

· 研究简报 ·

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

姚建良^{1,3} 薛俊增^{2,3*} 王登元¹ 蔡庆华³ 黄祥飞³ 刘建康³

1 (新疆农业大学农学院, 乌鲁木齐 830052)

2 (上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090)

3 (淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072)

摘要: 作为大型水利工程, 三峡水库于2003年6月开始蓄水, 蓄水后库区水环境发生了变化。为了了解三峡水库生态系统的演替规律, 同时为环境保护、渔业资源开发利用以及水环境管理提供理论基础, 我们对三峡水库第一阶段蓄水后桡足类的季节变化和空间分布进行了周年季节性研究。在三峡库区江津至茅坪的10个断面共采集到8种桡足类, 其中哲水蚤目2种、猛水蚤目1种、剑水蚤目5种, 北碚中剑水蚤(*Mesocyclops pehpeiensis*)、广布中剑水蚤(*M. leuckarti*)和汤匙华哲水蚤(*Sinocalanus dorrii*)分布较广。各样点种类数差异不大, 但组成上却有不同。桡足类种类组成、空间分布和密度具有明显的季节变化特征, 此外密度在水库的纵轴上也表现出明显的梯度分布, 越近大坝密度越高。

关键词: 桡足类, 浮游动物, 群落生态, 三峡水库, 长江

Seasonal variation and longitudinal distribution of copepods in the main river area of the Three Gorges Reservoir

Jianliang Yao^{1,3}, Junzeng Xue^{2,3*}, Dengyuan Wang¹, Qinghua Cai³, Xiangfei Huang³, Jiankang Liu³

1 Agronomy College, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052

2 College of Aquatic-life Sciences and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090

3 State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Wuhan 430072

Abstract: The ecosystem of the Three Gorges in Yangtze River was changed into an artificial lake (reservoir) ecosystem after impoundment in June 2003. We surveyed the seasonal variation and spatial distribution of copepods from April 2004 to January 2005 in order to provide basic data for clarifying the successional pattern of the ecosystem. From Jiangjin to Maoping, eight copepod species were collected, belonging to Calanoida, Harpacticoida, and Cyclopoida. Of these, *Mesocyclops pehpeiensis*, *M. leuckarti* and *Sinocalanus dorrii* had a relatively wide distribution. No distinct difference in species number was found among sampling sites, but the species composition was different. Species composition, distribution and density of copepods showed significant seasonal variation. Copepod density showed an obvious gradient with the distance from the reservoir dam: the nearer to the dam, the denser the copepods.

Key words: copepod, zooplankton, community ecology, Three Gorges Reservoir, Yangtze River

三峡水库位于长江上游下段东经106°–110°50′、北纬29°16′–31°25′的范围内, 大坝坝址在三斗坪。长江干流自源头至三峡大坝长约4,486 km,

库区水系发达, 水资源总计4,624.42亿m³。三峡水库于2003年6月1日开始蓄水, 6月10日达到预定水位135 m, 形成河道峡谷型水库。根据旱季和雨季的变

收稿日期: 2006-12-06; 接受日期: 2007-04-06

基金项目: 国家自然科学基金 (30570295)、淡水生态与生物技术国家重点实验室开放课题 (2004B03)和中科院知识创新工程重要方向项目 (KSCX2-SW-111)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: jzxue@shfu.edu.cn

化, 水库第一阶段蓄水水位在139 m和135 m间调度。水位135 m时库尾回水末端在涪陵和丰都间, 至大坝约450 km, 水位139 m时库尾回水末端在涪陵的李渡。

桡足类是水库和河流浮游动物的重要组成成分, 是水库和河流生态学研究的重要内容(Kim & Joo, 2000; Velho *et al.*, 2001; Burger *et al.*, 2002; Matsumura-Tundisi & Tundisi, 2003)。三峡水库上游干流4,000余公里, 支流、湖泊和水库众多, 其桡足类的组成影响着三峡水库库区桡足类的种类组成。20世纪50年代三峡水库论证时也曾对其淹没区小水体的桡足类进行过调查, 并对建库后桡足类的种类组成进行了预测, 但当时在库区干流江段没有采集到桡足类(Borutsky *et al.*, 1959)。三峡水库第一阶段蓄水后, 曾报道过蓄水前后坝前段(茅坪至归州)的桡足类(薛俊增等, 2006), 我们对整个设计库区(包括第一阶段蓄水后的水库部分和第二阶段、三阶段蓄水后才能成为水库的干流江段部分)的桡足类进行了季节性周年调查, 研究相关生态学内容, 以期对三峡水库水生态系统中桡足类的演替、水环境管理、第二和第三阶段蓄水后桡足类的研究以及三峡

水库渔业资源的利用提供理论基础。

1 材料与方法

2004年4月至2005年1月在三峡水库库区干流(江津—茅坪, 约600余公里)设11个采样点(图1), 按季节(2004年4月、7月、11月和2005年1月)进行桡足类标本采集, 用64 μm 的浮游生物网和5 L采水器进行定性和定量采集, 河流部分定量采集50 L水样, 水库部分定量采集20 L水样, 过滤桡足类标本, 固定后带回实验室进行种类鉴定及数据分析。

2 结果

2.1 种类的时空分布

2.1.1 种类组成

在三峡库区江津至茅坪的10个断面, 周年四个季节共采集到8种桡足类(表1), 其中哲水蚤目2种、猛水蚤目1种、剑水蚤目5种, 以北碚中剑水蚤(*Mesocyclops pehpeiensis*)、广布中剑水蚤(*M. leuckarti*)和汤匙华哲水蚤(*Sinocalanus dorrii*)分布较广。无论是水库河流区还是水库湖泊区, 剑水蚤目的种类组成都高于其他两目。

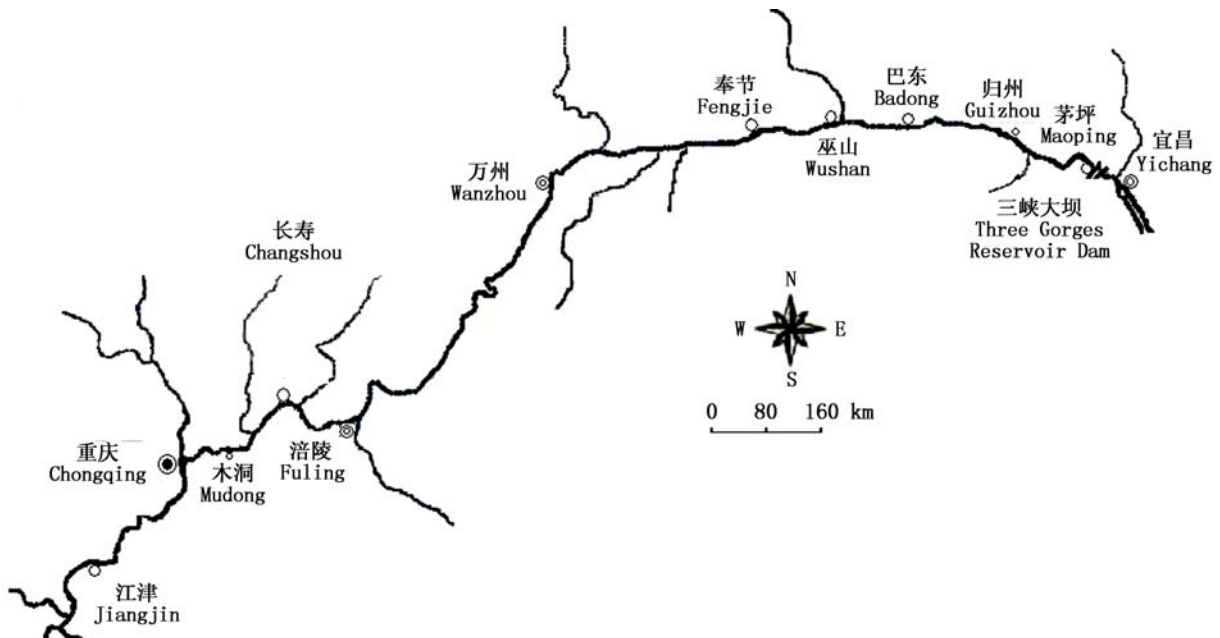


图1 三峡水库桡足类采样点分布示意图

Fig. 1 The sampling sites of copepod in Three Gorges Reservoir

表1 三峡库区桡足类的种类组成及其空间分布

Table 1 Species composition and spatial distribution of copepod zooplankton in Three Gorges Reservoir

种类 Species	江津 Jiangjin	重庆 Chongqing	木洞 Mudong	长寿 Changshou	涪陵 Fuling	万州 Wanzhou	巫山 Wushan	巴东 Badong	归州 Guizhou	茅坪 Maoping
哲水蚤目 Calanoida										
汤匙华哲水蚤 <i>Sinocalanus dorrii</i>	+	+	+	+		+	+	+	+	+
球状许水蚤 <i>Schmackeria forbesi</i>			+						+	+
猛水蚤目 Harpacticoida										
模式有爪猛水蚤 <i>Onychocamptus mohammed</i>		+					+			
剑水蚤目 Cyclopoida										
锯缘真剑水蚤 <i>Eucyclops serrulatus serrulatus</i>										+
北碚中剑水蚤 <i>Mesocyclops pehpeiensis</i>	+	+	+	+	+				+	+
广布中剑水蚤 <i>M. leuckarti</i>	+	+	+		+		+	+	+	+
台湾温剑水蚤 <i>Thermocyclops taihokuensis</i>	+		+			+	+	+		
沙居剑水蚤一种 <i>Psammophilocyclops sp.</i>				+	+					
种类数总计 Total	4	4	5	3	3	2	4	3	4	5

2.1.2 空间分布

在采样的周年内, 江津至长寿的4个采样点处于河流状态, 万州至茅坪处于水库状态, 涪陵在旱季(11—次年5月)三峡水库139 m水位时处于水库状态, 在雨季(6—10月)水库水位135 m时处于河流状态。各样点由于总种类数较低, 样点种类数的差异在绝对值上相差不大, 但在种类组成上却有不同(表1)。汤匙华哲水蚤除在涪陵没有采集到外, 其他的样点中都有出现; 锯缘真剑水蚤(*Eucyclops serrulatus serrulatus*)则仅在坝前茅坪断面采集到, 其他采样点中都没有出现, 沙居剑水蚤一种(*Psammophilocyclops sp.*)在水库状态的样点中没有采集到, 江津至木洞等上游河流状态的样点中也未采到, 仅在长寿和涪陵两个样点中有出现; 其他种类在河流状态和水库状态样点都有分布, 但仅在几个样点中出现。

2.1.3 季节变化

三峡水库桡足类种类组成和空间分布的季节变化特征明显(表1, 表2), 冬季种类数较少, 仅2种, 春季、夏季和秋季的种类数相同, 皆为6种, 但在种类组成上有一定差异。广布中剑水蚤和汤匙华哲水蚤在四个季节中都有采集到, 北碚中剑水蚤和台湾温剑水蚤(*Thermocyclops taihokuensis*)在春、夏和秋季3个季节采集到, 模式有爪猛水蚤(*Onychoc-*

amptus mohammed)和球状许水蚤(*Schmackeria forbesi*)则分别在春、夏季和夏、秋季采集到, 而锯缘真剑水蚤和沙居剑水蚤分别仅在秋季和春季采集到。

2.2 密度的时空变化

三峡水库桡足类密度表现出明显的季节和空间变化, 春季桡足类密度最高, 后随着季节的变化逐渐降低, 至冬季变为最低(图2)。空间分布上表现出河流状态部分密度在四季中都较低, 水库部分上游密度低, 下游尤其是近坝前密度较高, 在水库的纵轴上表现出明显的分布梯度(图2)。从季节来看, 春季的桡足类种类最为丰富, 数量也最多, 在每个采样点都有分布, 茅坪的桡足类密度最高, 为14.66 ind./L; 其次是归州, 为9.63 ind./L。冬季最少, 仅涪陵、归州、茅坪3个采样点有分布, 且密度很小。从空间分布来看, 万州的桡足类密度最小, 仅在春季有少量的存在, 其他季节均没有出现。而茅坪则是种类密度最丰富的地区, 四季都有分布, 其中春季和夏季密度较高。

3 讨论

淡水桡足类广泛分布于水库、湖泊等相对静水型水体中(杨宇峰等, 1994; Davidson *et al.*, 1998; 李共和国和虞左明, 2002; Matsumura-Tundisi & Tundisi,

表2 三峡水库桡足类密度的季节变化

Table 2 Seasonal variations of density of copepod zooplankton in Three Gorges Reservoir (ind./L)

种类 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
哲水蚤目Calanoida				
汤匙华哲水蚤 <i>Sinocalanus dorrii</i>	0.856	0.082	0.060	0.004
球状许水蚤 <i>Schmackeria forbesi</i>	-	0.172	0.020	-
猛水蚤目Harpacticoida				
模式有爪猛水蚤 <i>Onychocamptus mohammed</i>	0.002	0.002	-	-
剑水蚤目Cyclopoida				
锯缘真剑水蚤 <i>Eucyclops serrulatus serrulatus</i>	-	-	0.004	-
北碚中剑水蚤 <i>Mesocyclops pehpeiensis</i>	0.022	0.034	0.006	-
广布中剑水蚤 <i>M. leuckarti</i>	0.046	0.372	0.062	0.006
台湾温剑水蚤 <i>Thermocyclops taihokuensis</i>	0.016	0.012	0.026	-
沙居剑水蚤一种 <i>Psammophilocyclops</i> sp.	0.004	-	-	-
桡足幼体+无节幼体 copepodids + nauplius	1.730	0.872	0.392	0.014

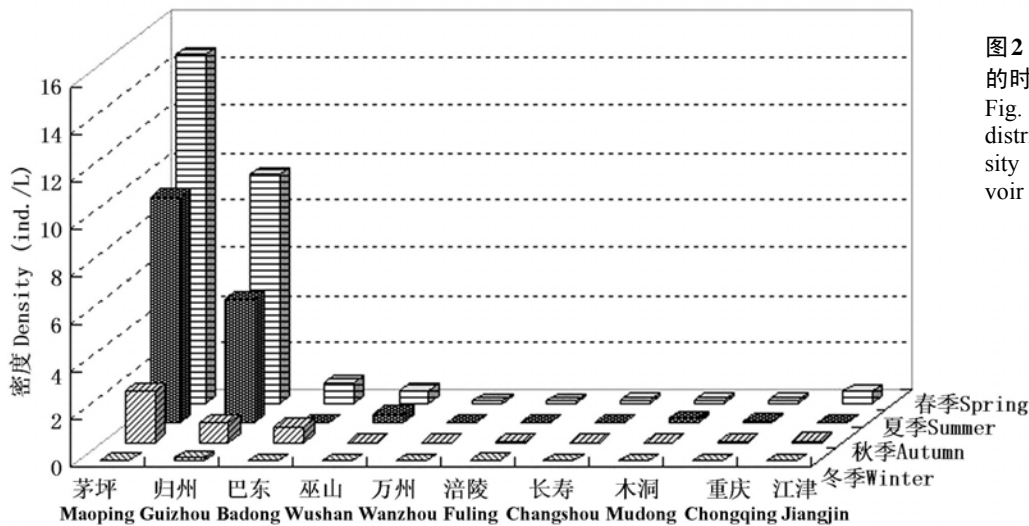


图2 三峡水库桡足类密度的时空分布

Fig. 2 Spatial and temporal distribution of copepod density in Three Gorges Reservoir

2003)。在大型河流中，浮游桡足类虽不占绝对优势，却是浮游动物的重要组成部分(Thorp *et al.*, 1994; Kim & Joo, 2000; Burger *et al.*, 2002)，甚至在激流中也有分布，不过是以底栖性为主(Lewis, 1986; Gaviria, 1998; Rundle *et al.*, 2000)。有关研究认为河流中，水流速度影响浮游动物的生存与分布，流速较大的环境不适宜浮游甲壳动物的生活，河流中的浮游甲壳动物多为异源性，可能来自沿江两岸的静水水体和江湾缓流处等非急流环境(陈受忠, 1990; 向贤芬等, 2004)。桡足类在国内大型河流中广泛分布(徐振康, 1990; 杜联穆和蓝宗辉, 1997; 唐鑫生

和梁俊, 1999; 孙胜利等, 2000; 洪松和陈静生, 2002; 向贤芬等, 2004; 姜作发等, 2006)，长江干流的不同江段及大型支流也有桡足类分布的报道(陈受忠, 1985; 吴恢碧等, 2004; 向贤芬等, 2004)。本研究在三峡水库周年的多断面的季节性采样中发现：桡足类的生态特征与采样点所处的状态(河流或水库)有密切关系，河流状态的长江干流水体的许多断面有桡足类分布。

上述研究报道显示，桡足类某些种类适宜于在大型江河的流水中生活。在三峡水库蓄水前呈河流状态的江段曾采集到桡足类，包括水流湍急的西陵

峡谷江段; 虽然三峡水库蓄水后水库湖泊区桡足类种类数目明显增加, 但种类组成较蓄水前不同, 蓄水前的种类大部分消失(薛俊增等, 2006), 显示有些种类适宜于一定的河流环境, 不是外源性种类。虽然大部分河流状态的断面都有桡足类采集到, 但密度较低, 说明有的桡足类即使适应流水环境, 也难以大量繁殖。

在河流以下(回水区末端处)至大坝间被库水淹没的库区, 通常被分为河流区(riverine zone)、过渡区(transition zone)和湖泊区(lacustrine zone), 水体理化因子和水文特征在这3个区域表现出显著的差异, 导致浮游动物的种类和数量上也表现出差异(Marzolf, 1990; 林秋奇和韩博平, 2001)。浮游动物在水库的空间分布是水库生态学研究的重要内容(Betsil & Van Den Avelly, 1994; Bini *et al.*, 1997; Bernot *et al.*, 2004)。浮游动物的丰度在水库纵轴上的分布有3种类型: 第一种从河流到大坝表现出非线性的增长, 第二种从河流到大坝表现出指数式增长, 最后一种为不对称的频率分布(frequency distribution)(Marzolf, 1990)。

三峡水库已成库部分断面的桡足类密度除冬季因季节原因较低外, 其他3个季节较河流状态的断面高, 在水库纵轴上桡足类的密度分布从河流到大坝表现出非线性的增长(图2)。已成库部分也是越近大坝桡足类密度越高, 在有关峡谷型水库桡足类丰度的分布研究中也有类似报道(Velho *et al.*, 2001)。这种增长方式与水流在水库河流区和湖泊区的差别有关(Marzolf, 1990), 水库下游坝前段环境较适合桡足类的分布, 桡足类在水库的静水区(湖泊区, lacustrine regions)丰度较高(Velho *et al.*, 2001)。

三峡水库桡足类种类组成在沿水库纵轴的水平分布上不同断面表现出的差异, 一方面是由桡足类长期进化过程中所形成的生物学和生态学特性决定的, 有些种类适宜在河流状态的流水环境中生活, 有些种类则适宜于在相对静水状态的环境中生活, 导致了三峡水库河流状态部分与水库状态部分在桡足类组成上的差异。另一方面由于三峡水库是峡谷型水库, 水库窄而长, 上游下游间距离长, 大型支流多, 不同断面间水体理化因子和生物环境因支流的汇入而存在差异, 水体理化因子和水文状况的复杂性超越了一般水库的三分区特征, 使得水库

中不同区段的桡足类组成随之出现差异。

参考文献

- Bernot RJ, Dodds WK, Quist MC, Guy CS (2004) Spatial and temporal variability of zooplankton in a great plains reservoir. *Hydrobiologia*, **525**, 101–112.
- Betsil RK, Van Den Avelly MJ (1994) Spatial heterogeneity of reservoir zooplankton: a matter of timing? *Hydrobiologia*, **277**, 63–70.
- Bini LM, Tundisi JG, Matsumura-Tundisi T, Matheus CE (1997) Spatial variation of zooplankton groups in a tropical reservoir (Broa Reservoir, São Paulo State-Brazil). *Hydrobiologia*, **357**, 89–98.
- Borutsky EB, Wang QL (王乾麟), Chen SZ (陈受忠), Wang SD (王士达), Liu QR (刘荃瑞), Wu XW (伍献文), Ge MS (戈敏生) (1959) Hydrobiological survey of the region of the projected dam-reservoir of Three Gorges, with propositions for fisheries management. *Acta Hydrobiologica Sinica* (水生生物学集刊), **1**, 1–32. (in Chinese)
- Burger DF, Hogg ID, Green JD (2002) Distribution and abundance of zooplankton in the Waikato River, New Zealand. *Hydrobiologia*, **479**, 31–38.
- Chen SZ (陈受忠) (1985) Study on the crustacean zooplankton of the Changjiang River before and after the construction of the Gezhouba Dam. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), **3**, 1–4. (in Chinese with English abstract)
- Chen SZ (陈受忠) (1990) Microcrustaceans at the mouth of Tuojiang River. *Transactions of Oceanology and Limnology* (海洋湖沼通报), **3**, 86–91. (in Chinese)
- Davidson NL, Kelso WE Jr, Rutherford DA (1998) Relationships between environmental variables and the abundance of cladocerans and copepods in the Atchafalaya River Basin, Louisiana. *Hydrobiologia*, **379**, 175–181.
- Du LM (杜联穆), Lan ZH (蓝宗辉) (1997) Studies on the zooplankton in the middle and lower reaches of the Hanjiang River. *Journal of South China Normal University (Natural Science)*(华南师范大学学报(自然科学版)), **3**, 96–102. (in Chinese with English abstract)
- Gaviria S (1998) Colonization of a new man-made river (Marchfeldcanal, Lower Austria) by benthic copepods. *Journal of Marine Systems*, **15**(1–4), 127–134.
- Hong S (洪松), Chen JS (陈静生) (2002) Structure characteristics of aquatic community from the main rivers in China. *Acta Hydrobiologica Sinica*(水生生物学报), **26**, 297–305. (in Chinese with English abstract)
- Jiang ZF (姜作发), Tang FJ (唐富江), Dong CZ (董崇智), Su J (苏洁), Meng LB (孟令博) (2006) Population structure of zooplankton in Heilongjiang River System. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), **34**(4), 64–66. (in Chinese with English abstract)
- Kim H, Joo G (2000) The longitudinal distribution and community dynamics of zooplankton in a regulated large river: a case study of the Nakdong River (Korea). *Hydrobiolo-*

- gia*, **438**, 171–184.
- Lewis MH (1986) Biogeographic trends with in the freshwater Canthocamptidae (Harpacticoida). *Sylogues*, **58**, 115–125.
- Li GG (李共国), Yu ZM (虞左明) (2002) Community structure of Copepoda in Qiandao Lake, Zhejiang. *Biodiversity Science*(生物多样性), **10**, 305–331. (in Chinese with English abstract)
- Lin QQ (林秋奇), Han BP (韩博平) (2001) Reservoir limnology and its application in water quality management: an overview. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), **21**, 1034–1040. (in Chinese with English abstract)
- Marzolf GR (1990) Reservoirs as environments for zooplankton. In: *Reservoir Limnology: Ecological Perspectives* (eds Thornton KW, Kimmel BL, Payne FE), pp. 195–208. John Wiley & Sons, New York.
- Matsumura-Tundisi T, Tundisi JG (2003) Calanoida (Copepoda) species composition changes in the reservoirs of São Paulo State (Brazil) in the last twenty years. *Hydrobiologia*, **504**(1–3), 215–222.
- Rundle SD, Bilton DT, Shiozawa DK (2000) Global and regional patterns in lotic meiofauna. *Freshwater Biology*, **44**, 123–134.
- Sun SL (孙胜利), Feng L (冯琳), Du C (杜彩), Song YZ (宋玉珍) (2000) Structural specimens of zooplankton and the estimation of water quality in Lanzhou section of the Yellow River. *Journal of Gansu Sciences*(甘肃科学学报), **12**(1), 80–83. (in Chinese with English abstract)
- Tang XS (唐鑫生), Liang J (梁俊) (1999) The findings report on the zooplankton of Xin An River(Xin Xi Ko Section). *Journal of Biology*(生物学杂志), **16**(3), 29–30. (in Chinese with English abstract)
- Thorp JH, Black AR, Haag KH (1994) Zooplankton assemblages in the Ohio River: seasonal, tributary, and navigation dam effects. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **51**, 1634–1643.
- Velho LFM, Lansac-Toha FA, Bonecker CC, Bini LM, Rossa DC (2001) The longitudinal distribution of copepods in Corumba Reservoir, State of Goias, Brazil. *Hydrobiologia*, **453/454**, 385–391.
- Wu HB (吴恢碧), He L (何力), Ni CH (倪朝辉), Zhang Z (张征), Zhou YT (周运涛), Zhai LA (翟良安) (2004) A survey to plankton in the Changjiang River at the section of Shashi. *Freshwater Fisheries*(淡水渔业), **34**(6), 9–11. (in Chinese)
- Xiang XF (向贤芬), Chen SZ (陈受忠), Cao WX (曹文宣) (2004) Spatial variations of planktonic crustacea communities in the middle and lower Hanjiang River. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*(长江流域资源与环境), **13**, 187–192. (in Chinese with English abstract)
- Xu ZK (徐振康) (1990) The zooplankton in main stream of Haihe River. *Transactions of Oceanology and Limnology*(海洋湖沼通报), **3**, 50–57. (in Chinese with English abstract)
- Xue JZ (薛俊增), Ye L (叶麟), Cai QH (蔡庆华) (2006) Variation of copepod from Maoping to Guizhou in the Three Gorges Reservoir before and after impoundment. *Acta Hydrobiologica Sinica*(水生生物学报), **30**, 113–115. (in Chinese with English abstract)
- Yang YF (杨宇峰), Chen XM (陈雪梅), Huang XF (黄祥飞) (1994) Ecological changes of copepods in Lake Donghu, Wuhan. *Acta Hydrobiologica Sinica*(水生生物学报), **18**, 334–340. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 闫文杰)