

doi: 10.7541/2015.126

三峡水库底栖动物群落结构特征及其与蓄水前资料的比较

王宝强^{1,2} 刘学勤¹ 彭增辉^{1,2} 杨震东^{1,2}

(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 为了解三峡水库在蓄水后底栖动物的群落结构特征, 探索水文情势改变对底栖动物群落结构的影响, 于2012年8月、11月及2013年4月对三峡水库的秭归、巫山、云阳、忠县和木洞五个断面底栖动物的群落结构进行了调查分析。结果表明: (1)共记录底栖动物43个属种, 木洞种类最多(29种), 秭归最少(12种)。优势种为多足摇蚊(*Polypedilum* sp.)、前突摇蚊(*Procladius* sp.)、肥满仙女虫(*Nais inflata*)、霍甫水丝蚓(*Limnodrilus hoffmeisteri*)和一种钩虾(Gammaridae); (2)在空间分布上, 密度以木洞最高[(8180±2740) ind./m²], 忠县最低[(116±42) ind./m²]; 生物量以木洞最高[(8.66±3.65) g/m²], 云阳最低[(0.17±0.06) g/m²]; (3)在季节动态上, 密度以秋季最高[(3140±1450) ind./m²], 夏季最低[(115±37) ind./m²]; 生物量则以春季最高[(3.83±2.11) g/m²], 夏季最低[(0.65±0.46) g/m²]; (4)底栖动物密度和生物量随着水深的增加呈下降趋势, 在水深小于20 m的浅水区递减率最大; (5)丰度/生物量比较曲线(ABC曲线)分析显示, 巫山属于中等干扰条件下的群落结构(W=-0.003), 而木洞属于严重干扰条件下的群落结构(W=-0.101); (6)与建坝前相比, 三峡水库底栖动物密度和生物量趋于减少。流速减缓、水深增加、水位波幅加大和沉积物中营养盐的升高可能是造成三峡水库底栖动物群落结构改变的主要因素。

关键词: 底栖动物; 三峡水库; 群落结构; 水文情势

中图分类号: Q145⁺.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2015)05-0965-08

三峡工程是迄今世界上最大的水利水电枢纽工程之一, 在防洪、发电、航运、供水等方面产生巨大经济效益, 同时也对库区的生态环境带来显著影响。在三峡水库蓄水后, 库区水位提高, 流速降低, 水位波动幅度增大, 原有的水文情势发生重大改变。水文情势的改变导致原有的水生生态系统格局发生巨大变化, 水生生物群落也随之发生了根本性改变^[1]。大型底栖动物是水生生态系统中的重要组成部分, 在渔业饵料利用^[2]、水域环境指示^[3]、生态系统的物质循环和能量流动中都具有重要的功能^[4]。建坝后由于水文^[5, 6]、底质^[7, 8]、悬浮物^[6]和水位波动^[9]的改变往往会使底栖动物发生次生演替, 进而改变了原有的群落结构。三峡水库底栖动物的研究在支流和库区的部分江段开展较多^[10-14], 但研究内容多集中于群落结构现状和多样性格局的描述, 尚缺

乏整个库区的系统研究, 且对蓄水前后底栖动物群落结构的变化及环境干扰(如水位波动)对底栖动物的影响研究涉及较少^[13]。本文对三峡水库库首、库中及库尾的底栖动物进行了调查, 比较了不同区域底栖动物的群落结构、受干扰程度及历史变化, 探讨了流速、水深、水位波动及环境污染对底栖动物群落结构的影响, 以期对三峡水库的科学管理提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 调查时间及采样站位设置

三峡水库(Three Gorges Reservoir, 简称 TGR)是三峡水电站建立后蓄水形成的大型深水水库, 在175 m正常蓄水位高程时, 总库容为393亿 m³, 总面积达1084 km²^[13]。野外调查于2012年8月、11

收稿日期: 2015-03-10; 修订日期: 2015-04-29

基金项目: 中国长江三峡集团公司科研项目(CT-12-08-01); 国家自然科学基金项目(31100407)资助

作者简介: 王宝强(1984—), 男, 山东滨州人; 博士研究生; 主要从事底栖动物分类学及生态学研究。E-mail: fish1066@163.com

通信作者: 刘学勤(1979—), 男, 副研究员; 主要从事河流-泛滥平原生态学和生态水文学研究。E-mail: xqliu@ihb.ac.cn

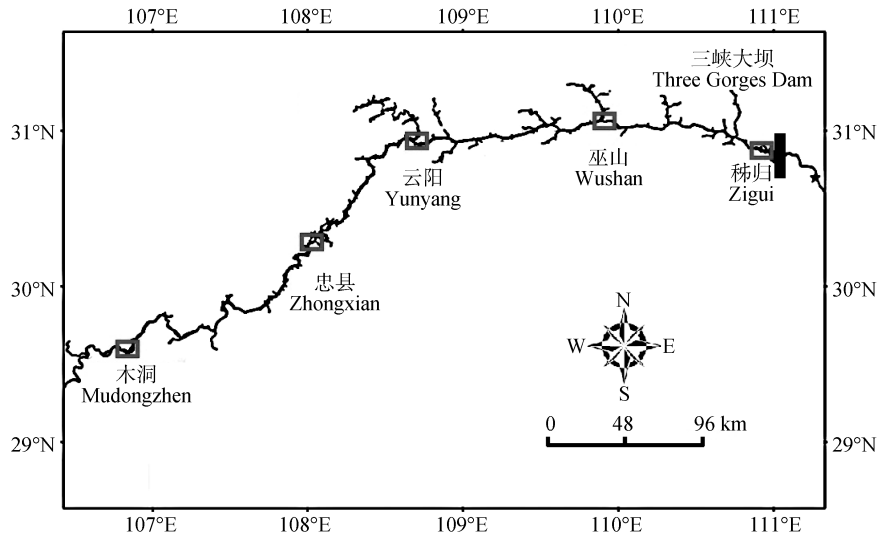


图 1 三峡水库底栖动物采样断面分布图

Fig. 1 The sampling sections of zoobenthos in the Three Gorges Reservoir

月及 2013 年 4 月开展, 根据三峡水库的地理特征及实际考察条件, 在坝前(秭归)、库首(巫山)、库中(云阳、忠县)及库尾(木洞)共设置 5 个调查断面(图 1), 每个断面按水深梯度设 8 个样方, 3 次共采集标本 120 余份。

1.2 调查方法

底栖动物用 1/16 m²彼得森采泥器采集, 泥样经 420 μm 的铜筛筛洗后放入塑封袋, 带回室内置于白色解剖盘中分拣, 个体较小的底栖动物用漏漏斗法分离。挑检出的动物用 10% 的福尔马林固定, 根据相关资料进行种类鉴定^[15-18]、计数及称重, 部分样品现场用解剖镜及显微镜进行活体观察。各样点水深用 DW2004-3 型超声波测深仪测定。

1.3 数据处理及分析

运用丰度/生物量比较曲线(Abundance-biomass comparison curve, 简称 ABC 曲线)方法分析底栖动物群落的受干扰程度^[19-21]。ABC 曲线是在同一坐标系中比较生物量和丰度优势度曲线: 若生物量优势度曲线在丰度优势度曲线之上, 表明群落处在未受干扰状态; 两条曲线相交, 表明群落处在中等干扰的状态; 丰度优势度曲线在生物量曲线之上, 表明群落处在严重干扰状态。 W 统计量为 ABC 曲线法的一个统计指标, 当生物量优势度曲线在丰度优势度之上时, W 为正, 反之为负。采用以下公式计算 W 统计量:

$$W = \sum_{i=1}^s \frac{(B_i - A_i)}{50(S-1)}$$

式中, B_i 和 A_i 为物种 i 的生物量和丰度的累积百分比; S 为出现物种数。

优势度 Y 表示底栖动物群落中某一物种在其中所占优势的程度, 计算公示为:

$$Y = \left(\frac{n_i}{N} \right) \times f_i$$

式中, N 为所有种的个体总数; n_i 为物种 i 的个体数; f_i 为第 i 种的出现频率, 计算方法为是该种出现的样方数与总样方之比的百分数。

蓄水前后底栖动物历史比较的数据(1984 年和 2012 年)均来自三峡水库春、秋季浅水区(水深小于 30 m)的采样点, 2012 年秭归-巫山, 云阳-木洞两个区段的密度和生物量取自相关断面的合并值。

底栖动物密度和生物量与水深间的 LOWESS 拟合曲线使用 Stastic 8.0 软件实现, ABC 曲线分析使用 Primer 5.2 软件实现, 其余统计分析使用 SPSS 16.0 软件实现。

2 结果

2.1 种类组成及分布

在调查期间三峡水库 5 个采样断面共记录底栖动物 43 个属种, 其中水生昆虫 18 属种(占总种数的 41.86%)、寡毛类 16 属种(37.21%)、软体动物 4 属种(9.30%), 另外还发现端足类、等足类、舌蛭、线虫和涡虫(表 1)。多足摇蚊(*Polypedilum* sp.)、前突摇蚊(*Procladius* sp.)、肥满仙女虫(*Nais inflata*)、霍甫水丝蚓(*Limnodrilus hoffmeisteri*)和钩虾(Gammaridae)

表 1 三峡水库不同断面底栖动物的种类组成及分布
Tab. 1 The composition and distribution of zoobenthos in different sampling sections of the Three Gorges Reservoir

种类 Species	秭归 Zigui	巫山 Wushan	云阳 Yunyang	忠县 Zhongxian	木洞 Mudong
扁形动物门 Platyhelminthes					
涡虫纲一种 Turbellaria					+
线虫动物门 Nematoda					
线虫一种 Nematoda			+		
环节动物门 Annelida					
寡毛纲 Oligochaeta					
管水蚓属 (<i>Aulodrilus</i> sp.)		+			
湖沼管水蚓 (<i>Aulodrilus limnobius</i>)					+
有栉管水蚓 (<i>Aulodrilus pectinatus</i>)		+	+		+
多毛管水蚓 (<i>Aulodrilus plurisetus</i>)		+	+		
苏氏尾鳃蚓 (<i>Branchiura sowerbyi</i>)	+	+	+		+
霍甫水丝蚓 (<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>)	+	+	+	+	+
巨毛水丝蚓 (<i>Limnodrilus grandisetosus</i>)			+		
拟钝毛水丝蚓 (<i>Limnodrilus paramblysetus</i>)					+
简单水丝蚓 (<i>Limnodrilus simplex</i>)					+
水丝蚓属 (<i>Limnodrilus</i> sp.)	+	+			
肥满仙女虫 (<i>Nais inflata</i>)	+	+	+	+	+
费氏拟仙女虫 (<i>Paranais frici</i>)		+	+		+
吻盲虫属 (<i>Pristina</i> sp.)		+	+		+
厚唇嫩丝蚓 (<i>Teneridrilus mastix</i>)	+	+	+		+
颤蚓属 (<i>Tubifex</i> sp.)					+
正颤蚓 (<i>Tubifex tubifex</i>)			+	+	
蛭纲 Hirudinea					
舌蛭属 (<i>Glossiphonia</i> sp.)					+
软体动物 Mollusca					
腹足纲 Gastropoda					
环棱螺属 (<i>Bellamyia</i> sp.)			+	+	
短沟蜷属 (<i>Semisulcospira</i> sp.)				+	
瓣鳃纲 Lamellibranchia					
河蚬 (<i>Corbicula fluminea</i>)	+		+	+	+
淡水壳菜 (<i>Limnoperna lacustris</i>)					+
节肢动物门 Arthropoda					
甲壳纲 Crustacea					
等足类一种 Isopoda					+
钩虾科一种 Gammaridae			+	+	+
昆虫纲 Insect					
摇蚊属 (<i>Chironomus</i> sp.)					+
菱跗摇蚊属 (<i>Clinotanypus</i> sp.)					+
隐摇蚊属 (<i>Cyptochironomus</i> sp.)	+				+
二叉摇蚊属 (<i>Dicrotendipes</i> sp.)			+		
拟隐摇蚊属 (<i>Demicryptochironomus</i> sp.)					+
克鲁斯摇蚊属 (<i>Kloosia</i> sp.)					+
小摇蚊属 (<i>Microchironomus</i> sp.)		+			+
多足摇蚊属 (<i>Polypedilum</i> sp.)	+	+	+	+	+

续表

种类 Species	秭归 Zigui	巫山 Wushan	云阳 Yunyang	忠县 Zhongxian	木洞 Mudong
前突摇蚊属 (<i>Procladius</i> sp.)	+	+	+	+	+
齿斑摇蚊属 (<i>Stictochironomus</i> sp.)	+	+	+		
长足摇蚊属 (<i>Tanytus</i> sp.)			+	+	+
直突摇蚊亚科一种 <i>Orthoclaadiinae</i>		+	+		+
摇蚊科一种 <i>Chironomidae</i>			+		
蚊科一种 <i>Culicidae</i>			+		+
长角石蛾科一种 <i>Triplectides</i>				+	
短室等翅石蛾属 (<i>Dolophilodes</i> sp.)	+		+		
长腹春蜓属 (<i>Gastrogomphus</i> sp.)				+	+
河花蜉属 (<i>Potamanthus</i> sp.)	+				
物种数(种)	12	15	23	12	29

注: +表示在该采样点有分布
Note: "+" means present

为三峡水库的优势种($Y \geq 0.02$)。底栖动物种类数在不同区域差异较大, 库尾木洞断面最多(29 种), 坝前秭归断面最少(12 种), 从库尾至库首种类呈减少趋势。不同季节底栖动物的种类数差异也较大, 以春季最多(33 种), 秋季次之(22 种), 夏季最少(17 种)。在沿水深梯度的分布方面, 淡水壳菜、淡水钩虾、多足摇蚊和涡虫主要分布于水深小于 30 m 的区域; 肥满仙女虫、前突摇蚊、霍甫水丝蚓等优势种类在各个水深样方中均有出现。

2.2 密度和生物量的时空动态

底栖动物现存量时空变化显著(表 2)。从总体上看, 库首和库尾断面现存量高于库中断面。库尾木洞现存量最高, 年均密度达(8180±2740) ind./m²,

是其余断面的 20—70 倍; 年均生物量为(8.66±3.65) g/m², 是其余断面的 8—50 倍。库中云阳和忠县断面现存量最低。在季节动态上, 春秋两季现存量高于夏季。秭归、巫山、云阳断面密度在春季最高, 忠县在夏季最高, 木洞则在秋季最高。除云阳、忠县外, 其余断面间密度的季节差异达 100 倍。巫山、云阳、忠县断面生物量的季节变化与密度的季节变化相似, 但秭归和木洞断面则与密度的季节变化相反。

2.3 密度、生物量与水深的关系

LOWESS 拟合曲线表明, 底栖动物密度和生物量随水深的增加而下降, 但在不同的水深范围存在差异。密度和生物量在水深 50 m 以内区域最高。在水深小于 80 m 的区域, 密度与生物量随水深的增加

表 2 三峡水库底栖动物密度(ind./m²)和生物量(湿重, g/m²)的时空变化

Tab. 2 The temporal and spatial variations of the density (ind./m²) and the biomass (wet weight, g/m²) of zoobenthos in different sampling sections of the Three Gorges Reservoir (mean±SE)

断面 Section	密度(D, density) /生物量(B, biomass)	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	年均 Annual average
秭归	D	678±203	18±10	6±4	243±96
Zigui	B	0.35±0.13	0.03±0.01	2.65±2.65	1.05±0.92
巫山	D	1070±630	71±68	95±58	427±233
Wushan	B	0.57±0.39	0.10±0.10	0.56±0.34	0.42±0.18
云阳	D	245±96	203±97	112±73	184±50
Yunyang	B	0.24±0.15	0.20±0.10	0.08±0.06	0.17±0.06
忠县	D	102±203	203±127	54±23	116±42
Zhongxian	B	0.49±0.27	2.52±2.38	0.05±0.03	0.96±0.73
木洞	D	7280±4030	53±16	16200±5900	8180±2740
Mudong	B	17.98±9.72	0.51±0.45	6.47±2.02	8.66±3.65
平均	D	1840±870	115±37	3140±1450	1760±590
Average	B	3.83±2.11	0.65±0.46	1.87±0.71	2.17±0.78

而明显下降, 在水深小于 20 m 的浅水区递减率最大 (图 2); 水深大于 80 m 后则略有上升趋势。

2.4 群落受干扰程度

ABC 曲线(图 3)表明三峡水库不同断面底栖动

物群落受外界干扰的程度不同。库尾木洞断面底栖动物的丰度曲线位于生物量曲线上方, 属于严重干扰条件下的群落结构($W = -0.101$); 库首巫山断面底栖动物群落受中等干扰($W = -0.003$); 库中(云阳

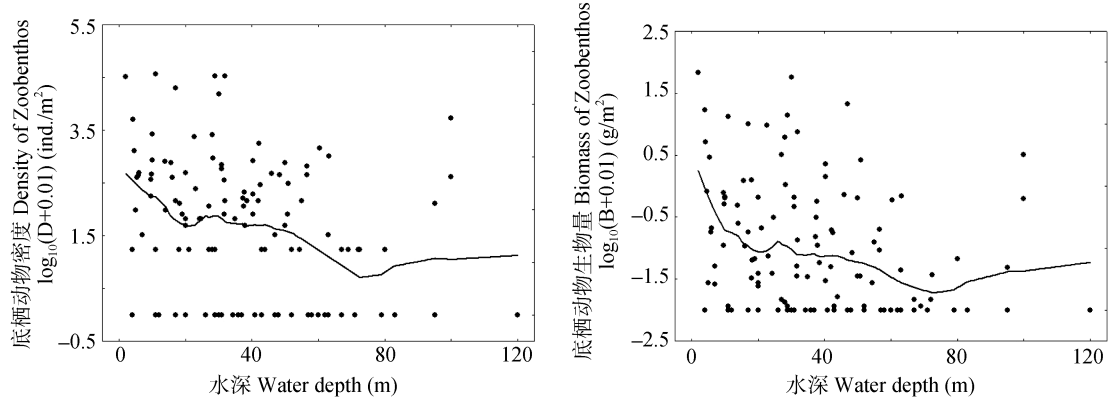


图 2 三峡水库底栖动物密度和生物量与水深的关系

Fig. 2 The relationship between the density and the biomass of zoobenthos and the water depth in the Three Gorges Reservoir

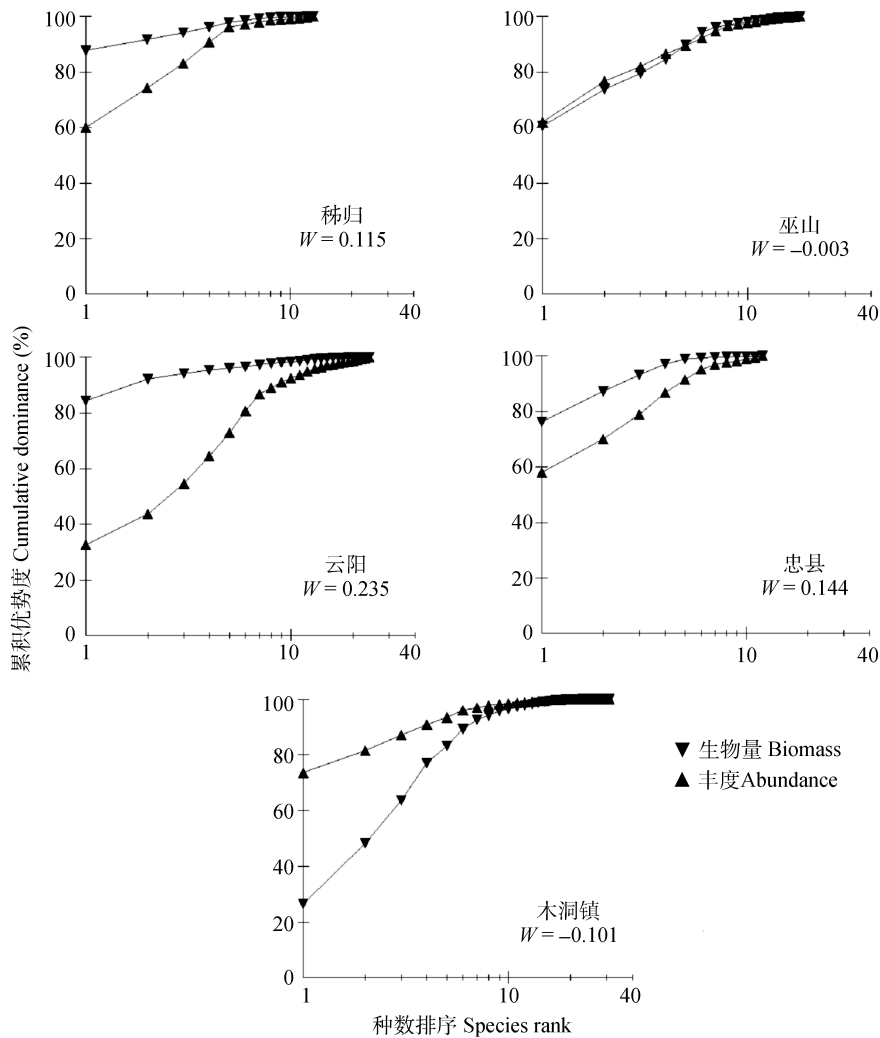


图 3 三峡水库不同断面底栖动物的 ABC 曲线

Fig. 3 The ABC curves of zoobenthos in different sampling sections of the Three Gorges Reservoir

和忠县断面)和坝前(秭归断面)底栖动物群落受干扰程度较小。

2.5 蓄水前后底栖动物群落结构比较

对比 1984 年的历史数据,发现蓄水后底栖动物种类数变化较大(表 3),秭归至巫山段由 23 种降为 18 种,而云阳至木洞段由 27 种增加到 39 种。虽种类存在较大变化,但优势种尚无明显变化,即多足摇蚊、前突摇蚊、肥满仙女虫、霍甫水丝蚓和一种钩虾依然是三峡水库的优势种类。在三峡水库蓄水后底栖动物现存量有所减少:云阳至重庆段底栖动物密度和生物量均显著下降;秭归至巫山段底栖动物生物量呈下降趋势,但由于较多小型仙女虫的出现,密度略有上升。不同种类间的数量组成比例出现了较大的变化:颤蚓科数量趋于减少;仙女虫科趋于减少,但在秭归至巫山段显著增加;摇蚊科数量明显增加;其余昆虫均呈减少趋势。

3 讨论

本研究表明现阶段三峡水库底栖动物的优势类群是寡毛类和水生昆虫,软体动物极少。密度和生物量方面,夏季现存量低于其他季节,可能与洪水冲刷有关^[14]。木洞断面现存量明显高于其他断面是因为木洞断面多为浅滩生境,且入库水流带来的有机碎屑多,为底栖动物提供了充分的发展空间。ABC 曲线分析反映了三峡水库不同断面底栖动物群落受外界干扰的程度不同,坝前和库中断面受外界干扰较小或不受外界干扰,而库首和库尾断面受外界干扰程度较大。库尾的木洞断面位于激流缓流

交汇处,水体在垂直方向上交换也较为频繁,水深较浅,有机碎屑开始沉积,底栖生境不稳定,因而木洞断面属于水文因子主导的剧烈干扰^[13];库首的巫山断面位于三峡水库较为开阔的区域,水环境出现很多湖泊的特性,底质相对稳定,但沉积物中营养盐的积累较为严重,如本次研究的同步调查发现巫山断面底泥的总磷浓度显著高于其他断面^[22],因此巫山断面属于营养盐主导的中度干扰。

已有的研究表明,新的水库形成之后,生境的改变导致生物群落发生重大变化,适应流水生存的物种逐渐被适应静水生存的物种所取代^[23]。在三峡建坝后,适应流水生境的种类趋于减少,而适应静水的生物逐渐增加,这种现象在三峡水库的秭归和巫山断面表现较为明显。由于流速的降低,原有较多分布的流水性种类(箭蜓科、钩虾科等)在秭归和巫山断面未有发现,取而代之的是适应静水生活的寡毛类和摇蚊,如苏氏尾鳃蚓、管水蚓、水丝蚓和小摇蚊。除了流速的减缓,水位的抬升、泥沙的淤积和底质的扰动也是导致底栖动物种类变迁和数量变化的重要原因。

在蓄水后三峡水库底栖动物的密度和生物量有减少的趋势。水位波动幅度增大可能是导致底栖动物现存量降低的主要原因。水位波动可以通过许多方式影响底栖动物的群落结构及分布格局,例如栖息环境、捕食或者哺育场所的获得或丧失等^[24]。相比深水区,浅水区底栖动物更易受到水位波动的影响^[25, 26]。本研究发现底栖动物现存量在水深 50 m

表 3 蓄水前后三峡水库主要底栖动物种类、密度和生物量的比较

Tab. 3 Comparison of major zoobenthos species and their density and biomass in the Three Gorges Reservoir before and after the impoundment

断面 Section	种类类群 Species groups	种类 Species		密度 Density (ind. /m ²)		生物量(湿重, g/m ²) Biomass (in wet weight, g/m ²)	
		1984	2012	1984	2012	1984	2012
秭归-巫山 Zigui - Wushan	仙女虫科 Naididae			25	342	0.025	0.044
	颤蚓科 Tubificidae			230	45	0.9	0.258
	摇蚊科 Chironomidae			20	71	0.025	0.061
	其他昆虫 Other Insects			10	4	0.045	0.006
	共计 Total	23	18	285	461	0.995	0.37
云阳-木洞 Yunyang -Mudong	仙女虫科 Naididae			4530	2720	1.6	0.864
	颤蚓科 Tubificidae			310	53	0.675	0.107
	摇蚊科 Chironomidae			360	409	0.09	0.204
	其他昆虫 Other Insects			200	14	1.45	0.686
	共计 Total	27	39	5400	3197	3.815	1.86

以内的区域最高, 而水库蓄水后的年内水位变幅达 30 m, 严重影响了浅水区底栖动物的建群。同时, 随水深的增加, 底栖动物现存量迅速降低。研究亦表明, 淡水壳菜、多足摇蚊、前突摇蚊、多毛管水蚓以及小摇蚊等优势种类与水深呈显著的负相关^[27]。因此, 对大部分底栖动物而言, 水深的增加并没有增大栖息地面积, 而水位变幅增大则导致浅水区底栖动物现存量下降。

底栖动物是鱼类的优质饵料, 其生物量与渔业产量有着密切联系。三峡水库底栖动物现存量的分布规律与鱼类的分布一致, 即干流段鱼类密度在库尾木洞断面最大^[23], 除了流速、水深、水温等因素的影响^[28], 与底栖动物现存量的分布也有密切关系。库尾丰富的底栖动物饵料为鱼类的聚集提供了食物条件, 库尾流水江段的优势鱼类多为铜鱼(*Coreius heterokon*)、圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)和长鳍吻鲈(*Rhinogobio ventralis*)等, 它们主要以底栖动物为食, 蓄水后由于库区底栖动物现存量下降, 底栖食性的鱼类产量可能随之降低, 有待进一步开展相关研究。

致谢:

感谢中国科学院水生生物研究所叶少文副研究员、李林副研究员、汪志聪助理研究员、研究生连玉喜、陈思宝、王静雅、熊倩、李星浩、王纯、杨毅以及周圣煜和吕进在野外采集中给予支持和帮助。

参考文献:

- [1] Hu Z Y, Cai Q H. Preliminary report on aquatic ecosystem dynamics of the Three Gorges Reservoir before and after impoundment [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(1): 1—6 [胡征宇, 蔡庆华. 三峡水库蓄水前后水生态系统动态的初步研究. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 1—6]
- [2] Covich A P, Palmer M A, Crowl T A. The Role of Benthic Invertebrate Species in Freshwater Ecosystems: Zoobenthic species influence energy flows and nutrient cycling [J]. *BioScience*, 1999, **49**(2): 119—127
- [3] McEwen D C, Butler M G. The effects of water-level manipulation on the benthic invertebrates of a managed reservoir [J]. *Freshwater Biology*, 2010, **55**(5): 1086—1101
- [4] Wallace J B, Webster J R. The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function [J]. *Annual Review of Entomology*, 1996, **41**: 115—139
- [5] Armitage P D. Development of the macro-invertebrate fauna of Cow Green reservoir (upper Teesdale) in the first years of its existence [J]. *Freshwater Biology*, 1977, **7**(5): 441—454
- [6] Baxter R M. Environmental effects of dams and impoundments [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1977, **8**: 255—283
- [7] Luczak C, Janquin M A, Kupka A. Simple standard procedure for the routine determination of organic matter in marine sediment [J]. *Hydrobiologia*, 1997, **345**(1): 87—94
- [8] Richardson S M, Hanson J M, Locke A. Effects of impoundment and water-level fluctuations on macrophyte and macroinvertebrate communities of a dammed tidal river [J]. *Aquatic Ecology*, 2002, **36**(4): 493—510
- [9] Wetzel R G. *Limnology: Lake and River Ecosystems* (third edition) [M]. Academic Press. 2001, 1—1006
- [10] Shao M L, Xie Z C, Ye L, *et al.* Monthly changes of community structure of zoobenthos in Xiangxi bay after impoundment of Three Gorges Reservoir [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(1): 64—69 [邵美玲, 谢志才, 叶麟, 等. 三峡水库蓄水后香溪河库湾底栖动物群落结构的变化. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 64—69]
- [11] Li B, Shen H L, Zhang M, *et al.* Changes of macrobenthos community and their relationships with environmental factors along cascading reservoirs of Xiangxi River Basin, China [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, **32**(8): 2070—2076 [李斌, 申恒伦, 张敏, 等. 香溪河流域梯级水库大型底栖动物群落变化及其与环境的关系. 生态学杂志, 2013, **32**(8): 2070—2076]
- [12] Liu X W. The feasibility of restoration the Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) population in the upper reaches of Yangtze River: macroinvertebrates surveys and releasing trail [D]. Huazhong Agricultural University, MD Thesis. 2009 [刘向伟. 重建长江上游中华鲟种群的可行性: 底栖动物调查及放流试验. 硕士学位论文, 华中农业大学, 2009]
- [13] Zhang M. Patterns of the macroinvertebrate community and the driving forces in a large and deep reservoir - a case study of the Three Gorges Reservoir [D]. Chinese Academy of Sciences, PHD Thesis. 2012 [张敏. 大型深水水库底栖动物群落格局及其驱动过程研究-以三峡水库为例. 博士学位论文, 中国科学院, 2012]
- [14] Chi S Y, Hu J X, Chen S, *et al.* Study on community structure of macro-invertebrates in tributaries of Three Gorges Reservoir [J]. *Journal of Hydroecology*, 2001, **32**(4): 24—30 [池仕运, 胡菊香, 陈胜, 等. 三峡库区支流底栖动物群落结构研究. 水生态学杂志, 2011, **32**(4): 24—30]
- [15] Wang H Z. *Studies on Taxonomy, Distribution and Ecology of Microdrile Oligochaetes of China, with Description of Two New Species from the Vicinity of the Great Wall Station of China, Antarctica* [M]. Beijing: Higher Education Press. 2002, 1—228 [王洪铸. 中国小蚓类研究—附中国南极长城站附近地区两新种. 北京: 高等教育出版社. 2002, 1—228]
- [16] Brinkhurst R O, Jamieson B G M. *Aquatic Oligochaeta of the World* [M]. New York: University of Toronto Press. 1971, 1—860
- [17] Epler J H. *Identification Manual for the Larval Chirono-*

- midae (Diptera) of North and South Carolina [M]. 2001, 1—526
- [18] Morse J C, Yang L F, Tian L X. Aquatic Insects of China Useful Monitoring Water Quality [M]. Nanjing: Hohai University Press. 1994, 1—570
- [19] Warwick R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities [J]. *Marine Biology*, 1986, **92**: 557—562
- [20] Clarke K R, Warwick R M. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation, 2nd edition [M]. Plymouth: PRIMER-E. 2001, 1—171
- [21] Yemane D, Field J G, Leslie R W. Exploring the effects of fishing on fish assemblages using Abundance Biomass Comparison (ABC) curve [J]. *Journal of Marine Science*, 2005, **62**(3): 374—379
- [22] Wang S Y, Zhou Z J, Wang Z C, *et al.* Distribution of nutrient elements and its relationship with algal growth in the Three Gorges Reservoir [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, **39**(5): 910—919 [王司阳, 周子俊, 汪志聪, 等. 三峡水库营养元素的分布及其与藻类生长的关系. 水生生物学报, 2015, **39**(5): 910—919]
- [23] Baxter R. Environmental effects of dams and impoundments [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1977, **8**: 255—283
- [24] Wantzen K M, Rothhaupt K O, Mörtl M, *et al.* Ecological effects of water-level fluctuations in lakes: an urgent issue [J]. *Hydrobiologia*, 2008, **613**: 1—4
- [25] Benson N G, Hudson P L. Effects of a reduced fall drawdown on benthos abundance in Lake Francis Case [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1975, **104**(3): 526—528
- [26] Kaster J L, Jacobi G Z. Benthic macroinvertebrates of a fluctuating reservoir [J]. *Freshwater Biology*, 1978, **8**(3): 283—290
- [27] Wang Z X. Faunal survey of aquatic Oligochaeta in Zhongshan, south China and preliminary study of quantitative environmental indications by zoobenthos in the Yangtze lakes [D]. Chinese Academy of Sciences, MD Thesis. 2007 [王宗兴. 中山水栖寡毛类区系调查及底栖动物对湖泊环境定量指示初探. 硕士学位论文, 中国科学院, 2007]
- [28] Wang K. Research on the fish spatio-temporal distribution in the Three Gorges Reservoir and the relationship between relative factors [D]. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, PHD Thesis. 2013 [王珂. 三峡库区鱼类时空分布特征及相关因子关系分析. 博士学位论文, 中国水利水电科学研究院, 2013]

THE COMMUNITY STRUCTURE OF ZOOBENTHOS IN THE THREE GORGES RESERVIOR: A COMPARISON BEFORE AND AFTER THE IMPOUNDMENT

WANG Bao-Qiang^{1,2}, LIU Xue-Qin¹, PENG Zeng-Hui^{1,2} and YANG Zhen-Dong^{1,2}

(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: To understand the community structure of zoobenthos and their responses to hydrological alterations, we conducted a preliminary study at five locations of the Three Gorges Reservoir in August and November of 2012 and April of 2013. The results were: (1) A total of 43 species were identified. The richness of species was the highest in Mudong (29 species), and the lowest in Zigui (12 species). The dominant species were *Polypedilum* sp., *Procladius* sp., *Nais inflata*, *Limnodrilus hoffmeisteri* and one species of Gammaridae. (2) In terms of spatial distribution, the density of zoobenthos was the highest in Mudong [(8180±2740) ind./m²] and the lowest in Zhongxian [(116±42) ind./m²]. The biomass was also the highest in Mudong [(8.66±3.65) g/m²], and the lowest in Zhongxian [(0.17±0.06) g/m²]. (3) As for the seasonal variation, the density of zoobenthos was the highest in autumn [(3140±1450) ind./m²] and the lowest in summer [(115±37) ind./m²]. The biomass showed a different seasonal pattern, which was the highest in spring [(3.83±2.11) g/m²] and the lowest in summer [(0.65±0.46) g/m²]. (4) Both the density and the biomass declined along with the increase of water depth, and the decline rate was the highest in shallow areas (water depth < 20 m). (5) The analysis of ABC curves indicated that the zoobenthic community in Mudong was most disturbed ($W=-0.101$), followed by Wushan ($W=-0.003$) and others. (6) There was a trend of decrease in the biomass and the density of zoobenthos after the impoundment of Three Gorges Reservoir. It is likely that the major factors affecting zoobenthos were the slower flow rate, the increase of water depth, the higher fluctuation amplitude of the water level, and the elevated nutrients in the sediment after the impoundment of the Three Gorges Reservoir.

Key words: Zoobenthos; Three Gorges Reservoir; Community structure; Hydrological regime