J. Lake Sci.(湖泊科学),2010,**22**(2):300-306
http://www.jlakes.org. E-mail:jlakes@niglas.ac.cn

湖北浮桥河水库悬浮物的季节变化*

常秀岭[1],刘家寿[2**],胡传林[1],彭建华[1],俞伏虎[1]
(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,武汉 430072)

摘　要:1998－1999 年按季度对湖北浮桥河水库悬浮物进行采样和分析. 浮桥河水库悬浮物现存量干重平均为 9.991mg/L,有机碎屑是水库悬浮物的主要组成部分,占 93.22%,浮游生物仅占 6.78%. 悬浮物的无灰重为 3.45mg/L,其中有机碎屑无灰重的比例占 85.54%,浮游生物无灰重占 14.46%. 悬浮物碳为 1.539mg/L,其中有机碎屑碳占 81.46%,浮游生物碳占 18.54%. 浮桥河水库悬浮物氮、磷含量分别为 0.257mg/L 和 0.0143mg/L,其中有机碎屑氮、磷分别为 0.200mg/L和 0.0072mg/L;浮游生物氮、磷分别为 0.057mg/L 和 0.0071mg/L. 悬浮物可作为判断水库营养类型的指标,同时也可用来估算水库滤食性鱼类的鱼产潜力.
关键词:浮桥河水库;悬浮物;有机碎屑;鱼产潜力

Seasonal variation of suspended solids in Fuqiaohe Reservoir, Hubei

CHANG Xiuling[1], LIU Jiashou[2], HU Chuanlin[1], PENG Jianhua[1] & YU Fuhu[1]
(1:*Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Wuhan* 430079, *P. R. China*)
(2:*Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan* 430072, *P. R. China*)

Abstract: The suspended solids in Fuqiaohe Reservoir, Hubei Province were seasonally sampled and analyzed from 1998 to 1999. The mean amount of total suspended solids (TSS) in dry weight was 9.991mg/L, among which 93.22% was contributed by organic detritus and 6.78% by plankton. The no-ash weight in suspended solids was 3.45mg/L, among which 85.54% was contributed by organic detritus and 14.46% by plankton. The contents of nitrogen and phosphorus in suspended solids of Fuqiaohe Reservoir were 0.257mg/L and 0.0143mg/L, respectively, among which the contents of nitrogen and phosphorus were 0.200mg/L and 0.0072mg/L in organic detritus, respectively, and 0.057mg/L and 0.0071mg/L in plankton, respectively. TSS could be used as an indicator determining trophic states of reservoirs and could also be used to predict production potentials of planktivorous fishes.
Keywords: Fuqiaohe Reservoir; suspended solids; organic detritus; fish production potentials

水体悬浮物是悬浮于水体中的浮游生物和无生命颗粒物的总称. 无生命颗粒物主要是颗粒有机碎屑. 随着对水体生态系统中物质循环和能量流动的深入研究,有机碎屑在水生态系统中的作用逐渐被认同. 研究表明,水体中悬浮物及悬浮物中无灰重与灰重之比与水体中的总磷含量呈正相关,因而成为判断水体营养水平的重要指标[1]. 有关水体悬浮物对鱼类和其它水生生物影响的研究在过去 50 年中也得到加强[2]. 许多研究结果肯定了水体悬浮物中颗粒有机碎屑作为食物源对滤食性鱼类的作用[3-5];碎屑食性的鲴亚科鱼类在大型水体中的移植获得成功[6],使得人们认同了有机碎屑对渔产量的贡献;而且有机碎屑是杂食性鱼类和大型浮游动物食物的主要成分[7]. 因此在湖沼学和水体渔业生态学研究中,除了对浮游生物的研究外,还应对生态系统中其它悬浮物的数量、来源、结构、功能、转化等予以足够的重视. 北美地区对水库悬浮物及其与环境的关系作了系统的研究[1],但我国在这面只有一些零星的报道[8].

浮桥河水库位于湖北省麻城市,地处亚热带季风气候区,总库容 $5.39\times10^8 m^3$,集雨区面积 $381km^2$,养

* 国家"九五"科技攻关项目(96-008-02-04)资助. 2009－10－30 收稿;2009－12－10 收修改稿. 常秀岭,男,1964 年生,副研究员;E-mail:chxiuling@163.com.
** 通讯作者;E-mail:jsliu@ihb.ac.cn.

鱼水面1477hm^2,平均水深5.6m. 库区年平均气温16.5℃,多年平均降雨量1161.5mm. 浮桥河水库的养殖方式是以鲢鳙放养为主,网箱养殖种类为鳙及少量的鲢、鳜、鲤、鲫、鲟等;网箱主要集中在中、上游. 作者于1998－1999年按季度对浮桥河水库开展生态环境的综合调查,除按常规进行浮游生物研究外,还专门对悬浮物进行了研究,以期全面了解悬浮物现状和有机碎屑在水库渔业生态系统中的作用,为准确评价浮桥河水库渔业资源现状和持续利用水库渔业资源提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 采样时间及布点

1998年7月、10月和1999年1月、4月共采样四批,分别代表夏、秋、冬、春季. 依库形和环境特点,共布设采样站3个,上、中、下游各设一站.

1.2 样品的采集和测定

浮游植物和浮游动物定性和定量样品的采集及分析采用标准方法[7]. 悬浮物样品分别以采水器采集水柱混合样,酸化处理. 悬浮物的定量用已知重量的玻璃纤维滤膜(Whatman GF/C)抽滤一定体积水样,然后于60－80℃将滤膜及其截留物烘至恒重,两者重量差即为悬浮物干重. 用马弗炉将滤膜及其截留物在550℃煅烧2h,得出悬浮物的灰分和无灰重. 用孔径为0.45μm的硝化纤维滤膜分别抽滤处理后的各站水样,将截留物烘至恒重,用PE-2400元素分析仪测定悬浮物的氮含量,用酸式比色法测定悬浮物的磷含量.

浮游生物的干湿比取0.2,有机碳含量取干重的40%,氮含量取干重的8%,磷含量取干重的1%[2];藻类有机含量约为70%[6],将浮游生物按7∶3分成有机质和无机质(无灰重和灰重);悬浮物碳含量为15.4%[6]. 根据以上结果计算悬浮物干重、悬浮物无灰重、悬浮物碳重、悬浮物氮重和悬浮物磷重.

2 结果与分析

2.1 悬浮物的现存量及组成

浮桥河水库的悬浮物年均总量(干重)为9.991mg/L,其组成中有机碎屑的比例达到93.22%,浮游生物仅占6.78%(表1). 悬浮物中有机碎屑的比例中、下游较高,上游较低,说明浮游生物在悬浮物中的作用上游较中、下游大;悬浮物中有机碎屑的比例秋季最高,春、夏季居中,冬季最低,说明浮游生物的作用冬季大,春、夏季较小,秋季最小.

表1 浮桥河水库悬浮物总量及组成

Tab.1 Amount and composition of suspended solids in Fuqiaohe Reservoir

时空变化		悬浮物(mg/L)	有机碎屑(mg/L)	浮游生物(mg/L)	有机碎屑/悬浮物(%)	浮游生物/悬浮物(%)
不同季节	夏季	7.361	6.890	0.470	94.14	5.86
	秋季	10.089	9.731	0.359	96.42	3.58
	冬季	7.184	6.008	1.176	83.11	16.89
	春季	15.331	14.483	0.848	94.70	5.30
	平均数±SD	9.991±3.800	9.278±3.816	0.713±0.373	92.09±6.066	7.91±6.066
不同区域	上游	11.908	10.603	1.306	89.04	10.96
	中游	10.456	10.016	0.439	95.80	4.20
	下游	7.610	7.216	0.395	94.81	5.19
	平均数±SD	9.991±2.186	9.278±1.810	0.713±0.514	93.22±3.651	6.78±3.651

2.2 悬浮物的时空变化

2.2.1 悬浮物的季节变化　浮桥河水库悬浮物的季节变化(表1)表明,春季悬浮物总量最高,为15.33mg/L;秋季次之,为10.09mg/L;夏、冬季最低,分别为7.36mg/L和7.18mg/L. 有机碎屑的季节变化与悬浮物一致;浮游生物的季节变化为冬季最高,春季稍低,夏季更低,秋季最低. 各站悬浮物的季节变化稍有不同. 上游表现为春季最高,秋季次之,夏季较低,冬季最低;中游与全库季节变化一致;下游表现为春季最高,秋、冬季次

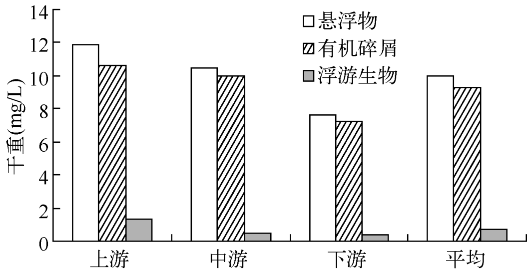

图 1 浮桥河水库悬浮物的水平分布

Fig. 1 Horizontal distribution of suspended solids in Fuqiaohe Reservoir

之,夏季最低. 全年悬浮物最高值出现在春季. 冬季悬浮物组成中浮游生物的比例最高,其它季节无显著性差异.

2.2.2 悬浮物的水平分布　浮桥河水库悬浮物的水平分布(图 1)表明,全年平均上游最高,中游次之,下游最低. 春季、秋季、夏季的水平分布与全年相同;冬季则表现为中游最高,上、下游较低. 全库最大值出现在上游,下游各季度均最低. 悬浮物组成中上游浮游生物比例最高. 有机碎屑现存量与悬浮物的时空变化春、夏、秋季一致. 冬季浮游生物与悬浮物的时空变化一致.

2.3 悬浮物的营养结构

2.3.1 悬浮物的无灰重　浮桥河水库悬浮物的无灰重为 3.45mg/L,其中有机碎屑无灰重的比例占 85.54% ,浮游生物无灰重占 14.46% . 与悬浮物干重相比,有机碎屑的组成下降了 7.68% . 水库悬浮物无灰重的水平变化与悬浮物现存量的变化一致,上、中、下游依次降低(图 2). 有机碎屑无灰重的水平变化与悬浮物无灰重相同,但无灰重组成中有机碎屑的比例却是上游最低,下游次之,中游最高,即无灰重组成中浮游生物的比例上游最大,其次是下游,中游最小.

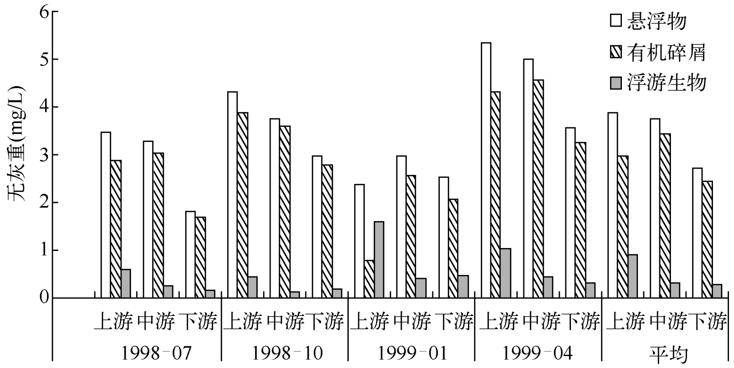

图 2 浮桥河水库悬浮物无灰重的水平分布

Fig. 2 Horizontal distribution of no-ash weight of suspended solids in Fuqiaohe Reservoir

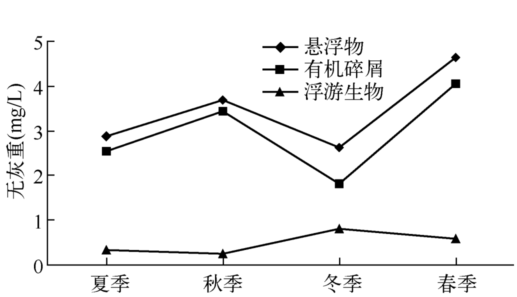

图 3 浮桥河水悬浮物无灰重的季节变化

Fig. 3 Seasonal changes of the no-ash weight of suspended solids in Fuqiaohe Reservoir

悬浮物无灰重的季节变化(图 3)与悬浮物干重的季节变化相同,为春季最高,秋季第二,夏季第三,冬季最低. 春、夏、秋季均为上游最高,下游最低;冬季为中游最高,上游最低.

2.3.2 悬浮物有机碳含量　浮桥河水库悬浮物碳含量(表 2)表明,全库悬浮物碳为 1.539mg/L,其中有机碎屑碳占 81.46% ,浮游生物碳占 18.54% . 各站点有机碎屑碳的比例中游最高,达 89.09% ;下游占 86.53% ;上游最低,占 71.52% . 悬浮物碳的时空变化趋势仍和悬浮物干重一致. 有机碎屑碳所占比例秋季最高,冬季最低,春、夏季无显著性差异. 浮游生物碳所占比例上游最高,中游最低.

表 2 浮桥河水库悬浮物有机碳及组成

Tab. 2 Organic carbon contents and its composition in the suspended solids in Fuqiaohe Reservoir

时空变化		悬浮物（mg/L）	悬浮物碳（mg/L）	有机碎屑碳（mg/L）	浮游生物碳（mg/L）	有机碎屑碳/悬浮物碳（%）	浮游生物碳/悬浮物碳（%）
不同季节	夏季	7.361	1.134	0.945	0.188	83.41	16.59
	秋季	10.089	1.554	1.410	0.143	90.76	9.24
	冬季	7.184	1.106	0.636	0.470	57.50	42.50
	春季	15.331	2.361	2.022	0.339	85.63	14.37
	平均数±SD	9.991±3.291	1.539±0.419	1.253±0.463	0.285±0.120	79.33±10.912	20.68±10.912
不同区域	上游	11.908	1.834	1.312	0.522	71.52	28.48
	中游	10.456	1.610	1.434	0.176	89.09	10.91
	下游	7.610	1.172	1.014	0.158	86.53	13.47
	平均数±SD	9.991±2.186	1.539±0.337	1.253±0.216	0.285±0.205	81.46±9.492	18.54±9.492

2.3.3 悬浮物的氮、磷含量　浮桥河水库悬浮物氮、磷含量分别为0.257mg/L和0.0143mg/L(表3). 其中有机碎屑氮、磷分别为0.200mg/L和0.0072mg/L;浮游生物氮、磷分别为0.057mg/L和0.0071mg/L. 悬浮物的有机碎屑氮、磷所占比例分别较碳低3.70%和31.16%. 悬浮物氮、磷的水平分布相同,均为上游最高,中游次之,下游最低. 悬浮物氮的季节分布春、秋季较高,冬、夏季较低. 有机碎屑氮所占比例秋季最高,夏季较高,春季较低,冬季最低. 悬浮物磷的季节变化春季最高,达0.0340mg/L,远超过其它季节;夏季次之,为0.0094mg/L;冬季较低,为0.0078mg/L;秋季最低,为0.0063mg/L. 悬浮物磷的组成中,除春季外,浮游生物磷均占优势,特别是冬季,浮游生物磷占绝对优势. 从时空看悬浮物磷的最高值出现在上游和春季.

表 3 浮桥河水库悬浮物氮、磷含量

Tab. 3 Nitrogen and phosphorus contents of suspended solids in Fuqiaohe Reservoir

时空变化		悬浮物氮	悬浮物磷	有机碎屑氮	有机碎屑磷	浮游生物氮	浮游生物磷
不同季节	夏季	0.214	0.0094	0.177	0.0046	0.038	0.0047
	秋季	0.295	0.0063	0.266	0.0027	0.029	0.0036
	冬季	0.229	0.0078	0.135	0.0010	0.094	0.0118
	春季	0.289	0.0340	0.221	0.0255	0.068	0.0085
	平均数±SD	0.257±0.0412	0.0143±0.0131	0.200±0.0564	0.0085±0.0115	0.057±0.0296	0.0072±0.0037
不同区域	上游	0.312	0.0179	0.207	0.0048	0.105	0.0131
	中游	0.244	0.0143	0.209	0.0099	0.035	0.0044
	下游	0.214	0.0109	0.183	0.0069	0.032	0.0039
	平均数±SD	0.257±0.0502	0.0144±0.0035	0.200±0.0145	0.0072±0.0026	0.0570±0.0413	0.0071±0.0052

2.3.4 悬浮物的碳/氮、碳/磷、氮/磷比　浮桥河水库悬浮物的碳/氮、碳/磷、氮/磷比(表4)表明,水平分布悬浮物的碳/氮、碳/磷比中游最高,碳/氮比下游最低,碳/磷比上游最低,氮/磷比下游最高,上、中游差异不显著. 可见中游悬浮物营养水平最差,氮、磷循环较快;下游和中游比较,碳/氮、碳/磷比下降,氮/磷比升高,悬浮物营养水平提高,氮、磷循环变慢,氮的积累比磷强. 上游和中游比较碳/氮、碳/磷比下降,悬浮物营养水平提高,氮、磷积累. 季节变化碳/氮比春季最高,夏、秋季居中,冬季最低;碳/磷比秋季最高,冬季第二,夏季第三,春季最低;氮/磷比的季节变化与碳/磷比一致. 即氮循环春季最快,冬季最慢;磷循环秋季最快,冬季第二,夏季第三,春季最慢.

表4 浮桥河水库悬浮物的碳/氮、碳/磷、氮/磷比
Tab.4 Values of C/N, C/P and N/P in suspended solids of Fuqiaohe Reservoir

时空变化		C/N	C/P	N/P
不同季节	夏季	5.24	122.86	22.92
	秋季	5.27	249.73	46.96
	冬季	4.85	142.13	29.84
	春季	8.20	69.97	8.53
	平均数±SD	5.89±1.55	146.17±75.48	27.06±15.96
不同区域	上游	5.82	135.39	17.43
	中游	6.44	153.15	17.10
	下游	5.41	149.98	19.65
	平均数±SD	5.89±0.52	146.17±9.47	18.06±1.39

3 讨论

3.1 悬浮物与水体营养状况的关系

欧美一些湖泊和水库的大量研究表明,水体中悬浮物的总量不仅与水体的营养水平呈正相关[9],也与水体中的总磷含量呈正相关[1],能总体上反映水体的营养状态[10],因而成为判断水体营养水平的重要指标[1].但与水体中的藻类生物量或其它形式的有机悬浮物相比,对悬浮物总量的研究没有得到足够的重视,我国在这方面只有一些零星的报道[3-8].以寡营养类型为主的美国和阿根廷65个湖泊,悬浮物总量平均仅为1.0mg/L(变幅为0.02-9.17mg/L)[11],而以富营养化类型为主的欧洲86个浅水湖泊,悬浮物总量平均为7.3mg/L(变幅为0.2-127.2mg/L)[12],丹麦15个高度富营养化的浅水湖泊的悬浮物总量的平均值更高达22mg/L(变幅为5-64mg/L)[13].中等营养类型的密苏里州135座水库的悬浮物总量平均为6.6mg/L[1],而营养程度更高的衣阿华州77座水库的悬浮物总量平均为16.8mg/L[14].在本研究中,浮桥河水库悬浮物现存量干重为9.991mg/L,略高于欧洲中等营养水平的湖泊平均值7.3mg/L和密苏里州中等营养水平的水库平均值为6.6mg/L,从悬浮物总量这个因子来判断,说明浮桥河水库的营养水平处于中-富营养水平,这与用水质和浮游生物等综合指标判断的营养类型结果一致[15].综合国内外有关悬浮物的研究结果来看,悬浮物可以作为判断水体营养水平的一个直观的指标.

3.2 影响悬浮物变动的因素

水体中悬浮物的来源有外源性和内源性两种.外源性来源包括地表径流带入的腐屑和投饵网箱的残饵、粪便等;内源性来源包括浮游生物及其死后的尸体、滤食性网箱养殖和放流鱼类的粪便等.

地表径流对悬浮物的影响主要集中在雨季.地表径流带入的大量有机碎屑使悬浮物的现存量大幅度提高,造成悬浮物的无灰重、有机碳、氮、磷含量下降,悬浮物营养水平降低.同时地表径流携带大量的营养盐又促进水体浮游植物的生长,提高水体的悬浮物现存量.径流的影响对上游较大,下游基本无影响.

浮游生物的现存量直接组成悬浮物,而且其死后约形成10%的有机碎屑[8]也是悬浮物的组成部分.水库浮游植物是其主要生产者,水体净初级生产中至少50%转移为颗粒碎屑,颗粒碎屑中又有50%转移为细菌[16].各种水生动物特别是鱼类的粪便和散失的人工饵料不仅部分能直接转化为碎屑组成水体悬浮物,而且经矿化分解后补充水体营养盐,促进浮游植物的生长,提高水体悬浮物的现存量.浮桥河水库放养的鱼类主要是滤食性的鲢、鳙,并且水库设置了大量的滤食性网箱养殖鳙.有关滤食性鱼类对生态系统的影响研究表明,天然水域高密度放养浮游生物食性鲢鳙,其代谢过程加速了系统中营养物的再生,从而促进了浮游植物的生长,使较多的营养物回归到水柱,减少了营养物的沉积量[17-18].相当于增加了水体营养盐的量,提高了水体浮游植物的生产力.滤食性鱼类生长季节对悬浮物的大量摄食,既加速了被摄食饵料生物的死亡,减少了水体悬浮物,又加速了水体物质循环,促进了水体浮游植物的生长,通常对后者的作用较前者大.因此,水体中滤食性鱼类对悬浮物组成的影响较对悬浮物量的影响大.

3.3 有机碎屑在水库生态系统中的地位和作用

有机碎屑是水库悬浮物的主要组成部分,是水库生态系统中巨大的物质能源库.浮桥河水库悬浮物中

有机碎屑的现存量达到 9.278mg/L，占悬浮物总量的 93.22%．有机碎屑是矿化或正在矿化的有机质，随着矿化作用的进行，其营养水平下降．但水体中有机碎屑与微型生物密不可分，考虑其腐生微型生物的作用，水库中有机碎屑的营养价值是不容忽视的．有机碎屑在浮桥河水库生态系统中的地位见图 4．

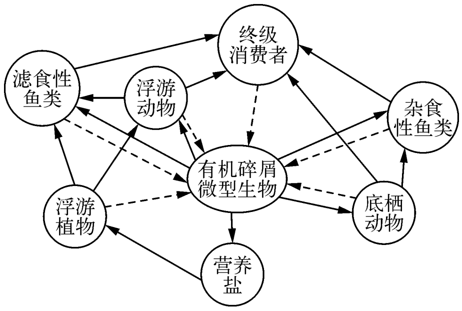

图 4 浮桥河水库生态系统中有机碎屑的地位

Fig. 4 Function of organic detritus in the ecosytem of Fuqiaohe Reservoir

从浮桥河水库悬浮物干重、无灰重、有机碳含量、氮含量、磷含量的组成看，有机碎屑从占绝对优势到失去优势，可基本反映有机碎屑在生态系统中的作用．有机碎屑的发生过程表明，生物体死后首先发生自溶作用，释放磷酸盐，而后在微型生物的作用下缓慢释放碳、氮．这一过程既提高了有机碎屑的矿化程度，加速了营养循环，提高了水体初级生产力，同时又促进了微型生物的生长，为滤食性鱼类提供了更多、更高营养价值的饵料．

有机碎屑是水体生态系统物质循环和能量流动中的重要环节．在生态系统中有机碎屑的作用不再被简单地认为是被细菌分解而再被利用的过程，其在生态系统中的作用越来越受到重视．水库生态系统中主要的食物关系，一条是牧食链，即由浮游植物-浮游动物-滤食性鱼类；另一条是屑食链，即由有机碎屑-各种水生动物．Saunders[5]指出，通过牧食链循环的生物量低于 10%，其它进入碎屑系统．水体中能够利用有机碎屑的生物很多，有滤食性鱼类——鲢、鳙；杂食性鱼类——鲴、鲤、鲫、鲂及野杂鱼；浮游动物——某些甲壳动物、原生动物和轮虫；底栖动物——腹足类、环节动物和水生昆虫等．

3.4 水库悬浮物和渔业生产

我国水库放流的主要鱼类是滤食性鲢鳙，通常认为它们是以浮游生物为食的．但鲢鳙以鳃耙滤食，水体中的悬浮物不管是浮游生物还是有机碎屑，只要颗粒大小适合，就可以被利用[19]，因此更准确地说鲢鳙是以水中的悬浮物为食的．其鱼产量取决于水体中悬浮物的多少及组成，即用水体悬浮物的量评估水体滤食性鱼类的鱼产潜力较传统的浮游生物估算法可能更为客观．一切有机物都含有碳，死亡有机体中氮和磷的降解速度比碳快[20]．从定量的角度，用有机碳代表悬浮物现存量的置信度相对较高[5]．因此用悬浮物有机碳估算水体滤食性鱼类生产潜力可信度更高．

根据黄祥飞和胡传林[21]提出的用悬浮物有机碳估算滤食性鱼类的公式，参照保安湖的参数，悬浮物综合 P/B 系数取 185，鲢鳙鲜鱼肉的热当量为 1.2kCal/g，碳的能量当量为 10kCal/g，鲢鳙的生长效率分别为 6.6% 和 11.3%，考虑到浮桥河水库滤食性鱼类密度大，有机碎屑的利用率较高，腐生型生物的量可能较保安湖少，悬浮物的利用率取 5%，鲢鳙的放养比例 1∶1，浮桥河水库悬浮物有机碳（C_{TSS}）的现存量为 1.539mg/L，全库折合 127.29t，则：

$$鲢的渔产潜力(P_{HY}) = 2.544 \times C_{TSS} = 323.81t$$

$$鳙的渔产潜力(P_{AR}) = 4.355 \times C_{TSS} = 554.42t$$

即依悬浮物估算浮桥河水库滤食性鱼类的渔产潜力共计为 878.23t．

4 参考文献

[1] Jones JR, Knowlton MF. Suspended solids in Missouri reservoirs in relation to catchment features and internal processes. *Water Research*, 2005, **39**: 2849-2861.

[2] Bilotta GS, Brazier RE. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*, 2008, **42**: 3629-3635.

[3] 何志辉，李永函．白鲢的食性问题．水生生物学集刊，1975，**5**(4)：541-548．

[4] 刘建康．东湖生态学研究（一）．北京：科学出版社，1990：242-291．

[5] 刘建康．东湖生态学研究（二）．北京：科学出版社，1995：75-91．

[6] 祖国掌.响洪甸水库的鲴亚科鱼类与利用.水利渔业,1986,(6):5-8.
[7] Saunders GW. The transformation of artificial detritus in lake water. *Mem Ist Ital Idrobiol*,1972, **29**(Suppl.):261-288.
[8] 常秀岭.黑龙滩水库颗粒有机碎屑的初步研究.水利渔业,1995,(3):24-27.
[9] Lindström M, Håkanson L, Abrahamsson O *et al*. An emperical model for prediction of lakes water suspended particular matter. *Ecological Modelling*, 1999, **121**(2): 185-198.
[10] Howard-Willianms C, Vincent WF. Optical properties of New Zealand lakes. I. Attenuation, scattering, and a comparison between downwelling and scalar irradiances. *Archives Hydrobiology*, 1984, **99**: 318-330.
[11] Morris DP, Zagarese H, Williamson CE *et al*. The attenuation of solar UV radiation in lakes and the role of dissolved organic carbon. *Limnology and Oceanograpy*, 1995, **40**: 1381-1391.
[12] Nõges P, Nõges T, Tuvikene L *et al*. Factors controlling hydrochemical and trophic state variables in 86 shallow lakes in Europe. *Hydrobiologia*, 2003, **506**: 51-58.
[13] Jeppesen E, Jemsen JP, Sondergaard M *et al*. Does resuspension prevent a shift to a clear state in shaalow lakes during reoligotrophication? *Limnology and Oceanography*, 2003, **48**: 1913-1919.
[14] Hatch LK. Factors affecting Iowa lake and reservoir water quality. *Lake and Reservoir Management*, 2003, **19**: 150-159.
[15] 刘家寿,陈文祥,黄永川等.浮桥河水库的营养状况与水质保护措施.长江流域资源与环境,2001,**10**(4):360-364.
[16] 刘建康.高级水生生物学.北京:科学出版社,1999.
[17] 阮景荣,戎克文,王少梅.微型生态系统中鲢、鳙下行影响的实验研究:1.浮游生物和初级生产力.湖泊科学,1995,**7**(3):226-234.
[18] 阮景荣,戎克文,王少梅.微型生态系统中鲢、鳙下行影响的实验研究:2.营养水平.湖泊科学,1995,**7**(4):334-340.
[19] 林婉莲,刘鑫洲,刘建康.微囊藻及碎屑在鲢鳙的营养中所起的作用的探讨.鱼类学论文集(第三辑).北京:科学出版社,1983.
[20] Holm-Hansen O. The distribution and chemical composition of particulate material in marine and fresh waters. *Mem Ist Ital Idrobiol*, 1972, **29**(Suppl.): 37-51.
[21] 胡传林,黄祥飞.保安湖渔业生态和渔业开发技术研究文集.北京:科学出版社,1991:99-112.