

苏皖交界河网区后生浮游动物群落结构及其影响因子分析

郑金秀, 陈明秀, 胡菊香

(水利部中国科学院水工程生态研究所, 水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室, 武汉 430079)

摘要: 鉴于长江中下游河网水流条件复杂, 河流生境变化导致的浮游动物群落结构特异性, 于2012年10月(平水期)和12月(枯水期)在长江下游江苏和安徽交界处的河网区布设6个采样点, 进行轮虫和甲壳动物采样调查, 并检测 NH_4^+-N 、 NO_2^--N 、TN、TP、 COD_{Mn} 和 Chl. a 含量等水环境指标。结果表明, 河网区共检出轮虫31种, 优势种包括螺旋龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)和疣毛轮虫(*Synchaeta* sp.)等; 枝角类14种, 优势种为象鼻溞(*Bosmina* sp.); 桡足类20种, 优势种为跨立小剑水蚤(*Microcyclops varicans*)、中华窄腹剑水蚤(*Limnithona sinensis*)和温剑水蚤(*Thermocyclops* sp.)。轮虫密度最高, 平均为350.69个/L, 其次为桡足类3.44个/L, 枝角类最少, 仅0.15个/L。轮虫和甲壳动物的季节变化规律不同, 平水期的轮虫种类多于枯水期, 枝角类和桡足类则相反, 浮游动物的密度变化规律也类似。CCA分析表明, 氮、磷、 COD_{Mn} 和 Chl. a 共同影响了浮游动物的群落结构与分布, 枯水期轮虫密度与枝角类和桡足类密度均显著正相关($P < 0.01$), 叶绿素a与3类浮游动物密度也显著正相关($P < 0.05$)。受长江汛期水文条件的影响, 河网区浮游动物群落组成及优势种变化有其特定规律, 轮虫与甲壳动物的种间关系也对其种类和密度的季节变化造成影响, 而食物限制则是枯水期种群竞争的重要因素。

关键词: 轮虫; 甲壳动物; 群落结构; 种间关系; 河网

中图分类号: Q145 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2014)06-0053-08

长江中下游地区水系发达, 跨越苏、皖两省的青弋江和姑溪河连接长江和石臼湖, 两河之间又以青山河、运粮河及其他小溪流相连, 形成地形复杂的河网区。目前, 对长江中下游地区浮游动物的研究主要集中在湖泊, 如巢湖、太湖、洪泽湖等(胡菊香等, 2007; 钟春妮等, 2012; 邵元启等, 2013; 都雪等, 2014), 而河流区的研究鲜见报道(温利新等, 2004)。由于青弋江和姑溪河是连接江湖的支流, 受长江汛期及湖泊调蓄作用的影响, 该河网地区水流形态较复杂, 这也决定了该地区浮游动物群落结构的特异性。本研究于2012年平水期和枯水期对该河网地区轮虫和甲壳动物进行采集调查, 分析浮游动物的种类组成和现存量变化, 探讨其结构组成及种间关系, 旨在为平原河网区浮游动物群落特点及变化规律提供基础资料。

江下游江苏和安徽交界处的河网区进行轮虫和甲壳动物采样调查, 并检测 NH_4^+-N 、 NO_2^--N 、TN、TP、 COD_{Mn} 和 Chl. a 含量等水环境指标。根据生境特点, 在河网区布设6个采样点, 具体设置见图1。

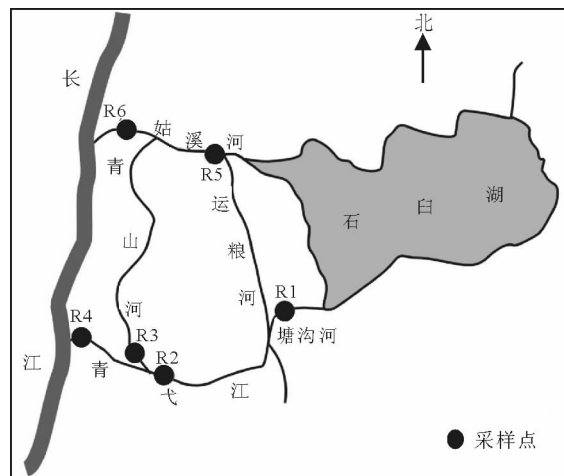


图1 采样点示意

Fig. 1 Location of sampling sites

1 材料与方法

1.1 样品采集

2012年10月(平水期)和12月(枯水期)对长

1.2 样品处理

轮虫定性样品用25号浮游生物网(孔径为64 μm)大范围拖捞获得, 取50 mL用5%的福尔马林固定。定量样品用2.5 L采水器于3个深度(表层、中层、底层)各采水5 L, 混合后取2 L水用15%的鲁哥氏液固定。所获样品均带回实验室进行分类、鉴定(王家楫, 1961; 诸葛燕, 1997)。

收稿日期: 2014-08-04

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51279112); 中央分成水资源费项目(1261420237007); 水利部948项目(201408)。

通讯作者: 胡菊香。E-mail: hujuxiang2005@163.com

作者简介: 郑金秀, 1979年生, 女, 高级工程师, 研究方向为水生态监测与保护。E-mail: surexxzh@126.com

甲壳动物定性样品用 13 号浮游生物网(孔径为 122 μm)大范围拖捞获得,定量样品用 25 号浮游生物网过滤 20 L 水样获得,样品用 5% 的福尔马林固定。所获样品均带回实验室进行分类、鉴定(沈嘉瑞,1979;蒋燮治和堵南山,1979)。

水环境指标测定方法参照《水和废水监测分析方法》进行(国家环境保护总局,2002)。

1.3 数据处理

调查的河流区水较浅,清澈见底,且河流状态与湖泊水库差别较大,不适宜用湖泊(水库)营养评价方法,因此河流营养状况采用单因子评价模式,计算公式借鉴海洋水体营养状态质量指数(NQI)进行评价(朱小山等,2005),但指标值采用地表水环境质量标准。计算公式如下:

$$NQI = C_{\text{COD}}/C'_{\text{COD}} + C_{\text{TN}}/C'_{\text{TN}} + C_{\text{TP}}/C'_{\text{TP}}$$

式中: C_{COD} 、 C_{TN} 、 C_{TP} 为水体化学需氧量、总氮、总磷的测量浓度; C'_{COD} 、 C'_{TN} 、 C'_{TP} 为 III 类水质的化学需氧量、总氮和总磷的评价标准(国家环境保护总局, 2002); 其中, $C'_{\text{COD}} = 20.0 \text{ mg/L}$; $C'_{\text{TN}} = 1.0 \text{ mg/L}$; $C'_{\text{TP}} = 0.2 \text{ mg/L}$ 。 $NQI > 3$ 表示水体富营养化, $2 \leq NQI \leq 3$ 表示中营养水平, $NQI < 2$ 表示贫营养水平。

浮游动物群落分布与环境因子 NH_4^+-N 、Chl. a、TN、TP、 COD_{Mn} 关系的典范对应分析(Canonical Correspondence Analysis, CCA)通过软件 PC-ORD 5 实现。轮虫密度与枝角类、桡足类和叶绿素 a 的相关性分析通过 SPSS 17 软件实现。

2 结果与分析

2.1 营养状态

研究区域平水期平均水温 20°C , 枯水期平均水温 9°C 。TN 浓度在 $0.77 \sim 3.00 \text{ mg/L}$, 均值为 2.12 mg/L ; TP 浓度在 $0.01 \sim 0.09 \text{ mg/L}$, 均值为 0.05 mg/L ; Chl. a 浓度在 $0.69 \sim 12.56 \text{ mg/L}$, 均值为 3.33 mg/L ; COD_{Mn} 浓度在 $1.12 \sim 9.28 \text{ mg/L}$, 均值为 4.98 mg/L 。各站点水环境因子在不同时期变化明显,基本上枯水期高于平水期(图 2)。

由营养状态质量指数(NQI)计算河流各站点营养状况,结果见表 1。枯水期的 NQI 值小于平水期值,平水期除了 R1 和 R5 值大于 2,为中营养状态,其余断面均处于贫营养状态;枯水期只有 R2 断面为中营养,其余皆为贫营养。总体来说河网区处于贫营养状态,有机质和营养盐浓度较低,不适宜浮游动物大量繁殖。

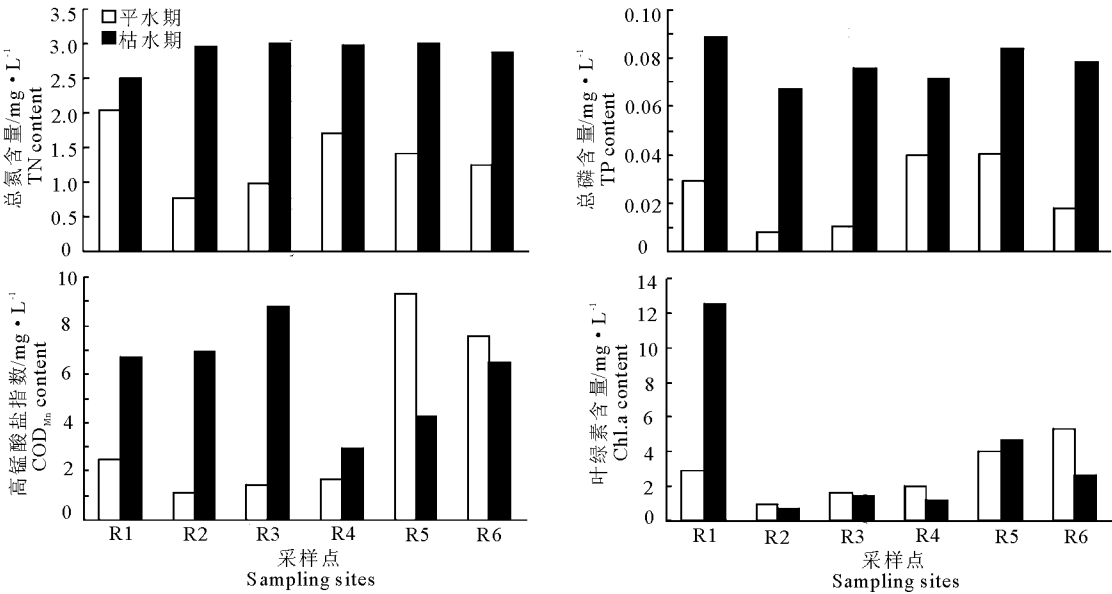


图 2 不同时期河流环境因子的变化

Fig.2 Seasonal variation of water quality parameters

2.2 种类组成

调查共检出轮虫 31 种,其中臂尾轮虫属和异尾轮虫属各有 5 种,龟甲轮虫属 3 种,R6 和 R5 断面出现种类最多,各有 19 种,R4 断面最少,仅有 6 种。检出枝角类 13 种,其中盘肠溞属 3 种,象鼻溞属和

溞属各 2 种;R5 断面枝角类最多,为 6 种,其次是 R1 断面,有 5 种,R2 断面最少,只有 2 种。检出桡足类 20 种,其中真剑水蚤属和温剑水蚤属最多,各 3 种;种类最多的断面在 R6,为 13 种,其次是 R5,有 11 种,R1 有 10 种,R2 最少,只有 3 种;详见表 2。

表 1 河流营养状态质量指数

Tab.1 Nutrition quality index(NQI) of each sampling site in the river network

时期	采样点						平均
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	
平水期	2.31	0.86	1.10	1.99	2.08	1.73	1.68
枯水期	1.27	2.12	1.42	0.86	0.58	0.71	1.16

轮虫和甲壳动物种类在不同采样时期数量差异显著,且变化规律不同。轮虫平水期有 26 种,高于枯水期的 17 种。枝角类和桡足类则是枯水期高于平水期,其中枝角类平水期 4 种,枯水期 11 种;桡足类平水期 10 种,枯水期 17 种。

表 2 轮虫与甲壳动物种类组成

Tab.2 Species composition of rotifers and crustaceans

种 类	采 样 点					
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
轮虫						
旋轮虫一种 <i>Philodina</i> sp.				*		
尖趾腔轮虫 <i>Lecane closteroerca</i>					*	
爪趾腔轮虫 <i>L. unguitata</i>			*			
前节晶囊轮虫 <i>Asplanchna priodonta</i>		*				
晶囊轮虫一种 <i>Asplanchna</i> sp.			* +			+
蓴花臂尾轮虫 <i>Brachionus califlorus</i>	+		* +	*	* +	+
角突臂尾轮虫 <i>B. angularis</i>	* +	*	*		* +	*
剪形臂尾轮虫 <i>B. forficula</i>			*		*	*
蒲达臂尾轮虫 <i>B. budapestiensis</i>						*
壶状臂尾轮虫 <i>B. urceus</i>					+	
螺形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i>	* +	* +	* +	* +	* +	* +
曲腿龟甲轮虫 <i>K. valga</i>	* +	* +	+		+	* +
龟状矩形龟甲轮虫 <i>K. quadrata testudo</i>			*	*		
唇形叶轮虫 <i>Notholca labis</i>	+				+	
裂痕龟纹轮虫 <i>Anuraeopsis fissa</i>		*			*	*
大肚须足轮虫 <i>Euchlanis dilatata</i>	+					
前翼轮虫一种 <i>Proales</i> sp.					*	*
等棘异尾轮虫 <i>Trichocerca similis</i>	+	*		*	* +	* +
圆筒异尾轮虫 <i>T. cylindrica</i>					+	*
暗小异尾轮虫 <i>T. pusilla</i>					*	*
田奈异尾轮虫 <i>T. dixon-nuttalli</i>					*	*
长刺异尾轮虫 <i>T. longiseta</i>	+				+	
无柄轮虫一种 <i>Ascomorpha</i> sp.			*		+	
疣毛轮虫一种 <i>Synchaeta</i> sp.	+	* +	* +	* +	* +	* +
郝氏皱甲轮虫 <i>Ploesoma hudsoni</i>		+				
广生多肢轮虫 <i>Polyarthra vulgaris</i>	+	* +	* +		* +	* +
真翅多肢轮虫 <i>P. euryptera</i>			*			
沟痕泡轮虫 <i>Pompholyx sulcata</i>						* +
小三肢轮虫 <i>Filinia minuta</i>						*
顶生三肢轮虫 <i>F. terminalis</i>	+		* +		*	*
胶鞘轮虫一种 <i>Collotheca</i> sp.			*		*	
枝角类						
长肢秀体溞 <i>Daphnia leuchtenbergianum</i>		*		*		
透明溞 <i>D. hylaina</i>	+					
僧帽溞 <i>D. cucullata</i>	+					
老年低额溞 <i>Simocephalus vetulus</i>					+	
美丽网纹溞 <i>Ceriodapnia pulchella</i>					+	
兴凯裸腹溞 <i>Moina chankensis</i>			*			
简弧象鼻溞 <i>Bosmina coregoni</i>	* +		* +	*	+	*
长额象鼻溞 <i>B. longirostris</i>	+	* +	* +	* +	* +	+
颈沟基合溞 <i>Bosminopsis deitersi</i>			+			
奇异尖额溞 <i>Alona eximia</i>					+	
波纹盘肠溞 <i>Chydorus undulatus</i>						+
圆形盘肠溞 <i>C. sphaericus</i>	+			+	+	
卵形盘肠溞 <i>C. ovalis</i>				+		

续表2 Tab.2 continued

种 类	采 样 点					
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
桡足类						
汤匙华哲水蚤 <i>Sinocalanus dorrii</i>	+		+		+	* +
火腿许水蚤 <i>Schmackeria poplesia</i>						*
球状许水蚤 <i>S. forbesi</i>	+	+	*	+	+	* +
中华窄腹剑水蚤 <i>limnoithona sinensis</i>			*		* +	*
白色大剑水蚤 <i>Macrocylops albidus</i>					+	
如愿真剑水蚤 <i>Eucyclops speratus</i>					+	
锯齿真剑水蚤 <i>E. macruioides denticulatus</i>	+				+	+
棘刺真剑水蚤 <i>E. euacanthus</i>					+	
英勇剑水蚤 <i>Cyclops strenuus</i>				+		*
近邻剑水蚤 <i>C. vicinus vicinus</i>	+			+	+	
草绿刺剑水蚤 <i>Acanthocyclops viridis</i>					+	
矮小刺剑水蚤 <i>A. vernalis</i>						+
跨立小剑水蚤 <i>Microcyclops varicans</i>	+	* +	* +	+	+	* +
等形小剑水蚤 <i>M. subaequalis</i>	+		+			* +
后剑水蚤一种 <i>Metacyclops</i> sp.	+		+	+		+
广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>			*			*
北碚中剑水蚤 <i>M. pehpeiensis</i>						*
台湾温剑水蚤 <i>Thermocyclops taihokuensis</i>	+		+			+
蒙古温剑水蚤 <i>T. mongolicus</i>			+			
短尾温剑水蚤 <i>T. brevifurcatus</i>	*	* +	+		+	

注：* 表示平水期出现种类，+ 表示枯水期出现种类。
Note: * species present during normal season, + species present during dry season.

2.2 优势种变化

2 次调查均出现的轮虫优势种为螺旋龟甲轮虫 (*Keratella cochlearis*) 和疣毛轮虫 (*Synchaeta* sp.), 平水期出现的优势种还包括广生多肢轮虫 (*Polyarthra vulgaris*) 和等棘异尾轮虫 (*Trichocerca similis*) ;此外, 臂尾轮虫在平水期较为常见, 而枯水期则只检出萼花臂尾轮虫 (*Brachionus califlorus*) 和角突臂尾轮虫 (*Brachionus angularis*) 。曲腿龟甲轮虫 (*Keratella valga*) 在枯水期也较常见。枝角类优势种主要为象鼻溞 (*Bosmina* sp.), 桡足类优势种主要为跨立小剑水蚤 (*Microcyclops varicans*) 、中华窄腹剑水蚤 (*limnoithona sinensis*) 和温剑水蚤 (*Thermocyclops* sp.), 其中温剑水蚤主要出现在枯水期。

2.3 时空分布

本次研究河网区浮游动物的密度以轮虫最高 (350.69 个/L), 其次是桡足类 (3.44 个/L), 枝角类最少 (0.15 个/L)。各类群生物在不同时期变化明显, 轮虫平水期密度高于枯水期, 枝角类和桡足类则是枯水期高于平水期。各采样点浮游动物密度变化见图 3。可以看出, 轮虫除了 R1 站点外, 其余站点的密度在不同时期的变化在空间上有相似的变化趋势。枯水期枝角类和桡足类在空间分布上与轮虫的变化趋势较为一致。

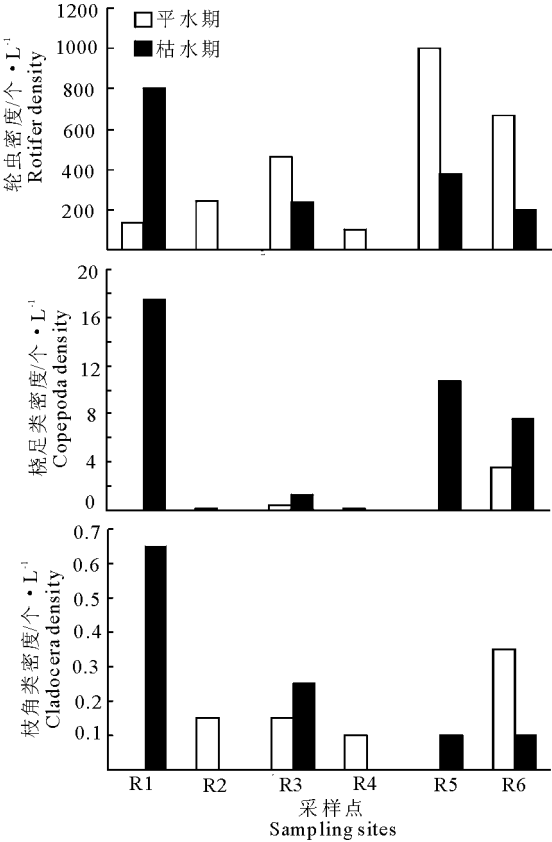


图3 轮虫和甲壳动物密度的时空分布
Fig.3 Temporal-spatial distribution of rotifer and crustacean density

2.4 环境因子与浮游动物分布的相关性

对浮游动物分布数据与环境因子进行 CCA 分析得到图 4(图中 a 表示平水期, b 表示枯水期)。结果显示,前两轴的特征值分别为 0.406 和 0.316,对环境因子的解释率分别为 15.8% 和 12.3%。轴 1 与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN、TP 显著正相关($P < 0.01$),与 NQI 显著负相关($P < 0.01$);轴 2 与 COD_{Mn} 和 Chl. a 显著负相关($P < 0.01$)。采样站点大致可分为两类,分别为平水期和枯水期站点,说明这些站点不同时期的浮游动物群落结构在分布上有显著差异。

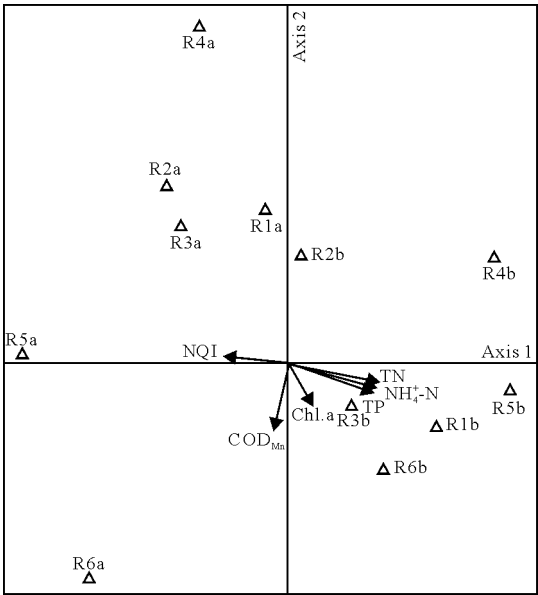


图 4 浮游动物分布与环境因子的典范对应分析
Fig. 4 Relationship between zooplankton distribution and environmental factors

2.5 浮游动物种群相关性

经检验,轮虫、枝角类和桡足类密度的检测数据均呈正态分布, Pearson 相关性分析显示,平水期枝角类和桡足类密度呈显著正相关($P < 0.01$);枯水期轮虫密度与枝角类和桡足类密度均呈显著正相关($P < 0.01$),枝角类和桡足类之间也呈显著正相关($P < 0.05$);说明各类群浮游动物之间存在一定的种间关系,通过竞争、捕食等作用维持着水生态系统结构的平衡。

叶绿素 a 浓度在一定程度上可代表浮游植物的丰度,将其与浮游动物密度进行相关性分析,以探讨浮游植物浓度变化对浮游动物的影响(表 3)。结果显示,平水期叶绿素 a 与浮游动物密度不相关,但枯水期叶绿素 a 与 3 类浮游动物密度呈显著正相关($P < 0.01$),可见枯水期食物资源是浮游动物结构组成的重要影响因素。

表 3 浮游动物之间及其与叶绿素 a 的相关性
Tab. 3 Correlation between zooplankton populations and relationship with chlorophyll a

时期	类别	枝角类	桡足类	Chl. a
平水期	轮虫	0.103	0.308	0.651
	枝角类		0.885 **	0.324
	桡足类			0.711
枯水期	轮虫	0.929 **	0.936 **	0.964 **
	枝角类		0.769 *	0.906 **
	桡足类			0.932 **

注: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ 。
Note: * significant correlation, $P < 0.05$; ** highly significant correlation, $P < 0.01$.

3 讨论

3.1 浮游动物群落结构及其影响因素

浮游动物群落结构是与其所在水域生境状况相适应的,其结构改变可以由不同的因素起主导作用。本次研究的苏皖交界河网区是联系长江与湖泊的重要支流,受长江水位的影响,几条支流在不同季节的水位波动较大。一般 4-8 月长江下游水位较高,长江水从芜湖进入青弋江,流入河网,最后从姑溪河口当涂回到长江;10-12 月为汛后期,河网区水位高于长江,青弋江水顺流进入长江,水流较平缓,且水量逐渐减小。研究调查时期正处于汛后期,10 月汛期结束,轮虫群落结构发生重建(温利新,2005),在这种较复杂的生境状况下,轮虫适应能力较甲壳动物强,其种群结构能更快趋于稳定。随着汛后河网区流速和流量的稳定,对水流条件较敏感的甲壳动物开始大量繁殖,种类逐渐增多,这也是甲壳动物种类和密度比轮虫滞后达到峰值的原因。

浮游动物的优势种组成也反映了生物对环境条件的适应。如轮虫的优势种螺旋龟甲轮虫和疣毛轮虫都是适应性较强的种类,不仅对环境污染有一定耐受能力,而且螺形龟甲由于具有背甲,疣毛轮虫个体较大,均不易被捕食(Craig, 1983; Plassmannetal et al, 1997)。枝角类优势种只有象鼻溞属的 2 个种类,长额象鼻溞是广温性种,在富营养的水域中,数量特别多。简弧象鼻溞多数栖息在大型湖泊与水库的敞水区以及缓流的江河中。河网地区营养丰富,汛后期水流较缓,均为象鼻溞适宜生长的条件;而桡足类中的跨立小剑水蚤是广适性种类,更容易适应波动的环境条件(Evelyn, 1994),因此在平水期时也是较常见的种类。中华窄腹剑水蚤则是河口区常见的种类,在通江(河口)的水体能够维持一定种群数,其个体小、繁殖快、存活率高,能在短时间内达到

很高的丰度,是一种具有竞争优势的生态入侵种(望甜等,2009)。至枯水期,随着环境条件的稳定和小型浮游生物的生长繁殖,桡足类开始出现捕食型的温剑水蚤;由此可见,通江河网区较复杂多变的生境条件及其食物资源决定了浮游动物的群落结构和时空分布,在这些影响因素中,氮磷营养盐起了最主要的作用,其次是COD。

3.2 轮虫与甲壳动物的种间关系

由于轮虫与枝角类和桡足类生态位重叠,因此存在一定的竞争和捕食关系(Craig,1983)。当食物不充足时,枝角类和轮虫之间存在掠夺性竞争(林秋奇等,2006);而桡足类通常比较喜欢捕食轮虫,尤其是小个体无背甲种类(Kennedy,1987;Plassmann et al,1997)。通过甲壳动物调控,可使轮虫种群达到数量和结构上的稳定。从研究区域轮虫与甲壳动物的种类季节变化可以看出,轮虫从平水期的26种下降到枯水期的17种,而枝角类和桡足类种类数是上升的,说明枝角类和桡足类通过竞争、捕食作用对轮虫产生了抑制;同样,轮虫密度的季节变动与甲壳动物变动规律的不同,也证明了两种之间存在着竞争与捕食关系。从优势种组成情况则可以看出,轮虫最终的优势种以具背甲的种类和较大个体种类为主,一些平水期出现的优势种,如无背甲的异尾轮虫和广生多肢轮虫在枯水期不具有优势,一些异尾轮虫种类甚至消失。尽管轮虫优势种的季节演替与温度等环境因子变化有关,但不能否认捕食压力也是对轮虫种类进行调控的重要因素。

3.3 食物限制对种群竞争的影响

不同的食物质量和数量及其他环境因素均可能引起物种间竞争格局的形成(Steiner,2004)。在食物短缺的情况下,食物大小和耐饥饿能力是决定生物竞争力的重要因素;而在食物丰富的情况下,内禀增长率高的种群能迅速增长达到较高密度(林秋奇,2007)。由于食物严重受限,冬季湖泊中的轮虫与枝角类竞争激烈,其丰度与可食性藻类显著正相关(Conde-Porcuna et al,2002)。相比于湖泊,河流的食物资源更短缺,食物的浓度也就成了浮游动物生长的限制条件。本研究中,河流为贫营养状态,水体叶绿素浓度不仅影响了浮游动物的时空分布,而且对浮游动物丰度也能起到调控作用。枯水期轮虫、枝角类和桡足类密度均与叶绿素a呈显著正相关,轮虫密度与甲壳动物密度也呈显著正相关,正可

说明这一点。平水期,枝角类与桡足类密度呈显著正相关,但与轮虫和叶绿素均未见显著相关,这与河网区生态系统汛后重建有关。由于处于食物链的不同环节,一般是藻类先达到一定丰度,而后轮虫再达到其密度峰值,之后是以甲壳动物。平水期甲壳动物很显然还处于极不稳定状态,其种类和密度都很小,难以对轮虫构成实质性的抑制,此时的甲壳动物并不存在食物限制。在不同食物条件下,不同大小个体的种群竞争力是不同的(Hart & Bychek,2011);如枝角类中的大型蚤在食物资源丰富的条件下更具有竞争优势,而食物贫乏时,则是小个体类群占据优势(Christopher et al,2003)。正因为如此,河网区调查的枝角类多为小个体种类,僧帽蚤和透明蚤只在R1断面出现过1次;而象鼻蚤因为在有限资源和饥饿状态下更具有竞争力(Dag,1990),则成为优势种;同样,桡足类大部分为无节幼体和桡足幼体,成体较少。

参考文献

- 都雪,王齐东,张超文,等. 2014. 洪泽湖轮虫群落结构及其与环境因子的关系[J]. 湖泊科学, 26(2):269-276.
- 国家环境保护总局. 2000. 水和废水监测分析方法(第4版)[M]. 北京:中国环境科学出版社.
- 国家环境保护总局. 2002. GB3838-2002 地表水环境质量标准[S].
- 胡菊香,吴生桂,陈金生,等. 2007. 巢湖富营养化对轮虫的影响研究[J]. 环境科学与技术,30(12):16-18.
- 蒋燮治,堵南山. 1979. 中国动物志·节肢动物门·甲壳纲·淡水枝角类[M]. 北京:科学出版社.
- 林秋奇,赵帅营,韩博平. 2006. 新建水库轮虫和甲壳类浮游动物动态特征[J]. 生态学杂志,25(3):270-276.
- 林秋奇. 2007. 流溪河水库后生浮游动物多样性与群落结构的时空异质性[D]. 广州:暨南大学.
- 邵元启,邓道贵,葛茜,等. 2013. 巢湖春夏季节浮游甲壳动物群落演替的围隔实验研究[J]. 生态科学,32(6):679-685.
- 沈嘉瑞. 1979. 中国动物志·节肢动物门·甲壳纲·淡水桡足类[M]. 北京:科学出版社.
- 王家楫. 1961. 中国淡水轮虫志[M]. 北京:科学出版社.
- 望甜,王晓辉,韩博平. 2009. 一座抽水水库中中华窄腹剑水蚤种群动态及其对浮游甲壳类群落结构的影响[J]. 湖泊科学, 21(1):110-116.
- 温利新. 2005. 青弋江芜湖段和芜湖市镜湖轮虫群落结构研究[D]. 芜湖:安徽师范大学.
- 温新利,席贻龙,张雷,等. 2004. 青弋江芜湖段轮虫群落结构和物种多样性的初步研究[J]. 生物多样性,12(4):

- 387 – 395.
- 钟春妮, 杨桂军, 高映海, 等. 2012. 太湖贡湖湾大型浮游动物群落结构的季节变化[J]. 水生态学杂志, 3(1): 47 – 52.
- 朱小山, 吴玲玲, 杨瑶, 等. 2005. 粤东柘林湾增养殖区氮磷的分布特征及其富营养化状态评价[J]. 海洋湖沼通报, (3): 16 – 22.
- 诸葛燕. 1997. 中国典型地带轮虫的研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所.
- Christopher F, Steiner, Allison H Roy. 2003. Seasonal succession in fishless ponds: effects of enrichment and invertebrate predators on zooplankton community structure[J]. *Hydrobiologia*, 490: 125 – 134.
- Conde-Porcuna J M, Ramos-Rodriguez E, Perez-Martinez C. 2002. Correlations between nutrient concentrations and zooplankton populations in a mesotrophic reservoir[J]. *Freshwater Biol*, 47: 1463 – 1473.
- Craig E, Williamson. 1983. Invertebrate predation on planktonic rotifers[J]. *Hydrobiologia*, 104: 385 – 396.
- Dag O Hessen. 1990. Niche overlap between herbivorous cladocerans, the role of food quality and habitat homogeneity[J]. *Hydrobiologia*, 190: 61 – 78.
- Evelyn Zoppide Roa. 1994. Species assemblages of cyclopoid Copepoda from Mantecal, Venezuela[J]. *Hydrobiologia*, 292/293: 429 – 435.
- Hart R C, Bychek E A. 2011. Body size in freshwater planktonic crustaceans: an overview of extrinsic determinants and modifying influences of biotic interactions[J]. *Hydrobiologia*, 668: 61 – 108.
- Kennedy E Roche. 1987. Post-encounter vulnerability of some rotifer prey types to predation by the copepod *Acanthocyclops robustus*[J]. *Hydrobiologia*, 147: 229 – 233.
- Plassmann T G, Maier G, Stich H B. 1997. Predation impact of *Cyclops vicinus* on the rotifer community in Lake Constance in Spring[J]. *Journal of Plankton Research*, 19: 1069 – 1079.
- Steiner C F. 2004. *Daphnia* dominance and zooplankton community structure in fishless ponds[J]. *Journal of Plankton Research*, 26(7): 799 – 810.

(责任编辑 万月华)

Characterization of Zooplankton Community Structure and Environmental Factors in the Qingyi/Guxi River Network

ZHENG Jin-xiu, CHEN Ming-xiu, HU Ju-xiang

(Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences. Wuhan 430079, P. R. China)

Abstract: Qingyi River and Guxi River, located in the border area of Jiangsu Province and Anhui Province, connect the Yangtze River and Shijiu Lake. These rivers, along with the Qingshan River, Yunliang River and other small connector streams, form a complex river network in the lower reaches of the Yangtze River. The hydrology in the network is complex, influenced by the Yangtze River and regulation of impounded waters, and this is reflected in the zooplankton community structure. Rotifer and crustacean populations were investigated in 2012 during the normal (October) and dry (December) seasons at six sample sites in the river network. The species composition of zooplankton and variations in the standing stock were determined and the inter-specific relationship of the zooplankton populations and the relationship of the zooplankton community to environmental factors were discussed. The results provide basic data to support continued study of the zooplankton community and manage zooplankton succession in the river network. Samples for qualitative analysis of rotifers were collected with a No. 25 plankton net and fixed with 5% formalin. For quantitative analysis, 2 L water composite samples were collected by mixing water from the surface, middle and bottom layers at each sample site and fixing with Lugol's solution. Crustacean samples for qualitative analysis were collected with a No. 13 plankton net. Crustacean samples for quantitative analysis were collected by filtering 20 L of water through a No. 25 plankton net and fixing with 5% formalin. Zooplankton in all samples were classified and identified in the laboratory. The water quality parameters, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$, $\text{NO}_2^- \text{-N}$, TN, TP, COD_{Mn} , Chl. a, were determined according to *Water and Wastewater Monitoring Analysis Methods*. In total, 31 species of Rotifera (dominant species: *Keratella cochlearis* and *Synchaeta* sp.), 14 species of Cladocera (dominant species: *Bosmina* sp.) and 20 species of Copepoda (dominant species: *Microcyclops varicans*, *Limnoithona sinensis* and *Thermocyclops* sp.) were identified. Rotifera density was the highest (average value, 350.69 ind/L), followed by Copepoda (3.44 ind/L) and Cladocera (0.15 ind/L). Seasonal variation of species richness and population density of rotifers was different than that for crustaceans. For rotifers, species richness and population density were higher in normal season than in dry season, while species richness and population density for crustaceans displayed the opposite patterns. Canonical correspondence analysis (CCA) indicates that the zooplankton community structure and distribution are influenced by nitrogen, phosphorus, COD_{Mn} and Chl. a. During dry season, there is a significant positive correlation between the population densities of Rotifera, Cladocera and Copepoda ($P < 0.01$) and the density of all three populations with Chl. a ($P < 0.05$). In conclusion, zooplankton community structure and the succession of dominant species in the river network follows specific patterns determined by the hydrological condition after flood (high flow) season and the inter-specific relationship of rotifers and crustaceans. During dry season, the restricted food supply is a primary factor in the competition among zooplankton populations.

Key words: rotifers; crustaceans; community structure; inter-specific relationship; river network