

丹江口水库浮游轮虫群落季节变动特征及其与环境因子的关系*

孔令惠^{1,2}, 蔡庆华^{1**}, 徐耀阳^{1,2}, 王 岚^{1,2}, 张 敏^{1,2}

(1: 中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072)

(2: 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 为了解丹江口水库轮虫群落的季节变化及其与环境因子的关系, 于 2007 年 7 月至 2008 年 5 月对丹江口水库轮虫群落及理化因子进行了周年调查. 共检测到轮虫 62 种, 隶属于 12 科 23 属, 其中丹江库区 30 种, 汉江库区 54 种. 广布多肢轮虫(*Polyarthra vulgaris*)、螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)、长圆疣毛轮虫(*Synchaeta oblonga*)、等刺异尾轮虫(*Trichocerca similes*)、冠饰异尾轮虫(*Trichocerca lophoessa*)、裂痕龟纹轮虫(*Anuraeopsis fissa*)为主要优势种类. 丹江口水库轮虫年平均密度和生物量季节变化特征为: 冬季 < 春季 < 夏季 < 秋季; 区域变化特征为: 丹江库区 < 取水口 < 汉江库区 < 青入库区. 相关分析表明, 水体透明度、叶绿素 a、总磷、溶解性氮和溶解氧浓度与轮虫密度和生物量呈显著的相关关系. 夏季对优势轮虫密度变化有显著贡献的环境因子为 SiO₂-Si 和溶解氧含量, 秋季为溶解氧和 pH, 冬季为叶绿素 a、溶解氧和 DIN, 春季为 DIN.

关键词: 浮游轮虫; 群落结构; 季节变化; 丹江口水库

Seasonal change features of rotifer community and its correlation with environmental factors in Danjiangkou Reservoir

KONG Linghui^{1,2}, CAI Qinghua¹, XU Yaoyang^{1,2}, WANG Lan^{1,2} & ZHANG Min^{1,2}

(1: State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, P. R. China)

(2: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P. R. China)

Abstract: Community structure of rotifers and water physical-chemical factors of Danjiangkou Reservoir were seasonally investigated during July 2007 to May 2008. Seasonal dynamics of rotifer community and the water trophic and health state from the reservoir were analyzed and assessed. There 62 species were found, 30 species in Danjiang area, 54 species in Hanjiang area, and 22 species were in both places. *Polyarthra vulgaris*, *Keratella cochlearis*, *Synchaeta oblonga*, *Trichocerca similes*, *Trichocerca lophoessa* and *Anuraeopsis fissa* were the most common dominant species. Average density and biomass of rotifers reached the maximum in winter and followed by spring, summer and autumn. The changes of convergent areas are greater in Wuqing area, followed by Hanjiang, Qushuikou and Danjiang reservoir areas. Water transparency, chlorophyll-a, dissolved oxygen, TP, pH and DIN have been correlated with rotifer density and biomass, of which SiO₂-Si and dissolved oxygen were significantly contributed to dominant rotifer densities in summer. Dissolved oxygen and pH in autumn, chlorophyll-a, dissolved oxygen and DIN in winter, DIN in spring were significantly contributed to dominant rotifer densities.

Keywords: Rotifer; community structure; seasonal variations; Danjiangkou Reservoir

轮虫是淡水浮游动物的重要组成部分之一. 由于轮虫个体较小、发育时间短、周转快, 生产量高^[1-2]、对环境反应灵敏, 所以它在水生态系统结构、功能和生物生产力中具有重要意义. 同时轮虫是良好的环境指示生物, 国内外对轮虫在生物监测中的指示作用进行了不少的研究^[3-5]. 轮虫的种类、密度会随水体富营养化

* 国家“十一五”科技支撑课题项目(2006BAC10B02)资助. 2009-11-23 收稿; 2010-05-04 收修改稿. 孔令惠, 女, 1985 年生; E-mail: konglinghui@ihb.ac.cn.

** 通讯作者; E-mail: qhcai@ihb.ac.cn.

程度的加剧而增加^[6-7], 水体环境因子对轮虫种类和数量的分布有重要影响^[8-9]. 轮虫群落也是水库生态系统中的重要组成成分^[10], 轮虫在大多数水库中以高密度存在, 数量一般高于其他浮游动物^[11], 且在营养循环和能量传递过程中起着主导作用^[12], 水库中轮虫群落的变化能够及时地反映水体环境状况. 因而, 对水库中轮虫群落进行研究具有重要意义.

丹江口水库是南水北调中线工程的重要水源地, 水库分为两大区域: 汉江库区和丹江库区. 汉江和丹江为丹江口水库的主要入库河流, 因其来水量大, 自净能力强, 致使丹江口水库的水质优良^[13], 但随着库区周围地区经济的不断发展, 自然因素及人为因素使入库干、支流水质发生变化, 必将影响丹江口水库的水质, 水环境的变化会对水生生物群落结构产生影响. 韩德举^[14]、杨广^[15]等曾于 1992 - 1993 年对丹江口水库进行了浮游生物和底栖动物的周年调查; 李玉英等^[16-17]监测了丹江口水库的细菌和浮游植物, 张乃群等^[18]对丹江库区的浮游植物进行监测(2003 - 2005 年). 对丹江口水库生态研究的相关报道中, 仅韩德举、杨广等涉及轮虫研究, 而较少有关丹江口轮虫群落季节变化及空间分布的详细报道. 本文于 2007 年 7 月至 2008 年 5 月对丹江口水库的轮虫群落和水体理化指标进行周年监测, 分析丹江口水库轮虫群落的季节变化及其影响因素, 从轮虫的角度反映丹江口水库的水生态状况, 从而为丹江口水库生态系统管理提供科学依据, 同时也可今后的研究提供对比资料.

1 研究方法

1.1 研究区域概况

丹江口水库位于丹江汇入汉江汇口以下 0.18km 处, 是由汉江和丹江两个库区组成的并联水库, 库区跨越鄂、豫、陕三省, 流域面积 $9.52 \times 10^4 \text{ km}^2$, 多年平均径流量 $4.09 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ^[13], 是一座具防洪、发电、灌溉等综合效益的大型水利工程. 丹江口水库是南水北调中线工程引用水源地. 南水北调中线工程将以丹江口水库陶岔为渠首(河南省南阳市淅川县), 向北引水, 重点解决北京、天津、石家庄等沿线 20 多座大城市的缺水问题^[19].

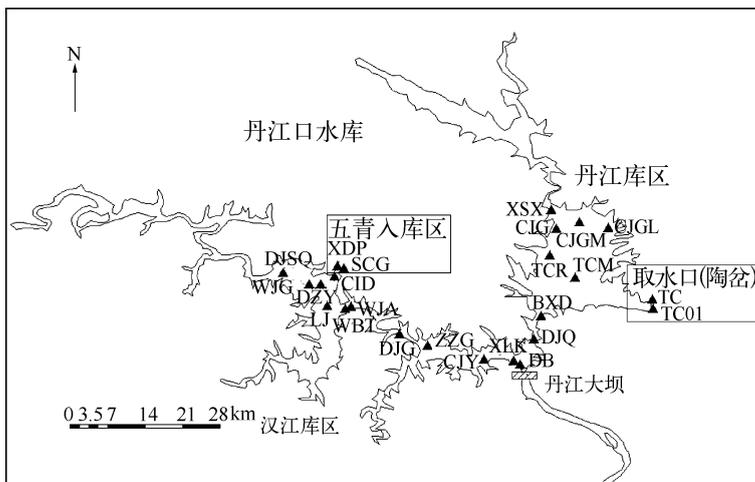


图 1 丹江口水库样点设置

Fig. 1 Sampling sites in Danjiangkou Reservoir

1.2 样点设置

本研究在丹江库区和汉江库区共设置 22 个样点, 其中丹江库区 10 个样点, 包括取水口陶岔的两个样点(TC 和 TC01); 汉江库区 12 个样点, 包括青塘河河口行陡坡(XDP)和五龙池河口石场沟(SCG), 我们将这两个样点所在的区域称为五青入库区, 主要是为了监测入库河流对水库水质的影响. 分析时将取水口和五青入库区从丹江库区和汉江库区分离出来, 对这四个区域进行比较分析. 监测工作分别在 2007 年 7 月、

2007年11月、2008年1月和2008年5月进行,各时期监测样点数量略有不同。

1.3 样品测定

在各样点采集 10L 表层水样并混合均匀,取 610ml 混合水样用于藻类叶绿素 a (Chl. a) 含量的测定;另取 1220ml 混合水样现场用鲁哥氏液固定,经 48h 沉淀浓缩后添加甲醛保存,用于后续的浮游轮虫鉴定及定量分析;取 610ml 混合水样,现场添加浓硫酸,调整 pH < 2,低温保存,带回实验室,利用连续流动水质分析仪 (SAN + +, Skalar) 测量总磷 (TP)、溶解无机氮 (Dissolved Inorganic Nitrogen, DIN; $DIN = NO_2-N + NO_3-N + NH_4-N$)、溶解无机磷 (Dissolved Inorganic Phosphorus, DIP; $DIP = PO_4-P$)、总溶解性氮 (TN) 及 SiO_2-Si 等水化学指标. 利用直径为 20cm 的萨氏圆盘 (Secchi disc) 现场测量水体的透明度;利用 YSI 多参数水质测量仪 (YSI 6600 EDS) 现场测量溶解氧 (DO)、pH、水温 (WT)、浊度、电导率等指标. 野外采样及样品处理等参照《水域生态系统观测规范》^[20] 进行;轮虫计数、鉴定方法参照文献^[21-23],叶绿素 a 浓度测定方法参照文献^[21-22].

1.4 数据分析方法

用 One-way ANOVA 分析了不同区域之间环境因子的差异,并采用 Pearson 相关分析方法分析了轮虫和环境因子之间的关系,以上分析均在 SPSS16.0 统计软件中进行. 并用 Canoco 4.5 分析环境因子对轮虫群落的影响. 利用典型对应分析 (Canonical Correspondence Analysis, CCA) 对浮游轮虫群落进行排序,并筛选出对浮游轮虫分布具有重要并独立作用的最少变量组合,CCA 分析过程中,选择向前选择 (Forward Selection) 和 Monte Carlo 检验 (499 次非限制性转置),并将具有较高偏相关系数 ($r > 0.80$) 和变异波动指数 (Variance Inflation Factor, >20) 的变量排除.

2 结果

2.1 水体理化因子

夏、秋、冬、春季采样时的水温分别在 25℃、19℃、9℃、24℃ 左右. 水体理化因子的均值及范围见表 1. 五青入库区的 Chl. a 浓度 ($P < 0.01$, $F = 145.2$) 和 TP 含量 ($P < 0.01$, $F = 82.1$) 以及溶解氧浓度 ($P < 0.01$, $F = 24$) 显著高于其他三个区域 (丹江库区、汉江库区和取水口区域),透明度则显著低于其他区域 ($P < 0.01$, $F = 7.5$),汉江库区与丹江库区的透明度 ($P < 0.01$, $F = 8.626$) 和溶解氧 ($P < 0.05$, $F = 6.402$) 也有显著差异.

表 1 丹江口水库理化因子均值及范围

Tab. 1 Mean and range of physical-chemical parameters in Danjiangkou Reservoir

因子	丹江库区	汉江库区	取水口	五青入库区
SD (m)	4.04 (1.85 - 8.40)	1.79 (0.5 - 4.5)	3.72 (140 - 570)	0.88 (0.5 - 1.2)
Chl. a ($\mu\text{g/L}$)	3.41 (0.35 - 11.98)	7.27 (0.92 - 47.82)	4.36 (1.11 - 7.80)	188.95 (5.41 - 609.49)
pH	7.55 (6.80 - 8.27)	7.24 (6.42 - 8.25)	7.29 (6.78 - 7.98)	7.46 (6.96 - 8.01)
电导率 (mS/cm)	0.311 (0.23 - 0.35)	0.26 (0.23 - 0.30)	0.31 (0.29 - 0.33)	0.27 (0.22 - 0.33)
浊度 (NTU)	1.45 (0.05 - 3.24)	8.12 (0 - 37.50)	1.17 (0 - 4.30)	9.35 (2.88 - 17.40)
DO (mg/L)	10.26 (9.37 - 11.89)	9.52 (5.41 - 11.65)	10.53 (8.64 - 12.35)	11.35 (4.08 - 15.50)
SiO_2-Si (mg/L)	1.66 (0.32 - 2.86)	2.62 (0.37 - 4.43)	1.66 (0.34 - 2.35)	2.41 (0.71 - 4.32)
TP (mg/L)	0.02 (0 - 0.1)	0.02 (0 - 0.05)	0.02 (0.01 - 0.04)	0.17 (0.01 - 0.76)
DIN (mg/L)	1.33 (1.08 - 1.49)	1.15 (0.85 - 1.53)	1.21 (1.1 - 1.31)	1.21 (6.80 - 1.92)
PO_4-P (mg/L)	0.02 (0 - 0.04)	0.03 (0 - 0.34)	0.01 (0 - 0.03)	0.07 (0 - 0.28)
TN (mg/L)	1.41 (1.09 - 1.70)	1.22 (0.94 - 1.54)	1.25 (1.09 - 1.37)	1.34 (0.87 - 2.25)

2.2 轮虫种类组成

共发现轮虫 62 种,隶属于 12 科 23 属,其中丹江库区 30 种,汉江库区 54 种 (尤以夏季出现种类最多,达 41 种),共有种 22 种. 广布多肢轮虫 (*Polyarthra vulgaris*)、螺形龟甲轮虫 (*Keratella cochlearis*)、长圆疣毛轮虫

(*Synchaeta oblonga*)、等刺异尾轮虫(*Trichocerca similes*)、冠饰异尾轮虫(*Trichocerca lophoessa*)、裂痕龟纹轮虫(*Anuraeopsis fissa*)为主要优势种类,这些种类均在五青入库区占优势,丹江库区和取水口的轮虫优势种类主要为广布多肢轮虫和螺形龟甲轮虫,汉江库区的轮虫优势种类为广布多肢轮虫、螺形龟甲轮虫、长圆疣毛轮虫和冠饰异尾轮虫(图2)。其中广布多肢轮虫在各季节均出现且占优势,冠饰异尾轮虫仅在春季占优势,裂痕龟纹轮虫在冬季未出现。

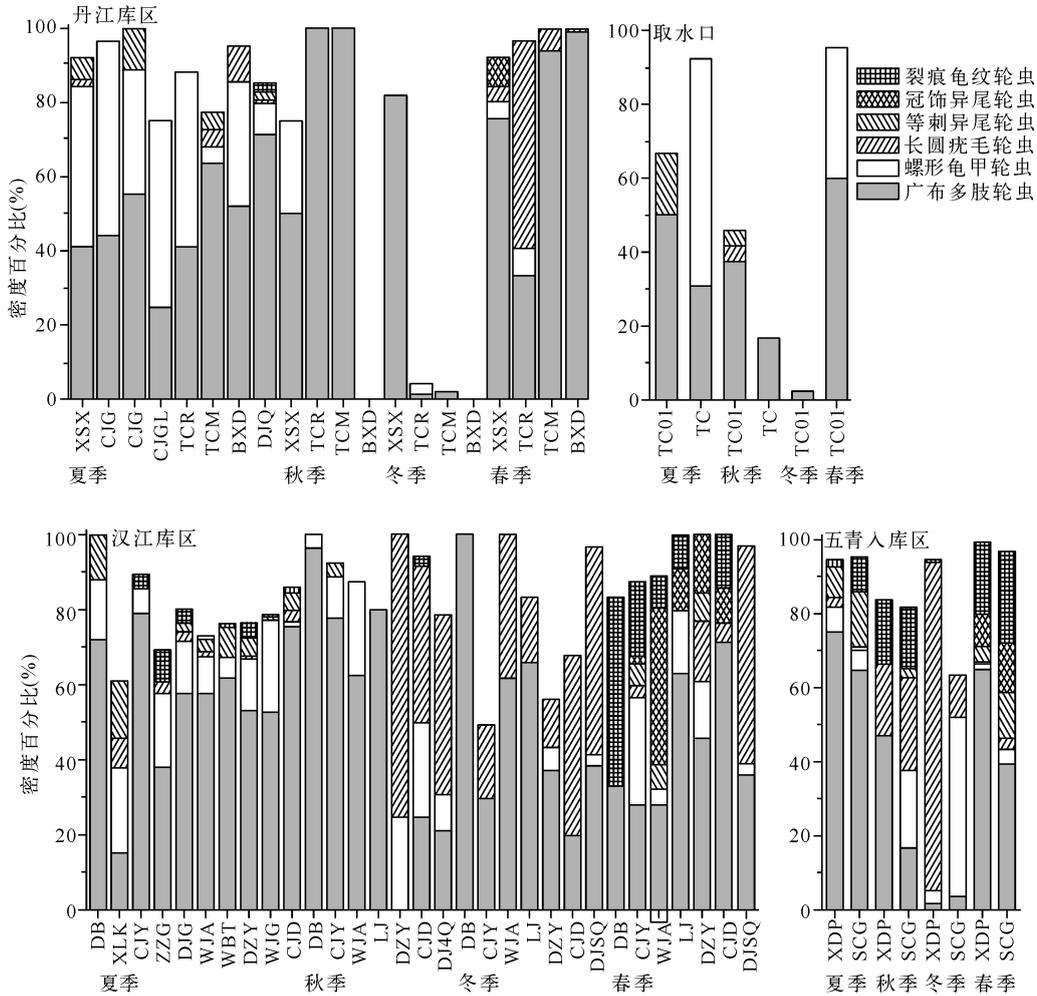


图2 丹江口水库各区域优势轮虫种类相对丰度

Fig. 2 Relative abundance of dominant species in different areas of Danjiangkou Reservoir

2.3 轮虫密度和生物量的季节变化

丹江口水库年平均密度和生物量分别为 579ind./L 和 149.16 μ g/L,各季节平均密度变化较大,冬季最低(262ind./L),秋季最高(830ind./L),且冬季 < 春季 < 夏季 < 秋季;各季节轮虫的平均生物量变化不显著,秋季稍高(图3a)。

各区域轮虫密度和生物量均值差异显著,其中丹江库区最低,密度和生物量分别为 205ind./L 和 51.58 μ g/L;五青入库区最高,密度和生物量分别为 2843ind./L 和 725.17 μ g/L。平均密度和生物量空间分布特征为:丹江库区 < 取水口 < 汉江库区 < 五青入库区(图3b)。

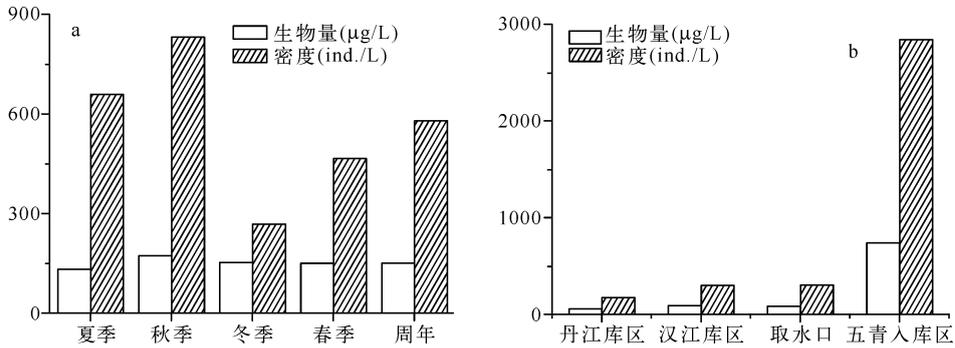


图3 丹江口水库各季节(a)和各区域(b)轮虫平均密度和生物量

Fig. 3 Average density and biomass of rotifers of different seasons (a) and in different areas (b) in Danjiangkou Reservoir

各区域的轮虫密度和生物量季节变化显著(图4),丹江库区秋季最低,冬、春、夏季逐渐升高;汉江库区冬季最低,夏季最高,春、秋季轮虫生物量相近,秋季轮虫密度高于春季;取水口轮虫密度和生物量季节变化呈夏、秋、冬、春逐渐增长趋势;五青入库区各季节轮虫密度生物量均较高,秋季最高。

不同季节轮虫群落空间分布特征不同(图4):夏季,取水口区域轮虫密度和生物量最低(117ind./L, 25.61 $\mu\text{g/L}$),丹江库区次之(336ind./L, 62.83 $\mu\text{g/L}$),汉江库区第三(632ind./L, 147.8 $\mu\text{g/L}$),五青入库区最高(2662ind./L, 446.8 $\mu\text{g/L}$);秋季,轮虫在各区域的分布规律也为丹江库区(14ind./L, 4.76 $\mu\text{g/L}$) < 取水口(197ind./L, 68.98 $\mu\text{g/L}$) < 汉江库区(342ind./L, 83.97 $\mu\text{g/L}$) < 五青入库区(5373ind./L, 1008.37 $\mu\text{g/L}$);冬季,轮虫密度和生物量在全年中最低,而汉江库区则在此时期最低(12ind./L, 2.40 $\mu\text{g/L}$),丹江库区低于取水口区域,五青入库区仍最高(1602ind./L, 912.78 $\mu\text{g/L}$);春季,取水口(738ind./L, 136.10 $\mu\text{g/L}$)轮虫密度和生物量均高于丹江库区(254ind./L, 74.42 $\mu\text{g/L}$)和汉江库区(182ind./L, 82.46 $\mu\text{g/L}$),仅次于五青入库区(1736ind./L, 532.73 $\mu\text{g/L}$)。

广布多肢轮虫各季节均出现且为优势种类,丹江库区主要以夏、春季密度较高,秋、冬季密度非常低,汉江库区则是夏、秋季密度最高,冬、春季较低,取水口区域则是春季密度最高(443ind./L),五青入库区除冬

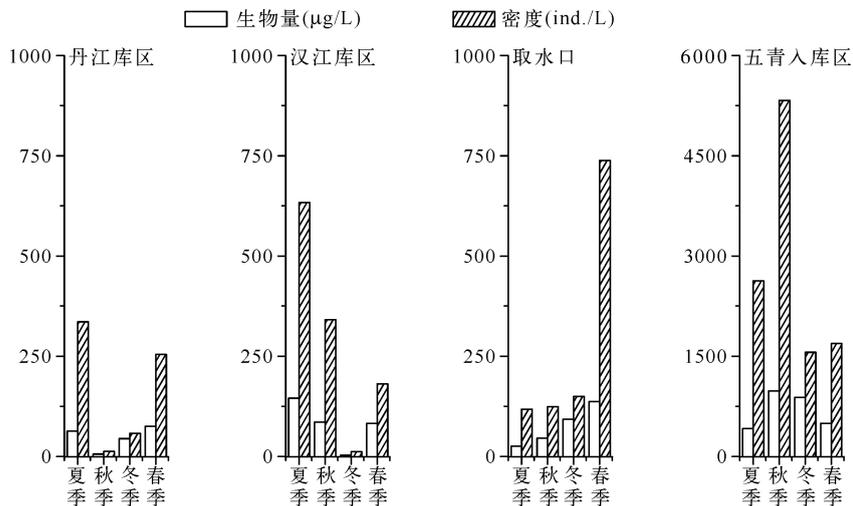


图4 丹江口水库各区域轮虫生物量和密度的季节变化

Fig. 4 Season variation of rotifers' biomass and density in different areas of Danjiangkou Reservoir

季以外均较高,夏季最高,达 1832ind./L. 螺形龟甲轮虫也以五青入库区密度最高,秋季达 1223ind./L,其他区域夏、春季密度较高,秋、冬季密度很低. 长圆疣毛轮虫主要出现在汉江库区和五青入库区,秋、冬季在五青入库区均超过了 1000ind./L. 等刺异尾轮虫、冠饰异尾轮虫和裂痕龟纹轮虫也主要在五青入库区出现密度较高(图 5).

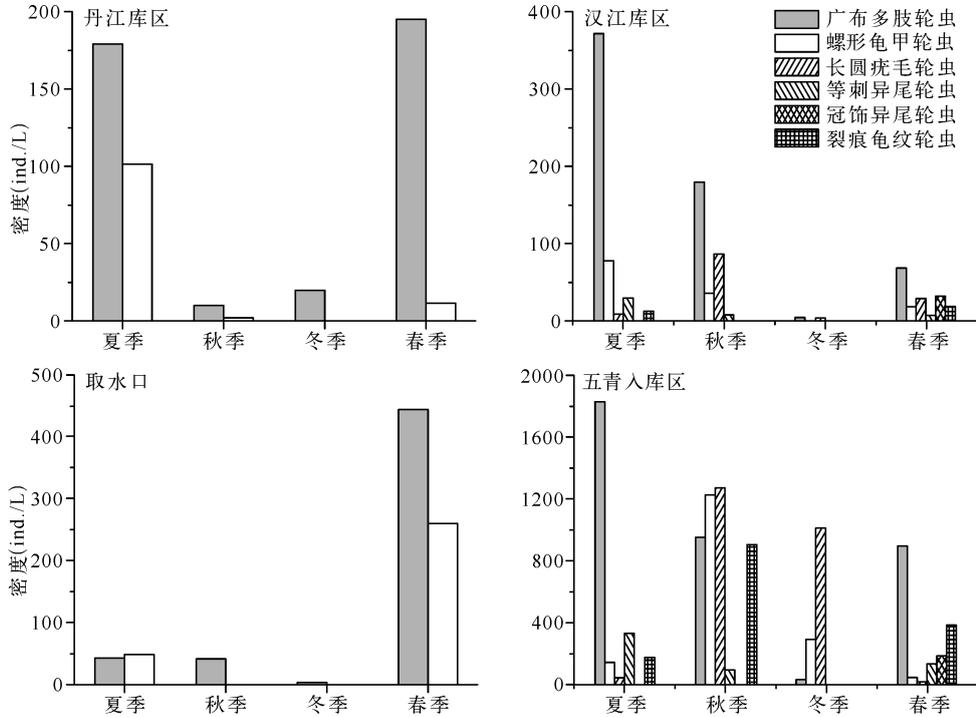


图 5 丹江口水库各区域优势轮虫密度季节变化

Fig. 5 Seasonal dynamics of rotifer densities in different areas of Danjiangkou Reservoir

2.4 水库水体环境因子及其与轮虫分布的关系

Pearson 相关分析结果表明(表 2),夏、秋、冬三季的轮虫密度和生物量与水体透明度呈显著的负相关关系,与叶绿素 a 和溶解氧浓度呈显著的正相关关系,夏季和冬季轮虫密度和生物量与 SiO₂-Si 显著正相关,冬季轮虫生物量与 PO₄-P 显著正相关,秋、冬季轮虫密度和生物量与 TP 显著正相关,夏季轮虫密度与 TP 和 DIN 显著相关,夏季轮虫生物量与 DIN 显著正相关,夏季轮虫密度和生物量与 TN 均呈显著的正相关关系.

表 2 轮虫总密度和生物量与环境因子的 Pearson 相关分析结果

Tab. 2 Pearson correlation between rotifer density, biomass and environmental factors

		SD	Chl. a	DO	SiO ₂ -Si	PO ₄ -P	TP	DIN	TN
轮虫总密度	夏季	-0.454 *	0.926 **	0.811 **	0.479 *		0.463 *	0.733 **	0.828 **
	秋季	-0.572 *	0.894 **	0.757 **			0.917 **		
	冬季	-0.688 **	0.925 **	0.576 *	0.660 *		0.994 **		
	春季								
轮虫生物量	夏季	-0.532 *	0.899 **	0.780 **	0.575 **			0.734 **	0.799 **
	秋季	-0.577 *	0.879 **	0.750 **			0.916 **		
	冬季	-0.648 *	0.913 **	0.899 **	0.727 **	0.609 *	0.678 **		
	春季								

* P < 0.05; ** P < 0.01.

CCA 分析表明,环境因子对各季节优势轮虫密度变化均有较高解释率,夏季环境因子的解释率为 58.02%,秋季为 88.08%,冬季为 88.28%,春季则高达 96.44%。通过向前选择方法(Forward selection),筛选出对优势轮虫密度变化有显著贡献($P < 0.05$, Monte Carlo test)的环境因子,通过 CCA 分析这些环境因子对轮虫密度变化的影响,结果表明,夏季对优势轮虫密度变化有显著贡献的环境因子为 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 和溶解氧,两个因子的共同解释率达到 34.57%;秋季为溶解氧和 pH,共同解释率为 37.98%;冬季有显著贡献的环境因子为叶绿素 a、溶解氧和 DIN,解释率达 72.98%;春季对轮虫密度变化有显著贡献的因子为 DIN,其解释率为 36% (图 6)。

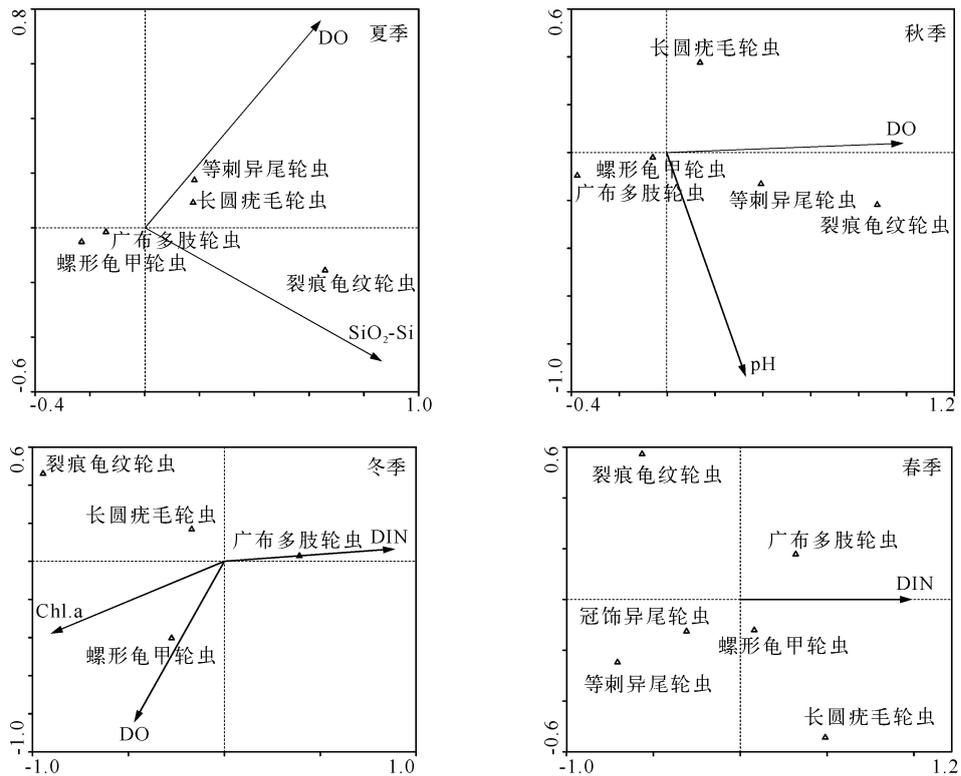


图 6 各季节优势轮虫种类和环境因子的 CCA 分析结果

Fig. 6 Resulting from CCA of dominant rotifer species with respect to environmental factors in different seasons

3 讨论

丹江口水库轮虫群落种类组成及丰度季节变化明显,不同季节丹江口水库轮虫群落各受到一定因素的影响.多数学者都认为决定轮虫种类季节演替的主要因子是水温^[24-25],本研究由于仅进行了四次采样,不能很好地验证水温对轮虫群落的影响,但丹江口水库处于亚热带,四季温度变化明显,轮虫群落的季节变化必然与温度有关.溶解氧、叶绿素 a 和透明度与各季节轮虫密度分布均显著相关.溶解氧是影响轮虫密度的主要非生物因素之一^[25],在许多水体分层的富营养化湖泊中,溶解氧的不足可以限制轮虫的发生^[1],丹江口水库是多年调节型水库,有明显的热分层现象^[26],因而溶解氧对丹江口水库轮虫密度有限制作用.轮虫密度与藻类叶绿素 a 浓度相关性显著,说明轮虫的繁殖除受水温影响外,也受到藻类食物的影响,而温度、藻类、轮虫三者是相辅相成的,而温度适宜、食物充足的情况下轮虫可以大量繁殖,丹江口水库不同库区藻类叶绿素 a 浓度不同,五青入库区最高,汉江库区次之,丹江库区最低,相关分析表明叶绿素 a 与轮虫密度相关性显著,因而叶绿素 a 浓度也是影响丹江口水库轮虫密度的重要因素.丹江口水库透明度也与轮虫密度显著相

关,这与卢亚芳等人对杏林湾水库的研究结果一致^[27].营养盐在影响浮游植物生产的同时也会对浮游动物多样性和数量产生一定影响,但这种影响作用通常是间接的,浮游动物的种类和数量与营养盐密切相关,例如东湖浮游动物物种多样性与营养水平呈现相反的趋势,即当水体中营养型向富营养型过渡时物种多样性降低,但浮游动物的密度与生物量却增高^[28-29],太湖三个湖区具有不同的水体营养水平,同时其轮虫群落结构也不同^[30],丹江口水库氮、磷、硅等营养盐在各季节与轮虫密度相关性显著,并对轮虫群落分布有一定的贡献作用,说明丹江口水体营养盐也是轮虫群落的影响因素之一.

丹江口水库轮虫群落不仅季节变化明显,水库不同区域之间的差异也较明显.丹江库区轮虫密度和生物量低于汉江库区,轮虫种类数和优势种类数也少于汉江库区,尤其是五青入库区,其轮虫密度和种类均远远高于丹江库区.水环境决定了生物种群或群落结构特征,生物个体、种群或群落的变化同样可以客观反映出水体质量的变化规律^[31].轮虫对水体环境变化较敏感,同时轮虫数量和生物量会随着水体富营养化程度的加剧而增加^[6-7].丹江库区和汉江库区轮虫群落结构的不同是与两库区的水质状况及库区环境密切相关的.汉江库区洄水长度长,沿途汇入河流众多,植被稀少,两岸人口密度高,厂矿企业较多,受人类生产活动影响较大;丹江库区水面开阔,净水面积大,两岸人口及工矿企业少,受到人类活动影响小,同时受到水库调度的影响较大^[14],所以丹江库区水质优于汉江库区,其营养盐浓度、藻类生物量(叶绿素 a)均显著低于汉江库区,对于轮虫来说丹江库区的饵料不及汉江库区丰富,而饵料是影响轮虫群落增长的重要因素^[25],因而轮虫丰度低于汉江库区.藻类、细菌及腐殖质均可作为轮虫的食物资源^[32-33].广布多肢轮虫、螺形龟甲轮虫、长圆疣毛轮虫以藻类为主要食物,异尾轮虫是吮吸性种类,可以以丝状藻的细胞内容物为食^[34],裂痕龟纹轮虫主要以腐殖质为食^[35].丹江库区和汉江库区的浮游植物种类大体相似,但汉江库区的浮游植物密度高于丹江库区,因而高密度的浮游植物种类较多,蓝藻类、绿藻类、硅藻类都得以大量繁殖^[15],同时汉江库区营养更加丰富,腐殖质较多,这可能是汉江库区优势种类组成与丹江库区存在差异的原因.

结果表明取水口区域的轮虫群落结构及水体营养盐与丹江库区相近,说明取水口区域的水质较好.由于五青入库区的两个样点分别是青塘河和五龙池的入口,受河流汇入的影响较大,对于五龙池和青塘河入库区的监测结果表明其轮虫丰度及水质均与水库其他区域明显不同,这也反映了这两条河流受污染较严重,水库入库区域水质富营养化较严重.丹江库区的发展使得入库河流受到不同程度的污染.而被污染的河水不断注入水库必然会对水库的水质产生一定的影响,虽然这种影响还没有明显地表现出来,但当多条入库河流都向水库注入被污染的水时,水库的水质必然会变差.所以为了避免这种情况发生,我们应该对丹江口水库的入库河流进行监测,以便能够及时地对其进行处理,进而保护水库的水质.

4 参考文献

- [1] Herzig A. The analysis of planktonic rotifer populations: A plea for longterm investigations. *Hydrobiologia*, 1987, **147**: 163-180.
- [2] 杨 柳,陈绵润,林秋奇等.一座热带高产渔业水库枯水期轮虫的群落组成与动态分析. *湖泊科学*, 2008, **20**(6): 780-789.
- [3] Sladack V. Rotifers as indicators of water quality. *Hydrobiologia*, 1983, **100**:169-201.
- [4] Cadjo S, Miletic A, Djurkovic A. Zooplankton of the Potpec reservoir and the saprobiological analysis of water quality. *Desalination*, 2007, **213**:24-28.
- [5] 周淑婵,黄祥飞,唐 涛等.香溪河库湾轮虫现状及水质评价初探. *水生生物学报*, 2006, **30**(1):52-57.
- [6] 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.
- [7] 刘建康. *东湖生态学研究*.北京:科学出版社,1990.
- [8] Duggan IC, Green JD, Shiel RJ. Distribution of rotifer assemblages in North Island, New Zealand, lakes relationships to environmental and historical factors. *Freshwater Biology*, 2002, **47**:195-206.
- [9] 林秋奇,赵帅营,韩博平.广东省水库轮虫分布特征. *生态学报*, 2005, **25**(5):1123-1131.
- [10] 胡菊香,郑金秀,赵先富等.长江上游轮虫群落纵向演替研究. *水生态学杂志*, 2009, **2**(2):94-100.
- [11] Rodriguez PM, Matsumura-Tundisi T. Variations of density, species composition and dominance of rotifers at a shallow tropical reservoir (Broa Reservoir, SP, Brazil) in a short scale time. *Revista Brasileira de Biologia*, 2000, **80**(1):1-9.

- [12] Barrabin JM. The rotifers of Spanish reservoirs: Ecological, systematical and zoogeographical remarks. *Limnetica*, 2000, **19**:91-167.
- [13] 成庆利,张杰. 丹江口水库水质现状分析与评价. 环境与可持续发展,2007,(1):12-14.
- [14] 韩德举,彭建华,简东等. 丹江口水库的饵料生物资源及水体营养状态评价. 湖泊科学,1997,**9**(1):62-67.
- [15] 杨广,杨干荣,刘金兰. 丹江口水库浮游生物资源调查. 湖北农学院学报,1996,**16**(1):38-42.
- [16] 李玉英,王庆林,梁子安等. 丹江口水库的细菌和浮游生物监测及评价. 水利渔业,2005,**25**(3):56-57.
- [17] 李玉英,李益民,高宛莉等. 丹江口水库湿地生态系统服务功能研究. 南阳师范学院学报,2007,**6**(3):46-50.
- [18] 张乃群,李运贤,李玉英等. 南水北调中线水源区水质生态监测. 湖泊科学,2006,**18**(5):535-539.
- [19] 杜国举,李建兵,李玉保等. 丹江口水库水源区水土保持生态环境建设与发展对策. 水土保持通报,2002,**22**(5):66-69.
- [20] 蔡庆华. 水域生态系统观测规范. 北京:中国环境科学出版社,2007:25-109.
- [21] 章宗涉,黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京:科学出版社,1991:252-269.
- [22] 王家辑. 中国淡水轮虫志. 北京:科学出版社,1961:21-282.
- [23] 诸葛燕. 中国典型地带轮虫的研究[学位论文]. 武汉:中国科学院水生生物研究所,1997:25-152.
- [24] May L. Rotifer occurrence in relation to water temperature in Loch Leven, Scotland. *Hydrobiologia*, 1983, **104**:311-315.
- [25] Hofmann W. The influence of abiotic environmental factors on population dynamics in planktonic rotifers. *Arch Hydrobiol Beih Ergebn Limnol*, 1977, **8**:77-83.
- [26] 戚琪,彭虹,张万顺等. 丹江口水库垂向水温模型研究. 人民长江,2007,**38**(2):51-54.
- [27] 卢亚芳,黄永春,周立红. 杏林湾水库环境因子对浮游轮虫密度的影响. 上海水产大学学报,2002,**11**(3):225-229.
- [28] 黄祥飞,陈雪梅,伍悼田等. 武汉东湖浮游动物数量和生物量变动的研究. 水生生物学集刊,1984,**8**(3):345-358.
- [29] 谢平,诸葛燕,戴莽等. 水体富营养化对浮游动物群落多样性的影响. 水生生物学报,1996,**20**(增刊):30-37.
- [30] 杨桂军,潘宏凯,刘正文等. 太湖不同富营养水平湖区轮虫季节变化的比较. 湖泊科学,2007,**19**(6):652-657.
- [31] 邓义祥,张爱军. 藻类在水体污染监测中的运用. 资源开发与市场,1998,**4**(5):197-198.
- [32] Holst H, Zimmermann H, Kausch H *et al.* Temporal and spatial dynamics of planktonic rotifers in the Elbe Estuary during Spring. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 1998, **47**:261-273.
- [33] Gilbert JJ, Jack JD. Rotifers as predators on small ciliates. *Hydrobiologia*, 1993, 255/256:247-253.
- [34] Pourriot R. Food and feeding habits of rotifera. *Arch Hydrobiol Beih Ergebn Limnol*, 1977, **8**:243-260.
- [35] 温新利,席贻龙,张雷等. 芜湖市镜湖轮虫群落结构分析及水质的生态学评价. 水生生物学报,2006,**30**(2):152-158.