

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第9期

Vol.33 No.9

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

我国4个WMO/GAW本底站大气CH₄浓度及变化特征 方双喜,周凌晔,许林,姚波,刘立新,夏玲君,王红阳(2917)

我国东北地区大气降水稳定同位素特征及其水汽来源 李小飞,张明军,马潜,李亚举,王圣杰,汪宝龙(2924)

2010年广州亚运期间空气质量与污染气象条件分析 李婷苑,邓雪娇,范绍佳,吴兑,李菲,邓涛,谭浩波,蒋德海(2932)

厦门市冬春季灰霾期间大气PM₁₀中多环芳烃的污染特征及来源分析 钱冉冉,闫景明,吴水平,王新红(2939)

气溶胶OCEC切割点确定方法改进及应用 王莉华,董华斌,闫才青,曾立民,郑玫,张延君,刘久萌,Weber R J(2946)

松花江上游夹皮沟金矿土壤与大气汞污染特征 张刚,王宁,王媛,刘特,艾建超(2953)

河北农居环境颗粒态汞污染特征及健康评估研究 赵亚娟,龚巍巍,栾胜基(2960)

印刷电路板(PCB)厂挥发性有机物(VOCs)排放指示物筛选 马英歌(2967)

烹调油烟中挥发性有机物的排放初探 何万清,田刚,聂磊,曲松,李靖,周爱佳(2973)

生物滴滤塔降解甲苯废气长期运行生物膜相特性研究 胡俊,郑江玲,吴越新,张丽丽,陈建孟(2979)

分期布液生物滴滤床净化H₂S废气性能研究 刘春敬,李坚,刘佳,彭淑婧,李超,陈英,何洪(2987)

粉煤灰综合利用过程中汞的二次释放规律研究 孟阳,王书肖(2993)

太湖、巢湖水体总悬浮物浓度半分析反演模型构建及其适用性评价 刘忠华,李云梅,檀静,郭宇龙,周莉,刘阁(3000)

巢湖水质与流域农业投入的关联性研究 张燕,高翔,张洪(3009)

巢湖十五里河水花生生长区沉积物及间隙水中营养盐的基本特性 李如忠,李峰,周爱佳(3014)

巢湖沉积物中磷蓄积时空变化及人为污染定量评价 刘恩峰,杜臣昌,羊向东,沈吉(3024)

巢湖周边表土中有机质、全氮和全磷空间分布及其相关性 陈书琴,储昭升,胡社荣,刘俊,王长春,王曼(3031)

丹江口水库典型入库支流氮磷动态特征研究 雷沛,张洪,单保庆(3038)

水温分层对三峡水库香溪河库湾春季水华的影响 刘流,刘德富,肖尚斌,孔松,陈媛媛,方小凤(3046)

平水期和丰水期殷村港污染物浓度时空变异比较研究 杨晓英,罗兴章,郑正,方淑波(3051)

江苏西部湖泊沉积物营养盐赋存形态和释放潜力差异性分析 刘涛,胡志新,杨柳燕,肖琳,席北斗,许其功(3057)

太湖西岸湖滨带沉积物氮磷有机质分布及评价 甘树,卢少勇,秦普丰,金相灿,焦伟,王佩(3064)

南四湖流域种植业面源污染氮磷源解析研究 刘静,路风,杨延钊,徐娜,王田妮(3070)

珠江水体中有机物分布、组成及与消毒副产物生成的关系 何洪威,周达诚,王保强,梁艳红(3076)

东江流域典型乡镇饮用水源地重金属污染健康风险评价 王若师,许秋瑾,张娴,魏群山,颜昌宙(3083)

深圳茅洲河表层沉积物卤代多环芳烃污染研究 孙建林,倪宏刚,丁超,曾辉(3089)

福建罗源湾潮间带沉积物重金属含量空间分布及其环境质量影响 高文华,杜永芬,王丹丹,高抒(3097)

渤海湾大型底栖生物群落结构变化及原因探讨 蔡文倩,刘录三,乔飞,林尚璇,周娟(3104)

地下水污染防治区划体系构建研究 王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮(3110)

北京市平原区地下水污染防治区划不确定性分析 陆燕,何江涛,王俊杰,刘丽雅,张小亮(3117)

川东平行岭谷区典型岩溶含水系统中NO₃⁻的存储和运移 杨平恒,袁道先,任幼蓉,谢世友,贺秋芳,胡晓风(3124)

改性活性炭对水中PFOS的吸附去除研究 董锡臻,石宝友,解岳,王东升(3132)

水溶液中臭氧和溴离子的反应研究 俞潇婷,张家辉,潘循哲,张仁熙,侯惠奇(3139)

HPSEC-UV-TOC联用技术测定有机物相对分子质量分布 张晗,董秉直(3144)

不同有机基质诱发的水体黑臭及主要致臭物(VOSC_s)产生机制研究 卢信,冯紫艳,商景阁,范成新,邓建才(3152)

不同pH下纳米铁镍颗粒对生物降解苯酚的影响 况焯,周琰,王清萍,陈祖亮(3160)

多级微氧生物流化床预处理高浓度丙烯酸废水 李莎,郑盛之,宋玉栋,周岳溪,朱长军,刘淑玲,潘玲,蒲文晶(3167)

三级生物膜深度处理腈纶废水生化出水中的脱氮研究 徐少阳,蒋进元,周岳溪,崔俊涛,段妮妮(3172)

改性花生壳对水中镉的动态吸附研究 龙腾,易筱筠,党志(3177)

硫氰酸根在粒状镁铝复合氧化物上的吸附性能 王秀娟,王海增,孙宝维,韩文军(3182)

海水生物滤器氨氮沿程转化规律模型 罗荣强,侯沙沙,沈加正,陈珠,刘鹰(3189)

营养物质缺乏引起的好氧颗粒污泥膨胀及其恢复 张著,高大文,袁向娟,勾倩倩(3197)

生物表面活性剂强化污泥水解的研究 易欣,罗琨,杨麒,李小明,邓伟光,张植平(3202)

厌氧氨氧化菌的富集培养与分子鉴定 刘冬英,邱艳玲,袁宪正,师晓爽,郭荣波(3208)

阿特拉津降解菌株的分离、鉴定及降解特性研究 李绍峰,朱静,李铁晶(3214)

农业废物堆肥中高产漆酶新菌株的分离鉴定及酶学性质研究 任秀娟,范长征,鲁伦慧,王聪,曾光明(3220)

糖蜜酒精废水脱色微生物的筛选及鉴定 李必金,刘幽燕,贺锴,滕芳明,何熙璞,李青云(3228)

餐厨垃圾乳酸发酵过程中的微生物多样性分析 刘建国,汪群慧,王爽,孙晓红,仇天雷,李焕(3236)

共价功能化对单壁碳纳米管产生DNA损伤和活性氧的影响研究 吴仁人,陶雪琴,党志,李开明,蔡美芳(3241)

*Geobacter sulfurreducens*对汞的甲基化及其影响因素研究 邹嫣,司友斌,颜雪,陈艳(3247)

单一与复合胁迫下油菜对镉、铅的吸收效应 武文飞,南忠仁,王胜利,赵转军,周婷(3253)

金铜矿下游农户家养番鸭体内重金属分布特征及其评价 杭小帅,梁斌,王文林,王霞,李维新(3261)

环境激素氧氟菊酯对芫花臂尾轮虫繁殖的影响 董学兴,杨家新,吕林兰,赵卫红,於叶兵(3266)

地聚物固化生活垃圾焚烧飞灰固化体抗氧化硫杆菌腐蚀性能的研究 金漫彤,孙鑫,董海丽,金赞芳(3272)

焚烧飞灰高温过程中重金属的挥发及其氯化物特征 刘敬勇,孙水裕(3279)

城市废弃物处理温室气体排放研究:以厦门市为例 于洋,崔胜辉,林剑艺,李飞(3288)

NPEOs及其代谢产物在城市污水处理厂中的归趋分析 连静,刘俊新(3295)

《环境科学》征订启事(3037) 《环境科学》征稿简则(3151) 信息(2999,3030,3096,3227)

丹江口水库典型入库支流氮磷动态特征研究

雷沛^{1,2}, 张洪^{2*}, 单保庆²

(1. 武汉理工大学资源与环境工程学院, 武汉 430070; 2. 中国科学院生态环境研究中心环境水质学国家重点实验室, 北京 100085)

摘要: 重污染的神定河(接收城市污染)、中污染的大柏河(接收城镇污染)以及轻污染的五龙池(接收轻微农业面源污染)是丹江口水库 3 条典型入库支流. 在 2010 年 4 月~2011 年 4 月对这 3 条入库支流及其河口水质监测的基础上, 分析了水中氮、磷的动态变化特征, 并利用综合营养状态指数法对其营养状态进行评价. 结果表明, 神定河的 TN、TP 全年浓度均值分别为 $11.63 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.93 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 与五龙池(TN 为 $4.41 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, TP 为 $0.076 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)相比分别超过 3 倍和 12 倍; 大柏河的 TN、TP 全年浓度均值分别为 $4.79 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 略高于五龙池中 TN、TP 浓度均值. 3 条支流及其河口中营养盐的时间差异为 TN 浓度在丰水期低于枯水期, 而多数支流中 TP 浓度在枯水期低于丰水期. 神定河中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 占 TN 的质量分数高达 69%, 其它支流及河口中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 占 TN 的质量分数均低于 20%. $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度变化范围为 $1.3 \sim 2.7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, SRP 占 TP 的质量分数为 30%~45%. 神定河及其河口氮、磷营养元素比例关系研究表明神定河总体处于氮限制状态, 河口总体处于磷限制状态. 综合营养状态指数评价显示 3 条典型污染入库支流及其河口都处于富营养化状态, 轻污染的五龙池的入库河口(东库湾)处于轻度富营养化状态.

关键词: 丹江口水库; 入库支流; 库湾; 水质; 氮磷比; 富营养化

中图分类号: X131.2 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)09-3038-08

Dynamic Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in the Representative Input Tributaries of Danjiangkou Reservoir

LEI Pei^{1,2}, ZHANG Hong², SHAN Bao-qing²

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China; 2. State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: Three representative input tributaries of Danjiangkou Reservoir in the upper reach of Hanjiang River, the largest tributary of Yangtze River, were selected for annual water quality monitoring from April 2010 to April 2011, to analyze dynamic characteristics of nitrogen (N) and phosphorus (P) in the river mouth areas, and then to assess the states of nutrition by comprehensive trophic level index. The results showed that the annual average concentrations of total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) in Shendinghe River, receiving both industrial and domestic wastewater from Shiyan City, were $11.63 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and $0.93 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, which were 3 times and 12 times higher respectively comparing to that of Wulongchi stream that received little agricultural non-point source pollution. While for Dabaihe River, polluted by moderate agricultural non-point source pollution combining with waster water from a small town, had slightly higher TN and TP concentrations than that of Wulongchi stream. In temporal scale, TN concentrations during the flooding season were higher than those during the dry season, while the situation was opposite for TP. The mean mass fraction of $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{TN}$ was 69% in Shendinghe River, while 20% less than others. As for nitrate nitrogen ($\text{NO}_3^-\text{-N}$), it ranged from 1.3 to $2.7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and the mass fractions of SRP/TP varied from 30% to 45%. All of these three tributaries were in the state of eutrophication, and nutrition stoichiometry analysis revealed that Shendinghe River was in the state of nitrogen limitation, while the river mouth area stayed in phosphorus limitation.

Key words: Danjiangkou Reservoir; input tributaries; river mouth area; water quality; nitrogen to phosphorus ratio; eutrophication

随着我国社会经济快速增长,流域水资源短缺问题日益凸显,大量兴建的水利工程加大了对河流、水库的开发利用强度,河道水库化现象日益严重. 水库化河流的流动性较低、水动力交换条件较差,进入水库时水体中的营养物质在相对封闭的库湾不易稀释、扩散,可能会在库湾中累积而对水库水质造成威胁^[1,2].

丹江口水库是汉江上关键性的水利工程,水库

流域面积达 9.52 万 km^2 ^[3]. 2005 年南水北调中线工程开工建设后,丹江口大坝加高至 176.6 m,水库蓄水位抬高,导致水体流速变小、营养盐扩散与迁

收稿日期: 2011-11-18; 修订日期: 2012-03-12

基金项目: 水利部公益性行业科研专项项目(200901008, 201101001); 北京市教育委员会共建项目专项

作者简介: 雷沛(1989~),男,硕士研究生,主要研究方向为流域水污染过程控制, E-mail: leipei29@163.com

* 通讯联系人, E-mail: hongzhang@rcees.ac.cn

移速率减慢;同时水库服务区域土地利用类型丰富,工业废水、城市及村镇生活污水、农产品加工废水等持续排放到水库的支流中,这些都加大了支流水体营养盐的累积,使水库部分支流的富营养化程度进一步加重^[4].丹江口水库作为南水北调中线工程的水源区,其水质状况不仅是水库水污染以及生态环境问题,更直接关系到调水工程受水区水质的安全问题^[5].

虽然丹江口水库总体水质良好,符合《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) II类(饮用水源)标准,但部分支流的局部水域水质仍有超标现象^[6,7].研究丹江口水库不同类型污染源排放的典型入库支流主要营养盐的动态变化特征,对各支流的营养状态进行评价,对探讨丹江口水库水体状况的变化趋势、预防丹江口水库水质恶化以及合理利用库区流域的自然资源具有重要的意义.

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域概况

丹江口水库是20世纪50年代末国家兴建的综合开发和治理汉江流域的大型水利枢纽工程,分为湖北境内汉江库区和河南境内丹江库区,目前为亚洲库容最大的人工淡水湖.库区地处亚热带、雨量丰沛,多年平均降水量约为1 000 mm、多年平均入库水量为395亿 m^3 .南水北调中线工程建设后,丹江口大坝加高至176.6 m,正常蓄水位从157 m抬高到170 m,总库容将增至339.1亿 m^3 ,供水范围跨鄂、豫、冀、津、京五省市,每年可为北方送水130亿 m^3 以上^[8,9].

丹江口水库的入库支流众多,依据污染输入类型的不同,可将其入库支流分为3种典型污染类型:①重污染型,污染来源主要为城市工业废水和生活污水.如神定河:十堰市城区最大的污水接纳水体,据统计2010年排入神定河的废水量为2 577.3万t、氮氮的纳入量为580.6 t、近5年下八亩地监测点的水质评价结果均为劣V类.②中污染型,污染来源主要是城镇生活污水及村落分散型污水.如大柏河:为穿过习家店镇的河流,其自净能力弱、环境承载力大、水质污染较严重.③轻污染型或无污染型,污染来源为自然村落少量的生活污水和轻微的农业面源污染.如习家店镇五龙池和东库湾:两者所在区域居住人口均较少,五龙池接收轻微的农业面源污染,东库湾接收自然村落少量的生活污水,可分别选作河流与库湾的参比区进行对比研究.

1.2 采样点设置

为考察丹江口水库典型污染入库支流营养盐的变化特征,本研究一共设置了6个采样区(图1),A、B为十堰市神定河及入库河口,C、D为大柏河及入库河口,E为习家店镇五龙池,F为东库湾,为五龙池的入库河口.除F采样区为1个采样点外,其它采样区均沿水流方向设置3个采样点,共16个采样点.

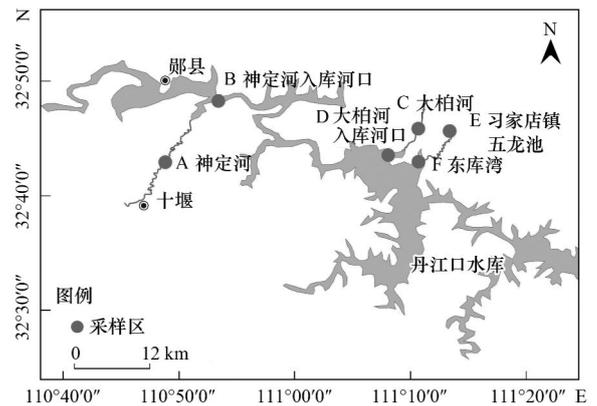


图1 丹江口水库各采样区位置分布示意

Fig. 1 Distribution of sampling area in Danjiangkou Reservoir

1.3 水样采集和分析

按照当地降雨、水文资料及实地监测对丹江口水库小流域河流流量进行划分:丰水期为6~10月(最大流量主要集中在7~8月),枯水期为12月~次年3月,其余时间为平水期.水样采集从2010年4月~2011年4月,采集频率为每月2次,在采样初期和雨量丰季(4~8月)每月加设2次采样,一共采集水样32次(2010年7月27日因库区连降大雨而未采集水样;2010年9月、10月各采样1次),其中在丰水期采样13次、在枯水期采样9次.

每次在距水面下约0.3 m处采集水样500 mL,采集后当天带回实验室.水样平均分为2份,一份原水样测总氮(TN)、总磷(TP);另一份将原水样经0.45 μm 混纤微孔滤膜过滤后测氨氮(NH_4^+-N)、硝氮($NO_3^- -N$)、活性磷酸盐(SRP)等溶解态氮、磷;水样预处理及分析方法按相应的国家标准方法^[10]执行.所有数据计算、分析与制图在Excel 2007、SPSS 16.0和Origin 8.0上完成.

2 结果与讨论

2.1 入库支流 TN、TP 动态特征

接收城市工业废水、生活污水的神定河及其入库河口 TN 在研究期间内均表现出明显的上升趋势[图2(a)、2(b)],2011年4月与2010年4月相比,

神定河及入库河口 TN 平均浓度分别增加 43%、54%。神定河入库河口 TN 增加的比例比神定河多 11%，说明神定河接收污染输入量超过河流因自净作用的污染减少量，如不采取有效治理措施河流水

质必然会进一步恶化。大柏河及其入库河口、五龙池、东库湾 TN 浓度均表现为季节性波动、无明显上升趋势[图 2(c)~2(f)]。各支流 TN 在 2011 年 1 月(处于枯水期)出现极大值。

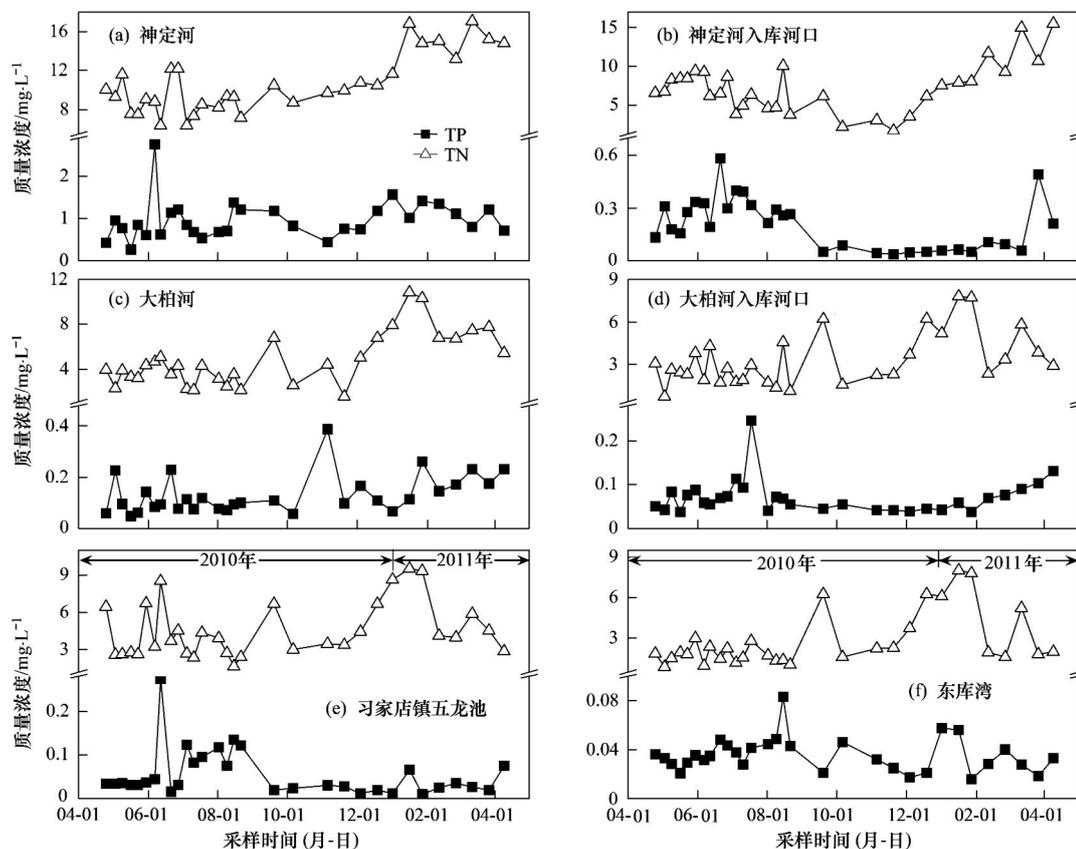


图 2 丹江口水库支流总氮、总磷浓度变化特征

Fig. 2 Characteristics of TN and TP in the tributaries of Danjiangkou Reservoir

各入库支流磷负荷输入比较稳定,TP 浓度变化相对较小,均表现为季节性波动,神定河 TP 浓度维持在 $1.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右,其它支流 TP 浓度基本低于 $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。各支流 TP 的极大值出现在 2010 年 7 月(处于丰水期),与 TN 浓度极值出现在枯水期这一情况相反。

Li 等^[11]2005~2006 年通过监测得到库心区水体中 DIN、DP 的年均值分别为 $1.633 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.004 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,这说明丹江口水库库区整体水质较好;但 3 条典型入库支流水体中的 N、P 均严重超过了库心区相应的 N、P 浓度(图 3),即表明入库支流营养盐的累积现象严重,入库支流虽有一定的自净作用但如若不采取保护措施随着污染的持续排放必将影响到库心区水体水质,从而使库区水体潜在富营养化趋势有加重趋势。

接收城市污染排放的重污染神定河 TN、TP 年均值分别高达 $11.63 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.93 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,与本研

究参比区接收轻微农业面源污染的五龙池(TN 为 $4.41 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,TP 为 $0.076 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)相比,分别超过 3 倍和 12 倍,可见城市排放的氮、磷对其纳污河流产生了严重污染。神定河入库河口 TN、TP 依然超过参比区东库湾水体(TN 为 $2.82 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,TP 为 $0.05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)2 倍和 4 倍。接收城镇生活污染排放的中污染大柏河 TN、TP 全年浓度均值分别为 $4.79 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,略高于五龙池中 TN、TP 浓度均值。TN、TP 含量从支流到河口分别降低 30%、40%,可体现出河流的自净作用对污染物的削减量大于城镇污染物的输入量。

分析入库支流在丰水期与枯水期的 TN、TP 浓度可以看出,所有支流 TN 浓度在丰水期低于枯水期[图 3(a)],多数支流(B、D、E、F)TP 浓度在枯水期低于丰水期[图 3(b)]。有研究结果表明,因降雨带来的高流量对营养盐浓度的影响有 2 种方式^[12],高流量的稀释作用使营养盐浓度降低;因强

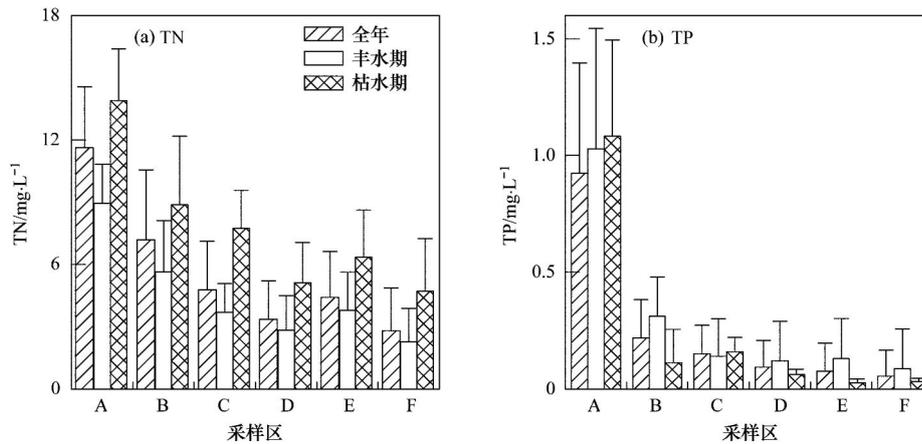


图3 总氮、总磷质量浓度均值统计

Fig. 3 Statistics of average concentrations of TN and TP in the tributaries

降水冲刷土壤中积累的营养盐进入水体,也可能冲击河底沉积物,使已经沉积的营养盐再度释放出来,从而导致营养盐浓度的升高. TN、TP 浓度在丰水期、枯水期表现出不同的特点说明 TN 浓度变化主要是受雨量的稀释作用,TP 浓度变化主要是受强降雨冲刷作用的影响. 同时,枯水期水质主要反映点源污染的情况,丰水期水质受面源污染的影响较大. 由降雨带来的高流量会使污染物稀释从而使 TN 浓度在丰水期较低,表明 TN 浓度受点源污染影响较大^[13]; 而 TP 浓度大多数为雨季大于枯季体现了 TP 浓度受农业、城镇径流以及家庭生活引起的面源污染的影响较大^[14, 15].

2.2 溶解态氮、磷动态特征

各支流 NH_4^+ -N、SRP 浓度变化趋势分别与 TN、TP 浓度变化趋势一致. 在神定河, NH_4^+ -N 和 SRP 浓度分别高达 $8.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 污染较为严重. 在大柏河及其入库河口,由于污染输入量减少, NH_4^+ -N 和 SRP 浓度与神定河相比有显著下降. 在参比区五龙池和东库湾, NH_4^+ -N 和 SRP 分别低于 $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.02 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 各支流水体 NO_3^- -N 浓度在 $1.3 \sim 2.7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间[图 4(b)].

城市和村镇排放的工业废水、生活污水中含有大量氮素,其主要形式是 NH_4^+ -N. 神定河 NH_4^+ -N 占 TN 的质量分数高达 69%, NH_4^+ -N 是这类重污染型水体氮源的主要输入形式. 在 C ~ F 污染较少的支流中, NH_4^+ -N 占 TN 的质量分数均低于 20% (2% ~ 19%), 主要由于这类水体接收的 TN 量较小而使得 NH_4^+ -N 输入量降低. 从采样区 A ~ D 来看,随着污染输入量的减少, NO_3^- -N 占 TN 的质量分数由 23% 增加到 54%, 东库湾 NO_3^- -N 占 TN 的质量分数为

50% 左右[图 4(e)]. 而对接收轻微农业面源污染的五龙池而言, NO_3^- -N 是这类轻污染型水体氮源的主要输入形式,其占 TN 的质量分数高达 65%. 对磷来说,SRP 是水体中生物可直接利用的磷形态,其含量水平直接反映水体营养状况,各支流 SRP 占 TP 的质量分数比较接近,变化范围为 30% ~ 45% [图 4(f)].

水量对各溶解态氮、磷的影响也不尽相同. 在污染输入较大的区域(A ~ C), NH_4^+ -N 浓度在丰水期明显小于枯水期,这与 TN 浓度变化规律保持一致,说明 NH_4^+ -N 是由大量点源排放带来的; 而在污染输入较小的区域(D ~ F),各支流 NH_4^+ -N 浓度在丰水期与枯水期无明显变化,其原因可能是这类接收污染负荷少的水体 NH_4^+ -N 输入量较少而没有表现出显著的浓度差异. NO_3^- -N 是水体中比较稳定的氮素形式,各支流水体 NO_3^- -N 浓度在丰水期与枯水期无明显变化,但占 TN 的质量分数在丰水期明显大于枯水期. SRP 浓度变化与 TP 浓度变化较为一致,在污染输入较大的区域(A ~ C),SRP 占 TP 的质量分数在丰水期与枯水期基本一致,但在污染输入较小的区域(D ~ F),SRP 占 TP 的质量分数则表现为枯水期大于丰水期,说明在这类支流 SRP 的输入是以面源形式输入的^[16].

2.3 河流与河口氮、磷营养盐比例关系研究

氮、磷相对丰度(TN/TP)很大程度上表征了受纳水体接收氮、磷输入负荷的比例关系,反映了营养物输入对水体的营养结构的影响. 由于不同浮游植物生长所需营养物比例关系各不相同,TN/TP 的季节变化会改变水中营养物限制性特征,成为调控浮游植物生长交替的关键因素之一^[17]. 淡水生态

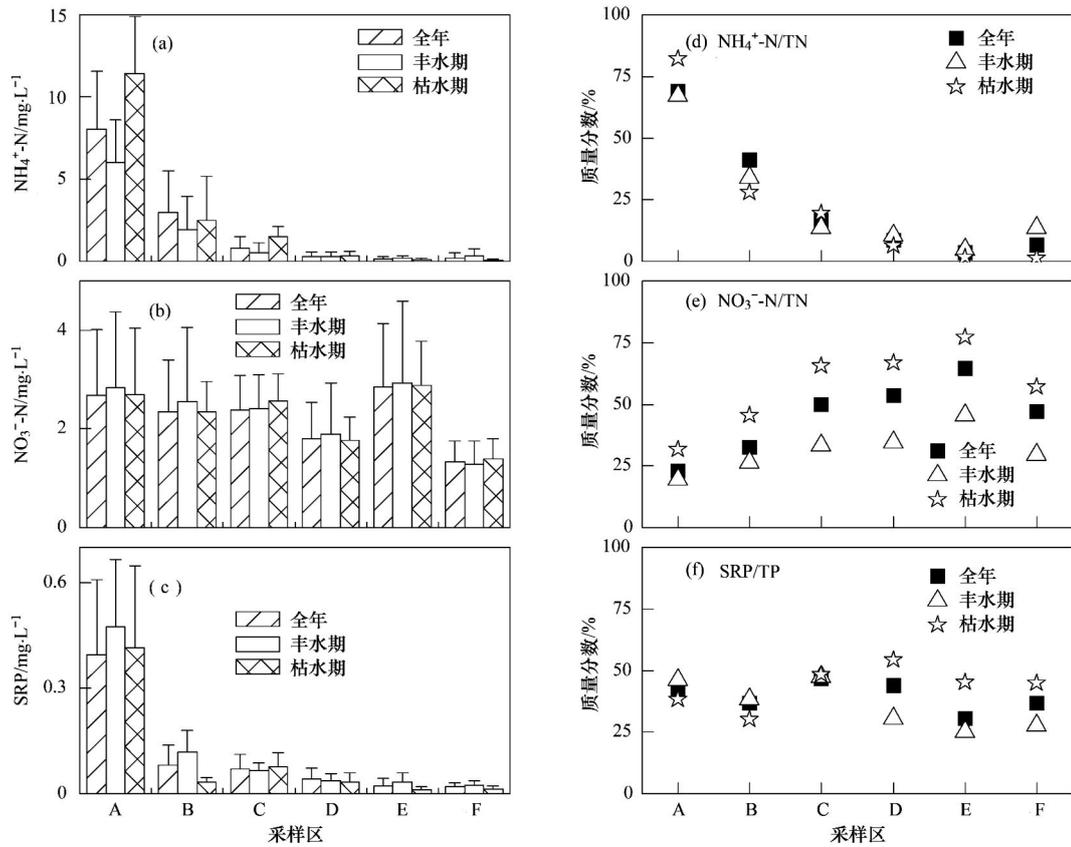


图 4 溶解态氮、磷均值及所占总氮、总磷质量分数

Fig. 4 Results of average concentrations of dissolved nitrogen, phosphorus and the mass fractions to total nutrition in the tributaries

系统营养盐比例关系的研究常常是针对湖泊、水库及库湾等缓流水体。接纳城市污染排放的重污染神定河是一条小型河流,由于降雨补给不足同时河上的筑坝蓄水工程导致河流流速低、流量小、水体交换能力较差、营养盐累积现象较为严重。选择神定河及其入库河口这一典型污染特征的河流作为营养盐比例关系的研究对象,通过探究水体中 TN/TP 变化过程可探讨此类重污染水体中营养物限制特性和

可能存在的问题,为以后的水体修复和生态治理提供依据。

根据 Guildford 等^[18]提出的水中营养物限制性分类标准, $TN/TP \geq 22.6$ (质量比,下同,摩尔比为 50) 为磷限制状态, $TN/TP \leq 9.0$ (摩尔比为 20) 为氮限制状态。表 1、图 5、图 6 提供了神定河和入库河口水体 TN/TP 平均比值、变化范围、动态变化和不同 TN/TP 水平下的样本数据的比例组成。

表 1 重污染河流与河口氮磷比均值统计¹⁾

Table 1 Statistics of TN/TP ratio in the river and its estuary which were heavy polluted

水体类型	项目	全年 (n=96)	丰水期 (n=39)	枯水期 (n=27)
神定河	均值 ± S. D.	12.836 ± 5.461	10.137 ± 3.542	11.732 ± 2.956
	变化范围	3.202 ~ 29.307	3.202 ~ 16.048	7.453 ~ 16.644
神定河入库河口	均值 ± S. D.	55.281 ± 43.085	29.315 ± 29.142	106.45 ± 42.337
	变化范围	9.485 ~ 163.129	9.485 ~ 121.557	21.721 ~ 163.129

1) n 为统计样本数

由河流及河口氮、磷营养元素比例关系可看出,神定河总体处于氮限制状态(氮磷比全年均值为 12.8),其氮磷比全年变化范围为 3.2 ~ 29.3 (表 1),仅有 6% 的样本数据处于磷限制状态;在丰水期、枯水期则无磷限制状态出现,但分别有 38%、25% 的样

本数据处于氮限制状态[图 6(a)]. 相对于河流来说,河口氮磷比在研究区间内的变化幅度非常大(图 5),其氮磷比全年变化范围为 9.4 ~ 163.1,但总体处于磷限制状态(氮磷比全年均值为 55.3),同时整个研究期间无氮限制状态出现,而在丰水期和枯水期出

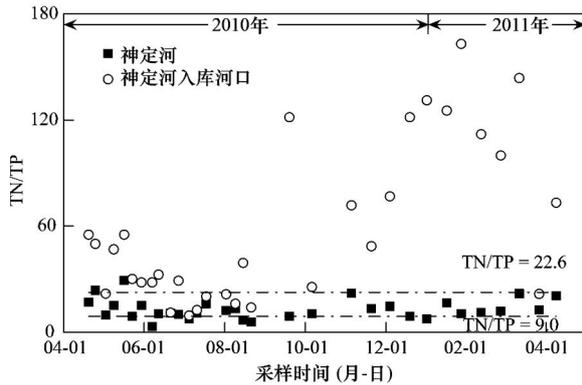


图5 河流和河口氮磷比的变化

Fig. 5 Results of TN/TP ratio in the river mouth area

现磷限制状态的比例高达 46%、87% [图 6(b)].

Downing 等^[19]认为, TN/TP 很大程度上表征了受纳水体接收氮、磷输入负荷的比例关系, 反映了营养物输入对水体的营养结构的影响, 营养水平随 TN/TP 的降低而提高, 这一点与本研究得到的结论一致(表 1、图 5). TN 的增加或减少是改变 TN/TP 的关键, 在营养物输入强度较大的情况下, TP 的相对丰度使 TN 成为影响河流营养结构特点的主要因素, 该系统有可能通过自身的生物固氮作用刺激 TN 含量的增加, 调节 TN/TP 以削减相对过量的 TP^[20]. Smith^[21]也认为, 在 $TN/TP \leq 22.6$ 是固氮型蓝藻占优势的主要标志. 神定河接收大量城市污染氮源排放, TN 维持在较高水平(年均值为 $11.63 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 虽然研究期间内河流总体表现出氮限制状态, 但磷限制状态的存在表明营养物限制状态交替的情况可能存在, 并有可能对浮游植物生长和群落演替产生影响.

从河流到河口, 由于河流的自净作用水体中 TN 和 TP 分别削减了 33%、76% (图 3), 使河流 TN/TP 值(12.8)小于河口 TN/TP 值(55.3), TP 相对丰度过多下降使河流的氮限制状态到河口表现出完全的磷限制状态, 这一状态在东库湾也得到了体现, 这表明在污染输入相对较少的水体中, 磷是限制性的营养元素. 虽然在研究期间内, 河口总体表现出完全的磷限制状态, 但随着污染负荷的持续加大, 一些磷类营养盐较容易在流速缓慢的河口沉积并在适应环境条件下向上覆水释放磷, 这会改变河口的营养状态, 使这类磷限制状态水体也依然存在富营养化的可能^[17, 22].

2.4 入库支流营养状态评价

目前我国湖泊、水库和河流水体富营养化评价的基本方法主要有卡尔森营养状态指数、修正的营养状态指数、综合营养状态指数、营养度指数法和评分法等^[23]. 本研究选取综合营养状态指数法(TLI)来评价丹江口水库入库支流的营养化状态. 该方法采用 0~100 一系列连续数字对水体营养状态进行分级, 分级方法见表 2.

在同一营养状态下, 指数值越高, 其营养程度越重. 本研究选取 TP 和 TN 作为评价因子, 其各自影响权重及具体计算方法见文献^[24].

可以看出, 3 条典型入库支流都处于富营养化状态(图 7), 其中神定河、神定河入库河口及大柏河处于重度富营养化状态(TLI 值分别为 93.8、78.6、72.2), 大柏河入库河口和参比区五龙池处于中度富营养化状态(TLI 值分别为 65.2、65.7), 参比区东库湾处于轻度富营养化状态(TLI 值为 59.4).

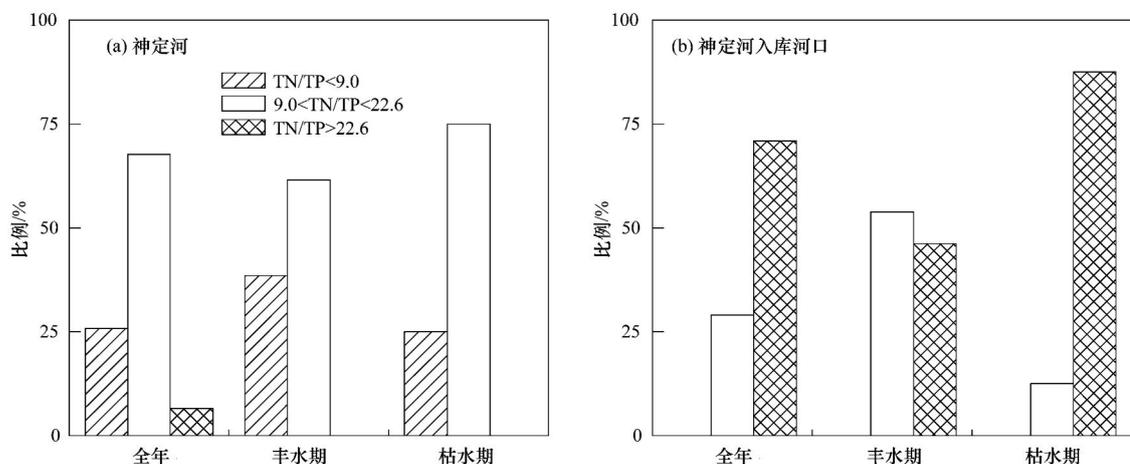


图6 河流和河口不同氮磷比范围样本数据所占比例

Fig. 6 Proportion of data from different ranges of TN/TP ratio in the river mouth area

表 2 富营养化程度评价标准

Table 2 Criteria of eutrophication assessment

营养程度	贫营养	中营养	富营养	轻度富营养	中度富营养	重度富营养
评分	TLI < 30	30 ≤ TLI ≤ 50	TLI > 50	50 < TLI ≤ 60	60 < TLI ≤ 70	TLI > 70

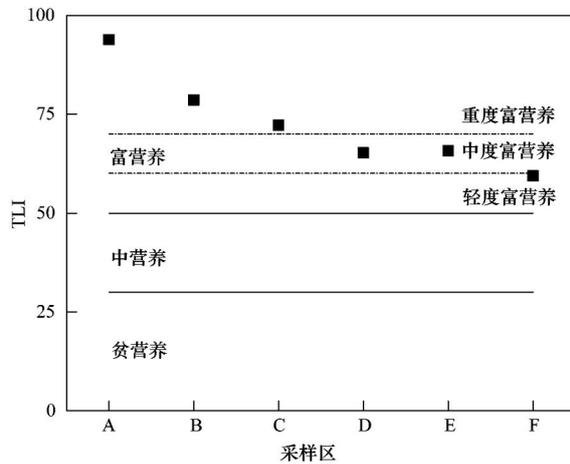


图 7 各支流营养化状态评价

Fig. 7 Assessment of nutrition states of the tributaries

研究期间丹江口水库 3 条入库支流 TN、TP 平均质量浓度均远超过国际上认可的富营养化的临界浓度: TN 为 $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, TP 为 $0.02 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[25], 这表明氮、磷等营养盐完全能满足水体中藻类生长的需要, 一旦温度、水动力等其它条件合适, 藻类可能会快速生长与繁殖, 从而影响水体正常功能的发挥^[26]. 参比区东库湾虽处于轻度富营养化, 但随着社会经济快速发展, 小型支流(如神定河和大柏河)持续接收城市和城镇排放的污水, 大量营养物质将以较高速率输入到水体, 对于丹江口水库这个相对封闭的水库来说, 如不采取有效的控制措施库区很有可能朝着富营养化的方向发展.

3 结论

(1) 重污染的神定河及其入库河口 TN 在研究期间内分别有明显上升趋势, 其它入库支流 TN 表现为季节性的波动; 各支流 TP 浓度变化相对较小.

(2) 重污染的神定河 TN、TP 浓度年均值分别为 $11.63 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.93 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 与参比区五龙池 (TN 为 $4.41 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, TP 为 $0.076 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 相比分别超过 3 倍和 12 倍; 中污染的大柏河 TN、TP 全年浓度均值分别为 $4.79 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 略高于五龙池中 TN、TP 浓度均值.

(3) TN 浓度在丰水期低于枯水期, 多数支流 TP 浓度在枯水期低于丰水期, 说明 TN 主要以点源的

方式进入水体, 而 TP 主要以面源的方式进入水体.

(4) 神定河 NH_4^+-N 占 TN 的质量分数高达 69%, 其它水体 NH_4^+-N 占 TN 的质量分数均低于 20%; 各支流 NO_3^--N 浓度变化范围为 $1.3 \sim 2.7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, SRP 占 TP 的质量分数为 30% ~ 45%.

(5) 河流与河口的氮、磷营养盐比例关系研究表明: 神定河水体中氮磷比全年均值为 12.8, 总体处于氮限制状态; 神定河入库河口氮磷比变化幅度大, 河口氮磷比全年均值为 55.3, 总体处于磷限制状态.

(6) 综合营养状态指数表明: 3 条典型污染入库支流都处于富营养化状态, 轻污染的东库湾处于轻度富营养化状态.

参考文献:

- [1] 张晟, 李崇明, 付永川, 等. 三峡水库成库后支流库湾营养状态及营养盐输出[J]. 环境科学, 2008, 29(1): 7-12.
- [2] 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.
- [3] 章厚玉, 林云发, 杨德安, 等. 丹江口水库汉江干流库区淤积分析[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(9): 1-5.
- [4] 汤显强, 杨文俊, 尹炜, 等. 丹江口水库水体富营养化生态修复对策初探[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(增刊): 165-171.
- [5] 谭香, 夏小铃, 程晓莉, 等. 丹江口水库浮游植物群落时空动态及其多样性指数[J]. 环境科学, 2011, 32(10): 2875-2882.
- [6] 姜世英, 韩鹏, 贾振邦, 等. 南水北调中线丹江口库区农业面源污染 PSR 评价与基于 GIS 的空间特征分析[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(11): 2153-2162.
- [7] 周裕红, 王峰, 左秋云. 丹江口水库水环境质量影响因素的探讨[J]. 水利科技与经济, 2009, 15(10): 847-849.
- [8] 李思悦, 谭香, 徐志芳, 等. 湖北丹江口水库主要离子化学季节变化及离子来源分析[J]. 环境科学, 2008, 29(12): 3353-3359.
- [9] 王文林, 周瑞云, 成庆利. 丹江口水库水体主要营养盐含量变化特征[J]. 海洋湖沼通报, 2008, (2): 123-129.
- [10] 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.
- [11] Li S Y, Cheng X L, Xu Z F, et al. Spatial and temporal patterns of the water quality in the Danjiangkou Reservoir, China[J]. Hydrological Sciences Journal, 2009, 54(1): 124-134.
- [12] 李凤清, 叶麟, 刘瑞秋, 等. 三峡水库香溪河库湾主要营养盐的入库动态[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2073-2079.
- [13] Edwards A C, Withers P J A. Transport and delivery of suspended solids, nitrogen and phosphorus from various sources

- to freshwaters in the UK[J]. *Journal of Hydrology*, 2008, **350** (3-4): 144-153.
- [14] Duan S W, Liang T, Zhang S, *et al.* Seasonal changes in nitrogen and phosphorus transport in the lower Changjiang River before the construction of the Three Gorges Dam[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2008, **79**(2): 239-250.
- [15] Laznik M, Stålnacke P, Grimvall A, *et al.* Riverine input of nutrients to the Gulf of Riga-temporal and spatial variation[J]. *Journal of Marine Systems*, 1999, **23**(1-3): 11-25.
- [16] Hopkinson C S Jr, Giblin A E, Tucker J. Benthic metabolism and nutrient regeneration on the continental shelf of Eastern Massachusetts, USA[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2001, **224**(2523): 1-19.
- [17] 李哲, 郭劲松, 方芳, 等. 三峡水库小江回水区不同 TN/TP 水平下氮素形态分布和循环特点[J]. *湖泊科学*, 2009, **21** (4): 509-517.
- [18] Guildford S J, Hecky R E. Total nitrogen, total phosphorus, and nutrient limitation in lakes and oceans: is there a common relationship? [J]. *Limnology & Oceanography*, 2000, **45**(6): 1213-1223.
- [19] Downing J A, Mcauley E. The nitrogen: phosphorus relationship in lakes[J]. *Limnology & Oceanography*, 1992, **37**(5): 936-945.
- [20] Havens K E, James T R, East T L, *et al.* N:P ratios, light limitation, and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution [J]. *Environmental Pollution*, 2003, **122**(3): 379-390.
- [21] Smith V H. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton[J]. *Science*, 1983, **221** (4611): 669-671.
- [22] Zhou M J, Shen Z L, Yu R C. Responses of a coastal phytoplankton community to increased nutrient input from the Changjiang (Yangtze) River[J]. *Continental Shelf Research*, 2008, **28**(12): 1483-1489.
- [23] 荆红卫, 华蕾, 孙成华, 等. 北京城市湖泊富营养化评价与分析[J]. *湖泊科学*, 2008, **20**(3): 357-363.
- [24] 何德进, 邢友华, 姜瑞雪, 等. 东平湖水体中氮磷的分布特征及其富营养化评价[J]. *环境科学与技术*, 2010, **33**(8): 45-48.
- [25] 罗固源, 卜发平, 许晓毅, 等. 三峡库区临江河回水区总氮和总磷的动态特征[J]. *土木建筑与环境工程*, 2009, **31** (5): 106-111.
- [26] 高永霞, 朱广伟, 贺冉冉, 等. 天目湖水质演变及富营养化状况研究[J]. *环境科学*, 2009, **30**(3): 673-679.

CONTENTS

CH ₄ Concentrations and the Variation Characteristics at the Four WMO/GAW Background Stations in China	FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, XU Lin, <i>et al.</i> (2917)
Characteristics of Stable Isotopes in Precipitation over Northeast China and Its Water Vapor Sources	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, MA Qian, <i>et al.</i> (2924)
Study on Air Quality and Pollution Meteorology Conditions of Guangzhou During the 2010 Asian Games	LI Ting-yuan, DENG Xue-jiao, FAN Shao-jia, <i>et al.</i> (2932)
Characteristics and Sources of PM ₁₀ -bound PAHs During Haze Period in Winter-Spring of Xiamen	QIAN Ran-ran, YAN Jing-ming, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (2939)
Improvement and Application of the Method for Determination of OCEC Split	WANG Li-hua, DONG Hua-bin, YAN Cai-qing, <i>et al.</i> (2946)
Characteristics of Mercury Pollution in Soil and Atmosphere in Songhua River Upstream Jia-pi-gou Gold Mining Area	ZHANG Gang, WANG Ning, WANG Yuan, <i>et al.</i> (2953)
Pollution Characteristics and Health Assessment of Particulate Mercury in Hebei Rural Households	ZHAO Ya-juan, GONG Wei-wei, LUAN Sheng-ji (2960)
Composition and Characteristics of Volatile Organic Chemicals Emission from Printed Circuit Board Factories	MA Ying-ge (2967)
Preliminary Study Concerning Emissions of the Volatile Organic Compounds from Cooking Oils	HE Wan-qing, TIAN Gang, NIE Lei, <i>et al.</i> (2973)
Characteristics of Biofilm Phase During the Long-term Degradation of a Toluene-contaminated Gas Stream Using BTF	HU Jun, ZHENG Jiang-ling, WU Yue-xin, <i>et al.</i> (2979)
Performance of Cross Flow Trickling Filter for H ₂ S Gas Treatment	LIU Chun-jing, LI Jian, LIU Jia, <i>et al.</i> (2987)
Study on Mercury Re-emissions During Fly Ash Utilization	MENG Yang, WANG Shu-xiao (2993)
Construction of Semi-analytical Model for Inversing Total Suspended Matter in Lake Taihu and Chaohu and Assessment of Its Applicability	LIU Zhong-hua, LI Yun-mei, TAN Jing, <i>et al.</i> (3000)
Association Study Between Water Quality of Chaohu Lake and Resources Input in Agriculture of Basin	ZHANG Yan, GAO Xiang, ZHANG Hong (3009)
Sediment and Pore Water Nutrient Characteristics in Growing Zones of <i>Alternanthera philoxeroides</i> in the Shiwuli River, Chaohu Lake	LI Ru-zhong, LI Feng, ZHOU Ai-jia (3014)
Enrichment Characteristic of Phosphorus in Surface and Core Sediments of Chaohu Lake and the Pollution Quantification	LIU En-feng, DU Chen-chang, YANG Xiang-dong, <i>et al.</i> (3024)
Spatial Distribution Characteristics and Correlation Analysis of Organic Matter, Total Nitrogen and Total Phosphorus in Topsoil Around Chaohu Lake	CHEN Shu-qin, CHU Zhao-sheng, HU She-rong, <i>et al.</i> (3031)
Dynamic Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in the Representative Input Tributaries of Danjiangkou Reservoir	LEI Pei, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing (3038)
Effects of Thermal Stratification on Spring Blooms in Xiangxi Bay of the Three Gorges Reservoir	LIU Liu, LIU De-fu, XIAO Shang-bin, <i>et al.</i> (3046)
Explore the Spatial and Temporal Patterns of Water Pollution in the Yincungang Canal of the Lake Taihu Basin, China	YANG Xiao-ying, LUO Xing-zhang, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (3051)
Analysis on the Forms and Release Potential of Nutrients in Sediments from Lakes in the West Jiangsu Province	LIU Tao, HU Zhi-xin, YANG Liu-yan, <i>et al.</i> (3057)
Spatial Distribution and Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Surface Sediments from Western Lakeside Belt of Lake Taihu	GAN Shu, LU Shao-yong, QIN Pu-feng, <i>et al.</i> (3064)
Source Apportionment of Nitrogen and Phosphorus from Cropping Non-point Source Pollution in Nansi Lake Basin	LIU Jing, LU Feng, YANG Yan-zhao, <i>et al.</i> (3070)
Relationship Between Dissolved Organic Carbon and DBP in the Pearl River Water	HE Hong-wei, ZHOU Da-cheng, WANG Bao-qiang, <i>et al.</i> (3076)
Health Risk Assessment of Heavy Metals in Typical Township Water Sources in Dongjiang River Basin	WANG Ruo-shi, XU Qiu-jin, ZHANG Xian, <i>et al.</i> (3083)
Halogenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediments of Maozhou River, Shenzhen	SUN Jian-lin, NI Hong-gang, DING Chao, <i>et al.</i> (3089)
Distribution Patterns of Heavy Metals in Surficial Sediment and Their Influence on the Environment Quality of the Intertidal Flat of Luoyuan Bay, Fujian Coast	GAO Wen-hua, DU Yong-fen, WANG Dan-dan, <i>et al.</i> (3097)
Study on the Changes of Macrobenthos Communities and Their Causes in Bohai Bay	CAI Wen-qian, LIU Lu-san, QIAO Fei, <i>et al.</i> (3104)
Construction of Groundwater Contamination Prevention Mapping System	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (3110)
Uncertainty Analysis of Groundwater Protection and Control Zoning in Beijing Plain	LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, <i>et al.</i> (3117)
Nitrate Storage and Transport Within a Typical Karst Aquifer System in the Paralleled Ridge-valley of East Sichuan	YANG Ping-heng, YUAN Dao-xian, REN You-rong, <i>et al.</i> (3124)
Adsorption of Perfluorooctanesulfonate (PFOS) onto Modified Activated Carbons	TONG Xi-zhen, SHI Bao-you, XIE Yue, <i>et al.</i> (3132)
Investigation of the Oxidation Reaction of O ₃ with Bromide Ion in Aqueous Solution	YU Xiao-ting, ZHANG Jia-hui, PAN Xun-xi, <i>et al.</i> (3139)
Determination of the Distribution of Relative Molecular Mass of Organic Matter by High Pressure Size Exclusion Chromatography with UV and TOC Detectors	ZHANG Han, DONG Bing-zhi (3144)
Black Water Bloom Induced by Different Types of Organic Matters and Forming Mechanisms of Major Odorous Compounds	LU Xin, FENG Zi-yan, SHANG Jing-ge, <i>et al.</i> (3152)
Effect of Fe and Fe/Ni Nanoparticles on the Biodegradation of Phenol by BFN at Different pH Values	KUANG Ye, ZHOU Yan, WANG Qing-ping, <i>et al.</i> (3160)
Pretreatment of High-Concentration Acrylic Acid Wastewater by the Multi-Stage Microaerobic Biological Fluidized Bed Reactor	LI Sha, ZHENG Sheng-zhi, SONG Yu-dong, <i>et al.</i> (3167)
Denitrification on Secondary Effluent of Acrylic Fiber Wastewater by Tri-Stage Biofilm Advanced Reactor	XU Shao-yang, JIANG Jin-yuan, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (3172)
Dynamic Adsorption of Cadmium (II) in Water on Modified Peanut Shells	LONG Teng, YI Xiao-yun, DANG Zhi (3177)
Adsorption Properties of Thiocyanate Anion on Granular Mg/Al Mixed Oxides	WANG Xiu-juan, WANG Hai-zeng, SUN Bao-wei, <i>et al.</i> (3182)
Model of Regularity of Ammonia Transformation Along Marine Biological Aerated Filter	LUO Rong-qiang, HOU Sha-sha, SHEN Jia-zheng, <i>et al.</i> (3189)
Aerobic Granular Sludge Bulking Due to the Lack of Nutrient and Its Recovery	ZHANG Zhu, GAO Da-wen, YUAN Xiang-juan, <i>et al.</i> (3197)
Enhanced Hydrolysis of Waste Activated Sludge by Biosurfactant	YI Xin, LUO Kun, YANG Qi, <i>et al.</i> (3202)
Enrichment and Identification of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria	LIU Dong-ying, QIU Yan-ling, YUAN Xian-zheng, <i>et al.</i> (3208)
Isolation, Identification and Characterization of an Atrazine Degrading Bacterium	LI Shao-feng, ZHU Jing, LI Tie-jing (3214)
Isolation, Identification and Enzymological Characterization of a New Fungal with High Laccase Production from Agricultural Waste Composting	REN Xiu-juan, FAN Chang-zheng, LU Lun-hui, <i>et al.</i> (3220)
Screening and Identification of Microorganisms for Decolorization of Molasses Spent Wash	LI Bi-jin, LIU You-yan, HE Kai, <i>et al.</i> (3228)
Analysis of Microbial Community Structure in Lactic Acid Fermentation from Kitchen Waste	LIU Jian-guo, WANG Qun-hui, WANG Shuang, <i>et al.</i> (3236)
Effect of Covalent Functionalization on DNA Cleavage Activity and ROS Formation of Single-Walled Carbon Nanotubes	WU Ren-ren, TAO Xue-Qin, DANG Zhi, <i>et al.</i> (3241)
Research on Mercury Methylation by <i>Geobacter sulfurreducens</i> and Its Influencing Factors	ZOU Yan, SI You-bin, YAN Xue, <i>et al.</i> (3247)
Uptake Effect of Cd and Pb by Rape Under Single Cd/Pb and Cd-Pb Combined Stress	WU Wen-fei, NAN Zhong-ren, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (3253)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Farming Domestic Muscovy Duck Originated from Au/Cu Mining and Smelting Activities	HANG Xiao-shuai, LIANG Bin, WANG Wen-lin, <i>et al.</i> (3261)
Effects of the Environmental Hormone Cypermethrin on the Reproduction of <i>Brachionus calyciflorus</i>	DONG Xue-xing, YANG Jia-xin, LÜ Lin-lan, <i>et al.</i> (3266)
Research on Anti-Corrosion of <i>Thiobacillus</i> for the Geopolymer Solidification MSWI Fly Ash	JIN Man-tong, SUN Xin, DONG Hai-li, <i>et al.</i> (3272)
Chlorination Transformation and Volatilization of Heavy Metals in Fly Ash from the Incineration During the Disposal Process with Higher Temperature	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu (3279)
Study on Greenhouse Gas Emissions from Urban Waste Disposal System; A Case Study in Xiamen	YU Yang, CUI Sheng-hui, LIN Jian-yi, <i>et al.</i> (3288)
Fate Analysis of NPEOs and Their Metabolites in Municipal Wastewater Plants	LIAN Jing, LIU Jun-xin (3295)

《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)

2012年9月15日 33卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 9 Sep. 15, 2012

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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. com
订 购 处	全国各地邮局	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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人