

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.07.011

建筑淋浴软管中微生物再生与致病风险研究

秦雯, 李布林, 洪苗青, 肖任远, 黄道纳, 刘立凡, 王志红
(广东工业大学 土木与交通工程学院, 广东 广州 510006)

摘要: 为探究淋浴软管中微生物再生所带来的潜在致病风险,针对细菌总数和机会病原体(O157大肠杆菌和总大肠杆菌),研究了淋浴软管内壁微生物再生情况、淋浴产生气溶胶中微生物特征以及软管内壁细菌总数和淋浴水质的相关性。结果表明:不同材质和不同使用年限的淋浴软管内壁均存在细菌再生和机会病原体出现的现象,且软管中细菌总数的分布规律为出水处>中部>进水处;淋浴过程软管中机会病原体通过气溶胶释放,气溶胶中细菌总数与淋浴软管内壁细菌总数呈正相关关系(进水处、中部、出水处的 R^2 分别为0.992、0.885和0.886);采用PVC软管,淋浴间内距离地面高度为0.7 m处气溶胶中细菌总数是高度为1.6 m处的1.6倍;可同化有机碳(AOC)和氨氮是影响淋浴软管中细菌滋生的限制性因素,淋浴软管细菌总数与AOC及氨氮浓度呈正相关关系(进水处、中部、出水处前者的 R^2 分别为0.988、0.968和0.993,后者的 R^2 分别为0.999、0.921和0.950)。

关键词: 淋浴软管; 微生物再生; 细菌总数; 机会病原体; 气溶胶

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)07-0069-07

Microbial Re-growth and Disease Risk in Building Shower Hoses

QIN Wen, LI Bu-lin, HONG Miao-qing, XIAO Ren-yuan, HUANG Dao-na,
LIU Li-fan, WANG Zhi-hong

(School of Civil and Transportation Engineering, Guangdong University of Technology,
Guangzhou 510006, China)

Abstract: To explore the potential disease risks caused by microbial re-growth in shower hoses, according to the total number of bacteria and opportunistic pathogens (O157 *Escherichia coli* and total coliforms), this paper investigated the re-growth of microbial in the inner wall of shower hoses, the microbial characteristics in aerosols and the correlation between biomass in shower hoses and the shower water quality. Bacterial re-growth and opportunistic pathogens appeared in the inner wall of shower hoses with different materials and service life, and the total number of bacteria distributed in hoses in descending order was outlet, middle and inlet. The opportunistic pathogens in hoses were released through aerosols during the shower, and the total number of bacteria in aerosols was positively correlated with it in the inner wall of shower hoses (R^2 at inlet, middle and outlet were 0.992, 0.885 and 0.886 respectively). With PVC hose, when the height of 0.7 m from the ground in the shower room, the total number of bacteria in aerosols was 1.6 times of that when the height was 1.6 m. Assimilable organic carbon (AOC) and

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(52000037); 广州市基础与应用基础研究项目(202201010208); 广东省基础与应用基础研究基金资助项目(2022A1515011757、2021A1515012062)

通信作者: 刘立凡 E-mail: liulifangd@163.com

ammonia nitrogen were the limiting factors affecting the bacterial growth in shower hoses, and the total number of bacteria in shower hoses was positively correlated with the concentration of AOC and ammonia nitrogen (R^2 of the former at inlet, middle and outlet were 0.988, 0.968 and 0.993 respectively; R^2 of the latter were 0.999, 0.921 and 0.950 respectively).

Key words: shower hose; microbial re-growth; the total number of bacteria; opportunistic pathogen; aerosol

由于淋浴用水以及产生的气溶胶会在淋浴过程中与人体(皮肤、毛发等)直接接触,有可能通过泪腺、耳道等进入人的身体,因而淋浴过程被认为是机会病原体感染的一种途径^[1-4]。在建筑生活给排水管道系统中,淋浴软管独特地暴露在有利于细菌生长的温水环境中^[5];软管中的水停滞时间很长(23.8 h/d)^[6];软管为柔性聚合物材料,如聚氯乙烯(PVC)、硅胶及三元乙丙橡胶(EPDM),其中,PVC和硅胶是市面上使用最广泛的软管材料,在不同水质条件下会释放出大量可生物同化有机碳(AOC),释放量远远超过了其他用于建筑给水管道的硬管材料^[7];以上条件均会导致淋浴软管中细菌的繁殖^[8-9]。淋浴软管是建筑物安全供水的“最后一米”,若软管中微生物再生并伴随着机会病原体的存在,这将对人体健康造成危害。

机会病原体,包括肺炎军团菌、鸟分枝杆菌、铜绿假单胞菌、O157大肠杆菌等,可以通过感染用户的肺部、肠道、眼睛或开放性伤口而引起肺炎样症状或其他感染^[10-12]。吴俊奇等人^[2]在患有非结核分枝杆菌肺病患者的淋浴气溶胶中发现了分枝杆菌;Proctor等^[9]在对欧美、南非等地区的淋浴软管内部生物膜开展研究时发现了军团菌、分枝杆菌、假单胞菌的存在。然而,在中国普遍采用氯消毒,给排水管道在余氯持续消毒的条件下,水中细菌总数和多样性降低^[13-14],淋浴软管中是否仍存在微生物再生现象和机会病原体威胁着人体健康有待澄清,因此开展对我国建筑内部淋浴软管中微生物再生规律及机会病原体比例的研究至关重要。笔者以O157大肠杆菌和总大肠杆菌为典型的机会病原体,研究了国内具有淋浴设备家庭中淋浴软管内部细菌总数和病原体的分布规律,探究了淋浴时气溶胶中病原体与淋浴软管内部微生物再生的相关性,并分析了淋浴用水水质对淋浴软管内细菌总数的影响,探究淋浴软管中微生物再生所带来的潜在致病风险。

1 材料与方 法

1.1 样品采集与保存

淋浴软管和相应的淋浴水样分别来自广州市番禺区(A家庭)、黄埔区(B家庭和C家庭)三个具备淋浴设备的家庭,检测前软管样品和水样放置于4℃冰箱保存,保存时间不超过2 d。A家庭的淋浴软管为PVC材质,使用了18个月;B家庭的软管为硅胶材质,使用了50个月;C家庭的软管为硅胶材质,使用了42个月。气溶胶样品取自上述A、B、C三个家庭以及广州市某大学宿舍(D宿舍,无淋浴软管)独立淋浴间。

1.2 淋浴软管内部细菌悬浮液的制备

在每根软管的进水处、中部和出水处3个位置各剪下一块1 cm×1 cm的软管样品,分别置于50 mL无菌离心管中。然后在离心管中加入5 mL无菌蒸馏水和20颗灭菌玻璃小球后,用高能量超声探头超声60 s(间隔设置,超声1 s,间隔1 s),立即取离心管中上层清液进行细菌总数和机会病原体的检测。

1.3 淋浴过程中气溶胶样品的采集

淋浴前分别将3个细菌总数检测平板、3个O157大肠杆菌显色平板的平皿盖子打开,在淋浴间内距离地面高度为1.6 m的架子上放置15 min后,将平皿盖子盖上,获得气溶胶的空白样品。淋浴开始时分别将3个细菌总数检测平板、3个O157大肠杆菌显色平板的平皿盖子打开,置于高度为1.6 m的架子上,淋浴15 min后,关闭淋浴花洒,将平皿盖子盖上后完成淋浴15 min的气溶胶样品的采集。此外,A家庭中还采集了高度为0.7 m的气溶胶样品,在距离地面高度为0.7 m的架子上放置细菌总数检测平板和大肠杆菌显色平板,其他条件与高度为1.6 m时相同。

1.4 细菌总数和机会病原体的检测方法

细菌总数采用广东环凯生物科技有限公司生产的一次性平板计数琼脂培养基平板进行检测,接

种后的平板在 $(36\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 恒温条件下培养 48 h 后计数。O157 大肠杆菌和大肠杆菌总数采用广东环凯生物科技有限公司生产的大肠杆菌 O157 显色琼脂平板进行检测,接种后的平板在 $(36\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 恒温条件下培养 18~24 h 后计数,O157 大肠杆菌呈紫红色,其他大肠杆菌呈蓝绿色,其他细菌无显色。软管内部生物膜样品按照 1.2 节的方法先制备为细菌悬浮液后,取 250 μL 均匀涂布在平板培养基上进行培养计数;气溶胶样品按照 1.3 节的过程采集,然后立即送至实验室培养箱开始培养计数。平板直径均为 9 cm,每个样品做 3 组平行。

1.5 水质检测方法

氨氮根据《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750—2006)采用纳氏试剂分光光度法检测;AOC 根据文献方法^[15]采用多维全景流式细胞仪检测;总有机碳(TOC)采用总有机碳分析仪检测。

2 结果与讨论

2.1 淋浴软管内微生物再生情况

A、B 和 C 家庭淋浴软管进水处、中部及出水处的内壁形态如图 1 所示。从表观状态来看,A 家庭的 PVC 软管仅使用 18 个月,内壁较光滑,但是肉眼可见一些淡黄色的沉积物。B 家庭的硅胶软管使用时间较长(50 个月),在进水处已经出现发黄、变形的老化现象,而且在进水处、中部和出水处均存在肉眼可见的乳白色沉积物。C 家庭同样是硅胶管,使用时间为 42 个月,在进水处和出水处均已经出现老化现象,不同管段位置也出现了白色沉积物。结果表明,即使在良好的水质条件(自来水)下,淋浴软管在温水环境中仍然存在污染现象。为进一步判断软管内部沉积物是否是再生的细菌甚至致病细菌,对不同家庭软管的不同管段位置进行了细菌总数和机会病原体的检测。

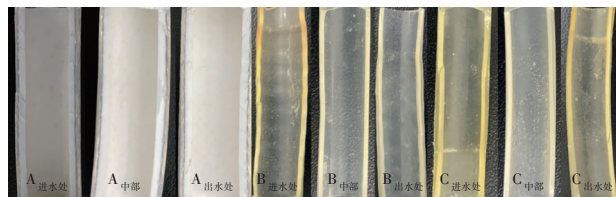


图 1 不同家庭淋浴软管进水处、中部及出水处的内壁形态

Fig.1 Inner wall shape at the inlet, middle and outlet of shower hoses in different households

2.1.1 淋浴软管内细菌总数

A、B 和 C 家庭淋浴软管进水处、中部及出水处的细菌总数如图 2 所示。可知,3 组家庭的软管内部均存在细菌再生现象,其中,PVC 材质的软管(A 家庭)在较短的使用时间(18 个月)内滋生了最多的细菌,在软管进水处、中部和出水处的细菌总数分别为 $(5.4\pm 0.1)\times 10^7$ 、 $(1.9\pm 0.5)\times 10^8$ 和 $(2.5\pm 0.5)\times 10^8$ CFU/ m^2 ;而硅胶材质的软管(B、C 家庭)在使用时间超过 42 个月的情况下,滋生的细菌总数远低于 PVC 材质的软管。Proctor 等^[7]发现软管使用时间和软管材质均是影响细菌再生的重要因素:PVC 材质软管和硅胶材质软管内部滋生的细菌总数随着使用时间(1、2、8 个月)增加而增加;而当使用时间相同时,PVC 材质在温水环境下释放的 TOC 远高于硅胶材质,PVC 软管内部的细菌总数也大于硅胶软管。这正解释了本研究中 A 家庭与 B、C 家庭淋浴软管内部滋生细菌总数之间存在差异的原因。此外,A、B、C 家庭 3 组软管中生物量的分布规律是一致的,按单位面积上细菌总数由大到小的排列顺序:出水处>中部>进水处。这可能是由于淋浴时不同管段位置的流体流态不同,打开淋浴阀门时软管进水处受到的水流冲刷最强;而且非淋浴时温水冷却过程中不同管段位置的水温变化情况不同,关闭淋浴阀门后温水充满软管,在逐渐冷却的过程中,异重流作用导致软管出水处(位置最高)的水温较高,因此,软管出水处更适宜细菌滋生。

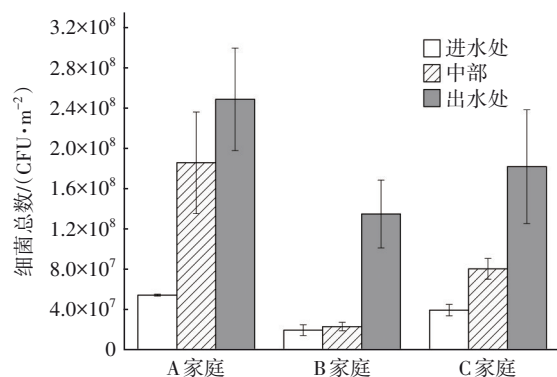


图 2 不同家庭淋浴软管进水处、中部及出水处细菌总数

Fig.2 Total number of bacteria at the inlet, middle and outlet of shower hoses in different households

2.1.2 淋浴软管内机会病原体

A、B 和 C 家庭淋浴软管不同管段位置的大肠杆菌分布情况如图 3 所示。可知,A 和 C 家庭的软管中

均存在 O157 大肠杆菌,其中,A 家庭 PVC 材质软管的不同管段位置都分布了 O157 大肠杆菌,且含量较高(数量级达 10^6 CFU/m²),软管中部的总大肠杆菌数量高达 $(2.0 \pm 0.3) \times 10^7$ CFU/m²;C 家庭硅胶材质软管的中部含有 $(5.0 \pm 0.0) \times 10^5$ CFU/m² 的 O157 大肠杆菌。B 和 C 家庭的软管材质相同,使用时间不同,然而 B 家庭的硅胶材质软管中却不存在 O157 大肠杆菌,这表明机会病原体的存在与淋浴软管的使用时间无关。而 A 家庭的 PVC 材质软管中细菌总数最高,其机会病原体(O157 大肠杆菌)的含量也最高,说明 PVC 软管材质更易导致细菌滋生,并存在较高的致病风险。

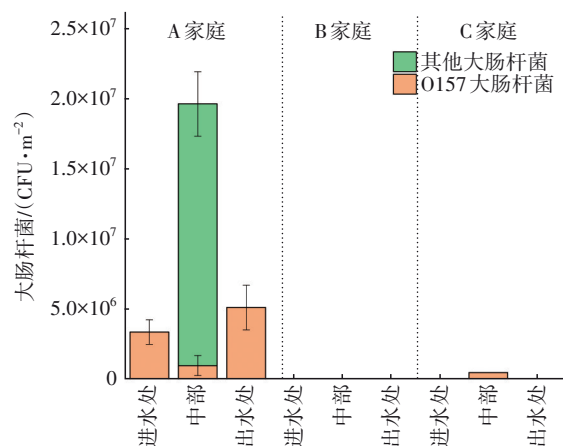


图3 不同家庭淋浴软管进水处、中部及出水处机会病原体的分布

Fig.3 Opportunistic pathogens at the inlet, middle and outlet of shower hoses in different households

2.2 淋浴气溶胶中微生物特征

2.2.1 气溶胶中细菌总数

A、B、C 家庭和 D 宿舍在淋浴 15 min 时产生的气溶胶中细菌总数如图 4 所示。可知,在未进行淋浴时,15 min 内平板培养基在距离地面高度为 1.6 m

处收集到的空气气溶胶(空白)中细菌总数较低,仅在 $(1.6 \pm 0.0) \times 10^2 \sim (1.4 \pm 0.8) \times 10^3$ CFU/m² 范围。但是,当淋浴持续 15 min 时,在相同高度收集到的气溶胶中细菌总数的数量级可达到 10^4 CFU/m²。其中,在 $H=1.6$ m 条件下,A 家庭淋浴期间气溶胶中细菌总数最高,达到 $(8.0 \pm 1.1) \times 10^4$ CFU/m²,分别是 B、C 家庭和 D 宿舍的 10.6、1.5 和 4.1 倍。在 $H=0.7$ m 条件下,A 家庭淋浴期间气溶胶中细菌总数高达 $(1.3 \pm 0.1) \times 10^5$ CFU/m²,是 $H=1.6$ m 条件下的 1.6 倍,表明不同高度下气溶胶中细菌分布不同,高度越低,细菌总数越高。因此,对于个子较矮的人或小孩、坐着洗浴的人,淋浴时从口鼻处吸入的气溶胶中所含细菌量更大,则患病的风险亦增加。

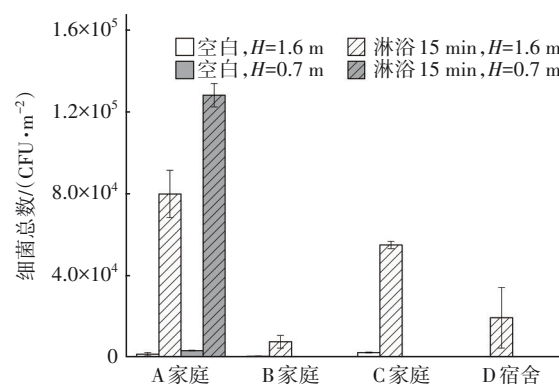


图4 淋浴时气溶胶中的细菌总数

Fig.4 Total number of bacteria in aerosols during the shower

由 2.1.1 节可知 A 家庭淋浴软管中细菌总数也是最高的,推测淋浴时产生气溶胶中的细菌总数与软管中细菌总数有关,因此通过对 3 个家庭淋浴时产生气溶胶中的细菌总数和不同管段位置的软管细菌总数分别进行线性模拟(见图 5),进一步对两者进行相关性分析。

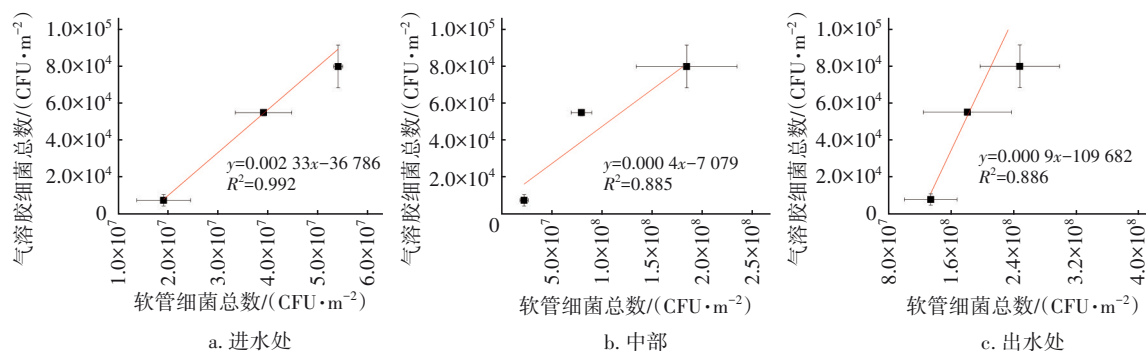


图5 气溶胶细菌总数和软管细菌总数的相关性

Fig.5 Correlation of the total number of bacteria in aerosols and in shower hoses

结果显示,气溶胶中细菌总数和淋浴软管进水处、中部和出水处的细菌总数呈线性关系($R^2=0.992$ 、 0.885 和 0.886),表明淋浴产生气溶胶中的细菌总数与软管中细菌总数呈显著的正相关关系。

2.2.2 气溶胶中机会病原体

气溶胶中的机会病原体见图6。

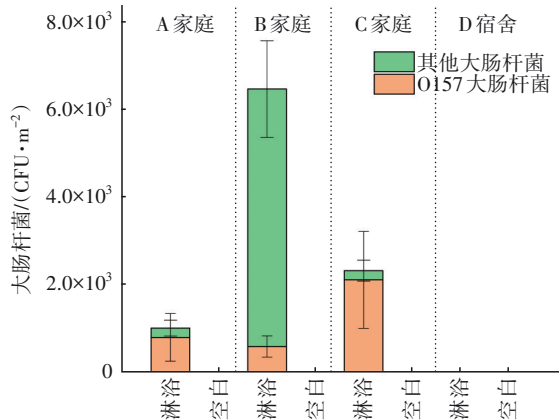


图6 气溶胶中的机会病原体

Fig.6 Opportunistic pathogens in aerosols

由图6可知,D宿舍不存在大肠杆菌,而A、B、C家庭淋浴气溶胶中的O157大肠杆菌分别达到 $(7.9\pm5.5)\times10^2$ 、 $(5.8\pm2.4)\times10^2$ 和 $(2.1\pm1.1)\times10^3$ CFU/m³,分别占总大肠杆菌数量的77.0%、8.9%和90.9%,分别占气溶胶中细菌总数的1.0%、7.7%和

3.8%。虽然A、C家庭和D宿舍淋浴气溶胶中细菌总数较高,但是其中O157大肠杆菌的比例较低(均低于4%),致病风险较低;虽然B家庭淋浴气溶胶中细菌总数低,但是O157大肠杆菌的比例却较高,其致病风险亦较高。

此外,检测了各组家庭淋浴水中细菌总数、O157大肠杆菌和总大肠杆菌,结果显示淋浴水中各项细菌指标均为0。综合分析软管内部机会病原体的分布(见图3)、气溶胶中机会病原体的释放数量(见图6)以及淋浴水中病原体数量,表明在淋浴过程中软管内的机会病原体是通过气溶胶释放出来的,而非通过淋浴水流出,而且机会病原体的释放具有随机性,因此人们在淋浴过程中无法避免地从口鼻吸入含有一定数量机会病原体的气溶胶。

2.3 水质与淋浴软管细菌总数的相关性分析

微生物再生与所在环境中营养物质的浓度有关,尤其是碳源和氮源。水质指标中的TOC和AOC可有效指征淋浴水中的有机碳源;氨氮则指征淋浴水中的氮源。因此,为进一步考察淋浴软管内壁细菌总数与淋浴水质中营养物质的关系,通过对淋浴水质指标(AOC、TOC和氨氮)和不同家庭淋浴软管细菌总数分别进行线性模拟(见图7~9),分析淋浴软管细菌总数与淋浴水质的相关性。

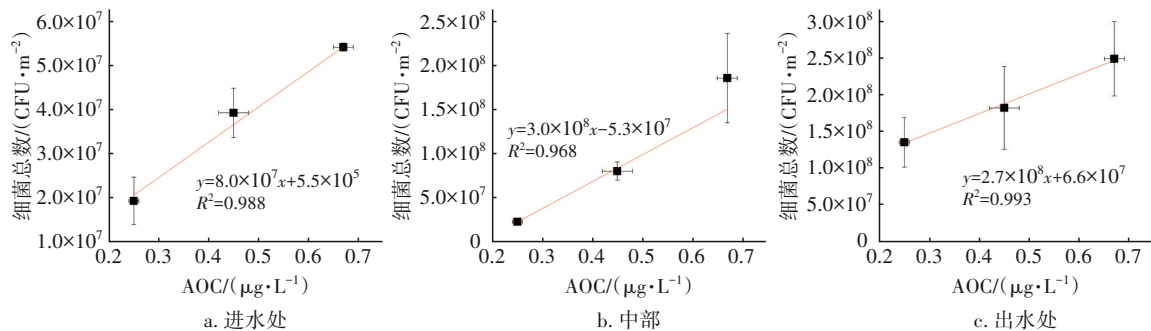


图7 淋浴软管内细菌总数和淋浴水中AOC的相关性

Fig.7 Correlation between the total number of bacteria in shower hoses and AOC in shower water

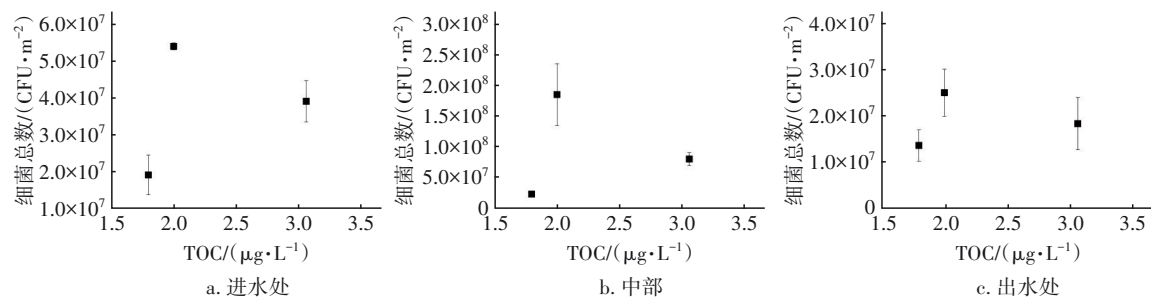


图8 淋浴软管内细菌总数和淋浴水中TOC的相关性

Fig.8 Correlation between the total number of bacteria in shower hoses and TOC in shower water

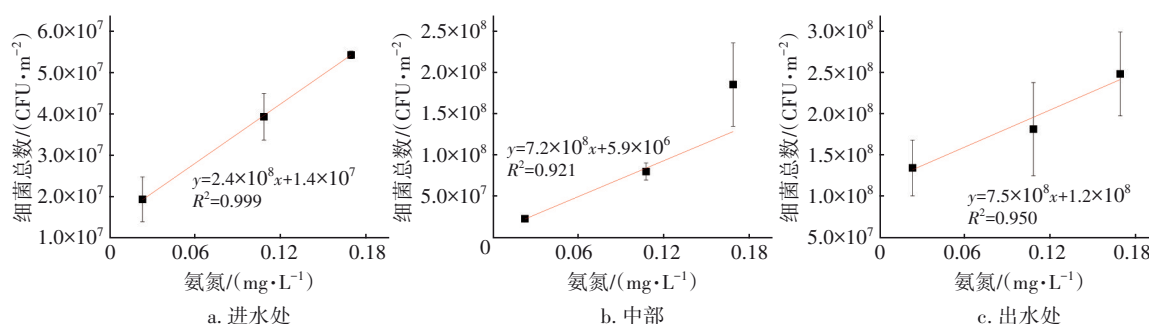


图9 淋浴软管内细菌总数和淋浴水中氨氮的相关性

Fig.9 Correlation between the total number of bacteria in shower hoses and ammonia nitrogen in shower water

结果显示,淋浴软管细菌总数与淋浴水中AOC和氨氮浓度均呈正相关关系,其中进水处、中部、出水处前者的 R^2 分别为0.988、0.968和0.993,后者的 R^2 分别为0.999、0.921和0.950;而TOC与淋浴软管细菌总数无显著相关性。这是因为自来水中虽然存在一定浓度TOC,但是其中多为微生物难降解的有机物质,所以TOC浓度与软管内细菌总数无关。而AOC和氨氮分别是细菌的有机碳源和氮源,细菌利用它们进行同化作用而得以增殖,因此,AOC和氨氮为淋浴软管中细菌滋生的限制性因素。

3 结论

① 不同材质和不同使用年限的淋浴软管内壁均存在细菌再生和机会病原体出现的现象,且软管中细菌总数的分布规律一致,按单位面积上细菌总数由大到小的排列顺序为出水处>中部>进水处。

② 在淋浴过程中软管内的机会病原体通过气溶胶释放出来,气溶胶中细菌总数与淋浴软管内壁细菌总数呈正相关关系,进水处、中部、出水处的 R^2 分别为0.992、0.885和0.886。采用PVC软管时,不同高度下气溶胶中细菌分布不同,距离地面高度为0.7 m处气溶胶的细菌总数是高度为1.6 m处的1.6倍。

③ AOC和氨氮是影响淋浴软管中细菌滋生的限制性因素,淋浴软管内细菌总数与水中AOC以及氨氮浓度呈正相关关系,其中进水处、中部、出水处前者的 R^2 分别为0.988、0.968和0.993,后者的 R^2 分别为0.999、0.921和0.950。淋浴软管内壁的细菌会增加淋浴过程中机会病原体释放的机会,提高致病风险。

参考文献:

[1] FEAZEL L M, BAUMGARTNER L K, PETERSON K L,

et al. Opportunistic pathogens enriched in showerhead biofilms[J]. Proceedings of the National Academy of the United States of America, 2009, 106 (38): 16393–16399.

[2] 吴俊奇, 李琛, 傅文华, 等. 浅谈给水系统中非结核分枝杆菌与用水安全问题[J]. 给水排水, 2016, 42 (9): 132–139.

WU Junqi, LI Chen, FU Wenhua, *et al.* A discussion about non-tuberculosis mycobacteria and water supply safety in water supply system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(9): 132–139 (in Chinese).

[3] 盛东方, 李伟英, 李悦, 等. 建筑供水系统典型条件致病菌存在水平及影响因素[J]. 净水技术, 2019, 38 (12): 46–54.

SHENG Dongfang, LI Weiying, LI Yue, *et al.* Existing level and influencing factors of typical opportunistic pathogens in building water supply system [J]. Water Purification Technology, 2019, 38 (12): 46–54 (in Chinese).

[4] 郭宝菱, 张丽蓉, 姚海燕, 等. 漳州市公共场所淋浴水嗜肺军团菌污染状况调查[J]. 热带医学杂志, 2019, 19(4): 502–505.

GUO Baoxian, ZHANG Lirong, YAO Haiyan, *et al.* Investigation of *Legionella pneumophila* contamination in bath water of public places in Zhangzhou [J]. Journal of Tropical Medicine, 2019, 19 (4): 502–505 (in Chinese).

[5] RHOADS W J, PRUDEN A, EDWARDS M A. Convective mixing in distal pipes exacerbates *Legionella pneumophila* growth in hot water plumbing [J]. Pathogens, 2016, 5(1): 29–44.

[6] DEOREO W B, MAYER P W, DZIEGIELEWSKI B, *et al.* Residential End Uses of Water [M]. 4th ed. Denver: Water Research Foundation, 2016.

[7] PROCTOR C R, GACHTER M, KOTZSCH S, *et al.*

- Biofilms in shower hoses-choice of pipe material influences bacterial growth and communities [J]. Environmental Science: Water Research & Technology, 2016, 2(4): 670-682.
- [8] 沈怡. 微污染物对饮用水管网中微生物群落和条件致病菌的影响[D]. 苏州:苏州科技大学, 2017.
- SHEN Yi. Effect of Micro-pollutants on Microbial Community and Pathogenic Bacteria in Drinking Water Network [D]. Suzhou: Suzhou University of Science and Technology, 2017 (in Chinese).
- [9] PROCTOR C R, REIMANN M, VRIENS B, *et al.* Biofilms in shower hoses [J]. Water Research, 2018, 131: 274-286.
- [10] FALKINHAM J, HILBORN E D, ARDUINO M, *et al.* Epidemiology and ecology of opportunistic premise plumbing pathogens: *Legionella pneumophila*, *Mycobacterium avium*, and *Pseudomonas aeruginosa* [J]. Environmental Health Perspectives, 2015, 123 (8): 749-758.
- [11] 张艺馨. 建筑生活热水中军团菌和非结核分枝杆菌的研究[D]. 昆明:昆明理工大学, 2017.
- ZHANG Yixin. The Research of *Legionella* and Non-tuberculous *Mycobacteria* in Building Domestic Hot Water [D]. Kunming: Kunming University of Science & Technology, 2017 (in Chinese).
- [12] 徐俊, 李达, 郭勇峰, 等. 北京市西城区淋浴热水中嗜肺军团菌污染状况调查[J]. 环境卫生学杂志, 2018, 8(3): 243-246.
- XU Jun, LI Da, Guo Yongfeng, *et al.* The contamination of *Legionella* in the hot water of shower system in Xicheng District of Beijing [J]. Journal of Environmental Hygiene, 2018, 8 (3): 243-246 (in Chinese).
- [13] PREST E I, HAMMES F, VAN LOOSDRECHT M C M, *et al.* Biological stability of drinking water: controlling factors, methods, and challenges [J]. Frontiers in Microbiology, 2016, 7(45): 1-24.
- [14] BAUTISTA Q M, SCHROEDER J L, SEVILLANO-RIVERA M C, *et al.* Emerging investigators series: microbial communities in full-scale drinking water distribution systems—a meta-analysis [J]. Environmental Science: Water Research & Technology, 2016, 2(4): 631-644.
- [15] HAMMES F, EGLI T. New method for assimilable organic carbon determination using flow-cytometric enumeration and a natural microbial consortium as inoculum [J]. Environmental Science and Technology, 2005, 39(9): 3289-3294.

作者简介:秦雯(1988-),女,广西桂林人,博士,讲师,主要研究方向为水污染控制。

E-mail: qinwenhit@163.com

收稿日期:2020-12-18

修回日期:2021-01-04

(编辑:沈靖怡)

全面推进水生态环境保护 and 修复
打造水清岸绿、河畅湖美的美丽家园