

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	杨圆, 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)	

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^{1,2}, 张晟², 刘朔孺^{1,2}

(1. 重庆市环境监测中心, 有机污染物环境化学行为与生态毒理重庆市重点实验室, 重庆 401147; 2. 重庆市环境科学研究院, 重庆 401147)

摘要: 为了解草街水库蓄水后嘉陵江的水环境变化情况, 对嘉陵江浮游植物群落结构及水质状况进行了研究。研究期间共检出浮游植物 145 种, 隶属 8 门 74 属, 其中硅藻门种类数最多, 23 属 57 种, 其次为绿藻门, 28 属 53 种。浮游植物平均细胞密度 $1.82 \times 10^5 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$, 细胞密度居于前 3 位的分别为硅藻门、甲藻门、隐藻门, 所占总密度比例分别为 39.2%、29.9%、24.5%, 春季细胞密度显著高于其他季节 ($P < 0.05$)。优势度分析显示, 优势种主要为颗粒沟链藻 (*Aulacoseria granulata*)、变异直链藻 (*Melosira varians*)、倪氏拟多甲藻 (*Peridiniopsis niei*)、具尾逗隐藻 (*Komma caudata*)、嗜蚀隐藻 (*Cryptomonas erosa*) 等。聚类分析结果表明, 草街水库蓄水后对浮游植物的影响作用已初步显现。嘉陵江草街水库区在纵向上已初步形成不同特征的生态区域, 各区域浮游植物群落结构存在差异, 同时, 草街水库大坝上、下游间浮游植物和水体特征也产生了差异。嘉陵江浮游植物的 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数和 Pielous 均匀度指数分别介于 2.06~3.55、0.76~1.90、0.50~0.78, 表明嘉陵江水体处于轻-中度污染状态。根据浮游植物群落结构评价显示, 研究期间的嘉陵江水体营养水平为中营养类型。

关键词: 嘉陵江; 草街水库; 浮游植物; 群落结构; 水质

中图分类号: X173; X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)07-2480-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.07.021

Phytoplankton Community Structure and Water Quality Assessment in Jialing River After the Impoundment of Caojie Reservoir

YANG Min^{1,2}, ZHANG Sheng², LIU Shuo-ru^{1,2}

(1. Chongqing Key Laboratory of Organic Pollutants in Environmental Chemical Behavior and Ecological Toxicology, Chongqing Environmental Monitoring Center, Chongqing 401147, China; 2. Chongqing Academy of Environmental Sciences, Chongqing 401147, China)

Abstract: The variation of phytoplankton community and the water quality in Jialing River after the impoundment of Caojie Reservoir was studied in this paper. There were 145 species of phytoplankton under the membership of 8 divisions and 74 genera. Bacillariophyta was the first dominant division, with a total of 57 species of 23 genera, accounted for 39.3% of total phytoplankton species, followed by Chlorophyta, with 53 species of 28 genera and accounted for 36.6%. Only 35 species of 23 genera belonged to Euglenophyta, Cryptophyta, Pyrrophyta, Chrysophyta, and Cyanophyta. The average phytoplankton abundance was $1.82 \times 10^5 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$, and the top three taxon of most abundant were Bacillariophyta, Cryptophyta and Pyrrophyta, accounted for 39.2%, 29.9%, and 24.5% of total abundance, respectively. The cell abundance in spring was significantly higher than those in other seasons. The dominant species included *Aulacoseria granulata*, *Melosira varians*, *Peridiniopsis niei*, *Komma caudata*, *Cryptomonas erosa* etc., indicated by the dominant index. Excluded by cluster analysis, the influence on phytoplankton had initially emerged after the impoundment of Caojie Reservoir. The reservoir area could be divided into different ecological regions longitudinally after Caojie Reservoir impoundment, which had an important impact on the phytoplankton. Meanwhile, the phytoplankton and flow velocity between upstream and downstream of the dam significantly varied. Shannon-Wiener species diversity index, Margalef species richness index and Pielous evenness index ranged 2.06-3.55, 0.76-1.90 and 0.50-0.78, respectively. The evaluation results of phytoplankton community structure showed that the eutrophic state was at medium eutrophication level, while diversity analysis results indicated light to moderate pollution.

Key words: Jialing River; Caojie Reservoir; phytoplankton; community structure; water quality

嘉陵江是长江流域中流域面积最大的支流,也是三峡库区最大的支流之一,研究嘉陵江水环境对保障三峡库区及其上游的生态环境安全具有重要意义。嘉陵江流域水库广布,其中草街水库坝址距嘉陵江河口约 68 km,为目前嘉陵江干流自上而下的最后一级水利枢纽。河流筑坝改变了天然河流的水动力和水文条件,影响水团的对流、扩散、弥散、混

合和下沉等一系列运动,使水体中的碳、氮、磷、硅等元素地化循环发生改变,影响水生生物的组成、数量以及分布^[1]。

收稿日期: 2014-08-20; 修订日期: 2015-02-01

基金项目: 重庆市科委基本科研项目 (2013cstc-jbky-01613); 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2012ZX07104-003)

作者简介: 杨敏 (1980 ~), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为水生态环境保护, E-mail: yangm2013@126.com

浮游植物作为水生生态系统中的初级生产者,是水生食物链的基础,在水体的物质循环和能量流动中发挥着重要作用^[2,3]。同时,浮游植物个体小,细胞结构简单,对栖息环境变化敏感,因此国内外许多研究根据浮游植物群落结构特征对水质状况进行分析和评价^[3-7]。前人对嘉陵江浮游植物的研究主要集中于其干流北碚至入江口段^[8-13],缺乏相对较长地理跨度及连续时间的研究,尤其草街水库蓄水后,还未见有关嘉陵江浮游植物的研究报道。本研究对草街水库蓄水后嘉陵江的浮游植物种类、数量以及群落结构等特征进行分析,通过丰富河道型水库系统中浮游植物的研究,以期为保障三峡库区及其上游的水生态安全提供资料参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

嘉陵江位于东经 103°45′~109°00′,北纬 29°20′~34°25′之间,其左右岸支流(渠江和涪江)在重庆市合川区汇入嘉陵江干流,而后汇入长江。流域内径流由降雨补给,年内分配不均,5~10 月为汛期,进入 11 月水量减少,12 月起进入退水期,至 2~3 月水量最枯,4 月径流即有明显回升。草街航电枢纽为一具航运、发电等效益的综合利用工程,于 2010 年 4 月底下闸蓄水,初期蓄水水位 192 m,2011 年 7 月达到正常蓄水位 203 m,水库总库容 22.12 亿 m³,水库面积 72.4 km²^[14]。草街水库及其下游为集中饮用水源区,草街水库蓄水一年后,即 2011 年 4 月,由于针杆藻异常增殖,导致部分自来水厂制水能力下降,直接影响到水厂供水。

1.2 采样点设置

共设置了 8 个采样断面:其中接近草街水库回水区末端设置 3 个断面,分别为涪江上的玉溪断面,渠江上的码头断面,嘉陵江干流的金子断面;草街水库大坝上游设置三江和坝上 2 个断面,草街水库大坝下游设置坝下、梁沱和大溪沟这 3 个断面,详见图 1。

1.3 水样采集与分析

1.3.1 水样采集

自 2011 年 8 月至 2012 年 7 月,每月采样一次。浮游植物定性样品用 25 号浮游生物网在水面下作“∞”捞取,过滤收集,4% 甲醛固定。浮游植物定量样品用采水器采集表层(水下 0.5 m)水样 2.5 L,加入鲁哥氏液(Lugol's solution)固定,带回实验室浓缩处理。同时采集另一份表层水样,用作水化学分析。

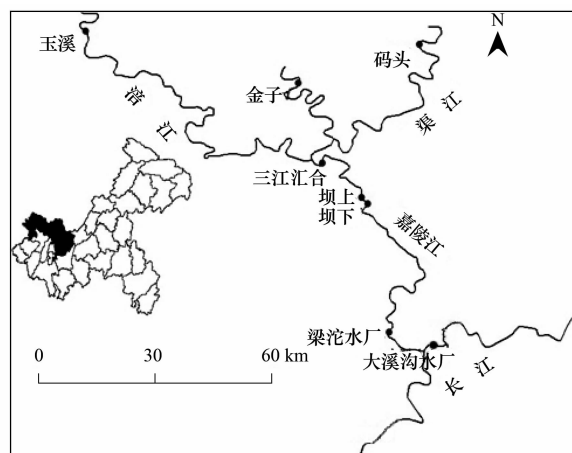


图 1 嘉陵江浮游植物采样点示意

Fig. 1 Sampling sites of phytoplankton in Jialing River

1.3.2 浮游植物分析

将 Lugol's 液固定的水样室内静置沉降 24 h,用虹吸法去除上清液,经沉淀浓缩,定容至 30 mL,加数滴甲醛保存。计数前将样品充分摇匀,吸取 0.1 mL 至计数框。浮游植物种类鉴定参照胡鸿钧等的方法^[15],计数参照章宗涉等的方法^[16]。

1.3.3 理化指标测定

水温、溶解氧、电导率在采样现场用哈希 MINISONDEX5X 多参数水质测定仪测定,透明度采用 Secchi 盘法直接测定。依据文献^[17]的方法,实验室内对总氮、硝酸盐、氨氮、总磷、磷酸盐、高锰酸盐指数进行分析测定。

1.4 数据处理

1.4.1 优势度分析

浮游植物的优势种根据各个种的优势度(Y)值^[18]来确定:

$$Y = f_i \cdot P_i$$

式中, Y 为优势度, f_i 为第 i 种浮游植物在采样点中出现的频率; P_i 为第 i 种浮游植物个体数在总数量中的比例。当 $y > 0.02$ 的种类定为优势种。

1.4.2 生物多样性分析

采用的生物多样性指数包括 Shannon-Wiener 指数(H')、Pielous 均匀度指数(J)以及 Margalef 丰富度指数(D),相应计算公式^[19]为:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \quad (P_i = N_i/N)$$

$$J = H' / \log_2 S$$

$$D = (S - 1) / \ln N$$

式中, S 为样品中浮游植物总种类数, N 表示同一样品中浮游植物总个体数, N_i 为第 i 种浮游植物个

体数.

根据评价标准, $0 < H' < 1$ 时为水体重污染, $1 < H' < 3$ 时为中污染, $H' > 3$ 时为轻污染; $0 < J < 0.3$ 为重污染, $0.3 < J < 0.5$ 为中污染, $J > 0.5$ 为轻污染或无污染; $0 < D < 1$ 为污染水质, $1 < D < 3$ 为中度污染水质, $D > 3$ 为清洁无污染水质^[20].

1.4.3 聚类分析

为分析浮游植物的空间分布差异,根据浮游植物种类和密度,对不同采样断面的浮游植物进行聚类分析. 此分析在 Primer V5.0 软件中完成,浮游植物密度经过平方根转换,应用 Bray-Curtis Similarity 方法分析.

2 结果与讨论

2.1 浮游植物种群落结构

2.1.1 浮游植物种类组成

经鉴定与分析,共检测到硅藻门、绿藻门、蓝藻门、甲藻门、隐藻门、裸藻门、金藻门这 7 个门类,共计 74 属 145 种(变种). 其中硅藻门种类数最多,23 属 57 种,占总种类数的 39.3%; 其次为绿藻门,28 属 53 种,占总种类数的 36.6%; 再次是裸藻门,5 属 12 种,占总种类数的 8.3%; 蓝藻门 9 属 11 种,占总种类数的 7.6%; 甲藻门 4 属 6 种,占总种类数的 4.1%; 金藻门,3 属 3 种,占总种类数的 2.1%; 隐藻门 2 属 3 种,占总种类数的 2.1%. 前期研究表明,2009 年时总藻种类数 168 种,硅、绿、蓝藻种数百分比分别为 54.2%、28.0%、8.3%^[11],与之比较,当前总藻种类数略有下降,硅藻百分比下降 14.9%,绿藻百分比上升 8.6%,蓝藻下降 0.7%.

浮游植物种类数在时间和空间分布上差异均不大,硅藻门和绿藻门种类较多,总种类数的变化多由于硅藻门和绿藻门的变化引起,其他门类种类变化不大. 时间上,种类变化范围为 41~69 种,8 月种类数最少,可能是由于汛期的缘故,6 月总种类数最多,此时绿藻门种类也达到最多. 各断面间种类数变化范围为 83~97 种,玉溪断面种类数最少,其硅藻门种类数亦最少(图 2).

2.1.2 浮游植物密度

研究期间浮游植物细胞密度变化范围为 $0.62 \times 10^4 \sim 1.53 \times 10^6 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均为 $1.82 \times 10^5 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$, 最小值出现在 8 月大溪沟断面,最大值为 3 月坝上断面(图 3). 细胞密度居于前 3 位的分别为硅藻门、甲藻门、隐藻门(图 4),所占总密度比例

分别为 39.2%、29.9%、24.5%. 参照重庆地区季节划分^[27],各断面均在春季时细胞密度达到最高. ANOVA 单因子方差分析的 LSD 多重比较结果表明,春季时的细胞密度显著高于其他季节($P < 0.05$),而夏、秋、冬季的细胞密度间均无显著性差异($P > 0.05$). 季节演替上,10 月~次年 1 月,隐藻为第一优势,硅藻次之; 2~4 月甲藻密度迅速增加成为第一优势; 5~7 月,硅藻为第一优势,绿藻所占比例逐渐增大; 7~9 月汛期时,硅藻占据绝对优势(图 4). 在空间上,上游 3 个断面浮游植物细胞密度较低,三江-坝上断面达到最高,经坝下至大溪

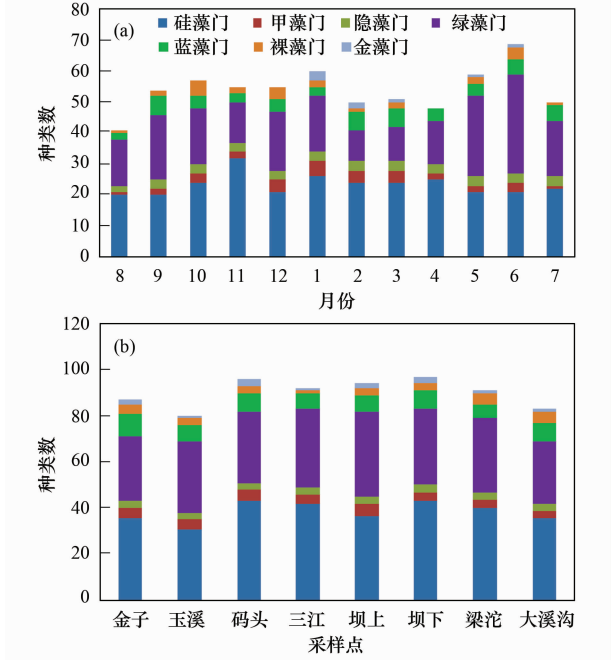


图2 浮游植物各月及各样点种类变化
Fig. 2 Variation of phytoplankton species in different months and different sites

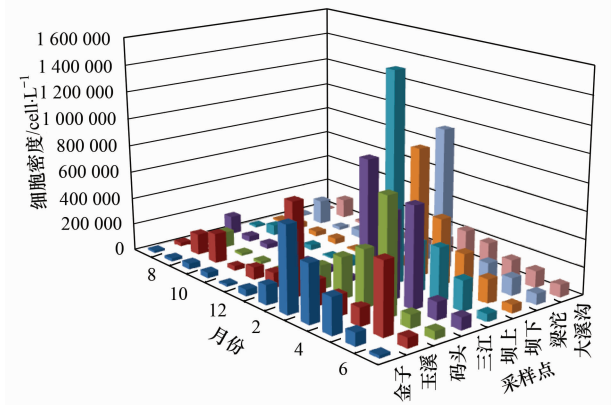


图3 浮游植物密度时空分布
Fig. 3 Temporal and spatial dynamics of phytoplankton cell abundance

沟又逐渐降低.

与前人研究结果比较,草街水库蓄水后浮游植物群落构成发生了较大改变. 2007 年嘉陵江主城段硅藻占绝对优势,其次为绿藻和蓝藻^[8,11],研究期间

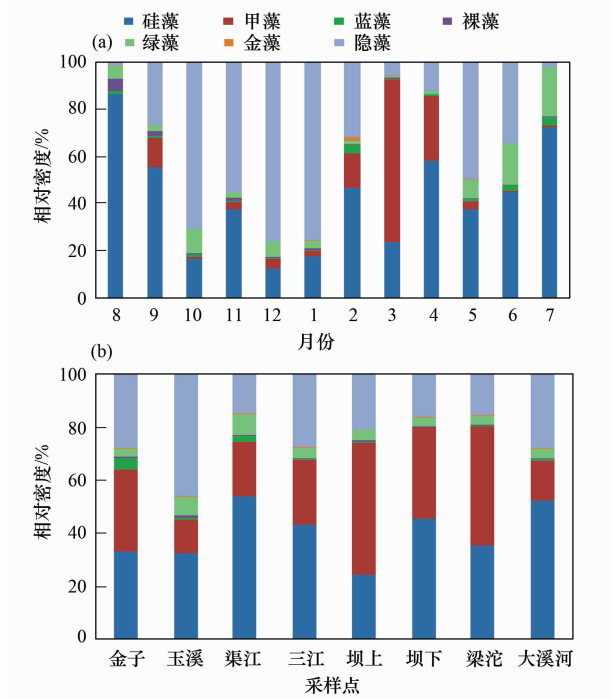


图 4 各月份及各断面浮游植物细胞相对密度
Fig. 4 Relative abundance of phytoplankton in different months and different sites

为硅藻-隐藻-甲藻格局,且硅藻的优势度大大下降,甚至在春季时退居为第二优势. 草街水库蓄水前浮游植物细胞密度为 $10^3 \sim 10^4 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[11,21],研究期间除梁沱和大溪沟断面偶尔在 8 月为 $10^3 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$,其余均为 $10^4 \sim 10^5 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$,浮游植物密度上升了一个数量级.

2. 1. 3 浮游植物优势种

嘉陵江中下游浮游植物优势种较多且优势度不高(表 1),表明群落结构比较复杂,处于较完整状态. 优势种存在明显的季节变化,硅藻和隐藻存在秋、冬、春季的优势,硅藻优势种为变异直链藻 (*Melosira varians*)、颗粒沟链藻 (*Aulacoseria granulata*)、小环藻 (*Cyclotella* sp.),颗粒沟链藻存在秋、冬(9 月~次年 1 月)优势,变异直链藻存在春、夏优势(2~8 月). 隐藻优势种为啮蚀隐藻 (*Cryptomonas erosa*)、具尾逗隐藻 (*Komma caudata*)、马索隐藻 (*Cryptomonas marssonii*). 甲藻存在春、秋(2~4 月和 9 月)高峰,优势种倪氏拟多甲藻 (*Peridiniopsis niei*) 在春季占据绝对优势,优势度值高达 0.67;凯氏拟多甲藻 (*Peridiniopsis kevei*) 和佩氏拟多甲藻 (*Peridiniopsis piei*) 主要存在秋季优势,但优势度不高. 绿藻存在夏季(6~7 月)高峰,其优势种主要为栅藻 (*Scenedesmus* spp.) 等,但优势度值较低.

优势种	优势度											
	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月
脆杆藻 (<i>Fragilaria</i> sp.)									0.04			0.06
等片藻 (<i>Diatoma</i> sp.)								0.04	0.11			
汉斯冠盘藻 (<i>Stephanodiscus hantzschii</i>)										0.05	0.04	
茧形藻 (<i>Amphiporoa</i> sp.)				0.03								
小环藻 (<i>Cyclotella</i> sp.)					0.02	0.04	0.02		0.09	0.07	0.18	0.08
美丽星杆藻 (<i>Asterionella formosa</i>)							0.10					
变异直链藻 (<i>Melosira varians</i>)	0.18	0.44	0.09	0.26	0.04	0.03	0.08	0.09	0.19	0.05	0.12	0.31
颗粒沟链藻 (<i>Aulacoseria granulata</i>)		0.04			0.02					0.11	0.04	0.08
舟形藻 (<i>Navicula</i> sp.)									0.02			0.04
倪氏拟多甲藻 (<i>Peridiniopsis niei</i>)							0.11	0.67	0.25			
凯氏拟多甲藻 (<i>Peridiniopsis kevei</i>)		0.05										
佩氏拟多甲藻 (<i>Peridiniopsis piei</i>)		0.05							0.02			
单角盘星藻具孔变种 (<i>Pediastrum simplex</i> var. <i>duodenarium</i>)												0.02
塔胞藻 (<i>Pyraminonas</i> sp.)			0.07		0.02							
二形栅藻 (<i>Scenedesmus dimorphus</i>)											0.02	
四尾栅藻 (<i>Scenedesmus quadricauda</i>)											0.05	0.02
具尾逗隐藻 (<i>Komma caudata</i>)			0.08		0.06	0.33	0.07			0.30	0.18	
马索隐藻 (<i>Cryptomonas marssonii</i>)		0.05	0.06	0.09	0.12	0.09			0.05	0.12	0.07	
啮蚀隐藻 (<i>Cryptomonas erosa</i>)		0.17	0.53	0.38	0.54	0.33	0.22	0.03	0.05	0.07	0.07	

2.2 浮游植物群落聚类分析

根据嘉陵江浮游植物种类和密度,对采样断面的浮游植物群落进行聚类分析. 结果显示,位于上游水库河流区的玉溪断面、码头断面和金子断面各自单独成组,相较于河流区断面,位于水库过渡区的三江断面与湖泊区的坝上断面相似度更大. 三江至大溪沟的 5 个断面被分成 2 组:基本以草街电站为分界,位于草街水库大坝上游的三江断面和坝上断面具有较高的相似性聚为集合 1,而大坝下游的梁沱和大溪沟断面聚为集合 2(图 5).

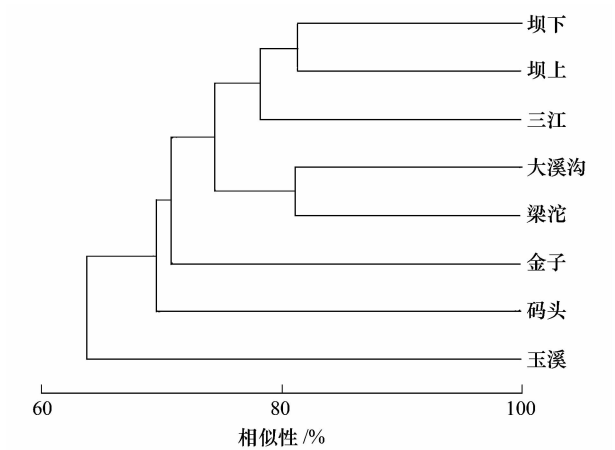


图 5 采样点聚类分析结果
Fig. 5 Cluster analysis of the sampling sites, based on Bray-Curtis similarity matrices

上述结果反映了草街水库建坝蓄水后嘉陵江研究区域在纵向上已初步形成 3 个不同特征的生态区域,各区域浮游植物群落结构存在差异,这一结果与 Wang 等的研究结果相似^[22]. 按照河流型水库的纵向分区理论^[23,24],过渡区水流速度较低,透明度增

大,浮游植物生物量在过渡区中最高,其次为湖泊区,河流区最低. 上游河流区金子、玉溪、码头断面的平均浮游植物细胞密度为 $1.63 \times 10^5 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$,过渡区三江断面浮游植物密度为 $2.22 \times 10^5 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$,湖泊区坝上断面浮游植物密度为 $2.21 \times 10^5 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$. 可见研究期间过渡区与湖泊区浮游植物密度相差不大,但均明显高于河流区. 优势藻类在各生态区域的分布各不相同,河流区、过渡区、湖泊区的硅藻、甲藻、隐藻相对密度别为 39.6%、21.6%、29.7%, 43.1%、24.4%、27.5% 和 24.3%、49.5%、21.1%. 显然,硅藻在河流区和过渡区占据第一优势,而甲藻在湖泊区占据绝对优势,且优势程度在逐渐增加.

同时,草街水库蓄水后大坝上下游间水体特征也产生了差异. 集合 1 和集合 2 平均细胞密度分别为 $2.21 \times 10^5 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.31 \times 10^5 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$,集合 1 显著大于上游河流区和集合 2. 集合 1、集合 2 中硅藻和甲藻的相对密度分别为 36.8%、36.3% 和 41.6%、33.9%,集合 1 中硅藻和甲藻优势程度几乎相当,集合 2 中硅藻为第一优势. *T* 检验分析(表 2)表明,大坝上游断面的浮游植物密度显著高于大坝下游($P < 0.05$),大坝上游断面的流速显著低于大坝下游($P < 0.05$),透明度则大坝上游断面显著高于下游断面($P < 0.05$),而电导率、溶解氧、水温和高锰酸盐指数、氮、磷等营养盐在大坝上游和下游断面间差异不显著性($P > 0.05$). 这一结果从一定程度上表明草街水库蓄水后目前对水体营养盐浓度的影响相对较小,但对嘉陵江水文和浮游植物的影响作用已初步显现. 草街水库建坝蓄水后嘉陵江的水文条件已发生明显改变,甲藻等喜静水藻类在

表 2 草街水库大坝上、下游断面间水体理化特征比较

Table 2 Comparison of physiochemical parameters between sample sites in upstream and downstream							
项目	草街水库大坝上游断面			草街水库大坝下游断面			<i>P</i>
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
浮游植物密度/cell·L ⁻¹	1.21×10^2	3.10×10^6	2.21×10^5	1.25×10^2	7.88×10^5	1.31×10^5	0.010
流速/m·s ⁻¹	0.06	3.25	0.46	0.09	2.85	0.83	0.030
水温/℃	9.20	29.73	19.40	9.33	29.67	19.20	0.865
溶解氧/mg·L ⁻¹	5.93	12.73	8.52	5.25	12.60	8.32	0.477
电导率/μS·cm ⁻¹	198.73	469.17	353.21	200.57	484.33	353.62	0.972
透明度/m	0.03	2.55	1.22	0.05	2.50	1.06	0.035
高锰酸盐指数/mg·L ⁻¹	1.73	6.47	2.88	1.70	6.60	2.91	0.865
总氮/mg·L ⁻¹	1.46	2.86	2.07	1.66	2.96	2.20	0.501
硝酸盐/mg·L ⁻¹	0.90	2.68	1.60	0.98	2.65	1.72	0.580
氨氮/mg·L ⁻¹	0.04	0.29	0.13	0.04	0.21	0.13	0.899
总磷/mg·L ⁻¹	0.025	0.185	0.070	0.020	0.157	0.070	0.928
磷酸盐/mg·L ⁻¹	0.012	0.089	0.037	0.010	0.086	0.037	0.983

流速较缓的三江等断面的生境更适宜生长,而硅藻等喜流水藻类更适宜于大坝下游的生境,这可能也是导致浮游植物在嘉陵江断面间分布差异的主要原因之一^[25].

2.3 多样性指数分析及水质评价

研究期间浮游植物多样性指数结果见图 6. 各月份 Shannon-Wiener 多样性指数 H' 值变化范围为 2.06 ~ 3.55, 其中 6 月最高, 3 月最低, 与浮游植物种类数变化趋势一致, 验证了该指数对浮游植物群落物种数较敏感. 各月份 Pielous 均匀性指数变化范围为 0.58 ~ 0.78, 其中 3 月最低, 可能是由于此时倪氏拟多甲藻数量急剧增加而成为绝对优势所致, 预示着此时段具有较高的水华暴发风险. 各月份 Margalef 丰富度指数 D 值变化范围为 0.86 ~ 1.90, 与 Shannon-Wiener 多样性指数的变化趋势基本一致. 三峡水库支流小江浮游植物多样性指数 1.38 ~ 1.86, 丰富度指数 1.33 ~ 1.80, 均匀度指数

0.31 ~ 0.43^[26], 与之相比, 嘉陵江多样性指数略高, 均匀度指数偏高, 丰富度指数持平, 说明嘉陵江浮游植物群落结构优于小江.

物种多样性指数常作为判断水体营养状况的检测指标. 依据判定标准, Shannon-Wiener 多样性指数表征嘉陵江中下游为轻-中度污染状态, Pielous 均匀性指数表征呈轻污染状态, Margalef 丰富度指数表征为中污染状态. 综合以上评价嘉陵江中下游水体水质为轻-中度污染状态.

浮游植物群落结构是评价水体富营养化的重要参数. 根据国内外有关资料, 一般说来, 贫营养型湖泊中浮游植物以金藻、黄藻为主, 中营养型湖泊以甲藻、隐藻、硅藻占优势, 富营养型湖泊中常以绿藻、蓝藻占优势^[27]. 依据目前嘉陵江硅藻-隐藻-甲藻的浮游植物种群结构, 推断嘉陵江目前应处于中营养状态.

3 结论

(1) 研究期间嘉陵江共检出浮游植物 145 种, 隶属 7 门 74 属, 以硅藻门和绿藻门种类数最多. 浮游植物细胞密度居于前 3 位的分别是硅藻、甲藻、隐藻, 春季密度最高. 优势种主要有变异直链藻、颗粒沟链藻、倪氏拟多甲藻、具尾逗隐藻、啮蚀隐藻等.

(2) 与蓄水前研究资料相比, 浮游植物总密度上升了一个数量级, 硅藻的优势度下降, 甲藻门和隐藻门种类跃升为优势种. 嘉陵江浮游植物密度组成由之前的硅-绿藻-蓝格局变为目前的硅藻-隐藻-甲藻格局.

(3) 嘉陵江草街水库区域蓄水后在纵向上已初步形成河流区、湖泊区、过渡区这 3 个不同特征的生态区域, 不同区域浮游植物群落结构存在差异性.

(4) 根据研究期间浮游植物群落结构推断嘉陵江水体为中营养, 多样性分析结果表明嘉陵江水体为轻-中度污染状态.

参考文献：

[1] Leitão M, Morata S M, Rodriguez S, *et al.* The effect of perturbations on phytoplankton assemblages in a deep reservoir (Vouglans, France) [J]. *Hydrobiologia*, 2003, **502**(1-3): 73-83.

[2] 王爱爱, 冯佳, 谢树莲. 汾河中下游浮游藻类群落特征及水质分析[J]. *环境科学*, 2014, **35**(3): 915-923.

[3] 孟睿, 何连生, 过龙根, 等. 长江中下游草型湖泊浮游植物群落及其与环境因子的关系[J]. *环境科学*, 2013, **34**(7): 2588-2596.

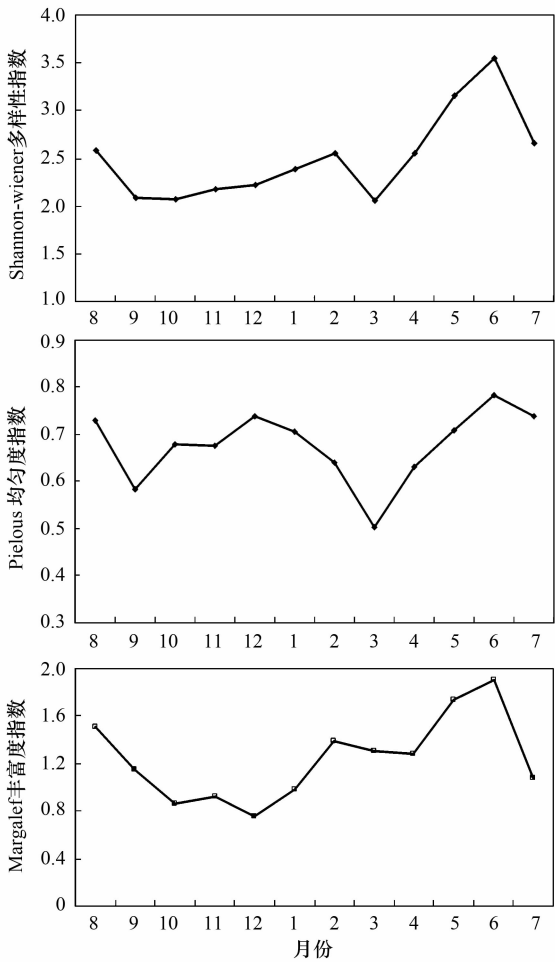


图 6 不同月份浮游植物 Shannon-wiener 多样性指数、Pielous 均匀度指数和 Margalef 丰富度指数

Fig. 6 Phytoplankton Shannon-wiener index, species evenness and richness in different months

[4] 郭劲松, 谢丹, 李哲, 等. 三峡水库开县消落区水域冬季蓄水期间藻类群落结构与水质评价[J]. 环境科学, 2012, **33**(4): 1129-1135.

[5] 李哲, 郭劲松, 方芳, 等. 三峡小江回水区蓝藻季节变化及其与主要环境因素的相互关系[J]. 环境科学, 2010, **31**(2): 301-309.

[6] 韩欢, 范亚文. 黑龙江省安兴湿地秋季浮游植物群落结构[J]. 湖泊科学, 2012, **24**(4): 577-585.

[7] 刘雪花, 赵秀侠, 高攀, 等. 安徽菜子湖浮游植物群落结构的周年变化(2010年)[J]. 湖泊科学, 2012, **24**(5): 771-779.

[8] 刘信安, 张密芳. 重庆主城区三峡水域优势藻类的演替及其增殖行为研究[J]. 环境科学, 2008, **29**(7): 1838-1843.

[9] 陈锋, 邓洪平, 王明书, 等. 嘉陵江小三峡硅藻群落结构及水环境[J]. 生态学杂志, 2009, **28**(4): 648-652.

[10] 邓洪平, 陈锋, 王明书, 等. 嘉陵江下游硅藻群落结构及物种多样性研究[J]. 水生生物学报, 2010, **34**(2): 330-335.

[11] 郭蔚华, 王柱, 贺栋才, 等. 三峡 175 米蓄水期间春季嘉陵江出口段藻类变化[J]. 中国环境监测, 2011, **27**(3): 69-73.

[12] 龙天渝, 刘腊美, 郭蔚华, 等. 流量对三峡库区嘉陵江重庆主城段藻类生长的影响[J]. 环境科学研究, 2008, **21**(4): 104-108.

[13] 王敏, 张智, 郭蔚华, 等. 嘉陵江出口段硅藻水华发生规律[J]. 环境科学研究, 2011, **24**(2): 191-198.

[14] 唐林, 王海波. 草街航电枢纽临时围堰导截流设计[J]. 水利水电技术, 2006, **37**(6): 26-27.

[15] 胡钧鸿, 魏印心. 中国淡水藻类——系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社, 2006.

[16] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 1991.

[17] 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.

[18] Spatharis S, Roellke D L, Dimitrakopoulos P G. Analyzing the (mis) behavior of Shannon index in eutrophication studies using field and simulated phytoplankton assemblages [J]. Ecological Indicators, 2011, **11**(2): 697-703.

[19] 沈韞芬, 章宗涉, 龚循矩, 等. 微型生物监测新技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.

[20] 郭春燕, 冯佳, 谢树莲. 山西晋阳湖浮游藻类分布的时空格局及水质分析[J]. 湖泊科学, 2010, **22**(2): 251-255.

[21] 张智, 宋丽娟, 郭蔚华. 重庆长江嘉陵江交汇段浮游藻类组成及变化[J]. 中国环境科学, 2005, **25**(6): 695-699.

[22] Wang L, Cai Q H, Tan L, *et al.* Longitudinal differences of phytoplankton community during a period of small water level fluctuations in a subtropical reservoir bay (Xiangxi Bay, Three Gorges Reservoir, China) [J]. International Review of Hydrobiology, 2011, **96**(4): 381-396.

[23] Kimmel B L, Groeger A W. Factors controlling primary production in lakes and reservoirs: A perspective[J]. Lake and Reservoir Management, 1984, **1**(1): 277-281.

[24] 韩博平. 中国水库生态学研究的回顾与展望[J]. 湖泊科学, 2010, **22**(2): 151-160.

[25] Zeng H, Song L R, Yu Z G, *et al.* Post-impoundment biomass and composition of phytoplankton in the Yangtze River [J]. International Review of Hydrobiology, 2007, **92**(3): 267-280.

[26] 郭劲松, 陈杰, 李哲, 等. 156 m 蓄水后三峡水库小江回水区春季浮游植物调查及多样性评价[J]. 环境科学, 2008, **29**(10): 2710-2715.

[27] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.

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 Abuduwalili, JIANG Feng-qing (2422)
Influencing Factors for Hydrochemistry and δ ¹³ C _{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 17β-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