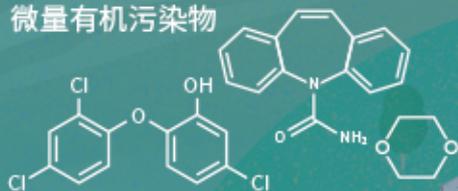


### 城市污水再生处理中微量有机污染物控制的关键难题与解决思路

王文龙, 吴乾元, 杜焯, 黄南, 陆韻, 魏东斌, 胡洪营

微量有机污染物



### 深度处理

- 污染物非靶向筛查
- 新型处理技术开发
- 处理效率替代性指标
- 工艺运行指南与排放标准

污水处理厂

深度处理

污水再生利用

湖泊湿地等

景观娱乐用水

污水达标排放

下游城市水源地

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2021年6月

第42卷 第6期

Vol.42 No.6

目次

综述与专论

城市环境生物安全研究的进展与挑战 ..... 苏建强, 安新丽, 胡安谊, 朱永官 (2565)  
城市污水再生处理中微量有机污染物控制的关键难题与解决思路 ..... 王文龙, 吴乾元, 杜焯, 黄南, 陆韻, 魏东斌, 胡洪莹 (2573)  
污泥 EPS 作为阻燃剂的机制归纳与潜力分析 ..... 郝晓地, 赵梓丞, 李季, 时琛, 吴远远 (2583)

研究报告

北京大气 PM<sub>2.5</sub> 载体金属浓度、来源及健康风险的城郊差异 ..... 周安琪, 刘建伟, 周旭, 毕思琪, 张博哈, 高越, 曹红斌 (2595)  
京津冀及周边 MAIAC AOD 和 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度特征及相关性分析 ..... 金国因, 杨兴川, 晏星, 赵文吉 (2604)  
天津市 PM<sub>2.5</sub> 中二次硝酸盐形成及防控 ..... 肖致美, 武婷, 卫昱婷, 徐虹, 李立伟, 李鹏, 陈魁, 邓小文 (2616)  
南京市大气细颗粒物 (PM<sub>2.5</sub>) 中硝基多环芳烃污染特征与风险评估 ..... 傅银银, 文浩哲, 王向华, 于南洋, 李冰, 韦斯 (2626)  
汾渭平原吸收性气溶胶时空演化及潜在源区分析 ..... 刘旻霞, 李亮, 于瑞新, 宋佳颖, 张国娟, 穆若兰, 徐璐 (2634)  
西南典型区域夏季大气含氧挥发性有机化合物来源解析 .....  
..... 陈木兰, 王赛男, 陈天舒, 朱波, 彭超, 周佳维, 车汉雄, 黄汝辉, 杨复沫, 刘合凡, 谭钦文, 韩丽, 陈军辉, 陆克定, 陈阳 (2648)  
气溶胶中溶解性有机质 (DOM) 液相氧化 ..... 陶冶, 陈彦彤, 李楠旺, 张敬宇, 叶招莲, 盖鑫磊 (2659)  
基于 MERRA-2 再分析资料的上海市近 40 年大气黑碳浓度变化及潜在来源解析 .....  
..... 曹闪闪, 段玉森, 高婵婵, 苏玲, 杨怡萱, 张洋, 蔡超琳, 刘敏 (2668)  
石家庄市臭氧和二氧化氮的时空演替特征及来源解析 ..... 王帅, 聂赛赛, 冯亚平, 崔建升, 陈静, 刘大喜, 石文雅 (2679)  
基于光化学指数的邯郸市臭氧生成敏感性 ..... 牛元, 程水源, 欧盛菊, 姚诗音, 沈泽亚, 关攀博 (2691)  
基于 Landsat 数据的关中盆地腹地 AOD 时空格局及城市化对其影响 ..... 郑玉蓉, 王旭红, 张秀, 胡贵贵, 梁秀娟, 牛林芝, 韩海青 (2699)  
基于卫星遥感和地面观测的人为源 VOCs 区域清单多维校验 ..... 王玥, 魏巍, 任云婷, 王晓琦, 陈赛赛, 程水源 (2713)  
中原城市群国家干线公路 SOA 生成潜势估算 ..... 王娜萍, 李海萍, 张帆 (2721)  
北京市“大气十条”实施的空气质量改善效益 ..... 卢亚灵, 范朝阳, 蒋洪强, 牛传真, 李勃 (2730)  
工业大气污染源排放绩效定量评价及应用 ..... 李廷昆, 冯银厂, 吴建会, 毕晓辉, 张裕芬 (2740)  
基于生态风险的我国水环境高风险抗生素筛选排序 ..... 周力, 刘珊, 郭家骅, 李琦 (2748)  
基于 RDA-REM 模型的我国再生水开发利用潜力 ..... 郑锦涛, 马涛, 刘九夫, 彭安帮, 邓晰元, 郑皓 (2758)  
基于模型研究质量评价的 SWAT 模型参数取值特征分析 ..... 荣易, 秦成新, 杜鹏飞, 孙博 (2769)  
大型浅水湖泊水质模型边界负荷敏感性分析 ..... 王亚宁, 李一平, 程月, 唐春燕, 陈刚 (2778)  
不同流域水陆过渡带磷有效态的特征对比及环境意义 ..... 朱海, 袁旭音, 叶宏萌, 成瑾, 毛志强, 韩年, 周慧华 (2787)  
基于不同赋权方法的北运河上游潜在非点源污染风险时空变化特征分析 .....  
..... 李华林, 张建军, 张耀方, 常国梁, 时迪迪, 徐文静, 宋卓远, 于佩丹, 张守红 (2796)  
长期施肥和耕作下紫色土坡耕地径流 TN 和 TP 流失特征 ..... 吴小雨, 李天阳, 何丙辉 (2810)  
渭河和泾河流域浅层地下水水化学特征和控制因素 ..... 刘鑫, 向伟, 司炳成 (2817)  
太湖流域上游南苕溪水夏季水体溶存二氧化碳和甲烷浓度特征及影响因素 .....  
..... 梁佳辉, 田琳琳, 周钟昱, 张海阔, 张方方, 何圣嘉, 蔡廷江 (2826)  
低温期浅水湖泊氮的分布及无机氮扩散通量: 以白洋淀为例 ..... 文艳, 单保庆, 张文强 (2839)  
覆盖条件下底泥微环境对内源磷释放的影响 ..... 陈姝彤, 李大鹏, 徐楚天, 张帅, 丁玉琴, 孙培荣, 黄勇 (2848)  
圩区河道底泥腐殖酸对重金属和抗生素的共吸附 ..... 薛向东, 杨宸豪, 于荐麟, 庄海峰, 方程冉 (2856)  
两种 PPCPs 对雅鲁藏布江沉积物硝化作用的影响 ..... 凌欣, 徐慧平, 陆光华 (2868)  
铁碳微电解及沸石组合人工湿地的废水处理效果 ..... 赵仲婧, 郝庆菊, 张尧钰, 熊维霞, 曾唯, 陈俊江, 江长胜 (2875)  
CDs-BOC 复合催化剂可见光下活化过硫酸盐降解典型 PPCPs ..... 雷倩, 许路, 艾伟, 李志敏, 杨磊 (2885)  
pg-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/BiOBr/Ag 复合材料的制备及其光催化降解磺胺甲噁唑 ..... 杨利伟, 刘丽君, 夏训峰, 朱建超, 高生旺, 王洪良, 王书平 (2896)  
海藻酸钠负载硫化零价铁对水体中 Cr(VI) 的还原去除 ..... 王旭, 杨欣楠, 黄币娟, 刘壮, 牟诗萌, 程敏, 谢燕华 (2908)  
超顺磁性纳米 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub> 功能化材料对镉的吸附机制 ..... 张立志, 易平, 方丹丹, 王强 (2917)  
典型药物在医院废水和城市污水处理厂中的污染特征及去除情况 ..... 叶璞, 游文丹, 杨滨, 陈阳, 汪立高, 赵建亮, 应光国 (2928)  
印染废水循环利用抗生素抗性基因丰度变化特性 ..... 徐瑶瑶, 王锐, 金鑫, 石炬, 王岩, 金鹏康 (2937)  
短程硝化反硝化除磷颗粒污泥的同步驯化 ..... 王文琪, 李冬, 高鑫, 刘博, 张杰 (2946)  
厌氧氨氧化颗粒污泥的长期保藏及快速活性恢复 ..... 李冬, 刘名扬, 张杰, 曾辉平 (2957)  
市政污泥热解过程中重金属迁移特性及环境效应评估 ..... 姜媛媛, 王彦, 段文焱, 左宁, 陈芳媛 (2966)  
不同作物农田土壤抗生素抗性基因多样性 ..... 黄福义, 周曙仡, 王佳妮, 苏建强, 李虎 (2975)  
宁夏养牛场粪污和周边土壤中抗生素及抗生素抗性基因分布特征 ..... 张俊华, 陈睿华, 刘吉利, 尚天浩, 沈聪 (2981)  
温度和搅拌对牛粪厌氧消化系统抗生素抗性基因变化和微生物群落的影响 .....  
..... 许继飞, 张秋萍, 朱天骄, 秦帅, 朱文博, 庞小可, 赵吉 (2992)  
小麦秸秆生物质炭施用对不同耕作措施土壤碳含量变化的影响 ..... 刘振杰, 李鹏飞, 黄世威, 金相乐, 张阿凤 (3000)  
农牧交错带典型区土壤氮磷空间分布特征及其影响因素 ..... 张燕江, 王俊鹏, 王瑜, 张兴昌, 甄庆, 李鹏飞 (3010)  
汞矿区周边土壤重金属空间分布特征、污染与生态风险评价 ..... 王锐, 邓海, 贾中民, 王佳彬, 余飞, 曾琴琴 (3018)  
调理剂对磷镉富集土壤中两种元素交互作用的影响 ..... 黄洋, 胡学玉, 曹坤坤, 张敏, 胡晓晓, 王子劲 (3028)  
S-烯丙基-L-半胱氨酸缓解水稻种子幼根和幼芽镉胁迫机制 ..... 程六龙, 黄永春, 王常荣, 刘仲齐, 黄益宗, 张长波, 王晓丽 (3037)  
连续 4 个生长季大气 CO<sub>2</sub> 升高与土壤铅 (Pb) 污染耦合下刺槐幼苗根际土壤微生物特征 .....  
..... 贾夏, Lkhagvajargal Khadkhurel, 赵永华, 张春燕, 张宁静, 高云峰, 王子威 (3046)  
嗜热脂肪地芽孢杆菌对聚苯乙烯的降解性能 ..... 邢睿智, 赵子强, 赵文琪, 陈志, 陈金凤, 周顺桂 (3056)  
冬青和女贞叶表面颗粒物微形态及叶际细菌群落结构 ..... 李慧娟, 徐爱玲, 乔凤祿, 蒋敏, 宋琪 (3063)  
罗红霉素对大型溛生殖生长及抗氧化系统的影响 ..... 张凌玉, 刘建超, 冷阳, 陆光华 (3074)  
中国粮食作物产量和木本植物生物量与地表臭氧污染响应关系 ..... 冯兆忠, 彭金龙 (3084)  
《环境科学》征订启事(2698) 《环境科学》征稿简则(2712) 信息(3027, 3055, 3073)

# 长期施肥和耕作下紫色土坡耕地径流 TN 和 TP 流失特征

吴小雨, 李天阳, 何丙辉\*

(西南大学资源环境学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715)

**摘要:** 为探究长期施肥和耕作对坡耕地径流率及随径流流失的氮、磷元素的影响, 在紫色土坡耕地设置 5 个处理: 顺坡耕作无施肥 (CK)、顺坡耕作有机肥与化肥配施 (T1)、顺坡耕作单施化肥 (T2)、顺坡耕作单施化肥增量 (T3) 和横坡垄作单施化肥 (T4), 分析了 2008~2019 年间共 104 场侵蚀性降雨事件下, 各处理的径流率, 总氮 (TN)、总磷 (TP) 流失浓度及其流失率的变化特征. 结果表明, 各施肥处理间径流率差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 但均低于 CK ( $P < 0.05$ ). CK 处理的 TN 流失浓度显著高于其他施肥处理 ( $P < 0.05$ ), T2、T3 和 T4 处理间 TN 流失浓度差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 但均显著高于 T1 ( $P < 0.05$ ). T1、T2 和 T3 处理的 TP 流失浓度显著高于 CK ( $P < 0.05$ ), 但 T4 处理的 TP 流失浓度显著低于 CK ( $P < 0.05$ ). 各施肥处理间 TN 流失率差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 但均显著低于 CK ( $P < 0.05$ ); 各顺坡耕作处理间 TP 流失率差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 但均显著高于横坡耕作 ( $P < 0.05$ ). CK、T1 及 T2 处理下, 径流率与 TN、TP 流失浓度间的关系不显著, 在 T3 处理下上述关系表现为显著的线性负相关 ( $P < 0.05$ ), 在 T4 处理下则为显著的线性正相关 ( $P < 0.05$ ). 研究结果可为紫色土区坡耕地农业面源污染防治提供科学指导.

**关键词:** 施肥; 耕作; 氮、磷流失; 地表径流; 紫色土

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)06-2810-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.202009221

## Characteristics of Runoff-related Total Nitrogen and Phosphorus Losses Under Long-term Fertilization and Cultivation on Purple Soil Sloping Croplands

WU Xiao-yu, LI Tian-yang, HE Bing-hui\*

(Key Laboratory of Eco-environment in the Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** To elucidate the effects of long-term fertilization and cultivation on runoff rates and runoff-related nitrogen (N) and phosphorus (P) losses, the following five treatments were established on sloping purple soil cropland: ① no fertilizer with downslope tillage (CK), ② combined application of manure and fertilizer with downslope tillage (T1), ③ chemical fertilizers with downslope tillage (T2), ④ chemical fertilizer with increasing fertilization with downslope tillage (T3), and ⑤ chemical fertilizer with contour tillage (T4). The runoff rate, runoff-related total N (TN), and total P (TP) concentrations and their loss rates from 104 erosive rainfall events were determined for the period 2008-2019. Results showed that although runoff rates were not significantly different among the fertilization treatments ( $P > 0.05$ ), runoff was markedly lower in fertilization treatments than in the CK treatment ( $P < 0.05$ ). Runoff-related TN concentrations were significantly higher in the CK compared to the fertilization treatments ( $P < 0.05$ ), while there were no significant differences among the T2, T3, and T4 treatments, which had higher concentrations than the T1 treatment. Runoff-related TP concentrations were significantly higher from the T1, T2, and T3 treatments than the CK treatment ( $P < 0.05$ ), and were significantly lower in the T4 than the CK treatment ( $P < 0.05$ ). TN loss rates were not significantly different among the fertilization treatments ( $P > 0.05$ ), but were all lower than the CK treatment ( $P < 0.05$ ). Furthermore, TP loss rates were not significantly different among the downslope treatments ( $P > 0.05$ ), but were all higher than the contour treatment ( $P < 0.05$ ). Runoff rates showed no significant relationships with TN and TP concentrations in the CK, T1, and T2 treatments but were significantly negatively linearly correlated in T3 ( $P < 0.05$ ) and significantly positively linearly correlated in T4 ( $P < 0.05$ ). These results potentially provide scientific guidance for the prevention and control of agricultural non-point source pollution on sloping croplands in the purple soil area.

**Key words:** fertilization; cultivation; nitrogen and phosphorus loss; surface runoff; purple soil

在降雨和径流的作用下, 坡耕地氮 (N) 和磷 (P) 等元素发生流失, 不仅导致土壤肥力下降, 还造成下游水体富营养化<sup>[1~3]</sup>. 施肥和耕作的差异对坡耕地径流及 N、P 流失有重要影响<sup>[4,5]</sup>. 近年来, 已有大量研究报道了不同施肥与耕作模式下产流、产沙及养分流失的特征<sup>[6,7]</sup>, 结果表明与单施化肥处理相比, 有机肥与化肥配施能够降低 N、P 流失风

险. 秦雪超等<sup>[8]</sup>的研究认为, 根据作物需氮量适当降低氮肥施用量, 能显著减少 N 流失.

收稿日期: 2020-09-22; 修订日期: 2020-11-17

基金项目: 农业农村部农田氮磷流失及农田地膜残留污染监测评价项目 (125A0701); 国家自然科学基金项目 (41771312); 中央高校基本科研业务费专项 (SWU118079)

作者简介: 吴小雨 (1995~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为城市水土保持与农业面源污染, E-mail: 292386599@qq.com

\* 通信作者, E-mail: hebinghui@swu.edu.cn

紫色土是由中生代紫色砂、页岩风化而成的一种岩性土,其养分含量丰富,但土层较薄,极易发生水土流失,并导致大量养分流失<sup>[9~11]</sup>。目前,已有研究报道了紫色土坡耕地不同施肥和耕作方式对土壤养分流失的影响。如,闫建梅等<sup>[12]</sup>分析了不同施肥水平与耕作模式对紫色土坡地径流及 P 流失的影响。林超文等<sup>[13]</sup>的研究发现,与顺坡耕作相比,横坡垄作能减少地表径流、地下径流、土壤侵蚀量及 N、P 等元素的流失量。然而,目前的研究大多集中于单一措施的作用,关于紫色土区坡耕地施肥和耕作对径流以及 N、P 等元素流失规律的影响仍不清楚<sup>[14,15]</sup>,还需要长期的监测数据阐明其相关作用机制。本文基于紫色土坡耕地 2008~2019 年间不同施肥水平及耕作方式下地表径流监测试验,分析了 104 场侵蚀性降雨事件下,径流率、总氮(TN)、总磷(TP)流失浓度及流失率变化特征,以期为合理确定紫色土区坡耕地的施肥水平和耕作模式及降低农业面源污染风险提供科学指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

研究区位于重庆市西南大学后山农业面源污染监测基地(106°24'20"E, 29°48'42"N)。该区以丘陵地貌为主,属亚热带季风气候区,年平均气温 18.3℃,平均日照时数 1 270 h,无霜期约 334 d。年平均降雨 1 100 mm,降雨主要集中在 5~9 月,占全年的 70% 以上。土壤类型主要为沙溪庙组紫色砂泥岩母质发育中等肥力水平的紫色土。

### 1.2 试验设计

在坡度为 15° 的紫色土坡面上,水平设置 15 个径流小区,规格均为长 8 m,宽 4 m(图 1)。小区间用宽 25 cm 且高于地面 20 cm 的水泥砖墙隔开。各小区均采用冬小麦-夏玉米轮作种植模式,其中,冬小麦采用穴播的方式,于 11 月上旬播种,次年 5 月中旬收获;夏玉米采用移栽的方式,于当年 3 月开始育苗,4 月中旬移栽,8 月上旬收获。播种用冬小麦品种为“渝麦 7 号”,夏玉米品种为“中糯 309”<sup>[16]</sup>。

本研究于 2008 年雨季起,开始长期定位施肥和耕作作用下地表径流监测试验。试验共设置 5 组处理:顺坡耕作无施肥(CK)、顺坡耕作有机肥与化肥配施(T1)、顺坡耕作单施化肥(T2)、顺坡耕作单施化肥增量(T3)和横坡垄作单施化肥(T4),各处理设置 3 个重复。T4 田垄高 5~8 cm,垄距 40 cm,垄面宽 40~50 cm。试验期间每年施肥量固定,施肥方式为撒施。冬小麦播种前施底肥,来年 2 月施追肥,施肥方法为:30% 氮肥作为底肥,60% 在拔节期追肥,10% 在孕穗期追肥;一次性施磷肥作为底肥;70% 钾肥作为底肥,余 30% 在拔节期追肥。夏玉米播种前施底肥,同年 5 月下旬施追肥,施肥方法为:全部磷肥和钾肥,30% 氮肥为底肥,剩下 70% 氮肥为追肥。具体施肥量见表 1。其中,氮、磷和钾肥分别采用尿素、过磷酸钙和氯化钾。尿素含 N ≥ 46.4%,过磷酸钾含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ≥ 12%,氯化钾含 K<sub>2</sub>O ≥ 60%,有机肥为农家肥(猪粪尿),含有机 C 4.31%、N 0.24%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.17% 和 K<sub>2</sub>O 0.21%。

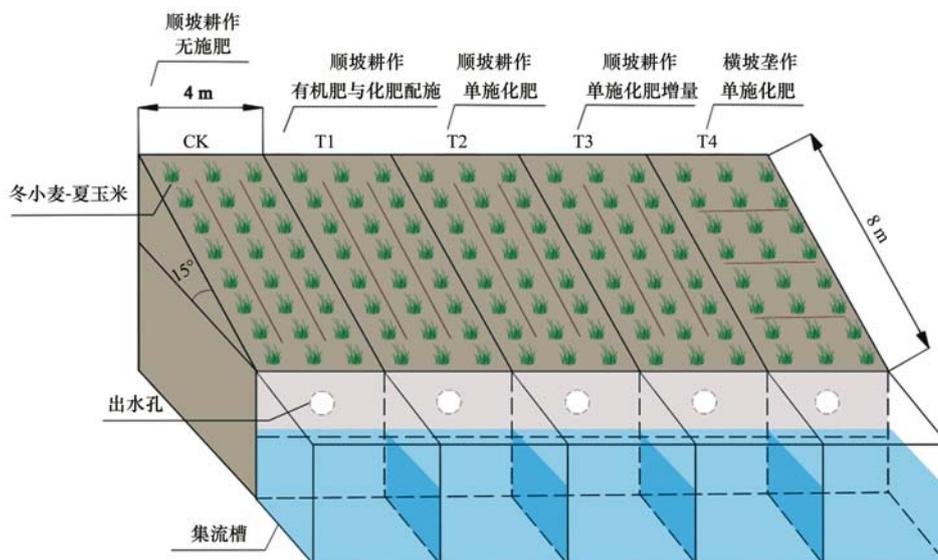


图 1 试验小区示意

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental plots

表 1 2008~2019 年间各处理施肥情况

Table 1 Fertilization of different treatments during the period 2008-2019

试验处理	小麦肥料施用量/kg·hm <sup>-2</sup>				玉米肥料施用量/kg·hm <sup>-2</sup>			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	有机肥	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	有机肥
CK	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T1	138.00	45.00	0.00	72.00	221.00	144.00	0.00	216.00
T2	225.00	75.00	150.00	0.00	188.00	90.00	150.00	0.00
T3	337.50	112.50	225.00	0.00	282.00	135.00	225.00	0.00
T4	225.00	75.00	150.00	0.00	188.00	90.00	150.00	0.00

### 1.3 径流样品采集和分析

利用径流池收集径流样. 在降雨产流产沙完成后, 先测定径流池内径流总量, 然后用清洁竹竿充分搅匀, 在不同部位、不同深度进行多点采样. 将采集水样转入 500 mL 去离子水润洗后的塑料瓶中, 贴上标签, 将样品送往实验室 -20℃ 保存, 以便后期进行相关指标的测定. 在取样结束后, 抽排每个径流池中径流水, 并清洗干净, 为下次降雨事件径流采样做准备. 本试验采用常规方法测定径流中的总氮(TN)和总磷(TP)浓度, 其中 TN(mg·L<sup>-1</sup>)采用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法测定(GB 11894-89, 测定波长为 220 nm、275 nm), TP(mg·L<sup>-1</sup>)采用过硫酸钾氧化-钼蓝比色法测定(GB 11893-89, 测定波长为 700 nm).

### 1.4 径流率与 TN 和 TP 流失率计算

径流率计算公式为:

$$R = q / (b \times l) \quad (1)$$

式中,  $R$  为径流率(L·m<sup>-2</sup>),  $q$  是小区总径流量(L),  $b$  是小区的宽度(m),  $l$  是小区的长度(m).

TN 和 TP 流失率计算公式为:

$$P_{\text{TN}} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \times V_i}{b \times l} \quad (2)$$

$$P_{\text{TP}} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \times V_i}{b \times l} \quad (3)$$

式中,  $P_{\text{TN}}$  和  $P_{\text{TP}}$  分别为 TN 和 TP 的流失率(mg·m<sup>-2</sup>),  $c_i$  为第  $i$  次径流水中 TN 或 TP 的浓度(mg·L<sup>-1</sup>);  $V_i$  为第  $i$  次径流水的体积(L),  $b$  是小区的宽度(m),  $l$  是小区的长度(m).

### 1.5 数据处理

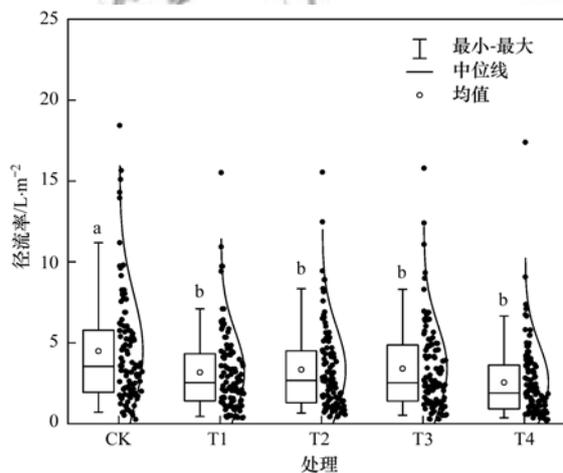
采用 SPSS 25 软件进行数据的处理与分析. 利用单因素方差(One-way ANOVA)对不同处理下径流率、TN、TP 流失浓度及流失率间的差异进行分析. 采用 Pearson 分析探究 TN 和 TP 流失浓度与径流率间的相关关系, 采用回归分析建立这些变量间的数量关系. 本文显著水平为:  $P < 0.05$  为差异显著,  $P < 0.01$  为差异极显著. 采用 Originlab 2018

绘图.

## 2 结果与分析

### 2.1 长期施肥与耕作对径流率的影响

长期施肥和耕作下, 各处理的径流率变化如图 2 所示. 对所有处理而言, 最大径流率和最小径流率分别发生在 CK 处理下(18.43 L·m<sup>-2</sup>)和 T4 处理下(0.20 L·m<sup>-2</sup>). 在 2008~2019 年间, CK、T1、T2、T3 和 T4 处理的径流率变化范围分别为 0.27~18.43、0.36~15.52、0.43~15.55、0.28~15.79 和 0.20~17.40 L·m<sup>-2</sup>. T1、T2、T3 和 T4 处理间平均径流率差异不显著( $P > 0.05$ ), 但显著低于 CK( $P < 0.05$ ), 表现为 CK(4.49 L·m<sup>-2</sup>)分别是 T1(3.17 L·m<sup>-2</sup>)、T2(3.34 L·m<sup>-2</sup>)、T3(3.41 L·m<sup>-2</sup>)和 T4(2.55 L·m<sup>-2</sup>)的 1.42、1.34、1.32 和 1.76 倍.



不同小写字母表示不同处理差异显著( $P < 0.05$ ), 下同

图 2 不同处理下紫色土坡耕地径流率变化

Fig. 2 Changes in runoff rates under different treatments in purple sloping cropland

### 2.2 长期施肥与耕作对 TN、TP 流失浓度及流失率的影响

长期施肥和耕作下, 各处理径流中 TN 流失浓度变化如图 3(a)所示. 本试验期间, TN 流失浓度变化范围为 0.79~13.94 mg·L<sup>-1</sup>. CK 处理下 TN 流失浓度显著高于其他处理( $P < 0.05$ ), 而 T2、T3 与 T4 处理之间差异不显著, 但均显著高于 T1, 表现为:

CK ( $7.85 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、T2 ( $5.74 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、T3 ( $5.93 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 和 T4 ( $5.32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), 分别是 T1 ( $3.80 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 的 2.07、1.51、1.56 和 1.40 倍. 长期施肥和耕作下, 各处理径流中 TP 流失浓度变化如图 3(b) 所示. 在试验期间, TP 流失浓度变化在  $0.30 \sim 2.69 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . T1 处理下 TP 流失浓度显著高于

CK 与 T4 ( $P < 0.05$ ), T2 与 T3 之间差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 但它们均显著高于 T4, CK 显著高于 T4 ( $P < 0.05$ ), 表现为 T1 ( $1.23 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 分别是 CK ( $1.01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、T2 ( $1.14 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、T3 ( $1.11 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 和 T4 ( $0.81 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 的 1.22、1.08、1.11 和 1.52 倍.

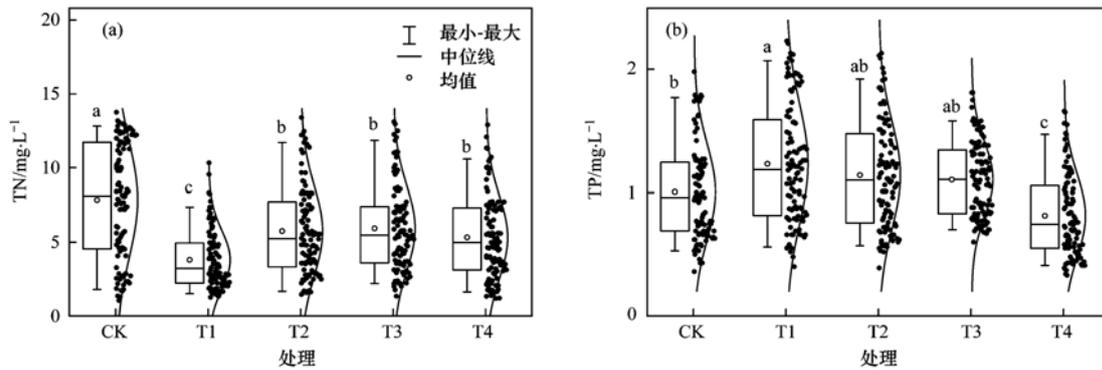


图 3 不同处理下 TN 和 TP 流失浓度变化

Fig. 3 Changes in TN and TP concentrations under different treatments in purple sloping cropland

长期施肥和耕作下, 各处理径流中 TN 和 TP 流失率变化如图 4 所示. 在试验期间, TN 流失率变化范围为  $0.64 \sim 224.34 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$ , TP 流失率变化范围为  $0.08 \sim 23.59 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$ . 可以看出 CK 处理下 TN 流失率显著高于其他处理 ( $P < 0.05$ ), 但 T1、T2、T3 和 T4 处理间差异不显著 ( $P > 0.05$ ); T4 处理下 TP 流失率显著低于其他处理 ( $P < 0.05$ ), 但 CK、T1、T2 和 T3 处理间差异不显著 ( $P$

$> 0.05$ ). 与其他处理相比, CK ( $36.45 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 处理下 TN 平均流失率分别是 T1 ( $12.67 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$ )、T2 ( $19.89 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$ )、T3 ( $21.38 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 和 T4 ( $15.05 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 的 2.88、1.83、1.70 和 2.42 倍. 与 T4 ( $2.26 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 相比, CK ( $4.73 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$ )、T1 ( $4.01 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$ )、T2 ( $4.01 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 和 T3 ( $3.85 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 处理下 TP 平均流失率分别是 T4 的 2.09、1.77、1.77 和 1.71 倍.

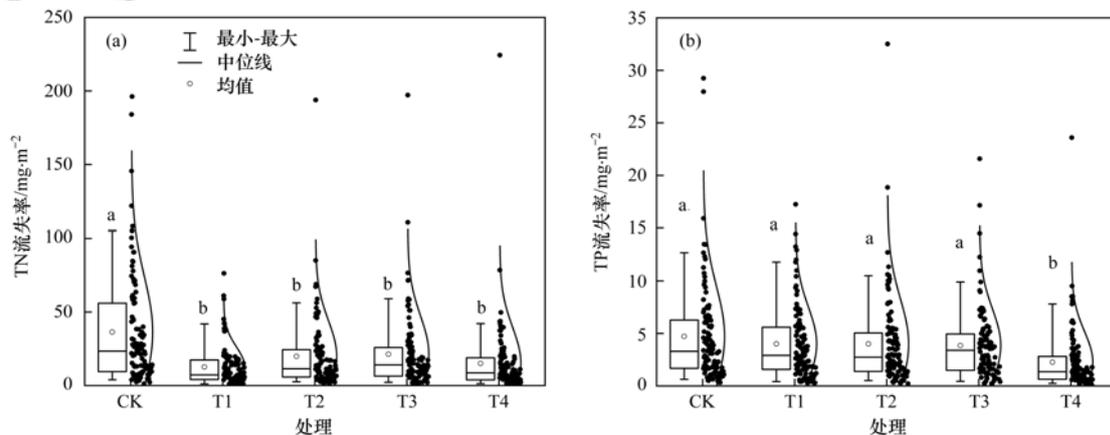


图 4 不同处理下 TN 和 TP 流失率变化

Fig. 4 Changes in TN and TP loss rates under different treatments in purple sloping cropland

### 2.3 径流率与 TN 和 TP 流失浓度间的关系

长期施肥和耕作下, 各处理 TN 和 TP 流失浓度与径流率的关系如图 5 所示. 可以看出, 除 T4 处理下 TN 和 TP 流失浓度与径流率呈显著正相关 ( $P < 0.05$ ) 外, 其它处理下 TN 和 TP 流失浓度与径流率均无显著关系 ( $P > 0.05$ ). T3 处理下, TN 与 TP 流失浓度呈显著负相关 ( $P < 0.05$ ), T4 处理下 TN 与

TP 流失浓度呈显著正相关 ( $P < 0.05$ ), 其他处理下 TN 与 TP 流失浓度无显著关系 ( $P > 0.05$ ).

## 3 讨论

### 3.1 长期施肥和耕作对紫色土坡耕地径流率的影响

本研究结果表明, 顺坡耕作无施肥处理径流率

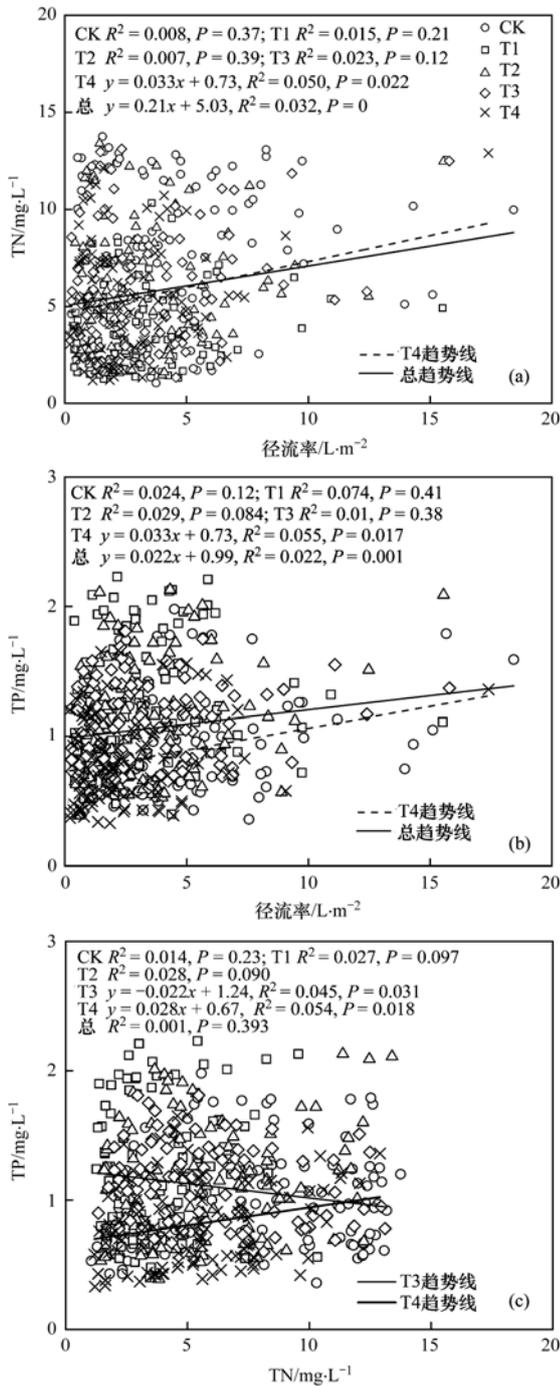


图5 不同处理下紫色土坡耕地径流率、TN与TP间流失浓度关系

Fig. 5 Relationships between runoff rate and TN as well as TP concentrations under different treatments in purple sloping cropland

最大,反映出长期施肥及横坡垄作有利于降低地表径流率,这与彭石磊等<sup>[17]</sup>的研究结果相似,主要原因是长期施肥能够增加土壤中的C、N和P含量<sup>[16]</sup>,提高土壤团聚体稳定性<sup>[18]</sup>,增加土壤孔隙和土壤水分入渗能力,从而改善土壤结构,增加土壤水源涵养能力<sup>[19,20]</sup>。横坡垄作能显著降低径流率,主要是因为横坡垄作的土垄改变了坡面微地貌,增大了地表粗糙度和地表水流阻力,并在降雨量过大时

促使雨水在横垄中横向运移,增长了水分入渗路径,促使更多水流入渗而减少径流量<sup>[21,22]</sup>。

### 3.2 长期施肥和耕作对TN、TP流失浓度及流失率的影响

本研究结果表明,顺坡耕作无施肥处理下TN流失浓度最大,而长期施肥及横坡垄作有利于降低TN流失浓度,这与鲁耀等<sup>[22]</sup>的研究结果一致。这可能是因为施肥有利于提高土壤团聚体稳定性,加大土壤的固N作用,降低N流失浓度。顺坡耕作有机肥与化肥配施处理下TN流失浓度最低,这可能是因为一方面有机肥能培肥地力,改善土壤结构和促进养分再循环<sup>[23]</sup>,从而有利于土壤N养分利用;另一方面,施用有机肥还有利于增强土壤微生物活性,提高微生物的固N作用,从而降低N流失浓度<sup>[24,25]</sup>。该结果与孟令宇等<sup>[26]</sup>的研究结果相似。

本研究中,顺坡耕作有机肥与化肥配施处理下TP流失浓度最高,这与夏文建等<sup>[27]</sup>的研究结果相似,这可能是因为施用有机肥能显著提高土壤P含量,长期施用有机肥导致P在土壤中大量累积,增加P流失浓度。横坡垄作单施化肥处理下TP流失浓度最低,可能是因为泥沙是P流失的主要载体<sup>[14]</sup>,横坡垄作使微地貌发生变化,泥沙淤积在沟垄中,从而降低了P流失的风险。

在自然降雨条件下,径流量及流失浓度是影响TN、TP流失率的控制因素。本研究中顺坡耕作无施肥处理下TN流失率最大,这主要是因为该处理下径流率和TN流失浓度都显著高于其他处理,因而其流失率也最大。横坡垄作单施化肥处理下TP流失率最小,这是因为该处理下TP流失浓度最低,且径流率也低于其他处理,其流失率也最低。

### 3.3 径流率与TN和TP流失浓度的关系

本研究发现,单独考虑各处理时,横坡垄作单施化肥处理下径流率与TN和TP流失浓度呈显著正相关,而综合分析时径流率与TN和TP流失浓度呈极显著正相关,表明相较于施肥,TN和TP的流失受耕作模式的影响可能更大。在顺坡耕作单施化肥增量处理下,TN、TP流失浓度呈显著负相关,而横坡垄作单施化肥处理下TN和TP流失浓度呈显著正相关,而综合分析各处理时,TN与TP的流失浓度相互无显著关系。高扬等<sup>[28]</sup>通过多场人工模拟降雨试验建立了紫色土坡耕地径流量与N、P浓度模型,研究表明径流量与N、P存在显著正相关关系,这与本研究结果相似。已有学者在不同尺度上利用SWAT模型开展了径流率与TN和TP流失浓度的关系的研究<sup>[26,29]</sup>,总体来看,这些变量间的相互作用关系仍不清楚。研究N及P浓度与径流( $c-q$ )关

系可加深对径流作用下土壤养分解吸及迁移过程的理解,为提出合理的面源污染防治措施,改善下游水体环境提供科学依据<sup>[30]</sup>。因此,长期的数据集更有利于揭示坡耕地不同施肥和耕作条件下径流率与 N、P 流失浓度间的耦合关系。

#### 4 结论

长期施肥及横坡耕作可以显著减少紫色土坡耕地径流率、TN 流失浓度及 TN 流失率,其中有机无机肥配施对减少径流中 TN 流失浓度的效果最好;横坡垄作比顺坡耕作更有利于减少 TP 流失浓度及其流失率;横坡垄作单施化肥处理下径流率与 TN 和 TP 流失浓度关系显著,且 TN 与 TP 流失浓度间也呈显著正相关;顺坡耕作单施化肥增量处理下, TN 与 TP 的流失浓度呈显著负相关。本研究结果可为控制坡耕地径流氮、磷流失浓度,降低农业面源污染风险及改善下游水体环境提供科学依据。

致谢:感谢西南大学资源环境学院研究生杜映妮和袁培栋等在试验期间的辛勤付出。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 司友斌,王慎强,陈怀满. 农田氮、磷的流失与水体富营养化[J]. 土壤, 2000, 32(4): 188-193.  
Si Y B, Wang S Q, Chen H M. Water eutrophication and losses of nitrogen and phosphates in farmland[J]. Soils, 2000, 32(4): 188-193.
- [3] Cordell D, White S. Life's bottleneck: sustaining the world's phosphorus for a food secure future[J]. Annual Review of Environment and Resources, 2014, 39: 161-188.
- [4] Arbuckle K E, Downing J A. The influence of watershed land use on lake N: P in a predominantly agricultural landscape[J]. Limnology and Oceanography, 2001, 46(4): 970-975.
- [5] Sharpley A N, Smith S J. Wheat tillage and water quality in the Southern plains[J]. Soil and Tillage Research, 1994, 30(1): 33-48.
- [6] 何丙辉,黄巍,郭甜,等. 不同施肥处理对紫色土坡耕地地表径流磷素流失的影响[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2012, 29(3): 42-47.  
He B H, Huang W, Guo T, et al. Characteristics of N and P loss in the soil of purple sloping farmland at different fertilization levels[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2012, 29(3): 42-47.
- [7] 冯小杰,郑子成,李廷轩. 紫色土区坡耕地玉米季地表径流及其氮素流失特征[J]. 水土保持学报, 2017, 31(1): 43-48, 54.  
Feng X J, Zheng Z C, Li T X. Characteristics of runoff and nitrogen loss in sloping cropland of purple soil during corn growing season[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2017, 31(1): 43-48, 54.
- [8] 秦雪超,潘君廷,郭树芳,等. 化肥减量替代对华北平原小麦-玉米轮作产量及氮流失影响[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(7): 1558-1567.  
Qin X C, Pan J T, Guo S F, et al. Effects of chemical fertilizer reduction combined with biogas fertilizer on crop yield of wheat-maize rotation and soil nitrogen loss in North China Plain[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2020, 39(7): 1558-1567.
- [9] Lin C W, Tu S H, Huang J J, et al. The effect of plant hedgerows on the spatial distribution of soil erosion and soil fertility on sloping farmland in the purple-soil area of China[J]. Soil and Tillage Research, 2009, 105(2): 307-312.
- [10] 罗付香,刘海涛,林超文,等. 不同形态氮肥在坡耕地雨季土壤氮素流失动态特征[J]. 中国土壤与肥料, 2015, (3): 20-28.  
Luo F X, Liu H T, Lin C W, et al. Effects of nitrogen fertilizer forms on soil nitrogen loss dynamics of sloping land in rainy season[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2015, (3): 20-28.
- [11] 中国科学院成都分院土壤研究室. 中国紫色土(上篇)[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [12] 闫建梅,何丙辉,田太强,等. 施肥水平与耕作模式对紫色土坡耕地地表径流磷素流失的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(1): 132-136.  
Yan J M, He B H, Tian T Q, et al. Effect of fertilizer levels and tillage methods on phosphorus loss in purple soil area[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29(1): 132-136.
- [13] 林超文,罗春燕,庞良玉,等. 不同耕作和覆盖方式对紫色丘陵区坡耕地水土及养分流失的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(22): 6091-6101.  
Lin C W, Luo C Y, Pang L Y, et al. Effects of different cultivation and mulching methods on soil erosion and nutrient losses from a purple soil of sloping land[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(22): 6091-6101.
- [14] 罗东海,王子芳,龙翼,等. 化肥减量配施生物炭对紫色土坡耕地磷流失的影响[J]. 环境科学, 2020, 41(3): 1286-1295.  
Luo D H, Wang Z F, Long Y, et al. Effect of optimized fertilization and biochar application on phosphorus loss in purple soil sloping farmland[J]. Environmental Science, 2020, 41(3): 1286-1295.
- [15] 龙天渝,刘祥章,刘佳. 紫色土坡耕地硝态氮随壤中流迁移的时空分布模拟[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(10): 1973-1978.  
Long T Y, Liu X Z, Liu J. Modeling spatial and temporal variation of nitrate loss via interflow in a sloping field of purple soil[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2015, 34(10): 1973-1978.
- [16] 杜映妮,李天阳,何丙辉,等. 长期施肥和耕作下紫色土坡耕地土壤 C、N、P 和 K 化学计量特征[J]. 环境科学, 2020, 41(1): 394-402.  
Du Y N, Li T Y, He B H, et al. Stoichiometric characteristics of purple sloping cropland under long-term fertilization and cultivation[J]. Environmental Science, 2020, 41(1): 394-402.
- [17] 彭石磊,何丙辉,王润泽,等. 自然降雨条件下不同施肥模式和耕作方式对坡耕地紫色土肥力质量的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(4): 318-326.  
Peng S L, He B H, Wang R Z, et al. Effect of soil fertility quality based on different fertilization and tillage patterns in slope cropland of purple soil under natural rainfall[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2018, 35(4): 318-

- 326.
- [18] 谢钧宇, 曹寒冰, 孟会生, 等. 不同施肥措施及施肥年限下土壤团聚体的大小分布及其稳定性[J]. 水土保持学报, 2020, **34**(3): 274-281, 290.
- Xie J Y, Cao H B, Meng H S, *et al.* Effects of different fertilization regimes and fertilization ages on size distribution and stability of soil aggregates [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2020, **34**(3): 274-281, 290.
- [19] 范亚琳, 刘贤赵, 高磊, 等. 不同培肥措施对红壤坡耕地土壤有机碳流失的影响[J]. 土壤学报, 2019, **56**(3): 638-649.
- Fan Y L, Liu X Z, Gao L, *et al.* Effects of fertility-building practices on soil organic carbon loss with sediment in sloping cropland of red soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2019, **56**(3): 638-649.
- [20] 杨帆, 程金花, 张洪江, 等. 坡面草本植物对土壤分离及侵蚀动力的影响研究[J]. 农业机械学报, 2016, **47**(5): 129-137.
- Yang F, Cheng J H, Zhang H J, *et al.* Effect of herb plants on soil detachment and erosion dynamics[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, **47**(5): 129-137.
- [21] Hatfield J L, Allmaras R R, Rehm G W, *et al.* Ridge tillage for corn and soybean production: environmental quality impacts[J]. *Soil and Tillage Research*, 1998, **48**(3): 145-154.
- [22] 鲁耀, 胡万里, 雷宝坤, 等. 云南坡耕地红壤地表径流氮磷流失特征定位监测[J]. 农业环境科学学报, 2012, **31**(8): 1544-1553.
- Lu Y, Hu W L, Lei B K, *et al.* The monitoring of nitrogen and phosphorus loss by surface runoff in sloping red soil fields of Yunan Province, China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, **31**(8): 1544-1553.
- [23] Sharma K L, Bajaj J C, Das S K, *et al.* Nutrient transformation in soil due to addition of organic manure and growing crops[J]. *Fertilizer Research*, 1992, **32**(3): 303-311.
- [24] 武爱莲, 王劲松, 董二伟, 等. 施用生物炭和秸秆对石灰性褐土氮肥去向的影响[J]. 土壤学报, 2019, **56**(1): 176-185.
- Wu A L, Wang J S, Dong E W, *et al.* Effect of application of biochar and straw on fate of fertilizer N in cinnamon soil [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2019, **56**(1): 176-185.
- [25] 刘汝亮, 张爱平, 李友宏, 等. 长期配施有机肥对宁夏引黄灌区水稻产量和稻田氮素淋失及平衡特征的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015, **34**(5): 947-954.
- Liu R L, Zhang A P, Li Y H, *et al.* Rice yield, nitrogen use efficiency (NUE) and nitrogen leaching losses as affected by long-term combined applications of manure and chemical fertilizers in Yellow River irrigated region of Ningxia, China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2015, **34**(5): 947-954.
- [26] 孟令宇, 杨浩瑜, 张乃明, 等. 基于 SWAT 模型茶园化肥减施增效配比研究[J]. 中国生态农业学报, 2020, **28**(8): 1239-1248.
- Meng L Y, Yang H Y, Zhang N M, *et al.* Optimizing chemical fertilizer use in a tea plantation based on the SWAT model [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020, **28**(8): 1239-1248.
- [27] 夏文建, 冀建华, 刘佳, 等. 长期不同施肥红壤磷素特征和流失风险研究[J]. 中国生态农业学报, 2018, **26**(12): 1876-1886.
- Xia W J, Ji J H, Liu J, *et al.* Effect of long-term fertilization on soil phosphorus characteristics and loss risk of red soil [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2018, **26**(12): 1876-1886.
- [28] 高扬, 朱波, 周培, 等. 紫色土坡地氮素和磷素非点源输出的人工模拟研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, **27**(4): 1371-1376.
- Gao Y, Zhu B, Zhou P, *et al.* Non-point source export of nitrogen and phosphorus from slope crop of purple soil with simulated rainfall method [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, **27**(4): 1371-1376.
- [29] 陈岩, 赵琰鑫, 赵越, 等. 基于 SWAT 模型的江西八里湖流域氮磷污染负荷研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2019, **55**(6): 1112-1118.
- Chen Y, Zhao Y X, Zhao Y, *et al.* Estimating nitrogen and phosphorus pollution load in Bali Lake basin of Jiangxi province based on SWAT model [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2019, **55**(6): 1112-1118.
- [30] Bieroza M Z, Heathwaite A L, Bechmann M, *et al.* The concentration-discharge slope as a tool for water quality management[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **630**: 738-749.

## CONTENTS

Advances and Challenges in Biosafety Research for Urban Environments .....	SU Jian-qiang, AN Xin-li, HU An-yi, <i>et al.</i> (2565)
Key Problems and Novel Strategy of Controlling Emerging Trace Organic Contaminants During Municipal Wastewater Reclamation .....	WANG Wen-long, WU Qian-yuan, DU Ye, <i>et al.</i> (2573)
Mechanisms Summary and Potential Analysis of EPS as a Flame Retardant .....	HAO Xiao-di, ZHAO Zi-cheng, LI Ji, <i>et al.</i> (2583)
Concentrations, Sources, and Health Risks of PM <sub>2.5</sub> Carrier Metals in the Beijing Urban Area and Suburbs .....	ZHOU An-qi, LIU Jian-wei, ZHOU Xu, <i>et al.</i> (2595)
MAIAC AOD and PM <sub>2.5</sub> Mass Concentrations Characteristics and Correlation Analysis in Beijing-Tianjin-Hebei and Surrounding Areas .....	JIN Jian-nan, YANG Xing-chuan, YAN Xing, <i>et al.</i> (2604)
Formation and Prevention of Secondary Nitrate in PM <sub>2.5</sub> in Tianjin .....	XIAO Zhi-mei, WU Ting, WEI Yu-ting, <i>et al.</i> (2616)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Nitro Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in PM <sub>2.5</sub> of Nanjing, China .....	FU Yin-yin, WEN Hao-zhe, WANG Xiang-hua, <i>et al.</i> (2626)
Spatio-temporal Patterns and Potential Sources of Absorbing Aerosols in the Fenwei Plain .....	LIU Min-xia, LI Liang, YU Rui-xin, <i>et al.</i> (2634)
Sources Apportionment of Oxygenated Volatile Organic Compounds (OVOCs) in a Typical Southwestern Region in China During Summer .....	CHEN Mu-lan, WANG Sai-nan, CHEN Tian-shu, <i>et al.</i> (2648)
Aqueous-phase Oxidation of Dissolved Organic Matter (DOM) from Extracts of Ambient Aerosols .....	TAO Ye, CHEN Yan-tong, LI Nan-wang, <i>et al.</i> (2659)
Changes and Potential Sources of Atmospheric Black Carbon Concentration in Shanghai over the Past 40 Years Based on MERRA-2 Reanalysis Data .....	CAO Shan-shan, DUAN Yu-sen, GAO Chan-chan, <i>et al.</i> (2668)
Spatio-Temporal Evolution Characteristics and Source Apportionment of O <sub>3</sub> and NO <sub>2</sub> in Shijiazhuang .....	WANG Shuai, NIE Sai-sai, FENG Ya-ping, <i>et al.</i> (2679)
Applying Photochemical Indicators to Analyze Ozone Sensitivity in Handan .....	NIU Yuan, CHENG Shui-yuan, OU Sheng-ju, <i>et al.</i> (2691)
Spatiotemporal Distribution of Aerosol Optical Depth Based on Landsat Data in the Hinterland of the Guanzhong Basin and Its Relationship with Urbanization .....	ZHENG Yu-rong, WANG Xu-hong, ZHANG Xiu, <i>et al.</i> (2699)
Multidimensional Verification of Anthropogenic VOCs Emissions Inventory Through Satellite Retrievals and Ground Observations .....	WANG Yue, WEI Wei, REN Yun-ting, <i>et al.</i> (2713)
Estimation of the SOA Formation Potential of the National Trunk Highway in Central Plains Urban Agglomeration .....	WANG Na-ping, LI Hai-ping, ZHANG Fan (2721)
Economic Benefit of Air Quality Improvement During Implementation of the Air Pollution Prevention and Control Action Plan in Beijing .....	LU Ya-ling, FAN Zhao-yang, JIANG Hong-qiang, <i>et al.</i> (2730)
Emission Performance Quantitative Evaluation and Application of Industrial Air Pollution Sources .....	LI Ting-kun, FENG Yin-chang, WU Jian-hui, <i>et al.</i> (2740)
Screening and Sequencing High-risk Antibiotics in China's Water Environment Based on Ecological Risks .....	ZHOU Li, LIU Shan, GUO Jia-hua, <i>et al.</i> (2748)
China's Reuse Water Development and Utilization Potential Based on the RDA-REM Model .....	ZHENG Jin-tao, MA Tao, LIU Jiu-fu, <i>et al.</i> (2758)
Characteristic Analysis of SWAT Model Parameter Values Based on Assessment of Model Research Quality .....	RONG Yi, QIN Cheng-xin, DU Peng-fei, <i>et al.</i> (2769)
Sensitivity Analysis of Boundary Load Reduction in a Large Shallow Lake Water Quality Model .....	WANY Ya-ning, LI Yi-ping, CHENG Yue, <i>et al.</i> (2778)
Comparison of Available Nitrogen and Phosphorus Characteristics in the Land-Water Transition Zone of Different Watersheds and Their Environmental Significance .....	ZHU Hai, YUAN Xu-yin, YE Hong-meng, <i>et al.</i> (2787)
Analysis of Spatial-Temporal Variation Characteristics of Potential Non-point Source Pollution Risks in the Upper Beiyun River Basin Using Different Weighting Methods .....	LI Hua-lin, ZHANG Jian-jun, ZHANG Yao-fang, <i>et al.</i> (2796)
Characteristics of Runoff-related Total Nitrogen and Phosphorus Losses Under Long-term Fertilization and Cultivation on Purple Soil Sloping Croplands .....	WU Xiao-yu, LI Tian-yang, HE Bing-hui (2810)
Hydrochemistry and Its Controlling Factors and Water Quality Assessment of Shallow Groundwater in the Weihe and Jinghe River Catchments .....	LIU Xin, XIANG Wei, SI Bing-cheng (2817)
Characteristics and Drivers of Dissolved Carbon Dioxide and Methane Concentrations in the Nantiaoxi River System in the Upper Reaches of the Taihu Lake Basin During Summer-Autumn .....	LIANG Jia-hui, TIAN Lin-lin, ZHOU Zhong-yu, <i>et al.</i> (2826)
Nitrogen Distribution and Inorganic Nitrogen Diffusion Flux in a Shallow Lake During the Low Temperature Period: A Case Study of the Baiyangdian Lake .....	WEN Yan, SHAN Bao-qing, ZHANG Wen-qiang (2839)
Effects of Sediment Microenvironment on Sedimentary Phosphorus Release Under Capping .....	CHEN Shu-tong, LI Da-peng, XU Chu-tian, <i>et al.</i> (2848)
Coadsorption of Heavy Metal and Antibiotic onto Humic Acid from Polder River Sediment .....	XUE Xiang-dong, YANG Chen-hao, YU Jian-lin, <i>et al.</i> (2856)
Effects of Two PPCPs on Nitrification in Sediments in the Yarlung Zangbo River .....	LING Xin, XU Hui-ping, LU Guang-hua (2868)
Wastewater Treatment Effects of Ferric-carbon Micro-electrolysis and Zeolite in Constructed Wetlands .....	ZHAO Zhong-jing, HAO Qing-ju, ZHANG Yao-yu, <i>et al.</i> (2875)
CDS-BOC Nanophotocatalyst Activating Persulfate Under Visible Light for the Efficient Degradation of Typical PPCPs .....	LEI Qian, XU Lu, AI Wei, <i>et al.</i> (2885)
Preparation of pg-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> /BiOBr/Ag Composite and Photocatalytic Degradation of Sulfamethoxazole .....	YANG Li-wei, LIU Li-jun, XIA Xun-feng, <i>et al.</i> (2896)
Sodium Alginate Loading of Zero-Valent Iron Sulfide for the Reduction of Cr(VI) in Water .....	WANG Xu, YANG Xin-nan, HUANG Bi-jian, <i>et al.</i> (2908)
Adsorption Mechanism of Cadmium by Superparamagnetic Nano-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> @SiO <sub>2</sub> Functionalized Materials .....	ZHANG Li-zhi, YI Ping, FANG Dan-dan, <i>et al.</i> (2917)
Pollution Characteristics and Removal of Typical Pharmaceuticals in Hospital Wastewater and Municipal Wastewater Treatment Plants .....	YE Pu, YOU Wen-dan, YANG Bin, <i>et al.</i> (2928)
Abundance Change of Antibiotic Resistance Genes During PDWW Recycling and Correlations with Environmental Factors .....	XU Yao-yao, WANG Rui, JIN Xin, <i>et al.</i> (2937)
Simultaneous Domestication of Short-cut Nitrification Denitrifying Phosphorus Removal Granules .....	WANG Wen-qi, LI Dong, GAO Xin, <i>et al.</i> (2946)
Long-term Storage and Rapid Activity Recovery of ANAMMOX Granular Sludge .....	LI Dong, LIU Ming-yang, ZHANG Jie, <i>et al.</i> (2957)
Migration and Environmental Effects of Heavy Metals in the Pyrolysis of Municipal Sludge .....	JIANG Yuan-yuan, WANG Yan, DUAN Wen-yang, <i>et al.</i> (2966)
Profiling of Antibiotic Resistance Genes in Different Croplands .....	HUANG Fu-yi, ZHOU Shu-yi-dan, WANG Jia-ni, <i>et al.</i> (2975)
Distribution Characteristics of Antibiotics and Antibiotic Resistance Genes in Manure and Surrounding Soil of Cattle Farms in Ningxia .....	ZHANG Jun-hua, CHEN Rui-hua, LIU Ji-li, <i>et al.</i> (2981)
Effects of Temperature and Stirring on the Changes of Antibiotic Resistance Genes and Microbial Communities in Anaerobic Digestion of Dairy Manure .....	XU Ji-fei, ZHANG Qiu-ping, ZHU Tian-jiao, <i>et al.</i> (2992)
Effects of Wheat Straw-derived Biochar Application on Soil Carbon Content Under Different Tillage Practices .....	LIU Zhen-jie, LI Peng-fei, HUANG Shi-wei, <i>et al.</i> (3000)
Spatial Patterns of Nitrogen and Phosphorus in Soil and Their Influencing Factors in a Typical Agro-pastoral Ecotone .....	ZHANG Yan-jiang, WANG Jun-peng, WANG Yu, <i>et al.</i> (3010)
Spatial Distribution Characteristics, Pollution, and Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metals Around Mercury Mining Areas .....	WANG Rui, DENG Hai, JIA Zhong-min, <i>et al.</i> (3018)
Interaction and Mechanism Between Conditioning Agents and Two Elements in the Soil Enriched with Phosphorus and Cadmium .....	HUANG Yang, HU Xue-yu, CAO Kun-kun, <i>et al.</i> (3028)
Mechanism of S-allyl-L-cysteine Alleviating Cadmium Stress in Seedling Roots and Buds of Rice Seedlings .....	CHENG Liu-long, HUANG Yong-chun, WANG Chang-rong, <i>et al.</i> (3037)
Consecutive 4-year Elevated Atmospheric CO <sub>2</sub> on Shaped Microbial Communities in the Rhizosphere Soil of <i>Robinia pseudoacacia</i> L. Seedlings Grown in Pb-contaminated Soils .....	JIA Xia, Lkhagvajargal Khadkhurel, ZHAO Yong-hua, <i>et al.</i> (3046)
Biodegradation of Polystyrene by <i>Geobacillus stearothermophilus</i> .....	XING Rui-zhi, ZHAO Zi-qiang, ZHAO Wen-qi, <i>et al.</i> (3056)
Micro-morphological Characteristics of Particles on Holly and Ligustrum Leaf Surfaces and Seasonal Changes in Bacterial Communities .....	LI Hui-juan, XU Ai-ling, QIAO Feng-lu, <i>et al.</i> (3063)
Effects of Roxithromycin on Reproduction, Growth, and Anti-oxidation System of <i>Daphnia magna</i> .....	ZHANG Ling-yu, LIU Jian-chao, LENG Yang, <i>et al.</i> (3074)
Relationship Between Relative Crop Yield/Woody Plant Biomass and Ground-level Ozone Pollution in China .....	FENG Zhao-zhong, PENG Jin-long (3084)