

## 上海某区学校超滤直饮水水质评价及影响因素

孙中兴, 姜永根

**摘要:** [目的] 了解学校超滤直饮水的质量, 发现相关危险因素并进行控制, 保障学生饮用水安全。[方法] 在某区22所中小学(小学12所, 中学10所)中随机选取25台超滤直饮水机, 在2014年2月及10月分别采集直饮水水样, 应用水质综合指数法评价水质状况, 通过比较直饮水与相应原水的水质综合指数值评估水质改善情况, 以耗氧量去除率 $[(\text{原水耗氧量} - \text{直饮水耗氧量}) / \text{原水耗氧量} \times 100\%]$ 表示净水能力, 并采用二分类logistic回归模型分析水质改善的影响因素。[结果] 25台超滤直饮水机均以市政管网水为原水。50份超滤直饮水水样合格率为80%, 不合格项目主要为菌落总数和锌。直饮水水质综合指数 $(0.374 \pm 0.100)$ 与管网水 $(0.392 \pm 0.027)$ 比较, 差异无统计学意义 $(t=1.26, P=0.22)$ , 直饮水有机污染指标水质指数 $(0.084 \pm 0.039)$ 低于管网水 $(0.122 \pm 0.024)$ , 差异有统计学意义 $(t=5.78, P=0.00)$ 。直饮水水质改善率为74%, 主要来自有机污染指标的改善。使用频率低(日用水量 $<50\text{L}$ )及设备净水能力不合格(耗氧量去除率 $<25\%$ )会增加直饮水水质恶化的危险。[结论] 本研究调查的学校超滤直饮水机能改善水中的有机污染状况, 但直饮水仍存在一定卫生问题, 易受到多种因素的影响。

**关键词:** 超滤; 直饮水; 改善; 使用频率; 净水能力

**Quality Assessment and Influencing Factors of Direct Drinking Water from Ultra-Filtration Devices in Schools in a District of Shanghai** SUN Zhong-xing, JIANG Yong-gen (Sanitary Monitoring Department, 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 evaluate the water quality and identify influencing factors of ultra-filtration devices to protect drinking water safety of students. [Methods] Twenty-five water treatment devices were randomly selected from 12 primary and 10 secondary schools in a district of Shanghai to collect direct drinking water samples in February and October 2014. The quality of direct drinking water samples was evaluated by Water Quality Index (WQI), and the improvement of water quality was evaluated by comparing WQI between treated water and source water. The elimination rate of chemical oxygen demand was utilized for the ability of water purification. Binary logistic model was applied to analyze the influencing factors of water quality improvement. [Results] The 25 ultra-filtration devices all used tap water from the municipal network water supply as the source water. The qualified rate of 50 direct drinking water samples was 80%, and the main unqualified indicators were total number of colonies and zinc. There was no significant difference in WQI of the direct drinking water samples  $(0.374 \pm 0.100)$  and tap water samples  $(0.392 \pm 0.027)$  ( $t=1.26, P=0.22$ ). The WQI based on organic pollution index of the direct drinking water samples  $(0.084 \pm 0.039)$  was significantly lower than that of tap water samples  $(0.122 \pm 0.024)$  ( $t=5.78, P=0.00$ ). The improved rate of water quality was 74%, and most organic pollution indices were improved. Low using frequency (water consumption  $<50\text{L/d}$ ) and unqualified water purification ability (elimination rate of chemical oxygen demand  $<25\%$ ) were the main influencing factors contributing to quality deterioration of direct drinking water. [Conclusion] Ultra-filtration devices in the selected schools can control organic pollution in direct drinking water, but hygienic issues are also identified which are influenced by several factors.

**Key Words:** ultra-filtration; direct drinking water; improvement; using frequency; ability of water purification

上海某区位于太湖流域的下游, 当地集中式供水单位均以地表水为水源。由于工农业的高速发展, 地表水源水中氨氮、总磷及高锰酸盐指数处于高水平,

存在严重的有机污染<sup>[1-2]</sup>, 在经过供水单位的水质处理后, 市政管网水中的氨氮、消毒副产物(三氯甲烷等)及耗氧量仍较高<sup>[3-4]</sup>, 使用深度水处理工艺后上述指标明显下降<sup>[5]</sup>, 但仍有下降的空间。在提高饮用水水质的需求下, 市场上出现了以活性炭、超滤、纳滤、反渗透等不同工艺的净水设备, 这些设备均以市政管网水为原水, 其中超滤净水器能在去除水中有机物的同时保留人体所需要的矿物质, 近年来在中小学

DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2015.15136

[基金项目] 上海市卫生局青年科研项目(编号: 20124Y168)

[作者简介] 孙中兴(1981—), 男, 硕士, 主管医师; 研究方向: 环境卫生; E-mail: sun983357@163.com

[作者单位] 松江区疾病预防控制中心卫生监测科, 上海 201620

校中广泛使用。

由于净水器的出水水质会受到具体过滤工艺、产品质量、使用状况等因素的影响,为了保障水质,国家颁布了一系列的水质卫生标准<sup>[6-7]</sup>,但相关标准均由一系列相对独立的指标构成,只能对某一个指标的符合性进行评价,特别是在不同水质之间进行直接比较时,很难直观地对水质进行总体性描述。在此背景下,各类综合分析法应运而生,常见的有数理统计法、综合指数法、模糊数学法、灰色聚类法等<sup>[8]</sup>,其中综合指数法能用一个简单的数值整合大量的数据特征,经过评价人员的不断改进和调整<sup>[9-11]</sup>,方法日趋客观。本研究通过水质综合指数法评价学校超滤直饮水的水质状况,并使用多因素统计方法分析水质的影响因素,为学校超滤直饮水的科学管理提供参考数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 检测对象及时间

选择某区中小学校超滤直饮水设备共170台为检测对象,按照15%的比例随机抽取25台设备采集出水,并调查设备的制水工艺及使用情况。在2014年用水低峰期(2月份)和用水高峰期(10月份)各采样1次,共得到50份直饮水水样。

### 1.2 方法

**1.2.1 检测项目与方法** 检测项目:严格按照GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》<sup>[7]</sup>的水质要求,检测水中的感官和一般化学指标、微生物指标、毒理学指标等。检验方法:严格按照GB/T 5750—2006《生活饮用水卫生标准检验方法》<sup>[12]</sup>进行,采样量为3200mL。

**1.2.2 水质综合指数法** 本研究采用水质综合指数(Water Quality Index, WQI)法<sup>[9-11]</sup>计算超滤直饮水的水质指数。该方法将检测项目分为5大类:感官和一般化学指标、有机污染指标、致癌指标、一般毒性指标及微生物指标。首先计算各检测项目的分指数;然后按照不同的公式计算各大类的水质指数,其中感官和一般化学指标采用内梅罗法,相对权重为0.1;有机污染指标、一般毒性指标和微生物指标采用最差因子判别法,相对权重分别为0.15、0.20和0.23;致癌指标采用加权平均法,相对权重为0.32;最后,根据5大类的综合指数进行加权综合,以求得水质综合指数。具体计算方法见文献<sup>[10]</sup>,水质指数>1代表水质污染,位于0.51~1代表水质较好,<0.5表示水质优良。

直接比较直饮水水样与其对应管网水(原水)的水质综合指数值。以直饮水水质指数是否低于对应管网水作为标准来评价水质改善或变差。如果直饮水水样水质综合指数值低于管网水,则判定水质得到改善,直饮水水质改善率=(水质改善的直饮水水样数/总直饮水水样数)×100%;反之,则判定水质变差,直饮水水质变差率=(水质变差的直饮水水样数/总直饮水水样数)×100%。

**1.2.3 质量控制** 采样人员采样前经过培训并考核合格,选择在学校上课期间(采样前不通知学校)采样,采样瓶的准备、现场采样步骤及水样的保存与运输严格按照GB/T 5750—2006《生活饮用水卫生标准检验方法》进行<sup>[12]</sup>。实验室相关检测项目均通过中国合格评定国家认可委员会认证。检测与调查结果由双人重复录入Excel数据库。

### 1.3 统计学分析

数据分析使用SPSS 19.0软件进行。计数资料(率)的比较选择卡方检验;计量资料经Shapiro-Wilk正态性检验,正态分布用 $\bar{x} \pm s$ 表示,两样本均数比较选择 $t$ 检验,非正态分布用中位数(最小值,最大值)[ $M(\text{Min}, \text{Max})$ ]表示,两样本间的比较用秩和检验(Mann-Whitney法);以直饮水水质综合指数是否低于对应管网水来判定水质改善与否,采用二分类logistic回归模型分析水质改善的影响因素;检验水准 $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 一般情况

由表1可见,25台超滤直饮水机分布在22所中小学(小学12所,中学10所),使用年限均在1年以内,超滤直饮水设备的主要工艺有A、B、C三类,部分设备使用铜锌合金颗粒滤芯(kinetic degradation fluxion, KDF)。设备均有卫生许可,由学校工作人员每个工作日上午对出水龙头进行消毒,由维护公司定期对设备进行检修保养。

### 2.2 水质状况

50份直饮水水样中合格40份,合格率为80%,感官与一般化学指标等检测结果见表2,2月份有部分超标的项目包括铜、锌、氨氮,10月份有部分超标的项目包括亚硝酸盐。微生物指标和毒理学指标检测结果见表3,仅2月份水样菌落总数超标,其余检测项目均合格。

表1 超滤直饮水机基本特征( $n=25$ )

| 特征      | 分类      | 超滤直饮水机数量 | 构成比(%) |
|---------|---------|----------|--------|
| 学校类型    | 小学(12所) | 14       | 56     |
|         | 中学(10所) | 11       | 44     |
| 使用年限(年) | ≤1      | 25       | 100    |
|         | >1      | 0        | 0      |
| 水处理工艺   | A       | 10       | 40     |
|         | B       | 7        | 28     |
|         | C       | 8        | 32     |

[注]A: 聚丙烯滤芯-活性炭滤芯-聚丙烯滤芯-超滤装置-紫外线杀菌灯-低温加热( $<40^{\circ}\text{C}$ ); B: 聚丙烯滤芯-KDF-活性炭滤芯-超滤装置-紫外线杀菌灯-高温加热( $>90^{\circ}\text{C}$ ); C: KDF-活性炭滤芯-超滤装置-紫外线杀菌灯-低温加热( $<40^{\circ}\text{C}$ )。

表2 超滤直饮水机出水水质(感官和一般化学指标、有机物指标)检测结果[ $\bar{x} \pm s$ 或 $M(\text{Min}, \text{Max})$ ,  $n=25$ ]

| 检测项目           | 2月                            |        | 10月                           |        |
|----------------|-------------------------------|--------|-------------------------------|--------|
|                | 结果                            | 合格率(%) | 结果                            | 合格率(%) |
| 色度(度)          | $5 \pm 0$                     | 100    | $5 \pm 0$                     | 100    |
| 浑浊度(NTU)       | $0.31 \pm 0.16$               | 100    | $0.20 \pm 0.06$               | 100    |
| 臭和味            | 无                             | 100    | 无                             | 100    |
| 肉眼可见物          | 无                             | 100    | 无                             | 100    |
| pH             | $7.02 \pm 0.47$               | 100    | $7.14 \pm 0.10$               | 100    |
| 铝(mg/L)        | $\text{ND}(<0.05)$            | 100    | $\text{ND}(<0.05)$            | 100    |
| 铁(mg/L)        | $\text{ND}(\text{ND}, 0.031)$ | 100    | $\text{ND}(\text{ND}, 0.057)$ | 100    |
| 锰(mg/L)        | $0.015 \pm 0.013$             | 100    | $\text{ND}(<0.005)$           | 100    |
| 铜(mg/L)        | $\text{ND}(\text{ND}, 1.06)$  | 96     | $\text{ND}(<0.01)$            | 100    |
| 锌(mg/L)        | $0.481 \pm 0.472$             | 88     | $0.285 \pm 0.251$             | 100    |
| 氯化物(mg/L)      | $88.7 \pm 15.6$               | 100    | $68.5 \pm 12.8$               | 100    |
| 硫酸盐(mg/L)      | $107.2 \pm 18.8$              | 100    | $85.6 \pm 16.3$               | 100    |
| 溶解性总固体(mg/L)   | $419 \pm 81$                  | 100    | $316 \pm 63$                  | 100    |
| 总硬度(mg/L)      | $182 \pm 4$                   | 100    | $133 \pm 27$                  | 100    |
| 耗氧量(mg/L)      | $0.98 \pm 0.59$               | 100    | $1.53 \pm 0.70$               | 100    |
| 挥发酚类(mg/L)     | $\text{ND}(<0.0002)$          | 100    | $\text{ND}(<0.0002)$          | 100    |
| 阴离子合成洗涤剂(mg/L) | $0.09 \pm 0.01$               | 100    | $\text{ND}(<0.05)$            | 100    |
| 氨氮(mg/L)       | $0.23(0.06, 0.91)$            | 96     | $0.02(0.01, 0.18)$            | 100    |
| 亚硝酸盐(mg/L)     | $0.10(\text{ND}, 0.44)$       | 100    | $0.02(\text{ND}, 1.1)$        | 96     |

[注]ND: 未检出, 如该组数据均未检出, 括号内用 $<$ 检出限表示。

表3 超滤直饮水机出水水质(微生物指标和毒理学指标)检测结果[ $\bar{x} \pm s$ 或 $M(\text{Min}, \text{Max})$ ,  $n=25$ ]

| 检测项目              | 2月                          |        | 10月                         |        |
|-------------------|-----------------------------|--------|-----------------------------|--------|
|                   | 结果                          | 合格率(%) | 结果                          | 合格率(%) |
| 菌落总数(CFU/mL)      | $\text{ND}(\text{ND}, 470)$ | 84     | $\text{ND}(<1)$             | 100    |
| 总大肠菌群(MPN/100 mL) | $\text{ND}(<2)$             | 100    | $\text{ND}(<2)$             | 100    |
| 砷(mg/L)           | $0.0020 \pm 0.0002$         | 100    | $\text{ND}(<0.0004)$        | 100    |
| 镉(mg/L)           | $\text{ND}(<0.0008)$        | 100    | $\text{ND}(<0.0008)$        | 100    |
| 铬(mg/L)           | $\text{ND}(<0.004)$         | 100    | $\text{ND}(<0.004)$         | 100    |
| 铅(mg/L)           | $\text{ND}(<0.005)$         | 100    | $\text{ND}(<0.005)$         | 100    |
| 汞(mg/L)           | $\text{ND}(<0.0001)$        | 100    | $\text{ND}(<0.0001)$        | 100    |
| 硒(mg/L)           | $\text{ND}(<0.001)$         | 100    | $\text{ND}(<0.001)$         | 100    |
| 氰化物(mg/L)         | $\text{ND}(<0.002)$         | 100    | $\text{ND}(<0.002)$         | 100    |
| 氟化物(mg/L)         | $0.63 \pm 0.12$             | 100    | $0.72 \pm 0.13$             | 100    |
| 硝酸盐(mg/L)         | $2.10 \pm 0.58$             | 100    | $1.15 \pm 0.26$             | 100    |
| 三氯甲烷(mg/L)        | $\text{ND}(<0.0008)$        | 100    | $0.0015(\text{ND}, 0.0200)$ | 100    |
| 四氯化碳(mg/L)        | $\text{ND}(<0.0001)$        | 100    | $\text{ND}(<0.0001)$        | 100    |

[注]ND: 未检出, 如该组数据均未检出, 括号内用 $<$ 检出限表示。

## 2.3 水质综合指数

直饮水水质综合指数范围为0.149~0.708, 超滤直饮水机对应的市政管网水水质综合指数范围为0.313~0.482。由表4可见, 直饮水水质综合指数与管网水比较, 差异无统计学意义( $t=1.26$ ,  $P=0.22$ ); 2月与10月管网水水质综合指数差异无统计学意义( $t=0.94$ ,  $P=0.35$ )。2月直饮水水质综合指数高于10月( $t=3.397$ ,  $P=0.00$ ), 但2月直饮水水质改善率(64%)与10月(84%)相比, 差异无统计学意义( $\chi^2=2.60$ ,  $P=0.11$ )。

将管网水与直饮水按构成水质综合指数的5大类水质指数(已加权)分别进行比较, 结果显示, 直饮水中有机污染指标、一般毒性指标的水质指数明显下降( $P<0.05$ ), 致癌指标、微生物指标明显升高( $P<0.05$ ), 感官和一般化学指标差异无统计学意义; 从水样各大类水质指数差值看, 有机污染指标水质指数值下降最多, 对水质改善的贡献最大。见表5。

表4 不同水样的水质综合指数值

| 时间  | 水质综合指数( $\bar{x} \pm s$ ) |                     | 直饮水水质变化情况 |        |       |        |
|-----|---------------------------|---------------------|-----------|--------|-------|--------|
|     | 管网水( $n=25$ )             | 直饮水( $n=25$ )       | 改善水样数     | 改善率(%) | 变差水样数 | 变差率(%) |
| 2月  | $0.396 \pm 0.021$         | $0.417 \pm 0.114$   | 16        | 64     | 9     | 36     |
| 10月 | $0.389 \pm 0.031$         | $0.330 \pm 0.059^*$ | 21        | 84     | 4     | 16     |
| 合计  | $0.392 \pm 0.027$         | $0.374 \pm 0.100$   | 37        | 74     | 13    | 26     |

[注]\*: 与2月比较,  $P<0.01$ 。

表5 管网水与直饮水各大类水质综合指数比较

[ $\bar{x} \pm s$ 或 $M(\text{Min}, \text{Max})$ ,  $n=50$ ]

| 指数类别      | 管网水                   | 直饮水                   | $t$ 或 $Z$ | $P$  | 差值                 |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------|------|--------------------|
| 有机污染指标    | $0.122 \pm 0.024$     | $0.084 \pm 0.039$     | 5.78      | 0.00 | $0.038 \pm 0.031$  |
| 一般毒性指标    | $0.144 \pm 0.014$     | $0.136 \pm 0.021$     | 2.25      | 0.03 | $0.008 \pm 0.016$  |
| 感官和一般化学指标 | $0.062 \pm 0.008$     | $0.056 \pm 0.021$     | 1.85      | 0.07 | $0.006 \pm 0.021$  |
| 致癌指标      | $0.042 \pm 0.004$     | $0.048 \pm 0.014$     | 2.95      | 0.01 | $-0.006 \pm 0.011$ |
| 微生物指标     | $0.023(0.023, 0.023)$ | $0.023(0.023, 0.385)$ | 2.73      | 0.01 | $0(-0.362, 0)$     |

[注]差值=管网水水质指数-直饮水水质指数, 数值越大代表水质改善贡献越多。

## 2.4 直饮水水质的影响因素分析

根据学校超滤直饮水机的使用情况, 按净水工艺(是否使用KDF滤芯)、净水能力(合格: 耗氧量去除率[(管网水耗氧量-直饮水耗氧量)/管网水耗氧量 $\times 100\%$ ] $\geq 25\%$ ; 不合格: 耗氧量去除率 $<25\%$ )、加热温度(低:  $<40^{\circ}\text{C}$ , 高:  $>90^{\circ}\text{C}$ )、使用频率(低: 日用水量 $<50\text{L}$ , 高: 日用水量 $\geq 50\text{L}$ )分别进行单因素分



析(表6),使用频率高以及采用高温加热的直饮水水质指数较低,提示水质较好,而是否使用KDF滤芯及净水能力不同的直饮水水质指数比较,差异无统计学意义。

| 表6 超滤直饮水机出水水质改善率影响因素的单因素分析 |          |            |                 |        |      |      |
|----------------------------|----------|------------|-----------------|--------|------|------|
| 因素                         | 分类       | 水样数<br>(n) | 水质综合指数          |        | t    | P    |
|                            |          |            | $\bar{x} \pm s$ | 改善率(%) |      |      |
| 净水工艺                       | 不使用KDF滤芯 | 20         | 0.371 ± 0.052   | 70.00  | 0.15 | 0.88 |
|                            | 使用KDF滤芯  | 30         | 0.375 ± 0.123   | 76.67  |      |      |
| 净水能力                       | 不合格      | 12         | 0.400 ± 0.046   | 50.00  | 1.03 | 0.31 |
|                            | 合格       | 38         | 0.366 ± 0.111   | 81.58  |      |      |
| 加热温度                       | 低        | 36         | 0.392 ± 0.105   | 66.67  | 2.20 | 0.03 |
|                            | 高        | 14         | 0.326 ± 0.068   | 92.86  |      |      |
| 使用频率                       | 低        | 27         | 0.413 ± 0.112   | 62.96  | 3.50 | 0.00 |
|                            | 高        | 23         | 0.327 ± 0.058   | 86.96  |      |      |

以直饮水水质是否改善为应变量,将净水工艺、净水能力、加热温度、使用频率4项设为自变量(赋值见表7),采用非条件logistic回归分析。结果显示,超滤直饮水机的净水能力与水质改善呈正相关,净水能力越强,水质越好;超滤直饮水机的使用频率与水质改善也呈正相关,经常使用的超滤直饮水机水质容易得到改善(表8)。

| 表7 变量赋值情况 |                   |
|-----------|-------------------|
| 变量名       | 赋值                |
| 直饮水水质     | 0=水质变差; 1=水质改善    |
| 净水工艺      | 0=不使用KDF; 1=使用KDF |
| 净水能力      | 0=不合格; 1=合格       |
| 加热温度      | 0=低; 1=高温         |
| 使用频率      | 0=低; 1=高          |

| 表8 超滤直饮水机出水水质改善影响因素的二分类logistic回归分析 |        |                |               |       |        |               |
|-------------------------------------|--------|----------------|---------------|-------|--------|---------------|
| 自变量                                 | b      | S <sub>b</sub> | Wald $\chi^2$ | P     | OR     | 95%CI         |
| 净水工艺                                | -1.730 | 0.992          | 3.039         | 0.081 | 0.177  | 0.025~1.240   |
| 净水能力                                | 2.686  | 1.121          | 5.736         | 0.017 | 14.670 | 1.629~132.129 |
| 加热温度                                | 2.019  | 1.229          | 2.697         | 0.101 | 7.529  | 0.677~83.761  |
| 使用频率                                | 2.367  | 0.987          | 5.753         | 0.016 | 10.668 | 1.542~73.822  |
| 常量                                  | -1.066 | 0.863          | 1.525         | 0.217 | 0.344  | —             |

3 讨论

本研究发现市政管网水经学校超滤直饮水机处理后,有74%的水样水质得到改善,26%的水样水质变差,该结果显示在实际使用中,超滤直饮水机的出水水质并没有全部得到改善。钟逸雯等<sup>[13]</sup>对广州越秀区189所学校直饮水监测点的调查显示,直饮水存在不同程度的菌落总数、亚硝酸盐及耗氧量超标;陆贞玉等<sup>[14]</sup>检测桂林市646份学校直饮水水样菌落总

数合格率仅84.80%;刘玉红等<sup>[15]</sup>调查发现,北京地区389件学校直饮水水样中78.66%存在微生物污染,都显示学校直饮水水质不容乐观。相比较于市政管网水,蒋兆峰等<sup>[16]</sup>调查发现镇江学校直饮水水样菌落总数合格率为63%,而管网水中菌落总数合格率为100%;王益萍等<sup>[17]</sup>调查发现管网水经净水器净化后的水中的菌落总数和锌都出现升高;周昭彦等<sup>[18]</sup>调查上海28户家庭净水器微生物污染状况,发现有20户(71.4%)净水器滤后水样中异养菌总数超过市政管网水;吴立明等<sup>[19]</sup>对248台家用净水器调查发现净化后水质有问题的占35.90%,部分水样耗氧量高于管网水。市政管网水经净水器净化后水质应得到改善,但上述文献和本研究结果都提示直饮水水质并非完全安全,在某些情况下反而比市政管网水更差。

多因素分析显示出水水质会受到多个环节的影响,学校超滤直饮水机的净水能力(耗氧量去除率)和出水水质改善呈正相关。因为超滤直饮水机的净化工艺主要是依靠物理吸附作用去除水中的有机物达到改善水质的目的,净化能力越强,水质改善越明显,净化能力越弱,水质改善越差甚至恶化。单因素分析同时也提示学校超滤直饮水机的使用频率和水质改善密切相关,学校超滤直饮水机日用水量过低(<50L/d)会显著增加水质恶化的风险。由于学校超滤直饮水机有其独特的使用特点:每年寒、暑假停止使用,每周周五下午至下周一早上近64h处于不使用状态。如果使用频率很少,用水量不足,一方面超滤直饮水机内的“死水”不能完全排出,另一方面设备内又不断形成“死水”。单因素分析还提示进行高温加热处理的水质较好,与水中的微生物得到有效控制有关,但在多因素分析中其与水质改善之间无显著相关性。此外,本研究中3份铅超标直饮水水样均来自使用KDF滤芯的直饮水机,与甘日华等<sup>[20]</sup>报告KDF滤材使用不当会引起水中锌超标的调查结果一致,提示使用KDF滤芯可能会影响水质。

为了进一步改善水质,针对学校超滤直饮水的水质特征提出以下建议:(1)提高直饮水机的净水能力。根据当地饮用水中存在的问题选用针对性净水工艺的净水设备;设备耗材(特别是滤芯)的选择上要使用质量可靠的产品;加强对设备净水能力的监控,确保及时更换滤芯。现有的管理主要是监控设备净化后的水质是否符合水质标准,缺乏对设备净水能力的监控。尽管超滤直饮水设备本身有额定净水量来控制设

备的净水能力,但是市政管网水的水质不同,每台设备的使用状况也不同。实际使用中会出现设备未达到额定净水量,而净水能力已不合格的现象。参照《生活饮用水水质处理器卫生安全与功能评价规范——一般水质处理器》(卫法监发[2001]161号)<sup>[6]</sup>的要求,以耗氧量去除率作为净水能力指标,定期监测设备的耗氧量去除率,只要设备的耗氧量去除率低于25%就要更换活性炭等滤芯。(2)科学管理以减少设备内“死水”对水质的影响。考虑学校直饮水设备间断性使用的特点及不同季节学生用水量的变化,首先,在直饮水机的设计安装上减少“死水”量,比如与管网水管线的距离尽量短,设备内的水箱体积不要盲目求大,根据实际用水量调整滤芯的大小等;其次,每日早晨要放空设备内的“死水”,在周一或开学前要额外多放水,还可以在设备内设计每日自动排空系统,使水质处于一个相对流动的状态;最后要提高设备的使用率,特别是在低温季节要结合日常饮水习惯,向学生提供合适温度的水,让学生方便使用也愿意使用。(3)加强对使用KDF滤芯的直饮水设备出水中锌的监控,此外还应进一步做好日常消毒及水质定期检测。

本研究通过水质指数评价法对某区学校超滤直饮水的水质进行评价,并对水质改善的影响因素进行了分析,由于采样量及检测项目受工作条件所限,对分析结果可能会带来影响,直饮水中其他消毒副产物浓度的变化及针对不同超滤组合净水工艺的水质监控指标还有待进一步研究。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

## 参考文献

- [1]徐庆.松浦大桥水源地主要污染物影响因素研究[J].农业环境与发展,2012(4): 89-94.
- [2]蒋增辉,曾次元,韩敏奇,等.黄浦江上游水源地水质污染分析与突发性水污染事件分级[J].净水技术,2013,32(4): 15-20.
- [3]王懿霖,毛洁,应亮,等.上海市集中式供水单位水质卫生学调查及相关对策探讨[J].上海预防医学,2009,21(12): 589-591.
- [4]应亮,毛洁,张怡琼,等.上海市2009—2012年生活饮用水管网水质监测分析[J].环境与职业医学,2013,30(12): 921-923.
- [5]姜永根,王桂敏,孙中兴.不同处理工艺的水厂水质分析研究[J].环境与职业医学,2013,30(5): 338-341.
- [6]中华人民共和国卫生部.生活饮用水水质处理器卫生安全与功能评价规范——一般水质处理器(卫法监发[2001]161号)[EB/OL].(2001-06-07)[2015-01-01].<http://www.gxwsjd.com.cn/law/content.aspx?id=1517&cid=360>.
- [7]中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会.GB 5749—2006 生活饮用水卫生标准[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [8]杨克敌.环境卫生学[M].5版.北京:人民卫生出版社,2004: 313-326.
- [9]陈仁杰,钱海雷,阚海东,等.水质评价综合指数法的研究进展[J].环境与职业医学,2009,26(6): 581-584.
- [10]袁东,陈仁杰,钱海雷,等.城市生活饮用水综合指数评价方法建立及其应用[J].环境与职业医学,2010,27(5): 257-260.
- [11]黄丽红,陈仁杰,吴遑,等.应用改良综合指数法评价管道直饮水水质[J].环境与职业医学,2011,28(3): 129-132.
- [12]中华人民共和国卫生部.GB/T 5750—2006 生活饮用水卫生标准检验方法[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [13]钟逸雯,丁珊,陈义忠.广州市越秀区2012年学校直饮水检测结果分析[J].中国学校卫生,2013,34(10): 1275-1276.
- [14]陆贞玉,付小凤,陈雯,等.2013年桂林市55所学校直饮水监测结果分析[J].中国校医,2014,28(8): 607-607.
- [15]刘玉红,张岷,崔永强,等.2006—2013年北京市昌平区中小学校管道直饮水微生物检测结果[J].职业与健康,2014,30(20): 2952-2954.
- [16]蒋兆峰,韦镇萍,韩颖,等.镇江市不同供水方式学校直饮水卫生质量检测结果分析[J].中国学校卫生,2014,35(7): 1111-1113.
- [17]王益萍,瞿百惠,陈海红,等.温岭市直饮水饮用安全性研究[J].中国卫生检验杂志,2013,23(12): 2679-2681.
- [18]周昭彦,胡必杰,鲍容,等.净水器微生物污染状况调查及影响因素分析[J].中华医院感染学杂志,2012,22(12): 2580-2582.
- [19]吴立明,苏怡,李竹.水质指数法在家用活性炭净水器出水水质评价中的应用[J].环境与职业医学,2013,30(2): 98-102.
- [20]甘日华,连晓文,谢晓萍,等.不同水质处理器净水效果的研究[J].中国公共卫生,2004,20(2): 193-195.

(收稿日期: 2015-01-21)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 张晶; 校对: 洪琪)