第16卷 第1期 湖 泊 科 学 Vol.16, No.1
2004年3月 JOURNAL OF LAKE SCIENCES Mar., 2004

湖北道观河水库大型底栖动物的群落结构及物种多样性*

马徐发[1] 熊邦喜[1**] 王明学[1] 王银东[1] 王卫民[1]
刘小玲[1] 徐木生[2] 张林林[2] 胡秋生[3] 王喜波[3]

(1:华中农业大学水产学院,武汉 430070;2:武汉市道观河水库渔场,武汉 430400;
3:武汉市水利局,武汉 430000)

提 要 1999年对湖北道观河水库大型底栖动物进行6次采样,共检出大型底栖动物17种,隶属4门16属.其中软体动物3种,环节动物5种,节肢动物8种,线形动物1种. 密度和生物量分别为142 ind/m^{2}和0.99 g/m^2. 优势种类为大红德永摇蚊和霍甫水丝蚓. 密度季节变化顺序为春季>冬季>秋季>夏季;生物量季节变化为春季>冬季>夏季>秋季. 密度和生物量的水平分布为上游>库湾>中游>下游. 生物量与水深呈负相关关系;与水温、底泥TN、TP无显著相关关系. 应用Goodnight-Whitley生物指数等对水质进行评价,结果显示该水库受到中等污染. 提出在深水水库中不宜用Shannon-Wiener指数和Margalef指数等多样性指数评价水质.

关键词 道观河水库 大型底栖动物 生物指数 多样性指数 水质评价
分类号 Q958.8

大型底栖动物通常指不能通过500 μm孔径筛网的底栖动物个体,它们是淡水生态系统的一个重要组成部分,对了解生态系统的结构和功能具有重要意义. 底栖动物除部分自身具有很高的经济价值外,既是鱼类的天然佳饵,又是环境监测的指示生物. 底栖动物在湖泊中的研究较深入,而水库中的报道很少. 道观河水库(35°52′N,114°59′E)建于1968年,承雨面积108.84 km^2,在正常高水位78.7 m时平均水深为10.3 m,库容6.37×10^7 m^3,水面面积6.26 km^2. 该水库是一座以防洪和灌溉为主,并开展养殖和旅游的丘陵水库. 研究道观河水库大型底栖动物的结构及多样性,既可以为该水库渔业资源的合理利用和渔业的可持续发展提供依据,又可为查明水库环境中底栖动物与生态因子间的关系积累资料.

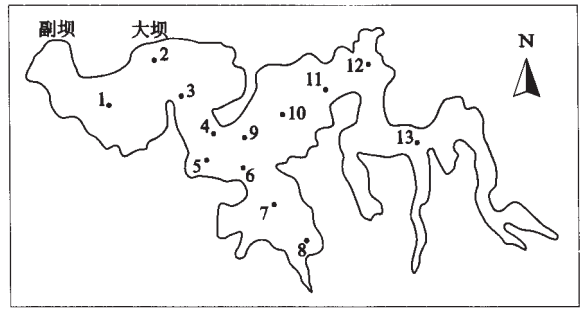

图1 道观河水库大型底栖动物的采样点

Fig.1 Sampling sites of macrozoobenthos in Daoguanhe Reservoir

1 工作方法

1999年在道观河水库设置13个采样点(图1),每两个月用1/16 m^{2}改良型彼

* 国家自然科学科学基金资助项目(39870597). 2002-12-28收稿;2003-09-26收修改稿. 马徐发,男,1975年生.
** 通讯作者. e-mail: Bangxix8@mail.hzau.edu.cn.

得孙采泥器进行定量采样，共采样 6 次. 现场用 80 目筛筛洗后装入样本瓶中，用 75%乙醇固定，带回室内分检、称重. 分别位于水库上游、中游、下游和库湾的 13、10、1 和 7 号 4 个采样点同时测定了底泥 TN、TP 等化学指标.

多样性指数和生物指数计算公式如下：

Shannon-Wiener 多样性[1]指数 $H'=-\sum(n_i/N\cdot\log_2(n_i/N))$.其中，$n_i$ 为 i 种的个体数，N 为总个体数；

Margalef 指数[2]计算公式：$d=(s-1)/\ln N$. 其中，s 为种数，N 为总个体数；

Goodnight-Whitley 指数(%)[3]：I_{GW}=100×(寡毛类个体数/大型底栖动物个体数)；

King 指数[4]：I_K=水生昆虫个体数/寡毛类个体数.

表 1 道观河水库大型底栖动物的种类组成

Tab.1 Species composition of macrozoobenthos in Daoguanhe Reservoir

种类	采样点													随机
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
线形动物 Nematoda														
线虫 *Gordius* sp.										+				
环节动物 Annelida														
寡毛纲 Oligochaeta														
霍甫水丝蚓 *Limnodrilus hoffmeisteri*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
中华颤蚓 *Tubifex sinicus*								+	+			+	+	
苏氏尾鳃蚓 *Branchiuro sowerbyi*												+	+	
参差仙女虫 *Nais variabilis*			+									+		
隐经纲 Aphanoneura														
颤体虫 *Aeolosoma* sp.												+		
软体动物 Mollusca														
腹足纲 Gastropoda														
中国圆田螺 *Cipangopaludina chinensis*														+
瓣鳃纲 Lamellibranchia														
褶纹冠蚌 *Cristaria plicata*														+
河蚬 *Corbicula fluminea*														+
节肢动物 Anthropoda														
昆虫纲 Insecta														
大红德永摇蚊 *Tokunagayusurika akamusi*	+		+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	
多足摇蚊 *Polymedilum* sp.								+	+		+		+	
前突摇蚊 *Proclodius* sp.								+				+	+	
摇蚊 *Chironomus* sp.			+	+					+		+	+	+	
粗腹摇蚊 *Tanypus* sp.													+	
异腹鳃摇蚊 *Einfeldia* sp.								+						
隐摇蚊 *Cryptochironomus* sp.											+			
幽蚊 *Coretnra* sp.		+												

2 结果

2.1 大型底栖动物的种类组成

共检出大型底栖动物 17 种,隶属 4 门 16 属(表 1). 其中软体动物 3 种,占 17.6%;环节动物 5 种, 占 29.4%;节肢动物 8 种,占 47.1%;线形动物 1 种,占 5.9%.

从出现频率看,大红德永摇蚊和霍甫水丝蚓最高,分别为 42.3%和 46.2%. 线虫仅在一次采样中出现. 定量样品未见软体动物,它们仅于枯水期在上游浅水处觅得.

2.2 密度和生物量

大型底栖动物的密度和生物量分别为 142 ind/m^2 和 0.99 g/m^2. 优势种类为大红德永摇蚊和霍甫水丝蚓. 前者的生物量占底栖动物总生物量的 48.0%;后者生物量占总生物量的 10.6%.

2.2.1 密度和生物量的季节变化　密度为春季>冬季>秋季>夏季;生物量为春季>冬季>夏季>秋季(图 2).

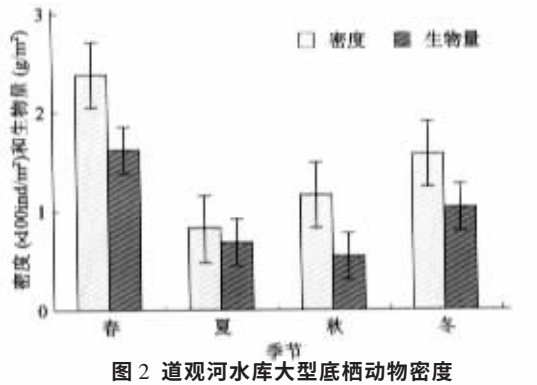

图 2 道观河水库大型底栖动物密度和生物量的季节变化

Fig.2 Seasonal variation of the density and biomass of macrozoobenthos in Daoguanhe Reservoir

2.2.2 密度和生物量的空间变化　密度和生物量的空间顺序均为上游>库湾>中游>下游 (图 3);并且上游明显高于其它各处.

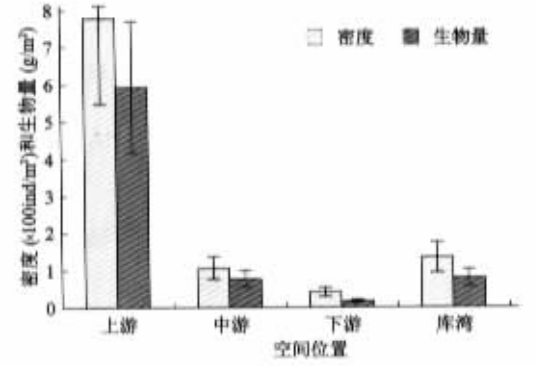

图 3　道观河水库大型底栖动物密度和生物量的空间变化

Fig.3 Spatial variation of the density and biomass of macrozoobenthos in Daoguanhe Reservoir

2.2.3 底栖动物密度和生物量与水深的关系　每次采得的样品中,均是水深最小的上游区密度和生物量明显多于其它各区. 其中生物量与水深呈明显负相关关系(图 4).

2.2.4 生物量与水温的关系　从总体上看,大型底栖动物的生物量在水温较高的夏季比水温较低的秋、冬季低一些,但在统计分析上与水温均无显著相关关系(图 5a).

2.2.5 生物量与底泥 TN、TP、pH 值的关系　统计分析表明,1、7、10 和 13 号 4 个采样点大型底栖动物生物量与底泥 TN、TP、pH 值均无显著相关关系(图 5b, c, d).

2.2.6 底栖动物的多样性及生物指数　根据全年 13 个采样点的调查结果, 计算出 Goodnight-Whitley 和 King 生物指数,以及 Shannon-Wiener 和 Margalef 多样性指数(表 2).

3 讨论

3.1 水库底栖动物的比较与资源利用

1980 年湖北省水库调查队报道道观河水库底栖动物的密度和生物量为 40 ind/m^2 和 0.12

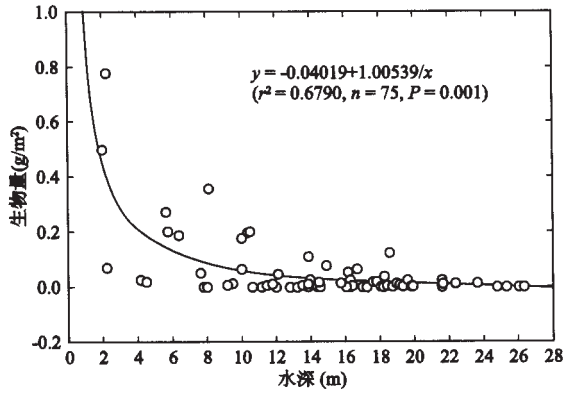

图 4 道观河水库大型底栖动物生物量与水深的关系

Fig.4 Relationship between the biomass of macrozoobenthos and water depth in Daoguanhe Reservoir

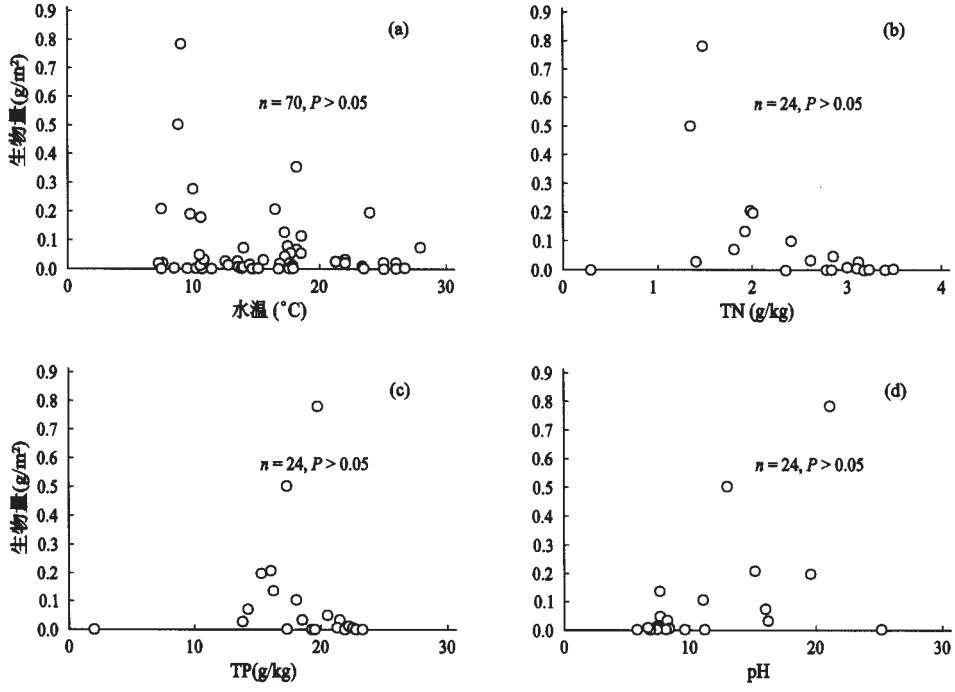

图 5 道观河水库大型底栖动物生物量与水温(a),底泥 TN(b)、TP(c)和底泥 pH(d)的关系

Fig.5 Relationship between the biomass of macrozoobenthos and water temperature (a) biomass vs TN (b), biomass vs TP (c), and biomass vs pH in sediments (d) in Daoguanhe Reservoir

g/m² [5]. 1999 年密度和生物量分别为 142 ind/m² 和 0.99 g/m²,比 1980 年有较大增加. 一般认为底栖动物现存量增加是水体富营养化的表现之一,这说明该水库受到了有机污染,这与水库进行旅游开发,增建旅馆、娱乐场所以及游客增多、生活污水大量排入密切相关.

表 2 道观河水库底栖动物生物指数和多样性指数

Tab.2 Biological and biodiversity index values of Daoguanhe Reservoir

采样点	5	6	7	8	9	10	11	12	13	平均
Goodnight-Whitley 指数	100	79.2	66.7	35.1	72.8	31.0	31.0	37.5	34.9	13.4
King 指数	0	0.66	3.49	17.2	3.46	9.78	9.78	5.89	7.94	6.60
Shannon-Wiener 指数	0	0.25	0	0.92	0.68	0.63	1.14	1.14	1.57	0.48
Margale	0	0.24	0	0.65	0.53	0.53	0.82	0.82	1.09	0.37

根据道观河水库大型底动物的现存量,按陈其羽等的方法[6]计算得该库底栖动物的鱼产潜力为 1.7×10^4 kg. 而最近十年该水库主要底层经济鱼类鲤、鲫的年均产量不足 1.0×10^4 kg,且由于过度捕捞产量连年下降. 因此建议在鲤、鲫等繁殖期间加强繁殖保护,使底层鱼类适度发展,这样既合理利用了底栖动物资源,使其转化为鱼产品,增加经济效益,又从底质中输出有机营养负荷,从而达到合理利用渔业资源和保护渔业环境的双重目的.

3.2 底栖动物现存量与底质、水深和水温的关系

陈其羽和吴天惠[7]认为,底栖动物特别是寡毛类和摇蚊幼虫在不同底质中的现存量分布顺序是腐泥>软泥>粘土>砂,并同时指出在湖泊中水深每增加 1 m,底栖动物密度大致减少 330 个. 在道观河水库,上游底质以粘土为主,中下游多为腐泥,在库湾底质为软泥,其底栖动物现存量是上游明显大于中、下游和库湾,这可能是因为水深对底栖动物的影响远远超过底质. 道观河水库平均水深 10.3 m,随着水深的增加,寡毛类和摇蚊幼虫的种类数和密度双双减少,全库底栖动物的密度为 142 ind/m^2. 而邻近的麻城浮桥河水库正常高水位时的平均水深为 5.6 m,1998 年底栖动物平均密度则大得多[8],为 529 ind/m^2. 水深的不同可能是造成这两个水库底栖动物平均现存量差异较大的主要原因之一.

因为水生昆虫夏季羽化,故个体少,而秋、冬季成熟个体较多,所以底栖动物现存量在水温较高的夏季比水温低的秋、冬季偏低,但是在统计分析上生物量与水温无显著相关关系,水温不是影响底栖动物现存量的主要因素.

3.3 水库的营养评价

霍甫水丝蚓、大红德永摇蚊等优势种系水体富营养化的典型指示种[9-11],道观河水库中二者的密度分别为 30 和 52 ind/m^2,说明该水库为中富营养类型.

根据湖泊中常用的几种生物指数和多样性指数及相应参考标准[12] ,评价了道观河水库水质(表 3).

表 3 依据湖泊常用的生物指数和多样性指数对道观河水库的水质评价

Tab.3 Water quality assessment according to several biological and biodiversity indices commonly used in lakes

指数	评价标准				本文值	评价
	清洁	中污	重污	严重污染		
Goodnight-Whitley 指数	<60%	60%-	-80%	>80%	63.37%	中污
Shannon-Wiener 指数	>3.0	3.0-2.0	2.0-1.0	<1.0	0.48	重污
Margalef index 指数	>3.0	3.0-2.0	2.0-1.0	<1.0	0.37	重污
Wright (ind/m^2)指数	<100	100-999	1000-5000	>5000	142.05	中污
King 指数					6.60	中污

从表中可以看出，Goodnight-Whitley 、King 及 Wright 等指数指示的结果与上述判断也很相近. 但用 Shannon-Wiener 和 Margalef 指数评价时，该库则趋于重污染. 这是因为上述两种指数主要反映某一生物群落中的物种数目和各物种的个体数目分配的均匀度，其值对样品组成种类数的依赖性很大. 在道观河水库由于很多采样点没有采到底栖动物或仅有一种，故多样性指数为 0 的占有相当大的比例，因而平均值仅为 0.48. 类似地，Margalef 多样性指数也偏低，平均值仅为 0.37. 刘保元和梁小民在安徽太平湖水库也发现 Shannon-Wiener 指数偏低的情况[13]. 水库与湖泊在水深、底质等诸多方面差异较大，在深水水库中每个采样点出现的种类数数很少，因此本文认为在湖泊中广泛应用的 Shannon-Wiener 和 Margalef 指数不适用于深水水库.

用底栖动物来评价水库水质及营养类型，应使用多种指数综合分析，并选取符合水库实际特征的参数作为主要依据，才能获得比较满意的结果.

参 考 文 献

1 Shannon C E, Wiener W J. The mathematical theory of communication. University of Illinois, Urbana, 1949：117

2 Margalef D R. Information Theory in Ecology. *Gen Syst*, 1957, **3**: 36-71

3 Goodnight H A, Whitley L S. Oligochaetes as indicators of pollution. Proceedings 15th Annual Waste Conference. Purdue University, Lafayette, Indianna. 1960: 139-142

4 King D L, Ball R C. A quantitative biological measure of stream pollution. *J Wat Pollut Control Fed*, 1964, **36**: 650

5 湖北省水库调查队. 湖北省水库渔业生产性能调查. 水库渔业, 1982, **4**: 10-45

6 陈其羽, 吴天惠. 底栖动物. 见刘建康编. 东湖生态学研究(一). 北京: 科学出版社, 1990：129-152

7 陈其羽, 梁彦龄, 吴天惠. 武汉东湖底栖动物群落结构和动态的研究. 水生生物学集刊, 1980, **7**(1): 41-56

8 彭建华, 刘家寿, 熊邦喜等. 湖北浮桥河水库底栖动物的群落结构及生物多样性. 湖泊科学, 2002, **14**(1): 90-96

9 沈韫芬, 章宗涉. 水污染生物学问题. 见: 刘建康主编. 高级水生生物学. 北京: 科学出版社, 1999. 305-338

10 王士达. 武汉东湖底栖动物的多样性及其与富营养化的关系. 水生生物学报, 1996, **20**(增刊): 75-89

11 Toshio I, Masayuki Y. Fate of the univoltine choronomid, Tokunagayusurika akamusi (Diptera: Chironomidae), at emergence in Lake Kasumigaura. *Jpn Arch Hydrobiol*, 1983, **99**(1): 37-59

12 颜京松. 应用水生生物群落评价水质的一些生物数学公式. 环境污染与生态学文集，1981: 42-48

13 刘保元, 梁小民. 太平湖水库的底栖动物. 湖泊科学, 1997, **9**(3): 237-243

The Community Structure and Biodiversity of Macrozoobenthos in Daoguanhe Reservoir, Hubei Province

MA Xufa[1], XIONG Bangxi[1]*, WANG Mingxue[1], WANG Yindong[1], WANG Weimin[1]
LIU Xiaoling[1], XU Musheng[3], ZHANG Linlin[3], HU Qiusheng[2] & WANG Xibo[2]

(1 :*Fisheries College of Huazhong Agricultural University, Wuhan* 430070, *P.R. China*;
2 :*Piscicultural Farm of Daoguanhe Reservoir, Wuhan* 430400, *P.R. China*;
3: *Wuhan Water Resource Bureau, Wuhan* 430000, *P.R. China*)

Abstract

In order to provide theoretic base for reasonable utilization of fisheries resource and to offer ecological strategy to the assessment and protection of aquatic environment, we studied the community structure and biodiversity of Daoguanhe Reservoir, Hubei Proince bimonthly in 1999. Macrozoobenthos were sampled from thirteen sites. Seven taxa of zoobenthos were identified. They belonged to 16 genera, 9 families, 4 phyla. Those were 3 species of mollusks, 5 species of oligochaetes, 8 species of aquatic insects and 1 of nematode. The density and biomass of the benthic animals were 142 ind/m^2 and 0.99 g/m^2, respectively. The dominant species were *Tokunagayusurika akamusi* and *Limnorilus hoffmeisteri*. The seasonal density variation order was spring > winter > autumn > summer; and biomass ranked as spring > winter > summer > autumn. The horizontal variation tendency of both density and biomass were the upper reaches > the reservoir bay > the middle reaches > the lower reaches. There was a significant negative relation between benthos biomass and water depths; but no pronounced relations between biomass and water temperature, sediment TN, TP or pH. Water quality of the reservoir was evaluated using Goodnight-Whitley index and other biological and biodiversity indices. The results demonstrated that the reservoir was polluted. We suggest Shannon-Wiener index and Margalef index are not fitted to the assessment of water quality in deep reservoirs.

Keywords: Daoguanhe Reservoir; macrozoobenthos; biotic index; biodiversity index; water quality assessment