

DOI: 10.5846/stxb201501280226

鞠永富, 于洪贤, 于婷, 柴方营, 姚允龙, 张延成, 费滕, 夏凌云. 西泉眼水库夏季浮游动物群落结构特征及水质评价. 生态学报, 2016, 36(16):

Ju Y F, Yu H X, Yu T, Chai F Y, Yao Y L, Zhang Y C, Fei T, Xia L Y. The zooplankton community structure and water quality of Xiquanyan Reservoir. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(16):

西泉眼水库夏季浮游动物群落结构特征及水质评价

鞠永富^{1,2}, 于洪贤^{1,*}, 于婷², 柴方营², 姚允龙¹, 张延成¹, 费滕¹, 夏凌云¹

1 东北林业大学, 哈尔滨 150040

2 黑龙江省水利厅, 哈尔滨 150040

摘要: 2010 年夏季, 对西泉眼水库浮游动物及水质理化指标进行了调查, 分析了该水库浮游动物群落结构特征, 运用现存量法、指示生物法、多样性分析法、 $Q_{B/T}$ 指数法、E/O 指数法、肥度指数法 (E') 和理化因子分析法评价了水质等级, 应用典范对应法分析了浮游动物与环境因子之间的相关性。结果表明: 浮游动物 56 种, 优势种为褐砂壳虫 *Difflugia avellana*、长三肢轮虫 *Filinia longiseta*、针簇多肢轮虫 *Polyarthra trigla*、微刺小剑水蚤 *Microcyclops inchoatus* 和无节幼体; 污染指示种 53 种, 丰度为 46.13 ind./L, 生物量为 0.137 mg/L; Shannon-Wiener 指数为 2.78, Margalef 丰富度指数为 1.97, $Q_{B/T}$ 指数为 2.0, E/O 指数为 3.2, 肥度指数 (E') 为 2.28。评价结果表明, 该水库已处于中度污染状态, 水体处于中富营养化水平, NO_3^- 、 NO_3^- -N、 Cl^- 、COND、Depth、 NH_4^+ 、TP 和 Chla 是影响浮游动物种群数量及分布的主要环境因子, 作为水源地其水质还需进一步加强管理与调控。

关键词: 西泉眼水库; 浮游动物; 群落结构; 水质评价

The zooplankton community structure and water quality of Xiquanyan Reservoir

JU Yongfu^{1,2}, YU Hongxian^{1,*}, YU Ting², CHAI Fangying², YAO Yunlong¹, ZHANG Yancheng¹, FEI Teng¹, XIA Lingyun¹

1 Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

2 Department of water resources of Heilongjiang Province, Harbin 150040, China

Abstract: During the summer of 2010, the zooplankton community structure and physicochemical factors of Xiquanyan Reservoir, China, were surveyed. Seven evaluation methods were used to assess water quality, including the standing crop index evaluation method, the biological indicator method, diversity analysis, $Q_{B/T}$ index, eu-mesotrophic/oligo-mesotrophic (E/O) index, fertility index method (E'), and physical and chemical factors evaluation method. Simultaneously, a canonical correspondence analysis (CCA) was used to analyze the correlations between the zooplankton community structure and environmental factors. The results showed that 33 genera comprising 56 species of zooplankton were found, including protozoa (14 species), rotifers (29 species), cladocerans (4 species), and copepods (9 species). The variety and quantity of zooplankton were the greatest at S5, and those at S1 were the lowest. The ordination of variety and quantity of zooplankton at each sampling site was S5 > S4 > S9 > S8 > S6 > S2 > S7 > S3 > S1. Rotifers were dominant in variety and quantity, with larger numbers and more species in the middle of the reservoir compared with the estuary area. Fifty-three species were typical indicators of environmental pollution, including ignoreprobability (10 species), α -mesosaprobity (5 species), β -mesosaprobity (15 species), β - α -mesosaprobity (7 species), and α -mesosaprobity (16 species). Common species were *Polyarthra trigla*, *Macrocyclus albidus*, *Microcyclops javanus*, and *Mi. inchoatus*. Dominant species were

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40830535); 黑龙江省科技攻关项目 (GB09C103)

收稿日期: 2015-01-28; 网络出版日期: 2015-00-00

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

Diffugia awellana, *Filinia longiseta*, *Polyarthra trigla*, *Mi. inchoatus*, and nauplius. The average species richness was 46.13 ind./L. Site S4 had the highest species richness (84.5%), and S1 had the lowest (0.5%). Of the four types of zooplankton, rotifers had the highest, and cladocerans had the lowest abundance. The species richness of protozoa was 9.53 ind./L, with S4 having the highest and S1 the lowest. The species richness of rotifers was 32.48 ind./L, S4 had the highest and S8 the lowest. The species richness of cladocerans was 1.33 ind./L, S5 had the highest and S2 the lowest. The species richness of copepods was 2.79 ind./L, S5 had the highest and S1 was the lowest. The average biomass was 0.137 mg/L, S5 had the biomass (39.8%), and S1 had the lowest (0.6%). Copepods contributed the most to biomass, whereas protozoa had the least contribution. The average Shannon-Wiener index of Xiquanyan Reservoir was 2.78, and the pollution level was β -mesosaprobity; Margalef richness index was 1.97, and the pollution level was α -mesosaprobity. Xiquanyan Reservoir had 5 oligo-mesotrophic (O) and 16 eu-mesotrophic (E) zooplankton species. The calculations of the $Q_{B/T}$ index, E/O index, and E' index were 2.0, 3.2, and 2.28, respectively. The water quality evaluation determined meso-eutrophic and eutrophic levels based on bio-physical and chemical indices. The meso-eutrophic level was determined by chlorophyll a, total phosphorus content (TP), and transparency indicators; and the eutrophication level was determined by total nitrogen (TN) and dissolved oxygen indicators. According to the CCA, the horizontal axis had an extremely significant positive correlation with NO_3^- ($p=0.95$), NO_3^- -N ($p=0.75$), and Cl^- ($p=0.75$), and the vertical axis had a significant positive correlation with NH_4^+ ($p=0.71$), TP ($p=0.68$), Chl a ($p=0.60$), and had a significant negative correlation with depth ($p=-0.72$) and COND ($p=-0.72$). NO_3^- , NO_3^- -N, Cl^- , COND, depth, NH_4^+ , TP, and Chl a were the main factors affecting the quantity and distribution of zooplankton populations, and TN had little correlation with zooplankton.

From the results, the water quality of Xiquanyan Reservoir was moderately polluted, and the eutrophication level was average. As an alternative source of drinking water for Harbin city, the water quality still requires improvement, and the water management and regulation should be enhanced.

Key Words: Xiquanyan Reservoir; zooplankton; community structure; water quality assessment

生物与环境之间相互作用,是环境决定了生物种群或群落的结构特征,反之,生物群落结构的变动也可以客观地反映出环境的变化规律^[1]。浮游动物是水生态系统的初级消费者,它们对不同水体的敏感性和适应能力不同,分析其群落结构特点和变化规律,对水环境的优劣能做出初步的判断^[2-3]。

西泉眼水库是黑龙江省规模最大的综合型水库之一,哈尔滨市备用水源地。近年来,该水库污染的报道较多^[4-6],其点源污染主要有上游的制药厂、钢铁厂等企业排污;面源污染主要有上游村屯和城镇的生活污水和农业污染等;旅游污染主要有金泉、帽儿山和松峰山等旅游景区。本文于2010年夏季调查研究了西泉眼水库浮游动物的群落结构特点,运用多种生态学方法评价了其水质,并应用典范对应分析法分析了浮游动物与环境因子的相关性,为西泉眼水库渔业资源开发和水污染治理提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 采样时间和位置

2010年夏季采集浮游动物样品。西泉眼水库属河道型水库,在上中下游共布设9个采样点(图1)。S1为阿什河入库口左,S2为阿什河入库口中,S3为阿什河入库口右,S4为黄泥河入库口,S5为库心左,S6为库心中,S7为库心右,S8为双龟山,S9为大坝出水口。

1.2 样品的采集与处理

样品采集、鉴定、丰度与生物量的计算等均按照《淡水浮游生物调查技术规范》执行。各理化指标中,透明度(SD)用塞奇氏盘测定,DO(溶解氧)、温度(WT)、电导率(COND)、pH(pH值)、水深(Depth)、浊度(TUR)、Chla(叶绿素a)和氯化物(Cl^-)用YSI6600便携式水质测定仪在采样现场测定,TN(总氮)、TP(总磷)

和 COD_{Mn} (高锰酸盐指数) 等理化指标数据由哈尔滨市环境监测中心站提供。

1.3 数据处理与分析

1.3.1 水质评价方法

本研究运用多种水生态学和理化分析法评价了西泉眼水库水质污染情况,水生态学法包括现存量法^[7-8]、优势种指示法^[9]、多样性指数法^[10]、轮虫生物指数法^[11]、E/O 指数法^[11]、肥度指数法^[11];理化分析法是根据国内外各种分级方法^[12],得出一个新的水质评价标准作为本次的评价标准(表 1)。

1.3.2 典范对应分析法

浮游动物种类分布情况受环境因子影响,采用典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA)方法评价其影响强度,运用 Cancoo 4.5 软件进行数据分析,得出浮游动物群落及其与环境因素之间的关的相关性^[13]。CCA 分析要求两个数据矩阵,一个是丰度数据矩阵,一个是环境数据矩阵。为减少机会种对群落结构的干扰,种类数据要经过筛选,选择相对丰度 > 1%, 出现频率 > 25% 的种类,符合条件的采样点有 S2、S4、S5、S6、S8 和 S9,与此对应的浮游动物有 27 种。

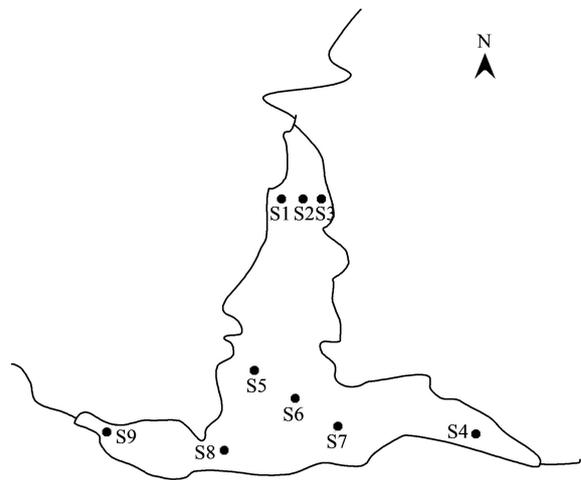


图 1 西泉眼水库采样点分布

Fig.1 Distribution of sampling points in Xiquanyan Reservoir

表 1 水体水质状况评价参数指标及分级标准

Table 1 Parameters for water quality conditions and standard

营养类型 Trophic types	丰度 Richness /(ind./L)	生物量 Biomass /(mg/L)	QB/T	E/O	E'	叶绿素 a Chla /(mg/L)	TN /(mg/L)	TP /(mg/L)	透明度 SD/m	溶解氧 DO/ (mg/L)
贫营养 Oligotrophication	<1000	<1	<1	<0.5	<0.2	<2	<0.1	<0.01	>3.0	>80
中营养型 Mesotrophication	1000—3000	1—3	1—2	0.5—1.0	0.2—1.0	2—26	0.1—1.0	0.01—0.10	3.0—0.5	80—10
富营养型 Eutrophication)	>3000	>3	>2	>1.0	>1.0	>26	>1.0	>0.10	<0.5	<10

2 结果

2.1 浮游动物群落结构

共鉴定出浮游动物 4 门 33 属 56 种(表 2)。其中,原生动物 9 属 14 种,占 25.0%;轮虫 15 属 29 种,占 52.0%;枝角类 3 属 4 种,占 7.0%;桡足类 6 属 9 种,占 16.0%。S5 种类数量最多,占总数的 58.9%,S1 最少,占 17.9%,种类数量各采样点排序是 S5>S4>S9>S8>S6>S2>S7>S3>S1,均以轮虫占优势,且库心区采样点数量多于河口区。

浮游动物丰度和生物量见表 2。

浮游动物丰度平均为 46.13ind./L, S4 贡献量最大(350.80ind./L), 贡献率为 84.5%, S1 最小(2.15ind./L), 贡献率仅为 0.5%。轮虫丰度贡献量最大(70.4%), 枝角类最小(5.2%)。其中,原生动物平均为 9.53ind./L, S4 最高(82.05ind./L), S1 最低(0.20ind./L); 轮虫平均为 32.48ind./L, S4 最高(263.25ind./L), S8 最低(0.47ind./L); 枝角类平均为 1.33ind./L, S5 最高(2.70ind./L), S2 最低(0.45ind./L); 桡足类平均为 2.79ind./L; S5 下最高(8.50ind./L), S1 上最低(0.15ind./L)。

表 2 浮游动物现存量、生物多样性及污染等级评价

Table 2 The diversity index, richness index and pollution level evaluation of zooplankton in Xiquanyan Reservoir

采样点 Sampling Sites	原生动物 Protozoan	轮虫类 Rotifers	枝角类 Cladocerans	桡足类 Copepoda	丰度 Richness	生物量 Biomass	H'	污染等级 Pollution degree	M	污染等级 Pollution degree
S1	2	7	0	1	2.15	0.008	3.18	轻污染	2.43	β-中污染
S2	5	5	0	4	3.05	0.021	3.32	轻污染	2.29	β-中污染
S3	1	5	0	6	2.45	0.019	3.12	轻污染	2.13	β-中污染
S4	5	17	1	2	350.80	0.412	3.01	轻污染	1.88	α-中污染
S5	5	20	2	6	36.48	0.492	2.32	β-中污染	1.84	α-中污染
S6	1	8	1	6	4.93	0.042	2.49	β-中污染	1.67	α-中污染
S7	3	5	0	5	2.25	0.022	2.51	β-中污染	1.75	α-中污染
S8	2	9	1	6	6.13	0.087	2.20	β-中污染	1.54	α-中污染
S9	6	8	3	7	6.97	0.133	2.88	β-中污染	2.19	β-中污染
平均 Average	3	10	1	5	46.13	0.137	2.78	β-中污染	1.97	α-中污染

浮游动物生物量平均为 0.137mg/L, S5 贡献量最大(0.492mg/L), 贡献率为 39.8%, S1 样点最小(0.008mg/L), 贡献率仅为 0.6%。桡足类贡献最大(71.9%), 原生动物最小(2.7%)。其中, 原生动物平均为 0.004mg/L, S4 最高(0.033mg/L), 轮虫平均为 0.032mg/L, S4 最高(0.259mg/L), 其次是 S5 下(0.021mg/L), 其它采样点原生动物和轮虫贡献量极少; 枝角类为 0.011mg/L, S9 最高(0.061mg/L), S2 最低(0.001mg/L); 桡足类为 0.091mg/L, S5 最高(0.456mg/L), S1 最低(0.003mg/L)。

2.2 水质评价

该水库浮游动物丰度和生物量数值相对较小, 无论是整体还是各采样点数量值都没有达到现存量评价法中污染的最低值。因此, 以丰度和生物量作为评价指标, 西泉眼水库为贫营养型水库。

浮游动物可以指示不同水体的污染程度, 本文参照相关文献^[11, 14-18]共鉴定出污染指示种 53 种。其中, 寡污性 10 种, 占 18.9%; α-β 中污性 5 种, 占 9.4%; β-中污性 15 种, 占 28.3%; β-α 中污性 7 种, 占 13.2%; α-中污性 16 种, 占 30.2%。从不同污染指示种类数量占总种数的比例来看, 西泉眼水库水体处于中度污染水平。

西泉眼水库夏季浮游动物常见种共 4 种, 包括针簇多肢轮虫 *Polyarthra trigla*、白色大剑水蚤 *Macrocylops albidus*、爪哇小剑水蚤 *Microcylops javanus* 和微刺小剑水蚤 *Microcylops inchoatus*, 所指示的污染类型分别为 β-α 中污、α-中污、β-中污和 β-中污; 优势种共 4 种, 包括褐砂壳虫 *Diffugia avellana*、长三肢轮虫 *Filinia longiseta*、针簇多肢轮虫和微刺小剑水蚤, 优势度分别为 0.05、0.05、0.09 和 0.05, 所指示的污染类型分别为 α-寡污、α-中污、β-α 中污和 β-中污。综合浮游动物常见种和优势种污染指示等级, 西泉眼水库已处于中等污染水平。

西泉眼水库浮游动物生物多样性见表 2。Shannon-Wiener 多样性指数(H')平均为 2.78, 污染指示等级为 β-中污染, 其中 S8 指示污染程度最重(2.20), S2 指示污染程度最轻(3.32); 指示轻污染的采样点有 4 个, 占总数的 44.4%, β-中污染 5 个, 占 55.6%, 指示污染程度各采样点排序是 S8>S5>S6>S7>S9>S4>S3>S1>S2, 且库心区污染程度高于河口区。Margalef 物种丰富度指数(M)平均为 1.97, 污染指示等级为 α-中污染, 其中 S8 指示污染程度最重(1.54), S1 指示污染程度最轻(2.43); 指示 β-中污染 4 个, 占总数的 44.4%, α-中污染 5 个, 占 55.6%, 指示污染程度各采样点排序是 S8>S7>S6>S5>S4>S3>S9>S2>S1, 且库心区污染程度高于河口区。综合生物多样性指数看, 西泉眼水库水体已处于中等污染水平。

西泉眼水库夏季浮游动物贫-中营养型(O)种类有矩形龟甲轮虫 *Keratella quadrata*、沟痕泡轮虫 *Pompholyx sulcata*、裂足臂尾轮虫 *Brachionus diversicornis*、盖氏晶囊轮虫 *Asplanchna girodi* 和筒弧象鼻溞 *Bosmina coregoni*; 富-中营养型(E)种类有半圆表壳虫 *Arcella hemisphaerica*、杂葫芦虫 *Cucurbitella mespiliformis*、

针棘刺胞虫 *Acanthocystis aculeata*、瓶累枝虫 *Epistylis urceolata*、钟虫属 *Vorticella* sp.、小口钟虫 *Vorticella microstoma*、太阳球吸管虫 *Sphaerophrya soliformis*、球形囊石虫 *Lithoculla globosa*、四角平甲轮虫 *Platyas quadricornis*、椎尾水轮虫 *Epiphanes senta*、真翅多肢轮虫 *Polyalthra euryptera*、长三肢轮虫、长足轮虫 *Rotaria citrina*、模糊秀体溞 *Diaphanosoma dubium*、虫宿温剑水蚤 *Thermocyclops vermifer* 和粗壮温剑水蚤 *Thermocyclops dybowskii*。经计算, $Q_{B/T}$ 轮虫生物指数、E/O 指数和肥度指数(E') 数值分别为 2.0、3.2 和 2.28, 水质评价类型分别为中度富营养化、富营养化和富营养化。综合三个指数评价结果, 西泉眼水库水体已处于富营养化状态。

按水质理化指标评价标准和数据见表 1、表 3。其中以叶绿素 a 浓度指标评价水库水质为中富营养化水平, 以 TN 浓度指标评价为富营养化水平, 以 TP 浓度指标评价为中富营养化水平, 以透明度指标评价为中富营养化水平, 以溶解氧指标评价为富营养化水平。综合各项水质理化因子来看, 西泉眼水库夏季水体处于富营养化水平。

表 3 西泉眼水库夏季水质理化指标

Table 3 The sampling points of the water physical and chemical index

采样点 Sampling sites	水深 Depth	透明度 SD	温度 WT	pH	溶解 氧 DO	电导率 COND	氯化物 Cl ⁻	铵离子 NH ₄ ⁺
S1	8.0	0.78	24.8	9.19	5.34	0.001	4.81	0.004
S2	4.8	0.82	25.3	9.25	5.56	0.002	2.70	0.002
S3	4.6	0.69	24.9	9.31	5.88	0.156	8.50	0.001
S4	4.0	0.64	24.1	8.45	4.75	0.149	8.91	0.001
S5	13.5	1.04	26.3	9.92	6.15	0.158	14.35	0.001
S6	16.0	1.02	24.9	9.47	5.17	0.152	8.95	0.001
S7	9.0	0.91	24.8	9.28	5.02	0.152	9.25	0.001
S8	14.2	0.99	25.3	9.74	5.84	0.154	11.11	0.001
S9	26.0	1.08	26.2	9.84	6.09	0.157	10.45	0.001
平均 Average	11.1	0.89	25.2	9.38	5.53	0.12	8.78	0.001
采样点 Sampling Sites	硝酸根离子 NO ₃ ⁻	叶绿素 a Chla	氨氮 NH ₄ ⁺ -N	硝酸盐氮 NO ₃ ⁻ -N	高锰酸盐 COD _{Mn}	总氮 TN	总磷 TP	
S1	0.77	7.9	0.57	0.63	6.2	1.25	0.05	
S2	0.11	7.9	0.56	0.55	5.9	1.42	0.06	
S3	0.73	7.9	0.53	0.57	5.8	1.36	0.04	
S4	0.35	8.3	0.6	0.53	6.4	1.16	0.06	
S5	3.01	7.1	0.47	0.69	5.6	1.36	0.06	
S6	0.50	7.3	0.58	0.60	6.0	1.29	0.06	
S7	0.49	7.6	0.55	0.60	5.3	1.34	0.05	
S8	1.07	7.3	0.47	0.59	6.2	1.40	0.04	
S9	0.87	6.7	0.64	0.64	6.1	1.39	0.05	
平均 Average	0.86	7.6	0.55	0.60	5.9	1.33	0.05	

2.3 典范对应分析

由图 2 可以看出, 轴 1 与 NO₃⁻ (p=0.95)、NO₃⁻-N (p=0.75) 和 Cl⁻ (p=0.75) 有极其显著的正相关性; 轴 2 与 NH₄⁺ (p=0.71)、TP (p=0.68) 和 Chla (p=0.60) 有非常显著的正相关性, 与 Depth (p=-0.72) 和 COND (p=-0.72) 有非常显著的负相关性。采样点 S6、S8 和 S9 及球形囊石虫、沟钟虫 *Vorticella convallaria*、小口钟虫、团脾腕虫 *Askenasia volvox*、角突臂尾轮虫 *Brachionus angularis*、柱足腹尾轮虫 *Brachionus diversicornis*、扁平泡轮虫 *Pompholyx xcomplanata*、沟痕泡轮虫、针簇多肢轮虫、尖尾疣毛轮虫 *Synchaeta stylata*、长足轮虫、虫宿温剑水蚤、粗壮温剑水蚤和毛饰拟剑水蚤 *Paracyclops fimbriatus* 与 Depth 和 COD_{Mn} 呈显著的负相关; S2 和 S4 及褐砂壳虫、太阳球吸管虫、浦达臂尾轮虫 *Brachionus budapestiensis*、萼花臂尾轮虫 *Brachionus calyciflorus*、罗氏同尾轮

虫 *Diurella rousseleti*、多态胶鞘轮虫 *Collotheca ambigua*、白色大剑水蚤、爪哇小剑水蚤和微刺小剑水蚤与 NH_4^+ 、TP 和 Chla 表现出很高的正相关性。剪形臂尾轮虫和拟剑水蚤属 *Paracyclops* sp. 与 NO_3^- 和 WT 表现出很高的相关性, S5 和筒弧象鼻溞与各项环境因子相关性不是很大。

从总体上看,按向量长短降序排列 NO_3^- 、 NO_3^- -N、 Cl^- 、COND、Depth、 NH_4^+ 、TP 和 Chla 是影响浮游动物分布的主要环境因子,与 TN 的相关性不大。

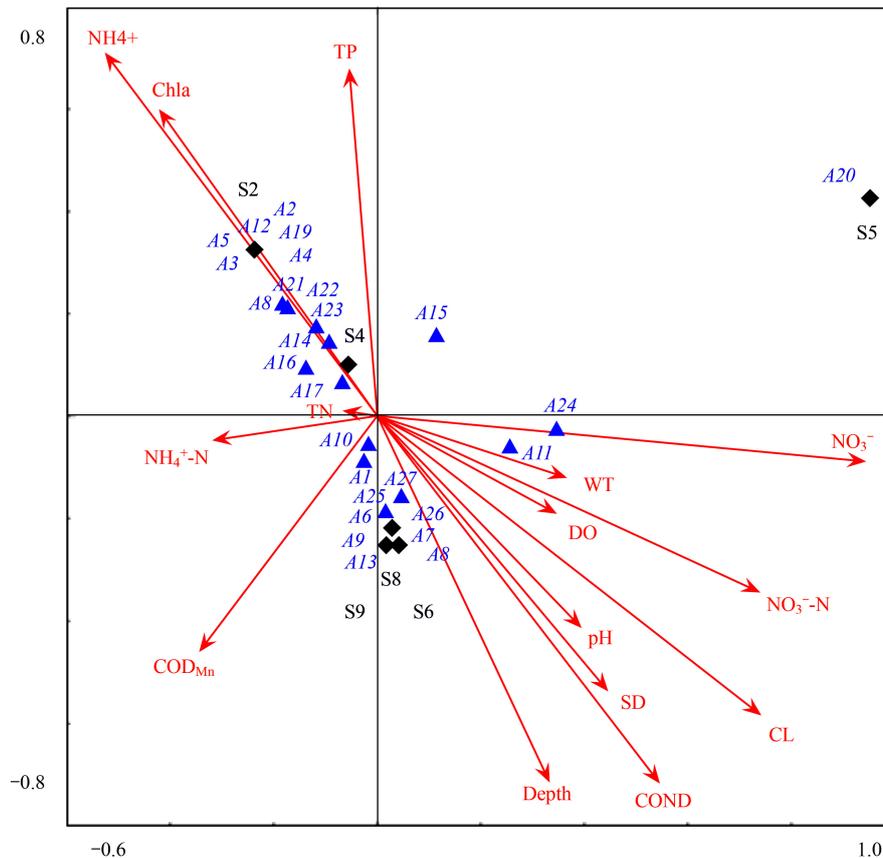


图2 浮游动物与环境因子的 CCA 分析

Fig.2 CCA analysis for the relationship between zooplankton community and environmental factors

3 讨论

3.1 丰度与生物量不成比例的原因分析

一般情况下,丰度和生物量呈显著正相关,即丰度越高,生物量也越高^[19]。本次调查共鉴定出 56 种浮游动物,其中轮虫种数达 29 种,占总种数的 52.0%,丰度贡献率高达 70.4%,生物量贡献率为 25.1%,而桡足类 9 种,占总种数的 16.0%,丰度贡献率仅为 6.0%,生物量贡献率却高达 71.9%,即种类数量和丰度贡献率轮虫是桡足类的 3.2 倍和 5.4 倍,生物量贡献率桡足类反是轮虫的 2.86 倍,与上述结论不一致。本次调查中,轮虫贡献率最大的是长三支轮虫和针簇多肢轮虫,其个体生物量都为 0.003mg,而桡足类贡献率最大的是微刺小剑水蚤,其个体生物量为 0.020mg,就个体生物量而言,微刺小剑水蚤是长三支轮虫和针簇多肢轮虫的 6.67 倍,又由于微刺小剑水蚤同样是优势种,其数量也相对较多,所以出现了丰度和生物量呈现负相关的现象。即可以得出,丰度贡献量大且个体湿重较大,该种类所属类群生物量有可能就大;若丰度贡献量虽大,但个体湿重却较小,该种类所属类群生物量有可能就小。

3.2 浮游动物群落结构的变化分析

1998 年和 2005 年,韩英^[20]和李喆^[21]对西泉眼水库浮游动物进行了调查研究,两次都鉴定出 35 种(属),

且除部分原生动物和轮虫鉴定到种以外,枝角类和桡足类全部都鉴定到属。本次调查基本都鉴定到种,在总种类数要比前两次多 21 种;1998 年调查的枝角类数量相对较多,有象鼻溞 *Bosmina* sp.、尖额溞 *Alona Baird* sp.、僧帽溞 *Daphnidae cucullata*、秀体溞 *Diaphanosoma* sp. 和大型溞 *Dapacia magna* 等中营养水体指示种^[11];2005 年调查的原生动物数量相对较多,为 17 种,其中砂壳虫属 *Diffugia* 和表壳虫属 *Arcelle* 数量占 58.8%,大多为清洁类指示物种^[16],同时也出现了放射太阳虫 *Actinophrys sol*、变形虫 *Amoeba* sp. 的中营养水体指示种^[15];本次调查轮虫和桡足类相对较多,轮虫为 29 种,其中有 17 种为中等以上营养水体指示种,占 58.6%;桡足类为 9 种,大多为中营养水体指示种。在优势种数量上呈现逐年减少的趋势,1998 年最多,为 12 种,污染指示等级偏低,2005 年优势种仅有原生动物和桡足类,污染指示等级不显著,2010 年中污染指示种类占 57.0%,且都在中等污染等级以上;在丰度和生物量方面出现急剧下降趋势,丰度下降了 270 倍,生物量下降了 55 倍。西泉眼水库 1996 年开始蓄水,1998 年水库处于初建时期,面积广大的淹没区和集雨区提供了丰富的有机质和无机盐,为原生动物的繁殖生存提供了优越的环境条件,此时水体始终没有形成温跃层,物质循环良好,无污染,也为浮游生物创造了良好的生态环境。虽然水库在 2010 年时已经经过十几年的稳定运行,水体已经基本处于稳定状态,但是随着水库上游人口和工厂数量的增加,以及大气降水、降尘污染,还有近年库区周围旅游业逐渐兴起,给西泉眼水库带来了大量的外源性污染,水质的变化使浮游动物种群结构失去了原有的动态平衡,形成了新的种群结构特征。

3.3 西泉眼水库评水质评价方法分析

由于浮游动物种群结构特征与环境因子的关系复杂,仅从生态学评价水质还不够全面,且有学者认为评价水体的污染程度也不能单纯以浮游生物种类和数量为准,应该从整个群落组成特征考虑,将生态学指标与理化指标结合起来综合评价,可获得更为真实的评价结果^[22]。本研究运用了现存量法、指示生物法、多样性指数法、轮虫生物指数法、E/O 指数法和肥度指数法等多种生物学评价方法,并结合水质理化指标对西泉眼水库夏季水体污染情况进行了比较全面的分析研究,各项结果显示,西泉眼水库水体已处于中等污染状态,比较真实的反映了该水库的现实污染情况。

参考文献 (References):

- [1] 王雯. 城市富营养化水体浮游植物群落结构初步研究[D]. 天津: 南开大学, 2004.
- [2] 王新华, 王宏鹏, 纪炳纯. 天津市团泊水库浮游动物研究与水环境评价. 四川动物, 2008, 27(5): 807-809.
- [3] 刘一, 禹娜, 熊泽泉, 毛开云, 李二超, 陈立侨. 城区已修复河道冬季浮游动物群落结构的初步研究. 水生态学杂志, 2009, 2(3): 1-7.
- [4] 李佳娟, 于洪贤, 刘曼红, 费滕. 西泉眼水库水源地 10 月大型底栖动物群落特征及其与环境因子的关系. 东北林业大学学报, 2011, 39(11): 79-83.
- [5] 迟晋峰, 刘玉黛, 迟晋旭. 哈尔滨市西泉眼水库水环境现状及水源保护对策. 黑龙江水利科技, 2010, 38(1): 174-175.
- [6] 王建国. 西泉眼水库浮游植物群落结构动态特征及其与水环境因子的关系分析[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2011.
- [7] 王凤娟, 胡子全, 汤洁, 刘连生, 赵海泉. 用浮游动物评价巢湖东湖区的水质和营养类型. 生态科学, 2006, 25(6): 550-553.
- [8] Ortells R, Gomez A, Serra M. Coexistence of cryptic rotifer species: ecological and genetic characterization of *Brachionus plicatilis*. *Freshwater Biology*, 2003, 48: 2194-2202.
- [9] Asknes, L. Wassman, P. Modeling the significance of zooplankton grazing for export production. *Limnol. Oceanogr*, 1993, 38: 978-985.
- [10] 王璐璐, 董芳, 李芳芳, 段梦, 朱琳. 大辽河水系夏季后生浮游动物群落结构及水生态评价. 生态学杂志, 2013, 32(2): 389-395.
- [11] 王凤娟. 巢湖东半湖浮游生物与水水质状况及营养类型评价[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2007.
- [12] 金相灿, 刘树坤, 章宗涉, 屠清瑛, 徐南妮. 中国湖泊环境(第一册). 北京: 海洋出版社, 1995: 234-302.
- [13] 林小苹. 基于 SOM 和 CCA 的柘林湾浮游动物群落结构及其与环境因子关系的研究[D]. 汕头: 汕头大学, 2010.
- [14] 沈韞芬, 章宗涉. 微型生物监测新技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990: 119-142.
- [15] 刘樵. 阳澄湖小型浮游动物群落结构特征与富营养化的关系[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.
- [16] 陈立婧, 顾静, 彭自然, 孔优佳, 花少鹏, 王武. 漏湖轮虫群落结构与水质生态学评价. 动物学杂志, 2008, 43(3): 7-16.
- [17] 蒋燮治, 堵南山. 中国动物志(淡水枝角类). 北京: 科学出版社, 1979: 1-279.
- [18] 沈嘉瑞, 戴爱云, 张崇洲. 中国动物志(淡水桡足类). 北京: 科学出版社, 1979: 1-450.
- [19] 陈亮, 刘一, 禹娜, 冯德祥, 李二超, 贾永义, 陈立侨. 分水江水库浮游动物群落结构的初步研究及水质评价. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2010, (6): 72-82.
- [20] 韩英, 董建国, 张秉强, 庞作忠, 葛凤泉. 西泉眼水库浮游生物群落及鲢鳙鱼产力的估算. 黑龙江水产, 1998, 37(3): 15-18.
- [21] 李喆, 姜作发, 李池陶, 赵文阁. 西泉眼水库冰下浮游动物种群结构的观察. 水产学杂志, 2006, 19(1): 62-67.
- [22] 侯磊. 珠江广州河段和磨刀门河口轮虫的群落特征[D]. 广州: 暨南大学, 2011.