彭水水库蓄水初期乌江下游浮游甲壳动物群落结构特征

陈明秀,胡菊香,赵先富,马沛明,池仕运,米玮洁

(水利部中国科学院水工程生态研究所,湖北 武汉 430079)

摘要: 2008年4月、7月和10月,在乌江下游彭水水库库区、坝下江段和库尾以上江段设16个采样断面对浮游甲壳动物进行了调查;共检出浮游甲壳动物29属、49种;其中,枝角类13属、21种,桡足类16属、28种;枝角类年均密度1.89个/L,生物量37.70 μg/L,桡足类年平均密度0.78个/L,生物量5.49 μg/L。浮游甲壳动物的季节变化比较明显,种类数以春季最多,秋季最少;水平分布呈现库区种类数相对较多,库尾及以上江段种类数相对较少,坝下江段受水库下泄水影响显著。

关键词: 浮游甲壳动物;彭水水库;乌江;群落结构

中图分类号: Q178.51^{+}3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2011)05-0037-06

乌江是长江右岸最大的支流,全长1 037 km,总落差2 124 m,流域面积87 920 km^2,于重庆涪陵注入长江。乌江彭水水电站是开发乌江下游水资源的骨干工程之一,坝址位于重庆市彭水县城上游11 km的乌江干流上,下距乌江河口涪陵147 km,是乌江干流水电开发的第10个梯级。2008年1月彭水水电站开始下闸蓄水后,库区水文情势发生剧烈变化,库区江段由原来的激流河流生态系统演变为相对静水的峡谷河道型水库生态系统。水库蓄水后,库区水位提高、水流减缓、水滞留时间延长,导致水体自净能力减弱,再加上淹没区土壤中营养物质溶出和污染物扩散能力减弱等环境因子的影响,水生生物群落也随之发生一定改变。本文通过对水库蓄水初期乌江下游彭水库区、坝下江段和库尾以上江段浮游甲壳动物群落结构进行调查研究,分析浮游动物种群演替和发展趋势,为水库生态学研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 样本采集

2008年4月、7月和10月分别在乌江彭水水库坝下干流江段(涪陵河口G1、武隆G2、彭水G3和坝下G4)、库区干流(坝上G5、鹿角G6、洪渡G7和龚滩G8)、库尾及以上干流江段(沿河G9和思南G10)设置10个采样断面,从G1~G10依次编号;支流设置6个采样断面,依次编号为郁江Z1、洪渡河库湾Z2、阿蓬江库湾Z3、黑獭Z4、坝前库湾Z5和水华区库湾Z6(图1)。浮游甲壳动物定性样品用13号浮游生物网在水面至0.5 m的水层中反复作"∞"形采集。河流采表层水20 L,用25号浮游生物网过滤,获取定量标本。库区则在表层、5 m、10 m、20 m(或底层)分别取样共计20 L,均匀混合后用25号浮游生物网过滤。所有样品用4%福尔马林固定。

1.2 样本鉴定

定性标本在实验室内通过镜检鉴定其种类,定量标本在解剖镜下全部计数。枝角类的鉴定参照蒋燮治和堵南山(1979),桡足类参照沈嘉瑞(1979);生物量按桡足类的幼体和成体0.007 mg/个、枝角类0.02 mg/个计算(宋大祥,1994)。

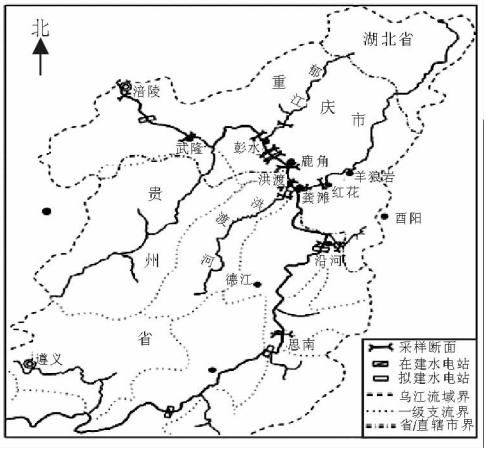

图1 彭水水库浮游甲壳动物采样断面分布

Fig. 1 Distribution of sampling stations in Pengshui Reservoir

收稿日期: 2011-03-10

基金项目: 国家自然科学基金专项基金项目(51051003);水利部公益性行业专项专题(200901055-03)。

作者简介: 陈明秀,1978年生,女,助理研究员,主要从事浮游甲壳动物生态学研究。E-mail: chenmx@mail.ihe.ac.cn

2 结果

2.1 浮游甲壳动物种类组成与空间分布

2.1.1 种类组成 乌江下游调查区域共检出浮游甲壳动物29属、49种(表1);其中,枝角类13属、21种,桡足类16属、28种。干流浮游甲壳动物有45种,占总数的91.84%,优势种为透明溞 *Daphnia*(*Daphnia*)*hylaina*、僧帽溞 *Daphnia*(*Daphnia*)*cuc-*

表1 彭水水库浮游甲壳动物分布

Tab.1 Distribution of crustacean zooplankton in Pengshui Reservoir

浮游甲壳动物	采样断面															
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
枝角类																
长肢秀体溞 *Diaphanosoma leuchtenbergianum*			+	+	+	+	+				+	+	+		+	+
透明溞 *Daphnia*(*Daphnia*)*hylaina*		+	+	+	+		+		+	+			+		+	
僧帽溞 *Daphnia*(*Daphnia*)*cucullata*	+	+	+	+	+	+	+	+		+		+	+		+	+
老年低额溞 *Simocephalus vetulus*				+	+	+	+	+	+			+			+	
方形网纹溞 *Ceriodaphnia quadrangula*					+											
耳形船卵溞 *Scapholeberis aurita*		+														
壳纹船卵溞 *Scapholeberis kingi*						+										
平突船卵溞 *Scapholeberis mucronata*		+			+	+		+		+						+
直额裸腹溞 *Moina rectirorstris*											+					
简弧象鼻溞 *Bosmina coregoni*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
长额象鼻溞 *Bosmina longirostris*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+			+
颈沟基合溞 *Bosminopsis deitersi*				+			+				+					+
点滴尖额溞 *Alona guttata*					+											+
中型尖额溞 *Alona intermedia*				+	+			+								
方形尖额溞 *Alona quadrangularis*						+							+			
肋形尖额溞 *Alona costata*											+		+		+	+
直额弯尾溞 *Camptocercus rectirostris*						+									+	
镰角锐额溞 *Alonella excisa*	+											+	+			
光滑平直溞 *Pleuroxus laevis*												+				+
圆形盘肠溞 *Chydorus sphaericus*		+														
卵形盘肠溞 *Chydorus ovalis*		+													+	+
桡足类																
镖水蚤 *Diaptomidae* sp.				+												
右突新镖水蚤 *Neodiaptomus schmackeri*		+			+		+						+			
舌状叶镖水蚤 *Phyllodiaptomus tunguidus*		+	+		+											
异足猛水蚤 *Canthocamptus* sp.		+														
伊兰猛水蚤 *Elaphoidella* sp.															+	
白色大剑水蚤 *Macrocyclops albidus Jurine*					+											
锯缘真剑水蚤 *Eucyclops serrulatus*					+	+									+	
棘刺真剑水蚤 *Eucyclops euacanthus*		+			+	+										
绿色近剑水蚤 *Tropocyclops prasinus prasinus*	+				+			+	+	+	+	+			+	+
短尾近剑水蚤 *Tropocyclops prasinus breviramus*	+					+										
泽西近剑水蚤 *Tropocyclops jerseyensis*				+		+										
近剑水蚤 *Tropocyclops* sp.	+			+	+	+	+	+				+	+			+
毛饰拟剑水蚤 *Paracyclops fimbriatus*						+										
拟剑水蚤 *Paracyclops* sp.			+	+	+	+	+	+				+	+	+		+
胸饰外剑水蚤 *Ectocyclops phaleratus*		+														
英勇剑水蚤 *Cyclops strennus*	+				+	+	+	+			+		+		+	+
近邻剑水蚤 *Cyclops vicinus vicinus*				+	+	+						+	+			+
刺剑水蚤 *Acanthocyclops* sp.													+			
跨立小剑水蚤 *Microcyclops varicans*	+		+	+	+	+	+	+				+	+			+
中型小剑水蚤 *Microcyclops intermedius*				+			+	+								
小型后剑水蚤 *Metacyclops minutus*						+										
广布中剑水蚤 *Mesocyclops leuckarti*			+	+	+	+	+					+	+			+
北碚中剑水蚤 *Mesocyclops pehpeiensis*			+	+	+	+							+			
台湾温剑水蚤 *Thermocyclops taihokuensis*		+														
短尾温剑水蚤 *Thermocyclops brevifurcatus*	+	+	+		+											
蒙古温剑水蚤 *Mesocyclops mongolicus*			+		+	+										
虫宿温剑水蚤 *Thermocyclops vermifer*				+											+	
透明温剑水蚤 *Thermocyclops hyalinus*		+			+		+									

ullata、简弧象鼻溞 *Bosmina coregoni*、长额象鼻溞 *Bosmina longirostris* 和跨立小剑水蚤 *Microcyclops varicans*,出现频率较高的种为老年低额溞 *Simocephalus vetulus*、近剑水蚤 *Tropocyclops* sp. 和拟剑水蚤 *Paracyclops* sp.;支流浮游甲壳动物有 29 种,占总数的 59.18%,优势种为长肢秀体溞 *Diaphanosoma leuchtenbergianum*、僧帽溞、简弧象鼻溞和绿色近剑水蚤 *Tropocyclops prasinus prasinus*,出现频率较高的种为拟剑水蚤和英勇剑水蚤 *Cyclops strennus*。

2.1.2　水平分布　乌江下游干流 10 个断面中,彭水库区的库首 G5 采样断面种类数最多,达 27 种;其次是库中的 G6,有 22 种;库尾 G9 种类数最少,仅 5 种。支流 6 个采样断面种类数大小顺序依次为阿蓬江库湾 Z3、水华区库湾 Z6、坝前库湾 Z5、洪渡河库湾 Z2、郁江 Z1 和黑獭 Z4,种类数分别为 17、16、14、13、7 和 1 种,4 个支流库湾的种类数显著高于 2 个仍为河流的支流,在水华区库湾出现的优势种类主要为长额象鼻溞和拟剑水蚤。桡足类具有与枝角类相同的分布规律,均是库区库首种类数最多,而河口和库尾种类较少;支流河流种类数低于支流库湾(图 2)。

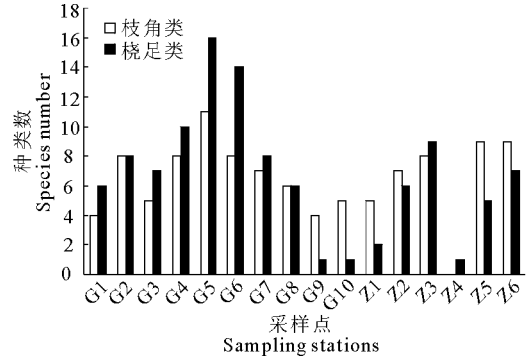

图 2　彭水水库浮游甲壳动物种类组成的水平分布

Fig. 2　Horizontal variation of the crustacean zooplankton species compostion in Pengshui Reservoir

2.1.3　季节分布　乌江下游浮游甲壳动物种类组成在季节分布上也存在明显差异(表 2)。4 月浮游甲壳动物种类最多,达 34 种;7 月浮游甲壳动物种类稍少,共 29 种;10 月浮游甲壳动物种类最少,只有 19 种。枝角类和桡足类的季节分布规律基本一致,都是春季(4 月)检出种类最多。

2.2　浮游甲壳动物密度和生物量

2.2.1　水平分布　调查期间,乌江下游枝角类平均密度 0.00 ~ 8.07 个/L,平均生物量 0.00 ~ 161.33 μg/L。干流各采样断面平均密度和生物量均以库首 G5 最高,河口 G1 最低;支流区则水华区

表 2　彭水水库浮游甲壳动物种类组成的季节分布

Tab. 2　Seasonal variation of crustacean zooplankton species compostion in Pengshui Reservoir

类别	4 月	7 月	10 月
枝角类	16	12	7
桡足类	18	17	12
总计	34	29	19

Z6 最高,坝前库湾 Z5 次之,其它各采样断面均较低。桡足类平均密度变化在 0.00 ~ 4.19 个/ L,平均生物量 0.00 ~ 29.36 μg/L。干流各采样断面平均密度和生物量均以库中 G6 最高;支流区则水华区 Z6 最高,其它各采样断面均较低(图 3、图 4)。

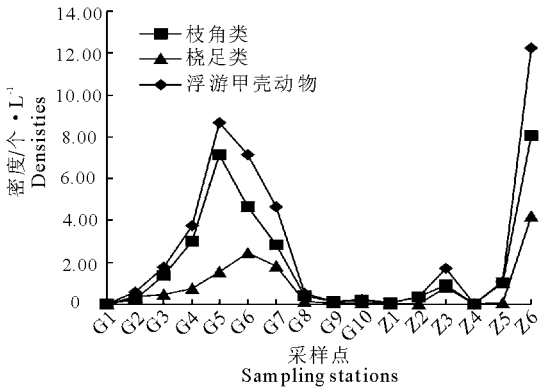

图 3　彭水水库各采样断面浮游甲壳动物密度变化

Fig. 3　Spatial variations of crustacean zooplankton density in Pengshui Resevoir

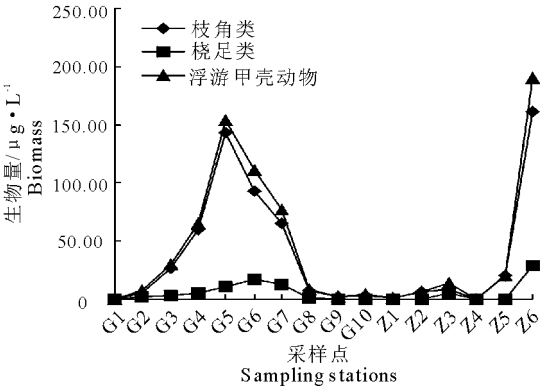

图 4　彭水水库各采样断面浮游甲壳动物生物量变化

Fig. 4　Spatial variations of crustacean zooplankton biomass in Pengshui Resevoir

从图 3 和图 4 中还可以看出,从库尾以上河段 G10 顺流而下,浮游甲壳动物密度和生物量持续升高,在彭水库区库首 G5 达到最高值(分别为 8.68 个/L和 153.66 μg/L),从彭水水库下泄水 G4 开始至河口 G1,随着下泄库水的逐渐稀释,密度和生物量不断下降。在支流区,水华区库湾密度和生物量分别为 12.26 个/L 和 190.69 μg/L,远高于支流其它采样断面,应该与水华区库湾水体营养水平

有关。将彭水水库库区、坝下江段和库尾以上江段不同区域的浮游甲壳动物的密度进行比较(图5),库区平均密度最大,为36.61 个/L,其次是坝下江段,为6.13 个/L,库尾以上江段最小,仅为0.38 个/L,3 个区域平均密度存在明显差异。

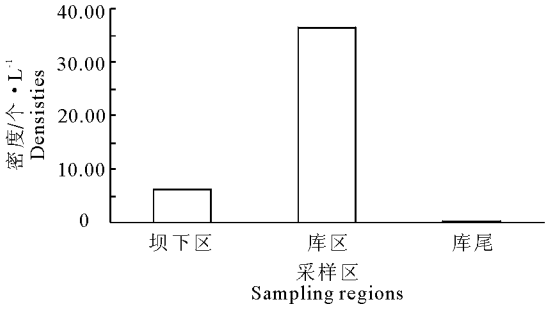

图5 彭水水库不同区域浮游甲壳动物密度比较

Fig. 5 Comparison of crustacean zooplankton density in different regions of Pengshui Resevoir

2.2.2 季节分布 乌江下游浮游甲壳动物密度和生物量的季节变化如表3 所示。浮游甲壳动物平均密度为2.68 g/L,平均生物量为43.19 μg/L。枝角类平均密度为1.89 个/L,平均生物量为37.70 μg/L,密度和生物量最高峰均出现在4 月,最低峰出现在10 月。桡足类平均密度为0.78 个/L,平均生物量为5.49 μg/L,密度和生物量最高峰均出现在4 月,最低峰出现在7 月。

3 讨论

3.1 浮游甲壳动物的群落结构特点

调查期间,在乌江下游共采集到浮游甲壳动物49 种,其中枝角类21 种,桡足类28 种。49 种浮游甲壳动物中,广温性世界种有37 种,占总数的75.51%,如透明溞、长额象鼻溞、右突新镖水蚤和广布中剑水蚤等;嗜暖性南方种9 种,占总数的18.37%,如壳纹船卵溞和舌状叶镖水蚤等;嗜寒性北方种3 种,占总数6.12%,如僧帽溞、简弧象鼻溞和棘刺真剑水蚤。总体来说,乌江下游浮游甲壳动物种类组成比较复杂,其中既有栖息敞水区的浮游性种类如圆形盘肠溞和剑水蚤等;也有一些游泳能力较差、喜生活于沿岸水草丛的种类,如船卵溞和尖额溞等;还有一些以底栖生活为主的猛水蚤、真剑水蚤和胸饰外剑水蚤。既有广泛分布各种营养类型水体中的长额象鼻溞、圆形盘肠溞和近邻剑水蚤;也有生活于贫营养水体的透明溞和绿色近剑水蚤,这与乌江下游彭水水库蓄水后形成多种生境是十分相符合的,调查区域不再是唯一的河流生态系统,顺流而下,河流、水库、再河流生态系统交替演变。

表3 彭水水库浮游甲壳动物密度和生物量的季节变化

Tab. 3 Seasonal variations of crustacean zooplankton density and biomass in Pengshui Reservoir

种类	4月		7月		10月		平均	平均
	密度/个·L⁻¹	生物量/μg·L⁻¹	密度/个·L⁻¹	生物量/μg·L⁻¹	密度/个·L⁻¹	生物量/μg·L⁻¹	密度/个·L⁻¹	生物量/μg·L⁻¹
枝角类	3.64	70.84	1.23	26.08	0.81	16.19	1.89	37.70
桡足类	1.50	10.52	0.18	1.23	0.68	4.73	0.78	5.49
浮游甲壳动物	5.14	81.36	1.40	27.31	1.48	20.91	2.68	43.19

龙胜兴和陈椽(2009)调查了乌江上游11 座水库的浮游甲壳动物,发现优势种主要是一些富营养型和重富营养型种类,如长额象鼻溞、宽尾网纹溞、舌状叶镖水蚤、短刺近剑水蚤和短尾温剑水蚤等,而位于乌江下游彭水水库的浮游甲壳动物种数比乌江上游11 座水库的种类数要略为丰富,且优势种类构成上既有长肢秀体溞、僧帽溞、简弧象鼻溞、长额象鼻溞等广布种类及富营养型种类,也有绿色剑水蚤和跨立小剑水蚤等生活在贫营养水体的种类。

与其他类似的大型山谷河流型水库相比,彭水水库浮游甲壳动物种类也较为丰富,其种类数是大伙房水库的2.58 倍(綦志仁等, 2004)、新丰江水库的3.50 倍(赵帅营和韩博平, 2007)和密云水库的4.9 倍(刘静等, 2004)。有研究表明,水体营养水平越高,浮游甲壳动物密度越高(Pinto-Coelho et al, 2005)。彭水水库浮游甲壳动物平均密度为36.61 个/L,高于大型贫营养深水水库—新丰江(10.06 个/L),低于富营养型水库—密云(53.00 个/L),与中-富营养型水库—大伙房(36.65 个/L)十分接近,这也从某种程度上说明彭水水库蓄水初期库区水体营养状态已经处于中-富营养水平。

3.2 浮游甲壳动物的季节分布

浮游甲壳动物是淡水水体中浮游动物群落中的主要类群(李慧明等, 2011);其群落结构不仅受生物因子如滤食性鱼类的影响,同时还受非生物因子如温度、水的丰度、悬浮物浓度和水文情势等影响。本次调查中,彭水水库浮游甲壳动物春季种类数最高,夏季次之,秋季较低,此变化规律与我国三峡水

库的调查结果相似(姚建良等, 2007;吴惠仙等, 2009)。有研究表明,水温是影响浮游动物生长、发育、群落组成和数量变化等极为重要的环境因子(Dussart et al, 1984); 也是影响浮游动物季节分布的一个重要因素(Wolfinbarger, 1999; Horn, 2003)。春季温度升高,适宜的水温为浮游甲壳动物的生长繁殖提供了良好的生存条件,因此浮游甲壳动物的种类及数量大幅度增长;然而,过高或过低的水温均会导致一部分种类滞育,从而影响此时期内出现浮游甲壳动物种类的多少。夏季,随着水温的进一步升高,浮游甲壳动物种群达到高峰后会出现一个自我调节过程,再加之夏季水量较大,流速加快,其种类数量不再明显增加;反之,秋季水温开始降低,适宜生存的种类进一步减少。调查期间,乌江下游 7 月水温最高,4 月水温高于 10 月,正好与前述研究结果一致。

3.3　浮游甲壳动物的水平分布

彭水水库蓄水后,乌江下游浮游甲壳动物种类、密度和生物量水平分布不均匀,这种不均匀性与干流纵轴上的水体生态系统状态密切相关。库首的 G5 和 G6,不但种类数多,生物量也高,其可能原因是库首水域水面宽阔平静,水流缓慢,水体透明度高,淹没区城镇农田较多,藻类密度高,适宜浮游甲壳动物生存;库中 G7 和 G8 的种类数分别是 15 种和 12 种,生物量也低于库首区,这可能与此区处于库首与库尾的过渡区、水体流速缓慢、但水流挟沙能力高于库首区有关;库尾以上干流 G9 和 G10 由于处于河流状态,水流较急,水体滞留时间短,因此种类数较少,生物量也小。彭水水库坝下干流区域,其种类数和生物量仅低于水库库区;水库蓄水运行后,坝下河段的水文情势和水质等受水库调度及下泄水影响,致使坝下河段浮游甲壳动物的群落结构发生变化。建坝对坝下近坝处河段浮游动物的影响最为明显,其浮游甲壳动物种类和水库内的水平相差不大,而距大坝越远,水库下泄水的影响越弱,因此,从大坝至河口的 147 km 的河段,浮游甲壳动物种类、密度及生物量均呈下降趋势。

库区坝前库湾和水华区库湾水生态环境基本相似,2 个断面种类数差不多,但是水华区密度和生物量远高于坝前库湾,甚至高于库首区,这应与水华区水体营养水平及藻类密度较高有关,富营养化会使物种多样性有所下降,某些耐受高营养性的种类及数量会显著增多(姚俊杰等, 2009);库中区域有阿蓬江支流形成的库湾,其种类数也高于库中干流区,高达 17 种,属于支流库湾中种类最多的断面,究其原因,应该与阿蓬江库湾淹没区水生植被丰富、生境较复杂有关。库湾以上支流黑獭河以及水库坝下区域郁江支流水流都较急,不适宜浮游甲壳动物生活,其种类均低于干流区。

参考文献

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.

李慧明,陈花, 韩小玉, 等. 2011. 海南热带水库敞水区浮游甲壳动物群落结构特征[J]. 湖泊科学, 23(2):251 – 256.

刘静, 杜桂森, 刘晓端, 等. 2004. 密云水库的浮游生物群落[J]. 西北植物学报, 24(8):1485 – 1488.

龙胜兴,陈椽. 2009. 乌江上游筑坝蓄水后各水库浮游硅藻及浮游动物群落生态特征[J]. 贵州师范大学学报, 27(3):21 – 26.

綦志仁,谢文星,黄道明,等. 2004. 大伙房水库的浮游动物[J]. 水利渔业, 24(4):57 – 59.

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.

宋大祥. 1994. 西南武陵山地区动物资源与评价[M]. 北京:科学出版社.

吴惠仙, 姚建良, 刘艳,等. 2009. 三峡水库初次蓄水后干流库区枝角类的空间分布与季节变化[J]. 生物多样性, 17 (5):512 – 517.

姚建良, 薛俊增, 王登元,等. 2007. 三峡水库初次蓄水后干流库区桡足类的纵向分布与季节变化[J]. 生物多样性, 15 (3):300 – 305.

姚俊杰, 褚素兰, 沈坤根, 等. 2009. 贵阳市花溪河大型浮游动物的初步研究[J]. 水生态学杂志, 2 (4):29 – 33.

赵帅营, 韩博平. 2007. 大型深水贫营养水库—新丰江水库浮游动物群落分析[J]. 湖泊科学, 19(3):305 – 314.

Dussart B H, Fernando C H, Matsumura – Tundisi T, et al. 1984. A review of systematics, distribution and ecology of tropical freshwater zooplankton[J]. Hydrobiologia, 13: 77 – 91.

Horn W. 2003. Long-term development of the crustacean plankton in the Saidenbach Reservoir (Germany): changes, causes, consequences[J]. Hydrobiologia, 504:185 – 192.

Pinto-Coelho R, Pinel-Alloul B, Méthot G, et al. 2005. Crustacean zooplankton in lakes and reservoirs of temperate and tropical regions: variation with tropic status[J]. Can J Fish Aquat Sci, 62(2):348 – 361.

Wolfinbarger W C. 1999. Influences of biotic and abiotic factors on seasonal succession of zooplankton in Hugo Reservoir, Oklahoma, U S A[J]. Hydrobiologia, 400:13 – 31.

(责任编辑　万月华)

Characters of Community Structure of the Crustacean Zooplankton in Newly Constructed Pengshui Reservoir of the Wujiang River

CHEN Ming-xiu, HU Ju-xiang, ZHAO Xian-fu, MA Pei-ming, CHI Shi-yun, MI Wei-jie

(Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Acadeny of Sciences, Wuhan 430079, China)

Abstract: Surverys on the crustacean zooplankton communities in the Pengshui Reservoir were carried out in April, July, and October of 2008. There were 49 species in 29 genera of crustacean zooplankton in the the Pengshui Reservoir, among which 21 species in 13 genera was cladocera and 28 species in 16 genera was copepoda. The average distribution density of cladocerans and copepads were 1.89 ind./L and 0.78 ind./L, respectively, and their average biomass were 37.70 μg/L and 5.49 μg/L, respectively. With the season changes crustacean zooplankton experiences obvious variatioons. There were the most species in spring and the least in autumn. As for the horizontal distribution, more crustacean zooplankton in the Pengshui Reservoir region were found, and relatively less in the reservoir end and downstream flow of the Pengshui Reservoir. The species number of the crustacean zooplankton in Wujiang River below Pengshui dam was affected significantly by reservoir sluicing.

Key words: crustacean zooplankton; Pengshui Reservoir; Wujiang River; community structure