

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第11期

Vol.33 No.11

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

京津冀与长三角区域大气 NO₂ 污染特征 王英, 李令军, 刘阳 (3685)

2008~2011年夏季京津冀区域背景大气污染变化分析 杨俊益, 辛金元, 吉东生, 朱彬 (3693)

沧州市大气污染特征观测研究 王永宏, 胡波, 王跃思, 刘伟, 张武 (3705)

华北工业城市降水中金属元素污染特征及来源 李月梅, 潘月鹏, 王跃思, 王英锋, 李杏茹 (3712)

广州市交通主干道空气中苯系物的测量 叶丛雷, 谢品华, 秦敏, 凌六一, 郑尼娜, 刘文彬, 黄祖照 (3718)

基于实时交通信息的道路机动车动态排放清单模拟研究 黄成, 刘娟, 陈长虹, 张健, 刘登国, 朱景瑜, 黄伟明, 巢渊 (3725)

柴油轿车燃用煤基 F-T 合成油的排放特性 胡志远, 程亮, 谭丕强, 楼狄明 (3733)

九龙江口滨海湿地生源要素空间分布特征 余小青, 杨军, 刘乐冕, 田原, 余正, 王昌付 (3739)

南四湖水体氮、磷营养盐时空分布特征及营养状态评价 舒凤月, 刘玉配, 赵颖, 吴艳鹏, 李爱华 (3748)

天目湖流域湿地对氮磷输出影响研究 李兆富, 刘红玉, 李恒鹏 (3753)

北京市新建城区不透水地表径流 N、P 输出形态特征研究 李立青, 吕书丛, 朱仁肖, 刘泽权, 单保庆 (3760)

云阳宗海湖的分布与来源 张玉玺, 向小平, 张英, 陈玺, 刘景涛, 王金翠, 张媛静, 孙继朝 (3768)

南方某城市地表水体中粪源性污染指示微生物的分布特征研究 孙傅, 沙婧, 刘彦华 (3778)

三峡库区大宁河藻细胞昼夜垂直迁移研究 张永生, 郑丙辉, 姜霞, 郑浩, 钟娜, 陈春宵 (3787)

江淮农村生态型排水系统构建及截污作用研究 单保庆, 李楠, 唐文忠 (3797)

人工湿地植物床-沟壕系统水质净化效果 汪仲琼, 张荣斌, 陈庆华, 魏宏斌, 王为东 (3804)

潜流人工湿地演变对废水中有机物、氮及磷去除的影响 魏泽军, 谢建平, 黄玉明 (3812)

人工湿地处理含盐生活污水的特性研究 高峰, 杨朝晖, 李晨, 金卫红, 邓一兵 (3820)

催化湿式氧化法降解水中的 β-萘酚 刘杰, 于超英, 赵培庆, 陈革新 (3826)

ZVI/EDDS/Air 体系降解水中 2,4-二氯酚的研究 孙倩, 周海燕, 曹梦华, 吴琳娜, 王琳玲, 陈静, 陆晓华 (3833)

微波改性 MWNTs/TiO₂ 复合材料对 1,2,3-三氯苯的光催化降解研究 施周, 张茜, 张伟, 徐舜开, 张骅 (3840)

腐殖酸对生物炭去除水中 Cr(VI) 的影响机制研究 丁文川, 田秀美, 王定勇, 曾晓岚, 徐茜, 陈健康, 艾小雨 (3847)

臭氧氧化-活性污泥法处理含 PVA 工业废水的试验研究 邢晓琼, 黄程兰, 刘敏, 陈滢 (3854)

复合底物对颗粒化 EBPR 系统除磷特性的影响及优化试验研究 徐少娟, 孙培德, 郑雄柳, 董毅 (3859)

进水比例对水解反应器出水水质的影响研究 梁康强, 熊娅, 戚茂荣, 林秀军, 朱民, 宋英豪 (3868)

厌氧-准好氧联合型生物反应器填埋场渗滤液水质水量变化规律的研究 韩智勇, 刘丹, 李启彬, 陈馨 (3873)

我国城市污水处理回用调查研究 郭宇杰, 王学超, 周振民 (3881)

快雌醇和壬基酚在土壤中的吸附-解吸特征 姜鲁, 王继华, 李建忠, 辛佳, 李森, 刘翔 (3885)

黄土丘陵区刺槐林深层土壤有机碳矿化特征初探 马昕昕, 许明祥, 杨凯 (3893)

半干旱黄土丘陵区土壤结皮的地表水文效应 卫伟, 温智, 陈利顶, 陈瑾, 吴东平 (3901)

广西大石围巨型漏斗土壤中多环芳烃与环境因素 孔祥胜, 祁士华, 蒋忠诚, 黄保健 (3905)

酸性条件下黄铁矿氧化机制的研究 王楠, 易筱筠, 党志, 刘云 (3916)

淋洗条件下砂土和粉土水盐运移过程的监测研究 付腾飞, 贾永刚, 郭磊, 刘晓磊 (3922)

空气注射修复苯污染地下水模拟研究 樊艳玲, 姜林, 张丹, 钟茂生, 贾晓洋 (3927)

不同终点检测 5 种双酚 A 类化合物对 MCF-7 的细胞毒性 张帅帅, 刘堰, 刘树深, 朱祥伟 (3935)

上海世博园后滩湿地糙足类群落特征及其对环境因子的响应 陈立婧, 吴艳芳, 景钰湘, 王聪, 张饮江 (3941)

耐盐石油烃降解菌的筛选鉴定及其特性研究 吴涛, 谢文军, 依艳丽, 李小彬, 王君, 胡相明 (3949)

高效降酚菌株 *Ochrobactrum* sp. CH10 生长动力学和苯酚降解特性的研究 陈晓华, 魏刚, 刘思远, 孙江曼, 王芳芳, 李昊源, 刘宇军 (3956)

四溴双酚 A 好氧降解菌的筛选及其降解特性研究 钱艳园, 刘莉莉, 于晓娟, 丁丛, 王志平, 施玉衡, 李晨君 (3962)

长期施用有机和无机肥对黑土 *nirS* 型反硝化菌种群结构和丰度的影响 尹昌, 范分良, 李兆君, 宋阿琳, 朱平, 彭畅, 梁永超 (3967)

三氯乙烯在不同土壤中的吸附特性及其影响因素研究 何龙, 邱兆富, 吕树光, 逯志昌, 王治立, 隋倩, 林匡飞, 刘勇弟 (3976)

多菌灵在农田土壤中的降解及其影响因子研究 肖文丹, 杨肖娥, 李廷强 (3983)

硫化物对垃圾焚烧污泥焚烧飞灰高温过程中重金属挥发的影响 刘敬勇, 孙水裕 (3990)

关于医疗垃圾飞灰中二噁英在惰性气氛下的低温热脱附研究 纪莎莎, 李晓东, 徐旭, 陈彤 (3999)

第七届环境模拟与污染控制学术研讨会论文

稻田气溶胶 NH₃ 和气体 NO_x 排放在线测定研究 龚巍巍, 栾胜基 (4006)

一种可同时检测挥发性氯代烷烃和氯代烯烃的电子鼻的研制 文晓刚, 刘锐, 蔡强, 万梅, 汤灵容, 陈吕军 (4012)

基于被动采样技术的垃圾焚烧厂及周边大气中 PAHs 分布研究 孙少艾, 李洋, 周轶, 王海蛟, 孙英 (4018)

涪江流域农业非点源污染空间分布及污染源识别 丁晓雯, 沈珍瑶 (4025)

人工湿地不同区域基质磷含量的差异分析 曹雪莹, 种云霄, 余光伟, 仲海涛 (4033)

基于 RT-qPCR 选择性检测水中活性病原菌 林怡雯, 李丹, 吴舒旭, 何苗, 杨天 (4040)

消毒副产物生成的温度影响和动力学模型 张小璐, 杨宏伟, 王小任, 付静, 解跃峰 (4046)

一种厌氧微定量研究新方法 张仲良, 吴静, 蒋剑凯, 姜洁, 李怀志 (4052)

梧桐树叶作为反硝化碳源的研究 熊剑锋, 徐华, 阎宁, 张永明 (4057)

降解嗜盐菌 AD-3 的筛选、降解特性及加氧酶基因的研究 崔长征, 冯天才, 于亚琦, 董斐, 杨昕梅, 冯耀宇, 刘勇弟, 林汉平 (4062)

《环境科学》征订启事 (3711) 《环境科学》征稿简则 (3767) 信息 (3998, 4039, 4045, 4056) 专辑征稿通知 (4051)

南四湖水体氮、磷营养盐时空分布特征及营养状态评价

舒凤月^{1,2}, 刘玉配¹, 赵颖¹, 吴艳鹏¹, 李爱华¹

(1. 曲阜师范大学山东省南四湖湿地生态与环境保护高校重点实验室, 曲阜 273165; 2. 中国科学院水生生物研究所水生生物多样性与保护重点实验室, 武汉 430072)

摘要: 分析了南四湖水体 TN 和 TP 的时空变化规律, 并采用综合营养状态指数(TSI)对其营养状态进行了评价. 结果表明, 南四湖水体 TN 和 TP 含量分别为 $2.617 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.110 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 空间上各湖区水体 TN 和 TP 含量存在显著差异, TN 和 TP 含量均以南阳湖最高, 分别为 $3.830 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.192 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 独山湖 TN 含量($2.106 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)最低, 而微山湖 TP 含量($0.067 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)最低; 南四湖水体中 TN 含量的季节差异不显著, 但夏季($2.805 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)和春季($3.049 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)明显高于秋季($2.160 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)和冬季($2.452 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), 各湖区 TN 的季节变化没有一致规律; 南四湖及各湖区 TP 含量具有显著的季节差异, 变化趋势均为夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季. 总体来看, 南四湖处于轻度富营养化状态. 其中, 南阳湖富营养化最严重, 处于中度富营养化状态, 其它 3 个湖区均为轻度富营养化. 综合分析表明外源污染仍是南四湖污染的主要来源, 湖区网箱养殖和围网养殖所产生的污染应引起高度重视.

关键词: 南四湖; 总氮; 总磷; 综合营养状态指数; 富营养化

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)11-3748-05

Spatio-Temporal Distribution of TN and TP in Water and Evaluation of Eutrophic State of Lake Nansi

SHU Feng-yue^{1,2}, LIU Yu-pei¹, ZHAO Ying¹, WU Yan-peng¹, LI Ai-hua¹

(1. Key Laboratory of Wetland Ecology and Environment Conservation of Lake Nansi, Qufu Normal University, Qufu 273165, China; 2. Key Laboratory of Biodiversity and Conservation of Aquatic Organisms, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

Abstract: Based on the seasonally investigating data from Lake Nansi during 2010 to 2011, the spatial and temporal distribution characteristics of total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) in water were analyzed, and the trophic state was also assessed. The results showed that the average concentrations of TN and TP were $2.617 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and $0.110 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ respectively. The spatial variations of TN and TP in water were significantly different in four lake regions with the highest value of two parameters ($3.830 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and $0.192 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ respectively) were all found in Lake Nanyang while the lowest value in Lake Dushan ($2.106 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) and Lake Weishan ($0.067 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) respectively. Seasonally, the concentrations of TN in Lake Nansi had no significant difference, but the concentrations of TN in summer ($2.805 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) and spring ($3.049 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) were obviously higher than that in autumn ($2.160 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) and winter ($2.452 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), and that in four lake regions showed no uniform variation trends. While the seasonal change of the concentrations of TP in water were significantly different not only in Lake Nansi but also in its four lake regions, the variation trends were uniform with summer > spring > autumn > winter. Generally, the water quality of Lake Nansi has reached light eutrophication, among which, Lake Nanyang was in middle eutrophic state, while other three lake regions were in light eutrophic state. Integrated analysis indicted that external pollution was still the main influence factors of water quality in Lake Nansi, meanwhile, the pollution caused by pen fish culture was urgent for the control of non-point pollution sources.

Key words: Lake Nansi; total nitrogen (TN); total phosphorus (TP); comprehensive nutrition state index; eutrophication

南四湖位于山东省西南部, 面积约 1266 km^2 , 平均水深 1.5 m , 由南阳湖、昭阳湖、独山湖和微山湖 4 个湖区串联而成. 1960 年在湖腰建成二级坝枢纽, 坝北为上级湖, 坝南为下级湖. 南四湖湿地属于淮河流域泗河水系, 有直接入湖河道 53 条, 其中 30 条注入上级湖, 23 条注入下级湖, 总流域面积 31700 km^2 . 南四湖湿地属暖温带季风大陆性气候, 多年年均温 13.7°C , 湿地动植物资源十分丰富, 其中, 水生维管束植物 103 种, 软体动物 38 种, 昆虫 415 种, 鱼

类 80 种, 鸟类 205 种. 作为我国北方重要的渔业基地, 南四湖渔业养殖种类包括鲢鱼、鳙鱼、草鱼、鲤鱼、鳊鱼、乌鳢以及河蟹等, 养殖方式主要有围网、网箱和池塘^[1,2].

20 世纪 80 年代以来, 随着工业废水、城镇生

收稿日期: 2012-01-18; 修订日期: 2012-05-09

基金项目: 曲阜师范大学“十二五”计划省级重点建设项目; 国家林业局 948 项目(2012-4-73); 山东省教育厅项目(J12LF04); 曲阜师范大学项目(XJ200920, 2010A030)

作者简介: 舒凤月(1974~), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为底栖动物分类和生态学, E-mail: Shfyue01@163.com

生活污水、农业面源污染和湖区养殖业污染的不断加剧,南四湖水水质逐年恶化,湖底淤积严重,富营养化程度加重^[3,4]。作为南水北调东线工程重要的调蓄湖泊和输水通道,南四湖的水质状况不仅与湖区水生生态系统的健康密切相关,而且关系到输水水质安全。按照《南水北调东线工程治污规划》要求调水水质达到国家地表水环境质量(GB 3838-2002)Ⅲ类水质标准^[5],因而南四湖是南水北调东线工程水污染控制和生态治理的重点,是输水水质保障的关键,其水质状况一直是人们关注的焦点^[5,6]。近年来,许多学者对南四湖及入湖河流底泥的营养盐^[7~11]、重金属^[12~14]和有机物^[15]污染状况进行了详细研究,武周虎等^[16,17]依据 COD、NH₄⁺-N 等指标对南四湖流域的水环境状

况进行了评价,但有关水体营养盐氮磷时空分布特征的研究较少。因此,有必要弄清楚主要污染物氮、磷的时空分异特征及变化规律,分析影响氮、磷营养盐分布的因素及其环境效应,以期为了解南四湖的污染状况及提出相应的合理治理措施提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 样点设置

根据湖泊面积、出入河流和污染物的来源,并结合水生植物的分布,全湖共设置 18 个采样点,其中南阳湖(样点 1~4)、昭阳湖(样点 5~8)和独山湖(样点 9~12)各 4 个,微山湖 6 个(样点 13~18),见图 1。所有样点采用 GPS 定位。

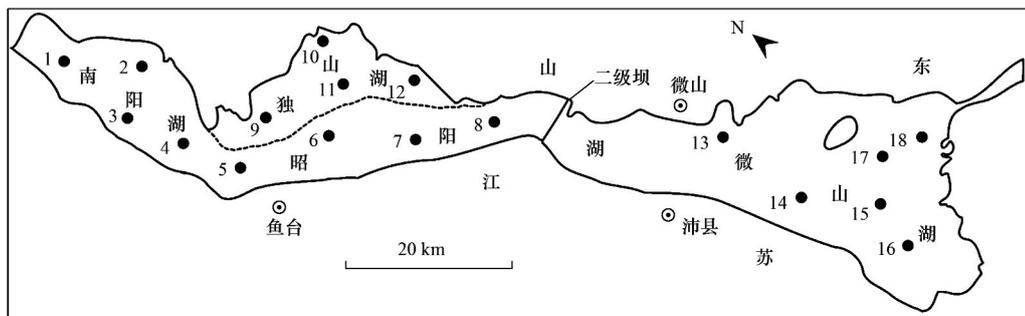


图 1 研究区域与采样点位置示意

Fig. 1 Study area and sampling stations

1.2 样品采集与测定

水样采集使用 2.5 L 采水器在水面下 0.5 m 处采集,置于低温下避光保存,采样结束后,立即对样品进行处理。分别于 2010 年 7 月、10 月、12 月和 2011 年 4 月的中旬左右进行了季度采集。透明度(SD)用透明度盘测定,总氮(TN)采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法,总磷(TP)采用过硫酸钾消解钼酸铵分光光度法,叶绿素 a 采用丙酮萃取法^[18]。

1.3 营养状态评价

选取透明度、总氮、总磷和叶绿素 a 共 4 个指标,用综合营养状态指数^[19]进行评价,计算公式如下:

$$TSI(\sum) = \sum_{j=1}^m w_j \times TSI(j)$$

$$w_i = r_{ij}^2 / \sum_{j=1}^m r_{ij}^2$$

式中, TSI(∑) 为综合营养状态指数; w_j 为第 j 种参数的相关权重; r_{ij} 为第 j 种参数与基准参数的相

关系数; m 为评价参数的个数; TSI(j) 为第 j 种参数的营养状态指数,分别由下列公式计算。

$$TSI(\text{Chl-a}) = 10[2.5 + 0.995(\ln \text{Chl-a})/\ln 2.5]$$

$$TSI(\text{TP}) = 10[9.436 + 1.488(\ln \text{TP})/\ln 2.5]$$

$$TSI(\text{TN}) = 10[5.453 + 1.694(\ln \text{TN})/\ln 2.5]$$

$$TSI(\text{SD}) = 10[5.118 - 1.94(\ln \text{SD})/\ln 2.5]$$

2 结果与分析

2.1 TN、TP 的空间分布特征

南四湖水体各样点 TN 含量在 1.172 ~ 5.601 mg·L⁻¹ 之间,平均值为 2.617 mg·L⁻¹。TP 含量在 0.010 ~ 0.513 mg·L⁻¹ 之间,平均值为 0.110 mg·L⁻¹。从各样点来看,1 号样点 TN 和 TP 含量均最高。

由图 2 可知,各湖区水体 TN 和 TP 含量存在极显著差异($n=72, P<0.01$),TN 的变化趋势为南阳湖(3.830 mg·L⁻¹) > 微山湖(2.453 mg·L⁻¹) > 昭阳湖(2.160 mg·L⁻¹) > 独山湖(2.106 mg·L⁻¹),TP 的变化趋势为南阳湖(0.192 mg·L⁻¹) > 昭阳湖(0.121 mg·L⁻¹) > 独山湖(0.081 mg·L⁻¹) > 微山

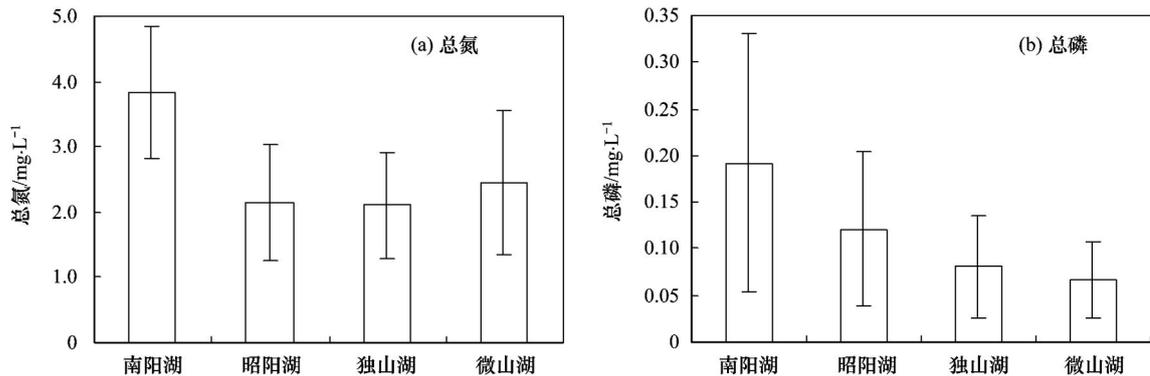


图2 南四湖各湖区总氮、总磷的空间分布

Fig. 2 Spatial distributions of TN and TP in four lake regions

湖($0.067 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

2.2 TN、TP 的季节变化特征

南四湖水体 TN 含量的季节差异不显著($n = 72, P > 0.05$), 但夏季($2.805 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)和春季($3.049 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)上覆水中 TN 含量明显高于秋季($2.160 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)和冬季($2.452 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) [图 3

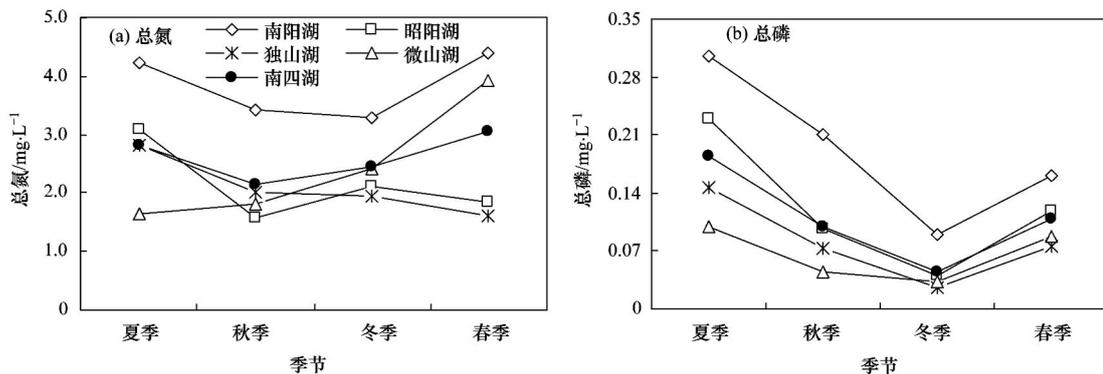


图3 南四湖及各湖区总氮、总磷的季节变化

Fig. 3 Seasonal changes of TN and TP in Lake Nansi and four lake regions

图 3(b) 显示了南四湖及各湖区上覆水中 TP 的季节变化. 可以看出, 与 TN 的季节变化不同, 南四湖上覆水中 TP 含量具有极显著的季节差异($n = 72, P < 0.01$), 夏季 TP 含量最高($0.181 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), 秋季($0.100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)和冬季($0.046 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)逐渐下降, 翌年春季($0.108 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)开始逐渐升高. 各湖区 TP 的季节变化呈现出明显的均一性, 且变化趋势与全湖一致.

2.3 营养状态评价

表 1 列出了南四湖的综合营养状态指数. 总体来看, 南四湖处于轻度富营养化状态. 从各湖区来看, 南阳湖富营养化最严重, 处于中度富营养化状态, 其它 3 个湖区均为轻度富营养化, 但昭阳湖的综合营养状态指数值已接近中度富营养化, 独山湖和

(a)]. 由图 3(a) 还可以看出, 各湖区 TN 含量的季节变化呈现出非均一性, 南阳湖和独山湖前三季变化趋势一致, 均为夏季 > 秋季 > 冬季, 到了春季, 南阳湖呈上升趋势, 而独山湖略有下降; 昭阳湖的变化趋势为夏季 > 冬季 > 春季 > 秋季; 微山湖 TN 含量由夏季开始呈逐渐递增趋势.

微山湖的明显偏低. 从各季节的综合营养状态指数值来看, 南四湖及各湖区均是夏季最高, 然后依次为秋季和春季, 冬季最低, 其中除南阳湖冬季处于轻度富营养化外, 其它 3 个湖区冬季均处于中营养状态.

表 1 南四湖营养状态综合评价

Table 1 Comprehensive assessment of trophic state on Lake Nansi					
地点	春季	夏季	秋季	冬季	平均
南阳湖	62.844	74.844	69.669	53.774	65.283
昭阳湖	55.329	73.963	62.266	47.051	59.652
独山湖	50.197	66.340	60.286	42.772	54.899
微山湖	53.669	60.864	52.172	48.149	53.780
平均	55.305	68.098	60.573	47.960	57.948

3 讨论

3.1 TN、TP 的时空分异特征

本次调查表明, 南四湖氮、磷营养盐在空间上

具有显著差异. 南阳湖氮、磷营养盐的含量显著高于其它 3 个湖区, 并呈现出自北向南递减的趋势. 已有研究和现场调查均表明, 入湖外源污染负荷的不同是造成氮、磷营养盐空间分异的主要原因^[16,17]. 南四湖入湖污染物负荷由北向南递减, 南阳湖位于最北端, 受到的入湖污染尤为严重^[3,4,16], 南四湖的水流方向自北向南, 因此到了昭阳湖和独山湖, 由于水的稀释营养盐浓度下降, 而二级坝的建设使污染物的扩散和稀释减缓^[16], 加剧了上级湖(南阳湖、昭阳湖和独山湖)和下级湖(主要是微山湖)营养盐的空间分异. 另外, 水生植物的分布也影响营养盐的空间分布, 独山湖和微山湖全年长有大面积的水生植物(未发表数据), 而南阳湖和昭阳湖仅在春季出现大面积的菹草(未发表数据), 水生植物不仅可以净化水质^[20], 而且能够抑制底泥中营养物质的释放^[21], 因此, 独山湖水质好于昭阳湖, 而微山湖又好于整个上级湖.

从营养盐的季节变化来看, 南四湖总体上各季节 TN 的差异较小, 但夏季和春季明显高于秋季和冬季, 而 TP 含量具有显著的季节差异, 且各湖区变化趋势一致. 造成营养盐含量季节变化的主要原因可能与农业面源污染和湖区围网养殖有关, 春季是农耕季节, 氮素含量高主要与化肥的大量使用有关^[22]; 而夏季是湖区养殖业的高峰, 大量投放饵料, 残饵及排泄物严重污染水质, 营养盐氮磷的含量增加显著^[23,24]; 到了秋末河蟹捕捞已基本结束, 投饵量显著减少, 营养盐氮磷含量逐渐降低, 冬季湖区渔业养殖结束, 湖区污染主要来自城镇污水^[16]. 而各湖区 TN 的季节变化没有一致规律, 可能与湖区氮素的多重循环特性有关^[25]. 此外, 湖区沉水植物的演替和沉积物中营养盐的释放也影响氮、磷含量的季节变化^[26,27], 一方面, 冬季和春季南四湖整个湖区长满菹草(其中春季菹草生长旺盛), 夏季和秋季菹草死亡, 沉水植物分布区锐减, 底泥中营养物质大量释放^[26], 另一方面, 冬季和春季水温较低, 而夏季和秋季温度高, 水生植物残体腐烂分解, 释放大营养物质^[27], 所以, 总体上来看, 冬季的水质最好, 然后依次是春季和秋季, 夏季的水质最差.

3.2 南四湖水体富营养化的演变

氮、磷营养盐的过量输入是引起水体富营养化的根本原因^[28]. 一般认为, 当水体中 TN 和 TP 的含量分别达到 $0.20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.02 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 水体易发生富营养化. 本调查中, 南四湖及各湖区 TN 和 TP 的平均含量均已远超出临界值. 20 世纪 60 ~ 70

年代, 南四湖的水质大多能达到饮用水标准(按 III 类水标准), 但 20 世纪 80 年代中期水质开始逐渐恶化^[4,6]. 1983 年南四湖 TN 和 TP 的平均含量分别为 $0.825 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.018 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[11], 到了 2000 年 TN 和 TP 含量分别达到 $3.7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[16]. 从图 4 可以看出, 1983 ~ 2000 年南四湖的水质急剧恶化, 平均每 10 a 水体 TN 和 TP 含量分别增加 1 倍和 4 倍, 另外, 20 世纪 90 年代 TP 的增长速度大于 80 年代^[29], 这可能与含磷洗涤用品和化肥的大量使用有关^[7]; 2000 年以后, 总体上水质开始变好, 2010 年南四湖 TN 和 TP 含量分别为 $2.617 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.110 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 与 2000 年相比, TN 和 TP 含量分别下降 29.3% 和 26.8%, 但年份间出现较大的波动趋势, 这可能与南四湖水质受多方面污染的交叉作用有关^[16].

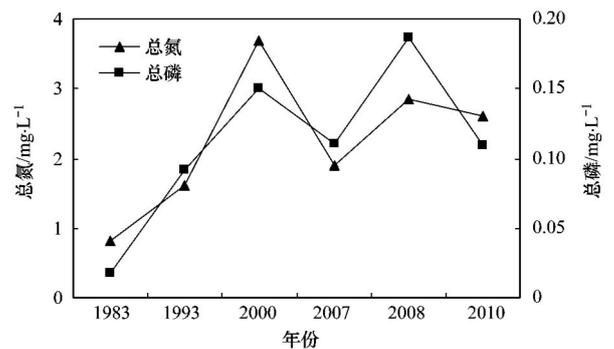


图 4 南四湖水体总氮和总磷的变化趋势

Fig. 4 Variations of TN and TP in Lake Nansi

4 结论

(1) 南四湖水体 TN、TP 含量分别为 $2.617 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.110 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 各湖区水体 TN 和 TP 含量存在显著差异, 南阳湖 TN 和 TP 含量最高, TN 和 TP 含量的最低值分别出现在独山湖和微山湖; 从季节变化来看, TN 含量的季节差异不显著, 而 TP 含量具有极显著的季节差异, 夏季最高, 冬季最低.

(2) 从综合营养状态指数来看, 南四湖处于轻度富营养化状态, 其中, 南阳湖处于中度富营养化状态, 其它 3 个湖区均为轻度富营养化; 从季节上来看, 夏季综合营养状态指数最高, 然后依次为秋季和春季, 冬季最低.

(3) 综上所述, 尽管南四湖水质有了一定的改善, 但目前工业废水和生活污水等点源污染以及农业面源污染仍是导致水质恶化的主要原因, 此外, 湖区内围网养殖业快速发展所导致的内源污染应引起高度重视.

参考文献:

- [1] 济宁市科学技术委员会. 南四湖自然资源调查及开发利用研究[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1987.
- [2] 沈吉, 张祖陆, 杨丽原, 等. 南四湖: 环境与资源研究[M]. 北京: 地震出版社, 2008.
- [3] 张祖陆, 孙庆义, 彭利民, 等. 南四湖地区水环境问题探析[J]. 湖泊科学, 1999, **11**(1): 86-90.
- [4] 张祖陆, 辛良杰, 梁春玲. 近50年来南四湖湿地水文特征及其生态系统的演化过程分析[J]. 地理研究, 2007, **26**(5): 957-966.
- [5] 国家环境保护总局环境规划院, 中国环境科学研究院, 水利部淮河水利委员会, 等. 南水北调东线工程治污规划[R]. 2001.
- [6] 罗辉, 周建仁, 郭忠. 南水北调对南四湖水环境影响分析与评估[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2005, **33**(1): 63-67.
- [7] 杨丽原, 沈吉, 刘恩峰, 等. 南四湖现代沉积物中营养元素分布特征[J]. 湖泊科学, 2007, **19**(4): 390-396.
- [8] 汪艳雯, 岳钦艳, 刘庆, 等. 山东省南四湖底泥中磷的形态分布特征[J]. 中国环境科学, 2009, **29**(2): 125-129.
- [9] 张志斌, 张学杨, 张波, 等. 南四湖微山湖区沉积物磷形态分布特征[J]. 环境科学, 2009, **30**(5): 1345-1350.
- [10] 安文超, 张书武, 和慧, 等. 南四湖及主要入湖河流河口区表层沉积物磷的形态与分布特征研究[J]. 环境科学学报, 2012, **32**(4): 895-901.
- [11] 杨洪美, 张桂斋, 李小明. 南四湖表层沉积物中N的形态及其分布特征[J]. 山东大学学报(理学版), 2012, **47**(3): 1-8.
- [12] 杨丽原, 沈吉, 张祖陆, 等. 南四湖表层底泥重金属和营养元素的多元分析[J]. 中国环境科学, 2003, **23**(2): 206-209.
- [13] 刘恩峰, 沈吉, 杨丽原, 等. 南四湖及主要入湖河流表层沉积物重金属形态组成及污染研究[J]. 环境科学, 2007, **28**(6): 377-383.
- [14] 孟祥华, 刘恩峰, 杨丽原, 等. 南四湖及主要入湖河流沉积物金属空间分布特征与污染评价[J]. 环境科学研究, 2010, **23**(1): 1-6.
- [15] 李红莉, 李国刚, 杨帆, 等. 南四湖沉积物中有机氯农药和多氯联苯垂直分布特征[J]. 环境科学, 2007, **28**(7): 1590-1594.
- [16] 武周虎, 慕金波, 谢刚, 等. 南四湖及入出湖河流水环境质量变化趋势分析[J]. 环境科学研究, 2010, **23**(9): 1167-1173.
- [17] 武周虎, 张晓波, 张芳园. 南四湖入湖重点污染河流筛选与水环境问题分析[J]. 长江流域资源与环境, 2011, **20**(4): 475-481.
- [18] 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.
- [19] 金相灿, 刘鸿亮, 屠清瑛, 等. 中国湖泊富营养化[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [20] Scheffer M. Ecology of shallow lakes[M]. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [21] Graneli W, Solander D. Influence of aquatic macrophytes on phosphorus cycling in lakes[J]. Hydrobiologia, 1988, **170**(1): 245-266.
- [22] 刘兆辉, 李彦. 北方湖区农业面源污染与综合防控技术: 以南四湖为例[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010.
- [23] 张国华, 曹文宣, 陈宜瑜. 湖泊放养渔业对我国湖泊生态系统的影响[J]. 水生生物学报, 1997, **21**(3): 271-280.
- [24] 何俊, 谷孝鸿, 刘国锋. 东太湖网围养蟹效应及养殖模式优化[J]. 湖泊科学, 2009, **21**(4): 523-529.
- [25] Kemka N, Njine T, Zebaze Togouet S H, et al. Eutrophication of lakes in urbanized areas: the case of Yaounde Municipal Lake in Cameroon, Central Africa[J]. Lakes and Reservoirs: Research and Management, 2006, **11**(1): 47-55.
- [26] 李文朝, 陈开宁, 吴庆龙, 等. 东太湖水生植物生物物质腐烂分解实验[J]. 湖泊科学, 2001, **13**(4): 331-336.
- [27] 童昌华, 杨肖娥, 濮培民. 水生植物控制湖泊底泥营养盐释放的效果与机理[J]. 农业环境科学学报, 2003, **22**(6): 673-676.
- [28] OECD. Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control[R], 2006.
- [29] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998.

CONTENTS

Characteristics of Atmospheric NO ₂ in the Beijing-Tianjin-Hebei Region and the Yangtze River Delta Analyzed by Satellite and Ground Observations	WANG Ying, LI Ling-jun, LIU Yang (3685)
Variation Analysis of Background Atmospheric Pollutants in North China During the Summer of 2008 to 2011	YANG Jun-yi, XIN Jin-yuan, JI Dong-sheng, <i>et al.</i> (3693)
Characteristics of Atmospheric Pollutants in Cangzhou	WANG Yong-hong, HU Bo, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (3705)
Chemical Characteristics and Sources of Trace Metals in Precipitation Collected from a Typical Industrial City in Northern China	LI Yue-mei, PAN Yue-peng, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (3712)
BTX Monitoring Nearby Main Road Traffic in Guangzhou	YE Cong-lei, XIE Pin-hua, QIN Min, <i>et al.</i> (3718)
Dynamic Road Vehicle Emission Inventory Simulation Study Based on Real Time Traffic Information	HUANG Cheng, LIU Juan, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (3725)
Emission Characteristics of a Diesel Car Fueled with Coal Based Fischer-Tropsch (F-T) Diesel and Fossil Diesel Blends	HU Zhi-yuan, CHENG Liang, TAN Pi-qiang, <i>et al.</i> (3733)
Spatial Variations of Biogenic Elements in Coastal Wetland Sediments of the Jiulong River Estuary	YU Xiao-qing, YANG Jun, LIU Le-mian, <i>et al.</i> (3739)
Spatio-Temporal Distribution of TN and TP in Water and Evaluation of Eutrophic State of Lake Nansi	SHU Feng-yue, LIU Yu-pei, ZHAO Ying, <i>et al.</i> (3748)
Impact on Nitrogen and Phosphorous Export of Wetlands in Tianmu Lake Watershed	LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Heng-peng (3753)
Nitrogen and Phosphorus Composition in Urban Runoff from the New Development Area in Beijing	LI Li-qing, LÜ Shu-cong, ZHU Ren-xiao, <i>et al.</i> (3760)
Distribution and Sources of Arsenic in Yangzonghai Lake, China	ZHANG Yu-xi, XIANG Xiao-ping, ZHANG Ying, <i>et al.</i> (3768)
Occurrence of Fecal Indicator Bacteria in Urban Surface Water: A Case Study in Southern China	SUN Fu, SHA Jing, LIU Yan-hua (3778)
Vertical Migration of Algal Cells in the Daning River Bay of the Three Gorges Reservoir	ZHANG Yong-sheng, ZHENG Bing-hui, JIANG Xia, <i>et al.</i> (3787)
Construct of Yangtze-Huai River Rural Areas Ecological Drainage System and Its Retention Effect on Pollutants	SHAN Bao-qing, LI Nan, TANG Wen-zhong (3797)
Water Treatment Efficiency of Constructed Wetland Plant-Bed/Ditch Systems	WANG Zhong-qiong, ZHANG Rong-bin, CHEN Qing-hua, <i>et al.</i> (3804)
Effect of the Subsurface Constructed Wetland Evolution into Free Surface Flow Constructed Wetland on the Removal of Organic Matter, Nitrogen, and Phosphorus in Wastewater	WEI Ze-jun, XIE Jian-ping, HUANG Yu-ming (3812)
Treatment Characteristics of Saline Domestic Wastewater by Constructed Wetland	GAO Feng, YANG Zhao-hui, LI Chen, <i>et al.</i> (3820)
Degradation of β -Naphthol by Catalytic Wet Air Oxidation	LIU Jie, YU Chao-ying, ZHAO Pei-qing, <i>et al.</i> (3826)
Degradation of 2,4-Dichlorophenol in Aqueous Solution by ZVI/EDDS/Air System	SUN Qian, ZHOU Hai-yan, CAO Meng-hua, <i>et al.</i> (3833)
Study on Photocatalytic Degradation of 1,2,3-Trichlorobenzene Using the Microwaved MWNTs/TiO ₂ Composite	SHI Zhou, ZHANG Qian, ZHANG Wei, <i>et al.</i> (3840)
Mechanism of Cr(VI) Removal from Aqueous Solution Using Biochar Promoted by Humic Acid	DING Wen-chuan, TIAN Xiu-mei, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (3847)
Research on the Treatment of Wastewater Containing PVA by Ozonation-Activated Sludge Process	XING Xiao-qiong, HUANG Cheng-lan, LIU Min, <i>et al.</i> (3854)
Effects of Composite Substrates on the Phosphorus Removal in Granule-based EBPR System and Its Optimization Experiment	XU Shao-juan, SUN Pei-de, ZHENG Xiong-liu, <i>et al.</i> (3859)
Research of Input Water Ratio's Impact on the Quality of Effluent Water from Hydrolysis Reactor	LIANG Kang-qiang, XIONG Ya, QI Mao-rong, <i>et al.</i> (3868)
Evolution of Leachate Quantity and Quality in the Anaerobic-semiaerobic Bioreactor Landfill	HAN Zhi-yong, LIU Dan, LI Qi-bin, <i>et al.</i> (3873)
National Survey of Urban Sewage Reuse in China	GUO Yu-jie, WANG Xue-chao, ZHOU Zhen-min (3881)
Sorption and Desorption of 17 α -Ethinyl Estradiol and 4-n-Nonylphenol in Soil	JIANG Lu, WANG Ji-hua, LI Jian-zhong, <i>et al.</i> (3885)
Soil Organic Carbon Mineralization of Black Locust Forest in the Deep Soil Layer of the Hilly Region of the Loess Plateau, China	MA Xin-xin, XU Ming-xiang, YANG Kai (3893)
Effects of Soil Crusts on Surface Hydrology in the Semiarid Loess Hilly Area	WEI Wei, WEN Zhi, CHEN Li-ding, <i>et al.</i> (3901)
Environmental Factors on Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils from Dashiwei Karst Giant Doline (Tiankeng) in Guangxi, China	KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, JIANG Zhong-cheng, <i>et al.</i> (3905)
Investigation on Mechanism of Pyrite Oxidation in Acidic Solutions	WANG Nan, YI Xiao-yun, DANG Zhi, <i>et al.</i> (3916)
Monitoring of Water and Salt Transport in Silt and Sandy Soil During the Leaching Process	FU Teng-fei, JIA Yong-gang, GUO Lei, <i>et al.</i> (3922)
Simulation on Remediation of Benzene Contaminated Groundwater by Air Sparging	FAN Yan-ling, JIANG Lin, ZHANG Dan, <i>et al.</i> (3927)
Detecting the Cytotoxicities of Five Bisphenol A Analogues to the MCF-7 Human Breast Carcinoma Cell Line Through Different Endpoints	ZHANG Shuai-shuai, LIU Yan, LIU Shu-shen, <i>et al.</i> (3935)
Response of Copepod Community Characteristics to Environmental Factors in the Backshore Wetland of Expo Garden, Shanghai	CHEN Li-jing, WU Yan-fang, JING Yu-xiang, <i>et al.</i> (3941)
Isolation, Identification and Characterization of Halotolerant Petroleum-degrading Bacteria	WU Tao, XIE Wen-jun, YI Yan-li, <i>et al.</i> (3949)
Growth Kinetics and Phenol Degradation of Highly Efficient Phenol-degrading <i>Ochrobactrum</i> sp. CH10	CHEN Xiao-hua, WEI Gang, LIU Si-yuan, <i>et al.</i> (3956)
Isolation of Aerobic Degrading Strains for TBBPA and the Properties of Biodegradation	QIAN Yan-yuan, LIU Li-li, YU Xiao-juan, <i>et al.</i> (3962)
Influences of Long-term Application of Organic and Inorganic Fertilizers on the Composition and Abundance of <i>nirS</i> -type Denitrifiers in Black Soil	YIN Chang, FAN Fen-liang, LI Zhao-jun, <i>et al.</i> (3967)
Characteristics and Influencing Factors of Trichloroethylene Adsorption in Different Soil Types	HE Long, QIU Zhao-fu, LÜ Shu-guang, <i>et al.</i> (3976)
Degradation of Carbendazim in Paddy Soil and the Influencing Factors	XIAO Wen-dan, YANG Xiao-e, LI Ting-qiang (3983)
Effects of Sulphur Compounds on the Volatile Characteristics of Heavy Metals in Fly Ash from the MSW and Sewage Sludge Co-combustion Plant During the Disposal Process with Higher Temperature	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu (3990)
Low-temperature Thermal Treatment of Dioxin in Medical Waste Fly Ash Under Inert Atmosphere	JI Sha-sha, LI Xiao-dong, XU Xu, <i>et al.</i> (3999)
Hourly Measurement on Aerosol NH ₃ and Gas NO _x Emission in the Rice Field	GONG Wei-wei, LUAN Sheng-ji (4006)
Implementation of an Electronic Nose for Rapid Detection of Volatile Chloroalkane and Chloroalkene	WEN Xiao-gang, LIU Rui, CAI Qiang, <i>et al.</i> (4012)
Pilot Study on PAHs of the Atmosphere Around the Refuse Incineration Plant Based on the Technology of Passive Sampling	SUN Shao-ai, LI Yang, ZHOU Yi, <i>et al.</i> (4018)
Spatial Distribution and Pollution Source Identification of Agricultural Non-Point Source Pollution in Fujiang Watershed	DING Xiao-wen, SHEN Zhen-yao (4025)
Difference of P Content in Different Area Substrate of Constructed Wetland	CAO Xue-ying, CHONG Yun-xiao, YU Guang-wei, <i>et al.</i> (4033)
Selective Detection of Viable Pathogenic Bacteria in Water Using Reverse Transcription Quantitative PCR	LIN Yi-wen, LI Dan, WU Shu-xu, <i>et al.</i> (4040)
Formation of Disinfection By-products; Temperature Effect and Kinetic Modeling	ZHANG Xiao-lu, YANG Hong-wei, WANG Xiao-mao, <i>et al.</i> (4046)
A Novel Quantitative Approach to Study Dynamic Anaerobic Process at Micro Scale	ZHANG Zhong-liang, WU Jing, JIANG Jian-kai, <i>et al.</i> (4052)
Leaves of <i>Platanus orientalis</i> as the Carbon Source for Denitrification	XIONG Jian-feng, XU Hua, YAN Ning, <i>et al.</i> (4057)
Isolation, Characterization of an Anthracene Degrading Bacterium <i>Marteella</i> sp. AD-3 and Cloning of Dioxygenase Gene	CUI Chang-zheng, FENG Tian-cai, YU Ya-qi, <i>et al.</i> (4062)

《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11月15日 33卷 第11期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 11 Nov. 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

国内外公开发售