

福建闽江水口库区飘浮植物覆盖对水体环境的影响*

蔡雷鸣

(福州市渔业环境监测站,福州 350026)

摘要:为了了解漂浮植物(凤眼莲和大藻)的大量生长对水口库区水体环境造成的影响,于2001-2002年、2004年6月、9月对福建闽江水口库区水环境状况进行调查监测。结果表明:漂浮植物的大量繁殖造成水口库区水体的透明度、硝酸氮、氨氮、总氮、总磷、细菌总数指标均有明显的升高,而库区的pH、溶解氧、高锰酸盐指数明显下降,浮游生物数量减少、浮游生物多样性指数降低,浮游生物种群结构发生变化,浮游植物优势种类和浮游动物主要种类呈现小型化。

关键词:水口库区;漂浮植物;水体环境

Impact of floating vegetation in Shuikou Impoundment, Minjiang River, Fujian Province

CAI Leiming

(Fuzhou Fishery Environmental Monitoring Station, Fuzhou 350026, P. R. China)

Abstract: The physicochemical and biological characteristics of water were studied from 2001 to 2004 in Shuikou impoundment. The results showed: The growth of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and Water Lettuce (*Pistia stratiotes*) caused the increase of concentrations of transparency, nitrate, ammonium, total nitrogen, total phosphorus and total bacteria, the decrease of the values of pH, DO, permanganate index, total plankton and species Diversity of plankton reduced, step toward miniaturization of plankton volume.

Keywords: Shuikou impoundment; floating vegetation, water environment

水口水库位于福建省中部闽江干流上,1993年3月开始蓄水、1996年11月竣工,水库为河道型水库,水库总库容 $26 \times 10^8 \text{ m}^3$,面积约 996 km^2 ,水库最大坝高101 m,坝顶高程74 m。库区正常水位65 m,相应库容量 $23.4 \times 10^8 \text{ m}^3$;汛期限制水位61 m,相应库容量 $19.8 \times 10^8 \text{ m}^3$;发电消落水位57 m,相应库容量 $16.4 \times 10^8 \text{ m}^3$;调节库容 $7.0 \times 10^8 \text{ m}^3$,水库性能为不完全季调节水库。水口库区水质良好、饵料充沛、交通条件便利是我省最重要的淡水养殖基地之一。2003年水口库区水面的漂浮植物凤眼莲和大藻开始滋生,凤眼莲又名水葫芦、凤眼蓝、洋雨久,学名[*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms],属单子叶植物纲(Monocotyledoneae)百合目(Liliales)雨久花科(Pontederiaceae)凤眼蓝属(*Eichhornia*);大藻又名水浮莲、水浮萍,学名(*Pistia stratiotes*),属单子叶植物纲(Monocotyledoneae)天南星目(Arales)天南星科(Araceae)大藻属(*Pistia*)。至2004年9月凤眼莲和大藻在水口库区大量生长,密连成片覆盖了整个水口库区表面,2004年10月当地政府开始治理水口库区漂浮植物,在整个库区打捞凤眼莲和大藻。作者分别于2001年-2002年、2004年6月以及2004年9月(水口库区漂浮植物生长达到最高峰时)对水口水库水体的各项指标进行调查监测,对比分析漂浮植物的生长对水口库区水体环境造成的影响。

1 材料与方 法

1.1 调查站位设定

在2001年2月至2002年2月期间,如图1所示分别在水口主库区的上区(水口镇)、中区(雄江镇)、下区(水口电站坝前)以及库区主要水产养殖密集区大雄湾内设置1[#]、2[#]、3[#]、4[#]四个调查站位,对水体的多项

*. 2005-06-23 收稿;2005-09-07 收修改稿。蔡雷鸣,男,1976生,助理工程师, E-mail: caileiming@21cn.com

指标每隔半个月采样一次. 2004年6月、9月再次对水口水库库区1#、2#、3#、4#四个调查站位水体的各项指标再次进行调查.

1.2 调查方法

1.2.1 物理指标 温度采用表层温度计现场测量库区表层0.5m水深的水温,透明度使用萨氏盘(Secchi's Disk)现场测量.

1.2.2 化学指标 pH、溶解氧、高锰酸盐指数、总氮、总磷、氨氮、硝酸氮、亚硝酸氮按照标准方法测定^[1].

1.2.3 生物指标 (1)浮游植物:定性样品用25号浮游生物网底层至表层拖取,定量样品采表层0.5m处,透明度水样和1倍透明度水样各1L,混合后取1L水样加鲁哥氏液固定,带回实验室静置沉淀,浓缩计数.(2)浮游动物:定性同浮游植物采样方法,定量样品用5L采水器从表层到10m深度,每隔2m采一次,共采25L水样,用25号浮游生物网过滤,加5%的福尔马林固定,带回实验室静置沉淀,浓缩计数.(3)细菌总数:用无菌瓶采集100ml水样,冷藏保存,3h内送至实验室立即分析检测,检测方法按照GB/T 5750-1985^[2].(4)多样性指数:采用香农-韦弗(Shannon-Weaver,1963)多样性指数^[3].

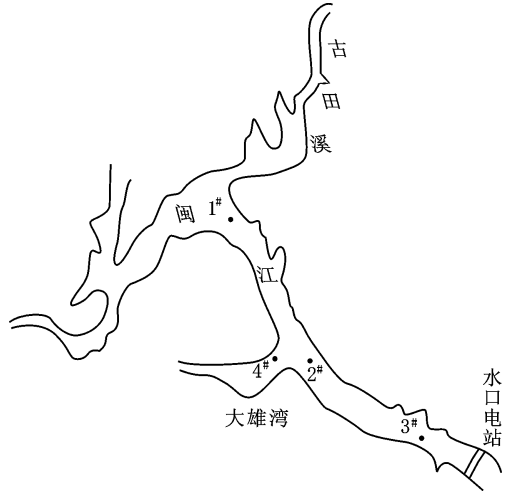


图1 水口库区采样站位示意图
Fig.1 Map of Shuikou impoundment showing sampling sites

2 结果

表1 水口库区水体中各项指标监测结果

Tab.1 Parameters of chemical and physical and biological data in Shuikou Impoundment

项目	2001年6月	2001年9月	2001-2002年 年平均	2004年6月	2004年9月	地表水质量标准(Ⅲ类)
表层温度(℃)	25.7	29.2	22.3	30.0	30.7	/
透明度(m)	1.0	1.5	1.5	1.6	2.8	/
pH	7.31	7.09	7.10	6.08	5.99	6-9
溶解氧(mg/L)	6.99	6.68	6.34	5.96	2.03	≥5
高锰酸盐指数(mg/L)	4.18	3.50	3.54	2.51	2.77	≤6
硝酸氮(mg/L)	0.400	0.462	0.501	0.604	0.709	/
氨氮(mg/L)	0.156	0.087	0.115	0.424	0.374	≤1
亚硝酸氮(mg/L)	0.020	0.006	0.013	0.020	0.005	/
总氮(mg/L)	1.012	0.997	1.278	1.404	1.428	≤1.0
总磷(mg/L)	0.042	0.009	0.019	0.087	0.092	≤0.05
浮游植物数量(个/L)	9.80 × 10 ⁴	2.22 × 10 ⁶	8.25 × 10 ⁵	9.30 × 10 ⁴	2.60 × 10 ³	/
浮游植物优势种	无优势种	直链藻属 菱形藻属	/	最小胶球藻	最小胶球藻	/
浮游植物多样性指数	2.63	2.32	/	1.30	1.11	/
浮游动物数量(个/m ³)	1.23 × 10 ⁷	1.52 × 10 ⁷	7.60 × 10 ⁶	7.00 × 10 ⁵	9.08 × 10 ³	/
细菌总数(cell/L)	6.12 × 10 ⁴	1.20 × 10 ⁶	1.61 × 10 ⁶	1.90 × 10 ⁶	9.75 × 10 ⁶	/

表1 显示水口库区在未受到漂浮植物影响的2001-2002年和受漂浮植物影响的2004年6月、9月库

区水体的表层温度、透明度、pH、溶解氧、高锰酸盐指数、总氮、总磷、氨氮、硝酸氮、亚硝酸氮、浮游植物、浮游动物、细菌总数各项指标含量。2001-2002 年全年水口库区水体仅总氮超过国家地表水质量标准Ⅲ类标准, pH、溶解氧、高锰酸盐指数、总磷、氨氮项目符合国家地表水质量标准Ⅲ类标准; 库区水体透明度适中, 透明度全年平均值为 1.5 m; 浮游植物和浮游动物种类数量丰富, 浮游植物全年主要优势种为硅藻。2004 年 6 月及 9 月水口库区总氮、总磷超过国家地表水质量标准Ⅲ类标准, 2004 年 9 月 pH 低于国家地表水质量标准Ⅲ类标准, 9 月溶解氧仅能达到国家地表水质量标准Ⅴ类标准, 2004 年 6 月及 9 月水口库区浮游植物和浮游动物数量较少、种类单一、浮游生物多样性指数低, 浮游植物的优势种为蓝藻门的最小胶球藻。

同 2001 年 6、9 月同期比较 2004 年 6、9 月水口库区水体透明度、硝酸氮、氨氮、总氮、总磷、细菌总数各项指标均有明显的上升, 透明度由 2001 年 6、9 月的 1.0 m、1.5 m 逐渐增加到 2004 年 6、9 月的 1.6 m 和 2.8 m, 硝酸氮由 0.400 mg/L 和 0.462 mg/L 升至 0.604 mg/L 和 0.709 mg/L, 氨氮由 0.156 mg/L 和 0.087 mg/L 升至 0.424 mg/L 和 0.374 mg/L, 总氮从 1.012 mg/L 和 0.997 mg/L 升至 1.404 mg/L 和 1.428 mg/L, 总磷由 0.042 mg/L 和 0.009 mg/L 升至 0.087 mg/L 和 0.092 mg/L, 细菌总数由 6.12×10^4 cell/L 和 1.20×10^6 cell/L 增加到 1.90×10^6 cell/L 和 9.75×10^6 cell/L。水体的亚硝酸氮含量变化不大; 而库区水体的 pH、溶解氧、高锰酸盐指数、浮游植物、浮游动物的含量则呈现下降趋势, pH 指标由 2001 年 6、9 月 7.31 和 7.09 下降到 2004 年 6、9 月的 6.08 和 5.99, 溶解氧指标由 2001 年 6、9 月 6.99 mg/L、6.86 mg/L 下降到 2004 年 6、9 月的 5.96 mg/L、2.03 mg/L, 高锰酸盐指数由 4.18 mg/L 和 3.50 mg/L 下降到 2.51 mg/L 和 2.77 mg/L, 浮游植物数量由 9.80×10^4 个/L 和 2.22×10^6 个/L 下降到 9.30×10^4 个/L 和 2.60×10^3 个/L, 浮游植物种类多样性指数由 2001 年 6 月的 2.63 下降到 2004 年 9 月的 1.11, 浮游动物数量由 1.23×10^7 个/ m^3 、 1.52×10^7 个/ m^3 下降到 7.00×10^5 个/ m^3 、 8.09×10^3 个/ m^3 。

3 分析讨论

3.1 浮游生物和微生物的变化

由于水口库区漂浮植物泛滥成灾, 大量的漂浮植物覆盖库区水体表面阻碍太阳光的入射, 太阳辐射是水生生态系统主要能源, 光能的入射强弱控制水体的生产力和代谢作用, 影响水体中生态系统。水中光能的减少使得浮游植物的光合作用减弱, 藻类初级生产力降低, 引起浮游植物的数量下降, 如图 2 在 2004 年水温最高的 9 月份库区浮游植物的数量仅为 2.60×10^3 个/L。2001-2002 年浮游植物全年优势种以硅藻门种类为主, 冬、春季的优势种为硅藻门的直链藻属和隐藻门的隐藻属, 夏、秋季的优势种为硅藻门的菱形藻属和蓝藻门的鱼腥藻属。与 2001 年同期比较 2004 年 6、9 月浮游植物优势种由规格较大的硅藻门直链藻属和菱形藻属变为体形极小、直径仅为 $1.75-3 \mu\text{m}$ 的蓝藻门最小胶球藻, 浮游植物种类多样性指数明显下降。在漂浮植物大量覆盖库区之后库区浮游植物生物量下降、种类多样性指数降低, 种群结构发生变化, 优势种由硅藻向蓝藻转化、浮游植物优势种类呈现小型化。

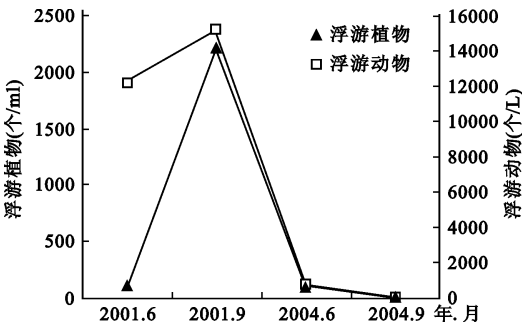


图 2 浮游生物变化

Fig. 2 The change of plankton

由于库区内缺少食草生物消耗增长的漂浮植物, 大量生长的漂浮植物没有及时的打捞出水库, 漂浮植物凋落死亡后留在水库水体中腐烂分解, 这促进了水体中微生物数量的增长, 水体细菌总数升高。正如图 3 所示, 库区水总的细菌总数由 2001 年 6 月的 6.12×10^4 cell/L 增加到 2004 年 9 月的 9.75×10^6 cell/L。

水生生态环境中浮游动物对浮游植物和微生物摄食关系, 浮游植物和微生物的变动直接影响浮游动物数量和种群结构。如图 2 显示, 浮游动物的数量和种群结构追随浮游植物和细菌总数的变化, 当库区浮游植物整体总数量下降、优势种类的小型化导致浮游动物数量下降。调查中发现当水体细菌总数的升高和浮

游植物种群结构发生变化后库区浮游动物的种群结构也发生变化,表2显示2001-2002年与2004年浮游动物的种群结构组成比例发生变化,与2001年比较2004年库区浮游动物中食性以细菌、有机碎屑为主的原生动物(如纤毛虫)比例增加;大型的浮游动物如枝角类和桡足类比例大幅下降,其中枝角类在2004年6、9月均未监测到;轮虫所占的比例变化不大,但轮虫中食性以有机碎屑和细菌为主的裂痕龟纹轮虫、螺形龟甲轮虫成为轮虫的优势种,而原先的以大型藻类为食的臂尾轮虫和以原生动物或其他轮虫为食的晶囊轮虫已经消失。浮游动物总体数量大幅下降,种群结构发生变化,原生动物所占比例增大、大型浮游动物数量比例均明显减少,浮游动物种群结构整体呈现小型化。

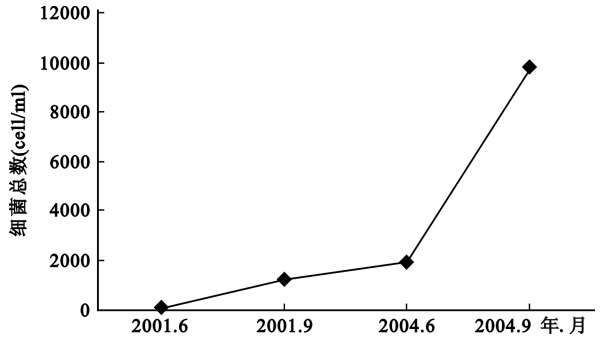


图3 细菌总数变化

Fig. 3 The change of total bacteria

表2 2001年与2004年水口库区浮游动物种群组成比例

Tab. 2 The percentages of some important zooplanktons between 2001 and 2004 in Shuikou Impoundment

种群组成比例	2001年			2004年		
	6月	9月	平均值	6月	9月	平均值
原生动物	18.8%	9.2%	28.9%	49.4%	37.0%	43.2%
轮虫	60.4%	73.8%	47.4%	45.4%	61.7%	53.5%
枝角类	0.8%	0.8%	2.0%	/	/	/
桡足类	20.0%	16.2%	21.6%	5.2%	1.3%	3.3%

3.2 氮、磷的变化

图4显示与2002年同期比较2004年6、9月水口库区总磷(TP)、硝酸氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)、氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)的变化趋势,库区水体中氮磷总体上呈现上升趋势。库区漂浮植物滋增大量吸收表层水体中的氮磷营养物质,通过光合作用产生高等绿色植物(漂浮植物的茎、叶、根)。但是由于生长的漂浮植物未被收获利用,也无法被大型水生食草动物摄食,凋落死亡的漂浮植物沉入水中,水生植物腐烂分解的过程中,只有不到30%的氮磷伴随着生物沉积进入沉积物,参与地球化学循环,70%以上的氮和磷在短期内被释放到水体,重新参与水体的营养再循环,特别是磷的释放尤为迅速^[4](图4显示在漂浮植物泛滥的高峰期2004年9月库区水体中总磷含量是2001年9月的10.2倍),因此大量的有机物通过水中微生物分解利用,降解转化成无机态的氮和磷,重新回到库区水体中,促进了氮磷的积累;库区浮游植物生物量的锐减,使得浮游植物吸收转化水中的氮磷能力下降;同时氮磷营养物的主要来源(库区上游工农业对水体的污染及生活污水的排放)并未减少;导致库区水中氮磷指标逐步升高。

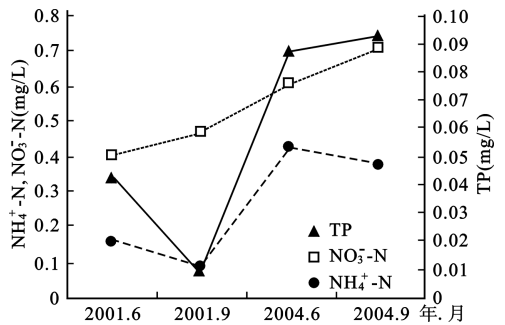


图4 氮、磷变化

Fig. 4 The change of nitrogen and phosphorus

3.3 溶解氧、pH的变化

自然水体中的溶解氧主要来至浮游植物光合作用增氧以及水体表面的大气复氧。漂浮植物的生长阻碍光能的入射,加上水中浮游植物数量降低,水中光合作用减弱,导致浮游植物的增氧降低;漂浮植物在水

体表层密连成片影响库区表层水流和波浪运动,阻碍大气中的氧气溶解进入水体,使得库区水体复氧能力减弱;同时漂浮植物死亡有机体的分解,不断消耗水体中氧气,以上因素导致库区水体中溶解氧含量大幅下降. 2004年9月库区水体呈现缺氧,在库区内的主要养殖区水体缺氧更为严重,2004年9月15-17日库区内的雄江镇大雄湾养殖区、水口镇水潮村养殖区均出现养殖鱼类缺氧死亡现象.

水生植物中碳、氮、磷是构成有机物的重要组成,死亡腐烂的漂浮植物有机物质中碳的氧化降解最终产生二氧化碳,同时水生生物的呼吸作用也产生二氧化碳,由于库区浮游植物的减少,光合作用减弱,产生的二氧化碳无法通过光合作用被吸收转化,致使水中二氧化碳的含量升高. 水中的二氧化碳是控制自然水体pH的最重要的缓冲体系^[5],水中的二氧化碳浓度升高、溶解氧含量减少,引起库区水体pH值降低,库区水体由中性向酸性转化.

3.4 高锰酸盐指数、透明度的变化

高锰酸盐指数是反映水体中有机及无机可氧化物质污染的指标. 库区无机可氧化物质如氨氮的增加,将可能导致高锰酸盐指数升高,但是由于库区水体中浮游植物和浮游动物生物量的减少使得水体中有机物质的含量大幅下降,有机可氧化物质的减少大于无机可氧化物质的增加,导致高锰酸盐指数呈现下降趋势.

浮游生物量的大幅下降使得水体中有机悬浮物量的降低,有机悬浮物量的降低减少了对光的吸收和散射,导致水体透明度的增加;同时由于水体的透明度与叶绿素的含量呈明显的双曲线关系,水中叶绿素的减少透明度随之增加^[5],自然水体中的也叶绿素主要来自水体中的浮游植物的光合作用. 当浮游植物数量降低时,光合作用减弱,水体中叶绿素a减少,因此库区水体的透明度增加.

4 结论

本文通过对未被漂浮植物影响的2001-2002年与漂浮植物泛滥成灾的2004年6、9月水口库区水体环境状况的调查,对比分析得出漂浮植物的生长对水口库区水体环境造成以下的影响.

(1)水口库区漂浮植物的生长导致水中入射光能的减少,水中光合作用减弱,浮游植物和浮游动物的生物量大幅下降,浮游植物种类多样性降低,浮游植物优势种由硅藻向蓝藻转化,浮游动物的种群结构比例发生变化,原生动物所占得比例增大、枝角类和桡足类比例大幅下降,浮游生物呈现小型化. 水体微生物数量增加、水中细菌总数指标升高.

(2)水口库区漂浮植物的生长使得浮游植物的生物量下降,一方面导致库区水体的透明度增加、水中高锰酸盐指数下降、水体表面的氮磷营养物质短期内被漂浮植物大量的吸收,水体富营养化水平降低;但是由于库区表面漂浮植物的生长未受到控制,大量的漂浮植物覆盖水体表面,死亡的有机物沉入水体未被打捞收获,使得氮磷营养物无法输出,最终导致库区水体中硝酸氮、氨氮、总氮、总磷含量升高,库区水体pH和溶解氧降低,水体富营养化程度逐渐增加.

(3)因此及时打捞库区漂浮植物,将漂浮植物控制在适当的量对改善库区水体环境有益;但如果漂浮植物不受控制的生长,覆盖整个库区水体表面将导致库区水体环境的恶化,使得水生生态系统受到破坏.

5 参考文献

- [1] 水质分析方法国家标准汇编. 北京:中国标准出版社. 1996.
- [2] GB/T 5750—1985 生活应用水标准检测法.
- [3] GB 17378.7—1998 海洋监测规范:近海污染生态调查和生物监测.
- [4] 李文朝,陈开宁,吴庆龙等 东太湖水生植物生物物质腐烂分解实验. 湖泊科学, 2001, 13(4): 331-336.
- [5] 刘建康. 高级水生生物学. 北京:科学出版社,1999,9-25.