

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第10期

Vol.33 No.10

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

淀山湖百年营养演化历史及营养物基准的建立	李小平, 陈小华, 董旭辉, 董志, 孙敦平 (3301)
矿化度作为蒙新高原湖泊营养物基准影响指标的可行性	席北斗, 张亚丽, 许秋瑾 (3308)
小波分析在湖泊常见浮游藻类荧光识别测定中的应用	张翠, 苏荣国, 宋志杰, 张珊珊, 王修林 (3314)
湖面亮温对巢湖水华影响的遥感监测分析	张红, 黄勇, 李堃 (3323)
基于地下水暴露途径的健康风险评价及修复案例研究	姜林, 钟茂生, 贾晓洋, 夏天翔, 姚珏君, 樊艳玲, 张丽娜, 唐振强 (3329)
基于多生物标志物污染指数法的北部湾潮间带污染程度评价	杜秀萍, 孟范平, 王志峰, 李祥蕾, 杨菲菲, 程凤莲, 杨跃志, 李正炎 (3336)
东海无机氮排海通量年际变化估算	吴家林, 方倩, 石晓勇, 李克强, 张传松, 王修林 (3344)
海洋酸化对大型海藻生长以及磷酸盐、硝酸盐吸收利用的影响	于娟, 张瑜, 杨桂朋, 田延旺 (3352)
北黄海表层沉积物中颗粒态磷的形态分布	孟佳, 姚庆祯, 陈洪涛, 于志刚 (3361)
湖泊疏浚对沉积物再悬浮及磷迁移影响的模拟研究	余居华, 钟继承, 张银龙, 范成新, 何伟, 张雷, 唐阵武 (3368)
降雨条件下岩溶泉水中悬浮颗粒物的运移特征及来源分析	杨平恒, 刘子琦, 贺秋芳 (3376)
三峡水库试验性蓄水前后大宁河富营养化状态比较	张佳磊, 郑丙辉, 刘录三, 王丽婧, 吴光应 (3382)
三峡库区不同土地利用类型氮磷流失特征及其对环境因子的响应	曾立雄, 黄志霖, 肖文发, 田耀武 (3390)
山地城市地表径流源区水质特征监测研究	李立青, 单保庆, 赵建伟, 郭树刚, 高勇 (3397)
唐山开滦煤矿区土壤及地表水中 Se 元素赋存状态及其生态效应研究	张秀芝, 马忠社, 王荫楠, 王志军, 谢伟民 (3404)
西藏地表水中砷的分布	王明国, 李社红, 王慧, 肖唐付, 郑宝山 (3411)
锡林河流域地表水痕量元素的时空分布	薛丽洋, 吴锦奎, 张明泉, 丁永建, 叶柏生 (3417)
天津滨海地区表层沉积物中持久性有机污染物的含量特征与生态风险	卢晓霞, 张姝, 陈超琪, 侯珍, 杨君君 (3426)
松花江流域河流沉积物中多氯联苯的分布、来源及风险评价	聂海峰, 赵传冬, 刘应汉, 彭敏, 李括, 杨柯, 刘飞 (3434)
长江口近岸表层沉积物中基质结合态磷化氢的分布特征	李涛, 侯立军, 刘敏, 赵迪, 尹国宇, 郑艳玲, 赵慧 (3443)
烟台四十里湾柱状沉积物氮形态地球化学特征	杨玉玮, 高学鲁, 李培苗 (3449)
黄河口湿地土壤中正构烷烃分子指标及物源指示意义	姚鹏, 尹红珍, 姚庆祯, 陈洪涛, 刘月良 (3457)
含藻水中壬基酚的光降解转化研究	彭章娥, 冯劲梅, 何淑英, 吴峰 (3466)
硝酸铁-过硫酸盐改性 GAC 催化 H ₂ O ₂ 氧化橙黄 IV	张瑛洁, 徐淑芬, 廖霞, 曹天静, 杨榕, 李大鹏 (3473)
Pd/CMK-3 的合成、表征及对甲酸的电催化氧化性能研究	还中科, 宗恩敏, 魏丹, 万海勤, 郑寿荣, 许昭怡 (3479)
曝气稳定塘处理农村生活污水曝气控制条件研究	李怀正, 姚淑君, 徐祖信, 陈卫兵 (3484)
以亲水改性聚氨酯为多孔载体的生物膜移动床反应器处理污水中试研究	王玉晓, 孔秀琴, 冯权, 卢海涛, 王德源, 唐黎明, 邢新会 (3489)
光催化降解渗滤液 DOM 不同组分的相对分子量变化特征	贾陈忠, 王焰新, 张彩香 (3495)
短程硝化-反硝化生物滤池脱氮机制研究	孙迎雪, 徐栋, 田媛, 李燕飞 (3501)
CANON 反应器运行稳定性及温度冲击的影响	付昆明, 张杰, 曹相生, 李冬, 孟雪征 (3507)
MUCT 工艺全程硝化和短程硝化模式下反硝化除磷研究	曾薇, 王向东, 张立东, 李博晓, 彭永臻 (3513)
活性污泥胞外聚合物 (EPS) 的分层组分及其理化性质的变化特征研究	袁冬琴, 王毅力 (3522)
有机负荷条件对间歇式气提内循环反应器中好氧颗粒污泥形成的影响	刘孟媛, 周丹丹, 高琳琳, 马德方, 张予萌, 李克宇 (3529)
厌氧污泥降解蔡动力学与生物多样性研究	曹新垲, 杨琦, 郝春博 (3535)
雌二醇在土壤/沉积物中的吸附特征及猪粪 DOM 对吸附的影响	张丰松, 李艳霞, 黄泽春, 杨明 (3542)
近海沉积物对粪固醇的等温吸附和热力学研究	张晓蕾, 薛文平, 徐恒振, 马新东 (3547)
甲苯在北京褐潮土中的运移分布及其 STOMP 模拟研究	韩春媚, 冉娟, 张慧, 李发生, 李雁, 谷庆宝 (3554)
聚丙烯酸钠为结合相的梯度扩散薄膜技术预测甘蔗田土壤中镉的生物有效性	王芳丽, 宋宁宁, 赵玉杰, 张长波, 沈跃, 刘仲齐 (3562)
土壤改良剂及其组合原位钝化果园土壤中的 Pb、Cd	汤民, 张进忠, 张丹, 陈舜, 张训, 刘万平, 余建 (3569)
基于不同通车时间的路旁土壤重金属健康风险:以连霍高速郑州—商丘段为例	谷蕾, 全致琦, 宋博, 马建华 (3577)
生活污水污泥制备的生物质炭对红壤酸度的改良效果及其环境风险	卢再亮, 李九玉, 姜军, 徐仁扣 (3585)
沉积物中多环芳烃对反硝化功能基因垂直分布的影响	吴艳阳, 黄珊, 叶嘉欣, 张恒军, 张仁铎 (3592)
阴离子黏土(层状双氢氧化物)对鲱鱼精 DNA 在重金属作用下的保护作用研究	唐旖旎, 吴平霄, 朱能武 (3598)
预处理后生物成因施氏矿物的矿物学特征及对 As(III) 吸附的影响	梁剑茹, 李浙英, 刘奋武, 周立祥 (3606)
铜绿假单胞菌 ZGKD2 的重金属耐性机制研究	张玉秀, 王姣, 柴团耀, 张倩, 刘金光, 李霞, 白志强, 苏增健 (3613)
1 株 1,2-二氯乙烷降解菌的分离及降解特性研究	王小春, 陈东之, 金小君, 陈建孟 (3620)
PCBs 降解菌的筛选及其降解特性研究	史舜燕, 冯流, 龚吉 (3627)
青草沙水库蓄水期间细菌群落结构变化的初步研究	彭青, 谢冰, 袁琦, 黄智婷, 崔璐璐, 王文婷 (3634)
华北平原玉米-小麦轮作农田 N ₂ O 交换通量的研究	裴淑玮, 张圆圆, 刘俊锋, 伦小秀, 牟玉静 (3641)
影响南京地区的两次典型空气污染过程分析	王飞, 朱彬, 康汉清, 高晋徽, 王瑛, 江琪 (3647)
济南市夏季环境空气 VOCs 污染特征研究	刘泽常, 张帆, 侯鲁健, 刘玉堂, 吕波 (3656)
活性炭分解臭氧机制研究	刘海龙, 张智辉, 张忠明, 焦媛媛, 王瑞军 (3662)
大气 O ₃ 浓度升高对 2 种基因型矮菜豆丛枝菌根 (AM) 结构及球囊霉素蛋白产生的影响	王鹏腾, 刁晓君, 王曙光 (3667)
铝胁迫下外源钙对外生菌根真菌抗氧化保护酶活性的影响	王明霞, 黄建国, 袁玲, 周志峰 (3675)
锌冶炼不同群落生境蟋蟀汞污染	郑冬梅, 李昕馨, 罗庆 (3680)
《环境科学》征订启事 (3313) 《环境科学》征稿简则 (3322) 信息 (3328, 3512, 3561, 3640)	

矿化度作为蒙新高原湖泊营养物基准影响指标的可行性

席北斗, 张亚丽, 许秋瑾*

(中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要: 基于蒙新高原湖区多年综合调查资料及现场监测数据分析, 结果显示蒙新湖区存在咸化趋势. 多元逐步回归分析表明总磷、矿化度是影响蒙新湖区初级生产力的重要因子. 相关性分析显示, 蒙新高原湖区湖泊矿化度与溶解氧、pH 值、总氮、叶绿素 a 及透明度相关, 其中, 溶解氧、pH 值与矿化度呈极显著负相关 ($P < 0.01$); 总氮、叶绿素 a 与矿化度呈极显著正相关 ($P < 0.01$); 透明度与矿化度呈显著负相关 ($P < 0.05$). 通过矿化度与国际公认的营养物基准指标[原因变量(TP、TN)和反应变量(Chl-a、SD)]之间的线性关系研究表明, 矿化度应成为蒙新高原湖区湖泊营养物基准影响指标之一, 研究结果为确定蒙新高原湖区湖泊营养物基准的候选变量和指标提供了理论依据.

关键词: 蒙新高原湖区; 营养物指标; 矿化度; 相关分析; 多元逐步回归

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)10-3308-06

Possibility of Total Dissolved Solid as one of Nutrient Baselines in Inner Mongolia-Xinjiang Plateau

XI Bei-dou, ZHANG Ya-li, XU Qiu-jin

(Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: The temporal changes of total dissolved solid concentrations were analyzed according to the investigations and regular monitoring data in the Inner Mongolia-Xinjiang plateau. The result showed that the salinization process in the Inner Mongolia-Xinjiang plateau became strong. Integrated regression equation indicated that, the environmental physical and chemical factors affecting chlorophyll-a were total phosphorus and TDS. The relationship between the nutrient and biological variables was analyzed in typical examples in the Inner Mongolia-Xinjiang plateau. The results showed that, dissolved oxygen, pH, total nitrogen, chlorophyll-a, transparency were significant factors that affected TDS of the Inner Mongolia-Xinjiang plateau. It presented a significantly negative relationship ($P < 0.01$) between dissolved oxygen, pH and TDS, whereas it presented a significantly positive relationship ($P < 0.01$) between total nitrogen, chlorophyll-a, and TDS, and a positive relationship ($P < 0.05$) between transparency and TDS was observed. The linear relationship between TDS, eutrophication response variables (i. e., chlorophyll-a and transparency) and reasonable variables (i. e., total phosphorus and total nitrogen) was investigated as well in this paper. The result suggested that TDS should be classified into the nutrient criteria of the Inner Mongolia-Xinjiang plateau, which provides a theoretical basis to determine the candidate variables and indicator for lake nutrient criteria in the Inner Mongolia-Xinjiang plateau.

Key words: Inner Mongolia-Xinjiang plateau; nutrient indexes; total dissolved solid (TDS); correlation analysis; multiple regression analysis

矿化度是指水中所含无机矿物成分的总量. 矿化度作为湖泊咸化的因子之一, 是水质评价的一个重要指标. 有关矿化度对藻类生长的影响效应研究证实, 矿化度对藻类生长影响作用较为显著, 体现在藻体生长代谢、生理生化成分、藻细胞周期、营养盐吸收、蛋白表达、抗氧化酶活性的影响及产毒变化等方面^[1-6]. 矿化度与湖泊初级生产力之间存在明显的影响效应关系.

蒙新湖区^[7,8]系指分布在内蒙古自治区、河北省西北部及新疆维吾尔自治区所辖范围内的一些湖泊. 该区湖泊多为彼此孤立的内陆盆地水系的最后归宿地, 发育成众多的内陆湖泊, 只有个别湖泊如额尔齐斯河上游的喀纳斯湖、黄河河套地区的乌梁素海等为外流湖. 区内湖泊大致以黑河为

界, 黑河以西多构造湖, 以东多小型风蚀湖, 亦有部分构造湖. 在干旱半干旱气候背景下, 蒙新湖区太阳辐射强, 降雨稀少, 蒸发强烈, 总体湖泊水量收支呈负值, 湖泊萎缩, 水质日益咸化. 同时, 近年来, 强烈的人类活动对上游植被的乱砍滥伐和草场的过度开发等垦荒行为以及对入湖水量的截取, 打破了自然状况下湖泊的水量平衡和水盐平衡, 加剧了盐化程度; 部分湖泊饱受农田退水、工业废水和城市生活污水的污染, 造成有机废物

收稿日期: 2011-12-28; 修订日期: 2012-03-11

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07106-001); 国家环境保护公益性行业科研专项项目(200909048, 20090954)

作者简介: 席北斗(1969~), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为流域水环境, E-mail: xibeidou@263.net

* 通讯联系人, E-mail: xuqj@craes.org.cn

和营养盐在湖泊水体和沉积物中不断富集,导致富营养化。如呼伦湖目前已达富营养化状态,乌梁素海成为世界上十分典型的重度富营养化的草型湖泊,博斯腾湖、乌伦古湖、赛里木湖也已达中富营养状态^[9~12]。

本研究从数理统计上,针对蒙新湖区典型特征因子矿化度,从宏观层面上统计分析蒙新湖区湖泊的历史和现状资料,以收集到的透明度(SD)、叶绿素 a (Chl-a)、总氮(TN)、总磷(TP)、矿化度(TDS)、溶解氧(DO)、pH 等不同水生态指标和物化因子的数据为基础,应用多种统计学方法对数据资料进行筛选、识别以及回归分析,旨在进一步阐明矿化度与湖泊水体生产力和营养状况间的相关性,考证将其作为特定区域内的咸水湖泊富营养化指标的可能性。

1 材料与方法

1.1 数据来源

乌梁素海:1991~2008 年数据来源于巴盟环境监测站,2009~2010 年数据来源于巴彦淖尔市环境监测站;呼伦湖:2009~2010 年数据来源于中国环

境科学研究院的补充采样调查;牧羊海、纳林湖、郝驴驹:2010 年数据来源于巴彦淖尔环境监测站;博斯腾湖(2005~2010 年)、艾比湖(2005、2007~2009 年)、柴窝堡湖(2005~2009 年)、赛里木湖(2005~2009 年)、喀纳斯湖(2005~2009 年)数据均来源于新疆监测站;乌伦古湖(2010 年)、喀纳斯湖(2010 年)、吉力湖(2010 年)均来源于中国环境科学研究院的补充采样调查。删除了观测数据中明显的极端值,共收集数据 3 294 个,蒙新湖区各指标因子的统计分析见表 1。

1.2 采样分析方法

根据湖泊面积、湖盆形态、湖泊水动力条件和流域补给等布置采样点数目与位置。选取的主要监测指标为透明度(SD)、叶绿素 a (Chl-a)、总氮(TN)、总磷(TP)、矿化度(TDS)、溶解氧(DO)、pH,各指标的分析方法均采用国家标准方法:现场采用 YSI 6500 多参数水质分析仪测定湖水矿化度、溶解氧和 pH;采用塞氏盘法测量湖水透明度;叶绿素 a 含量的测定用丙酮萃取分光光度计法;总磷、总氮的测定参照文献[13]。采用 SPSS 16.0 对数据进行数据处理和统计分析。

表 1 蒙新高原湖区各指标因子的统计分析表

Tabel 1 Statistics of factors in Inner Mongolia-Xinjiang plateau

指标	TDS/g·L ⁻¹	pH	DO/mg·L ⁻¹	TP/mg·L ⁻¹	TN/mg·L ⁻¹	SD/m	Chl-a/ mg·m ⁻³
样本容量有效值	295	630	619	593	520	332	305
样本容量缺失值	373	38	49	75	148	336	363
最小值	0.016	6.75	0.1	0.005	0.07	15	0.003
最大值	226	10.2	14.8	0.845	29.3	3 092	68.6
均值	10.82	8.46	7	0.93	2.52	231.63	9.01
均值标准误差	2.180	0.022	0.111	0.005	0.156	21.302	0.783
全距	225.98	3.45	14.7	0.84	29.23	3 077	68.6
样本标准差	37.44	0.55	2.77	0.11	3.56	388.14	13.68
样本方差	1 401.9	0.3	7.69	0.013	12.67	150 652	187.1
偏度	4.243	-0.406	0.039	2.68	4	5.705	2.141
偏度标准误差	0.142	0.097	0.098	0.1	0.107	0.134	0.140
峰度	16.993	0.637	-0.097	9.465	19.159	36.759	4.112
峰度标准误差	0.283	0.194	0.196	0.2	0.214	0.267	0.278

其中均值标准误差的计算公式为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \cdots + \varepsilon_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{n}}$$

样本标准差的计算公式为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

样本方差的计算公式为:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

2 结果与讨论

2.1 蒙新湖区湖泊盐化态势

据不完全统计,蒙新湖区 30 余个主要湖泊,除喀纳斯湖以外,均已处于咸水湖和盐湖阶段。据悉,

50 年代博斯腾湖矿化度尚处于 $0.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下,到了 80 年代中期,矿化度已升至 $1.8 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右,目前某些水域水质的年平均矿化度已超过 $3.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,较 50 年代增加了 5 倍之多,远远超出了人民生活用水和非盐碱地地区灌溉用水国家标准^[14]; 1980 ~ 1989 年乌梁素海湖水矿化度为 $1.916 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 1990 ~ 1999 年为 $2.414 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 2000 ~ 2008 年增至 $4.604 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[15],翻了 1 倍多(1980 ~ 1999 年为环保资料, 2000 ~ 2008 年为水文站乌梁素海东湖水质站点监测资料.); 而艾比湖更是从 $70 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 增至 $122 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 之多^[16]. 蒙新湖区湖泊矿化度呈迅猛递增之势. 由于蒙新湖区共处相似的干旱半干旱气候背景下,加上近年来剧烈的人类活动影响,即人为截取入湖水量,影响湖泊生态系统中的生物地球化学循环,从而使蒙新湖泊呈现盐化态势的共性特征^[17].

鉴于收集到的博斯腾湖矿化度监测数据连续性较好(1955 ~ 2009 年),故以博斯腾湖为例,图 1 采用箱图表征博斯腾湖矿化度的年际变化. 结果显示,20 世纪 50 ~ 80 年代矿化度增长速度呈迅猛之势,主要是由于这一时期湖区气候处于暖干化,气温波动上升,降水基本不变或略显减小,但水面蒸发呈增大趋势,导致水位持续下降,湖泊萎缩,日益咸化. 而在 20 世纪 90 年代之后,降水有所增加,蒸发旺盛^[18],图 1 显示咸化趋势有所缓和,但仍远远高于 20 世纪 50 年代,存在盐化污染.

2.2 各水质和水生态指标因子间的统计分析

2.2.1 基于叶绿素 a 因子的逐步回归分析

各种环境理化因子对叶绿素 a 影响作用各不相同,逐步回归分析可以筛选出与叶绿素 a 相对重要的水质影响因子,建立最优多元回归方程,并可进行方程显著性检验. 根据上述诊断依据,以叶绿素 a

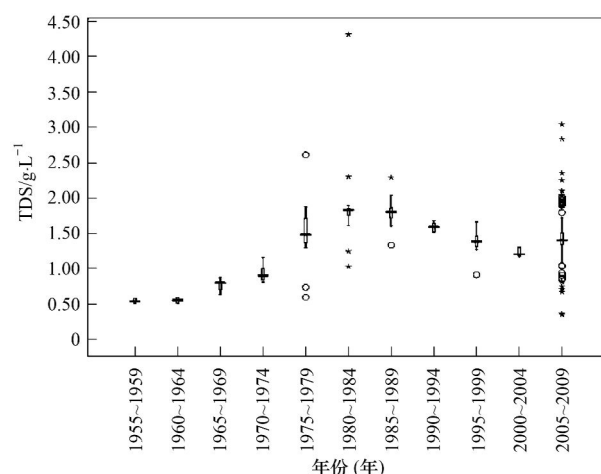


图 1 1955 ~ 2009 年博斯腾湖矿化度年际变化

Fig. 1 Degree of mineralization change in Bositing Lake during 1955-2009

含量为因变量,采用逐步回归分析的方法对水体指标因子进行筛选,有 2 个因子入选,即总磷和矿化度,其结果如下:

$$\text{Chl-a} = -1.606 + 28.030 \times \text{TP} + 1.940 \times \text{TDS}$$

$$(N = 191, F = 149.999, R = 0.808,$$

$$D_f = 162, P < 0.001)$$

而将叶绿素 a 与 TP 经线性回归建立的方程为:

$$\text{Chl-a} = 2.590 + 86.135 \times \text{TP}$$

$$(N = 283, F = 248.974, R = 0.685,$$

$$D_f = 282, P < 0.001)$$

回归方程中,标准残差的 P-P 图显示标准残差符合正态分布,Chl-a 的标准化预测值与其它生化残差散点图中绝大部分观测值随机地落在垂直围绕 ± 2 的范围内,说明回归方程满足线性与方差齐性的假设且拟合效果较好. Chl-a 与其他指标间的相关系数,即拟合模型的优劣参数见表 2,显示相对其他影响因子,总磷、矿化度对叶绿素 a 的影响较大.

表 2 蒙新高原湖区 Chl-a 与其它指标因子之间的相关系数及检验结果¹⁾

项目	TDS/ $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ($N = 295$)	pH ($N = 630$)	DO/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ($N = 619$)	TP/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ($N = 593$)	TN/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ($N = 520$)	SD/m ($N = 332$)	Chl-a/ $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ($N = 305$)	TP + TDS
Chl-a/ $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	0.244 **	-0.168 **	-0.361 **	0.685 **	0.655 **	-0.303 **	1	0.808 **

1) * 表示 $P < 0.05$ 显著相关, ** 表示 $P < 0.01$ 极显著相关

叶绿素 a 是光合作用最主要的绿色色素、浮游植物的生物量指标和参与光合作用的重要物质. 影响水体叶绿素 a 含量的因素很多,其中磷营养盐是水体中藻类生长繁殖所必不可少的因素,是调节湖泊藻类生产力最主要的营养物^[19]. 水体中的磷主要来源有磷酸盐矿的溶解、土壤的淋溶和迁移、底泥的释放,工业排污与农业面源污染及居民生活污

水等使天然水体的磷含量增加,其中沉积物(底泥)是湖泊内源性 P 的主要来源^[20]. 蒙新湖区各指标因子的多元回归结果表明,磷营养盐是蒙新高原湖泊的限制性营养物,因此有效控制 P 源污染是防控蒙新湖区湖泊富营养化演变趋势的重要途径之一.

矿化度是用来表征单位水体盐含量的一个指标. 由回归结果可知,矿化度与叶绿素 a 之间的

响应关系显著,即矿化度能通过影响藻类-湖泊初级生产力,进而影响蒙新高原湖区湖泊的营养状况。也从另一层面验证了关于“矿化度作为限制或影响藻类生产量和营养状况的主要因素之一”的相关实验结论^[1~6],其主要的影响机制体现在:盐度决定渗透压,影响质膜的透性,从而影响质膜内外物质的交换以及生境中 CO_2 和 O_2 的溶解度,进而影响藻细胞的代谢速率和氮磷营养盐的消耗率;藻体适应盐胁迫环境的另一机制可能是在胞内形成渗透活度的有机物质,从而引起胞内溶质浓度(甘油、可溶性糖及蛋白质等含量)的改变。据悉,部分蒙新湖泊已呈现富营养化状态,矿化度又被证明是影响蒙新湖区湖泊营养状况的重要因子,所以,亟需相关部门对蒙新湖泊的咸化趋势给予高度重视。而作为矿化度影响因素之一的气候因子非人为所能控制,因此,通过采取一系列必要措施来减少人为活动对湖水咸化的影响显得尤为重要。

2.2.2 TDS 与其他因子间的相关分析

对蒙新高原湖区湖泊矿化度及其它相关理化因子进行了两两相关性研究,其 Pearson 相关系数及其双尾检验结果见表 3。蒙新高原湖区湖泊矿化度与溶解氧、总磷、总氮、透明度、叶绿素 a、pH 值之

间的相关关系表明,溶解氧、pH 值与矿化度呈极显著负相关,其相关系数为 -0.314 和 -0.489 。溶解氧含量随矿化度的增高而减小。原因是测定的溶解度为一定氧分压和水温下,氧在纯水中的溶解度,含盐溶液中氧气溶解度降低,致使氧饱和度偏低^[21]。水体矿化度增加导致水体中溶解氧下降,蒙新高原湖泊调查资料也验证了这一特点。由于溶解氧直接影响水生生物环境,揭示矿化度通过影响溶解氧来间接影响湖泊初级生产力。pH 值直接影响水体中无机碳源的存在形式,综合反映水体水化学特征,对湖水中钙离子的行为有很大的影响,从而决定湖水系统的化学稳定性。此外,pH 值呈现随藻类生长而显著增高的趋势^[22]。蒙新高原湖泊水质的 pH 均值为 8.46 ,与富营养化湖泊水质呈弱碱性的特征存在一定的吻合。总氮、叶绿素 a 与矿化度呈极显著正相关,其相关系数为 0.172 和 0.244 。说明水体营养状况、藻类生长情况与矿化度密切相关;透明度与矿化度呈显著负相关,其相关系数为 -0.153 。湖水的透明度决定于水中所含盐类、悬浮物、有机质和胶体的数量^[23,24]。由径流及风力带入黏土类悬浮物和藻类等固体物质,增加水中离子、分子和各种化合物的总含量,从而提高湖水中矿化度的含量,进而引起透明度下降。

表 3 蒙新高原湖区 TDS 与其他指标因子之间的相关系数及检验结果¹⁾

Tabel 3 Correlation coefficients between TDS and other factors in Inner Mongolia-Xinjiang plateau

项目	DO	TP	TN	SD	Chl-a	pH
TDS	-0.489^{**}	0.064	0.172^{**}	-0.153^{*}	0.244^{**}	-0.314^{**}

1) * 表示 $P < 0.05$ 显著相关, ** 表示 $P < 0.01$ 极显著相关

2.2.3 TDS 与 Chl-a、SD、TN、TP 各指标因子间的线性关系

TDS 与 Chl-a、SD、TN、TP 之间线性关系见图 2。从中可知,TDS 与 TN、TP、Chl-a 间的线性拟合较好(R^2 为 0.302 、 0.551 、 0.664),且呈正相关;而 TDS 与 lg SD 则呈负相关(R^2 为 0.427)。美国环保局推荐采用原因变量(TP、TN)和反应变量(Chl-a、SD)作为湖泊营养物的基准指标,但允许州或区域也可根据适用性对信息进行筛选,将其他变量增加到基准指标变量中^[25,26]。而矿化度作为蒙新高原湖区的典型特征因子,与营养物的基准指标(Chl-a、SD、TN、TP)间具有明显的线性关系,因此可考虑将矿化度作为蒙新高原湖区的营养物基准影响指标之一。

3 结论

(1)蒙新高原湖区在干旱半干旱气候背景和剧烈的人类活动影响下,湖水矿化度呈迅猛递增之势,咸化趋势明显。

(2)通过多元逐步回归分析,证实总磷、矿化度是影响蒙新湖区初级生产力的重要因子;通过相关性分析,显示影响蒙新高原湖泊矿化度与溶解氧、pH 值、总氮、叶绿素 a、透明度之间具有较好的相关性。其中溶解氧、pH 值与矿化度呈极显著负相关($P < 0.01$),总氮、叶绿素 a 与矿化度呈极显著正相关($P < 0.01$),透明度与矿化度呈显著负相关($P < 0.05$);通过描述矿化度与国际公认的营养物基准指标[原因变量(TP、TN)和反应变量(Chl-a、

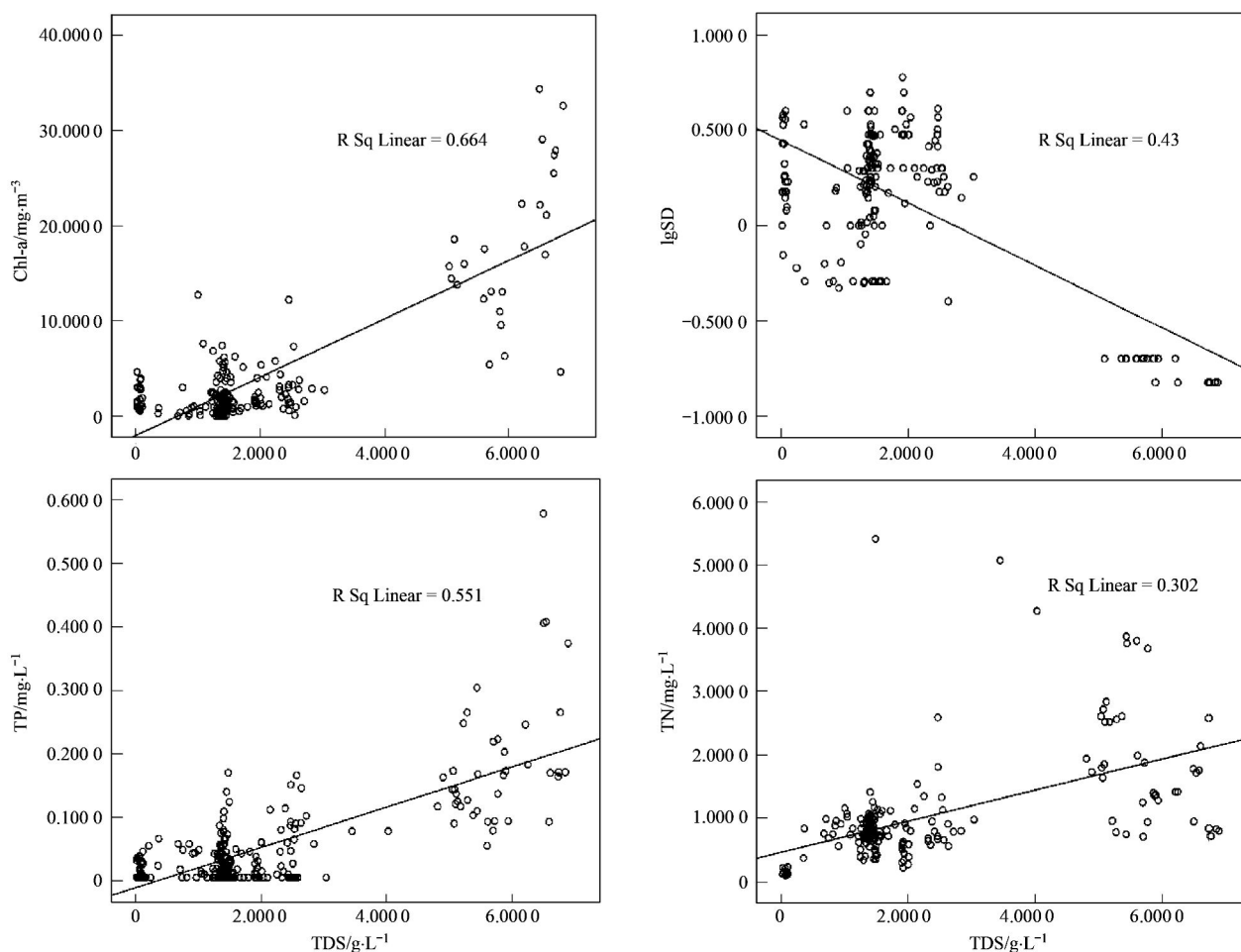


图2 TDS与Chl-a、lgSD、TP、TN间的线性关系

Fig. 2 Linear relationship between TDS and Chl-a, lgSD, TP, TN

SD)]之间的线性关系图,推断矿化度也应成为蒙新高原湖区湖泊营养物基准影响指标之一。

参考文献:

- [1] Taylor R, Fletcher R L, Raven J A. Preliminary studies on the growth of selected 'green tide' algae in laboratory culture: effects of irradiance, temperature, salinity and nutrients on growth rate[J]. *Botanica Marina*, 2001, **44**(4): 327-336.
- [2] 徐宁, 吕颂辉, 陈菊芳, 等. 温度和盐度对锥状斯氏藻生长的影响[J]. *海洋环境科学*, 2004, **23**(3): 36-38.
- [3] Jiménez C, Niell F X. Influence of high salinity and nitrogen limitation on package effect and C/N ratio in *Dunaliella viridis* [J]. *Hydrobiologia*, 2003, **492**(1-3): 201-206.
- [4] 王长海, 贾顺义. 盐度对紫球藻生长及氮磷利用的影响[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2009, **41**(12): 194-197.
- [5] Strizh I G, Popova L G, Balnokin Y V. Physiological aspects of adaptation of the marine microalga *tetraselmis* (*Platymonas*) *viridis* to various medium salinity[J]. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2004, **51**(2): 176-182.
- [6] Liska A J, Shevchenko A, Pick U, *et al.* Enhanced photosynthesis and redox energy production contribute to salinity tolerance in *dunaliella* as revealed by homology-based proteomics [J]. *Plant Physiology*, 2004, **136**(1): 2806-2817.
- [7] 金相灿. 中国湖泊环境[M]. 北京: 海洋出版社, 1995. 17-26.
- [8] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 78.
- [9] 张晓晶, 李畅游, 张生, 等. 呼伦湖沉积物重金属分布特征及生态风险评价[J]. *农业环境科学学报*, 2010, **29**(1): 157-162.
- [10] 史小红, 李畅游, 贾克力. 乌梁素海污染现状及驱动因子分析[J]. *环境科学与技术*, 2007, **30**(4): 37-38.
- [11] 代进锋. 博斯腾湖生态修复技术的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [12] 辛红云, 陈志军, 乌兰. 艾比湖水水质现状及营养状态评价[J]. *盐湖研究*, 2010, **18**(3): 30-33.
- [13] 水和废水监测分析方法编委会. 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.
- [14] 谭莞, 王亚俊, 宁建忠. 新疆博斯腾湖水生态环境变化分析[J]. *干旱区研究*, 2004, **21**(1): 7-10.
- [15] 李建雯. 乌梁素海水环境状况及保护措施[J]. *内蒙古水利*, 2009, (5): 79-80.
- [16] 陈志军. 艾比湖水盐变化原因及影响研究[J]. *盐湖研究*,

- 2007, **15**(2): 1-5.
- [17] 王树基. 近四十年来人类活动对我国干旱区湖泊的影响[J]. 干旱区地理, 1989, **12**(1): 2-5.
- [18] 胡安焱. 流域气候变化和人类活动对内陆湖泊影响的分析[J]. 干旱区资源与环境, 2007, **21**(5): 1-5.
- [19] 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.
- [20] Wetzel R G. Limnology: lake and river ecosystems[M]. (3rd ed). San Diego: Academic Press, 2001. 245-260.
- [21] 姚宁钢. 喀喇昆仑山至昆仑山地区湖水溶解氧特性分析[J]. 海洋湖沼通报, 1990, (2): 49-53.
- [22] 何俊, 谷孝鸿, 刘国峰. 东太湖水生植物及其与环境的相互作用[J]. 湖泊科学, 2008, **20**(6): 790-795.
- [23] 潘继征, 熊飞, 李文朝, 等. 云南抚仙湖透明度的时空变化及影响因子分析[J]. 湖泊科学, 2008, **20**(5): 681-686.
- [24] 杨顶田, 陈伟民, 曹文熙. 太湖梅梁湾水体透明度的影响因素分析[J]. 上海环境科学, 2003, (增刊): 34-38.
- [25] US EPA. Nutrient criteria technical guidance manual: lakes and reservoirs (EPA-822-B-00-001)[R]. Washington DC: United States Environment Protection Agency, 2000.
- [26] US EPA. Ambient water quality criteria recommendations: lakes and reservoirs in nutrient ecoregion II (EPA-822-B-00-007)[R]. Washington DC: United States Environment Protection Agency, 2000. 20-21.

欢迎订阅 2013 年《环境科学》

《环境科学》创刊于 1976 年,由中国科学院主管,中国科学院生态环境研究中心主办,是我国环境科学学科中最早创刊的学术性期刊。

《环境科学》自创刊以来,始终坚持“防治污染,改善生态,促进发展,造福人民”的宗旨,报道我国环境科学领域内具有创新性高水平,有重要意义的基础研究和应用研究成果,以及反映控制污染,清洁生产和生态环境建设等可持续发展的战略思想、理论和实用技术等。

《环境科学》在国内外公开发行人,并在国内外科技界有较大影响,被国内外一些重要检索系统收录,如美国医学索引 MEDLINE;美国化学文摘 CA;俄罗斯文摘杂志 AJ;美国生物学文摘预评 BP;美国医学索引 IM;日本科学技术情报中心数据库 JICST;英国动物学记录 ZR;剑桥科学文摘(CSA):Environmental Sciences;剑桥科学文摘(CSA):Pollution Abstracts;剑桥科学文摘(CAS):Life Sciences Abstracts 等;国内的检索系统有中国科技论文统计与引文数据库(CSTPCD);中文科技期刊数据库(维普);中国期刊全文数据库(CNKI);数字化期刊全文数据库(万方);中国科学引文数据库(CSCD);中国生物学文摘等。

全国各地邮局均可订阅,如有漏订的读者可直接与编辑部联系,办理补订手续。

《环境科学》2013 年为大 16 开本,90 元/册,全年 12 期。

国内统一刊号:CN11-1895/X 国际标准刊号:ISSN 0250-3301

国外发行代号:M 205 国内邮发代号:2-821

编辑部地址:北京市海淀区双清路 18 号(2871 信箱) 邮编:100085

电话:010-62941102;传真:010-62849343;E-mail:hjkk@rcees.ac.cn;网址:www.hjkk.ac.cn

CONTENTS

Nutrient Dynamics over the Past 100 Years and Its Restoration Baseline in Dianshan Lake	LI Xiao-ping, CHEN Xiao-hua, DONG Xu-hui, <i>et al.</i> (3301)
Possibility of Total Dissolved Solid as one of Nutrient Baselines in Inner Mongolia-Xinjiang Plateau	XI Bei-dou, ZHANG Ya-li, XU Qiu-jin (3308)
Fluorescence Discrimination Technique for Phytoplankton Based on the Wavelet Analysis	ZHANG Cui, SU Rong-guo, SONG Zhi-jie, <i>et al.</i> (3314)
Analysis of Algae Bloom and Lake Surface Bright Temperature in Chaohu Lake Based on Remote Sensing Data	ZHANG Hong, HUANG Yong, LI Kun (3323)
Case Study on Groundwater Health Risk Assessment and Remediation Strategy Based on Exposure Pathway	JIANG Lin, ZHONG Mao-sheng, JIA Xiao-yang, <i>et al.</i> (3329)
Pollution Assessment in the Intertidal Zone of Beibu Gulf Using Multi-biomarker Pollution Index	DU Xiu-ping, MENG Fan-ping, WANG Zhi-feng, <i>et al.</i> (3336)
Estimation of the Flux of Inorganic Nitrogen Flowing into the East China Sea	WU Jia-lin, FANG Qian, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> (3344)
Effects of Ocean Acidification on Growth, Phosphate and Nitrate Uptake of Macroalgae	YU Juan, ZHANG Yu, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (3352)
Forms and Distributions of Particulate Phosphorus in the Surface Sediments of North Yellow Sea	MENG Jia, YAO Qing-zhen, CHEN Hong-tao, <i>et al.</i> (3361)
Influence of Dredging on Sediment Resuspension and Phosphorus Transfer in Lake; A Simulation Study	YU Ju-hua, ZHONG Ji-cheng, ZHANG Yin-long, <i>et al.</i> (3368)
Transportation and Sources of the Suspended Particle in a Karst Spring During a Storm Event	YANG Ping-heng, LIU Zi-qi, HE Qiu-fang (3376)
Comparison of Trophic Status Analysis of the Daning River Within the Three Gorges Reservoir Before and After Experimental Impoundment	ZHANG Jia-lei, ZHENG Bing-hui, LIU Lu-san, <i>et al.</i> (3382)
Nitrogen and Phosphorus Loss in Different Land Use Types and Its Response to Environmental Factors in the Three Gorges Reservoir Area	ZENG Li-xiong, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> (3390)
Research on Stormwater Runoff Quality of Mountain City by Source Area Monitoring	LI Li-qing, SHAN Bao-qing, ZHAO Jian-wei, <i>et al.</i> (3397)
Occurrence Form and Ecological Effect of Selenium in Soil and Surface Water of Kailuan Coalfield of Tangshan	ZHANG Xiu-zhi, MA Zhong-she, WANG Yin-nan, <i>et al.</i> (3404)
Distribution of Arsenic in Surface Water in Tibet	WANG Ming-guo, LI She-hong, WANG Hui, <i>et al.</i> (3411)
Spatial and Temporal Distribution of Trace Elements in Surface Water in the Xilin River Basin	XUE Li-yang, WU Jin-kui, ZHANG Ming-quan, <i>et al.</i> (3417)
Concentration Characteristics and Ecological Risk of Persistent Organic Pollutants in the Surface Sediments of Tianjin Coastal Area	LU Xiao-xia, ZHANG Shu, CHEN Chao-qi, <i>et al.</i> (3426)
Distribution, Sources and Ecological Risk Assessment of Polychlorinated Biphenyl in Sediments from Songhua River Basin	NIE Hai-feng, ZHAO Chuan-dong, LIU Ying-han, <i>et al.</i> (3434)
Distributions of Matrix-Bound Phosphine in Surface Sediments of the Yangtze Estuary	LI Tao, HOU Li-jun, LIU Min, <i>et al.</i> (3443)
Geochemical Characteristics of Nitrogen in Core Sediments from Sishili Bay, China	YANG Yu-wei, GAO Xue-lu, LI Pei-miao (3449)
Composition of <i>n</i> -Alkanes in Soils of the Yellow River Estuary Wetlands and Their Potential as Organic Matter Source Indicators	YAO Peng, YIN Hong-zhen, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> (3457)
Study on the Degradation and Transformation of Nonylphenol in Water Containing Algae	PENG Zhang-e, FENG Jin-mei, HE Shu-ying, <i>et al.</i> (3466)
Degradation of Orange IV Dye Solution Catalyzed by Fe(NO ₃) ₃ ·(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ Modified GAC in the Presence of H ₂ O ₂	ZHANG Ying-jie, XU Shu-fen, LIAO Xia, <i>et al.</i> (3473)
Synthesis, Characterization and Electrocatalytic Performance of Pd/CMK-3 for Formic Acid Oxidation	HUAN Zhong-ke, ZONG En-min, WEI Dan, <i>et al.</i> (3479)
Research of Controlling Condition for Aeration Stabilization Pond Dealing with Sanitary Waste of Countryside	LI Huai-zheng, YAO Shu-jun, XU Zu-xin, <i>et al.</i> (3484)
Pilot-Scale Study on Treatment of Municipal Sewage by Moving-Bed Biofilm Reactor with the Hydrophobically Modified Polyurethane Cubes as Biofilm Carriers	WANG Yu-xiao, KONG Xiu-qin, FENG Quan, <i>et al.</i> (3489)
Variation Characteristics of Relative Molecular Mass of Different Fractions of Dissolved Organic Matter from Landfill Leachate During Photocatalytic Degradation	JIA Chen-zhong, WANG Yan-xin, ZHANG Cai-xiang (3495)
Mechanism of Nitrogen Removal by Partial Nitrification-Denitrification Biological Filter	SUN Ying-xue, XU Dong, TIAN Yuan, <i>et al.</i> (3501)
Performance Stability of CANON Reactor and Temperature Impact	FU Kun-ming, ZHANG Jie, CAO Xiang-sheng, <i>et al.</i> (3507)
Denitrifying Phosphorus Removal in a Modified University of Cape Town (MUCT) Process Treating Domestic Wastewater Under Nitrification and Nitritation	ZENG Wei, WANG Xiang-dong, ZHANG Li-dong, <i>et al.</i> (3513)
Study on the Stratification Components of Extracellular Polymeric Substances (EPS) in Activated Sludge and Their Variation Characteristics in Physicochemical Properties	YUAN Dong-qin, WANG Yi-li (3522)
Influence of Organic Loading Rate on the Start-up of a Sequencing Airlift Aerobic Granular Reactor	LIU Meng-yuan, ZHOU Dan-dan, GAO Lin-lin, <i>et al.</i> (3529)
Degradation Kinetics of Naphthalene by Anaerobic Sludge and Analysis of the Bacterial Biodiversity	CAO Xin-kai, YANG Qi, HAO Chun-bo (3535)
Sorption of 17 β -estradiol to Soils and Sediment and Influence of Pig Manure DOM	ZHANG Feng-song, LI Yan-xia, HUANG Ze-chun, <i>et al.</i> (3542)
Sorption Isotherms and Sorption Thermodynamics of Faecal Sterols on Offshore Sediment	ZHANG Xiao-lei, XUE Wen-ping, XU Heng-zhen, <i>et al.</i> (3547)
Research on the Characteristic of Toluene Migration and Distribution in Fluvio-Aquic Soil and Its Simulation Using STOMP Model	HAN Chun-mei, RAN Juan, ZHANG Hui, <i>et al.</i> (3554)
Predicting the Cadmium Bioavailability in the Soil of Sugarcane Field Based on the Diffusive Gradients in Thin Films with Binding Phase of Sodium Polyacrylate	WANG Fang-li, SONG Ning-ning, ZHAO Yu-jie, <i>et al.</i> (3562)
<i>In Situ</i> Immobilization of Pb and Cd in Orchard Soil Using Soil Ameliorants	TANG Min, ZHANG Jin-zhong, ZHANG Dan, <i>et al.</i> (3569)
Health Assessment of Heavy Metals in Roadside Soils at Different Operation Time; A Case Study of Zhengzhou-Shangqiu Section Along the Lianyungang-Horgas Highway	GU Lei, TONG Zhi-qi, SONG Bo, <i>et al.</i> (3577)
Amelioration Effects of Wastewater Sludge Biochars on Red Soil Acidity and Their Environmental Risk	LU Zai-liang, LI Jiu-yu, JIANG Jun, <i>et al.</i> (3585)
Effect of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on the Vertical Distribution of Denitrifying Genes in River Sediments	WU Yan-yang, WU Qun-he, HUANG Shan, <i>et al.</i> (3592)
Role of Layered Double Hydroxide (LDH) in the Protection of Herring Testis DNA from Heavy Metals	TANG Yi-ni, WU Ping-xiao, ZHU Neng-wu (3598)
Mineralogical Characteristics of Biogenic Schwertmannite Amended with Different Pretreatment Methods and the Effects on As(Ⅲ) Absorption	LIANG Jian-ru, LI Zhe-ying, LIU Fen-wu, <i>et al.</i> (3606)
Mechanism of Heavy-Metal Tolerance in <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ZGKD2	ZHANG Yu-xin, WANG Jiao, CHAI Tuan-yao, <i>et al.</i> (3613)
Isolation, Degradation Characteristics of a 1,2-Dichloroethane-Degrading Strain	WANG Xiao-chun, CHEN Dong-zhi, JIN Xiao-jun, <i>et al.</i> (3620)
Isolation and Degradation Characteristics of PCB-degrading Strain	SHI Shun-yan, FENG Liu, GONG Ji (3627)
Preliminary Study on the Changes of Bacterial Community Structure in Qingcaosha Reservoir During Water Storage Period	PENG Qing, XIE Bing, YUAN Qi, <i>et al.</i> (3634)
N ₂ O Exchange Fluxes from Wheat-Maize Crop Rotation System in the North China Plain	PEI Shu-wei, ZHANG Yuan-yuan, LIU Jun-feng, <i>et al.</i> (3641)
Analysis of the Impact of Two Typical Air Pollution Events on the Air Quality of Nanjing	WANG Fei, ZHU Bin, KANG Han-qing, <i>et al.</i> (3647)
Pollution Characteristics of VOCs in Ambient Air of Ji'nan City in Summer	LIU Ze-chang, ZHANG Fan, HOU Lu-jian, <i>et al.</i> (3656)
Effects and Mechanism of Catalytic Decomposition of Ozone by Activated Carbon	LIU Hai-long, ZHANG Zhi-ye, ZHANG Zhong-ming, <i>et al.</i> (3662)
Effect of Elevated O ₃ on the Arbuscular Mycorrhizal (AM) Structure and Glomalin Production in Two Genotypes of Snap Bean	WANG Peng-teng, DIAO Xiao-jun, WANG Shu-guang (3667)
Effect of Exogenous Calcium on the Activities of Antioxidative Protective Enzymes in Ectomycorrhizal Fungi Under Aluminum Stress	WANG Ming-xia, HUANG Jian-guo, YUAN Ling, <i>et al.</i> (3675)
Mercury Pollution in Cricket in Different Biotopes Suffering from Pollution by Zinc Smelting	ZHENG Dong-mei, LI Xin-xin, LUO Qing (3680)

《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10月15日 33卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 10 Oct. 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