

郭爱环,原居林,张爱菊,等.富春江轮虫群落的时空格局及其与环境因子的关系[J].江苏农业科学,2019,47(7):243-247.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.07.058

富春江轮虫群落的时空格局及其与环境因子的关系

郭爱环,原居林,张爱菊,郝雅宾,刘金殿,顾志敏

(浙江省淡水水产研究所/农业部淡水渔业健康养殖重点实验室/浙江省淡水水产遗传育种重点实验室/
中国水产科学研究院东海水产研究所浙江研究中心,浙江湖州 313001)

摘要:2016 年对钱塘江流域富春江江段的轮虫群落进行逐季度调查,分析富春江轮虫的种类组成和时空分布,并探讨轮虫群落结构与环境因子的关系。调查共观察到轮虫 14 属 27 种,轮虫群落结构的季节差异明显,春季轮虫的密度和生物量最高,秋季次之,冬季最低;春季优势类群为多肢轮虫,秋季优势类群为臂尾轮虫,冬季优势类群为龟甲轮虫。轮虫群落密度在空间上表现为轮虫密度在三江口段最高,5#采样点最低。典型相关分析结果表明,水温、pH 值、总磷(TP)含量和高锰酸盐指数(COD_{Mn})等环境因子是影响富春江轮虫群落时空格局的主要因素。

关键词:富春江;轮虫;时空分布;环境因子

中图分类号:S181;S931.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)07-0243-05

轮虫是水生态系统中的重要组成部分,一方面轮虫作为初级消费者,主要摄食原生动物、藻类等水生生物,另一方面因其个体微小、生长周期快,轮虫也是很多大型浮游动物和鱼类的饵料生物。因此,轮虫作为连接微食物环及更高营养级的关键环节,在整个水生态系统的营养物质循环和能量流动中起重要作用^[1]。此外,因其易受环境因子影响,轮虫常被当作良好的环境指示物种^[2-3]。因此通过对轮虫群落时空格局的研究,掌握其动态变化规律,可为了解该水域的水生态环境状况以及水域渔业资源状况提供理论指导^[4-5]。

富春江为钱塘江水系中游段,干流全长 102 km,自南而北流经浙江省桐庐县和富阳区,至闻堰区后与浦阳江汇合流入钱塘江^[6],是具有发电、防洪、灌溉、游览、供水及水产养殖等多重功能的重要河道。但在人类活动(如水利工程建设、过度捕捞等)和气候变化的双重胁迫下,富春江渔业资源出现退化趋势^[7]。为恢复该江段的渔业资源,浙江省海洋渔业局及下属各县市渔政部门将该江段作为浙江省渔政管理部门重点保护水域,分别建立富阳段省级渔业资源增殖放流区和桐庐两江省级渔业资源增殖放流区,其中在富阳段增殖放流区累计放流各类种苗 3 000 多万尾,以期达到修复水域生态环境和恢复渔业资源的作用。充分认识该区域水生生态现状是指导和评价增殖放流工作的重要依据。但是,对于该江段水生生物资源和水生态环境的研究目前仅涉及鱼类、底栖动物等方面^[8-10],而对作为鱼类繁殖重要早期饵料和环境指示物种的轮虫群落结构的研究没有报道。

为此,本研究于 2016 年对富春江轮虫群落结构开展为期

1 年的季度调查,通过对富春江轮虫密度、生物量以及种群结构时空动态的研究,探讨轮虫群落结构变化与环境因子的关系,以期为富春江水生态系统健康和渔业资源的养护提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

富春江是钱塘江重要的干流(地理位置 29°42′~30°06′N、119°39′~120°10′E),全长约 102 km,集水面积为 6 658 km²,年平均径流量约 305 亿 m³。受亚热带季风气候的影响,春雨和梅雨期降水量占全年降水量的 48% 左右,具有明显的连续丰、枯水年交替变化的现象。这也是造成富春江径流量年际间变幅较大的原因之一,此外,钱塘江的潮汐作用也对富春江径流量有一定影响^[6]。

1.2 样点设置与采样方法

根据内陆水域渔业自然资源调查手册^[11],于 2016 年 3 月(春季)、6 月(夏季)、9 月(秋季)和 12 月(冬季)在富春江干流(桐庐段至闻堰段)设置 6 个采样断面,分别为 1#、2#、3#、4#、5#、6#采样点(图 1)。在这 6 个采样断面调查富春江江段轮虫的群落结构特征。对轮虫定量样品的采集、保存、种类鉴定和计数参考《淡水浮游生物研究方法》^[12]《中国淡水轮虫志》^[13]。

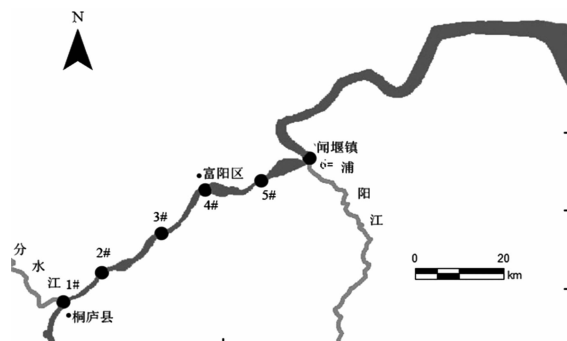


图1 富春江江段采样点设置

收稿日期:2017-12-25

基金项目:浙江省公益技术应用研究(编号:2017C33103);浙江省海洋与渔业局渔业资源增殖放流项目[编号:浙财农(2016)264号]。
作者简介:郭爱环(1986—),女,山东兖州人,博士,助理研究员,主要从事增殖放流效果评估方面的研究。Tel:(0527)2045189;
E-mail:guoaihuan10@126.com。

通信作者:顾志敏,研究员,主要从事水产遗传育种方面的研究。
E-mail:guzhimin2006@163.com。

水温 (WT)、溶解氧 (DO) 含量和 pH 值等指标采用哈希 HQ40d 多参数水质测量仪现场测定。利用透明度盘 (Secchi disk) 现场测量透明度 (SD)。使用 SM-5 手持式测深仪进行水深 (WD) 的测量。总磷 (TP) 含量、总氮 (TN) 含量、高锰酸盐指数 (COD_{Mn}) 和悬浮物 (SS) 含量等理化指标在实验室室内测量^[14]。

1.3 优势度计算

以优势度 $Y > 0.02$ 为优势种,公式为

$$Y = n_i / N \times f_i。$$

式中: n_i 为样品中第 i 种浮游动物的个体密度,ind./L; N 为样品中浮游动物总个体密度,ind./L; f_i 为第 i 种浮游动物在各采样断面中出现的频率^[15]。

1.4 聚类分析

使用 SPSS 16.0 对数据进行正态分布检验、描述性统计分析和方差分析 (ANOVA)。对不同采样断面的轮虫组成的

聚类分析使用组间连接法,数据间距离采用欧氏距离。

1.5 典范对应分析

浮游动物与环境因子的关系采用 Past 软件进行典型相关分析 (CCA)。在分析前,对数据进行 $\lg(x + 1)$ 转化处理,使数据接近正态分布。

2 结果与分析

2.1 水体理化指标

由表 1 可见,富春江春、夏、秋、冬各采样点水体理化因子的平均值具有季节性差异,COD_{Mn}、pH 值和 DO 含量春季最高,WT 和 SD 春季最低;WT 和 TN 含量夏季最高,WD 最低;SD 秋季最高,DO、SS、TN、TP 含量秋季最低;WD 和 SS 含量和 TP 含量冬季最高,pH 值冬季最低。

2.2 浮游动物种类组成

本调查共发现轮虫 14 属 27 种(表 2),由图 2 可知,2#采

表 1 富春江水体理化参数

季节	水体理化参数								
	WT (℃)	SD (cm)	pH 值	DO 含量 (mg/L)	WD (m)	SS 含量 (mg/L)	TN 含量 (mg/L)	TP 含量 (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)
春	12.98 ± 0.46	66.00 ± 22.85	7.78 ± 0.08	10.24 ± 0.41	11.53 ± 4.25	18.43 ± 13.45	1.71 ± 0.21	0.08 ± 0.02	2.22 ± 0.95
夏	23.15 ± 0.79	71.00 ± 21.25	7.29 ± 0.24	7.59 ± 0.18	8.24 ± 3.04	23.81 ± 10.18	2.57 ± 1.76	0.09 ± 0.02	1.32 ± 0.18
秋	22.80 ± 0.52	114.00 ± 27.76	7.48 ± 0.18	7.19 ± 0.46	9.41 ± 5.27	16.56 ± 3.73	1.30 ± 0.35	0.03 ± 0.01	1.62 ± 0.13
冬	18.63 ± 1.66	78.00 ± 27.87	6.46 ± 0.29	8.22 ± 0.32	11.72 ± 9.33	30.08 ± 17.5	1.81 ± 0.09	0.13 ± 0.04	2.01 ± 0.35

表 2 富春江江段轮虫种类组成

种类	桐庐段		富阳段		闻堰段	
	1#	2#	3#	4#	5#	6#
螺形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i>	+			+	+	+
螺形龟甲轮虫无脊变种 <i>Keratella tecta</i>	+	+	+		+	+
矩形龟甲轮虫 <i>Keratella quadrata</i>		+		+		+
曲腿龟甲轮虫 <i>Keratella valga</i>	+	+	+	+		+
对棘异尾轮虫 <i>Trichocerca stylata</i>						+
细异尾轮虫 <i>Trichocerca gracilis</i>						+
暗小异尾轮虫 <i>Trichicerca pusilla</i>		+				
纵长异尾轮虫 <i>Trichocerca elongate</i>	+					
二突异尾轮虫 <i>Trichocerca bicristata</i>				+		
角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i>	+	+	+			+
萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>	+	+	+	+	+	+
壶状臂尾轮虫 <i>Brachionus urceus</i>		+				+
裂足臂尾轮虫 <i>Brachionus diversicornis</i>	+	+	+			
剪形臂尾轮虫 <i>Brachionus forficula</i>	+	+	+			
广布多肢轮虫 <i>Polyarthra vulgaris</i>	+	+	+	+	+	+
长三支轮虫 <i>Filinia longiseta</i>	+	+	+	+	+	+
臂三支轮虫 <i>Filinia brachiata</i>		+				
腔轮属 <i>Lecane</i> sp.				+		
囊形单趾轮虫 <i>Monostyla bulla</i>				+		
晶囊轮虫 <i>Asplanchna</i> sp.	+	+		+		+
尾猪吻轮虫 <i>Dicranophorus caudatas</i>			+			
疣毛轮虫 <i>Synchaeta</i> sp.		+	+			+
沟痕泡轮虫 <i>Pompholyx sulcata</i>						
唇形叶轮虫 <i>Notholca labis</i>		+				+
盘状鞍甲轮虫 <i>Lepadella patella</i>		+	+			
爱德里亚狭甲轮虫 <i>Colurella adriatica</i>		+	+			
轮虫 <i>Rotifer</i> sp.			+			

样点轮虫数目最多,为 17 种;其次为 6# 采样点,为 14 种;5# 采样点最少,共发现 5 种。1#和 2#为桐庐江段,共发现轮虫种类数 19 种;3#和 4#为富阳江段,共鉴定轮虫种类数为 19 种,均高于闻堰江段(5#和 6#)的轮虫种类数(14 种)。轮虫种类数的季节性变化明显,春季最多,有 21 种;秋季次之,为 11 种;冬季最少,为 2 种(图 3)。

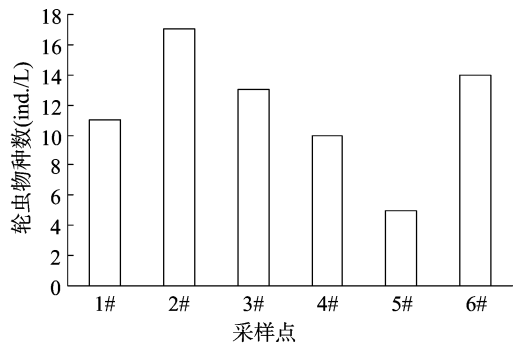


图2 富春江轮虫种类数及季节性变化

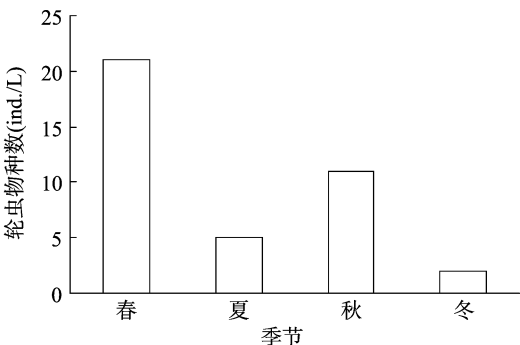


图3 富春江轮虫种类数及空间变化

2.3 浮游动物优势种季节变化

调查发现共有优势种(优势度 $Y > 0.02$) 13 种(表 3), 春季轮虫优势种有 8 种,以广布多肢轮虫和长三肢轮虫的优势度较高,分别为 0.28 和 0.11;夏季有 5 种优势种,其中以角突臂尾轮虫、广布多肢轮虫和长三肢轮虫的优势度较高,为 0.06;秋季轮虫优势种有 6 种,萼花臂尾轮虫、裂足臂尾轮虫和剪形臂尾轮虫的优势度较高,分别为0.23、0.29和0.13;

表 3 富春江江段轮虫优势种及优势度季节变化

优势种	优势度			
	春	夏	秋	冬
广布多肢轮虫	0.28	0.06	—	—
长三肢轮虫	0.11	0.06	—	0.15
萼花臂尾轮虫	0.08	—	0.23	—
螺形龟甲轮虫无脊变种	0.08	—	—	—
螺形龟甲轮虫	0.04	0.03	—	—
角突臂尾轮虫	0.03	0.06	0.02	—
曲腿龟甲轮虫	0.03	—	—	0.69
裂足臂尾轮虫	—	—	0.29	—
剪形臂尾轮虫	—	—	0.13	—
唇形叶轮虫	—	—	0.04	—
晶囊轮虫	—	—	0.04	—
矩形龟甲轮虫	0.03	—	—	—
暗小异尾轮虫	—	0.03	—	—

冬季为 2 种,分别为曲腿龟甲轮虫和长三肢轮虫,为 0.69 和 0.15。大多数种类为污染指示种。

2.4 轮虫密度和生物量的时空变化

2.4.1 轮虫密度和生物量的季节变化 富春江轮虫的年平均密度和生物量分别为 111.63 ind./L 和 0.064 mg/L。轮虫密度的季节性差异明显,表现为春季轮虫的密度和生物量最高,秋季次之,冬季最低(图 4)。

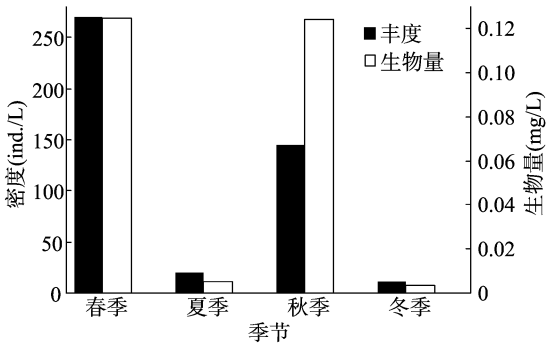


图4 富春江轮虫密度和生物量季节变化

2.4.2 轮虫密度和生物量的空间变化 从空间分布看,富春江不同采样点的轮虫密度和生物量也存在差异(图 5)。6# 采样点的轮虫密度和生物量分别为 274.90 ind./L 和 0.170 mg/L,高于其他采样点;5# 采样点轮虫密度和生物量最低,分别为 30.00 ind./L 和 0.026 mg/L。

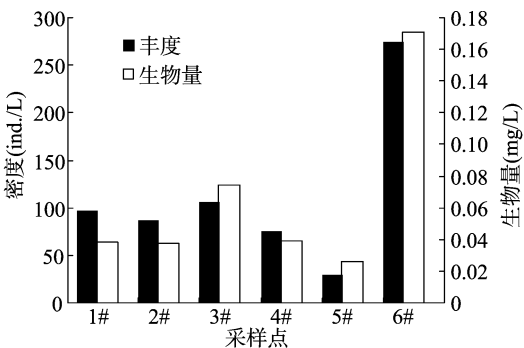


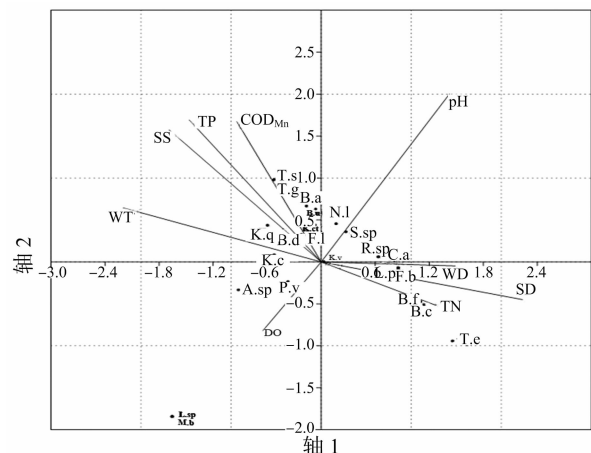
图5 富春江轮虫密度和生物量空间变化

2.5 环境因子对轮虫群落结构的影响

CCA 分析结果见图 6,第 1 排序轴的特征根为 0.51,排序轴的环境因子解释率为 38.92%;第 2 排序轴的特征根为 0.37,排序轴的环境因子解释率为 28.11%。说明这 2 个排序轴的排序图能够反映富春江轮虫群落结构与环境因子的关系。WT、SD、SS 含量和 WD 与第 1 轴的相关性较高,相关系数分别为 -0.73、0.75、-0.56 和 0.50,因此第 1 轴主要反映水体的物理变化。pH 值、TP 含量和 COD_{mn}与第 2 轴的相关性较高,相关系数分别为 0.67、0.56 和 0.56,因此第 2 轴主要表示水体的化学性质。

2.6 轮虫的群聚结构

通过聚类分析,对不同采样点轮虫密度进行群落相似性分析,探讨不同采样点轮虫的分布格局。由图 7 可知,1#和 2#、3#采样点聚为 1 类,4#和 5#采样点聚为 1 类,聚合后与 6# 采样点聚为 1 类。



A.sp—晶囊轮虫; B.a—角突臂尾轮虫; B.c—萼花臂尾轮虫;
B.u—壶状臂尾轮虫; B.d—裂足臂尾轮虫; B.f—剪形臂尾轮虫;
C.a—爱德里亚狭甲轮虫; K.c—螺形龟甲轮虫; K.ct—螺形龟甲
轮虫无脊变种; K.q—矩形龟甲轮虫; K.v—曲腿龟甲轮虫;
L.sp—腔轮属; L.p—盘状鞍甲轮虫; M.b—囊形单趾轮虫;
N.l—唇形叶轮虫; T.s—对棘异尾轮虫; T.g—细异尾轮虫;
T.e—纵长异尾轮虫; S.sp—疣毛轮虫; P.v—广布多肢轮虫;
F.l—长三肢轮虫; F.b—臂三肢轮虫; R.sp—轮虫

图6 富春江轮虫分布与环境因子的关系

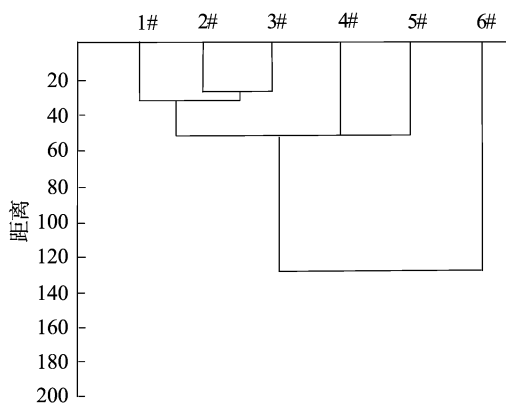


图7 采样点轮虫种群的群聚分析

3 讨论

3.1 富春江轮虫群落现状

与 20 个世纪 80 年代的研究结果^[16] 进行比较,富春江的轮虫群落结构发生明显变化。主要表现如下:(1)种类数减少。历史数据结果显示,在桐庐至闻堰江段,共鉴定出轮虫 39 种,其中桐庐江段 20 种,富阳江段 25 种,闻堰为 35 种,高于本研究调查到的轮虫种类数目 27 种,共减少 12 种,其中桐庐、富阳、闻堰江段的轮虫种类数分别为 19、19、14 种。(2)密度和生物量发生变化。80 年代调查富春江的轮虫密度和生物量分别为 50.50 ind./L 和 0.067 mg/L,其中桐庐江段轮虫密度和生物量分别为 16.50 ind./L 和 0.008 mg/L,富阳江段轮虫密度和生物量分别为 24.00 ind./L 和 0.071 mg/L,闻堰段轮虫密度和生物量分别为 111.00 ind./L 和 0.121 mg/L。本研究中富春江轮虫的年平均密度和生物量分别为 111.63 ind./L 和 0.064 mg/L。对比发现,富春江轮虫群落结构已经发生种类数减少以及优势种变化及密度和生物量增加的改变。这种变化也出现在珠江三角洲^[4] 和洪泽湖^[5] 等其

他水域。造成轮虫种类数减少、密度和生物量增加的原因可能是水质的变化,水体富营养化增加,导致一些寡营养性轮虫无法生存,而一些耐受能力强的轮虫生物密度增加,最后可能导致水体中的轮虫总群落密度和生物量增加,而种类数减少。同时,这些耐受能力强、适宜在富营养条件生活的种类因其种群密度迅速增加而成为优势种。本研究调查显示,富春江轮虫优势种的种类多为一些中污染指示种,如春季优势种长三肢轮虫为 α -中污染指示种,秋季优势种类裂足臂尾轮虫和剪形臂尾轮虫均为 β -中污染指示种,冬季优势种曲腿龟甲轮虫为 O - β 中污染指示种^[17]。虽然富春江轮虫的季节优势种有差别,但均可在一定程度上指示富春江水体为中污染水体,与上述情况相符合。

3.2 富春江轮虫群落的变化

本研究调查发现,春、秋季的富春江轮虫群落的种类数、密度和生物量高于夏、冬季,与洪泽湖^[5] 和 Czech 水库^[18] 的轮虫群落季节变化结果一致,这是因为水温变化是影响轮虫季节分布的主要生态因子^[19-20]。春季水温开始升高,轮虫休眠卵的孵化时间缩短、孵化率提高,轮虫繁殖力增强,加快了轮虫种群周转速率,从而使轮虫在春季形成了密度高峰^[21]。如在 5~30℃ 温度下,萼花臂尾轮虫卵的发育时间会随着温度的升高而缩短,因此随着温度上升,形成轮虫密度高峰的时间缩短^[22]。然而,温度过高时,轮虫卵的发育速度反而会随着温度的升高而减慢^[23]。如广布多肢轮虫在达到 25℃ 水温时,轮虫卵的发育时间不足 10℃ 的 1/3^[24]。

富春江轮虫优势种春季为多肢轮属,秋季为臂尾轮属,它们同属于广温性种类,但最适温度却有差别,其中多肢轮虫的最适温度约为 15℃,臂尾轮虫稍高,为 20℃^[24]。这可能是造成该江段春秋不同季节优势种差异的原因之一。此外,食物也对轮虫快速繁殖起重要作用,多肢轮虫和臂尾轮虫都是以藻类为主要食物^[25],春季和秋季藻类繁殖旺盛,可为它们提供足够的食物,推动其快速增长。

3.2 富春江轮虫群落的空间异质性

不同区域环境因子的差别,会造成轮虫群落的空间异质性^[26]。轮虫群落结构的聚类分析结果表明,6 个采样点被聚为 3 类,1#、2#和 3#采样点聚为 1 类,即从桐庐和分水江汇合处至富阳的中埠大桥聚为一类,4#和 5#聚类一类,即富阳江段到闻堰江段为 1 类,6#单独聚为 1 类,该处采样点为三江汇合处,即富春江与浦阳江汇合后流入钱塘江,水体营养状况的差别可能是造成该结果的主要原因。

6#采样点的轮虫密度和生物量明显高于其他采样点,这可能是由于该采样点位于富春江与浦阳江的交汇处,水体营养程度明显高于其他样点。一方面由于钱塘江干流水体倒灌及顶托作用,使进入汇合区的支流流速减缓,从而在交汇区形成生物指数性富集的生态交错区^[27]。另一方面因浦阳江处于钱塘江流域下游的平原地区,水流缓慢,水体营养物质丰富^[28],浦阳江的汇入会带入大量营养物质。2 方面共同作用为轮虫生长提供了大量的食物,使该汇合处的采样点轮虫密度和生物量明显高于富春江的其他区域。珠江三角洲的轮虫生物量也存在空间差异性,整体呈现从西南向东北升高的趋势,高原等推测是因为东北方向的采样点靠近广州等城市,其营养输入多于其他水域,从而造成轮虫生物量的空间差异性^[4]。

3.3 富春江轮虫与环境因子的关系

本研究 CCA 分析结果表明,水温、pH 值、TP 含量和 COD_{mn} 等是影响富春江轮虫群落变化的重要环境因子。CCA 结果表明,多数种类的轮虫与水温呈正相关关系,如矩形龟甲轮虫和螺旋形龟甲轮虫等;而剪形臂尾轮虫、纵长异尾轮虫等则出现在低温时期,与水温呈负相关关系。水温对轮虫群落整体的影响表现为随水温升高轮虫数量和种类增加。

另外,淡水水体的 pH 值与水体中的轮虫种类和数量密切相关,一般表现为 pH 值较高水体,轮虫密度较高,pH 值与轮虫数量在一定范围内呈正相关关系^[29]。在春、夏、秋季,水体的初级生产力较高,水体 pH 值升高,轮虫密度增加。TN 含量、TP 含量和 COD_{mn} 等指标均代表了水体的营养程度,也是影响轮虫群落结构重要的因素^[4,30]。本研究 CCA 结果表明,TP 含量与第 2 轴的相关性较高,与螺旋形龟甲轮虫、爱德里亚狭甲轮虫等有正相关关系。在浅水湖泊中,随着 TP 含量的升高,鱼类的密度和生物量也随之升高,进而对轮虫的群落结构产生影响^[31-32]。另外,许多轮虫种类对不同营养条件有偏好,可分为寡营养种和富营养种类,如臂尾轮虫主要生活在水质营养程度较高的区域^[4]。本研究中大部轮虫种类为富营养种类,一般表现为随着水体营养程度的增加,其轮虫的数量增加,可从侧面反映出富春江水体的营养程度。以轮虫作为环境指示种,可为该水域水质状况研究提供参考。

参考文献:

- [1] 杨丽丽,周小玉,刘其根,等. 新疆布伦托海轮虫群落结构及其与环境因子的关系[J]. 湖泊科学,2011,23(5):806-812.
- [2] 李共国,虞左明. 千岛湖轮虫群落结构及水质生态学评价[J]. 湖泊科学,2003,15(2):169-176.
- [3] Duggan I C, Green J D, Shiel R J. Distribution of rotifers in North Island, New Zealand, and their potential use as bioindicators of lake trophic state[J]. Hydrobiologia, 2001, 446/447: 155-164.
- [4] 高原,李新辉,赖子尼,等. 珠江三角洲河网浮游轮虫的群落结构[J]. 应用生态学报,2014,24(7):2114-2122.
- [5] 都雪,王齐东,张超文,等. 洪泽湖轮虫群落结构及其与环境因子的关系[J]. 湖泊科学,2014,26(2):269-276.
- [6] 柴群宇. 富春江流域水环境容量研究[D]. 杭州:浙江大学,2002.
- [7] 文军,罗献宝,李剑,等. 新安江、富春江区域水质变化的风险分析[J]. 水土保持研究,2007,14(2):224-230.
- [8] 葛亚非. 钱塘江中下游鱼类资源及其增殖途径[J]. 海洋渔业,2005,27(2):164-168.
- [9] 孙露,刘金殿,杨元杰. 钱塘江桐庐段水域花鲢渔业种群结构特征的初步研究[J]. 生态学杂志,2014,31(6):46-50.
- [10] 张爱菊,刘金殿,杨元杰,等. 钱塘江桐庐渔业资源增殖放流区底栖动物群落结构特征分析[J]. 浙江农业学报,2016,28(8):1323-1331.
- [11] 张党民,何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京:农业出版社,1991.
- [12] 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.
- [13] 王家椿. 中国淡水轮虫志[M]. 北京:科学出版社,1961.
- [14] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社.
- [15] 徐兆礼,陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鲶渔场的关系[J]. 生态学杂志,1989,8(4):13-15.
- [16] 浙江省内陆渔业资源调查大队. 浙江省内陆渔业资源状况汇编[R]. 湖州:浙江省淡水水产研究所,1985.
- [17] Sládeček V. Rotifers as indicators of water quality [J]. Hydrobiologia, 1983, 100(1):169-201.
- [18] Devetter M. Influence of environmental factors on the rotifer assemblage in an artificial lake [J]. Hydrobiologia, 1998, 387-388:171-178.
- [19] May L. Rotifer occurrence in relation to water temperature in Loch Leven, Scotland [J]. Hydrobiologia, 1983, 104(1):311-315.
- [20] Havens K E, Beaver J R. Composition, size, and biomass of zooplankton in large productive Florida lakes [J]. Hydrobiologia, 2011, 668(1):49-60.
- [21] Pavón - Meza E L, Sarma S S S, Nandini S. Combined effects of algal (*Chlorella vulgaris*) food level and temperature on the demography of *Brachionus havanaensis* (Rotifer): a life table study [J]. Hydrobiologia, 2005, 181(1):353-360.
- [22] 黄祥飞. 温度对萼花臂尾轮虫卵的发育、种群增长和生产量的影响[J]. 水生生物学报,1985,9(3):232-240.
- [23] 杨宇峰,黄祥飞. 鲢鳙对浮游动物群落结构的影响[J]. 湖泊科学,1992,4(3):78-86.
- [24] 黄祥飞,胡春英,伍焯田. 武汉东湖的轮虫[J]. 水生生物学报,1985,9(2):129-143.
- [25] 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[J]. 水生生物学报,2006,30(2):152-158.
- [26] Reynolds C S, Carling P A, Beven K J. Flow in river channels: new insights into hydraulic retention [J]. Archiv Fur Hydrobiologie, 1991, 121(2):171-179.
- [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[J]. 上海水产大学学报,2002,11(3):225-229.
- [28] 俞建,于海燕,姚建良,等. 钱塘江流域浮游甲壳动物的分布与季节变化[J]. 海洋湖沼通报,2010(4):61-71.
- [29] 吴利,冯伟松,张堂林,等. 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[J]. 湖泊科学,2011,23(4):619-625.
- [30] Wen X L, Xi Y L, Qian F P, et al. Comparative analysis of rotifer community structure in five subtropical shallow lakes in East China: role of physical and chemical conditions [J]. Hydrobiologia, 2011, 661(1):303-316.
- [31] Stefanidis K, Papastergiadou E. Influence of hydrophyte abundance on the spatial distribution of zooplankton in selected lakes in Greece [J]. Hydrobiologia, 2010, 656(1):55-65.
- [32] Wang S B, Xie P, Geng H. The relative importance of physicochemical factors and crustacean zooplankton as determinants of rotifer density and species distribution in lakes adjacent to the Yangtze River, China [J]. Limnologia - Ecology and Management of Inland Waters, 2010, 40(1):1-7.