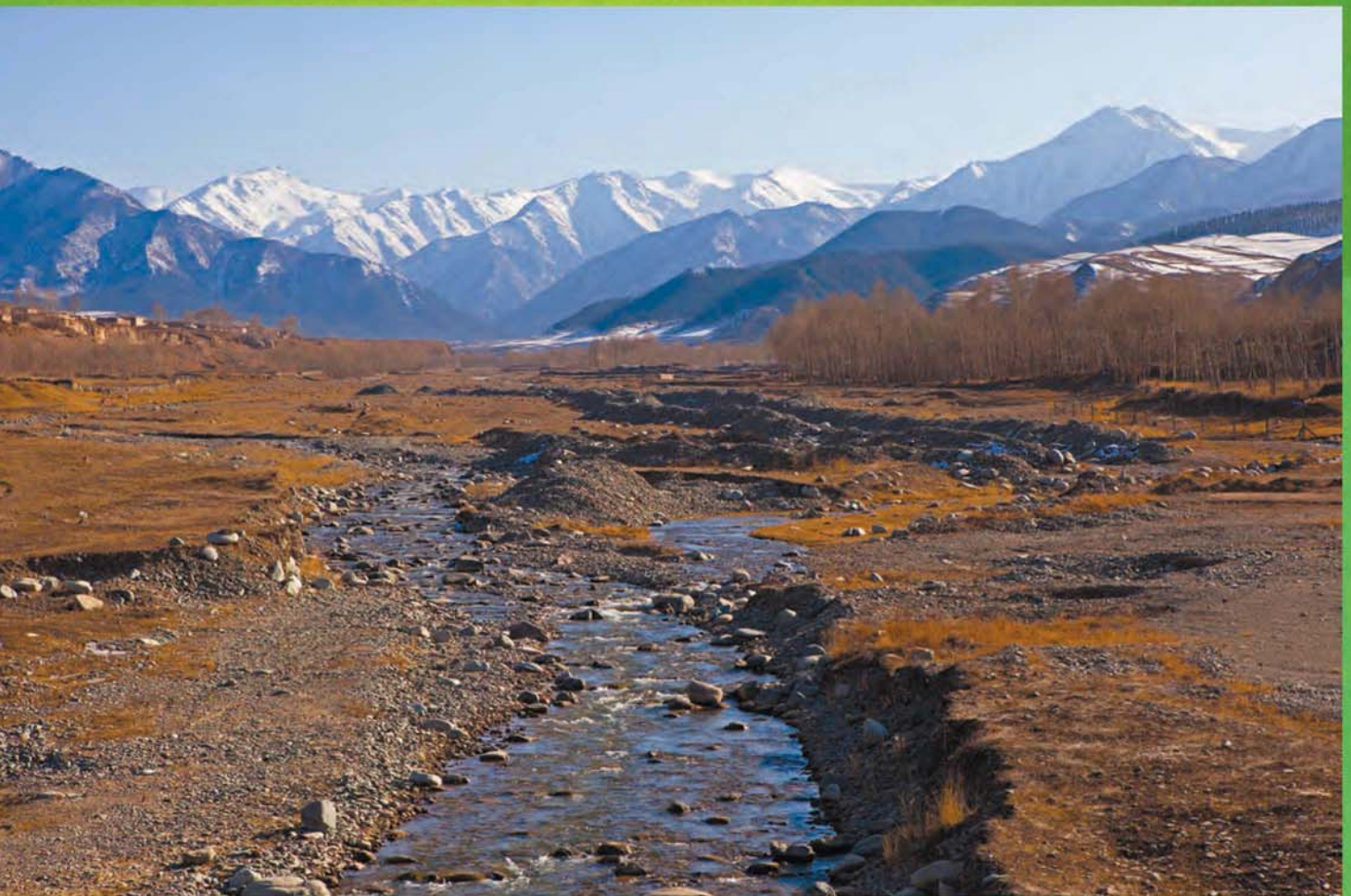


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

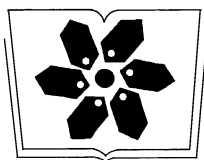
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第4期 Vol.33 No.4 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 4 期 2013 年 2 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 森林水源涵养功能的多尺度内涵、过程及计量方法 王晓学,沈会涛,李叙勇,等 (1019)
- 植物叶片水稳定同位素研究进展 罗 伦,余武生,万诗敏,等 (1031)
- 城市景观格局演变的生态环境效应研究进展 陈利顶,孙然好,刘海莲 (1042)
- 城市生物多样性分布格局研究进展 毛齐正,马克明,邬建国,等 (1051)
- 基于福祉视角的生态补偿研究 李惠梅,张安录 (1065)

个体与基础生态

- 土著菌根真菌和混生植物对羊草生长和磷营养的影响 雷 垚,郝志鹏,陈保冬 (1071)
- 干旱条件下 AM 真菌对植物生长和土壤水稳定性团聚体的影响 叶佳舒,李 涛,胡亚军,等 (1080)
- 转 *mapk* 双链 RNA 干扰表达载体黄瓜对根际土壤细菌多样性的影响 ... 陈国华,弭宝彬,李 莹,等 (1091)
- 北京远郊区臭氧污染及其对敏感植物叶片的伤害 万五星,夏亚军,张红星,等 (1098)
- 茅苍术叶片可培养内生细菌多样性及其促生潜力 周佳宇,贾 永,王宏伟,等 (1106)
- 低温对蝶蛹金小蜂卵成熟及其数量动态的影响 夏诗洋,孟玲,李保平 (1118)
- 六星黑点豹蠹蛾求偶行为与性信息素产生和释放的时辰节律 刘金龙,荆小院,杨美红,等 (1126)
- 氟化物对家蚕血液羧酸酯酶及全酯酶活性的影响 米 智,阮成龙,李姣蓉,等 (1134)
- 不同温度对脊尾白虾胚胎发育与幼体变态存活的影响 梁俊平,李 健,李吉涛,等 (1142)

种群、群落和生态系统

- 生态系统服务多样性与景观多功能性——从科学理念到综合评估 吕一河,马志敏,傅伯杰,等 (1153)
- 不同端元模型下湿地植被覆盖度的提取方法——以北京市野鸭湖湿地自然保护区为例
..... 崔天翔,官兆宁,赵文吉,等 (1160)
- 基于光谱特征变量的湿地典型植物生态类型识别方法——以北京野鸭湖湿地为例
..... 林 川,官兆宁,赵文吉,等 (1172)
- 浮游植物群落对海南小水电建设的响应 林彰文,林 生,顾继光,等 (1186)
- 菹草种群内外水质日变化 王锦旗,郑有飞,王国祥 (1195)
- 南方红壤区 3 种典型森林恢复方式对植物群落多样性的影响 王 芸,欧阳志云,郑 华,等 (1204)
- 人工油松林恢复过程中土壤理化性质及有机碳含量的变化特征 胡会峰,刘国华 (1212)
- 不同区域森林火灾对生态因子的响应及其概率模型 李晓炜,赵 刚,于秀波,等 (1219)

景观、区域和全球生态

- 快速城市化地区景观生态安全时空演化过程分析——以东莞市为例 杨青生,乔纪纲,艾 彬 (1230)
- 海岸带生态系统健康评价中能质和生物多样性的差异——以江苏海岸带为例
..... 唐得昊,邹欣庆,刘兴健 (1240)
- 干湿交替频率对不同土壤 CO₂ 和 N₂O 释放的影响 欧阳扬,李叙勇 (1251)

西部地区低碳竞争力评价..... 金小琴,杜受祜 (1260)

基于 HEC-HMS 模型的八一水库流域洪水重现期研究 郑 鹏,林 韵,潘文斌,等 (1268)

基于修正的 Gash 模型模拟小兴安岭原始红松林降雨截留过程 柴汝杉,蔡体久,满秀玲,等 (1276)

长白山北坡不同林型内红松年表特征及其与气候因子的关系..... 陈 列,高露双,张 赞,等 (1285)

资源与产业生态

河西走廊绿洲灌区循环模式“农田-食用菌”生产系统氮素流动特征 李瑞琴,于安芬,赵有彪,等 (1292)

施肥对旱地花生主要土壤肥力指标及产量的影响..... 王才斌,郑亚萍,梁晓艳,等 (1300)

耕作措施对土壤水热特性和微生物生物量碳的影响..... 庞 绪,何文清,严昌荣,等 (1308)

基于改进 SPA 法的耕地占补平衡生态安全评价 施开放,刁承泰,孙秀锋,等 (1317)

学术争鸣

基于生态-产业共生关系的林业生态安全测度方法构想 张智光 (1326)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿须知 (I)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-02



封面图说: 石羊河——石羊河流域属大陆性温带干旱气候,气候特点是:日照充足、温差大、降水少、蒸发强、空气干燥。石羊河源出祁连山东段,河系以雨水补给为主,兼有冰雪融水成分。上游的祁连山区降水丰富,有雪山冰川和残留林木,是河流的水源补给地。中游流经河西走廊平地,形成武威和永昌等绿洲,下游是民勤,石羊河最后消失在腾格里沙漠中。随着石羊河流域人水矛盾的不断加剧,水资源开发利用严重过度,荒漠化日趋严重,民勤县的生态环境已经相当恶化,继续下去将有可能变成第二个“罗布泊”。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201205300790

林彰文, 林生, 顾继光, 胡超. 浮游植物群落对海南小水电建设的响应. 生态学报, 2013, 33(4): 1186-1194.

Lin Z W, Lin S, Gu J G, Hu C. Responses of phytoplankton community to the construction of small hydropower stations in Hainan Province. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(4): 1186-1194.

浮游植物群落对海南小水电建设的响应

林彰文¹, 林 生^{1,*}, 顾继光², 胡 超¹

(1. 海南省环境科学研究院, 海口 570206; 2. 暨南大学水生生物研究中心, 广州 510632)

摘要:为探讨浮游植物群落对海南省小水电建设的响应, 分别在海南省主要河流的上游支流已建小水电的蓄水水域与河道、规划(未建)小水电河段采集浮游植物样品进行比较分析。共鉴定出浮游植物种类 62 个属 178 种, 曲壳藻(*Achnanthes*)、异极藻(*Gomphonema*)、菱形藻(*Nitzschia*)、颗粒直链藻(*Melosira granulata*)、席藻(*Phormidium*)、颤藻(*Oscillatoria*)、小球藻(*Chlorella vulgaris*)、平裂藻(*Merismopedia*)、舟形藻(*Navicula*) 为主要的优势藻类, 浮游植物丰度在 $5.1\text{--}163.6\times 10^4$ 个/L 之间, 浮游植物 Shannon-Wiener 多样性指数在 2.73—4.53 之间。研究表明, 小水电建设对浮游植物的种类组成、优势种、丰度及多样性均有较大的影响。就浮游植物优势种而言, 规划小水电河道以蓝藻及部分硅藻为主要优势种, 已建小水电河道曲壳藻、异极藻、菱形藻等大型硅藻为主要优势种。在浮游植物组成及生物多样性上, 未建小水电河道浮游植物 Shannon-Wiener 多样性指数略高, 且种属分布更加均衡, 而已建设水电站均趋向某一类藻占主导优势种。就浮游植物丰度而言, 规划小水电河道浮游植物丰度均保持在 $20\text{--}30\times 10^4$ 个/L 内, 已建小水电河段浮游植物保持在 $5\text{--}160\times 10^4$ 个/L 内且浮游植物丰度差异性较规划小水电大, 小水电建设促进了浮游植物丰度的提升, 但降低了浮游植物群落结构的稳定性、均衡性。虽然存在水电站阻隔, 同一河流水系浮游植物种属来源仍可表现一定的趋同性, 梯级水电特别是相邻水电间浮游植物群落组成存在较大的相似性。

关键词:浮游植物; 群落结构; 小水电; 海南

Responses of phytoplankton community to the construction of small hydropower stations in Hainan Province

LIN Zhangwen¹, LIN Sheng^{1,*}, GU Jiguang², HU Chao¹

¹ Hainan Research Academy of Environmental Sciences, Haikou 570206, China

² Institute of the Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, China

Abstract: Small hydropower stations (SHS) not only play an important role in electricity generation and water resource regulation in mountain areas, but also at the same time, impose ecological and environmental impacts. To study the responses of phytoplankton community in rivers with construction of SHS, samples of phytoplankton from 7 rivers in Hainan Province where SHS had been or will be built were taken and analyzed. According the results, a total of 178 phytoplankton species belonging to 62 genera were identified, and the dominant species includes *Achnanthes*, *Gomphonema*, *Nitzschia*, *Melosira granulata*, *Phormidium*, *Oscillatoria*, *Chlorella vulgaris*, *Merismopedia*, and *Navicula*. Phytoplankton abundance in rivers was from 5.1×10^4 cells/L to 163.6×10^4 cells/L, the diversity index was from 2.73 to 4.53, and *Desmids* had been found in most SHS. SHS had a great influence on phytoplankton biomass, species composition and dominant species in the rivers. Comparing with the rivers with SHS, the rivers without SHS had higher Shannon-Wiener diversity index and the composition of phytoplankton species were more balanced, *Cyanobacteria* and some *Diatoms* always dominated the phytoplankton community in the rivers, such as in NDJ-JJ-9 (*Cyanophyta* 25.7%, *Chlorophyta* 36.9%, *Bacillariophyta*

基金项目: 2009 年海南省重点科技项目 (KJXM20090002)

收稿日期: 2012-05-30; 修订日期: 2013-01-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shengl01@163.com

36.1%), ZBJ-MMD-11 (*Cyanophyta* 41.8%, *Chlorophyta* 33.2%, *Bacillariophyta* 23.1%), and WLH-SX-13 (*Cyanophyta* 29.1%, *Chlorophyta* 25.2%, *Bacillariophyta* 38.8%). In the rivers with SHS, large diatom *Achnantheaceae*, *Gomphonema* and *Nitzschia* becoming predominated were common, such as in CHJ-YJ-1 (*Bacillariophyta* 91.3%), CHJ-YJ-2 (*Bacillariophyta* 65.9%), and NDJ-GL-6 (*Bacillariophyta* 56.5%). To phytoplankton abundance, most rivers without SHS were $20\text{--}30\times 10^4$ cells/L, while the rivers with SHS were widely different $5\text{--}160\times 10^4$ cells/L. The rivers with SHS had higher average abundance and abundance difference index than the ones without SHS. The construction of SHS had changed the hydrodynamic of the rivers, and the changed hydrodynamic might had played an important role in the phytoplankton community. In mountain areas of Hainan province, most rivers were Shallow with less water flow. Stable water environment was suitable for *Cyanobacterias* and some *Diatoms* in the river without any SHS. Once SHS had been built, agitation of water body increased and lager *Diatoms* such as *Achnantheaceae* *Gomphonema* and *Nitzschia* might be dominated. The construction of SHS would also promoted the biomass of the river, but weaken the stability and proportionality of phytoplankton community by increasing fluctuation and agitation. Among cascade SHS, the barrier of the stations, the phytoplankton community could still be some similar especially between adjacent SHS. The correlation coefficient of phytoplankton community between adjacent SHS were all over 0.9 with highly significant correlation ($P < 0.01$).

Key Words: phytoplankton; community; small hydropower station; Hainan Province

小水电建设在带来经济效益和社会效益的同时,也带来了生态与环境问题。由于建设的小水电对河流的阻断,干预了自然河流水流状况,水文、泥沙环境等因子,带来流域的水土流失及环境污染等问题,同时改变了河流、河口以及近海的生物地化循环,打乱了有机碳的流动,改变了营养盐的平衡,使水体溶解氧和水温发生变化^[1-4]。目前,虽然了解小水电建设对生态环境会产生影响,但对其具体影响进行评价难于开展,相关研究也较少,主要是由于小水电建设的生态环境影响包括对河流阻断、对周边植被的破坏、以及开发带来的人类干扰等相互交织,难以量化评价,而且大多数小水电建设河流地处偏远,历史数据缺乏,对其影响评价难以开展。在小水电建设生态环境影响评价研究中,浮游植物的研究是经常被忽视的一环,因为与整个流域生态系统中的珍稀动植物比较,其资源价值较低。但如果作为生态环境变化的“指示生物”,其重要性不容忽视。浮游植物对环境变化极为敏感,其群落的种类数量、优势种群、污染指示种等指标在不同水环境中变化很大^[5-6]。浮游植物是淡水生态系统中重要的初级生产者,浮游植物群落能对环境条件的变化做出复杂而快速的响应,其群落的变化可以被看成是对水质变化的一个很好的指示^[7-8]。同时,作为水域生态系统的生产者,其群落结构的变化还会引起系统中食物网结构的改变,并影响淡水生态系统的能量流动、物质循环和信息传递^[9-10]。因而浮游植物得以广泛用于湖泊、水库水环境质量评价^[11]。目前,小水电建设对浮游植物群落结构影响的研究及成果均不多。本研究尝试通过对海南省多个已建、未建小水电河段浮游植物群落分析,比较已建、未建两类小水电河段的浮游植物组成结构的普遍差异,以弥补小河流历史数据缺陷,进而探讨小水电建设对浮游植物群落结构的影响。

1 采样点设置与研究方法

1.1 采样点设置

于2008年7月8日—28日在海南省7条重点河流万泉河、南渡江、昌化江、望楼河、藤桥河、珠碧江、文澜江进行浮游植物样品采集,采样点分别设置在已建电站的蓄水水域、已建电站间河道、未建小水电河道。并在小水电分布较为集中的昌化江流域某一支流,对其依次分布的梯级水电密集采样。各采样点分布见图1,各代表点的代码见表1。

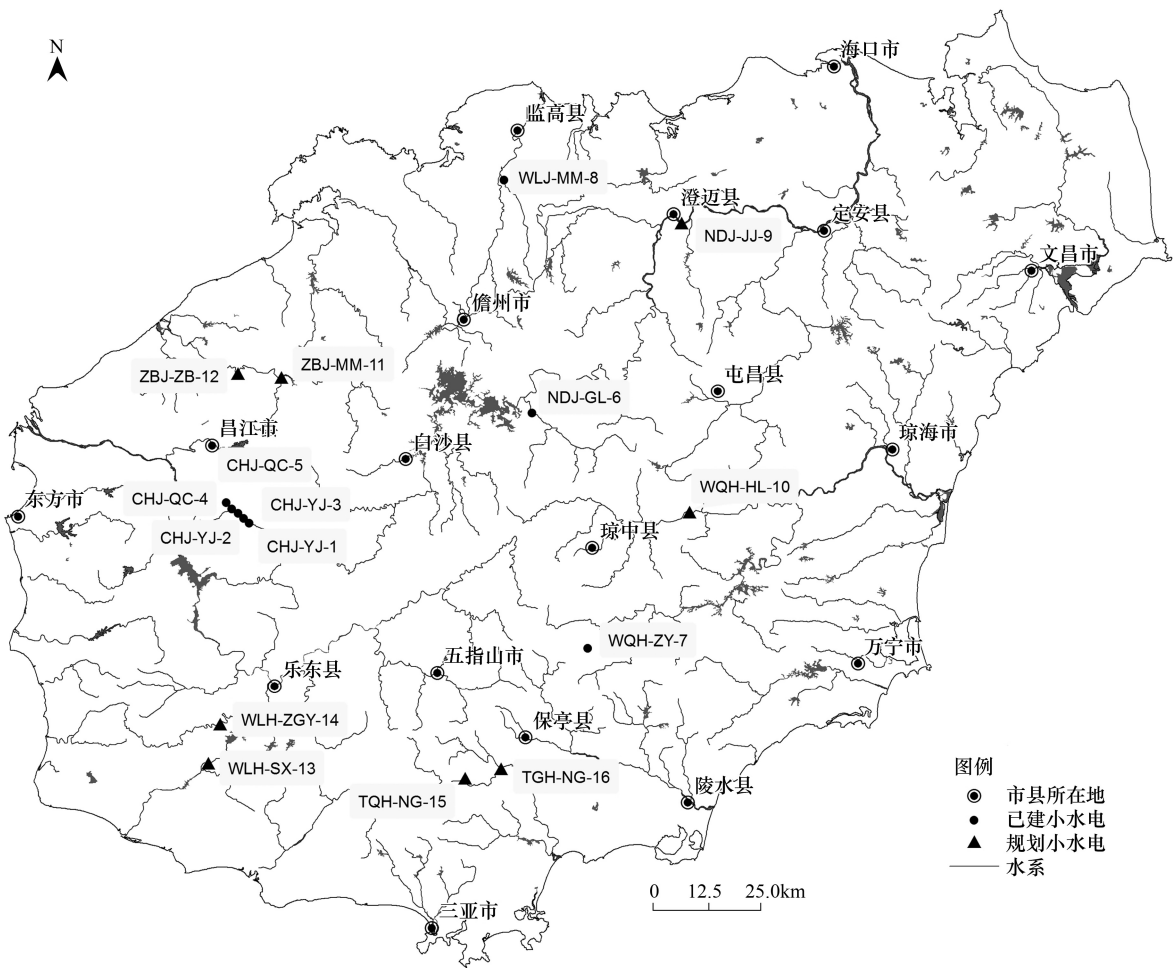


图1 小水电浮游生物调查采样点设置

Fig.1 Sampling sites of phytoplankton in small rivers where SHS had been or will be built

表1 小水电浮游生物调查采样点代码

Table 1 The code of Sampling sites of phytoplankton in small rivers					
河流 River	已建小水电名称 Name of hydropower station constructor	代码 Code	河流 River	未建小水电名称 Name of hydropower station unconstructor	代码 Code
昌化江	雅加一级站坝前	CHJ-YJ-1	南渡江	金江水电站规划河段	NDJ-JJ-9
	雅加二级站坝前	CHJ-YJ-2	万泉河	红岭水电站规划河段	WQH-HL-10
	雅加三级站坝前	CHJ-YJ-3	珠江	木棉渡槽水电站规划河段	ZBJ-MMD-11
	七差与雅加三级站之间河段	CHJ-QC-4	珠江	珠江三级水电站规划河段	ZBJ-ZB-12
	七差水电站坝前	CHJ-QC-5	昌化江	望楼河三星水电站规划河段	WLH-SX-13
南渡江	光岭水电站	NDJ-GL-6		望楼河只改园水电站规划河段	WLH-ZGY-14
万泉河	朝阳水电站	WQH-ZY-7	藤桥河	南改五级水电站规划河段	TQH-NG-15
文澜江	美梅水电站坝前	WLJ-MM-8		南改七级水电站规划河段	TQH-NG-16

1.2 浮游植物的采集、保存与鉴定

定性样品采用孔径为 64 μm 的浮游植物网在采点位附近不同方向进行拖网,取过滤浓缩的样本,用浓度为 5% 的福尔马林固定;浮游植物定量计数样品则用 5 L 采水器取水面以下 0.5—1.5 m 水样 20 L 混合,取其中 1 L 用 15 mL 鲁哥氏液固定,样品带回实验室后,经静置沉淀 24 h 后浓缩。处理后的样品均在 Olympus BX41 生物显微镜 100 及 400 倍下进行浮游植物种类鉴定和计数,浮游植物种类鉴定主要依据胡鸿钧、韩茂森

等相关著作^[12-13],计数采用 0.1 mL 计数框。根据取样体积、浓缩倍数、显微计数结果等分别计算采样点各类型浮游植物绝对丰度及相对丰度。进而以 Shannon-Wiener 指数对各采样点生物多样性进行评价。Shannon-Wiener 指数 H' 计算公式如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^s (ni/N) \log_2(ni/N)$$

式中, s 为种数; ni 为 i 种的个体数; N 为总个体数。

2 结果与分析

2.1 浮游植物种类

本次调查鉴定出的浮游植物种类 178 种,隶属于 7 门 62 属,其中绿藻门最多,达到 96 种,硅藻 47 种次之,其次为蓝藻 21 种,其它各门藻类的种类数则较少,裸藻 7 种,甲藻 3 种,隐藻及金藻各 2 种。绿藻中绿球藻目(*Chlorococcales*)的种类数最多,多达 74 种,占绿藻种类数的 77%,其中以栅藻属(*Scenedesmus*)、盘星藻属(*Pediastrum*)、十字藻属(*Crucigenia*)及四角藻属(*Tetraedron*)的种类最多,也是部分河流的优势种。硅藻中羽纹纲藻类的种类及数量占据了较大比例,其中以管壳缝目的菱形藻(*Nitzschia*)、单壳缝目的异极藻(*Gomphonema*)、双壳缝目的舟形藻(*Navicula*)的种类最多。

在本次调查中,较多的已建及规划的水电均鉴定到鼓藻(*Desmids*),其中雅加二级水电站、七差与雅加三级站之间河段、七差水电站、朝阳水电站、红岭水电站、三星水电站均发现多种鼓藻,其种类有六角角星鼓藻(*Staurostrum sexangulare*)、具齿角星鼓藻(*Staurostrum indentatum* W. et G S)、圆丝鼓藻(*Hyalotheca* sp.)、近缘角星鼓藻(*Staurostrum connatum*)、项圈鼓藻(*Cosmarium moniliforme*)等近 10 种。鼓藻类是绿藻门、双星藻纲中的一大类群,主要生活在清洁的水体中,对水体的 pH 值、电导和营养条件变化敏感,是水环境的重要指示植物^[14]。鼓藻在本次调查的大部分河道中出现,一定程度上反映了调查区域水体水质总体良好。

浮游植物种类数结果表明(图 2),南渡江光岭和望楼河三星采样点的浮游植物种数最多,分别为 70 种和 72 种;昌化江七差和万泉河红岭浮游植物种类数最低,分别为 28 种和 23 种。为比较已建及规划小水电浮游植物种数分布特点,分别计算规划及已建小水电各采样点中浮游植物种数的平均数及标准差。已建小水电类型浮游植物平均种类数为 41 种,其标准差为 13.95,规划小水电类型浮游植物平均种类数为 40 种,其标准差为 15.60。可见,规划及已建小水电河道分布的浮游植物种类数差别不大,但已建小水电类型不同样点间浮游植物种类数的差异性较规划小水电类型小。

2.2 浮游植物各采样点优势种

从表 2 可以看出,曲壳藻(*Achnantheaceae*)、异极藻(*Gomphonema*)、菱形藻(*Nitzschia*)、颗粒直链藻(*Melosira granulata*)、席藻(*Phormidium*)、颤藻(*Oscillatoria*)、小球藻(*Chlorella vulgaris*)、平裂藻(*Merismopedia*)、舟形藻(*Navicula*)为主要的优势藻类,单突盘星藻(*Pediastrum simplex* var. *clathratum*)、泽丝藻(*Limnithrix* sp.)、华美双菱藻(*Surirella robusta* var. *splendida*)、脆杆藻(*Fragilaria* sp.)、色球藻、粘球藻(*Gloeocapsa* sp.)、假鱼腥藻(*Pseudanabaena* sp.)、蓝纤维藻(*Dactylococcopsis acicularis*)等为次优势藻。优势种的空间分布差异较大,其中 10 个采样点的浮游植物主要优势种属于硅藻门,占总采样点的 62.5%,5 个采样点主要优势种属于蓝藻门,占 31.3%,绿藻为主要优势种

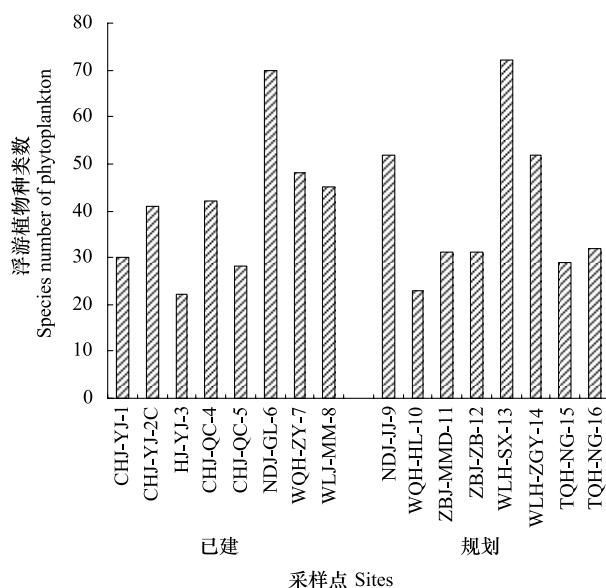


图 2 各采样点浮游植物种数

Fig. 2 Species number of phytoplankton at all sites

的采样点有 1 个。

表 2 各采样点浮游植物优势种
Table 2 Dominant species of phytoplankton at all sites

采样点 Sites	优势种 Dominant species			
	1	2	3	4
CHJ-YJ-1	异极藻 <i>Gomphonema</i> sp. (29.85%)	曲壳藻 <i>Achnantheaceae</i> sp. (27.72%)	菱形藻 <i>Nitzschia</i> sp. (14.93%)	舟形藻 <i>Navicula</i> sp. (9.60%)
CHJ-YJ-2	曲壳藻 <i>Achnantheaceae</i> sp. (20.47%)	菱形藻 <i>Nitzschia</i> sp. (13.41%)	小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (12.00%)	假鱼腥藻 <i>Pseudanabaena</i> sp. (11.29%)
CHJ-YJ-3	曲壳藻 <i>Achnantheaceae</i> sp. (31.05%)	异极藻 <i>Gomphonema</i> sp. (13.07%)	泽丝藻 <i>Limnithrix</i> sp. (11.44%)	假鱼腥藻 <i>Pseudanabaena</i> sp. (6.54%)
CHJ-QC-4	菱形藻 <i>Nitzschia</i> sp. (+++)	叶状微星鼓藻 <i>Microsterias foliacea</i> (+++)	六角角星鼓藻 <i>Staurastrum sexangulare</i> (++)	桥弯藻 <i>Cymbella laevis</i> (++)
CHJ-QC-5	菱形藻 <i>Nitzschia</i> sp. (33.35%)	曲壳藻 <i>Achnantheaceae</i> sp. (18.94%)	异极藻 <i>Gomphonema</i> sp. (8.23%)	舟形藻 <i>Navicula</i> sp. (7.82%)
NDJ-GL-6	小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (18.67%)	粘球藻 <i>Gloeocapsa</i> sp. (14.69%)	假鱼腥藻 <i>Pseudanabaena</i> sp. (11.94%)	绿球藻 <i>Cladophora aegagrophila</i> (9.18%)
WQH-ZY-7	舟形藻 <i>Navicula</i> sp. (12.71%)	假鱼腥藻 <i>Pseudanabaena</i> sp. (7.87%)	小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (7.26%)	蓝纤维藻 <i>Dactylococcopsis acicularis</i> (6.66%)
WLJ-MM-8	平裂藻 <i>Merismopedia</i> sp. (29.34%)	色球藻 <i>Chroococcus</i> (10.02%)	铜绿微囊藻 <i>Microcysis aeruginosa</i> (9.78%)	小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (7.33%)
NDJ-JJ-9	菱形藻 <i>Nitzschia</i> sp. (9.34%)	粘球藻 <i>Gloeocapsa</i> sp. (8.30%)	色球藻 <i>Chroococcus</i> / 泽丝藻 <i>Limnithrix</i> sp. / 舟形藻 <i>Navicula</i> sp. / 曲壳藻 <i>Achnantheaceae</i> sp. (7.27%)	
WQH-HL-10	颤藻 <i>Oscillatoria</i> sp. (+++)	脆杆藻 <i>Fragilaria</i> sp. (++)	鞘丝藻 <i>Lyngbya</i> sp. (++)	华美双菱藻 <i>Surirella robusta</i> var. <i>splendida</i> (++)
ZBJ-MM-11	颤藻 <i>Oscillatoria</i> sp. (38.57%)	小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (12.24%)	菱形藻 <i>Nitzschia</i> sp. (7.11%)	异极藻 <i>Gomphonema</i> sp. (4.34%)
ZBJ-ZB-12	颗粒直链藻 <i>Melosira granulata</i> (+++)	泽丝藻 <i>Limnithrix</i> sp. (+++)	单突盘星藻 <i>Pediastrum simplex</i> var. <i>clathratum</i> (+++)	颗粒直窄变 <i>Melosira granulata</i> <i>Ralfs</i> var. <i>angustissima</i> Mull (+++)
WLH-SX-13	席藻 <i>Phormidium</i> sp. (18.90%)	颗粒直链藻最窄变种 <i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (16.54%)	颗粒直链藻 <i>Melosira granulata</i> (8.56%)	蓝纤维藻 <i>Dactylococcopsis acicularis</i> (7.97%)
WLH-ZGY-14	异极藻 <i>Gomphonema</i> sp. (+++)	毛枝藻 <i>Stigeoclonium</i> sp. (+++)	颤藻 <i>Oscillatoria</i> sp. (+++)	颗粒直窄变 <i>Melosira granulata</i> <i>Ralfs</i> var. <i>angustissima</i> Mull (++)
TQH-NG-15	菱形藻 <i>Nitzschia</i> sp. (20.37%)	假鱼腥藻 <i>Pseudanabaena</i> sp. (12.11%)	舟形藻 <i>Navicula</i> sp. (12.11%)	异极藻 <i>Gomphonema</i> sp. (9.91%)
TGH-NG-16	颤藻 <i>Oscillatoria</i> sp. (++)	小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> (++)	泽丝藻 <i>Limnithrix</i> sp. (++)	菱形藻 <i>Nitzschia</i> sp. (++)

已建及规划的小水电类型间浮游植物优势种也存在明显差异。已建小水电水样中,有 6 个点位的浮游植物优势种为硅藻门的菱形藻、曲壳藻,其余 2 个点位优势种分别为蓝藻门的平裂藻、绿藻门的小球藻。规划小水电水样中,5 个点位的浮游植物优势种为蓝藻门的颤藻,其余点位优势种既包含硅藻门的颗粒直链藻、菱形藻,还包括部分蓝藻类型如小球藻等类型。

雅加一级站、雅加二级站、雅加三级站、七差电站为依次分布于昌化江支流上的梯级电站,这 4 座已建小

水电河道中浮游植物优势种存在明显的相似性,曲壳藻、异极藻、菱形藻均为四座电站蓄水库内的优势藻属。

2.3 浮游植物丰度及组成

调查站位中,浮游植物丰度最高为美梅水电站 163.6×10^4 个/L,最低为雅加一级水电站 5.1×10^4 个/L (图 3)。已建及规划的小水电类型间浮游植物丰度存在明显差异。已建小水电水样中,浮游植物丰度分布范围 $5.1\text{—}163.6 \times 10^4$ 个/L,平均丰度为 55.5×10^4 个/L,其标准差为 49.5。规划小水电水样中,浮游植物丰度分布范围 $15.6\text{—}27.9 \times 10^4$ 个/L,平均丰度为 23.4×10^4 个/L,其标准差为 4.6。可见,已建小水电河道浮游植物丰度总体高于规划小水电,且其各样点间丰度分布差异度明显大于规划类型。

从浮游植物组成来看(图 4),各样点均主要由硅藻、绿藻和蓝藻组成,但已建及规划的小水电类型间浮游植物组成特征存在明显差异。与已建小水电比较,规划小水电河道种属多样性分布更加均衡,如金江(蓝藻 25.7%,绿藻 36.9%,硅藻 36.1%)、木棉渡槽(蓝藻 41.8%,绿藻 33.2%,硅藻 23.1%)、三星(蓝藻 29.1%,绿藻 25.2%,硅藻 38.8%)等河段中主要藻类硅藻、绿藻、蓝藻组成都相对均衡,而已建设水电站雅加一级站、雅加二级站、雅加三级站、七差电站等均以一种藻如硅藻(少数为绿藻)占优势,如雅加一级硅藻丰度 91.3%,雅加二级硅藻丰度 65.9%,光岭水电站绿藻丰度 56.5%。

同一河流不同梯级水电站,其浮游植物丰度虽差异较大,但浮游植物组成结构相似性较高。如梯级电站雅加一级站、雅加二级站、雅加三级站、七差电站,其浮游植物组成均为硅藻、绿藻、蓝藻,对此梯级水电浮游植物组成进行相关性分析,其小水电间浮游植物组成相关系数均超 0.9,且均呈极显著相关($P < 0.01$),可见本次调查的梯级水库浮游植物组成相似度较高(表 3,图 4)。

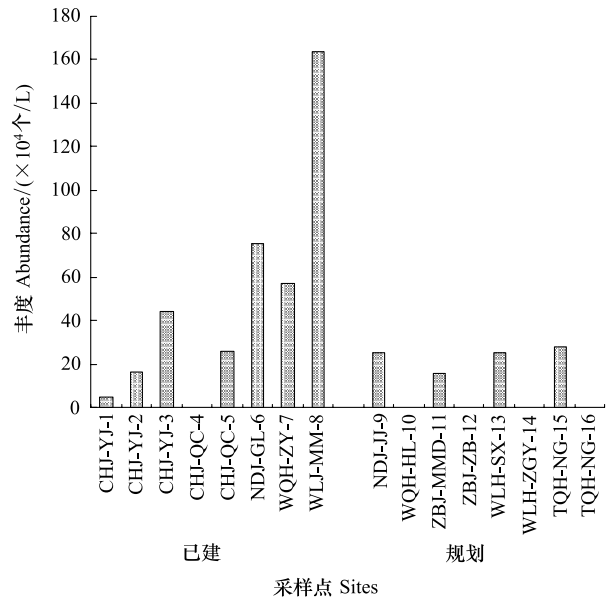


图 3 各采样点浮游植物丰度

Fig. 3 Abundance of phytoplankton at all sites

表 3 梯级水电间浮游植物群落结构相关性

Table 3 Correlation of phytoplankton composition among cascade SHS

		CHJ-YJ-1	CHJ-YJ-2	CHJ-YJ-3	CHJ-QC-5
CHJ-YJ-1	相关系数 Correlation	1			
	显著性 Sig.				
CHJ-YJ-2	相关系数 Correlation	0.958	1		
	显著性 Sig.	0.001			
CHJ-YJ-3	相关系数 Correlation	0.946	0.994	1	
	显著性 Sig.	0.001	0.000		
CHJ-QC-5	相关系数 Correlation	0.987	0.968	0.943	1
	显著性 Sig.	0.000	0.000	0.001	

2.4 浮游植物多样性

根据浮游植物多样性指数(图 5),本次各采样点浮游植物 Shannon-Wiener 多样性指数分布于在 2.73—4.53,Shannon-Wiener 多样性指数均较高。一般来说,在利用多样性指数评价水体营养状态时,浮游植物的 H' 值越高,其群落结构越复杂,稳定性越大,水质越好。当水体受到干扰时,敏感性种类消失, H' 值减小,群落结构趋于简单,稳定性变差,水质下降。 H' 值在 0—1 之间表示重度污染; H' 在 1—3 表示中度污染,其中在 1—2 为 α 中污染,在 2—3 为 β 中污染; H' 值在大于 3 为轻度污染或无污染^[15]。各采样点中少数采样点为 β 中污

染,其他均为未污染或轻度污染。结果表明调查区域水体水质总体良好。

比较已建及规划小水电样品浮游植物多样性,已建小水电浮游植物多样性指数的均值为 3.67,规划小水电浮游植物多样性指数的均值为 3.98,规划小水电浮游植物多样性略高于已建小水电。

3 讨论

3.1 小水电建设对浮游植物种类组成的影响

根据本次调查,已建及规划的小水电类型间浮游植物优势种及组成均存在明显差异。在优势种上,已建小水电水样中,有 6 个点位的浮游植物优势种为硅藻门的菱形藻、曲壳藻,其余 2 个点位优势种分别为蓝藻门的平裂藻、绿藻门的小球藻。规划小水电中,5 个样点中浮游植物优势种为蓝藻门的颤藻,其余点位优势种既包含硅藻门的颗粒直链藻、菱形藻,还包括部分蓝藻类型如小球藻等类型。在浮游植物组成上,规划小水电河道种属类别分布更加均衡,如金江、木棉渡槽、三星河段中主要藻类硅藻、绿藻、蓝藻所占比例相对均衡,而已建设水电站雅加一级站、雅加二级站、雅加三级站、七差电站等均以某一类藻占主导优势种。

浮游植物对环境变化十分敏感,影响的因素较多,包括温度、营养盐、pH 值、微量元素、上游藻类种属来源、水动力学等众多因素^[16-19]。处于已建、未建小水电两种不同河段的水域中,水动力学对水生生物类型影响较大^[20-21],浮游植物最重要的特点是在水中保持悬浮状态,具有多种多样适应浮游生活的结构和能力,当流速改变后(既包括流速大小也包括流速变化频率),直接影响浮游植物群落结构及优势种类型^[22-23]。本次调查规划小水电的优势种颤藻是常见的蓝藻,主要存在于湿地或浅水中,在夏季稳态的环境条件下容易成为优势种^[24];而已建小水电优势种曲壳藻、异极藻、菱形藻均属硅藻门,形体较大、具有与运动功能相关的壳缝^[25-26],适于动态水体,在稳定水体难以成为优势种。本次调查中已建及规划的小水电类型浮游植物优势种及组成的差异可能与小水电建设后水动力学特征的改变有关,海南的小河流大多水流量较小,深度较浅,小水电未建前,河流水动力学相对稳定,适于稳定水体的蓝藻及部分硅藻成为优势种,建库蓄水后,由于水库调水,水体波动较大,适于动态水体的曲壳藻、异极藻、菱形藻等大型硅藻成为优势种。小水电的建设改变了河道水生生物多样性分布特征。

3.2 小水电建设对浮游植物丰度、生物多样性的影响

根据本次调查结果,已建小水电河段与规划小水电河道浮游植物丰度存在明显区别,规划小水电河道浮游植物丰度均保持在 $15.6\text{--}27.9\times 10^4$ 个/L 内,已建小水电河段浮游植物丰度间差异较大,在 $5.1\text{--}163.6\times$

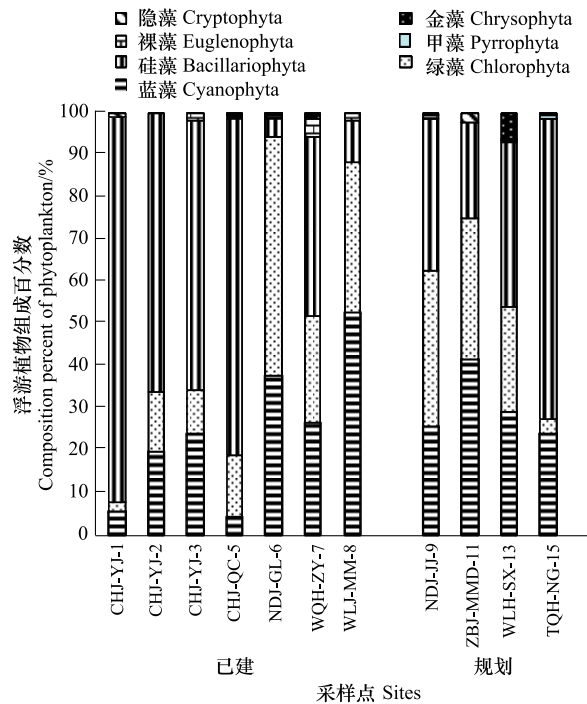


图 4 浮游植物组成百分数

Fig. 4 Composition percent of phytoplankton at all sites

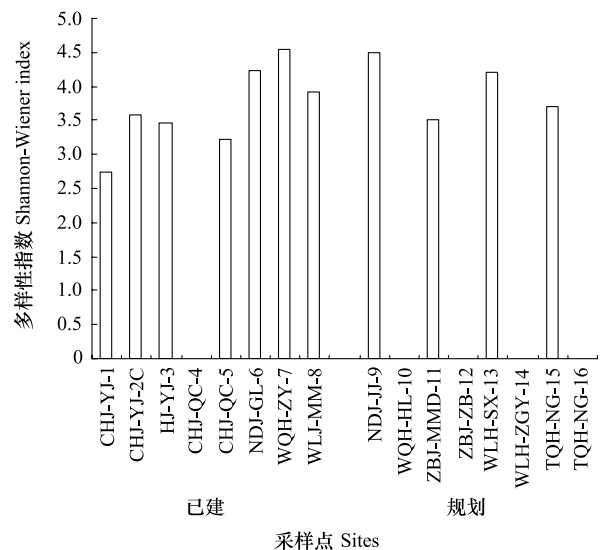


图 5 浮游植物 Shannon-Wiener 多样性指数

Fig. 5 Shannon-Wiener Index of phytoplankton

10^4 个/L 大区间分布。已建小水电浮游植物平均 55.5×10^4 个/L 丰度总体高于规划小水电 23.4×10^4 个/L, 其各样点间丰度分布差异度也明显大于规划类型。目前的相关研究, 如李芳对西藏尼洋河建库前后浮游植物丰度及组成对比研究^[27]、韩耀全等对广西岩滩水电站建设前后浮游植物丰度及组成对比研究^[28]等均发现建库后库区内浮游植物的种类和数量都明显增加, 群落结构将趋于复杂稳定, 如岩滩水电站蓄水 5a 和 11a 后, 单位体积浮游植物种个数分别是蓄水前的 3.9 倍和 2.5 倍, 这与本研究结果一致。

虽然小水电的建设提升了河道浮游植物的丰度, 但生物多样性并未增加。相反, 根据本次 Shannon-Wiener 多样性指数比较, 已建小水电浮游植物多样性反而略低于未建小水电。结合已建及规划两种类型内各样品浮游植物丰度的标准差比较, 已建小水电类型不同样点间浮游植物丰度标准差明显大于规划小水电类型, 说明小水电建设削弱了浮游植物群落的稳定性、均衡性, 这种差异可能直接来源于水电修筑导致的水流速度变化及生态搅动增多。

3.3 梯级水电建设对浮游植物群落的响应

雅加一级站、雅加二级站、雅加三级站、七差电站为依次分布于昌化江某一支流上的梯级电站, 依次在各电站的蓄水库及电站间中央河段采集的浮游植物样品鉴定结果表明, 虽然各梯级小电站浮游植物丰度存在一定差别, 但优势种均为曲壳藻、异级藻、菱形藻, 且浮游植物组成百分数较为相似。浮游植物的生长、繁殖、休眠都在水体中, 考虑到同一河流水系连续性, 虽然存在水电站阻隔, 同一河流水系水生生物种属来源仍可表现一定的趋同性。

申恒伦等^[29]在对三峡水库香溪河流域梯级水库浮游植物群落结构特征研究中同样发现, 相邻的古洞口一级及古洞口二级水库的浮游植物组成相似度较高, 古洞口二级水库又与其下的香溪河库湾有多种相同的优势种。可见, 梯级水电特别是相邻水库间浮游植物群落组成存在较大的相似性。

4 结论

根据本研究, 小水电建设对河流中浮游植物群落结构及数量有较大影响。小水电未建前, 河流水动力学相对稳定, 适于稳定水体的蓝藻及部分硅藻为主要优势种, 建库蓄水后, 水体波动较大, 适于动态水体的曲壳藻、异极藻、菱形藻等大型硅藻成为优势种。在浮游植物组成及生物多样性上, 未建小水电河道浮游植物 Shannon-Wiener 多样性指数略高, 且种属分布更加均衡, 而已建设水电站均趋向某一类藻占主导优势种。就浮游植物丰度而言, 小水电建设促进了河道中浮游植物丰度的提升, 但浮游植物多样性并未增加。结合已建及规划两种类型内各样品浮游植物丰度的标准差比较, 已建小水电类型不同样点间浮游植物丰度差异性较规划小水电类型大, 说明小水电建设削弱了浮游植物群落的稳定性、均衡性, 这种差异可能直接来源于水电修筑导致的水流速度变化及生态搅动增多。虽然存在水电站阻隔, 同一河流水系浮游植物种属来源仍可表现一定的趋同性, 梯级水电特别是相邻水库间浮游植物群落组成相似性明显。

References:

- [1] Liu J H. Ecological and environment issues in small hydropower development and measures. *China Water Resources*, 2007, (12): 23-25.
- [2] Zhou X Y. Effect of Hydraulic and Hydro-power projects on the diversity of hydrobios and protective measures. *China Rural Water and Hydropower*, 2009, (11): 144-146.
- [3] Lancelot C, Staneva J, Van Eeckhout D, Beckers J M, Stanev E. Modelling the Danube-influenced North-western continental shelf of the Black Sea. II: Ecosystem response to changes in nutrient delivery by the Danube River after its damming in 1972. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, 54(3): 473-499.
- [4] Brismar A. Attention to impact pathways in EISs of large dam projects. *Environmental Impact Assessment Review*, 2004, 24(1): 59-87.
- [5] Padisák J, Crossetti L O, Naselli-Flores L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia*, 2009, 621(1): 1-19.
- [6] Horn H. The relative importance of climate and nutrients in controlling phytoplankton growth in Saidenbach Reservoir. *Hydrobiologia*, 2003, 504(1/3): 159-166.
- [7] Sidk M J, Nabi M R U, Hoque M A. Distribution of phytoplankton community in relation to environmental parameters in cage culture area of Sepanggar Bay, Sabah, Malaysia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2008, 80(2): 251-260.
- [8] Sabater S, Artigas J, Durán C, Pardos M, Romanfa A M, Tornés E, Yllas I. Longitudinal development of chlorophyll and phytoplankton

- assemblages in a regulated large river (the Ebro River). *Science of the Total Environment*, 2008, 404(1): 196-206.
- [9] Li D H, Li G B, Wang G H, Chen K, Chen W X, Liu Y D. Effect of water bloom-forming cyanobacterial bio-substances on the growth of submerged macrophyte *Ceratophyllum demersum* L. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, 31(5): 689-692.
- [10] Zhang T, Song L R. Allelopathic effect between *Microcystis aeruginosa* and three filamentous cyanobacteria. *Journal of Lake Sciences*, 2006, 18(2): 150-156.
- [11] Cabecinha E, Cortes R, Cabral J A, Ferreirac T, Lourenço M, Pardal M Â. Multi-scale approach using phytoplankton as a first step towards the definition of the ecological status of reservoirs. *Ecological Indicators*, 2009, 9(2): 240-255.
- [12] Hu H J, Wei Y X. *The Freshwater Algae of China-Systematics, Taxonomy and Ecology*. Beijing: Science Press, 2006: 1-915.
- [13] Han M S, Shu Y F. *Atlas of freshwater water biota in China*. Beijing: China Ocean Press, 1995: 2-134.
- [14] Tian W W. Preliminary Study on Swamp of Desmids in Great Xing'an Mountains [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2010: 1-117.
- [15] Zhang J P, Huang X P, Jiang Z J, Huang D J, Huang L M. Assessment of the Pearl River Estuary pollution by water comprehensive pollution index and biodiversity index. *Journal of Tropical Oceanography*, 2010, 29(1): 69-76.
- [16] Soballe D M, Kimmel B L. A large-scale comparison of factors influencing phytoplankton abundance in rivers, lakes, and impoundments. *Ecology*, 1987, 68(6): 1943-1954.
- [17] Koch R W, Guelida D L, Bukaveckas P A. Phytoplankton growth in the Ohio, Cumberland and Tennessee Rivers, USA: inter-site differences in light and nutrient limitation. *Aquatic Ecology*, 2004, 38(1): 17-26.
- [18] Li Q H, Han B P. Structure and dynamics of phytoplankton community based CCA analysis in a pumped storage reservoir. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2355-2364.
- [19] Li Q H, Han B P. Dynamics and structure of phytoplankton community in spring in a southern subtropical pumped-water reservoir. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2007, 15(4): 294-300.
- [20] Schemel L E, Sommer T R, Müller-Solger A B, Harrell W C. Hydrologic variability, water chemistry, and phytoplankton biomass in a large floodplain of the Sacramento River, CA, U. S. A. *Hydrobiologia*, 2004, 513(1/3): 129-139.
- [21] Gomes L C, Miranda L E. Hydrologic and climatic regimes limit phytoplankton biomass in reservoirs of the Upper Paraná River Basin, Brazil. *Hydrobiologia*, 2001, 457(1/3): 205-214.
- [22] Arfi R. The effects of climate and hydrology on the trophic status of Sélingué Reservoir, Mali, West Africa. *Lake and Reservoirs: Research and Management*, 2003, 8(3/4): 247-257.
- [23] Suikkanen S, Laamanen M, Huttunen M. Long-term changes in summer phytoplankton communities of the open northern Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2006, 71(3/4): 580-592.
- [24] Nixdorf B, Mischke U, Rucker J. Phytoplankton assemblages and steady state in deep and shallow eutrophic lakes: an approach to differentiate the habitat properties of Oscillatoriales. *Hydrobiologia*, 2003, 502(1/3): 111-121.
- [25] Edgar L A, Pickett-Heaps J D. Ultrastructural localization of polysaccharides in the motile diatom *Navicula cuspidata*. *Protoplasma*, 1982, 113(1): 10-22.
- [26] Paterson D M. Short-term changes in the erodibility of intertidal cohesive sediments related to the migratory behavior of epipelagic diatoms. *Limnology and Oceanography*, 1989, 34(1): 223-234.
- [27] Li Fang. Research on the Aquatic Organisms and Advance Estimate of Effects of Hydropower Engineering in Niyang River Basin, Tibet [D]. Xi'an: Northwest University, 2009.
- [28] Han Y Q, Yang Q, Zhou J, He A Y. Influence of Yantan hydroelectric power station construction on water hydrobios and countermeasures. *Water Resources Protection*, 2011, 27(2): 9-12.
- [29] Shen H L, Cai Q H, Shao M L, Xu Y Y. Community structure characteristics of phytoplankton along a cascade of reservoirs in Xiangxi River Basin, Three Gorges Reservoir. *Journal of Lake Sciences*, 2012, 24(2): 197-205.

参考文献:

- [1] 刘京和. 小水电的生态与环境问题及对策. *中国水利*, 2007, (12): 23-25.
- [2] 周小愿. 水利水电工程对水生生物多样性的影响与保护措施. *中国农村水利水电*, 2009, (11): 144-146.
- [9] 李敦海, 李根宝, 王高鸿, 陈坤, 陈武雄, 刘永定. 水华蓝藻生物质对沉水植物五刺金鱼藻生长的影响. *水生生物学报*, 2007, 31(5): 689-692.
- [10] 张婷, 宋立荣. 铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 与三种丝状蓝藻间的相互作用. *湖泊科学*, 2006, 18(2): 150-156.
- [12] 胡鸿钧, 魏印心. *中国淡水藻类——系统、分类及生态*. 北京: 科学出版社, 2006: 1-915.
- [13] 韩茂森, 束蕴芳. *中国淡水生物图谱*. 北京: 海洋出版社, 1995: 2-134.
- [14] 田雯文. 大兴安岭沼泽鼓藻类的初步研究 [D]. 上海: 上海师范大学, 2010: 1-117.
- [15] 张景平, 黄小平, 江志坚, 黄道建, 黄良民. 珠江口海域污染的水质综合污染指数和生物多样性指数评价. *热带海洋学报*, 2010, 29(1): 69-76.
- [18] 李秋华, 韩博平. 基于 CCA 的典型调水水库浮游植物群落动态特征分析. *生态学报*, 2007, 27(6): 2355-2364.
- [19] 李秋华, 韩博平. 南亚热带调水水库春季浮游植物群落的结构与动态. *热带亚热带植物学报*, 2007, 15(4): 294-300.
- [27] 李芳. 西藏尼洋河流域水生生物研究及水电工程对其影响的预测评价 [D]. 西安: 西北大学, 2009: 60-65.
- [28] 韩耀全, 杨琼, 周解, 何安允. 岩滩水电站建设对水生生物的影响. *水资源保护*, 2011, 27(2): 9-12.
- [29] 申恒伦, 蔡庆华, 邵美玲, 徐耀阳. 三峡水库香溪河流域梯级水库浮游植物群落结构特征. *湖泊科学*, 2012, 24(2): 197-205.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 4 February, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Concepts, processes and quantification methods of the forest water conservation at the multiple scales WANG Xiaoxue, SHEN Huitao, LI Xuyong, et al (1019)
- Advances in the study of stable isotope composition of leaf water in plants LUO Lun, YU Wusheng, WAN Shimin, et al (1031)
- Eco-environmental effects of urban landscape pattern changes: progresses, problems, and perspectives CHEN Liding, SUN Ranhao, LIU Hailian (1042)
- An overview of advances in distributional pattern of urban biodiversity MAO Qizheng, MA Keming, WU Jianguo, et al (1051)
- Ecological compensation boosted ecological protection and human well-being improvement LI Huimei, ZHANG Anlu (1065)

Autecology & Fundamentals

- Effects of indigenous AM fungi and neighboring plants on the growth and phosphorus nutrition of *Leymus chinensis* LEI Yao, HAO Zhipeng, CHEN Baodong (1071)
- Influences of AM fungi on plant growth and water-stable soil aggregates under drought stresses YE Jiashu, LI Tao, HU Yajun, et al (1080)
- The effect of transgenic cucumber with double strands RNA of *mapk* on diversity of rhizosphere bacteria CHEN Guohua, MI Baobin, LI Ying, et al (1091)
- The ambient ozone pollution and foliar injury of the sensitive woody plants in Beijing exurban region WAN Wuxing, XIA Yajun, ZHANG Hongxing, et al (1098)
- Diversity and plant growth-promoting potential of culturable endophytic bacteria isolated from the leaves of *Atractylodes lancea* ZHOU Jiayu, JIA Yong, WANG Hongwei, et al (1106)
- Effects of the low temperature treatment on egg maturation and its numerical dynamics in the parasitoid *Pteromalus puparum* (Hymenoptera: Pteromalidae) XIA Shiyang, MENG Ling, LI Baoping (1118)
- Circadian rhythm of calling behavior and sexual pheromone production and release of the female *Zeuzera leuconotum* Butler (Lepidoptera: Cossidae) LIU Jinlong, JING Xiaoyuan, YANG Meihong, et al (1126)
- Influence of fluoride on activity of carboxylesterase and esterase in hemolymph of *Bombyx mori* MI Zhi, RUAN Chenglong, LI Jiaorong, et al (1134)
- Effects of water temperature on the embryonic development, survival and development period of larvae of ridgetail white prawn (*Exopalaemon carinicauda*) reared in the laboratory LIANG Junping, LI Jian, LI Jitao, et al (1142)

Population, Community and Ecosystem

- Diversity of ecosystem services and landscape multi-functionality: from scientific concepts to integrative assessment LÜ Yihe, MA Zhimin, FU Bojie, et al (1153)
- Research on estimating wetland vegetation abundance based on spectral mixture analysis with different endmember model: a case study in Wild Duck Lake wetland, Beijing CUI Tianxiang, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1160)
- Identifying typical plant ecological types based on spectral characteristic variables: a case study in Wild Duck Lake wetland, Beijing LIN Chuan, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1172)
- Responses of phytoplankton community to the construction of small hydropower stations in Hainan Province LIN Zhangwen, LIN Sheng, GU Jiguang, et al (1186)
- Diurnal variation of water quality around *Potamogeton crispus* population WANG Jinqi, ZHENG Youfei, WANG Guoxiang (1195)
- Effects of three forest restoration approaches on plant diversity in red soil region, southern China WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1204)
- Dynamics of soil physical-chemical properties and organic carbon content along a restoration chronosequence in *Pinus tabulaeformis* plantations HU Huifeng, LIU Guohua (1212)
- Probability models of forest fire risk based on ecology factors in different vegetation regions over China LI Xiaowei, ZHAO Gang, YU Xiubo, et al (1219)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Landscape ecological security dynamics in a fast growing urban district: the case of Dongguan City YANG Qingsheng, QIAO Jigang, AI Bin (1230)
- The difference between exergy and biodiversity in ecosystem health assessment: a case study of Jiangsu coastal zone TANG Dehao, ZOU Xinqing, LIU Xingjian (1240)
- Impacts of drying-wetting cycles on CO₂ and N₂O emissions from soils in different ecosystems OUYANG Yang, LI Xuyong (1251)
- Evaluation of low-carbon competitiveness in Western China JIN Xiaoqin, DU Shouhu (1260)
- Flood return period analysis of the Bayi Reservoir Watershed based on HEC-HMS Model ZHENG Peng, LIN Yun, PAN Wenbin, et al (1268)
- Simulation of rainfall interception process of primary korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains by using the modified Gash model CHAI Rushan, CAI Tiju, MAN Xiuling, et al (1276)
- Characteristics of tree-ring chronology of *Pinus koraiensis* and its relationship with climate factors on the northern slope of Changbai Mountain CHEN Lie, GAO Lushuang, ZHANG Yun, et al (1285)

Resource and Industrial Ecology

- Nitrogen flows in "crop -edible mushroom" production systems in Hexi Corridor Oasis Irrigation Area LI Ruiqin, YU Anfen, ZHAO Youbiao, et al (1292)
- Effects of fertilization on soil fertility indices and yield of dry-land peanut WANG Caibin, ZHENG Yaping, LIANG Xiaoyan, et al (1300)
- Effect of tillage and residue management on dynamic of soil microbial biomass carbon PANG Xu, HE Wenqing, YAN Changrong, et al (1308)
- Evaluation of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance based on improved set pair analysis SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1317)

Opinions

- Methodology for measuring forestry ecological security based on ecology-industry symbiosis: a research framework ZHANG Zhiguang (1326)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 4 期 (2013 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 4 (February, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元