

湖北省三道河水库底栖动物的初步研究*

池仕运¹, 彭建华¹, 万成炎^{1**}, 邹曦¹, 李明²

(1: 水利部中国科学院水工程生态研究所, 武汉 430079)

(2: 中国科学院水生生物研究所, 淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072)

摘要: 2007年8月至2008年4月, 在湖北省三道河水库6个采样点调查底栖动物, 共采集到底栖动物17种, 其中水生昆虫11种, 均为摇蚊科; 寡毛类6种, 均为颤蚓科。春季优势种为前突摇蚊, 夏季优势种为小摇蚊、流水长跗摇蚊和前突摇蚊, 秋、冬季优势种为霍甫水丝蚓。底栖动物种类数、密度和生物量随季节变化明显, 种类数夏季>冬季>秋季>春季, 密度和生物量春季>冬季>秋季>夏季。周年密度和生物量分别为 $366.42\pm 102.93\text{ind./m}^2$ 和 $0.5649\pm 0.1779\text{g/m}^2$, 属贫营养型水库。现存量自坝前向库尾逐步递增, Shannon-Wiener指数、Margalef丰富度指数和Pielou均匀度指数均在夏季最高, 秋季最低。4次调查中寡毛类密度均未超过 1000ind./m^2 , 水质属轻度污染。

关键词: 三道河水库; 底栖动物; 优势种; 多样性指数; 水质评价

Preliminary study on macrozoobenthos of Sandaohe Reservoir, Hubei Province

CHI Shiyun¹, PENG Jianhua¹, WAN Chengyan¹, ZOU Xi¹ & LI Ming²

(1: *Institute of Hydroecology, MWR AND CAS, Wuhan 430079, P.R.China*)

(2: *State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, P.R.China*)

Abstract: During the investigation from August 2007 to April 2008, a total of 17 species of macrozoobenthos were recorded at 6 sampling stations in Sandaohe Reservoir, Hubei Province, including 11 Chironomidae and 6 Tubificidae Oligochaetes. *Procladius* sp. was the dominant specie in spring while *Microchironomus* sp., *Rheotanytarsus* sp. and *Procladius* sp. were the dominant in summer. In autumn and winter *Limnodrilus hoffmeisteri* was the dominant. The species number, the density and biomass changed obviously with seasons. The seasonal density and biomass variation order were spring>winter>autumn>summer; and species number ranked as summer>winter>autumn>spring. The density and biomass of macrozoobenthos were $366.42\pm 102.93\text{ind./m}^2$ and $0.5649\pm 0.1779\text{g/m}^2$ respectively, which could be classified the reservoir as oligotrophic level. The density and biomass increased from the front of dam to the bay, and the Shannon-Wiener index, Margalef index and Pielou index were all at the highest in summer and the lowest in autumn. The density of Oligochaetes did not exceed 1000ind./m^2 in our surveys, which showed the water may be slightly polluted.

Keywords: Sandaohe Reservoir; macrozoobenthos; the dominant species; biodiversity index; water quality assessment

底栖动物是指生活史的全部或大部分时间生活于水体底部的水生动物群, 其为淡水生态系统的重要组成部分和鱼类等水生经济动物的天然食料, 同时还可作为水环境监测的生物指标^[1]。作为鱼类的天然饵料, 底栖动物具有较高的能含量和转化效率, 可用来估算水体渔业的生产潜力^[1]。底栖动物寿命较长, 迁移能力有限, 易于采集, 且不同种类对水质的敏感性差异大, 受外界干扰后群落结构的变化趋势可以反映受污染的性质和程度, 在水质评价中得到广泛应用^[2]。因此调查并研究水库底栖动物的群落结构和

* 国家“十一五”科技支撑计划“湖泊优质高效增殖技术研究与示范”课题“水库有机渔业技术研究与示范”专题(2006BAD03B02-03)资助。2008-10-06收稿; 2008-10-31收修修改稿。池仕运, 男, 1979年生, 硕士, 助理研究员; E-mail: chisy@mail.ihe.ac.cn.

** 通讯作者; E-mail: Wancx@mail.ihe.ac.cn.

现存量, 对于了解水库的营养状态、水体生产力和水质状况都具有一定的参考价值。

三道河水库(东经 111°47', 北纬 31°45')位于湖北省襄樊市境内的蛮河上游, 距南漳县城西南 2km。该水库于 1959 年动工兴建, 1966 年 7 月竣工投入运行, 具有防洪、灌溉、城镇供水、发电、水产养殖、旅游开发、航运等综合服务功能。水库透明度、pH 和溶氧的年均值分别为 2.115±0.216m、0.232±0.048mg/L 和 9.027±1.257mg/L; 总氮、总磷和 COD 的年均值分别为 1.135±0.302mg/L、0.037±0.021mg/L 和 6.958±4.102mg/L, 总碱度和总硬度的年均值分别为 111.714±13.021mg/L 和 141.125±17.473mg/L; Cl⁻和 SO₄²⁻的年均值分别为 5.208±1.311mg/L 和 16.353±6.548mg/L^[3]。水库平均水深 20m, 总库容 1.55×10⁸m³, 承雨面积 780km², 多年平均降雨量 946.7mm, 多年平均来水量 3.67×10⁸m³。库区四周青山环绕, 森林植被繁荣宽广, 林草覆盖率 98%, 无任何工业和畜禽养殖污染, 具有发展有机渔业的条件和潜力。

为发展该水库的渔业经济, 提升水产品品质, 2006–2008 年, 结合国家科技支撑计划: 湖泊优质高效增养殖技术研究与示范课题之子专题水库有机渔业技术研究与示范专题项目, 该水库开展了有机渔业的研究与试点工作。为配合项目的实施, 作者进行了底栖动物的首次调查, 旨在查明底栖动物的群落结构特征和现存量, 分析底栖动物群落结构与水质的关系, 为制定合理的渔业规划和管理措施提供科学依据。

1 调查方法

根据三道河水库的库形、水文特征和库区人口、农田利用等情况, 共设置 6 个采样点, I 站点(东经 111°48'17", 北纬 31°45'53")位于溢洪道附近, II 站点(东经 111°48'8", 北纬 31°45'37")位于坝前, III 站点(东经 111°47'35", 北纬 31°45'56")和 VI 站点(东经 111°46'58", 北纬 31°46'27")靠近库中, V 站点(东经 111°46'35", 北纬 31°46'40")和 VI 站点(东经 111°45'43", 北纬 31°46'7")位于库尾(图 1)。

共采样 4 次, 分别为 2007 年 8 月(夏季)、2007 年 10 月(秋季)、2008 年 1 月(冬季)和 2008 年 4 月(春季)。用 1/16m² 彼得逊挖泥器挖取底泥, 泥样经 60 目分样筛筛选洗后装入塑料袋带回室内分检, 样品用 8%–10% 福尔马林液固定保存。定量用精确度为 0.01mg 的 METTLER TOLEDO AG285 电子称称量。

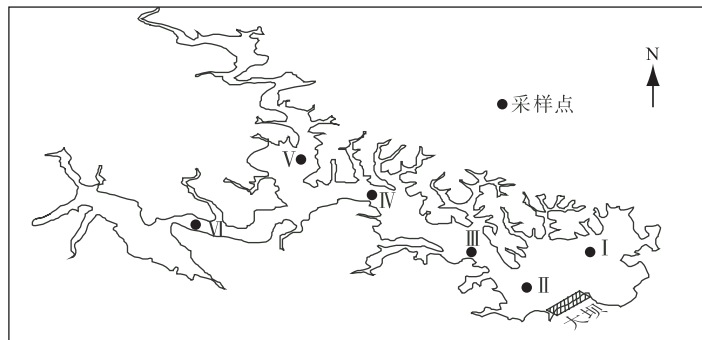


图 1 三道河水库底栖动物采样点分布示意图

Fig.1 The distribution of sampling station on Macrozoobenthos in Sandaohe Reservoir

2 数据处理

底栖动物摇蚊类鉴定到属^[4], 寡毛类鉴定到种或属^[5]。现存量的计算及统计分析采用 SPSS13.0 处理。图表绘制采用 Excel 表格处理。生物多样性采用 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数分析, 生物指数采用 Goodnight-Whitley 指数分析, 其计算公式如下:

Shannon-Wiener 多样性指数(H'):

$$H' = -\sum n_i/N \ln(n_i/N)$$

其中, n_i 为 i 种的个体数, N 为总个体数^[6]。

Margalef 丰富度指数(D):

$$D=(S-1)/\ln N$$

其中, S 为物种数, N 为总个体数^[7].

Pielou 均匀度指数(E):

$$E=H'/\ln S$$

其中, H' 为 Shannon-Wiener 多样性指数, S 为物种数.

Goodnight-Whitley 指数(I_{GW} , %)^[8]:

$$I_{GW}=(\text{寡毛类数量}/\text{底栖动物数量})\times 100$$

3 结果

3.1 种类组成

经鉴定, 三道河水库底栖动物出现 17 种, 主要由水生昆虫的摇蚊科幼虫和寡毛类的颤蚓科组成, 其中摇蚊科 11 种, 占总种类数的 64.71%; 颤蚓科 6 种, 占总种类数的 35.29%. 春季检出 4 种, 常见种为前突摇蚊和霍甫水丝蚓; 夏季检出 9 种, 常见种为流水长跗摇蚊、小摇蚊和前突摇蚊; 秋季检出 5 种, 常见种为霍甫水丝蚓和奥特开水丝蚓; 冬季检出 8 种, 常见种为水丝蚓和管水蚓. 根据周年采样结果分析来看, 三道河水库底栖动物种类数呈现夏季>冬季>秋季>春季的趋势(表 1).

表 1 三道河水库底栖动物的种类组成

Tab.1 The species composition of Macrozoobenthos in Sandaohu Reservoir in different season

类群	种	春季	夏季	秋季	冬季
水生昆虫	异腹鳃摇蚊 <i>Einfeldia</i> sp.		+		
	小摇蚊 <i>Microchironomus</i> sp.		+		
	<i>Lipiniella</i> sp.		+		
	流水长跗摇蚊 <i>Rheotanytarsus</i> sp.		+		
	隐摇蚊 <i>Cryptochironomus</i> sp.		+		
	摇蚊 <i>Chironomus</i> sp.		+		
	雕翅摇蚊 <i>Glyptotendipes</i> sp.	+			
	侧摇蚊 <i>Parachironomus</i> sp.		+		
	多足摇蚊 <i>Polypedilum</i> sp.				+
	前突摇蚊 <i>Procladius</i> sp.	+	+	+	+
	德永摇蚊 <i>Tokunagayusurika</i> sp.			+	+
寡毛类	奥特开水丝蚓 <i>Limnodrilus udekemianus</i>	+		+	
	巨毛水丝蚓 <i>Limnodrilus grandisetosus</i>				+
	霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	+	+	+	+
	皮氏管水蚓 <i>Aulodrilus pigueti</i>			+	+
	多毛管水蚓 <i>Aulodrilus plurisetata</i>				+
	苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>				+
总计		4	9	5	8

3.2 现存量

三道河水库底栖动物主要由水生昆虫和寡毛类两大类群组成. 其中, 水生昆虫密度占 39.94%, 生物量占 36.59%; 寡毛类密度占 60.06%, 生物量占 63.41%. 寡毛类无论是密度还是生物量均占优势地位, 对底栖动物的现存量贡献最大.

三道河水库水生昆虫周年密度为 $152.00\pm 46.36\text{ind./m}^2$, 生物量为 $0.2180\pm 0.0823\text{g/m}^2$; 寡毛类的周年

密度为 $237.82 \pm 44.26 \text{ ind./m}^2$, 生物量为 $0.3897 \pm 0.0701 \text{ g/m}^2$. 总周年密度为 $366.42 \pm 102.93 \text{ ind./m}^2$, 生物量为 $0.5649 \pm 0.1779 \text{ g/m}^2$. 其中春季密度为 $562.67 \pm 181.18 \text{ ind./m}^2$, 生物量为 $0.9448 \pm 0.2728 \text{ g/m}^2$; 夏季密度为 $97.00 \pm 44.55 \text{ ind./m}^2$, 生物量为 0.0935 ± 0.0586 ; 秋季密度为 $321.33 \pm 81.57 \text{ ind./m}^2$, 生物量为 $0.5441 \pm 0.1135 \text{ g/m}^2$; 冬季密度为 $484.67 \pm 117.51 \text{ ind./m}^2$, 生物量为 $0.6773 \pm 0.1415 \text{ g/m}^2$ (表 2). 三道河水库底栖动物夏季现存量最低, 春季最高, 呈现春季 > 冬季 > 秋季 > 夏季的趋势 (表 2). 经单因素方差 (One-way ANOVA) 分析表明: 密度夏季与春季有显著差异 ($P < 0.05$), 而与秋、冬季无显著差异, 生物量夏季与春、冬季存在显著差异 ($P < 0.05$), 而与秋季无显著差异.

表 2 三道河水库底栖动物现存量*

Tab.2 The density and biomass of Macrozoobenthos in Sandaohe Reservoir

现存量 (Mean±SE)	春季	夏季	秋季	冬季	全年平均
密度(ind./m ²)	562.67±181.18 ^a	97.00±44.55 ^b	321.33 ±81.57 ^{ab}	484.67±117.51 ^{ab}	366.42±102.93
生物量(g/m ²)	0.9448 ±0.2728 ^a	0.0935±0.0586 ^b	0.5441 ±0.1135 ^{ab}	0.6773±0.1415 ^a	0.5649±0.1779

* 现存量的描述均采用 Mean±SE 的形式. 以上数据皆为 95%置信度下的区间估计, 字母不同表示在 $P < 0.05$ 下差异显著.

3.3 优势种

春季的优势种除站点 III 为霍甫水丝蚓外, 其余站点皆为前突摇蚊, 其中站点 V 的比例达 97.5%, 其他站点前突摇蚊占总密度的 50% 以上. 夏季各站点的优势种不尽相同, 站点 IV 的优势种为流水长跗摇蚊, 占总密度的 82.35%, 站点 II 的优势种为小摇蚊, 占总密度的 55%. 秋季除站点 II 的优势种为奥特开水丝蚓外, 其余站点的优势种皆为霍甫水丝蚓, 其中站点 III 和 IV 的比例达 100%. 冬季除站点 VI 优势种为前突摇蚊外, 其余皆为霍甫水丝蚓, 其中站点 III 霍甫水丝蚓密度百分比最高, 为 96.97%, 站点 I 次之, 为 90%, 站点 V 最低, 为 61.16% (表 3). 结合全年优势种的演替规律来看, 站点 III 全年的优势种均为霍甫水丝蚓, 站点 VI 除秋季优势种为霍甫水丝蚓外, 其余季节均为前突摇蚊, 并且秋、冬季水库的优势种为霍甫水丝蚓, 春季优势种为前突摇蚊, 夏季优势种各个站点存在差异. 从整体来看, 春季优势种为前突摇蚊, 夏季优势种为小摇蚊、流水长跗摇蚊和前突摇蚊, 秋冬季优势种为霍甫水丝蚓.

表 3 三道河水库底栖动物优势种分布*

Tab.3 The dominant species of Macrozoobenthos in Sandaohe Reservoir

采样点	I	II	III	IV	V	VI
春季 优势种	前突摇蚊	前突摇蚊	霍甫水丝蚓	前突摇蚊	前突摇蚊	前突摇蚊
密度(%)	75	61.91	100	65.85	97.5	56.47
夏季 优势种	-	小摇蚊	-	流水长跗摇蚊	前途摇蚊+流水长跗摇蚊	前突摇蚊
密度(%)	-	55	-	82.35	各 50	39.29
秋季 优势种	霍甫水丝蚓	奥特开水丝蚓	霍甫水丝蚓	霍甫水丝蚓	霍甫水丝蚓	霍甫水丝蚓
密度(%)	85.71	98	100	100	98.86	50
冬季 优势种	霍甫水丝蚓	霍甫水丝蚓	霍甫水丝蚓	霍甫水丝蚓	霍甫水丝蚓	前突摇蚊
密度(%)	90	87.5	96.97	66.22	61.16	48.25

* 夏季 I、III 站点由于水较深, 采样绳长度较短, 几次采样结果均为空.

3.4 时空变动

底栖动物群落结构随季节变化较为明显. 水生昆虫密度及生物量春季最高, 然后急剧下降, 秋季最低, 冬季略有回升; 而寡毛类密度及生物量呈现先急剧下降后急剧上升的趋势, 夏季最低, 冬季达到最高(图 2a). 空间变化呈现从坝前至库尾逐步递增的趋势(图 2b). 其中, 水生昆虫 III 站点的密度及生物量最低, V 站点的生物量最高, VI 站点的密度最高; 寡毛类 III 站点的密度最高, I 站点最低, 而生物量则是 VI 站点最高, I 站点最低.

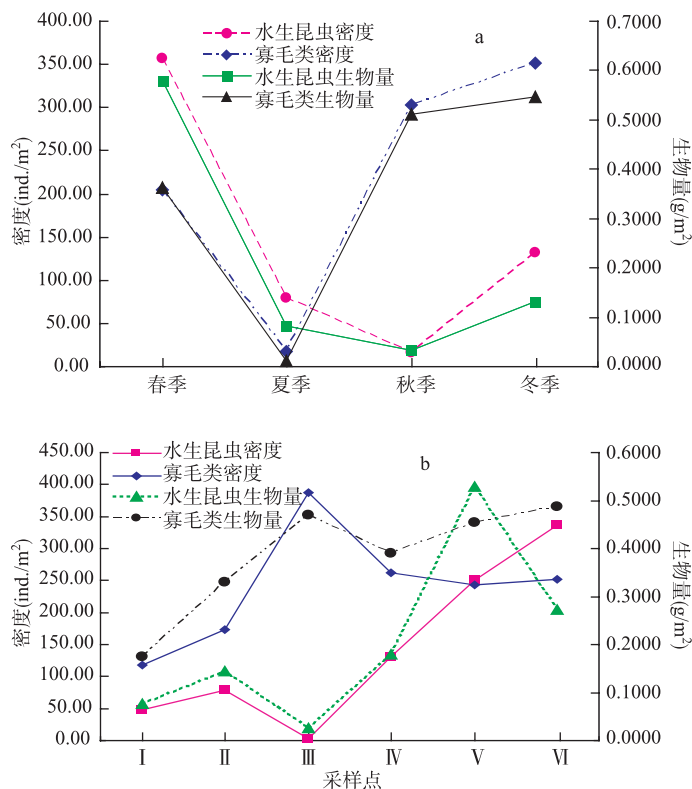


图 2 底栖动物现存量的季节变化趋势(a)和空间分布(b)

Fig.2 The density and biomass of Macrozoobenthos in different seasons(a) and sampling stations(b)

3.5 生物多样性指数

Shannon-Wiener 指数随季节变化明显, 秋季最低, 只有 0.2835, 而夏季最高, 为 1.0667, 其趋势为夏季>冬季>春季>秋季, 周年平均值为 0.6234; Margalef 丰富度指数的季节变化趋势与 Shannon-Wiener 指数趋于一致, 周年平均值为 0.6583; Pielou 均匀度指数夏季最高, 春季次之, 秋季最低, 只有 0.2542, 其趋势为夏季>春季>冬季>秋季, 周年平均值为 0.5315(图 3a). 从整体来看, 三道河水库底栖动物 Shannon-Wiener 指数、Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数均在夏季最高.

底栖动物的空间异质性较高, 表现在坝前与库尾生物多样性较高, 而库中较低(图 3b). 如 III 站点底栖动物周年 Shannon-Wiener 指数、Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数均较其他站点低, 该站点周年出现的种类均以霍甫水丝蚓为主, 而库尾 VI 站点除春季较低外, 其他季节均较其他站点要高, 其出现的种类数也较多.

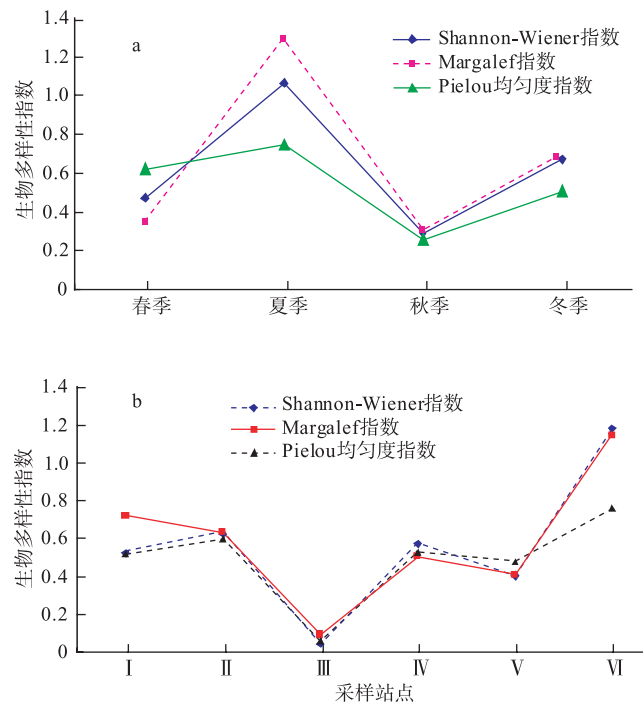


图3 底栖动物生物多样性指数随季节(a)和空间(b)变化趋势

Fig.3 The biodiversity indexes of Macrozoobenthos in different seasons(a) and sampling stations(b)

4 讨论

4.1 季节变化

底栖动物的种类数呈现夏季>冬季>秋季>春季的趋势, 密度和生物量呈现春季>冬季>秋季>夏季规律. 马徐发等^[9]对湖北观道河水库的周年调查表明底栖动物的密度呈现春季>冬季>秋季>夏季的规律, 生物量呈现春季>冬季>夏季>秋季的规律. 本文的调查结论与其较为接近. 前突摇蚊和霍甫水丝蚓在四次调查中均有出现, 管水蚓只在秋冬季出现. 这表明前突摇蚊和霍甫水丝蚓是三道河水库的常见种, 而管水蚓的出现具有季节性. 水生昆虫春季的现存量最高, 秋季最低, 这可能与摇蚊科幼虫夏秋季大量羽化有关. 郭先武^[10]研究武汉南湖摇蚊群落的种群变动规律时发现其数量高峰在春、冬两季, 而三道河水库摇蚊类幼虫的季节变动规律验证了这一点.

4.2 营养类型及水质评价

三道河水库底栖动物 Shannon-Wiener 指数和 Margalef 丰富度指数最高均不超过 2.0, 依据这两种指数的水质评价标准, 水库应属重污水库, 但周年常规水质检测则表明水库水质整体状况良好, 达到国家地表水 II 类水质标准^[3]. 因此, 用 Shannon-Wiener 指数和 Margalef 丰富度指数来评价三道河水库这类峡谷型深水水库的水质存在评价失准的问题. Wright 认为水底颤蚓类数量在 100ind./m² 以下时为无污染, 100-999ind./m² 时为轻度污染, 1000-5000ind./m² 时为中度污染, 5000ind./m² 以上时为重度污染^[11]. 三道河水库底栖动物周年密度只有 366.42±102.93ind./m², 同时 4 次调查表明寡毛类(颤蚓科)数量均 <1000ind./m²(图 2, 图 3). 依据 Wright 的分级标准, 三道河水库水质应属轻度污染. 这与常规水质监测结果相一致, 可认为依据以上标准判定水质类型较为科学合理. 按照 Carlander 分类, 水库底栖动物群落生物量 0.2-1.7g/m² 为贫营养型, 2.5-6.25g/m² 为中营养型, 10-25g/m² 为富营养型. 三道河水库夏季的生物量只有 0.0935±0.0586g/m², 春、秋、冬季的生物量在 0.5-1.5g/m² 之间变动, 周年生物量也只有

0.5649±0.1779g/m², 应属贫营养型水库。

Goodnight 和 Whitley 认为: 水体中寡毛类数量与底栖动物数量百分比小于 60 为水质良好, 比值在 60–80 之间为有机污染, 比值大于 80 为严重污染^[8], 三道河水库 Goodnight-Whitley 指数秋季最高, 为 90.89, 冬季次之, 为 79, 夏季最低, 为 2.72(表 4)。按照以上标准来评价水质, 则夏季水质最好, 秋季最差, 即夏季>春季>冬季>秋季。虽然周年 Goodnight-Whitley 指数为 52.77%, 根据该值可以认为三道河水库总体水质良好, 但这是加权平均的结果, 存在单季评价失准和不稳定的问题。如冬季水质为有机污染, 秋季为严重污染, 这与实际情况严重不符。作者认为秋、冬季寡毛类占优势地位, 由季节和水深因素所决定, 并不表明秋、冬季水库水质出现根本性的恶化。因此, Goodnight-Whitley 指数评价峡谷型深水水库并不适宜。

表 4 三道河水库底栖动物的 Goodnight-Whitley 生物指数(%)
Tab.4 Goodnight-Whitley biotic index percent of Macrozoobenthos in Sandaohe Reservoir

断面	春季	夏季	秋季	冬季
I	12.5	—	85.71	92.31
II	38.1	5	98	87.5
III	100	—	100	96.97
IV	34.15	5.88	100	85.14
V	2.5	0	98.86	62.81
VI	43.53	0	62.75	49.29
平均	38.46	2.72	90.89	79

应用 Shannon-Wiener 多样性指数和 Margalef 丰富度指数能有效地评价沉积物营养较为丰富的浅水性湖泊的水质现状, 但对于寡营养型的深水水库, 由于底栖动物类群单一, 种类数较少, 计算出来的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Margalef 丰富度指数偏低, 如果用这两项指数来评定水质状况, 那么就有可能得出错误的结论。马徐发等^[9]对湖北观道河水库(平均水深 10.3m)底栖动物的研究表明深水水库不宜采用 Shannon-Wiener 指数和 Margalef 指数等多样性指数来评价水质。对于深水性水库, 特别是峡谷性寡营养型深水水库, 作者认为 Shannon-Wiener 多样性指数和 Margalef 丰富度指数存在评价失准的问题, Goodnight-Whitley 生物指数存在评价结果不稳定, 受季节影响较大的现象, 建议用 Wright 指数来评价水质状况。

4.3 与其他类型水库的比较

三道河水库(平均水深 20m)与辽南碧流河水库(平均水深 13m)同属山谷性水库, 但碧流河水库自 1986 年建成运行三年后, 底栖动物生物量^[12]就达 1.62g/m², 2003 年^[13]调查显示生物量为 2.013g/m², 而三道河水库自 1966 年建成运行至今, 其底栖动物生物量只有 0.5649±0.1779g/m², 大大少于碧流河水库。这表明三道河水库水质清瘦, 外源性营养物进入少, 在底泥中沉积也少, 为典型的寡营养型水库。陈其羽等^[14]在研究武汉东湖底栖动物时指出, 底栖动物(主要是寡毛类和水生昆虫)的数量有随水深而递减的规律。三道河水库平均水深 20m, 自库尾至坝前底栖动物密度和生物量逐步递减(图 3), 说明水深能显著影响底栖动物的现存生物量, 同时也是其现存量偏低的重要原因。

与浮桥河水库相比, 三道河水库底栖动物类群较为单一, 主要由摇蚊幼虫和颤蚓类组成, 周年调查发现底栖动物 17 种。种类组成季节变化明显, 尤以夏季种类最为丰富, 秋春季种类相对较为贫瘠。而浮桥河水库^[15]为丘陵型浅水水库(平均水深 5.6m), 底栖动物类群丰富, 调查发现底栖动物 47 种, 由寡毛类、软体动物和水生昆虫组成, 种类组成季节变化不明显。这表明峡谷性深水水库底栖动物群落结构受季节影响较大, 而丘陵型浅水水库底栖动物群落结构受季节影响较小。同时, 软体动物在浮桥河水库的出现表明丘陵型水库较之山谷型水库可能更适宜软体动物的生长繁殖。

致谢: 感谢水利部中国科学院水工程生态研究所的胡莲及汪红军同志对野外工作的帮助。感谢湖北省襄

樊市水产局和南漳县三道河水库管理处的同志予以的大力支持与配合。

5 参考文献

- [1] 刘健康主编. 高级水生物学. 北京: 科学出版社, 1999: 241-259.
- [2] 王备新, 杨莲芳. 大型底栖无脊椎动物水质快速生物评价的研究进展. 南京农业大学学报, 2001, 24(4): 107-111.
- [3] 邹曦, 胡莲, 万成炎等. 三道河水库水质标识指数评价. 水生态学杂志, 2008, 1(1): 42-46.
- [4] John C Morse, Yang Lianfang, Tian Lixin. Aquatic insects of china useful for monitoring water quality. Hohai University Press, 1994, 5.1st Edition.
- [5] 王洪铸. 中国小蛭类研究——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.
- [6] Shannon CE, Wiener WJ. The mathematical theory of communication. University of Illinois, Urbana, 1949: 117.
- [7] Margalef DR. Information theory in ecology. *Gen Syst*, 1957, 3: 36-71.
- [8] Goodnight CJ, Whitley LS. Oligochaetes as indicators of pollution. Proceedings of 15th Annual Water Conference. Indiana: Purdue University, Lafayette, 1960, 160: 139-142.
- [9] 马徐发, 熊邦喜, 王明学等. 湖北道观河水库大型底栖动物的群落结构及物种多样性. 湖泊科学, 2004, 16(1): 49-54.
- [10] 郭先武. 武汉南湖三种摇蚊幼虫生物学特性及其种群变动的研究. 湖泊科学, 1995, 7(3): 249-255.
- [11] Wright S. Limnological survey of western Lake Erie. U.S. Fish and Wildlife Service, Special Scientific Report: Fisheries 1955, No.139.
- [12] 杜瑜, 闫洪山, 张艳萍. 碧流河水库底栖动物及其鱼产力的研究. 水利渔业, 2006, 26(3): 45-47.
- [13] 梁兆川, 杨书藏, 吴连秋等. 碧流河水库的底栖动物. 水产科学, 1993, 12(4): 6-8.
- [14] 陈其羽, 梁彦龄, 吴天惠. 武汉东湖底栖动物群落结构和形态的研究. 水生生物学集刊, 1980, 7(1): 41-56.
- [15] 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.