

## 水源水和水处理工艺对上海市生活饮用水水质的影响

毛洁<sup>1</sup>, 周艳琴<sup>1</sup>, 周晓鹂<sup>1</sup>, 应亮<sup>1</sup>, 俞淑华<sup>2</sup>, 蔡吟花<sup>3</sup>, 倪淑萍<sup>4</sup>, 俞晓红<sup>5</sup>, 蒋才庆<sup>6</sup>

**摘要:** [目的] 分析不同水源水和水处理工艺对上海市生活饮用水水质的影响, 为采取针对性的监管措施提供依据。[方法] 选择 5 个区, 于 2012 年分别采集上海市 5 个行政区的水源水样 23 件、出厂水样 115 件、管网水样 672 件进行检测。[结果] 不同水源、水处理工艺的出厂水和管网水合格率有明显差异, 以水质最好的青草沙水库为水源的出厂水和管网水合格率最高, 采用深度水处理工艺的出厂水和管网水耗氧量合格率较一般水处理工艺的高。[结论] 要改善上海市饮水水质, 应从选择优质水源和有效的水处理工艺入手。

**关键词:** 生活饮用水; 水源水; 水处理工艺

**Impact of Source Water and Water Treatment Process on Drinking Water Quality in Shanghai** MAO Jie<sup>1</sup>, ZHOU Yan-qin<sup>1</sup>, ZHOU Xiao-li<sup>1</sup>, YING Liang<sup>1</sup>, YU Shu-hua<sup>2</sup>, CAI Yin-hua<sup>3</sup>, NI Shu-ping<sup>4</sup>, YU Xiao-hong<sup>5</sup>, JIANG Cai-qing<sup>6</sup> (1. Agency for Public Health Inspection, Shanghai Municipal Health Bureau, Shanghai 200031, China; 2. Agency for Public Health Inspection, Huangpu District Health Bureau, Shanghai 200011, China; 3. Agency for Public Health Inspection, Jiading District Health Bureau, Shanghai 201800, China; 4. Agency for Public Health Inspection, Jinshan District Health Bureau, Shanghai 201599, China; 5. Agency for Public Health Inspection, Songjiang District Health Bureau, Shanghai 201620, China; 6. Agency for Public Health Inspection, Xuhui District Health Bureau, Shanghai 200237, China) · The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

**Abstract:** [Objective] To analyze the impact of different water sources and water treatment processes on drinking water quality in Shanghai in order to make appropriate regulatory measures. [Methods] Five districts of Shanghai were selected and 23 source water samples, 115 finished water samples, 672 tap water samples were tested in 2012. [Results] The qualified rates of finished and tap water with different sources and water treatment processes were statistically different. The finished and tap water samples with the highest quality were from Qingcaosha reservoir. The qualified rates of oxygen consumption in the finished water and tap water samples using deep water treatment process were higher than those using traditional process. [Conclusion] Good water sources and water treatment processes are required to improve the quality of drinking water in Shanghai.

**Key Words:** drinking water quality; source water; water treatment process

近年来, 为了给居民提供卫生安全的生活饮用水, 上海市先后采取了一系列措施, 如选用青草沙水源、部分水厂采用深度水处理工艺等。本研究拟分析不同水源水和不同水处理工艺对上海市生活饮用水水质的影响, 同时也为优化完善“上海市生活饮用水卫生监督预警控制平台”提供数据支持。

### 1 材料与方法

上海市饮用水水源分别取自黄浦江和长江, 可细分为青草沙水库(长江)、长江水支流、黄浦江上游水、黄浦江河道水、

黄浦江支流水, 相对应具有代表性的行政区域分别为徐汇、黄浦、嘉定、松江、金山。选择上述 5 个行政区, 分别将各区的水源及水处理工艺作为不同类型的代表, 于 2012 年 1—12 月对各区水源水、出厂水、管网水进行采样检测。

#### 1.1 检测指标和水样数

5 个区共有 23 家水厂, 涉及供水人口 753 万人, 约为该市常住人口总数的 1/3。2012 年采集水源水水样 23 件、出厂水水样 115 件(包含 23 件全分析水样和 92 件常规指标水样)、管网水水样 672 件。上述水样分别来自 23 个水源水监测点、23 个出厂水监测点和 56 个管网水监测点。监测指标和采样频率见表 1。

#### 1.2 检验方法和评价标准

水样检验方法依据《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750—2006)执行。水源水水质判定标准为《地面水环境质量标准》(GB 3838—2002), 检测的指标均符合某级别标准限值时即为该级别的水源水水样合格。出厂水和管网水水质判定标准为《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006), 水样检测的指标全部合格则判定为该水样合格。

[基金项目] 上海市公共卫生三年行动计划“上海市生活饮用水卫生监督、预警及监督体系优化建设”项目(编号: GWIII-39)

[作者简介] 毛洁(1965—), 女, 学士, 研究员; 研究方向: 生活饮用水卫生监督和管理; E-mail: mj@hs.sh.cn

[作者单位] 1. 上海市卫生局卫生监督所, 上海 200031; 2. 黄浦区卫生局卫生监督所, 上海 200011; 3. 嘉定区卫生局卫生监督所, 上海 201800; 4. 金山区卫生局卫生监督所, 上海 201599; 5. 松江区卫生局卫生监督所, 上海 201620; 6. 徐汇区卫生局卫生监督所, 上海 200237

| 表 1 水样检测指标及水样数 |          |                                                            |        |        |
|----------------|----------|------------------------------------------------------------|--------|--------|
| 水样             | 监测点数量(个) | 检测指标                                                       | 采样频率   | 水样数(件) |
| 水源水            | 23       | 《地面水环境质量标准》(GB 3838—2002)中表 1、表 2 指标                       | 1 次/年  | 23     |
| 出厂水            | 23       | 《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)所有相关指标(全分析)                       | 1 次/年  | 23     |
|                |          | 《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)中表 1、表 2 指标(常规指标)                 | 1 次/季度 | 92     |
| 管网水            | 56       | 《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)中的浑浊度、色度、耗氧量、铁、锰、菌落总数、总大肠菌群、消毒剂余量 | 1 次/月  | 672    |

1.3 统计学分析

使用 SPSS 13.0 统计软件进行数据分析。水样合格率假设检验采用  $\chi^2$  检验, 指标平均值比较分析检验采用  $t$  检验。检验水准  $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 水源水检测结果

检测结果表明, 徐汇、黄浦、嘉定水厂和松江部分水厂的水源水质相对较好, 基本达到Ⅲ类水质标准, 个别指标(总氮、铁、锰)超出标准; 松江另一部分水厂和金山水厂水源水质相对较差, 为Ⅳ、Ⅴ类水质, 耗氧量、总磷、总氮、铁、锰超出Ⅳ或Ⅴ类水标准, 水源受污染严重, 见表 2。

| 表 2 上海市不同水源水水质状况 |       |     |      |
|------------------|-------|-----|------|
| 水源水              | 区(县)  | 水厂数 | 水源分级 |
| 青草沙水库(长江)        | 徐汇、黄浦 | 2   | Ⅲ类   |
| 长江水支流            | 嘉定    | 4   | Ⅲ类   |
| 黄浦江上游水           | 松江    | 5   | Ⅲ类   |
| 黄浦江河道水           | 金山    | 7   | Ⅳ、Ⅴ类 |
| 黄浦江支流            | 松江    | 5   | Ⅴ类   |

2.2 水源对水质的影响

目前, 上海市水厂采用的水处理工艺有两种: 一般水处理工艺和深度水处理工艺。采用一般水处理工艺的较多, 工艺包括“混凝沉淀——过滤——消毒”; 深度水处理工艺仅有个别水厂采用, 是在一般水处理工艺的基础上增加臭氧和活性炭的

处理, 主要去除水源中的普通有机物污染。

比较不同水源的出厂水和管网水水质, 为避免水处理工艺的影响, 比较相同水处理工艺不同水源的水质。由于 23 家水厂中仅有 1 家采用深度水处理工艺, 因此, 比较 22 家采用一般水处理工艺的水厂 110 件出厂水和 588 件管网水样品的合格率。由表 3 可见, 在水处理工艺相同的情况下, 不同水源的出厂水和管网水合格率差异有统计学意义, 属Ⅲ类水质的青草沙水库(长江)、长江水支流、黄浦江上游水的出厂水和管网水的合格率均高于Ⅳ、Ⅴ类水质的黄浦江河道水、黄浦江支流水质合格率。

| 表 3 上海市不同水源水的出厂水和管网水样品合格率比较 |       |     |        |       |     |        |
|-----------------------------|-------|-----|--------|-------|-----|--------|
| 水源水                         | 出厂水   |     |        | 管网水   |     |        |
|                             | 水样数   | 合格数 | 合格率(%) | 水样数   | 合格数 | 合格率(%) |
| 青草沙水库(长江)                   | 5     | 5   | 100.0  | 180   | 179 | 99.4   |
| 长江水支流                       | 20    | 16  | 80.0   | 132   | 132 | 100.0  |
| 黄浦江上游水                      | 25    | 21  | 84.0   | 36    | 31  | 86.1   |
| 黄浦江河道水                      | 35    | 19  | 54.3   | 84    | 9   | 10.7   |
| 黄浦江支流                       | 25    | 4   | 16.0   | 156   | 34  | 21.8   |
| $\chi^2$                    | 33.0  |     |        | 411.4 |     |        |
| $P$                         | <0.05 |     |        | <0.05 |     |        |

对照水源水、出厂水和管网水不合格指标及不合格检测值的范围, 从表 4 可见水源水质好的, 出厂水、管网水不合格指标较少; 水源水质差的, 出厂水、管网水不合格指标也较多。由此可知, 水源对出厂水和管网水水质起到决定性的作用。

| 表 4 上海市不同水源水、出厂水和管网水不合格指标(mg/L) |      |                                           |                                                                        |                                                              |
|---------------------------------|------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 水源水                             | 水源分级 | 水源水超标指标                                   | 出厂水不合格指标                                                               | 管网水不合格指标                                                     |
| 青草沙水库(长江)                       | Ⅲ类   | 总氮(4.4)                                   | —                                                                      | 菌落总数(120CFU/mL)                                              |
| 长江水支流                           | Ⅲ类   | 铁(0.35)                                   | 铁(0.32)、氨氮(0.51)                                                       | —                                                            |
| 黄浦江上游水                          | Ⅲ类   | 铁(5.56)、锰(0.83)                           | 耗氧量(3.1~5.4)、氨氮(0.57~1.64)                                             | 铁(0.39~0.86)、耗氧量(3.1~3.9)、氨氮(0.62~1.69)、菌落总数(170~200CFU/mL)  |
| 黄浦江河道水                          | Ⅳ、Ⅴ类 | 耗氧量(13.5)、总磷(2.4)、总氮(4.8)、铁(0.82)、锰(0.83) | 耗氧量(3.3~5.8)、氨氮(0.54~1.53)、氯酸盐(1.5)、亚氯酸盐(1.1)、锰(0.12~0.15)、浑浊度(1.4NTU) | 耗氧量(3.1~27.3)、铁(0.34~0.36)、锰(0.11~0.26)、菌落总数(120~1000CFU/mL) |
| 黄浦江支流                           | Ⅴ类   | 总磷(0.56)、氨氮(3.44)、铁(2.44)、锰(0.87)         | 耗氧量(3.1~6.2)、氨氮(0.57~4.82)、铁(0.36)、锰(0.11~0.24)                        | 耗氧量(3.1~6.5)、氨氮(0.65~4.59)、挥发酚类(0.003)、锰(0.11~0.25)          |

[注] 如指标后的括号内仅为 1 个数值, 代表只有 1 件水样超标。

出厂水经管道输送, 理化指标没有明显变化, 其中超标的耗氧量、铁、锰等指标在管网水中仍然超标。以耗氧量指标为例, 尽管水源、水处理工艺不同, 但经过管道输送后出厂水和管网水的耗氧量指标合格率变化不大。而微生物指标有所变化, 出厂水的菌落总数均合格, 但是在管网水中却出现了不合格, 提示管网可能存在二次污染, 见表 5。

比较不同水处理工艺的出厂水和管网水水质, 为了避免

水源的影响, 比较相同水源不同水处理工艺的水质。23 家水厂中只有 2 家以青草沙水库(长江)为水源的水厂分别采用了深度处理工艺和一般水处理工艺, 由于出厂水和管网水样品合格率均在 99% 以上, 所以, 以代表有机物去除效果的耗氧量为指标, 对该 2 家水厂 10 件出厂水和 264 件管网水水质进行比较。由表 6 可见, 在水源相同的情况下, 不同水处理工艺的水厂出厂水和管网水水质有明显差异, 采用深度水处理工艺的耗氧量

平均值低于一般水处理工艺,说明经过深度水处理工艺的水质较好。

表 5 上海市不同水源水的出厂水、管网水耗氧量合格率

| 水源水       | 出厂水耗氧量 |     |        | 管网水耗氧量 |     |        |
|-----------|--------|-----|--------|--------|-----|--------|
|           | 水样数    | 合格数 | 合格率(%) | 水样数    | 合格数 | 合格率(%) |
| 青草沙水库(长江) | 5      | 5   | 100.0  | 180    | 180 | 100.0  |
| 长江水       | 20     | 20  | 100.0  | 132    | 132 | 100.0  |
| 黄浦江上游水    | 25     | 21  | 84.0   | 36     | 32  | 88.9   |
| 黄浦江河道水    | 35     | 14  | 40.0   | 84     | 30  | 35.7   |
| 黄浦江支流水    | 25     | 6   | 24.0   | 156    | 34  | 21.8   |

表 6 上海市不同水处理工艺出厂水和管网水的耗氧量平均值

| 水处理工艺    | 出厂水耗氧量 |             | 管网水耗氧量 |             |
|----------|--------|-------------|--------|-------------|
|          | 水样数    | 平均值(mg/L)   | 水样数    | 平均值(mg/L)   |
| 深度       | 5      | 0.74 ± 0.17 | 84     | 1.01 ± 0.57 |
| 一般       | 5      | 1.47 ± 0.44 | 180    | 1.46 ± 0.32 |
| <i>t</i> |        | -3.09       |        | -7.03       |
| <i>P</i> |        | <0.05       |        | <0.05       |

### 3 讨论

上海地处长江和太湖流域下游,水源受沿途化工工业区威胁。黄浦江原水属重度污染,根据检测结果评判水源在Ⅲ类~Ⅴ类的水平,主要以有机污染为主,且近年来水质有变差的趋势;长江原水较黄浦江原水污染轻,虽总磷、总氮浓度较高,但属轻度污染<sup>[1]</sup>。本研究显示水源水质从好到差依次为青草沙水库(长江)、长江水支流、黄浦江上游水、黄浦江河道水、黄浦江支流水。水源水质的优劣基本与出厂水和管网水的合格率以及不合格指标的数量和检测值范围变化一致,以青草沙水库(长江)为水源的出厂水和管网水合格率最高,基本达到100%;而以黄浦江支流水为水源的出厂水和管网水合格率最低,仅为20%左右。可见,水源是决定出厂水和管网水水质的“先天”性因素。

与出厂水略有不同的是,管网水在输送过程中可能会受到外界因素的影响(例如菌落总数),这与管网水在输送过程中水中消毒剂余量逐渐减少有关。不过,检测结果表明,管网水在管道输送过程中大部分理化指标不会发生变化,因而水源仍

为管网水水质的决定因素,要改善上海市饮水水质,必须有更多的水厂采用好的水源。

一般水处理工艺对源水的耗氧量去除率在40%以下<sup>[2]</sup>,难以有效去除有机物污染<sup>[3]</sup>,而深度处理的臭氧能将大分子有机物氧化变成小分子有机物,有利于活性炭对有机物的吸附,两者联用可以更有效地发挥各自的优势,对有机污染物的去除效果更显著<sup>[4]</sup>,这可以通过耗氧量指标的下降来反映。本研究表明,水处理工艺在一定程度上弥补了水源的“先天不足”。例如,该市水质最好的水源青草沙水库(长江)仅达到Ⅲ类水标准,总氮超标,但是通过深度水处理后,出厂水和管网水均达到国家标准,说明深度水处理工艺能有效改善水源中有机物的污染状况。对于污染较严重的黄浦江,水质相对较好的黄浦江上游水通过一般水处理工艺,出厂水和管网水合格率也可达到80%以上。不过,当水源水质较差时,一般水处理工艺的作用有限,不能完全改善水质,如水质最差的黄浦江支流水,其出厂水和管网水合格率均仅为20%左右。因此,水处理工艺可以在一定程度上弥补水源水质的不足。如果条件允许,针对有机物污染严重的状况,水厂可改进水处理工艺,采用臭氧和活性炭的深度处理技术,这是有效改善水质的“后天”手段。

综上所述,水源对于饮水水质起着决定性的作用,水处理工艺能在一定程度上改善水质。所以,要改善上海市饮水水质,需要优质水源和有效的水处理工艺。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

### 参考文献:

- [1] 陈国光,沈依云,孟明群,等.上海市供水水质现状和2012年供水水质达标步骤与措施[J].给水排水,2010,36(11):24-31.
- [2] 乐林生,吴今明,鲍士荣,等.上海市安全饮用水保障技术[J].给水排水,2005,31(9):5-10.
- [3] 毛洁,应亮,王懿霖.2006年上海市集中式供水水质现状调查[J].环境与健康,2007,24(9):701-703.
- [4] 李灵芝,周云,王占生.饮用水深度处理工艺对有机污染物的去除效果[J].中国环境科学,2002,22(6):542-545.

(收稿日期:2013-07-19)

(英文编审:金克峙;编辑:张晶;校对:王晓宇)

### 【告知栏】

## 《环境与职业医学》杂志开通优先数字出版

《环境与职业医学》杂志已与中国知网(《中国学术期刊》光盘版电子杂志社)签订优先数字出版协议。从2013年7月1日起,本刊已录用待发表的论文,先于印刷版出版日期在中国知网优先出版数字期刊。凡投稿至本刊,通过审理加工并终审被录用的论文,将于印刷版排版前在中国知网的数字期刊优先出版(印刷版出版后将替换优先出版的数字化版本)。