

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

基于高分影像的城市水体遥感综合分级方法

杨子谦, 刘怀庆, 吕恒, 李云梅, 朱利, 周亚明, 李玲玲, 毕顺



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2021年5月

第42卷 第5期

Vol.42 No.5

目次

北京冬季PM_{2.5}中有机气溶胶的化学特征和来源解析 徐楠,王甜甜,李晓,唐荣志,郭松,胡敏 (2101)

北京地区2019年2~3月供暖结束后两次污染过程特征分析 尹晓梅,蒲维维,王继康,刘湘雪,乔林 (2110)

北京2019年冬季一次典型霾污染特征与成因分析 廉涵阳,杨欣,张普,陈义珍,杨小阳,赵好希,何友江,赵丹婷 (2121)

青岛沿海地区夏季和冬季新粒子生成特征对比 孙悦,朱玉姣,孟赫,刘兵,刘玉虹,董灿,姚小红,王文兴,薛丽坤 (2133)

太原市城乡居民采暖季室内灰尘中重金属的污染特征及其生态风险评价 黄浩,徐子琪,严俊霞,赵秀阁,王丹璐 (2143)

西安市新装修公共场所空气污染物浓度分析及健康风险评价 范洁,樊灏,沈振兴,党文鹏,郑伟,王志华,付毅 (2153)

超低排放典型燃烧源颗粒物及水溶性离子排放水平与特征 胡月琪,王铮,郭建辉,冯亚君,丁萌萌,颜旭 (2159)

合肥市夏季大气颗粒物中微生物群落的高通量测序分析 姜少毅,孙博文,代海涛,王润芳,马大卫,朱仁斌 (2169)

郑州市细颗粒物时空差异及管控措施影响 董喆,袁明浩,苏方成,张剑飞,孙佳侯,张瑞芹 (2179)

2016~2019年江西省臭氧污染特征与气象因子影响分析 钱悦,许彬,夏玲君,陈燕玲,邓力琛,王欢,张根 (2190)

天山北坡城市群气溶胶光学特性时空分布特征 张喆,丁建丽,王瑾杰,陈香月,刘兴涛,阿提干·吾斯曼 (2202)

基于高分影像的城市水体遥感综合分级方法 杨子谦,刘怀庆,吕恒,李云梅,朱利,周亚明,李玲玲,毕顺 (2213)

太湖水体Chl-a预测模型ARIMA的构建及应用优化 李娜,李勇,冯家成,单雅洁,钱佳宁 (2223)

松花湖水水质空间差异及富营养化空间自相关分析 丁洋,赵进勇,张晶,付意成,彭文启,陈渠昌,李艳艳 (2232)

会仙岩溶湿地丰平枯水期地表水污染及灌溉适用性评价 朱丹尼,邹胜章,李军,樊连杰,赵一,谢浩,朱天龙,潘民强,徐利 (2240)

京杭大运河中下游段天然水化学变化特征及驱动因素 程中华,邓义祥,卓小可,代丹,于涛 (2251)

次降雨过程中不同土地利用配置对径流中氮流失的影响 罗义峰,陈方鑫,周豪,龙翼,严冬春,谭文浩,李丹丹,陈晓燕 (2260)

碳氮同位素解析典型岩溶流域地下水中硝酸盐来源与归趋 任坤,潘晓东,梁嘉鹏,彭聪,曾洁 (2268)

冰封状态下达里湖冰-水中浮游细菌群落结构差异 李文宝,杨旭,田雅楠,杜蕾 (2276)

城市再生水河道沉积物细菌群落空间变化分析:以京津冀北运河为例 邱莹,靳燕,苏振华,邱琰若,赵栋梁,郭道宇 (2287)

太湖春夏两季反硝化与厌氧氨氧化速率的空间差异及其影响因素 赵锋,许海,詹旭,朱广伟,郭宇龙,康丽娟,朱梦圆 (2296)

三峡库区典型支流水库浮游动植物群落结构特征及其与环境因子的关系 陈莎,谢青,付梅,江韬,王永敏,王定勇 (2303)

铁硫改性生物炭去除水中的磷 桑倩倩,王芳君,赵元添,周强,蔡雨麒,邓颖,田文清,陈永志,马娟 (2313)

钢渣对水体中磷的去除性能及机制解析 罗晓,张峻搏,何磊,杨雪晶,吕鹏翼 (2324)

BS-18两性修饰膨润土对四环素和诺氟沙星复合污染的吸附 王新欣,孟昭福,刘欣,王腾,胡啸龙,孙秀贤 (2334)

Ag₃PO₄/g-C₃N₄复合光催化剂的制备及其可见光催化性能 高闯闯,刘海成,孟无霜,郝双玲,薛婷婷,陈国栋,Joseph Acquah (2343)

可见光驱动下罗丹明B自活化过硫酸盐降解双酚A 张怡晨,白雪,石娟,金鹏康 (2353)

铁钛共掺杂氧化铝诱发表面双反应中心催化臭氧氧化去除水中污染物 张帆,宋阳,胡春,吕来 (2360)

硫化铁铜双金属复合材料的制备及除铬机制 屈敏,王源,陈辉霞,王兴润,徐红彬 (2370)

电催化-生物电化学耦合系统处理青霉素废水的机制 曲有鹏,吕江维,董跃,冯玉杰,张杰 (2378)

缺氧/好氧交替连续流的生活污水好氧颗粒污泥运行及污染物去除机制 李冬,杨敬畏,李悦,李帅,张诗睿,王文强,张杰 (2385)

反硝化除磷污泥聚集体内原位除磷活性及有机物浓度的影响 吕永涛,姜晓童,徒彦,王旭东,潘永宝,刘爽,崔双科,王磊 (2396)

基于臭氧旁路处理的污泥原位减量技术工艺 薛冰,刘宾寒,韦婷婷,王先恺,陈思思,董滨 (2402)

活性炭对城市有机固废厌氧消化过程抗生素抗性基因行为特征的影响 马佳莹,王盼亮,汪冰寒,苏应龙,谢冰 (2413)

6种农业废弃物初期碳源及溶解性有机物释放机制 凌宇,闫国凯,王海燕,董伟羊,王欢,常洋,李丛宇 (2422)

中国典型农田土壤有机碳密度的空间分异及影响因素 李成,王让会,李兆哲,徐扬 (2432)

不同水分条件和微生物生物量水平下水稻土有机碳矿化及其影响因子特征 刘琪,李宇虹,李哲,魏晓梦,祝贞科,吴金水,葛体达 (2440)

青藏高原林地土壤的氮转化特征及其影响因素分析:以祁连山和藏东南地区为例 何芳,张丽梅,申聪聪,陈金全,刘四义 (2449)

基于物元可拓模型的兰州市主城区公园表土重金属污染评价 胡梦瑶,李春艳,李娜娜,吉天琪,郑登友 (2457)

长期施用化肥和有有机肥对稻田土壤重金属及其有效性的影响 夏文建,张丽芳,刘增兵,张文学,蓝贤瑾,刘秀梅,刘佳,刘光荣,李祖章,王萍 (2469)

川南山区土壤与农作物重金属特征及成因 韩伟,王成文,彭敏,王乔林,杨帆,徐仁廷 (2480)

宁东能源化工基地核心区表层土壤中多环芳烃的空间分布特征、源解析及风险评价 杨帆,罗红雪,钟艳霞,王幼奇,白一茹 (2490)

重金属钝化剂阻控生菜Cd吸收的功能稳定性和适用性 鹿发虎,吴雪姣,孔雪菲,曾亮,王晓宇,陈兆进,姚伦广,韩辉 (2502)

典型污染稻田水分管理对水稻镉累积的影响 张雨婷,田应兵,黄道友,张泉,许超,朱挥华,朱奇宏 (2512)

油茶果壳改性生物炭吸附性能及其耦合淹水对土壤Cd形态影响 蔡彤,杜辉辉,刘孝利,铁柏清,杨宇 (2522)

土地利用变化对松花江下游湿地土壤真菌群落结构及功能的影响 徐飞,张拓,怀宝东,隋文志,杨雪 (2531)

渔业复垦塌陷地抗生素抗性基因与微生物群落 程森,路平,冯启言 (2541)

3种常用除草剂对细菌抗生素耐药性的影响 李曦,廖汉鹏,崔鹏,白玉丹,刘晨,文畅,周顺桂 (2550)

污水再生利用微生物控制标准及其制定方法探讨 陈卓,崔琦,曹可凡,陆韻,巫寅虎,胡洪营 (2558)

《环境科学》征订启事(2439) 《环境科学》征稿简则(2479) 信息(2152, 2231, 2286)

次降雨过程中不同土地利用配置对径流中氮流失的影响

罗义峰¹, 陈方鑫¹, 周豪¹, 龙翼², 严冬春², 谭文浩¹, 李丹丹¹, 陈晓燕^{1*}

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400715; 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: 为了解天然次降雨过程中土地利用配置对径流氮流失的影响, 本研究以重庆市忠县石盘丘小流域两个不同土地利用配置的 A、B 子集水区为研究对象, 对集水区出口径流量和氮素进行监测。A 集水区为农林水复合配置模式, B 集水区为传统农业配置模式, 利用 EMC 评估次降雨过程径流中氮的平均浓度, 分析次降雨过程中不同土地利用配置对径流氮素的影响。结果表明, 在次降雨径流氮流失过程中, B 集水区的 TN 浓度 ($1.37 \sim 15.17 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) > A 集水区 ($0.84 \sim 9.28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$); A 集水区第一次峰值占第二次峰值的比值 62% 远小于 B 集水区的 97%; A 集水区的平均可溶性总氮/总氮 (DN/TN) 为 69%, B 集水区的平均可溶性总氮/总氮 (DN/TN) 为 75%, A 集水区的平均硝态氮/可溶性总氮 (NN/DN) 为 67%, B 集水区的平均硝态氮/可溶性总氮 (NN/DN) 为 80%。不同土地利用配置对氮流失的影响显著, 与 B 集水区相比, A 集水区能有效减少氮的流失, 明显消减第一次 TN 峰值, 减少 DN 和 NN 的养分占比。本研究为三峡库区小流域面源污染防治提供了科学依据。

关键词: 氮流失; 径流; 土地利用配置; 次降雨过程; 小流域; 三峡库区

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)05-2260-08 DOI: 10.13227/j.hjkk.202009177

Effects of Different Land Use Practices on Nitrogen Loss from Runoff During Rainfall Events

LUO Yi-feng¹, CHEN Fang-xin¹, ZHOU Hao¹, LONG Yi², YAN Dong-chun², TAN Wen-hao¹, LI Dan-dan¹, CHEN Xiao-yan^{1*}

(1. College of Resource and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Chengdu 610041, China)

Abstract: To understand the effect of nitrogen from runoff during rainfall events for different land uses, sub-catchments A and B in the small Shipanqiu watershed in Zhong County, Chongqing—which were managed using different land use practices—were taken as research objects. Runoff flow and nitrogen levels at the outlet of the catchment were monitored. Sub-catchment A is an agroforestry-water complex and sub-catchment B is the site of traditional agriculture. EMC was used to evaluate the average concentration of runoff nitrogen during rainfall events, and the effect of this runoff nitrogen on the small watershed with different land use systems was analyzed. The results showed that the TN concentration in catchment B ($1.37\text{--}15.17 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) > catchment A ($0.84\text{--}9.28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$); the ratio of the first peak to the second peak in catchment A was 62%, which was far less than the 97% in catchment B; the average DN/TN values were 69% and 75% in catchments A and B, respectively; and the average NN/DN values were 67% and 80% in catchments A and B, respectively. The different land use practices have significant impacts on nitrogen loss. Compared with the catchment where traditional agricultural practices were followed, the agroforestry-water complex catchment effectively reduced the loss of nitrogen and decreased the first TN peak value and DN/TN and NN/DN values. This study provides a scientific basis for the prevention and control of non-point source pollution in small watersheds in the area of the Three Gorges Reservoir.

Key words: nitrogen loss; runoff; land use practice; rainfall event process; small watershed; Three Gorges Reservoir area

三峡库区由于特殊的空间位置、社会经济情况、人口分布以及三峡大坝工程修筑等问题使农业面源污染问题更加突出, 坡耕地水土流失导致的养分流失成为三峡库区面源污染的重要来源^[1]。三峡库区主干和支流的水质情况都不容乐观, 高水位期间, 部分支流以及湖泊将会迎来干流的倒灌, 会导致氮、磷大幅增加^[2]。同时每年大量的氮、磷汇入库区, 导致库区的水质严重下降, 已有部分回水区域出现水华现象^[3]。氮在水土流失导致的面源污染中占据了很大比例^[4~6], 其主要通过径流^[7]和泥沙^[8,9]两部分携带, 与泥沙中氮素的流失量相比, 部分小流域径流携带氮素所占比例更大^[10,11]。

不同土地利用配置将会改变降雨对氮流失的影

响, 主要包括以下两方面, 一方面地表覆盖层^[12~14]减轻雨水对地表的击溅作用, 从而减少土壤中的氮通过雨水作用汇入径流, 另一方面不同土地利用方式^[15,16]对地表径流和地下水的氮含量产生影响^[17]。在 Florida 湖泊发现^[18], 高农业占比、林地覆盖和湿地面积的配置会影响湖泊的养分浓度。在王家沟小流域配置三带等高农桑能显著降低地表径流中的 TN^[19], 在坡底布设稻田比坡腰布设稻田的 TN

收稿日期: 2020-09-17; 修订日期: 2020-11-21

基金项目: 重庆市技术创新与应用示范(社会民生类重点研发)项目(cstc2018jscx-mszdX0061)

作者简介: 罗义峰(1994~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤侵蚀与流域治理, E-mail: lyf00544@qq.com

* 通信作者, E-mail: c400716@126.com

和 NN 去除率要高^[20]. 吴东等^[21]对兰陵溪退耕还林后土地利用结构变化分析发现,林地面积超过 85% 的监测区,氮素养分输出的浓度最低. 因此更合理的土地利用配置往往会减少氮素的流失. 在石盘丘小流域,朱波等^[22]的研究发现居民点、柑橘果园与坡耕地是农业面源污染的主要来源,邓华等^[23]通过监测不同土地利用的养分浓度,发现 TN 的流失通量为水田 > 柑橘园 > 旱坡地 > 菜地 > 林地,但未对次降雨过程中不同土地利用配置集水区下,径流中不同形态氮的变化进行深入研究. 因此,本文以石盘丘小流域不同土地利用配置的 A、B 子集水区为研究对象,监测 2019 年 10 场次降雨过程中 A、B 子集水区径流中氮的动态变化,分析次降雨过程中不同土地利用配置下氮素流失特征及规律,以期为防控三峡库区小流域农业面源污染提供理论支撑和科学依据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究在中国科学院 2007 年建立的三峡库区水土保持与环境研究站进行,所选取的石盘丘小流域(30°24'N ~ 30°30'N, 108°08'E ~ 108°12'E)位于重庆市忠县石宝镇新农村. 流域内海拔范围为 119 ~ 780 m,坡度 5° ~ 25°之间,地势南部低,北部高,低山、丘陵、阶地、低洼地和河谷地相间分布,属于山地丘陵区. 多年降水量在 1 000 ~ 1 300 mm 之间,属亚热带湿润季风气候. 雨季为 4 ~ 10 月,降雨量约占全年总降雨量的 70%^[4]. 石盘丘小流域由两个子集水区 A 和 B 组成,A 集水区是改造配置的农林水复

合集水区,面积为 29.62 hm²,顶部配置果园林和林地,中部为草地布设有竹篱护沟、旱地伴有生态池塘,底部为山谷中的梯级水田,径流经过生态沟渠和生态湿地流出; B 集水区为传统农业集水区,面积为 14.43 hm²,顶部果园林,中部和低部多为旱地伴有山坪塘,为传统耕作模式. 小流域的土地利用分布见图 1.

1.2 样品采集与处理

在 A 和 B 集水区的出水口处设置巴歇尔水槽,在巴歇尔水槽内设置自动流量监测器,实时记录流量变化. 遇降雨在 A 和 B 集水区的巴歇尔水槽出口处采集径流样,每 10 min 或 30 min 采集一次,径流量较大时加密采集,直到降雨结束后,再采集 2 ~ 3 次. 水样收集在 500 mL 塑料瓶中,及时带回储存于 4℃ 冰箱中,并在 48 h 内进行养分的测定. 径流样的采集点如图 1 所示. 其中总氮(TN)采用原样直接处理测定,可溶性总氮(DN)、硝态氮(NN)和铵态氮(AN)采用通过 0.45 μm 滤膜的水样进行测定. 实验室测定方法: TN 和 DN 采用碱式过硫酸钾消解-紫外分光光度法, NN 采用紫外分光光度法和 AN 采用靛酚蓝比色法.

1.3 数据处理

采用 EMC 来评估次降雨过程中径流的污染负荷,EMC(mg·L⁻¹)是指次降雨径流污染物的加权事件平均浓度,其公式表示为:

$$EMC = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^t c_i Q_i dt}{\int_0^t Q_i dt} \approx \frac{\sum c_i Q_i \Delta t}{\sum Q_i \Delta t} \quad (1)$$

式中, M 是次降雨持续时间内污染物的总质量(g), V

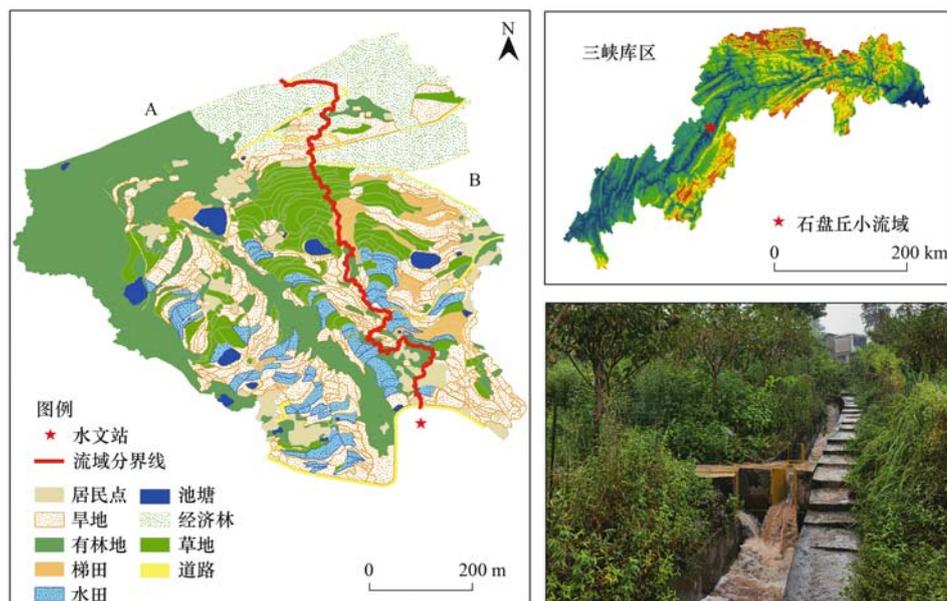


图1 研究区土地利用及采样位置示意

Fig. 1 Study area location and sampling sites

是次降雨径流总量(m^3), c_i 是间隔时间内的污染物浓度($mg \cdot L^{-1}$), Q_i 是时间间隔内的次降雨径流量($m^3 \cdot min^{-1}$), Δt 指时间间隔(min). 本研究采用 Excel 2010 进行相关数据的统计和计算, 用 SPSS 25.0 进行单因素方差分析和皮尔逊相关分析, 用邓肯多重比较法分析处理间的差异, 用 Origin 2018 制图.

2 结果与分析

2.1 次降雨过程中总氮与径流量变化特征

由图 2 可知, A 集水区的 TN 浓度范围为: $0.84 \sim 9.28 mg \cdot L^{-1}$, 最大流失浓度出现在 6 月 5 日的次降雨过程中, 最小流失浓度出现在 7 月 8 日的次降雨过程中. 场均径流量最大值为 7 月 23 日次降雨的 $425.77 m^3 \cdot h^{-1}$. B 集水区的 TN 浓度范围为: $1.37 \sim 15.17 mg \cdot L^{-1}$, 最大和最小流失浓度分别出现在 6 月 5 日和 7 月 19 日的次降雨过程中. 最大的场均径流量 $212.98 m^3 \cdot h^{-1}$ 也出现在 7 月 23 日的次降雨. 根据《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002), 总氮浓度作为水质评价指标, 石盘丘小流域属于地表水质量的劣 V 类, 这与之前陈仕奇等^[4]在石盘丘小流域的监测结果一致, 与重庆市中国农业科学院柑橘研究所^[24]、王家沟小流域^[20]、彭溪河回水区^[5]和兰陵河流域^[6]的结果也基本一致, 三峡库区各小流域都面临氮流失的风险.

在 10 场次降雨过程中, 仅有 7 月 23 日出现了较为明显的两次径流和 TN 峰值, A 集水区的两次

TN 峰值分别为 $4.11 mg \cdot L^{-1}$ 和 $6.60 mg \cdot L^{-1}$, 第一次 TN 峰值约为第二次峰值的 62%; B 集水区的 TN 峰值分别为 $7.16 mg \cdot L^{-1}$ 和 $7.40 mg \cdot L^{-1}$, 而第一次峰值占到了第二次峰值的 97%. 在 7 月 19 日的次降雨过程中, A、B 集水区的径流量和 TN 浓度都出现了剧烈的波动, 存在多个径流量和 TN 浓度峰值. 其他场次降雨过程中, 基本只出现一个流量峰值和一个 TN 峰值. 所有次降雨过程中, A 集水区和 B 集水区的流量基本同时达到峰值, 但是总氮的峰值出现的时间存在差异. 集水区 A 有 6 场次降雨的总氮峰值出现在流量峰值之后, 4 场次降雨的总氮峰值出现在流量峰值之前, B 集水区有 5 场次降雨的总氮峰值出现在流量峰值之前, 5 场次降雨的总氮峰值出现在流量峰值之后. 其中 6 月 22 日, 集水区 A 的总氮峰值比流量峰值晚 20 min, 而集水区 B 的总氮峰值比流量峰值早 85 min.

2.2 次降雨过程中径流不同形态氮流失特征

根据 10 场次降雨的 EMC 统计, A 集水区的 TN、DN、NN 和 AN 的平均 EMC 分别为 2.09、1.32、0.86 和 $0.12 mg \cdot L^{-1}$, B 集水区的 TN、DN、NN 和 AN 的平均 EMC 分别为 3.67、2.63、2.11 和 $0.23 mg \cdot L^{-1}$. 集水区 A 的 DN/TN 比值为 37%~91%, 场均为 69%; B 集水区的 DN/TN 比例为 43%~89%, 场均为 75%. A 和 B 集水区的可溶性氮中, 硝态氮均为主要成分, 分别平均占 67% 和 80%, 而 AN 在 A 和 B 集水区为 10% 和 9% (见表 1).

表 1 不同形态氮的 EMC

Table 1 EMC of different nitrogen forms

日期 (月-日)	A 集水区							B 集水区						
	TN / $mg \cdot L^{-1}$	DN / $mg \cdot L^{-1}$	NN / $mg \cdot L^{-1}$	AN / $mg \cdot L^{-1}$	DN/TN /%	NN/DN /%	AN/DN /%	TN / $mg \cdot L^{-1}$	DN / $mg \cdot L^{-1}$	NN / $mg \cdot L^{-1}$	AN / $mg \cdot L^{-1}$	DN/TN /%	NN/DN /%	AN/DN /%
06-05	3.80	1.40	0.70	0.21	37	50	15	8.34	5.63	4.23	0.67	68	75	12
06-11	3.00	1.62	0.90	0.16	54	55	10	4.96	2.14	1.63	0.41	43	76	19
06-17	1.18	0.95	0.58	0.13	80	61	14	1.97	1.71	1.25	0.45	87	73	26
06-22	1.47	1.34	1.10	0.09	91	82	7	3.19	2.70	2.17	0.12	84	80	5
06-28	1.11	0.87	0.50	0.09	79	58	10	3.84	2.44	2.09	0.07	63	88	3
07-08	1.34	0.87	0.78	0.10	65	90	12	2.95	2.52	2.25	0.05	86	89	2
07-19	1.85	1.29	0.99	0.10	70	77	7	1.92	1.52	1.12	0.19	79	73	13
07-23	3.69	1.93	0.99	0.19	52	51	10	3.71	2.73	1.85	0.13	74	68	5
07-31	1.58	1.31	0.79	0.05	83	60	4	3.30	2.94	2.67	0.11	89	91	4
08-06	1.86	1.57	1.30	0.11	84	83	7	2.47	1.96	1.74	0.08	79	89	4
平均	2.09	1.32	0.86	0.12	69	67	10	3.67	2.63	2.11	0.23	75	80	9

在研究过程中, DN 和 NN 的变化趋势与 TN 基本一致. 但是, DN 的趋势更接近 TN, 而 NN 的趋势更接近 DN. 在 10 场次降雨过程中, AN 所占比例最小, AN 在低浓度范围内波动, 没有明显地受到某一形态氮的影响. 在 6 月 5 日、6 月 17 日、6 月 28 日、

7 月 8 日、7 月 23 日、7 月 31 日和 8 月 6 日的次降雨过程中, TN、DN 和 NN 先上升至峰值, 然后逐渐减少; 6 月 11 日、6 月 22 日和 8 月 6 日的次降雨过程中, TN、DN 和 NN 先降低, 再升至峰值, 然后逐渐减少, 具体趋势见图 3.

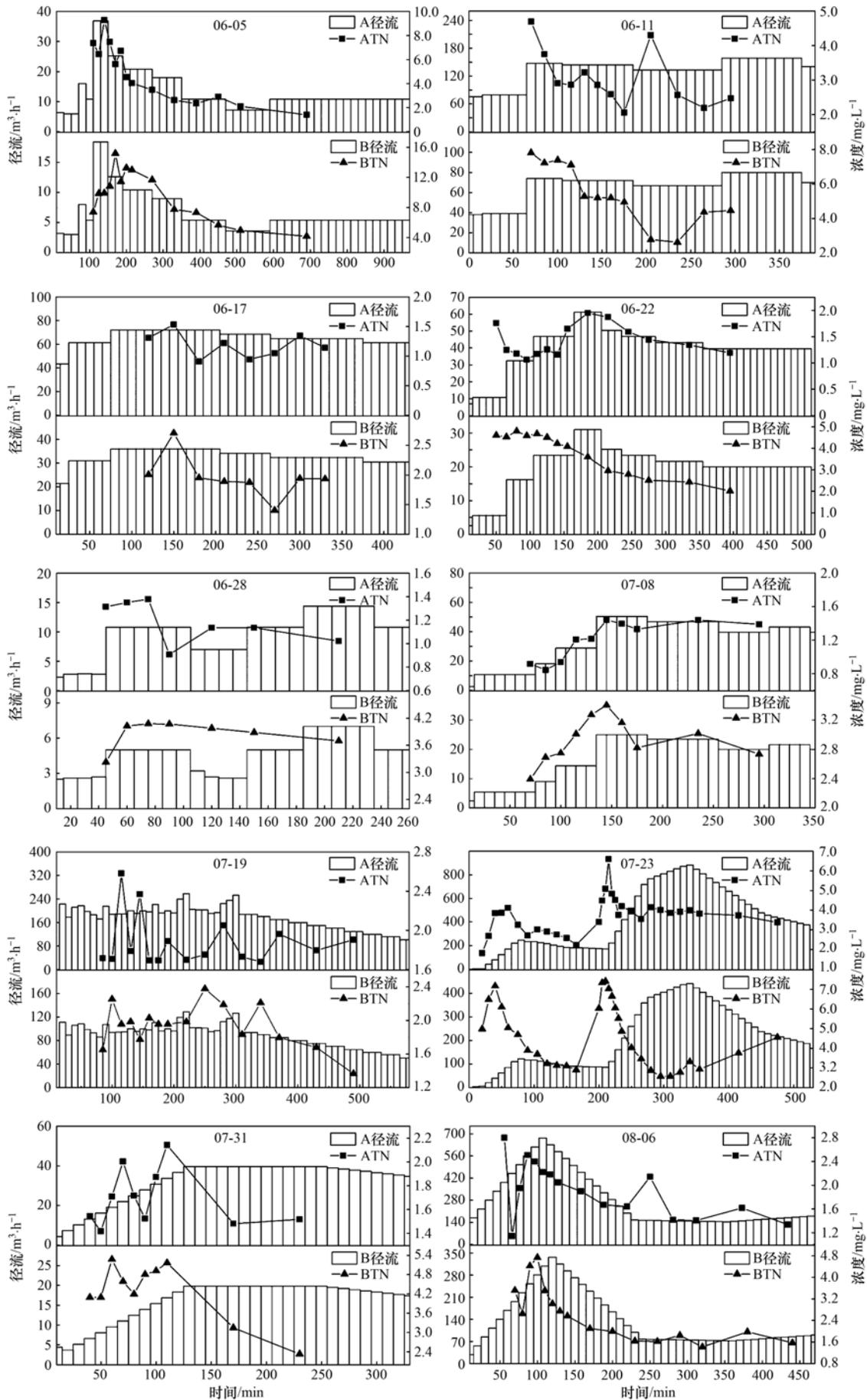


图 2 次降雨过程中径流量和 TN 变化过程

Fig. 2 Variation in the runoff flow rate and TN during rainfall events

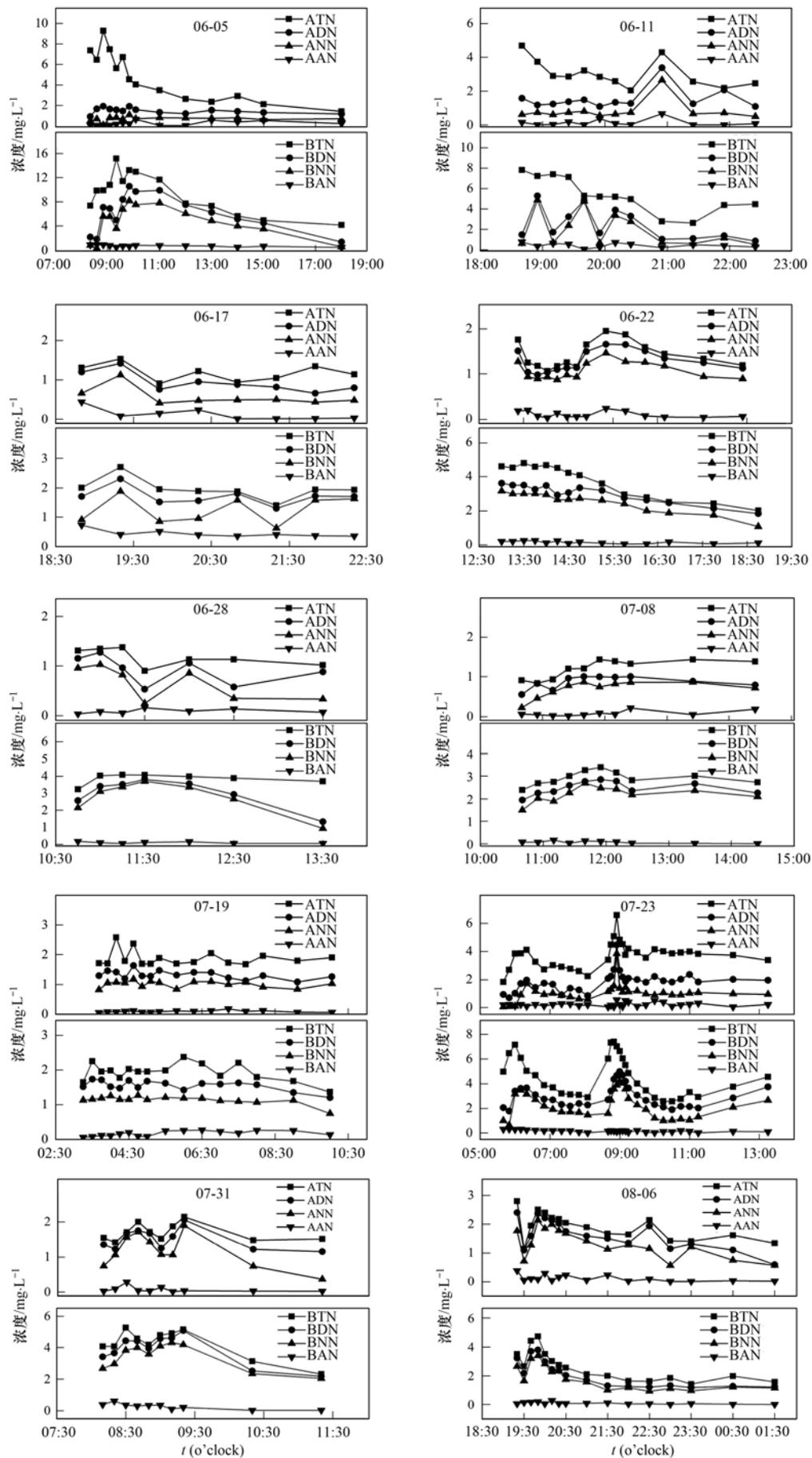


图3 氮素的变化过程

Fig. 3 Process change of nitrogen nutrient

3 讨论

3.1 不同土地利用配置对总氮浓度的影响

不同土地利用配置对小流域氮流失有着极为重要的作用, A 集水区的配置体系中, 顶部的林地和中部的草地会有覆盖和过滤的作用^[25,26], 覆盖可以富养土壤中的有效氮^[27]; 而底部的梯级水田^[28]和生态沟渠起着吸附过滤的作用^[29~31], 中部的生态池塘和底部的生态湿地^[32]又起着沉降作用, 配置的各项措施形成的水土保持体系在实际的运行中减少了养分流失量, 所以 A 集水区的 TN 浓度小于 B 集水区。

由表 2 可知, 不同的次降雨中没有一致的滞后效应^[33], 除了 6 月 22 日的次降雨过程中, A 和 B 集水区的流量峰值和 TN 峰值出现的时间上存在不同, 其余场次降雨过程中 A 和 B 集水区的峰值出现顺序保持了一致性。鉴于 7 月 19 日的次降雨过程由于雨强频繁变化导致地表产流和 TN 浓度不规律, 未对其峰值等特征值进行统计分析; 7 月 23 日的径流过程中出现了两次 TN 峰和流量峰, 因此统计为 07-23-1 和 07-23-2。在 7 月 23 日的降雨中, A 集水区与 B 集水区在 TN 第二次峰值相差 10% 左右的情况下, A 集水区比 B 集水区的第一次峰值减少 43%。第一次降雨时, 由于 B 集水区(传统农业集水

区)保持了传统的耕作模式, 雨水对地表的溅蚀和冲刷会带走大量的氮素, 导致了氮素会快速上升, 但在 A 集水区(农林水复合集水区)配置的水土保持体系延缓了峰值的出现和减少了养分流失量。因此相对于 B 集水区两次 TN 峰值基本一致, A 集水区对 TN 的首次峰值的消减能力要大于第二次 TN 峰值, 在实践中也要考虑降雨第二次径流峰导致养分流失的风险。

降雨对径流的直接影响^[34], 从而影响径流对氮素的携带。7 月 31 日和 8 月 6 日的 TN 峰值均出现在流量峰值之前, 经调查径流过程发现, 这两场次降雨之前均出现了断流情况。在十里铺小流域的研究中发现径流污染物与降雨前的非降雨天数呈正相关^[35], 所以没有前期降雨和径流将影响污染物峰值和流量峰值的出现时间。同为大流量的 8 月 6 日和 7 月 23 日第二次降雨中, 8 月 6 日次降雨 A 和 B 集水区的 TN 峰值都只提前 20 min, 而 7 月 23 日分别提前 120 min 和 125 min, 通过实地考察及查阅相关资料发现 8 月 6 日降雨前, 径流存在断流现象, 径流量从 0 到大于 $300 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 仅仅只花了 50 min; 在 7 月 23 日之前均有径流产生, 且从 $2.8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 到大于 $300 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 花了 210 min, 因此笔者推断在暴雨情况下, 断流和流量暴增均可能会影响农林水复合集水区对污染物质的控制能力。

表 2 次降雨径流峰值和总氮峰值特征¹⁾

Table 2 Characteristics of runoff and TN peaks for ten rainfall events

日期 (月-日)	TN 峰值出现时间/min		径流峰值出现时间/min		间隔时间/min		流量峰值/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$		峰值持续时间/min	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
06-05	140	170	125	125	15	45	37.6	18.8	5	5
06-11	70	70	65	65	5	5	147.6	74	40	40
06-17	150	150	80	80	70	70	72	36	125	125
06-22	185	80	165	165	(85)	20	61.2	31	40	40
06-28	75	75	50	50	25	25	10.8	5	55	55
07-08	145	145	135	135	10	10	50.4	25	55	55
07-23-1	60	40	80	80	(40)	(20)	244.8	122.4	10	10
07-23-2	215	210	335	335	(125)	(120)	882	441	10	10
07-31	100	100	130	130	(30)	(30)	39.6	19.8	125	125
08-06	100	100	120	120	(20)	(20)	673.2	336.6	5	5

1) 在间隔时间列中, 括号内表示总氮峰值早于流量峰值, 没有括号表示总氮峰值晚于流量峰值

3.2 不同土地利用配置对不同形态氮的影响

本研究监测到的所有次降雨中, A 集水区各形态氮的 EMC 都要比 B 集水区小, B 集水区的 DN/TN 和 NN/DN 都比 A 集水区大, 且 NN/DN 有显著差异 ($P < 0.05$), 但两个集水区的 DN/TN 无显著差异(表 3)。樊才睿等^[36]在呼伦贝尔草原发现 NN 为主要流失形态, 李吉平等^[37]在洪泽湖地区林地的研究发现 NN 也为主要流失形态, 且 NN 和 AN 比农田的要少得多。B 集水区为传统农业集水区, 缺少有效

的养分控制措施, 径流对地表的直接作用又导致 NN 的增加^[38], 而高浓度的可溶性营养物质如 NN 容易被水携带^[39], A 集水区通过系列水土保持措施减少了直接的地表径流, 硝氮被径流携带也就受到限制。在耕地中, 玉米的种植占比与 NN 浓度成正相关^[40], 而水稻呈反相关^[15], A 集水区的水稻种植面积大于 B 集水区, 而 B 集水区的玉米种植占比大于 A 集水区。由于这些因素, B 集水区的 NN/DN 大于 A 集水区, 表明在集水区 A 的土地利用配置有效减

少通过沟渠进入河流的氮素占比。

比较 10 场次降雨产流的氮浓度, A 集水区的平均 TN、DN、NN 和 AN 浓度分别为 (2.09 ± 1.02) 、 (1.31 ± 0.35) 、 (0.86 ± 0.24) 和 $(0.12 \pm 0.05) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, B 集水区的平均 TN、DN、NN 和 AN 浓度分别为 (3.66 ± 1.88) 、 (2.63 ± 1.15) 、 $(2.10$

$\pm 0.88)$ 和 $(0.23 \pm 0.21) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 除 AN 外, 两个集水区的氮素浓度均存在显著差异 ($P < 0.05$, 表 3). 原始耕作方式造成的养分流失是三峡库区面源污染的重要来源^[41], 而 A 集水区的多层次水土保持措施对氮素拦截消纳能有效地减少自然耕作造成的氮素流失.

表 3 次降雨的平均 EMC¹⁾

Table 3 Average EMC of all rainfall events

集水区	TN/mg·L ⁻¹	DN/mg·L ⁻¹	NN/mg·L ⁻¹	AN/mg·L ⁻¹	DN/TN/%	NN/DN/%	AN/DN/%
A	2.09 ± 1.02cd	1.31 ± 0.35bc	0.86 ± 0.24ab	0.12 ± 0.05a	69 ± 17gh	67 ± 15g	10 ± 3f
B	3.66 ± 1.88e	2.63 ± 1.15d	2.10 ± 0.88cd	0.23 ± 0.21a	75 ± 14gh	80 ± 8h	9 ± 8f

1) 同一列不同字母表示两个变量之间存在统计学显著性差异 ($P < 0.05$)

4 结论

在石盘丘小流域, 断流和流量暴增均可能会影响小面积的农林复合流域对污染物质的控制能力, 配置合理的水土保持措施体系, 能更好地应对不同情况下的氮流失. 在该研究区, 氮的流失主要以溶解态氮为主, NN 为溶解态氮中主要养分形式. 与传统农业集水区相比, 农林水复合系统能有效地减少氮素的流失, 明显消减第一次 TN 峰值. 本研究期间土地利用配置变化显著 ($P < 0.05$) 减少了石盘丘小流域 TN、DN、NN 和 NN/DN. 农林水复合集水区在面源污染的氮素治理方面发挥了更积极作用, 因此, 更合理地土地利用配置是减少面源污染的方向之一.

参考文献:

- [1] Fan F L, Xie D T, Wei C F, *et al.* Reducing soil erosion and nutrient loss on sloping land under crop-mulberry management system [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, **22**(18): 14067-14077.
- [2] Huang Y L, Zhang P, Liu D F, *et al.* Nutrient spatial pattern of the upstream, mainstream and tributaries of the Three Gorges Reservoir in China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2014, **186**(10): 6833-6847.
- [3] 郑丙辉, 曹承进, 秦延文, 等. 三峡水库主要入库河流氮营养盐特征及其来源分析[J]. *环境科学*, 2008, **29**(1): 1-6.
Zheng B H, Cao C J, Qin Y W, *et al.* Analysis of nitrogen distribution characters and their sources of the major input rivers of Three Gorges Reservoir[J]. *Environmental Science*, 2008, **29**(1): 1-6.
- [4] 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.
- [5] 张磊, 蔚建军, 付莉, 等. 三峡库区回水区营养盐和叶绿素 a 的时空变化及其相互关系[J]. *环境科学*, 2015, **36**(6): 2061-2069.
Zhang L, Wei J J, Fu L, *et al.* Temporal and spatial variation of nutrients and chlorophyll a, and their relationship in Pengxi River backwater area, Three Gorges Reservoir [J]. *Environmental Science*, 2015, **36**(6): 2061-2069.
- [6] 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.
- [7] Yang Y Y, Toor G S. $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ Reveal the sources of nitrate-nitrogen in urban residential stormwater runoff [J]. *Environmental Science and Technology*, 2016, **50**(6): 2881-2889.
- [8] Wang C Y, Lv Y C, Li Y W. Riverine input of organic carbon and nitrogen in water-sediment system from the Yellow River estuary reach to the coastal zone of Bohai Sea, China [J]. *Continental Shelf Research*, 2018, **157**: 1-9.
- [9] 吴亚林, 李帅东, 江俊武, 等. 百年来滇池沉积物中不同形态氮分布及埋藏特征[J]. *环境科学*, 2017, **38**(2): 517-525.
Wu Y L, Li S D, Jiang J W, *et al.* Distribution and burial characteristics of nitrogen forms in sediment of Dianchi lake during last century[J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(2): 517-525.
- [10] Zhu Q D, Sun J H, Hua G F, *et al.* Runoff characteristics and non-point source pollution analysis in the Taihu Lake Basin: a case study of the town of Xueyan, China [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, **22**(19): 15029-15036.
- [11] Li S M, Wang X L, Qiao B, *et al.* First flush characteristics of rainfall runoff from a paddy field in the Taihu Lake watershed, China [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, **24**(9): 8336-8351.
- [12] Ghahramani A, Ishikawa Y, Gomi T, *et al.* Effect of ground cover on splash and sheetwash erosion over a steep forested hillslope: A plot-scale study[J]. *CATENA*, 2011, **85**(1): 34-47.
- [13] Oliveira L M, Maillard P, de Andrade Pinto é J. Modeling the effect of land use/land cover on nitrogen, phosphorous and dissolved oxygen loads in the Velhas River using the concept of exclusive contribution area [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2016, **188**(6), doi: 10.1007/s10661-016-5323-2.
- [14] Yao J J, Cheng J H, Zhou Z D, *et al.* Effects of herbaceous vegetation coverage and rainfall intensity on splash characteristics in northern China[J]. *CATENA*, 2018, **167**: 411-421.
- [15] Chen C L, Gao M, Xie D T, *et al.* Spatial and temporal variations in non-point source losses of nitrogen and phosphorus in

- a small agricultural catchment in the Three Gorges Region[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2016, **188**(4), doi: 10.1007/s10661-016-5260-0.
- [16] Wu L, Long T Y, Li C M. The simulation research of dissolved nitrogen and phosphorus non-point source pollution in Xiao-Jiang watershed of Three Gorges Reservoir area[J]. *Water Science and Technology*, 2010, **61**(6): 1601-1616.
- [17] Wu L, Long T Y, Cooper W J. Simulation of spatial and temporal distribution on dissolved non-point source nitrogen and phosphorus load in Jialing River Watershed, China [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2012, **65**(6): 1795-1806.
- [18] Xiong C, Hoyer M V. Influence of land use and rainfall variability on nutrient concentrations in Florida Lakes[J]. *Lake and Reservoir Management*, 2019, **35**(1): 25-37.
- [19] 张洋, 樊芳玲, 周川, 等. 三峡库区农桑配置对地表氮磷流失的影响[J]. *土壤学报*, 2016, **53**(1): 189-201.
Zhang Y, Fan F N, Zhou C, *et al.* Effects of crop/mulberry intercropping on surface nitrogen and phosphorus losses in Three Gorges Reservoir Area[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2016, **53**(1): 189-201.
- [20] 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.
- [21] 吴东, 黄志霖, 肖文发, 等. 三峡库区小流域土地利用结构变化及其氮素输出控制效应: 以兰陵溪小流域为例[J]. *环境科学*, 2016, **37**(8): 2940-2946.
Wu D, Huang Z L, Xiao W F, *et al.* Land use structure change and its control effect of nitrogen output in a small watershed of Three Gorges Reservoir Area: a case study of Lanlingxi Watershed[J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(8): 2940-2946.
- [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] 邓华, 高明, 龙翼, 等. 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[J]. *环境科学*, 2021, **42**(1): 251-262.
Deng H, Gao M, Long Y, *et al.* Characteristics of soil nitrogen and phosphorus losses under different land-use types in Shipanqiu Watershed[J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(1): 251-262.
- [24] Zhang Y, Xie D T, Ni J P, *et al.* Conservation tillage practices reduce nitrogen losses in the sloping upland of the Three Gorges Reservoir area: No-till is better than mulch-till[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2020, **300**, doi: 10.1016/j.agee.2020.107003.
- [25] Mello K, Valente R A, Randhir T O, *et al.* Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: Watershed versus riparian zone [J]. *CATENA*, 2018, **167**: 130-138.
- [26] Butler D M, Ranells N N, Franklin D H, *et al.* Ground cover impacts on nitrogen export from Manured Riparian Pasture[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2007, **36**(1): 155-162.
- [27] Xu Q X, Wang T W, Cai C F, *et al.* Effects of soil conservation on soil properties of citrus orchards in the Three-Gorges Area, China[J]. *Land Degradation & Development*, 2012, **23**(1): 34-42.
- [28] Zhu B, Wang Z H, Wang T, *et al.* Non-point-source nitrogen and phosphorus loadings from a small watershed in the Three Gorges Reservoir area[J]. *Journal of Mountain Science*, 2012, **9**(1): 10-15.
- [29] Li S M, Wang X L, Tu J M, *et al.* Nitrogen removal in an ecological ditch based on an orthogonal test[J]. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2016, **227**(11), doi: 10.1007/s11270-016-3085-7.
- [30] Gao Y, Zhu B, Yu G R, *et al.* Coupled effects of biogeochemical and hydrological processes on C, N, and P export during extreme rainfall events in a purple soil watershed in southwestern China[J]. *Journal of Hydrology*, 2014, **511**: 692-702.
- [31] Wang X L, Li J S, Li S M, *et al.* A study on removing nitrogen from paddy field rainfall runoff by an ecological ditch-zeolite barrier system [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, **24**(35): 27090-27103.
- [32] Quin A, Jaramillo F, Destouni G. Dissecting the ecosystem service of large-scale pollutant retention: the role of wetlands and other landscape features [J]. *AMBIO*, 2015, **44**(S1): 127-137.
- [33] Du X Z, Li X Y, Hao S N, *et al.* Contrasting patterns of nutrient dynamics during different storm events in a semi-arid catchment of northern China[J]. *Water Science and Technology*, 2014, **69**(12): 2533-2540.
- [34] Fang N F, Shi Z H, Li L, *et al.* The effects of rainfall regimes and land use changes on runoff and soil loss in a small mountainous watershed[J]. *CATENA*, 2012, **99**: 1-8.
- [35] Li L Q, Yin C Q, He Q C, *et al.* First flush of storm runoff pollution from an urban catchment in China [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, **19**(3): 295-299.
- [36] 樊才睿, 张成福, 史小红, 等. 不同放牧制度草地径流中氮流失及模拟研究[J]. *生态环境学报*, 2020, **29**(5): 951-960.
Fan C R, Zhang C F, Shi X H, *et al.* Nitrogen loss in surface runoff from Hulun Buir steppe in different grazing systems[J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2020, **29**(5): 951-960.
- [37] 李吉平, 徐勇峰, 陈子鹏, 等. 洪泽湖地区麦稻两熟农田及杨树林地降雨径流对地下水水质的影响[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2019, **27**(7): 1097-1104.
Li J P, Xu Y F, Chen Z P, *et al.* Effects of rainfall and runoff on the groundwater quality in farmland and poplar forestland in the area of Hung-tse lake [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2019, **27**(7): 1097-1104.
- [38] Petersen R J, Prinds C, Jessen S, *et al.* Riparian lowlands in clay till landscapes part II: nitrogen reduction and release along variable flow paths[J]. *Water Resources Research*, 2020, **56**(4), doi: 10.1029/2019WR025810.
- [39] Wei L H, Cheng X Q, Cai Y F. Nutrient export via overland flow from a cultivated field of an Ultisol in southern China [J]. *Hydrological Processes*, 2013, **27**(3): 421-432.
- [40] McIsaac G F, David M B, Gertner G Z. Illinois River nitrate-nitrogen concentrations and loads: long-term variation and association with watershed nitrogen inputs [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2016, **45**(4): 1268-1275.
- [41] Luo C Y, Gao Y, Zhu B, *et al.* Sprinkler-based rainfall simulation experiments to assess nitrogen and phosphorus losses from a hillslope cropland of purple soil in China [J]. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 2013, **1-2**: 40-47.

CONTENTS

Chemical Characteristics and Source Apportionment of Organic Aerosols in Atmospheric PM _{2.5} in Winter in Beijing	XU Nan, WANG Tian-tian, LI Xiao, <i>et al.</i> (2101)
Characteristics of Two Pollution Episodes Before and After City Heating in Beijing from February to March of 2019	YIN Xiao-mei, PU Wei-wei, WANG Ji-kang, <i>et al.</i> (2110)
Analysis of Characteristics and Causes of a Typical Haze Pollution in Beijing in the Winter of 2019	LIAN Han-yang, YANG Xin, ZHANG Pu, <i>et al.</i> (2121)
New Particle Formation Events in Summer and Winter in the Coastal Atmosphere in Qingdao, China	SUN Yue, ZHU Yu-jiao, MENG He, <i>et al.</i> (2133)
Characteristics of Heavy Metal Pollution and Ecological Risk Evaluation of Indoor Dust from Urban and Rural Areas in Taiyuan City During the Heating Season	HUANG Hao, XU Zi-qi, YAN Jun-xia, <i>et al.</i> (2143)
Concentration Analysis and Health Risk Assessment of Air Pollutants in Newly Decorated Public Places in Xi'an	FAN Jie, FAN Hao, SHEN Zhen-xing, <i>et al.</i> (2153)
Emission Concentration and Characteristics of Particulate Matter and Water-Soluble Ions in Exhaust Gas of Typical Combustion Sources with Ultra-Low Emission	HU Yue-qi, WANG Zheng, GUO Jian-hui, <i>et al.</i> (2159)
High-Throughput Sequencing Analysis of Microbial Communities in Summertime Atmospheric Particulate Matter in Hefei City	JIANG Shao-yi, SUN Bo-wen, DAI Hai-tao, <i>et al.</i> (2169)
Spatiotemporal Variations in Fine Particulate Matter and the Impact of Air Quality Control in Zhengzhou	DONG Zhe, YUAN Ming-hao, SU Fang-cheng, <i>et al.</i> (2179)
Characteristics of Ozone Pollution and Relationships with Meteorological Factors in Jiangxi Province	QIAN Yue, XU Bin, XIA Ling-jun, <i>et al.</i> (2190)
Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Aerosol Optical Properties in Urban Agglomerations on the North Slope of the Tianshan Mountains	ZHANG Zhe, DING Jian-li, WANG Jin-jie, <i>et al.</i> (2202)
Comprehensive Classification Method of Urban Water by Remote Sensing Based on High-Resolution Images	YANG Zi-qian, LIU Huai-qing, LÜ Heng, <i>et al.</i> (2213)
Construction and Application Optimization of the Chl-a Forecast Model ARIMA for Lake Taihu	LI Na, LI Yong, FENG Jia-cheng, <i>et al.</i> (2223)
Spatial Differences in Water Quality and Spatial Autocorrelation Analysis of Eutrophication in Songhua Lake	DING Yang, ZHAO Jin-yong, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (2232)
Pollution and Irrigation Applicability of Surface Water from Wet, Normal, and Dry Periods in the Huixian Karst Wetland, China	ZHU Dan-ni, ZOU Sheng-zhang, LI Jun, <i>et al.</i> (2240)
Changes in Water Chemistry and Driving Factors in the Middle and Lower Reaches of the Beijing-Hangzhou Grand Canal	CHENG Zhong-hua, DENG Yi-xiang, ZHUO Xiao-ke, <i>et al.</i> (2251)
Effects of Different Land Use Practices on Nitrogen Loss from Runoff During Rainfall Events	LUO Yi-feng, CHEN Fang-xin, ZHOU Hao, <i>et al.</i> (2260)
Sources and Fate of Nitrate in Groundwater in a Typical Karst Basin: Insights from Carbon, Nitrogen, and Oxygen Isotopes	REN Kun, PAN Xiao-dong, LIANG Jia-peng, <i>et al.</i> (2268)
Changes in the Bacterioplankton Community Between "Ice" and "Water" in the Frozen Dali Lake	LI Wen-bao, YANG Xu, TIAN Ya-nan, <i>et al.</i> (2276)
Analysis of the Spatial Changes in Bacterial Communities in Urban Reclaimed Water Channel Sediments; A Case Study of the North Canal River	QIU Ying, JIN Yan, SU Zhen-hua, <i>et al.</i> (2287)
Spatial Differences and Influencing Factors of Denitrification and ANAMMOX Rates in Spring and Summer in Lake Taihu	ZHAO Feng, XU Hai, ZHAN Xu, <i>et al.</i> (2296)
Structural Characteristics of Zooplankton and Phytoplankton Communities and Its Relationship with Environmental Factors in a Typical Tributary Reservoir in the Three Gorges Reservoir Region	CHEN Sha, XIE Qing, FU Mei, <i>et al.</i> (2303)
Application of Iron and Sulfate-Modified Biochar in Phosphorus Removal from Water	SANG Qian-qian, WANG Fang-jun, ZHAO Yuan-tian, <i>et al.</i> (2313)
Analysis of the Performance and Mechanism of Phosphorus Removal in Water by Steel Slag	LUO Xiao, ZHANG Jun-bo, HE Lei, <i>et al.</i> (2324)
Adsorption of BS-18 Amphoterically Modified Bentonite to Tetracycline and Norfloxacin Combined Pollutants	WANG Xin-xin, MENG Zhao-fu, LIU Xin, <i>et al.</i> (2334)
Preparation of Ag ₃ PO ₄ /g-C ₃ N ₄ Composite Photocatalysts and Their Visible Light Photocatalytic Performance	GAO Chuang-chuang, LIU Hai-cheng, MENG Wu-shuang, <i>et al.</i> (2343)
Activation of Permonosulfate by Rhodamine B for BPA Degradation Under Visible Light Irradiation	ZHANG Yi-chen, BAI Xue, SHI Juan, <i>et al.</i> (2353)
Fe-Ti Co-Doped Alumina-Induced Surface Dual Reaction Center for Catalytic Ozonation to Remove Pollutants from Water	ZHANG Fan, SONG Yang, HU Chun, <i>et al.</i> (2360)
Preparation of Sulfidated Copper-Iron Bimetallic Composites and Its Mechanism for Chromium Removal	QU Min, WANG Yuan, CHEN Hui-xia, <i>et al.</i> (2370)
Mechanisms of Penicillin Wastewater Treatment by Coupled Electrocatalytic and Bioelectrochemical Systems	QU You-peng, LÜ Jiang-wei, DONG Yue, <i>et al.</i> (2378)
Aerobic Granular Sludge Operation and Nutrient Removal Mechanism from Domestic Sewage in an Anaerobic/Aerobic Alternating Continuous Flow System	LI Dong, YANG Jing-wei, LI Yue, <i>et al.</i> (2385)
In-situ Phosphorus Removal Activity and Impact of the Organic Matter Concentration on Denitrifying Phosphorus Removal in Sludge Aggregates	LÜ Yong-tao, JIANG Xiao-tong, TU Yan, <i>et al.</i> (2396)
In-situ Sludge Reduction Technology Based on Ozonation	XUE Bing, LIU Bin-han, WEI Ting-ting, <i>et al.</i> (2402)
Effects of Activated Carbon on the Fate of Antibiotic Resistance Genes During Anaerobic Digestion of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste	MA Jia-ying, WANG Pan-liang, WANG Bing-han, <i>et al.</i> (2413)
Release Mechanisms of Carbon Source and Dissolved Organic Matter of Six Agricultural Wastes in the Initial Stage	LING Yu, YAN Guo-kai, WANG Hai-yan, <i>et al.</i> (2422)
Spatial Differentiation of Soil Organic Carbon Density and Influencing Factors in Typical Croplands of China	LI Cheng, WANG Rang-hui, LI Zhao-zhe, <i>et al.</i> (2432)
Characteristics of Paddy Soil Organic Carbon Mineralization and Influencing Factors Under Different Water Conditions and Microbial Biomass Levels	LIU Qi, LI Yu-hong, LI Zhe, <i>et al.</i> (2440)
Analysis of Nitrogen Transformation Characteristics and Influencing Factors of Forestland Soil in the Qinghai-Tibet Plateau; A Case Study of the Qilian Mountains and Southeast Tibet	HE Fang, ZHANG Li-mei, SHEN Cong-cong, <i>et al.</i> (2449)
Using the Matter-Element Extension Model to Assess Heavy Metal Pollution in Topsoil in Parks in the Main District Park of Lanzhou City	HU Meng-jun, LI Chun-yan, LI Na-na, <i>et al.</i> (2457)
Effects of Long-Term Application of Chemical Fertilizers and Organic Fertilizers on Heavy Metals and Their Availability in Reddish Paddy Soil	XIA Wen-jian, ZHANG Li-fang, LIU Zeng-bing, <i>et al.</i> (2469)
Characteristics and Origins of Heavy Metals in Soil and Crops in Mountain Area of Southern Sichuan	HAN Wei, WANG Cheng-wen, PNEG Min, <i>et al.</i> (2480)
Spatial Distribution Characteristics, Source Apportionment, and Risk Assessment of Topsoil PAHs in the Core Area of the Ningdong Energy and Chemical Industry Base	YANG Fan, LUO Hong-xue, ZHONG Yan-xia, <i>et al.</i> (2490)
Functional Stability and Applicability of Heavy Metal Passivators in Reducing Cd Uptake by Lettuce	PANG Fa-hu, WU Xue-jiao, KONG Xue-fei, <i>et al.</i> (2502)
Effects of Water Management on Cadmium Accumulation by Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Growing in Typical Paddy Soil	ZHANG Yu-ting, TIAN Ying-bing, HUANG Dao-you, <i>et al.</i> (2512)
Adsorption Properties of Oiltea Camellia Shell-Modified Biochar and Effects of Coupled Waterlogging on Soil Cd Morphology	CAI Tong, DU Hui-hui, LIU Xiao-li, <i>et al.</i> (2522)
Effects of Land Use Changes on Soil Fungal Community Structure and Function in the Riparian Wetland Along the Downstream of the Songhua River	XU Fei, ZHANG Tuo, HUAI Bao-dong, <i>et al.</i> (2531)
Distribution of Antibiotic Resistance Genes and Microbial Communities in a Fishery Reclamation Mining Subsidence Area	CHENG Sen, LU Ping, FENG Qi-yan (2541)
Effects of Three Commonly Used Herbicides on Bacterial Antibiotic Resistance	LI Xi, LIAO Han-peng, CUI Peng, <i>et al.</i> (2550)
Discussion of Microbial Control Standards of Water Reclamation and Formulation Methods	CHEN Zhuo, CUI Qi, CAO Ke-fan, <i>et al.</i> (2558)