

上海市家用水质处理器出水细菌污染状况及影响因素

苏怡, 凌霄, 葛国良, 张昀, 许琰, 崔琳, 李竹, 吴立明

摘要: [目的] 了解上海市家用水质处理器出水细菌污染状况及其影响因素。[方法] 选取上海市 320 户居民, 对其水质处理器出水细菌污染状况进行调查, 并跟踪其季节变化。调查内容包括水质处理器的整机使用年限、部件构成、日常使用和维护情况等。检测指标包括菌落总数、大肠菌群、菌谱分析。分别采用秩和检验、 χ^2 检验和 logistic 回归模型对数据进行分析。[结果] 受调查家用水质处理器出水水质细菌污染现象比较普遍, 且污染水平随季节波动, 夏季细菌污染水平高于秋、冬季。同一季节中, 夏、秋两季反渗透处理装置的细菌污染水平高于一般水质处理器, 冬季两种水质处理器细菌污染水平差异无统计学意义。细菌总数 ≥ 20 cfu/mL 的水质处理器出水水样的菌谱分析结果显示, 检出铜绿假单胞菌、金黄色葡萄球菌和蜡样芽孢杆菌等致病菌和条件致病菌。影响使用中水质处理器出水细菌污染状况的因素, 主要有水质处理器是否配置紫外线处理单元、机器使用年限、滤芯使用时间和是否每天使用等。[结论] 水质处理器产品质量, 包括其组件设计、构成和使用说明的完善性, 以及用户是否正确使用与维护是制约家用水质处理器卫生安全性的关键因素。应加强对产品质量的监管, 普及家用水质处理器的正确使用和维护方法。

关键词: 水质处理器; 细菌污染; 菌落总数; 大肠菌群

Bacterial Contamination and Impact Factors of Treated Water from Household Water Purify System in Shanghai SU Yi, LING Xiao, GE Guo-liang, ZHANG Yun, XU Yan, CUI Lin, LI Zhu, WU Li-ming (Department of Health Assessment for Food, Water, and Commodity, Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200336, China). Address correspondence to WU Li-ming, E-mail: lmwu@scdc.sh.cn
• The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To investigate bacterial contamination and related impact factors of treated water from household water purify system in Shanghai. [Methods] A total of 320 households were selected in Shanghai and tap water treated by purify system were multiple sampled for seasonal microbial contamination determination including total bacterial count, coliform, and bacterial spectrum. The information on system life span, system components, daily usage, and maintenance were also collected. Rank sum test, χ^2 test, and logistic regression model were used for data analysis. [Results] Microbial contamination was common among the investigated water purifiers and varied by season. In summer, the contamination level was higher than that in autumn and winter. In the same season such as summer or autumn, the microbial contamination level of systems with reverse osmosis treatments was higher than that of the other systems; however, there was no significant difference found in winter. The results of bacterial spectrum analysis indicated pathogens or opportunistic pathogens, such as *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, and *Bacillus cereus*, in treated water samples with total bacterial counts over 20 cfu/mL. The main impact factors affecting bacterial contamination in treated water from water purify system were UV treatment unit, system life span, and filter life span and running frequency. [Conclusion] The quality of household water purify system's design, components, and instruction manual, as well as appropriate usage and maintenance, are the key elements of water safety. Quality supervision and promotion of proper usage and maintenance should be strengthened.

Key Words: water purify system; bacterial contamination; total bacterial count; coliform

近年来, 我国大陆饮用水资源污染持续加剧, 据 2010 年重点城市主要集中式饮用水源地水质监测结果显示, 达标水量仅占 76.5%^[1]。而目前自来水厂所

使用的传统水处理工艺难以彻底去除水源中的污染物, 加之输配水管网老化以及水箱、蓄水池二次污染, 更加剧了饮用水水质的恶化。对自来水进行深度处理的家用水质处理器市场近年来已得到蓬勃发展, 上海、广州等大城市的保有率已接近 15%^[2]。

世界卫生组织 (WHO) 在《饮水水质准则》中指出, 由微生物引起的传染病是与饮用水相关的最常见健康风险^[3]。而水质处理器因其结构特点、产品质量

[基金项目] 上海市卫生局科研课题 (编号: 2010182)

[作者简介] 苏怡 (1977—), 女, 学士, 主管医师; 研究方向: 消毒产品及涉水产品卫生学评价; E-mail: ysu@scdc.sh.cn

[通信作者] 吴立明副主任医师; E-mail: lmwu@scdc.sh.cn

[作者单位] 上海市疾病预防控制中心健康相关产品卫生评价科, 上海 200336

以及使用维护不当等问题,在改善水质的同时有可能成为新的微生物污染源。了解水质处理器使用过程中微生物的污染情况,对于保障居民饮水安全有十分重要的意义。本研究拟通过对上海市部分居民家庭所使用的家用水质处理器进行调查分析,探讨导致其微生物污染的关键因素,为保障居民饮用水的安全提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究对象

结合上海市不同水源地的供水范围,选择上海市 4 个行政区内的 9 个社区,由各社区居委会征集使用净水器(使用年限 1 个月以上)并志愿参与的住户作为调查对象,对其净水器的出水水质、使用状况、相关知识开展问卷调查和实验室检测。

1.2 方法

1.2.1 现场调查和采样 分别于 2011 年 7 月、10 月和 12 月份由经过统一培训的调查员入户开展调查,记录家用水质处理器的型号、净水工艺、日常使用情况等基本信息;并跟踪采集不同季节的出水水样,采样方法按照《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750—2006)^[4]执行。

1.2.2 检测指标、检测方法和评价依据 微生物检测指标主要包括细菌总数和总大肠菌群。实验室检验方法按照《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750—2006)^[4]执行。根据产品说明书和卫生部卫生监督中心网站的“卫生行政许可公众查询系统”来确认水质处理器主要水处理单元类型。以活性炭、超滤膜为主要水处理单元的一般水质处理器出水检测结果采用卫生部《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》(2001)^[5]的规范要求进行评价;以反渗透膜为主要水处理单元的反渗透装置出水检测结果按卫生部《生活饮用水水质处理器卫生安全与功能评价规范 反渗透处理装置》(2001)^[6]的规范要求进行评价。即一般水质处理器出水细菌总数 ≤ 100 cfu/mL、反渗透处理装置出水细菌总数 ≤ 20 cfu/mL 为合格,大肠菌群不得检出。同时,选取所有细菌总数 ≥ 20 cfu/mL 的水质处理器出水水样,使用法国生物梅里埃 VITEK 2Compact 细菌鉴定系统作进一步菌谱分析。

1.3 统计分析

数据采用 Excel 表格双人双录,用 SPSS 16.0 进

行统计分析。数据均为非正态分布,2 组独立数据采用 Mann-Whitney U 检验;3 组及以上成组数据间的比较采用 Friedman 秩和检验;检出率间的比较采用 Pearson χ^2 检验。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 基本情况

本次调查共对 320 户使用水质处理器的居民进行调查,其中一般水质处理器 289 台(占 90.3%),平均使用年限 2.83 年;反渗透处理装置 31 台(占 9.7%),平均使用年限 2.25 年。一般水质处理器中,248 台(占 85.8%)含活性炭单元,91 台(占 31.5%)配紫外线处理单元,101 台(占 34.9%)含超滤单元。

2.2 微生物污染情况

对水质处理器的出水水质进行跟踪采样,7、10、12 月份分别采集 320、296、293 台。3 次完整跟踪采样 289 台。同一类型的水质处理器不同季节出水中的细菌总数差异均有统计学意义($P<0.05$),7 月份较高,12 月份相对较低。对不同类型的水质处理器而言,7 月份和 10 月份反渗透处理装置的细菌总数、细菌总数合格率均高于一般水质处理器,2 种类型水质处理器的细菌污染差异有统计学意义($P<0.05$),12 月份细菌总数指标虽无差异,但细菌总数合格率仍有明显差异。大肠菌群指标一般水质处理器各次采样均有检出,但检出率较低,各次采样间的差别无统计学意义;反渗透装置大肠菌群指标 3 次采样则均未检出,见表 1。

2.3 优势菌种分析

每个季节均选取所有细菌总数 ≥ 20 cfu/mL 的水质处理器出水水样进行菌谱分析,7、10、12 月份分别检出菌株 118、49、34 株,见表 2。3 次采样共检出菌株 201 株,其中 G-杆菌 100 株、G+球菌 99 株、芽孢杆菌 2 株(均为蜡样芽孢杆菌)。检出的 G-杆菌中,菌株数量排前三位的菌属依次为丛毛单胞菌属、鞘氨醇单胞菌属和短波单胞菌属,3 次采样的检测结果排位相同。检出的 G+球菌中,菌株数量排前两位的菌属为库克菌属、颗粒链菌属,7 月和 10 月份的第三位是微球菌属,12 月份是葡萄球菌属。

检出率最高的菌株为:变异库克菌(*Kocuria varians*)、代尔夫特食酸菌(*Delftia acidovorans*)、苛养颗粒链菌(*Granulicatella elegans*)、少动鞘氨醇单胞菌(*Sphingomonas paucimobilis*)、克氏库克菌

(*Kocuria kristinae*)和缺陷短波单胞菌(*Brevundimonas diminuta*), 其检出数分别是: 29 株(占 14.4%)、24 株(占 11.9%)、24 株(占 11.9%)、17(占 8.5%)、14 株(占 7.0%)和 14 株(占 7.0%)。

表 1 家用水质处理器出水微生物污染情况
Table 1 Microorganism contamination in household water purify systems

月份 Month	指标 Item	一般水质处理器 General water purification	反渗透处理装置 Reverse osmsis	统计量值 Statistic value	P
7 月 (n=320) July	细菌总数 (Total bacterial count, cfu/mL)	6(1~43)	80(4~999)	U=2 246	0.001
	细菌总数合格率 (Qualification rate of total bacterial count, %)	83.0	29.0	$\chi^2=47.309$	<0.001
	大肠菌群检出率 (Detection rate of coliform, %)	2.8	0	$\chi^2=0.88$	0.350
10 月 (n=296) October	细菌总数 (Total bacterial count, cfu/mL)	4(4~18)	3(~240.5)	U=2 544.5	0.002
	细菌总数合格率 (Qualification rate of total bacterial count, %)	88.8	55.2	$\chi^2=23.772$	<0.001
	大肠菌群检出率 (Detection rate of coliform, %)	1.1	0	$\chi^2=0.329$	0.566
12 月 (n=293) December	细菌总数 (Total bacterial count, cfu/mL)	1(0~6.5)	2.5(0~32.5)	U=3 309.5	0.330
	细菌总数合格率 (Qualification rate of total bacterial count, %)	93.6	75.0	$\chi^2=11.631$	0.004
	大肠菌群检出率 (Detection rate of coliform, %)	0.4	0	$\chi^2=0.106$	0.740
P		<0.001	<0.001		

表 2 家用水质处理器出水各次采样病原菌检出情况
Table 2 Pathogens in water samples from household water purify systems

菌属 (Genus)	7 月 (July) (n=125)		10 月 (October) (n=74)		12 月 (December) (n=43)	
	株数	构成比 (Proportion, %)	株数	构成比 (Proportion, %)	株数	构成比 (Proportion, %)
G- 杆菌 (Gram negative)	58	49.2	23	46.9	19	55.9
丛毛单胞菌属 (Comamonas)	16	12.8	9	12.2	2	4.7
鞘氨醇单胞菌属 (Sphingomonas)	13	10.4	3	4.1	1	2.3
短波单胞菌属 (Brevundimona)	8	6.4	5	6.8	1	2.3
假单胞菌属 (Pseudomonas)	7	5.6	3	4.1	4	9.3
其它菌属 (Others)	14	11.2	3	4.1	11	25.6
G+ 球菌 (Gram positive)	58	49.2	26	53.1	15	44.1
库克菌属 (Kocuria)	25	20	14	18.9	7	16.3
颗粒链菌属 (Granulicatella)	10	8	9	12.2	6	14.0
微球菌属 (Micrococcus)	7	5.6	2	2.7	0	0
葡萄球菌属 (Staphylococcus)	6	4.8	1	1.4	1	2.3
其他菌属 (Others)	10	8	0	0	1	2.3
芽孢杆菌 (Bacillaceae)	2	1.6	0	0	0	0

2.4 细菌总数合格率的影响因素

以出水水质细菌总数合格指标为应变量, 可能的影响因素作为自变量进行 Binary logistic 多元分析。如表 3 所示, 影响一般水质处理器与反渗透处理装置出 水水质中细菌指标的因素有所不同。在考虑其他变量 作用的条件下, 滤芯更换频率超过 6 个月会导致细菌 超标的危险性增加 (OR=2.119), 每天使用净水器和 采用紫外线处理单元可以降低细菌超标的危险性, 其 他因素未发现统计学意义。

受样本量限制, 对影响反渗透处理装置出水细菌 总数的可能因素做单因素分析, 采用 Mann-Whitnay U 检验, 机器使用年限 ≤ 1 年和 > 1 年时, 差别均有统 计意义 (P<0.05), 定期更换滤芯可降低风险, 其他因 素(滤芯使用月份、每天使用净水器等)分析结果的 差异性均未发现有统计学意义 (P>0.05), 见表 4。

表 3 一般水质处理器出水水质细菌总数合格率可能影响 因素的 Binary logistic 多元分析

Table 3 The possible impact factors of total bacteria count by Binary logistic model in general household water purify systems

变量 (Variables)		P	OR	95%CI
使用年限 Years of use	≤ 1 年 / > 1 年 ≤ One year / > One year	0.276	1.552	0.704~3.422
滤芯使用月份 Months of filter cartridge use	≤ 6 个月 / > 6 个月 ≤ Six months / > Six months	0.043	2.119	1.025~4.382
每天使用 Daily use	是 / 否 Yes / No	0.021	4.137	1.239~13.807
活性炭处理单元 Activated carbon unit	有 / 无 Yes / No	0.309	1.698	0.613~4.703
紫外线处理单元 UV unit	有 / 无 Yes / No	0.029	2.614	1.1104~6.191
超滤处理单元 UF unit	有 / 无 Yes / No	0.439	1.360	0.624~2.967
常数项 Constant	—	0.000	—	—

表 4 反渗透处理装置出水水质细菌总数可能影响因素的单因素分析

Table 4 Univariate analysis for total bacterial count in reverse osmosis treatments

可能的影响因素 Possible impact factors		χ^2	<i>P</i>
使用年限 Years of use	≤ 1 年 / > 1 年 ≤ One year / > One year	15	0.006
滤芯使用月份 Months of filter cartridge use	≤ 6 个月 / > 6 个月 ≤ Six months / > Six months	113.5	0.823
定期更换滤膜 Regular replacement of membrane	是 / 否 Yes / No	15	0.006
每天使用 Daily use	是 / 否 Yes / No	36.5	0.706

3 讨论

水质处理器是深度净化生活饮用水的装置,从性能上可分为一般水质处理器、矿化水器和反渗透处理装置^[5]。一般水质处理器制备净水,多由粗滤、吸附和滤膜 3 个部分组成;反渗透处理装置制备纯水,多由粗滤、吸附、反渗透膜和后置活性炭组成,因产水速度较慢,多备有密闭式储水罐贮存出水以便于使用。粗滤单元多使用 PP 纤维,可截留大颗粒杂质;吸附,目前最常用的是活性炭,用于去除有机物;滤膜主要有微滤、纳滤、超滤和反渗透膜,可截留较小的颗粒物,超滤膜可截留部分细菌,反渗透膜可去除水中无机盐、有机物、胶质、细菌和病毒等,缺点是抗微生物的侵蚀能力较差;部分机型在反渗透膜单元后加装后置活性炭单元以改善口感。除基本组件外,部分机型为降低微生物污染可能加装消毒组件如紫外线处理单元、载银、载碘组件等。由于载银、载碘组件效果不明显,同时可能产生有害物质析出,近年来已经较少应用。

本研究发现,家用一般水质处理器和反渗透处理装置出水的细菌总数均随季节波动明显,夏季高、冬季低。各季节反渗透处理装置出水的细菌总数均高于一般水质处理器,与标准的要求^[5-6]及消费者的心理预期相悖。一般水质处理器出水水样各季节有大肠菌群检出,但检出率很低,反渗透处理装置均未检出,两者差别无统计学意义,提示原水受粪便污染可能性小。除大肠菌群外,菌谱分析结果显示,检出多种致病菌和条件致病菌,其中金黄色葡萄球菌^[7-8]、铜绿假单胞菌^[9]、蜡样芽孢杆菌^[10-12]等均有污染饮用水导致感染暴发的报道。检出的优势菌如代尔夫特食酸菌、少动鞘氨醇单胞菌等均为环境中广泛分布的条件致病菌,在临床标本如血液、尿液、创面以及环境监

测标本中也可以分离到,人体免疫功能正常时不致病,但抵抗力降低或生理功能异常时可导致疾病发生。

对一般水质处理器出水水质细菌总数合格率进行影响因素分析,在考虑到其他影响因素的前提下,主滤芯连续使用超过 6 个月会导致细菌超标的危险性增加($OR=2.119$);无紫外线处理单元的净水器和配紫外线处理单元的净水器相比,前者细菌超标的危险性增加($OR=2.614$),提示紫外线处理单元可作为有效的消毒组件;每天使用净水器则可降低细菌超标的危险性。影响一般水质处理器出水微生物污染水平的因素主要是(1)原水:水质处理器的原水目前多使用自来水,而以地表水作为水源的自来水溶解氧含量高,富营养有机物质多,水中微生物种类多、繁殖快,容易导致水质处理器的组件被微生物污染;(2)环境:各季节环境温、湿度改变和水中有机物水平不同,都可能影响细菌繁殖速度,导致进 waters 的细菌数量波动和净水器受污染部件细菌数量变化,从而影响出水水质;(3)水质处理器组件:活性炭处理单元吸附大量有机物后,细菌容易在活性炭的微孔中滋生并导致水中菌落总数超标;而使用消毒组件如紫外线处理单元等,可以在一定程度上降低微生物污染的风险;(4)日常使用和维护:在日常使用中,居民可能由于经济承受能力、相关知识的匮乏或是相关厂家在销售和安装时对信息告知不当等原因,未能正确对家用水质处理器进行使用和维护;部分居民并非每日使用净水,由于余氯量低,长时间储留在水质处理器中的水微生物增殖迅速;部分居民未能及时更换过滤组件,超过水质处理器的额定净水量还继续使用,也会导致出水细菌总数升高^[13]。有研究表明,水长时间滞留导致出水细菌数高时,增加通水量并不能降低细菌数,出水 3L 后水质细菌总数仍可达到 $10^3/\text{mL}$ ^[14],污染严重。

研究结果同时表明,反渗透处理装置不同使用年限和是否定期更换滤膜的水质处理器出水水质差异具有统计学意义($P<0.05$),而是否每天用水和滤芯使用超过 6 个月两个因素差异无统计学意义($P>0.05$)。影响其出水水质细菌总数合格率的,除上述影响一般水质处理器的出水水质因素外,还应考虑结构上的原因:反渗透处理装置的主要组件是反渗透膜,使用寿命多为 1~2 年。在前处理单元受到污染,未能正常工作的情况下,完整的滤膜仍可截留细菌,保证出水水质;而细菌以滤膜为载体借助浓水段的营养盐繁殖生长,在滤膜表面形成生物膜层,导致出

水间压差迅速增大,滤膜堵塞或穿透形成短路,会引起出水水质微生物污染水平升高^[15],高质量的滤膜和使用中滤膜及时更换对降低微生物污染风险有重要意义;反渗透膜后设置的后置活性炭和储水桶同样容易受到污染,反渗透装置出水在后置活性炭和储水桶中长期滞留可能导致细菌增殖,进而影响出水水质。

多种因素都可能对水质处理器出水的微生物污染水平产生影响,应从各个环节进行改善,以控制健康风险。对产品本身而言,应改善机器设计,消除结构死腔,适当添加有效杀菌组件和用水量提醒组件以降低微生物污染水平,注重产品的出厂质量的同时应进一步规范并完善产品使用说明书。对居民而言,应重视正确使用和维护方法,关注水质处理器的额定净水量,根据用水量和水滤芯使用时限及时更换滤芯;在每年的夏秋季节由于气候变化、用水量增加,建议更换活性炭滤芯;并采取放弃前段出水、煮沸后饮用等措施,以降低健康风险。同时,也建议相关部门制订家用水质处理器使用指南,指导产品的正确使用和维护。

(志谢:感谢复旦大学公共卫生学院付朝伟副教授在数据统计分析阶段的热诚支持!)

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献:

- [1] 环境保护部. 2010 年中国环境状况公报[EB/OL]. [2012-8-24]. <http://jcs.mep.gov.cn/hjzl/zkgb/2010zkgb/>.
- [2] 秦丽. 家用净水产品行业调查[J]. 电器, 2009(4): 40-42.
- [3] WHO. Guidelines for drinking-water quality, fourth edition[EB/OL]. [2012-8-24]. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/.
- [4] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5750.2—2006 生活饮用水标准检验方法. 水样的采集与保存[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [5] 中华人民共和国卫生部. 卫法监发(2001)161号附件4A 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[EB/OL]. [2012-8-24]. <http://wenku.baidu.com/view/cb2535d8ad51f01dc281f140.html>.
- [6] 中华人民共和国卫生部. 卫法监发(2001)161号附件4C 生活饮用水水质处理器卫生安全与功能评价规范——反渗透处理装置[EB/OL]. [2012-8-24]. <http://wenku.baidu.com/view/8c2adfl16edb6f1aff001f19.html>.
- [7] 黄文繁, 戴传文, 严毅, 等. 一起饮用水污染引起急性胃肠炎暴发的调查分析[J]. 华南预防医学, 2005, 31(1): 49-50.
- [8] 曹春红. 一起金黄色葡萄球菌 A 型肠毒素污染饮水机引起的中毒[J]. 预防医学文献信息, 2004, 10(1): 86-86.
- [9] 李瑞霞, 尹玉华, 王军, 等. 一起由铜绿假单胞杆菌污染饮水机引起的中毒[J]. 预防医学文献信息, 2003, 9(2): 187-188.
- [10] 吴瑞琪. 一起蜡样芽孢杆菌污染饮水机引起的中毒事件分析[J]. 中国学校卫生, 2008, 29(6): 564-564.
- [11] 蒋建明. 一起蜡样芽孢杆菌污染饮水引起食物中毒调查[J]. 浙江预防医学, 2009, 21(2): 38-39.
- [12] 丁建清, 丁占林, 张文生, 等. 一起因饮水机水嘴污染引发小学生群体性呕吐事件的调查[J]. 环境与健康杂志, 2011, 28(12): 1115-1116.
- [13] 李霞, 鲁波, 张伟, 等. 不同材质净水器对细菌去除功能的评价[J]. 环境与健康杂志, 2002, 19(5): 381-382.
- [14] 许景文. 关于家用净水器细菌污染的考察[J]. 净水技术, 1989, (3): 41-45.
- [15] 胡杰华, 訾洛阳, 姚翔, 等. 反渗透水处理系统的微生物污染与防治研究[J]. 现代商贸工业, 2008, 20(11): 373-374.

(收稿日期: 2012-09-11)

(英文编审: 金克峙; 编辑: 张晶; 校对: 徐新春)