

舟山市多种类型水源水及生活饮用水水质的监测分析

张永利, 王虹玲, 余新威, 全振东

摘要: [目的] 了解舟山群岛多种类型水源水及生活饮用水水质状况, 分析海水淡化饮用水与其他水源混合应用的价值, 为确保饮用水安全提供依据。[方法] 抽取舟山市疾病预防控制中心实验室 2009—2011 年受检的水库水 270 份、河水 222 份、市政生活饮用水 192 份; 舟山市自来水公司实验室 2009—2011 年受检的大陆引水 36 份; 嵊泗县疾病预防控制中心实验室 2009—2011 年受检的海水淡化水 128 份、2004—2006 年受检的海水淡化水与地表水混合水样品 299 份; 对生活饮用水、海水淡化水、海水淡化水与地表水混合水样品的菌落总数、总大肠菌群、耐热大肠菌群、硼、总硬度、氯化物等指标及水库水、河水、大陆引水样品的氨氮、化学需氧量、五日生化需氧量、溶解氧、总氮、总磷、高锰酸盐指数、粪大肠菌群等指标检测结果进行分析判定。[结果] 水源水中, 水库水总氮合格率为 46.7%, 其他检测指标合格率均较高; 河水主要污染性指标检测结果合格率均较低, 总氮、总磷、高锰酸盐指数均超过国家地表水环境功能分类Ⅲ类水源的限值, 氨氮、总氮等个别指标超过Ⅴ类水源的限值标准; 大陆引水一期工程水样本氨氮、总氮检测的合格率仅分别为 41.7% 和 8.3%, 氨氮、总氮等个别指标超过Ⅴ类水源的限值标准。生活饮用水中, 海水淡化水硼合格率仅为 21.6%, 其他检测指标合格率均较高; 市政生活饮用水、海水淡化水与地表水混合水样品检测指标合格率均较高。[结论] 舟山群岛饮用水水源水主要污染性指标检测结果合格率均较低, 多项指标已超过国家地表水环境功能分类Ⅲ类水源的限值, 个别指标超过Ⅴ类水源的限值标准。海水淡化水与大陆引水可混合应用, 但其存在一定的潜在风险。

关键词: 海水淡化; 多水源; 风险

Surveillance Data Analysis of Multi-Sources of Water and Drinking Water ZHANG Yong-li, WANG Hong-ling, YU Xin-wei, TONG Zhen-dong (Zhoushan Municipal Center for Disease Control and Prevention, Zhoushan, Zhejiang 316021, China) • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To test the quality of drinking water from multiple sources in Zhoushan archipelago, to evaluate the value of hybrid application of desalinated seawater and water of other sources, and to provide reference for drinking water safety. [Methods] Various water samples were collected, including 270 samples of reservoir water, 222 samples of river water, and 192 samples of municipal supply water tested by Zhoushan Municipal Center for Disease Control and Prevention (2009-2011); 36 samples of water diverted from Ningbo city by Zhoushan Water Supply Company (2009-2011); and 128 samples of desalinated seawater (2009-2011) as well as 299 hybrid samples of desalinated seawater and surface water (2004-2006) by Shengsi County Center for Disease Control and Prevention. Analyses included aerobic plate count, thermotolerant coliform, boron, total hardness, and chloride in the samples of municipal supply water, desalinized seawater, and hybrid of desalinized seawater and surface water, as well as ammonia nitrogen, chemical oxygen demand (COD), five-day biochemical oxygen demand (BOD₅), dissolved oxygen (DO), total nitrogen, total phosphorus, permanganate index, and faecal coliform counts in water samples from reservoirs, rivers, and diverted water. [Results] The reservoir water samples showed relatively high qualification rates in all indicators except total nitrogen (46.7%). The qualification rates of all indicators were relatively low in the river water samples, the levels of total nitrogen, total phosphorus and permanganate exceeded the limit of Category III water source according to the national classification of surface water environmental functions, and the levels of some other indicators including ammonia and total nitrogen were beyond the limit of Category V. Only 41.7% and 8.3% of diversion water samples were within the limits of ammonia nitrogen and total nitrogen respectively, and some other indicators including ammonia and total nitrogen went beyond the limit of Category V water source. In the desalinated seawater samples, barely 21.6% were qualified in the boron indicator, but the rates were high in the rest indicators. As to the samples from municipal supply water and the hybrid of desalinated water and surface water, the qualification rates of all indicators were relatively high. [Conclusion] The qualification rates of 8

[基金项目] 浙江省科技计划项目(编号: 2012C33071); 舟山市科技计划项目(编号: 2011C32003)

[作者简介] 张永利(1963—)男, 学士, 主任药师; 研究方向: 公共卫生和药学; E-mail: zhangcdc@139.com

[作者单位] 舟山市疾病预防控制中心, 浙江 舟山 316021

pollution indicators detected are relatively low and many exceed the limit of national Category III water source, some of them go beyond the limit of Category V, in the source water of Zhoushan archipelago. There are potential risks in the hybrid application of desalinated seawater and mainland diversion water.

Key Words: seawater desalinization; multi-sources of water; risk

淡水资源紧缺是一个世界性的难题。随着浙江省舟山群岛新区建设速度的加快,淡水的供需矛盾日益突出。舟山市人均淡水资源拥有量为 691 m^3 , 仅为浙江省人均水资源拥有量 (1950.6 m^3) 的 $1/3$, 淡水资源紧缺已成为制约舟山市经济社会发展的瓶颈, 开发利用海水淡化和大陆引水工程等建立多水源供水系统已是这座海岛城市的战略选择^[1]。截至 2011 年底, 舟山市已有海水淡化工程项目 12 个, 生产能力超过 $50000 \text{ m}^3/\text{d}$, 大陆引水工程一期生产能力超过 $60000 \text{ m}^3/\text{d}$, 占生活饮用水总量的 30%。据相关规划, 舟山市将大力发展海水淡化和大陆引水工程建设来解决水资源严重不足的问题, 至 2020 年, 海水淡化工程将新增淡水资源 $6570 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{年}$, 大陆引水二期工程将新增淡水资源 $7301 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{年}$ ^[1], 届时将能够基本满足舟山市居民生活和生产用水需求。但海水淡化水存在硼超标和硬度过小问题, 作为生活饮用水应用与人群健康有一定的相关性^[2-3], 目前采用大量 (超过 50%) 地表水与海水淡化水混合应用是解决硼超标和硬度过小问题的最佳方法。本研究拟通过对近年来舟山市水库水、河水、大陆引水、海水淡化水、生活饮用水的检测, 分析海水淡化饮用水与多水源混合应用的潜在风险。

1 材料与方法

1.1 样品来源

研究的样品来源为舟山市疾病预防控制中心实验室 2009—2011 年受检的 270 份水库水、222 份河水、192 份市政生活饮用水, 舟山市自来水公司实验室 2009—2011 年受检的 36 份

大陆引水, 嵊泗县疾病预防控制中心实验室 2009—2011 年受检的 128 份海水淡化水、2004—2006 年受检的 299 份海水淡化水与地表水混合水样品。

1.2 检验方法

对生活饮用水、海水淡化水、海水淡化水与地表水混合水, 按照 GB/T 5750—2006《生活饮用水标准检验方法》^[4]对样品进行菌落总数、总大肠菌群、耐热大肠菌群、硼、总硬度、氯化物等指标的检测; 对水库水、河水、大陆引水, 按照 GB 3838—2002《地面水环境质量标准》对样品进行氨氮、化学需氧量、五日生化需氧量、溶解氧、总氮、总磷、高锰酸盐指数、粪大肠菌群等指标的检测。

1.3 判定标准

对生活饮用水、海水淡化水、海水淡化水与地表水混合水, 按 GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》限值进行判定, 计算合格率; 对水库水、河水、大陆引水, 按照 GB 3838—2002《地面水环境质量标准》限值 (Ⅲ类水标准) 进行判定, 计算合格率。

1.4 统计分析

采用 SPSS 11.5 对样品检测数据采用 $\bar{x} \pm s$ 、合格率进行描述。

2 结果

2.1 水源水检测结果

2.1.1 水库水 共检测水库水样本 270 份, 主要污染性指标检测结果见表 1。除总氮合格率低于 50.0% 外, 其他指标合格率均较高。水库水是目前该市生活饮用水的主要水源之一。

表 1 舟山市水源水检测结果分析

Table 1 Test results of source water

指标 Item	Ⅲ类水源限值 Limit of Category Ⅲ water	水库水 Reservoir water			河水 River water			大陆引水 Mainland diversion water		
		样本数 <i>n</i>	$\bar{x} \pm s$	合格率 (%) Qualification rate	样本数 <i>n</i>	$\bar{x} \pm s$	合格率 (%) Qualification rate	样本数 <i>n</i>	$\bar{x} \pm s$	合格率 (%) Qualification rate
氨氮 (mg/L) Ammonia nitrogen	≤ 1.0	270	0.07 ± 0.08	100.0	222	1.81 ± 5.51	66.7	36	1.62 ± 1.36	41.7
溶解氧 (mg/L) Dissolved oxygen	≥ 5	270	9.38 ± 1.26	100.0	222	6.80 ± 2.49	74.3	—	—	—
总氮 Total nitrogen	≤ 1.0	270	1.38 ± 1.55	46.7	—	—	—	36	3.04 ± 2.02	8.3
总磷 (mg/L) Total phosphorus	≤ 0.2	270	0.07 ± 0.30	94.8	222	0.35 ± 1.55	72.5	36	0.13 ± 0.12	83.3
高锰酸盐指数 (mg/L) Permanganate index	≤ 6	270	3.16 ± 1.37	97.0	222	5.55 ± 6.75	74.3	36	5.85 ± 6.39	91.7
化学需氧量 (mg/L) Chemical oxygen demand	≤ 20	270	14.91 ± 4.59	88.9	222	23.1 ± 21.6	50.5	36	15.14 ± 5.13	83.3
五日生化需氧量 (mg/L) Five-day biochemical oxygen demand	≤ 4	270	1.78 ± 0.72	98.9	222	2.76 ± 2.04	82.9	—	—	—
粪大肠菌群 (个/L) Faecal coliform bacteria	≤ 10000	270	975 ± 3275	98.1	222	10300 ± 9920	58.1	36	291 ± 575	100.0

[注] —: 未检测 (Not detected)。

2.1.2 河水 共检测河水样本 222 份,主要污染性指标检测结果见表 1。检测指标的合格率均较低,氨氮、化学需氧量、溶解氧、总氮、总磷、高锰酸盐指数、粪大肠菌群等指标均超过国家地表水环境功能分类Ⅲ类水源的限值,氨氮、总氮等个别指标超过Ⅴ类水源的限值标准。河水不宜作为该市集中式生活饮用水地表水源地,目前该市选择性选取部分污染较轻的河水作为生活饮用水的水源水。

2.1.3 大陆引水 共检测大陆引水一期工程水样本 36 份,主要污染性指标检测结果见表 1。氨氮、总氮的合格率较低,氨氮、总氮等个别指标超过Ⅴ类水源的限值标准。大陆引水水源的污染严重,由于大陆引水的水源地姚江污染比较严重,到达舟山岛专用水库后储存时间不长,总体流动性比水库、湖泊大,水中总氮评价结果仅供参考,但因该市淡水资源紧缺,大陆引水

是该市生活饮用水主要水源之一。

2.2 生活饮用水检测结果

2.2.1 海水淡化水 共检测海水淡化水样本 128 份,细菌学指标及部分理化检测结果见表 2。除硼的合格率较低外,其他检测指标合格率均较高。海水淡化水是目前该市生活饮用水的主要来源之一。

2.2.2 市政生活饮用水 共检测市政生活饮用水样本 192 份,细菌学指标及部分理化检测结果见表 2。指标的合格率均较高,说明集中式供水企业对中轻度水源水污染状况有较强的水处理能力。

2.2.3 海水淡化水与地表水混合水 共检测海水淡化水与地表水混合水 299 份,细菌学指标及部分理化检测结果见表 2。指标的合格率均较高。

表 2 舟山市饮用水检测结果分析										
Table 2 Test results of drinking water										
指标 Item	标准限值 Standard limit	海水淡化水 Desalinated water			市政生活饮用水 Municipal water supply			海水淡化水与地表水混合水 Hybrid of desalinated seawater and surface water		
		样本数 <i>n</i>	$\bar{x} \pm s$	合格率(%) Qualification rate	样本数 <i>n</i>	$\bar{x} \pm s$	合格率(%) Qualification rate	样本数 <i>n</i>	$\bar{x} \pm s$	合格率(%) Qualification rate
硼(mg/L) Boron	0.5	128	0.57 ± 0.52	21.6	—	—	—	44	0.34 ± 0.14	92.8
氯化物(mg/L) Chloride	250	128	141.15 ± 30.78	100.0	120	37.11 ± 20.62	100.0	108	118.3 ± 20.22	100.0
总硬度(mg/L) Total hardness	450	128	26.86 ± 12.27	100.0	149	76.54 ± 32.96	100.0	44	132.51 ± 40.43	100.0
菌落总数(cfu/mL) Colony total	≤ 100	128	47.52 ± 70.40	90.6	192	21.57 ± 189.38	98.4	299	12.91 ± 52.61	93.3
总大肠菌群(MPN/100mL) Total coliform bacteria	不得检出 Not allowed to be detected	128	0	100.0	192	1.45 ± 4.60	85.7	299	0.68 ± 6.68	96.7
耐热大肠菌群(MPN/100mL) Thermotolerant coliform bacteria	不得检出 Not allowed to be detected	128	0	100.0	192	0.57 ± 3.05	88.6	—	—	—

[注]—: 未检测(Not detected)。

3 讨论

舟山市的人均水资源拥有量少,目前生活饮用水的水源水体质量部分指标达不到国家Ⅲ类水源的限值,海水淡化水作为生活饮用水又存在硼超标及总硬度过小的问题^[4-5]。本检测结果表明,海水淡化水与其他地表水混合应用,硼的检测合格率由 21.6% 上升到 92.8%,总硬度均值也由 26.86 mg/L 上升到 132.51 mg/L,基本能解决海水淡化水硼超标及总硬度过小的问题。根据相关规划,在舟山本岛及周边地区解决淡水资源紧张问题主要采取大力发展海水淡化产业和大陆引水工程,如今后通过大陆引水与海水淡化水混合应用的办法,既能基本满足舟山本岛及周边地区生活生产需要,也能解决海水淡化水硼超标及总硬度过小的问题,两者水源比较集中,混合应用技术容易操作,制水成本相对较少。河水水体污染严重,不宜作为集中式生活饮用水地表水源地,水库水比较分散且与海水淡化水混合应用水量不足,均不宜与海水淡化水混合应用。

大陆引水工程是一个跨区域调水工程,从宁波市的姚江引水,跨越宁波市的江北、镇海两区,穿越杭州湾灰鳖洋海底到

舟山本岛^[6]。但大陆引水水源污染较为严重,主要污染性指标氨氮、总氮检测的合格率很低,个别指标超过Ⅴ类水源的限值标准;由于大陆引水工程水源地不在舟山市的行政管辖范围,水源地周围的污染源无法及时清理和控制;姚江水系易受到季节、降雨量等因素的影响,水质状况会有周期性的变化;工程输水线路长,跨海段有长达 36 km,受环境及自然因素影响较大,存在一定的供水安全风险。

目前承担大陆引水水处理的钱江水利集团,采用化学、生物预处理方法及对混合、反应、沉淀、过滤、消毒等常规单元工艺的强化优化和部分深度处理技术的应用,基本能将大陆引水水源制成合格的生活饮用水,但姚江水源本身污染严重,其化学类、藻类、微生物污染有时间变化规律,阶段性重污染水源及输水线受到海水侵蚀破坏等突发事件的可能性较大,如果制水企业水处理和应对突发事件能力不足,可能会导致饮用水安全事件的发生,与海水淡化水混合应用存在一定的潜在安全风险。

为确保大陆引水与海水淡化水混合应用安全,降低其应用时的潜在风险,一是水利水务部门加强与宁波市相关部门的沟

(下转第 688 页)

AST 也是氨基转移酶中比较重要的一种, 其存在于肝细胞线粒体中, AST 偏高说明肝细胞损伤更为严重。氨基转移酶增高可降低肝脏的代谢能力和解毒能力, 所以 ALT 和 AST 被世界卫生组织推荐为肝功能损害最敏感的检测指标。电离辐射可引起肝功能及肝酶学的一系列变化, 从而引起肝脏物质代谢的改变, 并产生放射性肝炎甚至肝纤维化, 损伤程度存在着量效关系, 其发生机制尚未完全阐明^[4], 但由于所采用的动物种类、照射部位及辐照条件各异, 结果也不尽相同^[4, 5-8]。

本实验结果显示, 经 X 线全身单次照射, 大鼠血清 ALT 在 4 Gy、6 Gy 组升高, AST 值变化不明显。该结果提示, 本实验剂量下 X 线照射引起肝细胞损伤较轻微, 改变了细胞膜的通透性, 其渗透压改变, 导致肝脏胞浆酶的异常流出。AST 的敏感性不如 ALT 的原因在于: ALT 大部分分布于胞浆中, 而肝脏 80% 的 AST 存在于线粒体内, 肝脏损伤轻微时, 肝细胞虽损伤但线粒体仍保持完整, 释放入血的就只有存在于肝细胞浆内的 ALT, 此时, ALT 升高明显, 但 AST 并不发生明显改变^[9]。电镜观察结果显示, 6 Gy 组部分线粒体出现变性, 体积肿胀, 嵴排列紊乱, 但并未发生线粒体明显破裂或坏死。

1895 年伦琴发现了 X 射线, 从而揭开人类利用电离辐射的序幕。相对其他辐射源, 关于 X 线辐射影响的研究较少, 主要集中在对免疫、造血及消化系统等方面的研究。本研究以 Wistar 大鼠为对象, 研究 X 线辐射对大鼠血清氨基转移酶活性的影响及肝脏病理结构的变化, 可为全面研究放射治疗对患者的损伤提供参考依据, 为放射防护提供基础资料。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献:

- [1] 马中山, 马云玲, 冯力. 放疗在原发性肝癌非手术治疗中的地位与作用[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2010, 30(1): 102-104.
- [2] KRISHNAN S, DAWSON LA, SEONG J, et al. Radiotherapy for hepatocellular carcinoma: an overview[J]. Ann Surg Oncol, 2008, 15(4): 1015-1024.
- [3] 彭海波, 吴大可. 体外放疗在肝癌治疗中的应用进展[J]. 现代肿瘤医学, 2011, 19(7): 1463-1465.
- [4] 傅尚志. 电离辐射对肝脏的损伤[J]. 国外医学·放射医学核医学分册, 1997, 21(4): 188-191.
- [5] 李晓琴, 阿依肯, 刘春玲. 大鼠急性放射性肝损伤模型的建立[J]. 医学信息(下旬刊), 2011, 24(7): 8-9.
- [6] NAKAMURA N, KUSUNOKI Y, AKIYAMA M. Radiosensitivity of CD4 or CD8 positive human T-lymphocyte by an *in vitro* colony formation assay[J]. Radiat Res, 1990, 123(2): 224-227.
- [7] SUN SP, JIN YN, YANG HP, et al. Serum transforming growth factor-beta1 level reflects disease status in patients with esophageal carcinoma after radiotherapy[J]. World J Gastroenterol, 2007, 13(39): 5267-5272.
- [8] 杨帆, 孙鹏飞, 黄鹤, 等. X 射线低剂量多次照射对大鼠血清氧化指标的影响[J]. 吉林医药学院学报, 2010, 31(5): 265-267.
- [9] 孙荣武, 王鸿利. 临床实验诊断学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2001: 193-196.

(收稿日期: 2012-03-12)

(英文编审: 金克峙; 编辑: 张晶; 校对: 徐新春)

(上接第 683 页)

通, 建立大陆引水管理协调机构, 减少或控制水源地主要污染源的排放, 同时排查和清理舟山本岛蓄水库上游污染源; 二是加强水源的监测工作, 增加监测频次, 掌握水源本身化学类、藻类、微生物污染的变化规律; 三是建立阶段性重污染源及输水线受到海水侵蚀破坏等突发事件应对机制, 增强应急处置能力; 四是强化物理、化学、生物等方法有机结合的综合水处理技术及常规处理工艺改造, 扩大深度水处理技术范围, 把水污染危害降到最低程度, 确保饮用水安全。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献:

- [1] 朱玲, 莫耀, 王晨. 海水淡化及海岛城市多水源综合利用的规划研究[J]. 水利科技与经济, 2011, 17(9): 19-21.

- [2] 张永利, 倪惠君, 陈阿苟, 等. 海水淡化对环境及人体健康影响的研究进展[J]. 环境与职业医学, 2010, 27(5): 317-318.
- [3] 邹士洋, 陶永华, 曹佳, 等. 船舶反渗透海水淡化水的水质检测及卫生学分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2011, 21(10): 2511-2513.
- [4] World Health Organization. WHO guidelines for drinking-water quality, third edition[M]. Geneva: WHO Publications Centre USA, 2008: 186.
- [5] 张永利, 姜智海, 袁东, 等. 嵊泗县海岛海水淡化饮用水水质监测分析[J]. 中国公共卫生, 2008, 24(10): 1160.
- [6] 陈显民, 程炽晔. 舟山大陆引水工程跨海输水管道设计[J]. 水运工程, 2009(z1): 101-107, 114.

(收稿日期: 2012-06-27)

(英文编审: 金克峙; 编辑: 徐新春; 校对: 郭薇薇)