

# 浙江5座水源水库浮游动物调查及水质评价

张清明, 张娜, 洪佳, 郝晓伟, 李斌, 吴静

(浙江省水利科技推广与发展中心, 浙江 杭州 310012)

**摘要:**为研究浙江5座水源水库浮游动物群落结构特征及水质状况,分别于2014年8月(丰水期)和12月(枯水期)对浮游动物的群落组成、优势种、密度、生物量和多样性进行了调查分析。共鉴定出浮游动物53种,包括原生动物14种、轮虫18种、枝角类9种、桡足类12种,优势种为台湾温剑水蚤(*Thermocyclopstaihokuensis*)。水源水库物种年均密度和生物量分别为1088.85 ind./L和1.1 mg/L,丰水期(1869.49 ind./L和1.85 mg/L)明显高于枯水期(308.22 ind./L和0.35 mg/L)。运用香农威纳指数 $H'$ 、Margalef物种丰富度指数 $d_M$ 和Pielou均匀度指数 $J$ 对5座中型水源水库综合评价,结果显示总体水质为清洁-轻污染水平,丰水期水质明显好于枯水期。

**关键词:**水源水库;浮游动物;群落特征;水质评价

中图分类号:X824

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2016)03-0061-05

## Investigation of zooplankton and water quality assessment in five reservoirs of water source in Zhejiang

ZHANG Qingming, ZHANG Na, HONG Jia, HAO Xiaowei, LI Bin, WU Jing

(Water Science and Technology Promotion and Development Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310012, China)

**Abstract:** In order to study the structure feature of zooplankton community and the status of water quality of five water reservoirs in Zhejiang, the paper conducted preliminary surveys on species distribution, dominated species, density, biomass and species diversity of five reservoirs in August (high water level period) and December (low water level period) of 2014. It identified a total of 53 species which include 14 kinds of protozoa, 18 kinds of rotifera, 9 kinds of cladocera and 12 kinds of copepoda. The primary dominant species in each reservoir is *thermocyclopstaihokuensis*. The annual average density of zooplankton is 1088.85 ind./L, while the biomass is 1.1mg/L. The density and biomass in wet period are 1869.49 ind./L and 1.85mg/L respectively which are higher than that (308.22 ind./L and 0.35 mg/L) in drought period. Shannon - wiener index, Margalef index and Pielou index were applied to evaluate the water quality of five reservoirs. The results showed that the status of water quality is from clean to light pollution. The water quality in wet period is better than that in drought period.

**Key words:** water source reservoir; zooplankton; community feature; assessment of water quality

## 1 研究背景

浮游动物在天然水体生物链中属于初级消费者,其种类和数量的变化直接影响到其他水生生物的分布和群落特征,同时对水域生态系统的物质循环、能量流动及信息传递等各生态过程具有至关重要的作用<sup>[1]</sup>。浮游动物一般生活史短,受环境变化影响大,其种类组成与分布可作为水环境评价和水体营

养状况的指示物种<sup>[2]</sup>。浙江省由于特殊的地理环境,水源地为水库供水为主的地区占全省51%,供给人口占62%,水库型水源地年供水量占水源地供水总量的67%<sup>[3]</sup>,其中中型水库占水源地水库的52%。

目前,对浙江省中型水库水源地浮游生物群落生态研究的资料缺乏。因此,选取具有代表性的典型中型水源水库进行浮游动物调查及水质生物学

收稿日期:2015-08-25; 修回日期:2016-01-18

基金项目:浙江省水利科技计划项目(RA1405)

作者简介:张清明(1969-),男,福建三明人,硕士,教授,主要从事水文、水资源管理保护工作。

通讯作者:张娜(1985-),女,云南红河人,硕士,工程师,主要从事水资源、水生态监测工作。

评价,为浙江省水源水库水环境监测与保护提供理论依据和参考资料。

## 2 材料与方 法

### 2.1 采样点及采样时间设置

选取浙江省具有代表性的5座中型水库布设监测(见表1),每个水库分别在库首、库中、库尾布设监测点3处。于2014年8月(丰水期)和12月(枯水期)2个时期进行浮游动物群落调查。

表1 5座中型水源水库基本情况

水库名称	所在地	集水面 积/km <sup>2</sup>	正常库 容/10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	供水范围
黄坛口	衢州	2388	7950	衢州中心城区
老虎潭	湖州	110	7207	湖州城区及埭溪 沿岸地区
金兰	金华	270	6800	金华城区
黄村	丽水	150.7	1195	丽水市区
虹桥	舟山	13.4	1015	定海城区

### 2.2 样品采集与处理

使用5L有机玻璃采水器在各采样点的表、中、底层分别采集2次水样并进行混合。原生动物和轮虫定量样品的采集为取1L混合水样放入1000mL容器瓶中,加鲁哥试液固定。枝角类和桡足类定量样品的采集为取20L混合水样经25号浮游生物网过滤后,放入100mL标本瓶中,加福尔马林固定。

依据《淡水浮游生物研究方法》,采用镜检法对浮游动物进行种类鉴定和计数,并换算成密度和生物量<sup>[4]</sup>:原生动物采用0.1mL浮游生物计数框,均匀抽取0.1mL水样进行鉴定及计数,然后根据原生动物体型的相近几何形状测量其体积,转换成生物量;轮虫、枝角类和桡足类均沉淀后用1mL浮游生物计数框进行全沉淀计数,利用相关软件计算其生物密度和生物量。

### 2.3 数据处理和多样性分析

#### 2.3.1 优势度(Y):

$$Y = \left( \frac{n_i}{N} \right) f_i \quad (1)$$

式中:优势度Y表示浮游动物群落中某一物种在其中所占优势的程度;N为所有种的个体总数; $n_i$ 为物种i的个体数; $f_i$ 为第i种藻类的出现频率,即该种出现的样方数与总样方之比;优势种根据优势度Y计算结果确定,通常 $Y > 0.02$ 的种定为优势种<sup>[5]</sup>。

#### 2.3.2 Shannon-Weiner 生物多样性指数( $H'$ )<sup>[6]</sup>:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i \quad (2)$$

式中: $P_i$ 为第i种的个体数与总个体数比值。评价标准: $H' > 3$ ,水体为清洁或轻污染; $3 > H' > 1$ ,水体为中污染; $1 > H' > 0$ ,水体为重污染。

#### 2.3.3 Margalef 物种丰富度指数( $D_m$ )<sup>[7]</sup>:

$$D_m = \frac{S-1}{\ln N} \quad (3)$$

式中:S为总的种类数。评价标准: $D_m > 3$ ,水体为清洁或轻污染; $3 > D_m > 1$ ,水体为中污染; $1 > D_m > 0$ ,水体为重污染。

#### 2.3.4 Pielou 均匀度指数(J)<sup>[8]</sup>:

$$J = \frac{H'}{\ln S} \quad (4)$$

评价标准: $0.8 > J > 0.5$ ,水体为清洁或轻污染; $0.5 > J > 0.3$ ,水体为中污染; $0.3 > D_m > 0$ ,水体为重污染。

## 3 结果与分析

### 3.1 浮游动物群落结构分析

3.1.1 种类组成与分布 2次调查共鉴定出浮游动物53种,其中丰水期46种、枯水期25种,种类包括原生动物14种、轮虫18种、枝角类9种、桡足类12种。5座中型水源水库中,虹桥水库种类最多34种;其次为老虎潭水库和黄村水库,各26种;金兰水库22种;黄坛口水库最少18种。

各水库浮游动物种类组成轮虫最多,其次为原生动物,枝角类和桡足类最少。水库浮游动物种类组成及分布特征见图1。

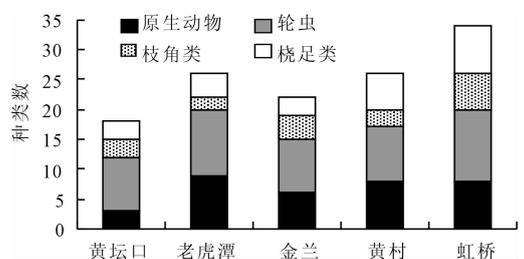


图1 水库浮游动物种类数

3.1.2 浮游动物优势种 根据浮游动物优势度计算,丰水期黄坛口水库优势种9种、老虎潭水库7种、金兰水库8种、黄村水库10种、虹桥水库11种;枯水期黄坛口水库6种、老虎潭7种、金兰水库6种、黄村水库5种、虹桥水库7种。5座水库都出现的优势种丰水期为原生动物门王氏铃壳虫(Tintin-

nopsiswangi)、枝角类长趾秀体溞(*D. Leuchtenbergianum*)和桡足类无节幼体(*nauplius*);枯水期为桡足类无节幼体、枝角类台湾温剑水蚤(*Thermocyclop-*

*staihokuensis*)和轮虫类广布多肢轮虫(*Polyarthra vulgaris*)。5座中型水源水库浮游动物优势种及优势度见表2。

表2 5座水库浮游动物优势种

水库	黄坛口	老虎潭	金兰	黄村	虹桥
丰水期	广布多肢轮虫 <sup>1</sup> (0.26)	无节幼体 <sup>6</sup> (0.30)	台湾温剑水蚤 <sup>5</sup> (0.41)	台湾温剑水蚤 <sup>5</sup> (0.24)	无节幼体 <sup>6</sup> (0.25)
	王氏似铃壳虫 <sup>2</sup> (0.21)	裂痕龟纹轮虫 <sup>9</sup> (0.12)	无节幼体 <sup>6</sup> (0.16)	龟纹轮虫属 <sup>13</sup> (0.15)	台湾温剑水蚤 <sup>5</sup> (0.17)
	螺形龟甲轮虫 <sup>3</sup> (0.19)	台湾温剑水蚤 <sup>5</sup> (0.12)	筒弧象鼻溞 <sup>10</sup> (0.09)	无节幼体 <sup>6</sup> (0.13)	裂痕龟纹轮虫 <sup>9</sup> (0.09)
	长肢秀体溞 <sup>4</sup> (0.05)	长肢秀体溞 <sup>4</sup> (0.11)	长肢秀体溞 <sup>4</sup> (0.09)	长肢秀体溞 <sup>4</sup> (0.08)	汤匙华哲水蚤 <sup>16</sup> (0.06)
	台湾温剑水蚤 <sup>5</sup> (0.03)	王氏似铃壳虫 <sup>2</sup> (0.10)	透明温剑水蚤 <sup>12</sup> (0.08)	王氏似铃壳虫 <sup>2</sup> (0.07)	长肢秀体溞 <sup>4</sup> (0.05)
	无节幼体 <sup>6</sup> (0.03)	筒弧象鼻溞 <sup>10</sup> (0.07)	螺形龟甲轮虫 <sup>3</sup> (0.06)	旋回侠盗虫 <sup>14</sup> (0.07)	等刺异尾轮虫 <sup>17</sup> (0.03)
	尖尾疣毛轮虫 <sup>7</sup> (0.02)	球砂壳虫 <sup>11</sup> (0.05)	王氏似铃壳虫 <sup>2</sup> (0.03)	裂痕龟纹轮虫 <sup>9</sup> (0.04)	王氏似铃壳虫 <sup>2</sup> (0.03)
	透明薄皮溞 <sup>8</sup> (0.02)	广布多肢轮虫 <sup>1</sup> (0.03)		尖尾疣毛轮虫 <sup>7</sup> (0.03)	筒弧象鼻溞 <sup>10</sup> (0.03)
枯水期	瘤棘砂壳虫 <sup>9</sup> (0.02)			广布多肢轮虫 <sup>1</sup> (0.02)	球砂壳虫 <sup>11</sup> (0.02)
				卵形彩胃轮虫 <sup>15</sup> (0.02)	广布多肢轮虫 <sup>1</sup> (0.02)
					暗小异尾轮虫 <sup>18</sup> (0.02)
	无节幼体 <sup>6</sup> (0.45)	无节幼体 <sup>6</sup> (0.28)	透明温剑水蚤 <sup>12</sup> (0.20)	广布多肢轮虫 <sup>1</sup> (0.23)	无节幼体 <sup>6</sup> (0.61)
	台湾温剑水蚤 <sup>5</sup> (0.13)	筒弧象鼻溞 <sup>10</sup> (0.27)	淡水筒壳虫 <sup>22</sup> (0.17)	无节幼体 <sup>6</sup> (0.18)	广布多肢轮虫 <sup>1</sup> (0.11)
	广布多肢轮虫 <sup>1</sup> (0.10)	广布多肢轮虫 <sup>1</sup> (0.09)	无节幼体 <sup>6</sup> (0.12)	淡水筒壳虫 <sup>22</sup> (0.16)	汤匙华哲水蚤 <sup>16</sup> (0.06)
	王氏似铃壳虫 <sup>2</sup> (0.04)	台湾温剑水蚤 <sup>5</sup> (0.06)	广布多肢轮虫 <sup>1</sup> (0.11)	透明溞 <sup>20</sup> (0.06)	疣毛轮虫 <sup>23</sup> (0.05)
	螺形龟甲轮虫 <sup>3</sup> (0.04)	透明溞 <sup>20</sup> (0.05)	台湾温剑水蚤 <sup>5</sup> (0.10)	台湾温剑水蚤 <sup>5</sup> (0.02)	台湾温剑水蚤 <sup>5</sup> (0.04)
剑水蚤 <sup>19</sup> (0.02)	陀螺侠盗虫 <sup>21</sup> (0.03)	筒弧象鼻溞 <sup>10</sup> (0.07)		筒弧象鼻溞 <sup>10</sup> (0.04)	
	汤匙华哲水蚤 <sup>16</sup> (0.02)			透明溞 <sup>19</sup> (0.03)	

注:()为优势度 $y$ 值;1. *Polyarthra vulgaris*;2. *Tintinnopsiswangi*;3. *Keratellacochelearis*; 4. *Leuchtenbergianum*;5. *Thermocyclopstaihokuensis*; 6. *nauplius*; 7. *Synchaetastylata*; 8. *Leptodorakindti*;9. *Diffugia tuberspinifera*; 10. *Bcoregoni*; 11. *Diffugiaglobulosa*; 12. *Thermocyclopshyalinus*; 13. *Anuraeopsis sp.*; 14. *Strobilidiumgrans*; 15. *Chromogaster ovalis*;16. *Sinocalanusdorrii*;17. *Trichocerca similis*;18. *Trichocercapusilla*;19. *Cyclopoida sp.*;20. *Daphnia hyalina*;21. *Strobilidiumvelox*;22. *Tintinnidium fluviatile*;23. *Synchaeta sp.*。

3.1.3 浮游动物密度与生物量 5座水源水库浮游动物丰水期密度平均值为1 869.49 ind./L,波动范围为300.38~1 960.47 ind./L,密度分布为金兰>黄村>老虎潭>虹桥>黄坛口;枯水期密度平均值为308.22 ind./L,波动范围为65~591.7 ind./L,密度分布为虹桥>老虎潭>金兰>黄村>黄坛口。生物量丰水期平均值为1.85 mg/L,波动范围为1.29~3.07 mg/L,生物量分布为虹桥>黄村>老虎潭>黄坛口>金兰;枯水期平均值为0.35 mg/L,波动范围为0.08~0.60mg/L,生物量分布为虹桥>金兰>黄村>老虎潭>黄坛口。

### 3.2 浮游动物多样性及水质评价

3.2.1 生物多样性 5座中型水源水库丰水期浮游动物 Shannon-wiener 多样性指数  $H'$  均值为3.30,最大值为虹桥水库,最小值为金兰水库,波动范围为2.86~3.76;枯水期  $H'$  均值为2.68,最大值为黄村水库,最小值为虹桥水库,波动范围为2.18

~3.12。Margalef 物种的丰富度指数  $d_M$  丰水期均值为3.30,最大值为黄村水库,最小值为黄坛口水库,波动范围为2.84~3.32;枯水期  $H'$  均值为2.39,最大值为黄村水库,最小值为黄坛口水库,波动范围为2.05~3.15。

Pielou 均匀度指数  $J$  丰水期均值为1.06,最大值为黄村水库,最小值为金兰水库,波动范围为0.94~1.15;枯水期  $H'$  均值为1.09,最大值为金兰水库和黄村水库,最小值为虹桥水库,波动范围为0.83~1.18。5座水库生物多样性分布见图2。

3.2.2 水质评价 分别利用 Shannon-wiener 多样性指数  $H'$ 、Margalef 物种丰富度指数  $d_M$ 、Pielou 均匀度指数  $J$  对5座中型水源水库进行水质评价,评价标准见表3,评价结果显示5座水库水质基本处于轻污染-清洁状态,其中丰水期水质明显好于枯水期,根据3种指数最终判断黄村水库和虹桥水库水质为清洁,其余为轻污染。

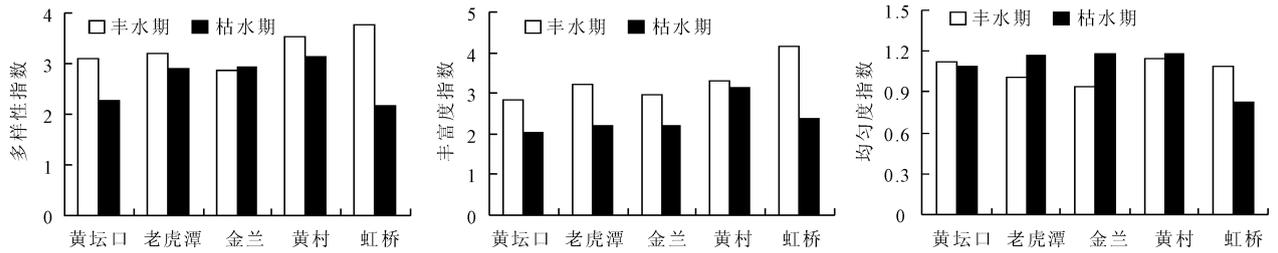


图2 5座水库生物指数特征

表3 5座水源水库水质评价

评价指数	多样性指数			丰富度指数			均匀度指数			综合评价
	丰水期	枯水期	平均	丰水期	枯水期	平均	丰水期	枯水期	平均	
黄坛口	轻污染	中污染	轻污染	轻污染	轻污染	轻污染	清洁	清洁	清洁	轻污染
老虎潭	轻污染	轻污染	轻污染	清洁	轻污染	轻污染	清洁	清洁	清洁	轻污染
金兰	轻污染	轻污染	轻污染	轻污染	轻污染	轻污染	清洁	清洁	清洁	轻污染
黄村	清洁	轻污染	轻污染	清洁	清洁	清洁	清洁	清洁	清洁	清洁
虹桥	清洁	中污染	轻污染	清洁	轻污染	清洁	清洁	清洁	清洁	清洁

## 4 讨论

### 4.1 浮游动物群落特征及影响因素

影响浮游动物种类组成和数量分布的因子众多,不同环境中的其关键影响因子也有所不同。水温是影响浮游动物生长发育、群落组成和数量变化等最重要的环境因子之一,也是影响浮游动物分布的重要因素<sup>[9]</sup>。如上海滴水湖浮游动物的种类数、现存量随着温度的升高而增加<sup>[10]</sup>,淀山湖浮游动物种类数与水温呈显著正相关<sup>[11]</sup>。本研究的5座水库中,浮游动物种类数、密度和生物量均表现为丰水期(8月份) > 枯水期(12月份),因此温度可能是决定浙江5座水源水库浮游动物群落特征的关键影响因子之一。除了温度,食物对浮游动物的生长发育亦具有重要意义。食物对于浮游动物的影响可能比温度复杂得多,一方面是因为食物的多样性,另一方面是由于不同食物的营养价值差异<sup>[12]</sup>。在浙江5座水源水库中,作为食物的浮游植物多样性和现存量在丰水期明显偏高,这对丰水期浮游动物较高的现存量起到了必要的条件<sup>[13]</sup>。另外,丰水期由于降水、地表径流等途径,携带了浮游植物生长所必须的N、P等营养元素,在一定程度上对浮游动物的数量变化也起到了间接地影响。

除了非生物环境因子对浙江5座水源水库的浮游动物群落产生重要影响外,直接或间接的生物因子也是不可忽视的影响因素。众多研究表明,鱼类

摄食是导致浮游动物小型化的重要原因<sup>[12]</sup>,浙江5座水源水库中小型浮游动物种数所占比例高达60.38%,这可能与水库中大量存在的鲢鳙鱼有关。因鲢鳙等大多优先捕食大型甲壳浮游动物如枝角类等,间接控制了小型浮游动物的竞争者和捕食者,从而在一定程度上提升了小型浮游动物的多样性水平。除了鱼类的“捕食效应”,大型沉水植物的“庇护效应”也非常重要。在浅水湖泊,当沉水植物覆盖率达到20%以上时,鱼类捕食对浮游动物群落结构仅有较小的影响<sup>[14]</sup>。但对于浙江5座水源水库来讲,由于水深较大,水库普遍缺少沉水植物,致使浮游动物受鱼类的“捕食效应”可能更加显著。

### 4.2 水质综合评价

浮游动物不同类群对环境的适应性不同,种间差异明显,因此其数量、结构、优势种及指示种的变化常用于间接反映水环境状况和健康状态<sup>[15]</sup>。利用浮游动物的种类、数量通过计算得到的生物指数用于浙江5座中型水源水质评价,不同指数的评价结果略有不同。Pielou均匀度指数 $J$ 综合考虑了种类数、总个体数及每种物种的个体数,数值越大,指示环境越稳定。5座中型水库 $J$ 值除虹桥水库外,比同纬度的庐山西海<sup>[5]</sup>及大庆市水源红旗泡水库高<sup>[16]</sup>,原因是作为重要的水源地,近年来浙江省在重要水源水库周边严格执行相应的保护政策及措施,严格限制水库周边排污、土建、挖沙、伐木等直接人为影响因素,因此水环境稳定。Shannon - wiener

多样性指数  $H'$  及 Margalef 物种丰富度指数  $d_M$  评价显示 5 座水库水质基本处于轻污染 - 清洁状态,且丰水期水质明显好于枯水期。主要原因是丰水期处于高温雨季,水库补给量大,库容增大,各种水生植物生长茂盛,光合作用增强,水体中营养物种需求量大,因此水质较好;枯水期降雨量减少,且大量水生生物处于死亡或休眠期,水质较差。

单纯的采用生物学评价方法,不一定能真实的反应水质状况,一方面由于浮游动物的采集具有一定的随机性,通常是某一特定时间、特定方位的多样性特征<sup>[17]</sup>;另一方面,生物指数往往本身具有一定局限性,如 Shannon - wiener 多样性指数默认各物种在种群中地位平等,但忽略了不同种类对污染的忍耐力及敏感性差异<sup>[18]</sup>。在实际水库管理和研究中,应综合评价各项指标才能更全面、更客观、更符合实际情况说明问题。5 座中型水库作为饮用水源为主要功能的水库,水质还需进一步改善,因此在今后的管理中应继续加强营养元素 N/P 的排放,其次要减少水土流失和水库周围土木作业;此外严格控制旅游业发展规模。

## 5 结 论

本文利用浙江省 5 座水库 2 次浮游动物监测结果对该水源水库群进行水质生物学评价,结论如下:

(1) 2 次监测期间共发现浮游动物 53 种,其中原生动物门 14 种、轮虫 18 种、枝角类 9 种、桡足类 12 种。利用优势度计算结果发现丰水期主要优势种有台湾温剑水蚤 (*Thermocyclopstaihuensis*)、王氏似铃壳虫 (*Tintinnopsiswangi*)、广布多肢轮虫 (*Polyarthra vulgaris*) 及无节幼体,枯水期主要优势种有无节幼体、筒弧象鼻蚤 (*B. coregoni*)、广布多肢轮虫 (*Polyarthra vulgaris*)、透明温剑水蚤 (*Thermocyclophyalinus*)。

(2) 调查期间 5 座水源水库浮游动物年均密度为 1 088.85 ind./L,其中丰水期为 1 869.49 ind./L,枯水期为 308.22 ind./L;年均生物量为 1.1 mg/L,其中丰水期为 1.85 mg/L,枯水期为 0.35 mg/L。5 座水库密度和生物量丰水期均远远大于枯水期。

(3) 利用多样性指数、物种丰富度指数和均匀度指数对 5 座水库进行综合评价,发现多样性指数、物种丰富度指数评价结果较一致,丰水期水质明显好于枯水期,总体水质为清洁 - 轻污染水平。

## 参考文献:

- [1] 张婷,马行厚,王桂苹,等.鄱阳湖国家级自然保护区浮游生物群落结构及空间分布[J].水生生物学报,2014,38(1):158-165.
- [2] 王晓清,曾亚英,吴含含,等.湘江干流浮游生物群落结构及水质状况分析[J].水生生物学报,2013,37(3):488-494.
- [3] 王磊,俞建军.浙江省水库饮用水水源地保护政策机制初探[J].浙江水利科技,2013,41(3):10-13.
- [4] 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.
- [5] 周游,周彦锋,丁娜,等.庐山西海夏秋季浮游动物群落结构与水质评价[J].水生态杂志,2014,35(3):26-33.
- [6] 徐兆礼,王云龙,陈亚瞿,等.长江口最大浑浊带浮游动物的生态研究[J].中国水产科学,1995,2(1):39-47.
- [7] Ulanowicz R E. Information theory in ecology[J]. Computers & Chemistry,2001,25(4):393-399.
- [8] Pielou E C. Ecological Diversity[M]. New York: John Wiley,1975.
- [9] Sommer U. Plankton ecology, succession in plankton communities [M]. Berlin: Springer - Verlag,1989.
- [10] 林青,由文辉,徐凤洁,等.滴水湖浮游动物群落结构及其与环境因子的关系[J].生态学报,2014,34(23):6918-6929.
- [11] 刘一.淀山湖浮游动物群落结构研究[D].上海:华东师范大学,2010.
- [12] 杨宇峰,黄祥飞.浮游动物生态学研究进展[J].湖泊科学,2000,12(1):81-89.
- [13] 赵帅营,韩博平.基于个体大小的后生浮游动物群落结构分析——以广东星湖为例[J].生态学报,2006,26(8):2646-2654.
- [14] Schriver P, Bogestrand J, Jeppesen E et al. Impact of submerged macrophytes on fish - zooplankton - phytoplankton interactions: large scale enclosure experiments in a shallow eutrophic lake [J]. Freshwater Biology, 1995, 33(2):255-270.
- [15] 赵宝林,刘茂奇,马成学,等.红旗泡水库夏季浮游动物调查及水质评价[J].水产学杂志,2014,27(6):51-54.
- [16] 刘歆璞,王丽卿,张宁,等.青草沙水库后生浮游动物群落结构及其与环境因子的关系[J].生态学杂志,2013,32(5):1238-1248.
- [17] 张昊,于洪贤,马成学,等.嫩江下游春、秋两季浮游动物数量特征与群落结构分析[J].东北林业大学学报,2013,41(5):131-135.
- [18] 王寿兵.对传统生物多样性指数的质疑[J].复旦学报(自然科学版),2003,42(6):867-868.