

目次

基于时间序列分解的京津冀区域PM _{2.5} 和O ₃ 空间分布特征	姚青, 丁净, 杨旭, 蔡子颖, 韩素芹 (2487)
基于随机森林的北京城区臭氧敏感性分析	周红, 王鸣, 柴文轩, 赵昕 (2497)
基于随机森林模型的四川盆地臭氧污染预测	杨晓彤, 康平, 王安怡, 臧增亮, 刘浪 (2507)
海口市臭氧浓度统计预报模型的构建与效果评估	符传博, 林建兴, 唐家翔, 丹利 (2516)
京津冀地区2015~2020年臭氧浓度时空分布特征及其健康效益评估	高冉, 李琴, 车飞, 张艳平, 祖永刚, 刘芬 (2525)
2022年北京市城区PM _{2.5} 水溶性离子含量及其变化特征	陈圆圆, 崔迪, 赵泽熙, 常森, 景宽, 沈秀娥, 刘保献 (2537)
郑州市冬春季PM _{2.5} 中金属元素污染特征、来源及健康风险评估	陶杰, 闫慧姣, 徐艺斐, 荆海涛 (2548)
淄博市供暖前后PM _{2.5} 中多环芳烃及其衍生物污染特征、来源及健康风险	孙港立, 吴丽萍, 徐勃, 高玉宗, 赵雪艳, 姬亚芹, 杨文 (2558)
西安市采暖季过渡期高时间分辨率细颗粒物组分特征及来源解析	李萌津, 张勇, 张倩, 田杰, 李丽, 刘卉昆, 冉伟康, 王启元 (2571)
天津冬季两个典型污染过程高浓度无机气溶胶成因及来源分析	卢苗苗, 韩素芹, 刘可欣, 唐晓, 孔磊, 丁净, 樊文雁, 王自发 (2581)
基于空间尺度效应的山东省PM _{2.5} 浓度时空变化及空间分异地理探测	徐勇, 韦梦新, 邹滨, 郭振东, 李沈鑫 (2596)
我国典型化工行业VOCs排放特征及其对臭氧生成潜势	武婷, 崔焱文, 肖成德, 翟增秀, 韩萌 (2613)
廊坊秋季大气污染过程中VOCs二次气溶胶生成潜势及来源分析	张敬巧, 刘铮, 丁文文, 朱瑶, 曹婷, 凌德印, 王淑兰, 王宏亮 (2622)
景观格局对河流水质影响的尺度效应Meta分析	王玉仓, 杜晶晶, 张禹, 吴昊, 胡敏敏, 陈丁江 (2631)
白洋淀夏季汛期入淀河流水体溶解性有机物的光谱特征及来源	孟佳靖, 宴红, 陈哲, 周石磊, 底怡玲, 武辰彬, 王晨光, 张家丰, 崔建升 (2640)
北京市丰台区永定河以东浅层地下水水化学演变规律及成因分析	胡昱欣, 周瑞静, 宋炜, 杨全合, 王鑫茹 (2651)
庐庐断裂带(安徽段)浅层地下水水化学特征、控制因素及水质评价	刘海, 魏伟, 宋阳, 徐洁, 管政亭, 黄健敏, 赵国红 (2665)
农药施用对兴凯湖水中农药残留的影响及其风险评价	王蔚青, 徐雄, 刘权震, 林利华, 吕婧, 王东红 (2678)
黄河兰州段河岸带土壤中微生物与耐药基因的赋存特征	韦程宸, 魏枫沂, 夏慧, 黄魁 (2686)
基于多源数据的巢湖蓝藻水华时空分布及驱动因素分析	金晓龙, 邓学良, 戴睿, 徐倩倩, 吴月, 范裕祥 (2694)
再生水构建水环境中沉水植物附着细菌群落特征	贺赞, 李雪梅, 李宏权, 魏琳琳, 姜春晖, 姜大伟, 李魁晚 (2707)
水位波动和植被恢复对三峡水库消落带土壤原核微生物群落结构的交互影响	梅渝, 黄平, 王鹏, 朱凯 (2715)
银川市典型湖泊沉积物细菌群落结构及其对重金属的响应关系	蒙俊杰, 刘双羽, 邱小琼, 周娟娟 (2727)
热水解时间对污泥厌氧消化系统微生物群落结构影响分析	张含, 张涵, 王佳伟, 高金华, 文洋, 李相昆, 任征然 (2741)
市政污水中吗啡来源辨析	邵雪婷, 赵悦彤, 蒋冰, 裴伟, 李彦莹, 谭冬芹, 王德高 (2748)
滦河流域生态环境动态遥感评价	李艳翠, 袁金国, 刘博涵, 郭豪 (2757)
黄河流域生态系统服务价值时空演化及影响因素	王奕洪, 孙学堂 (2767)
基于贝叶斯网络的生态系统服务权衡协同关系强度及其空间格局优化:以汾河流域为例	蔡进, 危小建, 江平, 梁玉琦 (2780)
贵州高原典型喀斯特县域生境质量时空演变及定量归因	李月, 冯霞, 吴路华, 罗光杰, 罗红芬 (2793)
2000~2021年黄土高原生态分区NEP时空变化及其驱动因子	周怡婷, 严俊霞, 刘菊, 王瑛 (2806)
基于SSP-RCP情景的黄土高原土地变化模拟及草原碳储量	崔伟, 董燕, 张露尹, 王荣臻 (2817)
京津冀城市群建设用地扩张多情景模拟及其对生态系统碳储量的影响	武爱彬, 陈辅国, 赵艳霞, 秦彦杰, 刘欣, 郭小平 (2828)
西南岩溶区土地利用变化对团聚体稳定性及其有机碳的影响	江可, 贾亚男, 杨琰, 陈坚淇, 禹朴家 (2840)
不同土地利用方式下土壤有机质分子组成变化的整合分析	黄世威, 赵一锴, 朱馨雨, 刘贺雷, 刘姣姣, 陈稍, 陈佳永, 张阿凤 (2848)
基于改进麻雀搜索算法优化BP神经网络的土壤有机质空间分布预测	胡志瑞, 赵万伏, 宋根先, 王芳, 林妍敏 (2859)
不同有机物料施用对菜地磷累积和转化的影响	孙凯, 崔玉涛, 李顺晋, 魏冰丽, 王媛, 杨宏博, 王孝忠, 张伟 (2871)
集约化柑橘种植抑制土壤磷循环微生物活性	周连吴, 曾全超, 梅唐英泽, 汪明霞, 谭文峰 (2881)
控释掺混肥对麦玉米轮作体系作物产量和温室气体排放的影响	高玮, 王学霞, 谢建治, 陈延华, 倪小会, 王甲辰, 董艳芳, 李子双, 曹兵 (2891)
生物炭对黄绵土中NO ₃ -N运移过程影响及模拟	白一茹, 刘旭, 张钰涵, 张睿媛, 马艳, 王幼奇 (2905)
中国农田土壤重金属污染分析与评价	杨雳, 白宗旭, 薄文浩, 林静, 杨俱佳, 陈涛 (2913)
城市土壤和地表灰尘重金属污染研究进展与展望	王晓雨, 刘恩峰, 杨祥梦, 王碧莲, 林锦阔, 颜梦霞, 毕世杰 (2926)
场地重金属污染土壤固化及MICP技术研究进展	陈玥如, 高文艳, 陈虹任, 薛生国, 吴川 (2939)
黄河流域山东段近河道煤矿区土壤重金属污染特征及源解析	戴文婷, 张晖, 吴霞, 钟鸣, 段桂兰, 董霁红, 张培培, 樊洪明 (2952)
拒马河流域河流沉积物与土壤重金属含量及风险评价	韩双宝, 袁磊, 张秋霞, 郑焰, 李甫成 (2962)
银川市黄河滩区土壤重金属污染特征、生态风险评估及来源解析	于路加, 马海军, 王翠平 (2971)
基于源导向和蒙特卡罗模型的广东省某城市土壤重金属健康风险评估	陈莲, 邹子航, 张培珍, 王雨菡, 王振江, 林森, 唐翠明, 罗国庆, 钟建武, 李智毅, 王圆 (2983)
西南典型碳酸盐岩高地背景区农田重金属化学形态、影响因素及回归模型	唐瑞玲, 徐进力, 刘彬, 杜雪苗, 顾雪, 于林松, 毕婧 (2995)
贵州省水田土壤-水稻Hg含量特征与安全种植区划	韦美溜, 周浪, 黄燕玲, 庞瑞, 王佛鹏, 宋波 (3005)
柠檬酸辅助甜高粱对南方典型母质土壤的镉修复效应	刘梦宇, 罗绪锋, 辜娇峰, 易轩韬, 周航, 曾鹏, 廖柏寒 (3016)
改性酒糟生物炭对紫色土壤镉形态及水稻吸收镉的影响	肖乃川, 王子芳, 杨文娜, 谢永红, 代文才, 高明 (3027)
生物炭对四环素和铜复合污染土壤生菜生长及污染物累积的影响	郑晨格, 裴欢欢, 张亚珊, 李嘉欣, 刘奋武, 乔星星, 秦俊梅 (3037)
基于Meta分析的蚯蚓堆肥对堆肥质量和重金属的影响效应	姜继韶, 侯睿, 崔慧林, 闫广轩, 刘栋 (3047)
微塑料对土壤N ₂ O排放及氮素转化的影响研究进展	刘一戈, 杨安琪, 陈舒欣, 牛英奕, 卢瑛, 李博 (3059)
土地利用对洱海罗时江小流域土壤微塑料污染的影响	戴柳云, 侯磊, 王化, 符立松, 王艳霞, 李晓琳, 王万宾, 梁启斌 (3069)
养殖海湾淤泥质海岸沉积物微塑料污染特征	宋可心, 贺金成, 李昌文, 解思琦, 刘宝堃, 黄伟, 冯志华 (3078)
聚乙烷微塑料对盐渍化土壤微生物群落的影响	李志超, 李哲, 李嘉晨, 屈忠义, 杨文煊, 李卫平 (3088)
鄱阳湖候鸟栖息地微塑料表面细菌群落结构特征与生态风险预测	俞锦丽, 赵俊凯, 罗思琦, 朱颖婷, 张文慧, 胡启武, 刘淑丽 (3098)
粤闽浙沿海重点城市道路交通节能减排路径	徐艺诺, 翁大维, 王硕, 胡喜生, 王占永, 张园园, 张兰怡 (3107)
电动重卡替代柴油重卡的全生命周期碳减排效益分析	徐圆圆, 龚德鸿, 黄正光, 杨浪 (3119)

不同土地利用方式下土壤有机质分子组成变化的整合分析

黄世威^{1,2}, 赵一锴^{1,2}, 朱馨雨^{1,2}, 刘贺雷^{1,2}, 刘姣姣^{1,2}, 陈稍^{1,2}, 陈佳永^{1,2}, 张阿凤^{1,2*}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100; 2. 农业农村部西北植物营养与农业环境重点实验室, 杨凌 712100)

摘要: 利用生物标志物研究土壤有机质(SOM)分子组成可用于分析有机质的来源及降解, 从分子层面揭示土壤有机碳(SOC)的稳定机制. 为了进一步明确不同土地利用方式对土壤有机质分子组成的影响, 通过对已发表的研究数据进行整合分析, 研究了全球尺度上农田、草地和森林这3种土地利用方式下有机质分子组成(游离脂质、角质、木栓质和木质素)的变化. 结果表明, 不同土地利用方式下有机质分子组成有明显差异, 森林土壤游离态脂类(烷烃、烷酸、烷醇和环脂)、角质和木质素酚含量显著高于草地和农田, 草地和森林土壤的木栓质含量无显著差异, 草地木栓质与角质的比值最高, 平均为2.96, 农田和森林平均分别为1.68和2.21. 农田土壤的丁香基的酸醛比(Ad/Al)_s和香草基的酸醛比(Ad/Al)_v最大, 分别为1.25和1.58, 显著高于草地(0.46和0.69)和森林(0.78和0.7). 且相关性分析结果表明, 农田土壤中, 木栓质与年均降雨量(MAP)和黏粒呈显著相关, 角质与黏粒呈显著相关, 木质素与年均温度(MAT)、MAP、砂粒和容重呈显著相关; 草地土壤中, 总游离脂质与MAP和容重呈显著相关, 木栓质和角质均与MAT和MAP呈显著相关, 木质素与MAP、pH、砂粒和容重呈显著相关; 森林土壤中, 仅木质素与MAP和砂粒呈显著相关. 总体而言, 3种土地利用方式下, 森林土壤中有机碳和各分子组分含量均较高, 草地土壤中植物根系对于土壤有机质的贡献更大, 农田土壤中, 由于人为耕作活动而加速了木质素的降解. 未来研究应进一步关注土壤理化性质和气候条件对于有机质分子组成的调控.

关键词: 土地利用方式; 生物标志物; 土壤有机质分子组成; 脂类; 木质素

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2024)05-2848-11 DOI: 10.13227/j.hjks.202306067

Integrated Analysis of Soil Organic Matter Molecular Composition Changes Under Different Land Uses

HUANG Shi-wei^{1,2}, ZHAO Yi-kai^{1,2}, ZHU Xin-yu^{1,2}, LIU He-lei^{1,2}, LIU Jiao-jiao^{1,2}, CHEN Shao^{1,2}, CHEN Jia-yong^{1,2}, ZHANG A-feng^{1,2*}

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agro-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yangling 712100, China)

Abstract: The application of biomarkers to study the molecular composition of soil organic matter (SOM) can be used to analyze the source and degradation of SOM and reveal the stability mechanism of soil organic carbon (SOC) at the molecular level. In order to further clarify the effects of different land use patterns (farmland, grassland, and forest) on the molecular composition of SOM, the changes in molecular composition of organic matter (free lipids, cutin, suberin, and lignin) on a global scale were studied using a meta-analysis method. The results showed that there were significant differences in the molecular composition of organic matter under different land use patterns. The contents of free lipids (*n*-alkanes, *n*-alkanols, *n*-alkanoic acids, and cyclic lipids), cutin, and lignin phenols in forest soil were significantly higher than those in grassland and farmland. There was no significant difference in the content of suberin between grassland and forest soil. The ratio of suberin to cutin in grassland was the highest, with an average of 2.96, and the averages of farmland and forest were 1.68 and 2.21, respectively. The ratio of syringic acid to syringaldehyde (Ad/Al)_s and the ratio of vanillic acid to vanillin (Ad/Al)_v of farmland soil were the largest, which were 1.25 and 1.58, respectively, and were significantly higher than those in grassland (0.46 and 0.69) and forest (0.78 and 0.7). The results of correlation analysis showed that in farmland soil, suberin was significantly correlated with mean annual precipitation (MAP) and clay; cutin was significantly correlated with clay; and lignin was significantly correlated with mean annual temperature (MAT), MAP, sand, and bulk density. In grassland soil, total free lipids were significantly correlated with MAP and bulk density; suberin and cutin were significantly correlated with MAT and MAP; and lignin was significantly correlated with MAP, pH, sand, and bulk density. However, only lignin was significantly correlated with MAP and sand in forest soils. Overall, the contents of SOC and molecular components in forest soil were higher under the three land use practices, and the contribution of plant roots to SOM in grassland soil was greater. In farmland soil, the degradation of lignin was accelerated due to human farming activities. Future research should focus on the regulation of soil physicochemical properties and climatic conditions on the molecular composition of SOM.

Key words: land uses; biomarkers; soil organic matter molecular composition; lipids; lignin

土壤有机质被认为是土壤中最复杂的成分, 主要由植物和微生物残留物的大分子组成, 包括碳水化合物、蛋白质、脂质和木质素等, 不同组分具有不同程度的分解和稳定性^[1], 因此, 有必要研究土壤有机质的分子组成, 以深入了解土壤碳循环过程. 近些年, 利用生物标志物研究土壤有机质分子组成被认为是了解土壤碳动态的重要手

段^[2,3]. 脂质和木质素酚类等物质被认为在土壤中具有较好的稳定性, 是常用的生物标志物种类, 也是土壤有机质的主要成分^[4,5]. 脂质主要包括植

收稿日期: 2023-06-08; 修订日期: 2023-08-02

基金项目: 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2020JQ-274)

作者简介: 黄世威(1996~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤有机质分子组成, E-mail: hsw050768@nwfau.edu.cn

* 通信作者, E-mail: zhangafeng@nwfau.edu.cn

物蜡质脂类、来自叶片角质层的角质单体和来自树皮和根系的木栓质单体, 木质素是结构复杂且较为稳定的大分子聚合物, 作为维管植物中含量最丰富的成分之一, 是土壤中稳定有机碳的重要来源^[2,4]. 目前, 生物标志物在土壤有机质研究中已被成熟应用, 在揭示土壤有机质来源、降解和转化过程以及在不同管理措施和气候变化下的响应等方面有巨大的应用前景^[3,6,7].

土地利用方式是影响土壤有机质含量及其动态变化的重要因素^[8,9]. 目前, 针对不同土地利用方式下有机质分子组成变化的研究也逐渐成为研究热点, 已有研究表明土地利用方式转变, 有机质分子组成也会发生变化, 并评估了不同土地利用方式下有机质的来源和降解^[7,10,11]. 任荣秀^[12]在黄土高原地区研究表明, 退耕还林提高了总游离脂质含量和木质素含量, 且自然恢复林效果最为显著, 是固碳效果较好的土地利用方式. Pisani 等^[7]研究表明, 与草地和森林相比, 农田土壤中木质素含量降低, 且增加了木质素和角质的降解. 张朋超等^[10]研究也表明, 原始植被更替为种植芭蕉后, 耕作活动加速了有机质的降解, 且降低了游离态脂和氧化铜产物的含量. 不同土地利用方式下有机质分子组成的差异主要可归因于不同植被凋落物的输入和人为管理活动^[7, 11]. 然而, 目前的研究大多是点位研究, 在全球尺度上针对不同土地利用方式(农田、草地和森林)对土壤有机质分子组成的影响还不清楚.

此外, 目前也有研究认为气候变化可能会在分子水平上改变有机质的分子组成和降解, 如变暖会加速森林土壤木质素降解^[13], 增加植物来源蜡质和角质碳的固定^[14], 但也有研究表明增温提高了农业土壤的木质素含量^[15]. 周嘉聪等^[16]研究表明减少降雨显著降低了土壤中游离脂质的含量, 尽管没有影响土壤木质素总量, 却显著降低了木质素的降解程度. 这些结果说明评估环境因子对有机质分子组成的影响对于理解有机质的长期稳定性至关重要, 然而目前还缺乏对不同土地利用方式下环境因子对有机质分子组成影响的认识.

因此, 本研究通过对全球范围内已发表的研究结果进行整合分析, 旨在阐明农田、草地和森林这3种土地利用方式下土壤有机质分子组成(游离脂质、角质、木栓质和木质素)的差异, 并评估环境因子和土壤理化性质对有机质分子组成的影响.

1 材料与方法

1.1 数据收集

通过检索 Web of Science, Elsevier Science Direct

和中国知网等数据库搜集相关文献, 检索词为“生物标志物”“有机质分子组成”“脂质”“角质”“木栓质”“木质素”. 为了避免不同研究之间的偏差, 数据必须满足以下标准才能纳入分析: ①提取脂质的方法为溶剂萃取法, 提取角质和木栓质的方法为碱水解萃取法, 提取木质素的方法为碱性氧化铜氧化法, ②只使用来自农田、草地和森林的数据, 所选的研究必须至少包括脂质、角质、木栓质和木质素其中之一, ③只选择野外采样的研究, 不包括实验室培养研究, ④只选择采样深度为 0 ~ 20 cm 表土的数据, 不包括凋落物, ⑤只选择来自没有处理的对照地块的数据. 此外, 为了评估环境因子(气候条件和土壤性质)与有机质分子组成的相关性, 收集的数据中包括了年均温度(MAT)、年均降雨量(MAP)、土壤有机碳(SOC)、土壤全氮(TN)、土壤碳氮比(C/N, 有机碳/全氮)、pH、容重、黏粒含量、砂粒含量和粉粒含量. 如果数据是以图形表示的, 使用 GetData 软件获取原始数据. 最终共 40 篇论文, 357 条数据被纳入分析, 各研究地点的全球分布如图 1 所示.

1.2 统计分析

采用 Microsoft Excel 2019 和 IBM SPSS Statistics 25 对数据进行处理计算和统计分析, 采用 ArcMap 10.8.1 和 Origin 2021 进行作图. 不同土地利用方式间土壤性质、生物标志物及参数的差异采用 LSD 法进行分析($P < 0.05$). 使用皮尔逊(Pearson)相关性分析检验了环境因子与各生物标志物及参数的关系.

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式下土壤理化性质的差异

不同土地利用方式对 SOC($P < 0.05$)、TN($P < 0.05$)、C/N($P < 0.05$)、pH($P < 0.05$)、容重($P < 0.05$)、砂粒含量($P < 0.05$)和粉粒含量($P < 0.05$)均有显著影响, 对黏粒含量($P = 0.499$)无显著影响. 农田 $\omega(\text{SOC})$ 分布范围为 7 ~ 51 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 草地 $\omega(\text{SOC})$ 为 1.9 ~ 142 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 森林 $\omega(\text{SOC})$ 为 7.14 ~ 231 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 森林土壤 $\omega(\text{SOC})$ 平均值(50.4 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)显著高于草地(25.2 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)和农田(17.21 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) [图 2(a)]. 与 SOC 结果类似, TN 含量和 C/N 均表现为森林土壤显著高于草地和农田土壤, 森林土壤的 TN 和 C/N 平均值分别高于草地 82% 和 34.6%, 分别高于农田 99% 和 60.8% [图 2(b)和 2(d)]. 农田土壤 pH 值分布范围为 4.6 ~ 8.1, 草地为 4.9 ~ 8.66, 森林为 3.84 ~ 7.48, 总体来说, 森林土壤表现为最低, 平均值为 5.13, 农田和草地土壤平均值无显著差异, 分别为 6.96 和 7.3 [图 2(c)]. 农田土壤容重在 0.9 ~ 1.68 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 之间, 草

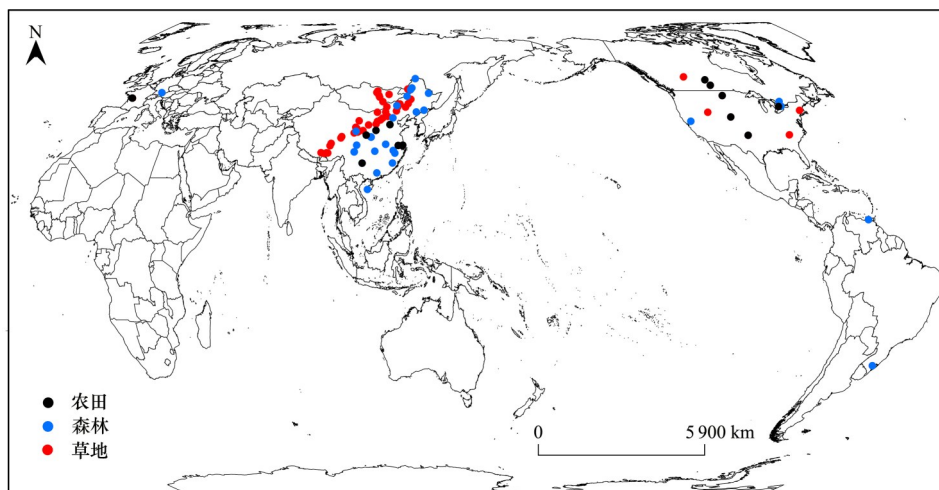
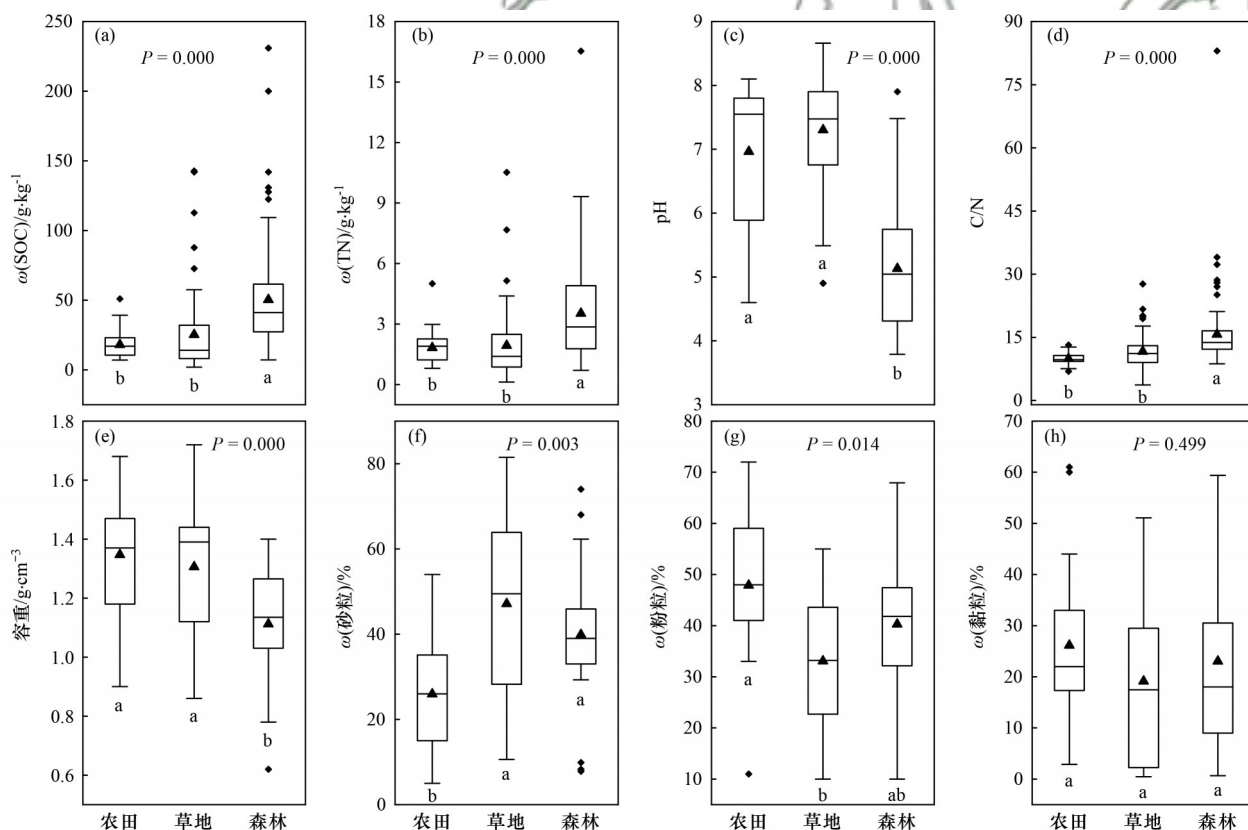


图1 纳入数据库进行整合分析的研究地点的全球分布

Fig. 1 Global distribution of study sites included in the database for meta-analysis

地和森林分别在 $0.86 \sim 1.72 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 和 $0.62 \sim 1.36 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 之间, 农田 ($1.35 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) 和草地 ($1.31 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) 土壤容重平均值显著高于森林 ($1.11 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) [图 2(e)]. 对于土壤质地而言, 砂粒含量表现为: 草地

(47.1%) $\approx$ 森林 (39.9%) $>$ 农田 (26%) [图 2(f)], 粉粒含量表现为: 农田 (47.9%) $\geq$ 森林 (40.3%) $\geq$ 草地 (33.1%) [图 2(g)], 而这 3 种土地利用方式下的黏粒含量无明显差异 [图 2(h)].



不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$), 下同

图2 不同土地利用方式下土壤理化性质的变化

Fig. 2 Changes in soil physical and chemical properties under different land uses

2.2 不同土地利用方式下游离脂类的差异

不同土地利用方式下游离脂类含量及参数的变化如图3所示. 游离脂类主要包括烷烃、烷醇、烷酸、环脂(类固醇和萜类)和碳水化合物. 不同土地利用方

式对烷烃 ($P < 0.05$)、烷醇 ($P < 0.05$)、烷酸 ($P < 0.05$)、环脂 ($P < 0.05$) 和总游离脂质 ($P < 0.05$) 均有显著影响, 对碳水化合物 ($P = 0.214$) 无显著影响. 由图3可知, 游离脂类中, 烷酸含量最为丰富. 农田、草

地和森林土壤的 ω (烷烃)(以土计,下同)分别为0.6~17.12、0.39~22.62和0.45~31.26 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, ω (烷醇)分别为0.5~13、0.26~9.14和2.75~19.22 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, ω (烷酸)分别为2.3~64.75、1.05~115.81和7.39~229.15 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, ω (环脂)分别为1.75~37.91、0.14~50.19和3.31~99.5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, ω (总游离脂质)分别为

10.9~112.57、2.1~161.7和23.98~308 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. 烷烃、烷醇、烷酸、环脂和总游离脂质均表现为森林土壤明显高于农田和草地土壤,而这3种土地利用方式下的碳水化合物含量无明显差异.不同土地利用方式对无环脂与环脂的比值(acyclic/cyclic)和短链烷酸与长链烷酸的比值(RSL)均无显著影响($P > 0.05$).

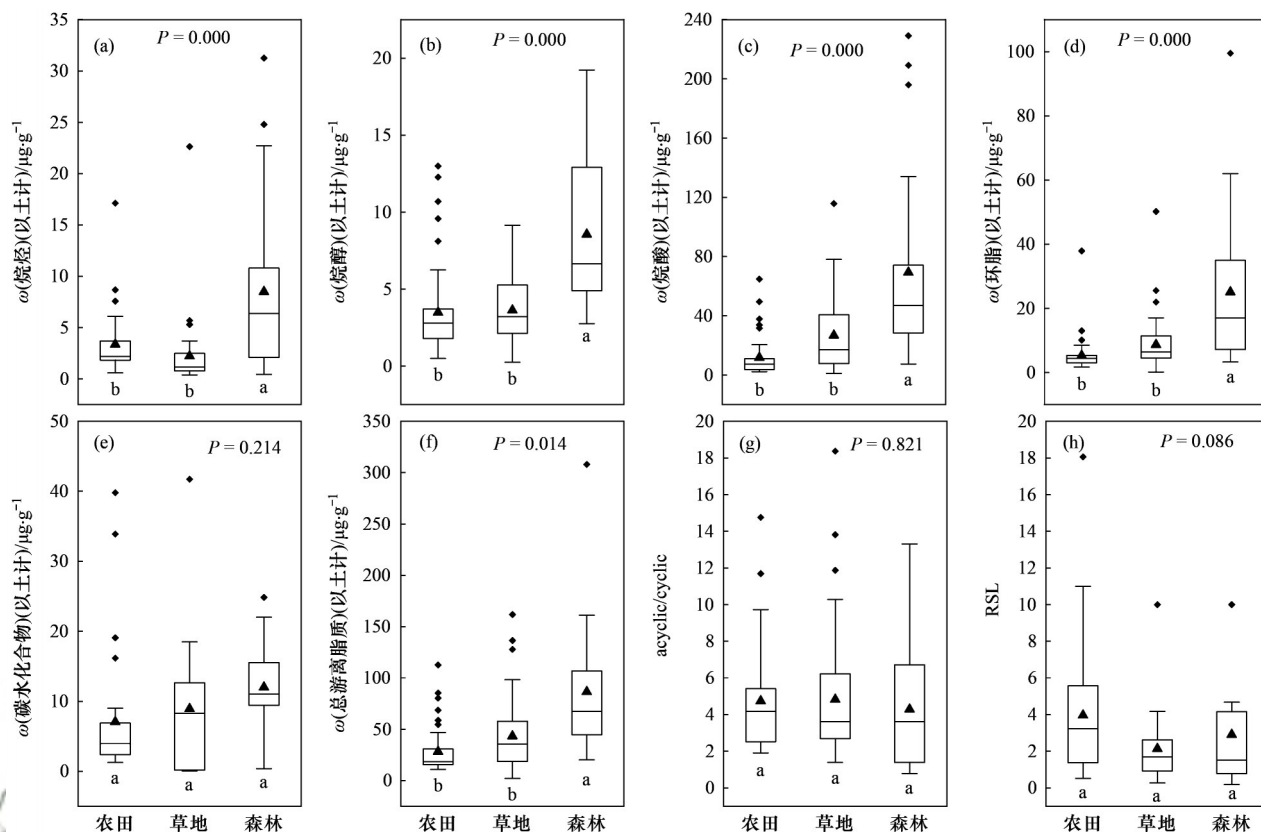


图3 不同土地利用方式下游离脂类含量及参数的变化

Fig. 3 Changes in free lipids contents and parameters under different land uses

2.3 不同土地利用方式下木栓质和角质的差异

不同土地利用方式对木栓质($P < 0.05$)、角质($P < 0.05$)和木栓质/角质($P < 0.05$)均有显著影响. 农田、草地和森林土壤的 ω (木栓质)(以土计,下同)分别为1.33~339.1、6.61~995.3和3.7~1072.46 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 森林(288.46 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)和草地(174.09 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)的 ω (木栓质)平均值均明显高于农田(38.27 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)[图4(a)]. ω (角质)表现为森林(6.79~447.73 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)远高于农田(1.5~90.95 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)和草地(0.19~48.86 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), 森林土壤的角质平均含量分别是农田和草地的9.17和13.27倍[图4(b)]. 木栓质与角质的比值在草地土壤中最大,说明植物根系对于草地土壤有机质的贡献更大[图4(c)].

2.4 不同土地利用方式下木质素酚的差异

不同土地利用方式对香草基($P < 0.05$)、丁香基($P < 0.05$)、肉桂基($P < 0.05$)和总木质素酚($P < 0.05$)含量均有显著影响. 不同土地利用方式下木质

素三大特征单体含量差异如图5(a)~5(c)所示, 香草基和丁香基含量均表现为: 森林>农田~草地, 肉桂基含量表现为: 森林>农田>草地. 农田土壤 ω (总木质素酚)(以土计)为38.74~940.5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 草地土壤为18.6~1381.3 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 森林土壤为1.9~2669.5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 森林土壤平均 ω (总木质素酚)(473.58 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)明显高于农田(245.7 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)和草地(191.1 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)[图5(d)].

不同土地利用方式对肉桂基/香草基(C/V)($P < 0.05$)、丁香基/香草基(S/V)($P < 0.05$)、香草基的酸醛比(Ad/Al)_v($P < 0.05$)和丁香基的酸醛比(Ad/Al)_s($P < 0.05$)均有显著影响,说明不同土地利用方式下木质素来源和降解差异较大. 农田土壤C/V和S/V范围分别为0.16~1.05和0.42~1.75, 草地C/V和S/V分别为0.15~1.45和0.23~1.94, 森林C/V和S/V分别为0.08~1.19和0.1~1.08, 由图6(a)可知, 农田和草地土壤木质素来源主要为被子植物叶和草本植

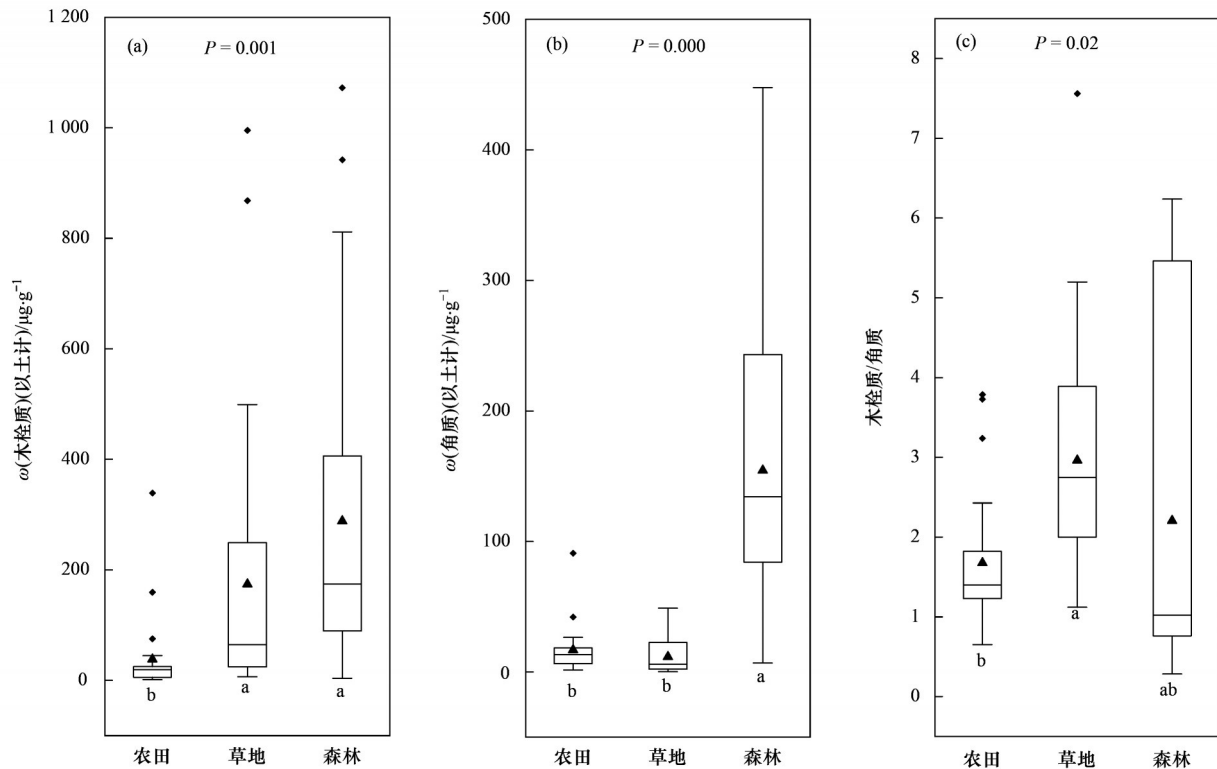


图4 不同土地利用方式下木栓质和角质的变化

Fig. 4 Changes in suberin and cutin under different land uses

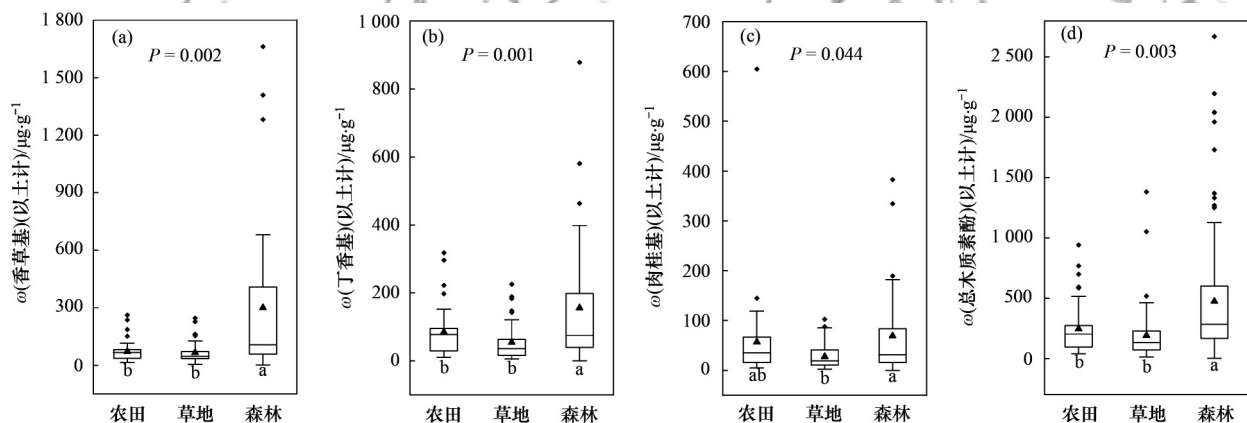


图5 不同土地利用方式下木质素含量的变化

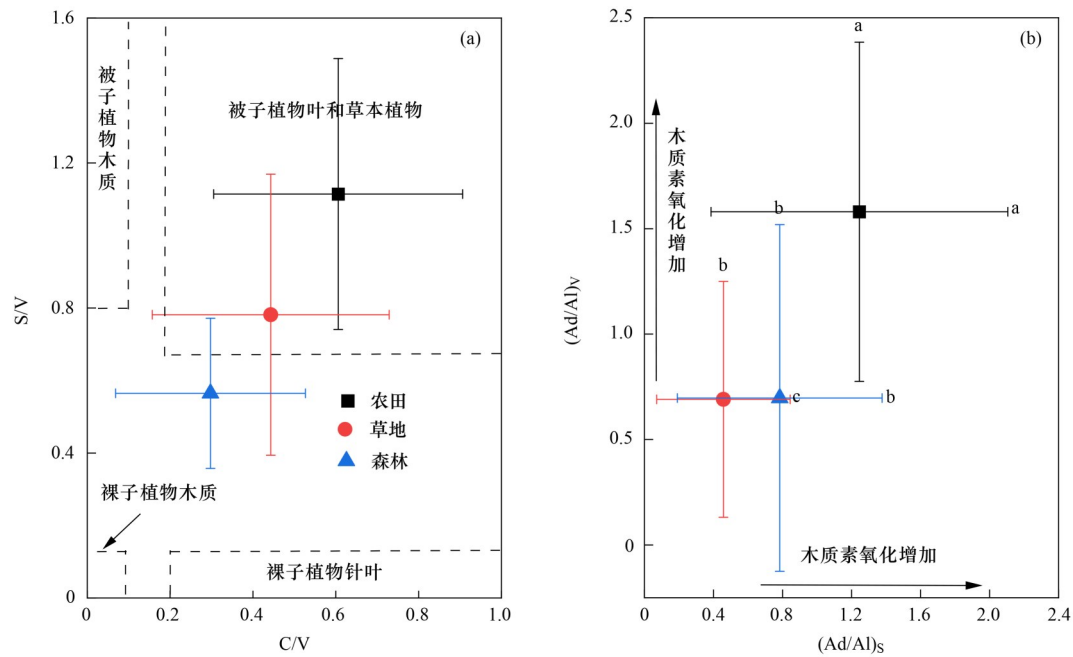
Fig. 5 Changes in lignin contents under different land uses

物, 而森林土壤木质素来源具有多样性. 农田土壤的 $(Ad/Al)_s$ 和 $(Ad/Al)_v$ 均表现为最高, 且与草地和森林均有显著差异[图6(b)], 说明农田中木质素降解程度较高.

2.5 环境因子和有机质分子组成之间的相关性分析

在农田土壤中(表1), RSL和砂粒呈显著的负相关, acyclic/cyclic与MAT和黏粒分别呈正相关和负相关; 木栓质与MAP和黏粒含量分别呈显著的负相关和正相关; 角质与黏粒含量呈显著的正相关; 木质素与MAT、MAP、砂粒和C/N均呈正相关, 与容重呈显著负相关; $(Ad/Al)_s$ 和 $(Ad/Al)_v$ 与MAT呈

显著的负相关关系, 与SOC和TN呈显著的正相关关系. 在草地土壤中(表2), 总游离脂质与MAP、SOC和TN均呈显著的正相关, 而与容重呈负相关; 木栓质和角质与MAT、MAP、SOC和TN均呈显著的正相关; 木质素与MAP、pH、SOC和TN均呈正相关, 与砂粒和容重均呈显著负相关; $(Ad/Al)_s$ 和 $(Ad/Al)_v$ 与砂粒和pH呈显著的负相关关系, 与MAP和黏粒呈显著的正相关关系. 在森林土壤中(表3), 总游离脂质与SOC呈显著的正相关; 木栓质和角质与所有环境因子均无显著的关系; 木质素与MAP、砂粒、SOC、TN和C/N均呈显著的正相关; $(Ad/Al)_s$ 与黏粒呈显著的正相关关系.



(Ad/Al)_s和(Ad/Al)_v分别为丁香基和香草基的酸酐比,其值越高代表木质素的降解程度越高

图 6 不同土地利用方式下木质素来源和降解的变化

Fig. 6 Changes in lignin sources and degradation under different land uses

表 1 农田生态系统中环境因子(气候条件和土壤理化性质)和有机质分子组成之间的相关性分析¹⁾

Table 1 Correlation analysis between environmental factors (climatic variables and soil physicochemical properties) and molecular composition of organic matter in farmland ecosystem

	MAT	MAP	砂粒	黏粒	容重	pH	SOC	TN	C/N	总游离脂质	RSL	acyclic/cyclic	木栓质	角质	木质素	(Ad/Al) _s	(Ad/Al) _v
MAT	1																
MAP	0.404**	1															
砂粒	-0.195	-0.451**	1														
黏粒	-0.010	0.230	-0.552**	1													
容重	-0.436	-0.370	-0.594	0.395	1												
pH	-0.292	-0.424*	0.578**	-0.220	-0.773	1											
SOC	-0.500**	0.224	-0.359*	0.299	-0.738**	-0.217	1										
TN	-0.576**	0.365*	-0.451**	0.347*	-0.587	-0.373	0.979**	1									
C/N	-0.461**	0.087	0.196	-0.106	-0.639*	0.114	0.498**	0.337*	1								
总游离脂质	-0.231	-0.303	-0.092	-0.124	0.066	-0.315	0.059	0.200	0.264	1							
RSL	0.211	0.158	-0.495**	-0.019	0.299	0.077	-0.113	-0.081	-0.213	-0.130	1						
acyclic/cyclic	0.396*	-0.049	-0.112	-0.370*	-0.182	-0.241	-0.062	-0.088	0.177	0.400**	0.098	1					
木栓质	-0.225	-0.504**	-0.049	0.546*	—	-0.179	0.129	0.027	0.313	0.315	-0.301	-0.244	1				
角质	-0.245	-0.167	-0.018	0.502*	—	-0.208	0.100	0.013	0.253	0.315	-0.234	-0.304	0.978**	1			
木质素	0.413**	0.439**	0.452**	0.216	-0.706*	-0.232	0.151	0.138	0.317*	0.568**	0.124	0.363*	-0.045	-0.007	1		
(Ad/Al) _s	-0.455**	0.229	-0.210	0.072	-0.749	0.254	0.453**	0.503**	-0.005	0.171	0.395*	-0.313	-0.256	-0.160	0.002	1	
(Ad/Al) _v	-0.462**	-0.080	-0.056	-0.086	0.708*	0.340	0.289	0.363*	-0.118	-0.210	0.586**	-0.172	-0.208	-0.121	-0.370*	0.819**	1

1)*为 $P < 0.05$, **为 $P < 0.01$; “—”表示空白值(数据较少,无法得出有效结果);MAT:年均温度;MAP:年均降雨量;SOC:土壤有机碳;TN:土壤全氮;C/N:有机碳/全氮;RSL:短链烷酸/长链烷酸;acyclic/cyclic:无环脂质/环脂;(Ad/Al)_s:丁香基的酸酐比;(Ad/Al)_v:香草基的酸酐比;下同

3 讨论

3.1 不同土地利用方式对土壤理化性质的影响

本研究结果表明森林土壤 SOC 和 TN 含量均显著高于草地和农田,这与已有研究的结果一致^[17-19]. SOC 主要来源于向土壤输入的植物凋落物及残体,

且随凋落物数量的增加而增加^[20],此外,自然林地中较多的凋落物覆盖在土壤表面,减少了土壤表层光和热的获取,进而有利于有机质的积累^[21]. 土壤扰动强度也是有机碳含量变化的重要影响因素,耕作活动会破坏土壤团聚体结构,加速有机碳的分解,这也是农田土壤有机碳含量较低的重要原因^[22].

表2 草地生态系统中环境因子(气候条件和土壤理化性质)和有机质分子组成之间的相关性分析

Table 2 Correlation analysis between environmental factors (climatic variables and soil physicochemical properties) and molecular composition of organic matter in grassland ecosystem

	MAT	MAP	砂粒	黏粒	容重	pH	SOC	TN	C/N	总游离 脂质	RSL	acyclic/ cyclic	木栓质	角质	木质素	(Ad/Al) _s	(Ad/Al) _v
MAT	1																
MAP	0.769**	1															
砂粒	-0.213	-0.323*	1														
黏粒	0.522**	0.581**	-0.818**	1													
容重	0.545**	-0.029	0.497**	-0.054	1												
pH	-0.398**	-0.700**	-0.021	-0.447**	0.391*	1											
SOC	-0.002	0.475**	-0.360*	0.305*	-0.737**	-0.365**	1										
TN	-0.034	0.449**	-0.275	0.183	-0.810**	-0.358**	0.966**	1									
C/N	-0.136	0.037	0.157	-0.130	-0.147	-0.228	0.306*	0.161	1								
总游离脂质	-0.051	0.310*	-0.063	-0.004	-0.505**	-0.183	0.569**	0.540**	0.251	1							
RSL	0.475*	0.340	0.038	0.737	—	-0.402	-0.121	-0.171	-0.090	0.128	1						
acyclic/cyclic	-0.080	-0.011	0.304	-0.267	0.223	0.071	-0.157	-0.205	-0.174	-0.126	-0.236	1					
木栓质	0.469*	0.721**	0.596	0.102	—	-0.251	0.815**	0.833**	0.251	0.909**	0.178	-0.001	1				
角质	0.593**	0.833**	0.649	0.048	—	-0.243	0.828**	0.842**	0.255	0.965**	0.039	0.199	0.927**	1			
木质素	-0.126	0.299*	-0.371*	0.174	-0.561**	0.413**	0.537**	0.702**	0.061	0.634**	0.002	-0.089	0.839**	0.734**	1		
(Ad/Al) _s	0.163	0.315*	-0.718**	0.641**	-0.206	-0.352*	0.213	0.273*	-0.135	-0.115	-0.429	-0.307	-0.200	-0.156	0.239	1	
(Ad/Al) _v	0.298*	0.398**	-0.459**	0.609**	0.241	-0.643**	0.065	0.121	-0.154	-0.230	-0.251	-0.308	-0.067	-0.038	0.241	0.858*	1

表3 森林生态系统中环境因子(气候条件和土壤理化性质)和有机质分子组成之间的相关性分析

Table 3 Correlation analysis between environmental factors (climatic variables and soil physicochemical properties) and molecular composition of organic matter in forest ecosystem

	MAT	MAP	砂粒	黏粒	容重	pH	SOC	TN	C/N	总游离 脂质	RSL	acyclic/ cyclic	木栓质	角质	木质素	(Ad/Al) _s	(Ad/Al) _v
MAT	1																
MAP	0.751**	1															
砂粒	0.247	0.325*	1														
黏粒	0.372*	0.069	-0.609**	1													
容重	0.432	0.509*	-0.195	-0.327	1												
pH	-0.474**	-0.578**	-0.350*	0.263	-0.280	1											
SOC	-0.281**	-0.021	-0.096	0.078	-0.495*	0.139	1										
TN	-0.257*	-0.043	0.385	-0.318	-0.273	0.093	0.858**	1									
C/N	-0.002	0.194	-0.122	-0.109	-0.186	0.055	0.377**	-0.075	1								
总游离脂质	-0.080	0.080	0.588	-0.184	-0.163	-0.237	0.585**	0.253	0.374	1							
RSL	0.131	-0.086	-0.294	0.367	0.432	-0.099	-0.359	-0.221	-0.171	-0.460	1						
acyclic/cyclic	-0.402	-0.272	-0.215	-0.418	0.371	-0.200	-0.338	-0.082	-0.303	-0.065	0.403	1					
木栓质	-0.224	-0.294	0.359	-0.459	-0.030	0.058	-0.134	-0.248	-0.013	-0.049	-0.091	0.147	1				
角质	-0.194	-0.115	0.042	0.258	-0.103	-0.114	0.178	0.041	0.181	-0.082	-0.014	0.061	0.862**	1			
木质素	-0.027	0.255**	0.318*	-0.133	-0.071	-0.063	0.422**	0.317**	0.606**	0.941**	-0.479	-0.141	0.090	0.169	1		
(Ad/Al) _s	-0.050	0.085	-0.100	0.537*	-0.092	-0.064	0.218	0.119	0.186	0.573*	-0.513	0.054	-0.128	-0.056	0.357**	1	
(Ad/Al) _v	0.049	0.092	0.072	0.137	-0.162	-0.023	0.062	0.039	0.101	0.406	-0.283	0.075	-0.107	-0.048	0.222*	0.901**	1

草地生态系统植物根系较为发达,大部分碳分配于地下,地表凋落物相对较少,而笔者只收集了0~20 cm的数据,因此可能导致草地有机碳含量较低^[23].影响有机碳含量的因素也均会对土壤TN产生影响,本研究结果表明不同土地利用方式下有机碳均与全氮呈显著相关,这与人研究的结果一致^[24].土壤pH在3种土地利用方式下存在显著差异,一方面森林中丰富的底物为微生物活动提供充足的能

量,使一部分有机碳转化为有机酸和无机酸,使得森林土壤pH值较低^[25],另一方面森林冠层能够通过截留作用减少雨滴的撞击,从而增强雨水向土壤的入渗,导致更多的碱基淋湿,降低土壤pH^[26].本研究结果表明森林土壤容重明显低于草地和农田,这与Tesfaye等^[17]研究的结果一致,在表层土壤,天然林地容重明显低于农田和草地土壤,这是由于森林表层土壤有机质含量较高,降低了土壤容重^[27],

相关性分析也表明有机碳与容重呈负相关(表3). 滕慧颖等^[28]研究表明不同土地利用间土壤黏粒含量无明显差异, 而草地的粉粒含量较低, 砂粒含量较高, 这与本研究的结果一致. 且本研究相关性分析表明黏粒含量与有机碳和全氮呈正相关, 砂粒含量与有机碳和全氮呈负相关. 前人的研究结果表明土壤中一部分有机碳通过化学吸附而被固定在黏粒矿物表面, 较多的粉黏粒也会使得有机碳被微团聚体物理保护, 因此往往粉黏粒含量越多的土壤有机碳含量也越高^[29,30].

3.2 不同土地利用方式对土壤有机质分子组成的影响

不同土地利用方式下有机质分子组成有明显差异, 前人的研究也表明在不同的土地利用方式下, 游离态脂和木质素发生了显著变化^[7,11]. 植被类型对土壤有机质的组成有很大影响^[6], 一方面不同植被凋落物的化学组成不同, 森林以木本植物为主, 相比于草原和农田的非木本植物, 木本植物含有更多的木质素和木栓质等难降解成分, 这些具有化学顽固性的组分会直接促进有机碳的积累^[31], 另一方面不同植被类型地上地下碳的分配有所不同, 由于草本植物的根系较为发达, 草地土壤有相对较高的地下碳分配^[32], 从而导致不同植被下有机质的化学组成有所不同^[7,33]. 本研究表明森林土壤的烷烃、烷酸、烷醇、环脂、碳水化合物和总游离脂质的含量均表现为最高, 任荣秀^[12]的研究结果与本研究类似, 即自然林地提高了游离态脂类的含量. 这主要是由于森林土壤中更多植被凋落物的输入, 游离态脂类主要来源于植物源蜡质^[2], 此外, 自然植被生长下人为扰动较小, 团聚体也提供了较好的物理保护. Pisani 等^[7]研究也认为相比于耕作的土壤, 未被扰动的土壤中植物源有机质贡献更大. 而草地土壤与农田的游离态脂质含量没有差异, 这可能与植被地上和地下碳的分配有关, 草本植物的根系较为发达, 而地上凋落物的输入量较小, 本研究碱水解脂质的结果也说明了这点, 草地土壤的角质含量与农田差异不明显, 而木栓质的含量显著高于农田, 说明草地土壤中更多的有机质来源于植物根系的贡献, 因为角质主要存在于植物叶片的角质层, 而木栓质主要存在于植物根系中^[34,35]. 本研究表明森林土壤的木质素酚特征单体和总量均高于草地和农田, 这可以归因于木本植物凋落物含有更多的木质素, 直接补充了森林土壤木质素的含量^[31,33]. Thevenot 等^[36]研究表明, 耕地土壤的木质素含量高于草原土壤和森林土壤, 这与本研究的结果相反, 这可能是由于世界范围内气候或土壤性质之间的巨大反差会

造成有机质来源和分解条件产生差异.

3.3 不同土地利用方式对土壤有机质来源和降解的影响

代表游离脂质降解和来源的指标 *acyclic/cyclic* 和 *RSL* 未发现在 3 种土地利用方式下存在差异, 说明 3 种土地利用方式下脂质的降解无显著差异. 木栓质与角质的比值可以指示植物地上部和地下部对土壤有机质的贡献, 本研究表明草地土壤中根源有机质的贡献最大, 其次是森林, 农田土壤最低, 这说明农田土壤中有机质更多的来源于地上部物质的输入, 草地因其发达的根系而导致更多的根源有机质输入土壤^[11]. 木质素不同的特征单体在不同植物类型(如木本植物、草本植物和裸子植物)中有不同的分布特征^[37]. 因此, 丁香基与香草基比值(*S/V*)和肉桂基与香草基比值(*C/V*)常被用作判断来源于不同植物类型的难分解大分子对土壤碳库的贡献^[37]. 如图 6(a)所示, 农田和草地土壤主要来源于被子植物叶和草本植物, 呼应其植被类型, 而森林土壤木质素来源较为复杂, 具有一定的多样性. 农田土壤的 (*Ad/Al*)_s 和 (*Ad/Al*)_v 均表现为最高, 且与草地和森林均有显著差异, 说明农田中木质素降解程度较高. 其他研究也报道了类似的结果, Xia 等^[38]研究表明表层土壤中农田的 (*Ad/Al*)_s 高于林地; Pisani 等^[7]研究也发现从原生草地和森林转化为耕地土壤会导致土壤中香草基和丁香基的氧化增强. 因此, 受干扰较少的生态系统可能有利于木质素的积累, 这是由于大团聚体周转率较低, 有利于 SOM 的保护^[39]. 而在两种干扰较少的森林和草地生态系统, 森林土壤的 (*Ad/Al*)_s 显著高于草地土壤, 这可能是由于通常森林土壤微生物群落为真菌主导, 真菌是木质素的主要分解者, 且森林土壤较低的 pH 有利于真菌的活动, 所以木质素氧化程度通常较高^[36].

3.4 环境因子对土壤有机质分子组成的影响

目前已有研究表明, 有机质分子组成的变化不仅与植被类型和土地利用方式有关, 也与气候变化和土壤性质等环境因子有关^[7,35]. 本研究结果也表明不同土地利用方式下, 有机质分子组成受气候变化和土壤性质的影响. 首先对于游离脂来说, 相关性分析结果表明草地土壤中, *MAP* 与总游离脂质含量呈正相关, 这可能是由于在降雨量较高的条件下, 为植物生长提供了充足的水分, 更多的植物凋落物输入土壤, 木栓质和角质也与 *MAP* 呈正相关关系, 也说明了这一点^[40]. 此外, 3 种土地利用方式下, 黏粒含量越高, *acyclic/cyclic* 均越小, 在农田中表现最为明显, 这主要是由于环状脂质能更好地吸附在矿物质表面从而受到矿物质的保护^[41], 凸显了农田土

壤中矿物质对游离脂质保护的重要性.然而,由于目前针对于游离脂质的降解指标(ACL,平均链长度)研究较少,本研究未能评估游离脂质的降解.此外,角质和木栓质除了受MAP的影响,农田土壤中角质和木栓质均与黏粒含量呈正相关,草地土壤中均与MAT呈正相关.而在森林土壤中,角质和木栓质含量均不受环境因子的调控,这说明森林土壤中角质和木栓质主要受植被凋落物和根系输入的影响.

本研究结果表明,农田中木质素含量与MAT呈显著的正相关, $(Ad/Al)_s$ 和 $(Ad/Al)_v$ 与MAT呈显著的负相关,而在草地和森林系统中不存在这种关系.这与一项在中国北方农田生态系统中进行了9 a的增温试验的结果一致,即增温提高了木质素酚的含量^[15],尽管一些草地和森林的研究中木质素含量在增温下无明显变化或降低^[7,42],这可能因为与森林和草地生态系统相比,农田土壤不是木质素主要分解者(白腐菌)的有利栖息地^[36].Amelung等^[43]研究也表明木质素的氧化程度随MAT的增加而降低,可能是由于在温度较高的条件下缺乏微生物降解木质素所需的额外碳源.在3种土地利用方式下,木质素含量均与MAP和砂粒含量呈显著的正相关,说明随着降雨量和砂粒含量的增加,木质素含量提高.这与Thevenot等^[36]研究的结果一致,该研究表明MAP越高,木质素含量越大,且随着土壤颗粒由细到粗,木质素含量显著提高.此外,相关性分析表明,与农田和森林土壤不同的是,草地土壤中pH也是影响木质素的主要因素,pH值越高,草地土壤木质素含量越高,且木质素氧化程度越低.这可能与本研究中草地土壤的pH值较高有关,已有研究报道土壤pH对木质素有积极影响,因为在碱性土壤中,真菌的丰度和活性随pH的升高而降低,从而抑制了木质素的降解^[36,44].在农田和草地中,容重也是影响木质素的因素,随着容重的增加,木质素含量降低,这可能是由于相比于森林,农田和草地下较少的植被残留物输入土壤.以上这些结果说明木质素在土壤中的降解和周转不仅受自身化学结构的控制,还受气候条件和土壤理化性质等环境因子的影响^[38],如MAT、MAP、土壤质地和pH等,最近的研究也表明事实上木质素的周转速率可能更快^[45].

4 结论

(1)不同土地利用方式下有机碳含量和有机质分子组成有明显差异,森林土壤有机碳、游离态脂类(烷烃、烷酸、烷醇和环脂)、角质和木质素含量显著高于草地和农田,而木栓质在草地和森林中无明显差异.

(2)不同土地利用方式下有机质的来源和降解不同,草地土壤中植物根系对于土壤有机质的贡献更大;农田和草地土壤木质素主要来源于被子植物叶和草本植物,而森林土壤木质素来源较为复杂,具有一定的多样性;与草地和森林相比,人为耕作活动加速了木质素的降解.

(3)环境因子对土壤有机质分子组成的影响因不同土地利用方式而异,农田土壤中,木栓质和角质主要受黏粒含量影响,木质素主要受MAT、MAP、砂粒和容重的影响;草地土壤中,总游离脂质主要受MAP和容重影响,角质和木栓质主要受MAT和MAP影响,木质素主要受MAP、砂粒、容重和pH的影响;森林土壤中,总游离脂质、角质和木栓质不受环境因子的调控,木质素主要受MAP和砂粒的影响.本研究通过整合分析评估农田、森林和草地生态系统土壤有机质分子组成的差异,为调控不同生态系统有机质积累与缓解全球气候变化提供理论基础.

参考文献:

- [1] Whalen E D, Grandy A S, Sokol N W, *et al.* Clarifying the evidence for microbial- and plant-derived soil organic matter, and the path toward a more quantitative understanding [J]. *Global Change Biology*, 2022, **28**(24): 7167-7185.
- [2] 冯晓娟,王依云,刘婷,等.生物标志物及其在生态系统研究中的应用[J].植物生态学报,2020, **44**(4): 384-394.
Feng X J, Wang Y Y, Liu T, *et al.* Biomarkers and their applications in ecosystem research [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2020, **44**(4): 384-394.
- [3] Gao Q Q, Ma L X, Fang Y Y, *et al.* Conservation tillage for 17 years alters the molecular composition of organic matter in soil profile[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, **762**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143116.
- [4] Kögel-Knabner I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, **34**(2): 139-162.
- [5] 万晓华,黄志群.植物标志物在森林土壤碳循环研究中的应用[J].土壤学报,2013, **50**(6): 1207-1215.
Wan X H, Huang Z Q. Application of plant biomarkers to studying carbon cycling in forest soil systems [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2013, **50**(6): 1207-1215.
- [6] Angst G, Mueller K E, Nierop K G J, *et al.* Plant- or microbial-derived? A review on the molecular composition of stabilized soil organic matter[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2021, **156**, doi: 10.1016/j.soilbio.2021.108189.
- [7] Pisani O, Haddix M L, Conant R T, *et al.* Molecular composition of soil organic matter with land-use change along a bi-continental mean annual temperature gradient [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **573**: 470-480.
- [8] 张彬,陈奇,丁雪丽,等.微生物残体在土壤中的积累转化过程与稳定机理研究进展[J].土壤学报,2022, **59**(6): 1479-1491.
Zhang B, Chen Q, Ding X L, *et al.* Research progress on accumulation, turnover and stabilization of microbial residues in soil [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2022, **59**(6): 1479-1491.

- [9] Ramesh T, Bolan N S, Kirkham M B, *et al.* Soil organic carbon dynamics: Impact of land use changes and management practices: A review[J]. *Advance in Agronomy*, 2019, **156**: 1-107.
- [10] 张朋超, 李芳芳, 常兆峰, 等. 利用分子生物标志物法揭示种植芭蕉的农业土壤中有有机质的来源与降解[J]. *土壤通报*, 2018, **49**(2): 349-354.
- Zhang P C, Li F F, Chang Z F, *et al.* Organic matter source and degradation as revealed by molecular biomarkers in agricultural soils of plantain cropping[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2018, **49**(2): 349-354.
- [11] 刘纯, 赵正, 刘晓雨, 等. 乡村小流域不同土壤景观表土有机质团聚体分布与分子组成变化[J]. *植物营养与肥料学报*, 2022, **28**(5): 798-811.
- Liu C, Zhao Z, Liu X Y, *et al.* Changes in aggregate distribution and molecular composition of organic matter of topsoil across soil landscapes within a small watershed in a rural area[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2022, **28**(5): 798-811.
- [12] 任荣秀. 黄土高原几种典型土地利用方式下土壤团聚性及其有机质分子组成研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2020.
- Ren R X. Soil aggregation and molecular composition of organic matter under several land uses in the Loess Plateau of China[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2020.
- [13] Feng X J, Simpson A J, Wilson K P, *et al.* Increased cuticular carbon sequestration and lignin oxidation in response to soil warming[J]. *Nature Geoscience*, 2008, **1**(12): 836-839.
- [14] Pisani O, Hills K M, Courtier-Murias D, *et al.* Accumulation of aliphatic compounds in soil with increasing mean annual temperature[J]. *Organic Geochemistry*, 2014, **76**: 118-127.
- [15] Ma L X, Ju Z Q, Fang Y Y, *et al.* Soil warming and nitrogen addition facilitates lignin and microbial residues accrual in temperate agroecosystems[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2022, **170**, doi: 10.1016/j.soilbio.2022.108693.
- [16] 周嘉聪, 刘小飞, 纪宇骅, 等. 减少降雨对杉木幼林土壤有机质组分及稳定性的影响[J]. *应用生态学报*, 2018, **29**(7): 2203-2210.
- Zhou J C, Liu X F, Ji Y H, *et al.* Effects of precipitation reduction on the composition and stability of soil organic matter in a young *Cunninghamia lanceolata* plantation[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, **29**(7): 2203-2210.
- [17] Tesfaye M A, Bravo F, Ruiz-Peinado R, *et al.* Impact of changes in land use, species and elevation on soil organic carbon and total nitrogen in Ethiopian Central Highlands[J]. *Geoderma*, 2016, **261**: 70-79.
- [18] 李珊, 杨越超, 姚媛媛, 等. 不同土地利用方式对山东滨海盐碱土理化性质的影响[J]. *土壤学报*, 2022, **59**(4): 1012-1024.
- Li S, Yang C Y, Yao Y Y, *et al.* Effects of different land-use types on physical and chemical properties of coastal saline-alkali soils in Shandong Province[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2022, **59**(4): 1012-1024.
- [19] 竹兰萍, 徐飞, 王佳颖, 等. 嘉陵江滨岸带不同土地利用类型土壤真菌群落结构与功能多样性[J]. *环境科学*, 2022, **43**(12): 5808-5818.
- Zhu L P, Xu F, Wang J Y, *et al.* Soil fungal community structure and function diversity of different land use types in the waterfront area along the Jialing River[J]. *Environmental Science*, 2022, **43**(12): 5808-5818.
- [20] Zhao Q Z, Shi P, Li P, *et al.* Effects of vegetation restoration on soil organic carbon in the Loess Plateau: A meta-analysis[J]. *Land Degradation & Development*, 2023, **34**(7): 2088-2097.
- [21] 王莉, 张强, 牛西午, 等. 黄土高原丘陵区不同土地利用方式对土壤理化性质的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2007, **15**(4): 53-56.
- Wang L, Zhang Q, Niu X W, *et al.* Effects of different land-uses on soil physical and chemical properties in the Loess Plateau of Shanxi Province[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, **15**(4): 53-56.
- [22] Zhao Z H, Gao S F, Lu C Y, *et al.* Effects of different tillage and fertilization management practices on soil organic carbon and aggregates under the rice - wheat rotation system[J]. *Soil and Tillage Research*, 2021, **212**, doi: 10.1016/j.still.2021.105071.
- [23] 周广胜, 周梦子, 周莉, 等. 中国陆地生态系统增汇潜力研究展望[J]. *科学通报*, 2022, **67**(31): 3625-3632.
- Zhou G S, Zhou M Z, Zhou L, *et al.* Advances in the carbon sink potential of terrestrial ecosystems in China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2022, **67**(31): 3625-3632.
- [24] Gao G Y, Tuo D, Han X Y, *et al.* Effects of land-use patterns on soil carbon and nitrogen variations along revegetated hillslopes in the Chinese Loess Plateau[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **746**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141156.
- [25] 刘振杰. 不同秸秆来源生物质炭与耕作措施对土壤碳的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
- Liu Z J. The effects of different straw-derived biochars and tillage measures on soil carbon[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2021.
- [26] Khresat S, Al-Bakri J, Al-Tahhan R. Impacts of land use/cover change on soil properties in the Mediterranean region of northwestern Jordan[J]. *Land Degradation & Development*, 2008, **19**(4): 397-407.
- [27] Deng L, Kim D G, Li M Y, *et al.* Land-use changes driven by 'Grain for Green' program reduced carbon loss induced by soil erosion on the Loess Plateau of China[J]. *Global and Planetary Change*, 2019, **177**: 101-115.
- [28] 滕慧颖, 耿艳楼, 张恒硕, 等. 冀北土石山区不同土地利用类型土壤质量评价[J]. *应用生态学报*, 2022, **33**(11): 3046-3054.
- Teng H Y, Geng Y L, Zhang H S, *et al.* Assessment of soil quality under different land use types in the rocky mountain area of northern Hebei Province, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2022, **33**(11): 3046-3054.
- [29] 贾御夫. 利用放射性碳同位素和生物标志物技术研究温度对土壤有机碳动态的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- Jia Y F. Studying the effect of temperature on soil organic carbon dynamics using radioactive carbon isotope and biomarkers[D]. Beijing: China Agricultural University, 2017.
- [30] Six J, Elliott E T, Paustian K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, **32**(14): 2099-2103.
- [31] Moingt M, Lucotte M, Paquet S. Lignin biomarkers signatures of common plants and soils of Eastern Canada[J]. *Biogeochemistry*, 2016, **129**(1-2): 133-148.
- [32] Villarino S H, Pinto P, Jackson R B, *et al.* Plant rhizodeposition: a key factor for soil organic matter formation in stable fractions[J]. *Science Advances*, 2021, **7**(16), doi: 10.1126/sciadv.abd3176.
- [33] Dai G H, Zhu S S, Cai Y, *et al.* Plant-derived lipids play a crucial role in forest soil carbon accumulation[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2022, **168**, doi: 10.1016/j.soilbio.2022.108645.
- [34] Otto A, Simpson M J. Sources and composition of hydrolysable aliphatic lipids and phenols in soils from western Canada[J].

- Organic Geochemistry, 2006, **37**(4): 385-407.
- [35] Ma T, Dai G H, Zhu S S, *et al.* Vertical variations in plant- and microbial-derived carbon components in grassland soils [J]. Plant and Soil, 2020, **446**(1-2): 441-455.
- [36] Thevenot M, Dignac M F, Rumpel C. Fate of lignins in soils: a review [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2010, **42**(8): 1200-1211.
- [37] Otto A, Simpson M J. Evaluation of CuO oxidation parameters for determining the source and stage of lignin degradation in soil [J]. Biogeochemistry, 2006, **80**(2): 121-142.
- [38] Xia S P, Song Z L, Wang Y D, *et al.* Soil organic matter turnover depending on land use change: Coupling C/N ratios, $\delta^{13}\text{C}$, and lignin biomarkers [J]. Land Degradation & Development, 2021, **32**(4): 1591-1605.
- [39] Six J, Conant R T, Paul E A, *et al.* Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils [J]. Plant and Soil, 2002, **241**(2): 155-176.
- [40] Dai G H, Ma T, Zhu S S, *et al.* Large-scale distribution of molecular components in Chinese grassland soils: The influence of input and decomposition processes [J]. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 2018, **123**(1): 239-255.
- [41] Otto A, Simpson M J. Degradation and preservation of vascular plant-derived biomarkers in grassland and forest Soils from Western Canada [J]. Biogeochemistry, 2005, **74**(3): 377-409.
- [42] 周嘉聪. 增温和氮沉降对杉木人工林土壤有机质分子水平上的影响 [D]. 福州: 福建师范大学, 2017.
- Zhou J C. The effects of warming and N deposition on SOM in *Chinese fir* plantation at molecular level [D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2017.
- [43] Amelung W, Flach K W, Zech W. Lignin in particle-size fractions of native grassland soils as influenced by climate [J]. Soil Science Society of America Journal, 1999, **63**(5): 1222-1228.
- [44] Zhu S S, Dai G H, Ma T, *et al.* Distribution of lignin phenols in comparison with plant-derived lipids in the alpine versus temperate grassland soils [J]. Plant and Soil, 2019, **439**(1-2): 325-338.
- [45] Jia J, Liu Z G, Haghipour N, *et al.* Molecular ^{14}C evidence for contrasting turnover and temperature sensitivity of soil organic matter components [J]. Ecology Letters, 2023, **26**(5): 778-788.



CONTENTS

Spatial Distribution Characteristics of PM _{2.5} and O ₃ in Beijing-Tianjin-Hebei Region Based on Time Series Decomposition	YAO Qing, DING Jing, YANG Xu, <i>et al.</i>	(2487)
Ozone Sensitivity Analysis in Urban Beijing Based on Random Forest	ZHOU Hong, WANG Ming, CHAI Wen-xuan, <i>et al.</i>	(2497)
Prediction of Ozone Pollution in Sichuan Basin Based on Random Forest Model	YANG Xiao-tong, KANG Ping, WANG An-yi, <i>et al.</i>	(2507)
Establishment and Effective Evaluation of Haikou Ozone Concentration Statistical Prediction Model	FU Chuan-bo, LIN Jian-xing, TANG Jia-xiang, <i>et al.</i>	(2516)
Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Ozone Concentration and Health Benefit Assessment in the Beijing-Tianjin-Hebei Region from 2015 to 2020	GAO Ran, LI Qin, CHE Fei, <i>et al.</i>	(2525)
Water-soluble Inorganic Ion Content of PM _{2.5} and Its Change Characteristics in Urban Area of Beijing in 2022	CHEN Yuan-yuan, CUI Di, ZHAO Ze-xi, <i>et al.</i>	(2537)
Pollution Characteristics, Source, and Health Risk Assessment of Metal Elements in PM _{2.5} Between Winter and Spring in Zhengzhou	TAO Jie, YAN Hui-jiao, XU Yi-fei, <i>et al.</i>	(2548)
Characteristics, Sources Apportionment, and Health Risks of PM _{2.5} -bound PAHs and Their Derivatives Before and After Heating in Zibo City	SUN Gang-li, WU Li-ping, XU Bo, <i>et al.</i>	(2558)
Components Characteristic and Source Apportionment of Fine Particulate Matter in Transition Period of Heating Season in Xi'an with High Time Resolution	LI Meng-jin, ZHANG Yong, ZHANG Qian, <i>et al.</i>	(2571)
Source and Cause Analysis of High Concentration of Inorganic Aerosol During Two Typical Pollution Processes in Winter over Tianjin	LU Miao-miao, HAN Su-qin, LIU Ke-xin, <i>et al.</i>	(2581)
Spatial-temporal Variation and Spatial Differentiation Geographic Detection of PM _{2.5} Concentration in the Shandong Province Based on Spatial Scale Effect	XU Yong, WEI Meng-xin, ZOU Bin, <i>et al.</i>	(2596)
Characteristics of VOCs Emissions and Ozone Formation Potential for Typical Chemicals Industry Sources in China	WU Ting, CUI Huan-wen, XIAO Xian-de, <i>et al.</i>	(2613)
Formation Potential of Secondary Organic Aerosols and Sources of Volatile Organic Compounds During an Air Pollution Episode in Autumn, Langfang	ZHANG Jing-qiao, LIU Zheng, DING Wen-wen, <i>et al.</i>	(2622)
Scale Effects of Landscape Pattern on Impacts of River Water Quality: A Meta-analysis	WANG Yu-cang, DU Jing-jing, ZHANG Yu, <i>et al.</i>	(2631)
Spectral Characteristics and Sources of Dissolved Organic Matter in Inflow Rivers of Baiyangdian Lake Water in Summer Flood Season	MENG Jia-jing, DOU Hong, CHEN Zhe, <i>et al.</i>	(2640)
Analysis on Hydrochemical Evolution of Shallow Groundwater East of Yongding River in Fengtai District, Beijing	HU Yu-xin, ZHOU Rui-jing, SONG Wei, <i>et al.</i>	(2651)
Hydrochemical Characteristics, Controlling Factors and Water Quality Evaluation of Shallow Groundwater in Tan-Lu Fault Zone (Anhui Section)	LIU Hai, WEI Wei, SONG Yang, <i>et al.</i>	(2665)
Effects of Pesticides Use on Pesticides Residues and Its Environmental Risk Assessment in Xingkai Lake (China)	WANG Wei-qing, XU Xiong, LIU Quan-zhen, <i>et al.</i>	(2678)
Characteristics of Microorganisms and Antibiotic Resistance Genes of the Riparian Soil in the Lanzhou Section of the Yellow River	WEI Cheng-chen, WEI Feng-yi, XIA Hui, <i>et al.</i>	(2686)
Analysis of the Spatiotemporal Distribution of Algal Blooms and Its Driving Factors in Chaohu Lake Based on Multi-source Datasets	JIN Xiao-long, DENG Xue-liang, DAI Rui, <i>et al.</i>	(2694)
Characteristics of Epiphytic Bacterial Community on Submerged Macrophytes in Water Environment Supplemented with Reclaimed Water	HE Yun, LI Xue-mei, LI Hong-quan, <i>et al.</i>	(2707)
Effects of Water Level Fluctuations and Vegetation Restoration on Soil Prokaryotic Microbial Community Structure in the Riparian Zone of the Three Gorges Reservoir	MEI Yu, HUANG Ping, WANG Peng, <i>et al.</i>	(2715)
Bacterial Community Structure of Typical Lake Sediments in Yinchuan City and Its Response to Heavy Metals	MENG Jun-jie, LIU Shuang-yu, QIU Xiao-cong, <i>et al.</i>	(2727)
Effect of Thermal Hydrolysis Pretreatment Time on Microbial Community Structure in Sludge Anaerobic Digestion System	ZHANG Han, ZHANG Han, WANG Jia-wei, <i>et al.</i>	(2741)
Source Apportionment of Morphine in Wastewater	SHAO Xue-ting, ZHAO Yue-tong, JIANG Bing, <i>et al.</i>	(2748)
Ecological Environment Dynamical Evaluation of Hutuo River Basin Using Remote Sensing	LI Yan-cui, YUAN Jin-guo, LIU Bo-han, <i>et al.</i>	(2757)
Spatiotemporal Evolution and Influencing Factors of Ecosystem Service Value in the Yellow River Basin	WANG Yi-qi, SUN Xue-ying	(2767)
Ecosystem Service Trade-off Synergy Strength and Spatial Pattern Optimization Based on Bayesian Network: A Case Study of the Fenhe River Basin	CAI Jin, WEI Xiao-jian, JIANG Ping, <i>et al.</i>	(2780)
Spatial-temporal Evolution and Quantitative Attribution of Habitat Quality in Typical Karst Counties of Guizhou Plateau	LI Yue, FENG Xia, WU Lu-hua, <i>et al.</i>	(2793)
Spatio-temporal Variation in NEP in Ecological Zoning on the Loess Plateau and Its Driving Factors from 2000 to 2021	ZHOU Yi-ting, YAN Jun-xia, LIU Ju, <i>et al.</i>	(2806)
Land Change Simulation and Grassland Carbon Storage in the Loess Plateau Based on SSP-RCP Scenarios	CUI Xie, DONG Yan, ZHANG Lu-yin, <i>et al.</i>	(2817)
Multi-scenario Simulation of Construction Land Expansion and Its Impact on Ecosystem Carbon Storage in Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration	WU Ai-bin, CHEN Fu-guo, ZHAO Yan-xia, <i>et al.</i>	(2828)
Effects of Land Use Change on Soil Aggregate Stability and Soil Aggregate Organic Carbon in Karst Area of Southwest China	JIANG Ke, JIA Ya-nan, YANG Yan, <i>et al.</i>	(2840)
Integrated Analysis of Soil Organic Matter Molecular Composition Changes Under Different Land Uses	HUANG Shi-wei, ZHAO Yi-kai, ZHU Xin-yu, <i>et al.</i>	(2848)
Prediction Spatial Distribution of Soil Organic Matter Based on Improved BP Neural Network with Optimized Sparrow Search Algorithm	HU Zhi-rui, ZHAO Wan-fu, SONG Yin-xian, <i>et al.</i>	(2859)
Effects of Application of Different Organic Materials on Phosphorus Accumulation and Transformation in Vegetable Fields	SUN Kai, CUI Yu-tao, LI Shun-jin, <i>et al.</i>	(2871)
Intensive Citrus Cultivation Suppresses Soil Phosphorus Cycling Microbial Activity	ZHOU Lian-hao, ZENG Quan-chao, MEI Tang-ying-ze, <i>et al.</i>	(2881)
Effects of Controlled-release Blended Fertilizer on Crop Yield and Greenhouse Gas Emissions in Wheat-maize Rotation System	GAO Wei, WANG Xue-xia, XIE Jian-zhi, <i>et al.</i>	(2891)
Effect of Biochar on NO ₃ ⁻ -N Transport in Loessial Soil and Its Simulation	BAI Yi-ru, LIU Xu, ZHANG Yu-han, <i>et al.</i>	(2905)
Analysis and Evaluation of Heavy Metal Pollution in Farmland Soil in China: A Meta-analysis	YANG Li, BAI Zong-xu, BO Wen-hao, <i>et al.</i>	(2913)
Critical Review on Heavy Metal Contamination in Urban Soil and Surface Dust	WANG Xiao-yu, LIU En-feng, YANG Xiang-meng, <i>et al.</i>	(2926)
Research Progress on Solidification and MICP Remediation of Soils in Heavy Metal Contaminated Site	CHEN Yue-ru, GAO Wen-yan, CHEN Hong-ren, <i>et al.</i>	(2939)
Pollution Characteristics and Source Analysis of Soil Heavy Metal in Coal Mine Area near the Yellow River in Shandong	DAI Wen-ting, ZHANG Hui, WU Xia, <i>et al.</i>	(2952)
Heavy Metal Content and Risk Assessment of Sediments and Soils in the Juma River Basin	HAN Shuang-bao, YUAN Lei, ZHANG Qiu-xia, <i>et al.</i>	(2962)
Characteristics, Ecological Risk Assessment, and Source Apportionment of Soil Heavy Metals in the Yellow River Floodplain of Yinchuan City	YU Lu-jia, MA Hai-jun, WANG Cui-ping	(2971)
Health Risk Assessment of Heavy Metals in Soils of a City in Guangdong Province Based on Source Oriented and Monte Carlo Models	CHEN Lian, ZOU Zi-hang, ZHANG Pei-zhen, <i>et al.</i>	(2983)
Chemical Speciation, Influencing Factors, and Regression Model of Heavy Metals in Farmland of Typical Carbonate Area with High Geological Background, Southwest China	TANG Rui-ling, XU Jin-li, LIU Bin, <i>et al.</i>	(2995)
Hg Content Characteristics and Safe Planting Zoning of Paddy Soil and Rice in Guizhou Province	WEI Mei-liu, ZHOU Lang, HUANG Yan-ling, <i>et al.</i>	(3005)
Cadmium Phytoremediation Effect of Sweet Sorghum Assisted with Citric Acid on Typical Parent Soil in Southern China	LIU Meng-yu, LUO Xu-feng, GU Jiao-feng, <i>et al.</i>	(3016)
Effects of Modified Distillers' Grains Biochar on Cadmium Forms in Purple Soil and Cadmium Uptake by Rice	XIAO Nai-chuan, WANG Zi-fang, YANG Wen-na, <i>et al.</i>	(3027)
Effects of Biochar on Growth and Pollutant Accumulation of Lettuce in Soil Co-contaminated with Tetracycline and Copper	ZHENG Chen-ge, PEI Huan-huan, ZHANG Ya-shan, <i>et al.</i>	(3037)
Effects of Vermicomposting on Compost Quality and Heavy Metals: A Meta-analysis	JIANG Ji-shao, HOU Rui, CUI Hui-lin, <i>et al.</i>	(3047)
Advances in the Effects of Microplastics on Soil N ₂ O Emissions and Nitrogen Transformation	LIU Yi-ge, YANG An-qi, CHEN Shu-xin, <i>et al.</i>	(3059)
Effects of Land Use Patterns on Soil Microplastic Pollution in the Luoshijiang Sub-watershed of Erhai Lake Basin	DAI Liu-yun, HOU Lei, WANG Hua, <i>et al.</i>	(3069)
Characteristics of Microplastic Pollution in Sediment of Silty Coast in Culture Bay	SONG Ke-xin, HE Jin-cheng, LI Chang-wen, <i>et al.</i>	(3078)
Effect of Polyethylene Microplastics on the Microbial Community of Saline Soils	WANG Zhi-chao, LI Zhe, LI Jia-chen, <i>et al.</i>	(3088)
Characterization of Microplastic Surface Bacterial Community Structure and Prediction of Ecological Risk in Poyang Lake, China	YU Jin-li, ZHAO Jun-kai, LUO Si-qi, <i>et al.</i>	(3098)
Energy-saving and Emission Reduction Path for Road Traffic in Key Coastal Cities of Guangdong, Fujian and Zhejiang	XU Yi-nuo, WENG Da-wei, WANG Shuo, <i>et al.</i>	(3107)
Life Cycle Carbon Reduction Benefits of Electric Heavy-duty Truck to Replace Diesel Heavy-duty Truck	XU Yuan-yuan, GONG De-hong, HUANG Zheng-guang, <i>et al.</i>	(3119)