J. Lake Sci.(湖泊科学),2010,**22**(2):161-168
http://www.jlakes.org. E-mail:jlakes@niglas.ac.cn
© 2010 by *Journal of Lake Sciences*

我国水库渔业对水质的影响及其生态控制对策*

胡传林,万成炎,丁庆秋,潘　磊,吴生桂,高少波
(水利部、中国科学院水工程生态研究所,武汉 430079)

摘　要:我国水库资源丰富,水质优良,是极佳的淡水养殖水体;实施科学合理的渔业可降低水库氮磷营养负荷,是合理利用水面和生物资源的需要.我国水库渔业自1950年代起步,1979年后快速发展,水库养殖面积迅速扩大、养殖产量显著增加、养殖品种多样化,先后发展形成6种不同的渔业模式.由于片面追求水库渔业的产量,大量施肥和投饵带来过量外源氮、磷等营养元素导致水库水体的富营养化,水质下降,有的水库甚至暴发了蓝藻水华.针对库区水质保护的要求,数项生态控制对策被提出以降低水库渔业对水质的负面影响.
关键词:水库渔业;水质;生态控制对策

Effect of reservoir fisheries on water quality of Chinese reservoirs and bionomic control countermeasures

HU Chuanlin, WAN Chengyan, DING Qingqiu, PAN Lei, WU Shenggui & GAO Shaobo
(*Institute of Hydroecology*, *Ministry of Water Resources & Chinese Academy of Sciences*, *Wuhan* 430079, *P. R. China*)

Abstract: The resources of reservoirs in China are abundant, about 1/3 of the whole water area which can be used for freshwater aquaculture, as the aquatic environment in reserviors are suitable for various fishes. Since 1950s, freshwater aquaculture has developed rapidly in China, especially after 1979, resulting in substanstial expansion of aquaculture area, significant increase of aquaculture output, and more fish species cultured in more reservoirs. Though aquaculture could reduce nutrient level of reservoirs in some way or the other, the abuse and overuse of fertilization and feed in reservoirs in recent years had caused the deteriation of water bodies, e. g. the outbreak of algal blooms in some reservoirs and/or sub-areas of reservoirs. In order to reduce the pollution load and protect the aquatic environment of reservoirs, sustainable development of reservoir fisheries is necessary. Finally, some bionomic control countermeasures were favorably suggested for the mitigation of negative feedbacks of aquaculture in Chinese reservoirs.
Keywords: Reservoir fisheries; water quality; bionomic control countermeasures

1 我国发展水库渔业的意义、历程和渔业模式

1.1 我国发展水库渔业的意义

水库是人类充分开发利用水资源的产物,兼具防洪、发电、供水、灌溉、渔业、航运与旅游等多种功能,它实现了河川径流在时空上的重新分配,成为对水资源综合利用的基础和人类可持续利用的宝贵资源,其地位和作用越来越重要.我国水库资源丰富,全国已建成各类水库86353座,总库容$6924\times10^8 m^3$.其中,大型水库529座,总库容$5386\times10^8 m^3$,占77.8%;中型水库3181座,总库容$910\times10^8 m^3$,占13.1%.总水面超过$200\times10^8 m^2$,占淡水总水面的11.5%①.我国水库水质优良,是极佳的淡水养殖水体,具很高的生物生产力.渔业作为水域生态系统生物生产力利用的基本方式,必将成为库区水域资源和水生生物资源利用的重要措施.利用丰富的水库资源,科学合理地发展水库渔业,以满足人民群众日益增加的水产品需求.

* 湖北省科技攻关项目(2006AA201B26)和科技部农业科技成果转化资金项目(2008GB23320437)联合资助.2009-10-26收稿;2009-12-04收修改稿.胡传林,男,1935年生,研究员;E-mail:chuanlinhu@mail.ihe.ac.cn.
① 2008年全国水利发展统计公报.

鱼类作为水域生态系统的重要生物因子,在维持生态系统结构和功能的稳定方面有着不可替代的作用.渔业生产通过水库生态系统食物链网关系,利用水体生物生产力,将营养物质转化成水产品,又通过人们对水产品的利用,减轻水体氮磷营养负荷.地表径流中有大量的有机物,地表径流入库是水库水体中氮、磷的重要来源,可引起水体富营养化甚至造成污染.鱼类可通过不同的途径利用这些有机物:(1)有机碎屑链(organic detritus chain):地表径流带入的大量有机物被鱼类直接利用;(2)牧食链(grazing chain):地表径流带入的大量有机物经微生物分解为氮、磷等无机物,被藻类和水生植物吸收利用,通过鱼类摄食各种动植物将氮、磷等营养盐类富集到体内.通过捕捞,可有效减少水体中氮、磷含量.鱼体中一般含氮 2.5% -3.5% 、磷 0.3% -0.9% ,即每捕出 lkg 鱼,可减少水体中氮 25 -35g 和磷 3 -9g[1].故任何一个兼营渔业生产的水库,实施科学合理的渔业对水质具一定的改善作用.水库渔业的生产活动是通过水域生态系统的能量流动和物质循环来实现的,是水体氮、磷输出的最有效方式.在一定范围内,水库鱼产量稳定并具一定蕴藏量,对水体的保护作用也就越强.辽宁大伙房水库年均渔产量 1543t,年均鱼种投放量 460t,每年通过渔业利用可带走的氮、磷分别为 32.5t 和 6.5t[2].把渔业纳入水库管理范围,在保护水库水质的前提下,既有利于水库生物资源的充分利用,也对水库生态系统的稳定和水质的保护起到积极作用[3].因此,我国有必要科学发展水库渔业.

1.2 我国水库渔业的发展历程

我国水库渔业起步于 20 世纪 50 年代,到 20 世纪 70 年代末以后快速发展,生产方式不断更新、水库养殖面积迅速扩大、养殖产量显著增加.从 1978 -2000 年,水库渔业单产增长了 12 倍,显著高于同期世界渔业和我国淡水渔业增长的平均水平①(图 1).2002 年水库渔业总产量 169×10^4t,占全国淡水鱼养殖总产量的 10%.2005 年水库渔业总产量达 222.931×10^4t,占全国淡水鱼养殖总产量的 17.7%.2008 年水库养殖产量 241.54×10^4t,约占全国淡水养殖总产量的 11.63% ②(表 1).

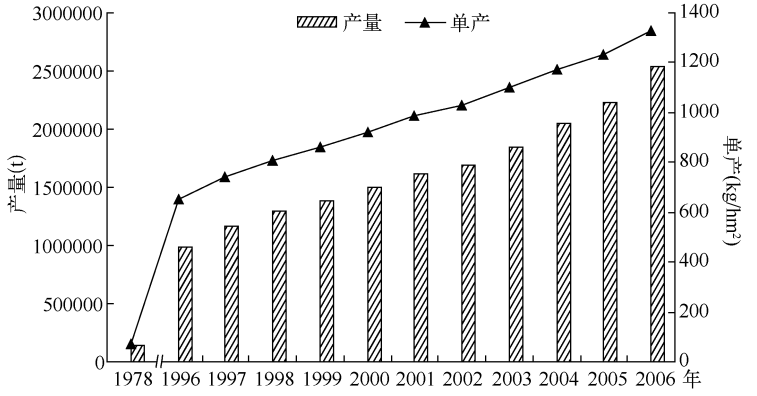


图 1 我国水库渔业取得的成就(1978 -2006 年)

Fig. 1 Product of reservoir fisheriee of China during 1978 -2006

1.3 我国现有的水库渔业模式

在半个多世纪的发展过程中,我国水库渔业单产水平由 1978 年的不到 70kg/hm² 提高到 2008 年的 1515kg/hm²,增长近 22 倍,并由单一追求产量逐步向优质、高效、生态、特色等方面过渡,根据水库自身特点因地制宜形成了相适应的养殖模式.高少波等总结出我国现有以下几种水库渔业模式①:

1.3.1 大水面增殖 我国水库中原有定居性鱼类如鲤、鲫、鲂、鳜等数十种鱼类,能适应水库环境进行种群繁殖,形成稳定的天然捕捞产量,是水库渔业产量的重要组成部分.在最近 20 多年中,水产工作者利用水库水

① 高少波,常剑波,吴生桂.水库渔业可持续发展的现状与展望.中国水利学会 2008 学术年会.

② 中华人民共和国农业部渔业局编制.中国渔业统计年鉴,2008.

体相对封闭的特点，结合水库的水文、水质、营养水平等生态条件，通过向水库中引进具有自我更新能力的单一或少数几种鱼类，使其种群在水库中得以繁衍壮大、资源增殖从而形成商业捕捞产量，这种水库渔业模式投入少且能持续见效，实现较好的经济效益.

表 1 2008 年全国淡水养殖面积、产量、单产量
（2008 年全国渔业统计年鉴）

Tab. 1 Freshwater aquaculture area, yield, single-output of China in 2008

内陆养殖	水体类型	产量(t)	面积(hm^2)	单产(t/hm^2)
按水域分	池塘	14594472	2144705	6.80
	湖泊	1456226	961335	1.51
	水库	2415397	1549612	1.56
	河沟	558668	202183	2.76
	其他	530246	113178	4.69
	稻田	1169968	1477501	0.79
	总计	20724964	4971023	4.17
其中集约化养殖方式	网栏	510761	26870	0.19 kg/m^2
	网箱	883823	22243	3.97 kg/m^2
	工厂化	133680	1936	6.93 kg/m^2

20 世纪 80 年代开始的水库定向投放受精卵增殖银鱼（大银鱼、太湖新银鱼等）、公鱼（池沼公鱼、亚洲公鱼）等均取得成效. 全国银鱼已移植十多个省市的数百座水库，如：河南白龟山、陆浑水库，天津北塘、新地河、营城水库，山东许家崖、峡山、米山、后龙河、王屋、产芝水库，内蒙古莫力庙水库，江苏小塔子、羽山水库，湖北徐家河、漳河水库，福建池潭水库，北京海子水库，浙江新安江富春江水库，安徽安丰塘水库等，这些水库中银鱼均形成 5－300t 不等的年商业产量，部分水库银鱼单产达 $80kg/hm^2$，2006 年全国银鱼总产量 1.67×10^4t 中以水库贡献最多. 银鱼已成为上述水库渔业收入的支柱.

公鱼移植已在北京密云，新疆车排子、石城子，甘肃刘家峡，青海龙羊峡，河北大黑汀等水库均形成种群及捕捞产量. 其中，北京密云水库 1988 年起移植池沼公鱼，1997、1998 年每年平均渔获 800－900t，成为出口创汇的主要品种. 此外，还有少数水库引种移植鳊、鲂、乌鳢、鲷类等成功的报道，水库移植品种逐步多元化.

1.3.2 大水面放养　四大家鱼——鲢、鳙、青鱼、草鱼作为我国传统的养殖对象，是水库渔业最重要的组成种类，其中鲢、鳙、草鱼产量几乎占到水库总捕捞产量的 90%，还有一些产漂流性卵鱼类如中华倒刺鲃、长春鳊等，水库相对封闭、静水或缓流水体环境不适合其繁殖，不能进行种群自我更新，需要每年进行人工投放苗种，经过一定生长期再捕获成鱼，这一“人放天养”的粗放养殖模式，对水库水体天然饵料的利用率一般在 20%－60%，鱼类回捕率一般达到 40%－70%，小水库可达 80%－90%，收获较稳定、效益可观.

1.3.3 网箱养殖　我国内陆网箱养殖主要集中在各类水库中，分布于湖泊、池塘、河沟等水体的网箱养殖规模相对较小. 水库网箱养殖品种除传统的草鱼、鲤、鲫、鲢、鳙、鳊、鲂外，一些名、特、优、新品种，如长吻鮠、鳜、鲶鱼、黄颡鱼、花鳡、香鱼、胭脂鱼、中华倒刺鲃、史氏鲟、翘嘴鲌、梭鲈等也有规模产量，还有一些外来引进物种如斑点叉尾鮰、俄罗斯鲟、匙吻鲟、罗非鱼等产量也较可观. 网箱养殖包括投饵和不投饵两种方式：投饵网箱主要养殖摄食性鱼类，投喂饲料或小杂鱼类等；不投饵网箱主要养殖滤食性鱼类如鲢、鳙、罗非鱼、匙吻鲟等，鱼类饵料主要通过网箱内外水体交换供给浮游生物. 不投饵网箱一般设置在水体浮游生物较为丰富的水体，同时也需考虑水体承载力，即水体浮游生物的供给能力及水体交换供氧能力.

1.3.4 围栏养殖　我国淡水围栏养殖（也称围网养殖）主要集中在湖泊、河沟及滩荡中，是基础设施投资相对较大的一种淡水养殖方式. 水库由于防洪、发电、灌溉等水位涨落频繁，一般难以设置围网. 在一些小型水库和水深较浅、水位波动小的平原型水库中有少量的围栏养殖，主要养殖品种有鲢、鳙、鲤、鲫、鳊、鲂、中华绒螯蟹等种类. 围栏养殖具有较高的产量和效益，如山西长治后湾水库（防洪、灌溉为主的大型水库），围网养殖河蟹产量 $525kg/hm^2$，投入产出比 1∶1.4. 水库中也有部分围栏养殖鲢鳙鱼种，如辽宁大伙房水库网箱-围网二级养殖鲢、鳙鱼种，围网面积 $16.7hm^2$，经 65d 养殖，鲢、鳙规格达 28－35g/尾，产量 187t；江苏徐州大龙口、六堡水库，围网共 $1.27hm^2$，培育规格 821 尾/kg 的鲢、鳙鱼种 5305kg，成活率 63%，盈利达 5.91 万元/hm^2.

1.3.5 库汊养殖　库汊养殖一般在水库中选择合适的库湾狭窄处采取拦网或筑坝形式，形成相对封闭的水域放养鱼类，库汊内也可组合设置网箱、围拦. 目前，网拦库汊经除野后，多数放养鲢、鳙鱼苗培育大规格鱼种，一般进行投饵和施肥，养殖至秋冬季成活率一般 40%－60%，苗种规格 12－20cm，平均产量可达$2t/hm^2$以上，如辽宁白石水库南湾村、茅草沟库湾拦网养殖鲢、鳙鱼种单产达到 $2.2t/hm^2$，湖北蕲春大同水库汪街

库汊养殖鲢、鳙大规格鱼种单产 2.6t/hm^2. 部分库汊培育鱼种时搭养草鱼、鳜、鲤、鲂等品种可增产增收.

1.3.6 流水养殖 水库坝下流水养殖及设施渔业是水利系统特有的优势,大部分水库都具有发展坝下流水养殖或设施渔业的条件,但流水养殖基础设施投资较大. 坝下流水、电站尾水、渠道流水集约化养殖单产水平极高并实现一水多用,也是水库渔业可持续发展的方向之一,如湖北武汉夏家寺水库利用坝下灌溉水源微流水主养草鱼年产 15.1t/hm^2,山东文登坤龙水库灌溉渠道微流水养鲤、罗非鱼、尖鳍鲤单产 14.5t/hm^2,北方地区水库坝下流水养鲤超过 50t/hm^2 等.

2 水库渔业对水质的影响

由于部分渔民片面地追求水库渔业的绝对产量,在水库中投放大量畜禽粪便及化肥或网箱养殖中大量投饵,施肥和投饵带来的过量外源氮、磷等营养元素导致了水库水体的富营养化,水质下降,有的水库甚至暴发水华. 以投饵网箱养殖为例,通常情况下,按投喂 100kg 的商品饲料量来计算,由于加工工艺、投饵技术、鱼的摄食能力和养殖水域条件等原因,约有 13 - 15kg 的饲料未被鱼类消化吸收,将作为残饵直接散失于水体中,只有 85 - 87kg 的饲料被鱼摄食. 在被摄食的饲料中,约有 25 - 35kg 被鱼体用于增加体重;41.6 - 48.0kg被用于维持生命,其排泄物以氮的形式进入水体;而 10.4 - 12.0kg 的饲料未被鱼类消化吸收,以粪便的形式排入水体中[4]. 因此,投饵网箱养殖的残饵和鱼类产生的排泄物带来了外源性的氮、磷,从而影响水库的水质.

黄海强以投饵网箱养殖为例,分析了投饵网箱养殖对水质(水质指标主要包括:溶解氧(DO)、化学耗氧量(COD)、生化耗氧量(BOD_5)、总氮(TN)、三态氮、总磷(TP)、透明度(SD)等)的影响[5].

2.1 对透明度和溶解氧的影响

在网箱养殖水体中,部分散失在网箱养殖区域的水体中饵料和鱼类排泄物会使水体中营养物质的浓度增加,悬浮物增多,从而使网箱养殖区域的透明度明显低于其他区域. 水体透明度的降低,会使浮游植物的光合作用受到限制,从而使浮游植物通过光合作用产生的氧减少,而且由于网箱养殖区域的鱼呼吸和有机营养物质分解都需要消耗大量的溶解氧,因此网箱养殖区域的水体中的溶解氧会低于其他区域.

2.2 对化学需氧量的影响

水体有机物的含量越多,化学需氧量越大. 由于投饵网箱养殖的残饵和鱼类排泄物带来了外源性的氮、磷有机物,网箱养殖区域化学需氧量增大.

2.3 对生化需氧量的影响

生化需氧量是一种环境监测指标,主要用于监测水体中有机物的污染状况. 一般有机物都可以被微生物所分解,但微生物分解水中的有机化合物时需要消耗氧. 因投饵网箱养殖的残饵和鱼类排泄物带来了外源性的氮、磷有机物,所以网箱养殖区域的水体中的生化耗氧量会增加.

2.4 对总氮和三态氮的影响

水体中的总氮包括有机氮和无机氮. 有机氮主要存在于各种有机碎屑和鱼类的排泄物中;无机氮指溶在水中的各种无机化合物中的氮,主要是三态氮:硝态氮、亚硝态氮和铵态氮. 养殖对象摄食后的粪便和排泄物中无机氮堆积的结果导致网箱养殖区域的总氮一般都高于其他区域.

2.5 对总磷的影响

在网箱养殖水域,散失的饵料和养殖对象的排泄物是投饵网箱养殖水体中磷的主要来源,高密度的投饵网箱养殖造成水体中磷浓度的增加.

现在已有较多的水库水质因水库渔业的不当发展而富营养化的报道. 余国忠等报道发现:位于河南省的某大型水库自 1955 年建成,1997 年以来开始重视水产养殖业,养殖模式是网箱养殖和库汊养殖,为了提高产量进行了施肥和投饵. 水质监测结果显示该水库 1997 年后总氮、总磷偏高,且和鱼产量呈正相关. 水库水质为中营养状态,目前水库局部水体接近或已进入富营养状态,库区边缘水质远远低于地面水环境质量Ⅲ类水质标准. 2007 年 8、9 月间,水库水色褐黄,藻类水华遍布[6]. 宁丰收等研究发现:由于 2003 - 2004 年网栏、网围、投饵网箱养殖盛行,位于重庆境内的大洪湖水库水质污染较重,尽管已于 2004 年被取缔,水体依然较差,为Ⅴ类水质,呈中度富营养化状态[7]. 李崇明等研究发现:位于重庆市长寿县内的长寿湖水库随

着水库渔业的迅猛发展，尤其是推广实施肥水性网栏养殖后，使水库水体受到污染，出现了严重的富营养化现象. 在20世纪80年代以前，水库以敞养为主，污染主要来源于上游的工业废水和生活污水，渔业的污染较小，湖区水质总体上可达到Ⅲ类水质. 20世纪90年代以来，随着水库渔业的发展，长寿湖水库渔业带来的污染逐渐大于上游的工业废水和城市污水的污染. 20世纪90年代初，水库实行大水面养殖与网箱养殖并重的养殖方式. 至1995年，网箱养殖出现高峰，库区水质由轻度污染转向中度污染. “九五”期间，水库养殖方式和规模再次发生较大变化，一是逐步将网箱养殖规模减少；二是放弃大水面养殖，引进并推广肥水养殖技术，在库区4000hm^{2}水域实行大水面肥水网栏养殖. 1998年，肥水网栏养殖投放鸡粪2000t，化肥5000t. 2005年，由于全库区大面积投放了大量的鸡粪、化肥，长寿湖水库水质已全面恶化，部分水域甚至变黑发臭[8]. 林永泰等研究发现：位于四川省仁寿县境内黑龙滩水库的水质随着投饵式网箱的迅猛发展，水质逐渐富营养化. 网箱采样点总氮、总磷、硫化氢、叶绿素a含量等指标显著高于非网箱采样点，说明网箱养鱼促进了水质富营养化进程[9]. 吴生桂等研究发现：1995年为片面追求规模效益，黑龙滩水库网箱规模超过了全库面积0.078%，达到了7.8%，养殖的鱼类全部缺氧死亡，网箱区水质恶化发臭；1996年，网箱规模控制在全库面积0.078%，水质重新得到恢复[3]. 王大鹏等对西津库区米埠坑水库网箱养殖区进行了秋季枯水期水质监测分析，推断出米埠坑网箱养殖区属于中营养型，并有向富营养化型转化的趋势[10]. 陈小江于2005年5月至2006年7月，对三峡库区万州段投饵式网箱养鱼基地水体的氮、磷营养盐、其它理化指标及初级生产力进行了分析和研究. 研究发现：各区域的水质均达富营养化，网箱区域的富营养化程度比其他区域要高[11].

3 应对措施

发展水库渔业，必须考虑库区水质的问题，要保证库区水质不受污染的前提下进行. 为了降低水库渔业对水质的负面影响，促进水库渔业的可持续发展，必须重视水库的生态管理与生态控制. 生态控制是指生态动力源驱动生态系统运行及其人为调控，使其朝着有利于人类生存与发展方向进行的基本原理[12]. 据此提出以下对策.

3.1 进行实时生态监测，为水库水质的保护与生态控制提供依据

生态监测是以生态学原理为理论基础，运用可比和成熟的方法，在时间和空间上对特定区域范围内生态系统和生态系统组合体的类型，结构和功能及其组合要素进行系统地测定，为评价和预测人类活动对生态系统的影响，为合理利用资源，改善生态环境提供决策依据[13]. 例如：可以利用遥感技术等先进技术，对水库水环境富营养化等情况进行监控，以便采取更有针对性的保护措施.

3.2 依水库功能定位，发展不同模式的水库渔业

水库建设的基本目的多为防洪、发电和灌溉. 随着水资源紧缺的问题日益突出，不少水库已经成为城市供水的重要水源地，供水已经成为这些水库的基本功能. 水库的渔业功能并不属于水库的目的性功能，只是水库建成后，鱼类作为这些水体生态系统中人类可利用的水生生物资源. 渔业是水库生态系统服务功能的重要体现，同时，鱼类作为生态系统中的重要消费者和最活跃的生物因子，在维持水库生态系统健康和水质管理中具有重要作用而受到重视. 董方勇等认为适度发展渔业是合理利用水面生物资源的需要[14]. 因此，渔业属于水库重要的次生功能，渔业的发展必须坚持以水库的基本功能有效发挥为中心，依水库的功能定位，因地制宜，采取相应的渔业利用模式[8,15].

3.2.1 *供水性水库* 水库渔业应结合区域水文气候特点、水库水体理化性状、天然饵料与鱼类资源现状，以水库本身原有的鱼类物种增殖为主，不应引进外来鱼类，如位于北京的密云水库，以水库本身的土著鱼类池沼公鱼和大银鱼等自然增殖为主，不投饵，不施肥，既保护了水质，又获得了天然渔业的效益.

3.2.2 *灌溉、防洪和发电型水库* (1)对于已经中度或高度富营养化的水库，运用生物操纵理论和技术来控制藻类“水华”. Shapiro等首先提出了“生物操纵”的概念：“通过一系列湖泊中生物及其环境的操纵，促进一些对湖泊使用者有益的关系和结果，即藻类特别是蓝藻类的生物量的下降”[16]. 谢平认为生物操纵指以改善水质为目的的控制有机体自然种群的水生生物群落管理[17]. 生物操纵包括经典生物操纵和非经典生物操纵.

经典生物操纵：经典生物操纵通过放养凶猛性鱼类或通过直接捕杀或毒杀的方式来控制食浮游动物鱼

类,借此壮大浮游动物种群来遏制藻类繁衍生长. Caird 报道,1940 年当 1000 条大嘿鲈被放入美国康涅狄格州的一个池塘中,以前在该池塘中发生的严重水华很快得到了改善[18]. 陈文祥等研究发现:通过向位于深圳的茜坑水库投放顶级消费者-凶猛性鱼类(鳜和鲌),使水库水质达到Ⅱ级①.

非经典生物操纵:中国科学院水生生物研究所刘建康研究员和谢平研究员于 1999 年率先提出非经典生物操纵理论来控藻,非经典生物操纵理论指控制凶猛鱼类及放养食浮游生物的滤食性鱼类(鲢、鳙)来直接摄食藻类,抑制藻类,防止大型藻类过度繁殖形成"水华"[19-20]. 鲢、鳙作为我国传统的养殖品种,其放养是水库渔业利用的主要方式. 鲢、鳙属于典型的滤食性鱼,能直接滤食水体中浮游生物(包括各种藻类),使浮游植物数量减少和种类小型化,减轻了藻类"水华"灾害. 武汉东湖是我国最大的城中湖,在 1985 年之前,污染比较严重,蓝藻水华连年大面积暴发. 然而 1985 年夏,东湖的水华消失了,刘建康等认为是东湖投放的大量鲢鳙鱼类控制了蓝藻水华,并对此开展多年的研究. 他们用实验湖沼学的方法先后于 1989、1990、1992 和 2000 年进行原位围隔试验,采用放养鲢鳙直接控制蓝藻水华. 试验证明,在养鱼的围隔里蓝藻减少,而在不养鱼的围隔里蓝藻则生长很好. 已经出现蓝藻的围隔,在引进鲢鳙之后 10 - 20d,水华即全部消失. 每立方米水投放 46 - 50g 鲢鳙,控制水华发生的效果较好. 东湖大量放鱼,其中鲢鳙的量在 1985 年达到每立方米水 50g,湖里的水华得到控制. 1985 年后,蓝藻水华再未出现[19-20]. 闫玉华等认为:微囊藻等藻类尽管在鱼体内不易消化,但是鲢、鳙可通过重复摄食达到较好的消化利用,当鱼类摄食微囊藻后,在肠道内可能只损坏了部分细胞壁,随后形成粪便,排出体外,粪便在水体中被细菌寄生,形成有机碎屑,又可以被鲢、鳙摄食,二次摄食后消化利用率比较高[21]. 千岛湖的研究表明能遏制水华的单位水体鲢鳙生物量在丰水年 2002 年 5 - 7 月为 8.5g/m^3(水深 5m 计,若 10m 计则只需 4.25g/m^3). 千岛湖水库所需的鲢、鳙鱼蕴藏量为 480×10^4kg ②. 1997 - 2003 年宁波大学生命科学院、浙江水利厅、浙江慈溪环境保护局分别对温州桥墩水库、湖州河口水库、宁波杜湖水库三座饮用水库对蓝藻水华控制,都获得滤食性鱼类在优化水库生态系统中明显作用[22]. 大伙房水库 6 - 7 月枯水期上游来水营养物质含量高,水库水位低,库容小,环境容量小,水温升高快;库尾开阔平坦的浅水区在风生流的作用下,底泥营养物质大量释放,导致水库水体营养物浓度升高,库尾水域氮、磷营养含量分别达到 1.08 和 0.142mg/L,氮磷比 7.6,非常适宜藻类生长,已经具备形成大面积藻类"水华"的条件. 之所以水库发生大面积"水华"的年份少,即使偶尔发生"水华"也持续时间短,波及面积小,仅限于库尾个别浅水库湾,是因为鲢、鳙的大量放养起到了重要作用. 鲢、鳙的放养量减少或比例失调,极可能导致浮游植物的迅速暴发,形成"水华"灾害,从而影响水库的旅游、供水等功能[2]. 河南新县某水库每年放养鲢鳙水质较好,2004 - 2005 年因故未放,出现了全库藻类水华暴发的现象. Ke 等在太湖梅梁湾内围起 3 个 0.36km^2 的围栏,在围栏内放养鲢鳙作防治蓝藻水华的试验. 放养密度在水华高发的 7 月份达到了 40g/m^3,经过 1 年的放养试验,结果表明,围栏内蓝藻水华的生物量及水中的藻毒素的含量均低于附近水域[23]. 鲢、鳙增养殖的非经典生物操纵是控制藻类"水华"最有效方式.

(2) 对于未富营养化或低度富营养化的水库;通过不投饵不施肥,每年坚持投放不同食性的鱼,根据生态系统食物链功能充分利用天然饵料,如湖北省襄樊市三道河水库、枣阳市华阳河水库、湖北麻城浮桥河水库③. 湖北省襄樊市三道河水库每年投放大量的鲢、鳙、翘嘴鲌、蒙古鲌、鲴类、鳜类、鲟类、鲃类等;湖北麻城浮桥河水库每年投放大量的鲢、鳙、翘嘴鲌、鲤、鲫、青、草、细鳞鲴等不同食性的鱼,进行不施肥、不投饵养殖. 其放养数量可由渔产潜力的计算公式得到.

3.3 适度开展投饵网箱养殖,确保水库水质

(1) 网箱不超过水库水体总面积的 0.078%. 网箱养殖是水库大水面利用的重要方式之一. 适度规模的发展对水体负面影响小,可显著提高水库渔产量和效益;但规模和强度超过水体承载能力,就会导致水库局部水域甚至整个水体富营养化,生态环境恶化. 因此,网箱养殖的发展必须依据水库水质管理目标,合理规划和布局.

---

① 陈文祥,彭建华. 利用生物操纵技术治理茜坑水库水污染的研究与示范. 内部资料,2004.

② 淳安县农业厅, 淳安县新安全开发总公司,杭州千岛湖发展有限公司,淳安县水产学会. 千岛湖渔业科技,2005.

③ 万成炎,丁庆秋,胡传林. 水库有机渔业生态学基础与技术研究. 内部资料,2007.

国家“八五”重点科技攻关项目“大型多功能水库渔业利用优化模式研究”试验基地在四川黑龙滩水库，研究结果表明，投饵式网箱养殖规模应严格控制在占水库总面积的0.078%以内.

国家“九五”重点科技攻关项目“水库规模化养殖技术研究”建立了水库网箱养殖承载力的动态模型. 以浮桥河水库为例，以磷的循环为基础，利用包含水交换率、水深、营养水平、养殖对象、养殖强度等参数的网箱养鱼承载力模型计算出该库网箱配套养殖饵料鱼（建鲤）养鳜时，水库对网箱养鳜的承载力为0.02981%；用外源饵料鱼来养鳜时，承载力为0.181%；单一养殖建鲤时承载力为0.024%.

浮桥河水库近几年的实践证明，网箱养鳜承载力动态模型的应用对水体富营养化的调控、水质保护和水库网箱养鱼的持续发展起到了重要作用.

（2）采用高效环保无公害饲料，建立新型饲料投喂体系，在研发与应用饲料生产技术上，投喂方式、投喂量、投喂率、饲料系数低的能获最大限度的利用. 饲料中添加适宜水平的碳水化合物和脂肪可以起到降低蛋白质的使用量从而降低氮排放的作用[24-25]；饲料中植酸酶等的添加可以更有效的利用饲料中的磷，从而降低磷的排放[26-32].

（3）水质调控. 养殖系统结构与设施，进水水源的控制和出水水质的处理，充分利用水体中的营养物质发展其它种养业（无土种植），同时通过生物、物理或化学处理使养殖用水和养殖废水达到相应的国家或国际标准. 韩世成等认为有下列几种处理养殖水体中氨氮的技术：空气吹托、离子交换吸附、生物处理、臭氧氧化处理和电渗析处理[33].

（4）养殖水体微生态调控，重视微生态制剂在养殖水体中的应用，消除水体中有害物质，降解氮磷，控制水体富营养化，充分利用生物操纵净化水质. 陈秋红等将实验室研制的复合微生态制剂MCB以不同的投放量加入各实验养殖池塘中，根据各池中溶氧、氨氮、亚硝酸盐、硫化物含量随时间的变化情况与空白对照池比较. 研究结果发现：每10d左右，施放9mg/L的复合微生态制剂MCB，可对水产养殖水体起到较好的净化作用[34]. 吴伟等研究发现：复合微生态制剂通过直接影响水体中氮循环细菌的数量而促进水体的氮循环[35].

4 参考文献

[1] 黄德祥，张继凯. 论水域的渔业污染与自净. 重庆水产，2003，(4)：29-32.

[2] 胡传林，黄道明，吴生桂等. 我国大中型水库渔业发展与多功能协调研究. 水利渔业，2005，**25**(5)：1-6.

[3] 吴生桂，胡传林，蔡少华. 渔业与水质关系的典型资料剖析. 中国水力学2000，环境水力学，2000：306-310.

[4] 何美琼，张 立，黄芳洁等. 邓潜江河网箱养殖对水体环境的影响. 现代农业科技，2009，**16**：286-287.

[5] 黄海强. 网箱养殖对水质的影响. 河北渔业，2008，**3**(3)：6-7.

[6] 余国忠，赵承美，郜 慧等. 大型水库功能演变对水库水质的影响——以河南省某大型水库为例. 水资源保护，2009，**25**(1)：63-66.

[7] 宁丰收，古昌红，游 霞等. 大洪湖水库网箱养殖区污染分析. 环境科学与技术，2006，**29**(4)：47-49.

[8] 李崇明，黄真理，常剑波等. 三峡水库网箱养殖利弊分析. 中国三峡建设（人文版），2005，**4**：49-52.

[9] 林永泰，张 庆. 黑龙滩水库网箱养鱼对水环境的影响. 水利渔业，1996，**6**：6-10.

[10] 王大鹏，陈晓汉，何安尤等. 西津水库网箱养殖对水质的影响分析. 广西水产科技，2007，(1)：10-13.

[11] 陈小江. 三峡库区万州段网箱养殖区水化学和初级生产力研究[硕士论文]. 重庆：西南大学，2007.

[12] 裴铁璠，金昌杰，关德新. 生态控制原理. 北京：科学出版社，2003.

[13] 姜必亮. 生态监测. 福建环境，2003，**20**(1)：4-6.

[14] 董方勇，胡传林，黄道明. 三峡水库水质保护与渔业利用关系探讨. 长江流域资源与环境，2006，**15**(1)：93-96.

[15] 朱立新，李丽芳. 浅论我国渔业发展的科技对策. 现代渔业信息，2004，**19**(9)：3-5.

[16] Shapiro J, Lamarra V, Lynch. Biomanipulation: an ecosystem approach to lake restoration. In: Brezonik PL, Fox JL eds. Proceeding of a symposium on water quality management through biological control. Gaineville: University of Florida, 1975:85-89.

[17] 谢 平. 鲢、鳙与藻类水华控制. 北京：科学出版社，2003.

[18] Gaird JM. Algae growth greatly reduced after stocking pond with fish. *Water Works Engineering*, 1945, **98**:240.

[19] 刘建康，谢 平. 揭开武汉东湖蓝藻水华消失之谜. 长江流域资源与环境，1999，**8**(3)：312-319.

[20] Xie P,Liu JK. Stuies on the influence of planktivorous fishes(silver carp and bighead carp) on the phytoplankton community in a shallow eutrophic Chinese lake (Donghu Lake) using enclosure method. In: Liu JK ed. Annual Report of FEBL for 1990. Beijing:International Academic Publishers, 1991: 14-24.
[21] 闫玉华, 钟成华, 邓春光. 非经典生物操纵修复富营养化的研究进展. 安徽农业科学, 2007,**35**(12): 3459-3460.
[22] 金春华,陆开宏,王扬才等. 浙江省3座饮用水水库的蓝藻控制对策及效果. 水利渔业,2005,**25**(3): 50-55.
[23] KE ZX, XIE P, GUO LG *et al*. In situ study on the control of toxic *Microcystis* blooms using phytoplanktivorous fish in the subtropical Lake Taihu of China: A large fish pen experiment. *Aquaculture*, 2007,**265**: 127-138.
[24] Skalli A,Hidalgo MC, Abellán E *et al*. Effects of the dietary protein/lipid ratio on growth and nutrient utilization in common dentex(*Dentex dentez* L.)at diferent growth stages. *Aquaculture*,2004,**235**: 1-11.
[25] Hamre K, Baeverfjord G, Harboe T. Macronutrient composition of formulated diets for Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*, L.) juveniles, II: protein/lipid levels at low carbohydrate. *Aquaculture*, 2005, **244**: 283-291.
[26] Cheng ZJ, Hardy RW. Effects of extrusion and expelling processing, and microbial phytase supplementation on apparent digestibility coefficients of nutrients in full-fat soybeans for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 2003, **218**: 501-514.
[27] Sajjadi M, Carter CG. Dietary phytase supplementation and the utilisation of phosphorus by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed a canola-meal-based diet. *Aquaculture*, 2004, **240**: 417-431.
[28] Yoo GY, Wang X, Choi S *et al*. Dietary microbial phytase increased the phosphorus digestibility in juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed diets containing soybean meal. *Aquaculture*, 2005, **243**: 315-322.
[29] Biswas AK, Kaku H,Ji SC *et al*. Use of soybean meal and phytase for partial replacement of fish meal in the diet of red sea bream, *Pagrus* major. *Aquaculture*, 2007, **267**: 284-291.
[30] Liebert F, Portz L. Different sources of microbial phytase in plant based low phosphorus diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* may provide different effects on phytate degradation. *Aquaculture*, 2007, **267**: 292-299.
[31] Dalsgaard J, Ekmann KS, Pedersen PB *et al*. Effect of supplemented fungal phytase on performance and phosphorus availability by phosphorus-depleted juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), and on the magnitude and composition of phosphorus waste output. *Aquaculture*, 2009, **286**: 105-112.
[32] Lim SJ, Lee KJ. Partial replacement of fish meal by cottonseed meal and soybean meal with iron and phytase supplementation for parrot fish Oplegnathus fasciatus. *Aquaculture*, 2009,**290**: 283-289.
[33] 韩世成,曹广斌,蒋树义等. 工厂化水产养殖中的水处理技术. 水产学杂志,2009,**22**(3): 54-58.
[34] 陈秋红,施大林,吕惠敏等. 复合微生态制剂对水产养殖水体净化作用的研究. 生物技术,2004,**14**(4): 63-64.
[35] 吴 伟,周国勤,杜 宣. 复合微生态制剂对池塘水体氮循环细菌动态变化的影响. 农业环境科学学报,2005,**24**(4): 790-794.