

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第9期

Vol.34 No.9

**2013**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

利用PUF被动采样技术研究长三角城市群大气中多环芳烃的时空分布及来源 ..... 张利飞, 杨文龙, 董亮, 史双昕, 周丽, 张秀蓝, 李玲玲, 钮珊, 黄业茹 (3339)

FTIR对大气颗粒物PM<sub>2.5</sub>中硝酸盐的定量分析 ..... 刘娜, 魏秀丽, 高闽光, 徐亮, 焦洋, 李胜, 童晶晶, 程巴阳 (3347)

福建茫荡山地区春季大气O<sub>3</sub>、HONO、HCHO、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>对·OH的贡献率研究 ..... 刘昊, 王会祥 (3352)

水体类固醇雌激素污染现状研究进展 ..... 都韶婷, 金崇伟, 刘越 (3358)

嘉兴市地表水中兽用抗生素的污染现状调查 ..... 闫幸, 余卫娟, 兰亚琼, 李立, 吕升, 叶朝霞, 张永明, 刘锐, 陈吕军 (3368)

上海食用鱼中短链氯化石蜡的污染特征 ..... 姜国, 陈来国, 何秋生, 孟祥周, 封永斌, 黄玉妹, 唐才明 (3374)

水体环境内毒素活性的鲎法定量检测及影响因素研究 ..... 张灿, 刘文君, 张明露, 田芳, 孙雯, 钱令嘉, 战锐 (3381)

四环素类抗生素对淡水绿藻的毒性作用 ..... 徐冬梅, 王艳花, 饶桂维 (3386)

光照对东海典型赤潮藻生长及硝酸还原酶活性的影响 ..... 李鸿妹, 石晓勇, 丁雁雁, 唐洪杰 (3391)

围隔实验中浒苔在不同营养盐条件下的生长比较 ..... 庞秋婷, 李凤, 刘湘庆, 王江涛 (3398)

长江口及邻近海域浮游植物色素分布与群落结构特征 ..... 赖俊翔, 俞志明, 宋秀贤, 韩笑天, 曹西华, 袁涌铨 (3405)

长江中下游湖泊超微型真核藻类遗传多样性研究 ..... 李胜男, 史小丽, 谢薇薇, 龚伊, 孔繁翔 (3416)

峡谷型水源水库的氮、磷季节变化及其来源分析 ..... 黄廷林, 秦昌海, 李璇 (3423)

九龙江河流-库区系统沉积物磷特征及其生态学意义 ..... 鲁婷, 陈能汪, 陈朱虹, 王龙剑, 吴杰忠 (3430)

氮在高含沙水向人工浅水湖泊补水期间的变化规律 ..... 陈友媛, 申宇, 杨世迎 (3437)

石灰石和黄铁矿-石灰石人工湿地净化河水的研究 ..... 张菁, 李睿华, 李杰, 胡俊松, 孙茜茜 (3445)

杭州湾潮滩湿地3种优势植物碳氮磷储量特征研究 ..... 邵学新, 李文华, 吴明, 杨文英, 蒋科毅, 叶小齐 (3451)

滇池优势挺水植物茭草和芦苇降解过程中DOM释放特征研究 ..... 谢理, 杨浩, 渠晓霞, 朱元荣, 鄢元波, 张明礼, 吴丰昌 (3458)

自来水处理工艺对溶解相中全氟化合物残留的影响 ..... 张鸿, 陈清武, 王鑫璇, 柴之芳, 沈金灿, 杨波, 刘国卿 (3467)

J市饮用水氯消毒副产物分析及其健康风险评价 ..... 李晓玲, 刘锐, 兰亚琼, 余素林, 文晓刚, 陈吕军, 张永明 (3474)

水中硫酸根及溶解氧质量浓度变化对管垢金属元素释放的影响 ..... 吴永丽, 石宝友, 孙慧芳, 张枝焕, 顾军农, 王东升 (3480)

重金属捕集剂对水中微量Hg(II)的处理研究 ..... 胡运俊, 盛田田, 薛晓芹, 谭丽莎, 徐新华 (3486)

聚合氯化铁-聚(环氧氯丙烷-二甲胺)复合絮凝剂在模拟水处理中的混凝特性研究 ..... 刘新新, 杨忠莲, 高宝玉, 王燕, 岳钦艳, 李倩 (3493)

镁铝复合脱色絮凝剂的微观结构形态及絮凝机制 ..... 桑义敏, 常雪红, 车越, 谷庆宝 (3502)

钴掺杂铁酸铋活化过硫酸盐降解水中四溴双酚A的研究 ..... 欧阳磊, 丁耀彬, 朱丽华, 唐和清, 廖海星 (3507)

以海泡石为载体的双金属多相类芬顿催化剂的制备及表征 ..... 宿程远, 李伟光, 刘兴哲, 王恺尧, 王勇 (3513)

氧化还原介体调控亚硝酸盐反硝化特性研究 ..... 赵丽君, 马志远, 郭延凯, 席振华, 杜海峰, 刘晓宇, 郭建博 (3520)

缓释碳源滤池用于二级出水的深度脱氮 ..... 唐蕾, 李彭, 左剑恶, 袁琳, 李再兴 (3526)

微膨胀对好氧颗粒污泥脱氮过程中N<sub>2</sub>O产生量的研究 ..... 陈丽丽, 高大文 (3532)

Fenton试剂与CPAM联合调理对污泥脱水效果的影响研究 ..... 马俊伟, 刘杰伟, 曹芮, 岳东北, 王洪涛 (3538)

高效厌氧氨氧化颗粒污泥的动力学特性 ..... 唐崇俭, 熊蕾, 王云燕, 郑平 (3544)

内蒙古温带草原氮沉降的观测研究 ..... 张菊, 康荣华, 赵斌, 黄永梅, 叶芝祥, 段雷 (3552)

湘中矿区不同用地类型面源Cd输出负荷的原位实验研究 ..... 刘孝利, 曾昭霞, 陈喆, 铁柏清, 陈永稳, 叶长城 (3557)

蠡湖沉积物重金属形态及稳定性研究 ..... 王书航, 王雯雯, 姜霞, 宋倩文 (3562)

密云县境内潮河流域土壤重金属分析评价 ..... 于洋, 高宏超, 马俊花, 李迎霞, 莫雁, 孔彦鸿 (3572)

西北干旱区黄河沿岸典型工业带表土磁性特征及其环境意义 ..... 许淑婧, 张英, 余晔, 王博, 夏敦胜 (3578)

复合稳定剂对砷污染土壤的稳定研究 ..... 王浩, 潘利祥, 张翔宇, 李萌, 宋宝华 (3587)

湖南下水湾铅锌尾矿库优势植物重金属含量及富集特征 ..... 何东, 邱波, 彭尽晖, 彭亮, 胡凌霄, 胡瑶 (3595)

安太堡露天矿复垦地不同人工植被恢复下的土壤酶活性和肥力比较 ..... 王翔, 李晋川, 岳建英, 周小梅, 郭春燕, 卢宁, 王宇宏, 杨生权 (3601)

三苯基锡的微生物降解及其对降解菌的影响 ..... 叶锦韶, 田云, 尹华, 彭辉, 黄捷, 麻榆佳 (3607)

二氯甲烷降解菌 *Methylobacterium rhodesianum* H13 的分离鉴定及降解特性研究 ..... 刘洪霞, 朱润晔, 欧阳杜娟, 庄庆丰, 陈东之, 陈建孟 (3613)

引物选择对污泥微生物多样性分析的影响 ..... 徐爱玲, 吴等等, 宋志文, 任杰, 夏岩, 董珊珊, 刘梦 (3620)

钙铝类水滑石衍生复合氧化物的SO<sub>2</sub>储存性能研究 ..... 曹琳, 王海滨, 解强 (3627)

基于转运站满负荷的北京市新东西城区生活垃圾物流优化方案研究 ..... 袁京, 李国学, 张红玉, 罗一鸣 (3633)

**重金属污染土壤治理与生态修复论坛会议论文**

多证据分析技术在场地重金属污染评价中的应用研究 ..... 姜林, 钟茂生, 朱笑盈, 姚珏君, 夏天翔, 刘辉 (3641)

我国城市不同功能区地表灰尘重金属分布及来源 ..... 李晓燕, 刘艳青 (3648)

黄河下游滩区开封段土壤重金属分布特征及其潜在风险评价 ..... 张鹏岩, 秦明周, 闫江虹, 胡长慧, 赵亚平 (3654)

青岛北站规划区原场地表层土壤重金属污染研究 ..... 朱磊, 贾永刚, 潘玉英 (3663)

某铅蓄电池厂土壤中铅的含量分布特征及生态风险 ..... 郑立保, 陈卫平, 焦文涛, 黄锦楼, 魏福祥 (3669)

某铅冶炼厂对周边土壤质量和人体健康的影响 ..... 周小勇, 雷梅, 杨军, 周广东, 郭广慧, 陈同斌, 万小铭, 梁琪, 乔鹏伟 (3675)

某铅蓄电池厂表土不同粒径中铅分布规律研究 ..... 岳希, 孙体昌, 黄锦楼 (3679)

原位生物稳定固化技术在铬污染场地治理中的应用研究 ..... 张建荣, 李娟, 许伟 (3684)

淋洗剂对多金属污染尾矿土壤的修复效应及技术研究 ..... 朱光旭, 郭庆军, 杨俊兴, 张晗芝, 魏荣菲, 王春雨, Marc Peters (3690)

铅蓄电池厂污染土壤中重金属铅的清洗及形态变化分析 ..... 任贝, 黄锦楼, 苗明升 (3697)

超声波辅助化学萃取对某工业场地铅污染土壤修复效果研究 ..... 王鑫杰, 黄锦楼, 刘志强, 岳希 (3704)

摩擦清洗修复铅污染土壤的参数优化及清洗效率评价 ..... 杨雯, 黄锦楼, 彭会清, 李思拓 (3709)

土壤重金属钝化修复剂生物炭对镉的吸附特性研究 ..... 郭文娟, 梁学峰, 林大松, 徐应明, 王林, 孙约兵, 秦旭 (3716)

无机稳定剂对重金属污染土壤的化学稳定修复研究 ..... 曹梦华, 祝玺, 刘黄诚, 王琳玲, 陈静 (3722)

《环境科学》征稿简则(3404) 《环境科学》征订启事(3444) 信息(3492, 3551, 3696, 3715)

# 峡谷型水源水库的氮、磷季节变化及其来源分析

黄廷林, 秦昌海\*, 李璇

(西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 西安 710055)

**摘要:** 石砭峪水库总氮(TN)和总磷(TP)的质量浓度均值分别为 $2.67 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.04 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,其在丰水期最大,平水期次之,枯水期最小;水库富营养化严重,叶绿素a含量和藻细胞密度分别高达 $50 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $10\,000 \times 10^4 \text{ cells}\cdot\text{L}^{-1}$ . 水库TN的年输入和输出负荷分别为203.1 t和181.3 t,而TP的年输入和输出负荷分别为4.2 t和4.1 t;外源输入水库的TN和TP负荷均占各自总输入负荷的90%以上;就全年而言,水库沉积物表现为蓄积作用,TN和TP年净积累量分别约为20.2 t和0.8 t;内源污染控制是水库污染控制的关键.

**关键词:** 水库; 营养盐; 季节变化; 外源; 内源; 沉积物

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)09-3423-07

## Studies on Seasonal Variation and Sources of Nitrogen and Phosphorus in a Canyon Reservoir Used as Water Source

HUANG Ting-lin, QIN Chang-hai, LI Xuan

(Key Laboratory of Northwest Water Resource, Environment and Ecology, Ministry of Education, School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** According to a continuous survey on Shibianyu Reservoir located north of the Qinling Mountains which lasted for about one and a half years and a simulation study in laboratory, conclusions were drawn as follows. The average concentrations of total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) were  $2.67 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  and  $0.04 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectively, and the highest values were recorded in the high flow period followed by the median water period, while the lowest values were found in the dry period. The reservoir was in severe eutrophication and the content of chlorophyll a and algal cell density reached  $50 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  and  $10\,000 \times 10^4 \text{ cells}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectively. The yearly input and output of TN was respectively 203.1 t and 181.3 t, while the yearly input and output of TP was respectively 4.2 t and 4.1 t. Exogenous pollution accounted for more than 90% of the total load. The sediment in reservoir showed an accumulation tendency all year round and the net annual accumulation of TN and TP was 20.2 t and 0.8 t, respectively. The key of controlling reservoir pollution is to control the endogenous pollution.

**Key words:** reservoir; nutrition; seasonal variation; exogenous pollution; endogenous pollution; sediment

随着我国城市化进程的加速,水资源保护和经济发展的矛盾日益突出.近年来,正逐步成为大多数城市主要供水水源的湖库的水质问题也已显现<sup>[1]</sup>,水体富营养化、水质季节性恶化等屡见报道<sup>[2-6]</sup>,给供水安全敲响警钟.水体富营养化会造成水生生物大量死亡、水质恶化、发腥发臭等<sup>[7]</sup>.对水源水库来讲,水体富营养化还会提高消毒副产物的生成量,使得水处理难度加大.生命周期理论认为氮和磷的化合物过量进入水体是造成水体富营养化的根本原因<sup>[8]</sup>.从富营养污染控制分析,可将污染源分为外源和内源<sup>[9]</sup>.峡谷型城市水源水库因其角色和本身所处的地理位置的特殊性,点源以及水体养殖等造成的污染已被控制或禁止,因此其氮和磷的来源主要是上游来水,另外峡谷型水源水库一般又具有水深大,水体分层明显的特点,因此其沉积物中氮和磷的释放也成为水库氮和磷的重要来源——内源污染.另外,水体水质往往存在明显的

季节性变化<sup>[10,11]</sup>,但目前关于峡谷型水源水库的氮和磷季节变化与其来源相关性的研究开展的相对较少<sup>[12,13]</sup>.

本研究以秦岭北麓的石砭峪水库为调查对象,以水质数据及实验室模拟研究为依据,探讨了水库氮和磷的季节变化规律,同时对水库内源与外源污染负荷以及沉积物中的营养盐净积累量做了分析.

### 1 材料与方法

#### 1.1 研究区概况

石砭峪水库位于秦岭北麓渭河上游,坝址以上流域面积 $132 \text{ km}^2$ ,多年平均径流量0.95亿 $\text{m}^3$ ,是

收稿日期: 2012-12-22; 修订日期: 2013-01-29

基金项目: 陕西省科技统筹创新工程计划项目(2011KTCCG03-07); 国家自然科学基金重点项目(50830303)

作者简介: 黄廷林(1962~),男,博士,教授,主要研究方向为水资源保护与水质控制、水处理技术、水环境修复, E-mail: huangtinglin@xauat.edu.cn

\* 通讯联系人, E-mail: qinchanghai1987@126.com

西安黑河引水系统的辅助水源,日供水能力 40 万 t. 水库总库容 2 810 万  $\text{m}^3$ ,库区最大水深约 50 m. 根据石砭峪水库管理站提供的 2001 ~ 2012 年间的水库水文统计资料,本研究以每年 6 ~ 9 月作为丰水期,4、5、10、11 月作为平水期,枯水期则按 1、2、3、12 月来算.

### 1.2 监测断面与检测及数据处理方法

本研究的现场监测时间为 2011 年 7 月 ~ 2012 年 12 月,取样点分 3 处,分别是入库(S1)、库区、汇流池,库区又分为 S2 和 S3 两取样点,如图 1 所示. 文中库区数据均采用 S2 点的水质数据. 采样频率一般是一周一次,水面下 0.2 ~ 0.5 m 处水体作为表层水样,而垂向则采用直立式采样器沿水深每隔 5 ~ 10 m 取样一次. 诸如水温、水深、叶绿素 a 等理化指标可直接通过 HACH Hydrolab DS-5 型多功能水质分析仪进行测定. 用 0.45  $\mu\text{m}$  微孔滤膜过滤后测定的 TN、TP 可认为是总溶解态氮和磷(TDN、TDP),总颗粒态氮(磷)( $\text{TPN}_{(\text{TPP})} = \text{TN}_{(\text{TP})} - \text{TDN}_{(\text{TDP})}$ ). TN、TP 等均按照文献[14]测定.

本研究的数据处理和分析在 Excell 2003 版上进行. 若无特殊说明,文中表和图的所有数据均基于 2011 年 7 月 ~ 2012 年 12 月所测得的 S2 点的数据. 水库 TN 和 TP 的质量浓度以月均值计. 各数据由以下步骤得到:①将每次得到的库区若干水层的水质数据进行平均,以作为本次的水质数据;②将每次的水质数据按月汇总并进行平均,以作为本月的水质数据;③将各月的水质数据按丰水期、平水期、枯水期的划分时间进行汇总平均,以作为各水期的水质数据.

### 1.3 大气沉降模拟实验方法



图 1 石砭峪水库位置及取样点布置示意

Fig. 1 Location of Shibianyu Reservoir and the sampling sites

为全面分析水库营养盐输入量,监测期间在水库进行了大气沉降模拟实验. 参考文献[15],具体实验方法如下.

#### 1.3.1 湿沉降

降水在降水量较大的过程中采集,采集完毕摇晃后立即测定,其沉降速率  $M[\text{kg} \cdot (\text{km}^2 \cdot \text{a})^{-1}]$  用式(1)计算,

$$M = \rho_1 \times h \times 10^3 \quad (1)$$

式中, $\rho_1$  为雨水相应污染物的质量浓度( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ );  $h$  为年均降水量,0.898 m;  $10^3$  为单位换算系数.

#### 1.3.2 干沉降

用直径 20 cm 的烧杯收集大气降尘,烧杯中加入一定量的蒸馏水和盐酸,以保证杯内湿润,避免再次起尘和抑制微生物繁殖. 每月收集一次降尘,为保证数据准确性,降雨时用盖子盖住烧杯口以避免降雨的影响,且为减小误差每次用两个烧杯收集降尘,分别编号  $D_1$  和  $D_2$ . 大气降尘收集完毕后,用蒸馏水多次冲洗烧杯,然后定容稀释至 1 L. 沉降速率  $N[\text{kg} \cdot (\text{km}^2 \cdot \text{a})^{-1}]$  用公式(2)计算,

$$N = (\rho_2 \times V \times 12) / 0.0314 \quad (2)$$

式中, $\rho_2$  为各月干沉降水样质量浓度( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ );  $V$  为稀释后的体积,即 1 L; 0.0314 为烧杯底面积( $\text{m}^2$ ); 12 为一年中的 12 个月份.

沉降通量  $W(\text{kg} \cdot \text{a}^{-1})$  用公式(3)计算,

$$W = M_{(N)} \times S \quad (3)$$

式中, $S$  为沉降面积( $\text{km}^2$ ). 大气沉降总量即为干沉降量与湿沉降量之和.

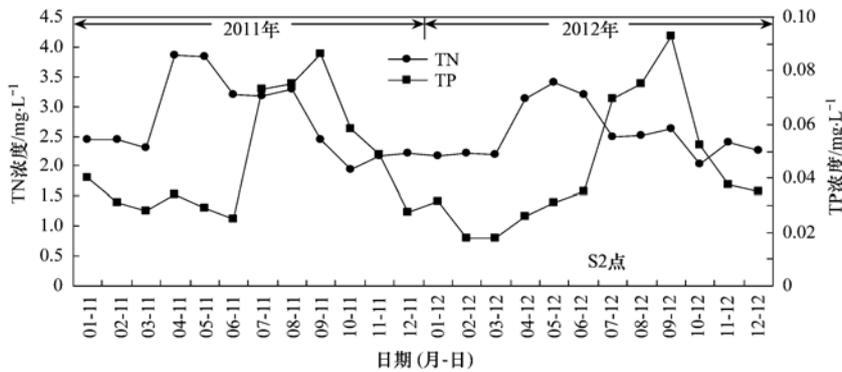
## 2 结果与分析

### 2.1 氮、磷季节变化

库区取样点 S2 的 TN 和 TP 含量变化如图 2 所示. 图 2 和表 1 表明,水库库区 TN 和 TP 含量较大: TN 的质量浓度均值为  $2.67 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 超出 III 类水 ( $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )<sup>[16]</sup> 1 倍多; 而 TP 质量浓度均值为  $0.04 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . 虽然水库 TP 含量大多数时间满足 III 类水 ( $0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), 但据营养盐浓度的绝对限制法则<sup>[17]</sup> 可判定, N 和 P 都不是库区藻类生长的限制因子, 这说明藻类在适宜的自然条件下会快速增殖与生长. 从 5 ~ 7 月水库叶绿素 a 含量的垂向分布图(图 3)可知, 5 月由于水库上层水体温度上升较快, 水库叶绿素 a 含量开始缓慢升高; 在水温及光照条件均较适宜的 6 月, 水库叶绿素 a 质量浓度急速升高, 到 2012 年 6 月 24 日已接近  $50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 而藻细胞密度从 4 月末的约  $200 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$  急剧增

大到6月的 $7\,500 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 进入7月由于降雨量增大等因素的影响,叶绿素 a 的含量有所降低,而到了降雨量减小的10月甚至出现大面积微囊藻,藻细胞密度达 $10\,000 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ ,处于严重富营养化状态. 由于水体中叶绿素 a 的含量能够一定程度地反映藻类的生长增殖状况,所以图3可以说明:藻类生长繁殖的自然条件一旦具备,石砭峪水库的

藻类会快速增长与繁殖,因为水库氮和磷营养盐含量较高. 另外,库区 N/P 值在 50 以上,据相对限制法则<sup>[18]</sup>可知如果出现藻类大量生长,则 P 营养盐会优先被消耗到低值,从而使 P 成为限制因子. 从表1还可看出,库区 TN 和 TP 的质量浓度在丰水期最大,平水期次之,枯水期最小,说明水库的 TN 和 TP 具有明显的季节变化性.



2011 年 1~6 月数据由西安水司提供

图2 库区营养盐含量动态变化

Fig. 2 Distribution of nutrients in the reservoir

表1 库区各期营养盐质量浓度

(2011 年 7 月~2012 年 12 月, S2 点)

Table 1 Contents of nutrients in the reservoir during different periods (Jul, 2011-Dec, 2012, sample point S2)

指标	浓度均值/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$			全年均值 $/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
	丰水期	平水期	枯水期	
TN	2.88	2.85	2.28	2.67
TP	0.07	0.04	0.02	0.04

春季水库 TN 含量会急剧升高,如 2011 年和 2012 年的总氮最高浓度均出现在 4 月和 5 月,这可能与春汛期间山上冰雪融化产生的径流使得上游来

水总氮浓度升高有关. 5~7 月总氮含量缓慢降低. 随着夏季雨量的增大,强降雨冲刷造成的上游水土流失使得水库 TN、TP 浓度升高,尤其是总磷浓度升高幅度较大<sup>[19, 20]</sup>. 除春季外,水库 TN 和 TP 动态变化规律较为一致. 但二者区别是,2011 年 9 月~2012 年 3 月期间,TP 含量一直呈下降趋势,而 TN 含量则一直稳定在  $2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . 这应该与上游来水的营养盐含量变化及其各自的物理形态不同有关,对入库 S1 点的监测表明,2011 年 9 月~2012 年 3 月期间入库 TP 一直呈下降趋势(由  $0.069 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

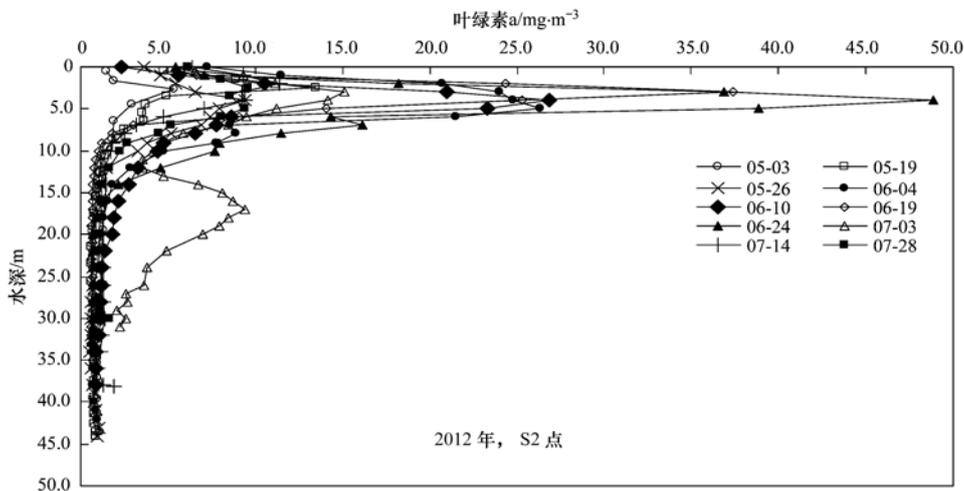


图3 库区 Chl-a 的垂向变化

Fig. 3 Vertical distribution of Chl-a in the reservoir(2012, sample point S2)

下降至  $0.013 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), 而 TN 含量则基本维持在  $2.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; 另外丰水期颗粒态磷 (TPP) 在 TP 中的比重较大 (最高达 50%), 因此随着汛期的结束, TPP 含量随着 TPP 在库区的沉降而逐渐减小, 而 TN 则由于颗粒态氮 (TPN) 含量较小 (20% 左右), 所以 TPN 可在较短时间内就沉降完. 所以 TN 和 TP 的动态变化规律差异是上游来水与库区营养盐物理形态双重作用的结果.

## 2.2 氮、磷来源及输出

### 2.2.1 外源污染

就峡谷型城市水源水库而言, 外源污染主要包括以下 3 个方面.

#### (1) 上游来水

表 2 上游来水的各期营养盐质量浓度及输入量(2011 年 7 月~2012 年 12 月)

Table 2 Contents and input load of nutrients in the input water during different periods (Jul, 2011-Dec, 2012)

项目	丰水期		平水期		枯水期		合计/ $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$
	含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	输入量/ $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$	含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	输入量/ $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$	含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	输入量/ $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$	
TN	2.82	126.5	2.52	41.7	2.21	15.8	184.0
TP	0.07	2.4	0.04	0.6	0.03	0.1	3.1

#### (2) 库区周围地表径流

水库库区控制流域多为山坡林地、灌木地, 约  $30 \text{ km}^2$ . 据文献[22], N 和 P 输出系数按灌木地测算, 分别选用  $2.8 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$  和  $0.15 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$ , 则周围地表径流输入水库的 TN 和 TP 负荷分别为  $8.4 \text{ t}$  和  $0.5 \text{ t}$ .

#### (3) 大气沉降

大气沉降中的营养盐是湖泊水体氮素的重要输入源, 造成水体氮和磷含量增加, 水体富营养化加重<sup>[23]</sup>. 而有研究表明, 大气湿沉降向太湖输入的 TN 总量占总入湖污染量的 13.6%<sup>[24]</sup>.

大气湿沉降. 大气湿沉降结果如表 3, 由此可知, 各月降水中所含的污染物浓度差异较大, 这可能与降水量的大小有关, 因为受降雨对空气和气溶胶的冲刷作用影响, 湿沉降中的污染物含量会随降雨量的增大而减小<sup>[25]</sup>. 考虑到该地区降水主要集中在

表 3 大气湿沉降的实验结果/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 3 Experimental results for atmospheric wet deposition/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

月份	TN	TP
4	2.51	0.07
5	3.44	0.07
6	1.47	0.09
7	0.86	0.04
8	3.59	0.07
9	0.53	0.09
均值	2.07	0.07

应用径流分割法<sup>[21]</sup> 计算上游来水的营养盐输入负荷. 根据石砭峪水库管理站提供的 2001~2012 年间的水库水文统计资料, 经计算可得丰、平、枯水期的入库水量各约占全年的 65%、25%、10%. 另外将 2001~2012 年的年入库水量的均值  $6395 \text{万 m}^3$  作为多年平均入库水量. 据式(4) 计算, 结果见表 2.

$$\Phi = (c_{\text{丰}} \times 0.65 + c_{\text{平}} \times 0.25 + c_{\text{枯}} \times 0.1) \times Q_{\text{入库}} \times 0.01 \quad (4)$$

式中,  $\Phi$  为上游来水年入库负荷 ( $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$ );  $c_{\text{丰}}$ 、 $c_{\text{平}}$ 、 $c_{\text{枯}}$  为丰、平、枯水期对应的水库入库水体的 TN 和 TP 质量浓度 ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), 见表 2;  $Q_{\text{入库}}$  为多年平均入库流量 ( $\text{m}^3$ ); 0.01 为换算系数.

于 7~9 月, 而这一时期的降水中的污染物含量相对较小, 所以综合考虑, 本研究降水中所含的 TN 和 TP 含量分别按  $1.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $0.07 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  计算. 据式(1) 可得年均沉降速率 N 分别为  $943 \text{ kg}\cdot(\text{km}^2\cdot\text{a})^{-1}$  和  $44 \text{ kg}\cdot(\text{km}^2\cdot\text{a})^{-1}$ , 据水库管理站资料, 库区沉降面积约  $0.7 \text{ km}^2$ , 而据式(3) 可得水库年均大气湿沉降量分别为  $0.7 \text{ t}$ 、 $0.03 \text{ t}$ .

大气干沉降. 据式(2) 所得的干沉降实验结果如表 4. 综合  $D_1$  和  $D_2$  两个实验样, 取两者均值, 则水库 TN 和 TP 的年均沉降速率  $N$  分别取为  $3943 \text{ kg}\cdot(\text{km}^2\cdot\text{a})^{-1}$  和  $287 \text{ kg}\cdot(\text{km}^2\cdot\text{a})^{-1}$ . 这与其它研究<sup>[26, 27]</sup> 相比, 库区干沉降速率相对较大, 这可能与该水库周边环境密切相关. 因为紧邻水库的环山公路以及库区周围的采石场采石及石料运输等均可产生较为严重的扬尘现象, 致使地面污染物随尘土上扬而漂浮于空中, 而库区大气干扰较少, 污染物易于在库区沉降. 水库库区面积约  $0.7 \text{ km}^2$ , 则据式(3)

表 4 大气干沉降速率实验的结果/ $\text{kg}\cdot(\text{km}^2\cdot\text{a})^{-1}$

Table 4 Experimental results for atmospheric dry deposition rate/ $\text{kg}\cdot(\text{km}^2\cdot\text{a})^{-1}$

月份	$D_1$		$D_2$	
	TN	TP	TN	TP
4	477.1	160.0	1799.9	170.0
5	6218.9	681.4	3969.7	335.3
6	4637.2	302.0	3854.4	215.7
7	4885.5	191.7	5705.3	239.6
均值	4054.7	333.8	3832.3	240.2

可得每年直接降入水库的 TN 和总磷分别是 2.8 t、0.2 t。

综上所述,大气沉降以干沉降为主,大气 TN 和 TP 年沉降总量分别为 3.4 t 和 0.3 t。

### 2.2.2 内源污染

就峡谷型城市水源水库而言,内源污染主要包括以下两个方面。

#### (1) 水库沉积物中的污染物释放

水库沉积物中多年累积下来的营养盐等污染物会在特定的环境下(如低溶解氧等)向水体释放,成为水体重要的污染源,例如贵州红枫湖沉积物年释 P 量为  $(5.0 \pm 5.6) \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ ,占 2004 年红枫湖流域重点排放源的 50% 左右<sup>[29]</sup>。 $\alpha$  判别法<sup>[28]</sup>以及现场所测水温等理化指标均表明石砭峪水库为稳定分层型水库,而连续监测表明,水库水体在 6~8 月形成稳定分层,且底层溶解氧从 6 月下旬开始就低于  $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,这无疑为沉积物中污染物释放提供了有利条件。

为考察水库沉积物中污染物的释放,并对其释放量进行估算,在实验室控制  $\text{DO} < 0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、温度  $7 \sim 8^\circ\text{C}$  和避光条件下,对从采样点采集的泥样进

行了模拟实验,结果见表 5。

表 5 水库底泥污染物释放模拟结果<sup>1)</sup>

Table 5 Simulation results of TN and TP release from the sediment of the reservoir

项目	初始浓度 / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	释放极值 / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	最大释放速率 / $\text{mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$	释放量 / $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$
TN	3.02	3.90	134.9	7.3
TP	0.05	0.25	6.0	0.3

1) 水库底层的缺、厌氧区面积按  $0.6 \text{ km}^2$  算,而释放时间按 90 d(6 月中旬~9 月中旬)计算

#### (2) 生物固氮作用

在贫营养的环境里,生物固氮作用会有助于新的氮素的输入<sup>[30]</sup>。参考孙寓姣等<sup>[31]</sup>对官厅水库生物固氮作用的研究结果,并结合石砭峪水库富营养程度,水库春、秋两季固氮速率取  $9.0 \text{ nmol} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$ ,其它时间由于水库富营养化程度较低,取  $2.0 \text{ nmol} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$ ,则年生物固氮量为  $0.7 \text{ kg}$ 。由于生物年固氮量相对较小,所以本研究忽略不计。

由表 6 可知,石砭峪水库 TN 和 TP 的年输入负荷分别为 203.1 t 和 4.2 t,其中外源污染占 90% 以上。

表 6 石砭峪水库营养盐来源

Table 6 Source of nutrients in Shibianyu Reservoir

项目	指标	TN		TP	
		负荷/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	贡献率/%	负荷/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	贡献率/%
外源	上游来水	184.0	90.6	3.1	73.9
	地表径流	8.4	4.1	0.5	11.9
	大气沉降	3.4	1.7	0.3	7.1
	小计	195.8	96.4	3.9	92.9
内源	底泥释放	7.3	3.6	0.3	7.1
	总计	203.1	100	4.2	100

### 2.2.3 水库输出

就峡谷型水源水库而言,水体中的 TN 和 TP 离开水库水体的途径主要是正常供水、水库泄洪、细菌脱氮作用以及随颗粒物的下沉而沉积。由于细菌脱氮量相对较小且量值较难确定,所以本研究不计。

#### (1) 放水

与入库水量的计算方法类似,根据水库的水文资料可计算得到年均出库水量为  $6359 \text{ 万 m}^3$ 。通过

水文资料计算得到的各年丰、平、枯水期各期的放水比例分别约为 53%、31% 和 16%。水库放水中的营养盐含量以汇流池计,据式(5)计算,结果如表 7。

$$\varphi = (c_{\text{丰}} \times 0.53 + c_{\text{平}} \times 0.31 + c_{\text{枯}} \times 0.16) \times Q_{\text{放水}} \times 0.01 \quad (5)$$

式中, $\varphi$  为水库放水的出库负荷 ( $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ );  $c_{\text{丰}}$ 、 $c_{\text{平}}$ 、 $c_{\text{枯}}$  为丰、平、枯水期对应的水库所放水体中的 TN 和 TP 质量浓度 ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ),见表 5;  $Q_{\text{放水}}$  为年水库年均放水流量 ( $\text{m}^3$ ); 0.01 为换算系数。

表 7 水库放水水体的各期营养盐浓度及输出量(2011 年 7 月~2012 年 12 月)

Table 7 Contents and output load of nutrients in the input water during different periods (Jul, 2011-Dec, 2012)

项目	丰水期		平水期		枯水期		合计/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$
	含量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	输入量/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	含量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	输入量/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	含量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	输入量/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	
TN	2.60	87.5	2.27	44.7	2.12	21.6	153.8
TP	0.06	1.9	0.04	0.9	0.02	0.2	3.0

## (2) 沉积

据测定,水库颗粒态氮磷的沉降主要发生在悬浮物含量较大的汛期,而其他时期的沉降量可忽略不计. 据近两年6~9月实测数据,这个时间段的TPN和TPP的含量各约为TN和TP的20%和30%,据式(6)估算出每年沉于库底的TN和TP的含量分别约为27.5 t和1.1 t.

$$N = W_{\text{汛期}} \times \eta \quad (6)$$

式中, $N$ 为水库每年的营养盐沉积量(t); $W_{\text{汛期}}$ 为丰水期输入水库的营养盐量(t),计算方法如式(7); $\eta$ 为颗粒态氮磷所占总氮和总磷的比例,分别为20%和30%.

$$W_{\text{汛期}} = \Phi_{\text{来水丰水期}} + \Phi_{\text{沉积物}} + \Phi_{\text{径流}}/3 + \Phi_{\text{大气}}/3 \quad (7)$$

式中, $\Phi_{\text{来水丰水期}}$ 和 $\Phi_{\text{沉积物}}$ 分别为上游来水在丰水期和沉积物输入水库的营养盐量(t); $\Phi_{\text{径流}}/3$ 和 $\Phi_{\text{大气}}/3$ 分别为丰水期地表径流、大气沉降和沉积物输入水库的营养盐量(t).

从表8可知,TN和TP年输出负荷分别为181.3 t和4.1 t.

表8 石砭峪水库营养盐输出

Table 8 Output of nutrients in Shibianyu Reservoir

输出项	TN		TP	
	负荷/t·a <sup>-1</sup>	贡献率/%	负荷/t·a <sup>-1</sup>	贡献率/%
放水	153.8	84.8	3.0	73.2
沉积	27.5	15.2	1.1	26.8
合计	181.3	100	4.1	100

## 3 讨论

虽然石砭峪水库的TN和TP外源输入负荷较大,但其中大部分会通过水库放水输出水库,所以对水库的影响不会持久. 而水库沉积物中的营养盐则会一直对水库供水构成威胁. 就石砭峪水库而言,每年沉于库底的TN和TP量分别高达27.5 t和1.1 t,而库区沉积物每年释放的TN和TP量分别为7.3 t和0.3 t,所以沉积物中的TN和TP的年净积累量分别为20.2 t和0.8 t. 所以就全年而来看,水库沉积物表现为蓄积作用,但是在适宜条件下,这些污染物会重新向水体释放,造成“二次污染”. 所以对峡谷型水源水库来说,内源污染的控制十分重要. 另外由于大幅度降低入库来水等外源污染负荷的可能性较小,所以在水库污染控制的众多因素中,内源污染控制是水库污染控制的关键.

## 4 结论

(1)石砭峪水库的TN和TP含量较大,季节变

化明显. 水库处于严重富营养化状态,藻细胞密度高达 $10\,000 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ .

(2)石砭峪水库TN的年输入、输出负荷分别为203.1 t和181.3 t,而TP的年输入、输出负荷分别是4.2 t和4.1 t. 外源污染负荷占输入总负荷的90%以上,而放水产生的输出负荷占总输出负荷的80%左右.

(3)每年分别有27.5 t的TN和1.1 t的TP沉积于库底,而库区沉积物模拟释放的TN和TP量分别为7.3 t和0.3 t. 沉积物中的TN和TP的年净积累量分别为20.2 t和0.8 t,全年内表现为蓄积作用.

(4)水库外源污染,特别是径流污染的控制难度较大,内源污染控制是峡谷型水源水库污染控制的关键.

## 参考文献:

- [1] 国家环境保护总局. 中国环境状况公报[R]. 2004-2008.
- [2] 孟碟,葛曦. 密云水库水体富营养化评价与防治[J]. 河北省科学院学报, 2011, 28(2): 53-57.
- [3] 邓焕广,张菊. 东昌湖水体富营养化评价及N、P平衡研究[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(8): 178-180.
- [4] 曹溪禄. 孤东水库水体富营养化评价及其生态控制研究[J]. 环境科学, 2011, 32(4): 990-994.
- [5] 曹承进,郑丙辉,张佳磊,等. 三峡水库支流大宁河冬、春季水华调查研究[J]. 环境科学, 2009, 30(12): 3471-3480.
- [6] 夏品华,林陶,李存雄,等. 贵州高原红枫湖水库季节性分层的水环境质量响应[J]. 中国环境科学, 2011, 31(9): 1477-1485.
- [7] 张锡辉. 水环境修复工程学原理与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 48-51.
- [8] 付春平,钟成华,邓春光. 水体富营养化成因分析[J]. 重庆建筑大学学报, 2005, 27(1): 128-131.
- [9] 刘臣炜,汪德耀. 湖泊富营养化内源污染的机理和控制技术研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(增刊): 814-818.
- [10] 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.
- [11] 黄廷林,章武首,柴蓓蓓. 大水深水库内源污染特征及控制技术[J]. 环境污染与防治, 2010, 32(3): 1-4.
- [12] 林国恩. 流溪河水库氮磷营养盐动态与收支分析[D]. 广州: 暨南大学, 2009.
- [13] 刘婷婷. 嘉陵江水体中碳、氮、磷季节变化及其输出西南大学[D]. 成都: 西南大学, 2009.
- [14] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 243-257.
- [15] 魏祥,同延安,乔丽,等. 陕西省不同生态区大气氮沉降量的初步估算[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(4): 795-800.
- [16] GB 3838-2002. 地表水环境质量标准[S].
- [17] Justic D, Rabalais N N, Tumer R E, et al. Changes in nutrient

- structure of river-dominated coastal waters; stoichiometric nutrient balance and its consequences [J]. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 1995, **40**(3): 339-356.
- [18] 杨东方, 张经, 陈豫, 等. 营养盐限制的唯一性因子探讨 [J]. *海洋科学*, 2001, **25**(12): 49-51.
- [19] 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.
- [20] 曹承进, 秦延文, 郑丙辉, 等. 三峡水库主要入库河流磷营养盐特征及其来源分析 [J]. *环境科学*, 2008, **29**(2): 310-315.
- [21] 蔡明. 渭河陕西段氮污染及控制规划研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2004.
- [22] 史志华, 张斌, 蔡崇法, 等. 汉江中下游农业面源污染动态监测信息 [J]. *遥感学报*, 2002, **6**(5): 382-386.
- [23] Twonsend A R, Braswell B H, Holland E A, *et al.* Spatial and temporal patterns in terrestrial carbon storage due to deposition of fossil fuel nitrogen [J]. *Ecological Applications*, 1996, **6**(3): 804-814.
- [24] 宋玉芝, 秦伯强, 杨龙元, 等. 大气湿沉降向太湖水生生态系统输送氮的初步估算 [J]. *湖泊科学*, 2005, **17**(3): 226-230.
- [25] Beverland I J, Crowther J M, Srinivas M S N, *et al.* The influence of meteorology and atmospheric transport patterns on the chemical composition of rainfall in South-east England [J]. *Atmospheric Environment*, 1998, **32**(6): 1039-1048.
- [26] 樊敏玲, 王雪梅, 王茜, 等. 珠江口横门大气氮、磷干湿沉降的初步研究 [J]. *热带海洋学报*, 2010, **29**(1): 51-56.
- [27] 陈能汪, 洪华生, 肖健, 等. 九龙江流域大气氮干沉降 [J]. *生态学报*, 2006, **26**(8): 2602-2607.
- [28] 王冠. 浅谈水库水温计算方法 [J]. *吉林水利*, 2007, **295**(1): 7-10.
- [29] 商立海, 李秋华, 邱华北, 等. 贵州红枫湖水体叶绿素 a 的分布与磷循环 [J]. *生态学杂志*, 2011, **30**(5): 1023-1030.
- [30] Ohlendieck U, Stühr A, Siegmund H. Nitrogen fixation by diazotrophic cyanobacteria in the Baltic Sea and transfer of the newly fixed nitrogen to picoplankton organisms [J]. *Journal of Marine Systems*, 2000, **25**(3-4): 213-219.
- [31] 孙寓姣, 陈程, 丁爱中, 等. 官厅水库生物固氮作用对水体富营养化的响应 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2011, **41**(4): 1179-1185.

## CONTENTS

PUF Passive Air Sampling of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Atmosphere of the Yangtze River Delta, China: Spatio-Temporal Distribution and Potential Sources .....	ZHANG Li-fei, YANG Wen-long, DONG Liang, <i>et al.</i> (3339)
Quantitative Analysis of Nitrate in Atmospheric Particulates PM <sub>2.5</sub> with Fourier Transform Infrared Spectroscopy .....	LIU Na, WEI Xiu-li, GAO Min-guang, <i>et al.</i> (3347)
Study on Contribution Factor to Atmospheric ·OH by O <sub>3</sub> , HONO, HCHO and H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> in Spring at Mangdang Mountain, Fujian Province .....	LIU Hao, WANG Hui-xiang (3352)
A Review on Current Situations of Steroid Estrogen in the Water System .....	DU Shao-ting, JIN Chong-wei, LIU Yue (3358)
A Study on the Veterinary Antibiotics Contamination in Groundwater of Jiaying .....	LÜ Xing, YU Wei-juan, LAN Ya-qiong, <i>et al.</i> (3368)
Contamination Characteristics of Short-Chain Chlorinated Paraffins in Edible Fish of Shanghai .....	JIANG Guo, CHEN Lai-guo, HE Qiu-sheng, <i>et al.</i> (3374)
Detection of Endotoxin Activity in Water Environment and Analysis of Influence Factors for TAL Assay .....	ZHANG Can, LIU Wen-jun, ZHANG Ming-lu, <i>et al.</i> (3381)
Cellular Response of Freshwater Green Algae to the Toxicity of Tetracycline Antibiotics .....	XU Dong-mei, WANG Yan-hua, RAO Gui-wei (3386)
Illumination's Effect on the Growth and Nitrate Reductase Activity of Typical Red-Tide Algae in the East China Sea .....	LI Hong-mei, SHI Xiao-yong, DING Yan-yan, <i>et al.</i> (3391)
Compare the Growth of <i>Enteromorpha prolifera</i> Under Different Nutrient Conditions .....	PANG Qiu-ting, LI Feng, LIU Xiang-qing, <i>et al.</i> (3398)
Phytoplankton Pigment Patterns and Community Structure in the Yangtze Estuary and Its Adjacent Areas .....	LAI Jun-xiang, YU Zhi-ming, SONG Xiu-xian, <i>et al.</i> (3405)
Genetic Diversity of Picoeukaryotic Phytoplankton in the Lakes Along the Middle-lower Reaches of the Yangtze River .....	LI Sheng-nan, SHI Xiao-li, XIE Wei-wei, <i>et al.</i> (3416)
Studies on Seasonal Variation and Sources of Nitrogen and Phosphorus in a Canyon Reservoir Used as Water Source .....	HUANG Ting-lin, QIN Chang-hai, LI Xuan (3423)
Characteristics of Sediment Phosphorus in the Jiulong River-Reservoir System and Its Ecological Significance .....	LU Ting, CHEN Neng-wang, CHEN Zhu-hong, <i>et al.</i> (3430)
Variation of Nitrogen During the High Suspended Sediments Concentration Water Supply in an Artificial Shallow Lake .....	CHEN You-yuan, SHEN Yu, YANG Shi-ying (3437)
Limestone and Pyrite-Limestone Constructed Wetlands for Treating River Water .....	ZHANG Jing, LI Rui-hua, LI Jie, <i>et al.</i> (3445)
Dynamics of Carbon, Nitrogen and Phosphorus Storage of Three Dominant Marsh Plants in Hangzhou Bay Coastal Wetland .....	SHAO Xue-xin, LI Wen-hua, WU Ming, <i>et al.</i> (3451)
Dissolved Organic Matter Release of <i>Zizania caduciflora</i> and <i>Phragmites australis</i> from Lake Dianchi .....	XIE Li, YANG Hao, QU Xiao-xia, <i>et al.</i> (3458)
Influence of Tap Water Treatment on Perfluorinated Compounds Residue in the Dissolved Phase .....	ZHANG Hong, CHEN Qing-wu, WANG Xin-xuan, <i>et al.</i> (3467)
Study on Chlorinated Disinfection Byproducts and the Relevant Health Risk in Tap Water of J City .....	LI Xiao-ling, LIU Rui, LAN Ya-qiong, <i>et al.</i> (3474)
Effect of the Change in Sulphate and Dissolved Oxygen Mass Concentration on Metal Release in Old Cast Iron Distribution Pipes .....	WU Yong-li, SHI Bao-you, SUN Hui-fang, <i>et al.</i> (3480)
Research on Low-level Hg(II) Removal from Water by the Heavy Metal Capturing Agent .....	HU Yun-jun, SHENG Tian-tian, XUE Xiao-qin, <i>et al.</i> (3486)
Coagulation Characteristics of Polyferric Chloride-Poly (Epiclorohydrin-Dimethylamine) Composite Flocculant for Simulated Water Treatment .....	LIU Xin-xin, YANG Zhong-lian, GAO Bao-yu, <i>et al.</i> (3493)
Microstructure Morphology and Flocculation Mechanism of the Decolorizing Flocculant Poly-aluminum(III)-magnesium(II)-sulfate .....	SANG Yi-min, CHANG Xue-hong, CHE Yue, <i>et al.</i> (3502)
Efficient Degradation of Tetrabromobisphenol A in Water by Co-doped BiFeO <sub>3</sub> .....	OUYANG Lei, DING Yao-bin, ZHU Li-hua, <i>et al.</i> (3507)
Preparation Bimetallic Heterogeneous Fenton-Like Catalyst as Sepiolite Supported and Its Surface Chemical Characterization .....	SU Cheng-yuan, LI Wei-guang, LIU Xing-zhe, <i>et al.</i> (3513)
Nitrite Denitrification Characteristics with Redox Mediator .....	ZHAO Li-jun, MA Zhi-yuan, GUO Yan-kai, <i>et al.</i> (3520)
Advanced Nitrogen Removal Using Innovative Denitrification Biofilter with Sustained-Release Carbon Source Material .....	TANG Lei, LI Peng, ZUO Jian-e, <i>et al.</i> (3526)
N <sub>2</sub> O Production in Nitrogen Removal by Micro-expansion of Granular Sludge .....	CHEN Li-li, GAO Da-wen (3532)
Sludge Dewaterability with Combined Conditioning Using Fenton's Reagent and CPAM .....	MA Jun-wei, LIU Jie-wei, CAO Rui, <i>et al.</i> (3538)
Kinetic Characteristics of High-rate ANAMMOX Granules .....	TANG Chong-jian, XIONG Lei, WANG Yun-yan, <i>et al.</i> (3544)
Monitoring Nitrogen Deposition on Temperate Grassland in Inner Mongolia .....	ZHANG Ju, KANG Rong-hua, ZHANG Bin, <i>et al.</i> (3552)
Non-Point Loads of Soluble Cadmium by <i>in situ</i> Field Experiment with Different Landuses, in Central Hunan Province Mining Area .....	LIU Xiao-li, ZENG Zhao-xia, CHEN Zhe, <i>et al.</i> (3557)
Heavy Metal Speciation and Stability in the Sediment of Lihu Lake .....	WANG Shu-hang, WANG Wen-wen, JIANG Xia, <i>et al.</i> (3562)
Analysis and Evaluation of Heavy Metals Along the Chaohe River in Miyun County .....	YU Yang, GAO Hong-chao, MA Jun-hua, <i>et al.</i> (3572)
Magnetic Properties of Topsoils in Typical Industrial Belt Along the Yellow River in Arid Regions in Northwest China and Their Environmental Significance .....	XU Shu-jing, ZHANG Ying, YU Ye, <i>et al.</i> (3578)
Study on Composite Stabilization of Arsenic (As) Contaminated Soil .....	WANG Hao, PAN Li-xiang, ZHANG Xiang-yu, <i>et al.</i> (3587)
Heavy Metal Contents and Enrichment Characteristics of Dominant Plants in a Lead-Zinc Tailings in Xiashuiwan of Hunan Province .....	HE Dong, QIU Bo, PENG Jin-hui, <i>et al.</i> (3595)
Comparison of Soil Fertility Among Open-pit Mine Reclaimed Lands in Antaibao Regenerated with Different Vegetation Types .....	WANG Xiang, LI Jin-chuan, YUE Jia-wei, <i>et al.</i> (3601)
Biodegradation of Triphenyltin and Its Effect on <i>Klebsiella pneumoniae</i> .....	YE Jin-shao, TIAN Yun, YIN Hua, <i>et al.</i> (3607)
Isolation and Degradation Characteristics of Dichloromethane-Degradation Bacterial Strain by <i>Methylobacterium rhodesianum</i> H13 .....	LIU Hong-xia, ZHU Run-ye, OUYANG Du-juan, <i>et al.</i> (3613)
Effect of Different Primers on Microbial Community of Activated Sludge .....	XU Ai-ling, WU Deng-deng, SONG Zhi-wen, <i>et al.</i> (3620)
Reaction of SO <sub>2</sub> over CaAl Mixed Oxides Derived from Hydrotalcites Samples .....	CAO Lin, WANG Hai-lin, XIE Qiang (3627)
Optimization for MSW Logistics of New Xicheng and New Dongcheng Districts in Beijing Based on the Maximum Capacity of Transfer Stations .....	YUAN Jing, LI Guo-xue, ZHANG Hong-yu, LUO Yi-minget <i>al.</i> (3633)
Application of Multiple Lines of Evidence Analysis Technology in the Assessment of Sites Contaminated by Heavy Metals .....	JIANG Lin, ZHONG Mao-sheng, ZHU Xiao-yong, <i>et al.</i> (3641)
Heavy Metals and Their Sources in Outdoor Settled Dusts in Different Function Areas of Cities .....	LI Xiao-yan, LIU Yan-qing (3648)
Study on Distribution Characteristics and Potential Ecological Risk of Soil Heavy Metals in the Yellow River Beach Region in Kaifeng City .....	ZHANG Peng-yang, QIN Ming-zhou, YAN Jiang-hong, <i>et al.</i> (3654)
Study on Pollution Evaluation of Heavy Metal in Surface Soil of the Original Site of Qingdao North Station .....	ZHU Lei, JIA Yong-gang, PAN Yu-ying (3663)
Distribution Characteristics and Ecological Risk of Pb in Soils at a Lead Battery Plant .....	ZHENG Li-bao, CHEN Wei-ping, JIAO Wei-tao, <i>et al.</i> (3669)
Effect of Lead on Soil Quality and Human Health Around a Lead Smeltery .....	ZHOU Xiao-yong, LEI Mei, YANG Jun, <i>et al.</i> (3675)
Distribution Characteristics of Lead in Different Particle Size Fractions of Surface Soil of a Lead-acid Battery Factory Contaminated Site .....	YUE Xi, SUN Ti-chang, HUANG Jin-lou (3679)
Research on the Application of <i>In-situ</i> Biological Stabilization Solidification Technology in Chromium Contaminated Site Management .....	ZHANG Jian-rong, LI Juan, XU Wei (3684)
Research on the Effect and Technique of Remediation for Multi-Metal Contaminated Tailing Soils .....	ZHU Guang-xu, GUO Qing-jun, YANG Jun-xing, <i>et al.</i> (3690)
Analysis of Washing Efficiency and Change in Lead Speciation in Lead-contaminated Soil of a Battery Factory .....	REN Bei, HUANG Jin-lou, MIAO Ming-sheng (3697)
Remediation Efficiency of Lead-Contaminated Soil at an Industrial Site by Ultrasonic-assisted Chemical Extraction .....	WANG Xin-jie, HUANG Jin-lou, LIU Zhi-qiang, <i>et al.</i> (3704)
Parameters Optimization and Cleaning Efficiency Evaluation of Attrition Scrubbing Remediation of Pb-Contaminated Soil .....	YANG Wen, HUANG Jin-lou, PENG Hui-qing, <i>et al.</i> (3709)
Adsorption of Cd <sup>2+</sup> on Biochar from Aqueous Solution .....	GUO Wen-juan, LIANG Xue-feng, LIN Da-song, <i>et al.</i> (3716)
Effect of Inorganic Amendments on the Stabilization of Heavy Metals in Contaminated Soils .....	CAO Meng-hua, ZHU Xi, LIU Huang-cheng, <i>et al.</i> (3722)

# 《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 汤鸿霄 陈吉宁 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)

2013年9月15日 34卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 9 Sep. 15, 2013

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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行