

重要水源地东圳水库水质变化及其影响因素研究

范章怀^{1,2}, 查轩^{1,2}

(1. 福建省亚热带资源与环境重点实验室, 福建 福州 350007; 2. 福建师范大学 地理研究所, 福建 福州 350007)

摘要: 东圳水库是莆田市的重要水源, 其水质好坏对莆田市经济社会发展具有至关重要的意义。近年来库区人为活动剧烈, 库区生态系统呈退化趋势。通过野外调查和对东圳水库水质监测分析, 结果表明, 东圳水库水质监测主要指标均呈逐年上升的总趋势, 水库水质逐渐恶化, 呈“水质型缺水”现象; 库区水源地大规模山地开发造成水土流失及农业非点源污染严重。人为活动剧烈及库区底泥等是影响水库水质的主要因素。提出了加大宣传力度, 发展生态果园, 改善生态环境, 实施生态补偿机制, 完善监测体系建设, 加强非点源污染管理及控制的研究等综合整治措施。

关键词: 东圳水库; 水质变化; 影响因素

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)01-0025-05

中图分类号: X171.4, X824

State of Water Quality and Its Influencing Factors in Dongzhen Reservoir

FAN Zhang-huai^{1,2}, ZHA Xuan^{1,2}

(1. Fujian Key Laboratory of Subtropical Resources and Environment, Fuzhou, Fujian 350007, China;

2. Institute of Geography, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007, China)

Abstract: Dongzhen Reservoir is the important water source for Putian City and its water quality affects the development of economy and the society of the city. In recent years, the ecosystem of the reservoir has been aggravated due to the strengthened human activities. According to the field investigation and the analysis of the monitoring data of water quality, it is easy to find out that the major indexes of water quality increase year by year and water quality gradually declines, which brings on the shortage of pollution-induced water. The deteriorated water quality is mainly due to the massive forest exploitation by human being, which leads to severe soil erosion, increased agricultural non-point source pollution, strengthened human activities, tremendous reservoir sediment, and so on. Then the authors suggest some comprehensive countermeasures, including strengthen of dissemination and education, development of eco-orchard, improvement of ecological environment, establishment of eco-compensation mechanism, improvement of monitoring system, enhancement of management, and control of agricultural non-point source pollution.

Keywords: Dongzhen Reservoir; water quality change; influencing factors

随着经济的发展, 水污染问题日趋严重, 城市用水安全受到极大威胁^[1]。东圳水库地处福建省东南部的莆田市, 是集灌溉、防洪、生活用水、工业用水、发电、航运、渔业于一体的综合性多功能、多年调节的大型水库, 为莆田市的工农业生产、经济可持续发展和居民生活用水提供了可靠保证, 是莆田市区及国家级旅游度假区——湄洲岛的惟一水源, 其水质好坏直接影响莆田市经济发展、社会稳定和人民健康, 影响海

峡西岸经济区建设的顺利推进。因此对东圳水库水源地水质变化及其影响因素进行分析具有极其重要的现实意义。

1 东圳水库水源地概况

1.1 自然地理概况

东圳水库建于 1960 年 4 月, 水源地跨越莆田县城厢、仙游两县区; 主要有一级支流延寿溪, 二级支流

收稿日期: 2007-04-25 修回日期: 2007-09-16

资助项目: 国家重点基础研究发展计划 973 项目(2007CB407207); 国家自然科学基金资助项目(40571095); 福建省自然科学基金资助项目(D0410016; D0410018)

作者简介: 范章怀(1980—), 男(汉族), 山东省聊城市人, 硕士研究生, 研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail: fanzhanghuai@163.com。
通讯作者: 查轩(1961—), 男(汉族), 陕西省咸阳市人, 研究员, 主要从事土壤侵蚀与水土保持生态方面的研究。E-mail: xzha@fjnu.edu.cn。

莒溪、过溪、八赖溪等,流域总面积 321.23 km²,正常蓄水位 80.5 m,总库容 4.35 × 10⁸ m³,多年平均径流量 3.10 × 10¹¹ m³。库区地貌以低山和丘陵为主,分别占 43% 和 17.5%;地形特点为马蹄形盆谷,易形成局地性暴雨中心;土壤类型为红壤或赤红壤,土层较薄,结构疏松,植被一旦被破坏,极易引起水土流失;土壤质地为黏壤,黏性大,颗粒细小、淋溶性强,进入水体呈胶体状,不易沉淀、扩散。

库区属中、南亚热带海洋性季风气候,多年平均气温 17℃~20℃,多年平均降雨量 1710~1970 mm,降雨量年际、月际变化较大,且多集中在 7—9 月台风雷阵雨季节,易形成特强降雨带,造成严重的土壤侵蚀。库区森林覆盖率 85.6%,以人工次生林为主,郁闭度仅 0.3,林分结构差,涵养水源能力弱;地表植被单一、植被破坏;土壤裸露疏松,保土能力差,受雨水直接冲刷,易造成大面积水土流失,严重影响水库水质。

1.2 社会经济状况

库区人口 2005 年底约 6.26 × 10⁴ 人,其中农业人口 6.05 × 10⁴ 人,人口密度 195 人/km²;经济以农业为主;库区土地总面积 32123 hm²,耕地面积 2256 hm²,人均耕地 0.04 hm²/人,其中环库区周边一重山的常太镇人口 2005 年底约 3.9 × 10⁴,人均耕地面积仅 0.017 hm²,不到福建省人均耕地面积 0.046 4 hm² 的 1/2,农村土地资源较为缺乏。人口基数较

大,人地矛盾突出,人为活动剧烈,对库区环境造成很大压力。

2 东圳水库水质变化

2.1 东圳水库水质概况

从 1984 年起,莆田市环境监测站就对东圳水库水质进行常规监测,每年监测 12 次,监测结果表明,根据 GHZB1-1999《地表水环境质量标准》,1998 年以前,东圳水库水质属 Ⅲ 类水,符合饮用水源地水质要求。1998 年开始,水质有明显的变化,水质各项指标均有不同程度的增高,如 1998 年 6 月,库区暴雨不断,水质出现异常波动,水面外观大面积呈淡砖红色,水体浑浊,各项监测结果严重超标(表 1),异常情况持续了 3 个月,9 月后水质逐渐恢复正常。

9914 号台风后,受其影响,库区普降特大暴雨,24 h 暴雨量超过 500 mm,相当于 200 a 一遇,水位猛涨,出现特大洪水,入库洪峰流量达 5320 m³/s,最高库水位达 82.129 m,洪水总量 1.12 × 10¹⁰ m³。暴雨引发山洪和山体滑坡等水土流失灾害,造成水库水质异常,水库一夜之间变成了“黄河水”,一直持续到 2000 年 11 月才逐渐恢复正常(表 2)。东圳水库出口的监测数据也表明,1999 年和 2000 年饮用水中 COD_{Mn}, BOD₅, 总氮等指标也比往年较高(表 3),水体已受到严重污染,水质恶化,不能满足饮用水的质量要求。

表 1 1998 年东圳水库水质异常指标监测结果

监测日期	悬浮物/ (mg·L ⁻¹)	浊度	pH 值	高锰酸盐指数	总磷/ (mg·L ⁻¹)	非离子氨/ (mg·L ⁻¹)
19980306(雨前)	15.00	3.00	7.06	1.52	2.3	4
19980702(雨后)	112.00	65.00	8.73	9.04	7.8	860

表 2 东圳水库暴雨前后水质监测结果

监测日期	悬浮物/ (mg·L ⁻¹)	浊度	pH 值	高锰酸 盐指数	溶解氧/ (mg·L ⁻¹)	硝酸盐氮/ (mg·L ⁻¹)	总磷/ (mg·L ⁻¹)
19990929(雨前)	6	1.4	7.02	2.40	6.34	0.18	1.9
19991011(雨后)	252	> 500	5.77	5.06	2.40	0.86	36.0
参照标准	—	3.0	6.50~6.80	4.00	> 6.00	10.00	1.0

2.2 东圳水库水质变化趋势

近年来库区大规模山地开发,破坏了生态环境,对水库水质造成严重影响。2001—2005 年水库各项常规定位监测数据也表明水库水质呈恶化趋势(图 1—3)。图 1 中各项监测指标呈逐年上升的总趋势,其中高锰酸盐指数由 1.59 上升至 4.21,5 d 生化需

氧量由 1.10 上升至 2.03,总磷由 0.014 mg/L 上升至 0.021 mg/L,总氮由 0.16 mg/L 上升至 0.47 mg/L,粪大肠菌群由 191 个/L 上升至 1105 个/L。综合各项指标分析,水库水质已由 2001—2003 年间的 Ⅲ 类,转变为 2004,2005 年的 Ⅳ 类,呈恶化趋势,并呈现“水质型缺水”现象。

表 3 东圳水库出水口水质监测结果

年度	项目	浊度	pH	总硬度	DO/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	COD _{Mn} / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD ₅ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	NO ₂ -N/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	NO ₃ -N/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	离子氨/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	挥发酚/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
1999	平均值	45	6.65	10.40	6.50	2.82	1.18	0.05	0.33	0.07	0.01
	超标率/%	100	33.30	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	平均值	12	7.24	8	6.23	1.77	0.088	0.88	0.63	0.30	0.01
	超标率/%	66.70	0	0	0	0	0	0	0	0	0

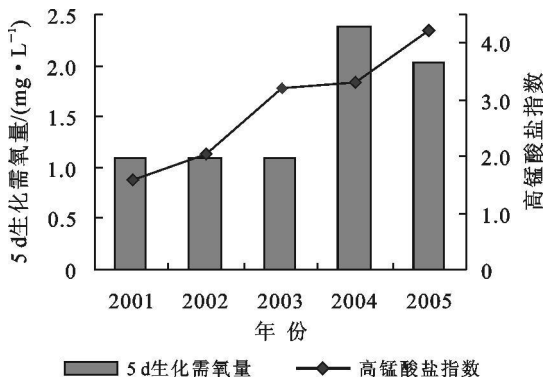


图 1 东圳水库 5 d 生化需氧量及高锰酸盐指数多年变化量

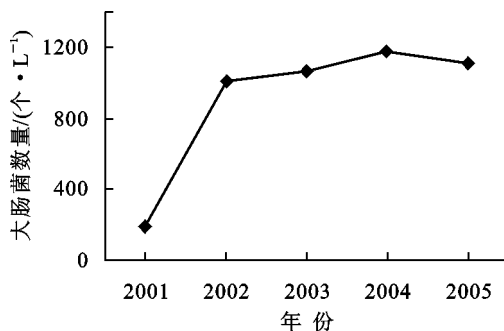


图 2 东圳水库粪大肠菌群多年变化量

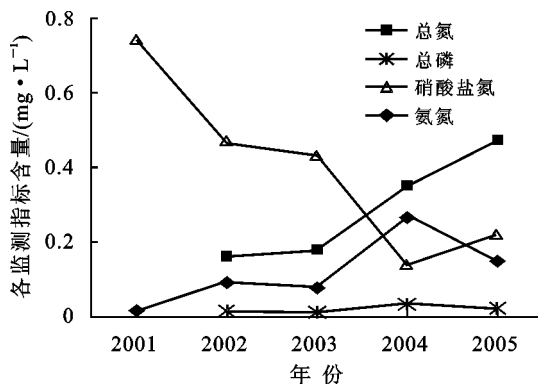


图 3 东圳水库总磷、总氮、硝酸盐氮、氨氮多年变化量

3 东圳水库水质变化影响因素分析

3.1 库区大规模山地开发,造成大面积水土流失

受经济利益驱动,近年来库区周围大面积开山种果,尤其是“一重山”内平台造果,有些离水面距离甚

至仅 1 m 左右。如库区所在的常太镇,1985 年果园面积仅 400 hm^2 ,2003 年达 5 533.33 hm^2 ,是 1985 年的近 14 倍,其中仅环库公路“一重山”内果园面积就达 2 800 hm^2 。目前常太镇约 50% 的面积已开发成枇杷园;过度、无序开发对库区周围的原有天然植被造成严重破坏,使得山地土质疏松,表土裸露,遇暴雨极易造成大面积的水土流失。据调查,目前库区水土流失总面积 5 449.05 hm^2 ,约占土地总面积的 16.96%,其中果园水土流失面积 2 893 hm^2 ,占库区水土流失总面积的 53.09%。

库区周围尤其是环库“一重山”大面积、无序地开山造果是引起水土流失的主要原因之一;水土流失造成大量泥沙入库,使水中悬浮物浓度、浊度增高,水库严重浑浊^[2],入库河流悬移质含沙量平均每年达 0.173 kg/m^3 ,水库泥沙淤积量每年达 52 200 t。

3.2 农药化肥施用量增加,农业非点源污染压力大

山地开发规模的扩大尤其是果园面积的增加,导致农药化肥施用量猛增,农药化肥边际效应不断下降,造成资源浪费,对库区环境尤其是水质构成严重威胁。据统计,仅 2001 年库区化肥施用量就达 72 477 t,农药施用量达 253.3 t,其中甚至包括国家明令禁止的农药六六六及在果树蔬菜上禁止或限制施用的农药甲胺磷等毒性大,高残留农药的施用,加速了水库水质的恶化^[3]。据调查,库区果园每年每 1 hm^2 施用农家肥(以猪粪为主)9 t,化肥 1.125 t,据此推算,库区果园每年施用农家肥达 50 000 t,化肥 6 000 t,其中仅环库区 4 271 hm^2 果园施用的农家肥即达 38 000 t,化肥 4 700 t,果树施肥一般采用挖坑浅埋的传统方式,使得果树周围土质松散,易造成水土流失并导致壤中流和地下水污染。同时农业生产过程中农药化肥损失率很高^[4]。据调查,库区果树施肥的有效利用率仅 30% 左右;喷洒的农药仅有 20% ~ 30% 附在目标作物上,30% ~ 50% 落到地面,其余进入大气中;大量的农药化肥通过雨水冲淋、农田灌溉、土壤渗透等途径进入水库^[5],导致水库 N、P 含量过高,出现富营养化现象。

3.3 库区人口密度大,人为活动剧烈

库区居民以集居或散居的方式分布在库区内,环库公路建成后,其周围成为居民建房的首选地带,且农村建房缺乏规划,随意性大,对环境造成很大破坏。交通的便利使库边人群居住分布有逐渐增多的趋势,特别是常太镇中心的发展壮大给库区水质造成严重影响,库区居民生活每天可产生生活污水 4 800 t,垃圾 43.8 t。含磷洗涤剂的大量使用,也给水库水环境带来很大压力。有研究表明,洗涤剂进入水环境可使化学物质的毒性变为原来的 2~7 倍^[6]。

库区养殖业发达,大量废污水未得到及时有效治理,直接排放,对水质造成极大影响。国外有研究表明,总氮、氨氮、溶解态磷和总磷的浓度随禽粪和猪粪用量的增加而呈线性递增^[7]。据调查,目前仅环库公路以下就分布有 28 家小规模养猪场,存栏 2 000 多头,日产生污水约 40 t,粪便约 5 t,其中大部流失或直接排入水库;据统计,猪粪尿混合排出物的 COD 值高达 11 000~13 000 mg/L,氨氮浓度为 127~1 780 mg/L,养猪在畜禽业对水质的污染中居首位,从而造成氮磷钾等养分流失,降低周边土地生产力,也导致水库 N、P 含量激增,pH 值下降,影响水体质量和生态功能,造成水体富营养化;畜禽粪便中含有的激素、重金属等有害物质和大量源自动物肠道的微生物和致病菌,也会污染水体,进而威胁人类健康^[8]。

3.4 库区底泥易造成内源污染

库区为封闭型水域,水体流动缓慢,污染物扩散慢,自净能力差,易发生富营养化;建库以来东圳水库从未对底泥进行清理,底泥丰富,作为库区生态环境重要组成部分的底泥在库区水环境中具有特殊的重要性:一方面可吸附水体污染物,净化水质,在条件发生变化时污染物又会重新释放,造成内源污染,影响水质。据有关资料分析,内源污染总氮含量可占总量的 34.7%,总磷含量占总量的 23.7%;另一方面底泥是底栖生物的主要生活场所和食物来源,其中的污染物尤其是重金属、氮磷为主的营养物质和难以降解的有机物在适宜条件下会和新的生物发生一系列物理化学反应,对水体产生污染,对水生生物产生致毒致害作用,并通过生物富集等过程进一步影响人类的健康^[9]。

4 治理措施探讨

4.1 加大宣传、执法力度,健全、完善监督体系

水源地环境保护需要全社会的大力支持和积极参与。充分利用各种舆论工具,宣传普及水环境保护相关法律法规,增强人们的法制观念和环保意识,使

库区每一位公民都清醒认识到自己既是污染的贡献者,又是污染的受害者,治理的责任人决策的监督人,更是治理纳税的付费人;以预防监督为前提,以执法为基础,将水源地水环境保护纳入法制化轨道,加强多部门协作和执法队伍的建设,提高执法水平和执法效率。

4.2 加强山地果园水土流失防治,建设生态果园

近年来库区周围尤其是环库“一重山”大面积、无序地开山造果是引起水土流失的主要原因。应采取多种措施,加强山地果园水土流失防治,积极发展生态果园。

(1) 库区坡度大于 25° 的耕地逐步还林还草,水库水面线以上,环库公路以下耕地应全面退耕还林还草。(2) 营造水源涵养林和针阔混交林,增加防护林比重,加强库区生态缓冲带建设,增强防护功能,减少水土流失。(3) 果园应建成水平梯田,套种绿肥,注意梯壁覆盖,改善生产条件,严禁顺坡耕种。据观测,在 25° 的坡面上,顺坡种植比等高种植土壤流失增加 80%,减产 25%^[10]。(4) 采用“最佳管理措施”(BMPs),发展生态农业,改进施肥技术,实施精准施肥、测土施肥、平衡施肥,增施有机肥^[11],提倡使用生物菌肥,推广秸秆和绿肥还田^[12],减少现有农家肥尤其是猪粪使用量。据推算,要保证每个季节水库水质保持 Ⅲ类水平,环库区“一重山”坡地果园要减少农家肥 12 600 t,保持 Ⅳ类水平,要减少农家肥 27 000 t,分别比现有水平减少 33% 和 71%。(5) 推广广谱、高效、低毒、低残留农药和生物防治病虫害技术,严禁使用毒性大、高残留的农药^[13]。

4.3 改善生态环境,对生活污水和垃圾进行无害化处理

以社会主义新农村建设为契机,改善农村生产生活条件。生活垃圾集中堆放并全部外运填埋,建设污水集中处理设施。库区全面实施禁限磷措施,推广无磷洗涤剂,建立村规民约,充分发挥行政管理措施、教育培训措施和经济杠杆措施的作用,有效控制农村污染源。合理布局,积极推广“牧—沼—果”等立体养殖业,实现畜禽粪便资源化、减量化、无害化和生态化^[14]。合理配置水库鱼虾种类和数量,种植莲藕、芦苇等水生植物,优化水生生态系统,维持生态平衡。水生植物吸收利用氮、磷元素进行代谢活动,使总磷、总氮含量迅速减少,同时水生植物进行光合作用释放氧气,增加水中溶解氧含量,增强微生物净化水中有机质的速度,可增强水体自净能力^[15]。定期疏浚库区底泥,引入繁殖力强,生长快的底栖动物,消除底泥中有机物质,减少底泥污染物释放,清除水体内源污染^[16]。

4.4 实施生态补偿机制,调动各方积极性

保护水环境是一项投资大,效益长远的公益性事业,应拓宽投资渠道,吸收社会资金参与,扩大对外引资,为保护库区水环境提供稳定的资金支持。根据“保护者受益”,“损害者补偿”,“受益者付费”的原则,建立生态补偿政策与机制^[17],理顺上下游关系,由水源地下游水土保持受益区的政府和居民对上游地区进行一定的经济补偿,确定政府和受益者的负担比。应将水源区生态环境建设与保护费用列入自来水成本,适当提高自来水水价,以调动库区人民保护水环境的积极性。通过经济手段强化人们保护环境的责任感,调节人们的社会经济行为,更有效地保护库区生态环境,这是实现东圳水库可持续发展的重要保障^[18]。

4.5 完善监测体系建设,加强水库非点源污染的管理及控制措施研究

利用 3S 技术,完善水库水文监测点位、监测频次及监测项目,健全水质监测站网,及时掌握水质变化动态,提高水质监测系统快速反应和测报能力,提高监测和数据处理的速度及精度^[19-20],增强对水库水质分析预测及正确决策的能力,为管理和决策提供及时、科学的依据。结合东圳水库的实际,进一步研究水库水土流失、非点源污染的特点及规律,研究水库非点源污染的治理技术及其经济、环境效益,探索农业最佳管理措施及库区设置生态缓冲带等具体措施可行性,可为库区广泛开展非点源污染治理提供依据。

[参 考 文 献]

- [1] Zhou Nianqing, Zhu Xueyu, Qian Jiazhong. The status of water resource exploitation and utilization and the environmental problems in China[M] // Wang Yanxin, Liang Xin. Proceedings of the International Symposium on Hydrogeology and the Environment. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 2000: 488—493.
- [2] 丁光敏,周丽芳,陈明华,等.重要水源地莆田市东圳库区水土流失问题及防治对策[J].福建水土保持,2003,15(4):13—16.
- [3] Sharpley A N, Gburek W J, Folmar G, et al. Sources of phosphorus exported from an agricultural watershed in Pennsylvania[J]. Agri. Water Manage, 1999, 41: 77—89.
- [4] 宋蕾,王永胜,张鸿涛.关中抽渭灌区农田面源污染对渭河水体的影响[J].环境保护,2001(8):24—28.
- [5] 徐谦.我国化肥和农药的非点源污染状况综述[J].农村生态环境,1996,12(2):39—43.
- [6] 汪达汉.美国非点源水污染问题及其对策综述[J].世界环境,1993(4):14—19.
- [7] Edwards D R, Daniel T C. Quality of runoff from fescue-grass plots treated with poultry litter and inorganic fertilizer[J]. Environ Qual, 1994, 23(3):579—584.
- [8] 朱立安,王继增,胡耀国,等.畜禽养殖非点源污染及其生态控制[J].水土保持通报,2005,25(2):40—43.
- [9] 滑丽萍,华珞,高娟,等.中国湖泊底泥的重金属污染评价研究[J].土壤,2006,38(4):366—373.
- [10] 胡敬辉.闽清县茶园的水土流失现状及防治对策[J].福建水土保持,1992(1):16—17.
- [11] 中国科学院地学部.东南沿海经济快速发展地区环境污染及其治理对策[J].地球科学进展,2003,18(4):493—496.
- [12] 黄炎和,卢程隆,杨学震,等.侵蚀劣地果园套种绿肥对土壤肥力的影响[J].福建农业大学学报,1996,25(2):204—207.
- [13] 文军,骆东奇,罗献宝,等.千岛湖区域面源污染及其控制对策[J].水土保持学报,2004,18(3):126—129.
- [14] 汪清平,王晓燕.畜禽养殖污染及其控制[J].首都师范大学学报(自然科学版),2003,24(2):96—101.
- [15] 童昌华,杨肖娥,濮培民.富营养化水体的水生植物净化试验研究[J].应用生态学报,2004,15(8):1447—1450.
- [16] 李文朝.太湖湖体综合治理对策的探讨[J].湖泊科学,1996,8(4):289—296.
- [17] 姜德文,郭孟峡,毕华兴,等.水土保持生态补偿理论与机制[J].中国水土保持科学,2006,4(6):93—98.
- [18] 徐琳瑜,杨志峰,聃磊,等.基于生态服务功能价值的水库工程生态补偿研究[J].中国人口·资源与环境,2006,16(4):125—128.
- [19] Gilliland M W. A geographical information system to predict non-point sources pollution potential[J]. Water Resources Bulletin, 1987, 23(2): 281—291.
- [20] 陈为锋,史衍玺.“3S”技术在农业非点源污染研究中的应用[J].水土保持学报,2002,16(2):122—125.