

北京城区PM_{2.5}各组分污染特征及来源分析

安欣欣, 曹阳, 王琴, 富佳明, 王陈婧, 景宽, 刘保献



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年5月

第43卷 第5期
Vol.43 No.5

目次

北京城区 PM _{2.5} 各组分污染特征及来源分析	安欣欣, 曹阳, 王琴, 富佳明, 王陈婧, 景宽, 刘保献 (2251)
基于时空混合效应模型的京津冀 PM _{2.5} 浓度变化模拟	范丽行, 杨晓辉, 宋春杰, 李梦诗, 段继福, 王卫, 李夫星, 李伟妙 (2262)
2000~2018 年京津冀城市群 PM _{2.5} 时空演变及其与城市扩张的关联	赵安周, 相恺政, 刘宪锋, 张向蕊 (2274)
海-陆大气交汇作用下青岛冬季大气 PM _{2.5} 污染特征与来源解析	虞雄, 杨凌霄, 张婉, 齐安安, 王滢铭, 王鹏程, 黄琦, 赵彤, 张雄飞, 徐鹏, 张天琪, 王文兴 (2284)
硫酸盐非均相机制对颗粒物污染的影响: 上海典型污染事件的 WRF-Chem 模拟	张茹涵, 张皓然, 冯伟航, 汤克勤, 马亚平, 王红丽, 黄成, 胡建林, 张宏亮, 李楠 (2294)
省会城市不同功能区大气 PM _{2.5} 化学组分季节变化及来源分析	孙友敏, 范晶, 徐标, 李彦, 韩红, 张桂芹 (2304)
太原市冬季不同污染程度下 PM _{2.5} 的化学组成、消光特征及氧化潜势	任娇, 赵荣荣, 王铭, 张欢欢, 尹诗杰, 薛永刚 (2317)
郑州市冬季大气 PM _{2.5} 金属元素来源及健康风险评价	姚森, 王乾恒, 薛妍, 史来文, 张俊美, 杨书申 (2329)
淄博市冬季 PM _{2.5} 载带金属元素污染特征、生态风险评价及来源分析	白雯宇, 徐勃, 郭丽瑶, 殷宝辉, 马银红, 李丽明, 杨文, 赵雪艳 (2336)
承德市 PM _{2.5} 中多环芳烃的季节分布特征、来源解析及健康风险评价	贺博文, 聂赛赛, 李仪琳, 郭睿瑶, 姚波, 崔建升, 冯亚平, 王帅, 侯晓松 (2343)
珠三角大气中二噁英污染水平与区域迁移	付建平, 谢丹平, 黄锦琼, 杨艳艳, 冯桂贤, 周长风, 廖海婷, 青亮, 张漫雯, 吴明亮, 张素坤 (2355)
华北平原南部农村地区黑碳气溶胶浓度及来源	张玲, 孔少飞, 郑煌, 胡尧, 曾昕, 程溢, 祁士华 (2363)
基于模式过程分析技术天津地区 PM _{2.5} 污染气象成因分析	郝团, 蔡子颖, 韩素芹, 杨旭, 樊文雁, 姚青, 邱晓滨 (2373)
基于排放量和大气反应活性的 VOCs 污染源分级控制	陈鹏, 张月, 邢敏, 李珊珊 (2383)
基于复杂网络的中国臭氧拓扑特征	菅娜, 陈建华, 李冬, 王迪, 薛志钢 (2395)
基于前体物多情景排放的兰州市 2030 年夏季臭氧预测	陈天雷, 吴敏, 潘成珂, 常莉敏, 李洪, 刘鹏, 高宏, 黄韬, 马建民 (2403)
基于源反演和气溶胶同化方法天津空气质量模式预报能力改进	蔡子颖, 唐邈, 肖致美, 杨旭, 朱玉强, 韩素芹, 徐虹, 邱晓滨 (2415)
基于空气质量监测数据的钢铁行业污染源识别方法	石耀耀, 胡京南, 褚咏昕, 段青春, 胡丙鑫, 殷丽娜, 吕玲玲 (2427)
重污染天气应对“绩效分级、差异化管控”措施首次实践效果后评估	曾景海, 王灿 (2436)
黄河流域水污染风险分区	周夏飞, 曹国志, 於方, 杨威杉, 徐泽升 (2448)
黄河流域甘肃段工业行业水污染物空间排放特征	李雪迎, 杨曦, 乔琦, 刘丹丹, 张玥, 赵若楠, 白璐 (2459)
黄河沉积物重金属时空分布与污染评价	王超群, 潘保柱, 韩语, 王雨竹, 李晨辉, 杜蕾 (2467)
APCS-MLR 结合 PMF 模型解析厦门杏林湾近郊流域沉积物金属来源	沈宸宇, 闫钰, 于瑞莲, 胡恭任, 崔建勇, 颜妍, 黄华斌 (2476)
河流底泥 DOM、营养盐与重金属空间分异特征及响应关系	肖艳春, 于会彬, 宋永会 (2489)
太原市汾河河岸带土壤重金属分布特征、评价与来源解析	胡杰, 赵心语, 王婷婷, 苟奎贤, 王春玲 (2500)
洪泽湖溶解态有机质与重金属汞的结合特性	胡斌, 王沛芳, 张楠楠, 包天力, 金秋彤 (2510)
富营养化驱动下西凉湖百年生态演化轨迹	郑佳楠, 徐敏, 郑文秀, 朱可欣, 王荣, 张恩楼 (2518)
基于 DGT 技术的黄河上游典型水库沉积物氮磷释放与污染源解析	马玉坤, 朱翔, 庞晴晴, 孔明, 韩天伦, 彭福全, 谢磊, 汪龙眠, 徐斌, 何斐 (2527)
暴雨前后河南北部河流水质分异特征及其污染源解析	张彦, 邹磊, 梁志杰, 姜明, 李平, 黄仲冬, 齐学斌 (2537)
鄱阳湖流域水葫芦 (<i>Eichhornia crassipes</i>) 对水体微塑料的吸附截留效应	李文刚, 吴希恩, 简敏菲, 刘淑丽, 刘海球, 丁惠君 (2548)
太湖塑料添加剂时空分布和生态风险评价	刘舒娇, 丁剑楠, 石波哲, 张军毅, 庄严, 邹华 (2557)
骆马湖表层沉积物微塑料的分布、来源及储量	姚明轩, 白雪, 徐振佳, 李凤杰, 陆滢, 李畅, 华祖林 (2566)
太湖不同介质中磷的污染特征及其治理启示	蔡梅, 陆志华, 王元元, 钱旭 (2575)
辽河四平段流域河流沉积物微生物群落多样性和结构分析	李鹏洋, 安启睿, 王新皓, 孙思宇, 李青乾, 郑娜 (2586)
面源污染诱导嘉陵江沉积物中细菌群落结构与功能异变	薛玉琴, 徐飞, 刘坤和, 王佳颖, 竹兰萍, 朱志豪, 张拓 (2595)
微塑料对沉积物细菌群落组成和多样性的影响	李汶璐, 王志超, 杨文煊, 张博文, 李卫平 (2606)
白洋淀冬季沉积物好氧反硝化菌垂直分布特征及群落构建	张甜娜, 陈召莹, 张紫薇, 周石磊, 孟佳靖, 陈哲, 张一凡, 董宛佳, 崔建升 (2614)
人工诱导水库分层水体提前混合对细菌群落结构和代谢活性的影响	高悦, 黄廷林, 李楠, 齐允之, 司凡, 杨斌 (2624)
鄱阳湖典型区铜锈环螺体内微塑料分布特征	江为群, 胡启武, 简敏菲, 邹龙, 刘淑丽 (2633)
负载多壁碳纳米管的多孔 Ti/SnO ₂ -Sb-Ni 电极电催化氧化双酚 A	符远航, 刘安迪, 黄伟斌, 唐彬彬, 张进忠 (2640)
磁性 Mn _{0.6} Zn _{0.4} Fe ₂ O ₄ 催化 H ₂ O ₂ 降解亚甲基蓝效能及机制	徐冬莹, 余静, 郝旗, 杨迎春, 方淑红 (2650)
两种纳米颗粒对沸石吸附环丙沙星的影响	蒋兰翠, 孟昭福, 刘贤, 刘欣, 王新欣, 曹雪雯 (2662)
AMD 污泥复合材料吸附 As(V) 的机制及其影响因素	张亚辉, 张瑞雪, 吴攀, 陈世万, 杨艳, 安丽, 傅渝然, 张子豪 (2673)
三氯生及其降解中间产物对活性污泥中微生物群落变化和硝化反硝化功能基因的影响	卢英源, 董小琦, 彭星星, 贾晓珊 (2685)
污染场地风险管控可持续评价指标体系构建及关键影响因素分析	李笑诺, 易诗懿, 陈卫平 (2699)
基于生态功能的滨海湿地土壤质量综合评价方法构建及实证分析	张雪, 孔范龙, 姜志翔 (2709)
铜山矿区周边农田土壤重金属来源解析及污染评价	陈航, 王颖, 王澍 (2719)
典型铁、锰矿物对稻田土壤砷形态与酶活性的影响	周一敏, 黄雅媛, 刘凯, 赵儒乐, 李冰玉, 雷鸣 (2732)
两种油菜施肥水溶性壳聚糖修复典型铅污染农田土壤	孟晓飞, 郑国砥, 陈同斌, 杨俊兴, 郭俊梅, 刘杰 (2741)
基于贝叶斯理论的小麦籽粒镉铅超标风险预测	王天齐, 李艳玲, 杨阳, 牛硕, 王美娥, 陈卫平 (2751)
紫色土旱坡地油菜/玉米轮作下氮流失的年度变化特征	徐曼, 高明, 余添, 朱浩宇, 邓华, 王子芳 (2758)
不同原料生物炭的理化特性及其作炭基肥缓释载体的潜力评价	邢莉彬, 成洁, 耿增超, 张宏伟, 梁宏旭, 王强, 孙倩倩, 李艳 (2770)
木醋液酸化生物炭与氮素配施对盐渍土壤活性氮及氨挥发的影响	申书伟, 张丹丹, 王敏鸽, 王旭东 (2779)
生物可降解地膜覆盖对关中地区小麦-玉米农田温室气体排放的影响	郭怡婷, 罗晓琦, 王锐, 陈海心, 冯浩 (2788)
戴云山南坡不同海拔森林土壤微生物群落结构特征和影响因素	何中声, 王紫薇, 朱静, 陈佳嘉, 谷新光, 江蓝, 陈博, 吴则焰, 刘金福, 陈文伟 (2802)
模拟增温和降雨增加对撂荒草地土壤胞外酶活性及计量特征的影响	王兴, 钟泽坤, 简俊楠, 张硕宏, 杨改河, 任成杰, 冯永忠, 任广鑫, 王晓娇, 韩新辉 (2812)
中国主要城市的城市化对局地增温的贡献	李宇, 周德成, 闫章美, 张良侠 (2822)
《环境科学》征订启事 (2293)	
《环境科学》征稿简则 (2426)	
信息 (2585, 2672, 2708)	

紫色土旱坡地油菜/玉米轮作下氮流失的年际变化特征

徐曼¹, 高明¹, 余砾², 朱浩宇³, 邓华¹, 王子芳^{1*}

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400715; 2. 重庆市璧山区防汛抗旱调度中心, 重庆 402760; 3. 江苏省东海县农业农村局, 东海 222300)

摘要:明确三峡库区紫色土旱坡地氮流失的年际变化特征,为库区的施肥管理措施和面源污染治理提供参考.依托中国科学院成都山地灾害与环境研究所三峡库区试验站,于2018~2020年连续3 a设置不施肥(CK)、常规施肥(F)、优化施肥(OF)、化肥减量配施生物炭(BF)和化肥减量配施秸秆覆盖(SF)5种处理,研究紫色土旱坡地在油菜-玉米轮作模式下氮流失的年际变化特征.结果表明:①三峡库区紫色土旱坡地地表径流主要发生在5月和8月,壤中流主要发生在6~10月.2018~2020年降雨量逐年增加,各处理地表径流流量逐年减少,壤中流流量大致呈逐年增加的趋势,年尺度下,壤中流流量和产流次数均高于地表径流.②2018~2020年每年各形态氮的最高流失浓度出现时间大概一致,地表径流全氮、铵态氮和硝态氮最高流失浓度分别出现在5、8~10和7月,壤中流各形态氮最高流失浓度分别出现在10、10和5~7月.③地表径流各形态氮流失通量呈逐年降低趋势,壤中流各形态氮流失通量大致逐年增加.④生物炭和秸秆还田第一年降低氮流失通量的效果较好,但后续两年还田反而加剧了氮素流失通量.因此,三峡库区紫色土旱坡地施肥时应考虑该区域具有降雨集中性的特点,在氮素流失风险期(5~10月)加强肥料管理,分时期有针对性施肥,生物炭和秸秆还田的同时采取有效的拦截措施以控制养分流失和农业面源污染.

关键词:紫色土旱坡地; 地表径流; 壤中流; 氮流失; 生物炭; 秸秆

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)05-2758-12 DOI: 10.13227/j.hjks.202107155

Interannual Variation Characteristics of Nitrogen Loss Under Rapeseed/Maize Rotation in Purple Soil Sloping Field

XU Man¹, GAO Ming¹, YU Luo², ZHU Hao-yu³, DENG Hua¹, WANG Zi-fang^{1*}

(1. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Flood Control and Drought Relief Dispatching Center, Bishan District, Chongqing City, Chongqing 402760, China; 3. Jiangsu Agriculture and Rural Bureau of Donghai County, Donghai 222300, China)

Abstract: The aim of this study was to clarify the inter-annual characteristics of nitrogen loss in a purple soil sloping field in the Three Gorges Reservoir area and to provide references for fertilization management measures and non-point source pollution control in the reservoir area. Relying on the Three Gorges Reservoir Experimental Station of the Chengdu Institute of Mountains and Disasters of the Chinese Academy of Sciences, the experimental treatments included no fertilization (CK), conventional fertilization (F), optimum fertilization (OF), reduced fertilizer with biochar (BF), and reduced fertilizer with straw (SF) for three consecutive years from 2018 to 2020 to study the inter-annual variation characteristics of nitrogen loss in the purple soil sloping field under the rape-maize rotation model. The results showed that: ① the surface runoff of the purple soil sloping field in the Three Gorges Reservoir area mainly occurred from May to August, and the subsurface flow mainly occurred from June to October. From 2018 to 2020, rainfall increased yearly, the surface runoff flow of each treatment decreased yearly, and the flow of abortion in the soil generally increased yearly. On the annual scale, the subsurface flow in the soil and the number of runoffs were higher than that of the surface runoff. ② From 2018 to 2020, the highest loss concentration of various forms of nitrogen appeared simultaneously. The highest loss concentrations of total nitrogen, ammonium nitrogen, and nitrate nitrogen in surface runoff appeared in May, August to October, and July, respectively. The highest concentration of nitrogen loss of various forms of subsurface flow appeared in October, October, and May to July, respectively. ③ The loss flux of various forms of nitrogen in surface runoff showed a decreasing trend annually, and the loss of various forms of nitrogen in subsurface flow roughly increased annually. ④ Biochar and straw returned to the field were more effective in reducing the nitrogen loss flux in the first year; conversely, returning to the field in the following two years increased the nitrogen loss flux. Therefore, when fertilizing purple soil sloping land in the Three Gorges Reservoir area, it is necessary to consider the rainfall concentration characteristics of the area, strengthen fertilizer management during the period of nitrogen loss risk (May to October), and fertilize in different periods. It is also important to take effective interception measures when returning straw to the field to control nutrient loss and agricultural non-point source pollution.

Key words: purple soil sloping field; overland flow; interflow; nitrogen loss; biochar; straw

三峡库区作为我国长江中上游的重要生态功能区,对整个长江流域的水环境安全和生态环境安全起着举足轻重的作用^[1~3].目前,三峡库区泥沙侵蚀和水环境形势严峻.据资料统计,三峡库区发生土壤侵蚀和水土流失的面积分别占库区总面积的88.0%和82.9%^[4],严重的土壤侵蚀是导致库区土壤发生退化的重要原因,而水土流失不仅导致土壤退化、土地生产力降低,还会阻塞河道、加剧洪涝

灾害和造成水体污染^[5~7].紫色土旱坡地作为三峡库区的主要耕地类型,具有土层薄、结构松散、易

收稿日期: 2021-07-19; 修订日期: 2021-09-27

基金项目: 重庆市技术创新与应用示范专项重点研发项目(cstc2018jscx-mszdX0061); 国家重大水利工程建设基金三峡后续工作科研基金项目(5001022019CF50001); 国家重点研发计划项目(2017YFD0800101)

作者简介: 徐曼(1999~),女,硕士研究生,主要研究方向为土壤质量与环境, E-mail: 592854581@qq.com

* 通信作者, E-mail: zifangw@126.com

风化和抗蚀性差等特点^[8],被认为是三峡库区泥沙侵蚀和面源污染的主要策源地,探究紫色土旱坡地不同施肥处理下氮流失的年际变化特征对于科学精准施肥、控制土壤养分流失和防治库区面源污染具有重要意义。

近年来,由于农业生产中不当施肥造成的面源污染等问题受到社会的广泛关注,其中多是氮肥的不合理施用^[9~11]。氮素既是农田肥力的主要限制因子,同时也是重要的环境污染来源^[12]。农田中盈余的氮素通过径流、淋溶、氨挥发和反硝化等途径损失,其中径流是农田氮素流失的主要途径,引发地下水污染和水体富营养化等一系列水环境问题^[13~15]。有研究表明,农田氮素流失量与施肥量存在密切联系,每公顷土壤增施 1 kg 氮素,径流中通过冲刷作用流失的氮素将增加 0.56~0.72 kg^[16]。有机无机肥配施已被证实可减少土壤侵蚀、控制养分流失和节肥增效方面具有良好的应用效果^[17,18]。通过对生物炭和秸秆在土壤改良以及土壤养分元素循环机制的探索,人们发现生物炭和秸秆在降低土壤氮素流失风险方面具有一定的潜力^[19,20]。Wang 等^[21]的研究发现,化肥减量配施秸秆可有效降低地表氮流失量,但不同种类秸秆其还田效果存在差异。斯林林等^[22]通过田间试验,发现生物炭配施控释肥和稳定性肥显著消减了氮素径流流失,有效降低区域稻田氮素面源流失风险。

目前,在自然降雨-产流条件下,关于三峡库区紫色土旱坡地的氮素流失年际变化特征及其影响因素的研究较少,对库区土壤质量下降和面源污染等问题难以做出准确评价和治理。因此,本文通过田间小区定位试验,以三峡库区常见的“油菜-玉米”轮作模式,连续 3 a 设置不施肥(CK)、常规施肥(F)、优化施肥(OF)、化肥减量配施生物炭(BF)和化肥减量配施秸秆覆盖(SF)这 5 种处理,探究三峡库区紫色土旱坡地不同年份连续施肥下氮素迁移的年际变化特征,旨在为改善库区农田土壤质量、降低农业面源污染风险和农业的可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

小区位于重庆市忠县石宝寨的中国科学院成都山地灾害与环境研究所三峡库区水土保持与环境

研究试验站(108°10'E,30°22'N),地处三峡库区的腹心地带。该区域属亚热带东南季风区山地气候,雨量充沛,日照充足,年均温度 19.2℃,2018~2020 年降雨量如图 1 所示,2018、2019 和 2020 年累计降雨量分别为 894.68、919.06 和 1 169.4 mm。

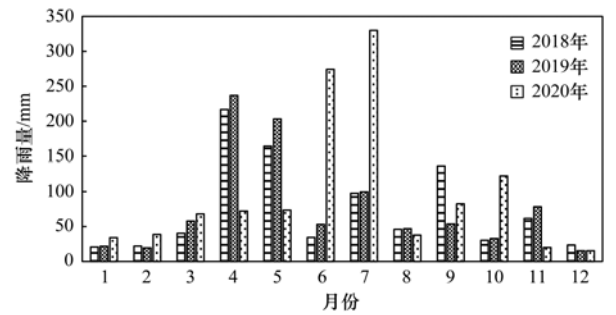


图 1 2018~2020 年研究区降雨量
Fig. 1 Rainfall in the study area from 2018 to 2020

1.2 试验设计

各试验小区是坡度为 15°,投影面积为 100 m² (20 m×5 m)的长方形,底面以及四周均为混凝土修筑。在小区出水口设置汇流沟以收集壤中流和地表径流,各小区外安装壤中流和地表径流的集水桶,同时在集流桶旁添加分流桶以防降雨量过大径流溢出,具体装置见图 2。本试验共设置 5 个处理,3 个重复:①不施肥(CK)、②常规施肥(F)、③优化施肥(OF)、④化肥减量配施生物炭(BF)和⑤化肥减量配施秸秆覆盖(SF),其中优化施肥是当地农业部门通过测土配方施肥技术提供的施肥方案。生物炭是由玉米秸秆在 450~500℃下热解制得的,ω(TN)为 5.20 g·kg⁻¹,ω(TP)为 3.10 g·kg⁻¹;玉米秸秆购自试验小区周围农户,还田时将晒干的秸秆截成 10 cm 左右,ω(TN)为 8.23 g·kg⁻¹,ω(TP)为 3.15 g·kg⁻¹。供试土壤是人工填装的未利用的新垦紫色土,基本理化性质见表 1。

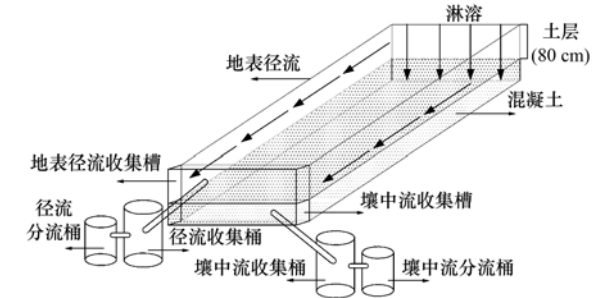


图 2 径流小区设计
Fig. 2 Schematic diagram of runoff plot design

表 1 供试土壤基本理化性质								
Table 1 Basic physical and chemical properties of tested soil								
项目	pH	$\omega/\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$						
		有机质	TN	TP	TK	AN	AP	AK
数值	8.27	7 030	510	720	31 790	26.45	8.15	106.99

本试验开展时间为 2017 年 10 月至 2020 年 10 月,连续 3 a 进行当地常见的“油菜-玉米两熟”轮作模式,不同年份各试验小区下垫面情况基本一致.油菜季氮肥的施用情况为:分基肥和基肥两次施用(基肥占 80%),磷肥、钾肥和硼肥作为基

肥一次性施入.玉米季氮肥施用的情况与油菜一致,磷、钾肥作基肥一次性施入,肥料均是于谷雨前后撒施.各处理每年的施肥方式和田间管理模式相同,具体的施肥、播种和收获时间见表 2,施肥量见表 3.

表 2 各施肥处理的施肥、播种和收获时间

Table 2 Time of fertilization, sowing and harvest of each fertilization treatment

作物	试验年份	生长日期(年-月-日)		施肥日期(年-月-日)	
		播种期	收获期	基肥施用期	追肥施用期
油菜	2018	2017-10-23	2018-04-29	2017-11-07	2017-12-05
	2019	2018-10-15	2019-04-30	2018-10-27	2018-11-20
	2020	2019-11-01	2020-04-27	2019-11-06	2019-12-03
玉米	2018	2018-04-13	2018-07-20	2018-04-20	2018-04-27
	2019	2019-04-10	2019-08-02	2019-04-16	2019-05-03
	2020	2020-04-09	2020-07-26	2020-04-24	2020-05-11

表 3 各处理施肥量/kg·hm⁻²

Table 3 Amount of fertilizer applied in each treatment/kg·hm⁻²

项目	处理	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	硼砂	生物炭	秸秆
油菜季	CK	—	—	—	—	—	—
	F	150	90	90	15	—	—
	OF	120	75	90	15	—	—
	BF	102	63.75	63.75	15	10 000	—
	SF	102	63.75	63.75	15	—	4 500
玉米季	CK	—	—	—	—	—	—
	F	300	150	135	—	—	—
	OF	270	120	105	—	—	—
	BF	229.5	102	89.25	—	10 000	—
	SF	229.5	102	89.25	—	—	4 500

1.3 样品采集与分析方法

1.3.1 水样采集

每次降雨结束后若有产流都要立即进行采样.采样时,先分别测定各小区集水桶中的水位,以此计算各小区地表径流和壤中流的产流量.随后,用塑料瓶分别采集水桶中地表径流和壤中流的水样.采集水样时都要先将水样搅拌均匀,其中采集地表水样时在搅拌均匀后要迅速采集泥沙和水样混合样,而采集壤中流时在搅拌均匀后应让水体静置至悬浮物沉淀后再取水样.每次采样完成后,立即对各种形态氮养分含量进行测定.降雨量数据从试验站人工气象降雨观测平台获取,降雨观测仪器为虹吸式雨量计,实时记录降雨量及降雨过程等数据.

1.3.2 土样采集

采用梅花形多点取样法在小区中随机采集表层土(0~20 cm),四分法将土样进行混合后取约 1 kg 鲜土带回实验室,将土样去除杂物后自然风干、研磨、过筛,用于分析土壤的基本理化性质,其测定方法主要参照文献[23].

1.4 测定指标与方法

水样测定指标包括总氮(TN)、溶解性总氮

(DTN)、铵态氮(NH₄⁺-N)和硝态氮(NO₃⁻-N),其中 TN 直接用未过滤水样测定;DTN、NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 需将水样过 0.45 μm 滤膜进行抽滤后测定. TN 采用碱性过硫酸钾消化-紫外分光光度法,DTN 采用碱性过硫酸钾消化-紫外分光光度法测定,NH₄⁺-N 采用纳氏试剂比色法测定,NO₃⁻-N 采用紫外分光光度法测定,颗粒态氮(PN)=总氮(TN)-溶解性总氮(DTN).

1.5 数据处理

采用 SPSS 23.0 软件对数据进行统计分析,各处理间的差异显著性采用 LSD 法进行分析(P<0.05);数据基础处理和作图分别采用 Excel 2016 和 Origin 2018 进行.

2 结果与分析

2.1 紫色土旱坡地不同施肥处理下径流量和侵蚀产沙的年际变化特征

2.1.1 紫色土旱坡地不同施肥处理下径流量的年际变化特征

如表 4 所示,各处理地表径流量均呈现出:2018 年>2019 年>2020 年,其中 CK、F、OF 处理年际之

间差异显著. 另外,相较于其他处理,SF 处理显著降低了地表径流量. CK、F 处理壤中流径流量呈现出: 2020 年 > 2018 年 > 2019 年,OF、BF 和 SF 处理壤中流径流量均是 2020 年最高,2018 年最低,与年降雨量变化趋势一致.

由图 3 可知,2018 ~ 2020 年各处理地表径流产

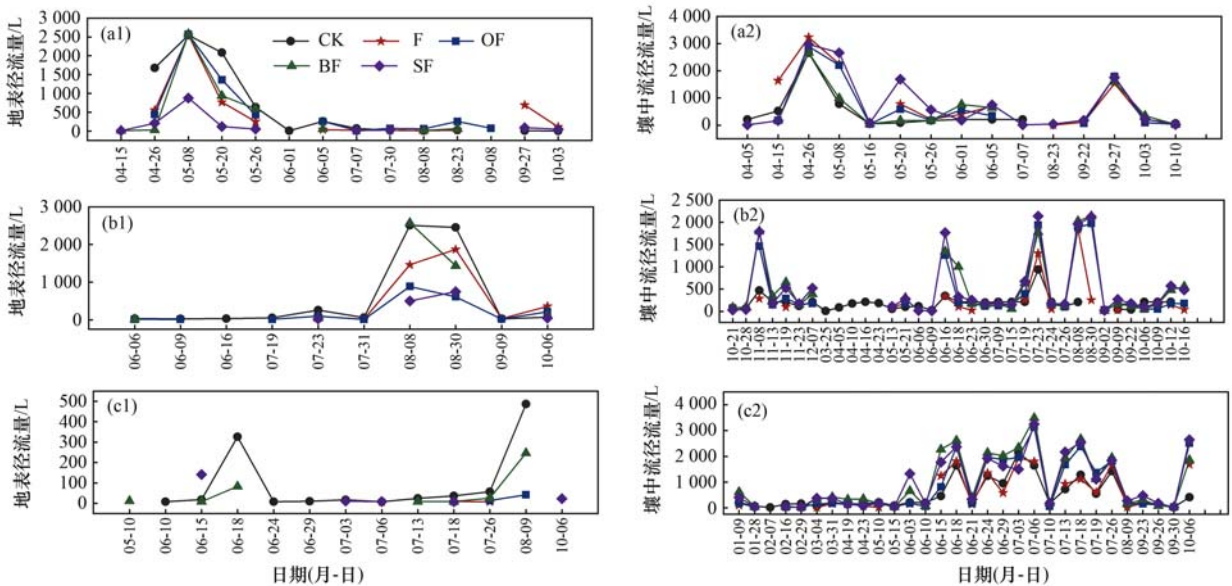
流次数和产流量远低于壤中流,说明壤中流是紫色土旱坡地径流的主要输出途径. 另外,各处理地表径流主要集中在 5 月和 8 月. 观察 2018 ~ 2020 年壤中流产流特征发现,各处理壤中流主要集中在 6 ~ 10 月,2019 和 2020 年壤中流产流次数远远超过 2018 年,且 2019 年壤中流产流次数最多,2018 年最少.

表 4 2018 ~ 2020 年各处理径流量¹⁾/L

Table 4 Runoff in each treatment from 2018 to 2020/L

处理	年份	地表径流	壤中流	总径流量
CK	2018	7 357.46 ± 535.00a	7340.38 ± 642.10b	14 697.85 ± 1 177.08a
	2019	5 520.69 ± 264.01b	6 138.30 ± 610.69b	11 658.98 ± 346.83b
	2020	1 001.49 ± 181.90c	15 288.98 ± 1 786.49a	16 290.47 ± 1 968.23a
F	2018	5 066.28 ± 247.33a	11 047.31 ± 897.99b	16 113.59 ± 650.71a
	2019	3 831.39 ± 167.13b	5 039.71 ± 271.15c	8 871.10 ± 106.67b
	2020	23.97 ± 4.75c	15 736.52 ± 1847.94a	15 760.49 ± 1 852.69a
OF	2018	5 532.39 ± 260.32a	8 971.56 ± 780.57b	14 503.95 ± 520.35b
	2019	1 885.78 ± 127.01b	11 775.71 ± 1 290.87b	13 661.49 ± 1 417.83b
	2020	55.77 ± 15.97c	23 946.78 ± 2 213.50a	24 002.55 ± 2 198.03a
BF	2018	4 285.91 ± 134.55a	7 606.83 ± 413.13c	11 892.74 ± 278.58c
	2019	4 173.94 ± 219.31a	15 143.63 ± 1 295.38b	19 317.58 ± 1 076.82b
	2020	393.05 ± 39.53b	28 668.07 ± 1 670.42a	29 061.12 ± 1 631.22a
SF	2018	1 455.74 ± 147.96a	11 323.64 ± 900.0c	12 779.38 ± 1 047.90c
	2019	1 314.47 ± 197.46a	15 552.19 ± 1 319.03b	16 866.66 ± 1 121.57b
	2020	191.73 ± 38.68b	27 384.25 ± 1 757.00a	27 575.98 ± 1 718.32a

1) 不同小写字母表示同一处理不同年份之间差异显著 ($P < 0.05$)



(a) 2017 ~ 2018 年, (b) 2018 ~ 2019 年, (c) 2019 ~ 2020 年

图 3 各处理地表径流量和壤中流径流量

Fig. 3 Surface runoff flux and subsurface runoff flux in each treatment

2.1.2 紫色土旱坡地不同施肥处理下侵蚀产沙的年际变化特征

从表 5 可以看出,F、BF 和 SF 处理产沙量呈现:2019 年 > 2018 年 > 2020 年,且 BF 处理每年的产沙量均高于 F 和 SF 处理. 2018 ~ 2020 年各施肥处理总产沙量呈现出:CK > BF > F > OF > SF. 其中,SF 处理产沙量低于其他处理,且存在显著差异性,

分别较 F 和 OF 处理降低了 65.54% 和 60.53%,而 BF 处理分别较 F 和 OF 处理显著提高了 183.99% 和 252.25%.

2.2 不同施肥处理颗粒态氮流失的年际变化特征

由图 4 可知,2018 年各处理颗粒态氮流失浓度以 4 ~ 5 月较高,与同年地表径流产流特征一致,2019 年各处理颗粒态氮流失主要集中在下半年,

表 5 不同施肥处理的产沙量¹⁾/kg
Table 5 Sediment yield from different fertilization treatments/kg

处理	2018 年	2019 年	2020 年	总计
CK	139.00 ± 13.2a	15.08 ± 1.01b	21.75 ± 1.52b	170.83 ± 10.64A
F	16.50 ± 1.24b	32.94 ± 3.27a	2.91 ± 0.87c	52.35 ± 4.37B
OF	27.40 ± 1.02a	12.79 ± 1.34b	5.52 ± 1.61c	45.71 ± 3.16B
BF	22.20 ± 2.51b	115.67 ± 9.51a	10.80 ± 6.21b	148.67 ± 6.58A
SF	7.15 ± 0.92a	7.75 ± 0.82a	3.14 ± 0.84b	18.04 ± 3.81C

1) 不同大写字母表示不同处理之间差异显著,不同小写字母表示同一处理下不同年份之间差异显著($P < 0.05$)

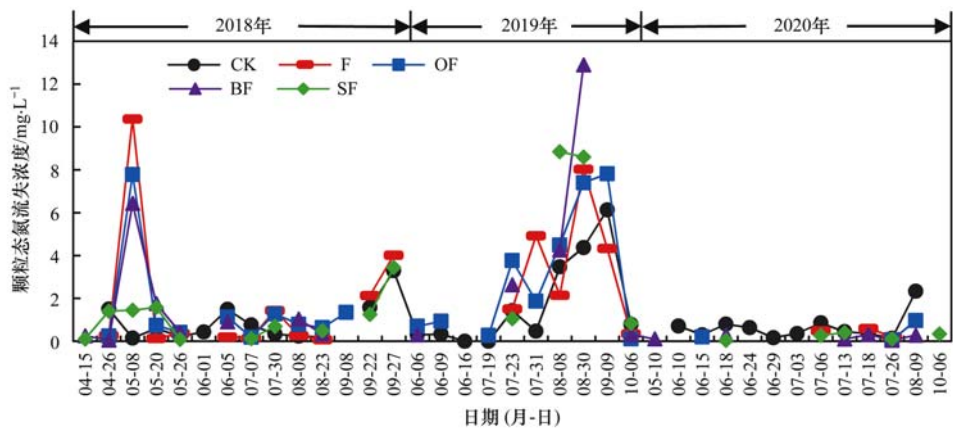


图 4 各处理颗粒态氮流失浓度变化

Fig. 4 Changes in the loss concentration of particulate nitrogen in each treatment

2020 年各处理颗粒态氮流失浓度整体处于较低水平. 分析颗粒态氮流失浓度的年际变化发现(图 5), 各处理均呈现出: 2019 年 > 2018 年 > 2020 年, 除 CK 外, 其余处理颗粒态氮流失浓度年度之间均存在明显差异.

2.3 不同施肥处理全氮流失的年际变化特征

从图 6(a)可以看出, 各处理在试验期内地表径流全氮流失主要集中在每年的 4~5 月和 8~9 月, 这与地表径流产流特征基本一致. 比较 3 年的地表径流全氮流失浓度特征发现, 各处理在 2018、2019 和 2020 年最高流失浓度分别出现在 5、8 和 6~7 月. 相较于 2018 年和 2019 年, 各处理 2020 年地表径流全氮流失浓度较低. 在图 6(b)中, 各处理在

2018、2019 和 2020 年壤中流全氮最高流失浓度分别出现在 10、10 和 5 月. 另外, 2020 年各处理的全氮流失浓度峰值均小于其他年份峰值. 在图 7(a)中, 除 CK 外, 其余处理地表径流全氮流失的年际变化均是: 2019 年 > 2018 年 > 2020 年, 其中 BF 处理年际之间的全氮流失浓度存在显著差异, SF 处理年际之间的全氮流失浓度存在显著差异. 在图 7(b)中, F、OF、BF 和 SF 处理壤中流全氮流失浓度均是 2020 年最低.

2.4 不同施肥处理铵态氮流失的年际变化特征

如图 8(a)所示, 各处理地表径流铵态氮流失浓度在 2018、2019 和 2020 年的峰值分别出现在 5、10 和 7 月. 在整个试验期, 各处理壤中流铵态氮流失浓度均处于一个较低的水平, 且集中在下半年. 各处理壤中流铵态氮流失浓度在 2018、2019 和 2020 年的峰值分别大致出现在 10、10 和 7 月. 在图 9(a)中, CK、F 和 SF 处理铵态氮年平均流失浓度呈现出: 2020 年 > 2018 年 > 2019 年, 而 BF 处理则呈现出: 2018 年 > 2020 年 > 2019 年. 对于壤中流铵态氮年平均流失浓度而言, CK、F 和 OF 处理呈现: 2020 年 > 2018 年 > 2019 年, BF 和 SF 处理呈现: 2020 年 > 2019 年 > 2018 年.

2.5 不同施肥处理硝态氮流失的年际变化特征

在图 10(a)中, 各处理地表径流硝态氮流失浓度呈现出逐年降低的趋势, 2018~2020 年每年的硝

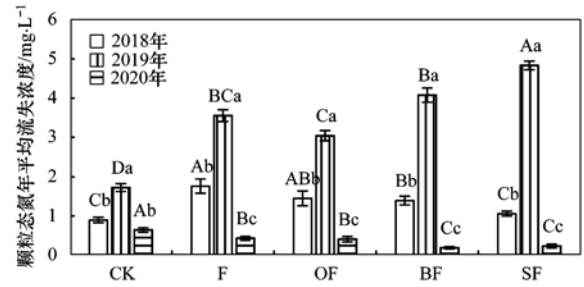


图 5 各处理颗粒态氮流失浓度年均变化

Fig. 5 Annual average changes in the loss concentration of particulate nitrogen in each treatment

不同大写字母表示同一年份不同处理之间差异显著($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一处理下不同年份之间差异显著($P < 0.05$)

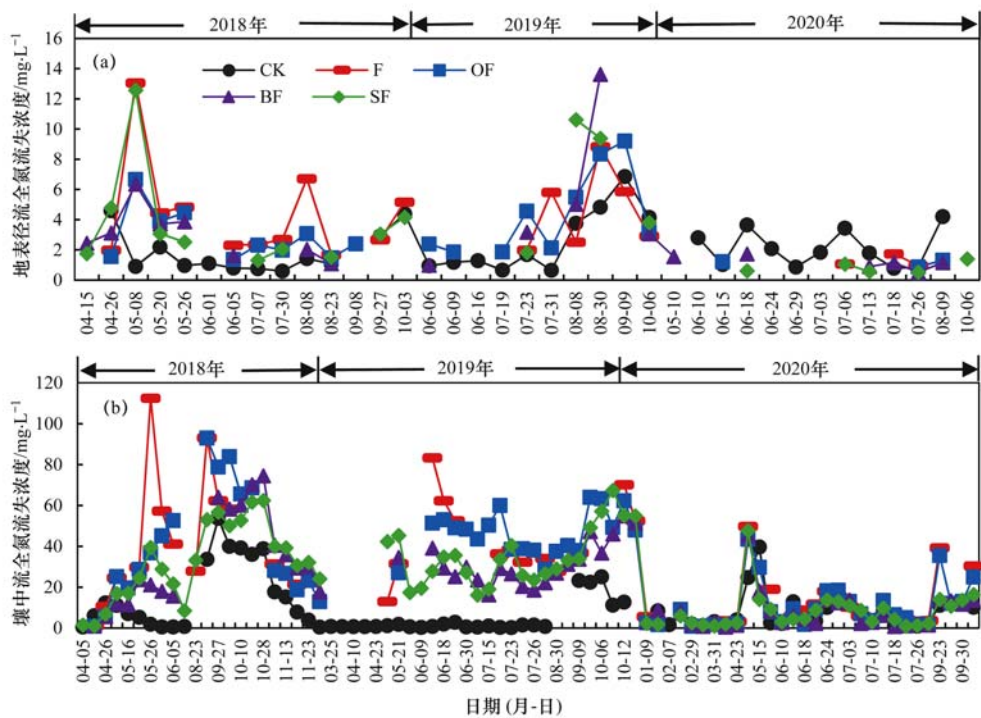
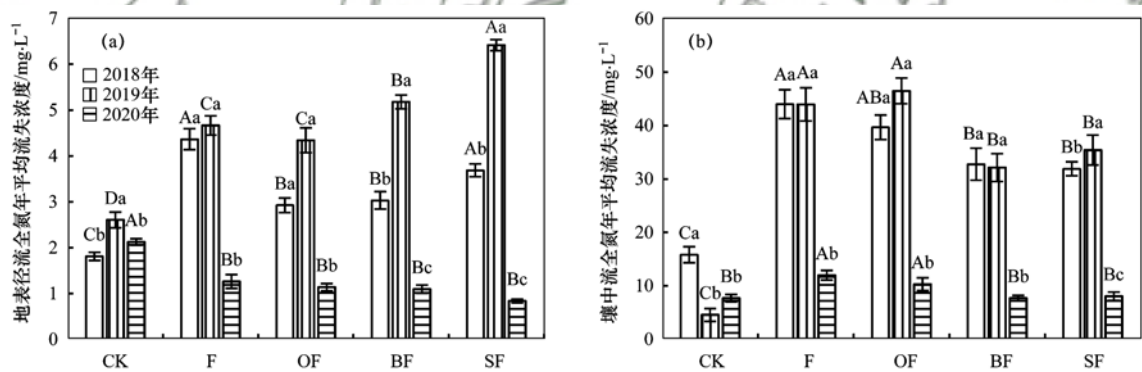


图6 各处理全氮流失浓度变化
Fig. 6 Changes in total nitrogen concentration loss in each treatments



不同大写字母表示同一年份不同处理之间差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一处理下不同年份之间差异显著 ($P < 0.05$)
图7 各处理全氮流失浓度年均变化
Fig. 7 Annual average changes in total nitrogen concentration loss in each treatments

态氮最高流失浓度分别大致出现在5、9和7月. 结合各处理壤中流产流特征可知(图3), 2018年各处理4~5月产流量较高, 同年9~10月壤中流硝态氮流失浓度较高, 这两个时期均是壤中流硝态氮流失风险期. 2019年6~9月是硝态氮流失风险期, 2020年壤中流硝态氮流失浓度较低. 2018~2020年每年的壤中流硝态氮最高流失浓度分别出现在10、9和5月. 在图11(a)中, F、OF、BF和SF处理地表径流硝态氮年平均流失浓度均是2018年高于其他年份, 其中F、OF和SF处理硝态氮年平均流失浓度呈现出: 2018年>2019年>2020年, BF处理呈现: 2018年>2020年>2019年. 观察各处理壤中流硝态氮年平均流失浓度发现, F、BF和SF处理硝态氮流失浓度年际变化为: 2018年>2019年>2020

年, 且BF和SF处理硝态氮流失浓度均低于F处理.

2.6 不同施肥处理土壤氮流失通量

2018~2020年各处理氮流失通量如表6所示, 就地表径流而言, 不同处理地表径流中各形态氮流失通量大致呈现出逐年降低的趋势, F、OF、BF和SF处理全氮流失通量均是2020年最低, 铵态氮和硝态氮流失通量均呈现: 2018年>2019年>2020年. 对于壤中流各形态氮流失通量的年际变化, F处理全氮流失通量表现为: 2018年>2019年>2020年, 而BF和SF处理则为: 2019年>2020年>2018年; 除CK和F处理, 其余处理壤中流铵态氮流失通量年际变化为: 2020年>2019年>2018年, 与地表径流铵

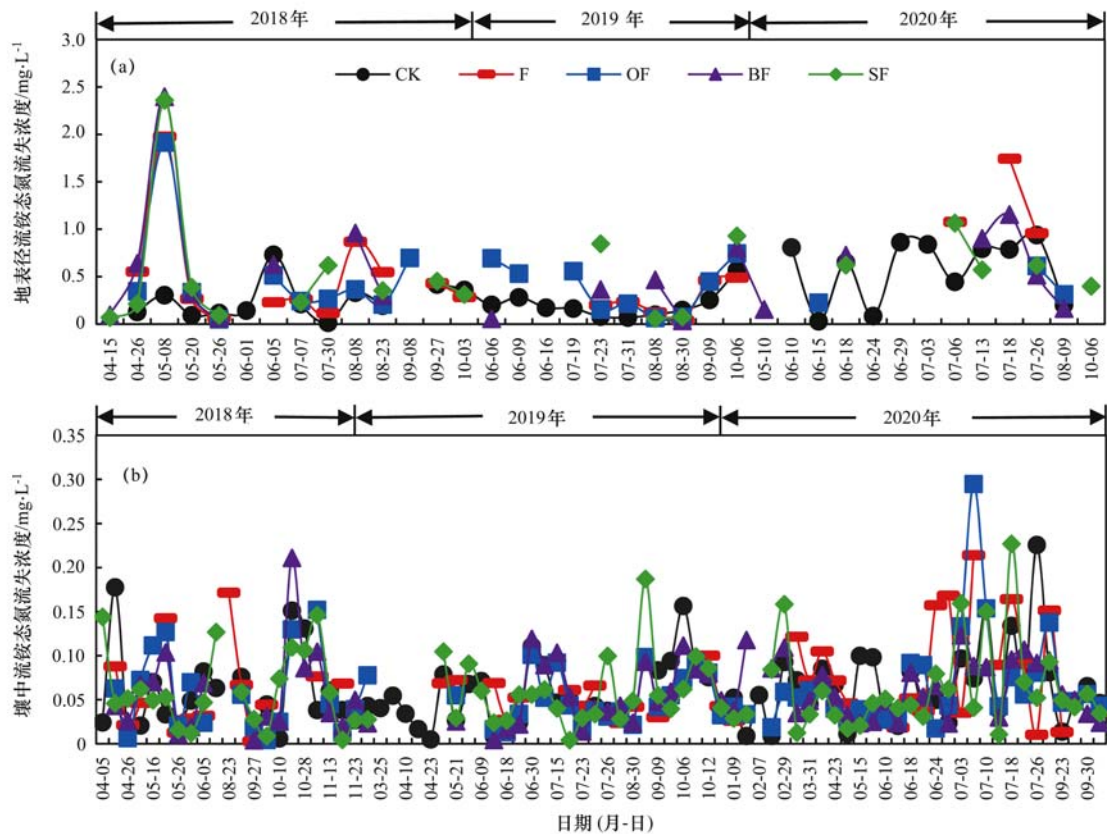


图8 各处理铵态氮流失浓度变化

Fig. 8 Changes in ammonium nitrogen concentration loss in each treatment

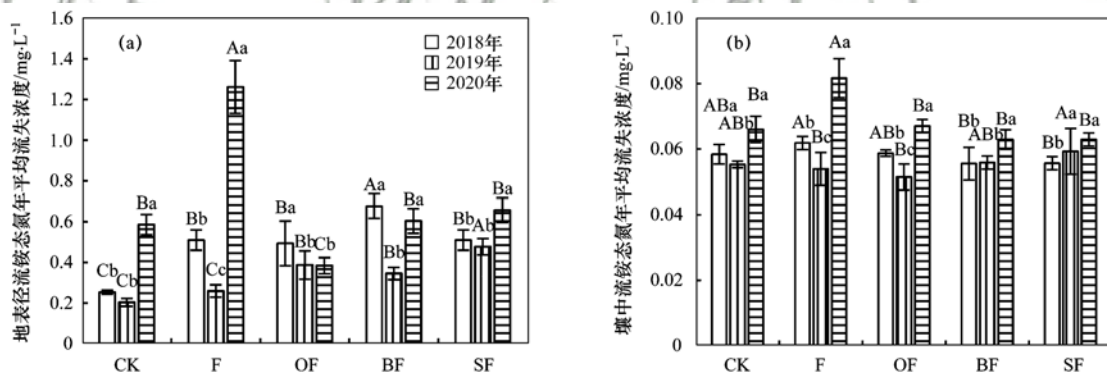
不同大写字母表示同一年份不同处理之间差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一处理下不同年份之间差异显著 ($P < 0.05$)

图9 各处理铵态氮流失浓度年均变化

Fig. 9 Annual average changes in ammonium nitrogen concentration loss in each treatment

态氮流失规律相反。另外, F 处理壤中流硝态氮流失通量特征与全氮年际变化一致, OF、BF 和 SF 处理壤中流硝态氮流失通量特征呈现: 2019 年 > 2020 年 > 2018 年。

2.7 氮流失与降雨量、径流量的相关关系

由表 7 可知, 在地表径流中, 降雨量与氮素流失量相关性并不显著, 而径流量与各形态氮流失量呈显著正相关关系 ($P < 0.05$), 其中全氮、颗粒态氮流失量与径流量呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$)。在壤中流中, 降雨量和铵态氮流失量呈极显著正相关关系, 径流量和全氮、铵态氮和硝态氮流失量呈

极显著正相关关系, 全氮流失量与硝态氮流失量呈极显著正相关关系。

2.8 不同施肥处理对作物产量的影响

各处理油菜和玉米的平均产量如图 12 所示, 与 CK 处理相比, 化肥减量配施生物炭或秸秆均能提高作物产量。各处理油菜产量呈现出: $F > OF > BF > SF > CK$, 其中 BF 和 SF 处理与 OF 处理的差异并不显著。各处理玉米产量呈现出: $OF > F > SF > BF > CK$, 除 CK 外, 其余处理之间差异并不显著。总的看来, 与常规施肥相比, 化肥减量配施生物炭或秸秆能够保证作物产量。

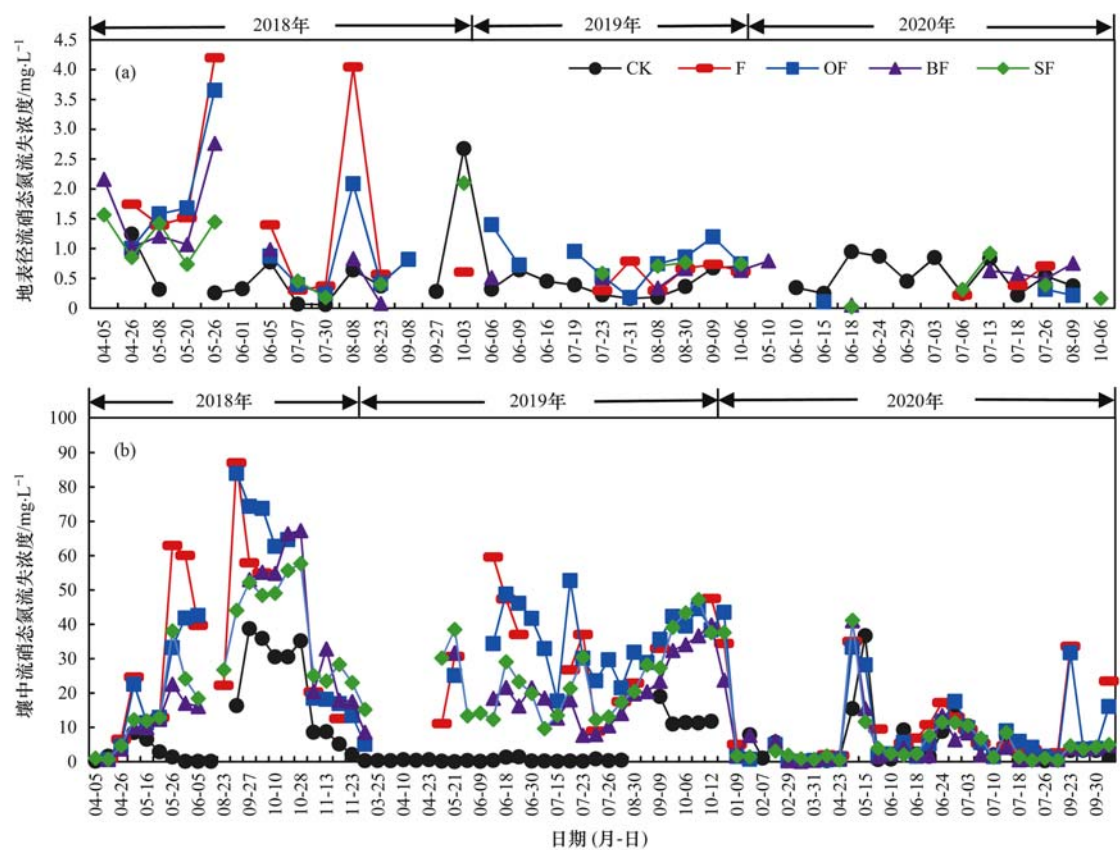
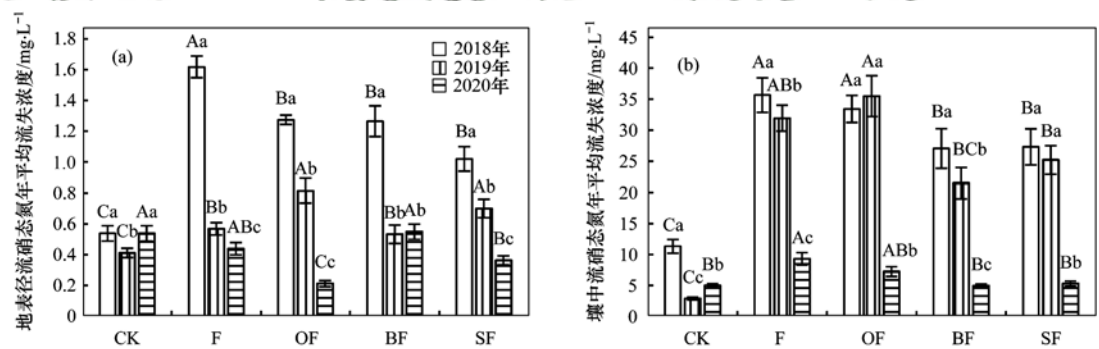


图10 各处理硝态氮流失浓度变化

Fig. 10 Changes in nitrate nitrogen concentration loss in each treatments



不同大写字母表示同一年份不同处理之间差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一处理下不同年份之间差异显著 ($P < 0.05$)

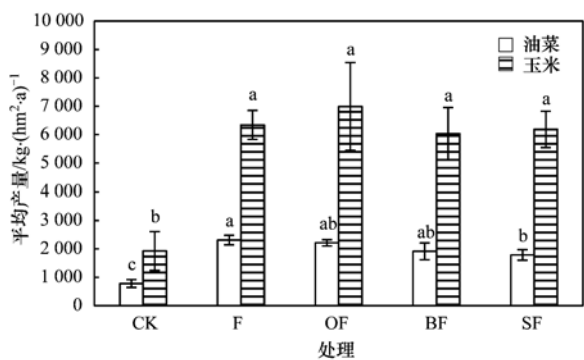
图11 各处理硝态氮流失浓度年均变化

Fig. 11 Annual average changes in nitrate nitrogen concentration loss in each treatments

3 讨论

紫色土旱坡地具有径流系数高、抗蚀性差等特点,易发生水土流失. 本文发现,每年各处理壤中流产流次数和产流量均高于地表径流,说明壤中流是紫色土径流输出的主要形式. 本研究中,2018年降雨量最低,2020年最高,比较地表径流产流量年际变化发现,试验期各处理地表径流产流量均呈现:2018年>2019年>2020年,与降雨量的年际变化规律相反,这可能是因为2018年降雨强度大,雨滴动能增加,土壤颗粒间的孔隙被逐渐填满^[24],土壤

表层容易形成结皮,阻止雨水入渗,大部分降雨以地表径流的方式输出. 梁斐斐等^[25]研究降雨强度对三峡库区坡耕地产流的影响发现,大雨产生的径流量分别是中雨和小雨的2.34和7.59倍. 因此,在三峡库区应重点观测大雨条件下坡耕地的径流和养分流失状况. 本研究表明,与CK相比,施肥处理均能降低地表径流量和产沙量,但增加了壤中流产流量,这与沈姣等^[26]、汪涛等^[27]等研究施肥对紫色土产流产沙的影响结果类似. 分析其原因,一方面紫色土土层浅,孔隙度大,属于“岩土二元结构”^[28],容易形成壤中流. 另一方面,地表植被的覆盖情况是影响土壤



不同小写字母表示不同处理之间差异显著 ($P < 0.05$)
图 12 2018 ~ 2020 年各处理油菜和玉米平均产量
Fig. 12 Average yields of oilseed rape and maize in different treatments from 2018 to 2020

侵蚀的重要因素之一,其通过对降雨的再分配影响径流发生^[29],平衡施肥能促进作物生长,提高植被覆盖率,有效拦蓄地表径流^[30],同时施肥可改善土壤物理性质和促进作物根系伸展,增强了水分入渗,从而促进壤中流的发育和减少泥沙侵蚀。

土壤氮流失与降雨、地形、施肥和田间管理措施等因素密切相关^[31,32]. 本文发现,每年 5 ~ 10 月是氮素的流失风险期,氮素流失迁移变化规律与当地降雨特征有密切关系,紫色土区降雨集中,4 ~ 9 月的降雨量占全年降雨量的 70% 以上,降雨径流是紫色土旱坡地养分流失的主要驱动力和载体,研究发现,氮流失量和降雨量在一般情况下呈线性关系,

表 6 2018 ~ 2020 年各处理氮流失通量¹⁾/kg·(hm²·a)⁻¹

Table 6 Nitrogen loss fluxes under different treatments from 2018 to 2020/kg·(hm²·a)⁻¹

处理	年份	地表径流			壤中流			PN
		TN	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	TN	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	
CK	2018	1.56 ± 0.25b	0.14 ± 0.01a	0.32 ± 0.04a	15.76 ± 2.05a	0.02 ± 0.00b	4.15 ± 0.35b	0.35 ± 0.02b
	2019	2.25 ± 0.24a	0.07 ± 0.01b	0.16 ± 0.02b	3.46 ± 0.24c	0.03 ± 0.00b	2.22 ± 0.19c	2.00 ± 0.18a
	2020	0.34 ± 0.02c	0.01 ± 0.00c	0.06 ± 0.01c	12.29 ± 0.86b	0.25 ± 0.02a	8.60 ± 0.98a	0.15 ± 0.02b
F	2018	4.04 ± 0.79a	0.59 ± 0.01a	0.70 ± 0.06a	30.84 ± 5.78a	0.05 ± 0.01b	18.26 ± 1.15a	2.89 ± 0.50a
	2019	2.19 ± 0.10b	0.05 ± 0.00b	0.20 ± 0.01b	19.42 ± 2.11b	0.02 ± 0.01c	14.42 ± 1.87b	1.83 ± 0.11b
	2020	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00c	18.74 ± 1.93b	0.28 ± 0.02a	14.22 ± 0.70b	0.00 ± 0.00c
OF	2018	2.62 ± 0.49a	0.58 ± 0.01a	0.89 ± 0.05a	29.59 ± 3.20b	0.03 ± 0.00b	14.27 ± 1.21b	2.17 ± 0.14a
	2019	1.13 ± 0.10b	0.03 ± 0.00b	0.15 ± 0.02b	44.25 ± 5.08a	0.05 ± 0.00b	33.30 ± 3.99a	0.92 ± 0.10b
	2020	0.01 ± 0.00c	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00c	25.73 ± 2.25b	0.40 ± 0.06a	17.30 ± 1.91b	0.00 ± 0.00c
BF	2018	2.27 ± 0.29b	0.67 ± 0.02a	0.59 ± 0.05a	18.33 ± 1.82b	0.02 ± 0.00b	8.04 ± 0.55c	1.84 ± 0.13b
	2019	3.22 ± 0.18a	0.14 ± 0.01b	0.19 ± 0.02b	48.55 ± 5.48a	0.06 ± 0.00b	29.17 ± 2.34a	2.94 ± 0.23a
	2020	0.05 ± 0.00c	0.01 ± 0.00c	0.02 ± 0.00c	21.89 ± 2.15b	0.62 ± 0.05a	14.49 ± 0.88b	0.01 ± 0.00c
SF	2018	1.30 ± 0.25a	0.22 ± 0.01a	1.07 ± 0.07a	18.54 ± 3.92c	0.05 ± 0.00b	13.83 ± 1.05c	0.20 ± 0.01b
	2019	1.25 ± 0.17a	0.01 ± 0.00b	0.15 ± 0.01b	54.39 ± 4.54a	0.08 ± 0.00b	36.47 ± 2.72a	1.08 ± 0.10a
	2020	0.01 ± 0.00b	0.00 ± 0.00b	0.00 ± 0.00c	26.30 ± 2.56b	0.48 ± 0.02a	19.43 ± 2.43b	0.00 ± 0.00c

1) 不同小写字母表示同一处理不同年份之间差异显著 ($P < 0.05$)

表 7 氮流失与降雨量、径流量的相关系数

Table 7 Correlation of nitrogen loss, rainfall, and runoff

径流	项目	降雨量	径流量	全氮	铵态氮	硝态氮	颗粒态氮
地表径流	降雨量	1	0.466	0.410	0.354	0.448	0.401
	径流量		1	0.787 **	0.568 *	0.545 *	0.676 **
	全氮			1	0.689 **	0.556 *	0.948 **
	铵态氮				1	0.771 **	0.369
	硝态氮					1	0.601 *
	颗粒态氮						1
壤中流	降雨量	1	0.785 **	0.194	0.911 **	0.099	
	径流量		1	0.883 **	0.910 **	0.951 **	
	全氮			1	0.087	0.959 **	
	铵态氮				1	0.014	
	硝态氮					1	

1) 表中“*”代表相关性达到显著水平 ($P < 0.05$), “**”代表相关性达到极显著水平 ($P < 0.01$)

即土壤氮流失量随着降雨量的增加而增加^[33]. 2018 ~ 2020 年每年壤中流全氮最高流失浓度分别出现在 10、10 和 5 月,壤中流硝态氮最高流失浓度分别出现在 10、10 和 7 月,即每年壤中流全氮和硝

态氮最高流失浓度出现的时间大概相同,这与王宏等^[34]的研究结果一致. 在整个试验期,虽然 2020 年降雨量最高,但是同年各处理地表径流氮流失通量远小于前两年. 分析其原因,这可能是因为 2020 年

降雨强度低、历时长,小雨强长历时的降雨更有利于促进壤中流的发育^[35],地表径流量减少。另外,较长的降雨历时和有效的作物植被覆盖可以调节地表径流吸持能力,延长产流历时过程,氮素更容易向土壤下层迁移。

在本文中,与 F 处理相比,2019 年和 2020 年 BF 和 SF 处理均提高了壤中流中全氮和硝态氮流失通量。一方面,相较于 F 处理,2019 年和 2020 年 BF 和 SF 处理虽然降低了壤中流全氮和硝态氮的年平均流失浓度,但壤中流产流次数和产流量超过 F 处理,增加了壤中流氮流失风险。另一方面,这可能是因为本试验涉及 3 a 生物炭还田和秸秆覆盖,生物炭施入土壤后会逐渐发生老化,其在田间自然老化过程中孔隙结构可被土壤矿质离子和微生物阻塞,造成生物炭吸附能力下降^[36,37],其吸附的氮可能会随着生物炭性质的改变逐步被释放出来。秸秆中的氮素分为贮存性氮素和结构性氮素,其中结构性氮素占比大,但不易被释放。土壤微生物在秸秆腐解过程中起着关键作用,秸秆中的结构性氮素只有经微生物矿化后才能逐步释放^[38],一般是在秸秆的缓慢分解期,其可达一年或更长时间。降雨通过影响土壤微生物的生长繁殖和生理机能影响秸秆分解^[39,40],2018 年降雨少且降雨强度大、历时短,不利于土壤微生物繁殖,秸秆分解释放的氮素少,则氮流失量也相对较少。

本研究表明,铵态氮主要以地表径流的方式流失,硝态氮主要以壤中流的方式流失。这是因为铵态氮带正电,易被土壤吸附在表层土壤,并在土壤表层发生富集较难向下层土壤迁移,而硝态氮带负电,在土壤中多以游离态的形式存在,极易通过土壤水分的下渗作用进入壤中流^[41]。地表径流中全氮、铵态氮和硝态氮流失通量大致呈逐年降低的趋势,这是因为 2018~2020 年各处理地表径流产流量逐年减少,进行相关性分析发现,地表径流与全氮、铵态氮和硝态氮呈正相关关系。在地表径流中,氮流失量与降雨量相关性并不显著,与径流量呈显著正相关关系,这与闫建梅等^[42]的研究结果一致,但与王双等^[43]的研究有一定差异,其研究发现氮流失量与降雨量和径流量均有显著正相关性,这可能是因为本文是 3 a 连续降雨试验,而王双等的试验时间集中于玉米成熟期,这期间降雨量大,氮流失通量受降雨量的影响大。本试验表明,与 CK 相比,生物炭处理和秸秆处理均能提高作物产量。与 F 处理相比,BF 和 SF 处理的作物产量稍低一些,但无显著性差异,说明化肥配施生物炭或秸秆不会显著降低作物产量,可以作为一种经济且环保的施肥措施进行推广,

以实现农业的可持续发展。

4 结论

三峡库区紫色土旱坡地地表径流主要发生在 5 月和 8 月,壤中流主要发生在 6~10 月。土壤氮素的流失风险期为 5~10 月,该时段是库区的雨季,降雨集中,容易产生径流造成土壤养分流失。试验期内每年各形态氮的最高流失浓度出现时间大概一致,地表径流全氮、铵态氮和硝态氮最高流失浓度分别出现在 5、8~10 和 7 月,壤中流各形态氮最高流失浓度分别出现在 10、10 和 5~7 月。生物炭和秸秆还田第一年降低氮流失通量的效果较好,但后续两年还田反而加剧了氮素流失通量。因此,加强三峡库区 5~10 月的施肥管理措施对于库区养分流失和农业面源污染具有重要意义,在进行生物炭和秸秆还田时考虑与其他保水保肥措施结合共同固持土壤养分。此外,建议利用其他先进技术预测当年该地区的降雨量及降雨强度分布,针对性地进行施肥以有效消减径流带来的农业面源污染。

参考文献:

- [1] Zhang T, Ni J P, Xie D T. Assessment of the relationship between rural non-point source pollution and economic development in the Three Gorges Reservoir Area [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, **23**(8): 8125-8132.
- [2] 王娜, 楚鑫磊, 勾蒙蒙, 等. 三峡库区森林生态系统服务权衡与协同分析[J]. *生态环境学报*, 2021, **30**(3): 475-484.
Wang N, Chu X L, Gou M M, et al. Tradeoffs and synergies analysis on forest ecosystem services in the Three Gorges Reservoir Area[J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2021, **30**(3): 475-484.
- [3] Gou M M, Li L, Ouyang S, et al. Identifying and analyzing ecosystem service bundles and their socioecological drivers in the Three Gorges Reservoir Area[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, **307**, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2021.127208.
- [4] 余铁松, 邓力. 三峡库区水环境治理现状及对策[J]. *资源节约与环保*, 2013, (9): 98.
- [5] 王全九, 杨婷, 刘艳丽, 等. 土壤养分随地表径流流失机理与控制措施研究进展[J]. *农业机械学报*, 2016, **47**(6): 67-82.
Wang Q J, Yang T, Liu Y L, et al. Review of soil nutrient transport in runoff and its controlling measures[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, **47**(6): 67-82.
- [6] 田琳琳, 任光前, 朱波. 紫色土丘陵区农田源头沟渠一氧化氮排放的季节差异及影响因素[J]. *环境科学*, 2018, **39**(4): 1952-1961.
Tian L L, Ren G Q, Zhu B. Seasonal variation in nitric oxide emission from an agricultural headwater ditch in the hilly purple soil area and the factors influencing emission[J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(4): 1952-1961.
- [7] 李昌兰, 戴全厚, 彭旭东, 等. 喀斯特裸坡地地下孔(裂隙)流养分流失特征研究[J]. *水土保持学报*, 2016, **30**(3): 19-23, 114.

- Li C L, Dai Q H, Peng X D, *et al.* Characteristics of nutrient loss in runoff of underground pore fissure on the karst bare slope [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2016, **30**(3): 19-23, 114.
- [8] 陈成龙, 高明, 木志坚, 等. 三峡库区小流域不同土地利用类型“土壤-水体”氮磷含量特征及其相互关系[J]. *环境科学*, 2017, **38**(8): 3254-3263.
- Chen C L, Gao M, Mu Z J, *et al.* Characteristics and the relationship of nitrogen and phosphorus in soil and water of different land use types of a small watershed in the Three Gorges Reservoir Area [J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(8): 3254-3263.
- [9] 肖宇婷, 姚婧, 湛书, 等. 沱江流域总氮面源污染负荷时空演变[J]. *环境科学*, 2021, **42**(8): 3773-3784.
- Xiao Y T, Yao J, Chen S, *et al.* Temporal and spatial evolution of non-point source pollution load of total nitrogen in Tuojiang river basin [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(8): 3773-3784.
- [10] 房志达, 苏静君, 赵洪涛, 等. 红壤丘陵区小流域典型土地利用的面源氮磷输出特征[J]. *环境科学*, 2021, **42**(11): 5394-5404.
- Fang Z D, Su J J, Zhao H T, *et al.* Output characteristics of nitrogen and phosphorus from non-point source pollution of typical land use in a micro-watershed in hilly red soil region [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(11): 5394-5404.
- [11] Hou P F, Jiang Y, Yan L, *et al.* Effect of fertilization on nitrogen losses through surface runoffs in Chinese farmlands: a meta-analysis [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, **793**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148554.
- [12] 高林林. 典型紫色土坡耕地不同施肥处理径流的氮素流失特征研究[D]. 南充: 西华师范大学, 2018.
- Gao L L. Study on nitrogen loss characteristics of runoff in typical purple soil slope [D]. Nanchong: China West Normal University, 2018.
- [13] Huang T, Ju X T, Yang H. Nitrate leaching in a winter wheat-summer maize rotation on a calcareous soil as affected by nitrogen and straw management [J]. *Scientific Reports*, 2017, **7**(1), doi: 10.1038/srep42247.
- [14] 姜海斌, 沈仕洲, 谷艳茹, 等. 洱海流域不同施肥模式对稻田氮磷径流流失的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2021, **40**(6): 1305-1313.
- Jiang H B, Shen S Z, Gu Y R, *et al.* Effects of different fertilization treatments on runoff losses of nitrogen and phosphorus in paddy fields in Erhai Lake basin, China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2021, **40**(6): 1305-1313.
- [15] Dai J, Wang Z H, Li M H, *et al.* Winter wheat grain yield and summer nitrate leaching: long-term effects of nitrogen and phosphorus rates on the Loess Plateau of China [J]. *Field Crops Research*, 2016, **196**: 180-190.
- [16] 孙彭力, 王慧君. 氮素化肥的环境污染[J]. *环境污染与防治*, 1995, **17**(1): 38-41.
- [17] Prosdocimi M, Jordán A, Tarolli P, *et al.* The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **547**: 323-330.
- [18] 盖霞普, 刘宏斌, 翟丽梅, 等. 长期增施有机肥/秸秆还田对土壤氮素淋失风险的影响[J]. *中国农业科学*, 2018, **51**(12): 2336-2347.
- Gai X P, Liu H B, Zhai L M, *et al.* Effects of long-term additional application of organic manure or straw incorporation on soil nitrogen leaching risk [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, **51**(12): 2336-2347.
- [19] Huang R, Gao X S, Wang F H, *et al.* Effects of biochar incorporation and fertilizations on nitrogen and phosphorus losses through surface and subsurface flows in a sloping farmland of Entisol [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2020, **300**, doi: 10.1016/j.agee.2020.106988.
- [20] 张万锋, 杨树青, 孙多强, 等. 秸秆覆盖与氮减施对土壤氮分布及地下水氮污染影响[J]. *环境科学*, 2021, **42**(2): 786-795.
- Zhang W F, Yang S Q, Sun D Q, *et al.* Effects of straw mulching and nitrogen reduction on the distribution of soil nitrogen and groundwater nitrogen pollution [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(2): 786-795.
- [21] Wang J, Lü G A, Guo X S, *et al.* Conservation tillage and optimized fertilization reduce winter runoff losses of nitrogen and phosphorus from farmland in the Chaohu Lake region, China [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2015, **101**(1): 93-106.
- [22] 斯林林, 周静杰, 吴良欢, 等. 生物炭配施缓控释肥对稻田田面水氮素动态变化及径流流失的影响[J]. *环境科学*, 2018, **39**(12): 5383-5390.
- Si L L, Zhou J J, Wu L H, *et al.* Dynamics and runoff losses of nitrogen in paddy field surface water under combined application of biochar and slow/controlled-release fertilizer [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(12): 5383-5390.
- [23] 杨剑虹, 王成林, 代亨利. 土壤农化分析与环境监测[M]. 北京: 中国大地出版社, 2008.
- [24] 张梦, 李冬杰, 周玥. 雨强和坡度对黄土坡面土壤侵蚀及氮磷流失的影响[J]. *水土保持学报*, 2018, **32**(1): 85-90.
- Zhang M, Li D J, Zhou Y. Effects of rainfall intensity and slope gradient on soil erosion, nitrogen and potassium loss on loess slope [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, **32**(1): 85-90.
- [25] 梁斐斐, 蒋先军, 袁俊吉, 等. 降雨强度对三峡库区坡耕地土壤氮、磷流失主要形态的影响[J]. *水土保持学报*, 2012, **26**(4): 81-85.
- Liang F F, Jiang X J, Yuan J J, *et al.* Main features of the loss of nitrogen and phosphorus and rainfall intensity influence in the slope farmland of the Three Gorges Reservoir Area [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, **26**(4): 81-85.
- [26] 沈皎, 王小国, 马晗. 施肥对紫色土农田土壤有机碳损失过程的影响[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2021, **29**(9): 1571-1581.
- Shen J, Wang X G, Ma H. Effect of fertilizer application on soil carbon loss in purple soil [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2021, **29**(9): 1571-1581.
- [27] 汪涛, 朱波, 武永锋, 等. 不同施肥制度下紫色土坡耕地氮素流失特征[J]. *水土保持学报*, 2005, **19**(5): 65-68.
- Wang T, Zhu B, Wu Y F, *et al.* Nitrogen loss from slope cropland of purple soil under different fertilization [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, **19**(5): 65-68.
- [28] 陈晓燕, 牛青霞, 周继, 等. 人工模拟降雨条件下紫色土陡坡地土壤颗粒分布空间变异特征[J]. *水土保持学报*, 2010, **24**(5): 163-168.
- Chen X Y, Niu Q X, Zhou J, *et al.* Study on spatial variability characters of steep purple soil particles under rainfall simulation condition [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, **24**(5): 163-168.
- [29] 冯小杰, 郑子成, 李廷轩, 等. 暴雨条件下紫色土区玉米季坡耕地氮素流失特征[J]. *中国农业科学*, 2018, **51**(4): 738-749.
- Feng X J, Zheng Z C, Li T X, *et al.* Characteristics of nitrogen

- loss in sloping cropland of purple soil during maize growth stage under rainstorm[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, **51**(4): 738-749.
- [30] 徐泰平, 朱波, 况福虹, 等. 平衡施肥对紫色土坡耕地磷素径流流失的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2006, **25**(4): 1055-1059.
- Xu T P, Zhu B, Kuang F H, *et al.* Effects of balanced fertilization on phosphorus loss by runoff from slope cropland in purple soils[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, **25**(4): 1055-1059.
- [31] 陈成龙, 高明, 倪九派, 等. 三峡库区小流域不同土地利用类型对氮素流失影响[J]. *环境科学*, 2016, **37**(5): 1707-1716.
- Chen C L, Gao M, Ni J P, *et al.* Nitrogen losses under the action of different land use types of small catchment in Three Gorges Region [J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(5): 1707-1716.
- [32] Wu L, Peng M L, Qiao S S, *et al.* Assessing impacts of rainfall intensity and slope on dissolved and adsorbed nitrogen loss under bare loessial soil by simulated rainfalls[J]. *CATENA*, 2018, **170**: 51-63.
- [33] Liu Y, Tao Y, Wan K Y, *et al.* Runoff and nutrient losses in citrus orchards on sloping land subjected to different surface mulching practices in the Danjiangkou Reservoir area of China [J]. *Agricultural Water Management*, 2012, **110**: 34-40.
- [34] 王宏, 徐娅玲, 张奇, 等. 沱江流域典型农业小流域氮和磷排放特征[J]. *环境科学*, 2020, **41**(10): 4547-4554.
- Wang H, Xu Y L, Zhang Q, *et al.* Emission characteristics of nitrogen and phosphorus in a typical agricultural small watershed in Tuojiang River Basin[J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(10): 4547-4554.
- [35] Jia H Y, Lei A L, Lei J S, *et al.* Effects of hydrological processes on nitrogen loss in purple soil[J]. *Agricultural Water Management*, 2007, **89**(1-2): 89-97.
- [36] Mukherjee A, Zimmerman A R, Hamdan R, *et al.* Physicochemical changes in pyrogenic organic matter (biochar) after 15 months of field aging[J]. *Solid Earth*, 2014, **5**(2): 693-704.
- [37] De La Rosa J M, Rosado M, Paneque M, *et al.* Effects of aging under field conditions on biochar structure and composition: implications for biochar stability in soils[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **613-614**: 969-976.
- [38] 张经廷, 张丽华, 吕丽华, 等. 还田作物秸秆腐解及其养分释放特征概述[J]. *核农学报*, 2018, **32**(11): 2274-2280.
- Zhang J T, Zhang L H, Lv L H, *et al.* Overview of the characteristics of crop straw decomposition and nutrients release of returned field crops [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2018, **32**(11): 2274-2280.
- [39] 董志新, 孙波, 殷士学, 等. 气候条件和作物对黑土和潮土固氮微生物群落多样性的影响[J]. *土壤学报*, 2012, **49**(1): 130-138.
- Dong Z X, Sun B, Yin S X, *et al.* Impacts of climate and cropping on community diversity of diazotrophs in pachic udic argiboroll and fluventic ustochrept[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2012, **49**(1): 130-138.
- [40] Castro H F, Classen A T, Austin E E, *et al.* Soil microbial community responses to multiple experimental climate change drivers[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2010, **76**(4): 999-1007.
- [41] 李宪文, 史学正, Ritsema C. 四川紫色土区土壤养分径流和泥沙流失特征研究[J]. *资源科学*, 2002, **24**(6): 22-28.
- Li X W, Shi X Z, Ritsema C. Features of soil nutrient loss accompanied with runoff and sediment for the purple soil distributed area in Sichuan Province [J]. *Resources Science*, 2002, **24**(6): 22-28.
- [42] 闫建梅, 何丙辉, 田太强. 不同施肥与耕作对紫色土坡耕地土壤侵蚀及氮素流失的影响[J]. *中国农业科学*, 2014, **47**(20): 4027-4035.
- Yan J M, He B H, Tian T Q. Effect of fertilizer levels and tillage methods on soil erosion and nutrient loss in purple soil area[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, **47**(20): 4027-4035.
- [43] 王双, 叶良惠, 郑子成, 等. 玉米成熟期黄壤坡耕地径流及其氮素流失特征研究[J]. *水土保持学报*, 2018, **32**(6): 28-33.
- Wang S, Ye L H, Zheng Z C, *et al.* Characteristics of runoff and nitrogen losses in yellow soil sloping cropland at mature stage of maize[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, **32**(6): 28-33.

CONTENTS

Chemical Characteristics and Source Apportionment of PM _{2.5} in Urban Area of Beijing	AN Xin-xin, CAO Yang, WANG Qin, <i>et al.</i> (2251)
Modeling of PM _{2.5} Concentrations in the Beijing-Tianjin-Hebei Region Using a Space-time Linear Mixed Effects Model	FAN Li-hang, YANG Xiao-hui, SONG Chun-jie, <i>et al.</i> (2262)
Spatio-temporal Evolution Patterns of PM _{2.5} and Relationship with Urban Expansion in Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration from 2000 to 2018	ZHAO An-zhou, XIANG Kai-zheng, LIU Xian-feng, <i>et al.</i> (2274)
Characteristics and Source Analysis of PM _{2.5} in Qingdao in Winter Under the Action of Sea-Land-Atmosphere Convergence	TUO Xiong, YANG Ling-xiao, ZHANG Wan, <i>et al.</i> (2284)
Impacts of Heterogeneous Uptake Pathway on Sulfate Formation: A Case Study in Shanghai Based on WRF-Chem	ZHANG Ru-han, ZHANG Hao-ran, FENG Wei-hang, <i>et al.</i> (2294)
Source Apportionment and Seasonal Changes in PM _{2.5} Chemical Components from Different Functional Areas of a Provincial Capital City	SUN You-min, FAN Jing, XU Biao, <i>et al.</i> (2304)
Chemical Compositions, Light Extinction Effect, and Oxidative Potential of PM _{2.5} Under Different Pollution Levels During Winter in Taiyuan	REN Jiao, ZHAO Rong-rong, WANG Ming, <i>et al.</i> (2317)
Source Apportionment and Health Risk Assessment of Metal Elements in Ambient PM _{2.5} in the Winter of Zhengzhou	YAO Sen, WANG Qian-heng, XUE Yan, <i>et al.</i> (2329)
Characteristics, Ecological Risk Assessment, and Sources of the Polluted Metallic Elements in PM _{2.5} During Winter in Zibo City	BAI Wen-yu, XU Bo, GUO Li-yao, <i>et al.</i> (2336)
Seasonal Distribution Characteristics, Source Analysis, and Health Risk Evaluation of PAHs in PM _{2.5} in Chengde	HE Bo-wen, NIE Sai-sai, LI Yi-lin, <i>et al.</i> (2343)
Pollution Level and Regional Migration of PCDD/Fs in Ambient Air from Pearl River Delta, China	FU Jian-ping, XIE Dan-ping, HUANG Jin-qiong, <i>et al.</i> (2355)
Concentrations and Sources of Black Carbon Aerosols in Rural Areas of Southern North China Plain	ZHANG Ling, KONG Shao-fei, ZHENG Huang, <i>et al.</i> (2363)
Research on Causes of Severely Polluted Weather in Tianjin Based on Process Analytical Technology	HAO Jian, CAI Zi-ying, HAN Su-qin, <i>et al.</i> (2373)
Classification Control of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission Pollution Sources Based on Emission Amounts and Atmospheric Reactivity	CHEN Peng, ZHANG Yue, XING Min, <i>et al.</i> (2383)
Complex Networks Reveal the Characteristics of Ozone in China	YING Na, CHEN Jian-hua, LI Dong, <i>et al.</i> (2395)
Ozone Simulation of Lanzhou City Based on Multi-scenario Emission Forecast of Ozone Precursors in the Summer of 2030	CHEN Tian-lei, WU Min, PAN Cheng-ke, <i>et al.</i> (2403)
Improvement of Environmental Model Prediction Based on Inversion and Aerosol Assimilation	CAI Zi-ying, TANG Miao, XIAO Zhi-mei, <i>et al.</i> (2415)
Method of Identifying Air Pollution from Iron and Steel Industry Based on Ambient Air Quality Monitoring Data Analysis	SHI Yao-peng, HU Jing-nan, CHU Yang-xi, <i>et al.</i> (2427)
Assessment of "Differentiated Response Requirement Based on Performance Grading" Policy During Heavy Air Pollution Alert	ZENG Jing-hai, WANG Can (2436)
Risk Zoning of Water Pollution in the Yellow River Basin	ZHOU Xia-fei, CAO Guo-zhi, YU Fang, <i>et al.</i> (2448)
Emission Characteristics of Industrial Water Pollutants in Gansu Section of the Yellow River Basin	LI Xue-ying, YANG Xi, QIAO Qi, <i>et al.</i> (2459)
Spatial-temporal Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Sediments of the Yellow River	WANG Tao-yi, PAN Bao-zhu, HAN Xu, <i>et al.</i> (2467)
APCS-MLR Combined with PMF Model to Analyze the Source of Metals in Sediment of Xinglin Bay Suburban Watershed, Xiamen	SHEN Chen-yu, YAN Yu, YU Rui-lian, <i>et al.</i> (2476)
Spatial Differentiation Characteristics and Response Relationship of DOM, Nutrients, and Heavy Metals in River Sediments	XIAO Yan-chun, YU Hui-bin, SONG Yong-hui (2489)
Distribution Characteristics, Evaluation, and Source Analysis of Heavy Metals in Soils of Fenhe Riparian Zone in Taiyuan City	HU Jie, ZHAO Xin-yu, WANG Ting-ting, <i>et al.</i> (2500)
Binding Affinity Between Heavy Metal Hg and Dissolved Organic Matter in Hongze Lake	HU Bin, WANG Pei-fang, ZHANG Nan-nan, <i>et al.</i> (2510)
Ecosystem Evolutionary Trajectory of Lake Xiliang over the Past Century Driven by Eutrophication	ZHENG Jia-nan, XU Min, ZHENG Wen-xiu, <i>et al.</i> (2518)
Sediment Release and Pollution Source Analysis of Typical Reservoirs in the Upper Reaches of the Yellow River Based on DGT Technology	MA Yu-shen, ZHU Xiang, PANG Qing-qing, <i>et al.</i> (2527)
Differential Characteristics and Source Identification of Water Quality of the Rivers in Northern Henan Before and After Rainstorm	ZHANG Yan, ZOU Lei, LIANG Zhi-jie, <i>et al.</i> (2537)
Adsorption and Interception Effects of <i>Eichhornia crassipes</i> on Microplastics in Water of the Poyang Lake Basin	LI Wen-gang, WU Xi-en, JIAN Min-fei, <i>et al.</i> (2548)
Spatiotemporal Distribution and Ecological Risk Assessment of Plastic Additives in Taihu Lake	LIU Shu-jiao, DING Jian-nan, SHI Jun-zhe, <i>et al.</i> (2557)
Distribution Characteristics, Sources, and Storage of Microplastics in Surface Sediments of Luoma Lake	YAO Ming-xuan, BAI Xue, XU Zhen-jia, <i>et al.</i> (2566)
Pollution Characteristics of Phosphorus in Different Media in Taihu Lake and Its Treatment Enlightenment	CAI Mei, LU Zhi-hua, WANG Yuan-yuan, <i>et al.</i> (2575)
Analysis on Diversity and Structure of Microbial Community in River Sediment of Siping Section of Liaohe River	LI Peng-yang, AN Qi-rui, WANG Xin-hao, <i>et al.</i> (2586)
Non-point Source Pollution (NPSP) Induces Structural and Functional Variation in Bacterial Communities in Sediments of Jialing River	XUE Yu-qin, XU Fei, LIU Kun-he, <i>et al.</i> (2595)
Effects of Microplastics on Bacterial Community Composition and Diversity in Sediments	LI Wen-lu, WANG Zhi-chao, YANG Wen-huan, <i>et al.</i> (2606)
Vertical Distribution Characteristics and Community Construction of Aerobic Denitrification Bacteria from the Sediments of Baiyangdian Lake During the Winter Freezing Period	ZHANG Tian-na, CHEN Zhao-ying, ZHANG Zi-wei, <i>et al.</i> (2614)
Effect of Induced Mixing on Bacterial Community Structure and Metabolic Activity in Reservoir	GAO Yue, HUANG Ting-lin, LI Nan, <i>et al.</i> (2624)
Distribution Characteristics of Microplastics in <i>Bellamyia aeruginosa</i> in Typical Area of Poyang Lake	JIANG Wei-qun, HU Qi-wu, JIAN Min-fei, <i>et al.</i> (2633)
Electrocatalytic Oxidation of Bisphenol A by Porous Ti/SnO ₂ -Sb-Ni Electrode Loaded with Multi-wall Carbon Nanotubes	FU Yuan-hang, LIU An-di, HUANG Wei-bin, <i>et al.</i> (2640)
Efficiency and Mechanism of Degradation of Methylene Blue with H ₂ O ₂ Catalyzed by Magnetic Mn _{0.4} Zn _{0.4} Fe ₂ O ₄ @SiO ₂	XU Dong-ying, YU Jing, HAO Qi, <i>et al.</i> (2650)
Effect of Two Types of Nanoparticles on the Adsorption of Ciprofloxacin on Zeolite	JIANG Lan-cui, MENG Zhao-fu, LIU Xian, <i>et al.</i> (2662)
Adsorption Mechanisms and Effect Factors of As(V) by AMD Sludge Composite Material	ZHANG Ya-hui, ZHANG Rui-xue, WU Pan, <i>et al.</i> (2673)
Shifts in Microbial Community and Variation in Functional Genes for Nitrification and Denitrification in Activated Sludge Affected by Triclosan and Its Transformed Intermediates	LU Ying-yuan, DONG Xiao-qi, PENG Xing-xing, <i>et al.</i> (2685)
Construction of Sustainability Evaluation Index System for Contaminated Site Risk Management and Analysis on Key Influential Factors	LI Xiao-nuo, YI Shi-yi, CHEN Wei-ping (2699)
Construction and Empirical Analysis of a Comprehensive Evaluation Method of Coastal Wetland Soil Quality Based on Ecological Functions	ZHANG Xue, KONG Fan-long, JIANG Zhi-xiang (2709)
Source Analysis and Pollution Assessment of Heavy Metals in Farmland Soil Around Tongshan Mining Area	CHEN Hang, WANG Ying, WANG Shu (2719)
Effects of Typical Iron and Manganese Minerals on Arsenic Speciation and Enzyme Activities in Paddy Soil	ZHOU Yi-min, HUANG Ya-yuan, LIU Kai, <i>et al.</i> (2732)
Phytoremediation Efficiency of Two Cultivars of <i>Brassica napus</i> L. Under Water-soluble Chitosan Treatment in Typical Pb-contaminated Farmland Soils	MENG Xiao-fei, ZHENG Guo-di, CHEN Tong-bin, <i>et al.</i> (2741)
Risk Prediction of Cadmium and Lead in Wheat Grains Based on Bayes Theorem	WANG Tian-qi, LI Yan-ling, YANG Yang, <i>et al.</i> (2751)
Interannual Variation Characteristics of Nitrogen Loss Under Rapeseed/Maize Rotation in Purple Soil Sloping Field	XU Man, GAO Ming, YU Luo, <i>et al.</i> (2758)
Physicochemical Properties of Biochars Prepared from Different Feedstocks and Evaluation of Its Potential as A Slow-release Carriers for Biochar-based Fertilizers	XING Li-bin, CHENG Jie, GENG Zeng-chao, <i>et al.</i> (2770)
Effects of Combined Application of Wood Vinegar-Acidified Biochar and Nitrogen on Active Nitrogen and Ammonia Volatilization in Saline Soil	SHEN Shu-wei, ZHANG Dan-dan, WANG Min-ge, <i>et al.</i> (2779)
Effects of Biodegradable Plastic Film Mulching on Greenhouse Gas Emissions Under Wheat-Maize Rotation System in the Guanzhong Plain	GUO Yi-ting, LUO Xiao-qi, WANG Rui, <i>et al.</i> (2788)
Forest Soil Microbial Community Structure Characteristics and Its Influencing Factors at Different Elevations on the Southern Slope of Daiyun Mountain	HE Zhong-sheng, WANG Zi-wei, ZHU Jing, <i>et al.</i> (2802)
Effects of Simulated Warming and Increased Precipitation on Soil Extracellular Enzyme Activity and Enzymatic Stoichiometry of Abandoned Grassland	WANG Xing, ZHONG Ze-kun, JIAN Jun-nan, <i>et al.</i> (2812)
Contribution of Urbanization to Local Warming in Major Cities of China	LI Yu, ZHOU De-cheng, YAN Zhang-mei, <i>et al.</i> (2822)