

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

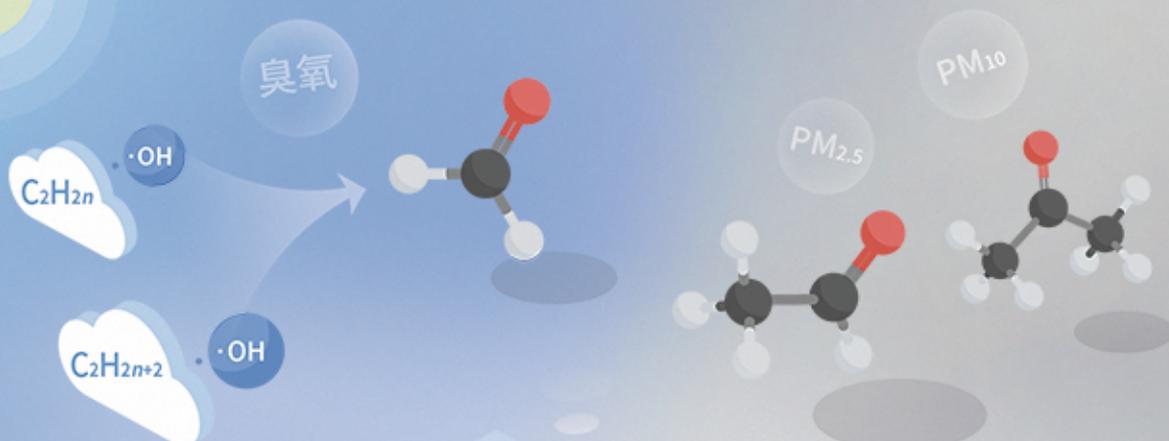
环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

基于PMF和源示踪物比例法的大气羰基化合物来源解析：以南京市观测为例
胡崑，王鸣，王红丽，景盛翱，陈文泰，卢兴东



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2021年1月

第42卷 第1期

Vol.42 No.1

目次

2019年国庆节前后北京气态氨和气溶胶铵盐浓度的同步观测 顾梦娜, 潘月鹏, 宋琳琳, 李萍, 田世丽, 武岳洋, 杨婷婷, 李浩洋, 石生伟, 吐莉尼沙, 吕雪梅, 孙倩, 方运霆 (1)

基于无人机探空和数值模拟天津一次重污染过程分析 杨旭, 蔡子颖, 韩素芹, 史静, 唐颖潇, 姜明, 邱晓滨 (9)

中原城市群典型城市秋冬季大气 PM_{2.5} 污染特征及溯源 苗青青, 姜楠, 张瑞芹, 赵孝因, 齐静文 (19)

沈阳市冬季大气 PM_{2.5} 中水溶性离子污染特征及来源解析 王国祯, 任万辉, 于兴娜, 侯思宇, 张毓秀 (30)

保定地区 PM_{2.5} 中重金属元素的污染特征及健康风险评估 雷文凯, 李杏茹, 张兰, 徐静, 赵文吉, 刘子锐 (38)

基于 PMF 和源示踪物比例法的大气羰基化合物来源解析: 以南京市观测为例 胡崑, 王鸣, 王红丽, 景盛翔, 陈文泰, 卢兴东 (45)

2019年天津市挥发性有机物污染特征及来源 高璟璇, 肖致美, 徐虹, 李立伟, 李鹏, 唐逸, 杨宁, 李源, 毕温凯, 陈魁 (55)

柳州市春季大气挥发性有机物污染特征及源解析 刘齐, 卢星林, 曾鹏, 于爽 (65)

天津市郊夏季的臭氧变化特征及其前体物 VOCs 的来源解析 罗瑞雪, 刘保双, 梁丹妮, 毕晓辉, 张裕芬, 冯银厂 (75)

2017年春夏期间南京地区臭氧污染输送影响及潜在源区 谢放尖, 陆晓波, 杨峰, 李文青, 李浩, 谢轶嵩, 王艳, 刘益和, 王庆九, 胡建林 (88)

2006~2019年珠三角地区臭氧污染趋势 赵伟, 高博, 卢清, 钟志强, 梁小明, 刘明, 马社霞, 孙家仁, 陈来国, 范绍佳 (97)

大型石化企业邻近区域大气沉降中多环芳烃赋存特征及源解析 李大雁, 齐晓宝, 吴健, 黄沈发, 王敏, 沙晨燕, 沈城 (106)

叶片大气颗粒物滞纳能力评估方法的定量对比 岳晨, 李广德, 席本野, 曹治国 (114)

东江流域敌敌畏的排放量估算及归趋模拟 张冰, 张芊芊, 应光国 (127)

松花江哈尔滨段及阿什河抗生素的分布规律与生态风险评估 杨尚乐, 王旭明, 王伟华, 胡雪莹, 高立伟, 孙兴滨 (136)

东北小兴凯湖沉积物 POPs 污染特征及生态风险评估 李慧, 李捷, 宋鹏, 程云轩, 焦立新, 杨亚铮 (147)

河南省地表水源中 PPCPs 分布及生态风险评估 周颖, 吴东海, 陆光华, 姚晶晶, 魏磊, 韩枫 (159)

无锡-常州地下水水中内分泌干扰物的赋存特征和健康风险评估 王淑婷, 饶竹, 郭峰, 刘成海, 战楠, 王娅南, 彭洁, 杨鸿波 (166)

清江流域地表水重金属季节性分布特征及健康风险评估 刘昭, 周宏, 曹文佳, 刘伟, 兰圣涛 (175)

会仙岩溶湿地丰平枯时期地下水金属元素污染与健康风险 李军, 赵一, 邹胜章, 蓝美宁, 樊连杰, 谢浩, 秦月, 朱丹滢 (184)

三峡库区城镇化影响下河流 DOM 光谱特征季节变化 陈昭宇, 李思悦 (195)

不同植物覆盖下黄河三角洲湿地土壤中微塑料的分布 岳俊杰, 赵爽, 程昊东, 段鑫越, 石洪华, 汪磊, 端正花 (204)

基于宏基因组学探讨东平湖水库的菌群结构、耐药基因谱及其公共健康风险 张红娜, 崔娜, 申红妙 (211)

分层型水库藻类季相演替的细菌种群驱动机制 闫苗苗, 张海涵, 黄廷林, 宗容容, 刘凯文, 苗雨甜, 杨尚业, 黄鑫, 王娜 (221)

丹江口库区浮游真菌组成与功能及其影响因素 郑保海, 王晓宇, 李英军, 陈彦, 李百炼, 李玉英, 陈兆进 (234)

太湖出流河道藻颗粒变化及其水质效应 郭宇龙, 许海, 陈旭清, 郑建中, 詹旭, 朱广伟, 朱梦圆 (242)

石盘丘小流域不同土地利用方式下土壤氮磷流失形态及通量 邓华, 高明, 龙翼, 黎嘉成, 王盛燕, 王子芳 (251)

前期干旱天数对生物滞留系统除氮性能的影响 陈焱, 李欣芮, 郑爽, 刘臻, 余雪花, 程启洪 (263)

浒苔生物炭对雨水径流中氨氮的吸附特性及吸附机制 陈友媛, 李培强, 李闲驰, 孙萍, 赵新月, 李洁, 李晋, 辛至然 (274)

填料对潮汐流人工湿地中 CANON 作用强化的影响 刘冰, 郑煜铭, 秦会安, 古励 (283)

FeMnNi-LDHs 对水中 As(III) 的吸附性能与机制 廖玉梅, 余杰, 魏世强, 蒋珍茂 (293)

硝酸钙添加和铅改性膨润土覆盖联用控制底泥中磷释放的效果及机制 张宏华, 林建伟, 詹艳慧, 俞阳, 张志斌 (305)

某市污水厂抗生素和抗生素抗性基因的分布特征 颜亚玮, 於驰晟, 李菲菲, 姚鹏城, 刘宏远 (315)

不同污泥在微波预处理-厌氧消化过程中抗性基因分布及菌群结构演替 李慧莉, 武彩云, 唐安平, 佟娟, 魏源送 (323)

天然富硒土地划定的富硒阈值 王惠艳, 曾道明, 郭志娟, 成晓梦, 彭敏, 孙跃 (333)

融合自然-人为因子改进回归克里格对土壤镉空间分布预测 高中原, 肖荣波, 王鹏, 邓一荣, 戴俊杰, 刘楚藩 (343)

南方典型水稻土镉(Cd)累积规律模拟 戴雅婷, 傅开道, 杨阳, 王美娥, 陈卫平 (353)

闽西南土壤-水稻系统重金属生物可给性及健康风险 林承奇, 蔡宇豪, 胡恭任, 于瑞莲, 郝春莉, 黄华斌 (359)

干湿交替灌溉制度下纳米修复材料对杂交水稻籽粒 Cd 累积及产量的影响 杨茹, 陈馨睿, 张颖, 崔俊义, 武立权, 马友华, 廖江, 何海兵 (368)

三元复合调理剂对土壤镉赋存形态和糙米镉累积的调控效应 蒋毅, 刘雅, 辜娇峰, 杨世童, 曾雄, 王轩宇, 周航, 廖柏寒 (378)

风化煤组配改良剂结合水分管理对水稻根际土壤与稻米甲基汞含量的影响 郑顺安, 吴泽赢, 杜兆林, 倪润祥, 姚启星 (386)

不同施肥措施对水稻土壤微生物抗性的影响 郑开凯, 马志远, 孙波, 梁玉婷 (394)

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 张涵, 贡璐, 刘旭, 邵康, 李昕竹, 李蕊希 (403)

黄土陵区撂荒农田土壤酶活性及酶化学计量变化特征 钟泽坤, 杨改河, 任成杰, 韩新辉 (411)

生物炭对土壤酶活性和细菌群落的影响及其作用机制 冯慧琳, 徐辰生, 何欢辉, 曾强, 陈楠, 李小龙, 任天宝, 姬小明, 刘国顺 (422)

植被恢复对刺萼龙葵根际土壤细菌群落结构与功能的影响 张瑞海, 宋振, 付卫东, 鄂玲玲, 高金会, 王然, 王忠辉, 张国良 (433)

黄壤稻田土壤微生物量碳氮及水稻品质对生物炭配施氮肥的响应 史登林, 王小利, 刘安凯, 侯再芬, 梁国太 (443)

等碳量添加秸秆和生物炭对土壤呼吸及微生物量碳氮的影响 何甜甜, 王静, 符云鹏, 符新妍, 刘天, 李亚坤, 李建华 (450)

秸秆与氮肥配比对农田土壤内外源碳释放的影响 孙昭安, 张轩, 胡正江, 王开永, 陈清, 孟凡乔 (459)

生物炭与化肥混合对氨挥发和磷固定的影响 杨文娜, 邓正昕, 李娇, 郑杰炳, 王子芳, 高明 (467)

氮肥减投条件下膜材料使用对稻田氨挥发排放的影响 俞映惊, 王梦凡, 杨根, 何世颖, 段婧婧, 杨林章, 薛利红 (477)

微塑料对斑马鱼胚胎孵化影响及其在幼鱼肠道中的积累 赵佳, 饶本强, 郭秀梅, 高进勇 (485)

无人机热红外支持下的城市微尺度热环境模拟 阳少奇, 冯莉, 田慧慧, 刘艳霞 (492)

基于人居尺度的中国城市热岛强度时空变化及其驱动因子解析 孙艳伟, 王润, 郭青海, 高超 (501)

《环境科学》征订启事(8) 《环境科学》征稿简则(220) 信息(233, 352, 421)

石盘丘小流域不同土地利用方式下土壤氮磷流失形态及通量

邓华¹, 高明¹, 龙翼², 黎嘉成¹, 王莹燕¹, 王子芳^{1*}

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘要: 为了解三峡库区小流域不同土地利用方式下土壤氮、磷流失特征, 为农业非点源污染防治提供科学依据; 采用田间试验的方法, 研究了三峡库区石盘丘小流域水田、旱坡地、林地、柑橘园和菜地这5种土地利用方式下地表径流不同形态氮、磷流失浓度与通量的特征. 结果表明: 全氮流失通量的顺序为水田[$17.73 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$] > 柑橘园[$4.86 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$] > 旱坡地[$4.33 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$] > 菜地[$4.00 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$] > 林地[$2.41 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$]; 全磷流失通量的顺序为菜地[$4.97 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$] > 柑橘园[$1.87 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$] > 水田[$0.93 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$] > 林地[$0.27 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$] > 旱坡地[$0.19 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$]; 5种土地利用方式下氮、磷流失主要集中在降雨频繁的4~5月, 占全年氮、磷流失总负荷的53.80%~96.52%和56.03%~87.78%; 氮流失主要以硝态氮(16.16%~52.70%)的形态流失, 全氮流失通量与径流量呈现出显著正相关关系($R^2 = 0.9826$); 在菜地中颗粒磷是磷流失的主要形态(83.30%), 但在其他土地利用方式中表现不显著. 不同土地利用方式下不同形态氮、磷流失存在显著差异, 其中菜地应针对强降雨情况下颗粒磷流失的问题采取措施, 水田应避免在降雨集中时期施肥; 科学施肥和合理土地利用方式配置是治理小流域农业非点源污染的重要途径.

关键词: 三峡库区; 石盘丘小流域; 土地利用方式; 氮磷流失; 流失通量

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)01-0251-12 DOI: 10.13227/j.hjkk.201912075

Characteristics of Soil Nitrogen and Phosphorus Losses Under Different Land-use Schemes in the Shipanqiu Watershed

DENG Hua¹, GAO Ming¹, LONG Yi², LI Jia-cheng¹, WANG Yin-yan¹, WANG Zi-fang^{1*}

(1. College of Resource and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: In order to understand the characteristics of soil nitrogen and phosphorus loss under different land use patterns in the small watershed of the Three Gorges Reservoir area and provide a scientific basis for the prevention and control of agricultural non-point source pollution, a field test method was used to study the paddy fields and drought in the small Shipanqiu Watershed in the Three Gorges Reservoir area. The characteristics of different runoff concentrations and the fluxes of nitrogen and phosphorus in surface runoff under the five land use schemes of paddy field, slope land, woodlands, citrus orchards, and vegetable land. The results show that the annual total nitrogen loss followed the order of paddy field [$17.73 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$] > citrus orchards [$4.86 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$] > dry slope land [$4.33 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$] > vegetable field [$4.00 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$] > woodland [$2.41 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$]. The annual total phosphorous loss followed the order of vegetable fields [$4.97 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$] > Citrus orchards [$1.87 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$] > paddy fields [$0.93 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$] > woodlands [$0.27 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$] > dry slope land [$0.19 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$]. The nitrogen and phosphorus losses under the five land use methods were mainly concentrated from April to May with frequent rainfall events, accounting for 53.80%-96.52% and 56.03%-87.78% of the total annual nitrogen and phosphorus losses. Nitrogen loss was mainly in the form of nitrate nitrogen (16.16%-52.70%), and the total nitrogen loss flux and runoff showed a significant positive correlation ($R^2 = 0.9826$). Particulate phosphorus was the main form of phosphorus loss in vegetable fields (83.30%), but in other land use schemes it is not significant. There were significant differences in the loss of different forms of nitrogen and phosphorus under the different land use schemes. Among them, measures should be taken in vegetable fields to deal with the problem of particulate phosphorus loss under conditions of heavy rainfall. Fertilization should be avoided in paddy fields during periods of concentrated rainfall. Scientific fertilization and reasonable land use configurations are important ways to control agricultural non-point source pollution in small watersheds.

Key words: Three Gorges Reservoir; Shipanqiu Watershed; land-use patterns; nitrogen and phosphorus loss; flux loss

三峡库区位于长江中上游, 库区的水质变化影响着长江下游沿岸居民的生活和经济发展^[1,2]. 20世纪以来, 随着国家对三峡库区点源污染的治理整顿, 引起三峡库区水质降低的主要污染类型从点源污染逐渐转化为非点源污染^[3], 非点源污染中农业非点源污染影响更为突出^[4-6]. 三峡库区是典型的

低山丘陵地貌, 60%以上的农林用地是坡耕地,

收稿日期: 2019-12-11; 修订日期: 2020-07-03

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0800101); 重庆市技术创新与应用专项(cstc2018jszx-zdyfxmX0014)

作者简介: 邓华(1997~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤质量与环境, E-mail: 1094466980@qq.com

* 通信作者, E-mail: zifangw@126.com

70%以上的土壤为易侵蚀的紫色土,植被覆盖率低,受人为影响较大^[7,8].这种特殊的农业生态环境导致大量的氮、磷随地表径流汇入水库,对三峡库区水质造成极大威胁^[9,10].三峡库区农业非点源污染所引起的库区水质恶化是亟待解决的主要水污染问题.因此,对三峡库区农业非点源污染的来源与负荷的研究对于非点源污染的治理具有一定的指导意义.

土壤性质、地形地貌和降雨强度等自然因素与施肥方式、耕作措施和土地利用方式等人为因素均是影响农业非点源污染的重要因素^[11-14].土地利用方式作为人类利用自然资源最显著的表现形式,是影响农业非点源污染最关键的因素之一^[15].小流域作为三峡库区地形地貌基本单元^[16],诸多学者以小流域为基础单元对农业非点源污染进行了大量研究.谢经朝等^[17]通过 ArcGIS 软件采用空间分析法研究了农业非点源污染氮磷排放特征,发现种植农业贡献了流域内氮、磷流失 76.92%;陈学凯等^[18]通过 Johnes 输出系统模型对非点源污染研究发现,农业非点源污染造成的氮磷流失贡献最大,但通过计算机建模对农业非点源污染进行研究具有一定的滞后性和局限性^[19].彭梦玲等^[20]通过模拟降雨对农业氮、磷流失形态与负荷进行了深入研究,但 Yin 等^[21]的研究发现由降雨模拟器产生的降雨动能与

侵蚀力远低于自然降雨.因此通过野外实地监测自然降雨下地表径流中氮、磷流失的来源与负荷显得尤为重要.尽管朱波等^[22]在石盘丘小流域监测发现居民点、柑橘果园与坡耕地是农业非点源污染的主要来源,但并未对不同土地利用方式下不同形态氮、磷随时间变化的特征进行深入研究.因此,本文以三峡库区石盘丘典型小流域为研究对象,选取柑橘园、林地、菜地、旱坡地和水田组成的农业景观小流域,连续原位监测了 2018 年小流域内不同土地利用方式下地表径流中氮、磷的流失特征及其动态变化规律,以期对三峡库区小流域农业非点源污染治理提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究选取石盘丘小流域为研究区域(图 1),研究区位于重庆市忠县石宝镇(108°08'~108°12'E, 30°24'~30°30'N),总面积约为 33 hm²,流域内海拔 119~780 m.该地区属暖湿亚热带东南季风区,年平均日照时数 1 327.5 h,年均温 18.2℃,无霜期 341 d,每年降雨主要集中在夏秋季节,占全年降雨量的 80%左右,多年降雨量在 1 000~1 300 mm 之间.研究区内山地起伏,低山、丘陵、阶地、低洼地和河谷地相间分布.

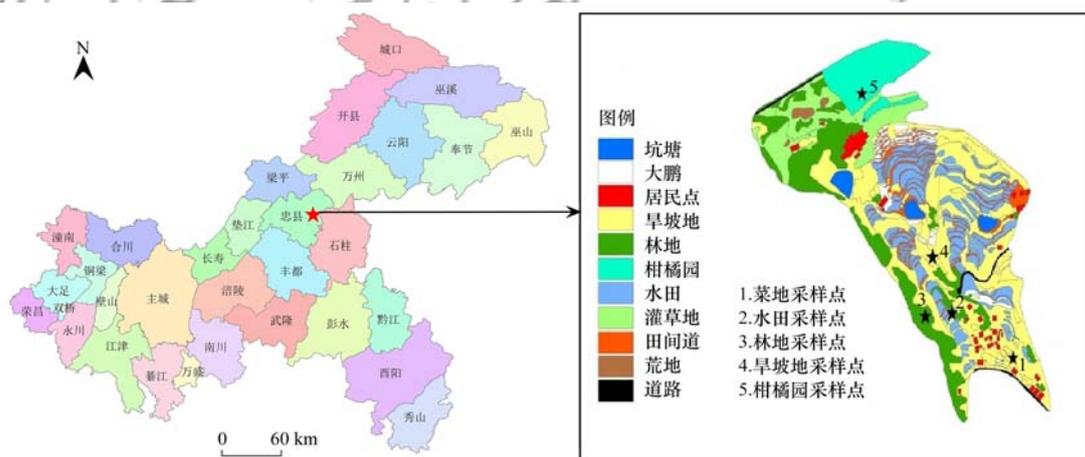


图 1 石盘丘小流域地理位置示意

Fig. 1 Experiment site map of the Shipanqiu small watershed

1.2 试验设计

2018 年在三峡库区石盘丘小流域进行试验,共在流域内选取 5 种土地利用方式,每种利用方式设置 3~4 个重复,根据不同土地利用方式所处位置及坡度设置不同小区面积,每个小区四周由水泥板隔离,水泥板高度高于土面 10 cm,各土地利用方式的土壤养分含量、施肥量、坡度见表 1.试验小区不同土地利用方式农田管理与当地习惯性管理一致,各土地利用方式详细信

息:①林地在当地的优势树种为桉树;②柑橘园种植美国格兰仕柑橘,南北向种植密度为 60 株·(667 m²)⁻¹;③菜地种植蔬菜为当地时令蔬菜;④旱坡地在 2017 年 11 月开始播种油菜,次年 4 月中下旬收获;5 月上旬播种玉米,9 月适时收获玉米;⑤水田种植一季杂交稻,生长期为 2018 年 4~9 月.

1.3 样品采集与分析

2018 年自然降雨产生的径流数据通过径流汇

表 1 不同土地利用方式具体设计、施肥量与理化性质

Table 1 Specific design, fertilizer application, and physical and chemical properties of the different land-use methods

类型	小区个数	小区面积 /m ²	小区坡度 /(°)	产流次数	施肥量/kg·hm ⁻²		有效氮 /mg·kg ⁻¹	全氮 /g·kg ⁻¹	全磷 /g·kg ⁻¹	有效磷 /mg·kg ⁻¹
					氮肥(N)	磷肥(P ₂ O ₅)				
菜地	3	100	10	16	29.5	45	109.4	1.21	0.58	27.07
林地	4	30	30	11	—	—	72.6	0.74	0.74	5.02
柑橘园	3	30	20	18	550	472	113.7	2.21	1.13	56.11
旱坡地	3	100	15	16	450	240	35.2	0.33	0.34	3.86
水田	3	500	0	5	91	56	157.2	2.53	0.39	1.64

集桶(图2)进行采集,取样时将泥沙与径流水充分搅匀,并记录桶中水位,及时加浓硫酸将水样酸化至 pH < 2,并置于温度低于 4℃ 的环境中保存。

水样分析指标包括全氮(TN)、硝态氮(NN)、铵态氮(AN)、全磷(TP)、可溶性总磷(DTP)和正磷酸盐(PO₄³⁻)。测定时先将样品调至 pH = 7 进行检测,其中 TP 和 TN 指标将水样摇匀后取少量液体直接进行测定,NN、AN、DTP 和 PO₄³⁻ 指标则是将水样以 0.45 μm 滤膜过滤后进行测定。以硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定 TN; 以钼蓝比色法测定 TP、DTP 和 PO₄³⁻; 以靛酚蓝试剂比色法测定 AN; 以紫外分光光度法测定 NN^[23]。

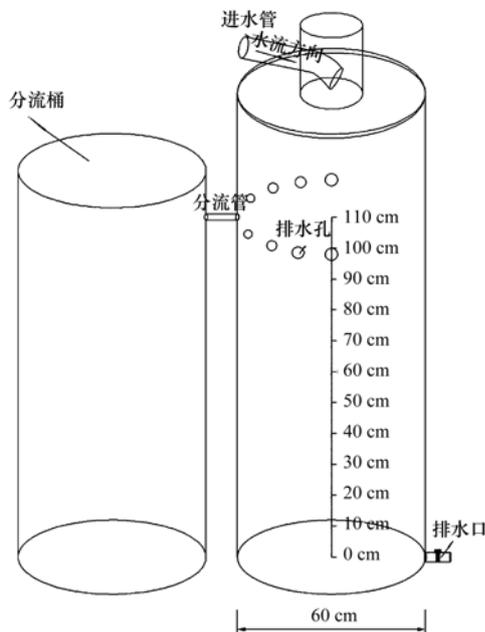


图 2 径流汇集桶示意

Fig. 2 Schematic diagram of the runoff collection barrel

1.4 数据处理

不同形态氮、磷流失通量计算公式见文献[23]。

$$Q_i = C_i \times (V_i/S)/100$$

$$Q = \sum (n, i) Q_i$$

式中, Q_i 为单次降雨产流中各形态氮、磷流失通量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); C_i 为第 i 次降雨径流中氮、磷各形态流失浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); V_i 为年内第 i 次降雨径流量

(m^3), S 为试验小区面积 (m^2); Q 为全年不同形态氮、磷流失总通量 [$\text{kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$]; n 为全年产流总次数; i 代表不同次数的产流。

峰值定义: 不同形态氮、磷全年流失数据中最大值即可称为峰值。

流失通量: 全年氮、磷流失总负荷。流失量: 单次产流中氮、磷流失量。

采用 Excel 2016 对数据进行统计和计算, 采用 SPSS 21.0 进行方差分析和 Pearson 相关性分析, 其中处理间差异采用 Duncan 多重比较法; 以 Origin 9.0 进行图形绘制。

2 结果与分析

如图 3 所示, 2017 年 11 月 22 日至 2018 年 11 月 22 日石盘丘小流域共计降雨 128 次, 降雨量总计为 1 031.3 mm。4~5 月为降雨多发季节, 其降雨量占全年总降雨量的 43.11%; 日降雨量 > 10 mm 以上的天数占全年降雨天数的 64%。根据中国气象数据中心忠县 57 437 站台历年降雨数据, 查得研究区年降雨量均值为 1 216.8 mm, 曹瑞霞等^[24]对忠县 1990~2011 年降雨数据进行分析, 研究发现枯水年降雨量 < 1 034 mm, 故推得本观测

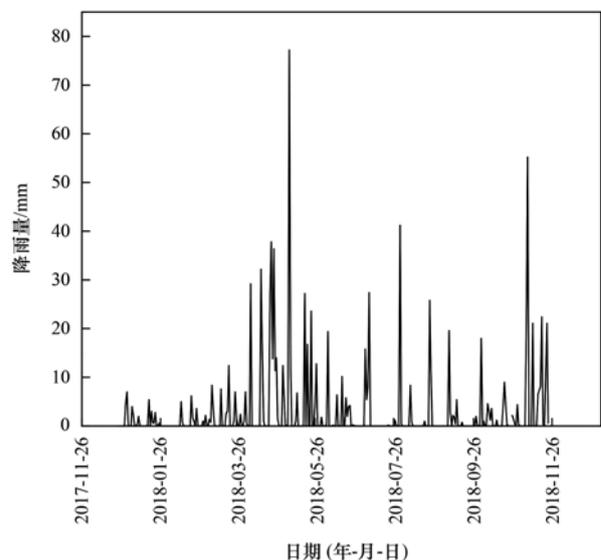


图 3 石盘丘小流域降雨量变化

Fig. 3 Changes in rainfall in the Shipanqiu small watershed

年属于枯水年.

2.1 地表径流中氮不同形态流失特征

2.1.1 硝态氮(NN)

由图 4 可知, NN 平均流失浓度顺序为水田 ($5.06 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 柑橘园 ($4.03 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 菜地 ($2.67 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 林地 ($2.75 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 旱坡地 ($1.38 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). 5 种土地利用方式的 NN 流失主要集中在 4 ~ 5 月, 其流失量占 NN 流失通量的 48.90% ~ 95.71%. 虽然水田产流的次数最少, 但水田 NN 流失量峰值为 $5.00 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 显著高于其他土地利用方式 ($P < 0.01$). 此外, 5 种土地利用方式的 NN 流失量峰值均出现在 4 ~ 5 月; 旱坡地、水田和菜地的 NN 流失浓度峰值出现在 4 ~ 5 月, 林地和柑橘园流失浓度峰值出现在 7 ~ 9 月.

2.1.2 铵态氮(AN)

由图 5 可知, 不同土地利用方式下, AN 平均流失浓度的顺序为水田 ($2.074 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 旱坡地 ($1.174 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 菜地 ($0.784 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 柑橘园 ($0.277 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 林地 ($0.273 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$); AN 流失量峰值 $2.821 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 流失浓度峰值 $6.610 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 二者均出现在水田中. 5 种土地利用方式全年 AN 流失主要集中在 4 ~ 5 月, 其流失量占 AN 流失通量的 67.74% ~ 98.10%; 5 种土地利用方式流失量峰值均出现在 4 ~ 5 月, 旱坡地与水田 AN 流失浓度峰值均出现在 5 月 8 日.

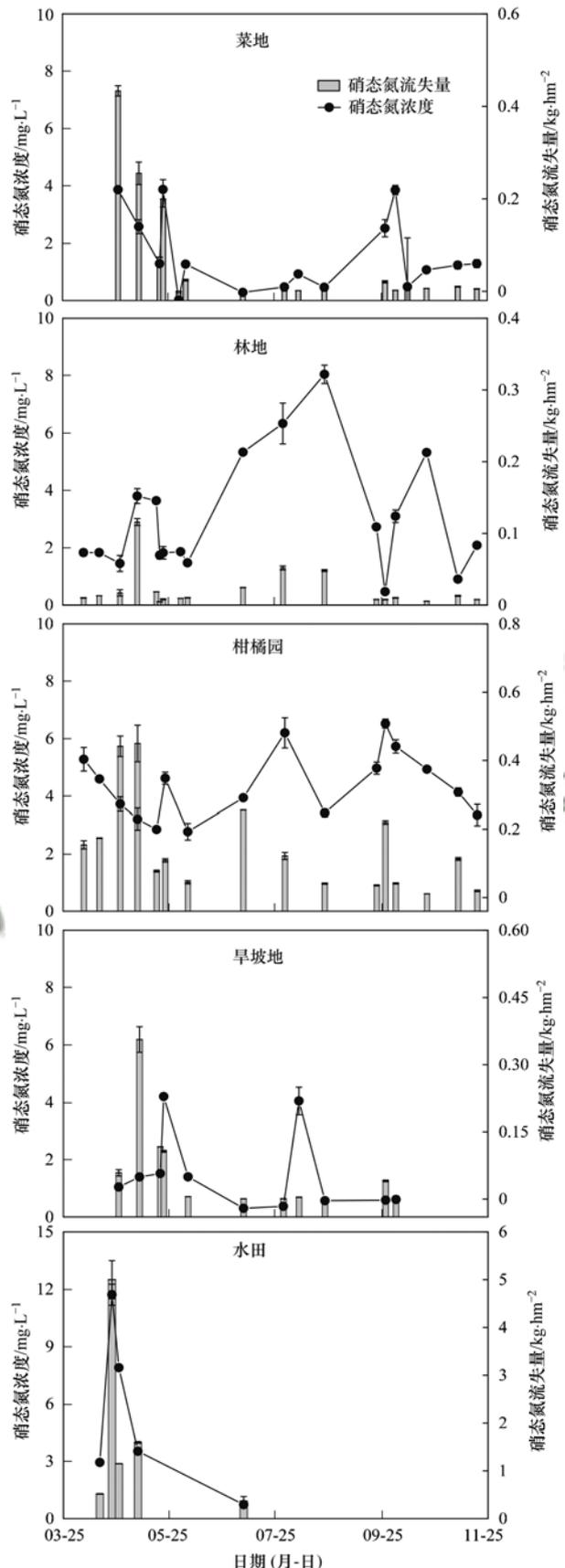
2.1.3 全氮(TN)

由图 6 可知, TN 平均流失浓度顺序为水田 ($10.15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 菜地 ($10.13 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 旱坡地 ($8.55 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 柑橘园 ($8.48 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 林地 ($4.69 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). TN 流失浓度 $29.45 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、径流量 $426.8 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 和流失量 $12.57 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 峰值均出现在水田中. 不同土地利用方式流失量峰值的出现常伴随着径流量峰值的出现. 本研究 TN 流失主要集中在 4 ~ 5 月, 其流失量占 TN 流失通量的 53.80% ~ 96.52%; 与此同时, 地表径流主要出现在 4 ~ 5 月, 其径流量占全年径流总量的 52.53% ~ 82.98%, 流失趋势与 AN 和 NN 有着相似的特征.

2.2 地表径流中磷不同形态流失特征

2.2.1 可溶性全磷(DTP)

由图 7 可知, 不同土地利用方式下, DTP 平均流失浓度顺序为菜地 ($2.10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 柑橘园 ($1.85 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 林地 ($1.18 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 水田 ($0.37 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 旱坡地 ($0.15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). 柑橘园 DTP 随时间变化的变异系数 (23.68%) 很小. 5 种土地利用方式 DTP 流失主要集中在 4 ~ 5 月. DTP 流失浓



数据均换算为 1 hm^2 的流失量, 下同

图 4 不同土地利用方式地表径流硝态氮流失浓度与流失量随时间变化特征(2018年)

Fig. 4 Variation characteristics of the nitrate nitrogen loss concentration and flux over time in different land-use patterns (2018)

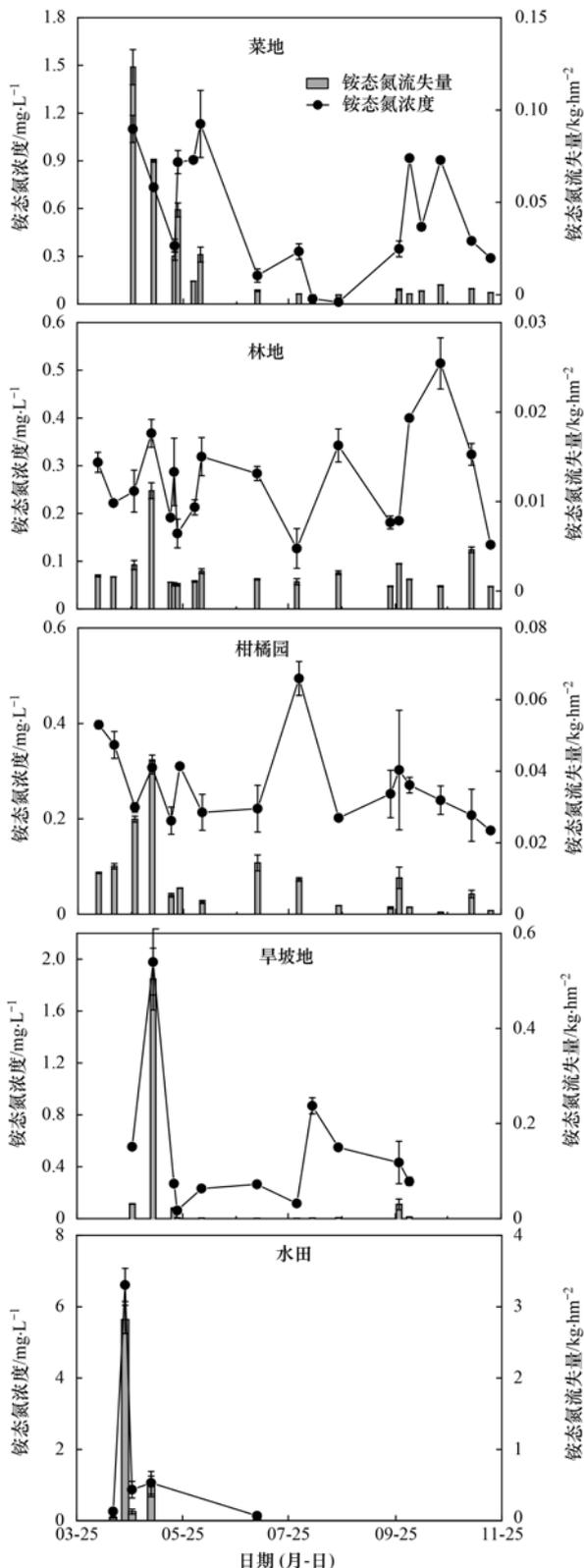


图5 不同土地利用方式地表径流铵态氮流失浓度与流失量随时间变化特征(2018年)

Fig. 5 Variation characteristics of the ammonium nitrogen loss concentration and flux over time in different land-use patterns (2018)

度峰值为 $4.44 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 出现在菜地中; 流失量峰值为 $0.46 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 出现在水田中; 5 种土地利用方式流失量峰值均出现在 4~5 月。

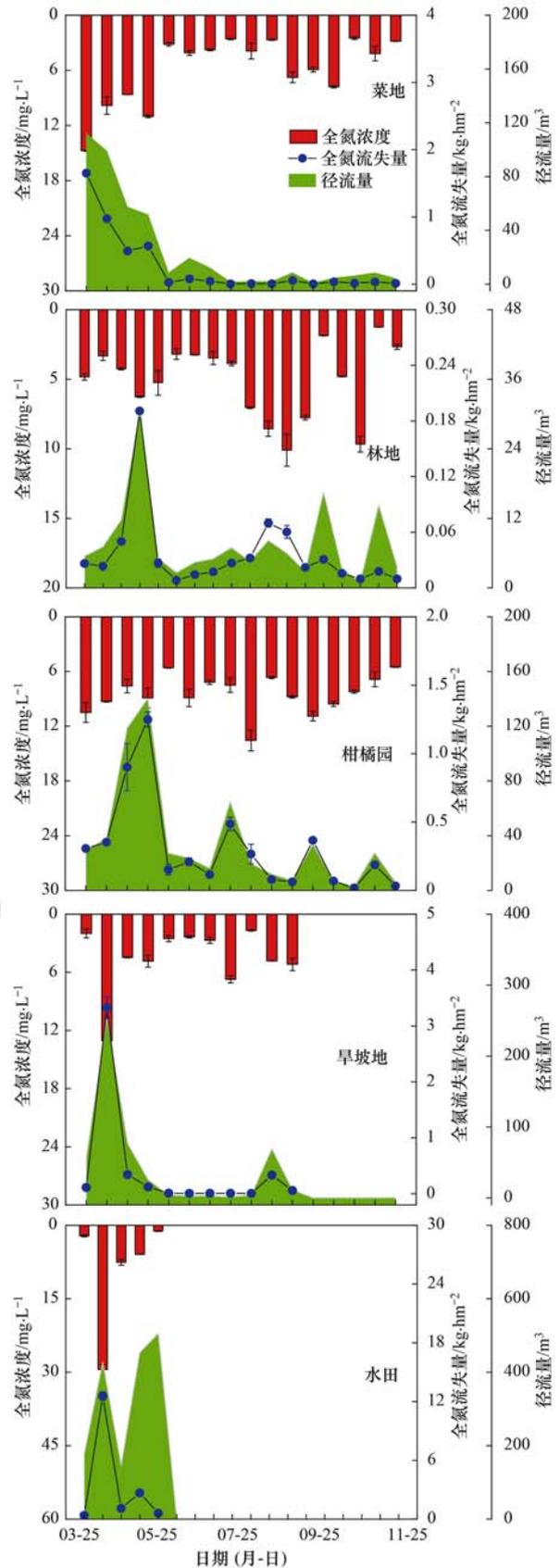


图6 不同土地利用方式地表径流全氮流失浓度、流失量与径流量随时间变化的特征(2018年)

Fig. 6 Variation characteristics of total nitrogen loss concentration, loss flux, and runoff over time in different land-use patterns (2018)

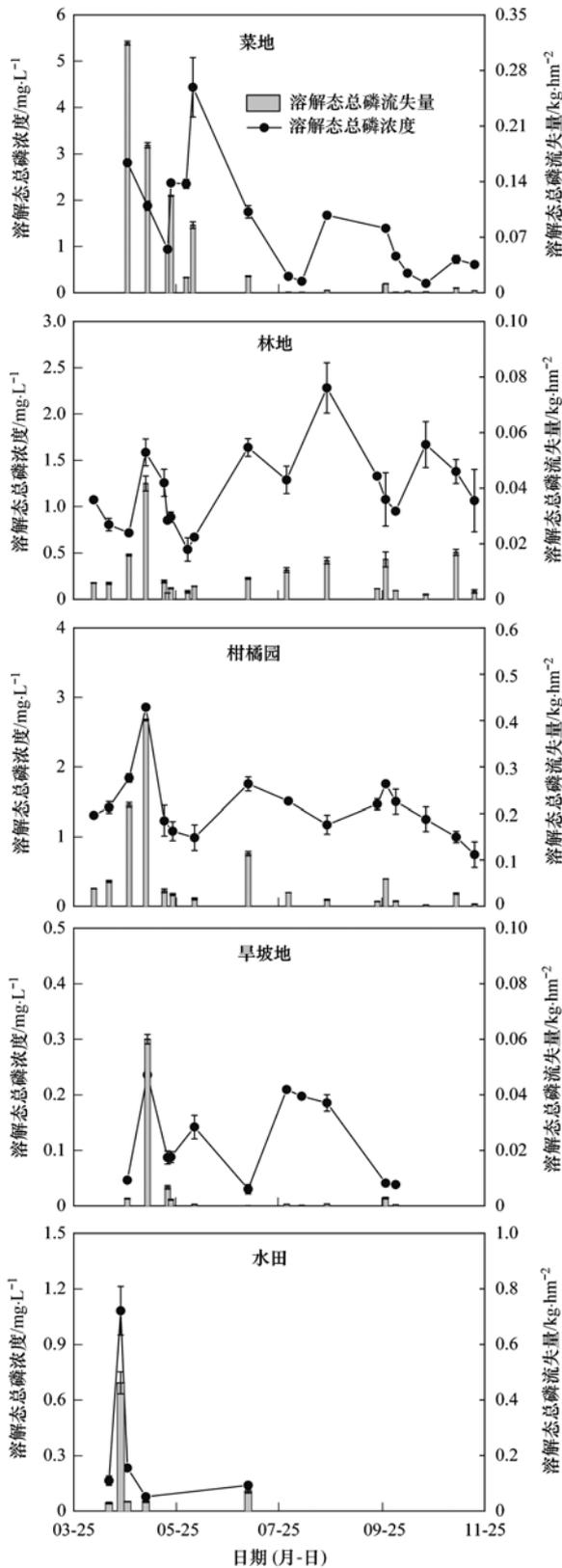


图7 不同土地利用方式地表径流可溶性磷流失浓度与流失量随时间变化特征(2018年)

Fig. 7 Variation characteristics of dissolved total phosphorus loss flux and runoff over time in different land-use patterns (2018)

2.2.2 正磷酸盐(PO_4^{3-})

由图8可知,不同土地利用方式下, PO_4^{3-} 平均流失浓度顺序为菜地($1.97 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 林地(0.97

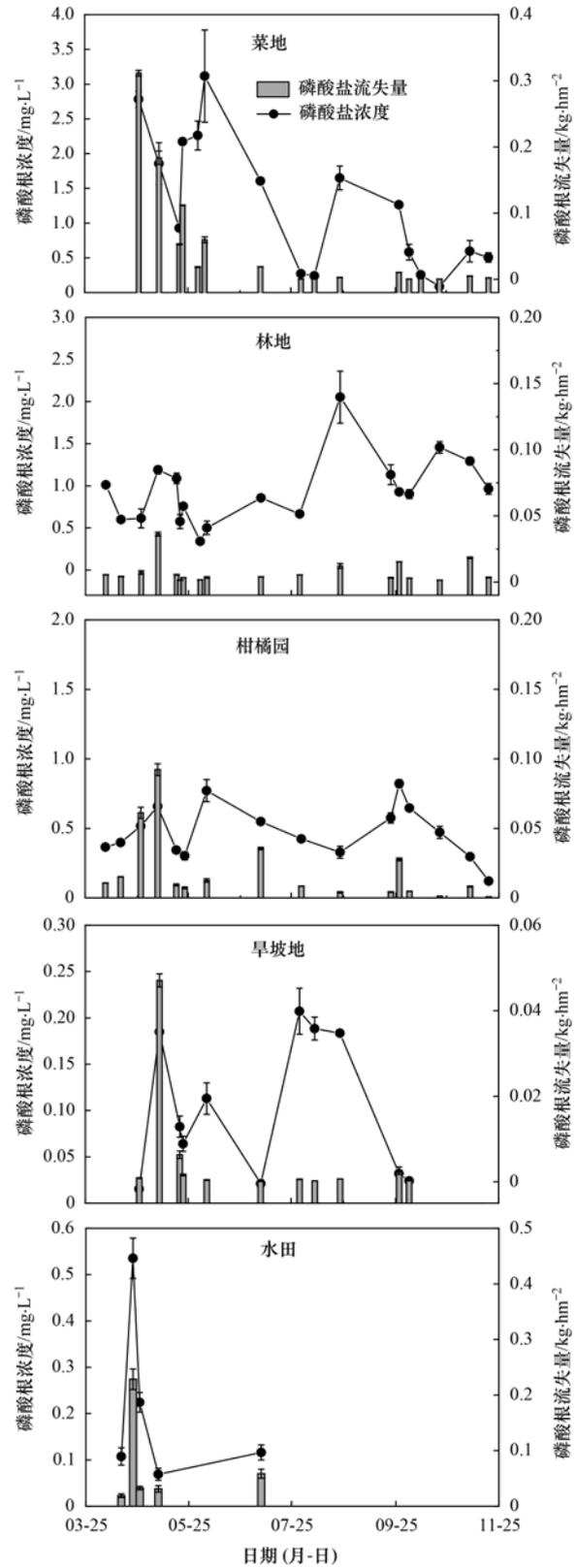


图8 不同土地利用方式地表径流正磷酸盐流失浓度与流失量随时间变化特征(2018年)

Fig. 8 Variation characteristics of the orthophosphate loss flux and runoff over time in different land-use patterns (2018)

$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 柑橘园($0.53 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 水田($0.22 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 旱坡地($0.12 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). 5种土地利用方式 DTP 和 PO_4^{3-} 的流失浓度与流失量之间随时间变

化的趋势都具有显著相关性($P < 0.05$).

2.2.3 颗粒态磷(PP)

由图 9 可知,不同土地利用方式,PP 平均流失

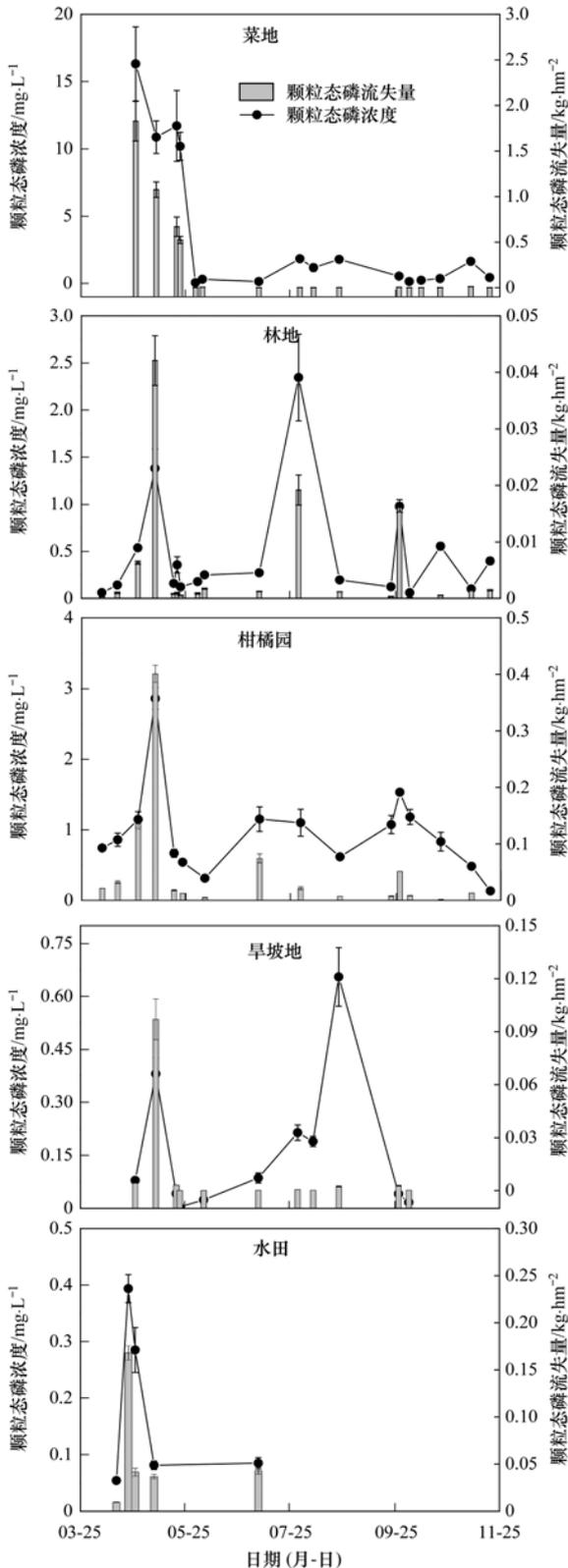


图 9 不同土地利用方式地表径流颗粒态磷流失浓度与流失通量随时间变化特征(2018 年)

Fig. 9 Variation characteristics of the particulate phosphorus loss concentration loss flux and runoff over time in different land-use patterns (2018)

浓度顺序为菜地($10.47 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 柑橘地($1.42 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 林地($0.69 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 旱坡地($0.22 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 水田($0.18 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), PP 流失量峰值出现在 4~5 月. 5 种土地利用方式中,菜地、柑橘园和旱坡地流失浓度峰值出现在 4~5 月,而林地和旱坡地流失浓度峰值出现在 7~8 月;流失量峰值均出现在 4~5 月.

2.2.4 全磷(TP)

由图 10 可知,TP 平均流失浓度在不同土地利用方式间有明显差异,TP 平均流失浓度顺序为菜地($12.56 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 柑橘园($3.27 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 林地($1.91 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 水田($0.54 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) > 旱坡地($0.37 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). TP 流失浓度峰值为 $17.27 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,流失量峰值为 $2.38 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,二者均出现在菜地中;5 种土地利用方式下 TP 流失浓度和流失量的峰值均出现在 4~5 月,5 月后流失浓度随时间变化波动的幅度很小.

2.3 不同土地利用方式下地表径流氮、磷流失通量

由表 2 可知,不同土地利用方式 TP 流失通量顺序为:菜地 [$4.97 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$] > 柑橘园 [$1.87 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$] > 水田 [$0.93 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$] > 林地 [$0.27 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$] > 旱坡地 [$0.19 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$]. PP 流失通量与 TP 流失通量的顺序除林地与旱坡地顺序相反其他土地利用方式均一致.菜地的 TP 流失通量显著高于其他土地利用方式,约为柑橘园的 2 倍,是其他 3 种土地利用方式的数十倍. DTP 流失通量大小顺序为:柑橘园 > 菜地 > 水田 > 林地 > 旱坡地,水田和柑橘园 DTP 流失通量显著高于其他土地利用方式; PO_4^{3-} 流失通量占 DTP 的 28.30%~93.98%. 从流失形态的比例来看,林地、柑橘地、旱坡地、水田的 DTP 流失负荷占 TP 的 42.11%~67.74%,而在蔬菜地中占比仅为 16.70% (图 11).

TN 流失通量顺序为水田 [$17.73 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$] > 柑橘园 [$4.86 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$] > 旱坡地 [$4.33 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$] > 菜地 [$4.00 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$] > 林地 [$0.65 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$]. 水田不同形态氮素流失通量显著高于其他土地利用方式,柑橘园、旱坡地和菜地全氮流失通量差异不显著. 5 种土地利用方式下除菜地 TN 流失通量小于 TP 流失通量外,其他土地利用方式 TN 流失通量均明显高于 TP 流失通量. 径流总量顺序与 TN 流失通量顺序一致,且径流总量与 TN 流失通量呈线性正相关关系($y = 0.0101x, R^2 = 0.9826$). NN 在林地、柑橘园和菜地中的流失通量 $1.05 \sim 2.31 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$,是 AN 流失通量

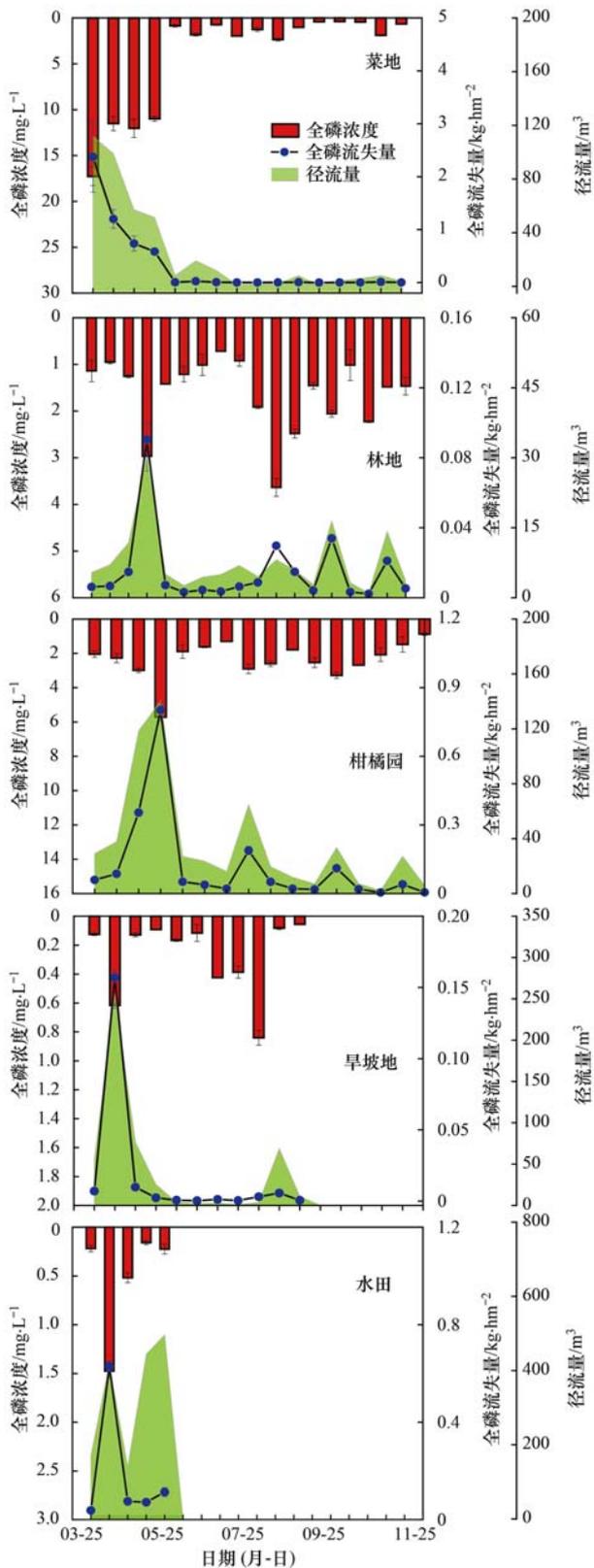


图 10 不同土地利用方式地表径流全磷流失浓度、流失量与径流量随时间变化特征(2018)

Fig. 10 Variation characteristics of the total phosphorus loss concentration, loss flux, and runoff over time in different land-use patterns(2018)

的 3~14 倍,而在旱坡地与水田中 NN 与 AN 流失通量差异不显著。

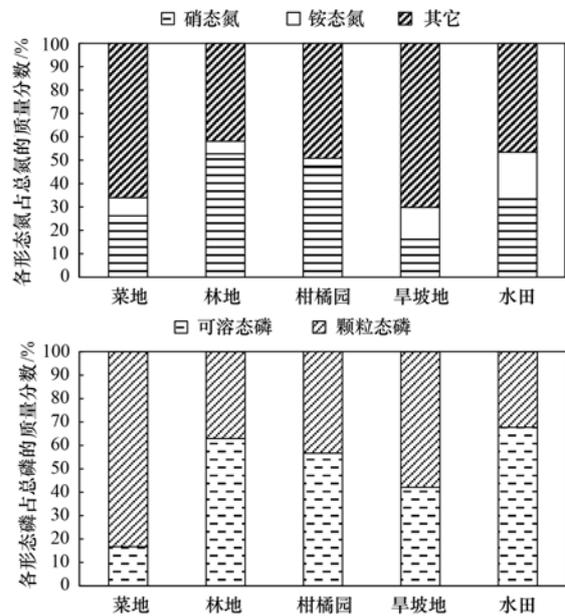


图 11 氮、磷各形态流失通量占总氮、全磷流失通量的比例

Fig. 11 Proportion of the annual loss fluxes of nitrogen and phosphorus in total nitrogen and total phosphorus

3 讨论

3.1 不同土地利用方式对地表径流不同形态氮流失浓度与流失通量的影响

不同土地利用方式 TN、NN 和 AN 流失特征有着极大的差异,但均主要集中在 4~5 月降雨高发时期,4~5 月降雨量占全年降雨总量的 43.11%,不同形态氮流失量占流失通量的 48.90%~98.10%;刘方谊等^[25]在三峡库区小流域的研究发现,雨季氮流失量约占全年的 88.87%。因此,各土地利用方式在降雨高发时期都应采取相应的水土保持措施。

TN 流失量峰值为 $12.5 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,流失浓度峰值为 $29.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,二者均出现在水田 4 月 22 日流失事件中,根据实地调查发现,当地农户在 4 月 18 日施入了 $55 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 尿素后,于 20 日晚上开始连续降雨,降雨总量高达 141.4 mm,影响试验结果。因此,本试验结果与朱波等^[22]在 2011 年研究发现水田具有拦截和净化其他土地利用方式氮流失的结果存在差异;纪雄辉等^[26]的研究也证实,水田施用尿素后第 1 和 3 d 的 TN 浓度达到峰值是氮素流失的关键时刻。菜地的 TN 平均流失浓度也显著高于其他土地利用方式 ($P < 0.05$),黄东风等^[27]的研究发现,菜地施肥量大和残留的氮含量高,当遭遇到强降雨,氮素易溶于地表径流流失;李国栋等^[28]的研究发现,春、夏雨季菜地径流输出 TN 总量高达 $3 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。柑橘园的 TN 流失量峰值出现在 4 月 27 日和 5 月 7 日,严坤等^[29]在三峡库区的研究发现,柑橘园在 4 月 21 日施肥后出现了氮素快速流失期,

表 2 氮、磷各形态流失通量与正磷酸盐占可溶性磷比例¹⁾

Table 2 Annual loss flux of nitrogen and phosphorus and the proportion of orthophosphate to soluble phosphorus

土地利用方式	菜地	林地	柑橘园	旱坡地	水田
径流总量/ $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$	395.13	139.28	573.17	506.56	1 707.29
TN 流失通量/ $\text{kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$	4.00 ± 0.06b	0.65 ± 0.01c	4.86 ± 0.30b	4.33 ± 0.19b	17.73 ± 0.81a
NN 流失通量/ $\text{kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$	1.05 ± 0.35c	0.38 ± 0.43f	2.31 ± 0.50b	0.70 ± 0.10d	8.63 ± 0.21a
AN 流失通量/ $\text{kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$	0.31 ± 0.16bc	0.04 ± 0.01c	0.16 ± 0.02c	0.59 ± 0.08b	3.54 ± 0.36a
TP 流失通量/ $\text{kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$	4.97 ± 0.95a	0.27 ± 0.01c	1.87 ± 0.01b	0.19 ± 0.07c	0.93 ± 0.03c
DTP 流失通量/ $\text{kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$	0.83 ± 0.01c	0.17 ± 0.01d	1.06 ± 0.01a	0.08 ± 0.01f	0.63 ± 0.01b
PO_4^{3-} 流失通量/ $\text{kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$	0.78 ± 0.01a	0.14 ± 0.01a	0.30 ± 0.01a	0.06 ± 0.01a	0.37 ± 0.01a
PO_4^{3-} /DTP/%	93.98 ± 0.03a	82.35 ± 0.06b	28.30 ± 0.02d	75.00 ± 0.03b	58.74 ± 0.02c
PP 流失通量/ $\text{kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$	4.14 ± 0.07a	0.10 ± 0.01d	0.82 ± 0.01b	0.11 ± 0.01d	0.30 ± 0.01c

1) 不同小写字母表示氮、磷各形态不同土地利用方式之间差异达显著水平 ($P < 0.05$)

其流失量峰值的出现伴随着施肥期与强降雨的耦合。

水田 NN 流失浓度峰值为 $11.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 流失量峰值为 $5.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 显著高于其他土地利用方式 ($P < 0.05$), 朱波等^[22] 在石盘丘小流域的研究也同样发现水田 NN 的流失浓度高于柑橘园、林地和坡耕地。柑橘园的 NN 平均流失浓度为 $4.03 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 仅次于水田, 且是其 TN 的主要流失形态, 王甜等^[30] 在三峡库区柑橘园的研究中发现, 在柑橘园不同施肥处理中, NN 都是 TN 流失主要形态, 但随着氮素施肥量的降低, NN 流失呈现显著下降趋势。因此, 应及时调整柑橘园施肥量。菜地和旱坡地的 NN 流失通量占 TN 流失通量的 30% ~ 34%, Wei 等^[31] 的研究发现, 菜地和旱坡地由于长年翻耕导致地表裸露, 土壤结构性较差, 以颗粒态氮为主要流失形态, 这与其他土地利用方式存在着显著差异 ($P < 0.05$), 因此菜地与旱坡地土地利用方式应采取合理的农艺措施减少翻耕, 增加地表覆盖度。

菜地、林地和柑橘园的 AN 流失浓度和流失量都显著低于 NN ($P < 0.05$), 华玲玲等^[32] 在古夫河小流域研究发现, NN 流失通量远超出 AN 流失通量, 原因可能与土壤中氮素形态及其转化机制有关, AN 因带正电荷而更易被土壤胶体吸附, NN 因带负电荷且迁移能力强, 在径流的淋洗作用下更容易随水流失。然而水田中 AN 的流失浓度和流失通量与 NN 之间差异远没有其他方式显著, 陈成龙等^[33] 在研究三峡库区水田时, 也发现水田 AN 流失通量与 NN 流失通量差异不显著, 这可能是由于水稻土长期处于厌氧环境, 好氧的硝化细菌活性受到抑制, 非根际土壤中的铵盐既未被氧化成为硝酸盐, 也未被水稻根系吸收, 导致大量铵盐残留^[34]。

3.2 不同土地利用方式对地表径流不同形态磷流失浓度与流失通量的影响

菜地 TP 和 PP 平均流失浓度和流失通量均显

著高于其他土地利用方式 ($P < 0.05$)。刘方谊等^[35] 在三峡库区的研究指出, 不同种植模式中, 露地蔬菜种植系统 TP 流失通量最大, 且 PP 是最主要的流失形态, 林地、柑橘园和水田 PP 流失通量仅占 TP 流失通量的 32% ~ 44%。曾立雄等^[36] 在三峡库区的研究发现, 林地与柑橘园的 TP 流失形态以 DTP 为主, 这是因为林地与柑橘园地表的凋落物与较好的植被盖度降低了雨水的动能, 减少了 PP 的流失。在不同土地利用方式中, 水田径流量最大, 但其 TP 流失浓度为 $0.54 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 陈成龙等^[33] 在三峡库区的研究发现, 水田对泥沙具有极强的沉淀能力, 极大程度缓解了水田 PP 流失。旱坡地的 PP 流失占 TP 流失 58%, 可能是由于旱坡地常年耕作导致地表裸露造成。这些结果表明菜地和旱坡地应该采取合理间套种植、横行加档种植等水土保持方法以减少 PP 流失。

不同土地利用方式的 TP 与 PP 的浓度变化趋势类似。地表径流中 TP 和 PP 流失量均在 4 ~ 5 月降雨集中时期达到了峰值, 华玲玲等^[32] 的研究发现, 降雨量决定了磷素的流失量。林地与旱坡地 TP 流失浓度在 8 月达到了峰值, 可能是由于林地与旱坡地在夏季经过长达数月的高温有机磷的矿化, 而矿化只有温度在 30°C 以上才会开始且当温度低于 30°C 时不仅不会矿化还会增加对磷的固定, 使土壤中磷转变成更易随径流流失的形态, 并且 8 月强降雨加大了雨水对地表的冲刷力所导致。

柑橘园的 DTP 平均流失浓度高于其他土地利用方式, 但 DTP 中 PO_4^{3-} 的比例远低于其它土地利用方式, 仅为 29.68%, 据调查柑橘园在当年施用了大量植物性有机肥, 施用有机肥后有机磷含量呈上升趋势^[37], 使土壤中可溶性有机磷含量增加, 从而导致 DTP 中 PO_4^{3-} 比例降低。

3.3 不同土地利用方式对地表径流不同形态氮、磷流失通量的影响

不同土地利用方式下 TN 流失通量与径流量呈

显著正相关($R^2 = 0.9826$)这表明 TN 流失主要受径流量的影响,因此防控氮流失的关键在于减少地表径流.除菜地外各土地利用方式 TN 流失通量是 TP 流失通量的 2.6~22 倍,陈仕奇^[38]在石盘丘小流域的研究发现, TN 流失通量是 TP 流失通量的 9.51 倍.柑橘园、菜地与旱坡地之间 TN 流失通量差异不显著,但是在菜地土壤中 NN 和 AN 流失通量显著低于柑橘园与林地($P < 0.05$),因此,在防控菜地氮流失时人们更应该关注颗粒态氮流失;王舒等^[39]在三峡库区的研究发现,化肥减量配施生物炭能有效降低径流量与氮的流失通量,因此,柑橘园、林地与旱坡地应合理调整施肥方式和肥料类型.尽管林地 TN 流失平均浓度达到了 $5.70 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,但径流量仅为 $139.22 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,因此 TN 流失通量显著低于其他土地利用方式,这更表明了径流量是影响氮流失的关键因素.

菜地的径流量为 $395.13 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,但菜地的 TP 流失通量高达 $4.97 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,且 PP 流失通量占 TP 流失通量 93.63%,表明菜地中 PP 是 TP 流失最主要的形态.旱坡地的 TP 流失通量仅为 $0.27 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,可能是由于长年不合理的耕作模式导致土壤 TP 含量仅为 $0.34 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$.罗东海等^[14]在三峡库区旱坡地的研究指出,旱坡地壤中流是磷素流失的主要方式.因此,虽然旱坡地的地表径流磷素流失仅为 $0.27 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,但也应该加强对旱坡地磷流失的防控与研究.

林地、水田、旱坡地与菜地的 PO_4^{3-} 流失通量占 DTP 流失通量的 58.74%~93.98%,这表明 DTP 流失的主要形态是 PO_4^{3-} ,王年斌等^[40]的研究发现, PO_4^{3-} 进入水体之后能直接被水体中的植物、细菌和藻类所直接利用,是造成水体富营养化的主要磷素形态,因此应加强对于 PO_4^{3-} 的防控与研究.

4 结论

(1) TN 流失通量与年径流量存在着显著的正相关关系($R^2 = 0.9826$),其顺序均表现为水田 > 柑橘园 > 旱坡地 > 菜地 > 林地,因此在石盘丘小流域预防氮流失的关键在于减少由自然降雨产生的地表径流,水田尤其要避免在雨季施肥.

(2) TP 流失通量大小顺序为:菜地 > 柑橘园 > 水田 > 林地 > 旱坡地.菜地的 TP 流失是其他 4 种土地利用方式的 3~26 倍,PP 是菜地磷流失的主要形态;DTP 是柑橘园磷流失的主要形态.亟待通过土地利用方式的优化配置,适当限制菜地种植规模;柑橘园实行合理间套种植、采用环境友好型肥料等生态农业防控技术.

(3)不同土地利用方式不同形态 N、P 流失主要集中在 4~5 月降雨时期,表明 4~5 月是石盘丘小流域防控 N、P 流失的关键时间点.

(4)林地氮、磷流失通量都显著低于其他土地利用方式($P < 0.05$),因此,退耕还林可作为治理小流域农业非点源污染的主要途径.

参考文献:

- [1] 中华人民共和国环境保护部. 长江三峡工程生态与环境监测公报[R]. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2016.
- [2] 李月臣, 刘春霞, 闵婕, 等. 三峡库区生态系统服务功能重要性评价[J]. 生态学报, 2013, 33(1): 168-178.
Li Y C, Liu C X, Min J, et al. RS/GIS-based integrated evaluation of the ecosystem services of the Three Gorges Reservoir area (Chongqing section)[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(1): 168-178.
- [3] 卓海华, 吴云丽, 刘旻璇, 等. 三峡水库水质变化趋势研究[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(6): 925-936.
Zhuo H H, Wu Y L, Liu M X, et al. Trend study of water quality in the Three Gorges Reservoir [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(6): 925-936.
- [4] 张维理, 徐爱国, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染控制中存在问题分析[A]. 见: 首届全国农业面源污染与综合防治学术研讨会论文集[C]. 北京: 中国农学会, 2004. 6-13.
- [5] Naramngam S, Tong S T Y. Environmental and economic implications of various conservative agricultural practices in the Upper Little Miami River Basin [J]. Agricultural Water Management, 2013, 119: 65-79.
- [6] 黄亚玲, 唐莉, 黄金良, 等. 九龙江流域河流磷输出对土地利用模式及水文状况的响应[J]. 环境科学, 2019, 40(12): 5340-5347.
Huang Y L, Tang L, Huang J L, et al. Responses of riverine phosphorus exports to land use and hydrological regime in the Jiulong River [J]. Environmental Science, 2019, 40(12): 5340-5347.
- [7] 李瑞雪, 余长明, 倪九派, 等. 三峡库区农业非点源污染的思考[J]. 中国农学通报, 2005, 21(9): 372-375.
Li R X, Yu C M, Ni J P, et al. Insights into agricultural nonpoint source pollution in Three Gorges Reservoir area [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(9): 372-375.
- [8] Beullens J, Van de Velde D, Nyssen J, et al. Impact of slope aspect on hydrological rainfall and on the magnitude of rill erosion in Belgium and Northern France [J]. Catena, 2014, 114: 129-139.
- [9] 张晟, 郑坚, 刘婷婷, 等. 三峡水库入库支流水体中营养盐季节变化及输出[J]. 环境科学, 2009, 30(1): 58-63.
Zhang S, Zheng J, Liu T T, et al. Seasonal variation and output of nutrient in tributaries of Three Gorges Reservoir [J]. Environmental Science, 2009, 30(1): 58-63.
- [10] 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.
- [11] 张林, 黄志霖, 肖文发, 等. 三峡库区兰陵溪小流域径流氮磷输出及其降雨径流过程特征[J]. 环境科学, 2018, 39(2): 792-799.

- Zhang L, Huang Z L, Xiao W F, *et al.* Characteristics of nitrogen and phosphorus output in runoff and rainfall runoff in Lanlingxi watershed, Three Gorges Reservoir area [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(2): 792-799.
- [12] 李晓虹, 雷秋良, 周脚根, 等. 降雨强度对洱海流域凤羽河氮磷排放的影响[J]. *环境科学*, 2019, **40**(12): 5375-5383.
- Li X H, Lei Q L, Zhou J G, *et al.* Effect of rainfall intensity on the content of nitrogen and phosphorus components in plateau areas; a case study of the Fengyu River watershed [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(12): 5375-5383.
- [13] 熊子怡, 王子芳, 龙翼, 等. 紫色土旱坡地氮流失通量对减肥配施秸秆的响应[J]. *环境科学*, 2020, **41**(4): 1930-1940.
- Xiong Z Y, Wang Z F, Long Y, *et al.* Response of nitrogen loss flux in purple soil sloping field to reduced fertilizer and combining straw[J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(4): 1930-1940.
- [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] 张维理, 徐爱国, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策Ⅲ. 中国农业面源污染控制中存在问题分析[J]. *中国农业科学*, 2004, **37**(7): 1026-1033.
- Zhang W L, Xu A G, Ji H J, *et al.* Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies Ⅲ. A review of policies and practices for agricultural non-point source pollution control in China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, **37**(7): 1026-1033.
- [16] 俱战省, 文安邦, 严冬春, 等. 三峡库区小流域修正通用土壤流失方程适用性分析[J]. *农业工程学报*, 2015, **31**(5): 121-131.
- Ju Z S, Wen A B, Yan D C, *et al.* Adaptability analysis on revised universal soil loss equation in small catchment of Three Gorges Reservoir region[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, **31**(5): 121-131.
- [17] 谢经朝, 赵秀兰, 何丙辉, 等. 汉丰湖流域农业面源污染氮磷排放特征分析[J]. *环境科学*, 2019, **40**(4): 1760-1769.
- Xie J C, Zhao X L, He B H, *et al.* Analysis of the characteristics of nitrogen and phosphorus emissions from agricultural non-point sources on Hanfeng Lake basin [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(4): 1760-1769.
- [18] 陈学凯, 刘晓波, 彭文启, 等. 程海流域非点源污染负荷估算及其控制对策[J]. *环境科学*, 2018, **39**(1): 77-88.
- Chen X K, Liu X B, Peng W Q, *et al.* Estimation of and control strategies for pollution loads from non - point sources in the Chenghai watershed[J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(1): 77-88.
- [19] 杨淑静, 张爱平, 杨正礼, 等. 宁夏灌区农业非点源污染负荷估算方法初探[J]. *中国农业科学*, 2009, **42**(11): 3947-3955.
- Yang S J, Zhang A P, Yang Z L, *et al.* Agricultural non-point source pollution in Ningxia irrigation district and preliminary study of load estimation methods [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, **42**(11): 3947-3955.
- [20] 彭梦玲, 吴磊, 乔闪闪. 不同雨强下黄土裸坡水-沙-氮磷流失耦合模拟[J]. *中国环境科学*, 2018, **38**(3): 1109-1116.
- Peng M L, Wu L, Qiao S S. Coupling simulation of runoff-sediment-nutrient loss on loess bare sloping land under different rainfall intensities[J]. *China Environmental Science*, 2018, **38**(3): 1109-1116.
- [21] Yin S, Xie Y, Nearing M A, *et al.* Estimation of rainfall erosivity using 5-to 60-minute fixed-interval rainfall data from China[J]. *CATENA*, 2007, **70**(3): 306-312.
- [22] 朱波, 汪涛, 王建超, 等. 三峡库区典型小流域非点源氮磷污染的来源与负荷[J]. *中国水土保持*, 2010, (10): 34-36.
- Zhu B, Wang T, Wang J C, *et al.* Source and load of non-point source nitrous and phosphorus pollution of typical small watersheds in the Three Gorges Reservoir area [J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2010, (10): 34-36.
- [23] 黎嘉成. 三峡库区石盘丘小流域氮磷非点源污染特征研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- Li J C. Study on non-point source pollution characteristics of Shipanqiu small watershed in Three Gorges Reservoir area [D]. Chongqing: Southwest University, 2018.
- [24] 曹瑞霞, 刘京, 邓开开, 等. 三峡库区典型紫色土小流域径流及氮磷流失特征[J]. *环境科学*, 2019, **40**(12): 5330-5339.
- Cao R X, Liu J, Deng K K, *et al.* Characteristics of nitrogen and phosphorus losses and runoff in a typical purple soil watershed in the Three Gorges Reservoir area [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(12): 5330-5339.
- [25] 刘方谊, 范先鹏, 夏颖, 等. 三峡库区典型流域农业面源氮素输出特征[J]. *湖北农业科学*, 2018, **57**(10): 31-36.
- Liu F Y, Fan X P, Xia Y, *et al.* Characteristics of nitrogen output from agricultural non-point source in typical watershed of Three Gorges Reservoir area [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2018, **57**(10): 31-36.
- [26] 纪雄辉, 郑圣先, 鲁艳红, 等. 施用尿素和控释氮肥的双季稻田表层水氮素动态及其径流损失规律[J]. *中国农业科学*, 2006, **39**(12): 2521-2530.
- Ji X H, Zheng S X, Lu Y H, *et al.* Dynamics of floodwater nitrogen and its runoff loss, urea and controlled release nitrogen fertilizer application regulation in rice [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, **39**(12): 2521-2530.
- [27] 黄东风, 王果, 李卫华, 等. 菜地土壤氮磷面源污染现状、机制及控制技术[J]. *应用生态学报*, 2009, **20**(4): 991-1001.
- Huang D F, Wang G, Li W H, *et al.* Present status, mechanisms, and control techniques of nitrogen and phosphorus non-point source pollution from vegetable fields [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, **20**(4): 991-1001.
- [28] 李国栋, 胡正义, 杨林章, 等. 太湖典型菜地土壤氮磷向水体径流输出与生态草带拦截控制[J]. *生态学杂志*, 2006, **25**(8): 905-910.
- Li G D, Hu Z Y, Yang L Z, *et al.* Soil nitrogen and phosphorus losses with surface runoff from typical vegetable field of Taihu Lake region and their control with grass buffer strip [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, **25**(8): 905-910.
- [29] 严坤, 王玉宽, 刘勤, 等. 三峡库区规模化顺坡沟垄果园氮、磷输出过程及流失负荷[J]. *环境科学*, 2020, **41**(8): 3646-3656.
- Yan K, Wang Y K, Liu Q, *et al.* Dynamic process of nitrogen and phosphorus export and loss load in an intensive orchard with ridge and furrow plantation in the Three Gorges Reservoir area [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(8): 3646-3656.
- [30] 王甜, 黄志霖, 曾立雄, 等. 三峡库区柑橘园施肥量对土壤氮淋失及残留量的影响[J]. *环境科学*, 2019, **40**(3): 1468-1474.
- Wang T, Huang Z L, Zeng L X, *et al.* Effects of fertilization on the nitrogen residual amounts and leaching from citrus orchard

- soil in the Three Gorges Reservoir area [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(3): 1468-1474.
- [31] Wei W, Chen L D, Fu B J, *et al.* The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China[J]. *Journal of Hydrology*, 2007, **335**(3-4): 247-258.
- [32] 华玲玲, 李文超, 翟丽梅, 等. 三峡库区古夫河小流域氮磷排放特征[J]. *环境科学*, 2017, **38**(1): 138-146.
Hua L L, Li W C, Zhai L M, *et al.* Characteristics of nitrogen and phosphorus emissions in the Gufu River small watershed of the Three Georges Reservoir area [J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(1): 138-146.
- [33] 陈成龙, 高明, 倪九派, 等. 三峡库区小流域稻田空间格局对氮磷流失影响[J]. *环境科学*, 2017, **38**(5): 1889-1897.
Chen C L, Gao M, Ni J P, *et al.* Influence of spatial pattern of paddy field on the losses of nitrogen and phosphorus in Three Gorges Reservoir area [J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(5): 1889-1897.
- [34] Kim Y, Ullah S, Moore R, *et al.* Dissolved organic carbon and total dissolved nitrogen production by boreal soils and litter; the role of flooding, oxygen concentration, and temperature [J]. *Biogeochemistry*, 2014, **118**(1-3): 35-48.
- [35] 刘方谊, 夏颖, 黄敏, 等. 湖北省三峡库区不同种植模式下农田地表径流氮磷流失特征[J]. *农业资源与环境学报*, 2018, **35**(6): 550-558.
Liu F Y, Xia Y, Huang M, *et al.* Characteristics of nitrogen and phosphorus losses from farmlands through surface runoff under different cropping patterns in the Three Gorges Reservoir area of Hubei Province [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2018, **35**(6): 550-558.
- [36] 曾立雄, 黄志霖, 肖文发, 等. 三峡库区不同土地利用类型氮磷流失特征及其对环境因子的响应[J]. *环境科学*, 2012, **33**(10): 3390-3396.
Zeng L X, Huang Z L, Xiao W F, *et al.* Nitrogen and phosphorus loss in different land use types and its response to environmental factors in the Three Gorges Reservoir area [J]. *Environmental Science*, 2012, **33**(10): 3390-3396.
- [37] 宋科, 张维理, 徐爱国, 等. 太湖水网地区不同种植类型农田磷素渗漏流失研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, **15**(6): 1288-1294.
Song K, Zhang W L, Xu A G, *et al.* Phosphorus leaching losses in different planting farmlands in the riverine plain area of Taihu Lake [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, **15**(6): 1288-1294.
- [38] 陈仕奇, 龙翼, 严冬春, 等. 三峡库区石盘丘小流域氮磷输出形态及流失通量[J]. *环境科学*, 2020, **41**(3): 1276-1285.
Chen S Q, Long Y, Yan D C, *et al.* Characteristics of nitrogen and phosphorus output and loss flux in the Shipanqiu watershed, Three Gorges Reservoir Area [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(3): 1276-1285.
- [39] 王舒, 王子芳, 龙翼, 等. 生物炭施用对紫色土旱坡地土壤氮流失形态及通量的影响[J]. *环境科学*, 2020, **41**(5): 2406-2415.
Wang S, Wang Z F, Long Y, *et al.* Effect of fertilizer reduction and biochar application on soil nitrogen loss in purple upland [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(5): 2406-2415.
- [40] 王年斌, 薛克, 马志强, 等. 黄海北部河口区活性磷酸盐含量分布动态与环境质量评价[J]. *中国水产科学*, 2004, **11**(3): 272-275.
Wang N B, Xue K, Ma Z Q, *et al.* Distribution of active phosphates and assessment of the ambient water quality in estuary of the northern Yellow Sea [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, **11**(3): 272-275.

CONTENTS

Concurrent Collection of Ammonia Gas and Aerosol Ammonium in Urban Beijing During National Celebration Days Utilizing an Acid-Coated Honeycomb Denuder in Combination with a Filter System	GU Meng-na, PAN Yue-peng, SONG Lin-lin, <i>et al.</i> (1)
Heavy Pollution Episode in Tianjin Based on UAV Meteorological Sounding and Numerical Model	YANG Xu, CAI Zi-ying, HAN Su-qin, <i>et al.</i> (9)
Characteristics and Sources of PM _{2.5} Pollution in Typical Cities of the Central Plains Urban Agglomeration in Autumn and Winter	MIAO Qing-qing, JIANG Nan, ZHANG Rui-qin, <i>et al.</i> (19)
Characteristics and Sources of Water-soluble Ion Pollution in PM _{2.5} in Winter in Shenyang	WANG Guo-zhen, REN Wan-hui, YU Xing-na, <i>et al.</i> (30)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in PM _{2.5} Collected in Baoding	LEI Wen-kai, LI Xing-ru, ZHANG Lan, <i>et al.</i> (38)
Source Apportionment of Ambient Carbonyl Compounds Based on a PMF and Source Tracer Ratio Method: A Case Based on Observations in Nanjing	HU Kun, WANG Ming, WANG Hong-li, <i>et al.</i> (45)
Characterization and Source Apportionment of Atmospheric VOCs in Tianjin in 2019	GAO Jing-yun, XIAO Zhi-mei, XU Hong, <i>et al.</i> (55)
Characteristics and Source Apportionment of Ambient VOCs in Spring in Liuzhou	LIU Qi, LU Xing-lin, ZENG Peng, <i>et al.</i> (65)
Characteristics of Ozone and Source Apportionment of the Precursor VOCs in Tianjin Suburbs in Summer	LUO Rui-xue, LIU Bao-shuang, LIANG Dan-ni, <i>et al.</i> (75)
Transport Influence and Potential Sources of Ozone Pollution for Nanjing During Spring and Summer in 2017	XIE Fang-jian, LU Xiao-bo, YANG Feng, <i>et al.</i> (88)
Ozone Pollution Trend in the Pearl River Delta Region During 2006-2019	ZHAO Wei, GAO Bo, LU Qing, <i>et al.</i> (97)
Distribution Characteristics and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Atmospheric Deposition in Areas Adjacent to a Large Petrochemical Enterprise	LI Da-yan, QI Xiao-bao, WU Jian, <i>et al.</i> (106)
Quantitative Comparison of Methods to Assess the Airborne Particulate Matter Retention Capacity of Leaves	YUE Chen, LI Guang-de, XI Ben-ye, <i>et al.</i> (114)
Emission Estimation and Fate Simulation of Dichlorvos in the Dongjiang River Watershed	ZHANG Bing, ZHANG Qian-qian, YING Guang-guo (127)
Distribution and Ecological Risk Assessment of Antibiotics in the Songhua River Basin of the Harbin Section and Ashe River	YANG Shang-le, WANG Xu-ming, WANG Wei-hua, <i>et al.</i> (136)
Characteristics and Ecological Risk Assessment of POPs Pollution in Sediments of Xiaoxingkai Lake in the Northeast China	LI Hui, LI Jie, SONG Peng, <i>et al.</i> (147)
Distribution and Ecological Risk Assessment of PPCPs in Drinking Water Sources of Henan Province	ZHOU Ying, WU Dong-hai, LU Guang-hua, <i>et al.</i> (159)
Occurrence Characteristics and Health Risk Assessment of Endocrine Disrupting Chemicals in Groundwater in Wuxi-Changzhou	WANG Shu-ting, RAO Zhu, GUO Feng, <i>et al.</i> (166)
Seasonal Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Water of Qingjiang River	LIU Zhao, ZHOU Hong, CAO Wen-jia, <i>et al.</i> (175)
Metal Pollutions and Human Health Risks in Groundwater from Wet, Normal, and Dry Periods in the Huixian Karst Wetland, China	LI Jun, ZHAO Yi, ZOU Sheng-zhang, <i>et al.</i> (184)
Seasonal Variation of DOM Spectral Characteristics of Rivers with Different Urbanization Levels in the Three Gorges Reservoir Area	CHEN Zhao-yu, LI Si-yue (195)
Distribution of Micro-plastics in the Soil Covered by Different Vegetation in Yellow River Delta Wetland	YUE Jun-jie, ZHAO Shuang, CHENG Hao-dong, <i>et al.</i> (204)
Metagenomic Analysis Provides Insights into Bacterial Communities, Antibiotic Resistomes, and Public Health Risks in the Dongping Lake Reservoir	ZHANG Hong-na, CUI Na, SHEN Hong-miao (211)
Mechanism of Algal Community Dynamics Driven by the Seasonal Water Bacterial Community in a Stratified Drinking Water Reservoir	YAN Miao-miao, ZHANG Hai-han, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i> (221)
Community Structure, Function, and Influencing Factors of Planktonic Fungi in the Danjiangkou Reservoir	ZHENG Bao-hai, WANG Xiao-yu, LI Ying-jun, <i>et al.</i> (234)
Changes in Algal Particles and Their Water Quality Effects in the Outflow River of Taihu Lake	GUO Yu-long, XU Hai, CHEN Xu-qing, <i>et al.</i> (242)
Characteristics of Soil Nitrogen and Phosphorus Losses Under Different Land-use Schemes in the Shipanqiu Watershed	DENG Hua, GAO Ming, LONG Yi, <i>et al.</i> (251)
Influence of Antecedent Dry Days on Nitrogen Removal in Bioretention Systems	CHEN Yao, LI Xin-rui, ZHENG Shuang, <i>et al.</i> (263)
Effect of <i>Enteromorpha prolifera</i> Biochar on the Adsorption Characteristics and Adsorption Mechanisms of Ammonia Nitrogen in Rainfall Runoff	CHEN You-yuan, LI Pei-qiang, LI Xian-chi, <i>et al.</i> (274)
Effect of Filter Medium on the Enhancement of Complete Autotrophic Nitrogen Removal over Nitrite Process in a Tidal Flow Constructed Wetland	LIU Bing, ZHENG Yu-ming, QIN Hui-an, <i>et al.</i> (283)
Adsorption Effect and Mechanism of Aqueous Arsenic on FeMnNi-LDHs	LIAO Yu-mei, YU Jie, WEI Shi-qiang, <i>et al.</i> (293)
Combined Use of Zirconium-Modified Bentonite Capping and Calcium Nitrate Addition to Control the Release of Phosphorus from Sediments	ZHANG Hong-hua, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (305)
Distribution Characteristics of Antibiotics and Antibiotic Resistance Genes in Wastewater Treatment Plants	XIE Ya-wei, YU Chi-sheng, LI Fei-fei, <i>et al.</i> (315)
Occurrence of Antibiotic Resistance Genes and Bacterial Community Structure of Different Sludge Samples During Microwave Pretreatment-Anaerobic Digestion	LI Hui-li, WU Cai-yun, TANG An-ping, <i>et al.</i> (323)
Selenium Threshold for the Delimitation of Natural Selenium-Enriched Land	WANG Hui-yan, ZENG Dao-ming, GUO Zhi-juan, <i>et al.</i> (333)
Improved Regression Kriging Prediction of the Spatial Distribution of the Soil Cadmium by Integrating Natural and Human Factors	GAO Zhong-yuan, XIAO Rong-bo, WANG Peng, <i>et al.</i> (343)
Simulation Cadmium (Cd) Accumulation in Typical Paddy Soils in South China	DAI Ya-ting, FU Kai-dao, YANG Yang, <i>et al.</i> (353)
Bioaccessibility and Health Risks of the Heavy Metals in Soil-Rice System of Southwest Fujian Province	LIN Cheng-qi, CAI Yu-hao, HU Gong-ren, <i>et al.</i> (359)
Effects of Nano Material on Cadmium Accumulation Capacity and Grain Yield of Indica Hybrid Rice Under Wetting-drying Alternation Irrigation	YANG Ru, CHEN Xin-rui, ZHANG Ying, <i>et al.</i> (368)
Regulation Control of a Tribasic Amendment on the Chemical Fractions of Cd and As in Paddy Soil and Their Accumulation in Rice	JIANG Yi, LIU Ya, GU Jiao-feng, <i>et al.</i> (378)
Combined Effect of Weathered Coal Based Amendments and Soil Water Management on Methylmercury Accumulation in Paddy Soil and Rice Grains	ZHENG Shun-an, WU Ze-ying, DU Zhao-ling, <i>et al.</i> (386)
Effects of Fertilization Strategies on the Cadmium Resistance of Paddy Soil Microorganisms	ZHENG Kai-kai, MA Zhi-yuan, SUN Bo, <i>et al.</i> (394)
Soil Enzyme Activity in <i>Picea schrenkiana</i> and Its Relationship with Environmental Factors in the Tianshan Mountains, Xinjiang	ZHANG Han, GONG Lu, LIU Xu, <i>et al.</i> (403)
Effects of Farmland Abandonment on Soil Enzymatic Activity and Enzymatic Stoichiometry in the Loess Hilly Region, China	ZHONG Ze-kun, YANG Gai-he, REN Cheng-jie, <i>et al.</i> (411)
Effect of Biochar on Soil Enzyme Activity & the Bacterial Community and Its Mechanism	FENG Hui-lin, XU Chen-sheng, HE Huan-hui, <i>et al.</i> (422)
Effects of Vegetation Restoration on the Structure and Function of the Rhizosphere Soil Bacterial Community of <i>Solanum rostratum</i>	ZHANG Rui-hai, SONG Zhen, FU We-dong, <i>et al.</i> (433)
Response of Microbial Biomass Carbon and Nitrogen and Rice Quality in a Yellow Soil Paddy Field to Biochar Combined with Nitrogen Fertilizer	SHI Deng-lin, WANG Xiao-li, LIU An-kai, <i>et al.</i> (443)
Effects of Adding Straw and Biochar with Equal Carbon Content on Soil Respiration and Microbial Biomass Carbon and Nitrogen	HE Tian-tian, WANG Jing, FU Yun-peng, <i>et al.</i> (450)
How Different Ratios of Straw Incorporation to Nitrogen Fertilization Influence Endogenous and Exogenous Carbon Release from Agricultural Soils	SUN Zhao-an, ZHANG Xuan, HU Zheng-jiang, <i>et al.</i> (459)
Effect of Biochar and Chemical Fertilizer Mixture on Ammonia Volatilization and Phosphorus Fixation	YANG Wen-na, DENG Zhen-xin, LI Jiao, <i>et al.</i> (467)
Effects of Film Materials on Ammonia Volatilization Emissions from a Paddy System After Reducing Nitrogen Fertilizer Application	YU Ying-liang, WANG Meng-fan, YANG Bei, <i>et al.</i> (477)
Effects of Microplastics on Embryo Hatching and Intestinal Accumulation in Larval Zebrafish <i>Danio rerio</i>	ZHAO Jia, RAO Ben-qiang, GUO Xiu-mei, <i>et al.</i> (485)
Urban Micro-Scale Thermal Environment Simulation Supported by UAV Thermal Infrared Data	YANG Shao-qi, FENG Li, TIAN Hui-hui, <i>et al.</i> (492)
Estimation of the Urban Heat Island Intensity Change and Its Relationships with Driving Factors Across China Based on the Human Settlement Scale	SUN Yan-wei, WANG Run, GUO Qing-hai, <i>et al.</i> (501)