

不同处理工艺的水厂水质分析研究

姜永根, 王桂敏, 孙中兴

摘要: [目的] 分析上海市松江区水厂水质质量监测数据, 了解松江区水质质量变化趋势, 为政府制定供水规划及监管措施提供科学依据。[方法] 收集 2006—2012 年松江区水厂水源水和出厂水水质监测资料, 分析各年度松江区出厂水合格率变化趋势及不合格指标分布情况, 分析不同原水、不同制水工艺对出厂水水质的影响。[结果] 2006—2012 年松江区常规处理工艺水厂关闭了 10 座(镇级), 深度水处理工艺水厂增加到了 2 座(区级)。出厂水水质合格率呈上升趋势($\chi^2=31.82$, $P<0.01$)。出厂水水质以有机物污染为主, 在出厂水总不合格项次中氨氮占 44.61%、耗氧量占 31.99%。使用相同原水, 经深度处理工艺后氨氮、耗氧量的浓度低于常规制水工艺($t_{\text{氨氮}}=4.529$, $P_{\text{氨氮}}<0.01$; $t_{\text{耗氧量}}=8.321$, $P_{\text{耗氧量}}<0.01$)。[结论] 水源水质质量和制水工艺是影响水质的关键因素, 扩大斜塘江原水的供应范围, 全面使用深度处理制水工艺, 对提高松江区水质质量有重要意义。

关键词: 水源水; 出厂水; 制水工艺; 氨氮; 耗氧量; 合格率

Water Quality of Water Plants with Different Treatment Process JIANG Yong-gen, WANG Gui-min, SUN Zhong-xing (Songjiang District Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 201620, China) • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To study the quality trend of water from water plants in Songjiang District, Shanghai by analyzing the monitoring data, and to provide scientific basis for developing water supply planning and supervision. [Methods] The selected water plants' monitoring data of raw water and finished water from 2006 to 2012 were collected to analyze the qualified rate of finished water and the distribution of unqualified indices. The effects of raw water and water preparation process on the quality of finished water were also analyzed. [Results] From 2006 to 2012, 10 water plants (town level) with conventional water treatment process were closed, while the number of water plants with advanced water treatment technology increased by 2 (district level). An uptrend was shown in the qualified rates of the finished water samples ($\chi^2=31.82$, $P<0.01$). Organic pollutants was the main pollution in the finished water, and ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) accounted for 44.61% in total unqualified items and chemical oxygen demand (COD) accounted for 31.99%. Applying advanced treatment, the concentrations of $\text{NH}_3\text{-N}$ and COD of the same raw water were significantly lower than those using conventional treatment technology ($t_{\text{NH}_3\text{-N}}=4.53$, $P_{\text{NH}_3\text{-N}}<0.01$; $t_{\text{COD}}=8.32$, $P_{\text{COD}}<0.01$). [Conclusion] Raw water quality and preparation process are key factors of the quality of finished water. Expanding raw water supply scope of Xietang River and promoting application of advanced treatment process are strongly advocated to improve the finished water quality in Songjiang District.

Key Words: source water; finished water; water preparation process; ammonia nitrogen; chemical oxygen demand; qualified rate

松江区位于黄浦江上游, 辖区内斜塘江、圆泄泾和大泖港河三支源流汇合成黄浦江, 松江区水厂的原水均来自于黄浦江水系, 随着工农业快速发展推进, 水环境受到污染, 水源水质不断恶化。为确保饮水安全, 松江区不断推进水厂的集约化建设, 采用深度处理工艺生产饮用水, 有效地改善了水质质量。本研究拟通过对松江区 2006—2012 年水厂集约化建设过程

中的出厂水及水源水监测数据进行分析, 以了解全区水质卫生的变化趋势, 为政府制定监管措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 资料来源

资料来自上海市松江区疾病预防控制中心 2006—2012 年松江区所有水厂的水源水和出厂水监测数据。

1.2 采样频率

2006—2012 年对全区水厂的原水、出厂水进行季

[基金项目] 上海市卫生局青年科研项目(编号: 20124Y168)

[作者简介] 姜永根(1974—), 男, 学士, 主治医师; 研究方向: 环境卫生学; E-mail: sjktj@hotmail.com

[作者单位] 松江区疾病预防控制中心, 上海 201620

度采样, 每年 4 次。

1.3 采样与检测方法

水样的采集、保存、运输及检测按照《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750—2006)^[1]要求执行。

1.4 检测指标

按照上级部门下达的年度监测计划, 出厂水检测指标按照国家标准《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)^[2]中表 1、表 2、表 3 指标, 共计 34 个项目, 水源水指标按《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)^[3]开展, 共统计 13 个项目。

1.5 评价方法

按照《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)^[2]和《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)^[3]进行评价。利用实测数据与标准值比较。水样中有一项指标不合格, 即判定为不合格。合格率=(合格水样数/总水样数)×100%。不合格指标构成比=(某指标不合格项次数/总不合格项次数)×100%。

1.6 数据处理

由于部分水厂关闭, 监测点数逐年减少, 为使不同年度间的水质监测数据具有可比性, 监测点数统一按 2006 年 20 个水厂计, 水厂被合并后此水厂的相应数据均由取代水厂的水质监测结果代替。监测结果低

于方法检出限, 按检出限的 0.5 倍计^[4]。

1.7 统计方法

用 Excel 2010 建立数据库, 用 EpiInfo 7 软件进行统计分析, 率的比较采用 χ^2 检验, 多组间比较采用 F 检验, 一组与多组间的比较采用 Dunnett t 检验, 两样本的比较采用 t 检验, 检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 松江区集中式供水单位的变化

由表 1 可见, 松江区 2006 年共有 20 座水厂, 原水均来自黄浦江及其上游河道, 其中 15 座水厂原水来自主河道(斜塘江、圆泄泾、大泖港河、竖潦泾、黄浦江), 5 座水厂原水来自内河。斜塘江为松江区的主要水源地, 占松江区总原水的 74.66%。由于原水水质的不断恶化以及水厂的集约化建设, 一些工艺落后的镇级水厂逐步关闭。至 2012 年, 松江区共关闭 10 家镇级水厂, 新建 1 家区级水厂, 有 2 家区级水厂采用深度处理工艺[原水-预臭氧-混凝-沉淀-过滤-(后臭氧)-颗粒活性炭吸附(GAC)-加氯消毒], 其余水厂依旧采用常规处理工艺(原水-预加氯-混凝处理-沉淀-过滤-消毒)。

表 1 松江区 2006—2012 年集中式供水单位变化情况(个)
Table 1 Changes of centralized water supply plants in Songjiang, 2006-2012

年份 Year	级别 Level		工艺 Technology		原水来源 Source of raw water					
	区级 District level	镇级 Town level	深度 Advanced treatment	常规 Conventional treatment	斜塘江 Xietang River	大泖河 Damao River	圆泄泾 Yuanxie River	黄浦江 Huangpu River	竖潦泾 Shuliao River	内河 Inner River
2006	2	18	0	20	11	1	1	1	1	5
2007	2	17	0	19	11	1	1	1	1	4
2008	2	16	0	18	11	1	1	1	1	3
2009	2	15	0	17	10	1	1	1	1	3
2010	2	13	1	14	8	1	1	1	1	3
2011	3	8	2	9	5	1	1	1	1	2
2012	3	8	2	9	5	1	1	1	1	2

2.2 松江区水厂出厂水的水样检测

由表 2 可见, 2006—2012 年松江区出厂水水质合格率呈上升趋势($\chi^2=31.82, P<0.01$), 其中 2007 年出厂水合格率最低(16.25%), 2012 年合格率达到最高(60.00%)。

由表 3 可见, 出厂水总不合格项次数是 547 个, 不合格指标主要有氨氮($\text{NH}_3\text{-H}$)、耗氧量(COD), 在总不合格项次中 $\text{NH}_3\text{-H}$ 占 44.61%, COD 占 31.99%, 两者共占总不合格项次的 76.60%。

由表 4 可见, 比较不同年度出厂水中 $\text{NH}_3\text{-H}$ 、COD 的超标率, 超标率均呈下降趋势($\chi^2_{\text{NH}_3\text{-H}}=5.89, P_{\text{NH}_3\text{-H}}=0.02$; $\chi^2_{\text{COD}}=27.91, P_{\text{COD}}<0.01$)。

2.3 松江区原水与出厂水中 $\text{NH}_3\text{-H}$ 、COD 浓度

由表 5 可见, 比较原水来源不同但制水工艺相同(均采用常规工艺)水厂的监测数据, 不同原水和对应水厂的出厂水中 $\text{NH}_3\text{-H}$ 和 COD 浓度不全相同, 斜塘江原水和对应水厂的出厂水中 $\text{NH}_3\text{-H}$ 和 COD 均显示较低, 同其余 5 处比较发现, $\text{NH}_3\text{-H}$ 浓度斜塘江原水明

显低于大泖河 ($P<0.05$), 使用斜塘江原水的出厂水低于以大泖河为原水的出厂水 ($P<0.05$); COD 浓度斜塘江原水低于大泖河、圆泄泾、内河 ($P<0.05$), 使用斜塘江原水的出厂水明显低于以大泖河、圆泄泾、黄浦江、内河为原水的出厂水 ($P<0.05$)。

2.4 常规与深度处理工艺出厂水中 $\text{NH}_3\text{-H}$ 、COD 浓度

由表 6 可见, 选择同时期使用相同原水(斜塘江原水), 分别采用深度处理与常规工艺的水厂监测数据, 比较不同水厂出厂水中 $\text{NH}_3\text{-H}$ 和 COD, 经深度处理工艺后 $\text{NH}_3\text{-H}$ 、COD 的浓度低于常规制水工艺 ($t_{\text{NH}_3\text{-H}}=4.529$, $P_{\text{NH}_3\text{-H}}<0.01$; $t_{\text{COD}}=8.321$, $P_{\text{COD}}<0.01$)。合格率均达到 100%。

表 2 松江区 2006—2012 年出厂水检测合格率比较

Table 2 Comparison of qualified rates of finished water in Songjiang, 2006-2012

年度 Year	水样数 <i>n</i>	合格数 Number of qualified samples	合格率(%) Qualified rate
2006	80	20	25.00
2007	80	13	16.25
2008	80	36	45.00
2009	80	36	45.00
2010	80	35	43.75
2011	80	37	46.25
2012	80	48	60.00
合计(Total)	560	225	40.18

表 3 松江区 2006—2012 年出厂水不合格项目分布情况

Table 3 Distribution of unqualified items of finished water in Songjiang, 2006-2012

检测项目 Item	不合格项次数 Number of unqualified samples	不合格项次构成比(%) Proportion
$\text{NH}_3\text{-N}$	244	44.61
COD	175	31.99
其他(Others)	128	23.40
合计(Total)	547	100.00

表 4 松江区 2006—2012 年出厂水中 $\text{NH}_3\text{-H}$ 、COD 超标率比较

Table 4 Comparison of unqualified rate of finished water in Songjiang, 2006-2012

年度 Year	水样数 <i>n</i>	$\text{NH}_3\text{-N}$		COD	
		超标数 Number of unqualified samples	超标率(%) Unqualified rate	超标数 Number of unqualified samples	超标率(%) Unqualified rate
2006	80	48	60.00	24	30.00
2007	80	37	46.25	58	72.50
2008	80	25	31.25	26	32.50
2009	80	32	40.00	19	23.75
2010	80	42	52.50	18	22.50
2011	80	36	45.00	10	12.50
2012	80	24	30.00	20	25.00

表 5 松江区原水和出厂水中 $\text{NH}_3\text{-H}$ 、COD 浓度比较

($\bar{x} \pm s$, mg/L)

Table 5 Comparison of concentrations of $\text{NH}_3\text{-N}$ and COD between raw water and finished water in Songjiang

检测项目 Item	水源 Water sources	原水 Raw water		出厂水 Finished water	
		样本量 <i>n</i>	浓度 Concentration	样本量 <i>n</i>	浓度 Concentration
$\text{NH}_3\text{-N}$	斜塘江 Xietang River	56	0.464 ± 0.542	56	0.490 ± 0.582
	大泖河 Damao River	28	1.089 ± 1.181	28	1.403 ± 1.192
	圆泄泾 Yuanxie River	28	0.527 ± 0.517	28	0.703 ± 0.668
	黄浦江 Huangpu River	28	0.635 ± 0.694	28	0.879 ± 0.676
	竖潦泾 Shuliao River	28	0.786 ± 1.000	28	0.741 ± 0.855
	内河 Inner River	56	0.730 ± 0.709	56	0.824 ± 0.774
	<i>F</i>	—	2.87	—	5.25
	<i>P</i>	—	<0.05	—	<0.01
COD	斜塘江 Xietang River	56	4.167 ± 0.686	56	2.822 ± 0.424
	大泖河 Damao River	28	5.273 ± 0.925	28	3.551 ± 0.664
	圆泄泾 Yuanxie River	28	4.865 ± 0.699	28	3.168 ± 0.474
	黄浦江 Huangpu River	28	4.672 ± 0.697	28	3.378 ± 0.372
	竖潦泾 Shuliao River	28	4.804 ± 1.149	28	3.078 ± 0.332
	内河 Inner River	56	4.994 ± 0.996	56	3.335 ± 0.717
	<i>F</i>	—	8.07	—	9.53
	<i>P</i>	—	<0.01	—	<0.01

表 6 常规与深度处理工艺出厂水 $\text{NH}_3\text{-H}$ 、COD 比较

($\bar{x} \pm s$, mg/L)

Table 6 Comparison of concentration of $\text{NH}_3\text{-N}$ and COD between conventional and advanced treatment

检测项目 Items	工艺 Technology	出厂水 Finished Water		
		样本量 <i>n</i>	浓度 Concentration	合格率(%) Qualified rate
$\text{NH}_3\text{-N}$	常规处理 Conventional treatment	24	0.379 ± 0.220	70.83
	深度处理 Advanced treatment	16	0.120 ± 0.073	100.00
COD	常规处理 Conventional treatment	24	2.650 ± 0.280	83.33
	深度处理 Advanced treatment	16	1.847 ± 0.326	100.00

3 讨论

黄浦江及其上游河系处于太湖流域的下游, 长三角地区工农业经济快速发展的同时, 也对水源水质

造成了不同程度的污染。水源水水质直接影响了生活饮用水的质量,也关系到居民的饮水安全问题^[5],自2006年起松江区政府为改善全区的饮用水水质卫生,加强了对水源地的保护,并投入资金推进松江区水厂集约化建设。新建采用深度处理制水工艺水厂,逐步取代一批出厂水水质差的镇级水厂^[6];加大了对区级水厂的建设力度,进行深度处理制水工艺的改造。

松江区水厂的集约化建设取得了一定的成效。新建1家区级水厂,关闭10家镇级水厂,水厂的总数从2006年的20家减少为2012年的11家。2006—2012年出厂水合格率呈上升趋势。但因目前还有9座水厂使用常规水处理工艺,2012年出厂水的不合格水样均来自这些水厂,因此,应当加快松江区水厂的集约化建设的进程,特别是要采用深度水处理工艺,确保全区人民都能喝上健康安全的饮用水。

松江区原水以有机污染为主,水厂的集约化建设和深度处理制水工艺的使用能改善松江区出厂水水质。2006—2012年出厂水的不合格指标主要为 $\text{NH}_3\text{-H}$ 、COD,不合格项次占总不合格项次的76.60%,2006—2012年出厂水中的 $\text{NH}_3\text{-H}$ 、COD的超标率均呈下降趋势。出厂水 $\text{NH}_3\text{-H}$ 超标率在2010—2012年下降幅度最大,与同期深度处理工艺水厂开始制水有关。

水源水水质与出厂水水质质量密切相关。对松江区不同来源的原水和出厂水的比较发现,来自斜塘江的原水 $\text{NH}_3\text{-H}$ 、COD浓度最低,采用斜塘江原水的水厂出厂水 $\text{NH}_3\text{-H}$ 、COD浓度也最低,但同部分原水、出厂水的统计结果差异无统计学意义,可能与样本量不足有关。结果还发现有水厂的出厂水 $\text{NH}_3\text{-H}$ 浓度高于水源水,提示水厂的制水工艺或管理存在漏洞,需要政府管理部门加强对水厂的监管力度,提高水厂的制水能力与卫生意识,杜绝因管理上的疏忽而降低水质的质量。

深度处理工艺能明显改善水质。地表水源的污染状况在短时间内很难明显改善,对于出厂水中超标指标特别是 $\text{NH}_3\text{-H}$ 、COD等有机指标,处理效果明显好于常规水处理工艺,使出厂水中 $\text{NH}_3\text{-H}$ 、COD浓度低

于卫生限值,建议政府部门对有条件的水厂尽快采用深度处理的制水工艺,改善出厂水水质。

通过本次调查分析,进一步证实水源水水质,制水工艺是影响水质卫生的关键因素^[7],当水源水的水质在不断的下降情况下,只有不断寻找合格的水源或选择深度处理工艺来提高水质卫生。由于地表水源水持续存在污染,在找到更好水源的同时还要采用深度处理制水工艺,方能保障出厂水的水质质量。松江区的水厂集约化建设主要集中在以斜塘江为原水的水厂中,原水的来源格局未发生大的变化,所以主要是水厂深度处理工艺的使用提升了松江居民饮用水的卫生质量,因此在接下来的集约化进程中,一方面扩大斜塘江原水的供应范围,另一方面全区水厂全面使用深度处理工艺,早日让全区人民都能喝上更加健康安全的水。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5750—2006 生活饮用水标准检验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [2] 中华人民共和国卫生部. GB 5749—2006 生活饮用水卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [3] 中华人民共和国卫生部. GB 3838—2002 地表水环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [4] 中华人民共和国水利部. SL 219—1998 水环境监测规范[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
- [5] 张永利, 王虹玲, 余新威, 等. 舟山市多种类型水源水及生活饮用水水质的监测分析[J]. 环境与职业医学, 2012, 29(11): 681-683, 688.
- [6] 金凤英, 何晓燕, 高金莲, 等. 2008年上海市松江区集中式供水基本卫生现状[J]. 环境与职业医学, 2010, 27(2): 101-102.
- [7] 付立新. 湖北省赤壁市城区生活饮用水水质监测分析[J]. 环境卫生学杂志, 2012, 2(5): 221-224.

(收稿日期: 2013-01-07)

(英文编审: 金克峙; 编辑: 张晶; 校对: 洪琪)