

摘 要

随着网箱养鱼规模和养殖强度的增加,鱼类代谢废物和饵料残渣大量排放,排入青狮潭水库的污染物超过水库的自净能力,造成严重的污染问题。经研究发现,网箱养鱼对青狮潭水库水质的影响有:①增加了网箱和周围水体中氮和磷的含量;②增加了水体中耗氧有机物含量;③减少了网箱周围 DO 值;④增加了水体有机污染负荷。导致相关水域污染状况加重,给人们的生活带来了严重负面影响。

本文通过研究青狮潭水库网箱养鱼对水环境指标的影响,主要得到以下结论:

(1)网箱中心总磷含量在一年中的大小对比为:8月>10月>6月>12月>4月>2月;网箱中心总氮含量在一年中的大小对比为:10月>8月>6月>4月>12月>2月。总氮与总磷的年变化规律基本保持一致。养鱼量大的6月、8月、10月总氮、总磷含量明显大于养鱼量较小的12月、2月、4月。通过分析得出,网箱养鱼对青狮潭水库总氮、总磷含量有很大影响。

(2)研究表明,DO值有随着距离网箱距离增大而增大的趋势,这是由于网箱区域高密度的鱼类和其他水生生物呼吸,以及养殖鱼类的排泄、排粪及残饵分解耗氧,使网箱周围DO变动受网箱养鱼影响较大。

(3)在 COD_{Mn} 含量变化曲线中,养鱼量大的夏季和秋季的 COD_{Mn} 含量比养鱼量小冬季和初春高,说明网箱养鱼对 COD_{Mn} 的贡献较大。分析网箱养鱼主要是残饵和粪便对 COD_{Mn} 产生影响。

(4)除8月份外,Chl-a变化不明显。在研究中,发现网箱区内外没有明显差别,代表浮游植物量的Chl-a含量随着距网箱距离的增大变化不明显,主要与水库自身营养盐浓度、气候有关。透明度和温度不随着距网箱距离的改变而有变化,表明网箱养鱼对透明度、水温无影响。

通过建立模型,计算青狮潭水库网箱养鱼容纳量,分析后得出结论:

(1)提出计算青狮潭水库网箱养鱼容纳量时磷作为限制性标准取值为 0.05mg/L 。用Dillon模型计算出青狮潭水库网箱养鱼容纳量理论值为 0.22% 。

(2)提出防治网箱养鱼造成污染的对策:实行水域分类管理;根据控制单元水环境容量确定养殖规模;疏散网箱,防止网箱间相互污染;优化库区鱼种比例,构建良性鱼类生态系统;加强对网箱养鱼区的动态监测。

关键词:青狮潭水库;网箱养鱼;磷;容纳量

Abstract

With the increasing scale of cage culture, fish will discharge a large number of metabolic waste and baits scraps. It's leading to Qingshitan Reservoir into the excessive pollutants that far more than the self-purification capability of the reservoir. Fish cages increase nitrogen, phosphorus and the oxygen consumption of water in the organic matter content around in the water. At the same time, they reduce the around area DO value. The phenomenon of leading to relevant water eutrophication brought serious negative effect to people's production and life. Therefore, it is very necessary to study the pond fish cages and the influence of the reservoir water quality in the Qingshitan Reservoir.

Through studying the pond cage culture of the influence on the quality of water environment, this paper get the following major conclusions:

(1) The comparison of the results of internal TP content cages of a year is: August > October > June > December > April > February. The comparison of the results of internal TN content cages of a year is: October > August > June > April > December > February. Change rules of TP and TN is in basic to remain consistent. The TN and TP content on June, August and October that having a large quantity of fish is greater than the smaller fish quantity on December, February and April. Through the analysis, the conclusion of the pond cage culture to TN and TP content of Qingshitan Reservoir has a very great affection.

(2) Research shows that, DO value is studied with distance from the trend of increases. This is because that the high density cages area fish and other aquatic creatures breath, breeding of fish excrete, platoon dung and residual bait decomposition use oxygen. It make DO changes around the area by fish cages big effect.

(3) In COD_{Mn} content change curve, the summer and fall of COD_{Mn} is greater than that in winter and early spring whose fish quantity smaller. This shows that the contribution of cages fish to COD_{Mn} is larger. Research shows that fish is mainly studied the bait and stool to COD_{Mn} effect.

(4) In addition to the August, Chl-a content does not change significantly. This study shows the region area with no significant differences. Representatives of phytoplankton biomass Chl-a content with the increase of space from the area does not change significantly. The author analysis that it may be relating to the reservoir itself, the nutrient concentration climate.

This paper get the following major conclusions through the establishment of the model to calculate the theoretical value of cage culture on Qingshitan Reservoir.

(1)Suggest to use 0.05 mg/L phosphorus as restrictive standard value when calculating the cage culture saturation of Qingshitan Reservoir. The theoretical value of cage culture on Qingshitan Reservoir is 0.22% with using Dillon model.

(2)Put forward to prevent the pollution caused by the cage culture: The waters classification management; According to the control unit water environmental capacity to determine the scale of breeding; Evacuation cages,cages to each other to prevent pollution; Optimization species of proportion, constructing the benign fish ecological; To strengthen the dynamic monitoring helped mariculturists cages.

Key words:Qingshitan Reservoir; cage culture; phosphorus; saturation.

第1章 引言

1.1 课题来源及研究意义

1.1.1 课题来源

本论文选题来源于桂林市环境保护科学研究所《青狮潭水库饮用水源保护区划分研究》课题。

1.1.2 研究意义

网箱养鱼是一种采用高密度放养和强制性投饵的集约式养殖方式^[1]。它采用金属网片或合成纤维组装成特定形状的箱体,通过不断交换网箱内外水体,使箱内形成鱼类生长发育的适宜环境,这种养鱼方式能充分利用大水体优越的自然条件,具有投资少、产量高、见效快、设施比较简易、捕捞灵活方便等特点,适合在湖泊、水库、江河等大水域进行渔业生产^[2-3]。

我国拥有众多的江河湖泊,随着近年来水电的开发利用力度的加强,形成了很多新的天然湖泊和人工水库。其中在广西比较有代表性的有西津水库、青狮潭水库,除此以外还形成了众多的中小型的水库,分别分布在澄江、东安江、珠江、柳江、桂江、郁江等支流或干流上^[4]。水库的形成给养殖业带来新的机遇,网箱养鱼技术得到快速发展,取得较好的经济效益,目前北京市密云水库网箱养鲤鱼,上海市淀山湖网箱养鲂鱼、草鱼成绩突出,规模最大、成绩最好。北京市密云水库网箱养鲤鱼的产量达到 100 kg/m^2 左右^[5]。但此后随着网箱养鱼的高速发展,我国因网箱养鱼引起的水质污染问题也日益突显。

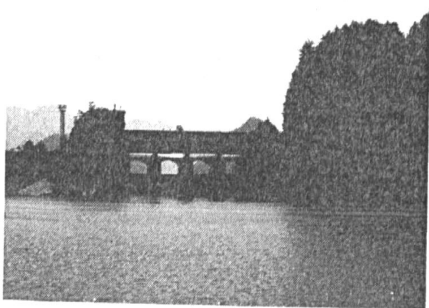
随着网箱养鱼规模和养殖强度的增加,许多水体出现水质恶化,网箱养鱼对水体水质影响问题已引起国内外许多学者的关注和研究^[6-8]。朱淑君^[6] (2003 年) 等人调查了千岛湖重要网箱养鱼区,监测分析和对比了网箱养鱼区水域和邻近非养鱼区水域的水质状况,发现网箱内营养物质含量明显高于网箱外,并且对附近较大水域 ($>250\text{m}$) 的水质产生影响,可见网箱养鱼对水体影响大,涉及面广。刘潇波,高殿森^[7] (2004 年) 在前人研究的基础上总结和讨论了网箱养鱼对水环境的影响。

在网箱养鱼区,残饵、粪便等沉降颗粒物是造成污染的主要原因^[9]。饵料散失,排泄物增加,长期的养殖生产活动对附近水质影响很大,特别是一些养殖区只考虑短期的利益而盲目发展,严重超过养殖容量,造成大面积水域污染,

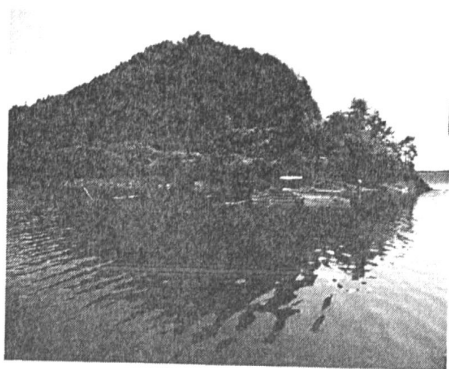
鱼类疾病爆发^[10-12]。

青狮潭水库网箱养鱼始于上世纪 70 年代，养鱼网箱主要集中在公平湖、坝首、蓝田等少数地方，由于鱼类代谢废物和饵料残渣的大量排放，导致排入青狮潭水库的污染物过量，远远超过水库的自净能力。2005 年 7 月至 9 月，在水库坝首附近水域水面出现很多藻类，水体呈绿色，水质恶化，坝首断面 pH、总磷、总氮、COD_{Mn}、BOD₅ 等项目监测值超过《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）V 类标准^[13]。根据 2009 年 9 月调查资料，库区内网箱 1500 多个，面积约 6 万 m²^[14]，网箱存鱼 2000t，以日投喂率 3% 计算，则每天投加的饵料约 60t。网箱养鱼对水质的污染主要来自投放的饵料、肥料、药剂以及鱼类的排泄物等几个方面^[15]。网箱养鱼对青狮潭水库水质的主要影响有：①增加了网箱和周围水体中氮和磷的含量；②增加了水体中耗氧有机物含量；③减少了网箱周围 DO 值；④增加了水体有机污染负荷，导致相关水域出现富营养化加重现象（部分水域甚至达到了劣 V 类水质标准），给人们的生产生活带来严重负面影响。因此，针对网箱养鱼对青狮潭水库水质的影响进行研究是很有必要的。

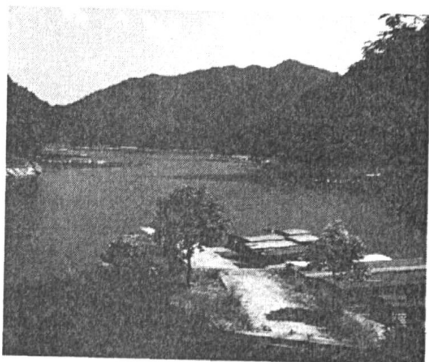
图 1.1 为作者坐船由青狮潭水库大坝沿水流直至青狮潭水库西湖南岸途中拍摄的部分网箱养鱼现状，从现场调查可知，青狮潭水库网箱分布密集，网箱大小约为 30m×20m/个，每家网箱个数少则 6~7 个，多则可达 20 余个。



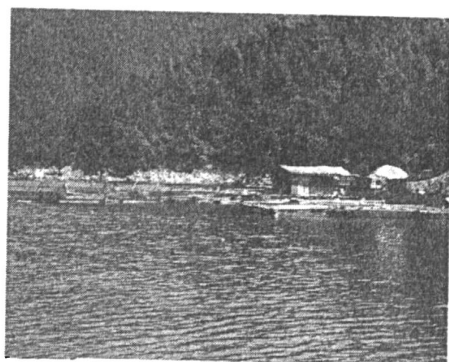
a 坝首位置远景



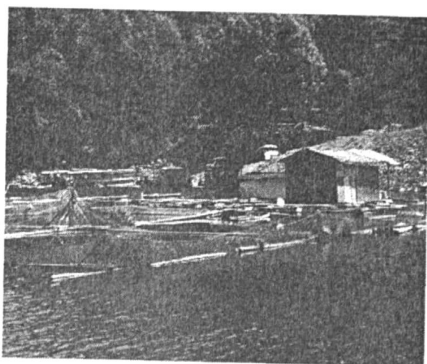
b 青狮潭水库大坝附近网箱养鱼点



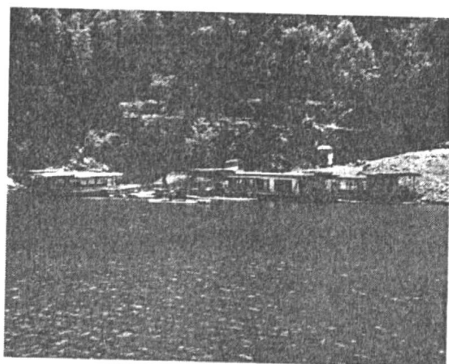
c 自大坝向北方向，网箱养鱼已颇具规模



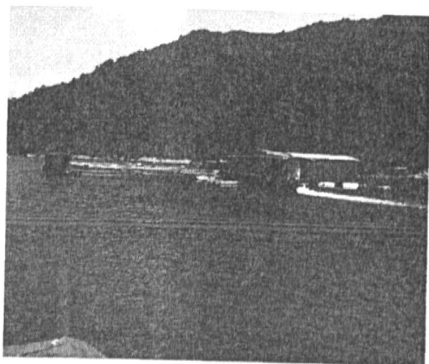
d 大坝上游一网箱养鱼点



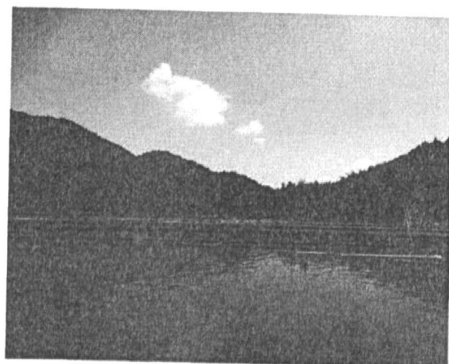
e 大坝上游典型网箱养鱼渔户



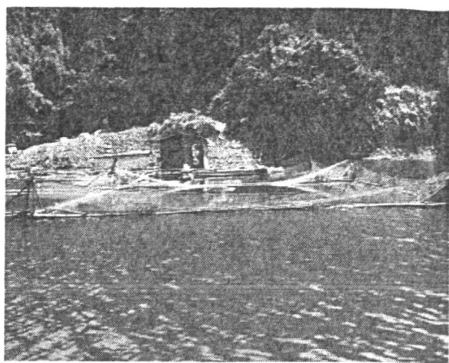
f 网箱养鱼以家庭为单位，吃住都在船上



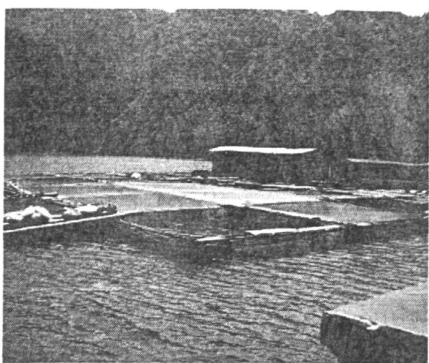
g 靠近青狮潭水库西湖区域的网箱



h 靠近青狮潭水库西湖区域的网箱



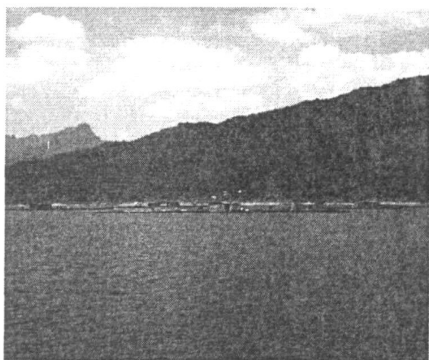
i 青狮潭水库西湖区域的网箱



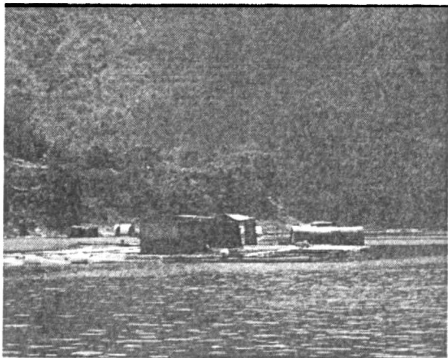
i 西湖区域面积大，每户网箱也普遍面积大且数量多



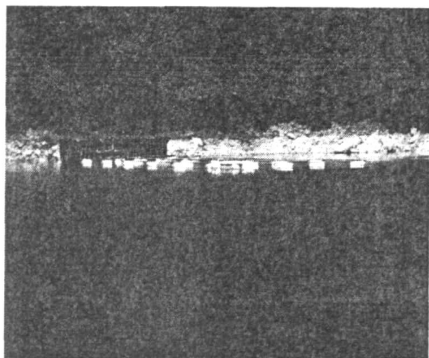
k 青狮潭水库西湖沿岸设立的网箱



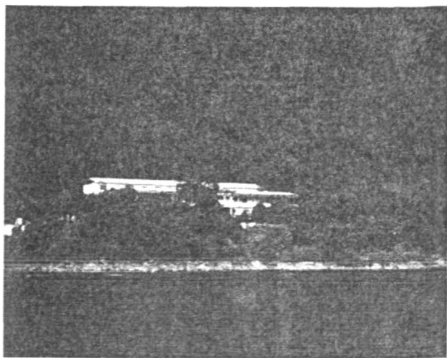
l 青狮潭水库西湖中心区域设立的网箱



m 青狮潭水库西湖区域设立的网箱



n 青狮潭水库西湖区域设立的网箱



o 青狮潭水库西湖沿岸的一家休闲山庄



p 青狮潭水库沿岸的休闲山庄

图 1.1 青狮潭水库部分现场照片

1.2 国内外研究现状

1.2.1 网箱养鱼对水环境影响因素

目前国内外网箱养鱼多是采取高密度的投饵养鱼,随着养鱼规模的不断扩大,未食用的残饵以及鱼体排泄物对水体及周围水环境的影响越来越突出。是近年来水质老化、水华、水体富营养化、鱼病增加等问题频繁出现的重要原因之一。因此,关于网箱养鱼对水环境的影响方向的研究,已成为水产学界以及环境学界迫在眉睫的研究课题,对此,许多学者都曾从不同的角度进行探讨,取得了一些理论成果。网箱养鱼对水环境造成影响的因素主要包括未食的饵料、排粪和排泄、化学药品以及底泥的二次污染几方面。

1.2.1.1 饵料

养鱼生产需要昼夜多次投饵,而投喂的饵料总有一部分不能为网箱养殖的鱼类所食用。原因主要有四方面^[10]:一是投饵方式不当;二是一部分饵料呈粉状,投料时可能被风吹走或溶于水中;三是投放量太多,超过鱼类摄食需要;四是饵料被网箱内的一些野杂鱼摄食。目前没有研究明确未食饵料的量的多少,原因主要是残饵和粪便难以收集。有些学者估算过网箱养殖蛙、鲢的残饵量,但结果差异性很大,未食饵料占投饵量的比率少则达 1%,多则达 30%,如表 1.1 所示。

表 1.1 网箱养鱼未食饵料的估算值

研究时间	养鱼方式	种类	饵料	投饵方式	未食饵料/%
1982 年	水库散养	鲢鱼	干饵料	机投	1~5 ^[16]
1982 年	水库散养	鲢鱼	湿饵料	机投	5~10 ^[16]
1982 年	水库散养	鲢鱼	野杂鱼	手投	10~30 ^[16]
1982 年	水库网箱	鲢鱼	干湿饵料	机投	30 ^[17]
1983 年	水库网箱	蛙鱼	干湿饵料	机投	20 ^[18]
1987 年	海水网箱	鲑鱼	干湿饵料	机投	15~20 ^[19]
2004 年	海水网箱	鲑鱼	干湿饵料	机投	20 ^[20]

据有关文献表明,每生产 1kg 鱼,以各种形式进入水体的有机物有 800g、氮 70g、磷 17g,投喂的饵料只有 25%~35%用于鱼体的增重,其他部分或溶解于水中,或沉积于水底^[15]。林永泰(1995 年)^[21]等人研究网箱养鱼对黑龙滩水库环境影响,测定进入水体的总氮和总磷分别占饵料总量总氮和总磷的 73.38%和 94.81%,可见未食用的饵料对水环境影响巨大。

1.2.1.2 排粪与排泄

鱼类所摄食饵料中未被消化吸收的部分连同肠道粘液、脱落细胞和细菌以粪便的形式排出,被消化吸收的营养物质中又有一部分转化为氨和尿素被排泄出鱼体。通常认为鱼类摄取的饵料中有 20%~30%以排粪或排泄的方式进入水体^[22]。鱼类的消化能力与食物种类有很大关系, Beveridge^[25] (1984 年) 等对鲑鳟鱼的排粪量做了估算, 结果表明典型商品饵料的消化率约为 74%, 100g 饵料消化后排粪排出量大约是 25~30g 干重, 其中蛋白质、脂肪、碳水化合物、灰分的含量分别为 17%、3%、62%、17%。Winberg^[23] (1996 年) 认为杂食性鱼类的消化率可达到 80%, 植物食性鱼类由于饵料中难吸收的纤维含量高, 使其消化率低于 80%, 肉食性鱼类的饵料中蛋白质成分高, 其消化率可达 90% 以上。日本学者^[24] (1996 年) 对网箱养鲤进行研究, 发现每吨鱼喂养 1.4t 含蛋白质 36% 的粗饵料后以粪尿形式进入水体的氮磷含量分别为占饵料氮磷总量的 62.2% 和 22.1%, 产生的粪便干重为 0.5t。何志强^[26] (2006 年) 对蛋白类鱼粉的转化率进行研究, 结果表明这类常规饵料的转化率非常低, 仅有 20% 的磷存留于鱼体内, 其他 80% 的磷都以排泄形式进入水体。蛋白质排泄最终以氮排泄物的形式排出体外, 真骨鱼类的氮排泄物形式主要是尿素和氨^[27], 他们主要通过鳃以及尿液排出体外。大量氮磷进入水体, 为浮游生物的繁殖提供充足的养分, 造成水体的营养化, 由此可见长期的网箱养鱼排粪产生的污染是很大的。

鱼类粪便中附着大量的细菌, 目前还没有鱼类粪便中细菌对水环境产生影响的相关报道。

1.2.1.3 化学药品

为预防疾病、防治病害、消毒等, 常常需要向养鱼区投放各类疫苗、抗生素、消毒剂等。这些药剂在使用时或直接用于网箱和鱼体的消毒, 或添加进饵料中, 两种方式根本上都是将药剂直接排入水体, 这些化学药剂累积到一定浓度就会对水体造成污染, 有些药剂还会威胁下游的饮用水安全, 有些药剂会在水生生物体内积累下来, 通过生物链的富集作用, 最终危害到整个生态系统乃至人类。

网箱养鱼过程中经常使用许多药剂, 频繁的用药是鱼体内的病菌产生抗药性, 因而需要不断的开发新药以满足需要, 这样的恶性循环使水体受到的污染日益加重。据统计, 用于水产养殖的药剂先后出现的种类多达 500 种。1990 年挪威在水产养殖上使用的药剂中仅抗生素就比农业常用药品总数还多^[21]。Solbe^[28] (1997 年) 对英国水产养殖使用药剂的情况进行统计, 发现正在使

用中的药剂多达 23 种。Gravedi^[29] (1987 年) 等对药剂进入水体后的去向进行研究, 结果表明掺入虹鳟饵料中用于杀菌的氯霉素的消化率只有 7~9%, 其他部分全部进入水体中。化学药剂的分解有的需要几天, 有的需要几个月甚至几年。Grown^[18] (1987 年) 研究发现在养鱼网箱下面的底泥中的四环素残留浓度为 $2.0\sim 6.3\times 10^3$ mg/g, 并持续达 7 个月。这些抗生素的存在减弱了水体降解有机碳的能力, 改变了水环境中的物质组成成分的比例。

1.2.1.4 底泥的二次污染

网箱养鱼过程中不能被鱼类完全摄取的饵料, 相当一部分在重力的作用下会沉积于网箱底部。除此之外, 鱼体消化吸收后排出的粪尿, 除部分溶于水中, 部分随水流流出库区, 其余的也会沉积在底泥里。这些沉积物直接的影响是使底泥中的有机物大量积累并使底泥环境向缺氧状态转变, 可能导致底泥化学特性的改变和底栖生物群落结构的破坏。

据研究, 在鲑鱼网箱养鱼区下部沉积物每年只有约 10% 的有机物可得到分解^[30]。投入饵料中氮的 21%、磷的 53% 和碳的 23% 将累积于底部, 无法被生物利用。沉积在底泥中丰富的有机物, 其所含的氮、磷、碳在适宜的环境条件下会重新释放出来, 造成养殖水体的二次污染。王小平^[31] (1998 年) 在对牛头湾网箱养鱼进行研究时发现 30~50% 的残饵最终沉积会于底泥中, 特别是在网箱位置固定的区域, 由于网箱影响水流流动, 使有机物大量积累, 这些沉积物在适宜环境条件下, 会重新释放出来污染水质, 成为养殖水环境污染的主要内源, 尤其是对于常年进行养鱼活动的水域, 污染更加严重。冉景恒^[32] (1999 年) 经研究发现, 在网箱养鱼区, 由于底泥释放而造成水质污染的比重随着养殖年限的增加而不断地增大。所以, 对于网箱养鱼特别是养殖年限较长的水域, 底泥沉积物对水质的二次污染应引起人们足够的重视。

1.2.2 网箱养鱼对水域生态系统的影响

1.2.2.1 网箱养鱼对水质的影响

水体的水质指标主要包括 DO、pH、总磷、三氮、总氮、COD、BOD、粪大肠菌群、水温、悬浮物、透明度、盐度(海水网箱养殖)、 CN^- 、AS、 Cr^{6+} 、Hg 等, 它们是水体水质的决定性因子。美国^[33]在 20 世纪 70 年代初就开始研究网箱养鱼引起的水质问题, 是研究最早的国家之一。东欧于 20 世纪 70 年代中期开始用监测技术监测网箱养殖的湖泊水质。英国斯特林^[34]大学建立实验区研究网箱养鳟对环境的影响, 进行了长期观察。我国对网箱养鱼引起水质问

题的研究比较晚,从上世纪 90 年代开始有相关的报道,到目前为止,研究成果也很丰硕。

研究网箱养鱼对水质的影响主要有两种类型:一种是比较研究网箱区和与网箱区有一定距离的水域的水质差异^[21, 35];另外一种是比较网箱设立前后水质的变化情况^[33]。

无论哪种研究类型,其研究结果都表明,网箱区的氮、磷、碳含量一般均高于非网箱区,透明度和溶解氧低于非网箱区,pH 和水温则无明显变化^[17, 19, 31]。吴庆龙^[35](2001 年)长期研究东太湖网箱养鱼,结果表明网箱养鱼每年会增加东太湖湖水氮负荷 141125kg、磷负荷 14115kg。焦荔^[36](2007 年)等在千岛湖监测网箱养鱼区及湖区水质,研究发现,网箱区水域总氮和总磷含量明显高于非网箱区。某些海湾地区高密度水产养殖所产生的残余饵料和排泄物增加了水体营养物浓度,这很可能是引起近海赤潮发生的重要因素^[37]。这表明网箱养鱼会增加水体中营养物质的含量,降低溶解氧的含量,加剧水体的富营养化程度。

1.2.2.2 网箱养鱼对底质的影响

网箱养鱼对底质产生影响的主要是受重力作用沉积的粪便和残饵^[31]。张敏^[38](2002 年)等采用对照法研究网箱养鱼对东湖湖底沉积物有机质含量的影响,将网箱下方及相邻区域的底质与非网箱区域比较,研究结果表明,东湖网箱养殖罗非鱼水域下沉积物中的有机质含量明显高于非网箱区。王立明^[39](2008 年)等在潘家口水库研究了网箱养鱼对底质的影响,研究发现网箱底部有机质含量为 2.14%,氮含量 0.146%,明显偏高,有机质和氮的含量具有随着与网箱距离增大而减少的变化规律,在与网箱距离 10m 处的含量仅为网箱底部的 50%左右。

一般研究结果表明,网箱底部沉积物中富含高硫化物、无机氮、COD 和无机磷。网箱底泥中的耗氧量和碳、氮、磷含量与非网箱区相比明显增加,研究结果表明网箱养鱼改变了底质的溶氧状态以及运输和沉积方式。在缺氧的条件下,也可能导致底质化学特性和底栖动物群落结构的改变^[40, 41]。Black^[42](1983 年)研究发现底泥在缺氧条件下会大量释放出 NH_3 。Enell^[43](1983 年)等估算淡水网箱底质释放 NH_3 的速度是未受网箱干扰的区域底质释放 NH_3 速度的 2.6~3.3 倍。此外,底泥在缺氧条件下还会释放 H_2S 和 CH_3 , H_2S 对鱼体有毒害作用^[44]。

1.2.2.3 网箱养鱼对浮游生物的影响

关于网箱区和非网箱区浮游植物的生物种类和数量多少的比较,目前学术

界尚无一致结论。Striling 和 Dey (1990 年)^[34]的研究表明,不同水层的叶绿素 a 含量,对照区均明显高于网箱区,原因是网箱区悬浮固体物质较多、透明度下降,因而浮游植物的生长受到光照的限制,数量比非网箱区的浮游植物量少;黄明显^[45](1990 年)认为网箱区和对照区的浮游植物数量没有显著差别,黄明显的研究中,网箱区和非网箱区的透明度相似,在网箱设立后,藻类有从硅藻向蓝藻转化的趋势;而林永泰^[21](1995 年)、张家波^[46](1997 年)却认为网箱区的营养物质含量高,造成浮游植物数量和生物量均较网箱上下游高。

网箱区浮游动物的数量研究结论也有两种。张家波^[46](1997 年)对横冲库湾网箱养鱼的研究中发现,网箱区的浮游动物数量明显高于非网箱区,其原因分析为,在投放残饵与粪便混合物后,营养盐类逐渐分解释放,浮游植物迅速繁殖,加之存在较多的细菌和原生动物,浮游动物的摄食压力小,繁殖迅速,导致数量激增。而 Striling 和 Dey^[34](1990 年)的研究结果与张家波得出的结论相反,他们发现网箱区周围的浮游动物数量显著减少,原因是浮游动物穿过网箱时被箱内的鱼摄食以及网箱阴影对藻类的影响而造成浮游动物食物的贫乏。

1.2.2.4 网箱养鱼对底栖动物的影响

网箱养鱼区及其邻近区域由于未食饵料、鱼类粪便沉积造成大量营养物质的堆积,使网箱下方底泥处于缺氧状态,在这种影响下底栖动物的数量下降,但种类没有显著变化。韩志泉^[47](1989 年)等研究发现,底栖动物数量与底泥中总氮有显著关系,底泥中总氮量每增加 0.01mg/L,底栖动物水蚯蚓数量就增加 279 条。林永泰^[21](1995 年)等在黑龙滩水库研究网箱养鱼对水环境的影响,结果表明网箱养鱼使底栖动物数量减少,研究显示网箱区底栖动物的数量明显少于网箱外区域,种群密度和生物量约为网箱外区域的 10%,且距网箱越近,底栖动物的数量越少。其原因主要是网箱下方及其邻近区域营养物的堆积,导致网箱下方沉积物中的 DO 下降,而使网箱下方底栖动物的数量显著减少,距网箱越远,影响越小。由于有机物质的轻微富集,所沉降的残饵、鱼类粪便等悬浮物为底栖动物提供良好的环境条件,可能会使一些种类的数量增加,而另一些种类的数量降低。朱新源^[48](1991 年)等研究指出网箱养殖一般会增加水体底栖动物的总量,吴庆龙^[36](2001 年)研究东太湖网箱养殖区底栖动物组成时发现,在近网箱区寡毛类的苏氏尾鳃蚓的数量明显增加。本质上来看,这两种研究结果是一致的,对于整个水体,由于营养物质有所增加,底栖动物的数量随之增加,而网箱下方底泥中,营养物堆积,DO 含量下降,使底栖动物数量减少。总之,网箱养殖对一定范围水体的底栖动物的群落结构会造成不同程度的影响。

1.2.2.5 网箱养鱼对鱼类的影响

网箱养鱼可能导致天然鱼类种群增长率、丰度（在特定区域或群落内，某一类群生物的个体数量的估量）和成活率的改变。美国 Kilambi^[49]（1978 年）等发现网箱附近可大量捕捞到植物食性和非植物食性鱼类，同时发现网箱附近有些鱼类的增长率和成活率提高了。Penzak^[17]（1982 年）等经研究发现，由于网箱养鱼引起的富营养化致使波兰白鱼资源的减少。Collins^[51]（1983 年）对网箱养鱼进行研究，他发现蓝鳃太阳鱼和红耳太阳鱼在网箱周围大量聚结，同时观察到野生的杂鱼摄食残饵，这些野生杂鱼的生长速度明显快过非网箱区未使用残饵的野生杂鱼。Phillips^[50]（1985 年）对网箱养鱼开始前后湖泊中鲤的生长率进行比较，结果发现网箱养鱼开始后鲤生长明显快于网箱养殖前，对湖泊中的土著虹鳟和人工放养的虹鳟研究也得出类似的结果。

网箱养鱼刺激水体中的鱼类生长的原因主要是水体变肥和来自网箱的残饵被鱼类摄食。Kilambi^[49]（1978 年）等认为网箱养鱼增加浮游动物的生产力，刺激了蓝鳃太阳鱼的生长。Kilambi 通过水下摄像发现野生棕鲮摄食网箱的残饵，解剖从网箱周围捕捞的虹鳟时发现，其肠道内的人工饵料量占总食物量的 80% 以上。每个水体都有典型的鱼类群落，这些群落依赖于水体的营养状况，而网箱养殖引起的营养状况的改变将引起鱼类群落的改变。网箱养殖对天然鱼类群落的影响还表现在鱼群出逃后引起的变化。从网箱中出逃的或有意移植的鱼类对土著鱼类群落的影响包括通过掠食或摄食竞争造成当地种群灭绝、与当地种群杂交、掺杂基因库、破坏生境引发流行病。

1.2.3 网箱养鱼容纳量的研究

1.2.3.1 网箱养鱼容纳量定义

网箱养鱼容纳量是指在一定条件下的水体承受网箱养鱼的能力，其容纳量的大小和水体的用途及相应的水质标准相关^[40]。比较完善的定义是由刘剑昭^[52]提出的：在特定的水域内，不危害环境、保持生态系统相对稳定、保证经济效益最大，并且符合可持续发展要求条件下所获得最大产量时网箱养鱼面积占水库库区面积的百分比。

1.2.3.2 网箱养鱼容纳量的研究方法

目前对网箱养鱼容纳量的研究方法包括：借助实验区的历史资料和环境条件来确定的方法，生态动力学模型法以及现场试验法。研究主要着眼于磷和有机物的负荷。但不管采用什么方法，都应考虑水体的用途。不同的用途对水质

的标准不一样,磷为淡水水体中浮游植物生长的限制因子^[10],要预测淡水网箱养鱼的容纳量在多数情况下就是评价水体对磷的承载力。

Beveridge^[25] (1984 年)用 Dillon 模型计算出网箱养殖虹鳟的一个小型湖泊的负载为 $3\text{t}/\text{hm}^2/\text{y}$ 。李德尚^[53] (1992 年)用实验围隔的方法,得出水体对网箱养鱼的容纳量为 0.4%。熊邦喜,李德尚^[54] (1994 年)用 Dillon 模型计算出水库可设置投饵网箱的面积为养鱼水面的 0.28%。陈义煊^[55] (1994 年)计算出四川 9 座水库网箱养鲤的设置面积应为养殖水面的 0.16~0.5%。林永泰等^[21] (1995 年)认为网箱养鱼面积不应超过水库的面积 0.078%。张兆琪^[56] (1997 年)提出投饵网箱养鱼的比例应小于 0.25%。姜世中^[57] (1999 年)根据模型得出黑龙滩水库网箱设置面积应为水面的 0.1 % (灌溉用水)和 0.03% (生活用水标准)。

可看出,不同作者提出的标准差异很大,究其原因,水库对网箱养鱼的负荷能力受很多条件的影响,本文作者认为,想要获得较为精确的结果,需要综合考虑具体水库的特殊情况,特别需要考虑水体交换能力对网箱养鱼的影响,在这方面的研究,目前比较欠缺。

1.2.4 水体交换影响的研究

水体交换是自然界水文循环的效应^[58]。它对水体污染状况有直接影响,例如连云港西大堤的建成使原来的海峡通道型港口变为半封闭的人工海湾型港口,造成海湾的水体交换率下降,湾内水体污染日趋加剧^[59]。何杰^[60] (2009 年)等研究发现海港口的环抱式单口门港池在起到防浪和减少泥沙回淤作用的同时,导致港池内外水体交换量减小,其结果是港池内的污染源不能随落潮流及时输送到外海稀释,外海的涨潮流也不能及时进入港池稀释受污染水体,导致港池水体环境容量下降。其作用机理在于水体交换影响水体的微观特征,如污染物浓度、水体中污染物的停留时间、水中生物的数量。对水体内部来说,交换周期影响水中污染物与营养物的浓度与停留时间,控制着水体中生物过程与化学过程反应所发生的时间长短^[60-63]。Hatcher 与 Frith^[64] (1985 年)的研究表明,铵浓度的长期平均值与交换周期具有很好的相关性。Hatche 等^[65] (1987 年)发现在某一范围内湖泊的交换周期与浮游生物的数量之间存在线性相关关系,交换周期过长或短,都会对水生生态环境产生不利影响,交换周期过长,致使污染物在水体中逐渐累积,水体自净能力下降。周期过短,又会冲淡营养物,不利于水生生物的生长。

水体的交换能力直接影响网箱养鱼的产量和效益。陕西省汉中市水产工作站 (1995 年)利用汉中地区小型水库水体交换频繁、表底层温差大的特点,

采取集约精养鱼的方式,使 1 亩水面的效益相当于原来 7.7 亩水面的效益,实现高产高效^[66]。孙占用^[67] (2005 年)发现在增加水体交换量情况下鲤鱼的生长相对较快较好,研究表明加大水体交换量可增加池塘水体总体积,提高鱼载力,能更有效的提高网箱养鱼产量。

青狮潭水库是以农业灌溉为主,兼顾发电、防洪、水产养殖、供水、旅游等综合功能的大型水利工程。随着经济建设、城乡建设的发展,人口向城区密集,桂林市在城市供水、旅游环境和生态环境等面临巨大的压力。为此,桂林市人民政府把青狮潭水库列为城市供水备用水源地,青狮潭水库在桂林市社会经济发展中具有重要作用和地位。因此,有必要结合青狮潭水库的现实特点,分析具体的水质指标及其相关性,找出青狮潭水库网箱养鱼造成水质污染的原因。综合考虑青狮潭水库水体交换能力,计算青狮潭水库网箱养鱼的容纳量,为相关部门进行水污染控制提供科学的依据。

1.3 研究内容及技术路线

1.3.1 研究内容

本论文采用采用现场分析与实验室分析相结合的方法,分析网箱养鱼对青狮潭水库水质的影响,研究的主要内容是:

(1) 分析水质指标的变化规律及变化原因,计算网箱养鱼对青狮潭水库水质影响的污染负荷值;

(2) 应用 SPASS17.0 统计软件分析水质指标之间的相关性;

(3) 结合水库的水体交换能力,建立 Dillon 模型,计算青狮潭水库网箱养鱼的容纳量。

通过以上研究,得出网箱养鱼对青狮潭水库水质产生影响的原因并提出防治对策,为相关部门进行水污染控制提供科学的依据。

1.3.2 技术路线

技术路线如图 1.2 所示。

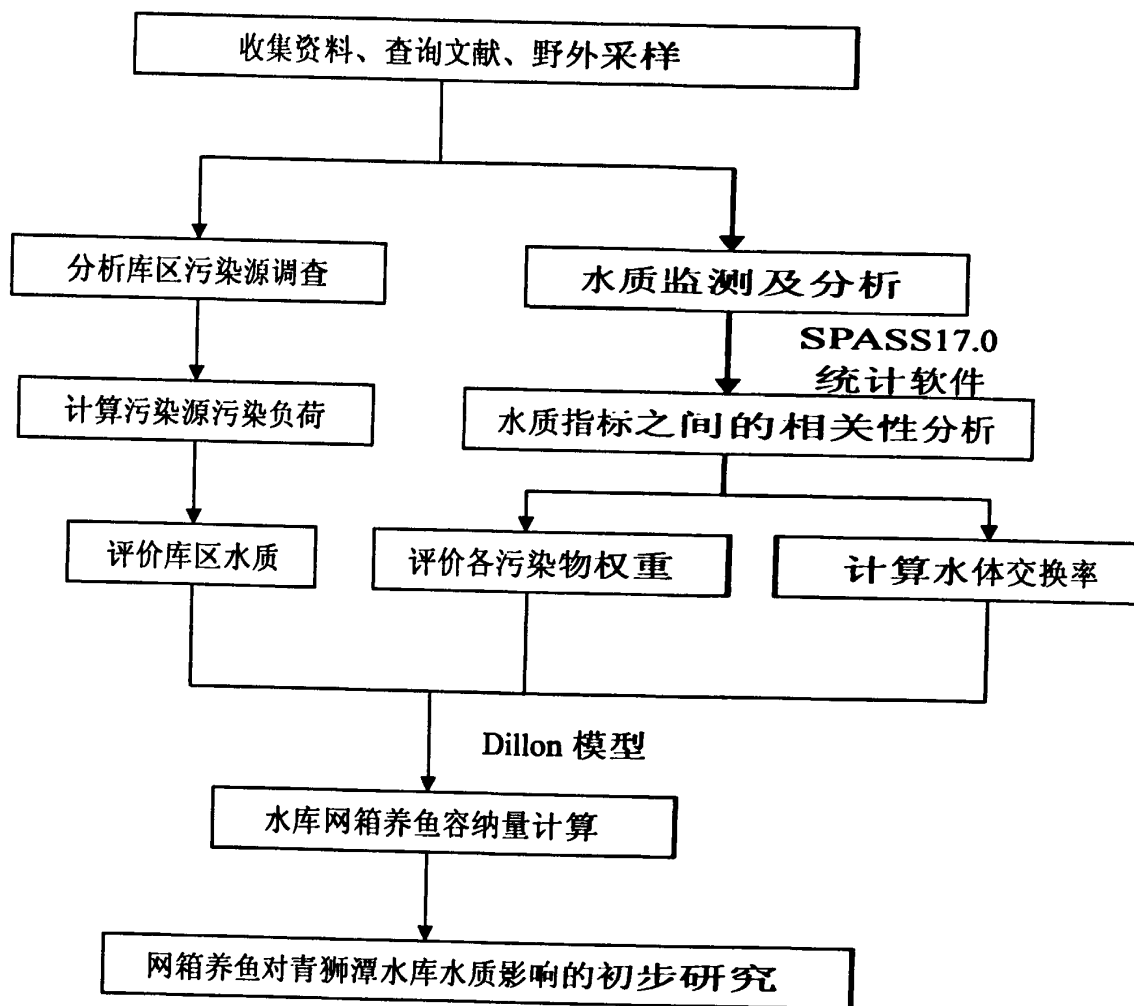


图 1.2 技术路线示意图

1.4 拟解决的关键问题及研究创新点

1.4.1 拟解决的关键问题

(1) 通过分析青狮潭水库 2006-2010 年水质监测数据, 寻求各类水质指标的演变规律;

(2) 结合青狮潭水库的现实特点, 分析具体的水质指标及其相关性, 找出青狮潭水库网箱养鱼造成水质污染的原因。

(3) 建立 Dillon 模型计算青狮潭水库网箱养鱼容纳量。

1.4.2 研究创新点

(1) 本论文根据现场调查, 对青狮潭水库主要污染源进行实测, 并计算其污染负荷;

(2) 对 2006-2010 年青狮潭水质监测数据进行分析, 讨论其富营养化程度;

(3) 在大量观测数据的基础上, 分析网箱养鱼对青狮潭水库水质的影响, 结合青狮潭水库水体交换能力, 建立模型, 确定水库网箱养鱼容纳量, 并提出防治措施。

1.5 本章小结

随着网箱养鱼规模和养殖强度的增加, 鱼类代谢废物和饵料残渣的大量排放, 导致排入青狮潭水库的污染物过量, 远远超过了水库的自净能力。网箱养鱼对水库水质的影响主要体现在: ①增加了网箱和周围水体中氮和磷的含量; ②增加了水体中耗氧有机物含量; ③减少了网箱周围 DO 值; ④增加了水体有机污染负荷。导致相关水域出现富营养化加重现象给人们的生产生活带来了严重负面影响。因此, 针对网箱养鱼对青狮潭水库水质的影响进行研究是很有必要的。

本章详细论述了国内外网箱养鱼污染的研究现状, 总结了网箱养鱼造成污染的机理, 制定了研究的技术路线, 为进一步开展工作作好准备。

第 2 章 青狮潭库区污染源调查及水质现状分析

2.1 青狮潭水库介绍

青狮潭水库地处桂林市灵川县青狮潭乡境内，坝址距桂林市市区 32km，青狮潭水库 1958 年动工，1960 年 8 月开始蓄水，1964 年完全建成。总库容 6.0 亿 m^3 ，有效库容 4.05 亿 m^3 ，库区汇水面积 474 km^2 ，入库年均流量 26.5 m^3/s ，枯水期流量 3.5 m^3/s ，平均水深约 30m，最大水深 70m，水库水面面积 30 km^2 。青狮潭水库是以农业灌溉为主，兼顾发电、防洪、水产养殖、供水、旅游等综合功能的大型水利工程，旅游业是桂林市国民经济重中之重，为保证枯水季节漓江游船的正常开航，每年秋旱季节，靠青狮潭水库有计划的放水，调节漓江流量，保证桂林至阳朔的游轮畅航。随着经济建设、城乡建设的发展，人口向城区密集，桂林市在城市供水、旅游环境和生态环境等面临巨大的压力。为此，桂林市人民政府把青狮潭水库列为城市供水备用水源地，青狮潭水库在桂林市社会经济发展中具有重要作用和地位^[68]。青狮潭水库位置如图 2.1 所示。

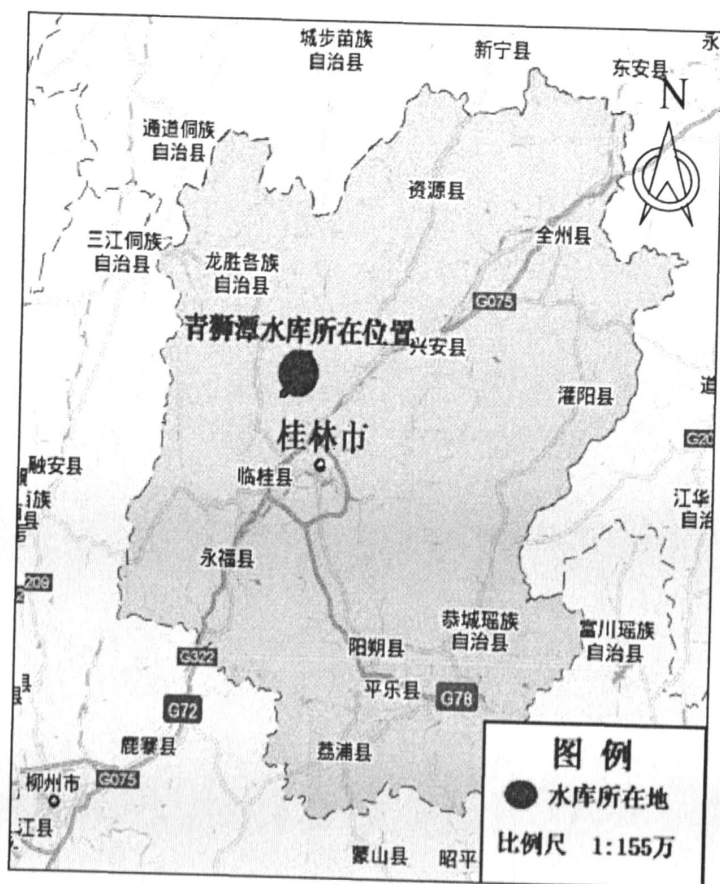


图 2.1 青狮潭水库位置示意图

2.2 自然环境概况

2.2.1 流域概况

青狮潭水库位于东经 $110^{\circ} 05' \sim 110^{\circ} 25'$ ，北纬 $25^{\circ} 04' \sim 25^{\circ} 34'$ 之间，地处桂林市灵川县西北部。大坝填筑在漓江支流-甘棠江的青狮潭峡谷口，属山谷型水库。库区地处广西东北部南岭山脉南侧，由西湖和东湖两部分组成，上接西江河、蓝田河和东江河三条主要入库支流。西湖水面面积较大，约占库区水面面积的 80%，水流流速较缓。两湖水流在两河口处汇合，于库区出口坝首处流出。

青狮潭水库灌区于 1960 年 7 月建成，灌区设计灌溉面积 2.79 万 hm^2 ，总土地面积 984 km^2 ，灌溉范围有桂林市灵川县、临桂县、桂林市五城区 16 个乡镇的农田。灌区渠系工程总长 782 km，有东西两大干渠长 115 km，其中东干渠全长 51.5 km，设计放水流量 13.0 m^3/s ，西干渠全长 63.5 km，设计放水流量 24.5 m^3/s ，全灌区有引水流量 1.0 m^3/s 以上的支渠 10 条，全长 116.21km，分渠 19 条，斗渠 424 条，全长 442.19 km。灌区内有中型水库 1 座，小型水库 10 座，总库容 3112.86 万 m^3 。由此组成的灌溉网络，为确保灌区农业丰收奠定了牢固的基础。

2.2.2 地质地貌

青狮潭水库所在的灵川县位于江南古陆南边坡，其地势高峻，由西北、东北向东南倾斜。受印支运动和燕山运动的影响，其地质构造复杂，具有“背斜成山，向斜成谷”的特点。西北为越城岭复背斜，东南为海洋复背斜，两者之间为湘桂夹道，总体呈北东走向。“灵川断层”位于长蛇岭东麓，介于长蛇岭与盘古庙山之间，为县境最重要的区域性断层。全长数百公里，自全州、界首西南经兴安永兴街与溶江而入灵川；于定江街西侧延入桂林。县境跨度约 30 公里，呈北 45° 走向。断层分布于湘桂夹道西北侧，切断数列背斜与向斜，错断地层有奥陶系、泥盆系、石灰系和白垩系，并多处被第四纪掩埋。断层面倾向西北，倾角在 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 之间，且西北盘向北东方向逆冲，断层具平移兼逆冲性质。

青狮潭库区山峦重叠、溪河纵横，地貌类型有山地、丘陵、台地、平原、

河流水面等。青狮潭水库周边主要的山峰及溶洞有：鸡笼山位于青狮潭水库公平湖西岸，海拔 1100m，界于临桂中庸田村，为流峰江（又名公平河）源头；大黄山位于青狮潭水库西南角，海拔 804.1m；五指岭位于青狮潭水库东岸，海拔 635.6m，南端由老虎岭，青狮潭水库大坝向北楔入山体；龙岩又名灵岩，位于青狮潭水库北部，海拔 267m，为岩溶局部袭夺现象，长约 200m，宽 70m，高约 20m；佛塔岩位于青狮潭水库大坝东北 4 公里处，海拔 412m，岩内面积 60 m²。

2.2.3 气象气候

青狮潭库区属亚热带季风气候区，年平均气温 18.9℃，主要受海洋暖湿季风影响，属暴雨中心地带，雨量比较充沛，多年平均降雨 2400mm，降雨量夏多冬少，4~7 月，降雨量较多，占全年降雨量 60%，8~10 月受副热带高压控制，降雨明显减少，只占全年降雨量 18%，11 月至次年 3 月受大陆季风影响，天气干燥少雨，降雨量偏少，占全年降雨量 22%，多年平均蒸发量 905.7mm。整个库区属亚热带气候，终年受季风影响，气候温和，雨量充沛，光照足，热量丰富，四季分明，夏长冬短，冬冷夏热，雨热同季，春秋气候宜人。库区常年主导风向为偏北风，受季风影响，历年 10 月至次年 3 月，盛吹东北风，4 月至 9 月，盛吹偏南风，年平均风速为 3.0m/s。

2.2.4 水文

自青狮潭水库建成后，上游的东江河、蓝田河、西江河等均注入青狮潭水库。

东江河，为甘棠江上游河段，发源于才喜界大虎山东坡，源头海拔 1613m，河道平均宽 55m，河底多裸沙基岩及大卵石。东江及各支流两岸均为青狮潭水库水源林保护区，盛产竹木及各种土特产，鱼类繁殖旺盛。

蓝田河，发源于锅底塘顶南侧，海拔 1722.4m。全长 15.4km，流域面积 81.73km²。蜜蜂岩以下河面平均宽 35m，河底裸露砂岩或大块石。蓝田河有两大支流，一为江洲坪水，发源于江洲坪，海拔 1425m，于界脚底汇入蓝田河；二为罗潞水，发源于水平头，海拔 1068.1m，汇入蓝田河。交汇后河水经蓝田镇注入青狮潭水库。

西江河，发源于江洲坪南侧，河长 26.65km，小东江以下河宽 45m，流域面积 95.95km²，至白竹门注入青狮潭水库。其小支流有：

(1) 小东江 发源于蒿菜尾北坡，海拔 1001.8m，至捞内注入西江河。

- (2)小满江 发源于南无岭东坡,海拔 978.2m,流至白竹门注入西江河。
- (3)岩山水 发源于羊角山南坡,海拔 674m,至梅子注入青狮潭水库。
- (4)四合水 发源于高江西坡的鸡笼山,海拔 1100m,流至黄村注入青狮潭水库。

表 2.1 青狮潭水库主要进水河流基本特征

河流名称	流域面积 (km ²)	河长 (km)	平均比降 (‰)	年平均 最大流量 (m ³ /s)	年平均 最小流量 (m ³ /s)	多年平均 流量 (m ³ /s)
东江河	152.90	22.60	62.50	8.41	6.27	8.30
蓝田河	81.73	15.40	57.14	7.22	4.62	5.20
西江河	95.95	26.65	57.47	8.07	4.96	7.40

青狮潭水库库区内的田心至岩山村分水岭一线,地下水埋藏于东岗岭段灰岩的裂隙溶洞内,蕴藏量丰富,水位较水库蓄水位高 8m;青狮潭乡岩背村龙岩山、九屋乡东皋桥村龙胜山一带有地下河。

2.2.5 土壤植被

库区的土壤多为砂页岩发育而成,垂直分布较明显,海拔 500m 以下多为红壤,500~700m 多为黄红壤,700~1350m 多为黄壤,1350m 以上则以黄棕壤为主。pH 值一般在 4.5~5.5 之间,土层厚 50cm 以上的中厚土层占 70%,有机质含量 3% 以上居多,高的可达 10% 以上,土壤肥力较高。此外,还有小面积由碳酸盐岩发育而成的石灰岩土^[69]。

青狮潭水库水源林保护区位于县境西北越城岭余脉山区,据灵川县森林资源调查,青狮潭水源林保护区土地总面积 710436 亩,有林地面积 575202 亩,占土地面积的 80.9%。其中杉树面积占 7.8%;松树面积占 30.1%;杂木面积占 59.1%;毛竹面积占 3%。有活立木总蓄积量 1374036 立方米,其中杉蓄积量占 5.3%;松蓄积量占 28.7%;杂木蓄积量占 62%,毛竹蓄积量占 4%。保护区森林覆被率为 80.9%。

经调查,青狮潭库区的主要植被类型有:

(1) 亚热带常绿阔叶林

常绿阔叶是库区最主要的植被类型。常绿阔叶林主要有两大类,一类是以硬阔为主的森林,其代表类型有米堆+栲树林,米椎+罗浮栲林,米椎+荷木林,米椎+黄杞林,栲树+黄杞林、甜椎+亮叶山矾林等,另一类是以软阔(以黄杞、

荷木、野桐等)为主的森林,其代表类型是黄杞+野桐林,荷木+润楠林。

(2) 亚热带针叶林

亚热带针叶林在库区常见类型为马尾松林。马尾松林通常为纯林,群落郁闭度 0.5~0.6,可分为乔木层、灌木层和草本层。乔木层高 8~16m,灌木层高 2m 左右,覆盖度 40~60%,种类组成比较简单,优势种在不同地段有所不同,有些地段是以南烛、乌饭树为优势,有的地段则以继木、杜鹃为多。除上述优势种外,较重要的种类还有桫欏、桃金娘、巴豆、毛果巴豆、光野漆、盐肤木、黄栀子、毛冬青等。群落中常见的层间植物有海金沙、金银花、龙须藤、千里光等,数量不多。

(3) 亚热带落叶阔叶林

这类群落的灌木层种类组成比较丰富,覆盖度 40%左右,高 1~3.5m。组成种类中主要是乔木幼树,常见的如长叶木姜子、栲树、日本杜英、罗浮泡花树、多花山竹子、蒲桃、腺叶野樱、黄杞、石楠、山苍子、柿叶木姜等。灌木层的优势种为继木,在林下成片分布。其他灌木种类有春花木、粗叶榕、光叶海桐、杜鹃等。

(4) 中亚热带竹林

库区内竹林主要为毛竹林,有天然竹林也有人工栽培,以天然竹林为主。

2.3 社会经济概况

2.3.1 行政区划及人口分布^[70]

青狮潭水库库区地跨青狮潭镇和蓝田瑶族乡。

青狮潭镇为青狮潭水库主要淹没区,乡镇行政区域面积 455.2km²,其中水域(含水库)19.45km²,有效灌溉面积 16.47km²。设 2 个居委会,24 个村民委员会。2010 年总人口 42643 人,农业人口占 95.1%。人口密度每平方公里 94 人。

蓝田瑶族乡乡镇行政区域面积 106.7km²,有效灌溉面积 1.69km²,设 3 个村民委员会。2010 年总人口 6290 人,农业人口占 96%。人口密度每平方公里 59 人。

表 2.2 青狮潭水库库区 2010 年人口分布表

乡镇名称	土地面积 (km ²)	人口密度 (人/km ²)	人口总数	占库区总人口 比例 (%)
青狮潭镇	455.2	94	42643	88
蓝田瑶族乡	106.7	59	6290	12
总计	561.9	87	48399	100

2.3.2 土地利用与经济构成

青狮潭镇（2010 年）农作物总播种面积 5824 公顷，水田占 65%。2010 年粮食总产量 18650 吨。农民人均产量 437.4 公斤，种植柑桔 857 亩，年产果 246 吨。有林地面积 4.14 万亩，其中毛竹 9133 亩，森林蓄积量 4.87 万立方米，森林覆盖率 74.28%；年采伐木材 334 立方米，毛竹 7 万根。年出栏肉猪 2014 头，出栏率 102%，出栏家禽 13021 只，出栏率 178%。2010 年农村经济总收入 2573 万元，农业总收入占 43%，农民人均纯收入 3443 元。

蓝田瑶族乡境内高山重叠，96%的面积为山地。2010 年农作物总播种面积 861 公顷，水田占 54%，年粮食总产量 1900 吨，人均产粮 302.1 公斤。经济以林为主，有林地面积 15.22 万亩，森林覆盖率 85.81%，居各乡镇之首。森林蓄积量 20.70 万平方米，每年出产木材 4000 立方米。毛竹林 9.65 万亩，年砍伐量 50 万根，远售港、澳及东南亚。主要土特产品的年产量：冬笋 123 吨，香菇 7.5 吨，草纸 153 吨，玉兰片 84 吨。饲养牛 1192 头；出栏肉猪 1640 头，出栏率 66%；出栏家禽 8555 只，出栏率 144%。农村经济总收入 408 万元，林业收入占 51%，农民人均纯收入 2998 元。

表 2.3 青狮潭水库库区 2010 年各乡镇情况表

乡镇名称	土地面积 (km ²)	耕地面积 (公顷)	水田面积 (公顷)	林地面积 (万亩)	粮食总产量 (吨)	农村经济总收入 (万元)	农民人均纯收入 (元)
青狮潭镇	455.2	5824	3779	4.14	18650	2573	3443
蓝田瑶族乡	106.7	861	462	15.22	1900	408	2998
总计	561.9	6685	4241	19.36	20550	2981	3389.6

2.4 库区污染源调查分析

2.4.1 网箱养鱼污染

青狮潭水库渔业养殖始于上世纪 70 年代，从 2000 年开始，网箱养鱼颇具规模，到 2005 年，水库网箱曾达到 3.7 万 m²。2005 年 7 月至 9 月，在水库坝首附近水域水面出现很多藻类，水体呈绿色，水质恶化，坝首断面 pH、总磷、总氮、COD_{Mn}、BOD₅ 等项目监测值超过《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) V 类标准^[68]。通过对库区网箱养鱼的整治，2007 年至 2008 年库区水质有所好转，但近两年库区网箱规模有所回升，库区水质有所恶化。青狮潭水库水体富营养化程度与库区网箱养鱼规模密切相关，网箱养鱼是造成库区水体富营养化的主要原因。

网箱养鱼对青狮潭水库污染总氮、总磷的负荷通过营养物质质量平衡方程进行估算，根据质量平衡公式^[10]：

$$W_{r,r}=W_oP_o-G_rP_r$$
 (2.1)

- 式中 $W_{r,r}$ —网箱养鱼所产生的总氮、总磷污染负荷(kg/a)；
 G_r —鱼体重增加量(kg/a)；
 W_o —投放饵料量(kg/a)；
 P_o —饵料中总氮、总磷的含量(质量比)；
 P_r —鱼体中总氮、总磷的含量(质量比)，一般含氮量 2.5%~3.5%，含磷量 0.3%~0.9%。

青狮潭库区网箱养鱼主要集中在西湖、蓝田河、两河口至坝首等地方。根据 2009 年 9 月调查资料，库区内网箱 1500 多个，面积约 6 万 m²，网箱存鱼 2000t，以日投喂率 3%计算，则每天投加的饵料约 60t，每年 4 月至 10 月为投饵期，投饵天数为 214 天/a，年投饵量为 12840t。网箱养鱼对水质的污染主要来自投放的饵料、肥料、药剂以及鱼类的排泄物等几个方面^[16]。投料 2kg 可生产 1kg 鱼，饵料平均含氮量及含磷量分别为 5%和 2%，鱼体中含氮量和含磷量分别为 3%和 0.6%^[39]。青狮潭水库网箱养鱼每年所产生的总氮负荷约为 449.4t/a，总磷负荷约为 218.3t/a。

表 2.4 网箱养鱼的污染负荷 (/a)

项目	饵料投入量 /t	营养物质含 量/%	鱼类产量/t	鱼体营养物 质含量/%	污染负荷/t
总氮	12840	5	6420	3	449.4
总磷	12840	2	6420	0.6	218.3

2.4.2 旅游服务业污染

青狮潭水库流域内约有 20 家农家乐式的休闲山庄。其中一家大型山庄一年接待游客就超过 1000 人次^[68]。餐饮娱乐活动会产生较多的污染物,但是部分度假村、休闲山庄等污水处理的设备并没有安装或调试好,这些未处理的污水直接排入青狮潭水库,对库区的水体造成污染。根据调查结果,休闲山庄每年接待人数为 2 万人次左右。按广西餐饮业每日人均排污量 75L,常规餐饮污水中总氮含量 40mg/L,总磷含量 10mg/L 进行计算,休闲山庄每年餐饮废水产生的总氮污染负荷为 60kg/a,总磷污染负荷为 15kg/a。

调查统计表明,旅游船和机帆船共有 71 艘。这些游船都是燃油机动船。游船旅游活动过程中对水体的污染共来自三个方面:游船生活污水、游船船舶油污及游船垃圾^[71]。其中,生活污水是游船对水库造成影响的主要污染源^[72]。由于青狮潭库区旅游船和机帆船体积小,数量少,且游船不带有洗浴和厨卫设施,不会产生洗浴污水、厨房污水、洗涤污水,对库区水质影响甚微。同时,游船虽也存在“跑、冒、滴、漏油”现象,但总体来说,船舶油污及垃圾对水质的影响很小,此次不做讨论。

2.4.3 畜禽养殖业污染

长期以来,畜禽粪便一直作为农业生产的肥料返田使用。如果粪肥供给的养分超出当地农作物达到目标产量所需,势必造成作物施肥过量。一方面不利于作物的生长;另一方面,增加了非点源污染物的来源量,使周边水体受到污染威胁^[73]。青狮潭水库流域内有近 30 家小型畜禽养殖场,主要进行鸡、鸭等畜禽养殖。采用排泄系数估算法分析畜禽养殖粪便流失污染负荷,计算公式^[74]:

$$R = K \cdot \sum_{i=1}^n a_i M_i \quad (2.2)$$

式中 R—养殖粪便流失污染负荷量 (t/a);

K—流失率 (%);

a_i —各类畜禽年排泄系数 ($\text{kg} \cdot \text{头}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$);

M_i —各类畜禽养殖头数。

青狮潭库区畜禽养殖规模较小,按每家养鸭 1000 只计算,共计 30000 只,猪、牛的养殖很分散,各家多者 6-8 头,少者 1-2 头,不成规模,根据统计按总量各 200 头计算。研究表明,畜禽粪便流失率一般为 30%~40%^[75],本次计算

流失率取 30%。根据王晋虎等所得畜禽粪便排泄系数^[76]，结合青狮潭畜禽饲养的实际情况，将各类畜禽排泄系数修正如表 2.5 所示数据。青狮潭库区畜禽养殖每年所产生的总氮负荷约为 8.34t/a，总磷负荷约为 3.0t/a。

表 2.5 各畜禽污染物年排泄系数 (kg·头⁻¹·a⁻¹)

项目	猪		牛		家禽
	粪	尿	粪	尿	
总氮	4.3	4.0	38.3	32.4	0.4
总磷	2.7	0.64	10.3	1.6	0.23

2.4.4 库区污染负荷总量

库区污染负荷总量见表 2.6。

表 2.6 库区污染负荷总量 (t/a)

项目	网箱养鱼	旅游服务业	畜禽养殖	总量
总氮	449.4	0.06	8.34	457.8
总磷	218.3	0.015	3.0	221.3

从表 2.6 可见，网箱养鱼对水质的影响要远大于旅游服务业及畜禽养殖，网箱养鱼是近年来青狮潭水库水质出现问题的最大因素。

2.5 库区水质现状分析

根据《桂林市环境质量报告书（2006-2010 年）》，青狮潭水库 7 个监测断面水质监测数据与监测布点如表 2.7 和图 2.2 所示。

表 2.7 青狮潭水库 2006 年-2010 年水质监测数据

监测点 位名称	年度	DO (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	总磷 (mg/L)	总氮 (mg/L)	TN:TP	透明度 (cm)	叶绿素 a (mg/L)
东江河 入口	2006	8.5	0.8	1.3	0.010	0.463	46.30:1	—	—
	2007	9.8	0.8	1.0	0.007	0.213	30.43:1	100	1.77
	2008	8.8	1.2	1.0	0.010	0.370	37.00:1	35	1.78
	2009	8.3	1.3	1.0	0.008	0.490	61.62:1	—	—
	2010	8.0	1.0	1.0	0.008	0.510	63.75:1	—	1.53
蓝田河 入口	2006	8.5	1.8	2.0	0.017	0.497	29.24:1	—	—
	2007	9.0	0.7	1.0	0.008	0.363	45.38:1	170	1.07
	2008	8.4	1.6	1.0	0.015	0.460	30.67:1	48	1.97
	2009	8.5	1.4	1.0	0.008	0.500	63.50:1	—	—
	2010	7.4	2.3	1.4	0.008	0.545	68.13:1	—	1.62
西江河 入口	2006	8.4	1.0	2.0	0.009	0.470	52.22:1	—	—
	2007	8.7	0.7	1.0	0.008	0.370	46.25:1	35	1.53
	2008	7.8	1.4	1.0	0.020	0.480	24.00:1	165	3.03
	2009	9.0	1.4	1.0	0.008	0.580	72.50:1	—	—
	2010	7.5	2.3	1.5	0.023	0.565	24.57:1	—	1.74
东湖中 心	2006	7.8	1.5	1.9	0.012	0.619	51.58:1	—	—
	2007	7.6	1.1	1.0	0.019	0.600	31.58:1	215	5.62
	2008	7.2	1.5	1.0	0.008	0.633	79.13:1	367	1.71
	2009	8.0	1.8	1.2	0.010	0.735	73.50:1	365	1.33
	2010	7.2	1.6	1.2	0.025	0.668	26.72:1	230	2.48
西湖中 心	2006	7.7	1.8	2.4	0.026	0.723	27.81:1	—	—
	2007	7.2	1.6	1.2	0.027	0.583	21.59:1	195	5.13
	2008	7.0	1.6	1.1	0.010	0.629	62.90:1	317	2.04
	2009	8.0	1.8	1.2	0.010	0.680	68.00:1	325	1.47
	2010	6.9	2.3	1.5	0.032	0.670	20.94:1	213	3.63
西湖湖 边	2006	7.5	2.4	3.2	0.023	0.722	31.39:1	—	—
	2007	7.9	1.7	1.0	0.038	0.713	18.76:1	208	5.77
	2008	8.2	1.8	1.5	0.010	0.645	64.50:1	375	5.01
	2009	8.6	1.9	1.5	0.010	0.720	72.00:1	200	3.74
	2010	7.3	2.0	1.7	0.030	0.610	20.33:1	180	4.10
水库出 口	2006	7.6	1.9	2.6	0.028	0.770	27.50:1	—	—
	2007	7.3	1.3	1.2	0.022	0.651	29.59:1	215	3.86
	2008	7.3	1.6	1.1	0.009	0.549	61.00:1	340	2.47
	2009	8.0	1.9	1.3	0.027	0.733	27.15:1	325	2.01
	2010	7.7	2.1	1.6	0.040	0.760	19.00:1	270	4.56

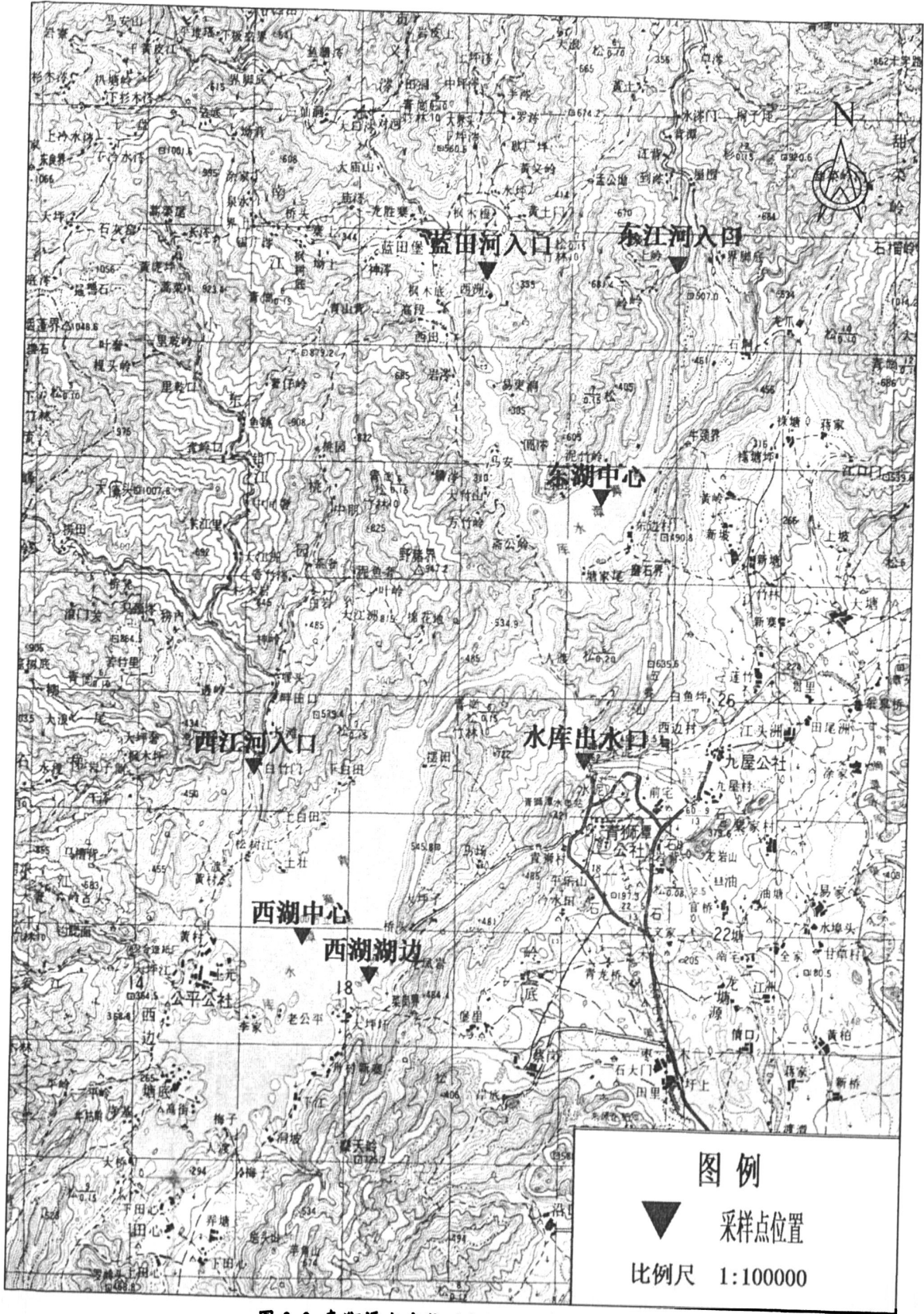


图 2.2 青狮潭水库监测点位置示意图

由监测数据可以看出,2006年至2010年,东江河、蓝田河、西江河等三条入库支流总氮浓度年均值范围为 $0.213\sim 0.580\text{mg/L}$,有逐年增加趋势;东江河和蓝田河的总磷浓度年均值范围为 $0.007\sim 0.017\text{mg/L}$,年际变化不大;西江河总磷浓度年均值范围为 $0.008\sim 0.023\text{mg/L}$,2008年和2010年总磷浓度年均值较大,均超过 0.02mg/L 。

近年来,随着经济的发展,库区网箱养鱼规模日益增大,水库水质监测点位总氮、总磷超标明显,水库营养状态级别由贫营养级提升到中营养级,有富营养化加重的趋势。

2.6 本章小结

本章针对性的介绍了青狮潭水库的自然地理、水文气象、土壤植被、以及社会经济条件,对库区污染源进行调查分析。

(1) 青狮潭水库地处灵川县青狮潭乡境内,坝址距桂林市市区 32km ,地处桂林市灵川县西北部。大坝填筑在漓江支流-甘棠江的青狮潭峡谷口,属山谷型水库。总库容 6.0亿 m^3 ,有效库容 4.05亿 m^3 ,库区汇水面积 474km^2 ,青狮潭水库是以农业灌溉为主,兼顾发电、防洪、水产养殖、供水、旅游等综合功能的大型水利工程,在桂林市社会经济发展中具有重要作用和地位。

(2) 据调查发现,青狮潭水库有三大主要污染源,分别是网箱养鱼、旅游服务业、畜禽养殖业,本章分析了污染源的规模及产生的污染负荷:网箱养鱼产生的总氮和总磷负荷分别为 449.4t/a 和 218.3t/a ;旅游服务业总氮和总磷负荷分别为 0.06t/a 和 0.015t/a ;畜禽养殖总氮和总磷负荷分别为 8.34t/a 和 3.0t/a 。从分析中得出,网箱养鱼对水质的影响要远大于旅游服务业及畜禽养殖,网箱养鱼是近年来青狮潭水库水质出现问题的最大因素。

(3) 分析2006-2010年青狮潭水质监测数据,发现近年来,随着经济的发展,库区网箱养鱼规模日益增大,水库水质监测点位总氮、总磷超标明显,水库营养状态级别由贫营养级提升到中营养级,有富营养化加重的趋势。

第3章 网箱养鱼对青狮潭水库水质影响的研究

3.1 研究方法

3.1.1 研究的时间和地点

本研究于 2011 年 1 月~2012 年 4 月在广西壮族自治区桂林市灵川县青狮潭水库进行。

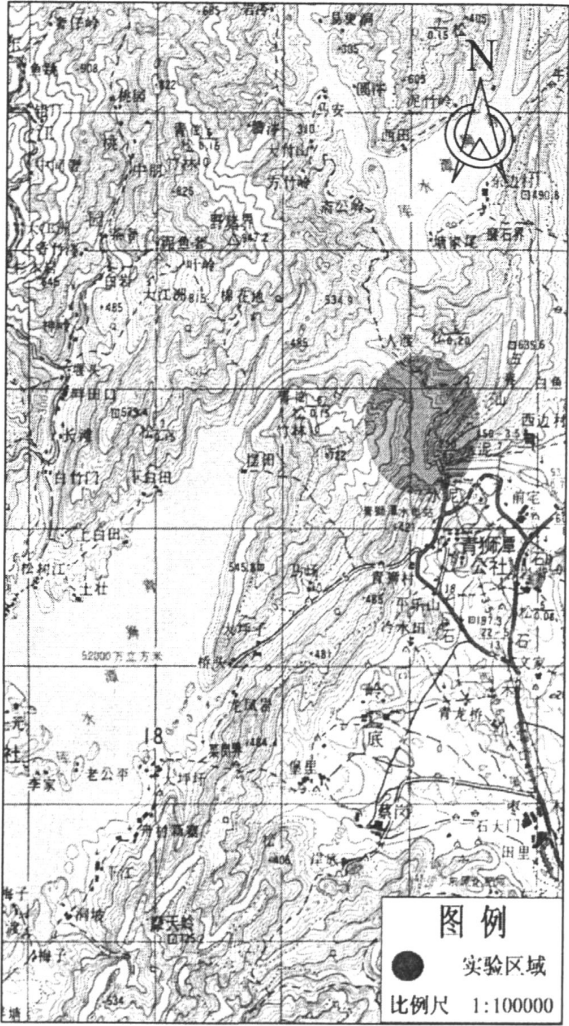
现场调查确定青狮潭水库网箱数量及分布。青狮潭水库总面积 474km²，分为东湖和西湖，网箱养鱼区主要集中在西湖及水库出水口区域，据现场青狮潭水库管理处相关负责人介绍，目前青狮潭水库水面网箱面积已达 6 万 m²，网箱数量超过 1500 个。

3.1.2 采样点的设置

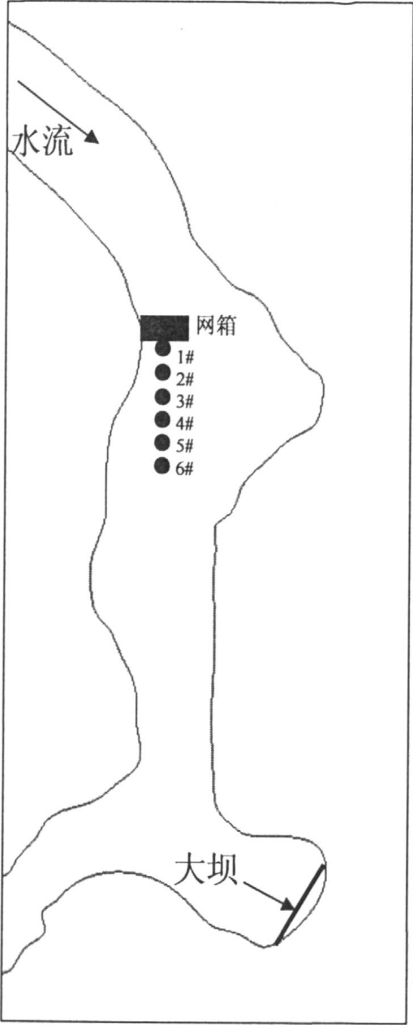
青狮潭水库库区网箱养鱼分布广泛，实验区需为典型的网箱养鱼区域，具有代表性。为防止网箱之间的相互影响，实验网箱周围一定距离内应无其他网箱干扰。

本实验区最终选定在青狮潭水库坝首向上 2000m 的位置，符合实验要求。

2011 年 2 月~2011 年 12 月其间每两个月采样一次，设置采样点 6 个，分别距离网箱边缘 0m，20m，40m，60m，80m，100m 处，如图 3.1 所示。



a. 采样位置示意图



b. 采样点设置图

图 3.1 采样点位置图

3.1.3 水质监测指标

根据湖泊富营养化调查规范的相关内容,确定本次青狮潭水库水质的监测指标有水温、透明度、总磷、总氮、DO、Chl-a、COD_{Mn}。

3.1.4 水样的采集处理

水样的采样处理方法依据《水和废水监测分析方法》(第四版)^[77]。采样时用2.5L水生-81型采水器在水面以下0.5m处采水2.5L,具体水样处理方法见表3.1。测定时每一个指标均测2次,取平均值用于分析。

表 3.1 水样预处理方法

序号	监测项目	采样容器	样品处理方法
1	总磷	塑料瓶	加 H ₂ SO ₄ 至 pH≤2
2	总氮	塑料瓶	加 H ₂ SO ₄ 至 pH 1~2
3	DO	溶解氧瓶	加硫酸锰 1mL、 碱性碘化钾 2mL
4	COD _{Mn}	塑料瓶	加 H ₂ SO ₄ 至 pH≤2
5	其他项目	塑料瓶	不加

3.1.5 水质指标测定方法

测定内容包括水温、透明度、总磷、总氮、DO、Chl-a、COD_{Mn}等,测定方法见表 3.2。

表 3.2 水质指标测定方法

序号	分析项目	分析方法	标准或文献
1	水温	温度计法	GB13195-1991
2	透明度	透明度计法	SL87-1994
3	总磷	钼酸铵分光光度法	GB11893-1989
4	总氮	紫外分光光度法	GB11894-1989
5	DO	碘量法	GB7489-1987
6	Chl-a	分光光度法	湖泊富营养化调查规范 ^[78]
7	COD _{Mn}	高锰酸钾法	GB11892-1989

3.2 结果及分析

3.2.1 网箱养鱼对水体总磷含量的影响

总磷含量观测数据见表 3.3，总磷含量变化曲线如图 3.2 所示。

表 3.3 2011 年青狮潭水库采样区总磷含量观测数据 (mg/L)

采样日期 (年-月-日)	与网箱距离(m)					
	0	20	40	60	80	100
2011-02-03	0.020	0.018	0.018	0.012	0.015	0.010
2011-04-08	0.022	0.020	0.018	0.016	0.015	0.012
2011-06-23	0.052	0.048	0.045	0.040	0.038	0.036
2011-08-01	0.082	0.072	0.066	0.060	0.054	0.050
2011-10-12	0.075	0.070	0.060	0.055	0.050	0.044
2011-12-08	0.030	0.028	0.028	0.020	0.018	0.016

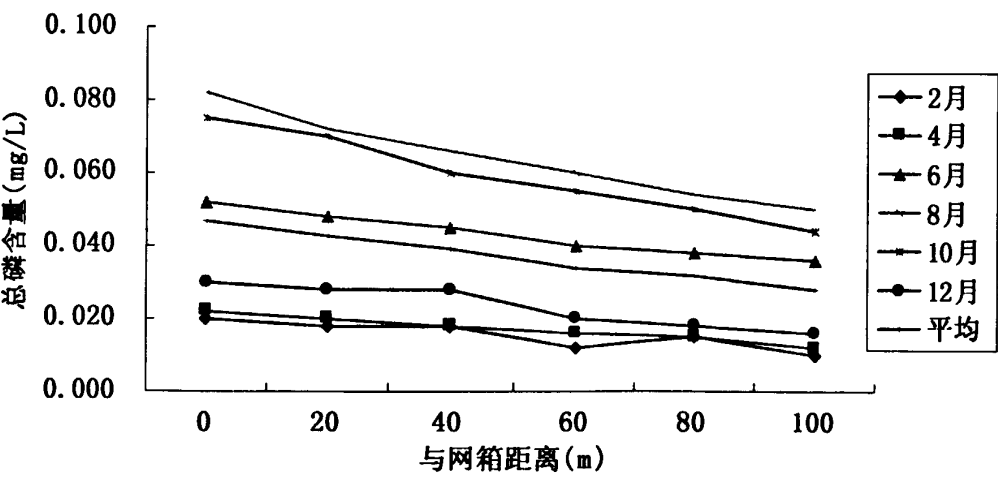


图 3.2 青狮潭水库距网箱不同距离总磷含量变化曲线

从图 3.2 分析可知：

(1) 青狮潭水库网箱养鱼区全年总磷的变幅在 0.01mg/L~0.082mg/L 之间。其中最高值为 0.082mg/L，是 8 月靠近网箱边缘处的数值；最低值为 0.01mg/L，是 2 月距离网箱 100m 处的数值。

(2) 从网箱边缘至网箱外 100m，总磷含量表现为随与网箱距离增大而

降低,其中下降趋势最明显的是8月($y_8 = -0.0063x + 0.086$, $R^2 = 0.9821$)和10月($y_{10} = -0.0063x + 0.081$, $R^2 = 0.9878$);变化最小的是2月($y_2 = -0.0019x + 0.022$, $R^2 = 0.7994$)。

(3)网箱中心总磷含量在一年中的大小对比为:8月>10月>6月>12月>4月>2月。其原因可能为:①网箱内12月~2月几乎不投饵,水温低,鱼类新陈代谢缓慢,磷的排出量少,2月是全年网箱养鱼量最少的时期,所以2月网箱养鱼对总磷影响较小;②3、4月份,气温上升,浮游植物大量繁殖,生长过程吸收磷元素,导致总磷含量降低;③4~6月份虽然处在投饵高峰期,但是由于灌溉需要,青狮潭水库开闸放水,水流自上游流经网箱区时带走大量磷元素,再经大坝流向灌区,致使这一时期总磷含量上升不高;④8月份桂林气温最高,投饵最多,鱼类新陈代谢旺盛,残饵和粪尿中的磷使总磷含量达到最高值;⑤10月仍大量投饵,鱼类活动旺盛,此外,10月气温骤变使水库底部富含磷的水上浮使水库总磷含量保持一个较高值。

(4)网箱养鱼区周围总磷含量随着网箱距离加大而减小,养鱼量大的6月、8月、10月总磷量明显大于养鱼量较小的12月、2月、4月,说明网箱养鱼会增加水体的磷负荷,加快富营养化进程。水库中磷循环的控制因素有:水生生物的排泄和被分解、浮游植物的生长吸收、底泥磷的释放与沉积、水流的补给及人类的活动等。而网箱养鱼影响水体总磷含量主要通过两方面:一是由于人为投入大量含磷的饵料,未进入鱼体的残饵和密集养鱼的排便,二是增加水体沉积物中磷的含量,底泥磷的二次释放也是影响总磷的重要原因^[68]。

3.2.2 网箱养鱼对水体总氮含量的影响

总氮含量观测数据见表3.4,总氮含量变化曲线如图3.3所示。

表 3.4 2011 年青狮潭水库采样区总氮含量观测数据 (mg/L)

采样日期 (年-月-日)	与网箱距离(m)					
	0	20	40	60	80	100
2011-02-03	0.9	0.86	0.76	0.76	0.69	0.64
2011-04-08	1.2	0.88	0.74	0.65	0.6	0.52
2011-06-23	1.3	1	0.85	0.8	0.78	0.74
2011-08-01	1.46	1.4	1.26	1.08	0.8	0.66
2011-10-12	1.7	1.36	1.4	1.28	1.07	1
2011-12-08	0.98	0.9	0.87	0.76	0.7	0.64

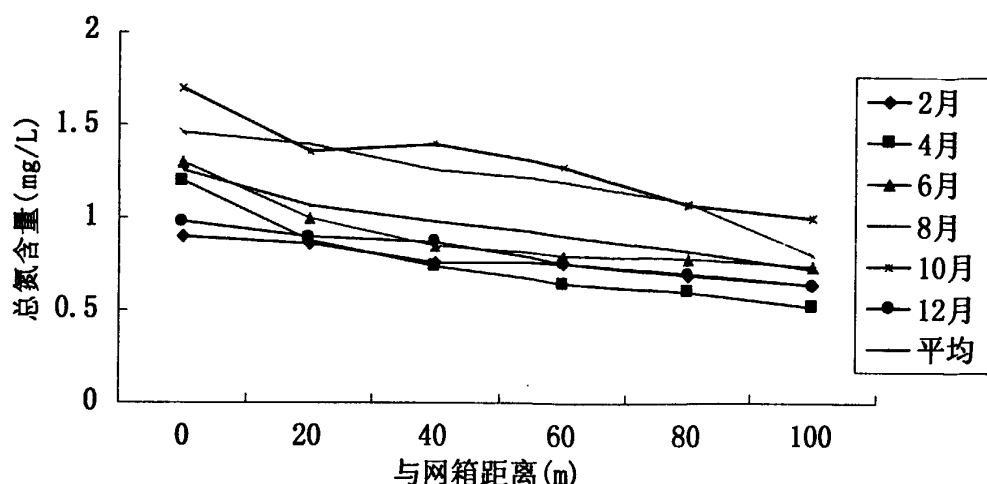


图 3.3 青狮潭水库距网箱不同距离总氮含量变化曲线

从图 3.3 分析可知：

(1) 青狮潭水库网箱养鱼区全年总氮的变幅在 0.52mg/L~1.7mg/L 之间。其中最高值为 1.7mg/L，是 10 月靠近网箱边缘处的数值；最低值为 0.52mg/L，是 4 月距离网箱 100m 处的数值。

(2) 从网箱边缘至网箱外 100m，总磷含量表现为随与网箱距离增大而降低，其中下降趋势最明显的是 10 月($y_{10} = -0.1283x + 1.7507$, $R^2 = 0.9089$)，其次是 8 月($y_8 = -0.1234x + 1.632$, $R^2 = 0.9335$)；下降趋势最小的是 2 月($y_2 = -0.0517x + 0.9493$, $R^2 = 0.9653$)。

(3) 网箱中心总氮含量在一年中的大小对比为：10 月>8 月>6 月>4 月>12 月>2 月。对比图 3.3 发现，总氮与总磷的年变化规律基本保持一致。总氮来源于水体中有机物的分解矿化、养殖鱼类的排泄、浮游生物的分解排泄，主要消耗于浮游植物的吸收。在温度较高的 8~10 月份，浮游植物繁殖茂盛，总氮下降趋势明显大于总磷，说明总氮受植物吸收作用的影响比总磷大。

(4) 网箱养鱼区周围总氮含量随着网箱距离加大而减小，且幅度很大，养鱼量大的 6 月、8 月、10 月总氮量明显大于养鱼量较小的 12 月、2 月、4 月。通过分析得出，网箱养鱼对青狮潭水库总氮含量有很大影响。

3.2.3 网箱养鱼对水体其他水质指标的影响

3.2.3.1 网箱养鱼对水体 DO 的影响

水库 DO 的主要来源包括随水流补给、空气的溶解、水生植物的光合作用等，而氧气的消耗包括水生生物的呼吸、随水流带走、空气的逸出、化学耗氧等。DO 含量观测数据见表 3.5，DO 含量变化曲线如图 3.4 所示。

表 3.5 2011 年青狮潭水库采样区 DO 含量观测数据 (mg/L)

采样日期 (年-月-日)	与网箱距离 (m)					
	0	20	40	60	80	100
2011-02-03	6.7	6.8	6.9	7	7.3	7.6
2011-04-08	4.6	4.8	4.9	5.2	5.5	5.7
2011-06-23	8.81	9.4	9.5	9.5	9.8	10
2011-08-01	8.5	8.8	9	9.2	9.4	9.6
2011-10-12	4.6	4.8	4.9	4.9	5	5.2
2011-12-08	4.8	5	5	5	5.2	5.2

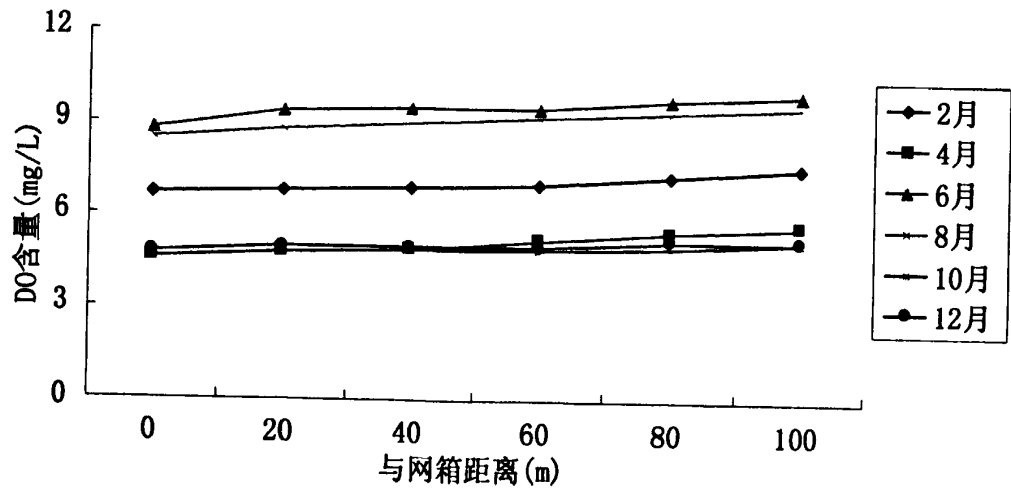


图 3.4 青狮潭水库距网箱不同距离 DO 含量变化曲线

从图 3.4 分析可知：

(1) 青狮潭水库网箱养鱼区全年 DO 含量的变幅在 4.6~10mg/L 之间。最

低值为 4.6mg/L，出现在 4 月和 10 月靠近网箱边缘处；最高值为 10mg/L，出现在 6 月距网箱 100m 处。靠近网箱边缘处的 DO 年平均浓度 6.3mg/L，距网箱 100m 处的 DO 年平均浓度 7.2mg/L。

(2) 各点的 DO 值都有随着距离网箱距离增大而增大的趋势，其中趋势较明显的有 8 月($y_8 = 0.2143x + 8.3333$, $R^2 = 0.9941$)、6 月($y_6 = 0.2043x + 8.7867$, $R^2 = 0.8841$)、2 月($y_2 = 0.1743x + 6.44$, $R^2 = 0.9245$)。

(3) 4 月 DO 含量较低，是因为 4 月温度低，连续降雨，水生植物的光合作用弱造成的；10 月温度高，水生植物光合作用强，但 DO 数值也表现偏低，分析其原因是由于网箱区域高密度的鱼类和其他水生生物呼吸，以及养殖鱼类的排泄、排粪及残饵分解耗氧，消耗量远大于水生植物的产氧量，使网箱周围 DO 变动受到影响。6 月 DO 数值最高，分析其原因是温度高，光合作用旺盛，且网箱区鱼类密度不大，耗氧量小。8 月养鱼量达到最大，鱼类耗氧量增大，但网箱养鱼的残饵和鱼类粪便为水生植物提供充足的营养，加之温度高，光照足，光合作用产生氧气量达到顶峰，综合结果造成 8 月的 DO 值也偏高。

3.2.3.2 网箱养鱼对水体 COD_{Mn} 的影响

COD_{Mn} 反映的是受有机污染物和还原性无机物质污染程度的综合指标。COD_{Mn} 含量观测数据见表 3.6，COD_{Mn} 含量变化曲线如图 3.5 所示。

表 3.6 2011 年青狮潭水库采样区 COD_{Mn} 含量观测数据 (mg/L)

采样日期 (年—月—日)	与网箱距离(m)					
	0	20	40	60	80	100
2011-02-03	2.1	2	1.8	1.7	1.6	1.4
2011-04-08	2.2	2.4	2.2	2.2	2.1	2.1
2011-06-23	5	4.4	4.2	3.8	4	3.5
2011-08-01	5.8	5.4	5	5.2	5.2	4.5
2011-10-12	3.2	2.8	2.8	2.6	2.5	2.5
2011-12-08	2	1.8	1.6	1.5	1.3	1.4

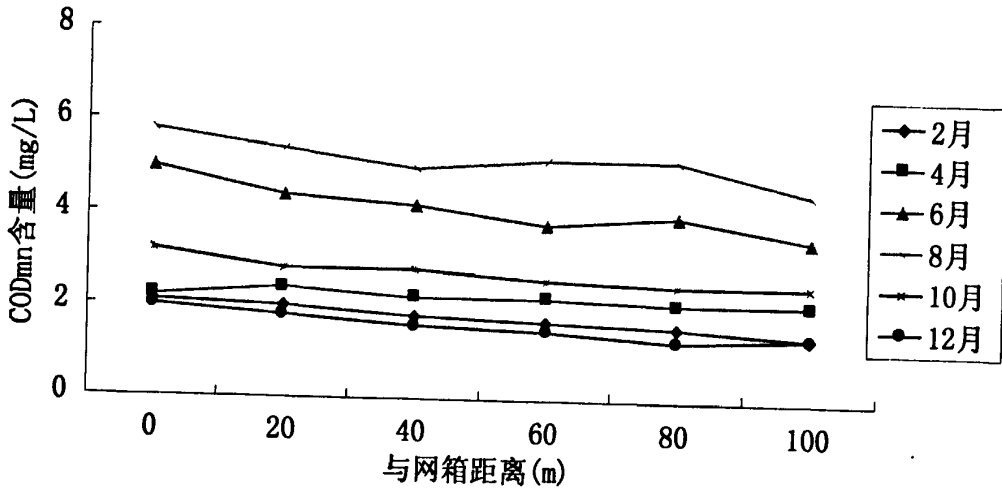


图 3.5 青狮潭水库距网箱不同距离 COD_{Mn} 含量变化曲线

从图 3.5 分析可知:

(1) 青狮潭水库网箱养鱼区全年 COD_{Mn} 含量的变幅在 1.4~5.8mg/L 之间。最大值为 5.8mg/L, 出现在 8 月靠近网箱边缘处; 最小值为 1.4mg/L, 出现在 2 月和 12 月距网箱 100m 处。

(2) 各月 COD_{Mn} 含量有随着与网箱距离增大而减小的趋势。其中, 6 月 ($y_6 = -0.26x + 5.06$, $R^2 = 0.8731$)、8 月 ($y_8 = -0.1971x + 5.8733$, $R^2 = 0.7326$)、10 月 ($y_{10} = -0.1314x + 3.1933$, $R^2 = 0.8555$) 随与网箱距离增大而减小的趋势明显, 2 月、4 月、12 月变化不大, 可能与投饵量小有关。

(3) 养鱼量大的夏季和秋季的 COD_{Mn} 含量值比养鱼量小冬季和初春高。6 月到 10 月, 网箱养鱼规模和数量达到峰值, 养鱼过程中不能被鱼类完全摄取的饵料和鱼体消化吸收后排出的粪尿, 除部分随水流流出库区, 部分沉积在底泥里, 其余大部分溶于水中, 增加水体有机物和还原性无机物的含量。在 6 月、8 月、10 月之间的比较, 8 月 > 6 月 > 10 月, 10 月养鱼量比 6 月大, 但 COD_{Mn} 数值小, 说明在气温较高的 10 月, 水生植物生长旺盛, 消耗了大量的营养物质。12 月到 4 月, COD_{Mn} 数值较稳定, 在 1.4~2.2mg/L 之间, 与历年青狮潭水库平均值相当, 这与该段时间网箱养鱼量小的状况相符。

(4) 总结上述分析结果, 表明 COD_{Mn} 含量受网箱养鱼的影响, 且 COD_{Mn} 含量随着与网箱距离增大而减小。

3.2.3.3 网箱养鱼对水体 Chl-a 的影响

Chl-a 在一定程度上表征水体中水生生物的生产能力，与水体中营养物的浓度有关联，如果 Chl-a 含量过高，可能就产生了水华或者赤潮，导致水质会下降。Chl-a 含量观测数据见表 3.7，Chl-a 含量变化曲线如图 3.6 所示。

表 3.7 2011 年青狮潭水库采样区 Chl-a 含量观测数据 ($\mu\text{g/L}$)

采样日期 (年—月—日)	与网箱距离(m)					
	0	20	40	60	80	100
2011-02-03	1.27	1.3	1.28	1.28	1.26	1.26
2011-04-08	2.34	2.2	2.24	2.24	2.18	2.15
2011-06-23	3.11	3	3.15	3.15	3.16	3.02
2011-08-01	5.26	5	4.74	4.5	4.48	3.8
2011-10-12	2.68	2.82	2.82	2.76	2.75	2.72
2011-12-08	1.33	1.3	1.3	1.26	1.26	1.24

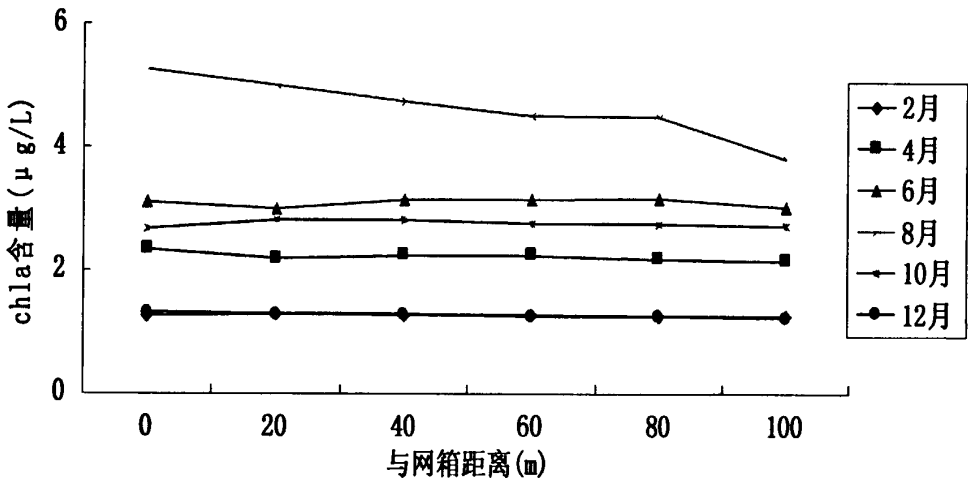


图 3.6 青狮潭水库距网箱不同距离 Chl-a 含量变化曲线

从图 3.6 分析可知：

(1) 青狮潭水库网箱养鱼区全年 Chl-a 含量的变幅在 $1.24\sim5.26\mu\text{g/L}$ 之间。最大值为 $5.26\mu\text{g/L}$ ，出现在 8 月靠近网箱边缘处；最小值为 $1.24\mu\text{g/L}$ ，出现在 12 月距离网箱 100m 处。靠近网箱边缘区的 Chl-a 含量年均量为 $2.60\mu\text{g/L}$ ；距网箱 100m 处 Chl-a 含量年均量为 $2.46\mu\text{g/L}$ ，差异性不大。

(2) 8 月随着与网箱距离的增大，Chl-a 值逐渐变小，其变化趋势为 $y_8 = -0.26x + 5.54$ ， $R^2 = 0.9284$ 。其他月份变化不明显。

(3) 在一年中, 水库 Chl-a 含量的大小顺序是: 8 月>6 月>10 月>4 月>12 月、2 月。年变化显著, 分析可能与水库自身营养盐浓度及桂林市气候有关。

(4) 有研究认为: 网箱养鱼增加了水体中营养元素的输入, 浮游植物的生产力会随之增加, 因而网箱内 Chl-a 含量要多于网箱上下游流域^[21]。但在本研究中, 除 8 月外, 其他月份网箱区内外没有明显差别, 代表浮游植物量的 Chl-a 含量随着距网箱距离的增大变化不明显, 而分析 8 月变化幅度大的原因可能是采样前后渔民投入大量饵料喂鱼, 溶解在水中的高浓度营养盐还没来得及降解, 造成局部水生生物旺盛生长。

3.2.3.4 网箱养鱼对水体透明度的影响

透明度表征了水体中水质杂质对透过光线造成障碍的程度, 即太阳光线到水体内的程度。影响透明度的因素包括水中浮游生物、光照、水温、微生物、有机碎屑及各种悬浮物的数量等^[79]。透明度观测数据见表 3.8, 透明度含量变化曲线如图 3.7 所示。

表 3.8 2011 年青狮潭水库采样区透明度观测数据 (m)

采样日期 (年-月-日)	与网箱距离 (m)					
	0	20	40	60	80	100
2011-02-03	2.3	2.3	2.4	2.2	2.3	2.4
2011-04-08	2.4	2.5	2.5	2.4	2.6	2.2
2011-06-23	1.2	1.4	1.2	1.6	1.4	1.8
2011-08-01	1.2	1.2	1.5	1.3	1.6	1.6
2011-10-12	1.2	1.3	1.6	1.3	1.3	1.2
2011-12-08	2.6	2.6	2.4	2.6	2.3	2.4

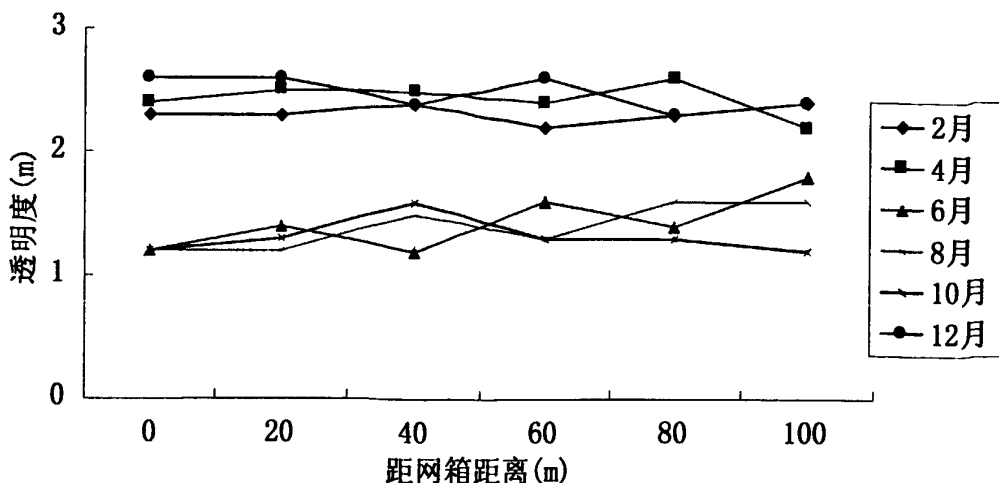


图 3.7 青狮潭水库距网箱不同距离透明度变化曲线

从图 3.7 分析可知：

(1) 随着与网箱距离的增大，透明度没有发生相应的变化，数值在一定的范围内波动，变化不大，相对稳定。

(2) 不同月份的透明度分上下两部分。上部为 12 月、4 月、2 月数据，下部为 6 月、8 月、10 月数据。冬春季明显比夏秋季透明度好，与冬春季比夏秋季养鱼量小的情况相一致。

(3) 一些学者如林永泰^[21]的研究结果认为：网箱养殖对水体透明度没有影响。本研究中没有测出网箱养殖周围透明度的变化，这点与林永泰的研究相同。但青狮潭水库透明度年度变化在 1.2~2.4m 之间，表现为冬春季节较高，夏秋较低，与冬春季节网箱养鱼量小、夏秋季网箱养鱼量相符，如果网箱养鱼对透明度造成影响，那么影响的来源可能是：一、网箱养鱼通过增加水中营养物质浓度影响浮游生物和微生物的生长，进而影响到透明度；二、网箱养鱼增加了水中有机碎屑和悬浮物的数量，造成透明度下降。具体情况如何，还需进一步的研究。在本文中，随着与网箱距离的增大，透明度没有发生相应的变化，认为网箱养鱼对透明度没有影响。

3.2.3.5 网箱养鱼对水库水温的影响

水温观测数据见表 3.9，水温含量变化曲线如图 3.8 所示。

表 3.9 2011 年青狮潭水库采样区温度观测数据 (℃)

采样日期 (年-月-日)	与网箱距离(m)					
	0	20	40	60	80	100
2011-02-03	9.5	10.5	9.8	9.8	9.4	10
2011-04-08	18.5	16.2	17	17.5	15.4	16
2011-06-23	22	24.5	23.4	21.6	23.5	21.8
2011-08-01	31.2	26.7	25.2	28.8	26.4	25.9
2011-10-12	25	23.1	25.9	26.1	23.2	24.9
2011-12-08	16	16.7	15.1	16.2	14.5	15.2

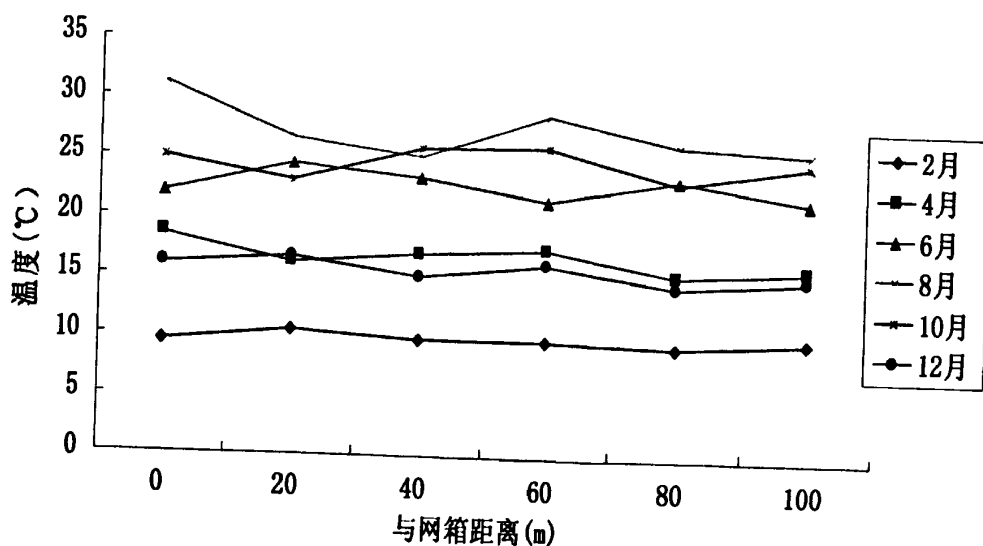


图 3.8 青狮潭水库距网箱不同距离水温变化曲线

从图 3.8 可看出：

(1) 不同月份的水温差异明显，在网箱区域，一年中的水温由大到小分别为：8 月>10 月>6 月>4 月>12 月>2 月。

(2) 随着与网箱距离的增大，水温并没有相应的改变。

水温与 2011 年桂林同期月平均气温变化如图 3.9 所示。

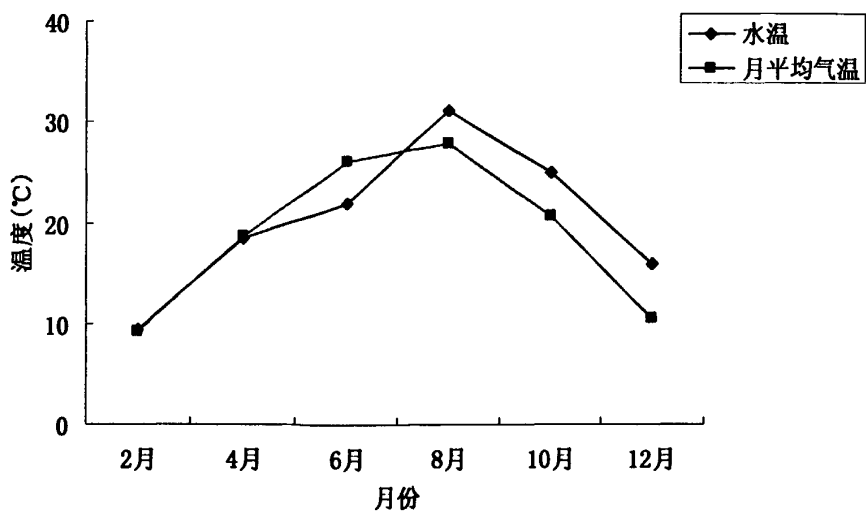


图 3.9 2011 年青狮潭水库水温与气温变化曲线

注：桂林气温数据来源于中国水文水资源科学数据共享网

(<http://www.hydrodata.gov.cn>)

从图 3.9 可看出，水库水温与桂林地区气温月平均值变化基本一致，水温主要受气候影响。

综合上述结论，分析可知，网箱养鱼对水温并无影响。

3.3 水库各水质指标的相关性

选择网箱投饵量、养鱼量最少的 2 月和投饵量、养鱼量最多的 8 月进行相关性分析。应用统计软件 SPSS17.0 进行计算，计算结果如表 3.10 和表 3.12 所示。

表 3.10 青狮潭水库 2 月水质指标相关系数表

指标	总磷	总氮	DO	COD _{Mn}	Chl-a	水温
总磷	1	0.892	-0.842	0.897	0.424	0.470
总氮		1	-0.957	0.929	0.649	0.793
DO			1	-0.959	-0.681	-0.727
COD _{Mn}				1	0.613	0.672
Chl-a					1	0.692
水温						1

根据表 3.10 数据的相关性经过分析得出：青狮潭水库 2 月指标之间相关性极显著的（自由度 6， $r>0.875$ ）见表 3.11。

表 3.11 青狮潭水库 2 月指标之间相关性极显著关系表

相关项	相关系数 r	线性方程
总磷与总氮	0.892	总磷=0.032 总氮-0.01
总磷与 COD _{Mn}	0.897	总磷=0.013COD _{Mn} -0.008
总氮与 DO	-0.957	总氮=-0.305DO+2.94
总氮与 COD _{Mn}	0.929	总氮=0.389COD _{Mn} +0.101
DO 与 COD _{Mn}	-0.959	DO=-1.26 COD _{Mn} +9.276

相关性显著的（自由度 6， $0.875>r>0.754$ ）有：

总磷与 DO $r=-0.842$ 总磷=-0.01DO+0.084

可看出 DO 与总磷、总氮成负相关，表明在养鱼量小的 2 月，由于网箱养鱼积累的含 N、P 废物仍消耗水中的氧。DO 与 Chl-a 相关性不强，反映了此时 DO 的含量还受到水流交换能力等水文条件的影响。

表 3.12 青狮潭水库 8 月水质指标相关系数表

指标	总磷	总氮	DO	COD _{Mn}	Chl-a	水温
总磷	1	0.940	-0.963	0.853	0.854	0.632
总氮		1	-0.940	0.845	0.905	0.758
DO			1	-0.895	-0.771	-0.793
COD _{Mn}				1	0.753	0.753
Chl-a					1	0.572
水温						1

根据表 3.12 数据的相关性经过分析得出：青狮潭水库 8 月指标之间相关性极显著的（自由度 6， $r>0.875$ ）见表 3.13。

表 3.13 青狮潭水库 8 月指标之间相关性极显著关系表

相关项	相关系数 r	线性方程
总磷与总氮	0.940	总磷=0.053 总氮+0.016
总磷与 DO	-0.963	总磷=-0.028DO+0.331
总氮与 DO	-0.940	总氮=-0.487 DO+5.537
总氮与 Chl-a	0.905	总氮=0.181Chl-a+0.227
DO 与 COD _{Mn}	-0.895	DO=-0.844COD _{Mn} +13.878

相关性显著的（自由度 6， $0.875 > r > 0.754$ ）见表 3.14。

表 3.14 青狮潭水库 8 月指标之间相关性显著关系表

相关项	相关系数 r	线性方程
总磷与 COD _{Mn}	0.853	总磷=0.023COD _{Mn} -0.058
总磷与 Chl-a	0.854	总磷=0.01Chl-a-0.028
总氮与 COD _{Mn}	0.845	总氮=0.413COD _{Mn} -1.228
总氮与水温	0.758	总氮=0.071 水温-1.041
DO 与 Chl-a	-0.771	DO=-0.298+10.627
DO 与水温	0.793	DO=-0.144 水温+13.449

相关性多体现在氮、磷、DO、COD 之间，说明网箱养鱼增加了含氮、磷的耗氧有机物的含量。DO 与总氮、总磷、COD_{Mn} 成负相关，说明在投饵量、养鱼量大的 8 月，网箱养鱼产生的残饵和粪便会消耗水中 DO 的含量。

3.4 加权平均法进行污染物评价

污染物评价是在污染物调查的基础上进行的。污染物评价的目的是要确定主要污染物，为污染物治理和区域治理规划提供依据。各种污染物具有不同的特性和不同的环境效应，为了使不同的污染物能够在同一个尺度上加以比较，要采用特征数来表示评价的结果，或者说要对污染物进行标准化比较。

本文引入污染指数的概念，污染指数是指所排放的某种污染物的浓度超过该种物质的排放标准的倍数，简称超标倍数。它所反映的是污染物的排放浓度与评价所采用的排放标准之间的关系。

为了确定各污染物对水体水质的污染贡献，找到贡献最大的污染负荷，为下文网箱养鱼容纳量提供准确的限制因子，在本节用加权平均法进行计算。

加权平均法计算水体中各种污染物的污染贡献大小（权重），计算公式如下：

$$p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i I_i, i = 1, 2, \dots, n \tag{3.1}$$

$$I_i = C_i / S_i \tag{3.2}$$

$$w_i = I_i / \sum_{i=1}^n I_i \tag{3.3}$$

式中 p —水质污染指数;
 I_i —第 i 种污染物的分指数;
 C_i —第 i 种污染物浓度实测值;
 S_i —第 i 种污染物的评价标准;
 W_i —第 i 种污染物的权重值;
 n —污染物的种类数。

选择网箱投饵量、养鱼量最少的 2 月和投饵量、养鱼量最多的 8 月进行计算, 2 月和 8 月水质的实测数据及评价标准见表 3.15, 评价标准参考《中华人民共和国地表水环境质量标准》(GB3838-2002)III 类水标准最高允许排放浓度。

表 3.15 青狮潭水库水质监测数据及评价标准 单位: mg/L

监测项目	实测值		评价标准
	2 月	8 月	
pH(无量纲)	9.40	8.75	6~9
总磷	0.020	0.082	0.05
总氮	0.9	1.46	1.0
DO	6.7	8.5	5
COD _{Mn}	2.1	5.8	6
粪大肠菌群(个/L)	230	2400	10000
BOD ₅	1.3	2.7	4

按水质指数值得水质分级标准如表 3.16。

表 3.16 按 p 值的水质分级标准

p	级别	分级依据
<2	清洁	多数项目未检出, 个别检出也在标准内
0.2~0.4	尚清洁	检出值均在标准内, 个别接近标准
0.4~0.7	轻污染	有一项检出值超出标准
0.7~1.0	中污染	有一两项检出值超出标准
1.0~2.0	重污染	全部或相当部分检出值超出标准
>2.0	严重污染	相当部分检出值超过标准 1 到数倍

计算得各种污染物的权重值如下:

2 月: pH 为 0.0362, 总磷为 0.121, 总氮为 0.271, DO 为 0.036, COD_{Mn} 为 0.105, 粪大肠菌群为 0.007, BOD₅ 为 0.098。由 w_i 和 I_i 计算得到 $p=0.073$ 。查表 3.16 可知 2 月青狮潭水库水质属于清洁级。

8月: pH 为 0.147, 总磷为 0.276, 总氮为 0.246, DO 为 0.013, COD_{Mn} 为 0.163, 粪大肠菌群为 0.04, BOD₅ 为 0.114。由 w_i 和 I_i 计算得到 $p=0.2$ 。查表 3.16 可知 8 月青狮潭水库水质属于尚清洁级。

分析以上结果发现, 养鱼量大的 8 月水质不如 2 月, 网箱养鱼对青狮潭水库水质有影响。

在网箱养鱼对青狮潭水库水质产生较大影响的 8 月, 磷权重最大, 表明磷的污染影响最大。

3.5 磷作为限制性指标值对青狮潭水库水质的影响分析

评价水环境容量的关键是确定限制性指标值。如指标值过高, 网箱养鱼就会造成水库水质污染, 指标过低则限制养鱼生产, 影响经济效益。

淡水中, 磷是浮游植物生长的第一位限制性营养元素^[10], 因此现有的在河流湖泊中的研究大多是将磷作为限制指标。但目前还没有明确的养殖水体磷标准, 相关标准都是借鉴水体富营养化的指标, 彭建华^[80]将水体富营养化磷浓度下限定为 0.066mg/L, 何志辉^[81]定为 0.03mg/L, Carlson^[82]定为 0.02mg/L, Wetzel^[83]定为 0.01-0.03mg/L。

这些标准的制定是为了防止水体出现富营养化, 但一定程度的富营养化对养鱼是有利的^[80], 养鱼水体环境容量的限制性指标不能用过低的磷指标。陈义煊^[57]等在评价四川省的水库网箱容量时, 将磷标准定为 0.1mg/L。根据青狮潭水库近几年的网箱养鱼情况, 建议将青狮潭水库的标准依照地表水环境标准 (GB3838-2002) III 类水对湖库的要求设为 0.05mg/L。

3.6 水体交换周期与水库网箱养鱼容纳量

水体交换能力的大小直接影响水体自净能力的强弱, 进而制约网箱养鱼的规模。网箱养殖对水体造成的污染负荷中以磷的影响最大, 本节以磷作为限制性指标计算青狮潭水库网箱养鱼容纳量。

3.6.1 水体交换周期

水体交换周期(d)的计算公式为^[84]:

$$d = s / \Delta s \quad (3.4)$$

式中 s —水库的容量, m^3 ;

Δs —单位时间入河口断面流量, m^3/a 。

假设青狮潭水库蓄水位为死水位, 水库容量为 $4.05 \times 10^8 m^3$, 进水河流年平均流量为 $26.5 m^3/s$ 即 $8.36 \times 10^8 m^3/a$, 得到 $d=0.48a$, 青狮潭水库水体年交换次数为 2 次。

3.6.2 水库网箱养鱼容纳量

计算网箱养鱼容纳量的模型主要有两种: 动态模型和统计模型。动态模型是指通过计算藻类生长最关键因素变化的数学表达式来间接得出养鱼容纳量; 统计模型是指在对水库进行大规模的调查之后得出各项数据, 利用这些数据构建的模型。动态模型由于影响藻类生长的因素较多, 模型表达式的变量多且变化大, 预测能力有限而较少使用。统计模型主要有 Dillon 模型^[85]和 DECD^[86]模型两种。DECD 模型是构建关于水体中总磷浓度、流入总磷浓度和滞留时间之间的函数, 但是 DECD 模型不能解释磷元素的输出, 所以不宜使用。Dillon 模型由磷的负载, 水体的大小(面积和深度), 水交换量以及磷长期沉积量来决定, 考虑全面且使用方便, 本节用 Dillon 模型计算青狮潭水库网箱养鱼容纳量。

具体计算步骤为: ①测定稳定时总磷的浓度; ②确定水体可接受的磷元素水平; ③计算网箱养鱼容纳量。青狮潭水库水面面积约 $30 km^2$, 平均水深 $30m$, 水体年交换次数 2 次, 建立 Dillon 模型, 根据磷元素水平计算青狮潭水库网箱养鱼容纳量。

计算公式为^[85]:

$$C = L_f * 10 / P_L \quad (3.5)$$

$$L_f = \Delta[p]H\rho / (1 - R_f) \quad (3.6)$$

$$R_f = 1 / (1 + 0.747 * \rho^{0.507}) \quad (3.7)$$

$$P_L = K * A - B \quad (3.8)$$

式中 C —容纳量;

$\Delta[p]$ —网箱养鱼后总磷浓度的增量;

H —水库平均深度;

ρ —水体年交换次数;

R_f —网箱养鱼输入磷的储留率;

P_L —网箱养鱼饵料磷的单位产量损失率;

K—饵料系数, 平均为 2;

A—饵料含磷百分数 1.43%^[21];

B—鱼体含磷量, 鲤 0.5%。

以青狮潭水库进水口总磷含量 0.005mg/L 为水库现有含磷量, 以地表水环境标准 (GB3838-2002) III 类水标准要求库区总磷<0.05mg/L 为磷的允许负荷量进行计算。

计算结果为, 青狮潭水库网箱养鱼理论容纳量为 0.22%。

实际养鱼情况: 青狮潭水库 2009 年实际网箱养鱼面积为 0.06km², 占库区总面积 30km² 的 0.2%。

青狮潭水库库区实际网箱养鱼面积已经接近理论容纳量, 虽未超出, 但仍对水质产生很大影响, 作者认为其原因主要是网箱设置不合理, 包括网箱的规模及选址, 如在水库坝首附近网箱过于密集, 网箱之间相互污染, 使得鱼类的排泄得不到快速降解, 造成坝首位置水质指标数据偏高。

3.7 本章小结

本章主要介绍了样品的采集和分析情况, 并对实验结果进行分析。

(1) 数据显示, 网箱区的总磷、总氮、COD_{Mn} 高于网箱外区域, DO 低于网箱外区域, 而 Chl-a、透明度、水温则无明显变化。结果表明, 网箱养鱼会引起磷、氮及有机物负荷的升高, 并降低水体溶解氧含量, 对透明度、水温无影响。

(2) 分析总磷、总氮、COD_{Mn}、DO 变化明显的原因主要跟网箱养鱼活动有关:

总磷变化原因分析: ①网箱内 12 月~2 月几乎不投饵, 水温低, 鱼类新陈代谢缓慢, 磷的排出量少, 2 月是全年网箱养鱼量最少的时期, 所以 2 月网箱养鱼对总磷影响较小; ②3、4 月份, 气温上升, 浮游植物大量繁殖, 生长过程吸收磷元素, 导致总磷含量降低; ③4~6 月份虽然处在投饵高峰期, 但是由于灌溉需要, 青狮潭水库开闸放水, 水流自上游流经网箱区时带走大量磷元素, 再经大坝流向灌区, 致使这一时期总磷含量上升不高; ④8 月份桂林气温最高, 投饵最多, 鱼类新陈代谢旺盛, 残饵和粪尿中的磷使总磷含量达到最高值; ⑤10 月仍大量投饵, 鱼类活动旺盛, 此外, 10 月气温骤变使水库底部富含磷的水上浮使水库总磷含量保持一个较高值。

总氮变化原因分析: 总氮与总磷的年变化规律基本保持一致。养鱼量大的

6月、8月、10月总氮量明显大于养鱼量较小的12月、2月、4月。总氮来源于水体中有机物的分解矿化、养殖鱼类的排泄、浮游生物的分解排泄,主要消耗于浮游植物的吸收。在温度较高的8~10月份,浮游植物繁殖茂盛,氮下降趋势明显大于磷,说明总氮受植物吸收作用的影响比总磷大。

COD_{mn}变化原因分析: COD_{mn}含量养鱼量大的夏季和秋季比养鱼量小冬季和初春高,说明网箱养鱼对COD_{mn}的贡献较大。COD_{mn}即化学耗氧量是反应水体耗氧有机物含量的指标,网箱养鱼主要是残饵和粪便对COD_{mn}产生影响。

DO变化原因分析: 由于网箱区域高密度的鱼类和其他水生生物呼吸,以及养殖鱼类的排泄、排粪及残饵分解耗氧,使网箱周围DO变动受网箱养殖影响较大。

(3) 分析水质指标之间的相关性,相关性多体现在氮、磷、DO、COD之间,说明网箱养鱼增加了含氮、磷的耗氧有机物的含量。DO与总氮、总磷、COD_{mn}成负相关,说明在投饵量、养鱼量大的8月,网箱养鱼产生的残饵和粪便会消耗水中DO的含量。

(4) 用加权平均法评价各污染物的权重,结果发现,磷作为浮游植物生长的第一位限制性营养元素,污染影响最大。对磷作为限制性指标值的合理性进行分析,建议将青狮潭水库的磷标准依照地表水环境标准(GB3838-2002) III类水对湖库的要求设为0.05mg/L。

(5) 以磷水平计算青狮潭水库网箱养鱼容纳量,计算结果为,青狮潭水库网箱养鱼理论容纳量为0.22%。青狮潭水库库区实际网箱养鱼面积已经很接近理论容纳量,虽未超出,但仍对水质产生很大影响。

第 4 章 网箱养鱼影响水质的成因及防治对策

4.1 网箱养鱼对青狮潭水库水质产生影响的原因

(1) 网箱养鱼规模失控，加速水质富营养化^[68]

青狮潭水库库区从 1997 年开始出现少量网箱养鱼渔户，近年来网箱养鱼发展迅猛。据 2004 年 10 月水利、渔业等单位联合对青狮潭水库网箱养鱼情况的调查统计，库区共有网箱养鱼渔户 114 户，网箱 1057 箱，面积 21694 m²，年总投喂饵料 7300t。2009 年 11 月再次调查统计，整个库区共有网箱养鱼渔户 169 户，网箱 1593 箱，面积 31616 m²，年投喂饵料超过 9000t。2001 年 9 月，库区曾出现大量密集水母，并出现银鱼死亡漂浮水面的现象，但未引起有关部门充分重视。2004 年，水体出现大量蓝藻，水质恶化。2009 年 10 月，水库出现大量蓝藻并出现网箱养鱼缺氧死亡现象。

据调查，绝大多数网箱养鱼渔户没有合法手续，领取证照的养鱼户不足 30%，而且早已超过时限规定，严格地说整个水库的网箱养鱼没有一户是合法的。

(2) 网箱设置不合理，污染物无法快速降解

青狮潭水库库区实际网箱养鱼面积并未超过理论容纳量，但是部分水质仍污染严重，这主要与网箱养鱼的不合理设置有关，主要包括网箱的规模及选址。青狮潭水库库区网箱养鱼区域非常集中，多为水面宽阔的水域，主要分布区有坝首附近的水域、西湖中心及周边水域。这些区域由于网箱过于密集，网箱之间相互污染，鱼类的残饵和排泄物不能快速降解，污染物长时间的累积可能出现密集浓缩造成水库局部水体富营养化。网箱分布区如图 4.1 所示。

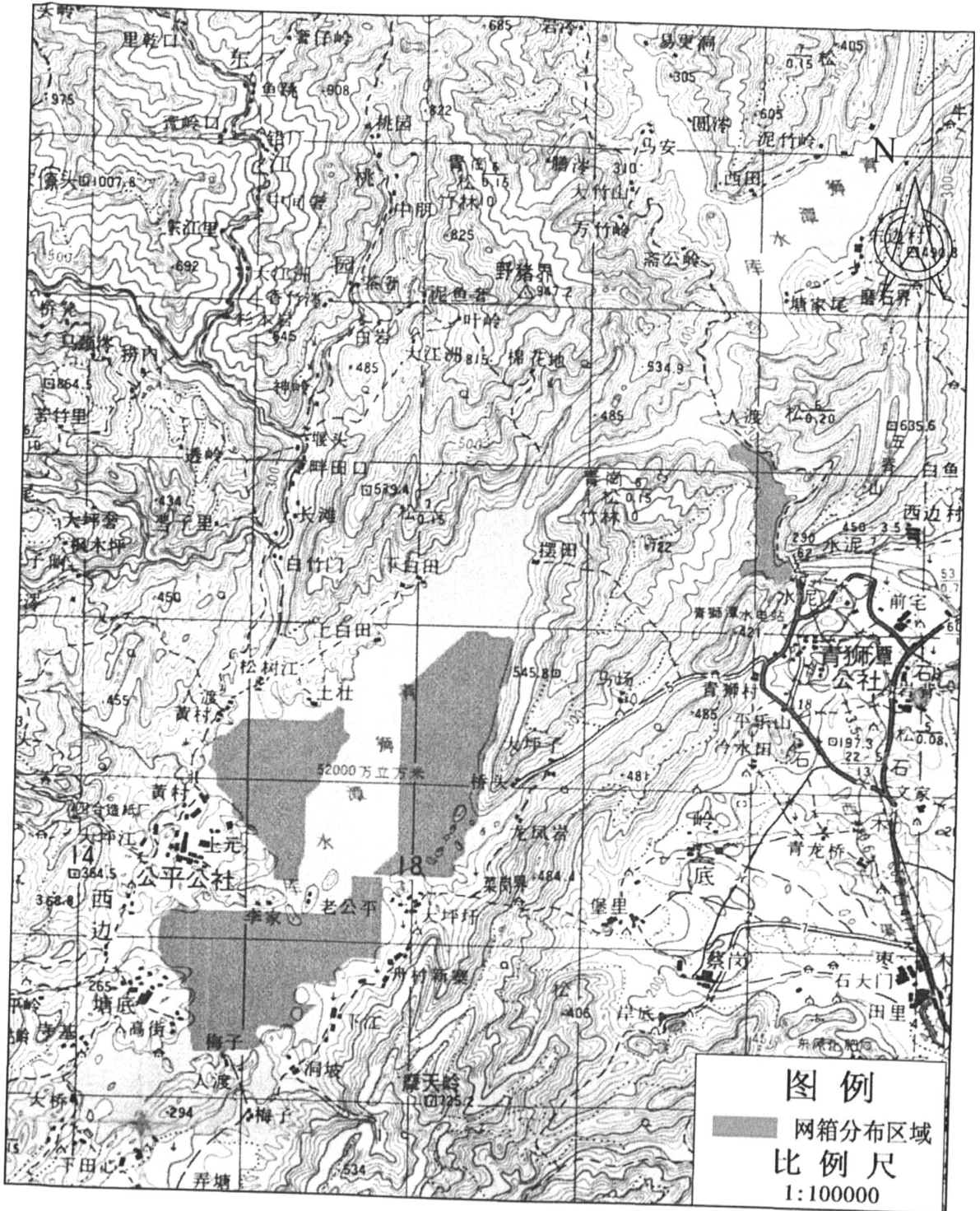


图 4.1 青狮潭水库网箱主要分布区示意图

(3) 近年频遇天旱, 降雨量减少, 使污染加剧

近年来, 桂林市遭遇百年大旱, 青狮潭水库蓄水不足, 农业灌溉用水十分紧张, 漓江河水几近枯竭, 为确保漓江游船安全行驶, 青狮潭水库每年向漓江补水, 补水期间水库水位骤然下降 3~4m; 由于库区受桂北气候的影响, 暴雨季节往往一昼夜水位上涨 4~5m。据有关研究发现, 水体水生生物的生长、繁殖需要一个相对稳定的水域环境, 水位的大幅变化, 可能造成鱼类及浮游动植物的大批死亡, 他们的尸体沉积库底腐烂会败坏水质。

4.2 关于网箱养鱼对环境影响的防治对策

(1) 目前, 青狮潭水库已进行了饮用水源保护区划分, 库区出口坝首上溯至西湖和东湖一定范围内被划分为饮用水源一级和二级保护区。在青狮潭水库应实行水域分类管理, 在一级保护区禁止网箱养鱼, 对现有网箱进行取缔。在二级保护区内, 应控制网箱养殖的规模和分布。

(2) 由于青狮潭水库西湖区域水面面积较大, 有一定的水环境容量, 因此可以在西湖划分一定水域单元适度发展网箱养殖, 其养殖规模、鱼种和养殖密度要根据控制单元水环境容量来确定。

(3) 由于青狮潭水库洪水期和枯水期水位差异较大, 因此在确定网箱养鱼规模时考虑水量影响, 确保枯水期库区水质达标。对网箱养鱼进行科学管理, 疏散网箱, 防止网箱间相互污染, 使残饵及粪尽可能的降解, 同时网箱必须装有残饵清除措施, 提高饵料的再利用率, 防止水体富营养化。

(4) 优化库区鱼种比例, 构建良性鱼类生态系统。减少摄食浮游动物、底栖动物的鱼类数量和草食性鱼类数量, 提高滤食性鱼类的比例, 减少由于某种鱼类种群过度增长而对水生生态系统造成的影响。设计多层次养殖方式, 发展湿地养鱼、围网养鱼、网箱养鱼等多种养殖方式, 达到生态渔业系统的良性循环。

(5) 在库区环境管理系统方面, 加强对网箱养鱼区的动态监测, 在网箱养鱼区设置监测点, 对网箱养鱼区内水质、底泥和水生植物进行监测。

4.3 本章小结

总结了网箱养鱼对青狮潭水库水质造成污染的原因: (1) 网箱养鱼规模失控, 加速水质富营养化; (2) 网箱设置不合理, 污染物无法快速降解; (3) 近年频遇天旱, 降雨量减少, 使污染加剧。

提出几条防治对策限制网箱养鱼对环境的影响：(1) 青狮潭水库实行水域分类管理，在一级保护区禁止网箱养鱼，对现有网箱进行取缔。在二级保护区内，应控制网箱养殖的规模和分布；(2) 划分一定水域单元适度发展网箱养殖，其养殖规模、鱼种和养殖密度要根据控制单元水环境容量来确定；(3) 对网箱养鱼进行科学管理，疏散网箱，防止网箱间相互污染，使残饵及粪尽可能的降解，同时网箱必须装有残饵清除措施，提高饵料的再利用率，防止水体富营养化；(4) 优化库区鱼种比例，构建良性鱼类生态系统；(5) 在库区环境管理系统方面，加强对网箱养鱼区的动态监测，在网箱养鱼区设置监测点，对网箱养鱼区内水质、底泥和水生植物进行监测。

第 5 章 结论、不足与展望

5.1 主要结论

青狮潭水库网箱养鱼颇具规模,而且养鱼网箱主要集中在公平湖、坝首、蓝田等地点,由于鱼类代谢废物和饵料残渣的大量排放,导致排入青狮潭水库的污染物过量,远远超过了水库的自净能力,致使水域水面出现很多藻类,水体呈绿色,水质恶化,坝首断面 pH、总磷、总氮、 COD_{Mn} 、 BOD_5 等项目监测值超过《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) V 类标准。网箱养鱼对青狮潭水库水质的影响有:①增加了网箱和周围水体中氮和磷的含量;②增加了水体中耗氧有机物含量;③减少了网箱周围 DO 值;④增加了水体有机污染负荷。导致相关水域污染状况加重,给人们的生产生活带来了严重负面影响。因此,针对网箱养鱼对青狮潭水库水质的影响进行研究是很有必要的。

本文通过研究青狮潭水库网箱养鱼对水环境指标的影响,主要得到以下结论:

(1) 网箱中心总磷含量在一年中的大小对比为:8 月>10 月>6 月>12 月>4 月>2 月;网箱中心总氮含量在一年中的大小对比为:10 月>8 月>6 月>4 月>12 月>2 月。总氮与总磷的年变化规律基本保持一致。养鱼量大的 6 月、8 月、10 月总氮、总磷含量明显大于养鱼量较小的 12 月、2 月、4 月。通过分析得出,网箱养鱼对青狮潭水库总氮、总磷含量有很大影响。

(2) 研究表明,DO 值有随着距离网箱距离增大而增大的趋势,这是由于网箱区域高密度的鱼类和其他水生生物呼吸,以及养殖鱼类的排泄、排粪及残饵分解耗氧,使网箱周围 DO 变动受网箱养殖影响较大。

(3) 在 COD_{Mn} 含量变化曲线中, COD_{Mn} 含量养鱼量大的夏季和秋季比养鱼量小冬季和初春高,说明网箱养鱼对 COD_{Mn} 的贡献较大。分析网箱养鱼主要是残饵和粪便对 COD_{Mn} 产生影响。

(4) 除 8 月份外,Chl-a 变化不明显。在本研究中,认为网箱区内外没有明显差别,代表浮游植物量的 Chl-a 含量随着距网箱距离的增大变化不明显,分析可能与水库自身营养盐浓度、气候有关。透明度和温度不随与网箱距离的改变而有变化,可认定网箱养鱼对透明度、水温无影响。

通过建立模型,计算青狮潭水库网箱养鱼容纳量,分析后得出结论:

(1) 提出计算青狮潭水库网箱养鱼容纳量时磷作为限制性标准取值为 0.1mg/L 。用 Dillon 模型计算出青狮潭水库网箱养鱼容纳量理论值为 0.22%。

(2) 提出防治网箱养鱼造成污染的对策:实行水域分类管理;根据控制单

元水环境容量确定养殖规模；疏散网箱，防止网箱间相互污染；优化库区鱼种比例，构建良性鱼类生态系统；加强对网箱养鱼区的动态监测。

5.2 研究中存在的不足

(1) 由于开展时间不长，本文主要研究 2011 年 1 月至 2012 年 4 月期间青狮潭水库水质的变化规律，虽然对年内变化规律进行了分析，但对于年际之间的变化规律尚未研究。

(2) 由于研究区域位于野外，设置的测试地点及测试方式易受环境和人为因素影响，会使观测值与真实值之间存在一定的误差。

(3) 本文只是定性的描述网箱养鱼对青狮潭水库水质的影响，没有定量的分析网箱养鱼对各种指标的影响程度。

(4) 建立模型进行网箱养鱼容纳量计算时，只设定为理想状态，未考虑降雨量、蒸发量、下渗量等指标，会使计算结果不够精确。

(5) 水质调查仅取表层水，研究未探讨底层水的水质指标变化。

5.3 展望

(1) 在今后的研究中，将进一步检测水质状况，综合研究网箱养鱼对水质的影响。

(2) 收集青狮潭水库相关的水文数据、环境数据，定量分析网箱养鱼对水体的有机物负荷。

(3) 继续深入研究水体交换能力对网箱养鱼的影响，在可能的条件下，加测其他进行网箱养鱼的水库水质状况，比较不同水体交换能力下，网箱养鱼对水体富营养化的影响。

(4) 优化模型，寻找更适合研究网箱养鱼的模型，能够从多方面综合探讨网箱养鱼对水体水质的影响。

(5) 在后续的研究中，对不同水层的水质进行调查，结合沉积物污染问题进行研究。

致 谢

本文是在导师方荣杰老师的悉心指导下完成的,方老师在我论文研究工作中给予了大量学术、学习和研究上的指导。在两年的学习生活中,方荣杰老师给予了我耐心细致的教导和无微不至的关怀,感谢方老师给我的指导和帮助。

在本论文撰写过程中,我得到了桂林市环境保护科学研究所杨雄主任、齐姗姗主任、王文萍主任、刘立军工程师的细心指导,提供了很多的数据,在此论文脱稿之际,特在此向你们表示感谢。

在两年的学习生活中,感谢教研室郭纯青老师、代峻峰老师、金鑫老师、邓欢老师给予的帮助、支持和鼓励,特别要感谢郭纯青老师对我论文的多次修改。感谢桂林理工大学的领导和各位老师在众多方面给予我的支持和栽培。

在平时的生活学习中,我的室友雷昌文、李中秋、陈毅、王浩等同给予我很多帮助,在此表示深切的谢意。

最后感谢一直以来默默支持我的家人,你们的支持是我前进的动力,我永远爱你们。

感谢所有帮助和关心我的人。

参考文献

- [1]杨淞杜,宗君.投饵网箱养鱼对水库水域环境的影响及其对策[J].水产科技,2009(3):16~21.
- [2]王武.鱼类增养殖学[M].北京:中国农业出版社,2000,318~320.
- [3]周兴华,向泉,陈建等.浅谈网箱养鱼水体的有机负荷[J].北京水产,2000(3):12~13.
- [4]全国水利资料.百度百科.<http://wenku.baidu.com/view/4c5736c0d5bbfd0a79567390.html>.
- [5]陈小江,沈子伟,胡家文等.网箱养殖与水环境相互作用关系的研究进展[J].中国水产,2007(2):76~78.
- [6]朱淑君,王芳群,王伟.浅析网箱养鱼对水质的影响[J].干旱环境监测,2003,17(1):57~58.
- [7]刘潇波,高殿森.浅析淡水网箱养鱼对水环境的影响及对策.重庆工业高等专科学校学报.2004,19(6):50~57.
- [8]段学华,何立红,李春燕.水产养殖对水质影响及防治措施[J].能源与环境,2010,(10):95~96.
- [9]黄洪辉,林钦,贾小平等.海水鱼类网箱养殖场有机污染季节动态与养殖容量限制关系[J].集美大学学报(自然科学版),2003,8(2):101~105.
- [10]刘家寿,崔亦波,刘建康.网箱养鱼对环境的影响的研究进展[J].水生生物学报,1997,21(2):174~184.
- [11]何国民,卢婉娴,刘豫广等.海湾网箱养鱼场老化特征分析[J].中国水产科学,1997,4(5):76~79.
- [12]徐永健,钱鲁闽.海水网箱养殖对环境的影响[J].应用生态学报,2004,15(3):532~536.
- [13]梁建龙,青狮潭水库富营养化评价与对策研究[J].人民珠江,2006.3:50~52.
- [14]周文俊,青狮潭网箱养鱼死灰复燃水质污染严重[N].桂林日报,2011.12.21,第3版.
- [15]汤叶涛,贾厚磊,温锁茂等.网箱养殖对水环境的影响[J].水利渔业.2003,23(1):47~48.
- [16]Alabaster J S. Report of the EIFAC workshop of fish-farm effluents[J]. Rome:FAO, 1982, 57~64.
- [17]Penczak T. The enrichment of a mesotrophic lake by carbon, phosphorus and nitrogen from the cage aquaculture of rainbow trout *Salmo Gardner*[J].J.Appl.Ecpl, 1982, 19:371~393.
- [18]Gowen R J, Bradbury N B. The ecological impact of salmonid farming in costal waters: a review. Oceanography and Marine Biology Annual Review, 1987, 25:562-575.
- [19]Braaten B. Pollution problems on Norwegian fish farms[J].Aquaculture Ireland, 1983, 14:6~7.
- [20]彭建华,网箱养鳊对环境的影响及水体承载力研究[D].武汉,华中农业大学,2004.

- [21]林永泰、张庆、杨汉运等, 黑龙江水库网箱养鱼对水环境的影响[J].水利渔业, 1995(6):6~10.
- [22]程素珍, 许尚杰, 刁汇文. 水库网箱养鱼对水质的影响及防治对策[J].水利与建筑工程学报, 2010, 8(1):30~31.
- [23]Winberg G G. Fisheries Research Board of Canada Translation Series 194. Ottawa: Byelorussian State University, 1996.
- [24]曹立业.水产养殖的氮磷污染[J].水产学杂志, 1996, 9 (1) :76~77.
- [25]Beveridge, M. C. M. Cage and pen fish farming. Carrying capacity models and environmental impact. Rome FAO.1984.
- [26]何志强.水产饲料对水产养殖的影响[J].北京水产, 2006(3):47~49.
- [27]崔奕波, 鱼类生物能量学的理论与方法[J].水生生物学报, 1989 (13) 4:369~383.
- [28]Solbe.J.F.de.L.G. Report of the European Inland Fisheries Advisory Commission Working Party on Fish Farm.Effluents Water Research Centre.Medmenham.U.K.1997.
- [29]Gravedi J P, et al. Digestibility of chloramphenicol, oxolinic acid and oxytetracycline in rainbow trout and influence of these antibiotics on lipid digestibility. Aquaculture, 1987, 60: 133~141.
- [30]Phillips M J et al.The environmental impact of salmonid cage on inland fisheries: Present status and future trends Fish bio1, 27(A):1985, 123~137.
- [31]王小平, 牛头岛深湾网箱养殖区底质溶液中的氮和磷[J].中国水产科学, 1998, 5 (3):126~128.
- [32]冉景恒, 投饵型网箱养殖对生态环境的影响及对策, [J].科学养鱼, 1999 (8): 3~4.
- [33]Pantulu V. R. Floating cage culture of fish in the lower Mekong River Basin, in Advances in Aquaculture. T.V.R Pillay and W.A. Dill (eds) Fishing News Books Ltd. , Farnham, Surrey. 1979:423-427.
- [34]Stirling.H. P &T. Dey. Impact of intensive cage fish farming on the phytoplankton and periphyton of a Scottish freshwater loch. Hydrobiologia 1990.(9).
- [35]吴庆龙.东太湖养殖渔业可持续发展的思考[J].湖泊科学, 2001, 13(4):22~27.
- [36]焦荔, 方志发, 朱淑君, 等.千岛湖网箱养鱼对水质的影响[J].环境监测管理与技术, 2007, 19(4):46~49.
- [37]Wu R S.Eutrophication, water borne pathogens and xeno-biotic compounds:environmental risks and challenges[J].Marine Pollution Bulletin, 1999, 39.
- [38]张敏, 李建秋, 周易勇.网箱养殖对东湖沉积物有机质含量以及磷的酶促水解与吸附行为的影响[J].水产学报, 2002, 26(6):510-518.

- [39]王立明, 刘德文.网箱养鱼对潘家口水库水质的影响分析.河北渔业.2008.6:42~44.
- [40]Tucholski S, et al. Studies on removal of wastes production during cage-rearing of rainbow trout in lakes. Zesz. Akad. Nauk. Roln., Szcz., 1980, 82: 3~50.
- [41]李万庆, 李金中, 吴雷等, 于桥水库网箱养鱼对水质影响分析[J].城市环境与城市生态, 1999, 12(4):33~35.
- [42]Black, T.H.In:W.H.Krumbein(ed.), microbial geochemistry. Blackwell Scientific Publications.Oxford.1983:63~89.
- [43]Enell M&J.Lof. Environmental impact of aquaculture sediment and nutrient loadings from fish cage culture farming.Vatten.1983, 39:364~375.
- [44]Fayette, A.R.&T.A.Haines.Envirn.Pollut, Ser.A.1980, 22:11~17.
- [45]黄明显, 杜军, 龙志海等, 四川妙音水库网箱养鲤对浮游生物的影响[J].西南农业学报, 1990, 2(3):75~81.
- [46]张家波, 王明学, 邢鲁明等, 横冲湾投饵网箱养鱼对水域生态环境的影响[J].水利渔业, 1997(6):12~16.
- [47]韩志泉, 杜挂森, 杨贵柴, 等.运用生物监测探讨网箱养鱼对水质的影响[J].北京师范学院学报(自然科学版), 1989, 10(4): 63~69.
- [48]朱新源等, 官厅水库富营养化的水生生态特征评价[J], 环境科学学报, 1991(11) 3:292~298.
- [49]Kilambi et al. Effects of cage culture on growth, abundance and survival of resident largemouth bass(*Micropterus salmoides*). J. Fish. Res. Bd. Can. 1978, 35:157~160.
- [50]Phillips M J et al.The environmental impact of salmonid cage on inland fisheries:Present statusand future trends JFish bio1, 27(A):1985, 123~137.
- [51]Collins I. A study on the environmental impact of particulate matter derived from a salmonid cage culture system on Loch Fad, Isle of Bute, Scotland.BSe Thesis, University of Stirling.1983.
- [52]刘剑昭, 李德尚.关于水产养殖容量的研究[J], 海洋科学, 2000, 10:28~29.
- [53]李德尚, 水库对投饵网箱负荷力的研究方法[J], 水利渔业, 1992, 3:3~5.
- [54]熊邦喜, 李德尚, 水库对投饵网箱养鱼的负荷力[J], 水生生物学报, 1994, 18(3):223~229.
- [55]陈义馆, 高天福, 张凯. 四川省水库富营养化现状和网箱养殖容量研究[J].水系污染与保护, 1994 (4): 36~48
- [56]张兆琪.投饵网箱养鱼对水库水质产生不良影响的原因与对策[J], 水利渔业, 1997, (17), 1:18~20.
- [57]姜世中, 黑龙江网箱养鱼负荷力的研究, 水利渔业, 1999, (19) 1:37~39.

- [58]王红瑞,刘昌明,蒋晓辉.水体交换周期模型的修正及其在黄河上游的应用[J].水科学进展, 2006, 17(2):196~202.
- [59]陶非,张鹰.连云港海洲湾海域水质分析[J].水利渔业, 2006, 26(6):77~78.
- [60]何杰,叶小强,辛文杰.环抱式单口门港池水体交换能力研究[J].水运工程, 2009, (2):87~91.
- [61]成立,刘昌明.水资源及其内涵的研究现状和时间维的探讨[J].水科学进展, 2000, 11(2):153~158.
- [62]Tartinville B, E Deleersnijder, J. Ramcher.The water residence time in the Mururoa Atoll lagoon:sensitivity analysis of a three-dimensional model[J].Coral Reefs, 1997, (16): 193-203.
- [63]Adam H Slnsky, Ben C Yen. A macrn-scale hydrologic cycle water availability model [J]. Journnl of Hydrology, 1997, 201(4): 329~347.
- [64]Hatchher A I, C A Frith. The control of nitrate and ammonium concentrations in a coral reef lagoon[J]. Coral Reefs, 1985, (4): 101~110.
- [65]Bruce G Hatcher, Jorg Imberger, Stephen V Smith. Scaling analysis of coral reef systems: an approach to problems of scale[J].Coral Reefs, 1987, (5):171~181.
- [66]“水体交换频繁的小型水库池塘化集约精养鱼”获汉中市科技进步奖[J].科学养鱼, 1995, (10):44.
- [67]孙占有.生物饵料、放养密度及水体交换量对鲤鱼苗种生长的影响[J].黑龙江水产, 2005, (6):3~6.
- [68]文衍红、何安尤.漓江上游青狮潭库区水体富营养化及其综合治理建议[J].广西水产科技, 2006(3):20~25.
- [69]杨宁,广西青狮潭自然保护区植物区系研究[J].中南林业调查规划, 2005, 24(2):47~50.
- [70]《桂林经济统计年鉴》编委会,桂林经济社会统计年鉴 2010[J],北京:中国统计出版社, 2011.
- [71]王宁.长江三峡游船旅游活动面临的环境生态问题及对策[J].生态经济, 2007, 9:109~110.
- [72]王伟.浅谈游船污染及其防治对策[J].中国环境管理, 2009, (3):27~28.
- [73]张玉珍,刘怡靖,段勇,等.汀江流域畜禽粪便污染负荷及其环境影响[J].地域研究与开发, 2009, 28(3):122~125.
- [74]段勇,张玉珍,李延凤,等.闽江流域畜禽粪便的污染负荷及其环境风险评价[J].生态与农村环境学报, 2007, 23(3):55~59.
- [75]黄沈发,陈长虹,贺军峰.黄浦江上游汇水区畜禽业污染及其防治对策[J].上海环境科学, 1994, 13(5): 4~8.

- [76]王晋虎, 张德华, 陈异晖.星云湖流域畜禽粪便污染负荷及其环境影响[J].上海环境科学, 2011, 30(1):12~17.
- [77]国家环境保护总局.水和废水监测分析方法(第四版).北京: 中国环境科学出版社, 2006, 265~514.
- [78]陈佳荣, 水化学实验指导[M].中国农业出版社, 北京: 1999.
- [79]范林君.网箱养鱼对红光水库和百光水库水质影响的研究[D].重庆, 西南大学, 2006.
- [80]彭建华, 刘家寿, 熊邦喜.水体对网箱养鳊的承载力[J].生态学报, 2004, 24(1):28~34.
- [81]何志辉, 湖泊营养分类[J].水利渔业, 1982, (4):46~51.
- [82]Carlson R E. A tropic state index for lakes. *Limnol oceanogr*, 1977, 22(1):361~369.
- [83]Wetzel R G. *Limnology* 2nd ed. Philadelphia: W B. Saunders College Publishing, 1983.
- [84]Dillon P J, Rigler F H. A test of a simple nutrient budget model predicting the phosphorus concentration in lake water. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 1974, 31:1771~1778.
- [85]DECD. Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. Paris: OECD, 1982.
- [86]刘昌明, 蒋晓辉.基于水库调蓄的黄河干流水体交换周期的量化研究[J].地理学报, 2004, 59(1):111~117.

个人简介

姓名	梁腾飞	性别	男	出生年月	1987. 7. 7
籍贯	山东	政治面貌	预备党员	民族	汉
入学年月	2010. 9	学制（年）	2	攻读学位	工程硕士
所属系（院）	环境科学与工程学院		所属教研室	水文水资源教研室	
大学毕业学校	大连海事大学	毕业时间	2010. 7	所学专业	环境工程
研究生期间主要工作和实践经验	发表论文： 2012 年：《杆洞送变电工程水土流失预测及措施设计》. 梁腾飞、方荣杰、徐勤学. 《中国水土保持》期刊 2012 年 03 期刊登 2011 年：《降低煮练工序印染废水 COD 的常用方法》. 梁腾飞、方荣杰、朱益民、陈毅. 《水利科技与经济》期刊 2011 年 01 期刊登				