

湖北省西凉湖浮游动物群落周年动态变化及其与环境因子的关系*

吴利¹, 冯伟松², 张堂林², 徐昊³, 余育和^{2**}

(1: 合肥师范学院生命科学系, 合肥 230061)

(2: 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

(3: 皖南医学院药理学系, 芜湖 241000)

摘要: 2007年11月至2008年10月对西凉湖浮游动物进行了4次调查, 共检出浮游动物224种, 其中原生动物112种, 轮虫90种, 枝角类15种, 桡足类7种。秋季浮游动物物种数最多, 为111种, 冬季最少, 为75种, 春季和夏季分别为107种和88种。冬季浮游动物丰度最高, 为126731 ind./L, 春季最低, 为71356 ind./L, 夏季和秋季分别为109743 ind./L和107650 ind./L, 原生动物和轮虫的丰度是西凉湖浮游动物丰度的主体。浮游动物群落结构和环境因子的典型对应分析表明, 水温、pH、水深、总磷、化学需氧量和溶解氧是与西凉湖浮游动物群落结构相关性较强的环境因子。冬季浮游动物群落结构与总磷、化学需氧量和溶解氧呈显著正相关; 春季、夏季、秋季三个季节的浮游动物群落结构与pH、水温和水深呈显著正相关, 表明西凉湖浮游动物群落结构的季节变化与水温及营养状况密切相关。

关键词: 浮游动物; 群落结构; 水质; 西凉湖

The annual fluctuation of zooplankton community and its relation with environmental factors in Lake Xiliang, Hubei Province

WU Li¹, FENG Weisong², ZHANG Tanglin², XU Hao³ & YU Yuhe²

(1: Department of Life Sciences, Hefei Normal University, Hefei 230061, P. R. China)

(2: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, P. R. China)

(3: Department of pharmacy, Wannan Medical College, Wuhu 241000, P. R. China)

Abstract: Four zooplanktonic investigations were carried out from November 2007 to October 2008 in Lake Xiliang. Totally, 224 species of zooplankton including 112 species of protozoa, 90 species of rotifer, 15 species of cladocera, and 7 species of copepoda were found. The zooplankton species ranged from 75 to 111, with the lowest value (75) occurring in winter, and the highest one (111) in autumn. The density of zooplankton was the highest in winter (126731 ind./L), and the lowest in spring (71356 ind./L). The densities of zooplankton in summer and autumn were 109743 ind./L and 107650 ind./L, respectively, and the abundance of protozoa and rotifer were on predominance. The structure of zooplankton community was analyzed in relation to water quality parameters by canonical correspondence analysis (CCA). Temperature, pH, water depth, and the concentrations of TP, COD and DO were strongly correlated with the zooplankton community structure. The parameters that demonstrated a strong correlation with the zooplankton community structure differed among seasons, suggesting that the seasonal variations of zooplankton community structure were related closely to both the water temperature and water trophic status in Lake Xiliang.

Keywords: Zooplankton; community structure; water quality; Lake Xiliang

浮游动物是水域生态系统中的生物组成部分, 在物质转化、能量流动、信息传递等生态过程中起着至关重要的作用^[1-2]。浮游动物既可作为养殖水体中许多经济鱼类的重要饵料, 又可调节控制藻类和细菌的数

* 国家自然科学基金项目(30770298)、国家“973”计划项目(2007CB109205)和安徽高校省级科学研究项目(KJ2011Z308)联合资助。2010-07-01 收稿; 2010-11-18 收修改稿。吴利, 女, 1981年生, 博士, 讲师; E-mail: wuli090121@126.com.

** 通讯作者; E-mail: yhyu@ihb.ac.cn.

量. 对不同类型水域生态环境的浮游动物群落结构及其与水质关系的研究表明^[3-8], 浮游动物多样性是水域生态系统服务功能的重要评价指标之一, 其种类组成和现存量的变化能及时准确地反映水域生态环境质量的优劣.

西凉湖(29°51′-30°01′N, 114°00′-114°10′E)位于湖北省嘉鱼、蒲圻、咸宁三县(市)交界处, 为长江南岸的一个浅水草型湖泊, 由4个湖区(东西凉湖、西西凉湖、伯梁湖和马师湖)、8个湖汊组成. 东西凉湖区与西西凉湖区彼此相连, 因相连处湖面狭窄, 水交换不畅, 伯梁湖区和马师湖区原系西西凉湖区的两个较大湖汊, 由人工堤阻隔而成, 四个湖区除马师湖外, 均为草型湖区. 水位22m, 长15.4km, 最大宽8.2km, 平均宽4.68km, 原有面积131.2km², 围垦后现有面积72.1km², 最大水深4.1m, 平均水深1.94m, 蓄水量 1.4×10^8 m³. 本文调查研究西凉湖浮游动物的物种多样性和现存量的周年动态变化, 并探究西凉湖浮游动物群落结构特征与水质的关系, 旨在为西凉湖水环境评价与保护以及渔业资源的合理利用和可持续发展提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 采样时间

本研究在西凉湖(29°51′N, 114°00′E)设置8个站点(图1), 并于2007年11月(冬季)、2008年4月(春季)、2008年8月(夏季)和2008年10月(秋季)进行标本采集.

1.2 标本采集与观察

1.2.1 定性标本

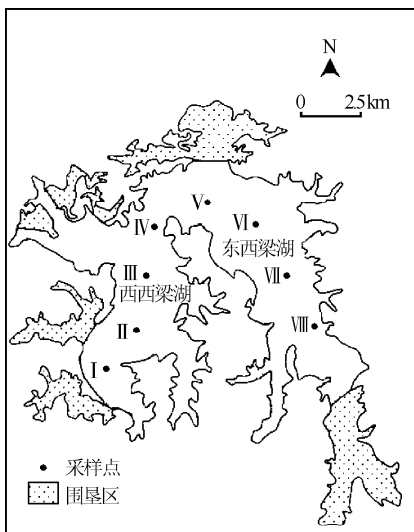


图1 西凉湖浮游动物采样点分布图

Fig. 1 Sampling stations of zooplankton in Lake Xiliang

标本以25号浮游生物网(孔径64μm)在上层水体呈“∞”字形捞取3-5min, 并将滤取的样品放入标本瓶中, 加4%的甲醛溶液固定, 在100-1000倍Zeiss Axioplav 2 imaging显微镜下鉴定浮游动物种类^[9-13].

1.2.2 定量标本

1.2.2.1 原生动物和轮虫 用2.5L改良的Patalas有机玻璃采水器采集定量样品. 每个样品根据采样点的深度自表层而下每隔0.5m或1m采集混合水样1L, 并当场用鲁哥试剂固定(终浓度为4%). 样品带回实验室沉淀48h后浓缩定容至30ml, 然后分别吸取0.1ml(计数原生动物)和1ml(计数轮虫)的浓缩液注入0.1ml和1ml的计数框中, 在10×20的放大倍数下计数2次, 取其平均值, 然后按下式换算单位体积中原生动物或轮虫的个体数: $N = (V_s \times n) / (V \times V_a)$, 式中, N 为1L水中浮游动物的个体数(ind./L); V 为采样体积(L); V_s 为沉淀体积(ml); V_a 为计算体积(ml); n 为计数所得的个体数.

1.2.2.2 甲壳动物 用2.5L改良的Patalas有机玻璃采水器采集甲壳动物. 每个样品根据采样点的深度自表层而下每隔0.5m或1m采集混合水样20L. 水样经25号浮游生物网过滤收集甲壳动物, 收集的样品用4%的甲醛溶液固定, 浓缩的样品

带回实验室后用于全部计数.

1.3 理化参数的测定

理化参数包括叶绿素a(Chl. a)、电导率(Cond)、总磷(TP)、总氮(TN)、化学需氧量(COD)、溶解氧(DO)、pH、铵态氮(NH₄-N)、亚硝态氮(NO₂-N)、硝态氮(NO₃-N)、透明度(SD)、水温(WT)和水深(WD). 它们的测定参照《湖泊生态调查观测与分析》^[14].

1.4 数据处理

理化数据进行对数转换以使数据呈正态分布, 各季节理化参数差异的判别用SPSS13.0软件进行单因

素方差分析(One-way ANOVA), 并取 $P < 0.05$ 作为差异显著性判定标准. 运用除趋势对应分析(DCA)和典型对应分析(CCA)探讨西凉湖浮游动物群落物种丰度与环境因子的关系. DCA 和 CCA 分析在 CANOCO 4.5 软件中实现.

2 结果与分析

2.1 理化参数分析

TP、TN、COD、DO、NO₂-N 在冬季呈现最高值, SD、WT 和 WD 在冬季呈现最低值(表 1), 各理化参数在春季、夏季和秋季差异不显著, 总体而言, 冬季营养水平高于春季、夏季和秋季.

表 1 西凉湖各季节理化参数
Tab. 1 Physicochemical parameters within each season in Lake Xiliang

	冬季	春季	夏季	秋季
SD(cm)	106 ± 19	149 ± 29	148 ± 51	150 ± 52
WD(cm)	136 ± 29	188 ± 26	201 ± 55	208 ± 57
WT(°C)	14.8 ± 0.8	23.5 ± 0.7	25.9 ± 7.5	24.6 ± 6.9
Cond(ms/cm)	184 ± 21	215 ± 24	201 ± 51	199 ± 52
pH	7.79 ± 0.3	8.24 ± 0.48	7.89 ± 1.89	7.91 ± 1.95
COD(mg/L)	6.54 ± 2.68	3.81 ± 0.31	3.91 ± 1.02	4.28 ± 1.30
DO(mg/L)	11.34 ± 1.27	10.99 ± 0.72	9.35 ± 2.66	8.74 ± 2.50
Chl. a(μg/L)	7.44 ± 8.51	6.38 ± 6.55	6.44 ± 4.86	6.81 ± 4.32
TP(μg/L)	61.2 ± 23.4	44.1 ± 14.3	57.9 ± 23.5	49.2 ± 23.9
TN(mg/L)	0.66 ± 0.17	0.51 ± 0.22	0.46 ± 0.17	0.61 ± 0.35
NH ₄ -N(mg/L)	0.24 ± 0.07	0.23 ± 0.12	0.19 ± 0.09	0.23 ± 0.11
NO ₂ -N(μg/L)	3.8 ± 2.6	2.8 ± 3.1	1.9 ± 2.3	1.6 ± 1.9
NO ₃ -N(mg/L)	0.10 ± 0.02	0.13 ± 0.06	0.13 ± 0.04	0.14 ± 0.06

2.2 浮游动物的种类组成

本次调查共鉴定出浮游动物 224 种, 其中原生动物 112 种, 占浮游动物总物种数的 50%; 轮虫 90 种, 占 40%; 枝角类 15 种, 占 7%; 桡足类 7 种, 占 3%. 总体来说, 原生动物和轮虫是西凉湖浮游动物的主要组成部分, 枝角类和桡足类的种类较少. 就每个季节而言, 秋季和春季浮游动物物种数最多, 分别为 111 种和 107 种, 夏季和冬季物种数较少, 分别为 88 种和 75 种. 冬季浮游动物优势种类为栉毛虫、旋回侠盗虫、筒壳虫、裂痕龟纹轮虫、螺形龟甲轮虫、针簇多肢轮虫和卵形盘肠蚤, 这些优势种均为富营养化水体的指示种类. 春季、夏季和秋季浮游动物优势种类比较相似, 为群集锥囊藻、楯形多甲藻、旋回侠盗虫、裂痕龟纹轮虫、螺形龟甲轮虫、针簇多肢轮虫、矩形尖额蚤、长额象鼻蚤、颈沟基合蚤和秀体蚤, 马索隐藻、大弹跳虫、暗小异尾轮虫和卵形盘肠蚤也是夏季和秋季优势种类(表 2).

2.3 浮游动物丰度及其季节变化

冬季浮游动物丰度最高, 为 126731 ind./L, 春季最低, 为 71356 ind./L, 夏季和秋季分别为 109743 ind./L 和 107650 ind./L; 就各类群而言, 原生动物丰度冬季最高, 为 122780 ind./L, 春季最低, 为 55217 ind./L, 轮虫丰度秋季最高, 为 26069 ind./L, 冬季最低, 为 3949 ind./L, 枝角类和桡足类丰度均夏季最高, 冬季最低. 原生动物和轮虫的丰度是西凉湖浮游动物丰度的主体(表 3).

表2 西凉湖浮游动物各季节优势种丰度

Tab. 2 Abundance of dominant species in different seasons in Lake Xiliang

优势种	丰度(ind./L)			
	冬季	春季	夏季	秋季
马索隐藻 <i>Cryptomonas marssonii</i>	0	0	30428	5506
群集锥囊藻 <i>Dinobryon sociale</i>	0	13860	3592	1505
椭圆形多甲藻 <i>Peridinium umbonatum</i>	0	18250	31357	20051
栉毛虫 <i>Didinium</i> sp.	17600	0	0	0
旋回侠盗虫 <i>Strobilidium gyrans</i>	3790	8440	5586	6556
大弹跳虫 <i>Halteria gradinella</i>	0	0	11226	15280
筒壳虫 <i>Tintinnidium</i> sp.	33230	0	0	0
裂痕龟纹轮虫 <i>Anuraeopsis fissa</i>	68	2267	1265	5948
螺形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i>	869	667	1390	6490
针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>	923	12117	5030	3773
暗小异尾轮虫 <i>Trichocerca pusilla</i>	0	0	3578	2692
矩形尖额溞 <i>Alona rectangula</i>	0	1.25	0.90	0.60
长额象鼻溞 <i>Bosmina longirostris</i>	0	4.75	7.05	9.70
颈沟基合溞 <i>Bosminopsis deitersi</i>	0	0.30	1.85	0.50
卵形盘肠溞 <i>Chydorus ovalis</i>	0.35	0	2.40	4.40
秀体溞 <i>Diaphanosoma</i> sp.	0	0.15	4.65	1.40

表3 西凉湖浮游动物及各类群丰度的季节变化

Tab. 3 Seasonal variations of the abundance of zooplankton and its taxas in Lake Xiliang

类群	丰度(ind./L)			
	冬季	春季	夏季	秋季
浮游动物	126731	71356	109743	107650
原生动物	122780	55217	91399	81504
轮虫	3949	16085	18254	26069
枝角类	0.9	7.5	17.5	17.2
桡足类	1.2	46.8	72.4	59.8

2.4 浮游动物群落结构与环境因子的关系

DCA 分析结果显示西凉湖四个季节的 32 个站点被划分为 2 组, 冬季的 8 个站点为一组, 春季、夏季和秋季的 24 个站点为一组 (图 2)。

通过前选法 (Forward selection) 和蒙特卡罗检验 (Monte Carlo Permutation Test), 排除贡献小的因子, 发现 TP、COD、DO、pH、WT 和 WD 是与西凉湖浮游动物群落结构相关性较强的环境因子 ($P < 0.05$), 其中 WT 是与西凉湖浮

游动物群落结构相关性最强的环境因子 ($r = -0.92$)。CCA 分析结果表明前三轴的特征值分别为 0.77、0.54 和 0.45, 并且前三轴的累计值占特征值总和的 58.8%, 表明这三轴集中了 2/3 的环境因子对浮游动物分布格局影响的信息 (表 4)。六种因子对 CCA 各轴的贡献存在显著差异, 其中 WT 与第一轴呈显著负相关 ($r = -0.92$), COD、DO、pH 和 WD 与第一轴呈显著正相关 ($r = 0.67$, $r = 0.51$, $r = 0.75$ 和 $r = 0.77$), TP 与第二轴呈显著正相关 ($r = 0.46$) (表 4)。CCA 分析表明与浮游动物群落结构相关性较强的环境因子在各季节是不同的, 并且各季节站点在 CCA 第一轴和第二轴上得到了较好的分化。冬季的站点主要集中在第一和第四象限, 说明冬季浮游动物的分布主要受 TP、COD 和 DO 的影响, 并且冬季浮游动物的分布与 TP、COD 和 DO 呈正相关; 春季、夏季、秋季三个季节的站点分布在第二和第三象限, 说明这三个季节浮游动物的分布主要受 pH、WT 和 WD 的影响, 并且与 pH、WT 和 WD 呈显著正相关 (图 3)。

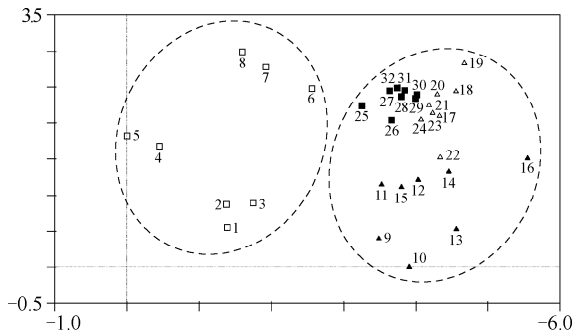


图2 基于物种丰度的 DCA 排序图
(▲:春季样品,△:夏季样品,■:秋季样品,
□:冬季样品.1-8 代表冬季 8 个站点,
9-16 代表春季 8 个站点,17-24 代表
夏季 8 个站点,25-32 代表秋季 8 个站点)

Fig. 2 DCA ordination of the species abundance

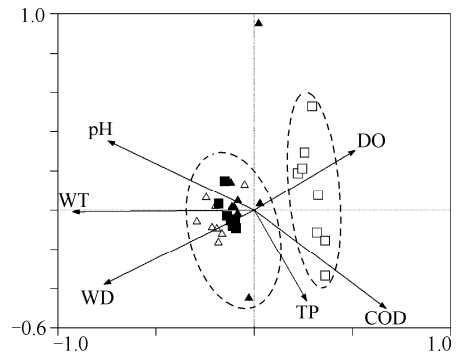


图3 物种-环境相互关系 CCA 排序图
(▲:春季样品,△:夏季样品,
■:秋季样品,□:冬季样品)

Fig. 3 CCA of the species-environment relationships

3 讨论

西凉湖浮游动物群落结构特点为小型浮游动物(原生动、轮虫)的种类数和丰度在所有浮游动物种类数和丰度中所占比例较高,大型浮游动物(枝角类、桡足类)种类数和丰度所占比例较少.这与国内已知江河、湖泊和水库浮游动物各类群的组成比例情况相似^[5,15-17].相对于枝角类和桡足类,原生动和轮虫个体较小,发育快,生命周期短,能够灵敏地反映水环境的变化,因此被认为是水质营养状况良好的指示生物^[15].

在自然界中,生物群落的变动具有非常强的站点特异性(sites-specific).因此不同营养水平湖泊中浮游动物群落种类组成及动态是不一样的,甚至在同一个湖泊中,不同季节浮游动物群落种类组成也不一样.造成群落结构变化的环境因素主要包括水体营养状况、温度、光照、盐度、酸碱度等,并且由于对环境的选择或适应性,不同环境条件下浮游动物群落的种类会有所差异,如在富营养或有机质丰富的水体中分布耐污性种类,而在较清洁的水体中分布寡污性或清水性种类.本研究中,DCA 将冬季和其他三个季节(春季、夏季和秋季)明显地区分开来,表明了冬季和其他三个季节浮游动物群落结构存在明显的区别.水温是影响浮游动物生长、发育、群落组成和数量变化等极为重要的环境因子^[15,18-20].较冬季而言,春季、夏季和秋季水温呈现较高值,CCA 分析结果表明水温与这三个季节浮游动物群落结构的相关性最强,表明水温是影响西凉湖浮游动物群落结构最主要的环境因子.

大量研究表明水体富营养化程度的增加导致物种数的降低和耐污性物种丰度的增加^[21-23].本研究中,TP、TN、COD、DO、NO₂-N 在冬季呈现最高值,冬季营养水平高于春季、夏季和秋季.冬季浮游动物种类数最低,而物种丰度最高,其中一些耐污种如栉水虫、旋回侠盗虫、裂痕龟纹轮虫、螺形龟甲轮虫、针簇多肢轮虫占浮游动物丰度的绝对优势,并且这些耐污种对水体富营养化污染程度有一定的指示作用,营养水平相对较低的春季、夏季和秋季具有较低的浮游动物丰度和较高的物种数,并且寡污性浮游动物如群集锥囊藻、楮

表4 典型对应分析(CCA)结果

Tab. 4 Summary results of the canonical correspondence analysis (CCA)

	轴 1	轴 2	轴 3
TP	0.27	0.46	0.33
COD	0.67	0.50	0.47
DO	0.51	0.30	0.07
pH	0.75	0.35	0.10
WD	0.77	0.38	0.28
WT	-0.92	-0.01	-0.11
特征值	0.77	0.54	0.45
属种-环境相关性	0.99	0.93	0.95
累计方差百分比	-	-	-
属种数据	13.1	22.4	30.1
属种-环境关系	25.6	43.8	58.8

形多甲藻在春季、夏季和秋季具有较高的丰度。大量研究表明浮游动物物种组成和个体丰度与影响湖泊营养状态的 TP 含量密切相关^[24-27]。本研究中, CCA 分析结果表明冬季浮游动物的分布与 TP、COD 和 DO 呈正相关, 春季、夏季和秋季浮游动物的分布与 TP、COD 和 DO 呈负相关, 因此, 本研究结果进一步说明了水体的营养水平可以影响其浮游动物群落结构。

淡水水体轮虫种类和数量的多少与水体的酸碱度密切相关。根据轮虫对 pH 的偏好可以分为: 碱性水生种类、兼性种类和酸性水生种类。在 pH 较高的水体中, 轮虫具有较高的丰度; 在 pH 较低的水体中, 轮虫丰度较低^[28]。本研究中, 相对于冬季, 春季、夏季、秋季 pH 值较高, 而这三个季节轮虫的丰度也均高于冬季, 分析其原因可能为春季、夏季和秋季浮游植物生产力较高, 从而促使三个季节 pH 值较高, 进而提供了更多的饵料, 故轮虫丰度也较高。有研究表明水深也可以显著影响浮游动物群落结构^[29-30], 在本研究中, 水深与春季、夏季和秋季浮游动物群落结构具有较强的相关性, 其原因还有待于进一步研究和考证。

伍焯田^[31]于 1990s 对西凉湖浮游动物进行了周年调查, 研究表明西凉湖全湖 10 个采样站浮游动物年均丰度高峰出现在冬季或春季, 本次调查中西凉湖冬季浮游动物丰度也为最高, 与伍焯田的研究一致; 此外, 1990s 西凉湖浮游动物年均丰度为 895.16 ind./L, 西凉湖水质为中下营养水平, 而本次调查中西凉湖浮游动物年均丰度为 103870 ind./L, 明显高于 1990s, 并且依据 OECD 单营养 Chl. a 指标的评判标准^[32], 西凉湖水质为中上营养水平, 而根据单营养 TP 指标的评判标准, 西凉湖水质为富营养水平, 并呈现恶化趋势, 因此应加强对西凉湖水质保护。

4 参考文献

- [1] 郭沛涌, 沈焕庭, 刘阿成等. 长江河口浮游动物的种类组成、群落结构及多样性. 生态学报, 2003, 23(5): 892-900.
- [2] 颜庆云, 余育和, 冯伟松. 洞庭湖浮游生物群落 DNA 指纹拓扑结构与物种组成对应关系. 生态学报, 2005, 25(9): 2221-2226.
- [3] Echaniz SA, Vignatti AM, José de PS *et al.* Zooplankton seasonal abundance of south American saline shallow lakes. *Int Rev Hydrobiol*, 2006, 91(1): 86-100.
- [4] 纪焕红, 叶属峰, 刘 星. 南麂列岛海洋自然保护区浮游动物的物种组成及其多样性. 生物多样性, 2006, 14(3): 206-215.
- [5] 姜作发, 唐富江, 董崇智等. 黑龙江水系主要江河浮游动物种群结构特征. 东北林业大学学报, 2006, 34(4): 64-66.
- [6] Tavernini S, Mura G, Rossetti G. Factors Influencing the seasonal phenology and composition of zooplankton communities in mountain temporary pools. *Int Rev Hydrobiol*, 2005, 90(4): 358-375.
- [7] Xu MQ, Cao H, Xie P *et al.* The temporal and spatial distribution, composition and abundance of Protozoa in Chaohu Lake, China: Relationship with eutrophication. *Eur J Protistol*, 2005, 41: 183-192.
- [8] 吴 利, 余育和, 张堂林等. 牛山湖浮游生物群落 DNA 指纹结构与理化因子的关系. 湖泊科学, 2008, 20(2): 235-241.
- [9] Patterson DJ, Hedley S. *Free-Living Freshwater Protozoa, A Colour Guide*. London: Wolfe Publishing, 1992.
- [10] 蒋燮治, 堵南山主编. 中国动物志节肢动物门甲壳纲淡水枝角类. 北京: 科学出版社, 1979.
- [11] 沈韞芬, 章宗涉, 龚循矩等主编. 微型生物监测新技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [12] 王家楫主编. 中国淡水轮虫志. 北京: 科学出版社, 1961.
- [13] 中国科学院动物研究所甲壳动物研究组. 中国动物志节肢动物门甲壳纲淡水桡足类. 北京: 科学出版社, 1979.
- [14] 黄祥飞主编. 湖泊生态调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [15] 陈光荣, 钟 萍, 张修峰等. 惠州西湖浮游动物及其与水质的关系. 湖泊科学, 2008, 20(3): 351-356.
- [16] 谢进金, 许友勤, 陈寅山等. 晋江流域水质污染与浮游动物四季群落结构的关系. 动物学杂志, 2005, 40(5): 8-13.
- [17] 杨宇峰, 黄祥飞. 武汉东湖浮游动物群落结构的研究. 应用生态学报, 1994, 5(3): 319-324.
- [18] Sousa W, Attayde JL, Rocha EDS *et al.* The response of zooplankton assemblages to variations in the water quality of four man-made lakes in semi-arid northeastern Brazil. *J Plankton Res*, 2008, 30(6): 699-708
- [19] Wang J, Xie P, Takamura N *et al.* The picophytoplankton in three Chinese lakes of different trophic status and its relationship to fish populations. *J Freshwater Ecol*, 2004, 19: 285-293.
- [20] Yu YH, Yan YQ, Feng WS. Spatio-temporal heterogeneity of plankton communities in Lake Donghu as revealed by PCR-

- DGGE and its relation to biotic and abiotic factors. *FEMS Microbiol Ecol*, 2008, **63**: 328-33.
- [21] Sommer U. Plankton Ecology, succession in plankton communities. Berlin: Springer-Verlag, 1989.
- [22] Dussart BH, Fernando CH, Matsumura-Tundisi T *et al.* A review of systematics, distribution and ecology of tropical freshwater zooplankton. *Hydrobiologia*, 1984, **113**: 77-91.
- [23] Dumont HJ. Biogeography of rotifers. *Hydrobiologia*, 1983, **104**: 19-30.
- [24] Kowalczewski A, Ozimek T. Further longterm changes in the submerged macrophyte vegetation of the eutrophic Lake Mikolajskie(North Poland). *Aquat Bot*, 1993, **46**: 341-345.
- [25] Ozimek T, Kowalczewski A. Long-term changes of the submerged macrophytes in eutrophic Lake Mikolajskie(North Poland). *Aquat Bot*, 1984, **19**: 1-11.
- [26] Sand-Jensen K, Pedersen O. Freshwater Biology: Priorities and Development in Danish Research. Copenhagen: Gad Publishers, 1997.
- [27] Druvietis I, Springe G, Urtane L *et al.* Evaluation of plankton communities in small highly humic bog lakes in Latvia. *Environ Int*, 1998, **24**: 595-602.
- [28] 周淑婵. 香溪河水系浮游动物生态学研究[学位论文]. 武汉:中国科学院水生生物研究所,2007.
- [29] Keller W, Conlon M. Crustacean zooplankton communities and lake morphometry in precambrian shield lakes. *Can J Fish Aquat Sci*, 1994, **51**: 2424-2434.
- [30] Jeppesen E, Jensen JP, Søndergaard M *et al.* Trophic structure, species richness and biodiversity in Danish lakes: changes along a phosphorus gradient. *Freshwater Biology*, 2000, **45**: 201-218.
- [31] 伍焯田. 西凉湖浮游动物及产鱼性能的评价. 见:梁彦龄、刘伏泉主编. 草型湖泊资源、环境与渔业生态学管理(一). 北京:科学出版社, 1995:135-146.
- [32] OECD. Eutrophication of waters: monitoring, assessment and control. Paris: Organisation for economic and cooperative development, 1982.