

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

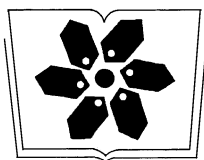
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第3期 Vol.33 No.3 **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 3 期 2013 年 2 月 (半月刊)

目 次

生态系统服务功能模拟与管理

- 保障自然资本与人类福祉:中国的创新与影响 Gretchen C. Daily, 欧阳志云, 郑 华, 等 (669)
- 建立我国生态补偿机制的思路与措施 欧阳志云, 郑 华, 岳 平 (686)
- 区域生态合作机制下的可持续农户生计研究——以“稻改旱”项目为例 梁义成, 刘 纲, 马东春, 等 (693)
- 生态系统服务功能管理研究进展 郑 华, 李屹峰, 欧阳志云, 等 (702)
- 白洋淀流域生态系统服务评估及其调控 白 杨, 郑 华, 庄长伟, 等 (711)
- 汶川地震灾区生物多样性热点地区分析 徐 佩, 王玉宽, 杨金凤, 等 (718)
- 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例 李屹峰, 罗跃初, 刘 纲, 等 (726)
- 森林生态效益税对陕西省产业价格水平的影响 黎 洁, 刘峥男, 韩秀华 (737)
- 海南岛生态系统土壤保持功能空间特征及影响因素 饶恩明, 肖 燧, 欧阳志云, 等 (746)
- 居民对文化林生态系统服务功能的认知与态度 高 虹, 欧阳志云, 郑 华, 等 (756)
- 青海省三江源自然保护区生态移民补偿标准 李屹峰, 罗玉珠, 郑 华, 等 (764)
- 张家界武陵源风景区自然景观价值评估 成 程, 肖 燧, 欧阳志云, 等 (771)
- 国家生态保护重要区域植被长势遥感监测评估 侯 鹏, 王 桥, 房 志, 等 (780)
- 都江堰市水源涵养功能空间格局 傅 斌, 徐 佩, 王玉宽, 等 (789)
- 汶川地震重灾区生态系统碳储存功能空间格局与地震破坏评估 彭 怡, 王玉宽, 傅 斌, 等 (798)

前沿理论与学科综述

- “波特假说”——生态创新与环境管制的关系研究述评 董 颖, 石 磊 (809)
- 生态环境保护与福祉 李惠梅, 张安录 (825)
- 丛枝菌根真菌最新分类系统与物种多样性研究概况 王宇涛, 辛国荣, 李韶山 (834)

个体与基础生态

- “蒸发悖论”在秦岭南北地区的探讨 蒋 冲, 王 飞, 刘思洁, 等 (844)
- 内蒙古荒漠草原主要草食动物食性及其营养生态位 刘贵河, 王国杰, 汪诗平, 等 (856)
- 基于面向对象及光谱特征的植被信息提取与分析 崔一娇, 朱 琳, 赵力娟 (867)
- 桉树叶片光合色素含量高光谱估算模型 张永贺, 陈文惠, 郭乔影, 等 (876)
- 枫杨幼苗对土壤水分“湿-干”交替变化光合及叶绿素荧光的响应 王振夏, 魏 虹, 吕 茜, 等 (888)
- 模拟淹水对杞柳生长和光合特性的影响 赵竑绯, 赵 阳, 张 驰, 等 (898)
- 梨枣花果期耗水规律及其与茎直径变化的相关分析 张琳琳, 汪有科, 韩立新, 等 (907)
- 基于上部叶片 SPAD 值估算小麦氮营养指数 赵 犇, 姚 霞, 田永超, 等 (916)

种群、群落和生态系统

- 我国南亚热带几种人工林生态系统碳氮储量 王卫霞, 史作民, 罗 达, 等 (925)

低效柏木纯林不同改造措施对水土保持功能的影响..... 黎燕琼,龚固堂,郑绍伟,等 (934)

浙江紧水滩水库浮游植物群落结构季节变化特征..... 张 华,胡鸿钧,晁爱敏,等 (944)

黑龙江凤凰山国家级自然保护区野猪冬季容纳量及最适种群密度 孟根同,张明海,周绍春 (957)

云南苍山火烧迹地不同恢复期地表蜘蛛群落多样性..... 马艳滢,李 巧,冯 萍,等 (964)

景观、区域和全球生态

基于综合气象干旱指数的石羊河流域近 50 年气象干旱特征分析 张调风,张 勃,王有恒,等 (975)

基于 CLUE-S 模型的湟水流域土地利用空间分布模拟 冯仕超,高小红,顾 娟,等 (985)

研究简报

三大沿海城市群滨海湿地的陆源人类活动影响模式..... 王毅杰,俞 慎 (998)

洋河水库富营养化发展趋势及其关键影响因素..... 王丽平,郑丙辉 (1011)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 350 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 36 * 2013-02



封面图说:卧龙自然保护区核桃坪震后——汶川大地震是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最大的一次地震,地震的强度、烈度都超过了 1976 年的唐山大地震。在这次地震中,震区的野外大熊猫受到不同程度的影响,卧龙自然保护区繁育中心的赠台大熊猫团团、圆圆居住的屋舍上方巨石垮塌,房舍全部毁坏,只因两只熊猫在屋外玩耍逃过一劫。不过,圆圆一度因惊恐逃走,失踪 5 天后才被找回来。由于繁育基地两面山体滑坡,竹子短缺等原因,繁育基地只能将大熊猫全部转移下山。

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

DOI: 10.5846/stxb201205020630

张华, 胡鸿钧, 晁爱敏, 谢慰法, 岑竞仪, 吕颂辉. 浙江紧水滩水库浮游植物群落结构季节变化特征. 生态学报, 2013, 33(3): 0944-0956.

Zhang H, Hu H J, Chao A M, Xie W F, Cen J Y, Lü S H. Seasonal changes of phytoplankton community structure in Jinshuitan Reservoir, Zhejiang, China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(3): 0944-0956.

浙江紧水滩水库浮游植物群落结构季节变化特征

张 华¹, 胡鸿钧², 晁爱敏³, 谢慰法⁴, 岑竞仪¹, 吕颂辉^{1,*}

(1. 暨南大学赤潮与海洋生物学研究中心, 广州 510632; 2. 中国科学院武汉植物园, 武汉 430074;

3. 浙江省环境监测中心, 杭州 310015; 4. 丽水市环境监测中心, 丽水 323000)

摘要:于 2010 年 1、3、5、7、9、11 月 6 次对紧水滩水库采样调查, 并对浮游植物种类鉴定与数量统计, 分析了浮游植物的优势种、多样性和群落结构季节变化特征。其结果为: 共鉴定浮游植物 284 种, 隶属 7 门 105 属。绿藻门最多, 共 51 属 139 种, 其次是硅藻门 19 属 67 种, 蓝藻门 22 属 52 种, 金藻门 4 属 9 种, 甲藻门 5 属 8 种, 裸藻门 2 属 5 种, 隐藻门 2 属 4 种。浮游植物细胞丰度在 1.04×10^5 — 3.70×10^6 个/L 之间, 平均丰度 9.63×10^5 个/L。多样性指数 H' 值为 1.76—4.64, 平均值 3.09, 丰富度指数 D 为 0.48—2.80, 平均值 1.62, 均匀度指数 J 为 0.51—1.26, 平均值 0.91。根据 TSI(Σ) 并结合浮游植物群落结构对水质评价, 紧水滩水库水质属于中-富营养状态。

关键词:浮游植物; 群落结构; 季节变化; 紧水滩水库

Seasonal changes of phytoplankton community structure in Jinshuitan Reservoir, Zhejiang, China

ZHANG Hua¹, HU Hongjun², CHAO Aimin³, XIE Weifa⁴, CEN Jingyi¹, LÜ Songhui^{1,*}

1 Research Center for Harmful Algae and Marine Biology, Jinan University, Guangzhou 510632, China

2 Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China

3 Zhejiang Environmental Monitoring Center, Zhejiang 310015, China

4 Lishui Environmental Monitoring Center, Lishui 323000, China

Abstract: Jinshuitan Reservoir is an important hydroelectric project in Oujiang River which is the second largest man-made river in Zhejiang Province. Its eco-environment and water management have a great significance on sustainable development of this area. With the fast economical development of the area, the water quality has been declined as an amount of pollutants discharged. Most of previous research works on Jinshuitan Reservoir watershed mainly focused on its meteorology, climatology and aquaculture, lacking of phytoplankton community structure, seasonal variation and water quality assessment. To explore the characteristics of the phytoplankton community structure and the response of water quality, which can provide database for its water utilization and protection, a survey was carried out every alternative month from January to November of 2010. Based on the analysis of phytoplankton samples from six sites in Jinshuitan Reservoir, the characteristics of community structure and abundance distribution were studied. Cell enumeration and species identification were performed by light microscope (Olympus BX-51). The dominant population, species diversity and community structure of phytoplankton were determined as well. A total of 284 species in 105 genera and 7 divisions were identified, of which the most abundant group was Chlorophyta, with 139 species in 51 genera that account for 48.94% of total species, followed by Bacillariophyta (67 species in 19 genera), Cyanophyta (52 species in 22 genera), Chrysophyta (9 species in 4

基金项目: 浙江省环境保护厅科研项目 (200917)

收稿日期: 2012-05-02; 修订日期: 2012-09-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lusonghui1963@163.com

genera), Dinophyta (8 species in 5 genera), Euglenophyta (5 species in 2 genera), and Cryptophyta (4 species in 2 genera). The abundance of phytoplankton cells varied from 1.04×10^5 to 3.70×10^6 cells/L (averaging 9.63×10^5 cells/L). The indices of Shannon-Wiener, Margalef's and Pielou Evenness were 1.76—4.64 (averaging 3.09), 0.48—2.80 (averaging 1.62) and 0.51—1.26 (averaging 0.91), respectively. The dominant species of each season were identified and their contribution to the total abundance was analyzed. The seasonal variation of phytoplankton community structure was significant. The relationship between phytoplankton and environmental factors were discussed. By using Pearson correlation analysis, nutrients and temperature were the essential factors to determine the seasonal changes of phytoplankton species biodiversity and cell abundance. The nutrients were the key factor to affect the horizontal distribution and cell abundance of phytoplankton. Cell abundance is positively correlated with total phosphorus (TP) and Chlorophyll-a ($r=0.292$ and 0.143 , respectively, $P<0.01$). It is negatively correlated with temperature, total nitrogen (TN) and transparency ($r=-0.605$, -0.384 and -0.18 respectively, $P<0.01$). The number of species exhibited a negative correlation with temperature, TN and TP ($r=-0.187$, -0.3 and -0.466 respectively, $P<0.01$). TSI (Σ), dominant species, Shannon-Weaver diversity index, Margalef index and Pielou evenness index were integrated to assess the water quality. The result indicated that the water quality of Jinshuitan Reservoir was medium-eutrophicated.

Key Words: phytoplankton; community structure; seasonal changes; jinshuitan reservoir

浮游植物是水生态系统的初级生产者,是水生态系统食物链中最基础最重要的一个环节,其种类和数量的变化直接或间接地影响着其他水生生物的分布和密度,甚至会影响整个生态系统的稳定^[1]。浮游植物对水体条件变化的响应灵敏,是水质监测的重要生物类群,其种类组成、数量分布及丰度的季节变化是其群落结构动态的重要特征,也是判断水体富营养化的关键指标之一^[2]。不同营养型水体,浮游植物群落结构具有不同特点^[3-5]。贫营养型水体中浮游植物生长主要受营养盐限制^[6],中营养型水体是一种过渡类型,相对而言,浮游植物群落结构要复杂得多^[7]。浮游植物的组成和数量通常具有明显的季节变化,这种变化主要是由季节性的外在因素所决定,如水温和水体的滞留时间会导致水体中营养盐负荷等的变化,从而影响浮游植物的种类组成和数量^[8]。

水库是一类特殊水体,由于地域差异,其浮游植物群落结构变化和水体营养状态存在明显不同^[9-11],同时受人类活动影响,我国一些重要水库富营养化加快^[12],关于水库生态学、水质管理等研究越来越受重视^[13]。目前对紧水滩水库流域的研究集中在降水、气候、养殖等方面^[14-16],关于紧水滩水库浮游植物群落结构和季节变化的研究还未见报道,本文旨在研究紧水滩水库浮游植物群落结构和季节变化的生态学特征,并对水库水质进行评价,为富营养化防治提供基础资料和科学依据,对保护其水资源具有重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 采样地点及频率

紧水滩水库是浙江省第二大水系瓯江上游龙泉溪段的梯级水电站水库,位于浙江西南山区的丽水市云和县境内,地理位置在东经 $118^{\circ}41'$ — $120^{\circ}26'$ 和北纬 $27^{\circ}25'$ — $28^{\circ}57'$ 之间,水库全长 60 km,集水面积 2762 km²。紧水滩水库流域地处亚热带季风气候区,年平均气温 11.5—18.3 °C,年均降水量 1400—2275 mm。降水主要集中在春、夏两季 5 月至 7 月上旬的梅汛期,及 7—9 月的台风干旱期(受台风影响)^[15]。

根据干流及支流的走向,从上游至大坝处共设 6 个采样点:道太码头(S1)、安仁口(S2)、安仁(S3)、龙云交界(S4)、赤石(S5)和坝前(S6)(图 1)。其中,S1 在 6 个站点中水位最低,S1 和 S3 靠近生活区,S4 位于干流和支流交汇附近,S6 位于水库电站大坝处,水位较高。本次研究于 2010 年 1、3、5、7、9、11 月进行 6 次样品采集。

1.2 样品采集与分析

按常规浮游生物调查方法^[18]进行样品采集与观察,定量样品用 5 L 采水器在水下 0.5 m 处采集水样

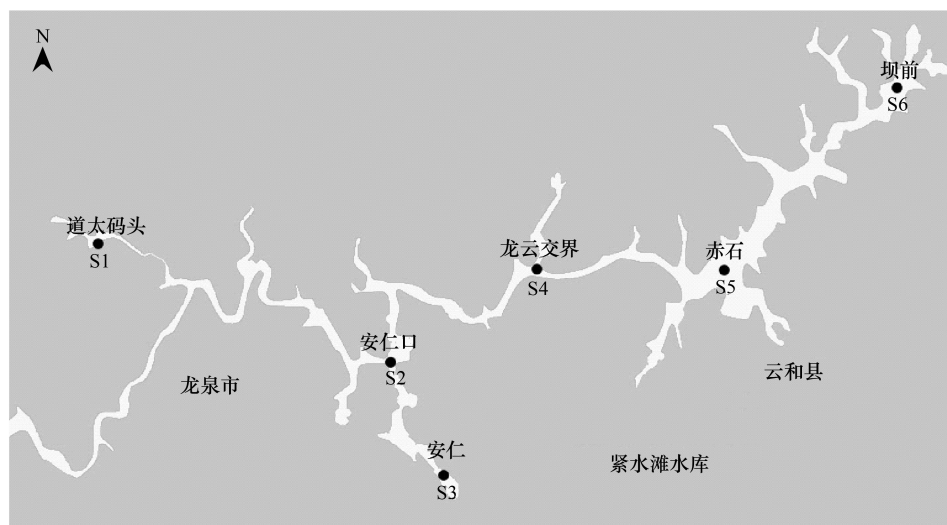


图1 紧水滩水库采样站位分布图

Fig. 1 Sampling sites in Jinshuitan Reservoir

1 L, 定性样品用 25 号浮游生物网在不同方向和深度拖取, 定量、定性样品现场加鲁格氏固定液至浓度为 1%, 经 48 h 静置沉淀后浓缩至 50 mL。用 0.1 mL 浮游植物计数框在光学显微镜 Olympus BX-51 下进行浮游藻类定量计数, 根据相关文献^[19-33]对所有定性、定量样品进行种类鉴定, 样品经酸处理制片作硅藻鉴定观察。

1.3 环境因子的测定方法^[34]

总氮采用过硫酸钾氧化紫外分光光度法; 总磷采用钼锑抗分光光度法; 叶绿素 a 采用分光光度法。

1.4 多样性分析方法

浮游植物分析计算公式^[35]如下:

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数} \quad H' = - \sum_{i=1}^s P_i \cdot \log_2 P_i, \quad H_{\max} = \log_2 S$$

$$\text{Pielou 均匀度} \quad J = \frac{H'}{\log_2 S}$$

$$\text{Margalef 物种丰富度指数} \quad D = \frac{S - 1}{\log_2 N}$$

式中, $P_i = N_i/N$, 为第 i 种个体数量在总个体数量中的比例; N_i 为第 i 种在样品中的个体数量; N 为样品中所有种个体总数; S 为总种类数。

1.5 统计分析及作图方法

采用 SPSS 17.0 中的 Pearson 相关性分析; 采用 Origin 8.0 软件作图。

1.6 水质评价方法

采用综合营养状态指数法^[36] $\text{TSI}(\sum)$, 其公式为: $\text{TSI}(\sum) = \sum_{j=1}^m W_j \cdot \text{TSI}(j)$, 式中 $\text{TSI}(\sum)$ 为综合营养状态指数; W_j 为第 j 种参数的营养状态指数的相关权重; $\text{TSI}(j)$ 为第 j 种参数的营养状态指数; m 为评价参数的个数。

2 结果与分析

2.1 浮游植物种类组成

在 6 次采样监测中, 共鉴定出浮游植物 284 种, 隶属于 7 门 105 属。各门种数及其所占比例见表 1, 种类名录见表 2。

表 1 紧水滩水库浮游植物种类组成
Table 1 Phytoplakton composition in Jinshuitan Reservoir

浮游植物 Phytoplankton	绿藻门 Chlorophyta	蓝藻门 Cyanophyta	硅藻门 Bacillariophyta	甲藻门 Pyrrophyta	金藻门 Chrysophyta	隐藻门 Cryptophyta	裸藻门 Euglenophyta
种类数 Number of species	139	52	67	8	9	4	5
百分比 Percent/%	48.94	18.31	23.59	2.82	3.17	1.41	1.76

表 2 紧水滩浮游植物名录
Table 2 Phytoplakton species in Jinshuitan Reservoir

物种 Species	物种 Species
奥波莱栅藻 <i>Scenedesmus opoliensis</i>	惠氏微囊藻 <i>M. wesenbergii</i>
双对栅藻 <i>S. bijuga</i> *	坚实微囊藻 <i>M. firma</i>
丰富栅藻 <i>S. abundans</i>	边缘微囊藻 <i>M. marginata</i>
齿牙栅藻 <i>S. denticulatus</i>	苍白微囊藻 <i>M. pallida</i>
尖形栅藻 <i>S. acutiformis</i>	微囊藻 <i>Microcystis</i> sp.
爪哇栅藻 <i>S. javaensis</i>	不定微囊藻 <i>M. incerta</i>
多棘栅藻 <i>S. spinosus</i>	隐杆藻 <i>Aphanothece</i> sp.
龙骨栅藻 <i>S. carinatus</i>	窗格隐杆藻 <i>A. clathrata</i>
扁盘栅藻 <i>S. platydiscus</i>	卡氏隐杆藻 <i>A. castagnei</i>
丰富栅藻不对称变种 <i>S. abundans</i> var. <i>asymmetrica</i>	瑞士色球藻 <i>Chroococcus helveticus</i> *
尖细栅藻 <i>S. acuminatus</i>	厚膜色球藻 <i>C. turicensis</i>
四尾栅藻大型变种 <i>S. quadricauda</i> var. <i>maximus</i>	微小色球藻 <i>C. minutus</i>
斜生栅藻 <i>S. obliquus</i>	湖沼色球藻 <i>C. limneticus</i>
四尾栅藻 <i>S. quadricauda</i> *	附生色球藻 <i>C. epiphyticus</i>
二形栅藻 <i>S. dimorphus</i>	长孢藻 <i>Dolichospermum</i> sp.
针形纤维藻 <i>Ankistrodesmus acicularis</i>	螺旋长孢藻 <i>D. spiroides</i>
镰形纤维藻 <i>A. falcatus</i>	水华长孢藻 <i>D. flos-aquae</i>
镰形纤维藻奇异变种 <i>A. falcatus</i> var. <i>mirabilis</i> *	广州平裂藻 <i>Merismopedia cantonensis</i>
卷曲纤维藻 <i>A. convolutus</i>	点形平裂藻 <i>M. punctata</i>
狭形纤维藻 <i>A. angustus</i>	平裂藻 <i>Merismopedia</i> sp.
弓形藻 <i>Schroederia setigera</i>	细小平裂藻 <i>M. minima</i>
螺旋弓形藻 <i>S. spiralis</i>	微小隐球藻 <i>Aphanocapsa delicatissima</i>
拟菱形弓形藻 <i>S. nitzschiioides</i>	美丽隐球藻 <i>A. pulchra</i>
硬弓形藻 <i>S. robusta</i>	细小隐球藻 <i>A. elachista</i>
实球藻 <i>Pandorina morum</i>	高氏隐球藻 <i>A. koordersii</i>
空球藻 <i>Eudorina elegans</i> *	束丝藻 <i>Aphanizomenon</i> sp.
四鞭藻 <i>Carteria</i> sp.	圆胞束球藻 <i>Gomphosphaeria aponina</i>
小空星藻 <i>Coelastrum microporum</i>	静水柱孢藻 <i>Cylindrospermum stagnale</i>
坎布空星藻 <i>C. cambricum</i>	鞘丝藻 <i>Lyngbya</i> sp.
立方体形空星藻 <i>C. cubicum</i>	柯孟藻 <i>Komvophoron</i> sp.
网状空星藻 <i>C. reticulatum</i>	矛丝藻 <i>Cuspidothrix</i> sp.
空星藻 <i>C. aphaericum</i>	水生集胞藻 <i>Synechocystis crassa</i>
多芒藻 <i>Golenkinia radiata</i>	史氏棒胶藻 <i>Rhabdogloea smithii</i>
蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	欧氏藻 <i>Woronichinia</i> sp.
丛球韦斯藻 <i>Westilla botryoides</i>	密胞欧氏藻 <i>W. compacta</i>
柯氏并联藻 <i>Quadrigula chodatii</i>	微小博氏藻 <i>Borzia susedana</i>
新月肾形藻 <i>Nephrocytium lunatum</i>	拟鱼腥藻 <i>Anabaenopsis</i> sp.
肾形藻 <i>N. agaridhianum</i>	泽丝藻 <i>Limnothrix</i> sp.
四孢藻 <i>Tetraspora</i> sp.	泽丝藻 <i>Limnothrix</i> sp.

续表

物种 Species	物种 Species
单角盘星藻具孔变种 <i>Pediastrum simplex</i> var. <i>duodenarium</i>	鱼腥藻 <i>Anabaena</i> sp.
四角盘星藻四齿变种 <i>P. tetras</i> var. <i>tetraodon</i>	居氏腔球藻 <i>Coelosphaerium kützingianum</i>
二角盘星藻纤细变种 <i>P. duplex</i> var. <i>gracillimum</i>	纳氏腔球藻 <i>C. naegelianum</i>
二角盘星藻网纹变种 <i>P. duplex</i> var. <i>reticulatum</i>	假鱼腥藻 <i>Pseudanabaena</i> sp.
二角盘星藻 <i>P. duplex</i>	粘球藻 <i>Gloeocapsa</i> sp.
盘星藻 <i>P. biradiatum</i>	居氏粘球藻 <i>G. kützingiana</i>
单角盘星藻 <i>P. simplex</i>	断裂颤藻 <i>Oscillatoria fraca</i>
四角盘星藻 <i>P. tetras</i>	颗粒颤藻 <i>O. granulata</i>
衣藻 <i>Chlamydomonas</i> sp.	颤藻 <i>Oscillatoria</i> sp.
简单衣藻 <i>C. simple</i>	变红颤藻 <i>O. rubescens</i>
瓦尔登堡衣藻 <i>C. waldenburgensis</i>	小针杆藻 <i>Synedra nana</i>
球衣藻 <i>C. globosa</i>	两头针杆藻 <i>S. amphicephala</i>
丰满衣藻 <i>C. obesa</i>	肘状针杆藻丹麦变种 <i>S. ulna</i> var. <i>danica</i>
网球藻 <i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i> *	肘状针杆藻 <i>S. ulna</i>
美丽网球藻 <i>D. pulchellum</i>	针杆藻 <i>Synedra</i> sp.
葡萄藻 <i>Botryococcus braunii</i>	平片针杆藻 <i>S. tabulata</i>
博恩微芒藻 <i>Micractinium bornhemienis</i>	尖针杆藻 <i>S. acus</i>
微芒藻 <i>M. pusillum</i>	卵圆双眉藻 <i>Amphora ovalis</i>
二叉四角藻 <i>Tetraëdron bifurcatum</i>	双眉藻 <i>Amphora</i> sp.
三角四角藻 <i>T. trigonum</i>	小型舟形藻 <i>Navicula minuscula</i>
膨胀四角藻 <i>T. tumidulum</i>	双头舟形藻 <i>N. dicephala</i>
整齐四角藻 <i>T. regulare</i>	极细舟形藻 <i>N. subtilissima</i>
纤细新月藻 <i>Closterium gracile</i>	细小舟形藻 <i>N. tautula</i>
波吉卵囊藻 <i>Oocystis borgei</i>	放射舟形藻 <i>N. radiosa</i>
湖生卵囊藻 <i>O. lacustris</i> *	头端舟形藻 <i>N. capitata</i>
单生卵囊藻 <i>O. solitaria</i>	线形舟形藻 <i>N. graciloides</i>
小形卵囊藻 <i>O. parva</i>	狭圆舟形藻 <i>N. verecunda</i>
椭圆卵囊藻 <i>O. elliptica</i>	盐生舟形藻 <i>N. salinarum</i>
聚盘藻 <i>Gonium sociale</i>	细长舟形藻 <i>N. gracilis</i>
美丽团藻 <i>Volvox aureus</i>	系带舟形藻 <i>N. cincta</i>
胶囊藻 <i>Gloeocystis</i> sp.	舟形藻 <i>Navicula</i> sp.
月形双形藻 <i>Dimorphococcus lunatus</i>	短小舟形藻 <i>N. exigua</i>
纺缍藻 <i>Elakatothrix gelatinosa</i>	钝脆杆藻披针形变种 <i>Fragilaria capucina</i> var. <i>lanceolata</i>
网膜藻 <i>Tetrasporidium javanicum</i>	短线脆杆藻 <i>F. brevistriata</i>
胶球藻 <i>Coccomyxa dispar</i>	克罗钝脆杆藻俄勒冈变种 <i>F. crotomensis</i> kitt. var. <i>oregona</i>
湖生绿星球藻 <i>Asterococcus limneticus</i>	钝脆杆藻 <i>F. capucina</i>
四刺顶棘藻 <i>Chodatella quadriseta</i>	山东脆杆藻 <i>F. shangdongensis</i>
纤毛顶棘藻 <i>C. ciliata</i>	脆杆藻 <i>Fragilaria</i> sp.
盐生顶棘藻 <i>C. subsalsa</i>	星杆藻 <i>Asterionella</i> sp.
十字顶棘藻 <i>C. wratislaviensis</i>	华丽星杆藻 <i>Asterionella formosa</i>
肥壮蹄形藻 <i>Küchneriella obesa</i>	颗粒直链藻极狭变种螺旋变型 <i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i> f. <i>spiralis</i> .
蹄形藻 <i>K. lunaris</i>	变异直链藻 <i>M. warians</i>
扭曲蹄形藻 <i>K. contorta</i>	颗粒直链藻 <i>M. granulata</i> *
四棘藻 <i>Treubaria triappendiculata</i>	岛直链藻 <i>M. islandica</i>
粗刺四棘藻 <i>T. crassispina</i>	颗粒直链藻弯曲变种 <i>M. granulata</i> var. <i>curvata</i> *
网纹小箍藻 <i>Trochiscia reticularis</i>	颗粒直链藻极狭变种 <i>M. granulata</i> var. <i>angustissima</i> f. <i>spiralis</i> .
河生集星藻 <i>Actinastrum fluviale</i>	远距直链藻 <i>M. distans</i>

续表

物种 Species	物种 Species
粗刺藻 <i>Acanthosphaera zachariasii</i>	意大利直链藻弯曲变形 <i>M. italica</i> var. <i>curvata</i>
棘球藻 <i>Echinospaerella limnetica</i>	桥弯藻 <i>Cymbella</i> sp.
拟新月藻 <i>Closteriopsis longissima</i>	极小桥弯藻 <i>C. perpusilla</i>
双月藻 <i>Diclostera acuatus</i>	细小桥弯藻 <i>C. pusilla</i>
被刺藻 <i>Franceia ovalis</i>	高山桥弯藻 <i>C. alpina</i>
角锥胶网球藻 <i>Pectodictyon pyramidale</i>	舟形桥弯藻 <i>C. naviculiformis</i>
近微细丝藻 <i>Ulothrix subtilissima</i>	偏肿桥弯藻 <i>C. ventricosa</i>
多形丝藻 <i>U. variabilis</i>	纤细桥弯藻 <i>C. gracillis</i>
近缢丝藻 <i>U. subconstricta</i>	膨胀桥弯藻 <i>C. tumida</i>
纤细角星鼓藻 <i>Staurostrum gracile</i> *	胀大桥弯藻 <i>C. turgidula</i>
六臂角星鼓藻 <i>S. senarium</i>	双菱藻 <i>Surirella</i> sp.
曼弗角星鼓藻 <i>S. manfeldtii</i>	卵形双菱藻羽纹变种 <i>S. ovata</i> var. <i>pinnata</i>
广西角星鼓藻 <i>S. kwangsiense</i>	窄双菱藻 <i>S. angustata</i>
弯曲角星鼓藻 <i>S. inflexum</i>	普通等片藻 <i>Diatoma vulgare</i>
颗粒角星鼓藻 <i>S. punctulatum</i>	念珠状等片藻 <i>D. moniliformis</i>
威尔角星鼓藻 <i>S. willsii</i>	扁圆卵形藻 <i>Cocconeis placentula</i>
两裂角星鼓藻 <i>S. bifidum</i>	扁圆卵形藻多孔变种 <i>C. placentula</i> var. <i>euglypta</i>
钝齿角星鼓藻 <i>S. crenulatum</i>	眼斑小环藻 <i>Cyclotella ocellata</i>
钝角星鼓藻 <i>S. retusum</i>	小环藻 <i>Cyclotella</i> sp.
伪四角角星鼓藻 <i>S. pseudotetracerum</i>	梅尼小环藻 <i>C. meneghiniana</i>
光角星鼓藻 <i>S. muticum</i>	扎卡四棘藻 <i>Attheya zachariasii</i>
多形角星鼓藻 <i>S. polymorphum</i>	长刺根管藻 <i>Rhizosolenia longiseta</i>
成对角星鼓藻 <i>S. gemelliparum</i>	伊林根管藻 <i>R. eriensis</i>
肥壮角星鼓藻 <i>S. pingue</i>	尖顶异极藻 <i>Gomphonema augur</i>
具齿角星鼓藻 <i>S. indentatum</i>	异极藻 <i>Gomphonema</i> sp.
六角角星鼓藻 <i>S. sexangulare</i>	大羽纹藻 <i>Pinnularia major</i>
项圈鼓藻 <i>Cosmarium moniliforme</i>	尖布纹藻 <i>Gyrosigma acuminatum</i>
扁鼓藻 <i>C. depressum</i>	环状扇形藻 <i>Meridion circulare</i>
光泽鼓藻 <i>C. candianum</i>	偏肿美壁藻 <i>Caloneis ventricosa</i>
梅尼鼓藻 <i>C. meneghinii</i>	短小曲壳藻 <i>Achnanthes exigua</i>
鼓藻 <i>Cosmarium</i> sp.	裸甲藻 <i>Gymnodinium</i> sp. *
短鼓藻 <i>C. abbreviatum</i>	角甲藻 <i>Ceratium hirundinella</i> *
广西鼓藻 <i>C. kwangsiense</i>	坎宁顿拟多甲藻 <i>Peridiniopsis cunningtonii</i>
颗粒鼓藻 <i>C. granatum</i>	佩纳形拟多甲藻 <i>P. penardiforme</i>
珍珠鼓藻 <i>C. margaritatum</i>	多甲藻 <i>Peridinium</i> sp.
近缘叉星鼓藻 <i>Staurodesmus connatus</i>	微小多甲藻 <i>P. pusillum</i>
薄皮叉星鼓藻 <i>S. leptodermus</i>	加顿多甲藻 <i>P. gatunense</i>
平卧叉星鼓藻 <i>S. dejectus</i>	伪沼泽沃氏甲藻 <i>Woloszynskia pseudopalustris</i>
迪基叉星鼓藻 <i>S. dickiei</i>	鱼鳞藻 <i>Mallomonas</i> sp.
平卧叉星鼓藻尖刺变种 <i>S. dejectus</i> var. <i>apiculatus</i>	谷生棕鞭藻 <i>Ochromonas vallesiaca</i>
项圈顶接鼓藻 <i>Spondylosium moniliforme</i>	玩赏棕鞭藻 <i>O. ludibunda</i>
平顶顶接鼓藻 <i>S. planum</i>	变形棕鞭藻 <i>O. mutabilis</i>
扭联角丝鼓藻 <i>Desmidium aptogonum</i>	圆筒形锥囊藻 <i>Dinobryon cylindricum</i>
基纳汉棒形鼓藻 <i>Gonatozygon kinahani</i>	伪暗色金藻 <i>Chromulina pseudonebulosa</i>
转板藻 <i>Mougeotia</i> sp.	卵形色金藻 <i>C. ovalis</i>
小齿凹顶鼓藻 <i>Euastrum denticulatum</i>	色金藻 <i>Chromulina</i> sp.
平滑四星藻 <i>Tetrastrum glabrum</i>	小色金藻 <i>C. pygmaea</i>

续表

物种 Species	物种 Species
华丽四星藻 <i>T. elegans</i>	嗜蚀隐藻 <i>Cryptomonas erosa</i> *
异刺四星藻 <i>T. heterocanthum</i>	卵形隐藻 <i>C. ovata</i> *
四星藻 <i>Tetrastrum</i> sp.	尖尾蓝隐藻 <i>Chroomonas acuta</i>
顶锥十字藻 <i>Crucigenia apiculata</i>	具尾蓝隐藻 <i>Ch caudata</i>
四角十字藻 <i>C. quadrata</i>	绿色裸藻 <i>Euglena viridis</i>
四足十字藻 <i>C. tetrapedia</i>	囊裸藻 <i>Trachelomonas</i> sp.
挪氏微囊藻 <i>Microcystis novacekii</i>	旋转囊裸藻 <i>Tr. spirogyra</i>
布纹微囊藻 <i>M. panniformis</i>	拟颗粒囊裸藻无刺变种 <i>Tr. granulatopsis</i> var. <i>exspinosa</i>
粗大微囊藻 <i>M. robusta</i>	强壮囊裸藻 <i>Tr. zorensis</i>

“*”者为在所有监测月份都出现的种类

紧水滩水库浮游植物主要是绿藻、硅藻和蓝藻,同时还有少量甲藻、金藻、隐藻和裸藻。绿藻门角星鼓藻属(*Staurostrum*)种类最多,共 17 种,其次是栅藻属(*Scenedesmus*) 16 种,硅藻门最多的是舟形藻属(*Navicula*) 11 种。

2.2 浮游植物群落结构特征

调查期间浮游植物种类数量存在季节性差异($P=0<0.01$, $F=19.39>F_{0.05}=2.26$),不同站点在同一季节的群落结构具相似性,主要由绿藻、硅藻和蓝藻组成,绿藻占比例较高(图 2),1 月和 3 月各站点绿藻都达 20% 左右,1 月 S6 绿藻高达 50%。除 5 月和 7 月个别站点外,5、7、9、11 月其它站点绿藻比例在 50%—70%。春季蓝藻较硅藻多,1、3 月大部分站点蓝藻占比例在 25% 左右,在 1 月 S2 和 3 月 S4、S5 蓝藻比例达 40% 以上。秋、冬季硅藻较蓝藻多,除个别站点,7、9、11 月硅藻比例都在 20%—30%。出现少量甲藻、金藻、隐藻和裸藻,5、7 月未发现金藻,其它季节金藻比例非常低,裸藻仅出现在极少站点。

2.3 浮游植物种类数季节变化

紧水滩水库浮游植物种类数随时间变化较大,差异明显,具有一定的季节特征(图 3)。1、3 和 5 月种类数较少,3 月最低,总共 62 种,5 月上升为 83 种,7 月形成小高峰,7 月为全年种类最多,共 121 种,其次是 9 月,共 120 种,11 月种类减少,共 117 种。

2.4 浮游植物细胞丰度的变化

紧水滩水库浮游植物细胞丰度在调查期间季节变化明显,细胞丰度高峰区在春季,秋、冬季节较低,见表 3。浮游植物细胞丰度在调查周年内变化范围是 1.04×10^5 — 3.70×10^6 个/L,全年细胞丰度平均值为 9.62×10^5 个/L。全年出现两个细胞丰度高峰,最高值出现在 1 月,细胞丰度为 3.70×10^6 个/L,平均为 2.09×10^6 个/L,其次是 11 月,细胞丰度平均为 1.43×10^6 个/L。细胞丰度低值出现在 9 月,平均为 2.67×10^5 个/L。从站点来看,最高值出现在 S1,细胞丰度平均为 1.36×10^6 个/L,其次是 S3,细胞丰度平均为 1.31×10^6 个/L,最低值出现在 S6,细胞丰度平均为 5.16×10^5 个/L,上游浮游植物细胞平均丰度明显大于下游的,即: $S1>S3>S4>S5>S2>S6$ 。

表 3 紧水滩水库浮游植物细胞丰度季节变化/($\times10^4$ 个/L)

Table 3 Seasonal changes of Phytoplankton cell abundance Jinshuitan Reservoir

时间 Time	站点 Site						平均 Average
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
1 月 Jan.	370.45	160.53	247.5	127.38	240.05	105.53	208.57
3 月 Mar.	13.61	148.56	233.76	235.68	60.54	11.34	117.25
5 月 May	112.76	12.69	37.05	10.42	70.18	16.38	43.25
7 月 Jul.	22.74	40.14	36.26	47.79	39.09	45.88	38.65
9 月 Sept.	30.9	10.68	13.47	50.22	37.87	17.16	26.72
11 月 Nov.	269.28	125.04	219.04	62.49	70.62	113.10	143.26
平均 Average	136.62	82.94	131.18	89	86.39	51.57	96.28

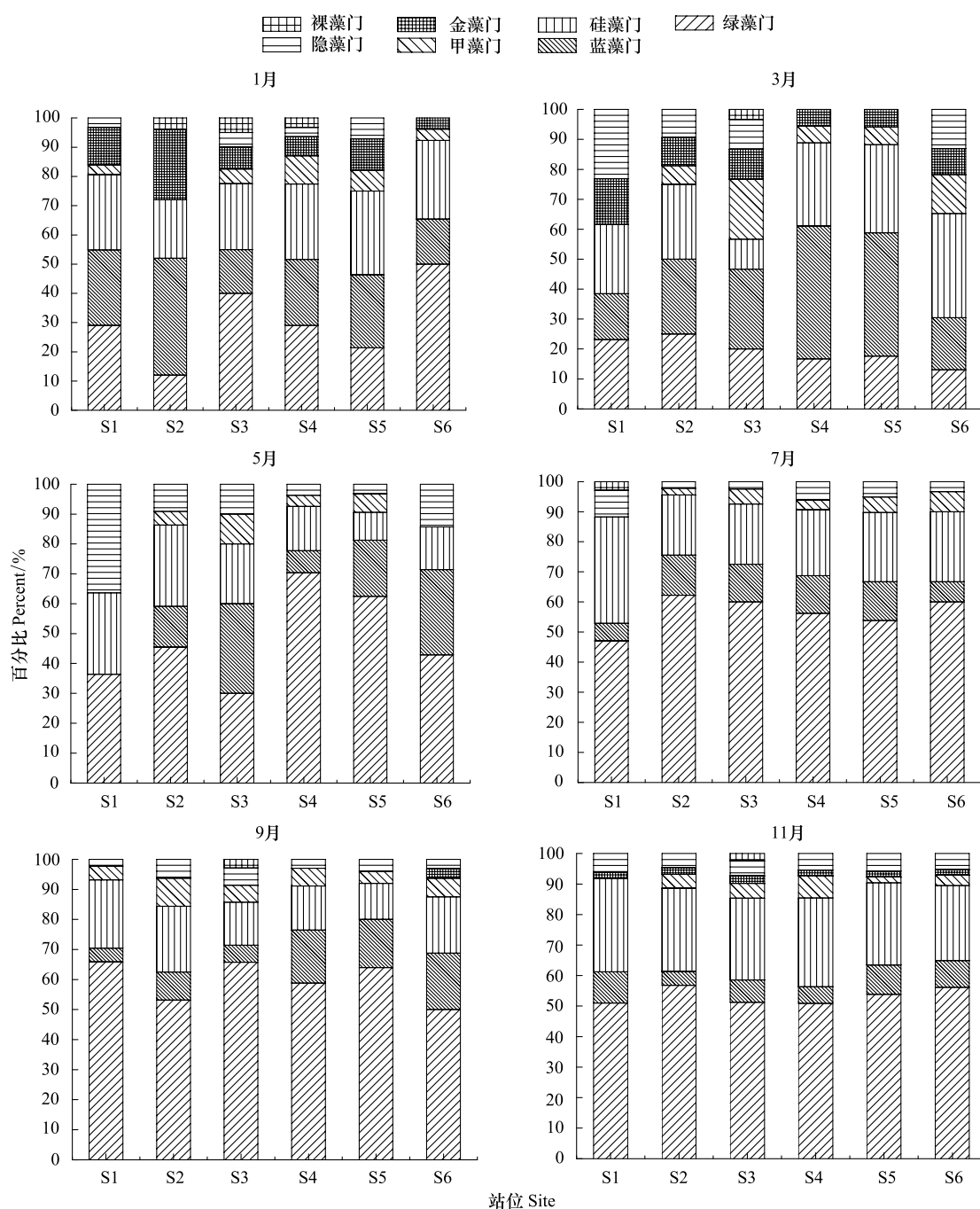


图2 浮游植物群落结构组成

Fig. 2 Phytoplankton community composition in Jinshuitan Reservoir

2.5 浮游植物优势种的组成特征

紧水滩水库浮游植物优势种类在各调查期间变化较大,优势种细胞丰度及其在总细胞丰度中所占比例差异较大(表4)。绿藻、硅藻和蓝藻是主要组成种类,优势种也主要由这三类组成,从细胞丰度及其所占比例来看,硅藻和部分蓝藻比绿藻具更大的优势。颗粒直链藻极狭变种为1、3月优势种,其1月的细胞丰度达 71.08×10^4 个/L,是调查期间细胞丰度最高的种类,所占比例也达到33.99%,在3月的细胞丰度达 10.02×10^4 个/L,所占比例为8.54%。颗粒直链藻弯曲变种为1、11月优势种,细胞丰度分别达 49.45×10^4 个/L和 18.29×10^4 个/L,所占比例分别为23.65%和12.75%。值得注意的是,3月出现的螺旋长孢藻细胞丰度达到 54.27×10^4 个/L,占该月细胞总数的46.28%。布纹微囊藻在3月细胞数量所占比例达到19.83%,但其只在1、3、5月出

现。其它蓝藻如密胞欧氏藻和微小隐杆藻虽是3、5月的优势种,但细胞丰度都较低,所占比例也只有7%左右。优势种中绿藻虽种类多,但细胞丰度和所占比例都很低。

2.6 浮游植物群落结构多样性

调查期间多样性指数 H' 变化范围为 1.76—4.64, 平均值 3.09, 丰富度指数 D 变化范围为 0.48—2.80, 平均值为 1.62, 均匀度指数 J 变化范围为 0.51—1.26, 平均值为 0.91, 见表 5。多样性指数 H' 、丰富度指数 D 、均匀度指数 J 最高值分别出现在 7、11、5 月, 多样性指数 H' 、丰富度指数 D 最低值都出现在 3 月, 均匀度指数 J 最低值出现在 11 月。从平均值来看, 该水库整体多样性指数 H' 为: 7 月 > 9 月 > 11 月 > 5 月 > 1 月 > 3 月; 丰富度指数 D 为: 11 月 > 7 月 > 9 月 >> 1 月 > 5 月 > 3 月; 均匀度指数 J 为: 7 月 > 9 月 > 5 月 > 3 月 > 1 月 > 11 月, 整体多样性夏、秋季要高于冬、春季节。各站点多样性指数 H' 和均匀度指数 J 变化趋势相似, 1、3 月较低, 5 月开始上升, 7、9 月达到高峰, 11 月下降。丰富度指数 D 变化也类似, 7、9、11 月要明显高于 1、3、5 月的, 11 月达到最高。

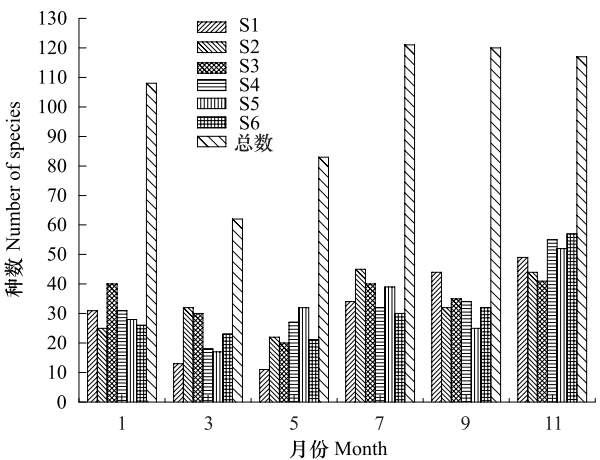


图3 紧水滩浮游植物种数季节变化

Fig. 3 Seasonal changes of species numbers of different sites

表4 紧水滩水库浮游植物优势种细胞丰度及其所占比例

Table 4 Composition of dominant species and their cell abundance and percentage of phytoplankton in Jinshuitan Reservoir in each study season

时间 Time	优势种 Dominant species	种名 Species	细胞丰度/($\times 10^4$ 个/L) Cell abundance	百分比/% Percent
1 月 Jan.	颗粒直链藻极狭变种	<i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	71.08	33.99
	颗粒直链藻弯曲变种	<i>M. granulata</i> var. <i>curvata</i>	49.45	23.65
	颗粒直链藻	<i>M. granulata</i>	10.48	5.01
	水华长孢藻	<i>Dolichospermum flos-aquae</i>	16.01	7.65
	葡萄藻	<i>Botryococcus braunii</i>	11.67	5.58
3 月 Mar.	螺旋长孢藻	<i>Dolichospermum spiroides</i>	54.27	46.28
	布纹微囊藻	<i>Microcystis panniformis</i>	23.25	19.83
	密胞欧氏藻	<i>Woronichinia compacta</i>	8.96	7.64
	颗粒直链藻极狭变种	<i>M. granulata</i> var. <i>angustissima</i>	10.02	8.54
5 月 May	微小隐球藻	<i>Aphanocapsa elachista</i>	2.99	6.91
	双头针杆藻	<i>Synedra amphicephala</i>	3.05	7.04
	嗜蚀隐藻	<i>Cryptomonas erosa</i>	4.30	9.94
	卵形隐藻	<i>C. ovata</i>	3.02	6.99
	尖尾蓝隐藻	<i>Chroomonas acuta</i>	4.03	9.33
7 月 Jul.	网球藻	<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i>	2.42	6.25
	美丽网球藻	<i>D. pulchellum</i>	2.86	7.39
	螺旋长孢藻	<i>Dolichospermum spiroides</i>	3.57	9.22
	矛丝藻	<i>Cuspidothrix</i> sp.	5.21	13.47
9 月 Sept.	光角星鼓藻	<i>Staurastrum muticum</i>	2.16	8.08
	两裂角星鼓藻	<i>S. bifidum</i>	7.29	27.30
	网球藻	<i>D. ehrenbergianum</i>	1.43	5.34
	微囊藻	<i>Microcystis</i> sp.	1.73	6.47
	岛直链藻	<i>M. islandica</i>	1.42	5.32
11 月 Nov.	颗粒直链藻	<i>M. granulata</i>	19.98	13.93
	岛直链藻	<i>M. islandica</i>	59.97	41.82
	颗粒直链藻弯曲变种	<i>M. granulata</i> var. <i>curvata</i>	18.29	12.75

表5 紧水滩水库浮游植物多样性季节变化

Table 5 Seasonal changes of phytoplankton Diversity in Jinshuitan Reservoir

站点 Site	Shannon-Wiener 多样性指数(H')						Margalef's 丰富度指数(D)						Pielou 均匀度指数(J)					
	1 月 Jan.	3 月 Mar.	5 月 May	7 月 Jul.	9 月 Sept.	11 月 Nov.	1 月 Jan.	3 月 Mar.	5 月 May	7 月 Jul.	9 月 Sept.	11 月 Nov.	1 月 Jan.	3 月 Mar.	5 月 May	7 月 Jul.	9 月 Sept.	11 月 Nov.
S1	2.38	2.62	1.84	3.58	4.36	2.27	1.37	0.70	0.50	1.85	2.36	2.25	0.69	1.02	0.77	1.02	1.15	0.58
S2	2.68	2.56	3.46	4.64	4.15	2.02	1.16	1.51	1.24	2.36	1.80	2.17	0.83	0.74	1.12	1.22	1.21	0.53
S3	3.00	2.27	2.62	4.03	3.98	1.91	1.84	1.37	1.03	2.11	2.00	1.90	0.81	0.67	0.87	1.09	1.12	0.51
S4	2.80	1.76	4.14	3.94	2.90	3.90	1.48	0.80	1.56	1.64	1.74	2.80	0.82	0.61	1.26	1.14	0.82	0.97
S5	2.36	1.85	2.77	3.89	2.75	3.76	1.32	0.83	1.60	2.05	1.30	2.62	0.70	0.65	0.80	1.06	0.85	0.95
S6	2.85	2.51	3.03	3.42	3.84	4.46	1.35	0.48	1.15	1.54	1.78	2.78	0.85	1.14	0.99	1.00	1.11	1.10
平均 Average	2.68	2.26	2.98	3.91	3.66	3.05	1.42	0.95	1.18	1.93	1.83	2.42	0.79	0.81	0.97	1.09	1.04	0.78

2.7 浮游植物与环境因子之间的关系

环境因子见表6。Pearson 相关性分析表明紧水滩水库浮游植物细胞丰度与总磷、叶绿素呈显著正相关($r=0.292, 0.143, P<0.01$), 与水温、总氮、透明度呈显著负相关($r=-0.605, -0.384, -0.18, P<0.01$); 浮游植物的种数与水温、总氮、总磷呈显著负相关($r=-0.187, -0.3, -0.466, P<0.01$)。结果表明水温和营养盐是紧水滩水库浮游植物群落结构变化的主要影响因子。

表6 紧水滩水库环境因子

Table 6 Environmental factors in Jinshuitan Reservoir

时间 Time	温度 Temperature/°C	总氮 TN/(mg/L)	总磷 TP/(mg/L)	透明度 SD/m	叶绿素 Chl a/(mg/L)
5 月 May	21.0	0.70	0.052	1.38	0.0015
7 月 Jul.	27.5	0.75	0.032	1.40	0.0017
9 月 Sept.	30.9	0.88	0.025	2.31	0.0015
11 月 Nov.	21.0	0.51	0.030	1.76	0.0019

2.8 紧水滩水库水质评价

按常用的 TSI 综合营养状态指数划分标准, 并结合湖泊营养类型评价的藻类生物学指标, 评价紧水滩水库水质, 结果见表7。

表7 紧水滩水库水质状况评价表

Table 7 Water quality assessment in Jinshuitan Reservoir

时间 Time	评价指标 Assessment contents								
	优势种 Dominant species	多样性 H'	丰富度 D	均匀度 J	TSI _{chl a}	TSI _{TN}	TSI _{TP}	TSI _{SD}	TSI(Σ)
1 月 Jan.	中-富营养	中污染	α -中污	轻污染	—	—	—	—	—
3 月 Mar.	中-富营养	中污染	α -中污	轻污染	—	—	—	—	—
5 月 May	中-富营养	轻、中污染	α -中污	轻污染	29.02	61.18	60.13	60.05	50.20
7 月 Jul.	中营养	轻污染	α -中污	轻污染	30.38	62.28	54.26	59.85	49.49
9 月 Sept.	中营养	轻、中污染	α -中污	轻污染	29.02	64.65	50.94	51.23	46.86
11 月 Nov.	中营养	轻、中污染	α -中污	轻污染	31.60	56.69	53.39	55.87	47.56

“—”表示无监测数据

TSI(Σ) < 30 为贫营养, $30 \leq \text{TSI}(\Sigma) \leq 50$ 为中营养, $\text{TSI}(\Sigma) > 50$ 为富营养。评价结果表明, 紧水滩水库水质为中营养到中-富营养水平。

3 讨论

3.1 浮游植物群落结构

紧水滩水库浮游植物群落结构季节变化明显, 主要由绿藻、蓝藻和硅藻组成, 但春季蓝藻较硅藻多, 秋、冬

季硅藻较蓝藻多, S1、S4 及 S6 藻类的多样性相对较高。紧水滩浮游植物种类组成与抚仙湖的相似^[37], 抚仙湖浮游植物种类数绿藻>蓝藻>硅藻, 但与中营养型的鹤地水库不同, 鹤地水库浮游植物主要有蓝藻和硅藻, 其蓝藻生物量与水温的相关性极显著, 水温通过影响蓝藻生物量的季节变化而影响鹤地水库浮游植物生物量的季节变化^[7], 在适宜于蓝藻生长的环境中, 蓝藻在数量上以绝对的优势超过绿藻, 成为水体中明显的优势类群。紧水滩水库部分站点或季节蓝藻细胞丰度非常高, 如螺旋长孢藻达到 5.78×10^5 个/L, 此时蓝藻对生物量的贡献大于绿藻和硅藻。紧水滩水库浮游植物细胞丰度整体上上游大于下游, 但上游 S2 细胞丰度较低, 这与鹤地水库的情况相似^[7]。

枯水期水温低、光照弱, 水体不分层, 小环藻, 颗粒直链藻, 模糊直链藻, 根管藻在丰度和生物量上均占优势。这些硅藻比重较大, 在水流紊乱的环境易成为优势种, 且具有很强的捕获光能力, 对外界光照强度的改变能迅速反应, 有很强的光合作用能力^[38]。紧水滩水库 11 月、1 月的优势种类主要是直链藻属, 11 月温度在 21℃ 左右, 且 N/P 较接近 16, 适宜硅藻生长。一般认为, 绿藻为中营养型水体优势种, 蓝藻为富营养型水体优势种^[39], 紧水滩水库 3、7、9 月优势种主要是绿藻和蓝藻, 这些种类也指示了该水库中营养、中-富营养的水质特点。

3.2 浮游植物群落结构变化的影响因子

水温是浮游植物的分布结构重要的影响因子, 有些蓝藻和绿藻则仅在夏天水温较高时出现^[40], Cairns 研究发现 20℃ 左右时硅藻为主, 30℃ 绿藻为主, 40℃ 蓝藻为主^[41]。调查期间紧水滩水库 7 月和 9 月水温最高, 平均为 27.5℃ 和 30.9℃, 7 月和 9 月种类数最多且主要种类为绿藻、蓝藻。水温超过藻类生长的最适温度会引起藻类迅速死亡^[42], 7 月和 9 月藻类细胞丰度却较低, 可能水温已经超过大多数藻类生长的最适温度。轻度干扰易导致多样性高峰^[43], 7 月、9 月温度的提高可能是对藻类轻度干扰, 导致其均匀度高, 优势度低, 多样性高。

水体中营养盐特别是 N、P 是藻类生长最主要的元素^[44], 约以 16:1 的原子数比被吸收^[45], N/P 比值变化会影响浮游植物群落结构的改变, N/P 比失衡对硅藻的影响特别明显^[46]。紧水滩水库 5 月、7 月、9 月、11 月 N/P 比均值分别为 13、25、43 和 18.7, 高 N/P 比说明水体已高度磷限制, 7、9、11 月藻类组成及数量变化受 N/P 比影响较大。水体中 N、P 转化方式和效率不同, P 转化比 N 要慢, P 还与内源性释放有关, 短期内不会有大的变化, 但紧水滩水库 N、P 变化受降水影响, 库区降雨主要在 5—7 月, 调查期间 5 月降水较多, 水体中 N、P 都较高, 特别是 P, 大量泥沙随降水入库, 水体透明度非常低, 藻类生长慢, 细胞丰度和种类都较低。

3.3 紧水滩水库的水质评价

TSI(Σ) 及优势种、多样性指标显示调查期间紧水滩水库水质为中营养到中-富营养, 这可能与上游入库水体营养状况、采样点附近居民生活污水排放、库区周围植被破坏有关。历史数据显示 2003 年紧水滩水域水质状况较好, 列入地表水 GB3838—2002 标准的所测项目都达到 II 类水标准, 其中硝酸盐、亚硝酸盐达 I 类水标准, 因此对其水质继续监测和防治进一步污染是必要的。

致谢:感谢浙江省环境监测中心、丽水市环境监测站协助本研究的采样工作及提供理化监测数据。

References:

- [1] Jiang Y, Wang B, Yang H C, Liu Q R, Zhou Y L. Community structure of phytoplankton and its relation with water quality in Dongjiang River. *Ecology and Environmental Science*, 2011, 20(11): 1700-1705.
- [2] Zhang T, Li L, Song L R. Annual dynamics of phytoplankton abundance and community structure in the Xionghe Reservoir. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 2972-2980.
- [3] Cen J Y, Li Y, Lu S H, Hu H J. Structure characteristics of phytoplankton in Liuxi and Baiang river, China. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2010, 28(5): 561-567.
- [4] Qiu X C, Zhao H X. Community structure and biodiversity of phytoplankton in Shahu lake, Ningxia. *Journal of Hydroecology*, 2011, 32(1): 20-26.
- [5] Zhang J F, Feng J, Xie S L, Wang S H. Characteristics of phytoplankton community structures in Ningwu Subalpine lakes, Shanxi province.

- Journal of Lake Science, 2012, 24(1): 117-122.
- [6] Hu R, Lei L M, Han B P. Phytoplankton assemblage and seasonal dynamics in the large oligo trophic Xinfengjiang reservoir in southern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 4652-4664.
- [7] Zou H J, Hu R, Han B P. Structure and dynamics of phytoplankton community in Hedi reservoir. *South China Journal of Tropical and Subtropical Botany*. 2010, 18(2): 196-202.
- [8] Xue J Z, Bian J Y, Wang Q, Cai Z, Zhu X Y, Li Z Y, Li H F, Wu H X. Ecological features of phytoplankton community of Tangbahu reservoir in Xinjiang. *Arid Land Geography*, 2012, 35(2): 254-259.
- [9] Wang Y L, Cao Z M, Liu F. Seasonal variation of phytoplankton and analysis of nutritional status in Laoshan reservoir. *Water Resource Protection*, 2011, 27(1): 42-45.
- [10] Chen C H, Zhang J F, Ma P M, Jin K L, Li L G, Luan J G. Spatial-temporal distribution of phytoplankton and safety assessment of water quality in Xikeng reservoir. *Journal of Hydroecology*, 2012, 33(2): 32-39.
- [11] Bian S W, Yu H X, Ma X C, Wang J G, Ju Y F. Community structure of phytoplankton in Taoshan reservoir and trophic state of water. *Journal of Hydroecology*, 2012, 33(1): 53-57.
- [12] Meng H M. The actuality and analysis on reservoir water quality in inland China. *Shanxi Journal of Agricultural Science*, 2007, (3): 42-45.
- [13] Han B P. Reservoir ecology and limnology in China; a retrospective comment. *Journal of Lake Sciences*, 2010, 22(2): 151-160.
- [14] Gu J Q, Shi N, Xue G Y. Climatic variation of rainfall and wet days in Zhejiang. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*. 2002, 13(3): 322-329.
- [15] Shi N, Wang Y B, Ma L, Gu J Q. Regional characteristics on summer rainfall variation in Zhejiang province. *Bulletin of Science and Technology*. 2001, 17(5): 10-15.
- [16] Zheng J Y, Li M G, Mai M, Wu Y X. Hydrographic and sediment analyses of the Oujiang estuary. *Journal of Waterway and Harbor*. 2008, 29(1): 1-7.
- [17] He A L, Zhu S C. The eco-environment present status and protect of Jinshuitan reservoir watershed. *Henan Science*. 2004, 22(6): 879-881.
- [18] Jin X C, Tu Q Y, Zhang Z S. Criterion of eutrophication survey on lakes. 2nd ed. Beijing: China Environmental Science Press, 1990: 21-111.
- [19] Bi L J//Hu Z Y, ed. *Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis*. Tomus VIII. Chlorophyta. Chlorococcales. Beijing: Science Press, 2004: 1-198.
- [20] Hu H J, Wei Y X. *The Freshwater Algae of China: Systematics, Taxonomy and Ecology*. Beijing: Science Press, 2006: 23-948.
- [21] Hu H J. *The Biology of Water-Blooms Blue-Green Algae*. Beijing: Science Press, 2011: 63-94.
- [22] Qi Y Z. *Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis*. Tomus IV. Bacillariophyta. Centricae. Beijing: Science Press, 1995: 104-104.
- [23] Qi Y Z, Li J Y, Xie S Q, Zhang Z A. *Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis*. Tomus X. Bacillariophyta, Pennatae (Araphidiales, Raphidiales). Beijing: Science Press, 2004: 161-161.
- [24] Shi Z X. *Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis*. Tomus VI. Euglenophyta. Beijing: Science Press, 1999: 1-414.
- [25] Wei Y X. *Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis*. Tomus VII. Chlorophyta. Zygnematales. Mesotaniaceae; Desmidiaceae. Beijing: Science Press, 2003: 1-200.
- [26] Dasí M J, Miracle M R, Camacho A, et al. Summer phytoplankton assemblages across trophic gradients in hard-water reservoirs. *Hydrobiologia*. 1998. 369-370: 27-43.
- [27] Lange-Bertalot H. *Navicula sensu stricto 10 Genera Separated from Navicula sensu lato Frustulia*. *Diatoms of Europe 2*, 2001: 1-526.
- [28] Komárek J, Anagnostidis K. *Cyanoprokaryota*. 1. Teil: Chroococcales// Ettl H, Gärtner G, Heynig H, Mollenhauer D, eds. *Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1*. Gustav Fischer: Jena Stuttgart Lübeck Ulm, 1998: 548-548.
- [29] Komárek J, Anagnostidis K. *Cyanoprokaryota*. 2. Teil/2nd Part: Oscillatoriales// Büdel B, Krienitz L, Gärtner G, Schagerl M. eds. *Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2*. Elsevier/Spektrum: Heidelberg, 2005: 759.
- [30] Komárek J, Komarková J. Review of the European *Microcystis*-morphospecies (Cyanoprokaryotes) from nature. *Czech Phycology*, Olomouc, 2002, 2: 1-24.
- [31] Salnaso N, Morabito G, Mosello R, Garibaldi L, Simona M, Buzzi F, Ruggiu D. A synoptic study of phytoplankton in the deep lakes south of the Alps (lakes Garda, Iseo, Como, Lugano and Maggiore). *Journal of Limnology*, 2003, 62(2): 207-227.
- [32] Desikachary T V. *Cyanophyta*. New Delhi: Indian Council of Agricultural Research, 1959: 81-132.
- [33] Lothar G. *Cyanophyceae*. Mit 780 in den Text gedruckten Abbildungen. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H., 1932: 1-1196.
- [34] Compiled by Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. *Water and Wastewater Monitoring and Analysis Methods*. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002: 88-284.
- [35] Shannon C E, Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana II: University of Illinois Press, 1949: 1-54.
- [36] Carlson R E. A trophic state index for lake. *Limnology and Oceanography*, 1977, 22(2): 361-369.
- [37] Pan J Z, Xiong F, Li W C, Ke F. Structure, distribution and its impact factors of phytoplankton community in fuxian Lake. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5376-5386.
- [38] Reynolds C S. *The Ecology of Phytoplankton*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006: 362-389.
- [39] Liu J K. *Advanced Hydrobiology*. Beijing: Science Press, 2000: 176-198.
- [40] Yang D F, Chen S T, Hu J, Wu J P, Huang H. Magnitude order of the effect of light, water temperature and nutrients on phytoplankton growth .

Marine Environmental Science, 2007, 26(3): 201-207.

- [41] Wang Z H, Cui F Y, An Q. Influence of water temperature and trophic value on algae blooming in reservoirs. Ecology and Environment, 2005, 14(1): 10-15.
- [42] Shen G Y, Shi B Z. Marine Ecology. Xiamen: Xiamen University Press, 1990: 67-123.
- [43] Wu H J, Guo S L. The effect of hydrological regime on phytoplankton community. Advances in Water Science, 2001, 12(1): 51-55.
- [44] Sun C C, Wang Y S, Sun S, Zhang F Q. Analysis dynamics of phytoplankton community characteristics in Daya Bay. Acta Ecology Science, 2006, 26(12): 3948-3958.
- [45] Redfield A C. The biological control of chemical factors in the environment. American Scientist, 1958, 46(3): 205-221.
- [46] Qu K M, Chen B J, Yuan Y X. A preliminary study on influence of N and P on population constituent of planktonic diatoms in seawater. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(3): 445-448.

参考文献:

- [1] 江源, 王博, 杨浩春, 刘全儒, 周云龙. 东江干流浮游植物群落结构特征及与水质的关系. 生态环境学报, 2011, 20(11): 1700-1705.
- [2] 张婷, 李林, 宋立荣. 熊河水库浮游植物群落结构的周年变化. 生态学报, 2009, 29(6): 2972-2980.
- [3] 岑竞仪, 李扬, 吕颂辉, 胡鸿钧. 流溪河和滘江河从化段浮游植物群落结构研究. 武汉植物学研究, 2010, 28(5): 561-567.
- [4] 邱小琼, 赵红雪. 宁夏沙湖浮游植物群落结构及多样性研究. 水生态学杂志, 2011, 32(1): 20-26.
- [5] 张俊芳, 冯佳, 谢树莲, 王石会. 山西宁武亚高山湖群浮游植物群落结构特征. 湖泊科学, 2012, 24(1): 117-122.
- [6] 胡韧, 雷腊梅, 韩博平. 南亚热带大型贫营养水库浮游植物群落结构与季节变化——出新丰江水库为例. 生态学报, 2008, 28(10): 4652-4664.
- [7] 邹红菊, 胡韧, 韩博平. 鹤地水库浮游植物群落的结构与动态. 热带亚热带植物学报, 2010, 18(2): 196-202.
- [8] 薛俊增, 边佳胤, 王琼, 蔡桢, 朱新英, 李周永, 李海峰, 吴惠仙. 新疆塘巴湖水浮游植物群落组成特征. 干旱地理, 2012, 35(2): 254-259.
- [9] 王艳玲, 曹正梅, 刘峰. 崂山水库浮游植物的季节变化及水体营养状态. 水资源保护, 2011, 27(1): 42-45.
- [10] 陈春浩, 张俊芳, 马沛明, 金可礼, 李良庚, 栾建国. 茜坑水库浮游植物时空分布及水质风险评价. 水生态学杂志, 2012, 33(2): 32-39.
- [11] 卞少伟, 于洪贤, 马成学, 王建国, 鞠永福. 桃山水库浮游植物群落结构及水质营养状态评价. 水生态学杂志, 2012, 33(1): 53-57.
- [12] 孟红明. 中国内地水库水质现状及原因分析. 陕西农业科学, 2007, 3: 42-45.
- [13] 韩博平. 中国水库生态学研究的回顾与展望. 湖泊科学, 2010, 22(2): 151-160.
- [14] 顾骏强, 施能, 薛根元. 近40年浙江省降水量、雨日的气候变化. 应用气象学报, 2002, 13(3): 322-329.
- [15] 施能, 王永波, 马丽, 顾俊强. 浙江省夏季降水的区域特征. 科技通报, 2001, 17(5): 10-15.
- [16] 郑敬云, 李孟国, 麦苗, 吴以喜. 瓯江口水文泥沙特征分析. 水道港口, 2008, 29(1): 1-7.
- [17] 何爱兰, 朱圣潮. 紧水滩水库流域生态环境现状与保护. 河南科学, 2004, 22(6): 879-881.
- [18] 金相灿, 屠清瑛, 章宗涉. 湖泊富营养化调查规范(第二版). 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 21-111.
- [19] 毕列爵//胡征宇主编. 中国淡水藻志_第八卷_绿藻门_绿球藻目(上). 北京: 科学出版社, 2004: 1-198.
- [20] 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: 23-948.
- [21] 胡鸿钧. 水华蓝藻生物学. 北京: 科学出版社, 2011: 63-94.
- [22] 齐雨藻主编. 中国淡水藻志_第四卷_硅藻门_中心纲. 北京: 科学出版社, 1995: 104-104.
- [23] 齐雨藻, 李家英, 谢淑琦, 张子安. 中国淡水藻志_第十卷_硅藻门_羽纹纲_(无壳缝目, 拟壳缝目). 北京: 科学出版社, 2004: 161-161.
- [24] 施之新. 中国淡水藻志_第六卷_裸藻门. 北京: 科学出版社, 1999, 1-414.
- [25] 魏印心. 中国淡水藻志_第七卷_绿藻门_双星藻目_中带鼓藻科_鼓藻目_鼓藻科. 北京: 科学出版社, 2003: 1-200.
- [34] 国家环境保护总局编. 水和废水监测分析方法_(第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 88-284.
- [37] 潘继征, 熊飞, 李文朝, 柯凡. 抚仙湖浮游植物群落结构、分布及其影响因子. 生态学报, 2009, 29(10): 5376-5386.
- [39] 刘建康. 高级水生生物学. 北京: 科学出版社, 2000: 176-198.
- [40] 杨东方, 陈生涛, 胡均, 吴建平, 黄宏. 光照、水温和营养盐对浮游植物生长重要影响大小的顺序. 海洋环境科学, 2007, 26(3): 201-207.
- [41] 王志红, 崔福义, 安全. 水温与营养值对水库藻华态势的影响. 生态环境, 2005, 14(1): 10-15.
- [42] 沈国英, 施并章. 海洋生态学. 厦门: 厦门大学出版社, 1990: 67-123.
- [43] 邹红娟, 郭生练. 水库水文情势与浮游植物群落结构. 水科学进展, 2001, 12(1): 51-55.
- [44] 孙翠慈, 王友绍, 孙松, 张凤琴. 大亚湾浮游植物群落特征. 生态学报, 2006, 26(12): 3948-3958.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 3 February, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecosystem Service Simulation and Management

- Securing Natural Capital and Human Well-Being: Innovation and Impact in China Gretchen C. Daily, Ouyang Zhiyun, Zheng Hua, et al (677)
- Establishment of ecological compensation mechanisms in China: perspectives and strategies OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, YUE Ping (686)
- Regional cooperation mechanism and sustainable livelihoods: a case study on paddy land conversion program (PLCP) LIANG Yicheng, LIU Gang, MA Dongchun, et al (693)
- Progress and perspectives of ecosystem services management ZHENG Hua, LI Yifeng, OUYANG Zhiyun, et al (702)
- Ecosystem services valuation and its regulation in Baiyangdian basin: Based on InVEST model BAI Yang, ZHENG Hua, ZHUANG Changwei, et al (711)
- Identification of hotspots for biodiversity conservation in the Wenchuan earthquake-hit area XU Pei, WANG Yukuan, YANG Jinfeng, et al (718)
- Effects of land use change on ecosystem services: a case study in Miyun reservoir watershed LI Yifeng, LUO Yuechu, LIU Gang, et al (726)
- Impacts of forest eco-benefit tax on industry price levels in Shaanxi Province, China LI Jie, LIU Zhengnan, HAN Xiuhua (737)
- Spatial characteristics of soil conservation service and its impact factors in Hainan Island RAO Enming, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (746)
- Perception and attitudes of local people concerning ecosystem services of culturally protected forests GAO Hong, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (756)
- Standard of payments for ecosystem services in Sanjiangyuan Natural Reserve LI Yifeng, LUO Yuzhu, ZHENG Hua, et al (764)
- Natural landscape valuation of Wulingyuan Scenic Area in Zhangjiajie City CHENG Cheng, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (771)
- Satellite-based monitoring and appraising vegetation growth in national key regions of ecological protection HOU Peng, WANG Qiao, FANG Zhi, et al (780)
- Spatial Pattern of Water Retention in Dujiangyan County FU Bin, XU Pei, WANG Yukuan, et al (789)
- Spatial distribution of carbon storage function and seismic damage in wenchuan earthquake stricken areas PENG Yi, WANG Yukuan, FU Bin, et al (798)

Frontiers and Comprehensive Review

- The Porter Hypothesis: a literature review on the relationship between eco-innovation and environmental regulation DONG Ying, SHI Lei (809)
- Ecological protection and well-being LI Huimei, ZHANG Anlu (825)
- An overview of the updated classification system and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi WANG Yutao, XIN Guorong, LI Shaoshan (834)

Autecology & Fundamentals

- Evaporation paradox in the northern and southern regions of the Qinling Mountains JIANG Chong, WANG Fei, LIU Sijie, et al (844)
- The diet composition and trophic niche of main herbivores in the Inner Mongolia Desert steppe LIU Guihe, WANG Guojie, WANG Shiping, et al (856)
- Abstraction and analysis of vegetation information based on object-oriented and spectra features CUI Yijiao, ZHU Lin, ZHAO Lijuan (867)
- Hyperspectral estimation models for photosynthetic pigment contents in leaves of *Eucalyptus* ZHANG Yonghe, CHEN Wenhui, GUO Qiaoying, et al (876)
- Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of *Pterocarya stenoptera* seedlings to submergence and drought alternation WANG Zhenxia, WEI Hong, LÜ Qian, et al (888)

Effect of flooding stress on growth and photosynthesis characteristics of <i>Salix integra</i>	ZHAO Hongfei, ZHAO Yang, ZHANG Chi, et al (898)
Water consumption of pear jujube trees (<i>Ziziphus jujuba</i> Mill.) and its correlation with trunk diameter during flowering and fruit development periods	ZHANG Linlin, WANG Youke, HAN Lixin, et al (907)
Estimation of nitrogen nutrient index on SPAD value of top leaves in wheat	ZHAO Ben, YAO Xia, TIAN Yongchao, et al (916)
Population, Community and Ecosystem	
Carbon and nitrogen storage under different plantations in subtropical south China	WANG Weixia, SHI Zuomin, LUO Da, et al (925)
Impact on water and soil conservation of different bandwidths in low-efficiency cypress forest transformation	LI Yanqiong, GONG Gutang, ZHENG Shaowei, et al (934)
Seasonal changes of phytoplankton community structure in Jinshuitan Reservoir, Zhejiang, China	ZHANG Hua, HU Hongjun, CHAO Aimin, et al (944)
Winter carrying capacity and the optimum population density of wild boar in fenghuang Mountains National Nature Reserve of Heilongjiang Province	MENG Gentong, ZHANG Minghai, ZHOU Shaochun (957)
Diversity of ground-dwelling spider community in different restoring times of post-fire forest, Cangshan Mountain, Yunnan Province	MA Yanyan, LI Qiao, FENG Ping, et al (964)
Landscape, Regional and Global Ecology	
Drought characteristics in the shiyang river basin during the recent 50 years based on a composite index	ZHANG Tiaofeng, ZHANG Bo, WANG Youheng, et al (975)
Land use spatial distribution modeling based on CLUE-S model in the Huangshui River Basin	FENG Shichao, GAO Xiaohong, GU Juan, et al (985)
Research Notes	
Patterns of terrestrial anthropogenic impacts on coastal wetlands in three city clusters in China	WANG Yijie, YU Shen (998)
Eutrophication development and its key affected factors in the Yanghe Reservoir	WANG Liping, ZHENG Binghui (1011)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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 3 期 (2013 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 3 (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