

青弋江芜湖段轮虫群落结构和物种多样性的初步研究

温新利¹ 席贻龙^{1*} 张雷¹ 陆星家¹ 陈发扬²

1(安徽师范大学生命科学学院,“重要生物资源的保护和利用研究”安徽省重点实验室,芜湖 241000)

2(安徽师范大学环境科学学院,芜湖 241000)

摘要:2003年1-12月对青弋江芜湖段轮虫群落结构和物种多样性的周年动态进行了初步研究,并分析了轮虫密度与水温、水体叶绿素a浓度和水流量等环境因子的关系,以便为我国轮虫区系以及河流中轮虫密度的季节变化规律的进一步研究提供基础资料。经鉴定,共发现轮虫104种,其中钳枝巨头轮虫(*Cephalodella forceps*)、长趾巨头轮虫(*C. macrodactyla*)、尾钩巨头轮虫(*C. mucronata*)、奇槌巨头轮虫(*C. evibroedi*)、突纹腔轮虫(*Lecane hornemanni*)、爱沙腔轮虫(*L. elsa*)、长趾似月腔轮虫(*L. lunaris acus*)和泛热三肢轮虫(*Filinia camasecla*)等8种轮虫为我国亚热带地区的新记录种,优势种为螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)、广生多肢轮虫(*Polyarthra vulgaris*)和无尾无柄轮虫(*Ascomorpha ecaudis*)。1-4月(汛期前)轮虫总密度与水温、叶绿素a浓度之间均呈现出显著的正相关关系($r=0.533, P<0.05$; $r=0.548, P<0.05$);而在5-9月(汛期)轮虫总密度与水流量之间表现出显著的正相关关系($r=0.580, P<0.01$)。10-12月(汛期后)轮虫总密度和水温、叶绿素a浓度和水流量之间都表现出显著的正相关性(多元回归, $R^2=0.680, P<0.05$)。水流量对10-12月轮虫密度的影响最大(标准偏回归系数 $\beta_1=0.312, \beta_2=0.120, \beta_3=0.593$)。轮虫的物种多样性指数分别与种类数和群落的物种均匀度之间呈现出显著的正相关关系($n=12, r_1=0.600, P<0.05$; $n=12, r_2=0.955, P<0.001$),而与优势度之间却显示出显著的负相关关系($n=12, r=-0.942, P<0.001$)。

关键词:轮虫 种类组成 季节分布 密度动态 物种多样性指数

中图分类号:Q958 文献标识码:A 文章编号:1005-0094(2004)04-0387-09

Community structure and species diversity of rotifers in the Wuhu section of the Qingyi River

WEN Xin-Li¹, XI Yi-Long^{1*}, ZHANG Lei¹, LU Xing-Jia¹, CHEN Fa-Yang²

1 College of Life Science, Provincial Laboratory for Conservation and Utilization of Important Biological Resource, Anhui Normal University, Wuhu 241000

2 College of Environmental Science, Anhui Normal University, Wuhu 241000

Abstract: The annual dynamics of community structure and species diversity of rotifers in the Wuhu section of the Qingyi River was studied in the year 2003, and the relationships between rotifer density and ecological factors including water temperature, Chl-a concentration and river discharge were analyzed for further understanding of China rotifer fauna and the pattern of seasonal variation of rotifer density in rivers. One hundred and four rotifer species were identified, of which *Cephalodella forceps*, *C. macrodactyla*, *C. mucronata*, *C. evibroedi*, *Lecane hornemanni*, *L. elsa*, *L. lunaris acus* and *Filinia camasecla* were confirmed as new records in the subtropical region of China. The dominant species were *Keratella cochlearis*, *Polyarthra vulgaris* and *Ascomorpha ecaudis*. The total density of rotifers was positively related to water temperature and Chl-a concentration ($r=0.533, P<0.05$; $r=0.548, P<0.05$) during January-April (before flood season), but it was positively correlated with river discharge ($r=0.580, P<0.01$) during May-September (during flood season), and with water temperature, Chl-a concentration

and river discharge (multiple-linear regression , $R^2 = 0.680$, $P < 0.05$) during October – December (after flood season). River discharge had the greatest effect on the total density of rotifers during October – December (standardized partial regression coefficient : $\beta_1 = 0.312$, $\beta_2 = 0.120$, $\beta_3 = 0.593$). Across the year , species diversity index was positively associated with number of species and species evenness of the community ($n = 12$, $r_1 = 0.600$, $P < 0.05$; $n = 12$, $r_2 = 0.955$, $P < 0.001$) , but negatively associated with dominance ($n = 12$, $r = -0.942$, $P < 0.001$).

Key words : Rotifera , species composition , seasonal distribution , density dynamics , species diversity index

轮虫是淡水浮游动物的重要类群。由于轮虫发育时间短,周转快,因此生产量较高,故它在水生生态系统结构和功能等方面具有重要的作用。国内外有关湖泊中轮虫的物种多样性及其动态研究已有较多报道,对河流中轮虫群落结构的相关研究国外也有一些报道(Burger *et al.* , 2002 ; May & Bass , 1998 ; Holst *et al.* , 1998 ; Ferrari *et al.* , 1989) ,而国内报道较少(郭沛涌等 , 2003 ; 李共国等 , 2001 ; 宋玉珍等 , 1997)。青弋江是长江的一级支流,也是芜湖市居民饮用水的主要来源。青弋江芜湖段汇集了来自跨苏、皖两省的青弋江、水阳江和漳河(亦称“三江”)的水流并由此流入长江,而且“三江”与众多天然湖泊、水库和支流相连(冯庆华 2000) ,因而在青弋江芜湖段应该有着丰富的轮虫物种资源。但迄今为止,关于该地区轮虫的系统研究尚未见专门的报道。为此,作者于 2003 年 1 – 12 月首次对青弋江芜湖段轮虫的群落结构和物种多样性进行了研究,并且分析了轮虫密度的季节变动规律及其与主要环境因子

的关系,旨在为我国轮虫区系以及河流中轮虫密度的季节变动规律的进一步研究提供基础资料。

1 材料和研究方法

1.1 采样点的设置

根据青弋江芜湖段的形态和生态环境,本研究共设立了宝塔根、中山桥、铁路桥及元泽桥 4 个采样点(图 1)。

1.2 水温、叶绿素 a 含量及水流量的测定

采集轮虫样品的同时,测定水温,并同步等量采集 5 个深度水样各 2.5 L 混合后取 1 L 水带回实验室用于叶绿素 a 含量的测定。叶绿素 a 含量的测定采用丙酮萃取分光光度法(黄祥飞 , 1999)。青弋江芜湖段 2003 年水流量的月平均值由芜湖市水文水资源局提供。

1.3 轮虫采集、处理和分析

2003 年 1 月至 12 月于每月下旬逐月进行了野外样品采集。轮虫定性标本采用 25 号浮游生物网

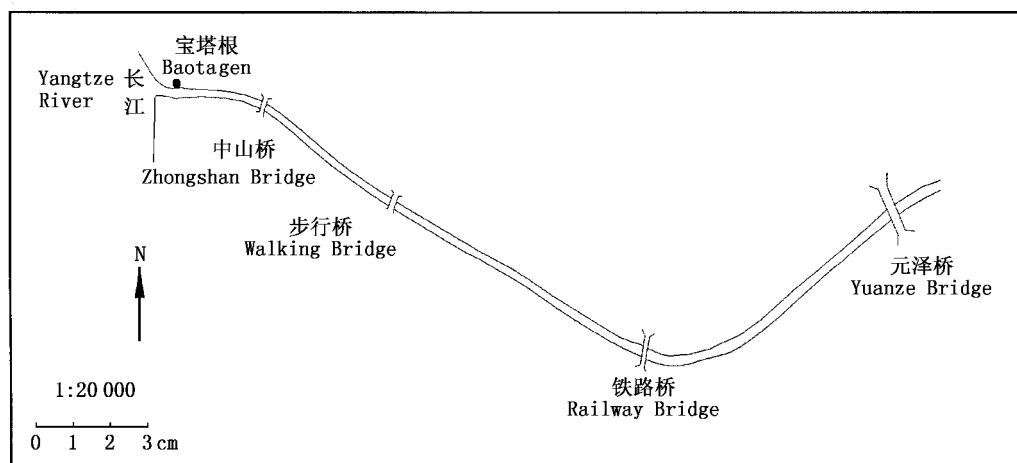


图 1 青弋江芜湖段采样点分布图

Fig. 1 Sampling stations in the Wuhu section of the Qingyi River

作大范围拖捞获得,定量标本采用 2.5 L 采水器,于 5 个不同采集深度(0、0.5、1.0、1.5 和 2.0 m)各采集 5 L 河水,混和后经孔径为 30 μm 的筛绢过滤收集,即刻用 5% 的福尔马林溶液固定,实验室内静置沉淀 48 h 后,收集沉淀物并浓缩至 30 mL。轮虫计数采用 1 mL 计数框,在 OLYMPUS 显微镜下全片计数,取 5 片计数的平均值作为轮虫的密度。轮虫的种类鉴定按 Koste 分类系统(Koste, 1978);优势等级的估计参照 Schwerdtfeger(1975)的方法。多样性指数(H')的计算采用 Shannon-Wiener 公式 $H' = -\sum P_i \log_2 P_i$,均匀度指数(E)采用 $E = H'/H'_{\max}$ 公式计算,优势度的计算采用 $D = N_{\max}/N$ 公式计算(李共和国和虞左明,2001),其中 P_i 为第 i 物种出现的概率, H'_{\max} 为最大多样性指数, N_{\max} 为轮虫群落中优势种的密度, N 为轮虫群落中所有物种的总密度。

2 结果与分析

2.1 青弋江芜湖段的水流量、水温和叶绿素 a 含量的月变化

水流量月平均值的变化受长江干流的影响较大(图 2)。枯水期时,包括汛期前(1-4 月)和汛期后(10-12 月),青弋江芜湖段的水位高于长江干流,青弋江中的水顺流进入长江。1-4 月,水流量总体上逐步加大,但 3 月份较 2 月份稍有下降;10-12 月,水流量基本维持在较低水平。而在汛期(5-9 月),长江干流水通过青弋江芜湖段流至安徽当涂县境内并由太平口入长江,7 月份时水流量最大。

1-4 月份,水温逐步上升,7 月份达到最高值,而后水温渐渐下降,12 月为 8 $^{\circ}\text{C}$,是全年最低值(图 2)。

叶绿素 a 含量在 1 月份最低,之后含量逐渐上升,4 月份为全年最高值,达 4.675 $\mu\text{g/L}$;4-11 月,叶绿素 a 含量总体上逐渐下降,而到 12 月又明显升高(图 2)。

2.2 轮虫种类组成和季节分布

通过对全年轮虫样品的实验室鉴定,共发现轮虫 104 种,隶属于 20 科,33 属(表 1)。对照诸葛燕(1997)的研究,发现其中的 8 种轮虫为我国亚热带地区的新记录种,分别是钳枝巨头轮虫(*Cephalodella forceps*)、长趾巨头轮虫(*C. macrodactyla*)、尾钩巨头轮虫(*C. mucronata*)、奇槌巨头轮虫(*C. evabroedi*)、突纹腔轮虫(*Lecane hornemanni*)、爱沙腔轮虫

(*L. elsa*)、长趾似月腔轮虫(*L. lunaris acus*)和泛热三肢轮虫(*Filinia camasecla*)。

轮虫种类数 4 月份最多,为 39 种,6 月份最少,为 18 种。汛期前(1-4 月)、汛期(5-9 月)和汛期后(10-12 月),轮虫的月平均种类数分别为 33.8 种、24.8 种和 35 种。从种类数变化趋势看,汛期前(1-4 月)和汛期后(10-12 月),轮虫种类数相对稳定,而汛期(5-9 月)则波动较大(图 3)。

2.3 轮虫及优势种群密度的周年变化

轮虫的年平均密度为 22.3 ind./L,高峰值出现在 10 月,为 50.5 ind./L;次高峰值出现在 4 月和 7 月,分别为 35.2 ind./L 和 34.3 ind./L。汛期前(1-4 月)和汛期后(10-12 月),轮虫的平均密度分别为 20.6 ind./L 和 18.7 ind./L;而在汛期(5-9 月)轮虫的平均密度为 16.8 ind./L。每当高峰值出现之后(5-6 月、8-9 月、11-12 月),轮虫的密度都有明显下降的趋势(图 4)。

根据年平均密度,青弋江芜湖段轮虫优势种为螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)、广生多肢轮虫

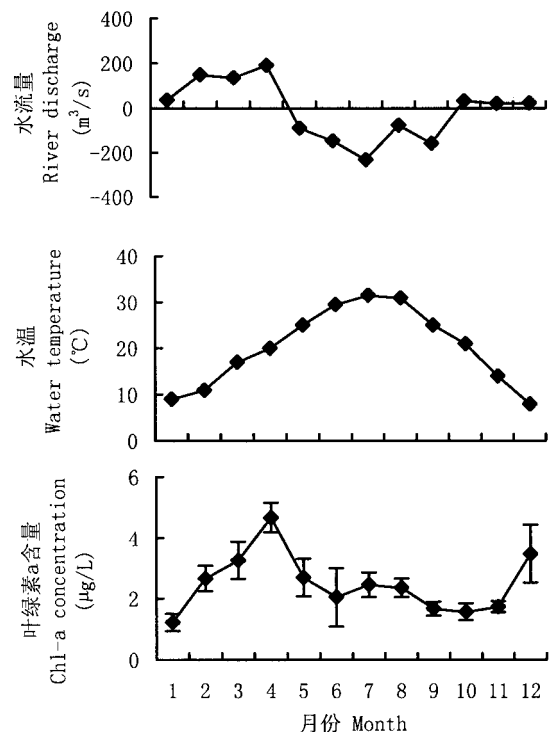


图 2 青弋江芜湖段水流量、水温和叶绿素 a 含量的周年动态

Fig. 2 Annual dynamics of river discharge, water temperature and Chl-a concentration in the Wuhu section of the Qingyi River in 2003

表 1 青弋江芜湖段轮虫的种类组成及其季节分布

Table 1 Species composition and seasonal distribution of rotifers in the Wuhu section of the Qingyi River in 2003

种类 Species	月份 Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
旋轮科 Philodinidae												
红眼旋轮虫 <i>Philodina erythrophthalma</i>	2		1				2		2	1		
玫瑰旋轮虫 <i>P. roseola</i>	4	3	1									
旋轮虫一种 <i>P. sp.</i>											1	1
长足轮虫 <i>Rotaria neptunia</i>											1	
猪吻轮科 Dicranophoridae												
尾猪吻轮虫 <i>Dicranophorus caudatus</i>		1	1									
水轮科 Epiphanidae												
椎尾水轮虫 <i>Epiphanes senta</i>										1	1	
臂尾水轮虫 <i>E. brachionus</i>				1								2
微型多突轮虫 <i>Liliferotrocha subtilis</i>	1											
鬼轮科 Tritotriidae												
截头鬼轮虫 <i>Trichotria truncata</i>				1								
臂尾轮科 Brachionidae												
萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>	1	3	2	1	1		1	2	3	1	1	3
角突臂尾轮虫 <i>B. angularis</i>	3	5	4	2	2	3	5	3	3	2	1	3
双棘臂尾轮虫 <i>B. bidentata</i>	2		1						2		1	3
剪形臂尾轮虫 <i>B. forficula</i>						2	4	1				
裂足臂尾轮虫 <i>B. diversicornis</i>							1			1		
方形臂尾轮虫 <i>B. quadridentatus</i>						1						
壶状臂尾轮虫 <i>B. urceolaris</i>	1			1			1				4	
镰状臂尾轮虫 <i>B. falcatus</i>							4	2	1		1	
螺旋形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i>	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
矩形龟甲轮虫 <i>K. quadrata</i>	1	2	3	2				1				1
曲腿龟甲轮虫 <i>K. valga</i>	1	1	1	2	1	1			3	1		
裂痕龟纹轮虫 <i>Anuraeopsis fissa</i>				5	4	3	2	2	1	3	2	
鳞状叶轮虫 <i>Notholca squamula</i>					1							
尖削叶轮虫 <i>N. acuminata</i>										1		
唇形叶轮虫 <i>N. labis</i>		3	1	1								
十指平甲轮虫 <i>Platyias militaris</i>							1					
棘管轮科 Mytilinidae												
剑头棘管轮虫 <i>Mytilina mucronata</i>		1										
须足轮科 Euchlanidae												
大肚须足轮虫 <i>Euchlanus dilatata</i>	1							1				
梨状须足轮虫 <i>E. pyriformis</i>								1				
三翼须足轮虫 <i>E. triquetra</i>		1										
狭甲轮科 Colurellidae												
钝角狭甲轮虫 <i>Colurella obtusa</i>		1	1	1								
单趾狭甲轮虫 <i>C. unicauda</i>	1	1	2		1	1		1		1		1
双尖沟状狭甲轮虫 <i>C. uncinata forma bicuspidata</i>			1	1		3						
偏斜沟状狭甲轮虫 <i>C. uncinata forma deflexa</i>				1		4						
卵形鞍甲轮虫 <i>Lepadella ovalis</i>	1	1										1
盘状鞍甲轮虫 <i>L. patella</i>	1	3			1	1					1	1
腔轮科 Lecanidae												
索纹单趾轮虫 <i>Monostyla thethis</i>		1										
钝齿单趾轮虫 <i>M. crenata</i>					2							1
梨形单趾轮虫 <i>M. pyriformis</i>		1										
尖角单趾轮虫 <i>M. hamata</i>				1	1							
尖趾单趾轮虫 <i>M. closterocerca</i>				1						1		
月形单趾轮虫 <i>M. lunaris</i>	1						1					

表 1 (续) Table 1 (continued)

种类 Species	月份 Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
爪趾单趾轮虫 <i>M. unguitata</i>								1				
擦碟单趾轮虫 <i>M. batillifer</i>					1							
精致单趾轮虫 <i>M. elachis</i>								1	2	1		1
短趾腔轮虫 <i>Lecane glypta</i>		1										1
爱沙腔轮虫 <i>L. elsa</i>					1							
柔韧腔轮虫 <i>L. flexilis</i>					1							
鞋形腔轮虫 <i>L. crepida</i>					1							
盔形腔轮虫 <i>L. galeata</i>					1							
突纹腔轮虫 <i>L. hornemanni</i>								1				
长趾似月腔轮虫 <i>L. lunaris acus</i>									1		1	1
高乔轮科 <i>Scaridiidae</i>												
高乔轮虫 <i>Scaridium longicaudum</i>											1	
晶囊轮科 <i>Asplanchnidae</i>												
前节晶囊轮虫 <i>Asplanchna priodonta</i>	1	2	3	1	1	1	1	1		2	1	
西式晶囊轮虫 <i>A. sieboldi</i>		1		2			1			1	1	
异尾轮科 <i>Trichocercidae</i>												
罗氏异尾轮虫 <i>Trichocerca rousseleti</i>	1	3	2	2			1			1	1	
圆筒异尾轮虫 <i>T. cylindrica</i>	1	3	1	2				1				1
刺盖异尾轮虫 <i>T. capucina</i>			1	1			1		2			1
长刺异尾轮虫 <i>T. longiseta</i>	1	1		2			3	1	1	1	2	1
等刺异尾轮虫 <i>T. similis</i>	1	1		1			1	3	3		2	2
纵长异尾轮虫 <i>T. elongata</i>				2			1					1
暗小异尾轮虫 <i>T. pusilla</i>	1	1	1	2	3		4	3	2	2	1	
奇异异尾轮虫 <i>T. taurocephala</i>			1								1	
二突异尾轮虫 <i>T. bicristata</i>				1								
异尾轮虫一种 <i>T. sp.</i>	1									1		1
腹尾轮科 <i>Gastropodidae</i>												
卵形无柄轮虫 <i>Ascomorpha ovalis</i>	4	3	3	2	1	1	3	4	2	3	3	4
舞跃无柄轮虫 <i>A. saltans</i>	5	3	4	2	1		1		2	2	5	5
无尾无柄轮虫 <i>A. ecaudis</i>	3	5	5	3	3	1	2			3	3	5
柱足腹尾轮虫 <i>Gastropus stylifer</i>		1										1
腹足腹尾轮虫 <i>G. hyptopus</i>			1				1				3	
疣毛轮科 <i>Synchaetidae</i>												
广生多肢轮虫 <i>Polyarthra vulgaris</i>	2	2	3	5	5	5	5	5	5	5	4	4
长肢多肢轮虫 <i>P. dolichoptera</i>	1	2	1									1
真翅多肢轮虫 <i>P. euryptera</i>			1	1	2	1						
长圆疣毛轮虫 <i>Synchaeta oblonga</i>								3		1		
梳状疣毛轮虫 <i>S. pectinata</i>				1			1	1		1	1	
尖尾疣毛轮虫 <i>S. stylata</i>							2			1		
颤动疣毛轮虫 <i>S. tremula</i>			1				1			1	1	1
长足疣毛轮虫 <i>S. longipes</i>							1		1	2		
细长疣毛轮虫 <i>S. grandis</i>											2	
晶体皱甲轮虫 <i>Ploesoma lenticulare</i>									3			
截头皱甲轮虫 <i>P. truncatum</i>										1		
三肢轮科 <i>Filiniidae</i>												
长三肢轮虫 <i>Filinia longiseta</i>	2	3	3	1	1	1	3	3		1	1	3
跃进三肢轮虫 <i>F. passa</i>		2	1		1							1
小三肢轮虫 <i>F. minuta</i>							1					
泛热三肢轮虫 <i>F. camasecla</i>								3				
脾状三肢轮虫 <i>F. opoliensis</i>							1					
臂三肢轮虫 <i>F. brachiata</i>		1		1				1		1	1	

表 1 (续) Table 1 (continued)

种类 Species	月份 Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
前翼轮科 Proalidae												
蚤上前翼轮虫 <i>Proales daphnicola</i>											1	
聚花轮科 Conochilidae												
叉角拟聚花 <i>Conochiloides dossuarius</i>			2	1			1					
独角聚花 <i>Conochilus unicornis</i>			2	1			1				1	
椎轮科 Notommatidae												
钳枝巨头轮虫 <i>Cephalodella forceps</i>				1	1					1		
小巨头轮虫 <i>C. exigna</i>		1						1		1	1	
尾棘巨头轮虫 <i>C. sterea</i>						1						1
长趾巨头轮虫 <i>C. macrodactyla</i>		1		1						1		
短趾巨头轮虫 <i>C. curta</i>										1		
尾钩巨头轮虫 <i>C. mucronata</i>										1		
凸背巨头轮虫 <i>C. gibba</i>											1	
奇槌巨头轮虫 <i>C. evabroedi</i>											1	
大头巨头轮虫 <i>C. megaloccephala</i>											1	
细长肢轮虫 <i>Monommata longiseta</i>	1	1										
镜轮科 Testudinellidae												
扁平泡轮虫 <i>Pompholyx sulcata</i>	1									1		1
沟痕泡轮虫 <i>P. complanata</i>	4		3	1						1		4
微凸镜轮虫 <i>Testudinella mucronata</i>				1								
盘镜轮虫 <i>T. patina</i>					1							
六腕轮科 Hexarthriidae												
奇异六腕轮虫 <i>Hexarthra mira</i>						1	2	1				

表格中数字表示优势等级 : 1 : ≤1% ; 2 : 1% - 2% ; 3 : 2% - 5% ; 4 : 5% - 10% ; 5 : ≥10%
 The number in the table means dominance grade : 1 , ≤1% ; 2 , 1% - 2% ; 3 , 2% - 5% ; 4 , 5% - 10% ; 5 , ≥10%

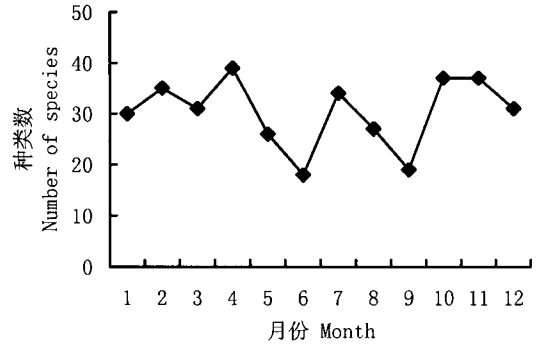
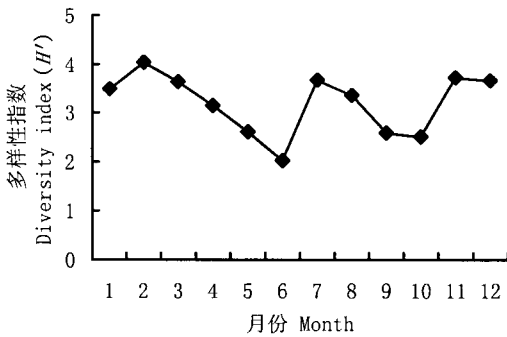


图 3 青弋江芜湖段轮虫种类数和物种多样性指数(H')的周年动态
 Fig. 3 Annual dynamics of species number and species diversity index(H') of rotifers in the Wuhu section of the Qingyi River in 2003

(*Polyarthra vulgaris*) 和无尾无柄轮虫(*Ascomorpha ecaudis*)。螺形龟甲轮虫占轮虫总数的 33.9% , 为第一优势种。10 月份为其最高峰 , 达 22.8 ind./L ; 4 月份次之 , 为 15.8 ind./L。在 1 - 3 月和 11 - 12 月 , 螺形龟甲轮虫的密度较低 , 优势度并不明显 ; 但在 4 - 10 月份 , 优势度都较大 , 皆为当月第一优势种 ; 尤其是 6 月份 , 由于轮虫的总密度和其他轮虫的

密度都很低 , 因而螺形龟甲轮虫的优势度最大 , 为 0.66(图 5)。

统计分析结果显示 , 轮虫的总密度与水温、叶绿素 a 浓度和水流量之间的关系因水流的特点而异。1 - 4 月(汛期前) , 轮虫的总密度随着温度的逐步回升而显著增大($r = 0.533$, $P < 0.05$) , 与叶绿素 a 浓度之间也呈现出正相关关系($r = 0.548$, $P < 0.05$) ,

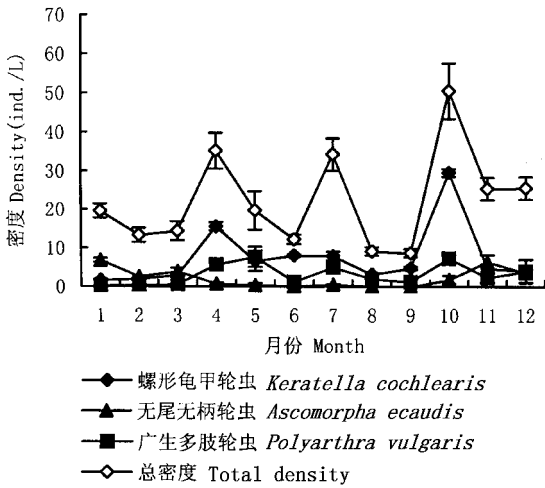


图4 青弋江芜湖段轮虫及其优势种群密度的周年动态
Fig. 4 Annual dynamics of densities of rotifers and dominant species in the Wuhu section of the Qingyi River in 2003

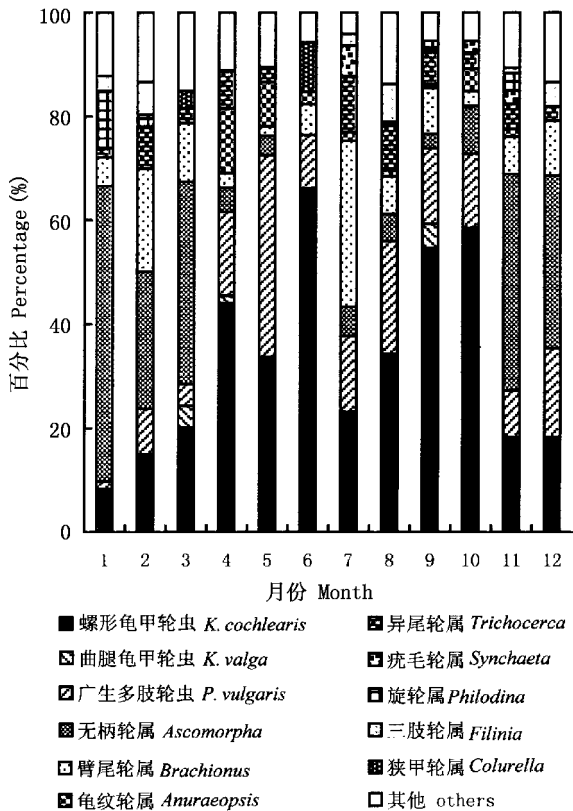


图5 青弋江芜湖段轮虫重要属、种密度百分比组成的周年变化
Fig. 5 Annual variation in species composition shown as a percentage of total density of some important Rotifera genera and species in the Wuhu section of the Qingyi River in 2003

但同水流量之间没有明显的相关性。而在5-9月(汛期)轮虫的总密度与水流量之间表现出显著的正相关关系($r=0.580$, $P<0.01$),而与水温 and 叶绿素a浓度之间没有明显的相关性;10-12月(汛期后)轮虫的总密度和温度、叶绿素a浓度和水流量之间都表现出显著的正相关性(多元回归, $R^2=0.680$, $P<0.05$)。水流量对此阶段轮虫密度的影响最大(标准偏回归系数 $\beta_1=0.312$, $\beta_2=0.120$, $\beta_3=0.593$)。

必须说明的是,7月份臂尾轮属(*Brachionus*)轮虫的密度最高,优势度为0.32,超过了其他优势种,尤其是角突臂尾轮虫(*Brachionus angularis*),优势度为0.18,接近螺形龟甲轮虫,为当月第二优势种(图5)。

2.4 轮虫物种多样性指数的周年变化及其与群落因素的关系

根据各月数据,物种多样性指数变幅在2.02至4.03之间,最高值出现在2月份,最低值出现在6月份。汛期(5-9月)物种多样性指数的波动幅度比汛期前(1-4月)和汛期后(10-12月)都相对较大。

群落因素对轮虫物种多样性指数月变化的影响表现在轮虫的物种多样性指数分别与种类数和群落的物种均匀度之间呈现出显著的正相关关系(物种多样性指数 = $1.536 + 0.0548 \times$ 种类数, $n=12$, $r=0.600$, $P<0.05$; 物种多样性指数 = $-0.591 + 5.804 \times$ 群落的物种均匀度, $n=12$, $r=0.955$, $P<0.001$)。而与优势度之间却显示出显著的负相关关系(物种多样性指数 = $5.579 - 4.134 \times$ 优势度, $n=12$, $r=-0.942$, $P<0.001$)。

3 讨论

3.1 轮虫群落结构的时空异质性

据报道,长江干流及沿岸重点湖泊的轮虫共有48属118种,汉口—南京江段平均仅为15.4种(长江水系渔业资源调查协作组,1990),仪征—崇明江段平均为26.5种(韩德举和胡菊香,1995)。与此相比,本次调查区段的轮虫种类数占长江干流及沿岸重点湖泊的轮虫总种类数的87.3%,显示了较高的物种丰富度。另外,本次调查发现,汛期时轮虫种类数平均为24.8种,高于汉口—南京江段而低于仪征—崇明江段。这是由于汛期时,长江干流水通过

青弋江芜湖段流至安徽当涂县境内并由太平口入长江,此段时间内青弋江芜湖段的轮虫物种多样性应与长江芜湖段基本一致。

Hynes(1970)认为,淡水轮虫群落中优势种类常只有少数几种,且因水体的不同而异。Van Dijk和Van Zanten(1995)在对Rhine河的研究中发现,角突臂尾轮虫、萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)、螺形龟甲轮虫和矩形龟甲轮虫(*Keratella quadrata*)是优势种,并且它们占轮虫总数的70%。May和Bass(1998)发现在英格兰的Thame河中,螺形龟甲轮虫、长圆疣毛轮虫(*Synchaeta oblonga*)、长肢多肢轮虫(*Polyarthra dolichoptera*)为优势种;而Kobayashi等(1998)和Pace(1992)分别对澳大利亚Hawkesbury-Nepean河和加拿大的Hudson河的调查结果表明龟甲轮属(*Keratella*)、多肢轮属(*Polyarthra*)和异尾轮属(*Trichocerca*)的轮虫在数量上占优势地位。本研究中,青弋江芜湖段的轮虫群落中,龟甲轮属和无柄轮属的轮虫分别占总数的35.1%和18.4%,而多肢轮属和臂尾轮属的轮虫也占14.5%和9.7%,这4个属约占总数的78%。值得注意的是,无尾无柄轮虫在春季和冬季也有分布,而且无尾无柄轮虫在温度较高的夏、秋两季的密度很小,而在水温相对较低的春、冬季的密度反而较高。诸葛燕(1997)认为,无尾无柄轮虫是广温性的种类,而不是Carlin(1943)认为的暖水性种类。本调查结果也说明了无尾无柄轮虫可能是广温性的种类,调查中出现的夏秋两季密度低的现象可能是由于水中的含沙量高不利于其生存和繁殖。

物种多样性指数、生态优势度和群落均匀度是反映群落组成结构特征的定量指标。一般来说,物种多样性与物种丰富度、均匀度呈正相关,与生态优势度呈负相关(彭少麟等,1989)。本次研究结果与上述结论完全一致,这也说明了这3种指标可以作为定量指标应用到河流生态系统中来反映轮虫群落结构组成特征。

季节变化是群落的普遍现象(刘建康,1999)。Ferrari等(1989)认为,在水流量低的条件下,浮游动物趋向建立并维持稳定的群落结构,包括物种的组成、密度和生物多样性时空上的稳定,但在洪水之后,群落结构会发生重建。本次研究发现,在汛期前的1-3月和汛期后的11-12月,青弋江芜湖段的水流量较小,轮虫群落结构相对稳定;10月份,汛期

结束,青弋江芜湖段轮虫群落结构发生重建。因而可以认为,低的水流量是维持河流轮虫群落结构稳定的重要因素。

3.2 青弋江芜湖段轮虫密度及其与环境因子关系的探讨

韩德举和胡菊香(1995)的调查显示,长江仪征—崇明段轮虫的平均密度为15.6 ind./L,高于干流的平均值,也高于几条主要支流的均数。显然,青弋江芜湖段轮虫的密度相比而言还是比较高的。

环境因子可以影响自然水体中轮虫的密度。已有研究表明,水温是控制轮虫种群增长的重要因素(Holst et al., 1998; Berzins & Pejler, 1989),低的叶绿素a浓度可以降低轮虫的密度(Zimmermann, 1997)。在汛期前(1-4月),水温、叶绿素a浓度的增加促进了轮虫密度的升高,到4月份时,水温较高,叶绿素a浓度达到最大,二者的共同作用可能推动了轮虫密度上升至峰值。5-9月是长江的丰水期,此期长江干流水通过青弋江芜湖段流至安徽当涂县境内并由太平口入长江,由于长江干流轮虫密度较低,因而调查河段的轮虫平均密度也较低。

7月末,轮虫密度达到汛期峰值。王金秋等(2002)的研究发现高浓度的悬沙可以降低褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)的存活率和种群内禀增长率;作者在对轮虫样品的实验室鉴定过程中发现7月份的含沙量明显低于6月份和8月份,所以7月末轮虫密度峰值的出现可能与此时长江水流中较低的悬沙浓度有关。另外,7月轮虫密度可能受长江沿岸的湖泊和其他水体影响较大,因为从轮虫群落组成百分比看,7月份臂尾轮虫的优势度最高。Pourrio(1977)认为,臂尾轮属的轮虫以藻类为主要食物,而此时水体中叶绿素a浓度较低,这就说明了此时的臂尾轮虫主要是来自长江沿岸的湖泊和其他水体。大量来自湖泊中的轮虫随洪水进入长江推动了轮虫密度达到峰值。

10月份轮虫的总密度最高,此时螺形龟甲轮虫的密度也最高,优势度达到0.58。Starkweather和Bogdan(1980)发现螺形龟甲轮虫偏爱以碎屑、腐殖质为食物,Arndt(1993)和Ooms-Wilms等(1995)认为螺形龟甲轮虫是一种重要的细菌消费者,Baião和Boavida(2000)通过研究发现在11-21℃时螺形龟甲轮虫可以达到较高密度。本研究中,10月份青弋江芜湖段水温为21℃,并且由于汛期时大量的杂质

等随洪水进入青弋江及其支流以及与其相通的湖泊和水库等,经过长时间的浸泡,到 10 月份时各类水体中就可能含有较多的腐殖质和细菌。适宜的温度和充足的食物可能促进了螺形龟甲轮虫种群的增长,也促进轮虫总密度的升高。因此,10 月份轮虫的总密度的峰值很可能是适宜的温度和充足的食物等共同作用形成的。

参考文献

- Arndt, H. 1993. Rotifers as predators on components of the microbial web (bacteria, heterotrophic flagellates, ciliates)—a review. *Hydrobiologia*, **255/256**: 231–246.
- Baião, C. and Boavida, M. 2000. Environmental factors determining the structure of the rotifer communities in a river-shed reservoir. *Aquatic Ecology*, **34**: 369–377.
- Berzins, B. and Pejler, B. 1989. Rotifer occurrence in relation to temperature. *Hydrobiologia*, **175**: 223–231.
- Burger, D. F., Hogg, I. D. and Green, J. D. 2002. Distribution and abundance of zooplankton in the Waikato River, New Zealand. *Hydrobiologia*, **479**: 31–38.
- Carlin, B. 1943. Die Planktonrotatorien des Motalaström. Zur Taxonomie der Planktonrotatorien. *Medd. Lunds Univ. Limnol. Inst.*, **5**: 256.
- Feng, Q. H. (冯庆华). 2000. Cause analysis of flood disasters in several river basins and their flood control countermeasures. *Yangtze River* (人民长江), **31**(7): 18–20. (in Chinese with English abstract)
- Ferrari, I., Farabegoli, A. and Mazzoni, R. 1989. Abundance and diversity of planktonic rotifers in the Po River. *Hydrobiologia*, **186/187**: 201–208.
- Fishery Resource Investigation Collaboration Group of Water System in Yangtze River (长江水系渔业资源调查协作组). 1990. *Fishery Resource of Water System in Yangtze River* (长江水系渔业资源). Ocean Press, Beijing, 34–38. (in Chinese)
- Guo, P. Y. (郭沛涌), Shen, H. T. (沈焕庭), Liu, A. C. (刘阿成), Wang, J. H. (王金辉) and Yang, Y. L. (杨元利). 2003. The species composition, community structure and diversity of zooplankton in Changjiang estuary. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **23**: 892–900. (in Chinese with English abstract)
- Han, D. J. (韩德举) and Hu, J. X. (胡菊香). 1995. A survey of the rotifers from Yizhen to Chongmin of Yangtze River. *Chinese Journal of Zoology* (动物学杂志), **30**(1): 1–8. (in Chinese with English abstract)
- Holst, H., Zimmermann, H., Kausch, H. and Koste, W. 1998. Temporal and spatial dynamics of planktonic rotifers in the estuary during spring. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **47**: 261–273.
- Huang, X. F. (黄祥飞). 1999. *Survey, Observation and Analysis of Lake Ecology* (湖泊生态调查观测与分析). Standards Press of China, Beijing, 77–79. (in Chinese)
- Hynes, H. B. N. 1970. *The Ecology of Running Waters*. Liverpool University Press, Liverpool, 555.
- Kobayashi, T., Shiel, R. J., Gibbs, P. and Dixon, P. I. 1998. Freshwater zooplankton in the Hawkesbury-Nepean River: comparison of community structure with other rivers. *Hydrobiologia*, **377**: 133–145.
- Koste, W. 1978. *Rotatoria. Die Rädertiere Mitteleuropas Bd. II. Gebrüder, Bornträger, Berlin.*
- Li, G. G. (李共国), Hu, T. Y. (胡天云) and Wu, J. (吴洁). 2001. Ecological studies on zooplankton in the Xixi River, Hangzhou. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **20**(6): 29–31. (in Chinese with English abstract)
- Li, G. G. (李共国) and Yu, Z. M. (虞左明). 2001. A study on the diversity of a zooplankton community in Lake Qiandaohu, Zhejiang. *Biodiversity Science* (生物多样性), **9**: 115–121. (in Chinese with English abstract)
- Liu, J. K. (刘建康). 1999. *Advanced Hydrobiology* (高级水生生物学). Science Press, Beijing, 92. (in Chinese)
- May, L. and Bass, J. A. B. 1998. A study of rotifers in the River Thames, England, April–October, 1996. *Hydrobiologia*, **387/388**: 259–265.
- Ooms-Wilms, A. L., Postema, G. and Gulati, R. D. 1995. Evaluation of bacterivory of Rotifera based on measurements of *in situ* ingestion of fluorescent particles, including some comparisons with Cladocera. *Journal of Plankton Research*, **17**: 1057–1077.
- Pace, M. L., Finlay, S. E. G. and Lints, D. 1992. Zooplankton in advective environments: the Hudson River community comparative analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **49**: 1060–1069.
- Peng, S. L. (彭少麟), Zhou, H. C. (周厚诚) and Chen, T. X. (陈天杏). 1989. The quantitative characters of organizations of forest communities in Guangdong. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学学报), **13**: 10–17. (in Chinese with English abstract)
- Pourriot, R. 1977. Food and feeding habits of rotifera. *Archiv für Hydrobiologie Beiheft Ergebnisse der Limnologie*, **8**: 243–260.
- Schwerdtfeger, F. 1975. *Ökologie der Tiere, Bd. III. Synökologie*. Paul Parey, Hamburg, Berlin.
- Song, Y. Z. (宋玉珍), Ma, Z. X. (马正学) and Jin, D. M. (金德美). 1997. Investigation of zooplankton in the Yellow River of Lanzhou, Gansu. *Journal of Gansu Sciences* (甘肃科学学报), **9**(3): 78–81. (in Chinese with English abstract)
- Starkweather, P. L. and Bogdan, K. G. 1980. Detrital feeding in natural zooplankton communities: discrimination between live and dead algal foods. *Hydrobiologia*, **73**: 83–85.
- Van Dijk, G. M. and Van Zanten, B. 1995. Seasonal changes in zooplankton abundance in the lower Rhine during 1987–1991. *Hydrobiologia*, **304**: 29–38.
- Wang, J. Q. (王金秋), Xu, Z. L. (徐兆礼), Shi, C. (石椿) and Chen, Y. Q. (陈亚瞿). 2002. Effect of suspended silt from dredging at Yangtze estuary on *Brachionous plicatilis*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **13**: 871–874. (in Chinese with English abstract)
- Zhuge, Y. (诸葛燕). 1997. Studies on taxonomy and distribution of Rotifera in typical zones of China. *PH. D. Dissertation of Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences* (中国科学院水生生物研究所博士学位论文). (in Chinese with English summary)
- Zimmermann, H. 1997. The microbial community on aggregates in the Elbe estuary. *Aquatic Microbial Ecology*, **13**: 37–46.