

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第7期

Vol.33 No.7

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

三峡库首秭归地区大气降水硫同位素组成及示踪研究	吴起鑫, 韩贵琳 (2145)
成都春季生物质燃烧和沙尘期间气溶胶散射特征及其重建	岳建华, 陶俊, 林泽健, 朱李华, 曹军骥, 罗磊 (2151)
太湖上空大气气溶胶光学厚度及其特征分析	饶加旺, 马荣华, 段洪涛, 姜广甲, 尚琳琳, 周琳 (2158)
环上海地区干霾气溶胶垂直分布的季节变化特征	徐婷婷, 秦艳, 耿福海, 陈勇航, 张华, 刘琼, 马晓骏 (2165)
南京冬季市区和郊区气溶胶中 PAHs 浓度的昼夜特征及粒径分布	张红亮, 樊曙先, 顾凯华, 朱彬, 范洋, 祖繁, 李红双, 孟庆紫, 何佳宝 (2172)
青岛大气气溶胶水溶性无机离子研究: 季节分布特征	刘臻, 祁建华, 王琳, 陈晓静, 石金辉, 高会旺 (2180)
城市污水处理厂生成的微生物气溶胶的污染特性	邱雄辉, 李彦鹏, 牛铁军, 李美玲, 马智慧, 苗莹, 王湘君 (2191)
基于 WEPS 模型的天津郊区土壤风蚀起尘及对中心城区迁移量估算	陈莉, 韩婷婷, 李涛, 姬亚芹, 白志鹏, 王斌 (2197)
浒苔绿潮与苏北近岸海域营养盐浓度的关系研究	高嵩, 石晓勇, 王婷 (2204)
福建沿海近 10 a 赤潮基本特征分析	李雪丁 (2210)
HSPF 水文水质模型应用研究综述	李兆富, 刘红玉, 李燕 (2217)
城市降雨径流模拟的参数不确定性分析	黄金良, 林杰, 杜鹏飞 (2224)
利用 CDOM 吸收系数估算太湖水体表层 DOC 浓度	姜广甲, 马荣华, 段洪涛 (2235)
嘉善地区水环境敏感点水质影响权重分析及风险等级判定	谢蓉蓉, 逢勇, 张倩, 陈可, 孙明园 (2244)
重庆市盘溪河水质不同季节日变化规律及水质评价	张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强, 张烨 (2251)
南京市湿地水质对城市化影响强度的响应研究	郝敬锋, 刘红玉, 胡和兵, 安静, 张小红 (2259)
宁夏沙湖浮游植物与水环境因子关系的研究	邱小琮, 赵红雪, 孙晓雪 (2265)
影响太子河流域鱼类空间分布的不同尺度环境因子分析	丁森, 张远, 渠晓东, 孔维静, 刘思思, 孟伟 (2272)
大型底栖动物生物评价指数比较与应用	耿世伟, 渠晓东, 张远, 林坤德 (2281)
青藏高原纳木错流域水体总汞的时空分布特征	王康, 康世昌, 郭军明, 张强弓, 黄杰, 郭伟 (2288)
青藏高原纳木错湖水主要化学离子的时空变化特征	郭军明, 康世昌, 张强弓, 黄杰, 王康 (2295)
用物理-生态集成技术局部控制富营养化	李秋华, 夏品华, 吴红, 林陶, 张友春, 李存雄, 陈丽丽, 杨帆 (2303)
太湖氮素出入湖通量与自净能力研究	陈小锋, 揣小明, 曾巾, 刘涛, 杨柳燕 (2309)
富营养湖泊沉积物中磷组分对硫酸盐的响应	袁探, 华玉妹, 朱端卫, 赵建伟, 蔡建波 (2315)
巢湖表层沉积物磷的空间分布差异性研究	温胜芳, 单保庆, 张洪 (2322)
南京地区典型有机污染物长距离输送潜力研究	方利江, 吴有方, 丁中原, 马子龙, 柳敏, 高宏 (2330)
东海内陆架沉积物中黑碳分布及其与持久性有机污染物的相关性研究	林田, 方引, 陈颖军, 胡利民, 郭志刚, 张干 (2335)
嘉陵江重庆段表层水体多环芳烃的污染特征	蔡文良, 罗固源, 许晓毅, 杜炯 (2341)
电子废物拆解区河流沉积物中多氯联苯的污染水平、分布及来源	王学彤, 李元成, 缪绎, 张媛, 孙阳昭, 吴明红, 盛国英, 傅家谟 (2347)
基于梯形模糊数的沉积物重金属污染风险评价模型与实例研究	李飞, 黄瑾辉, 曾光明, 唐晓娇, 白兵, 蔡青, 祝慧娜, 梁婕 (2352)
渤海湾海岸带开发对近岸沉积物重金属的影响	秦延文, 郑丙辉, 李小宝, 张雷, 时瑶, 曹伟 (2359)
崇明东滩表层沉积物重金属空间分布特征及其污染评价	李雅娟, 杨世伦, 侯立军, 周菊珍, 刘英文 (2368)
白洋淀底泥重金属形态及竖向分布	李必才, 何连生, 杨敏, 孟睿, 袁冬海, 席北斗, 舒俭民 (2376)
西南涌酸挥发硫化物浓度水平及影响因素研究	刘晓冰, 温琰茂, 利锋, 吴昌华, 段志鹏 (2384)
氨氮在饮用水生物滤池内的去除机制	刘冰, 范辉, 余国忠, 于鑫, 赵承美, 李清飞, 张舒婷, 魏博 (2394)
Cu(II) 印迹壳聚糖交联膜的表征及其吸附热力学特性	张玉红, 张爱丽, 周集体, 孙筱雨 (2403)
声电氧化处理扑热息痛的研究	戴启洲, 马文姣, 沈宏, 陈浚, 陈建孟 (2410)
粉煤灰吸附-Fenton 及热再生处理亚甲基蓝废水的特性研究	白玉洁, 张爱丽, 周集体 (2419)
利用双室微生物燃料电池处理模拟废水的产电特性研究	张永娟, 李永峰, 刘春研, 王艺璇, 李龙, 王籽人, 董义兴 (2427)
Zn/Cr 型阴离子黏土的制备、表征及其对活性艳橙 X-GN 的去除性能研究	王小蓉, 吴平霄 (2432)
核电站低放射性废水在封闭水体中的输移规律研究	武国正, 徐宗学 (2438)
A + OSA 污泥减量工艺碳元素平衡与减量机制研究	翟小敏, 高旭, 张曼曼, 贾丽, 郭劲松 (2444)
系列混合碳源在 EBPR 系统颗粒化进程中的影响研究	蒋涛, 孙培德, 徐少娟 (2451)
氧化还原介体催化强化 <i>Paracoccus versutus</i> 菌株 GW1 反硝化特性研究	李海波, 廉静, 郭延凯, 赵丽君, 杜海峰, 杨景亮, 郭建博 (2458)
1 株转座子插入突变菌株 TB34 的筛选及产氢分析	刘洪艳, 王广策, 侍浏洋, 朱大玲 (2464)
蜜环菌漆酶对氯酚类污染物催化降解条件优化	秦仁炳, 朱显峰, 吴珂, 张晶晶, 赵海康 (2470)
双季稻田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放特征及品种筛选研究	傅志强, 朱华武, 陈灿, 黄瑛 (2475)
闽江河口短叶茳苳湿地 CH ₄ 和 N ₂ O 排放对氮输入的短期响应	牟晓杰, 刘兴土, 仝川, 孙志高 (2482)
青海三江源地区退化草地土壤全氮的时空分异特征	彭景涛, 李国胜, 傅瓦利, 易湘生, 蓝家程, 袁波 (2490)
不同降雨条件下侵蚀泥沙黏粒含量的变化规律	吴凤至, 史志华, 方怒放, 岳本江 (2497)
土壤性质对单一及复合污染下外源镉稳定化过程的影响	吴曼, 徐明岗, 张文菊, 武海雯 (2503)
多氯联苯污染农田土壤的原位生态调控修复效应	潘澄, 滕应, 骆永明, 涂晨, 李秀芬, 马婷婷, 张满云, 李振高, 宋静 (2510)
不同作物根系多环芳烃吸收特征差异的比较研究	梁宵, 占新华, 周立祥 (2516)
废气和废渣协同作用脱钠反应特性及机制研究	伊元荣, 韩敏芳 (2522)
中国第三产业能源碳排放影响要素指数分解及实证分析	卢愿清, 史军 (2528)
《环境科学》征稿简则 (2431) 《环境科学》征订启事 (2532) 信息 (2157, 2271, 2367, 2418)	

宁夏沙湖浮游植物与水环境因子关系的研究

邱小琮^{1,2}, 赵红雪², 孙晓雪²

(1. 宁夏大学土木与水利工程学院, 银川 750021; 2. 宁夏大学生命科学学院, 银川 750021)

摘要: 于2009年4月~2010年1月测定了沙湖浮游植物的密度、生物量和叶绿素a含量, 测定了水温(WT)、pH、透明度(SD)、总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH₄⁺-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)、亚硝态氮(NO₂⁻-N)、高锰酸盐指数、BOD₅等水环境因子指标, 对沙湖浮游植物密度、生物量、叶绿素a含量与水环境因子进行相关分析、多元逐步回归分析和典范对应分析。结果表明, 沙湖浮游植物密度、生物量、叶绿素a含量与WT、TN、TP、高锰酸盐指数、BOD₅之间显著正相关, 与SD之间呈显著负相关。浮游植物密度、叶绿素a含量与WT、SD、TN、TP、高锰酸盐指数、BOD₅之间有显著的线性回归关系, 影响沙湖浮游植物密度的主要水环境因子依次为WT、高锰酸盐指数、SD、BOD₅、TP、TN, 影响沙湖叶绿素a含量的主要水环境因子依次为高锰酸盐指数、WT、SD、TP、TN、BOD₅; 浮游植物生物量与WT、SD、TN、TP、高锰酸盐指数之间有显著的线性回归关系, 影响沙湖浮游植物生物量的主要水环境因子依次为WT、TP、高锰酸盐指数、SD、TN。浮游植物与水环境因子的CCA排序结果将16种浮游植物分为3组, 呈现明显的季节分布特征, SD、高锰酸盐指数、WT、TN、TP是影响沙湖浮游植物群落动态分布的主要水环境因子。

关键词: 沙湖; 浮游植物密度; 浮游植物生物量; 叶绿素a; 相关分析; 多元逐步回归分析; 典范对应分析

中图分类号: X173 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)07-2265-07

Studies on Relationship of Phytoplankton and Water Environmental Factors in Shahu Lake

QIU Xiao-cong^{1,2}, ZHAO Hong-xue², SUN Xiao-xue²

(1. College of Civil and Conservancy Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. College of Life Science, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Analysis approaches of correlation, multiple stepwise regression and canonical correspondence analysis were employed between phytoplankton and water environmental factors in ShaHu Lake based on the data from Apr. 2009 to Jan. 2010. The results showed that the correlation between phytoplankton density, phytoplankton biomass, chlorophyll-a and water temperature (WT), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), potassium permanganate index, 5 days biochemical oxygen demand (BOD₅) was positive, and phytoplankton density, phytoplankton biomass, chlorophyll-a and Secchi-depth (SD) was negatively correlated. Followed by the importance of environmental factors which affected phytoplankton density in Shahu Lake ranged as follows: WT, potassium permanganate index, SD, BOD₅, TP, TN. Those affected phytoplankton biomass ranged as follows: WT, TP, potassium permanganate index, SD, TN. Those affected on chlorophyll-a ranged as follows: potassium permanganate index, WT, SD, TP, TN, BOD₅. CCA result showed that 16 species of phytoplankton were divided into 3 groups which had the obvious seasonal distribution characteristics in Shahu Lake. SD, potassium permanganate index, WT, TN, TP were the main water environmental factors correlated with the distribution of phytoplankton community of Shahu Lake.

Key words: Shahu Lake; phytoplankton density; phytoplankton biomass; chlorophyll-a; correlation analysis; multiple stepwise regression analysis; canonical correspondence analysis

浮游植物是湖泊水生生物的主要组成部分之一, 是水生生态系统生产过程中的最初和基础环节, 其组成与多样性的变化直接影响到整个水生生态系统的结构、功能与稳定性。浮游植物的生长量及其群落结构受水体环境的直接影响, 对水体环境的变化极为敏感, 其种类、数量及群落结构的变化与一些环境因子的变化有着密切的关系, 可以反映水质的状况^[1-4]。

沙湖地处贺兰山麓(E 106°18'45", N 38°45'), 海拔1 099 m, 具有典型的大陆性气候特征, 年平均降雨量1 725 mm, 年蒸发量1 755 mm。沙湖是我国西

部地区著名的风景名胜, 自然景观秀丽独特, 1998年被列为国家级自然风景保护区, 是宁夏最大的天然半咸水湖泊, 总面积45.1 km², 其中湖水面积8.2 km², 平均水深2.2 m, 含盐量4.3 g·L⁻¹, pH值8.40~8.90。沙湖地处西北内陆干旱半干旱地区, 季节变化明显, 水体长年偏碱性, 并且受人类活动影响强烈, 水环境因子的变化以及水生生物种群结构、动态变化明显区别于其它湖泊, 具有典型的地域特征和

收稿日期: 2011-09-04; 修订日期: 2011-11-22

基金项目: 宁夏自然科学基金项目(NZ0829)

作者简介: 邱小琮(1971~), 男, 博士研究生, 教授, 主要研究方向为水环境调控及水域生态学, E-mail: qxc7175@126.com

季节特征.近年来随着当地工农业经济的发展,由于补水、农田灌溉退水以及水产养殖生产等使得过量营养盐进入沙湖,浮游植物大量增殖,致使沙湖的水质发生了剧烈的变化,加速了水体的富营养化和受污染程度.目前,沙湖水体已呈现出中富营养化状况,局部已达重富营养化,水质属Ⅳ~Ⅴ类水^[5].

为了分析沙湖富营养化的发生原因及其变化规律,控制沙湖富营养化的进程,本研究于2009年4月~2010年1月测定了沙湖浮游植物密度、生物量、叶绿素a含量及相关水质指标,分析了浮游植物密度、生物量以及浮游植物分布与水环境因子之间的关系,寻找与浮游植物显著相关的水环境因子,探讨它们之间的定量关系,以期对沙湖富营养化治理与合理开发利用提供基础数据和生物学依据.

1 研究区域与方法

1.1 采样站点设置

根据沙湖的形状和功能区的特征,分别在5个典型区域设置了5个采样点(图1),Ⅰ号站老渔场为鱼类养殖区,Ⅱ号站为进水口,Ⅲ号站十一队为退水口,Ⅳ号站为湖心区,Ⅴ号站鸟岛为鸟类聚居区.采样于1月、4月、7月、10月分别代表冬、春、夏、秋四季进行,对沙湖水体中的浮游植物进行定性、定量分析,测定叶绿素a含量,同时测定相关的水质指标.



图1 沙湖采样点分布示意

Fig. 1 Locations of sampling sites in Shahu Lake

1.2 浮游植物的标本采集与鉴定

浮游植物的标本采集^[6]包括定性和定量2种,于晴天上午采集.定性标本是用25号浮游生物网采集,5%的甲醛现场固定.定量标本用1 L采水器置

水面下0.5 m处采集获得,用1.5%鲁哥氏液现场固定,经24 h沉淀浓缩至200 mL,再经24 h浓缩至50 mL,然后每50 mL加入2 mL甲醛保存.

浮游植物定性标本一般鉴定到种,至少到属.定量标本使用0.1 mL的计数框于显微镜下进行浮游生物计数^[6],由其推算出原水体中的浮游植物密度及生物量.

1.3 水质指标测定

水样的采集:每次采样于晴天上午09:00~11:00完成,用5 L有机玻璃桶状采水器采集每个站点离表层0.5 m和离水底0.5 m的混合水样,进行各指标的测定.

叶绿素a测定采用分光光度法^[7].

水质指标的测定:水温(WT)用表层温度计于水面下0.5 m水层测得,pH由pH计测定,透明度用萨氏盘测定,总氮用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB 11894-89),氨氮用蔡氏试剂法(GB/T 7479-87),硝态氮用紫外分光光度法(HJ/T 346-2007),亚硝态氮用分光光度法(GB/T 7493-1987),总磷用钼酸铵分光光度法(GB 11893-89),高锰酸盐指数用碱性高锰酸钾法(GB 11892-89),BOD₅用稀释接种法(GB/T 7488-1987).

1.4 统计分析

1.4.1 相关分析

计算浮游植物密度、生物量、叶绿素a与水环境因子之间的相关系数,并进行分析.

1.4.2 逐步回归分析

分别以浮游植物密度、生物量、叶绿素a为因变量,以水温、透明度、pH、总氮、总磷、氨氮、硝态氮、亚硝态氮、高锰酸盐指数、BOD₅等10个因子为自变量,进行逐步回归分析,建立回归方程^[8].逐步回归模型的诊断依据:①方程的方差分析F值的显著水平 $P \leq 0.05$,否则建立的回归方程不能使用;②各个回归系数的偏相关系数的显著水平最好也 ≤ 0.05 ;③Durbin-Watson统计量d是否接近于2.

计算自变量对因变量影响相对重要性的统计数——通径系数,通过对通径系数绝对值的比较可确定对因变量有显著影响的自变量的主次顺序^[9].

以上计算分析均应用DPS 9.50软件完成.

1.4.3 典范对应分析

采用Canoco 4.5软件对物种数据和环境数据进行CCA分析,物种数据经过筛选,本研究用于排序的物种要求满足下面2个条件:该物种在各样点出现的频度 $> 12.5\%$,该物种在至少一个样点的相

对密度 $>1\%$ ^[10,11]. 物种矩阵经过 $\lg(x+1)$ 转换, 环境数据除 pH 值以外都进行 $\lg(x+1)$ 转换 ^[11,12], 排序结果用物种-环境因子关系的双序图表示.

2 结果与分析

2.1 浮游植物与水环境因子相关分析

浮游植物密度、生物量、叶绿素 a 含量及主要水

环境因子指标的季节变化见表 1, 浮游植物密度、生物量、叶绿素 a 含量与水环境因子的相关系数见表 2.

沙湖浮游植物密度、生物量、叶绿素 a 含量之间呈显著正相关, 浮游植物密度、生物量、叶绿素 a 含量与 WT、TN、TP、高锰酸盐指数、BOD₅ 之间呈显著正相关, 与 SD 之间呈显著负相关, 与 pH、N/P 负相关, 但相关性不显著.

表 1 沙湖浮游植物密度、生物量、叶绿素 a 含量及主要水环境因子指标

Table 1 Seasonal variation of density, biomass of phytoplankton and chlorophyll-a, and the main water environmental factors in Shahu Lake							
季节	密度 $\times 10^4$ /cells·L ⁻¹	生物量 /mg·L ⁻¹	叶绿素 a 含量 /μg·L ⁻¹	WT /°C	pH	SD /cm	TN /mg·L ⁻¹
春季	589.44 ± 99.30	3.73 ± 1.05	9.94 ± 1.13	13.4 ± 0.3	8.60 ± 0.20	59.4 ± 15.2	1.638 ± 0.129
夏季	1 708.92 ± 258.67	5.84 ± 1.36	23.03 ± 4.58	22.5 ± 0.4	8.67 ± 0.12	29.0 ± 7.4	1.412 ± 0.145
秋季	1 278.22 ± 275.85	5.19 ± 1.24	17.33 ± 3.73	14.7 ± 0.7	8.63 ± 0.09	25.0 ± 8.4	1.602 ± 0.169
冬季	159.68 ± 19.85	1.64 ± 0.12	5.32 ± 0.97	1.2 ± 0.1	8.75 ± 0.11	66.4 ± 9.6	1.262 ± 0.188
季节	TP /mg·L ⁻¹	NH ₄ ⁺ -N /mg·L ⁻¹	NO ₃ ⁻ -N /mg·L ⁻¹	NO ₂ ⁻ -N /mg·L ⁻¹	高锰酸盐指数 /mg·L ⁻¹	BOD ₅ /mg·L ⁻¹	N/P
春季	0.236 ± 0.024	0.623 ± 0.090	0.229 ± 0.031	0.038 ± 0.003	9.98 ± 1.862	4.92 ± 1.11	6.96 ± 0.35
夏季	0.222 ± 0.022	0.574 ± 0.054	0.196 ± 0.034	0.029 ± 0.006	12.78 ± 2.80	6.41 ± 1.62	6.37 ± 0.43
秋季	0.207 ± 0.021	0.658 ± 0.043	0.247 ± 0.021	0.040 ± 0.006	14.85 ± 3.26	7.08 ± 1.79	7.75 ± 0.56
冬季	0.171 ± 0.029	0.539 ± 0.074	0.196 ± 0.027	0.029 ± 0.004	10.63 ± 1.85	4.91 ± 0.86	7.41 ± 0.54

表 2 浮游植物与水环境因子相关系数矩阵¹⁾

Table 2 Correlation coefficients between phytoplankton and environmental factors in Shahu Lake														
	<i>D</i>	<i>B</i>	Chl-a	WT	pH	SD	TN	TP	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	高锰酸盐指数	BOD ₅	N/P
<i>D</i>	1													
<i>B</i>	0.969 **	1												
Chl-a	0.981 **	0.950 **	1											
WT	0.939 **	0.905 **	0.878 **	1										
pH	-0.298	-0.338	-0.250	-0.357	1									
SD	-0.780 **	-0.746 **	-0.820 **	-0.630	0.222	1								
TN	0.493 *	0.594 **	0.454 *	0.536	-0.605	-0.343	1							
TP	0.607 **	0.694 **	0.575 **	0.676	-0.549	-0.243	0.820	1						
NH ₄ ⁺ -N	0.399	0.431	0.360	0.397	-0.662	-0.379	0.794	0.571	1					
NO ₃ ⁻ -N	0.247	0.302	0.202	0.261	-0.601	-0.1785	0.723	0.476	0.901	1				
NO ₂ ⁻ -N	0.250	0.336	0.206	0.313	-0.441	-0.046	0.740	0.569	0.738	0.904	1			
高锰酸盐指数	0.519 *	0.574 **	0.572 **	0.286	-0.049	-0.599	0.431	0.275	0.310	0.259	0.186	1		
BOD ₅	0.565 **	0.624 **	0.608 **	0.360	-0.131	-0.649	0.478	0.372	0.302	0.188	0.1265	0.952	1	
N/P	-0.287	-0.281	-0.291	-0.340	-0.001	-0.126	0.129	-0.461	0.262	0.304	0.1581	0.187	0.097	1

1) D: 浮游植物密度 (density); B: 生物量 (biomass), 下同

2.2 浮游植物与水环境因子的逐步回归分析

各种水环境因子对浮游植物密度、生物量、叶绿素 a 的影响作用各不相同, 逐步回归分析可以筛选出与浮游植物密度、生物量、叶绿素 a 相

对重要的水环境影响因子. 根据逐步回归方程的诊断依据, 确立沙湖的浮游植物密度、生物量、叶绿素 a 与水环境因子的逐步回归分析结果见表 3.

表 3 浮游植物与水环境因子的逐步回归方程

Table 3 Stepwise multiple regression between phytoplankton and environmental factors in Shahu Lake			
项目	多元回归方程	R	F
浮游植物密度	$\ln D = 8.1509 + 0.5299 \ln(WT) - 0.6089 \ln(SD) - 1.5637 \ln(TN) + 1.4881 \ln(TP) + 1.6418 \ln(\text{高锰酸盐指数}) - 0.9436 \ln(BOD_5)$	0.994 6	197.762
浮游植物生物量	$\ln B = 1.7738 + 0.2600 \ln(WT) - 0.2115 \ln(SD) - 0.5265 \ln(TN) + 0.9611 \ln(TP) + 0.5915 \ln(\text{高锰酸盐指数})$	0.973 0	49.776
叶绿素 a	$\ln(\text{Chl-a}) = 5.0662 + 0.2346 \ln(WT) - 0.5346 \ln(SD) - 1.5288 \ln(TN) + 1.5671 \ln(TP) + 1.3706 \ln(\text{高锰酸盐指数}) - 0.8302 \ln(BOD_5)$	0.961 0	53.333

浮游植物密度、叶绿素 a 的回归方程有 WT、SD、TN、TP、高锰酸盐指数、BOD₅ 等 6 个因子入选,浮游植物生物量的回归方程有 WT、SD、TN、TP、高锰酸盐指数等 5 个因子入选.

为了明确各水环境因子对浮游植物密度、浮游植物生物量、叶绿素 a 作用的大小,计算通径系数

(见表 4).

通过通径分析得知,对浮游植物密度的直接作用大小顺序依次为: WT、高锰酸盐指数、SD、BOD₅、TP、TN,对浮游植物生物量的直接作用大小顺序依次为: WT、TP、高锰酸盐指数、SD、TN,对叶绿素 a 的直接作用大小顺序依次为:高锰酸盐指数、WT、

表 4 浮游植物与水环境因子的通径系数

Table 4 Path coefficient analysis between phytoplankton and environmental factors in Shahu Lake						
项目	WT	SD	TN	TP	高锰酸盐指数	BOD ₅
浮游植物密度	0.665 4	-0.319 2	-0.243 5	0.262 1	0.423 3	-0.265 9
浮游植物生物量	0.578 6	-0.196 4	-0.145 3	0.300 0	0.270 2	
叶绿素 a	0.472 6	-0.449 5	-0.381 9	0.442 8	0.566 9	-0.375 3

SD、TP、TN、BOD₅.

2.3 浮游植物与水环境因子的典范对应分析

根据浮游植物出现频度和相对密度,选取了 16 种浮游植物用于 CCA 分析(见表 5).

表 5 CCA 分析中浮游植物种类代码

Table 5 Codes of phytoplankton species for CCA	
代码	种类
s1	色球藻 <i>Chroococcus</i> sp.
s2	小席藻 <i>Phormidium tenuis</i>
s3	针晶蓝纤维藻 <i>Dactylococopsis raphidioides</i>
s4	针状蓝纤维藻 <i>Dactylococopsis acicularis</i>
s5	弯形尖头藻 <i>Raphidiopsis curvata</i>
s6	为首螺旋藻 <i>Spirulina princeps</i>
s7	水华束丝藻 <i>Aphanizomenon flosaquae</i>
s8	尖尾蓝隐藻 <i>Chroomonas acuta</i>
s9	尖针杆藻 <i>Synedra acus</i>
s10	连结脆杆藻 <i>Fragilaria construens</i>
s11	波形羽纹藻 <i>Pinnularia undulata</i>
s12	美丽星杆藻 <i>Asterionella formosa</i>
s13	小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i>
s14	膨胀四角藻 <i>Tetradron tumidelum</i>
s15	四尾栅藻 <i>Scenedesmus quadricauda</i>
s16	衣藻 <i>Chlamydomonas</i> sp.

CCA 排序的全部特征值解释了浮游植物群落变异程度的 92.3% (图 2),前 2 个排序轴的特征值分别为 0.148 和 0.118,共解释了浮游动物群落变异程度的 89.8%. 物种排序轴与水环境因子轴之间的相关系数为 0.976 和 0.990,2 个物种排序轴相关系数为 0.003 0,2 个水环境因子排序轴间的相关系数为 0,说明排序能够很好地反映浮游植物物种与环境因子间的关系,排序结果是可信的^[13,14].

第一排序轴与透明度呈显著正相关,相关系数 0.627 9,与高锰酸盐指数、BOD₅ 显著负相关,相关系数分别为 -0.510 8、-0.439 2. 第二排序轴与透明度呈显著正相关,相关系数 0.607 5,与水温、总

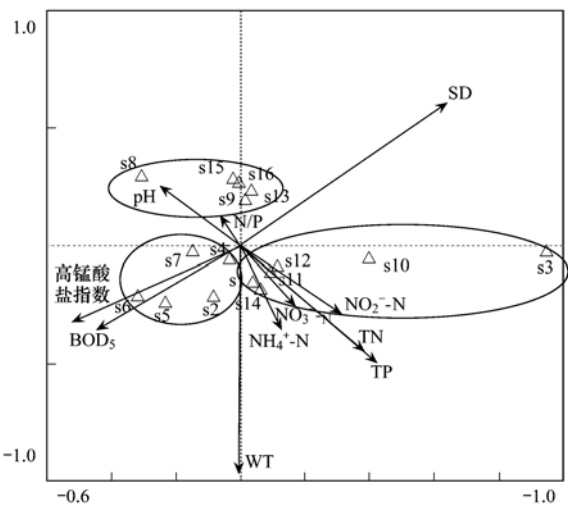


图 2 沙湖浮游植物物种与环境关系的 CCA 排序图

Fig. 2 CCA biplot of phytoplankton species and environmental variables in Shahu Lake

氮、总磷呈显著负相关,相关系数分别为 -0.954 9、-0.448 7、-0.489 0.

CCA 排序分析将 16 种浮游植物种类分为 3 个组群. 组 I 包括色球藻、针晶蓝纤维藻、连结脆杆藻、波形羽纹藻、美丽星杆藻、膨胀四角藻,与水温、总氮、总磷、氨氮、硝态氮、亚硝态氮浓度正相关,与 N/P 比、pH 负相关. 组 II 包括小席藻、针状蓝纤维藻、弯形尖头藻、为首螺旋藻、水华束丝藻,与水温、高锰酸盐指数、BOD₅ 正相关,与 SD 负相关. 组 III 包括尖尾蓝隐藻、尖针杆藻、小球藻、四尾栅藻、衣藻,与 N/P 比、pH 正相关,与水温、总氮、总磷、氨氮、硝态氮、亚硝态氮浓度负相关.

3 讨论

3.1 沙湖浮游植物与水环境因子的关系

影响浮游植物种类组成和生物量季节变化的主

要因素有水温、pH、氮、磷等^[15], 这些因素同样会影响水体叶绿素 a 含量的变化. 水温的变化对浮游植物的密度和生物量等有明显影响, 水温与藻类生物量呈显著的相关关系^[16], 是影响浮游植物密度季节变化的重要理化因子, 水温的变化影响着水体物理化学和生物的活动, 从而影响水体上下水层的交换、营养物的生化循环和分布^[17]. 沙湖春、夏季水温高, 营养物的输入增加, 物质循环加快, 营养盐含量增大, 浮游植物生物量增大, 出现浮游植物密度的高峰, 秋季之后, 水温下降, 营养物的再生减缓, 浮游植物生物量逐渐下降. 沙湖浮游植物密度和生物量随着水温的升高而增大, 7 月达到最高, 1 月最低, 与水温变化趋势一致.

pH 对于浮游植物的种类组成以及分布有着重要的影响^[18], 高 pH(8.0 以上)有利于蓝藻生长, 蓝藻生物量与 pH 有着显著的相关关系^[16]. 沙湖水体 pH > 8.0, 蓝藻成为优势种, 但浮游植物的密度、生物量与 pH 之间并无显著的相关关系.

透明度与浮游植物关系密切, 不仅能反映水体中悬浮物的多少, 而且通过透明度也能够对水体中浮游植物的量进行粗略估计, 一般地, 在相同的条件下, 浮游植物越多, 水体透明度越低^[19]. 在沙湖水体, 透明度与浮游植物密度和生物量呈显著负相关, 并且在季节变化上, 二者拟合得也较好. 但由于影响水体透明度的因素很多, 除了浮游植物之外, 还有水中泥沙的浓度、悬浮物的多少等诸多因素, 因此, 浮游植物的生物量与透明度之间的相关性并不能准确定量二者之间的关系.

氮、磷营养元素能调节浮游植物的生长, 在一定浓度范围内氮、磷对浮游植物的生长有促进作用, 过低的氮、磷含量会限制浮游植物的数量^[20], 过高的氮、磷含量不仅会导致富营养化, 还会导致浮游植物种类组成发生变化, 使得优势种明显减少^[21]. 沙湖浮游植物密度、生物量与 TN、TP 之间呈显著正相关, 说明沙湖水体中氮、磷含量都对浮游植物的生长有显著影响. 沙湖浮游植物密度、生物量与 N/P 负相关, 随着 N/P 比值增加, 浮游植物密度、生物量逐渐降低, 表明磷是沙湖水体中藻类生长的主要限制因子.

叶绿素是浮游植物重要的组成成分之一, 叶绿素 a 浓度的大小是表征光能自养生物生物量的重要指标, 并且与水体中浮游植物的种类和数量密切相关, 是水体理化性质动态变化的综合反映指标^[22]. 叶绿素 a 含量的分布变化受水温、透明度和营养盐

等因素的影响, 通过测定叶绿素 a 含量能够在一定程度上反映水质状况^[23~25]. 沙湖叶绿素 a 含量的分布变化与浮游植物密度和生物量的变化趋势一致, 并且显著正相关, 因此可通过叶绿素 a 含量的变化来估测沙湖浮游植物的密度和生物量.

从逐步回归模型来看, 浮游植物密度、叶绿素 a 与水温、透明度、总氮、总磷、高锰酸盐指数、BOD₅ 之间有显著的线性回归关系, 表明影响沙湖浮游植物密度、叶绿素 a 含量的主要水环境因子是水温、透明度、总氮、总磷、高锰酸盐指数和 BOD₅. 浮游植物生物量与水温、透明度、总氮、总磷、高锰酸盐指数之间有显著的线性回归关系, 表明影响沙湖浮游植物生物量的主要水环境因子是水温、透明度、总氮、总磷和高锰酸盐指数. 通过通径分析, 水温是影响沙湖浮游植物密度、生物量的主要水环境因子, 总磷是影响沙湖浮游植物密度、生物量的主要营养因子.

沙湖浮游植物密度、生物量、叶绿素 a 含量受多个因子共同影响, 各个因子的贡献不尽相同, 水温、总氮、总磷、高锰酸盐指数、BOD₅ 表现为正相关, 透明度表现为负相关, 综合分析, 总磷是沙湖水体中浮游植物生长的主要限制营养因子.

3.2 水环境因子对沙湖浮游植物分布的影响

CCA 排序结果表明不同种类的浮游植物对于不同水质环境的适应性. 如蓝藻门的色球藻、针晶蓝纤维藻, 硅藻门的连结脆杆藻、波形羽纹藻、美丽星杆藻, 绿藻门的膨胀四角藻在 CCA 排序图中的位置接近, 表现出它们在生态适应上的相似性. 而蓝藻门的针晶蓝纤维藻和针状蓝纤维藻在 CCA 排序轴中的位置较远, 表现出它们对生态环境要求的差异性.

CCA 排序中, 主要的 16 种浮游植物丰度的排序具有明显的动态特征, 组 I 中的 6 种藻类均为沙湖春季优势种, 组 II 中的 5 种藻类均为沙湖夏、秋季优势种, 组 III 中的 5 种藻类均为沙湖冬季优势种. 春季, 营养盐与浮游植物丰度正相关, 为主要贡献变量, 夏、秋季节, 水温、高锰酸盐指数、BOD₅ 与浮游植物丰度正相关, 为主要贡献变量, 冬季, 水温、营养盐与浮游植物丰度负相关, 成为浮游植物丰度的限制性因素. 因此, 影响沙湖浮游植物分布的水环境因子主要是: 透明度、水温、高锰酸盐指数、BOD₅、TN 和 TP, 但不同水体具有不同的主要影响因子. 沈会涛等^[26]研究表明: pH 值及总磷浓度是影响白洋淀浮游植物物种分布格局的主要因素; 石晓丹等^[27]研究表明: 水温、高锰酸盐指数、NO₃⁻-N 和 TN 是影

响苏州平原河网区浅水湖泊浮游植物群落分布的主要环境因子,在冬季,pH、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 及TP也是主要的影响因子;Lau等^[28]研究表明:浮游植物主要受营养盐(氮、磷和硅)及捕食(浮游动物)作用的影响。

沙湖浮游植物丰度与生物量的动态特征明显区别于其它湖泊,春季水温较低,优势种主要以硅藻为主,夏、秋季节,水温较高,外源营养盐大量进入,浮游植物大量繁殖,优势种主要以蓝藻为主,此时,沙湖富营养化程度最高^[29]。冬季,水温下降,补水结束,外源营养盐负荷减少,浮游植物的总生物量下降,优势种主要以绿藻为主。沙湖浮游植物群落(种类与数量)的变化体现了西北内陆干旱半干旱地区典型浅水型湖泊的生物学特征,水温与外源营养盐负荷成为影响沙湖浮游植物群落结构动态分布的主要因子。补水造成的营养盐负荷也成为沙湖富营养化的主要驱动因子,因此,控制外源氮、磷等营养盐是防治沙湖水体富营养化的关键,可采用工程措施、生物处理、生物防治相结合的办法,实施生态修复工程,防治沙湖水体的富营养化^[29]。

4 结论

(1)沙湖浮游植物密度、生物量、叶绿素a含量受多个因子共同影响,与WT、TN、TP、高锰酸盐指数、 BOD_5 之间显著正相关,与SD之间呈显著负相关。影响沙湖浮游植物密度的主要水环境因子依次为WT、高锰酸盐指数、SD、 BOD_5 、TP、TN,影响浮游植物生物量的主要水环境因子依次为WT、TP、高锰酸盐指数、SD、TN,影响叶绿素a含量的主要水环境因子依次为高锰酸盐指数、WT、SD、TP、TN、 BOD_5 。水温是影响沙湖浮游植物密度、生物量的主要水环境因子,总磷是沙湖水体浮游植物生长的主要限制性营养因子。

(2)沙湖浮游植物的分布呈现明显的季节特征,SD、高锰酸盐指数、WT、TN、TP是影响沙湖浮游植物群落动态分布的主要水环境因子。春季营养盐为主要影响因子,优势种以硅藻为主;夏、秋季水温、高锰酸盐指数、 BOD_5 为主要影响因子,优势种以蓝藻为主;冬季水温、营养盐为主要影响因子,优势种以绿藻为主。

参考文献:

- [1] 蒙仁宪,刘贞秋.以浮游植物评价巢湖水质污染及富营养化[J].水生生物学报,1988,12(1):13-26.
- [2] 韩耀全.渔业水域环境的生物学评价[J].水利渔业,2006,26(5):74-75.
- [3] 高世荣,潘力军,孙凤英,等.用水生生物评价环境水体的污染和富营养化[J].环境科学与管理,2006,31(6):174-176.
- [4] 党安志,潘虹,陈椽.贵阳南明河浮游植物调查与水质评价[J].哈尔滨师范大学自然科学学报,2008,24(2):97-100.
- [5] 宁夏回族自治区环境保护局.宁夏回族自治区环境质量报告书[R].银川:2004,2005,2006,2007,2008.
- [6] 黄祥飞,陈伟民,蔡启铭.湖泊生态调查观测与分析[M].北京:中国标准出版社,1999.72-74.
- [7] 陈宇炜,高锡云.浮游植物叶绿素a含量测定方法的比较测定[J].湖泊科学,2000,12(2):185-188.
- [8] 唐启义,冯明光.DPS数据处理系统[M].北京:科学出版社,2002.636-644.
- [9] 明道绪.田间试验与统计分析[M].(第二版).北京:科学出版社,2008.188.
- [10] Lopes M R M, Bicudo C E M, Ferragut M C. Short term spatial and temporal variation of phytoplankton in a shallow tropical oligotrophic reservoir, southeast Brazil [J]. Hydrobiologia, 2005, 542(1): 235-247.
- [11] Muylaert K, Sabbe K, Vyverman W. Spatial and temporal dynamics of phytoplankton communities in a freshwater tidal estuary (Schelde, Belgium) [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2000, 50(5): 673-687.
- [12] Flores L N, Barone R. Phytoplankton dynamics in two reservoirs with different trophic state (Lake Rosamarina and Lake Arancio, Sicily, Italy) [J]. Hydrobiologia, 1998, 369/370: 163-178.
- [13] Ter Braak C J F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis [J]. Ecology, 1986, 67(5): 1167-1179.
- [14] 郝占庆,郭水良,叶吉.长白山北坡木本植物分布与环境关系的典范对应分析[J].植物生态学报,2003,27(6):733-741.
- [15] Mosisch T D, Bunn S E, Davies P M, et al. Effects of shade and nutrient manipulation on periphyton growth in a subtropical stream [J]. Aquatic Botany, 1999, 64(2): 167-177.
- [16] Temponeras M, Kristiansen J, Moustaka-Gouni M. Seasonal variation in phytoplankton composition and physical-chemical features of the shallow Lake Doirani, Macedonia, Greece [J]. Hydrobiologia, 2000, 424(1-3): 109-122.
- [17] 卢亚芳,黄永春,黄世玉,等.厦门杏林湾水库浮游植物密度与生态因子的灰关联分析[J].台湾海峡,2002,21(2):209-216.
- [18] Brettum P. Changes in the volume and composition of phytoplankton after experimental acidification of a Humic lake [J]. Environment International, 1996, 22(5): 619-628.
- [19] 杨广利.洪泽湖富营养化状态调查及防治技术研究初探[D].青岛:中国海洋大学,2003.
- [20] 曲克明,陈碧鹃,袁有宪,等.氮磷营养盐影响海水浮游硅藻种群组成的初步研究[J].应用生态学报,2000,11(3):445-448.
- [21] 王汉奎,董俊德,张偲,等.三亚湾氮磷比值分布及其对浮游植物生长的限制[J].热带海洋学报,2002,21(1):33-39.

- [22] 刘东艳,孙军,钱树本. 胶州湾浮游植物研究Ⅱ环境因子对浮游植物群落结构变化的影响[J]. 青岛海洋大学学报(自然科学版), 2003, **32**(3): 415-421.
- [23] 翁笑艳. 山仔水库叶绿素 a 与环境因子的相关分析及富营养化评价[J]. 干旱环境监测, 2006, **20**(2): 73-78.
- [24] 谢允田,魏民,吕军,等. 南湖叶绿素 a 含量与湖水理化性质的多元分析[J]. 东北水利水电, 1999, (1): 43-45.
- [25] 吕唤春,王飞儿,陈英旭,等. 千岛湖水体叶绿素 a 与环境因子的多元分析[J]. 应用生态学报, 2003, **14**(8): 1347-1350.
- [26] 沈会涛,刘存歧. 白洋淀浮游植物群落及其与环境因子的典范对应分析[J]. 湖泊科学, 2008, **20**(6): 773-779.
- [27] 石晓丹,阮晓红,邢雅囡,等. 苏州平原河网区浅水湖泊冬季浮游植物群落与环境因子的典范对应分析[J]. 环境科学, 2008, **29**(11): 2999-3008.
- [28] Lau S S S, Lane S N. Nutrient and grazing factors in relation to phytoplankton level in a eutrophic shallow lake: the effect of low macrophyte[J]. Water Research, 2002, **36**(14): 3593-3601.
- [29] 赵红雪,邱小琮,杨艳梅,等. 宁夏沙湖水体富营养化分析与评价[J]. 湖北农业科学, 2010, **49**(10): 2414-2417.

《环境科学》多项引证指标名列前茅

2011 年 12 月 2 日,中国科学技术信息研究所在中国科技论文统计结果发布会上公布了 2010 年度中国科技论文统计结果. 统计结果显示 2010 年度《环境科学》多项引证指标位居环境科学技术、安全科学技术类科技期刊前列.

综合评价总分 86.5,排名第一(排名前三名的期刊分别是《环境科学》86.5,《中国环境科学》77.9,《环境科学学报》77.3).

总被引频次 5 197,排名第一(排名前三名的期刊分别是《环境科学》5 197,《环境科学学报》3 914,《农业环境科学学报》3 700).

影响因子 1.125,排名第三(排名前三名的期刊分别是《环境科学研究》1.531,《中国环境科学》1.457,《环境科学》1.125).

综合评价总分是根据中国科技期刊综合评价指标体系,计算多项科学计量指标(总被引频次、影响因子、他引率、基金论文比、引文率等),采用层次分析法确定重要指标的权重,分学科对每种期刊进行综合评定,计算出每个期刊的综合评价总分. 这项指标屏蔽了各个学科之间总体指标背景值的差异,使科技期刊可以进行跨学科比较. 根据发布的统计结果,2010 年度《环境科学》综合评价总分 86.5,在被统计的 1998 种核心期刊中名列第 27 位,在被统计的 36 种环境科学技术、安全科学技术类期刊中名列第一.

CONTENTS

Isotopic Composition and Isotope Tracing of Sulfur in Atmospheric Precipitation at the Head Area of the Three Gorges Reservoir, China	WU Qi-xin, HAN Gui-lin (2145)
Characterization and Reconstruction of Aerosol Light Scattering Coefficient at Chengdu During Biomass Burning and Dust Storm Period in Spring	YUE Jian-hua, TAO Jun, LIN Ze-jian, <i>et al.</i> (2151)
Aerosol Optical Thickness of the Atmospheric Aerosol over Taihu Lake and Its Features; Results of In-site Measurements	RAO Jia-wang, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao, <i>et al.</i> (2158)
Seasonal Variations in the Vertical Distribution of Aerosols During Dry Haze Periods in Regions Around Shanghai	XU Ting-ting, QING Yan, GENG Fu-hai, <i>et al.</i> (2165)
Size Distributions and Diurnal Variations in the Concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Winter in Urban and Suburban Nanjing, China	ZHANG Hong-liang, FAN Shu-xian, GU Kai-hua, <i>et al.</i> (2172)
Seasonal Distribution of Water-Soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol in Qingdao	LIU Zhen, QI Jian-hua, WANG Lin, <i>et al.</i> (2180)
Pollution Characteristics of Microbial Aerosols Generated from a Municipal Sewage Treatment Plant	QIU Xiong-hui, LI Yan-peng, NIU Tie-jun, <i>et al.</i> (2191)
Estimation of the Effect Derived from Wind Erosion of Soil and Dust Emission in Tianjin Suburbs on the Central District Based on WEPS Model	CHEN Li, HAN Ting-ting, LI Tao, <i>et al.</i> (2197)
Variation of Nutrient Concentrations at the Inshore Coastal Area of Northern Jiangsu Province and the Occurrence of Green Tide Caused by <i>Enteromorpha prolifera</i>	GAO Song, SHI Xiao-yong, WANG Ting (2204)
Analysis on Characteristics of Red Tide in Fujian Coastal Waters During the Last 10 Years	LI Xue-ding (2210)
Review on HSPF Model for Simulation of Hydrology and Water Quality Processes	LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Yan (2217)
Parameter Uncertainty Analysis for Urban Rainfall Runoff Modelling	HUANG Jin-liang, LIN Jie, DU Peng-fei (2224)
Estimation of DOC Concentrations Using CDOM Absorption Coefficients; A Case Study in Taihu Lake	JIANG Guang-jia, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao (2235)
Weight Parameters of Water Quality Impact and Risk Grade Determination of Water Environmental Sensitive Spots in Jianshan	XIE Rong-rong, PANG Yong, ZHANG Qian, <i>et al.</i> (2244)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality in Different Seasons of Panxi River in Chongqing	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (2251)
Responses of Wetland Water Quality to Influence the Strengthness of Urbanization in Nanjing, China	HAO Jing-feng, LIU Hong-yu, HU He-bing, <i>et al.</i> (2259)
Studies on Relationship of Phytoplankton and Water Environmental Factors in Shahu Lake	QIU Xiao-cong, ZHAO Hong-xue, SUN Xiao-xue (2265)
Influence on the Spatial Distribution of Fish in Taizi River Basin by Environmental Factors at Multiple Scales	DING Sen, ZHANG Yuan, QU Xiao-Dong, <i>et al.</i> (2272)
Comparison and Application of Biological Indices of Macroinvertebrates in River Health Assessment	GENG Shi-wei, QU Xiao-dong, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (2281)
Spatial and Temporal Distribution of Total Mercury (T-Hg) in Different Water Bodies of Nam Co, Tibetan Plateau	WANG Kang, KANG Shi-chang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> (2288)
Temporal and Spatial Variations of Major Ions in Nam Co Lake Water, Tibetan Plateau	GUO Jun-ming, KANG Shi-chang, ZHANG Qiang-gong, <i>et al.</i> (2295)
Eutrophication Control in Local Area by Physic-ecological Engineering	LI Qiu-hua, XIA Pin-hua, WU Hong, <i>et al.</i> (2303)
Nitrogenous Fluxes and Its Self-Purification Capacity in Lake Taihu	CHEN Xiao-feng, CHUAI Xiao-ming, ZENG Jin, <i>et al.</i> (2309)
Response of Phosphorus Components in Sediments from Eutrophic Lake to External Sulfate	YUAN Tan, HUA Yu-mei, ZHU Duan-wei, <i>et al.</i> (2315)
Spatial Distribution Character of Phosphorus Fractions in Surface Sediment from Chaohu Lake	WEN Sheng-fang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong (2322)
Long-range Transport Potential of Typical Organic Pollutants in Nanjing	FANG Li-jiang, WU You-fang, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (2330)
Distribution of Black Carbon in the Surface Sediments of the East China Sea and Their Correlations with Persistent Organic Pollutants	LIN Tian, FANG Yin, CHEN Ying-jun, <i>et al.</i> (2335)
Contamination Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Water from Jialing River in Chongqing	CAI Wen-liang, LUO Gu-yuan, XU Xiao-yi, <i>et al.</i> (2341)
Levels, Distribution and Possible Sources of Polychlorinated Biphenyls in River Sediments from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, LI Yuan-cheng, MIAO Yi, <i>et al.</i> (2347)
Assessment Model for Heavy Metal Pollution in Sediment Based on Trapezoidal Fuzzy Numbers and Case Study	LI Fei, HUANG Jin-hui, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (2352)
Impact of Coastal Exploitation on the Heavy Metal Contents in the Sediment of Bohai Bay	QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, LI Xiao-bao, <i>et al.</i> (2359)
Spatial Distribution and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Intertidal Surface Sediments of Eastern Chongming	LI Ya-juan, YANG Shi-lun, HOU Li-jun, <i>et al.</i> (2368)
Speciation and Vertical Distribution of Heavy Metals in Sediments of Baiyangdian Lake	LI Bi-cai, HE Lian-sheng, YANG Min, <i>et al.</i> (2376)
AVS Concentrations in Xinan Creek and the Influencing Factors	LIU Xiao-bing, WEN Yan-mao, LI Feng, <i>et al.</i> (2384)
Mechanism of NH_4^+ -N Removal in Drinking Water Biofilter	LIU Bing, FAN Hui, YU Guo-zhong, <i>et al.</i> (2394)
Characterization and Thermodynamic Properties of Cu(II) Imprinted Chitosan Crosslinked Membrane	ZHANG Yu-hong, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti, <i>et al.</i> (2403)
Studies on the Degradation of Paracetamol in Sono-electrochemical Oxidation	DAI Qi-zhou, MA Wen-jiao, SHEN Hong, <i>et al.</i> (2410)
Study on Treatment of Methylene Blue Wastewater by Fly Ash Adsorption-Fenton and Thermal Regeneration	BAI Yu-jie, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti (2419)
Electricity Generation Performance of Two-Chamber Microbial Full Cell in the Treatment of Simulated Wastewater	ZHANG Yong-juan, LI Yong-feng, LIU Chun-yan, <i>et al.</i> (2427)
Preparation and Characterization of Zn/Cr-LDHs and Their Removal Performances of Reactive Brilliant Orange X-GN	WANG Xiao-rong, WU Ping-xiao (2432)
Transport Processes of Low-level Radioactive Liquid Effluent of Nuclear Power Station in Closed Water Body	WU Guo-zheng, XU Zong-xue (2438)
Analysis of Carbon Balance and Study on Mechanism in Anoxic-Oxic-Settling-Anaerobic Sludge Reduction Process	ZHAI Xiao-min, GAO Xu, ZHANG Man-man, <i>et al.</i> (2444)
Effect of Mixed Carbon Sources in the Granulation Process of EBPR System	JIANG Tao, SUN Pei-de, XU Shao-juan (2451)
Biocatalyst of Redox Mediators on the Denitrification by <i>Paracoccus versutus</i> Strain GW1	LI Hai-bo, LIAN Jing, GUO Yan-kai, <i>et al.</i> (2458)
Isolation of a High Hydrogen-producing Mutant TB34 Generated by Transposon Insertion and Analysis of Hydrogen Production	LIU Hong-yan, WANG Guang-ce, SHI Liu-yang, <i>et al.</i> (2464)
Condition Optimization for Degradation of Chlorophenols Using Laccase from <i>Amillariella mellea</i>	QIN Ren-bing, ZHU Xian-feng, WU Ke, <i>et al.</i> (2470)
Characterization of CH_4 , N_2O Emission and Selection of Rice Cultivars in Double Cropping Rice Fields	FU Zhi-qiang, ZHU Hua-wu, CHEN Can, <i>et al.</i> (2475)
Short-term Effects of Exogenous Nitrogen on CH_4 and N_2O Effluxes from <i>Cyperus malaccensis</i> Marsh in the Min River Estuary	MOU Xiao-jie, LIU Xing-tu, TONG Chuan, <i>et al.</i> (2482)
Temporal-spatial Variations of Total Nitrogen in the Degraded Grassland of Three-River Headwaters Region in Qinghai Province	PENG Jing-tao, LI Guo-sheng, FU Wa-li, <i>et al.</i> (2490)
Temporal Variations of Clay Content in Eroded Sediment Under Different Rainfall Condition	WU Feng-zhi, SHI Zhi-hua, FANG Nu-fang, <i>et al.</i> (2497)
Effects of Soil Properties on the Stabilization Process of Cadmium in Cd Alone and Cd-Pb Contaminated Soils	WU Man, XU Ming-gang, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (2503)
<i>In-situ</i> Remediation of Polychlorinated Biphenyls Polluted Soil by Ecological Controlling Measures; A Field Trial	PAN Cheng, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2510)
Characterization Comparison of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Uptake by Roots of Different Crops	LIANG Xiao, ZHAN Xin-hua, ZHOU Li-xiang (2516)
Characteristics and Mechanism of Sodium Removal by the Synergistic Action of Flue Gas and Waste Solid	YI Yuan-rong, HAN Min-fang (2522)
Decomposition Model of Energy-Related Carbon Emissions in Tertiary Industry for China	LU Yuan-qing, SHI Jun (2528)

《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7月15日 33卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 7 Jul. 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. 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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发刊