据的整理与分析,利用单因素方差分析(One-way ANOVA)评价不同处理间各指标的差异显著性;采用双因素方差分析(Two-way ANOVA)检验轮作休耕模

式和年限的交互作用对土壤团聚体粒径组成及稳定性的影响,采用 Duncan 法进行多重比较($P < 0.05$),用 Origin 2021 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 连续周年轮作休耕模式下土壤团聚体组成变化特征

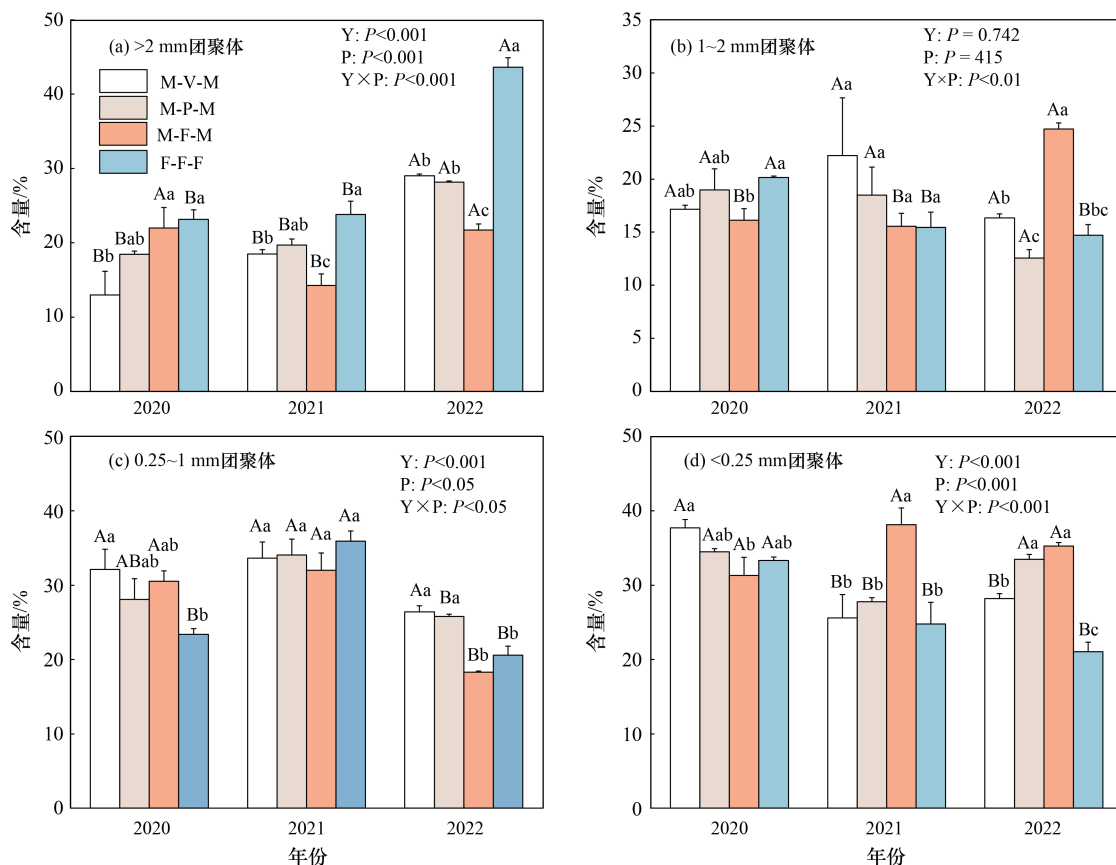
不同轮作休耕模式对土壤团聚体粒径组成的影响各不相同(图 1)。在 2020 年中,M-V-M 处理的 >2 mm 团聚体含量较 M-F-M 显著降低了 41.06%,而 <0.25 mm 团聚体含量较 M-F-M 处理显著提高了 20.45%;另外,F-F-F 处理的 0.25~1 mm 团聚体含量较 M-V-M 显著降低了 27.26%,而 1~2 mm 团聚体含量较 M-F-M 显著提高了 24.88%。在 2021 年和 2022 年中,F-F-F、M-V-M 和 M-P-M 处理的 >2 mm 团聚体含量均显著高于 M-F-M($P < 0.05$),2021 年中 F-F-F、M-V-M 和 M-P-M 处理的 <0.25 mm 团聚体含量则显著低于 M-F-M。而 2022 年中 1~2 mm 团聚体含量均显著低于 M-F-M,M-V-M 和 M-P-M 处理的 0.25~1 mm 团聚体含量均显著高于 M-F-M 和 F-F-F 处理($P < 0.05$),M-V-M 及 F-F-F 处理的 <0.25 mm 团聚体含量分别较 M-P-M 和 M-F-M 显著降低了 15.71%、37.15% 和 19.97%、40.31%。

相同轮作休耕处理下同一粒级团聚体在不同轮作年份之间的变化不尽相同(图 1)。在 M-V-M 处理下,>2 mm 团聚体含量随着轮作年限的增加而显著增加,2021 年和 2022 年的 <0.25 mm 团聚体含量较 2020 年分别显著降低了 32.14% 和 25.21%。在 M-P-M 处理下,2022 年的 >2 mm 团聚体含量较 2020 年和 2021 年分别显著增加了 52.64% 和 42.98%;0.25~1 mm 团聚体含量在 2021 年中最高,<0.25 mm 团聚体含量则反之。在 M-F-M 处理下,2022 年的 1~2 mm 团聚体含量较 2020 年和 2021 年显著增加了 53.22% 和 58.91%,0.25~1 mm 团聚体含量则显著降低了 40.08% 和 42.85%,2021 年的 >2 mm 团聚体含量显著低于 2020 年和 2022 年($P < 0.05$)。在 F-F-F 处理下,1~2 mm 和 <0.25 mm 团聚体含量随着休耕年限的增加而降低,且 2021 及 2022 年的 1~2 mm 和 <0.25 mm 团聚体含量均显著低于 2020 年($P < 0.05$),

而2022年的 >2 mm团聚体含量较前两年显著提高了88.48%和83.16%,2021年的0.25~1 mm团聚体含量显著高于2020年和2022年($P < 0.05$).

由不同轮作休耕年份和轮作休耕模式下土壤团

聚体粒径组成的双因素方差分析表明(图1),除了轮作休耕年份及模式对1~2 mm团聚体含量无显著影响外,其余不同粒径团聚体含量均受轮作休耕年份和模式及二者交互作用的显著影响.



M-V-M、M-P-M、M-F-M和F-F-F分别表示玉米-苕子-玉米轮作、玉米-豌豆-玉米轮作、玉米-冬闲-玉米和周年休耕;不同小写字母表示同一轮作休耕年份的相同粒径团聚体含量在不同种植处理间差异显著($P < 0.05$);不同大写字母表示同一种种植处理的相同粒径团聚体含量在不同轮作休耕年份间差异显著($P < 0.05$),Y和P分别表示轮作休耕年份和轮作休耕模式, $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 表示有显著效应, $P < 0.001$ 表示有极显著效应

图1 连续周年轮作休耕模式下土壤团聚体组成

Fig. 1 Soil aggregate composition under continuous annual crop rotation and fallow pattern

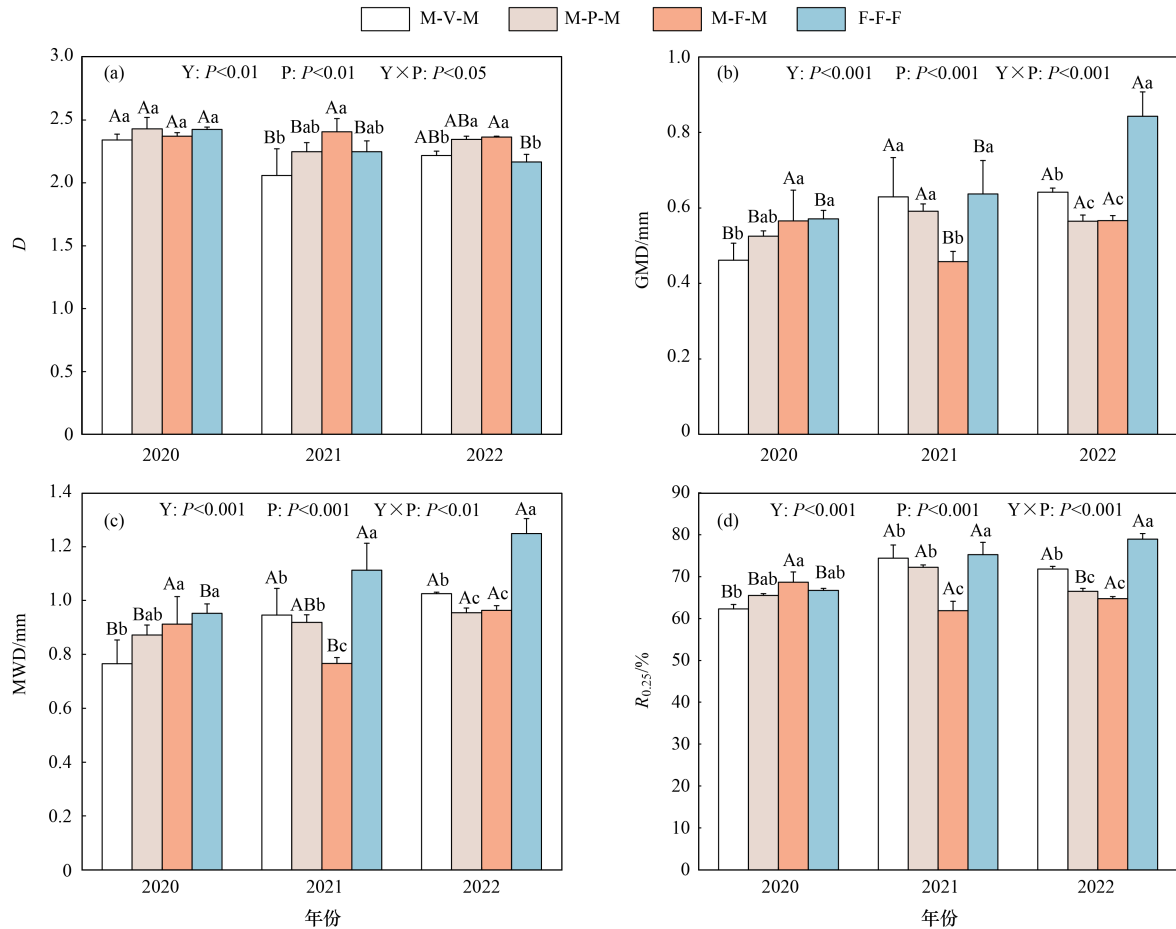
2.2 连续周年轮作休耕模式下土壤团聚体稳定性变化特征

不同轮作休耕模式对水稳性土壤团聚体稳定性的影响各异(图2). 在2020年中,M-V-M处理的GMD和MWD均显著低于M-F-M和F-F-F处理($P < 0.05$) [图2(b)和2(c)], $R_{0.25}$ 较M-F-M处理显著降低了9.33% [图2(d)]. 在2021年中,M-V-M、M-P-M和F-F-F处理的GMD、MWD和 $R_{0.25}$ 均显著高于M-F-M处理($P < 0.05$) [图2(b)~2(d)],M-V-M处理的D较M-F-M显著降低了14.37% [图2(a)]. 在2022年,M-V-M和F-F-F处理的GMD、MWD和 $R_{0.25}$ 均显著高于M-P-M和M-F-M($P < 0.05$) [图2(b)~2(d)],D则显著低于M-P-M和M-F-M处理($P < 0.05$) [图2(a)].

相同轮作休耕处理下同一水稳性团聚体稳定性参数在不同轮作年份之间的变化各异(图2). M-V-M

和M-P-M处理下2021年D较2020年显著降低了12.00%和7.49%,F-F-F处理下2021年和2022年的D则显著低于2020年 [图2(a)]. 在M-V-M处理下,2021年和2022年的GMD、 $R_{0.25}$ 和MWD均显著高于2020年($P < 0.05$),且MWD、GMD值随着轮作年限的增加而增加. 在M-P-M处理下,2022年的MWD显著高于2020年($P < 0.05$),2021年和2022年GMD显著高于2020年. 在M-F-M下,水稳性团聚体稳定性在各轮作休耕年份间无明显变化规律. 在F-F-F处理下,GMD、 $R_{0.25}$ 和MWD随休耕年限的增加而增加,D则反之.

由不同轮作休耕年份和轮作休耕模式下土壤团聚体稳定性的双因素方差分析表明(图2). 轮作休耕年份和模式及二者的交互作用对 $R_{0.25}$ 、MWD和GMD均有极显著影响,轮作休耕年份和模式对D有极显著影响,二者的交互作用对D有显著影响.



不同小写字母表示同一轮作休耕年份的相同团聚体稳定性指标在不同种植处理间差异显著 ($P < 0.05$); 不同大写字母表示同一种种植处理的相同团聚体在不同轮作休耕年份间差异显著 ($P < 0.05$); Y 和 P 分别表示轮作休耕年份和轮作休耕模式, $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 表示有显著效应, $P < 0.001$ 表示有极显著效应

图2 连续周年轮作休耕下团聚体稳定性变化特征

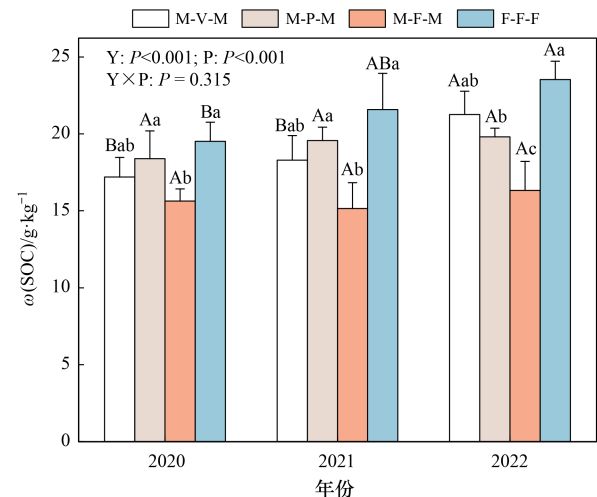
Fig. 2 Stability variation characteristics of aggregates under continuous annual crop rotation and fallow pattern

2.3 连续周年轮作休耕模式下土壤有机碳含量特征

不同轮作休耕模式和年份对土壤有机碳含量的影响各异 (图3). 2020年和2022年中, F-F-F和M-P-M处理下的SOC含量均显著高于M-F-M ($P < 0.05$), 在2022年中, F-F-F、M-V-M和M-P-M处理的SOC含量较M-F-M分别显著增加44.14%、30.21%和21.32%. M-V-M和F-F-F处理下的SOC含量随着轮作年限的延长而增加. 其中, M-V-M处理下2022年的SOC含量较2020年和2021年显著提高23.59%和16.17%, 而F-F-F处理下2022年的SOC含量较2020年显著提高了20.59%. 双因素方差分析表明, 轮作休耕年份和模式均对SOC含量产生极显著影响, 但两者的交互作用对其影响不显著.

2.4 连续周年轮作休耕模式下土壤团聚体稳定性与有机碳含量之间的关系

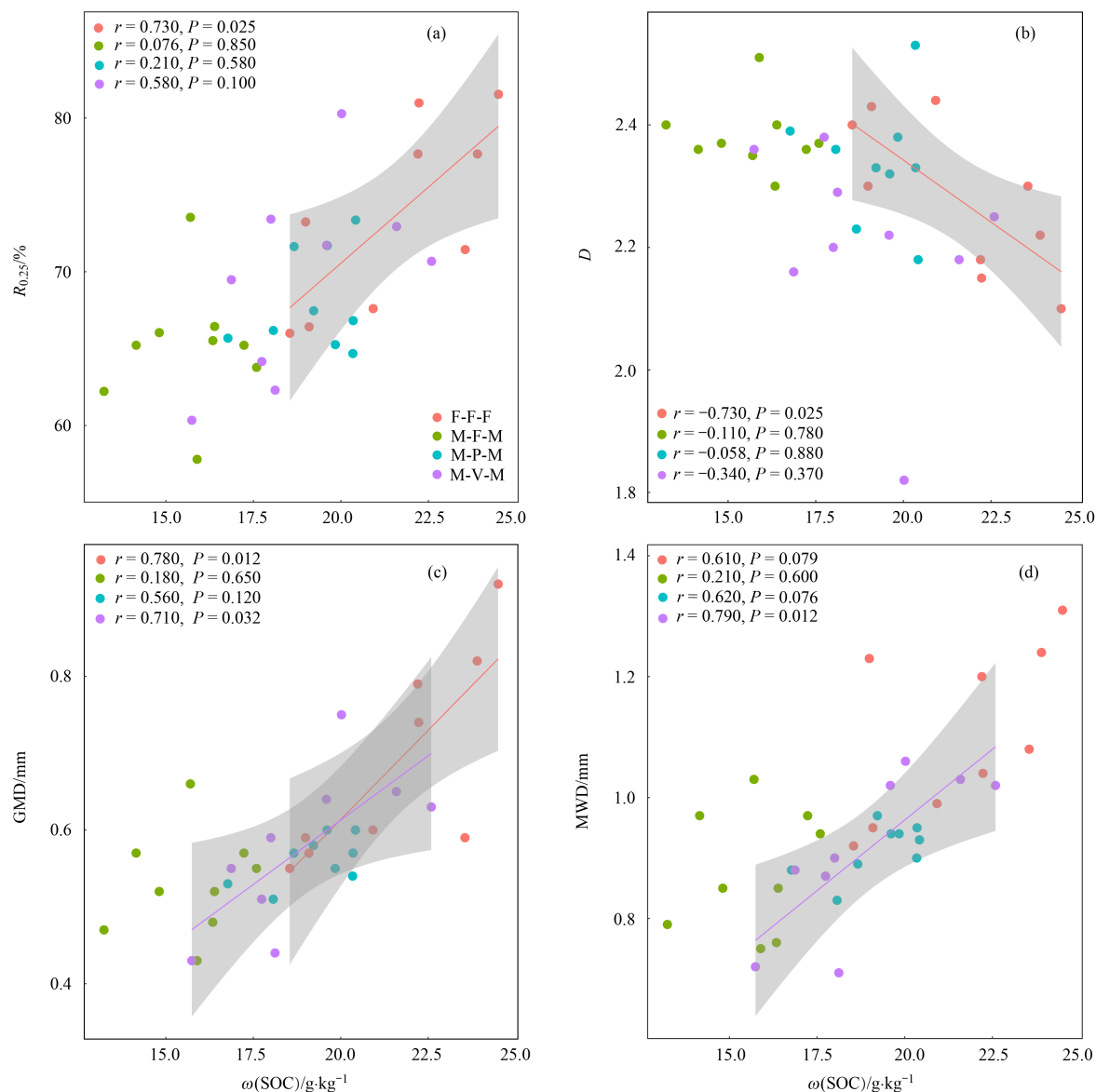
各处理下土壤有机碳与土壤团聚体稳定性的相关分析表明 (图4), 在F-F-F处理下, $R_{0.25}$ ($r=0.730$, $P=0.025$) 和 GMD ($r=0.780$, $P=0.012$) 与 SOC 呈显著正



不同小写字母表示同一轮作休耕年份的SOC含量在不同种植处理间差异显著 ($P < 0.05$); 不同大写字母表示同一种种植处理的SOC含量在不同轮作休耕年份间差异显著 ($P < 0.05$), Y 和 P 分别表示轮作休耕年份和轮作休耕模式, $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 表示有显著效应, $P < 0.001$ 表示有极显著效应

图3 连续周年轮作休耕下SOC含量

Fig. 3 Soil organic carbon content under continuous annual crop rotation and fallow



$P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 表示显著相关, $P < 0.001$ 表示极显著相关, 灰色阴影表示 95% 的置信区间, 下同

图 4 不同处理下土壤团聚体稳定性与 SOC 含量的关系

Fig. 4 Relationship between soil aggregate stability and soil organic carbon content

相关, D 与 SOC 呈显著负相关 ($r = -0.730, P = 0.025$), 在 M-V-M 处理下, GMD ($r = 0.710, P = 0.032$) 和 MWD ($r = 0.790, P = 0.012$) 与 SOC 呈显著正相关. 在 M-P-M 和 M-F-M 下, SOC 与土壤团聚体稳定性间无明显的线性相关性.

连续周年轮作休耕模式下土壤有机碳与土壤团聚体稳定性的相关性分析表明(图 5), SOC 含量与 $R_{0.25}$ 呈极显著正相关 ($r = 0.674, P < 0.001$), 与 GMD 呈显著正相关 ($r = 0.463, P = 0.004$), 与 D 和 MWD 分别呈负相关和正相关, 但未达显著水平.

3 讨论

3.1 连续周年轮作休耕对土壤团聚体稳定性的影响

土壤团聚体组成是表征土壤团聚体稳定性的有

效指标, 其组成和稳定性决定了土壤养分存储、蓄水保墒和抗侵蚀的能力^[24]. 土壤团聚体稳定性反映土壤结构, 是评价土壤退化易损性的重要指标^[25]. 而土壤 MWD 、 GMD 、 $R_{0.25}$ 和 D 是表征土壤团聚体稳定性的重要指标, MWD 、 GMD 和 $R_{0.25}$ 值越高, 土壤的抗侵蚀和抗耕作性能越好; 土壤分形维数 (D) 越小, 表明土壤结构越稳定^[26]. 本研究结果表明, 在 2021 年和 2022 年这两年中, 与玉米-冬闲-玉米轮作相比, 苕子轮作玉米和周年休耕处理均显著提高了 $> 2 \text{ mm}$ 团聚体含量、 MWD 、 GMD 和 $R_{0.25}$, 降低了 $< 0.25 \text{ mm}$ 团聚体含量和 D . 这与文献^[27]的研究结果相似, 翻压绿肥增加了土壤大团聚体的比例, 同时减少了微团聚体的比例. 其原因是发达的绿肥根系在土壤中持续活动及还田后的腐殖化作用, 从而有利于土壤结构的形成^[28]. Liu 等^[29]通过研究豆科和禾草轮作系统的

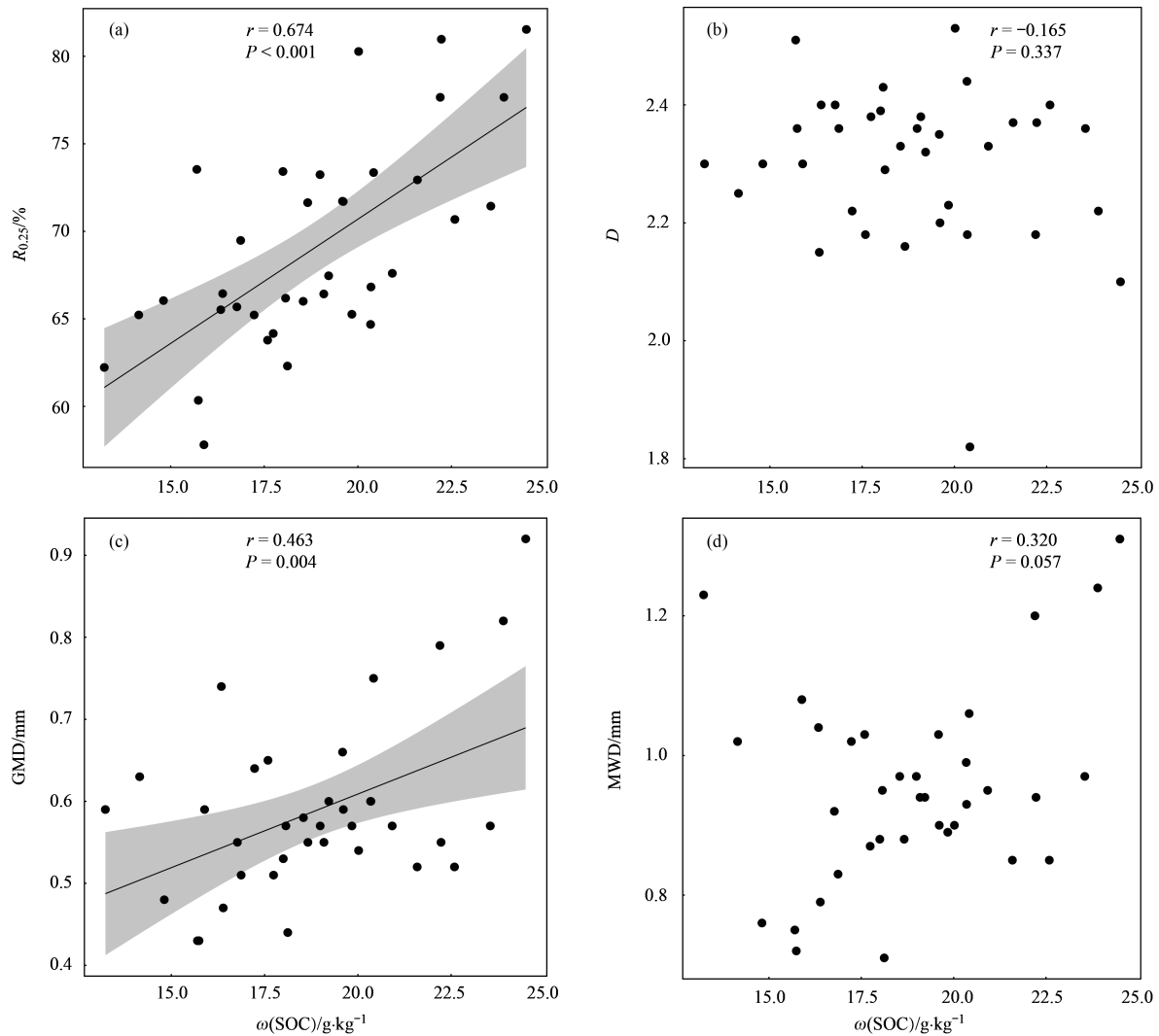


图5 土壤团聚体稳定性与SOC含量的关系

Fig. 5 Relationship between soil aggregate stability and soil organic carbon content

土壤团聚体也发现,二者轮作改善了土壤结构,增加了水稳性团聚体,这与本研究得到的结果一致.其原因是轮作通过改变底物分布和微生物活动,为有机碳的转化和分解创造了有利条件,从而导致团聚体的变化^[29]. Nouri等^[30]通过研究比较覆盖作物下的团聚体稳定性发现,与无覆盖处理相比,连续34 a覆盖作物(毛豆科植物)处理下粉壤土的团聚体平均重量直径(MWD)明显提高,与本研究得到的结果相似.其原因是覆盖作物根系类型和覆盖作物使用年限会导致不同的土壤聚集特性,且对土壤压实度的降低.另一方面,周年休耕及绿肥轮作处理中,绿肥和杂草根系通过包裹土壤颗粒从而稳定土壤颗粒来促进土壤团聚体的形成和稳定^[31].而冬闲处理的地表作物覆盖度低,且耕作时加剧了对土壤的扰动,导致土壤团聚体重新分布,进而出现大团聚体含量和稳定性降低,<0.25 mm团聚体含量增加的现象.本研究还发现,2020~2022年中周年休耕处理的>2 mm团聚体

含量和稳定性均高于绿肥轮作和冬闲处理,这与Miao等^[32]通过研究秋季休耕和连作玉米模式下土壤团聚体变化特征所得到的结果相似.其原因是休耕系统的植株残体年添加量大于绿肥玉米轮作系统,且休耕处理中植物种类繁多,可能具有更高的菌丝密度,从而有利于大团聚体的形成和稳定^[33];另一个原因是根系形态和结构上存在差异,休耕处理中杂草的根系较浅,而轮作处理中绿肥及玉米的根系较深^[34].因此,较密的浅根网络和丰富的真菌菌丝促进了土壤中水稳性大团聚体(>2 mm)的形成^[35]. Udom等^[36]通过比较不同农田的土壤MWD也得到了相似的结果,即覆盖作物短期休耕的土壤MWD显著高于玉米和木薯地块.究其原因,周年休耕处理中各种植物残体和凋落物的覆盖有助于土壤腐殖质的增加和水分的保持^[37],营造了更适宜土壤微生物生长和繁殖的环境,而部分土壤微生物的菌丝体及分泌物等有助于土壤细小颗粒的包裹和胶结,从而有利于土

壤大团聚体的形成和稳定^[38]. 本研究还发现, 2022 年玉米-苕子-玉米轮作处理的 GMD、MWD 和 $R_{0.25}$ 均显著高于玉米-豌豆-玉米, D 则显著低于玉米-豌豆-玉米处理, 其原因可能与不同绿肥的根系分布和生物量有关, 绿肥根系活动、根系分泌物、根际微生物等都会不同程度地影响土壤团聚体的形成和稳定, 从而导致不同绿肥轮作处理下团聚体组成及稳定性产生差异性^[39].

土壤结构特征与土地利用方式和管理措施等因素密切相关. 耕作、种植制度、轮作方式、秸秆还田及种植年限等管理措施通过改变土壤属性、内部环境及微生物活性等进一步影响土壤团聚体的形成与稳定^[40, 41]. 在本研究中, 随着轮作休耕年限的延长, 周年休耕和绿肥轮作处理下的 > 2 mm 团聚体含量、GMD 和 MWD 逐年增加, 表明坡耕地周年休耕及苕子轮作玉米可以有效改善土壤团粒结构及稳定性. 这与大多数学者研究得到的结果相似, Miao 等^[32]研究表明, 为期 24 a 的长期休耕有利于大团聚体的形成. 张钦等^[41]研究也发现连续种植毛叶苕子等绿肥能够显著提升 0.25~5 mm 团聚体含量、GMD 和 MWD. 其原因是随着休耕及绿肥种植年限的增加, 周年休耕处理的杂草物种丰富度和苕子轮作玉米的处理的绿肥植株残体增加, 从地上部分输入到地表而进入土壤物质循环和能量流动的有机物数量随之增加. 而有机物质中的多糖和胡敏酸等易与土粒结合, 形成水稳性团聚体结构^[42]. 绿肥还田与秸秆还田相似, 王兴等^[43]研究也表明连续的秸秆还田显著增加了 0~10 cm 土层的 > 2 mm 团聚体比例, 这与本研究得到的结果相似. 其原因可能是绿肥经过腐解后产生的有机酸和多糖等物质为土壤微生物提供了丰富的营养物质, 同时也促进了土壤微团聚体、矿物质和粗颗粒有机物等粘结成大团聚体^[43]. 本研究中, 玉米-冬闲-玉米处理下的各粒径团聚体含量和稳定性不随年限的延长而增加或降低. 其原因是翻耕及播种玉米时加剧了对土壤的扰动, 这加快了团聚体周转速率, 引起土壤团聚体重新分布, 还削弱了土壤自身调节和恢复能力, 从而破坏了土壤团粒结构的稳定性和连续性^[44].

3.2 连续周年轮作休耕对土壤有机碳含量的影响

土壤有机碳在促进土壤质量和功能、缓解土壤退化和减缓气候变化等方面发挥着重要作用, 其含量受到作物轮作、种植制度、土地类型、施肥等因素的综合影响^[29, 45]. 本研究发现, 3 a 的休耕和绿肥轮作处理的 SOC 含量均高于冬闲处理. 刘威等^[46]研究表明冬闲期种植绿肥和绿肥翻压直接向土壤中输入外源有机质, 能够显著增加 SOC 含量. Miao 等^[32]研究发

现与玉米连作相比, 长期休耕能够显著提高 SOC 含量, 这与本研究得到的结果相似. 其原因可能是杂草凋落物及绿肥秸秆中均含有较多易被微生物分解的糖类和淀粉等物质, 且枯枝落叶及绿肥腐解后可以促进土壤腐殖质组分的形成, 如黄腐酸和腐殖酸, 以及有机大分子的形成, 包括碳水化合物和芳香烃, 从而有利于 SOC 的转化和积累^[47]. 而冬闲处理中覆盖作物低且耕作时加剧了对土壤的扰动, 从而导致 SOC 损失^[48]. 本研究还发现, 全年休耕和玉米-苕子-玉米处理下的 SOC 含量随着轮作休耕年限的延长而增加, 且 2022 年 SOC 含量显著高于 2020 年, 这与 Liu 等^[49]通过研究连续玉米单作和轮作下的 SOC 含量的结果相似. Nath 等^[50]研究也表明 13 a 的复种水稻-鹰嘴豆和水稻-小麦-绿豆轮作使有机碳含量增加了 5%~7%. 因此, 连续轮作和休耕能够增加 SOC 含量.

土壤有机碳作为胶结物质对土壤团聚体稳定性具有显著影响, 稳定的团聚体也能够对赋存于其中的有机碳形成有效的保护^[51]. 本研究表明, 连续周年轮作休耕模式下 SOC 含量与 $R_{0.25}$ 呈极显著正相关, 与 GMD 呈显著正相关; 而玉米-苕子-玉米轮作处理下团聚体稳定性指标 (GMD 和 MWD) 与 SOC 含量呈显著正相关. Liu 等^[29]研究表明豆科植物可以增加土壤团聚体及其相关有机碳的稳定性, 从而促进豆科作物轮作制度下土壤有机碳的封存, 这与本研究结果相似. 其原因是发达的绿肥根系和丰富的根系分泌物及绿肥还田后的腐殖化作用促进有机质的形成, 并通过释放土壤粘合剂来帮助土壤聚集^[52]. 本研究还发现, 全年休耕处理下 $R_{0.25}$ 和 GMD 与 SOC 含量呈正显著相关, 这与 Miao 等^[32]研究得到的结果一致. 其原因是休耕地中植物残体未被清除, 植物残体腐解后产生黄腐酸和腐殖酸、包括碳水化合物和芳香烃等物质, 从而有利于 SOC 的积累, 而 SOC 作为微团聚体之间的粘合剂, 有利于大团聚体的形成与稳定, 且休耕系统中更多的植物生物量不断向大团聚体供应新的碳, 这能够弥补 SOC 更快的周转率, 从而促进碳的封存和团聚体的稳定^[53].

4 结论

(1) 轮作休耕模式对 > 2 、1~2、0.25~1 和 < 0.25 mm 团聚体含量和稳定性参数产生显著影响. 在 2021 年和 2022 年中, 苕子轮作和周年休耕处理均能够显著提高大团聚体含量和团聚体稳定性.

(2) 轮作休耕年份对 > 2 、1~2、0.25~1 和 < 0.25 mm 团聚体含量和稳定性参数存在显著效应, 玉米-苕子-玉米轮作处理下的 > 2 mm 团聚体含量、GMD 和 MWD 及周年休耕处理的团聚体稳定性参数 ($R_{0.25}$ 、

MWD)和 > 2 mm 团聚体含量随着轮作休耕年限的延长而增加,而周年休耕处理下,1~2 mm 和 < 0.25 mm 团聚体含量随着休耕年限的增加而降低. 轮作休耕模式和年份的交互作用对各粒径团聚体含量和稳定性参数影响显著.

(3)绿肥轮作和休耕处理均能够提高 SOC 含量,且苕子轮作和全年休耕处理的 SOC 含量随年限的延长而增加.

(4)所有处理下 SOC 含量与 $R_{0.25}$ 呈极显著正相关,与 GMD 呈显著正相关;全年休耕处理下的 $R_{0.25}$ 和 GMD 及苕子轮作下的 GMD 和 MWD 均与 SOC 含量显著正相关.

参考文献:

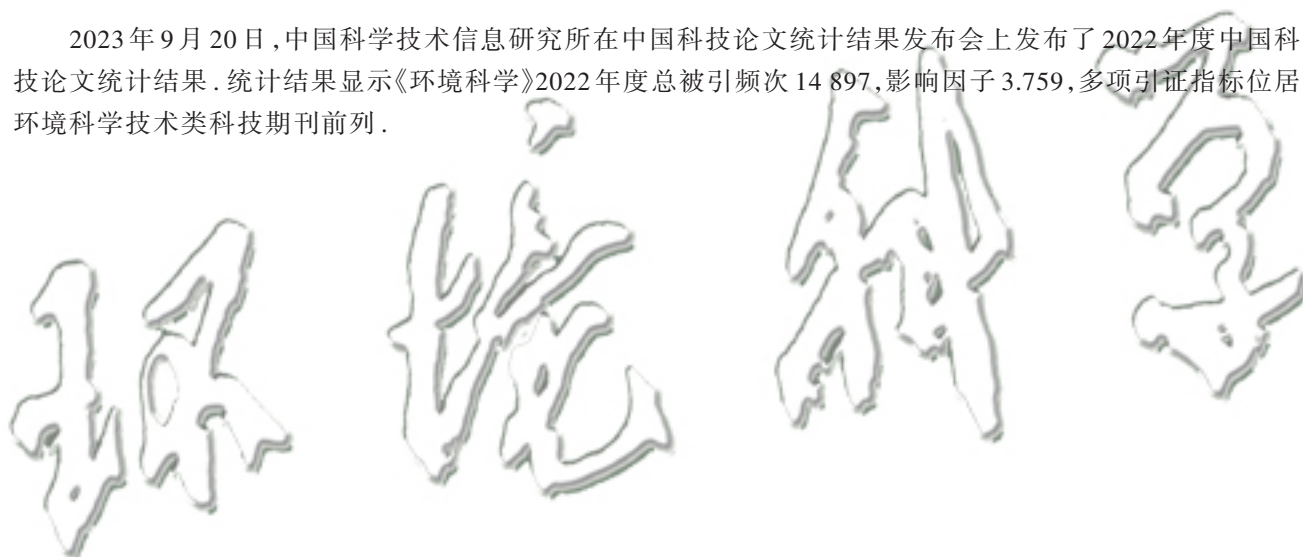
- [1] Ran Y G, Wu S J, Zhu K, *et al.* Soil types differentiated their responses of aggregate stability to hydrological stresses at the riparian zones of the Three Gorges Reservoir[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2020, **20**(2): 951-962.
- [2] Li H Q, Zhu H S, Wei X R, *et al.* Soil erosion leads to degradation of hydraulic properties in the agricultural region of Northeast China[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2021, **314**, doi: 10.1016/j.agee.2021.107388.
- [3] Zhu X A, Liu W J, Yuan X, *et al.* Aggregate stability and size distribution regulate rainsplash erosion: Evidence from a humid tropical soil under different land-use regimes[J]. *Geoderma*, 2022, **420**, doi: 10.1016/j.geoderma.2022.115880.
- [4] Zhang Y, Qin X, Qiu Q, *et al.* Soil and water conservation measures reduce erosion but result in carbon and nitrogen accumulation of red soil in Southern China[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2023, **346**, doi: 10.1016/j.agee.2023.108346.
- [5] Peng Q, Liu B Y, Hu Y X, *et al.* The role of conventional tillage in agricultural soil erosion[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2023, **348**, doi: 10.1016/j.agee.2023.108407.
- [6] 南镇武, 刘柱, 孟维伟, 等. 黄河下游冲积平原轮作休耕农田土壤真菌群落结构与功能[J]. *环境科学*, 2023, **44**(1): 482-493.
Nan Z W, Liu Z, Meng W W, *et al.* Structure and function of soil fungal community in rotation fallow farmland in Alluvial Plain of Lower Yellow River[J]. *Environmental Science*, 2023, **44**(1): 482-493.
- [7] 宋戈, 张红梅. 东北典型黑土区耕地轮作休耕的空间重构[J]. *自然资源学报*, 2022, **37**(9): 2231-2246.
Song G, Zhang H M. Spatial reconstruction of farmland rotation and fallow in the typical black soil region of Northeast China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, **37**(9): 2231-2246.
- [8] Deng L, Liu G B, Shanguan Z P. Land-use conversion and changing soil carbon stocks in China's 'Grain-for-Green' Program: a synthesis[J]. *Global Change Biology*, 2014, **20**(11): 3544-3556.
- [9] 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.
- [10] Six J, Bossuyt H, Degryze S, *et al.* A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics[J]. *Soil and Tillage Research*, 2004, **79**(1): 7-31.
- [11] 何宇, 盛茂银, 王轲, 等. 土地利用变化对西南喀斯特土壤团聚体组成、稳定性以及 C、N、P 化学计量特征的影响[J]. *环境科学*, 2022, **43**(7): 3752-3762.
He Y, Sheng M Y, Wang K, *et al.* Effects of land use change on constitution, stability, and C, N, P stoichiometric characteristics of soil aggregates in Southwest China karst[J]. *Environmental Science*, 2022, **43**(7): 3752-3762.
- [12] Ye L P, Tan W F, Fang L C, *et al.* Spatial analysis of soil aggregate stability in a small catchment of the Loess Plateau, China: II. Spatial prediction[J]. *Soil and Tillage Research*, 2019, **192**: 1-11.
- [13] Zhang Y, E S Z, Wang Y N, *et al.* Long-term manure application enhances the stability of aggregates and aggregate-associated carbon by regulating soil physicochemical characteristics[J]. *CATENA*, 2021, **203**, doi: 10.1016/j.catena.2021.105342.
- [14] 王兴, 钟泽坤, 张欣怡, 等. 长期撂荒恢复土壤团聚体组成与有机碳分布关系[J]. *环境科学*, 2020, **41**(5): 2416-2424.
Wang X, Zhong Z K, Zhang X Y, *et al.* Relationship between the composition of soil aggregates and the distribution of organic carbon under long-term abandoned restoration[J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(5): 2416-2424.
- [15] Ma L, Wang Q, Shen S T. Response of soil aggregate stability and distribution of organic carbon to alpine grassland degradation in Northwest Sichuan[J]. *Geoderma Regional*, 2020, **22**, doi: 10.1016/j.geodrs.2020.e00309.
- [16] Guan S, An N, Zong N, *et al.* Climate warming impacts on soil organic carbon fractions and aggregate stability in a Tibetan alpine meadow[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, **116**: 224-236.
- [17] 林洪羽, 周明华, 张博文, 等. 生物炭及秸秆长期施用对紫色土坡耕地土壤团聚体有机碳的影响[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2020, **28**(1): 96-103.
Lin H Y, Zhou M H, Zhang B W, *et al.* Effect of long-term application of biochar and straw on soil organic carbon in purple soil aggregates of sloping uplands[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020, **28**(1): 96-103.
- [18] Li Y M, Duan Y, Wang G L, *et al.* Straw alters the soil organic carbon composition and microbial community under different tillage practices in a meadow soil in Northeast China[J]. *Soil and Tillage Research*, 2021, **208**, doi: 10.1016/j.still.2020.104879.
- [19] Yan Z J, Zhou J, Yang L, *et al.* Diversified cropping systems benefit soil carbon and nitrogen stocks by increasing aggregate stability: results of three fractionation methods[J]. *Science of the Total Environment*, 2022, **824**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153878.
- [20] Seidel E P, Caetano J H S, Karpinski A S, *et al.* Residual dry matter, weeds and soil aggregates after winter cover crop[J]. *Journal of Experimental Agriculture International*, 2019, **32**(2): 1-11.
- [21] Thapa V R, Ghimire R, VanLeeuwen D, *et al.* Response of soil organic matter to cover cropping in water-limited environments[J]. *Geoderma*, 2022, **406**, doi: 10.1016/j.geoderma.2021.115497.
- [22] Kamran M, Huang L, Nie J, *et al.* Effect of reduced mineral fertilization (NPK) combined with green manure on aggregate stability and soil organic carbon fractions in a fluvo-aquic paddy soil[J]. *Soil and Tillage Research*, 2021, **211**, doi: 10.1016/j.still.2021.105005.
- [23] Elliott E T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils[J]. *Soil Science Society*

- of America Journal, 1986, **50**(3): 627-633.
- [24] Yang J L, Zhou Y D, Ye X, *et al.* Continuous ridge-furrow film mulching enhances maize root growth and crop yield by improving soil aggregates characteristics in a semiarid area of China: an eight-year field experiment [J]. *Plant and Soil*, 2023, doi: 10.1007/s11104-023-05953-4.
- [25] Ye L P, Tan W F, Fang L C, *et al.* Spatial analysis of soil aggregate stability in a small catchment of the Loess Plateau, China: I. Spatial variability [J]. *Soil and Tillage Research*, 2018, **179**: 71-81.
- [26] Zhang Q Q, Song Y F, Wu Z, *et al.* Effects of six-year biochar amendment on soil aggregation, crop growth, and nitrogen and phosphorus use efficiencies in a rice-wheat rotation [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, **242**, doi: 10.1016/j.jclepro. 2019. 118435.
- [27] Blanco-Canqui H, Mikha M M, Presley D R, *et al.* Addition of cover crops enhances no-till potential for improving soil physical properties [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2011, **75** (4): 1471-1482.
- [28] 吕奕彤, 于爱忠, 吕汉强, 等. 绿洲灌区玉米农田土壤团聚体组成及其稳定性对绿肥还田方式的响应 [J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2021, **29**(7): 1194-1204.
- Lyu Y T, Yu A Z, Lyu H Q, *et al.* Composition and stability of soil aggregates in maize farmlands under different green manure utilization patterns in an oasis irrigation area [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2021, **29**(7): 1194-1204.
- [29] Liu W X, Wei Y X, Li R C, *et al.* Improving soil aggregates stability and soil organic carbon sequestration by no-till and legume-based crop rotations in the North China Plain [J]. *Science of the Total Environment*, 2022, **847**, doi: 10.1016/j.scitotenv. 2022. 157518.
- [30] Nouri A, Lee J, Yin X H, *et al.* Thirty-four years of no-tillage and cover crops improve soil quality and increase cotton yield in Alfisols, Southeastern USA [J]. *Geoderma*, 2019, **337**: 998-1008.
- [31] Hudek C, Putinica C, Otten W, *et al.* Functional root trait-based classification of cover crops to improve soil physical properties [J]. *European Journal of Soil Science*, 2022, **73**(1), doi: 10.1111/ejss. 13147.
- [32] Miao S J, Qiao Y F, Li P, *et al.* Fallow associated with autumn-plough favors structure stability and storage of soil organic carbon compared to continuous maize cropping in Mollisols [J]. *Plant and Soil*, 2017, **416**(1-2): 27-38.
- [33] Soka G E, Ritchie M E, Mayemba E P. Influence of current land use and edaphic factors on arbuscular mycorrhizal (AM) hyphal abundance and soil organic matter in and near Serengeti National Park [J]. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 2015, **7** (5): 158-169.
- [34] Qiao Y F, Miao S J, Li N, *et al.* Crop species affect soil organic carbon turnover in soil profile and among aggregate sizes in a Mollisol as estimated from natural ^{13}C abundance [J]. *Plant and Soil*, 2015, **392**(1-2): 163-174.
- [35] Lichter K, Govaerts B, Six J, *et al.* Aggregation and C and N contents of soil organic matter fractions in a permanent raised-bed planting system in the Highlands of Central Mexico [J]. *Plant and Soil*, 2008, **305**(1-2): 237-252.
- [36] Udom B E, Anozie H. Micro-aggregate indices and structural stability of soils under different management [J]. *Nigerian Journal of Soil Science*, 2018, **28**(2): 66-71.
- [37] Zhao F Z, Fan X D, Ren C J, *et al.* Changes of the organic carbon content and stability of soil aggregates affected by soil bacterial community after afforestation [J]. *CATENA*, 2018, **171**: 622-631.
- [38] Zhu G Y, Shanguan Z P, Deng L. Soil aggregate stability and aggregate-associated carbon and nitrogen in natural restoration grassland and Chinese red pine plantation on the Loess Plateau [J]. *CATENA*, 2017, **149**: 253-260.
- [39] 张钦, 于恩江, 林海波, 等. 连续种植不同绿肥作物耕层的土壤团聚体特征 [J]. *西南农业学报*, 2019, **32**(1): 148-153.
- Zhang Q, Yu E J, Lin H B, *et al.* Soil aggregate characteristics in topsoil layer under continuity planting same green manure crop [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2019, **32**(1): 148-153.
- [40] 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.
- [41] 张钦, 于恩江, 林海波, 等. 连续种植不同绿肥作物的土壤团聚体稳定性及可蚀性特征 [J]. *水土保持研究*, 2019, **26**(2): 9-16.
- Zhang Q, Yu E J, Lin H B, *et al.* Stability and erodibility of aggregate affected by different continuous green manure cultivations [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2019, **26**(2): 9-16.
- [42] dos Reis Martins M, Corá J E, Jorge R F, *et al.* Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage [J]. *Soil and Tillage Research*, 2009, **104**(1): 22-29.
- [43] 王兴, 祁剑英, 井震寰, 等. 长期保护性耕作对稻田土壤团聚体稳定性和碳氮含量的影响 [J]. *农业工程学报*, 2019, **35** (24): 121-128.
- Wang X, Qi J Y, Jing Z H, *et al.* Effects of long-term conservation tillage on soil aggregate stability and carbon and nitrogen in paddy field [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, **35**(24): 121-128.
- [44] 宋丽萍, 罗珠珠, 李玲玲, 等. 苜蓿-作物轮作模式对土壤团聚体稳定性及有机碳的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2016, **24**(1): 27-35.
- Song L P, Luo Z Z, Li L L, *et al.* Effects of lucerne-crop rotation patterns on soil aggregate stability and soil organic carbon [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2016, **24**(1): 27-35.
- [45] Siddique N E A, de Bruyn L A L, Osanai Y, *et al.* Determining the role of land resource, cropping and management practices in soil organic carbon status of rice-based cropping systems [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2023, **344**, doi: 10.1016/j.agee. 2022. 108302.
- [46] 刘威, 耿明建, 秦自果, 等. 种植绿肥与稻秸协同还田对单季稻田土壤有机碳库和酶活性的影响 [J]. *农业工程学报*, 2020, **36**(7): 125-133.
- Liu W, Geng M J, Qin Z G, *et al.* Effects of co-incorporation of green manure planting and rice straw on soil organic carbon pool and soil enzyme activity in a mono-rice cropping system [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, **36**(7): 125-133.
- [47] Liu S H, Kong F L, Li Y, *et al.* Mineral-ions modified biochars enhance the stability of soil aggregate and soil carbon sequestration in a coastal wetland soil [J]. *CATENA*, 2020, **193**, doi: 10.1016/j.catena. 2020. 104618.

- [48] Nyamadzawo G, Chikowo R, Nyamugafata P, *et al.* Soil organic carbon dynamics of improved fallow-maize rotation systems under conventional and no-tillage in Central Zimbabwe [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2008, **81**(1): 85-93.
- [49] Liu X T, Tan S W, Song X J, *et al.* Response of soil organic carbon content to crop rotation and its controls: a global synthesis [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2022, **335**, doi: 10.1016/j.agee.2022.108017.
- [50] Nath C P, Hazra K K, Kumar N, *et al.* Including grain legume in rice-wheat cropping system improves soil organic carbon pools over time[J]. *Ecological Engineering*, 2019, **129**: 144-153.
- [51] 黄璐, 赵国慧, 李廷亮, 等. 秸秆还田对黄土旱塬麦田土壤团聚体有机碳组分的影响[J]. *农业工程学报*, 2022, **38**(13): 123-132.
- [52] Huang L, Zhao G H, Li T L, *et al.* Effects of straw returning on the organic carbon components of soil aggregates in wheat fields on the loess plateau [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, **38**(13): 123-132.
- [53] Ansari M A, Choudhury B U, Layek J, *et al.* Green manuring and crop residue management: effect on soil organic carbon stock, aggregation, and system productivity in the foothills of Eastern Himalaya (India)[J]. *Soil and Tillage Research*, 2022, **218**, doi: 10.1016/j.still.2022.105318.
- [53] Nandan R, Singh V, Singh S S, *et al.* Impact of conservation tillage in rice - based cropping systems on soil aggregation, carbon pools and nutrients[J]. *Geoderma*, 2019, **340**: 104-114.

《环境科学》多项引证指标名列前茅

2023年9月20日,中国科学技术信息研究所在中国科技论文统计结果发布会上发布了2022年度中国科技论文统计结果.统计结果显示《环境科学》2022年度总被引频次14 897,影响因子3.759,多项引证指标位居环境科学技术类科技期刊前列.



CONTENTS

Research on the Evaluation Method and Application of Provincial Differentiated Carbon Peaking in China	LIU Run-pu, PENG Shuan, CHEN Yu-shuo, <i>et al.</i> (1233)
Evolution and Influencing Factors of Spatial Correlation Network of Construction Carbon Emission in China from the Perspective of Whole Life Cycle	REN Xiao-song, LI Zhao-rui (1243)
Efficiency Characteristics and Evolution Patterns of Urban Carbon Metabolism of Production-Living-Ecological Space in Beijing-Tianjin-Hebei Region	TIAN Chao, CHENG Lin-lin, SHAO Ying-chao (1254)
Assessment of CO ₂ Co-benefits of Air Pollution Control Policies in Taiyuan's 14th Five-Year Plan	XIAO Ting-yu, SHU Yun, LI hui, <i>et al.</i> (1265)
Coordinated Control of Carbon Emission Reduction and Air Quality Improvement in the Industrial Sector in Hunan Province	LI Nan, LIU Wan-wan, ZHU Shu-han, <i>et al.</i> (1274)
Coal Control and Carbon Reduction Path in Henan Province's Power Industry Under the Carbon Peak and Neutralization Target: A Medium- and Long-term Study	ZHANG Jing, YANG Meng, ZHANG Wei, <i>et al.</i> (1285)
Environmental Benefits of Pollution and Carbon Reduction by Bus Fleet Electrification in Zhengzhou	ZOU Chao, WANG Ya-nan, WU Lin, <i>et al.</i> (1293)
Multi-scale Driving Mechanism of Urbanization on PM _{2.5} Concentration in Urban Agglomeration in the Middle Reaches of the Yangtze River	ZHANG Zheng, ZHOU Ting-gang, ZHOU Zhi-heng, <i>et al.</i> (1304)
Analysis of Spatio-temporal Distribution Characteristics and Influencing Factors of PM _{2.5} Concentration in Urban Agglomerations on the Northern Slope of Tianshan Mountains	WANG Xiang-nan, ZHANG Zhe, LIU Fang-qing (1315)
Spatial Variability and Source Apportionment of PM _{2.5} Carbon Components in Tianjin	WU Fu-liang, WU Jian-hui, DAI Qi-li, <i>et al.</i> (1328)
Characteristics and Source Analysis of Carbonaceous Aerosols in PM _{2.5} in Huaxi District, Guiyang	GUI Jia-qun, YANG Yuan, WANG Xian-qin, <i>et al.</i> (1337)
Pollution Characteristics, Source Apportionment, and Meteorological Response of Water-soluble Ions in PM _{2.5} in Xinxiang, North China	LIU Huan-jia, LI Lan-qing, LI Huan-li, <i>et al.</i> (1349)
Characterization of Metal Elements in Atmospheric PM _{2.5} and Health Risk Assessment in Heze in Winter from 2017 to 2018	DU Hong-xuan, REN Li-hong, ZHAO Ming-sheng, <i>et al.</i> (1361)
Analysis of the Jumping Characteristics and Influencing Factors of Ozone Pollution in Beijing	PAN Jin-xin, AN Xin-xin, LIU Bao-xian, <i>et al.</i> (1371)
Analysis of Photochemical Characteristics and Sensitivity of Atmospheric Ozone in Nanjing in Summer	LUO Li-tong, ZHANG Yan-lin, LIN Yu-qi, <i>et al.</i> (1382)
Ozone Pollution in Suzhou During Early Summertime: Formation Mechanism and Interannual Variation	WU Ye-zheng, ZHANG Xin, GU Jun, <i>et al.</i> (1392)
Distribution Characteristics, Ecological Risk Assessment, and Source Tracing of Heavy Metals in the Sediments of Typical Lakes in the Middle Reaches of the Yangtze River	LU Hong-bin, LU Shao-yong, LI Xiang, <i>et al.</i> (1402)
Spatiotemporal Distribution and Source Analysis of Heavy Metals in Surface Sediments in Lake Ulansuhai Based on PCA-APCS-MLR Model	CUI Zhi-mou, SHI Xiao-hong, ZHAO Sheng-nan, <i>et al.</i> (1415)
Spatial and Temporal Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Water of Changshou Lake Reservoir, Chongqing	ZHANG Rui-xi, LIU Ya-jun, LUO Yong-nan, <i>et al.</i> (1428)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Microplastics in the Yangtze River Basin	LI Si-qiong, WANG Hua, CHU Lin-you, <i>et al.</i> (1439)
Assessment of Microplastic Pollution and Estimation of Annual Emission Volume in the Dongshan Canal of Yichang City	DING Shuang, LI Wei-ming, ZHANG Xu-tong, <i>et al.</i> (1448)
Occurrence Characteristic and Risk Assessment of Microplastics in Sishui River (Xingyang Section)	ZHAO Chang-min, HE Bing, LI He-tong, <i>et al.</i> (1457)
Contamination Characteristics and Ecological Risk Assessment of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Drains Flowing into the Yellow River of Ningxia	GAO Li, LI Ling-yun, ZHENG Lan-xiang, <i>et al.</i> (1468)
Characteristics and Risk Assessment of Antibiotic Contamination in Oujiang River Basin in Southern Zhejiang Province	ZHONG Yi-xin, LI Li-xiang, WU Xin, <i>et al.</i> (1480)
Spatial-temporal Distribution and Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediments of Poyang Lake	MA Yan, SUN Chen, BI Jia-le, <i>et al.</i> (1492)
Change and Prediction of Water Purification Function in the South Bank of Hangzhou Bay in the Past 20 Years	WANG Shan-shan, CAO Gong-ping, XU Ming-wei, <i>et al.</i> (1502)
Effects of Land Use Types on Water Quality at Different Buffer Scales: Tianjin Section of the Haihe River Basin as an Example	DAI Meng-jun, ZHANG Bing, DU Qian-qian, <i>et al.</i> (1512)
Hydrochemical Characteristics and Control Factors of Shallow Groundwater in Anqing Section of the Yangtze River Basin	LIU Hai, SONG Yang, LI Ying-chun, <i>et al.</i> (1525)
Dynamic Changes of Dissolved Organic Matter Derived from Algal Decomposition and the Environmental Effects in Eutrophic Lakes	ZHANG Jin, CHEN Ming-ying, HAO Zhi-neng, <i>et al.</i> (1539)
Degradation of Carbamazepine in Water by UV-activated Sulfite Process	LIN Tao, YUAN Yu-jie (1553)
Detection, Generation, and Control of Disinfection By-products of Reclaimed Water	LIAO Yu-feng, WANG Zheng, PAN Yang, <i>et al.</i> (1561)
Absorption of Ammonium by Three Substrates Materials in Constructed Wetland System	HE Qiang, CHEN Bo-wen, YANG Yu-jing, <i>et al.</i> (1577)
Ecological Environment Assessment and Driving Mechanism Analysis of Nagqu and Amdo Sections of Qinghai-Xizang Highway Based on Improved Remote Sensing Ecological Index	FU Kai-xiang, JIA Guo-dong, YU Xin-xiao, <i>et al.</i> (1586)
Spatial-temporal Evolution and Driving Factors Analysis of Ecological Environment Quality in Daihai Basin based on AWRSEI	ZHAO Jia-li, LI Xing, SUN Bing (1598)
Quantitative Assessment of the Impact of Climate Change on the Growing Season of Vegetation Gross Primary Productivity in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River	XU Yong, PAN Yu-chun, ZOU Bin, <i>et al.</i> (1615)
Effect of Vegetation Restoration on Soil Organic Carbon Storage in Coal Mining Areas Based on Meta-analysis	LI Jian-ming, KANG Yu-xin, JIANG Fu-zhen, <i>et al.</i> (1629)
Effects of Continuous Annual Crop Rotation and Fallow on Soil Aggregate Stability and Organic Carbon	LU Ze-rang, LI Yong-mei, YANG Chun-huai, <i>et al.</i> (1644)
Effects of Four Amendments on Fertility and Labile Organic Carbon Fractions of Acid Purple Soil	DING Xin-ru, YAN Ning-zhen, WANG Zi-fang, <i>et al.</i> (1655)
Changes in Soil Nitrogen Components and Their Relationship with Environmental Factors with Different Tea Plantation Ages	SHAO Qi, WU Tao, XIE Xue-feng, <i>et al.</i> (1665)
Nutrients and Ecological Stoichiometry Characteristics of Typical Wetland Soils in the Lower Yellow River	WANG Chuan-ying, WANG Kai-yue, WANG Hao-ran, <i>et al.</i> (1674)
Effect of Film Mulching Age and Organic Fertilizer Application on the Distribution Characteristics of Microplastics in the Soil of a Peanut Field	SONG Ning-ning, LI Meng-jia, WANG Xue-xia, <i>et al.</i> (1684)
Effects of Straw Returning and Biochar Addition on Greenhouse Gas Emissions from High Nitrate Nitrogen Soil After Flooding in Rice-vegetable Rotation System in Tropical China	HU Tian-yi, CHE Jia-yue, HU Yu-jie, <i>et al.</i> (1692)
Tillage Depth Regulation and the Effect of Straw Return on Soil Respiration in Farmland	CHEN Xi, ZHANG Yan-jun, ZOU Jun-lie, <i>et al.</i> (1702)
Distribution Prediction of Soil Heavy Metals Based on Remote Sensing Temporal-Spatial-Spectral Features and Random Forest Model	WANG Ze-qiang, ZHANG Dong-you, XU Xi-bo, <i>et al.</i> (1713)
Characteristics and Identification Priority Source of Heavy Metals Pollution in Farmland Soils in the Yellow River Basin	LI Jun, LI Xu, LI Kai-ming, <i>et al.</i> (1724)
Characteristics of Cd Flux in Topsoil Around Typical Mining Area in Hezhou, Guangxi	YANG Ye-yu, LI Cheng, YANG Zhong-fang, <i>et al.</i> (1739)
Potential Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Fengdong New District Based on Information Diffusion Model	YANG Nan-nan, HAN Ling, LIU Ming (1749)
Traceability Analysis and Environmental Quality Assessment of Soil Heavy Metal Pollution in West Hunan Province	XIAO Kai-qi, XU Hong-gen, GAN Jie, <i>et al.</i> (1760)
Distribution Characteristics, Source Analysis and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Typical Industry Reclaimed Soil	SHEN Cheng, WANG Wen-juan, SHA Chen-yan, <i>et al.</i> (1769)
Provincial-scale Soil As Migration and Transformation and Rice Safe Planting Zoning: A Case Study of Guizhou Province	DONG Xin-yue, WU Yong, ZHOU Zi-han, <i>et al.</i> (1781)
Effect of Silica Fertilizer(Husk Ash) to Improve Soil Quality and Reduce Cd and As Accumulation in Rice	YI Xuan-tao, OUYANG Kun, GU Jiao-feng, <i>et al.</i> (1793)
Effect of EDDS Application on Soil Cu/Cd Availability and Uptake/transport by Castor	LIU Wen-ying, WU Gang, HU Hong-qing (1803)
Blocking Effects of Foliar Conditioners on Cadmium, Arsenic, and Lead Accumulation in Wheat Grain in Compound-contaminated Farmland	XIAO Bing, WANG Qiu-shi, GAO Pei-pe, <i>et al.</i> (1812)
Soil Microbial Community Structure and Functional Diversity Character of Abandoned Farmland in Minqin Oasis	LI Chang-le, ZHANG Fu, WANG Li-de, <i>et al.</i> (1821)
Microbial Mechanisms of Removal of Phthalic Acid Esters in Purple Soils Revealed Using Metagenomic Analysis	LI Yu-tong, YU Hai, LIU Kun, <i>et al.</i> (1830)
Air Microbial Contamination and Risk of Respiratory Exposure of Workers in Chicken Farms	BAI Yu-qiao, SUN Xing-bin, QIU Tian-lei, <i>et al.</i> (1840)
Occurrence Characteristics of Microplastics in Multi-environmental Media and <i>Bellamyia aeruginosa</i> of Manao River	GAO Ya-kun, LI Wei-ming, ZHANG Xu-tong, <i>et al.</i> (1849)
Biological Effect of Microplastics with Different Functional Groups on the Bacterial Communities and Metabolic Functions of Zebrafish (<i>Danio rerio</i>) Embryos	YAN Zhen-hua, ZHANG Yan, BAO Xu-hui, <i>et al.</i> (1859)