

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)

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¹, 吴涛¹, 解雪峰^{1*}, 徐梓晴¹, 李文琦¹, 蒋国俊¹, 张建珍¹, 徐飞²

(1. 浙江师范大学地理与环境科学学院, 金华 321004; 2. 浙江财经大学土地与城乡发展研究院, 杭州 310018)

摘要: 茶园土壤氮素组分变化影响茶园土壤供氮能力和氮素循环。以植茶30、50和70 a的茶园土壤为研究对象, 探讨不同植茶年限土壤氮素组分变化特征及其与理化性质和酶活性之间的关系。结果表明: ① 随着植茶年限的增加, 粉粒、全磷、脲酶和过氧化氢酶活性逐渐增加, 砂粒、黏粒、pH、电导率、有机碳和蔗糖酶活性逐渐降低, 碱性磷酸酶活性先增加后降低, 土壤含水量和酸性磷酸酶活性无显著变化。② 随着植茶年限的增加, 酸解性铵态氮、氨基酸态氮和硝态氮含量显著增加, 且茶园土壤全氮、酸解性铵态氮、未知态氮和非酸解氮含量显著高于林地。③ 全磷、碱性磷酸酶和脲酶是土壤氮素组分变化的主要影响因素。其中, 有机氮组分与全磷、碱性磷酸酶活性具有显著相关性, 无机氮组分与碱性磷酸酶活性具有显著相关性, 全氮与砂粒、粉粒、全磷、脲酶和碱性磷酸酶活性具有极显著的相关性。

关键词: 植茶年限; 氮素组分; 环境因子; 冗余分析(RDA); Mantel 检验

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2024)03-1665-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.202304162

Changes in Soil Nitrogen Components and Their Relationship with Environmental Factors with Different Tea Plantation Ages

SHAO Qi¹, WU Tao¹, XIE Xue-feng^{1*}, XU Zi-qing¹, LI Wen-qi¹, JIANG Guo-jun¹, ZHANG Jian-zhen¹, XU Fei²

(1. College of Geography and Environmental Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China; 2. Institute of Land and Urban-Rural Development, Zhejiang University of Finance & Economics, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Changes in soil nitrogen components in tea gardens affect the soil nitrogen supply capacity and nitrogen cycle. In this study, soil samples were collected from forest land, cultivated land, and tea gardens with different plantation ages (30, 50, and 70 years) to explore the changes in soil nitrogen components and their relationship with physicochemical properties and enzyme activities. The results showed that: ① with the increase in tea plantation age, the silt, total phosphorus, and urease and catalase activities gradually increased, whereas the sand, clay, pH, electrical conductivity, soil organic carbon, and the activities of invertase gradually decreased. The alkaline phosphatase activity increased first and then decreased with the increase in tea plantation age, and no significant differences were observed in soil water content and acid phosphatase activity. ② With the increase in tea plantation age, the contents of acid ammonia nitrogen, amino acid nitrogen, and nitrate nitrogen ($\text{NO}_3^- \text{-N}$) increased significantly, and the contents of total nitrogen, acid ammonia nitrogen, hydrolyzable unknown nitrogen, and non-hydrolyzable nitrogen in tea gardens were significantly higher than those in forest land. ③ The total phosphorus, alkaline phosphatase, and urease were the main factors affecting soil nitrogen components. Among them, organic nitrogen components were significantly correlated with total phosphorus and alkaline phosphatase, and inorganic nitrogen components were significantly correlated with alkaline phosphatase, whereas total nitrogen had significant correlations with sand, silt, total phosphorus, urease, and alkaline phosphatase.

Key words: tea plantation; nitrogen components; environmental factors; redundancy analysis(RDA); Mantel test

茶树是亚热带丘陵地区广泛种植的一种叶用经济作物,在我国种植历史悠久。截至2022年,我国拥有茶园面积约320万 hm^2 ,茶叶生产总量超过293万t,均居世界首位^[1]。氮素是植物生长不可缺少的养分元素之一,对茶树的生长具有十分重要的影响^[2]。茶树作为一种典型的喜铵植物,需要施加大量氮肥以维持其生长需要。然而,茶树对氮素的利用效率较低,过量氮肥的施加会导致茶园土壤硝酸盐淋溶风险增加^[3],加剧茶园土壤的酸化、造成土壤板结和肥力下降^[4]。

茶园土壤氮素组分作为茶园土壤生态系统的重要组成部分,不仅影响茶园土壤氮素转化,而且与环境因子之间有密切联系^[3,5]。土壤酶活性作为茶园土壤生态系统最活跃的生物因子,是表征茶园土壤养分需求、评价土壤肥力的重要指标^[6]。相关研究表明,茶园土壤酶活性和理化性质会影响茶园土壤氮

素转化过程;如于淑华等^[7]对山东茶园土壤氮素动态的影响研究中发现,脲酶显著影响恒湿模式下土壤氮素净矿化和净硝化速率;Tang等^[8]研究认为土壤碳氮含量会影响茶园土壤细菌群落组成,从而对土壤反硝化速率产生影响。前人研究发现,在施肥管理、茶树凋落物归还土壤以及根系分泌物累积的影响下,茶园土壤理化性质和酶活性特征会随着植茶年龄的增加发生明显变化^[9,10]。然而,植茶年限对茶园土壤氮素组分变化的影响研究还少有报道,茶园土壤氮素组分与理化性质和酶活性之间的关系也需要进一步进行研究。因此,研究不同植茶年限土壤氮素

收稿日期: 2023-04-19; 修订日期: 2023-05-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(42101068,41701618);浙江省自然科学基金项目(LY21D010008);金华市科学技术研究计划项目(2021-4-339)

作者简介: 邵奇(1998~),男,硕士研究生,主要研究方向为土地利用及其环境效应, E-mail: qishao@zjnu.edu.cn

* 通信作者, E-mail: xiexuefeng@zjnu.cn

组分变化特征,了解土壤氮素组分与环境因子之间的关系,对科学认识茶园土壤肥力演变特征和合理施肥具有重要意义^[11]。

基于此,本文以浙江金华典型茶园中植茶 30、50 和 70 a 的茶园土壤作为研究对象,以耕地和林地土壤为对照,分析植茶年限对土壤氮素组分的影响,并试图揭示土壤理化性质和酶活性与氮素组分之间的关系,以期科学调控茶园管理方式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于浙江省金华市汤溪镇(29°22'N, 119°42'E),该区域属北亚热带季风气候,四季分明,年均气温 16.0℃,年均降水量 1 273 mm,日照时长 2 038 h,无霜期 244 d,海拔约为 90~100 m,坡度在 15°以下,境内以红壤和黄壤为主。研究区茶园面积约为 6~7 km²,主要茶树品种为鸠坑茶,茶树之间的行距约为 40 cm,株距约为 15 cm。每年 11 月左右在茶园沟间施用尿素(600 kg·hm⁻²)和菜籽饼(300 kg·hm⁻²)作为基肥,次年 3 月下旬施用尿素(150 kg·hm⁻²)和复合肥(200 kg·hm⁻²)作为追肥,追肥位置与基肥相同。茶园每年轻度修剪 2~3 次,修剪的枝叶归还土壤。除施肥影响外,茶园土壤基本保持免耕的状态。茶区主要以雨水灌溉为主,土壤类型为粉壤土。不同年限茶园之间的距离约 800~1 000 m。

1.2 样品采集与分析

经过实地调研后,于 2022 年 4 月在汤溪镇典型茶园中分别选取植茶 30 a(T30)、50 a(T50)和 70 a(T70)的典型样地进行土壤样品采集,所选取土壤样地的成土母质基本相同,海拔、坡度和坡向相似,施肥、采摘、灌溉、修剪等管理方式保持一致。在调研时了解到该区域的茶园大多由地势较低的林地转变而来,并且部分高龄茶树也会转变成耕地,因此选择在茶园附近采集耕地(CL)和林地(FL)土壤作为对照,用以探究不同土地利用方式之间的差异。依据典型性、代表性和一致性原则共选取了 5 个典型土壤样地,每个样地选取 3 个土壤样方(5 m×5 m),每个样方由 3 个样点的土壤混合而成,茶园土壤样点的具体采样位置为茶树树冠边缘垂直下方。采样前先移除地表未腐解的凋落物,运用多点混合的方法,使用土钻采集 0~20 cm 深度的土壤样品,并分为 2 层,每层 10 cm,共采集土壤混合样品 30 个。

土壤理化性质的测定参照土壤农化分析方法^[12],土壤电导率使用电导率仪测定(土水比为 1:5);土壤 pH 用 pH 计测定(土水比为 1:2.5);土壤含

水量采用烘干法测定;土壤有机碳含量采用高温外热重铬酸钾氧化法测定;全氮含量采用全自动凯氏定氮仪测定;全磷采用氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法测定;土壤粒径采用激光粒度仪测定,土壤粒径分级采用国际制标准。

土壤有机氮组分采用 Bremner 法^[13]测定,其中酸解性氮采用凯氏法测定,酸解性铵态氮和氨基糖态氮的总和采用磷酸-硼砂缓冲液蒸馏法测定,酸解性铵态氮采用 MgO 蒸馏法测定,氨基酸态氮采用茚三酮、磷酸-硼砂缓冲液蒸馏法测定,未知态氮、氨基糖态氮和非酸解氮通过差减法求得;硝态氮采用紫外分光光度法测定;铵态氮采用 KCl 浸提-靛酚蓝比色法测定。

土壤酶的测定参照关松荫的测定方法^[14],其中脲酶活性采用靛酚蓝比色法测定;蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定;过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定;土壤酸性磷酸酶和碱性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定。

1.3 数据处理

使用 Microsoft Excel 2019 进行基础数据处理,运用单因素方差分析探讨植茶年限对茶园土壤氮素组分、理化性质和酶活性的影响;运用冗余分析探讨氮素组分和环境因子之间的关系,并通过蒙特卡洛置换检验对环境因子的重要性进行排序;运用 Mantel 检验分析探究氮素组分变化的显著影响因子。单因素方差分析在 SPSS 19.0 软件中进行,冗余分析和蒙特卡洛置换检验在 Canoco 5.0 软件中进行,Mantel 检验分析及可视化在 R 语言 4.2.2 软件中的 dplyr、linkET 和 ggplot2 包中进行。

2 结果与分析

2.1 植茶年限对土壤理化性质的影响

如表 1 所示,0~10 cm 土层茶园土壤含水量随着植茶年限的增加而增加,且茶园土壤含水量低于耕地和林地土壤。随着植茶年限的增加,土壤砂粒含量先降低后增加,粉粒含量先增加后减少,黏粒含量不断降低。植茶 30 a 土壤的砂粒和黏粒含量最高,而粉粒含量最低。随植茶年限的增加,土壤 pH 逐渐下降,显著低于耕地。土壤电导率随植茶年限的增加逐渐下降,植茶 50 a 和 70 a 土壤与耕地和林地间并无显著性差异。土壤有机碳含量随植茶年限增加不断降低,显著低于林地但仍高于耕地。茶园土壤全磷含量随植茶年限增加而不断增加,植茶 70 a 土壤的全磷含量较耕地和林地显著上升。

10~20 cm 土层,茶园土壤含水量同样随着植茶年限的增加而增加,且显著低于耕地。不同植茶年限

土壤砂粒和粉粒含量的变化特征与 0~10 cm 土层一致,而黏粒含量随着植茶年限的增加表现为先增加后减少,且显著高于耕地和林地. 茶园土壤 pH 随着植茶年限的增加而降低,显著低于耕地. 土壤电导率同样随植茶年限的增加而降低,但显著高于耕地和林地. 茶园土壤有机碳含量随着植茶年限的增加表现为先增加后降低的趋势,植茶 50 a 的茶园土壤有机碳含量显著高于耕地. 茶园土壤全磷含量随着植茶年限的增加显著上升,且显著高于耕地和林地(表 1).

表 1 0~20 cm 土壤理化性质变化特征¹⁾
Table 1 Variation characteristics of soil physicochemical properties in 0-20 cm

土层深度/cm	土地利用方式	含水量/%	土壤机械组成/%			pH	电导率/ dS·m ⁻¹	ω(有机碳) /g·kg ⁻¹	ω(全磷) /g·kg ⁻¹
			砂粒	粉粒	黏粒				
0~10	CL	37.18±1.05a	42.99±2.28a	53.31±2.25bc	3.70±0.35cd	5.97±0.07a	0.092±0.002b	15.69±0.68d	0.38±0.03c
	FL	28.30±1.02b	41.81±2.22a	55.01±1.85b	3.18±0.39d	5.01±0.04b	0.085±0.002b	26.97±1.53a	0.43±0.02bc
	T30	24.65±0.78b	45.34±4.43a	47.51±3.55c	7.14±0.89a	4.87±0.19b	0.132±0.010a	22.04±0.79b	0.38±0.09c
	T50	25.26±0.79b	19.95±0.64b	73.08±0.69a	6.97±0.36ab	4.85±0.09b	0.100±0.002b	19.66±0.57bc	0.69±0.06ab
	T70	26.15±1.79b	25.07±1.31b	69.58±1.25a	5.35±0.14bc	4.22±0.05c	0.088±0.005b	19.05±0.36c	0.78±0.01a
10~20	CL	38.43±3.44a	44.11±1.68a	52.48±1.71b	3.41±0.20c	5.76±0.06a	0.070±0.005c	11.27±1.00b	0.33±0.01c
	FL	23.44±2.57b	43.76±2.66a	52.9±2.17b	3.34±0.61c	5.06±0.13ab	0.063±0.003c	15.20±0.83ab	0.32±0.04c
	T30	24.42±0.93b	43.87±0.56a	49.00±0.64b	7.14±0.20ab	5.25±0.16ab	0.107±0.004a	13.72±2.01ab	0.22±0.02c
	T50	26.13±0.90b	20.37±1.31b	71.63±1.06a	8.00±0.25a	5.04±0.07b	0.089±0.004b	17.53±1.41a	0.49±0.03b
	T70	26.17±0.80b	22.28±1.97b	71.55±1.29a	6.17±0.70b	4.78±0.25b	0.086±0.003b	14.65±0.63ab	0.83±0.06a

1)同一深度不同小写字母表示不同土地利用类型之间存在显著差异(P<0.05),下同

2.2 植茶年限对土壤酶活性的影响

如表 2 所示,在 0~10 cm 土层,随着植茶年限的增加,蔗糖酶和酸性磷酸酶活性呈现降低趋势,过氧化氢酶和脲酶显著增加,碱性磷酸酶活性表现为先显著增加后显著降低. 与对照组耕地和林地相比,植茶 70 a 土壤蔗糖酶活性显著低于林地,与耕地之间的差异性不显著. 植茶 30 a 和 50 a 土壤过氧化氢酶活性显著低于耕地和林地;植茶 70 a 土壤脲酶活性显著高于耕地和林地. 茶园土壤酸性磷酸酶活性显著高于林地,而与耕地之间的差异性不显著. 植茶 50 a 土壤碱性磷酸酶活性显著高于耕地和林地.

10~20 cm 土层,随着植茶年限的增加,蔗糖酶活性呈现出显著降低后缓慢增加的趋势,过氧化氢酶、脲酶和酸性磷酸酶活性有所增加,碱性磷酸酶活性表现为显著增加后缓慢降低. 茶园土壤蔗糖酶和酸性磷酸酶活性显著高于耕地和林地,而过氧化氢酶活性与耕地和林地之间的差异性不显著. 植茶 70 a 土壤脲酶活性显著高于林地,而与耕地之间的差异性不显著. 植茶 50 a 和 70 a 土壤碱性磷酸酶活性显著高于耕地和林地,而植茶 30 a 土壤碱性磷酸酶活性与耕地和林地之间无显著性差异(表 2).

表 2 0~20 cm 土壤酶活性变化特征
Table 2 Variation characteristics of soil enzyme activity in 0-20 cm

土层深度/cm	土地利用方式	酶活性/mg·(g·d) ⁻¹				
		蔗糖酶	过氧化氢酶	脲酶	酸性磷酸酶	碱性磷酸酶
0~10	CL	12.01±3.94ab	2.05±0.05a	0.23±0.01bc	3.24±0.04ab	1.32±0.09bc
	FL	17.69±1.76a	1.40±0.14b	0.18±0.02c	2.18±0.13b	1.25±0.03c
	T30	16.74±0.93a	1.13±0.01c	0.30±0.01bc	3.40±0.26a	1.36±0.02bc
	T50	12.73±0.63ab	1.27±0.03c	0.35±0.08b	3.14±0.13a	1.75±0.10a
	T70	11.35±0.35b	1.82±0.18ab	0.47±0.01a	3.04±0.08a	1.58±0.11b
10~20	CL	2.98±0.50c	1.88±0.04a	0.16±0.01ab	1.15±0.25b	0.61±0.07b
	FL	9.25±1.15c	1.28±0.14a	0.11±0.01b	1.45±0.03b	0.57±0.01b
	T30	19.00±1.48a	1.03±0.05a	0.18±0.01ab	2.34±0.06a	0.50±0.08b
	T50	13.19±0.59b	1.09±0.01a	0.20±0.04ab	2.46±0.19a	1.15±0.12a
	T70	13.65±0.18b	1.34±0.23a	0.33±0.11a	2.77±0.13a	1.09±0.03a

2.3 植茶年限对土壤氮素组分的影响

如表 3 所示,0~20 cm 土层茶园土壤全氮和各形态氮素组分含量均随植茶年限增加而增加,除硝态氮外,最高值均位于植茶 70 a 土壤. 0~10 cm 土层,植

茶 50 a 和植茶 70 a 土壤的全氮、酸解性铵态氮、氨基酸态氮、未知态氮、非酸解氮含量显著高于耕地和林地,而氨基糖态氮、铵态氮和硝态氮与耕地之间无显著性差异.

10~20 cm 土层,不同植茶年限下土壤全氮以及各氮素组分含量变化特征与 0~10 cm 土层一致;植茶 30 a 土壤的未知态氮、非酸解氮和硝态氮含量显著低于耕地,其他氮素组分与耕地和林地之间无显

著性差异. 植茶 50 a 和 70 a 土壤的全氮、酸解性铵态氮、氨基糖态氮、氨基酸态氮、未知态氮和铵态氮含量显著高于耕地和林地,而非酸解氮和硝态氮含量显著高于林地.

表 3 0~20 cm 土壤氮素组分含量变化特征

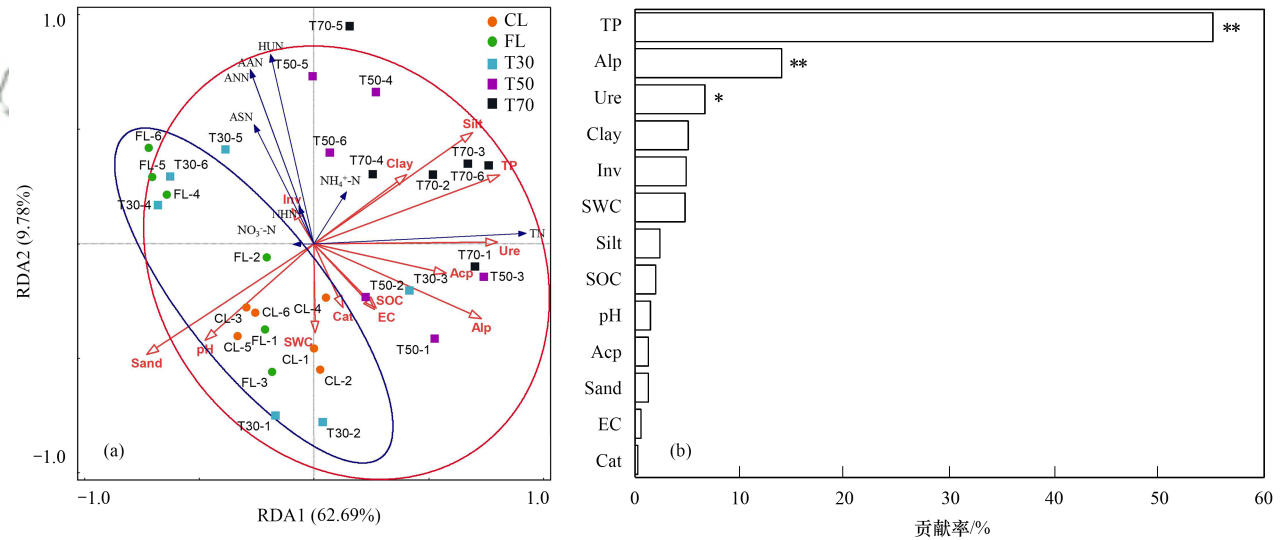
Table 3 Variation characteristics of soil nitrogen component content in 0-20 cm

土层深度 /cm	土地利用方式	ω (全氮) /g·kg ⁻¹	ω (有机氮)/g·kg ⁻¹					ω (无机氮) /mg·kg ⁻¹	
			酸解性铵态氮	氨基糖态氮	氨基酸态氮	未知态氮	非酸解氮	硝态氮	铵态氮
0~10	CL	1.15±0.13c	0.256±0.02c	0.126±0.01ab	0.305±0.01b	0.177±0.05c	0.254±0.14b	28.262±1.76a	0.999±0.12ab
	FL	0.90±0.04c	0.155±0.01d	0.071±0.01b	0.237±0.02b	0.148±0.01c	0.273±0.04b	14.083±1.66c	0.782±0.25b
	T30	1.23±0.16b	0.243±0.01c	0.119±0.01ab	0.311±0.01b	0.223±0.01b	0.312±0.12a	12.022±1.38c	2.330±0.55ab
	T50	1.70±0.22ab	0.360±0.01b	0.152±0.03ab	0.459±0.03a	0.356±0.04ab	0.334±0.03a	16.169±0.85b	2.534±0.41ab
	T70	2.05±0.18a	0.432±0.02a	0.178±0.04a	0.501±0.02a	0.453±0.07a	0.409±0.19a	22.401±1.40a	3.282±1.26a
10~20	CL	0.97±0.08b	0.179±0.01b	0.083±0.01b	0.204±0.01b	0.210±0.04b	0.260±0.12b	18.346±2.72a	0.176±0.04b
	FL	0.62±0.04c	0.122±0.05b	0.058±0.01bc	0.155±0.01b	0.129±0.03c	0.137±0.02c	8.523±1.56c	0.452±0.17b
	T30	0.72±0.05c	0.142±0.03b	0.075±0.01bc	0.130±0.02b	0.185±0.05c	0.171±0.06c	8.407±1.36c	0.997±0.22ab
	T50	1.39±0.19a	0.285±0.02a	0.118±0.02a	0.341±0.02a	0.223±0.04a	0.259±0.15b	12.184±1.08b	1.316±0.30a
	T70	1.46±0.21a	0.329±0.01a	0.126±0.02a	0.363±0.01a	0.239±0.03a	0.270±0.16a	14.779±0.42ab	2.413±1.08a

2.4 研究区土壤氮素组分和环境因子的关系

从氮素组分和环境因子的冗余分析结果来看(图 1),前两轴累计解释土壤氮素组分变异的 72.47%,其中,脲酶与全氮之间具有明显的正相关关系,与各氮素组分无显著性关系;全磷与硝态氮之间具有负相关性,而与其他氮素组分之间的相关性较

弱;碱性磷酸酶与有机氮和无机氮组分之间均表现为负相关关系,而与全氮表现出正相关性;其余环境因子与氮素组分之间的相关性不显著.蒙特卡洛置换检验表明[图 1(b)],全磷和碱性磷酸酶对土壤全氮及氮素组分变异的解释率达到了极显著水平($P<0.01$),脲酶达到了显著水平($P<0.05$).



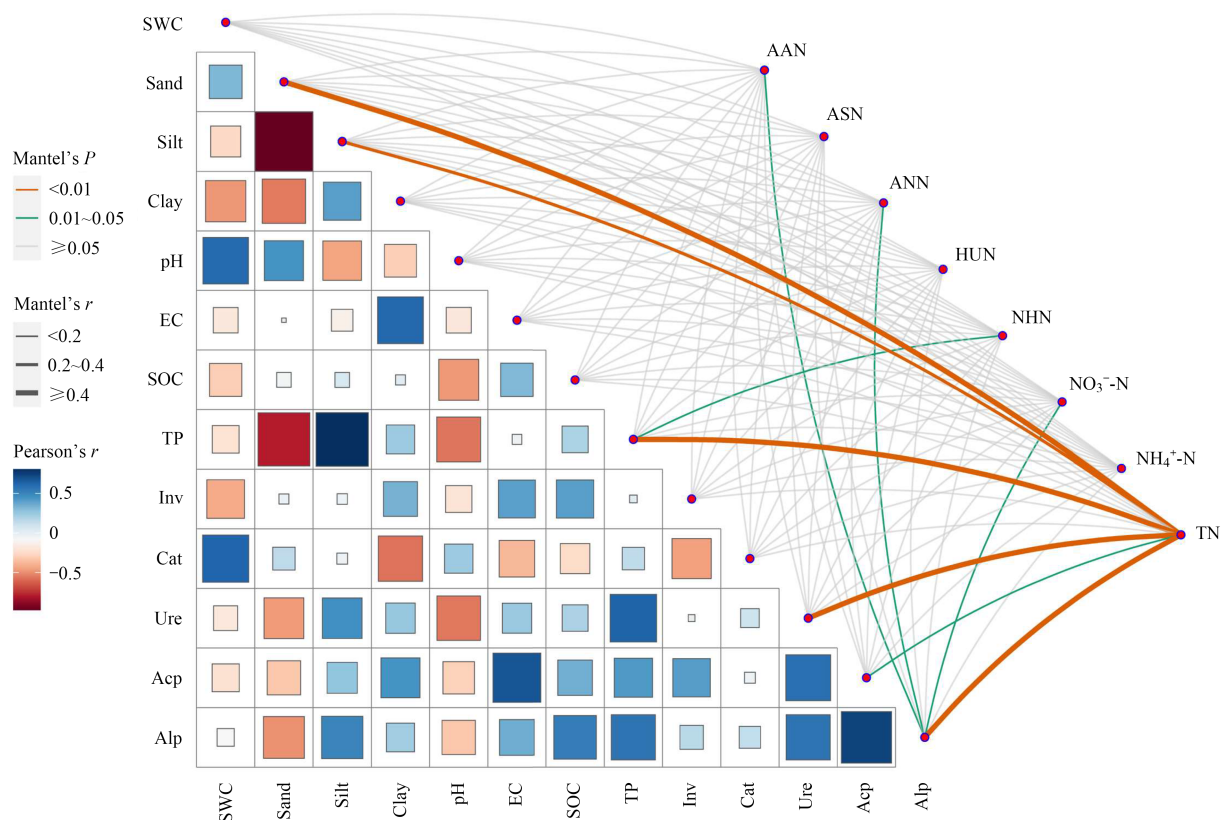
SWC为含水量,Sand为砂粒,Silt为粉粒,Clay为黏粒,EC为电导率,SOC为有机碳,TP为全磷,Inv为蔗糖酶,Cat为过氧化氢酶,Ure为脲酶,Acp为酸性磷酸酶,Alp为碱性磷酸酶,AAN为酸解性铵态氮,ASN为氨基糖态氮,ANN为氨基酸态氮,HUN为未知态氮,NHN为非酸解态氮,NO₃⁻-N为硝态氮,NH₄⁺-N为铵态氮,TN为全氮,下同;*表示 $P<0.05$,**表示 $P<0.01$

图 1 土壤氮素组分与环境因子冗余分析及环境因子对氮素组分贡献率

Fig. 1 Redundancy analysis of soil nitrogen components and environmental factors and the contribution of environmental factors to nitrogen components

Mantel 检验分析表明(图 2),有机氮组分中的酸解性铵态氮和氨基酸态氮与碱性磷酸酶具有显著相关性,非酸解氮与全磷含量具有显著相关性,氨基糖态氮和未知态氮与环境因子没有显著相关

性. 无机氮组分中,硝态氮和碱性磷酸酶之间具有显著的相关性,铵态氮与各环境因子之间均没有显著相关性;而全氮与砂粒、粉粒、全磷、脲酶和碱性磷酸酶之间均表现出极显著的相关性. 总体来



矩形为土壤环境因子的相关性热图,不同颜色的连线表示环境因子和氮素组分之间相关性显著性水平的差异,其中橘黄色连线表示极显著相关($P < 0.01$),淡绿色连线表示显著相关($P < 0.05$),灰色连线表示无显著相关性。

图2 土壤氮素组分和环境因子的 Mantel 检验分析

Fig. 2 Mantel test analysis of soil nitrogen components and environmental factors

看,研究区土壤氮素组分变化主要受全磷和碱性磷酸酶影响。

3 讨论

3.1 植茶年限对土壤理化性质和酶活性的影响

茶树种植过程中修剪、施肥等管理措施会影响土壤理化性质。本研究表明,随着植茶年限的增加,茶园土壤粉粒含量显著增加,而砂粒和黏粒含量有所降低,说明多年的茶树种植影响了土壤的质地结构。黏粒含量的降低,可能是由于茶园土壤常年施肥,加剧土壤酸化,增加了金属阳离子和硝酸盐的淋溶,从而影响了微团聚体和黏粒的形成^[15],导致土壤板结。高龄茶园土壤的粉粒含量显著高于耕地和林地,可能是因为茶园土壤的植被覆盖度较高,且茶园土壤长期处于免耕状态,受人为干扰较少,茶树凋落物在微生物的作用下形成腐殖质,并产生各种有机酸富集在土壤表层,促进土壤颗粒的细化,使得粉粒含量增加^[16]。茶园土壤 pH 随植茶年限增加而不断降低,可能和施肥以及茶树凋落物归还土壤有关^[17]。耕地地表植被的凋落物较少,土壤酸化程度低^[18];而茶园由于每年需要多次修剪,地表的凋落物较多,且凋落物中含大量的单宁、树脂和木质素等物质,其分解

可产生酸性物质^[19],从而导致茶园土壤酸性加强。植茶 50 a 和 70 a 土壤有机碳含量低于植茶 30 a,与 He 等^[20]的研究结果相同,原因可能是高龄茶树进入衰退期,根系分泌的有机物质大量减少,影响了茶园土壤微生物的活性和数量,从而导致了高龄茶园土壤有机碳含量的降低^[21]。茶园土壤有机碳含量显著低于林地,可能是由于林地表层长期有大量的枯枝落叶,其上生长的植物根系较为发达,根系的腐烂物和分泌物也更多,导致土壤有机碳含量不断增加^[22]。茶园土壤全磷含量随着植茶年限的增加而增加,可能和长期的施肥管理^[23]以及磷元素本身较为稳定的特性有关。高龄茶园土壤常年施肥且处于免耕状态,土壤环境较为稳定,土壤养分损失较少,导致全磷含量增加且显著高于耕地和林地。另外,土壤全磷含量变化可能与土壤粒径组成有关,本研究发现土壤全磷与砂粒含量呈显著负相关,与粉粒含量显著正相关。这可能是因为土壤粒径细化增强了土壤团聚体的稳定性,从而有利于土壤磷含量的保持^[24]。

土壤酶活性作为催化剂,参与了土壤生态系统中大多数的生物化学过程^[25],被认为是评价土壤肥力的重要指标^[6]。过氧化氢酶可以分解过氧化氢,其活性强弱可以反映土壤呼吸强度^[26]。有研究表明,过

氧化氢酶活性与全氮含量具有显著的正相关性,氮素含量的提升能够直接促进过氧化氢酶活性的提高^[27]. 本研究中,茶园土壤过氧化氢酶活性随着植茶年限的增加而增加,可能是由于大量施加氮肥,增加了土壤氮素含量,促进了过氧化氢酶活性的提高. 另外,有研究发现过氧化氢酶与黏粒含量呈显著负相关;可能是因为土壤黏粒含量的降低,增强了土壤微团聚体的稳定性和通气性,从而导致过氧化氢酶活性增加^[28]. 耕地土壤过氧化氢酶活性显著高于林地和茶园,可能和土壤的翻耕以及土壤含水量有关. 林地和茶园土壤长期处于免耕状态,而耕地土壤的翻耕能够增加土壤的孔隙度和通气性,促进土壤的呼吸作用;另外,土壤含水量与过氧化氢酶活性之间具有显著的正相关性,说明含水量的增加能够提高土壤酶活性,这与前人研究的结论一致^[25]. 土壤蔗糖酶直接参与土壤碳素循环,与土壤有机质代谢及氮磷含量密切相关^[29]. 茶园土壤蔗糖酶活性随着植茶年限的增加呈现出降低的趋势,可能是由于多年植茶,土壤 pH 不断降低,形成强酸性的土壤环境,对蔗糖酶活性产生抑制作用. 另外,土壤有机碳与蔗糖酶活性之间具有正相关性(图 2),高龄茶园土壤有机碳含量的降低,直接影响了蔗糖酶活性^[30]. 土壤脲酶能够促进有机氮向活性有效氮的转变,在提高氮素的利用率和促进氮素循环过程中具有重要意义^[31]. 茶园土壤脲酶活性随植茶年限的增加而增加,而全氮与脲酶活性之间存在极显著的相关性(图 2),说明茶园土壤大量施加氮肥,促进了土壤脲酶活性的提高,与前人的研究结论一致^[32]. 茶园土壤脲酶活性显著高于林地,可能是由于茶树生长旺盛,归还土壤凋落物较多,增加了土壤微生物的营养来源,使土壤微生物量增加,促进土壤脲酶活性提高^[33]. 磷酸酶的活性高低直接决定了土壤中磷盐的转化利用率^[34]. 茶园土壤磷酸酶活性高于林地,可能是因为茶园土壤养分充足,土壤细菌和真菌种类丰富,而磷酸酶主要来自于土壤细菌分泌物,使得茶园土壤磷酸酶活性较高^[35]. 随着植茶年限的增加,茶园土壤酸性磷酸酶活性没有发生显著变化,而碱性磷酸酶活性随植茶年限的增加表现出先增加后降低的趋势,这可能和高龄茶园强酸性的土壤环境对碱性磷酸酶活性的抑制作用有关^[36].

3.2 植茶年限对土壤氮素组分的影响

植茶年限对茶园土壤全氮含量及氮素组分的影响和茶园的经营管理措施有关^[37],如茶园的灌溉、修剪和施肥等措施会影响土壤理化性质、酶活性特征以及微生物群落结构,从而对全氮含量和氮素组分产生影响^[38]. 不同植茶年限茶园土壤全氮含量增加,

可能和茶园连续多年施加氮肥以及免耕措施有关. 代依涵等^[39]研究发现,施加氮肥能明显提升茶园土壤全氮含量. 研究区高龄茶园在多年施肥的影响下,向土壤输入的氮量不断增加. 另外,茶树种植以后,土壤长期处于免耕状态,提高了土壤团聚体的稳定性,可以保护有机质不受微生物分解,促进土壤中氮的积累^[40]. 氮素组分的变化对土壤中氮的有效性有重要影响^[41],土壤有机氮能够直接决定土壤的潜在供氮能力,是土壤中矿质氮的源和库,也是土壤氮素循环的重要控制因素^[42]. 本研究表明,茶园土壤有机氮组分含量均随植茶年限增加而增加;其中以酸解性铵态氮、氨基酸态氮和未知态氮最为显著,这可能和茶园大量施加氮肥及有机肥有关. 姜慧敏等^[43]研究表明,土壤施加氮肥后,氮素会首先转化为酸解性铵态氮和氨基酸态氮,这与本研究结果相同. 另外,土壤中的酸解性铵态氮和氨基酸态氮容易被矿化,而未知态氮的矿化速率较低,导致其在土壤中大量累积^[44]. 茶园土壤酸解性铵态氮、未知态氮和非酸解氮含量显著高于林地,可能是林地改为茶园后,由于土壤通气性能的改善,土壤有机质矿化和腐殖化过程受到影响,导致土壤有机质发生变化,促进土壤有机氮向酸解氮的转化^[45];另外,茶园每年向土壤归还大量的凋落物,增加了土壤微生物的养分来源,导致土壤微生物量增加,提高土壤脲酶活性,从而影响土壤有机氮含量^[33]. 土壤无机氮是反映土壤质量和植物生长状况的关键指标,可以反映土壤氮素的供应能力^[46]. 研究区土壤硝态氮和铵态氮含量随植茶年限的增加而增加,可能与茶园长期施用大量的尿素有关,大量无机氮肥的施用直接导致土壤铵态氮和硝态氮含量的增加,与前人的研究结论一致^[47]. 另外,茶树具有喜铵厌硝的特性,硝态氮不易被茶树吸收利用,从而导致土壤中硝态氮的累积. 耕地土壤硝态氮含量显著高于林地和茶园,可能和土壤含水量有关. 相关研究表明,除硝态氮肥的施用外,土壤硝化和矿化能力是土壤硝态氮产生和累积的关键^[48];而耕地土壤含水量较高,土壤通气性变差,可能会增强反硝化过程和削弱硝化过程,导致耕地土壤硝态氮含量的变化^[49].

3.3 茶园土壤氮素组分与环境因子关系

土壤氮素组分的变化受生物因素和非生物因素共同作用. 本研究发现,砂粒、粉粒、全磷、脲酶和碱性磷酸酶与全氮之间都具有极显著的相关性(图 2). 其中,土壤粒径的变化(砂粒减少和粉粒增加)会导致土壤颗粒逐渐细化,形成稳定的土壤团聚体,减少微生物分解有机物造成的氮素损失^[50]. 氮肥的施加能够提高土壤脲酶活性,而脲酶活性的提高,能够加

快尿素的分解,给土壤提供更多的速效氮,从而影响土壤全氮含量^[51].全磷和碱性磷酸酶对全氮的影响,可能是在碱性磷酸酶的驱动下,土壤全磷含量增加,而磷含量的累积能够增加微生物数量,促进土壤有机质和凋落物的分解,提高土壤脲酶活性,加快土壤氮素循环^[52],从而影响土壤全氮含量.另外,土壤碳氮磷元素的循环过程是相互耦合的,全磷含量的增加可能会影响土壤生态系统碳氮磷的生态化学计量特征,导致土壤碳磷比和氮磷比降低,增加土壤微生物的生长速度和微生物生物量^[53],增强土壤氮矿化、氮硝化和反硝化作用^[54],从而对土壤氮组分产生影响.研究区土壤有机氮组分与全磷和碱性磷酸酶显著相关,而全磷与碱性磷酸酶以及粉粒显著正相关,说明碱性磷酸酶活性以及土壤粉粒含量的增加,可能会提升土壤全磷含量,影响土壤碳氮磷生态化学计量比,加快土壤氮素转化,提高土壤有机氮含量^[55].另外,茶树凋落物和修剪叶被分解以后,能够丰富土壤微生物的营养来源,增加土壤微生物数量,促进微生物对氮素的矿化和吸收利用,减少茶园土壤氮素损失^[56].Sun等^[57]研究发现土壤呼吸作用、铵态氮和硝态氮含量与土壤氮磷比和碳磷比之间存在显著负相关性;研究区土壤硝态氮和碱性磷酸酶活性之间存在显著相关性,而碱性磷酸酶与脲酶、全磷、有机碳之间具有正相关性,说明土壤碳、磷含量的增加,可能会提高土壤碱性磷酸酶活性,刺激土壤元素循环,导致土壤碳磷比和氮磷比下降,促进土壤的呼吸作用,增加土壤硝态氮含量,这与前人研究的结论一致^[58].综合来看,随着植茶年限的增加,土壤粒径逐渐细化,导致土壤养分含量和酶活性发生变化,从而对土壤氮素组分产生影响.

4 结论

(1)随着植茶年限的增加,粉粒、全磷、脲酶和过氧化氢酶活性显著增加,碱性磷酸酶活性先增加后降低,砂粒、黏粒、pH、电导率、有机碳和蔗糖酶活性降低.与对照组相比,茶园土壤含水量和pH显著低于耕地,黏粒和酸性磷酸酶活性显著高于林地,土壤有机碳含量显著低于林地($P<0.05$).

(2)随着植茶年限的增加,酸解性铵态氮、氨基酸态氮和硝态氮含量显著增加,且茶园土壤全氮、酸解性铵态氮、未知态氮和非酸解氮含量显著高于林地($P<0.05$).

(3)冗余分析和Mantel检验分析综合表明,全磷、碱性磷酸酶和脲酶是研究区土壤氮素组分变化的显著影响因子($P<0.05$).土壤粒径的变化会导致土壤养分含量和酶活性的变化,从而对土壤氮素组

分产生影响.

参考文献:

- [1] 冷杨,童杰文,黄萍,等.我国茶产业发展“十三五”回顾及“十四五”展望[J].中国茶叶,2021,43(9):25-30.
Leng Y, Tong J W, Huang P, et al. The development of tea industry in China during the 13th five-year plan period and prospects for the 14th five-year plan period[J]. China Tea, 2021, 43(9): 25-30.
- [2] 刘健伟,方寒寒,袁新跃,等.氮素对茶树生理及品质成分影响的研究进展[J].茶叶学报,2018,59(3):155-161.
Liu J W, Fang H H, Yuan X Y, et al. Research progress on effect of nitrogen on physiological metabolism and major quality-related constituents in tea plants[J]. Acta Tea Sinica, 2018, 59(3): 155-161.
- [3] Zhang Y Y, Zhang J B, Chapman S J, et al. Tea plantation affects soil nitrogen transformations in subtropical China[J]. Journal of Soils and Sediments, 2021, 21(1): 441-451.
- [4] Souza R C, Hungria M, Cantão M E, et al. Metagenomic analysis reveals microbial functional redundancies and specificities in a soil under different tillage and crop-management regimes[J]. Applied Soil Ecology, 2015, 86: 106-112.
- [5] Li W, Zheng Z C, Li T X, et al. Effect of tea plantation age on the distribution of soil organic carbon fractions within water-stable aggregates in the hilly region of Western Sichuan, China[J]. CATENA, 2015, 133: 198-205.
- [6] 焦鹏宇,郭文,陈泽龙,等.中亚热带不同林龄马尾松林土壤酶学计量特征[J].环境科学,2022,43(2):1059-1068.
Jiao P Y, Guo W, Chen Z L, et al. Soil enzyme stoichiometric characteristics of *Pinus massoniana* plantations at different stand ages in Mid-subtropical areas[J]. Environmental Science, 2022, 43(2): 1059-1068.
- [7] 于淑华,张丽霞,谢雪迎,等.不同水分模式对山东茶园土壤氮素动态的影响[J].水土保持学报,2021,35(4):289-298.
Yu S H, Zhang L X, Xie X Y, et al. Effects of water regimes on soil nitrogen dynamics in tea garden in Shandong Province[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021, 35(4): 289-298.
- [8] Tang S, Ma Q X, Luo J P, et al. The inhibition effect of tea polyphenols on soil nitrification is greater than denitrification in tea garden soil[J]. Science of the Total Environment, 2021, 778, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146328.
- [9] 张冠华,牛俊,易亮,等.不同植茶年限土壤-微生物生物量碳氮磷化学计量特征[J].应用生态学报,2023,34(4):969-976.
Zhang G H, Niu J, Yi L, et al. Ecological stoichiometry of soil and microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus in tea plantations with different ages[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2023, 34(4): 969-976.
- [10] 王晟强,杜磊,叶绍明.桂南茶园土壤团聚体有机碳和养分对植茶年限的响应[J].应用生态学报,2020,31(3):837-844.
Wang S Q, Du L, Ye S M. Responses of soil aggregate-associated organic carbon and nutrients to tea cultivation age in southern Guangxi, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(3): 837-844.
- [11] 张玉树,张金波,朱同彬,等.不同种植年限果园土壤有机氮组分变化特征[J].生态学报,2015,34(5):1229-1233.
Zhang Y S, Zhang J B, Zhu T B, et al. Characteristics of soil organic nitrogen components of orchards with different planting ages[J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(5): 1229-1233.
- [12] 鲍士旦.土壤农化分析[M].(第三版).北京:中国农业出版社

- 社, 2000.
- [13] Bremner J M. Organic forms of nitrogen [A]. In: Norman A G (Ed.). *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties* [M]. Washington: American Society of Agronomy, 1965. 1238-1255.
- [14] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [15] Ye C L, Chen D M, Hall S J, *et al.* Reconciling multiple impacts of nitrogen enrichment on soil carbon: plant, microbial and geochemical controls [J]. *Ecology Letters*, 2018, **21**(8): 1162-1173.
- [16] Kopittke P M, Dalal R C, Menzies N W. Sulfur dynamics in subtropical soils of Australia as influenced by long-term cultivation [J]. *Plant and Soil*, 2016, **402**(1-2): 211-219.
- [17] 陈玉真, 王峰, 吴志丹, 等. 林地转变为茶园对土壤理化性质的影响 [J]. *茶叶学报*, 2018, **59**(4): 205-210.
Chen Y Z, Wang F, Wu Z D, *et al.* Effect of converting forestland to tea plantation on physiochemical properties of soil [J]. *Acta Tea Sinica*, 2018, **59**(4): 205-210.
- [18] Xiong Y M, Xia H P, Li Z A, *et al.* Impacts of litter and understory removal on soil properties in a subtropical *Acacia mangium* plantation in China [J]. *Plant and Soil*, 2008, **304**(1-2): 179-188.
- [19] 杨红, 徐唱唱, 赛曼, 等. 不同土地利用方式对土壤含水量、pH 值及电导率的影响 [J]. *浙江农业学报*, 2016, **28**(11): 1922-1927.
Yang H, Xu C C, Sai M, *et al.* Effects of land use on soil moisture, pH and electrical conductivity [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2016, **28**(11): 1922-1927.
- [20] He S Q, Zheng Z C, Zhu R H. Long-term tea plantation effects on composition and stabilization of soil organic matter in Southwest China [J]. *CATENA*, 2021, **199**, doi: 10.1016/J.CATENA.2020.105132.
- [21] 俞慎, 何振立, 陈国潮, 等. 不同树龄茶树根层土壤化学特性及其对微生物区系和数量的影响 [J]. *土壤学报*, 2003, **40**(3): 433-439.
Yu S, He Z L, Chen G C, *et al.* Soil chemical characteristics and their impacts on soil microflora in the root layer of tea plants with different cultivating ages [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, **40**(3): 433-439.
- [22] 秦川, 何丙辉, 蒋先军. 三峡库区不同土地利用方式下土壤养分含量特征研究 [J]. *草业学报*, 2016, **25**(9): 10-19.
Qin C, He B H, Jiang X J. Soil nutrient characteristics of different land-use types in the Three Gorges reservoir [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, **25**(9): 10-19.
- [23] Shen J B, Yuan L X, Zhang J L, *et al.* Phosphorus dynamics: from soil to plant [J]. *Plant Physiology*, 2011, **156**(3): 997-1005.
- [24] Wang S Q, Li T X, Zheng Z C. Distribution of microbial biomass and activity within soil aggregates as affected by tea plantation age [J]. *CATENA*, 2017, **153**: 1-8.
- [25] 解雪峰, 濮励杰, 王琪琪, 等. 滨海滩涂围垦区不同围垦年限土壤酶活性变化及其与理化性质关系 [J]. *环境科学*, 2018, **39**(3): 1404-1412.
Xie X F, Pu L J, Wang Q Q, *et al.* Response of soil enzyme activities and their relationships with physicochemical properties to different aged coastal reclamation areas, Eastern China [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(3): 1404-1412.
- [26] 高转琴, 王丹, 牛灵安, 等. 冀南平原盐渍化改造区土壤过氧化氢酶活性变化研究 [J]. *土壤通报*, 2019, **50**(6): 1434-1441.
Gao Z Q, Wang D, Niu L A, *et al.* Soil catalase activities in salinized rehabilitation area of the southern Hebei Plain [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2019, **50**(6): 1434-1441.
- [27] 唐海滨, 廖超英, 刘莉莉, 等. 蔬菜大棚土壤脲酶、过氧化氢酶活性与土壤养分的关系 [J]. *干旱地区农业研究*, 2011, **29**(3): 165-168, 179.
Tang H B, Liao C Y, Liu L L, *et al.* Relationship between soil urease, catalase activities and soil nutrient in vegetable greenhouse [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2011, **29**(3): 165-168, 179.
- [28] Wang S Q, Li T X, Zheng Z C. Effects of tea plantation age on soil aggregate-associated C- and N-cycling enzyme activities in the hilly areas of Western Sichuan, China [J]. *CATENA*, 2018, **171**: 145-153.
- [29] 张涵, 贡璐, 刘旭, 等. 氮添加影响下新疆天山雪岭云杉林土壤酶活性及其与环境因子的相关性 [J]. *环境科学*, 2021, **42**(1): 403-410.
Zhang H, Gong L, Liu X, *et al.* Soil enzyme activity in *Picea schrenkiana* and its relationship with environmental factors in the Tianshan Mountains, Xinjiang [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(1): 403-410.
- [30] 吕来新, 宋蕾, 刘志理, 等. 红松人工林土壤酶活性与化学性质对氮添加的响应 [J]. *环境科学*, 2020, **41**(4): 1960-1967.
Lü L X, Song L, Liu Z L, *et al.* Response of soil enzyme activity and chemical properties to nitrogen addition in a Korean Pine plantation [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(4): 1960-1967.
- [31] 朱美玲, 贡璐, 张龙龙. 塔里木河上游典型绿洲土壤酶活性与环境因子相关分析 [J]. *环境科学*, 2015, **36**(7): 2678-2685.
Zhu M L, Gong L, Zhang L L. Soil enzyme activities and their relationships to environmental factors in a typical oasis in the upper reaches of the Tarim River [J]. *Environmental Science*, 2015, **36**(7): 2678-2685.
- [32] 俞慎, 何振立, 张荣光, 等. 红壤茶树根层土壤基础呼吸作用和酶活性 [J]. *应用生态学报*, 2003, **14**(2): 179-183.
Yu S, He Z L, Zhang R G, *et al.* Soil basal respiration and enzyme activities in the root-layer soil of tea bushes in a red soil [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, **14**(2): 179-183.
- [33] 周际海, 郜茹茹, 魏倩, 等. 旱地红壤不同土地利用方式对土壤酶活性及微生物多样性的影响差异 [J]. *水土保持学报*, 2020, **34**(1): 327-332.
Zhou J H, Gao R R, Wei Q, *et al.* Effects of different land use patterns on enzyme activities and microbial diversity in upland red soil [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2020, **34**(1): 327-332.
- [34] 黄容, 高明, 万毅林, 等. 秸秆还田与化肥减量配施对稻-菜轮作下土壤养分及酶活性的影响 [J]. *环境科学*, 2016, **37**(11): 4446-4456.
Huang R, Gao M, Wan Y L, *et al.* Effects of straw in combination with reducing fertilization rate on soil nutrients and enzyme activity in the paddy-vegetable rotation soils [J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(11): 4446-4456.
- [35] de Oliveira Silva É, de Medeiros E V, Duda G P, *et al.* Seasonal effect of land use type on soil absolute and specific enzyme activities in a Brazilian semi-arid region [J]. *CATENA*, 2019, **172**: 397-407.
- [36] 薛冬, 姚槐应, 黄昌勇. 植茶年龄对茶园土壤微生物特性及酶活性的影响 [J]. *水土保持学报*, 2005, **19**(2): 84-87.
Xue D, Yao H Y, Huang C Y. Study on soil microbial properties

- and enzyme activities in tea gardens[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, **19**(2): 84-87.
- [37] 吴汉卿, 张玉龙, 张玉玲, 等. 土壤有机氮组分研究进展[J]. *土壤通报*, 2018, **49**(5): 1240-1246.
- Wu H Q, Zhang Y L, Zhang Y L, *et al.* Soil organic nitrogen fractions: a review[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2018, **49**(5): 1240-1246.
- [38] He H B, Zhang W, Zhang X D, *et al.* Temporal responses of soil microorganisms to substrate addition as indicated by amino sugar differentiation[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, **43**(6): 1155-1161.
- [39] 代依涵, 李渝, 刘彦伶, 等. 不同肥力茶园土壤碳氮养分对施氮量的响应[J]. *中国茶叶*, 2022, **44**(11): 24-31.
- Dai Y H, Li Y, Liu Y L, *et al.* Responses of soil carbon and nitrogen characteristics to nitrogen application in tea gardens with different fertility[J]. *China Tea*, 2022, **44**(11): 24-31.
- [40] Mondal S, Chakraborty D. Soil nitrogen status can be improved through no-tillage adoption particularly in the surface soil layer: a global meta-analysis[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, **366**: 132874.
- [41] 曹杨, 沈育伊, 陈运霜, 等. 生物炭施用5a后对桂北桉树人工林土壤有机氮组分和活性氮的影响[J]. *环境科学*, 2023, **44**(11): 6235-6247.
- Cao Y, Shen Y Y, Chen Y S, *et al.* Effects of biochar application on soil organic nitrogen component and active nitrogen in eucalyptus plantations after five years in northern Guangxi[J]. *Environmental Science*, 2023, **44**(11): 6235-6247.
- [42] Schulten H R, Schnitzer M. The chemistry of soil organic nitrogen: a review[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1997, **26**: 1-15.
- [43] 姜慧敏, 李树山, 张建峰, 等. 外源化肥氮素在土壤有机氮库中的转化及关系[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, **20**(6): 1421-1430.
- Jiang H M, Li S S, Zhang J F, *et al.* Transformation of external chemical nitrogen in soil organic nitrogen fractions and their relationship[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, **20**(6): 1421-1430.
- [44] Li L L, Li S T. Nitrogen mineralization from animal manures and its relation to organic N fractions[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, **13**(9): 2040-2048.
- [45] 张玉玲, 陈温福, 虞娜, 等. 长期不同土地利用方式对潮棕壤有机氮组分及剖面分布的影响[J]. *土壤学报*, 2012, **49**(4): 740-747.
- Zhang Y L, Chen W F, Yu N, *et al.* Effect of long-term land use on fractionation and profile distribution of organic nitrogen in aquatic brown soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2012, **49**(4): 740-747.
- [46] Li Z L, Zeng Z Q, Tian D S, *et al.* Global variations and controlling factors of soil nitrogen turnover rate[J]. *Earth-Science Reviews*, 2020, **207**, doi: 10.1016/j.earscirev.2020.103250.
- [47] 韩文炎, 徐建明. 茶园土壤 NO_3^- -N含量与净硝化速率的研究[J]. *茶叶科学*, 2011, **31**(6): 513-520.
- Han W Y, Xu J M. NO_3^- -N concentration and net nitrification rate in tea soils[J]. *Journal of Tea Science*, 2011, **31**(6): 513-520.
- [48] 王大鹏, 郑亮, 吴小平, 等. 旱地土壤硝态氮的产生、淋洗迁移及调控措施[J]. *中国生态农业学报*, 2017, **25**(12): 1731-1741.
- Wang D P, Zheng L, Wu X P, *et al.* Review of soil nitrate formation, leaching transport and their control measures in upland farming systems[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, **25**(12): 1731-1741.
- [49] Bateman E J, Baggs E M. Contributions of nitrification and denitrification to N_2O emissions from soils at different water-filled pore space[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2005, **41**(6): 379-388.
- [50] Qualls R G. Comparison of the behavior of soluble organic and inorganic nutrients in forest soils[J]. *Forest Ecology and Management*, 2000, **138**(1-3): 29-50.
- [51] 宋震震, 李絮花, 李娟, 等. 有机肥和化肥长期施用对土壤活性有机氮组分及酶活性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, **20**(3): 525-533.
- Song Z Z, Li X H, Li J, *et al.* Long-term effects of mineral versus organic fertilizers on soil labile nitrogen fractions and soil enzyme activities in agricultural soil[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, **20**(3): 525-533.
- [52] 郑欢颖, 余汉基, 薛立, 等. 外源性氮和磷添加对马尾松凋落叶分解及土壤特性的影响[J]. *生态环境学报*, 2017, **26**(10): 1710-1718.
- Zheng X Y, She H J, Xue L, *et al.* Effects of N and P additions on decomposition of needle litter and soil characteristics in *Pinus massoniana* woodland[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2017, **26**(10): 1710-1718.
- [53] Sardans J, Janssens I A, Ciais P, *et al.* Recent advances and future research in ecological stoichiometry[J]. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2021, **50**, doi: 10.1016/j.ppees.2021.125611.
- [54] Wang R Z, Bicharanloo B, Hou E Q, *et al.* Phosphorus supply increases nitrogen transformation rates and retention in soil: a global meta-analysis[J]. *Earth's Future*, 2022, **10**(3), doi: 10.1029/2021EF002479.
- [55] Zhang W, Zhu X, Luo Y, *et al.* Responses of nitrous oxide emissions to nitrogen and phosphorus additions in two tropical plantations with N-fixing vs. non-N-fixing tree species[J]. *Biogeosciences*, 2014, **11**(18): 4941-4951.
- [56] Chen H, Gurmessa G A, Zhang W, *et al.* Nitrogen saturation in humid tropical forests after 6 years of nitrogen and phosphorus addition: hypothesis testing[J]. *Functional Ecology*, 2016, **30**(2): 305-313.
- [57] Sun Y, Wang C T, Chen X L, *et al.* Phosphorus additions imbalance terrestrial ecosystem C:N:P stoichiometry[J]. *Global Change Biology*, 2022, **28**(24): 7353-7365.
- [58] Feng J G, Zhu B. A global meta-analysis of soil respiration and its components in response to phosphorus addition[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2019, **135**: 38-47.

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)