

57-62

# 丹江口水库的饵料生物资源 及水体营养状态评价

5963.2

韩德举 彭建华 简东 邹清 邬红娟

5964.6

(水利部 中国科学院 水库渔业研究所, 武汉 430073)

**摘要** 根据1992年12月至1993年9月的调查,丹江口水库的饵料生物资源量为 $1.845 \times 10^6$ t,其产鱼潜力为 $1.615 \times 10^4$ t,是现有鱼产量(包括捕捞产量和不投饵网箱产量)的5倍左右。就水体营养状态而言,汉江库区为中营养型,丹江库区属贫—中营养型。文中还对丹江口水库的渔业发展和水质保护进行了讨论。

**关键词** 饵料生物资源, 营养状态, 丹江口水库

, 水体, 鱼类

## 1 前言

丹江口水库是位于鄂、豫、陕三省交界处的一座具有多种功能的特大型水库。水库初期总库容为 $174.5 \times 10^8 \text{m}^3$ ,正常高水位157m时,蓄水面积 $7.47 \times 10^4 \text{hm}^2$ ,核定养鱼水面 $6.2 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。“V”型库貌使水库自然形成两大区域,汉江库区的洄水长度为176.9km,丹江库区的洄水长度为84km,但两库区的库容几乎相等。

丹江口水库自1968年建成以来,在防洪、发电、灌溉、航运、养殖等方面发挥了重要作用,随着后期工程的兴建和南水北调中线工程的逐步展开,将具有越来越重要的作用。作者于1992年12月至1993年9月对该水库的水生生物与水化学进行了调查研究,旨在为合理开发利用生物资源及水质保护提供科学依据,并为以后进一步的研究积累资料。

### 1.1 研究方法

根据水库的形态特征,均匀布设了13个采样点,其中汉江库区和丹江库区各6个,两江汇合处的坝前水域设1个<sup>[1]</sup>,分别于1992年12月和1993年3月、6月、9月进行采样调查,内容包括浮游生物、底栖生物及水体理化特征。所有项目均按《内陆水域渔业自然资源调查规范》所述的常规方法进行。数据处理时,先以每次13个点的数据为一组,然后4次平均。

### 1.2 水体理化特性

丹江口水库位于长江流域,水中离子总量非常接近于长江,主要离子含量的大小顺序也与长江相同<sup>[2]</sup>。从本次重点调查的几项理化指标(表1)看,水库的水质良好,按GB3838-88的标准分类,属II级。由于水库控制流域面积大,生态环境多样,各区域水质差别也较大,表现在丹江库区的水质明显优于汉江库区,丹江库区的水环境质量更接近于I级。

① 丹江口水库渔业规划组,丹江口水库渔业规划,1990。

收稿日期:1995-07-31;收到修改稿日期:1995-11-06。

作者简介:韩德举,男,1965年生,助理研究员,1987年毕业于武汉大学生物系,主要从事水利工程对环境的影响评价工作。

表 1 丹江口水库水质参数分析结果<sup>1)</sup>  
Tab. 1 Chemical features of Danjiangkou Reservoir

时间	水温(°C)	透明度(m)	pH	电导率(μs/cm)	溶解氧	有机物耗氧	总硬度(mmol/L)	总碱度(mmol/L)	无机氮	总氮	正磷酸盐	总磷
12月	8.8	2.23	8.11	702.3	9.41	1.21	2.54	2.48	0.112	0.78	0.019	0.051
3月	13.3	3.70	8.05	471.3	9.34	1.36	2.29	2.30	0.124	0.96	0.017	0.044
6月	26.2	1.70	8.09	538.3	8.85	1.48	2.37	2.26	0.135	0.85	0.010	0.035
9月	24.3	1.73	7.96	467.3	9.71	1.63	2.19	1.89	0.102	0.77	0.014	0.035
平均	18.2	2.34	8.05	544.8	9.33	1.42	2.35	2.23	0.118	0.84	0.015	0.042

1) 表中单位除 pH 及特别注明外,其余均为 mg/L.

## 2 饵料生物资源现状及评估

### 2.1 浮游植物

浮游藻类共 60 属,隶属于 7 个门,详见文献[1]。浮游植物年平均密度为  $4.26 \times 10^5 \text{ ind./L}$ ,范围在  $0.12 \times 10^5 - 31.2 \times 10^5 \text{ ind./L}$  之间,生物量年均值  $0.71 \text{ mg/L}$ ,范围  $0.02 - 7.05 \text{ mg/L}$ 。现存量随季节变化明显,其大小顺序为 9 月 > 6 月 > 12 月 > 3 月。

水库不同水域的现存量差异较大,汉江库区和丹江库区的藻类数量分别为  $5.46 \times 10^5 \text{ ind./L}$  和  $2.55 \times 10^5 \text{ ind./L}$ ,生物量分别为  $1.01 \text{ mg/L}$  和  $0.44 \text{ mg/L}$ ,汉江库区明显高于丹江库区。在现存量组成中,虽然都以硅藻占绝对优势,但其所占比例在两库区并不同,汉江库区、坝前水域、丹江库区的硅藻数量百分比分别为 87.90%、82.50%、77.67%,生物量百分比分别为 70.87%、58.80%、54.34%。与大多数河流型水库一样,丹江口水库上游硅藻所占比例较大,下游硅藻比例下降,蓝绿藻逐渐增多。

### 2.2 浮游动物

共采集到浮游动物 124 种,其中原生动物 37 种、轮虫 51 种、枝角类 17 种、桡足类 19 种。常见种有砂壳虫 *Diffugia* sp.、匣壳虫 *Centropyxis* sp.、似铃壳虫 *Tintinnopsis* sp.、刺胞虫 *Acanthocystis* sp.、狭盗虫 *Strobilidium* sp.、急游虫 *Strombidium* sp.、累枝虫 *Epistylis* sp.、针簇多枝轮虫 *Polyarthra trigla*、龟甲轮虫 *Keratella* sp.、臂尾轮虫 *Brachionus* sp.、胶鞘轮虫 *Collotheca* sp.、疣毛轮虫 *Synchaeta* sp.; 螺形龟甲轮虫 *Keratella cochlearis*、筒弧象鼻溞 *Bosmina coregoni*、广布中剑水蚤 *Mesocyclops leuckarti* 等。有些种类在一段时间也表现为优势种,如角突臂尾轮虫 *Brachionus angularis*(6 月)、矩形龟甲轮虫 *Keratella quadrata*(3 月)、泡轮虫 *Pompholyx* sp.(9 月)、疣毛轮虫(3 月和 9 月)、透明溞 *Daphnia hyalina* 和汤匙华哲水蚤 *Simocalanus mystrophorus*(12 月、3 月和 6 月)、环状许水蚤 *Schmackeria forbesi*(9 月)等。

浮游动物的数量范围  $330 - 26940.4 \text{ ind./L}$ ,年均值  $4782 \text{ ind./L}$ ;生物量范围  $0.1008 - 4.9063 \text{ mg/L}$ ,年均值  $0.84 \text{ mg/L}$ 。其中原生动物、轮虫、枝角类和桡足类的数量分别为  $4540.3$ 、 $210.6$ 、 $6.6$  和  $24.4 \text{ ind./L}$ ,生物量分别为  $0.1362$ 、 $0.0716$ 、 $0.4504$  和  $0.1807 \text{ mg/L}$ 。浮游动物总的数量大小顺序为 9 月 > 3 月 > 6 月 > 12 月。

生物量大小顺序为 6 月 > 9 月 > 3 月 > 12 月,而对于每一类,情况则各不相同(表 2)。在现存量组成中,原生动物数量左右着整个浮游动物数量的变化,生物量除了 9 月份外,其他时间均以枝角类为主。从地区分布上看,汉江库区的浮游动物数量和生物量为  $5470 \text{ ind./L}$  和  $0.587 \text{ mg/L}$ ,丹江库区为  $3574.6 \text{ ind./L}$  和  $0.939 \text{ mg/L}$ 。汉江库区浮游动物数量高,主要是由

于原生动物数量(5 175 ind./L)明显高于丹江库区(3 425 ind./L);而丹江库区浮游动物生物量较高则主要是由丹江库区枝角类和桡足类的生物量(0.973 8mg/L)大大地高于汉江库区(0.336 6 mg/L)所致。

表 2 丹江口水库浮游动物现存量 单位:  $\frac{\text{范围/均值}}{\text{范围/均值}} \times 10^4 \text{ ind./L}$   
mg/L

Tab.2. Standing crops of zooplankton in Danjiangkou Reservoir

时间	原生动物	轮虫	枝角类	桡足类	总数
12月	$\frac{300-3300/2023}{0.009-0.099/0.0609}$	$\frac{0.5-3.5/1.2}{0.001-0.0012/0.0004}$	$\frac{0.2-7.8/2.8}{0.0023-0.8452/0.2022}$	$\frac{1.8-49.3/18.3}{0.0078-0.3396/0.1382}$	$\frac{330-3330.1/2053.1}{0.1008-1.0514/0.4017}$
3月	$\frac{1245-5400/3361.2}{0.0374-0.162/0.1008}$	$\frac{1-480/52.2}{0.0003-0.1633/0.0178}$	$\frac{0.4-32.7/5.8}{0.0053-2.8171/0.4903}$	$\frac{0.6-35.5/7.1}{0.0018-0.2090/0.0354}$	$\frac{1255.4-5416.9/3426.3}{0.1155-3.3243/0.6473}$
6月	$\frac{200-6800/2984.6}{0.027-0.207/0.0895}$	$\frac{15-930/192.7}{0.0051-0.3162/0.0655}$	$\frac{1.3-43.6/12.4}{0.0067-4.3555/1.0283}$	$\frac{3.4-80.5/27.9}{0.0578-0.5292/0.2169}$	$\frac{970.9-7551.4/3217.6}{0.2461-4.9063/1.4002}$
9月	$\frac{900-24900/9784.6}{0.027-0.747/0.2935}$	$\frac{30-1980/596.3}{0.0102-0.6732/0.2027}$	$\frac{1.1-15.4/5.3}{0.0104-0.1797/0.0808}$	$\frac{1.5-104.5/44.3}{0.0044-1.0079/0.3293}$	$\frac{932.6-26940.4/19430.5}{0.052-1.8337/0.9063}$

### 2.3 底栖生物

采集底栖生物 35 种,其中寡毛类 5 种、水生昆虫 8 种、软体动物 18 种、甲壳动物 4 种。常见种有苏氏尾鳃蚓 *Branchiura sowerbyi*、颤蚓 *Tubifex* sp.、霍甫水丝蚓 *Limnodrilus hoffmeisteri*、河蚬 *Corbicula fluminea*、闪蚬 *Corbicula nitens*、梨形环棱螺 *Bellamyia punificata*、方格短沟蜷 *Semisulcospira cancellata*、淡水壳菜 *Limnoperna lacustris*、直突摇蚊 *Orthocladius* sp.、大红摇蚊 *Chaoborus* sp. 等。主要的优势种如颤蚓、水丝蚓、河蚬、闪蚬、梨形环棱螺等季节变化不明显,而摇蚊幼虫如直突摇蚊、大红摇蚊虽然在夏秋季很少出现,但在冬春季也能成为优势种。

丹江口水库底栖生物平均密度为 185 ind./m<sup>2</sup>、变动范围 12—371 ind./L;平均生物量 162.6g/m<sup>2</sup>、变动范围 0.982—415.233g/m<sup>2</sup>。现存量大小顺序为 9月>6月>3月>12月(表 3)。在现存量组成中,无论是数量还是生物量,均以软体动物占绝对优势。水库不同水域的底栖生物现存量差异明显,丹江库区的底栖生物数量和生物量分别为 257 ind./L 和 274.4g/m<sup>2</sup>,汉江库区分别为 104 ind./L 和 24.3g/m<sup>2</sup>。由于汉江两岸多为岩石,丹江两岸为现代沉积层,所以丹江库区的底质多为泥土,而汉江库区的底质以砂石为主,且汉江水体具有一定的流速,丹江水体类似于湖泊,正是底质及水环境上的这种差异,造成了两库区底栖生物的不同。

表 3 丹江口水库底栖生物现存量 单位:  $\frac{\text{范围/均值}}{\text{范围/均值}} \text{ ind./m}^2$   
g/m<sup>2</sup>

Tab.3 Standing crops of benthos in Danjiangkou Reservoir

时间	环节动物	软体动物	水生昆虫	其他	总数
12月	$\frac{0-25/8}{0-0205/0.012}$	$\frac{5-112/65}{0.867-75.23/45.162}$	$\frac{0-31/12}{0-2.36/0.434}$		$\frac{12-126/85}{0.982-75.64/45.608}$
3月	$\frac{1-30/15}{0.004-0.216/0.016}$	$\frac{12-150/86}{2.342-162.407/112.363}$	$\frac{2-34/14}{0.0171-2.032/0.760}$		$\frac{15-176/115}{2.382-163.354/113.139}$
6月	$\frac{4-56/24}{0.008-0.345/0.062}$	$\frac{20-256/192}{12.384-235.431/186.451}$	$\frac{1-44/24}{0.051-10.346/0.047}$		$\frac{25-254/240}{13.051-237.46/187.56}$
9月	$\frac{8-64/30}{0.012-1.063/0.085}$	$\frac{46-352/340}{60.21-413.251/302.424}$	$\frac{4-47/28}{0.086-5.361/1.224}$	$\frac{0-10/1}{0-4.776/0.356}$	$\frac{54-371/299}{61.135-415.233/304.039}$

### 2.4 饵料生物资源量评估

由于丹江口水库水生高等植物极少,初级生产者主要是浮游藻类。在用黑白瓶法测定浮

游植物初级生产力时,以透明度值确定采样及挂瓶层次.实测数据表明,丹江口水库初级生产量主要分布在4倍透明度以上,约占总产量的96%,最大生产层出现在1/2透明度上下,这与武汉东湖的情况<sup>[3]</sup>及有关资料<sup>[4]</sup>是一致的.两大库区由于藻类现存量及其他因素不同,初级生产力有一定差别.汉江库区为 $2.93\text{gO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,丹江库区为 $2.01\text{gO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ .若排除其他生物因呼吸作用消耗的氧量,浮游植物净产量:毛产量=0.8:1.1 $\text{mgO}_2=6.1\text{mg}$ 浮游植物鲜重<sup>[1]</sup>,则在鱼类生长期内(约200d),浮游植物总的生产量为 $1.50 \times 10^6\text{t}$ ,其中汉江库区 $0.89 \times 10^6\text{t}$ ,丹江库区 $0.61 \times 10^6\text{t}$ .

在丹江库区浮游动物现存量中,枝角类和桡足类生物量占总量的84.4%,而汉江库区枝角类和桡足类生物量只占浮游动物总量的57.3%,故两库区浮游动物的P/B系数不同.如果丹江库区的P/B系数取25,汉江库区取40,水深20m,那么丹江口水库浮游动物的生产量为 $3.0 \times 10^3\text{t}$ ,其中丹江库区和汉江库区各占一半.

丹江口水库是一个深水水库,最深达65m.考虑到随水深的增加底栖生物会越来越稀少以及采样条件的限制,底栖生物的采集均限制在15m以内.因此,在估算底栖生物资源量时,以这一深度范围内的面积(约 $2 \times 10^4\text{hm}^2$ )为准.水库底栖生物以软体动物为主,若每年净增生产力以50%计,则总生产量为 $4.48 \times 10^4\text{t}$ ,其中丹江库区 $0.36 \times 10^4\text{t}$ ,汉江库区 $4.12 \times 10^4\text{t}$ .

### 3 水体营养状态评价

丹江口水库客观上存在两大库区,除了汛期存在汉江库区向丹江库区“倒灌”现象,其他时间两库区互不影响.汉江库区迳水长度长,来水量大,沿途汇入的河流众多,两岸为岩石构造,植被稀少;丹江库区的迳水长度不到汉江库区的一半,但丹江库区水面开阔,静水面积大,仅香化一处水面就达 $271\text{km}^2$ ,库区两岸为现代沉积层,但植物覆盖率也很低.两库区不仅生态环境差异较大,沿途人类生产活动的影响程度也不同,丹江库区两岸人口密度低,厂矿企业少,所受影响明显低于汉江库区.而且从前面的饵料生物现状看,两库区也存在较大差异;因此,在对水体营养状态进行评价时,需将丹江口水库分为丹江库区和汉江库区两部分来进行评价.

表4所列项目为决定水体营养水平的几项主要指标<sup>[5,6]</sup>.以主要的生物营养元素氮、磷的含量看,两库区总氮含量已达到中-富营养水平,总磷含量处于中营养阶段.总氮与总磷之比丹江库区为32.8:1,汉江库区为23.2:1,磷为水体营养状态进一步发展的限制性因子.从生物指标看,初级生产者具有较强的生产能力,按其大小,水库水质应为中营养型,但根据藻类现存量划分应为贫-中营养或贫营养,这主要是由丹江口水库的水文特点决定的.丹江口水库位于汉江上游之末,上游来水量大且比较集中,9月以前的全流域性洪水以及9—10月来自上游的秋季洪水,造成水库多为连续洪峰,历时长,洪量大,且洪水期正好是藻类生长最旺盛的季节.而丹江口水库的首要任务是防洪,汛期开闸泄洪使得水库水交换量很大,浮游植物尚未充分增长即被排出.所以尽管营养条件较好,也具有一定的初级生产能力,但由于不能在水库累积增殖,藻类现存量的增加受到限制.丹江库区水体交换虽然小于汉江库区,但同时也减少了氮、磷的输入,其含量明显低于汉江库区,尤其是敞水区活性磷含量极低,使得浮游植物量难以进一步提高.鉴于丹江口水库的这种特点,在具体划分营养类型时,浮游植物现存量应作为首要依据,营养盐和有机质浓度等也是重要的指标.

汉江库区的浮游植物平均生物量为 $1.01\text{mg/L}$ ,最高时达 $2.836\text{mg/L}$ ,结合其他指标综合

表 1 丹江口水库的营养现状及其与有关资料的比较

Tab. 4 The trophic level of Danjiangkou Reservoir and its comparison with the relative data

项 目	贫营养	贫-中营养	中营养	中-富营养	富营养	丹江库区	汉江库区
总氮(mg/L)	0.03	0.05	0.3	0.5	2	0.59	0.72
无机氮(mg/L)		<0.2	0.2-0.65	>0.65		0.0658	0.191
总磷(mg/L)	0.0025	0.005	0.025	0.05	0.2	0.018	0.031
活性磷(mg/L)		<0.02	0.02-0.05	>0.05		0.0092	0.015
有机耗氧量(mg/L)	1		1-7		7	1.38	1.48
透明度(m)	10	5	1.5	1	0.4	2.9	1.5
初级生产力 <sup>1)</sup>	1		1-3		3	2.01	2.93
浮游植物量(mg/L)	1		1-5		5	0.44	1.01
浮游植物优势种	金藻	隐藻	硅藻 甲藻	硅藻	蓝藻 绿藻	硅藻占 54.35%	硅藻占 70.87%
浮游动物量(mg/L)	1		1-3		3	0.94	0.587
浮游动物优势种	甲壳类 为主				轮虫 增多	甲壳类 占 84.4%	甲壳类 只占 57.3%

1) 单位  $gO_2/(m^3 \cdot d)$ .

考虑,水体属中营养型.丹江库区浮游植物平均生物量只有  $0.44mg/L$ ,但最高时也能达到  $1.37mg/L$ ,除了总氮外,其他指标均在中营养以下,因此将该库区的水质划分为贫-中营养型是适宜的.

## 4 讨论

### 4.1 产鱼潜力

关于鱼产力的估算,历来看法不一,表现在所选参数上差距较大.丹江口水库是一座特大型水库,水深浪大,自然条件变化剧烈,因此在估算鱼产力时,各项参数不宜过高.按保守估计<sup>[7,8]</sup>,饵料生物资源利用率为 20%,鱼类摄食浮游植物、浮游动物、底栖生物时的饵料系数分别为 30、10、60,则 3 项饵料生物资源所能提供的鱼产量为  $1.0 \times 10^4 t$ 、 $0.6 \times 10^4 t$  和  $0.015 \times 10^4 t$ ,共计  $1.615 \times 10^4 t$ .这里所说的鱼产力并不是指饵料生物资源全部的产鱼潜力,事实上丹江口水库饵料生物资源量是十分巨大的,仅浮游植物、浮游动物、底栖生物 3 项就可达  $1.845 \times 10^6 t$  以上,水体中细菌及有机碎屑等也可作为鱼类的饵料,提供一部分鱼产力.因此,丹江口水库饵料生物理论上所具有的产鱼潜力应远远高于  $1.615 \times 10^4 t$ .

### 4.2 渔业资源开发

丹江口水库利用天然饵料获得的鱼产量(包括捕捞产量和不投饵网箱产量)在  $3 \times 10^6 kg$  左右.按最低估计,水库饵料生物资源的鱼产力也比现有鱼产量高出 5 倍.如果措施得当,完全有可能大幅度提高鱼产量.从资源利用的角度出发,可以认为在丹江口水库应大力发展水库渔业,充分利用饵料生物资源和水体空间,发挥水体产鱼潜力.首先,要加强天然鱼类资源的保护,条件许可时应延长禁捕期,使经济鱼类不仅在繁殖期得到保护,在生长季节也能充分利用饵料生物资源.其次,要合理放养与捕捞,目前鱼产量不高的一个重要原因就是放养量明显不足,适当增加放养量、合理搭配放养比例、改进捕捞技术等都是提高鱼产量行之有效的办法.不

投饵网箱养鱼也是利用天然饵料发展水库渔业的途径之一。

#### 4.3 水质保护

南水北调中线工程建成以后,对丹江口水库水质的要求很高,水质保护将越来越重要。水库目前的水质较好,尤其是作为供水水源的丹江库区相当清洁。但是随着水库大坝的加高,水位上升,静水面积扩大,以及水库沿岸人类活动的加剧,将可能提高水体的营养状态,有利于渔业发展但会影响水库水质。根据水库的特点,建议采取发展与保护并重的原则。由于两大库区基本上互不影响,汉江库区营养水平较高,应大力发展水库渔业;丹江库区因承担供水任务,应加强水质保护。为了保证供水水质,应严格控制丹江库区两岸氮、磷等营养物质的输入,防止富营养化,严禁有毒物质的流入,以免水质污染。只有如此,才能发挥水库的综合效益。

#### 参 考 文 献

- 1 邬红娟等. 丹江口水库浮游植物及其演变. 湖泊科学, 1996, 8(1): 43—50
- 2 彭建华. 丹江口水库的浮游甲壳动物. 湖泊科学, 1995, 7(3): 240—248
- 3 王 颢, 沈国华. 武汉东湖浮游植物的初级生产力及其与若干生态因素的关系. 水生生物学集刊, 1981, 7(3): 295—310
- 4 Steemann Nielsen E. On organic production in the oceans. *J Cons Inst Explor Mer*, 1954, 19(3): 309—328
- 5 舒金华. 我国主要湖泊富营养化程度的评价. 海洋与湖沼, 1993, 24(6): 616—620
- 6 柯志辉. 中国湖泊和水库的营养分类. 大连水产学院学报, 1987, (1): 1—10
- 7 胡传林, 黄祥飞. 保安湖渔业生产和渔业开发技术文集. 北京: 科学出版社, 1991. 49—112
- 8 柯志辉. 湖泊水库鱼产力的估算. 水产科技情报, 1982, (4): 2—5

## THE ASSESSMENT OF FOOD ORGANISM RESOURCES AND TROPHIC STATES OF DANJIANGKOU RESERVOIR

Han Deju Pen Jianhua Jian Dong Zhou Qin Wu Hongjuan

(Institute of Reservoir Fisheries, Ministry of Water Resources & CAS, Wuhua 430073)

#### Abstract

A survey of food organism is made in Danjiangkou Reservoir which consists of Danjiang Reservoir Region and Hanjiang Reservoir Region during December 1992 and September 1993. The results show that the production of phytoplankton, zooplankton and benthos was  $1.5 \times 10^6$ t,  $3.0 \times 10^5$ t and  $4.48 \times 10^4$ t respectively, a total of  $1.845 \times 10^6$ t; the potential fishery production reached  $1 \times 10^4$ t,  $0.6 \times 10^4$ t and  $0.015 \times 10^4$ t separately, amounting up to  $1.615 \times 10^4$ t. Based on the standing crops of phytoplankton and bio-nutrients, the trophic type of Danjiang Reservoir region could be regarded as oligomesotrophic and that of Hanjiang Reservoir region to mesotrophic. The fishery development and water quality protection in Danjiangkou Reservoir were also discussed.

**Key Words** Food organism resources, trophic state, Danjiangkou Reservoir