

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第7期

Vol.36 No.7

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2013年12月中国中东部地区严重灰霾期间上海市颗粒物的输送途径及潜在源区贡献分析	李莉, 蔡蓓琳, 周敏 (2327)
长三角冬季一次霾过程气溶胶及其水溶性离子的区域分布特征	王曼婷, 朱彬, 王红磊, 薛国强, 何俊, 徐宏辉, 曹锦飞 (2337)
北京城区大气 PM _{2.5} 主要化学组分构成研究	刘保献, 杨懂艳, 张大伟, 陈添, 赵红帅, 陈圆圆, 陆皓昀 (2346)
2014年春季山东省 PM _{2.5} 跨界输送研究	贾海鹰, 程念亮, 何友江, 陈云波, 杜晓惠, 单晓丽 (2353)
燃煤电厂产生和排放的 PM _{2.5} 中水溶性离子特征	马子珍, 李振, 蒋靖坤, 叶芝祥, 邓建国, 段雷 (2361)
南京夏季城市冠层大气 CO ₂ 浓度时空分布规律的观测	高韵秋, 刘寿东, 胡凝, 王淑敏, 邓力琛, 于洲, 张圳, 李旭辉 (2367)
北京市机动车尾气排放因子研究	樊守彬, 田灵娣, 张东旭, 曲松 (2374)
北京不同污染地区园林植物对空气颗粒物的滞纳能力	张维康, 王兵, 牛香 (2381)
长三角地区火电行业主要大气污染物排放估算	丁青青, 魏伟, 沈群, 孙予罕 (2389)
基于区域循环模型 IAP-N 的安徽省农用地 N ₂ O 排放量估算	韩云芳, 韩圣慧, 严平 (2395)
不同源汇信息提取方法对区域 CO ₂ 源汇估算及其季节变化的影响评估	张芳, 周凌晔, 王玉诏 (2405)
实测/预测辽河铬(VI)水生生物基准与风险评估	王晓南, 闫振广, 刘征涛, 张聪, 王伟莉 (2414)
博尔塔拉河河水、表层底泥及河岸土壤重金属的污染和潜在危害评价	张兆永, 吉力力·阿不都外力, 姜逢清 (2422)
岩溶泉水化学性质及 δ ¹³ C _{DIC} 影响因素	赵瑞一, 吕现福, 刘子琦, 吕春艳 (2430)
柳江流域柳州断面水化学特征及无机碳汇通量分析	原雅琼, 何师意, 于爽, 孙平安, 王艳雪, 武招云, 李新桂, 谢明鲜, 刘文, 李瑞, 张华生 (2437)
重庆市主城区次级河流总氮总磷污染特征分析及富营养化评价	庆旭瑶, 任玉芬, 吕志强, 王效科, 庞容, 邓睿, 孟龄, 马慧雅 (2446)
三峡库区消落带土壤邻苯二甲酸二丁酯静态释放特征	王法, 王强, 木志坚, 杨志丹, 宋娇艳 (2453)
干湿循环对三峡支流消落带沉积物中可转化态氮及其形态分布的影响	林俊杰, 张帅, 杨振宇, 何立平, 周依, 张倩茹 (2459)
天山天池夏季叶绿素 a 的分布及富营养化特征研究	王斌, 马健, 王银亚, 尹湘江 (2465)
西大海湖沉积物营养盐垂直分布特征变化分析	段木春, 肖海丰, 臧淑英 (2472)
草街水库蓄水后嘉陵江浮游植物群落特征及水质评价	杨敏, 张晟, 刘朔孺 (2480)
宁波三江口水域原核生物群落结构分析	胡安谊, 李姜维, 杨晓永, 王弘杰, 于昌平 (2487)
全氟化合物对表层沉积物中细菌群落结构的影响	孙雅君, 王铁宇, 彭霞薇, 王佩 (2496)
菹草腐解-金鱼藻生长耦合作用对水质及植物生长的影响	马月, 王国祥, 曹勤, 王小云, 马杰 (2504)
生物滞留设施对城市地表径流低浓度磷吸附基质研究	李立青, 龚燕芳, 颜子钦, 单保庆 (2511)
复合填料生物渗滤系统处理城市雨水径流的研究	王晓璐, 左剑恶, 千里里, 邢薇, 缪恒峰, 阮文权 (2518)
3种典型消毒副产物对细菌抗生素抗性的影响	吕露, 张梦露, 王春明, 林惠荣, 于鑫 (2525)
基于透射光法探讨水流流速对 DNAPL 运移分布的影响	高燕维, 郑菲, 施小清, 孙媛媛, 徐红霞, 吴吉春 (2532)
BDD 和 PbO ₂ 电极电化学氧化苯并三氮唑的对比研究	伍娟丽, 张佳维, 王婷, 倪晋仁 (2540)
开放系统下方解石对邻苯二甲酸的吸附	李振炫, 黄利东, 陈艳芳, 缪晔, 刘大刚, 许正文 (2547)
碳纳米管-羟磷灰石对铅的吸附特性研究	张金利, 李宇 (2554)
刚果红分子印迹聚合物纳米微球的合成及吸附性能	常自强, 陈复彬, 张玉, 时作龙, 杨春艳, 章竹君 (2564)
碱热-酸热法合成二氧化钛-钛酸纳米管复合纳米材料对 Cd(II) 和苯酚的同步去除	雷立, 晋银佳, 王婷, 赵泉, 晏友, 刘文 (2573)
固定化菌剂对污水和牛粪中雌二醇和己烯雌酚的去除作用	李欣, 凌婉婷, 刘静娴, 孙敏霞, 高彦征, 刘娟 (2581)
PN-ANAMMOX 一体化反应器处理电子行业 PCB 废水	袁琬, 李祥, 周呈, 陈宗姮 (2591)
Fenton 氧化深度处理石化废水厂二级出水研究	王翼, 吴昌永, 周岳溪, 张雪, 董波, 陈学民 (2597)
制革废水和印染废水的综合毒性评估及鉴别	黄利, 陈文艳, 万玉山, 郑国娟, 赵远, 蔡强 (2604)
不同溶解氧条件下 A/O 系统的除碳脱氮效果和细菌群落结构变化	陈燕, 刘国华, 范强, 汪俊妍, 齐鲁, 王洪臣 (2610)
利用主要缺氧段 ORP 作为连续流单污泥污水脱氮除磷系统调控参数	王晓玲, 宋铁红, 殷宝勇, 李静文, 李紫棋, 余勇 (2617)
连续流态下以实际低基质生活污水培养好氧颗粒污泥及其脱氮性能	姚力, 信欣, 鲁航, 朱辽东, 谢思建 (2626)
广东清远电子垃圾拆解区农田土壤重金属污染评价	张金莲, 丁疆峰, 卢桂宇, 党志, 易筱筠 (2633)
山东省临沂市土壤有机氯农药滴滴涕残留量与空间分布特征	喻超, 王增辉, 王红晋, 代杰瑞, 庞绪贵, 赵西强, 刘华峰 (2641)
金华市萤石矿区土壤氟污染评价	叶群峰, 周小玲 (2648)
土壤碳收支对秸秆与秸秆生物炭还田的响应及其机制	侯亚红, 王磊, 付小花, 乐毅全 (2655)
黄土区果园和刺槐林生态系统土壤有机碳变化及影响因素	李如剑, 王蕊, 李娜娜, 姜继韶, 张彦军, 王志齐, 刘庆芳, 吴得峰, 郭胜利 (2662)
缙云山土地利用方式对土壤轻组及颗粒态有机碳氮的影响	雷利国, 江长胜, 郝庆菊 (2669)
塔里木河上游典型绿洲土壤酶活性与环境因子相关分析	朱美玲, 贡璐, 张龙龙 (2678)
不同部位玉米秸秆对两种质地黑土 CO ₂ 排放和微生物量的影响	刘四义, 梁爱珍, 杨学明, 张晓平, 贾淑霞, 陈学文, 张士秀, 孙冰洁, 陈升龙 (2686)
1株对叔丁基邻苯二酚降解菌的筛选鉴定及响应面法优化其降解	贺强礼, 刘文斌, 杨海君, 彭晓霞, 关向杰, 黄水娥 (2695)
耐高浓度沼液产油小球藻的分离鉴定与特征分析	杨阳, 王文国, 马丹炜, 汤晓玉, 胡启春 (2707)
水介质中 C ₆₀ 纳米晶体颗粒与 Cu ²⁺ 对小鼠腹腔巨噬细胞的复合毒性研究	于叶, 卞为林, 张慧敏, 张波, 何义亮 (2713)
地表水体中同时分析 18 种糖皮质激素方法的建立	郭文景, 常红, 孙德智, 吴丰昌, 杨浩 (2719)
《环境科学》征订启事 (2553) 《环境科学》征稿简则 (2640) 信息 (2546, 2609, 2616, 2647)	

天山天池夏季叶绿素 a 的分布及富营养化特征研究

王斌^{1,2}, 马健^{1*}, 王银亚^{1,2}, 尹湘江³

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 荒漠与绿洲生态国家重点实验室/新疆阜康荒漠生态系统国家野外科学观测研究站, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 天池管理委员会, 阜康 831500)

摘要: 2014年6~8月, 对天山天池水体叶绿素 a (Chl-a) 的分布特征及其与环境因子的相关性进行分析, 探讨了天池富营养化状态及成因。结果表明, 天池夏季 Chl-a 浓度变化范围为 $2.11 \sim 4.06 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均值为 $(2.8 \pm 0.69) \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。不同监测断面 Chl-a 垂直剖面变化趋势相似, 整体表现为表层(0~2 m)和深层(12 m 以下)低, 中上层(2~12 m)高的特点。天池 Chl-a 浓度与深度和电导率显著负相关, 与水温、pH 值、溶解氧、蓝绿藻细胞密度和 TP 显著正相关, 与 TN 的相关性较小。夏季天池 TN 和 TP 平均浓度分别为 $0.27 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.035 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 超过国际上一般标准的富营养型湖泊的浓度, 采用修正的卡尔森营养状态指数评价天池的营养化状况, 其目前处于中度富营养化水平。究其原因, 可能主要是水土流失导致的营养盐升高, 以及水生生物组成改变引起的藻类大量繁殖引起的。所以需从生态恢复和生态管理的角度, 进行天池水质和周边植被的保护和恢复, 以减缓天池水体富营养化加剧的风险。

关键词: 天池; 高山冷水湖泊; 叶绿素 a; 影响因素; 富营养化

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)07-2465-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.07.019

Distribution of Chlorophyll-a and Eutrophication State in Tianchi Lake of Tianshan Mountains in Summer

WANG Bin^{1,2}, MA Jian^{1*}, WANG Yin-ya^{1,2}, YIN Xiang-jiang³

(1. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology/Fukang Station of Desert Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Tianchi Management Committee, Fukang 831500, China)

Abstract: From June to August in 2014, the distributions of chlorophyll-a (Chl-a) and correlations with environmental factors were investigated, the eutrophication status and causes were discussed in Tianchi Lake of Tianshan Mountains. The results showed that the Chl-a concentrations ranged from 2.11 to $4.06 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ with a mean value of $(2.8 \pm 0.69) \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ in summer, the vertical distribution of Chl-a in different monitoring zones had a similar characteristic that the Chl-a concentration in epilimnion (2-12 m) was higher than those at the surface (0-2 m) and hypolimnion (below 12 m). The Chl-a concentration had significant negative correlations with depth and conductivity, significant positive correlations with water temperature, pH value, the concentration of dissolved oxygen, the cell density of algae and TP, and less correlation with TN. The mean concentrations of TN and TP in Tianchi Lake in summer were $0.27 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $0.035 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ respectively, both of which exceeded the international standards of general eutrophic lakes. The modified Carlson trophic state index was used to assess the eutrophication status of Tianchi Lake, which is currently at a moderate eutrophication level. The reasons might be the increased nutrients attributed to soil erosion, and algae blooms due to the changes in the composition of hydrobios. Therefore, it is important to use ecological restoration and management to protect the water quality and surrounding vegetation, which may mitigate the risk of eutrophication in Tianchi Lake.

Key words: Tianchi lake; alpine cold lake; chlorophyll-a; influencing factors; eutrophication

高山深水湖泊, 受人类直接污染少, 水质相对较好, 但随着全球变化及人类活动影响加剧, 其富营养化程度呈加剧趋势, 如抚仙湖由贫营养化状态向中营养化状态过渡^[1], 洱海由中营养化状态向富营养化状态转变^[2]。叶绿素 a (Chl-a) 是浮游植物现存量的重要指标^[3, 4], 水体中 Chl-a 的含量及其动态变化反映了水体中藻类的丰度、生物量及变化规律^[5, 6], 是评价湖泊富营养状态的重要指标。因此, 研究 Chl-a 在水体中的分布及与影响因子的关系, 对分析和探讨湖泊富营养化具有重要意义。

我国湖泊数量众多、分布广泛、类型多样、成因复杂, 所以导致不同湖泊营养物水平、富营养化的成因、效应等存在区域差异性。目前, 对于高山深水湖泊富营养化的研究, 主要为受人类活动影响较大地区的湖泊, 如洱海^[7]、红枫湖^[8]、程海^[9]等, 对偏远高山冷水湖泊的研究较少。天山天池是“中国温带荒漠区博格达北麓生物圈保护区”的核心区

收稿日期: 2014-12-09; 修订日期: 2015-01-30

作者简介: 王斌(1989~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为水体生态修复, E-mail: younver@163.com

* 通讯联系人, E-mail: majian@ms.xjb.ac.cn

域,同时也是下游绿洲和绿洲边缘荒漠水源的重要组成部分,对当地自然景观、湿地和山地森林生态系统等有很大影响. 天山天池属于典型高山冷水湖泊,有研究认为天池目前处在中营养水平之下^[10],也有研究认为天池已进入中度富营养化状态^[11],但对天池 Chl-a 的时空变化及其水环境质量响应的系统研究没有涉及. 因此,本研究于 2014 年夏季(6~8 月)对天山天池 Chl-a 及总氮(TN)、总磷(TP)进行监测,分析环境因子(水体温度、透明度、电导率、溶解氧、pH 值、蓝绿藻细胞密度等)对 Chl-a 分布的影响,探讨了天山天池水体 Chl-a 夏季分布特征及水体富营养化状况,并对其成因进行了分析,以为高山冷水湖泊的保护、水体富营养化的预防等提供数据支持和理论支撑.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

天山天池位于新疆阜康市境内,是天山山脉东段博格达峰北麓典型的冰蚀冰碛湖,是以高山湖泊为中心的自然风景区. 天池在天山北坡三工河上游,形状狭长,南北长 3.5 km,东西宽 0.8~1.5 km,总面积 4.9 km²,湖面海拔 1 910 m,最大深度 105 m. 该地区年平均气温 2.55℃,最高 15.9℃(7 月),最低 -12.4℃(1 月),年平均水温 7.4℃. 冬季降雪期 6~7 个月,结冰期长达 5 个月,湖水冰层厚度达 1 m 以上,分丰水期和平水期,每年 5~9 月湖水上涨,10 月至次年 5 月湖水下降,并且其活动水位在 10~13 m.

1.2 观测方法

在天池布置 3 个监测断面(HN、HZ、HB),其中 HN 为入水口区域,HZ 为池中心区域,HB 为游客聚集区和出水区,每个断面 3 个监测点(图 1). 在 2014 年 6 月至 2014 年 8 月,每月中下旬,距表层 0.5 m 起,以 1 m 为间隔,进行天池采样和水质监测,每个深度重复 3 次,测定深度 20 m.

本研究水温、溶解氧、pH 值、电导率、Chl-a 和蓝绿藻细胞密度,采用多参数水质分析仪(HACH Hydrolab DS5X,美国)现场连续监测. 同时,用深层取水器采集不同深度水样于 250 mL 聚乙烯瓶中,用低温保温箱带回实验室,4℃冰箱保存,在短期内完成 TN 和 TP 的测定. TN 采用碳氮分析仪(analytikjena multi N/C 2100,德国)测定,TP 用钼酸铵分光光度法进行测定(UV-2401PC 型紫外分光光度计,日本). HACH Hydrolab DS5X 是一款新型多

参数、宽量程的水质监测仪器,该仪器深度采用压敏电阻法,温度采用热敏电阻法,溶解氧采用荧光法,pH 采用玻璃电极法,电导率采用石墨电极法,Chl-a 和蓝绿藻细胞密度采用体内荧光法,所有探头传感器均定期在实验室进行参比定量校核,以保障在线监测数据的准确性与可靠性.

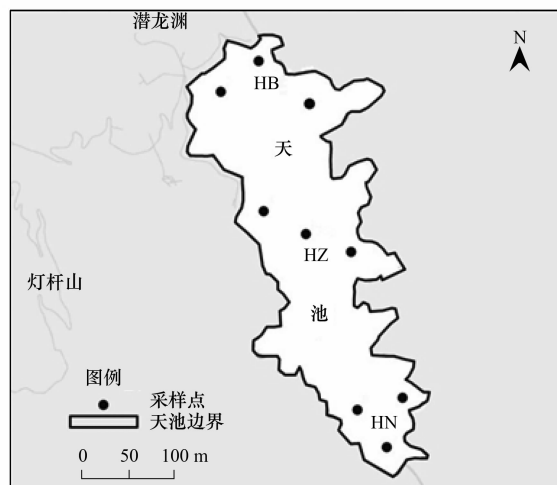


图 1 天池采样点布置示意

Fig. 1 Distribution of sampling sites in Tianchi Lake

1.3 统计分析

所有实验测定数据用 SPSS 18.0 进行统计分析,用 Excel 和 Origin 9.0 完成数据计算、分析与制图.

2 结果与分析

2.1 天池夏季 Chl-a 的分布特征

天池叶绿素 a 的变化如图 2 所示,夏季 Chl-a 浓度在 2.11~4.06 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,平均值为 $(2.8 \pm 0.69) \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,明显低于其它湖泊^[12~14]. 其中,Chl-a 浓度最低在 6 月入水口区域(HN),为 2.11 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,最高在 8 月出水口区域(HB),为 4.06 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. 6~8 月天池水体 Chl-a 浓度平均值分别为 2.35、2.38、3.67 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,整体呈增加趋势. 天池水文特征常年稳定,水体流速缓慢,所以夏季不同监测断面 Chl-a 浓度垂直剖面变化趋势相似,但 HN、HB 受入水、出水影响,月份间的变化相对 HZ 波动大.

受光照、水温和营养物质等影响,表层(0~2 m)水体 Chl-a 含量在 1.14~3.08 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,均值为 1.78 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$;中上层(2~12 m)由于水温高、光照充足和营养盐的补充,藻类大量繁殖使 Chl-a 积累,Chl-a 含量较高,6 月最大值出现在天池中心区

域(HZ)6 m 水深处,为 $4.45\ \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,7、8 月最大值出现在 HB 8 m 和 HN 的 3 m 深处,分别为 $6.04\ \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $6.88\ \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; 深层(12 m 以下)由于受光

线、营养盐限制,月份间的变化很小,Chl-a 均值为 $1.29\ \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,保持在较低水平. 所以,天池 Chl-a 浓度整体表现表层和深层低,中上层高的特点.

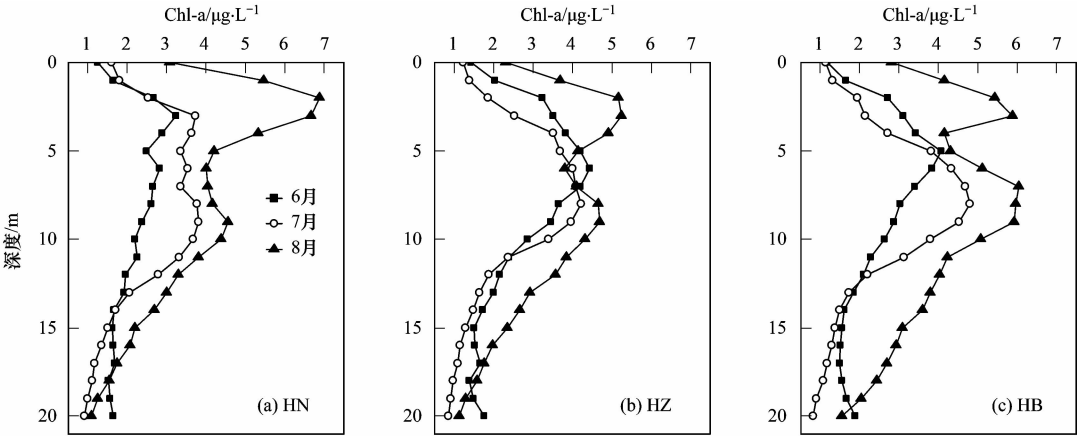


图2 天池叶绿素 a 含量的时空变化
Fig. 2 Temporal and spatial distribution of Chl-a in Tianchi Lake

2.2 环境因子对 Chl-a 的影响

水体 Chl-a 的含量与藻类的分布密切相关,而藻类的生长又受到多种因素的影响. 天池水体Chl-a

浓度与深度、电导率显著负相关,与水温、pH 值、溶解氧(DO)、蓝绿藻细胞密度呈显著正相关(表1).

表1 Chl-a 与环境因子的相关系数¹⁾

Table 1 Correlation coefficients between Chl-a concentration and environmental factors						
项目	深度	水温	电导率	pH 值	DO	蓝绿藻细胞密度
<i>r</i>	-0.491 **	0.372 **	-0.593 **	0.324 *	0.514 **	0.362 **

1) *n* = 60; * 表示在 *P* = 0.05 水平显著相关; ** 表示在 *P* = 0.01 水平显著相关

将 Chl-a 浓度与水深、水温、电导率、DO、pH 和蓝绿藻细胞密度进行进一步回归分析,结果如图 3 所示,水深影响悬浮物含量和光照情况^[14],还影响水体温度分层及营养盐的分布,所以随水深增加,Chl-a 含量先增加后减小[图 3(a)]. 一般低纬度地区湖泊 Chl-a 与水温呈正相关关系^[7, 12],但天池 Chl-a 与水温显著负相关. 回归分析发现,天池水体 Chl-a 浓度随水温上升先增加后减小[图 3(b)]. 可能低温不利于藻类的繁殖,高温使藻类生长受光抑制^[15],而水温在 10 ~ 14℃ 时,Chl-a 浓度处于较高水平,说明该温度适合高原深水湖泊藻类的生长. 水体电导率能反映可溶性盐的量^[16],一般受工业污染较少的淡水环境中,水体电导率越大,溶解性营养盐含量越高. 天池水体电导率与 Chl-a 明显负相关,Chl-a 浓度随营养盐增加而降低[图 3(c)],暗示增加溶解性营养盐会促进藻类的生长.

水体 pH 值的变化与藻类的光合作用有关^[17],藻类光合作用强烈,消耗大量 CO₂,pH 值升高,Chl-a 浓度增加,但天池 Chl-a 与 pH 拟合度较差[图

3(d)],可能水体 pH 值变化还受温度、光照等影响. 大多湖库水体 Chl-a 度和 DO 负相关^[18, 19],但天池 Chl-a 和 DO 显著正相关,与抚仙湖相似^[20]. 尽管水体中藻类繁殖,会产生有机体,但天池受工业污染小,有机物含量低,所以水体 Chl-a 随 DO 增加而增加[图 3(e)].

Chl-a 是藻类生物体的重要组成成分之一,水体中 Chl-a 含量的高低与藻类的种类、数量等密切相关. 天池水体蓝绿藻的垂直分布相对 Chl-a,有向下聚集的特点,即叶绿素 a 在 2 ~ 12 m 深度,浓度较高,而蓝绿藻细胞密度在 5 ~ 15 m 深度较高. 因此,尽管天池 Chl-a 浓度与蓝绿蓝绿藻细胞密度显著正相关(表 1),但相关系数较低[图 3(e)].

2.3 天池 TN、TP 及其对 Chl-a 的影响

N、P 是藻类生长必需的营养物质,是反映水体藻类生长状况的重要指标. 夏季天池水体 TN 浓度在 0.21 ~ 0.35 mg·L⁻¹ 之间,平均值为 0.27 mg·L⁻¹. TP 浓度在 0.028 ~ 0.042 mg·L⁻¹ 之间,均值为 0.035 mg·L⁻¹. 天池与大多数湖库相

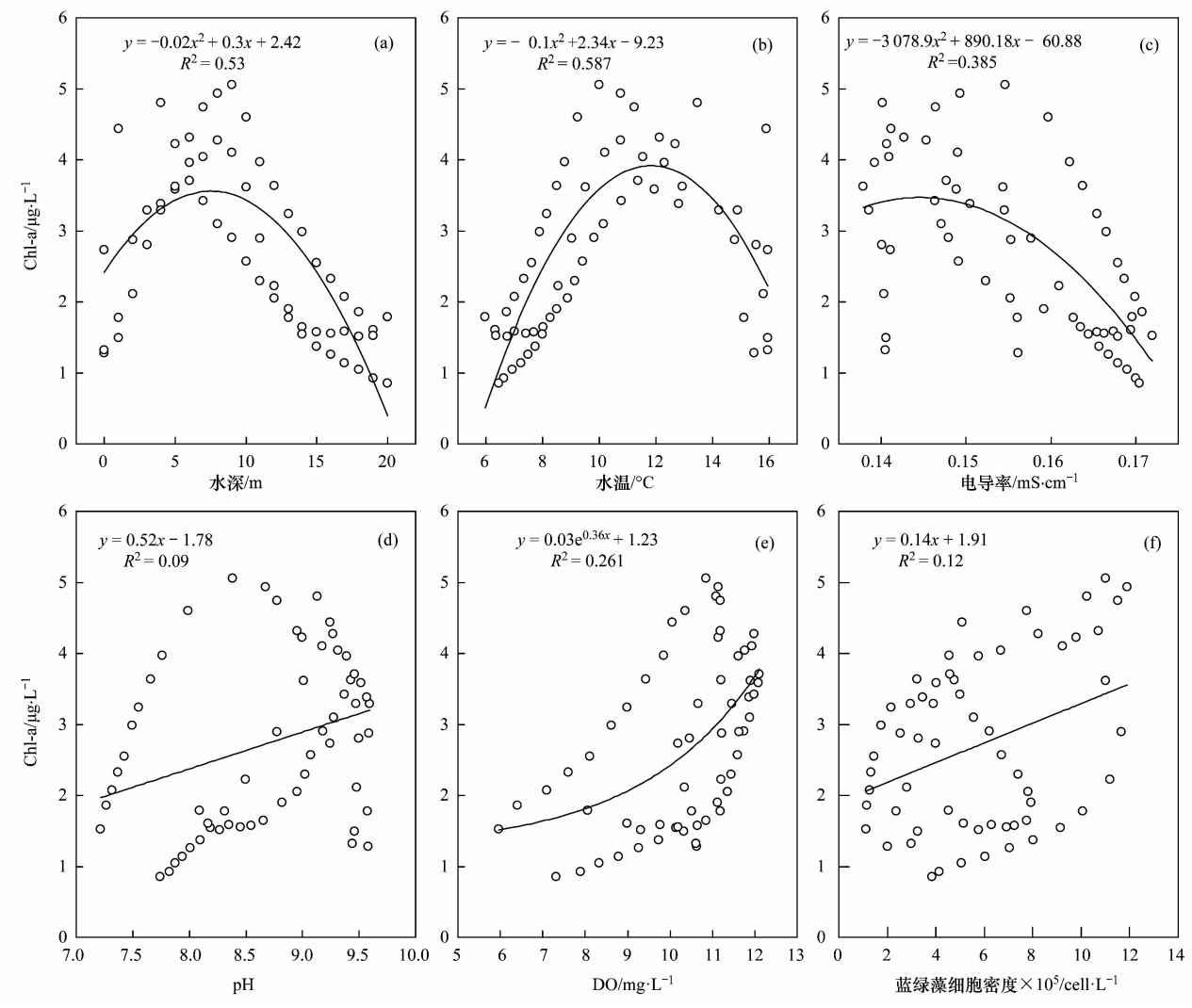


图3 Chl-a 浓度与环境因子的回归分析

Fig. 3 Regression between Chl-a concentration and environmental factors

似^[13, 16, 21], Chl-a 浓度与 TN 浓度的相关性较差 [$P = 0.125$, 图 4(a)], 但与 TP 浓度显著正相关 [$P = 0.007$, 图 4(b)]. 天池 Chl-a 浓度随 TN 浓度波动变化, 随 TP 浓度的增加而增加, 这表明 TN 不是限制藻类增长的限制因子, 而天池藻类的生长可能更受 P 限制.

此外, N/P 值对于水体藻类水华的发生具有重要意义. 有研究认为, 藻类正常代谢所需的 N/P 为 7, 当 $N/P < 7$, N 是可能的限制性营养盐, 而 $N/P > 7$, 则 P 是可能的限制性营养盐^[22, 23]. 本研究中, 夏季天池水体 N/P 在 6.5 ~ 12.8 之间, 平均值为 9.03, 所以 P 更受限制, 如果 P 浓度增大可能会加速水体富营养化进程.

2.4 天池水体富营养化状况分析

天池为高山冷水湖泊, 水体 TN 和 TP 浓度相对于国内的一些大型湖泊不算高^[9, 13, 16], 但均已超过

国际上一般标准的富营养型湖泊的浓度 ($TN > 0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $TP > 0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)^[24], 表明天池存在发生水华的风险. 然而, 根据经济合作与发展组织 (OECD) 富营养化单因子 (Chl-a) 评价标准 ($\text{Chl-a} < 3 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 为贫营养, $3 \sim 11 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 为中营养, $11 \sim 78 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 为富营养, $\text{Chl-a} > 78 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 为严重富营养)^[19], 天池夏季水体 Chl-a 浓度超过 $3 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 处于中营养化状态.

所以, 采用修正的卡尔森营养状态指数 (TSI_M) 评价天池的营养化类型, TSI_M 指数采用 0 ~ 100 的连续数值对湖泊营养状态分级, 评价标准为: $\text{TSI}_M < 37$ 为贫营养, $38 < \text{TSI}_M < 53$ 为中营养, $\text{TSI}_M > 54$ 为富营养^[25-27].

$$\text{TSI}_M(\text{Chl-a}) = 10 \times (2.46 + \ln \text{Chl-a} / \ln 2.5)$$
$$\text{TSI}_M(\text{SD}) = 10 \times [2.46 + (3.69 - 1.53 \ln \text{SD}) / \ln 2.5]$$

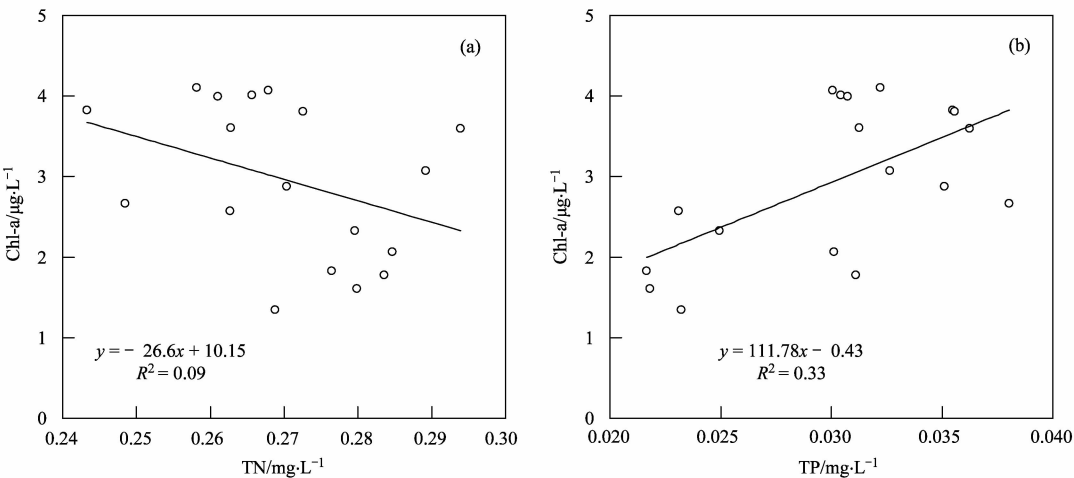


图4 叶绿素 a 与 TN、TP 的相关关系

Fig. 4 Correlation between Chl-a and TN, TP

$$TSI_M(TP) = 10 \times [2.46 + (6.71 + 1.15 \ln TP) / \ln 2.5]$$
$$\text{综合 } TSI_M = [TSI_M(\text{Chl-a}) + TSI_M(\text{SD}) + TSI_M(TP)] / 3$$

式中, $TSI_M(\text{Chl-a})$ 、 $TSI_M(\text{SD})$ 和 $TSI_M(TP)$ 分别是以 $\text{Chl-a}(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$ 、透明度 (m)、总磷 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 为基准的营养状态指数。

如表 2 所示, 天池夏季卡尔森营养状态指数在 44.1 ~ 47.2 之间, 不同监测断面 (HN、HZ、HB) 皆处于中营养化水平。

表 2 天池夏季卡尔森营养状态指数

项目	6 月	7 月	8 月	平均值
HN	44.1	46.8	47.2	46.1
HZ	46	47	46.5	46.5
HB	45.5	46.7	46.9	46.3

3 讨论

3.1 天池夏季 Chl-a 的分布特征

天池夏季出现明显水体分层现象, 温跃层限制了上下水体的交换, 影响浮游植物的垂向分布。同时藻类生长表层受光抑制^[28], 深层受光照和水温共同限制, 而中上层水体充足的光照和适宜的水温, 有利于藻类的生长, 所以天池 Chl-a 在垂向分布整体表现为表层和深层低, 中上层高的特点 (图 1), 与千岛湖相似^[29]。但是, 同为深水湖泊的红枫湖^[13]和抚仙湖^[20], 夏季 Chl-a 垂向变化为表层向底层逐渐降低, 认为光照强度可能对水体 Chl-a 浓度的分布起主导作用, 而西班牙喀斯特深水湖泊 Chl-a 浓度从表层到温跃层逐渐增加, 在含氧深水层达到最大

值^[30], 认为 Chl-a 的分布可能受光照和营养盐共同限制。此外, 天池周边当年夏季降水较少, 同时天池为峡谷型湖泊, 受风力影响小, 所以不同监测断面 Chl-a 变化相对较小。

3.2 天池富营养化原因分析

湖库富营养化的发生、发展, 是整个水环境失衡导致藻类大量繁殖引起的, 对于不同区域环境、自然气条件及水生态系统存在差异。一般认为, 适宜的水温和充足的营养盐是导致水体富营养化的主要原因。大型浅水湖泊, 诸如太湖^[31]、滇池^[32]、乌梁素海^[33]等水体的富营养化, 主要是由于人类活动所导致的营养盐升高引起的。但是, 天山天池 N、P 浓度虽然已达到富营养化限度, 可能温度和光照限制了藻类的生长, 所以目前处于中度富营养化水平。

然而, 随着营养盐等的积累, 高山冷水湖泊有逐渐向富营养化过渡的趋势。有研究认为, 大气氮沉降的增加, 是引起偏远高山湖泊由贫营养向中富营养发展的主要原因^[30, 34, 35]。但是, 天池除受大气氮沉降影响外, 其中度富营养化最有可能是由水体流失导致的水体营养盐升高引起的。近年来, 受气候变暖、旅游开发、周边草场过度放牧等的影响, 强降雨及冰雪融水导致的水土流失非常严重^[36, 37], 含有大量营养盐的泥沙和动物粪便进入天池水体。天池为峡谷型湖泊, 水体交换性差, 营养盐容易积累, 天池没有大型水生植物分布, 难以对输入的营养盐进行吸收和调节, 所以营养盐升高使水体富营养化程度加剧。目前, 天池已在入水河道及周边区域建设构筑物, 减缓水土流失, 以降低面源营养盐的输入, 同时采取封山禁牧等措施, 以减少入湖营养盐的

数量,但对天池生态恢复的重建仍需很长时间.

水体生物组成的变化很大程度上影响水体水质. 近几年在天池投放大量虹鳟、高白鲑等外来鱼种,结果使水体浮游动物急剧减少,这可能也是导致天池目前处于中度富营养化状态的重要原因之一. 因为外来鱼种的引进增加对浮游甲壳动物的捕食压力,从而导致浮游植物生物量增加和 Chl-a 浓度升高^[7]. 所以,为降低天池水体富营养化加剧的风险,借助生态管理措施,对外来鱼种进行捕捞,控制鱼类数量,并有针对性选择浮游动物来控制水体藻类的生长,进行天池水体的保护和恢复.

虽然,目前天池水体为中度富营养化水平,但随着全球变化加剧,水体增温及营养盐的不断升高,天池发生水华的可能性将会增加,所以应及早开展水文、理化、生态等多学科角度的水体长期监测,进一步了解天池水体富营养化的程度及趋势,并采取有效措施以降低天池水体富营养化加剧的风险.

4 结论

(1) 夏季天池 Chl-a 浓度变化范围为 2.11 ~ 4.06 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,平均值为 $(2.8 \pm 0.69) \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. 不同监测断面 Chl-a 垂直剖面变化趋势相似,整体表现为表层(0~2 m)和深层(12 m 以下)低,中上层(2~12 m)高的特点.

(2) 天池 Chl-a 浓度与深度和电导率显著负相关,与水温、pH 值、溶解氧、蓝绿藻细胞密度和 TP 显著正相关,而与 TN 相关性较小. 表明天池藻类生长与深度、水温、电导率、溶解氧、pH、蓝绿藻细胞密度及 TP 等影响因子密切相关,天池藻类的生长可能更受 P 限制.

(3) 天池 TN 和 TP 浓度超过国际上一般标准的富营养型湖泊的浓度,而 Chl-a 在标准之下,采用修正的卡尔森营养状态指数(TSI_M)评价天池的营养化类型,其目前处于中度富营养化水平.

(4) 天池富营养化最可能是水土流失导致的水体营养盐升高,以及水体生物组成改变引起的藻类大量繁殖. 所以,需从生态恢复和生态管理的角度,进行天池水质和周边生态环境的保护和恢复,以降低天池水体富营养化加剧的风险.

参考文献:

[1] 倪兆奎,王圣瑞,金灿旭,等. 云贵高原典型湖泊富营养化演变过程及特征研究[J]. 环境科学学报, 2011, **31**(12): 2681-2689.

[2] 王圣瑞,赵明,焦立新,等. 洱海水体溶解氧及其与环境因子的关系[J]. 环境科学, 2011, **32**(7): 1952-1959.

[3] 王飞儿,吕唤春,陈英旭,等. 千岛湖叶绿素 a 浓度动态变化及其影响因素分析[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2004, **30**(1): 22-26.

[4] 张晨,宋丹,张可,等. 三峡水库典型支流上游区和回水区营养状态分析[J]. 湖泊科学, 2010, **22**(2): 201-207.

[5] Çamdevyren H, Demyr N, Kanik A, *et al.* Use of principal component scores in multiple linear regression models for prediction of Chlorophyll-a in reservoirs [J]. Ecological Modelling, 2005, **181**(4): 581-589.

[6] Kasprzak P, Padisák J, Koschel R, *et al.* Chlorophyll a concentration across a trophic gradient of lakes: An estimator of phytoplankton biomass? [J]. Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters, 2008, **38**(3-4): 327-338.

[7] 杨威,邓道贵,张赛,等. 洱海叶绿素 a 浓度的季节动态和空间分布[J]. 湖泊科学, 2012, **24**(6): 858-846.

[8] 夏品华,林陶,李存雄,等. 贵州高原红枫湖水库季节性分层的水环境质量响应[J]. 中国环境科学, 2011, **31**(9): 1477-1485.

[9] 董仙仙,洪雪花,谭志卫,等. 高原深水湖泊程海氮磷形态分布特征及其与叶绿素 a 的相关性[J]. 生态环境学报, 2012, **21**(2): 333-337.

[10] 陈小锋,揣小明,杨柳燕. 中国典型湖区湖泊富营养化现状、历史演变趋势及成因分析[J]. 生态与农村环境学报, 2014, **30**(4): 438-443.

[11] 李新贤,党新成,李红,等. 新疆主要湖泊、水库的水质综合评价特征评价模式及营养状态分析[J]. 干旱区地理, 2006, **28**(5): 588-591.

[12] 阮晓红,石晓丹,赵振华. 苏州平原河网区浅水湖泊叶绿素 a 与环境因子的相关关系[J]. 湖泊科学, 2008, **20**(5): 556-562.

[13] 商立海,李秋华,邱华北,等. 贵州红枫湖水体叶绿素 a 的分布与磷循环[J]. 生态学杂志, 2011, **30**(5): 1023-1030.

[14] 白晓华,胡维平. 太湖水深变化对氮磷浓度和叶绿素 a 浓度的影响[J]. 水科学进展, 2006, **17**(5): 727-732.

[15] 刘明亮,吴志旭,何剑波,等. 新安江水库(千岛湖)热力学状况及热力分层研究[J]. 湖泊科学, 2014, **26**(3): 447-454.

[16] 邓建才,陈桥,翟水晶,等. 太湖水体中氮,磷空间分布特征及环境效应[J]. 环境科学, 2009, **29**(12): 3382-3386.

[17] Gallina N, Salmaso N, Morabito G, *et al.* Phytoplankton configuration in six deep lakes in the peri-Alpine region: are the key drivers related to eutrophication and climate? [J]. Aquatic Ecology, 2013, **47**(2): 177-193.

[18] 赵海超,王圣瑞,赵明,等. 洱海水体溶解氧及其与环境因子的关系[J]. 环境科学, 2011, **32**(7): 1952-1959.

[19] 胡春华,黄丹,周文斌,等. 典型湖泊边缘区丰水期营养状态及其影响因子研究——以蚌湖为例[J]. 水生生态学杂志, 2013, **34**(3): 32-38.

[20] 刘镇盛,王春生,倪建宇,等. 抚仙湖叶绿素 a 的生态分布特征[J]. 生态学报, 2003, **23**(9): 1773-1780.

[21] Kopáček J, Stuchlík E, Straškrabová V, *et al.* Factors governing nutrient status of mountain lakes in the Tatra Mountains [J].

Freshwater Biology, 2000, **43**(3): 369-383.

[22] 单保庆, 菅宇翔, 唐文忠, 等. 北运河下游典型河网区水体中氮磷分布与富营养化评价[J]. 环境科学, 2012, **33**(2): 352-358.

[23] Liu X, Lu X H, Chen Y W. The effects of temperature and nutrient ratios on Microcystis blooms in Lake Taihu, China: An 11-year investigation[J]. Harmful Algae, 2011, **10**(3): 337-343.

[24] 郭秒, 王政昆, 彭昌亚, 等. 阳宗海和滇池中紫色非硫细菌数量和种群结构的比较[J]. 生态学报, 2005, **25**(6): 1337-1340.

[25] Carlson R E. A trophic state index for lakes1[J]. Limnology and oceanography, 1977, **22**(2): 361-369.

[26] 蔡庆华. 湖泊富营养化综合评价方法[J]. 湖泊科学, 1997, **9**(1): 89-94.

[27] 王明翠, 刘雪芹, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准[J]. 中国环境监测, 2002, **18**(5): 47-49.

[28] 吴志旭, 刘明亮, 兰佳, 等. 新安江水库(千岛湖)湖泊区夏季热分层期间垂向理化及浮游植物特征[J]. 湖泊科学, 2012, **24**(3): 460-465.

[29] 董春颖, 虞左明, 吴志旭, 等. 千岛湖湖泊区水体季节性分层特征研究[J]. 环境科学, 2013, **34**(7): 2574-2581.

[30] Camacho A, Wurtsbaugh W A, Miracle M R, *et al.* Nitrogen limitation of phytoplankton in a Spanish karst lake with a deep chlorophyll maximum: a nutrient enrichment bioassay approach [J]. Journal of Plankton Research, 2003, **25**(4): 397-404.

[31] 王震, 邹华, 杨桂军, 等. 太湖叶绿素 a 的时空分布特征及其与环境因子的相关关系[J]. 湖泊科学, 2014, **26**(4): 567-575.

[32] 梁中耀, 刘永, 盛虎, 等. 滇池水质时间序列变化趋势识别及特征分析[J]. 环境科学学报, 2014, **34**(3): 754-762.

[33] 张晓晶, 李畅游, 张生, 等. 内蒙古乌梁素海富营养化与环境因子的相关分析[J]. 环境科学与技术, 2010, **33**(7): 125-128.

[34] Hundey E J, Moser K A, Longstaffe F J, *et al.* Recent changes in production in oligotrophic Uinta Mountain lakes, Utah, identified using paleolimnology [J]. Limnology and Oceanography, 2014, **59**(6): 1987-2001.

[35] Wolfe A P, Baron J S, Cornett R J. Anthropogenic nitrogen deposition induces rapid ecological changes in alpine lakes of the Colorado Front Range (USA) [J]. Journal of Paleolimnology, 2001, **25**(1): 1-7.

[36] 周宏飞, 王大庆, 马健, 等. 新疆天池自然保护区春季融雪产流特征分析[J]. 水土保持学报, 2009, **23**(4): 68-71.

[37] 王大庆, 周宏飞, 马健, 等. 新疆天池自然保护区草地坡地土壤侵蚀规律研究[J]. 水土保持通报, 2009, **29**(3): 127-129.

CONTENTS

Potential Source Contribution Analysis of the Particulate Matters in Shanghai During the Heavy Haze Episode in Eastern and Middle China in December, 2013	Li Li, CAI Jun-lin, ZHOU Min (2327)
Composition and Regional Characteristics of Atmosphere Aerosol and Its Water Soluble Ions over the Yangtze River Delta Region in a Winter Haze Period	WANG Man-ting, ZHU Bin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i> (2337)
Chemical Species of PM _{2.5} in the Urban Area of Beijing	LIU Bao-xian, YANG Dong-yan, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i> (2346)
Numerical Study on the Characteristics of Regional Transport of PM _{2.5} in Shandong Province During Spring in 2014	JIA Hai-ying, CHENG Nian-liang, HE You-jiang, <i>et al.</i> (2353)
Characteristics of Water-Soluble Inorganic Ions in PM _{2.5} Emitted from Coal-Fired Power Plants	MA Zi-zhen, LI Zhen, JIANG Jing-kun, <i>et al.</i> (2361)
Direct Observation on the Temporal and Spatial Patterns of the CO ₂ Concentration in the Atmospheric of Nanjing Urban Canyon in Summer	GAO Yun-qiu, LIU Shou-dong, HU Ning, <i>et al.</i> (2367)
Emission Factors of Vehicle Exhaust in Beijing	FAN Shou-bin, TIAN Ling-di, ZHANG Dong-xu, <i>et al.</i> (2374)
Adsorption Capacity of the Air Particulate Matter in Urban Landscape Plants in Different Polluted Regions of Beijing	ZHANG Wei-kang, WANG Bing, NIU Xiang (2381)
Major Air Pollutant Emissions of Coal-Fired Power Plant in Yangtze River Delta	DING Qing-qing, WEI Wei, SHEN Qun, <i>et al.</i> (2389)
Estimation of N ₂ O Emission from Anhui Croplands by Using a Regional Nitrogen Cycling Model IAP-N	HAN Yun-fang, HAN Sheng-hui, YAN Ping (2395)
Evaluation on the Impacts of Different Background Determination Methods on CO ₂ Sources and Sinks Estimation and Seasonal Variations	ZHANG Fang, ZHOU Ling-xi, WANG Yu-zhao (2405)
Measured and Predicted Aquatic Life Criteria and Risk Assessment of Chromium (VI) in Liaohe River	WANG Xiao-nan, YAN Zhen-guang, LIU Zheng-tao, <i>et al.</i> (2414)
Pollution and Potential Ecology Risk Evaluation of Heavy Metals in River Water, Top Sediments on Bed and Soils Along Banks of Bortala River, Northwest China	ZHANG Zhao-yong, Jilili Abuduwaile, JIANG Feng-qing (2422)
Influencing Factors for Hydrochemistry and $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ of Karst Springs	ZHAO Rui-yi, LÜ Xian-fu, LIU Zi-qi, <i>et al.</i> (2430)
Hydrochemical Characteristics and the Dissolved Inorganic Carbon Flux in Liuzhou Section of Liujiang Basin	YUAN Ya-qiong, HE Shi-yi, YU Shi, <i>et al.</i> (2437)
Characteristics of Total Nitrogen and Total Phosphorus Pollution and Eutrophication Assessment of Secondary River in Urban Chongqing	QING Xu-yao, REN Yu-fen, LÜ Zhi-qiang, <i>et al.</i> (2446)
Static Migration and Release of Dibutyl-Phthalate in the Fluctuating Zone of Three Gorges Reservoir	WANG Fa, WANG Qiang, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (2453)
Effect of Drought and Subsequent Re-wetting Cycles on Transferable Nitrogen and Its Form Distribution in the Sediment of Water Level Fluctuating Zone in the Tributary of Three Gorge Reservoir Areas	LIN Jun-jie, ZHANG Shuai, YANG Zhen-yu, <i>et al.</i> (2459)
Distribution of Chlorophyll-a and Eutrophication State in Tianchi Lake of Tianshan Mountains in Summer	WANG Bin, MA Jian, WANG Yin-ya, <i>et al.</i> (2465)
Vertical Distribution Characteristics and Analysis in Sediments of Xidaihai Lake	DUAN Mu-chun, XIAO Hai-feng, ZANG Shu-ying (2472)
Phytoplankton Community Structure and Water Quality Assessment in Jialing River After the Impoundment of Caojie Reservoir	YANG Min, ZHANG Sheng, LIU Shuo-ru (2480)
Analysis of Prokaryotic Community Structure in River Waters of the Ningbo Sanjiang Mouth	HU An-yi, LI Jiang-wei, YANG Xiao-yong, <i>et al.</i> (2487)
Effects of Perfluoroalkyl Substances on the Microbial Community Structure in Surface Sediments of Typical River, China	SUN Ya-jun, WANG Tie-yu, PENG Xia-wei, <i>et al.</i> (2496)
Coupling Effects of Decomposed <i>Potamogeton crispus</i> and Growing <i>Ceratophyllum demersum</i> on Water Quality and Plant Growth	MA Yue, WANG Guo-xiang, CAO Xun, <i>et al.</i> (2504)
Bioretention Media Screening for the Removal of Phosphorus in Urban Stormwater	LI Li-qing, GONG Yan-fang, YAN Zi-qin, <i>et al.</i> (2511)
Treatment of Urban Runoff Pollutants by a Multilayer Biofiltration System	WANG Xiao-lu, ZUO Jian-e, GAN Li-li, <i>et al.</i> (2518)
Effect of Three Typical Disinfection Byproducts on Bacterial Antibiotic Resistance	LÜ Lu, ZHANG Meng-lu, WANG Chun-ming, <i>et al.</i> (2525)
Laboratory Investigation of DNAPL Migration Behavior and Distribution at Varying Flow Velocities Based on Light Transmission Method	GAO Yan-wei, ZHENG Fei, SHI Xiao-qing, <i>et al.</i> (2532)
Comparative Study of Benzotriazole Electrochemical Oxidation at Boron-doped Diamond and PbO ₂ Anodes	WU Juan-li, ZHANG Jia-wei, WANG Ting, <i>et al.</i> (2540)
Sorption of <i>o</i> -Phthalate onto Calcite in Open-System	LI Zhen-xuan, HUANG Li-dong, CHEN Yan-fang, <i>et al.</i> (2547)
Adsorption Behaviors of Lead on Multi-Walled Carbon Nanotube-Hydroxyapatite Composites	ZHANG Jin-li, LI Yu (2554)
Synthesis and Study on Adsorption Property of Congo Red Molecularly Imprinted Polymer Nanospheres	CHANG Zi-qiang, CHEN Fu-bin, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (2564)
Simultaneous Removal of Cd(II) and Phenol by Titanium Dioxide-Titanate Nanotubes Composite Nanomaterial Synthesized Through Alkaline-Acid Hydrothermal Method	LEI Li, JIN Yin-jia, WANG Ting, <i>et al.</i> (2573)
Immobilization of Estrogen-degrading Bacteria to Remove the 17 β -estradiol and Diethylstilbestrol from Polluted Water and Cow Dung	LI Xin, LING Wan-ting, LIU Jing-xian, <i>et al.</i> (2581)
Optoelectronic PCB Wastewater Treatment by Partial Nitrification-ANAMMOX Integrative Reactor	YUAN Yan, LI Xiang, ZHOU Cheng, <i>et al.</i> (2591)
Treatment of Petrochemical Treatment Plant Secondary Effluent by Fenton Oxidation	WANG Yi, WU Chang-yong, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (2597)
Comprehensive Toxicity Evaluation and Toxicity Identification Used in Tannery and Textile Wastewaters	HUANG Li, CHEN Wen-yan, WAN Yu-shan, <i>et al.</i> (2604)
Carbon/nitrogen Removal and Bacterial Community Structure Change in an A/O Activated Sludge System Under Different Dissolved Oxygen Conditions	CHEN Yan, LIU Guo-hua, FAN Qiang, <i>et al.</i> (2610)
ORP in the Main Anoxic Stage as the Control Parameter for Nitrogen and Phosphorus Removal in the Single Sludge System with a Continuous Flow	WANG Xiao-ling, SONG Tie-hong, YIN Bao-yong, <i>et al.</i> (2617)
Cultivation of Aerobic Granular Sludge with Real Low Concentration Domestic Wastewater and Its Denitrification Performances Under the Continuous Flow	YAO Li, XIN Xin, LU Hang, <i>et al.</i> (2626)
Heavy Metal Contamination in Farmland Soils at an E-waste Disassembling Site in Qingyuan, Guangdong, South China	ZHANG Jin-lian, DING Jiang-feng, LU Gui-ning, <i>et al.</i> (2633)
Residues and Spatial Distribution Characteristics of Organochlorine Pesticides DDTs in Soil of Linyi City, Shandong Province	YU Chao, WANG Zeng-hui, WANG Hong-jin, <i>et al.</i> (2641)
Assessment of Soil Fluorine Pollution in Jinhua Fluorite Ore Areas	YE Qun-feng, ZHOU Xiao-ling (2648)
Response of Straw and Straw Biochar Returning to Soil Carbon Budget and Its Mechanism	HOU Ya-hong, WANG Lei, FU Xiao-hua, <i>et al.</i> (2655)
Changes of Soil Organic Carbon and Its Influencing Factors of Apple Orchards and Black Locusts in the Small Watershed of Loess Plateau, China	LI Ru-jian, WANG Rui, LI Na-na, <i>et al.</i> (2662)
Impacts of Land Use Changes on Soil Light Fraction and Particulate Organic Carbon and Nitrogen in Jinyun Mountain	LEI Li-guo, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (2669)
Soil Enzyme Activities and Their Relationships to Environmental Factors in a Typical Oasis in the Upper Reaches of the Tarim River	ZHU Mei-ling, GONG Lu, ZHANG Long-long (2678)
Effects of Different Residue Part Inputs of Corn Straws on CO ₂ Efflux and Microbial Biomass in Clay Loam and Sandy Loam Black Soils	LIU Si-yi, LIANG Ai-zhen, YANG Xue-ming, <i>et al.</i> (2686)
Isolation, Identification of a <i>p</i> - <i>tert</i> -Butylcatechol-Degrading Strains and Optimization for Its Degradation by Response Surface Methodology	HE Qiang-li, LIU Wen-bin, YANG Hai-jun, <i>et al.</i> (2695)
Isolation, Identification and Characteristic Analysis of an Oil-producing <i>Chlorella</i> sp. Tolerant to High-strength Anaerobic Digestion Effluent	YANG Chuang, WANG Wen-guo, MA Dan-wei, <i>et al.</i> (2707)
Coupled Cytotoxicity of C ₆₀ Nano-Crystal Particle with Cu ²⁺ to the Mouse Peritoneal Microphage RAW 264. 7	YU Ye, BIAN Wei-lin, ZHANG Hui-min, <i>et al.</i> (2713)
Simultaneous Analysis of 18 Glucocorticoids in Surface Water	GUO Wen-jing, CHANG Hong, SUN De-zhi, <i>et al.</i> (2719)

《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 刘 毅 汤鸿霄 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)

2015 年 7 月 15 日 第 36 卷 第 7 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 7 Jul. 15, 2015

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 国内邮发代号: 2-821
CN 11-1895/X

国 内 定 价: 120.00 元 国外发行代号: M 205

国 内 外 公 开 发 行