

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第2期

Vol.37 No.2

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

编者按 (403)

我国化学品的风险评价及风险管理 王铁宇,周云桥,李奇锋,吕永龙 (404)

土地利用回归模型在大气污染时空分异研究中的应用 吴健生,谢舞丹,李嘉诚 (413)

中国2000~2010年生态足迹变化特征及影响因素 黄宝荣,崔书红,李颖明 (420)

关中地区冬季PM_{2.5}中碳气溶胶的污染特征及来源解析 田鹏山,曹军骥,韩永明,张宁宁,张蓉,刘随心 (427)

利用SPAMS研究南宁市冬季单颗粒气溶胶化学成分 刘慧琳,宋红军,陈志明,黄炯丽,杨俊超,毛敬英,李宏姣,梁桂云,莫招育 (434)

南京夏季市区VOCs特征及O₃生成潜势的相关性分析 杨笑笑,汤莉莉,张运江,母应峰,王鸣,陈文泰,周宏仓,花艳,江蓉馨 (443)

北京城区气传花粉季节特征及与气象条件关系 孟龄,王效科,欧阳志云,任玉芬,王巧环 (452)

重庆垃圾焚烧厂汞的分布特征与大气汞排放因子研究 段振亚,苏海涛,王凤阳,张磊,王书肖,余斌 (459)

三峡库区腹地大气微量金属干湿沉降特征 张六一,刘源,乔保清,付川,王欢博,黄怡民,杨复沫 (466)

长沙近地面水汽中稳定同位素的监测与分析 谢宇龙,章新平,姚天次,黄煌 (475)

青藏高原内陆典型冰川区“冰川-径流”汞传输过程 孙学军,王康,郭军明,康世昌,张国帅,黄杰,丛志远,张强弓 (482)

西藏湖泊沉积物重金属元素特征及生态风险评估 郭泌汐,刘勇勤,张凡,侯居峙,张宏波 (490)

坦噶尼喀湖东北部入湖河流沉积物重金属分布特征与生态风险评价 余成,陈爽,张路 (499)

近百年来新疆博斯腾湖多环芳烃的组成及变化特征 沈贝贝,吴敬禄,赵中华,曾海鳌,金苗 (507)

舟山青浜岛不同环境介质中PAHs的分布特征 郑煌,邢新丽,顾延生,桂福坤,祁士华,黄煊芳 (513)

模拟排水沟渠非点源溶质氮迁移实验研究 李强坤,宋常吉,胡亚伟,彭聪,马强,姜正曦,琚艺萌 (520)

中田河流域景观异质性对水体总氮浓度影响研究 王晶萍,李兆富,刘红玉,王刚,辛强 (527)

江西香溪流域干湿季交替下底泥氮释放机制及其对流域氮输出的贡献 韩宁,郝卓,徐亚娟,高扬,于贵瑞 (534)

巢湖水体氮磷营养盐时空分布特征 奚姗姗,周春财,刘桂建,吴蕾,王培华 (542)

合肥城郊典型农田溪流系统沉积物磷形态及释放风险分析 裴婷婷,李如忠,高苏蒂,罗月颖 (548)

桑沟湾表层沉积物性质及对磷的吸附特征 朱佳美,曹晓燕,刘素美,王丽莎,杨桂朋,葛成凤,路敏 (558)

苏州市老城区降雨径流颗粒物粒径分布及污染物赋存形态 李淮,吴玮,田永静,黄天寅 (565)

洪泽湖有毒和无毒微囊藻丰度及其与环境因子之间的相关分析 李大命,张彤晴,唐晟凯,段翠兰,杨俊虎,穆欢,刘小维 (573)

三峡库区消落带水体CDOM中电荷转移配合物对其紫外-可见吸收光谱的影响 江韬,梁俭,张慕雪,王定勇,魏世强,卢松 (580)

pH对高锰酸钾氧化降解苯胺类化合物动力学的影响 王辉,孙波,关小红 (588)

EDTA对Pd/Fe体系还原脱氯2,4-D的影响 周红艺,聂亚中,陈勇,雷双健 (595)

镍铝层状氧化物薄膜电极的制备及其除盐性能 王婷,朱春山,胡承志 (602)

微生物对砷的氧化还原竞争 杨婷婷,柏耀辉,梁金松,霍咏,王明星,袁林江 (609)

处理水产养殖污水潜流湿地中的厌氧氨氧化菌群特征 曾宪磊,刘兴国,吴宗凡,时旭,陆诗敏 (615)

污水回用中主要病原菌解析及其紫外消毒效应 景明,王磊 (622)

异养硝化-好氧反硝化菌 *Burkholderia* sp. YX02 强化连续流反应器中微生物群落结构解析 邵基伦,曹刚,李紫惠,黄郑郑,罗恺,莫渊辉 (630)

基于新一代测序技术的A²O与BIOLAK活性污泥宏基因组比较分析 田美,刘汉湖,申欣 (638)

1株海洋异养硝化-好氧反硝化菌的分离鉴定及其脱氮特性 孙庆花,于德爽,张培玉,林学政,李津 (647)

纳米Ni/Fe用于去除染料生产废水二级生物处理出水中AOX和色度的研究 舒小铭,徐灿灿,刘锐,赵远,陈吕军 (655)

3BER-S工艺用于再生水深度脱氮同步去除PAEs的可行性 徐鹏程,郝瑞霞,张娅,王冬月,钟丽燕,徐浩丹 (662)

合成时间对钛酸盐纳米材料的影响及其吸附水中铅的性能研究 范功端,陈丽茹,林茹晶,林茜,苏昭越,林修咏 (668)

芦苇秸秆生物炭对水中菲和1,1-二氯乙烯的吸附特性 吴晴雯,孟梁,张志豪,罗启仕,杨洁 (680)

芦苇基和污泥基生物炭对水体中诺氟沙星的吸附性能 张涵瑜,王兆炜,高俊红,朱俊民,谢超然,谢晓芸 (689)

季节性温度升高对落干期消落带土壤氮矿化影响 林俊杰,张帅,刘丹,周斌,肖晓君,马慧燕,于志国 (697)

增温及秸秆施用对冬小麦田土壤呼吸和酶活性的影响 陈书涛,桑琳,张旭,胡正华 (703)

基于GIS的银川市不同功能区土壤重金属污染评价及分布特征 王幼奇,白一茹,王建宇 (710)

不同产地硅藻土原位控制土壤镉污染差异效应与机制 朱健,王平,林艳,雷明婧,陈仰 (717)

紫色土对邻苯二甲酸二甲酯的淋溶吸附特征及影响因素 王强,宋娇艳,曾微,王法 (726)

几种修复措施对Cd淋失及土壤剖面运移影响 刘孝利,曾昭霞,铁柏清,陈求稳,魏祥东 (734)

河北邯郸钢铁冶炼区周边麦田土和小麦籽粒的多环芳烃含量及其组分谱特征 吴迪,汪宜龙,刘伟健,陈源琛,付晓芳,陶澍,刘文新 (740)

湿生环境中丛枝菌根(AM)对香蒲耐Cd胁迫的影响 罗鹏程,李航,王曙光 (750)

溴酸盐对水生生物的急性毒性效应 王执伟,刘冬梅,张文娟,崔福义 (756)

自组装哑铃状Fe₃O₄微/纳米材料对十溴联苯的热催化降解 黄鑫辰,宗刚,刘焯焯,芦会杰,李倩倩,李宾克,赵彦辉,苏贵金 (765)

盐度对准好氧矿化垃圾生物反应器渗滤液处理及N₂O产生的影响 李卫华,孙英杰,刘子梁,马强,杨强 (775)

污泥直接干化尾气中恶臭污染物重要性评价:以指标权重评分法为例 丁文杰,陈文和,邓明佳,罗辉,李琳,刘俊新 (782)

《环境科学》征订启事(557) 《环境科学》征稿简则(594) 信息(419,442,781)

江西香溪流域干湿季交替下底泥氮释放机制及其对流域氮输出的贡献

韩宁¹, 郝卓^{1,2}, 徐亚娟¹, 高扬^{1*}, 于贵瑞¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 生态系统网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101; 2. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716)

摘要: 本研究通过对江西千烟洲香溪流域的氮输出进行长期监测, 并对该流域内的底泥进行基于正交试验的氮释放规律模拟研究, 评估干湿季节交替下底泥氮释放对流域氮输出的贡献。结果表明: ①流域底泥在静态下 TN 释放速率最大值为 $36 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 且随着时间的延续释放速率不断变小; ②对底泥氮释放影响的主次顺序为: 温度 > 扰动 > pH, 如将扰动视为误差项, 温度和 pH 对底泥氮释放的影响均为极显著; ③ TN 释放速率与温度成正比例关系, 随着温度升高, 释放速率增大; 酸性和碱性条件均能促进底泥氮释放, 且酸性条件的促进作用更强; ④流域底泥 TN 和有效氮含量变化范围分别为: $414.7 \sim 899.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $17.5 \sim 58.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有效氮占 TN 的质量分数为 3% ~ 10%; ⑤流域在旱季 TN 输出浓度范围为 $0.58 \sim 2.40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 在雨季 TN 输出浓度范围为 $1.73 \sim 4.87 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 流域底泥的氮释放通量约为 $106.34 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$, 流域氮输出总量为 $864.15 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$, 底泥的氮释放对流域水体氮输出的贡献率约为 12.31%, 底泥氮释放对流域水体富营养化的贡献应引起重视。

关键词: 流域; 氮输出; 底泥; 氮释放; 干湿交替

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)02-0534-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.2016.02.018

Nitrogen Release from Sediment Under Dry and Rainy Season Alternation and Its Contribution to N Export from Xiangxi Watershed in Jiangxi Province

HAN Ning¹, HAO Zhuo^{1,2}, XU Ya-juan¹, GAO Yang^{1*}, YU Gui-rui¹

(1. Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract: In this study, N export from Xiangxi River Basin in Qianyanzhou station was measured by long-term monitoring, and simulation study on N release law from the sediment in watershed was carried out based on orthogonal experiment, and at last the contributions of N release from sediment to N transport from watershed under dry and rainy season alternation were estimated. The results showed that the maximum of TN release rate was $36 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ in stable status, which decreased with increasing time; the impact of the three controlling factors on the N release followed the order of temperature > disturbance > pH, and the effect of temperature and pH on N release from the sediment was significant when disturbance was considered as the error term; TN release rate increased with increase of temperature, and acidic and alkaline conditions could also promote N release from sediment, wherein the effect of acidic conditions on N release was stronger; the changes of TN and available N content in sediment were $414.7 \sim 899.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $17.5 \sim 58.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, so the percentage of available N only accounted for 3% - 10% of TN; the TN transport concentrations were $0.58 \sim 2.40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $1.73 \sim 4.87 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ in dry and wet seasons, respectively, the N release flux from sediment was about $106.34 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$, the total N transport from watershed was $864.15 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$, and the contribution rate of N release from sediment to N transport from watershed was about 12.31%, so we should pay much attention to the contribution of N release from sediment to water eutrophication.

Key words: watershed; N export; sediment; N release; wet and dry alternation

引起水体污染的来源可以分为内源和外源, 外源污染包括点源污染和面源污染, 而内源污染是指在水体中积累下来并且自身能在一定环境条件下发生物理化学作用, 并造成水体二次污染的污染源。底泥是水生生态系统的关键组成部分, 污染物通过物理化学、生物作用进入水体, 最后沉积到水体底泥中^[1], 其积累的大量污染物在外界水动力因素制

约下向上覆水体释放营养物质, 导致污染物重新回到水体, 因此底泥成为水体污染物的内负荷^[2]。由

收稿日期: 2015-08-11; 修订日期: 2015-09-20

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(31570465, 31290223); 中国科学院“青年创新促进会”项目

作者简介: 韩宁(1992~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为生态水文, E-mail: 1293384193@qq.com

* 通讯联系人, E-mail: gaoyang@igsrr.ac.cn

置 8 个采样点(图 1),供基流常规采样. A 点位于上游鱼塘出口处, B、C 两点位于上游的林外地缘, D、E 和 F 位于中游的农田、桔园交错带, G、H 两点位于下游, 所处地区为桔园. 采样时间为 2013 年 9 月至 2014 年 8 月, 采样频率为 2013 年 9、10 两月为每月 10 日采样一次, 11 月至次年 8 月为每月 9 日和 19 日采样(人工采样). 在 G 点设置截留三角堰, 并安装 ISCO 水质采样仪, 可实时监测记录水位变化. 底泥样品采集: 底泥采样点的布设同常规水样采集点一致, 分别于 2013~2014 年的 8 月 17 日、9 月 17 日、2 月 17 日、4 月 17 日、6 月 17 日和 7 月 17 日在设立的这 8 个常规采样点采集 0~10 cm 和 10~20 cm 处底泥样品, 样品采集后立即带回实验室进行分析. 2013 年 9 月至次年 2 月为千烟洲地区的旱季, 旱季为农田歇耕期; 2014 年 3~8 月为千烟洲地区的雨季, 雨季为农田漫灌期.

1.2.2 底泥释放实验

实验控制因素为 pH、温度和扰动, 根据该区水体 pH 变化、温度变化: pH 设置为 4.4、5.5、6、6.5、7、7.5、8、8.5、9 共 9 个梯度, 温度设置为 5、20 和 35℃ 共 3 个梯度, 扰动设置水动力条件为静止、轻微扰动和剧烈扰动共 3 个梯度. 利用正交试验方法, 设计 27 组实验(表 1). 将混合均匀的底泥平铺于 250 mL 烧杯中并使其厚度达到 50 mL 处, 向烧杯中加入超纯水至 200 mL 刻度线, 每天取样一次, 每次取样为 10 mL(取水样时用注射器抽取), 测定水中 TN 浓度. 取样后加入超纯水至 200 mL 刻度线, 实验周期为 7 d.

1.2.3 底泥土壤与常规水样分析

常规水样测定: 将水样用过硫酸钾消煮后用 ALLANCE 流动注射分析仪(法国)测定 TN、DTN(溶解性总氮)、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (氨氮)和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ (硝氮). 底泥 TN 的测定: 将底泥风干后过 100 目筛准确称取 1 g, 并采用浓硫酸消解法, 消煮液冷却后导入 100 mL 容量瓶进行定容. 最后取上清液, 采用 ALLANCE 流动注射分析仪测定上清液的 TN. 底泥有效氮的测定: 采用扩散法, 将底泥风干后过 60 目筛准确称取 2 g, 加入 0.2 g FeSO_4 (催化剂)和 10 mL $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液, 在 40℃ 恒温箱中培养 24 h 后取出, 用 $0.01 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 H_2SO_4 标准液进行滴定.

1.3 计算方法

1.3.1 氮释放速率

采用式(1)计算静水水体底泥氮的释放强度^[21]:

表 1 底泥氮释放模拟正交试验方案

Table 1 Orthogonal experiment scheme for simulation of N release from sediment

编号	pH	扰动	温度/℃
1	1(4.4)	1(无)	1(5)
2	1(4.4)	1(无)	2(20)
3	1(4.4)	1(无)	3(35)
4	2(5.5)	2(轻)	1(5)
5	2(5.5)	2(轻)	2(20)
6	2(5.5)	2(轻)	3(35)
7	3(6)	3(重)	1(5)
8	3(6)	3(重)	2(20)
9	3(6)	3(重)	3(35)
10	4(6.5)	3(重)	1(5)
11	4(6.5)	3(重)	2(20)
12	4(6.5)	3(重)	3(35)
13	5(7)	1(无)	1(5)
14	5(7)	1(无)	1(20)
15	5(7)	1(无)	3(35)
16	6(7.5)	2(轻)	1(5)
17	6(7.5)	2(轻)	2(20)
18	6(7.5)	2(轻)	3(35)
19	7(8)	2(轻)	1(5)
20	7(8)	2(轻)	2(20)
21	7(8)	2(轻)	3(35)
22	8(8.5)	3(重)	1(5)
23	8(8.5)	3(重)	2(20)
24	8(8.5)	3(重)	3(35)
25	9(9)	1(无)	1(5)
26	9(9)	1(无)	2(20)
27	9(9)	1(无)	3(35)

$$\gamma = \frac{V\rho_n + \sum_{i=1}^n V_{j-1}\rho_{j-1}}{At} \quad (1)$$

式中, γ 为底泥释放速率 [$\text{mg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$]; V 为烧杯中上覆水体积(L), $V=0.15 \text{ L}$; ρ_n 、 ρ_{j-1} 为第 n 次和 $j-1$ 次采样时上覆水中氮浓度 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); V_{j-1} 为第 $j-1$ 次采样体积(L), $V_{j-1}=0.01 \text{ L}$; A 为烧杯泥水接触面积 (m^2), $A=0.0040 \text{ m}^2$; t 为释放时间(d).

1.3.2 氮累积释放量

$$S = \gamma At \quad (2)$$

式中, S 为底泥氮的累积释放量(mg); γ 为底泥释放速率 [$\text{mg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$]; $A=0.0040 \text{ m}^2$; t 为释放时间(d).

1.3.3 氮释放通量

采用式(3)对氮释放通量进行估算^[12]:

$$W = \sum_i^n \sum_j^i S_{ij} A_j \Delta T_j \times 10^{-6} \quad (3)$$

式中, W 代表流域氮释放总量 (kg); S_j 为第 j 区域的底泥在 i 温度下的释放速率 [$\text{mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$]; A_j 为第 j 个湖区面积 (m^2); ΔT_j 为 j 温度下所代表的时间段 (d).

1.3.4 地表径流氮输出负荷

$$x = \int_0^t q_i(t) dt \approx \sum_{i=1}^{n-1} Q_i \Delta t_i = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{q_i + q_{i+1}}{2} \Delta t_i \quad (4)$$

$$y_j = \int_0^t c_i(t) \times q_i(t) dt \approx \sum_{i=1}^{n-1} c_i Q_i \Delta t_i = \sum_{i=1}^{n-1} \Delta t \frac{c_i + c_{i+1}}{2} \times \frac{q_i + q_{i+1}}{2} \quad (5)$$

式中, y_j 为第 j 种污染物的排放负荷 (g); c_i 为 t 时刻径流中第 j 种污染物的浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); q_i 为 t 时刻的流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$); c_i 为第 j 种污染物在样本 i 监测时的浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); q_i 为样本 i 在监测时的流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$); x 为径流量 (m^3); Q_i 为样本 i 和 $i+1$ 之

间的总流量; Δt_i 为样本 i 和 $i+1$ 的时间间隔 (s).

1.4 正交试验统计分析

1.4.1 极差分析

对第 7 d 上覆水 TN 浓度进行极差分析, 针对水平数不等的正交试验, 其极差值需要根据式 (6) 进行折算:

$$R' = \sqrt{r_i} \times d_i \times R \quad (6)$$

式中, R' 代表折算极差; r_i 代表同水平的重复次数; d_i 代表折算系数 (表 2); R 代表同水平和的极差.

1.4.2 方差分析

由于极差分析不能估计实验过程及实验结果测定中必然存在的误差而无法估计实验误差的大小, 所以一般采用方差分析法来弥补极差分析法的不足. 对底泥释放实验的结果进行方差分析可以得到表 3 的计算数据 (由于扰动存在较大的人为误差, 因此将扰动条件视为误差项).

表 2 折算系数

Table 2 Convert coefficient

水平数 i	2	3	4	5	6	7	8	9	10
折算系数 d_i	0.71	0.52	0.45	0.4	0.37	0.35	0.34	0.32	0.31

表 3 底泥释放实验各因素方差分析

Table 3 Analysis of variance of N release experiment

差异源	SS	df	MS	F	显著性
A (pH)	0.09	8	0.011	3.59	0.00
C (温度)	1.07	2	0.54	178.63	0.01
误差 e	0.048	16	0.003		
总计	1.21	26			

2 结果与分析

2.1 底泥静止状态下 TN 释放的动态变化

由图 2 可知底泥 TN 的释放速率在初期最大, 最大值为 $36 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 第 2 d 上覆水的 TN 浓度达最大值 $1.03 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 这是由于实验初期底泥-水界面浓度梯度较大, 所以会有一个明显的释放过程^[12]. 在 1~3 d 时, 底泥 TN 的释放速率急剧降低, 到第 3 d 降低至 $12.4 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 这是由于随着时间的延续, 底泥-水界面之间的浓度梯度变小, 所以 TN 的释放速率不断下降. 第 7 d 以后 TN 的释放速率趋于缓和, 且上覆水 TN 的浓度保持在 $0.86 \sim 0.97 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内, 底泥 TN 还处于释放状态, 最后释放与吸附会逐渐趋于动态平衡.

2.2 底泥氮释放影响因素分析

2.2.1 统计分析

根据公式 (6) 计算第 7 d 上覆水的 TN 浓度得

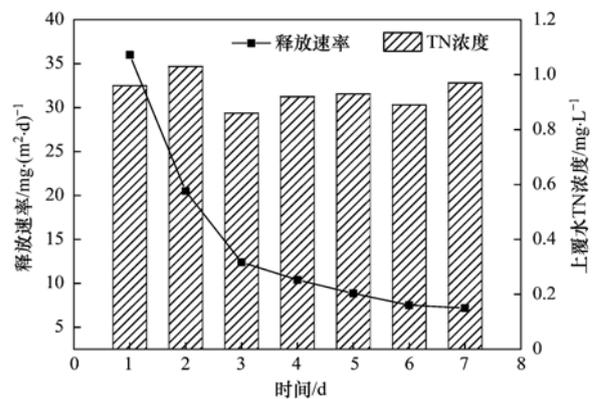


图 2 静态底泥的 TN 释放速率

Fig. 2 TN release rate of static sediment

到极差值的顺序为: $R'_A = 0.69 > R'_B = 0.11 > R'_C = 0.09$ (A、B、C 分别代表 pH、扰动和温度). R' 的大小代表影响底泥氮释放的主次顺序, 因此 3 个因素影响底泥氮释放的主次为: 温度 > 扰动 > pH. 方差分析结果列于表 3, 对 A、C 因素进行显著性检验并

查表可得: $F_{\alpha=0.01}(9, 27) = 3.15$, $F_{\alpha=0.01}(3, 27) = 4.60$, $F_A = 3.59 > F_{\alpha=0.01}(9, 27)$, $F_C = 178.63 > F_{\alpha=0.01}(3, 27)$, 则温度和 pH 对底泥氮释放的影响均为极显著.

2.2.2 温度对底泥 TN 释放的影响

底泥释放实验模拟了 3 个温度条件下底泥 TN 的释放规律, 选取 pH=7、无扰动即编号为 13、14、15 的样品进行分析. 由图 3 可见, TN 释放速率与温度呈正比例关系, 随着温度升高, TN 释放速率也随之加快. 由公式(2)计算出 3 个温度下底泥的氮累积释放量, 结果见表 4. 从中可知, 3 个温度下底泥的氮累积释放量分别为 50.45、50.35、73.15 mg; 温度为 35℃ 时底泥的氮累积释放量高于其他温度,

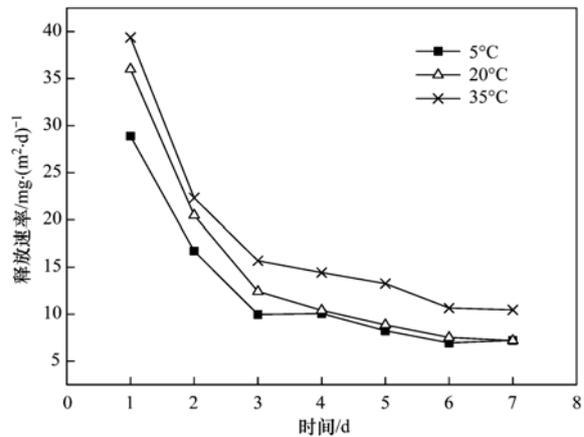


图 3 不同温度条件下底泥 TN 释放速率

Fig. 3 TN release rate of sediment at different temperatures

表 4 不同温度条件下氮累积释放量

Table 4 Cumulative release of N at different temperatures

温度/℃	氮累积释放量/mg						
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d
5	28.88	33.43	29.90	40.25	41.18	41.65	50.45
20	36.00	40.95	37.22	41.63	44.30	45.12	50.35
35	39.38	44.63	47.05	57.70	66.25	63.90	73.15

说明温度为 35℃ 时底泥释放了更多的 TN.

2.2.3 pH 对底泥 TN 释放的影响

在温度和水动力条件不变的情况下, 选取 pH 为酸性、中性和碱性的情况进行分析. 如图 4 所示, 实验进行 1 d 时出现最大释放速率, 在 pH 为 9 时 TN 释放速率的最大值为 $37.88 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 高于酸性和中性的最大释放速率. 随着时间的延续, 酸性和碱性条件均能增加 TN 释放速率, 且酸性条件的促进作用更强. pH=4.4 和 pH=9 时上覆水 TN 浓度的峰值分别为 $1.31 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 且酸性和碱性条件下的上覆水 TN 浓度在实验过程中

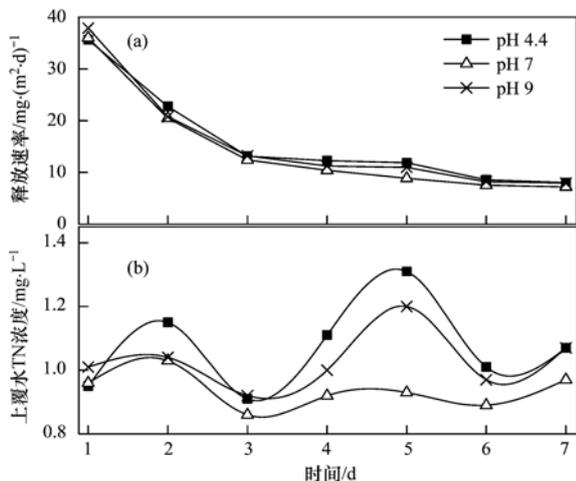


图 4 不同 pH 条件下 TN 变化特征

Fig. 4 Variation of TN under different pH conditions

明显高于中性条件, 这个结果表明酸性和碱性条件均能促进底泥的氮释放.

2.3 干湿季交替下流域底泥 TN 及有效氮的动态变化

分析整合采样点 B(林地), D、E、F(林地+桔园), G、H(桔园)的监测数据, 分析结果如图 5 所示. 图 5 为研究区域在不同土地利用方式下 0~10 cm 和 10~20 cm 处的底泥 TN 及有效氮含量的变化特征, 其中 2、9 月为流域的旱季, 4、6、7、8 月为流域的雨季. 从中可以看出, 底泥有效氮含量和 TN 含量变化趋势基本一致; 该区 TN 及有效氮含量波动范围较大, 分别为: $414.7 \sim 899.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $17.5 \sim 58.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有效氮含量占 TN 的质量分数为 3%~10%, 说明流域底泥的氮存在一定的潜在释放性. 雨季和旱季底泥 TN 含量的均值分别为 $662.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $588.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 旱季底泥 TN 含量相对较低, 这可能是由于雨季时大气中的氮通过沉降的方式进入水体, 且土壤中的氮素随着地表径流迁移进入水体, 使得水体中氮素含量增加^[22,23], 进而导致底泥中氮素含量的增加. 在不同土地利用方式下, 底泥 TN 及有效氮的含量及分布特征存在显著差异. 林地+桔园和桔园的 TN 含量普遍高于林地; 林地+桔园的有效氮含量普遍高于林地和桔园; 林地 0~10 cm 处底泥 TN 及有效氮的含量显著

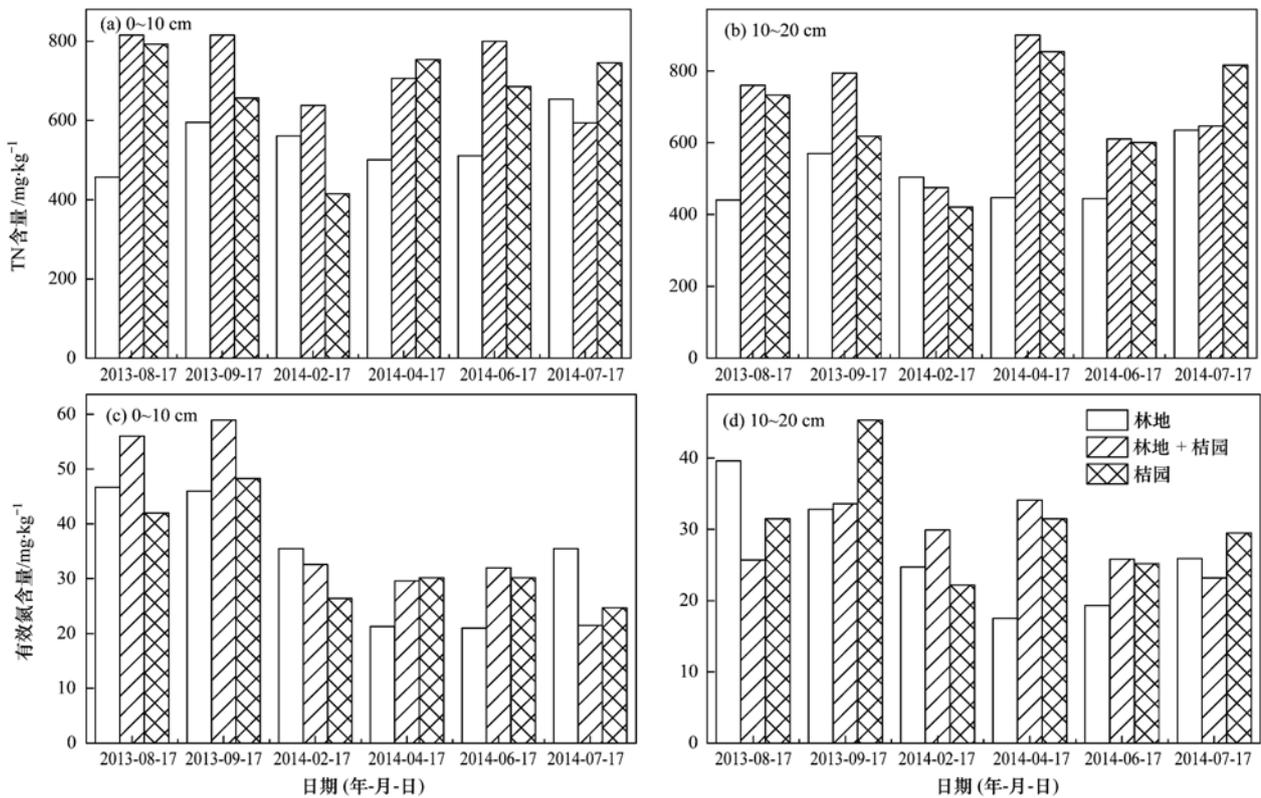


图5 底泥 TN 及有效氮含量变化特征

Fig. 5 Variation of contents of TN and available N from sediment

高于 10 ~ 20 cm 处, 而农田 + 桔园和桔园区的垂直分布则无显著规律。有研究表明不同土地利用方式对土壤养分迁移有着重要的影响, 这与土壤的理化性质、植被覆盖度等因素有关^[24]。

2.4 流域底泥氮释放通量

根据全年对流域监测的数据进行分析, 分别用 5、20、35℃ 代表流域冬季、春季和秋季、夏季的温度。从图 3 和表 4 可以看出在 7 d 以前 3 个温度下底泥氮累积释放量都为正值, 底泥氮都处于释放状态。用公式(1) 计算出 3 个温度条件下的氮平均释放速率分别为 7.07、7.36、10.55 $\text{mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 香溪流域水域面积约为 3.6 hm^2 , 由得到的氮释放速率的均值用公式(3) 计算氮释放通量。用 5℃ 计算流域冬季氮释放通量为 22.91 $\text{kg} \cdot \text{a}^{-1}$; 用 20℃ 计算流域春季和秋季氮释放通量为 48.49 $\text{kg} \cdot \text{a}^{-1}$; 用 35℃ 计算流域夏季氮释放通量为 34.94 $\text{kg} \cdot \text{a}^{-1}$ 。所以香溪流域底泥氮释放通量约为 106.34 $\text{kg} \cdot \text{a}^{-1}$, 其中雨季氮释放通量为 59.32 $\text{kg} \cdot \text{a}^{-1}$, 旱季氮释放通量为 47.02 $\text{kg} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

3 讨论

3.1 环境因素对底泥氮释放的影响

温度较高能促进底泥氮释放的原因一方面是温

度升高会增强微生物的活性, 从而增加氮的释放量; 另一方面是微生物活性增强会导致氧消耗速率加快, 环境中的溶解氧减少并且由氧化状态转化为还原状态, 加快了底泥中有机氮的转化和释放^[9]。有研究发现, 厌氧状态下底泥氨氮会很快释放出来^[25]; 荣伟英等^[11]在 $\text{pH} = 7$ 的条件下观测上覆水 TN 浓度变化时发现: TN 浓度大小为 $T = 25^\circ\text{C} > T = 15^\circ\text{C} > T = 5^\circ\text{C}$ 。

pH 能影响水体中离子交换吸附和化学平衡等机制, 因此 pH 对底泥氮释放的影响机制比较复杂^[26]。本实验结果表明酸性条件 ($\text{pH} = 4.4$) 和碱性条件 ($\text{pH} = 9$) 均能促进底泥的氮释放, 这可能是由于在酸性条件下上覆水的 H^+ 浓度高, 其与底泥胶体吸附的 NH_4^+ 发生离子交换, 使 NH_4^+ 释放到上覆水中, 导致上覆水中氮的浓度增加; 而在碱性条件下, OH^- 会促进(7)式的化学平衡向右侧方向进行, 从而减少了水体中的 NH_4^+ , 增大了泥-水界面 NH_4^+ 的浓度差, 因而促进底泥中铵态氮向上覆水的释放, 增加了上覆水中氮的浓度^[27~29]。



3.2 干湿季交替下流域氮输出动态变化

以 8 个采样点的平均值作为流域水体氮含量,

其变化趋势如图 6. 在旱季,随着农事活动的减弱及气温的降低,水体 TN 含量逐渐降低. 研究中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 约占 DTN 的 60% 以上,成为水体 DTN 的主要组成部分;且在监测期间 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 与 DTN 的比值绝大多数都高于 1/2,成为旱季地表水体 DTN 的主要存在形态. 在雨季,TN 浓度在 4 月和 8 月较高,这是因为小流域会在 4 月和 8 月中期进行水稻追肥(肥料为尿素),因此在追肥期间流域内水体 TN 含量会高于其他月份. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 仍然是水体 DTN 的主要存在形态,但是 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的变化无明显规律. 旱季和雨季水体 TN 浓度的范围分别为 $0.58 \sim 2.40 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $1.73 \sim 4.87 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 2014 年国际上一般认为 TN 浓度为 $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 是湖泊富营养化的发生浓度^[30],河流水体富营养化的阈值为 $1.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[31],香溪流域的河流已经存在水体富营养化的风险.

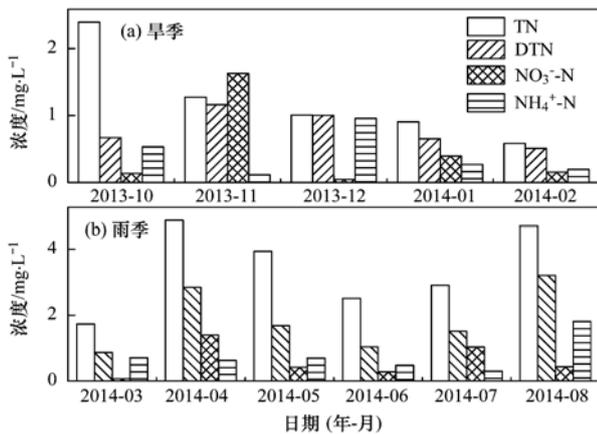


图 6 流域干湿季交替下氮变化规律

Fig. 6 Change of N under dry and wet season alternation

3.3 底泥氮释放对流域氮输出的贡献

根据式(4)和式(5)计算出旱季和雨季流域的径流量和氮输出量如图 7. 在 2013 年 9 月~2014 年 8 月间流域氮输出总量为 864.15 kg ; 流域在雨季氮输出量为 $765.81 \text{ kg}\cdot\text{a}^{-1}$,在旱季氮输出量为 $98.34 \text{ kg}\cdot\text{a}^{-1}$. 流域底泥氮释放对河流氮输出的年贡献量约为 106.34 kg ,所以底泥氮释放对流域水体氮输出的贡献率约为 12.31%. 这说明香溪河流域底泥氮释放对水体氮输出贡献巨大,影响了水体富营养化的进程. 水体富营养化会导致水生生物特别是藻类大量繁殖,导致水生生态系统紊乱,还会降低水体透明度、释放有毒物质等. 香溪流域内底泥氮释放已经成为水体氮来源的重要部分,要高度重视流域底泥氮释放对水体富营养化的贡献,以防造成

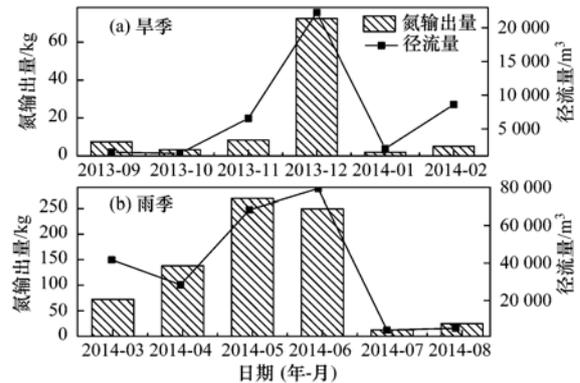


图 7 流域干湿季交替下氮输出量变化

Fig. 7 Change of N export of basin under wet and dry season alternation

不可挽回的损失.

4 结论

(1) 在静止状态下,流域底泥 TN 的释放速率在第 1 d 达最大值 $36 \text{ mg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$,随后随着时间的延续 TN 释放速率不断降低,直到底泥 TN 释放与吸附达到动态平衡;对正交试验的结果进行极差分析,3 个控制因素对底泥氮释放影响的主次为:温度 > 扰动 > pH;进行方差分析时,如把扰动作为误差项,则温度和 pH 对底泥氮释放的影响均为极显著.

(2) 温度与底泥 TN 释放速率呈正比例关系,随着温度升高,TN 释放速率增大;酸性和碱性条件均能促进底泥氮释放,且酸性条件的促进作用更强.

(3) 流域底泥 TN 及有效氮含量范围为 $414.7 \sim 899.6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $17.5 \sim 58.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效氮含量占 TN 的质量分数为 3%~10%,香溪流域的底泥存在潜在释放性;在旱季流域 TN 浓度的范围为 $0.58 \sim 2.40 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,雨季 TN 浓度的范围为 $1.73 \sim 4.87 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,已经存在发生水体富营养化的风险.

(4) 香溪流域底泥氮释放通量约为 $106.34 \text{ kg}\cdot\text{a}^{-1}$,流域氮输出总量为 $864.15 \text{ kg}\cdot\text{a}^{-1}$,底泥氮释放对流域水体氮输出的贡献率约为 12.31%,底泥氮释放对水体富营养化的贡献不容忽视.

参考文献:

- [1] 王海龙,常学秀,王焕校. 我国富营养化湖泊底泥污染治理技术展望[J]. 楚雄师范学院学报, 2006, 21(3): 41-46.
- [2] 卢少勇,蔡珉敏,金相灿,等. 滇池湖滨带沉积物氮形态的空间分布[J]. 生态环境学报, 2009, 18(4): 1351-1357.
- [3] Lijklema L, Koelmans A A, Portielje R. Water quality impacts of sediment pollution and the role of early diagenesis[J]. Water Science and Technology, 1993, 28(8-9): 1-12.
- [4] 王佩,卢少勇,王殿武,等. 太湖湖滨带底泥氮、磷、有机质分布与污染评价[J]. 中国环境科学, 2012, 32(4): 703-709.

- [5] 陈小锋, 揣小明, 杨柳燕. 中国典型湖区湖泊富营养化现状、历史演变趋势及成因分析[J]. 生态与农村环境学报, 2014, **30**(4): 438-443.
- [6] 范荣桂, 朱东南, 邓岚. 湖泊富营养化成因及其综合治理技术进展[J]. 水资源与水工程学报, 2010, **21**(6): 48-52.
- [7] 秦伯强. 长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探[J]. 湖泊科学, 2002, **14**(3): 193-202.
- [8] 单保庆, 菅宇翔, 唐文忠, 等. 北运河下游典型河网区水体中氮磷分布与富营养化评价[J]. 环境科学, 2012, **33**(2): 352-358.
- [9] 朱永青. 淀山湖底泥氮磷营养盐释放及其影响因素研究[J]. 环境污染与防治, 2014, **36**(5): 70-77, 82.
- [10] 余荣台. 城市内河沉积物硝态氮释放行为的模拟研究[J]. 环境工程学报, 2014, **8**(7): 2870-2874.
- [11] 荣伟英, 周启星. 大沽排污河底泥释放总氮的影响[J]. 环境科学学报, 2012, **32**(2): 326-331.
- [12] 孙飞跃, 陈云峰, 高良敏. 南淝河入湖区夏季底泥氮的释放通量估算[J]. 现代农业科技, 2012, (14): 206-207.
- [13] Mortimer C H. The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes[J]. *Journal of Ecology*, 1941, **29**(2): 280-329.
- [14] 林秋奇, 胡韧, 段舜山, 等. 广东省大中型供水水库营养现状及浮游生物响应[J]. 生态学报, 2003, **23**(6): 1101-1108.
- [15] 魏岚, 刘传平, 邹献中, 等. 广东省不同水库底泥理化性质对内源氮磷释放影响[J]. 生态环境学报, 2012, **21**(7): 1304-1310.
- [16] 吕元蛟, 李瑞娇, 张念, 等. 池塘残饵对底泥氮、磷释放影响的模拟研究[J]. 环境科学, 2014, **35**(6): 2178-2184.
- [17] 刘杰, 郑西来, 陈蕾, 等. 水库沉积物氮磷释放通量及释放规律研究[J]. 水利学报, 2012, **43**(3): 339-343.
- [18] 陈建平, 李艳, 董思宏, 等. 江西千烟洲农业生态系统水环境氮污染研究[J]. 水资源与水工程学报, 2012, **23**(6): 51-54.
- [19] 涂洁, 刘琪璟, 王辉民, 等. 江西千烟洲木荷液流特征及其与气象因子的关系[J]. 长江流域资源与环境, 2014, **23**(2): 267-273.
- [20] 郝卓, 高扬, 张进忠, 等. 南方红壤区氮湿沉降特征及其对流域氮输出的影响[J]. 环境科学, 2015, **36**(5): 1630-1638.
- [21] 《全国主要湖泊水库富营养化调查研究》课题组. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1987.
- [22] 刘文竹, 王晓燕, 樊彦波. 大气氮沉降及其对水体氮负荷估算的研究进展[J]. 环境污染与防治, 2014, **36**(5): 88-93, 101.
- [23] 闫瑞, 闫胜军, 赵富才, 等. 黄土丘陵区岔口小流域暴雨条件下氮素随地表径流迁移特征[J]. 水土保持学报, 2014, **28**(5): 82-86.
- [24] 王鹏, 高超, 姚琪, 等. 环太湖典型丘陵区不同土地利用下土壤磷素随地表径流迁移特征[J]. 农业环境科学学报, 2007, **26**(3): 826-830.
- [25] 林建伟, 朱志良, 赵建夫. 曝气复氧对富营养化水体底泥氮磷释放的影响[J]. 生态环境, 2005, **14**(6): 812-815.
- [26] 梁淑轩, 贾艳乐, 闫信, 等. pH 值对白洋淀沉积物氮磷释放的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, **38**(36): 20859-20862.
- [27] 扈传昱, 潘建明, 刘小涯, 等. 南大洋沉积物间隙水中营养盐分布及扩散通量研究[J]. 海洋学报, 2006, **28**(4): 102-107.
- [28] Kemp W M, Sampou P, Caffrey J, *et al.* Ammonium recycling versus denitrification in chesapeake bay sediments [J]. *Limnology and Oceanography*, 1990, **35**(7): 1545-1563.
- [29] 宋洪旭, 邢荣莲, 陈丽红, 等. 温度和 pH 对刺参养殖池塘沉积物营养盐释放的影响[J]. 湖北农业科学, 2015, **54**(4): 835-842.
- [30] 国家环境保护局科技标准司. 湖泊污染控制技术指南[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997. 1-2.
- [31] Dodds W K, Jones J R, Welch E B. Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus [J]. *Water Research*, 1998, **32**(5): 1455-1462.

CONTENTS

Editor's comment	(403)
Risk Assessment and Risk Management of Chemicals in China	WANG Tie-yu, ZHOU Yun-qiao, LI Qi-feng, <i>et al.</i> (404)
Application of Land-use Regression Models in Spatial-temporal Differentiation of Air Pollution	WU Jian-sheng, XIE Wu-dan, LI Jia-cheng (413)
Ecological Footprint Evolution Characteristics and Its Influencing Factors in China from 2000 to 2010	HUANG Bao-rong, CUI Shu-hong, LI Ying-ming (420)
Pollution Characteristics and Sources of Carbonaceous Aerosol in PM _{2.5} During Winter in Guanzhong Area	TIAN Peng-shan, CAO Jun-ji, HAN Yong-ming, <i>et al.</i> (427)
Chemical Composition of the Single Particle Aerosol in Winter in Nanning Using SPAMS	LIU Hui-lin, SONG Hong-jun, CHEN Zhi-ming, <i>et al.</i> (434)
Correlation Analysis Between Characteristics of VOCs and Ozone Formation Potential in Summer in Nanjing Urban District	YANG Xiao-xiao, TANG Li-li, ZHANG Yun-jiang, <i>et al.</i> (443)
Seasonal Dynamics of Airborne Pollens and Its Relationship with Meteorological Factors in Beijing Urban Area	MENG Ling, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (452)
Mercury Distribution Characteristics and Atmospheric Mercury Emission Factors of Typical Waste Incineration Plants in Chongqing	DUAN Zhen-ya, SU Hai-tao, WANG Feng-yang, <i>et al.</i> (459)
Characteristics of Atmospheric Dry and Wet Deposition of Trace Metals in the Hinterland of the Three Gorges Reservoir, China	ZHANG Liu-yi, LIU Yuan, QIAO Bao-qing, <i>et al.</i> (466)
Monitoring and Analysis of Stable Isotopes of the Near Surface Water Vapor in Changsha	XIE Yu-long, ZHANG Xin-ping, YAO Tian-ci, <i>et al.</i> (475)
Mercury Transport from Glacier to Runoff in Typical Inland Glacial Area in the Tibetan Plateau	SUN Xue-jun, WANG Kang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> (482)
Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Core Sediments from Lakes of Tibet	GUO Bi-xi, LIU Yong-qin, ZHANG Fan, <i>et al.</i> (490)
Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments of Inflow Rivers to Northeastern Lake Tanganyika	YU Cheng, CHEN Shuang, ZHANG Lu (499)
Over One Hundred Year Sediment Record of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Lake Bosten, Xinjiang	SHEN Bei-bei, WU Jing-lu, ZHAO Zhong-hua, <i>et al.</i> (507)
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Different Environmental Media from Qingbang Island, Zhoushan, China	ZHENG Huang, XING Xin-li, GU Yan-sheng, <i>et al.</i> (513)
Transformation of Non-point Source Soluble Nitrogen in Simulated Drainage Ditch	LI Qiang-kun, SONG Chang-ji, HU Ya-wei, <i>et al.</i> (520)
Influence of Landscape Heterogeneity on Total Nitrogen Concentration in Zhongtian River Watershed	WANG Jing-ping, LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, <i>et al.</i> (527)
Nitrogen Release from Sediment Under Dry and Rainy Season Alternation and Its Contribution to N Export from Xiangxi Watershed in Jiangxi Province	HAN Ning, HAO Zhuo, XU Ya-juan, <i>et al.</i> (534)
Spatial and Temporal Distributions of Nitrogen and Phosphate in the Chaohu Lake	XI Shan-shan, ZHOU Chun-cai, LIU Gui-jian, <i>et al.</i> (542)
Phosphorus Fractions and Release Risk in Surface Sediments of an Agricultural Headwater Stream System in Hefei Suburban, China	PEI Ting-ting, LI Ru-zhong, GAO Su-di, <i>et al.</i> (548)
Surface Property and Sorption Characteristics of Phosphorus onto Surface Sediments in Sanggou Bay	ZHU Jia-mei, CAO Xiao-yan, LIU Su-mei, <i>et al.</i> (558)
Particle Size Distribution and Pollutant Speciation Analyses of Stormwater Runoff in the Ancient Town of Suzhou	LI Huai, WU Wei, TIAN Yong-jing, <i>et al.</i> (565)
Abundance of Toxic and Non-toxic <i>Microcystis</i> sp. in Lake Hongze and Its Correlation with Environmental Factors	LI Da-ming, ZHANG Tong-qing, TANG Sheng-kai, <i>et al.</i> (573)
Effect of Charge-Transfer Complex on Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Absorption Property of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Waters of Typical Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Areas	JIANG Tao, LIANG Jian, ZHANG Mu-xue, <i>et al.</i> (580)
Influence of pH on Kinetics of Anilines Oxidation by Permanganate	WANG Hui, SUN Bo, GUAN Xiao-hong (588)
Effects of EDTA on the Reductive Dechlorination of 2,4-D by Pd/Fe	ZHOU Hong-yi, NIE Ya-zhong, CHEN Yong, <i>et al.</i> (595)
Preparation of NiAl-MMO Films Electrode and Its Capacitive Deionization Property	WANG Ting, ZHU Chun-shan, HU Cheng-zhi (602)
Competitive Microbial Oxidation and Reduction of Arsenic	YANG Ting-ting, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> (609)
Community Characteristics of ANAMMOX Bacteria in Subsurface Flow Constructed Wetland(SSFCW) for Processing of Aquaculture Waster Water	ZENG Xian-lei, LIU Xing-guo, WU Zong-fan, <i>et al.</i> (615)
Analysis of Pathogenic Bacteria in Reclaimed Water and Impact of UV Disinfection on the Removal of Pathogenic Bacteria	JING Ming, WANG Lei (622)
Analysis of the Microbial Community Structure in Continuous Flow Reactor Enhanced by Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification Bacterium <i>Burkholderia</i> sp. YX02	SHAO Ji-lun, CAO Gang, LI Zi-hui, <i>et al.</i> (630)
Comparative Metagenomics of BIOLAK and A ² O Activated Sludge Based on Next-generation Sequencing Technology	TIAN Mei, LIU Han-hu, SHEN Xin (638)
Identification and Nitrogen Removal Characteristics of a Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Strain Isolated from Marine Environment	SUN Qing-hua, YU De-shuang, ZHANG Pei-yu, <i>et al.</i> (647)
Removal of AOX and Chroma in Biologically Treated Effluent of Chemical Dyestuff Wastewater with Nanoscale Ni/Fe	SHU Xiao-ming, XU Can-can, LIU Rui, <i>et al.</i> (655)
Feasibility of 3BER-S Process for the Deep Denitrification in Synch with the Removal of PAEs from Reclaimed Water	XU Peng-cheng, HAO Rui-xia, ZHANG Ya, <i>et al.</i> (662)
Influence of Reaction Time on Titanate Nanomaterials and Its Adsorption Capability for Lead in Aqueous Solutions	FAN Gong-duan, CHEN Li-ru, LIN Ru-jing, <i>et al.</i> (668)
Sorption Characteristics of Phenanthrene and 1,1-Dichloroethene onto Reed Straw Biochar in Aquatic Solutions	WU Qing-wen, MENG Liang, ZHANG Zhi-hao, <i>et al.</i> (680)
Adsorption Characteristics of Norfloxacin by Biochars Derived from Reed Straw and Municipal Sludge	ZHANG Han-yu, WANG Zhao-wei, GAO Jun-hong, <i>et al.</i> (689)
Effect of Seasonal Temperature Increasing on Nitrogen Mineralization in Soil of the Water Level Fluctuating Zone of Three Gorge Tributary During the Dry Period	LIN Jun-jie, ZHANG Shuai, LIU Dan, <i>et al.</i> (697)
Effects of Warming and Straw Application on Soil Respiration and Enzyme Activity in a Winter Wheat Cropland	CHEN Shu-tao, SANG Lin, ZHANG Xu, <i>et al.</i> (703)
Distribution of Urban Soil Heavy Metal and Pollution Evaluation in Different Functional Zones of Yinchuan City	WANG You-qi, BAI Yi-ru, WANG Jian-yu (710)
Differential Effect and Mechanism of <i>in situ</i> Immobilization of Cadmium Contamination in Soil Using Diatomite Produced from Different Areas	ZHU Jian, WANG Ping, LIN Yan, <i>et al.</i> (717)
Characteristics of Adsorption Leaching and Influencing Factors of Dimethyl Phthalate in Purple Soil	WANG Qiang, SONG Jiao-yan, ZENG Wei, <i>et al.</i> (726)
Cd Runoff Load and Soil Profile Movement After Implementation of Some Typical Contaminated Agricultural Soil Remediation Strategies	LIU Xiao-li, ZENG Zhao-xia, TIE Bai-qing, <i>et al.</i> (734)
Concentrations and Component Profiles PAHs in Surface Soils and Wheat Grains from the Cornfields Close to the Steel Smelting Industry in Handan, Hebei Province	WU Di, WANG Yi-long, LIU Wei-jian, <i>et al.</i> (740)
Effect of Arbuscular Mycorrhiza (AM) on Tolerance of Cattail to Cd Stress in Aquatic Environment	LUO Peng-cheng, LI Hang, WANG Shu-guang (750)
Acute Toxic Effects of Bromate on Aquatic Organisms	WANG Zhi-wei, LIU Dong-mei, ZHANG Wen-juan, <i>et al.</i> (756)
Development of Self-assembled Dumbbell-like Fe ₃ O ₄ Micro/nanomaterial for Application in Thermocatalytic Degradation of Polybrominated Biphenyls	HUANG Xin-chen, ZONG Gang, LIU Ye-xuan, <i>et al.</i> (765)
Impact of Salinity on Leachate Treatment and N ₂ O Releases from Semi-aerobic Aged-refuse Bioreactor	LI Wei-hua, SUN Ying-jie, LIU Zi-liang, <i>et al.</i> (775)
Evaluating the Significance of Odor Gas Released During the Directly Drying Process of Sludge: Based on the Multi-index Integrated Assessment Method	DING Wen-jie, CHEN Wen-he, DENG Ming-jia, <i>et al.</i> (782)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2016年2月15日 第37卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 2 Feb. 15, 2016

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行