

气载致病微生物和空气消毒技术

宋璐^{1,2}, 王灿^{1,2}, 孟格^{1,2}, 蒋冠羽^{1,2}, 马金标^{1,2}, 李云飞^{1,2},
刘宁^{1,2}, 王星³, 刘杰⁴, 王志达⁵, 张铭健⁶, 曹国庆⁶

(1. 天津大学环境科学与工程学院, 天津 300350; 2. 天津市室内环境空气质量控制重点实验室, 天津 300092; 3. 天津市海河医院, 天津 300350; 4. 天津市儿童医院, 天津 300074; 5. 天津医科大学朱宪彝纪念医院, 天津 300070; 6. 中国建筑科学研究院有限公司, 北京 100013)

摘要: 近年来全球频繁暴发通过空气传播的传染疾病,造成疫情的大范围传播,给人类健康带来严重威胁。空气中的病毒和细菌属于气载微生物,可以在空气中存活并进行传播。这种传播方式相较于水、土壤等其他媒介的传播,具有传播速度快、影响范围广的特点,极易引起社会恐慌。介绍了气载致病微生物及其危害,阐明了气载致病微生物的存在形式和传播途径,归纳总结了国内外在空气微生物控制方面的相关标准,并系统介绍了各类空气消毒技术和净化设备的特点和应用情况。

关键词: 气载致病微生物; 生物气溶胶; 空气消毒

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)06-0037-08

Airborne Pathogenic Microorganisms and Air Disinfection Technologies

SONG Lu^{1,2}, WANG Can^{1,2}, MENG Ge^{1,2}, JIANG Guan-yu^{1,2}, MA Jin-biao^{1,2},
LI Yun-fei^{1,2}, LIU Ning^{1,2}, WANG Xing³, LIU Jie⁴, WANG Zhi-da⁵,
ZHANG Ming-jian⁶, CAO Guo-qing⁶

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300350, China; 2. Tianjin Key Lab of Indoor Air Environmental Quality Control, Tianjin 300092, China; 3. Tianjin Haihe Hospital, Tianjin 300350, China; 4. Tianjin Children's Hospital, Tianjin 300074, China; 5. Tianjin Medical University Chu Hsien-I Memorial Hospital, Tianjin 300070, China; 6. China Academy of Building Research, Beijing 100013, China)

Abstract: In recent years, frequent outbreaks of air borne infectious diseases have caused widespread transmission of the epidemic and brought serious threats to human health. Airborne viruses and bacteria are airborne microorganisms that can survive and spread in the air. Compared with other media, such as water and soil, this type of transmission has the characteristics of rapid transmission and wide influence, and it is easy to cause social panic. This paper introduced the characteristics, harm and the transmission routes and ways of airborne pathogenic microorganisms, summarized the relevant standards of air microorganism control at home and abroad. Furthermore, the characteristics and application of various air disinfection techniques and purification equipment were illustrated as well.

Key words: airborne pathogenic microorganisms; bioaerosol; air disinfection

近年来全球频繁暴发通过空气传播的传染疾病 (airborne infection), 例如 2003 年发生的非典, 2009 年甲型 H1N1 流感, 2013 年中东呼吸综合征 (MERS) 以及 2019 年 12 月暴发的新型冠状病毒感染的肺炎疫情。在这些传染疾病的感染传播过程中, 病毒或细菌以气载微生物的形式通过空气进行传播, 具有传播速度快、影响范围广的特点, 极易引起社会恐慌。因此, 揭示气载致病微生物的来源及传播途径, 研发高效的空气消毒技术势在必行。

1 气载致病微生物及其传播方式

1.1 气载致病微生物及其危害

每种传染病都由特异的病原体引起, 包括病毒、细菌、真菌、寄生虫等。其中, 呼吸道传染病具有传播速度快、流行范围广、传播途径多、传染性强、人群普遍易感等特点, 是传染病中影响较大和防护难度较高的一类。呼吸道传染病通常是相关的病原体以灰尘、飞沫和生物气溶胶的形式进行传播扩散, 这些通过空气进行感染传播的致病微生物统称为气载致病微生物。其中, 医院、养殖场所、污水处理厂 (曝气池) 等是气载致病微生物的主要产生区域。

气载致病微生物对人体的影响与呼吸道的结构有密切的关系。气载致病微生物进入人体后, 可能在鼻、咽、喉、气管、支气管和肺泡等部位被阻留, 进而引起感染。一般来说, 空气动力学当量直径在 $2.5\ \mu\text{m}$ 以下的气溶胶颗粒就可以进入肺泡。

1.2 气载致病微生物的传播方式

气载致病微生物在空气中传播必须具备三个环节, 即传染源 (能排出致病微生物的人或动物)、传播途径 (致病微生物传染他人的途径) 及易感人群 (对传染病无免疫力者)。致病微生物在空气中主要以尘埃、飞沫与生物气溶胶三种方式进行传播, 其中, 飞沫和生物气溶胶是气载致病微生物最主要的传播方式。

人体产生的飞沫是气载致病微生物的重要来源, 一般来说, 飞沫的传播距离有限 (一般不超过 $2\ \text{m}$), 而且在飞沫传播过程中, 飞沫中的水分会迅速蒸发, 造成部分致病微生物的失活或死亡。当飞沫的空气动力学当量粒径小于 $100\ \mu\text{m}$ 时, 气载致病微生物将以生物气溶胶的形式存在。生物气溶胶能够长期停留在空气中, 并随着空气的流动而进行长距离的传播。因此, 对于气载致病微生物的防护, 不仅仅要控制飞沫的传播, 也要控制以生物气溶胶形

式的传播。

2 空气中微生物的相关标准

2.1 国内空气微生物的相关标准

我国的相关标准最早在 1996 年颁布 (GB 9663—1996 ~ GB 9673—1996), 2002 年《室内空气质量标准》(GB/T 1883—2002) 发布后再无更新。期间发布的几个标准中相关标准值并未统一, 且只包含了细菌, 未包括真菌、病毒以及微生物的具体种类。不过在 2012 年规定了空调系统送风的细菌浓度和真菌浓度 [《公共场所集中空调通风系统卫生规范》(WS 394—2012)], 并且要求 *b*-溶血性链球菌等致病微生物不得检出。中国台湾地区对室内真菌浓度给出了要求, 且考虑了室内外真菌浓度比的情况 (台湾地区第 1010106229 号法规《室内空气质量标准》)。标准值的确定方法总的来说是以调研法为基础, 辅以对国外标准的参考, 还需要结合生物分子学技术和公共卫生调研数据等来研究微生物健康效应, 为以后制定微生物污染限值的科学性奠定基础。此外医院手术部有关室内微生物限值有专门的标准 [《医院洁净手术部建筑技术规范》(GB 50333—2013)], ICU 等用房也参照了该标准进行技术评价。

2.2 国外空气微生物的相关标准

国外关于空气微生物浓度的标准值, 以报告、指南或论文的形式给出建议值。大部分国家规定了细菌、真菌菌落数的浓度, 只有韩国规定了总菌落数, 美国食品和药物管理局 (FDA) 不提供具体限制数值, 而美国职业安全与健康管理局 (OSHA) 则提供了室内真菌的污染指标。

3 空气消毒技术研究进展

3.1 空气消毒方式

空气消毒技术是指灭活空气中的微生物, 降低空气传染病的传播危害。空气的消毒方式分为主动式和被动式。

主动式空气消毒, 不消耗动力循环空气, 而是直接灭活空气中致病微生物。例如中药熏蒸技术, 将中药成分释放到空气中, 通过中药成分在空气中弥散、扩散的特点, 到达室内的各个角落对空气中的微生物进行灭活。这种消毒方式需在无人员流动的情况下进行, 消毒作业需紧闭门窗, 根据房间规模严格设定有效剂量并控制时间, 消毒完毕后要有一定时间开窗通风。

被动式空气消毒,主要是用风机将空气抽入机器,净化后排出(循环风式消毒器)。此类空气消毒技术大部分使用内置滤网和净化单位过滤空气,进而达到粉尘异味、微生物灭活等作用。一般适合有人环境,不对人的工作造成影响,达到较好的灭活效果,可以实现小空间空气质量的快速改善,但由于利用空气流动的原理,空间中可能会产生死角。

3.2 空气消毒技术

3.2.1 物化类空气消毒技术

近年来,国内外大量研究人员利用紫外线、等离子体、光触媒等研制出多种空气消毒技术,不同技术的应用参数和灭活效果如表 1 所示^[1-18]。这类技术通常具有广谱和高效的特点,因此已经被开发出了多种空气净化或空气消毒商品化设备(见表 2)。

表 1 物化类空气消毒技术的应用参数和灭活效果

Tab.1 Design parameters and inactivation performance of physicochemical air disinfection technologies

消毒方法	应用场所	应用形式	模型微生物	实验条件		灭活率/%
				功率或剂量	时间/min	
紫外线	手术帐篷	紫外线杀菌灯	自然菌	60 W	30	65.3
紫外线	新生儿重症监护病房	移动式石英紫外线灯	自然菌	240 W	60	88.5
紫外线	传染病房	臭氧紫外灯	自然菌	60 W	60	94.4
紫外线	肺结核科病房	上层空气杀菌系统 H600 型恒时灯	自然菌		120	98.9
紫外线	生物安全实验室	紫外线杀菌灯	自然菌	30 W	60	97.4
紫外线	耐多药结核病房	紫外线直接照射灯	自然菌	1.5 W/m ³	45	85.0
紫外线	三级医院室内	紫外线直接照射灯	自然菌	1.5 W/m ³	30	89.4
等离子体	实验室	脉冲电场式空气消毒器	黑曲霉菌	140 W	60	99.93
等离子体	办公室	脉冲电场式空气消毒器	自然菌	140 W	60	93.12
等离子体	产房	等离子体空气消毒机	自然菌		120	79.2
等离子体	普通手术室	等离子体风机盘管空气净化消毒装置	自然菌		60	100
等离子体	洁净手术室	等离子体风机盘管空气净化消毒装置	自然菌		60	100
等离子体 紫外联用	新生儿重症监护病房	移动式多功能空气消毒机	自然菌		60	91.2
等离子体光触媒联用	传染病房	空气消毒机	自然菌		60	89.7
光触媒	办公室	光触媒照明净化器	自然菌		60	74.1
光触媒	产科病房	光触媒空气净化消毒器	自然菌		60	96.1
光触媒	实验室	自制反应器	大肠杆菌	80 W	60	95.8
光触媒	实验室	自制反应器	大肠杆菌	80 W	60	86.4
光触媒	实验室	自制反应器	大肠杆菌	80 W	60	96.0
静电	肝细胞移植病房	静电空气净化消毒器	自然菌		60	98.3
静电	无菌间	静电空气净化消毒器	自然菌		30	88.8
过氧乙酸	病房	气溶胶喷雾	自然菌	10~20 mL/m ³ (1 000 mg/L) **	30	合格
过氧乙酸	病房	加热熏蒸	自然菌	0.25 g/m ³	30	合格
过氧乙酸	气雾室	气溶胶喷雾	白色葡萄球菌	10 mL/m ³ (1 000 mg/L) **	30	99.9
过氧化氢	微生物实验室	加热熏蒸	自然菌	7.0 mL/m ³	30	100
过氧化氢	重症监护病房	气溶胶喷雾	自然菌	10 mL/m ³ (30 g/L) **	90	*
过氧化氢	密闭实验舱	加热熏蒸	白色葡萄球菌	0.5 mL/m ³ (80 g/L) **	20	99.9
过氧化氢	房间	加热熏蒸	自然菌	1 mL/m ³ (80 g/L) **	60	>90
过氧化氢	生物安全实验室	气溶胶喷雾	自然菌	3.5 g/L	60	99.2
过氧化氢	传染病房	气溶胶喷雾	自然菌	20 mL/m ³ (3%) **	45	93.2
注: 合格指细菌总数低于 500 CFU/m ³ ,未检出溶血性链球菌与金黄色葡萄球菌;* 指 VAP 感染率在干预实施以后出现下降(VAP 是一种严重的并发症);** 指溶剂浓度。						

表2 市场上相关空气净化与消毒设备

Tab.2 Commercial air disinfection products in the market

设备名称	技术原理	功能和用途	设备参数	设备特点	使用场所
负离子空气净化器	电荷中和、凝聚成团沉降	除甲醛、颗粒物和异味	额定电压:220 V, 额定频率:50 Hz, 额定功率:75 W, 适用面积:53~92 m ²	不需要风机, 噪声小, 对人体伤害小, 适合母婴人群、过敏人群, 小巧方便; 对微生物灭活效果不明确	家居环境
纳米光触媒空气净化器	纳米光触媒催化+活性炭吸附+过滤+负离子净化	除甲醛等化学物质; 除颗粒物和异味; 除过敏原	额定电压:220 V, 额定频率:50 Hz, 功率:50~75 W, 适用面积:35 m ²	综合光触媒催化、负离子净化、紫外线灭菌和活性炭吸附等技术手段, 主要净化空气中的颗粒物和化学物质, 对微生物的灭活效果不明确	办公区域和家庭生活等室内环境
冷触媒空气净化器	冷触媒催化分解+活性炭吸附+负离子净化	除甲醛、苯系物等有毒物质; 除颗粒物; 除异味	额定电压:220 V, 额定频率:50 Hz, 功率:27 W, 适用面积:20 m ²	对室内装饰装修所造成的甲醛、苯系物等污染物去除效果比较明显	办公区域和家庭生活等室内环境
等离子体空气净化器	空气经过电离管时产生正负离子, 经过物理化学作用净化空气	除臭除异味, 杀菌消毒, 除甲醛等 VOCs, 除 PM2.5 微颗粒悬浮物	设计风量:250、350、450 m ³ /h, 适用面积:60~100 m ² , 电压:220 V, 频率:50、60 Hz, 功率:58 W	可以高效去除微粒污染物、厨房油烟、香烟; 对空气中微生物有一定杀灭效果, 但价格昂贵, 技术要求高	写字楼、会所、酒店、医院、家居等易产生异味和细菌的环境
空间除菌除臭机	次氯酸除菌除臭	灭活细菌、病毒, 消除异味	工作面积:70~90 m ² , 额定电压:220 V, 额定频率:50 Hz	通过次氯酸除菌, 能有效去除日常生活中多种异味和细菌、病毒等; 但有二次污染, 适合无人环境	医院设施、酒店空间、幼儿设施、养老设施以及宠物医院等环境
空气消毒机	紫外线杀菌, 臭氧杀菌, 等离子体杀菌	除甲醛、过敏原、细菌、甲苯、病毒等物质	额定电压:220 V, 额定频率:50 Hz, 功率:40 W, 适用面积:40~50 m ²	三种技术互相组合应用, 杀菌能力强, 但需严格控制臭氧浓度	医院、家庭、宠物店等室内场所
纳米水离子空气净化器	在高压放电的作用下进行雾化, 最终形成带电纳米水微粒, 通过带电粒子作用净化气体	对空气中的 PM2.5 污染物、香烟烟雾, 甚至其他有机化学污染物进行有效吸附与过滤, 抑制病菌、霉菌和各种过敏原	额定电压:220 V, 额定频率:50 Hz, 额定功率:70 W, 适用面积:44 m ² , 运转状态为(关)时的耗电量:0.37 W	带电离子可以直接除菌, 同时吸附在尘埃粉末表面, 帮助过滤网吸附空气中的细微粉尘颗粒, 而且还能起到加湿空气等作用	办公室、家居等室内环境
活性炭空气净化器	活性炭吸附+过滤	拦截大颗粒物, 吸附可吸入颗粒物, 除甲醛	电压:220 V, 频率:50、60 Hz, 功率:86 W, 适用面积:70~120 m ²	活性炭吸附能力强, 设备小巧方便, 滤芯方便更换, 对微生物灭活效果不明确	办公室、家居等室内环境
过滤式空气净化器	多重滤芯过滤	过滤花粉、PM2.5、细菌、烟尘等颗粒	电压:220 V, 频率:50、60 Hz, 功率:130 W, 适用面积:60 m ²	多重滤芯可有效过滤颗粒物和微生物, 但无法灭活微生物, 过滤效率会随使用时间的延长而下降	办公室、家居等室内环境

3.2.2 其他空气消毒技术

有研究人员从动植物体中分别提取溶菌酶和酚类等分泌物, 与其他技术相结合制作成空气净化药剂。但目前这类空气消毒技术还在研究初期, 应用不多。中药熏蒸法是目前应用较多的另一类空气消毒技术, 常用的中药材包括苍术、艾条、桂枝、细辛和

厚朴等。这类技术使用简单, 适合小空间消毒, 但消毒时间较长, 而且可能会有二次污染的问题。

3.2.3 不同空气消毒技术的比较

① 不同空气消毒技术研究

近年来, 生活环境中的空气消毒逐渐受到重视, 为此总结了各种空气消毒技术的优缺点, 详见表3。

表 3 各种空气消毒技术的优缺点

Tab.3 Advantages and disadvantages of various air disinfection technologies

项 目		消毒原理	应用优势	应用劣势
物理消毒技术	加热法	潮湿加热是利用一定压力下的蒸汽加热,而干加热是不增加湿度的情况下升高温度	较短时间内高效灭活真菌和细菌,不会产生臭氧、自由基等有害物质	能耗较高,不适合大空间和开放空间
	过滤法	使空气通过滤膜,将空气中的生物气溶胶截留在滤膜上	操作简便、设备结构简单且成本低	粒径较小的微生物不易被捕捉,滤膜易堵塞,且没有真正灭活微生物,易造成二次污染
	紫外辐照	穿透微生物细胞膜,破坏 DNA,使微生物失去活性;真空紫外线会产生臭氧和自由基,破坏细胞结构	操作简单、成本低廉、应用便捷	存在可逆现象,灭活不彻底;对芽孢、紫外不敏感等生物体灭活效果差,灭活微生物的同时可能会产生有害臭氧和自由基,易造成二次污染
	静电法	使细胞带电,进而在电场作用下与空气实现分离;当电场强度较高时,能改变细胞膜的电压,对细胞产生破坏	方法简便,效果可靠,可实现连续消毒灭菌	通常作为微生物的收集技术,并未实现灭活;微生物的选择性较高,对于电场敏感型的革兰氏阴性菌的灭活效果较好,而对革兰氏阳性菌灭活效果不明显;除菌效果会随着时间的延长而下降
	微波辐射	具有较好的细胞穿透性,对细胞的灭活机理包括热效应和非热效应	加热迅速、灭活彻底、灭菌效率高	能耗高,需注意防辐射
化学消毒技术	消毒剂喷洒	强氧化剂雾化后喷洒到空气中,对细菌、真菌、细菌芽孢和多种病毒有较强的杀灭作用	操作简单、成本低、应用广泛	对部分微生物效果不明显;易产生残留、腐蚀等二次污染;对工作人员防护要求较高;随用随配,不宜长时间存放
	光触媒	以半导体材料为基础的高级氧化技术,光照后产生电子跃迁,形成强氧化性自由基	可减少能耗、提高反应速率;可实现连续消毒	光触媒存在失活现象,消毒效果需要定期监测
	臭氧消毒	臭氧能与细菌细胞壁脂类双键反应,穿入菌体内部,作用于蛋白和脂多糖,改变细胞的通透性,从而导致细菌死亡	消毒效果好、速率快	浓度高的臭氧会对人体组织和器官造成损害
	等离子体	在外加电场的作用下,使复杂大分子污染物转变为简单小分子安全物质	能实现连续消毒;消毒效果高效且无危害	成本高昂,其空气消毒器的过滤网需定期清洗
其他消毒技术	溶菌酶法	溶菌酶溶解细胞壁,使其死亡	灭活专一,利用率高,可重复使用,无二次污染现象	易受外界条件影响,需要多种酶组合应用
	植物消毒剂	植物分泌物(如酚和醇类等)可有效抑制空气中微生物繁殖	无二次污染现象	灭活速率较慢
	中药熏蒸	具有芳香化湿辟秽作用的中草药均具有抗细菌、抗真菌、抗病毒、抗支原体的作用	药效持续时间长、消毒清洁空气、防治疾病	安全性不高、有刺激性烟味;资源浪费,且中草药燃烧时烟雾产生二次污染;中药作用机理不够明确

② 不同空气消毒技术消毒效果对比

不同空气消毒技术的灭活率^[1-21]如图 1 所示。其中,使用植物消毒剂(生物类)灭活效率最低,微波空气消毒技术的灭活效率最高且最稳定。不同空气消毒技术的灭活效率与能量消耗的情况如图 2 所示。其中,单位电能消耗量(EE/O)定义为降低 1 m³ 生物气溶胶中 1 个数量级的微生物所消耗的电量(kJ/m³),可由下式计算:

$$EE/O = \frac{P \cdot t}{1\,000 \cdot V \cdot \lg(N_0/N_1)} \tag{1}$$

式中 EE/O——单位电能消耗量,kJ/m³

P——灯管、反应器功率,W

t——消毒时间,s

V——待消毒腔、室规模,m³

N₀——待消毒腔、室消毒前生物气溶胶浓度,CFU/m³

N₁——待消毒腔、室消毒后生物气溶胶浓度,CFU/m³

图 2 结果表明,光触媒与等离子体联用技术不仅能提升光触媒空气消毒技术的灭活率而且大大减

少该技术的能耗。由此可得,不同类型技术联用可以弥补某种技术的缺陷,达到技术优化。

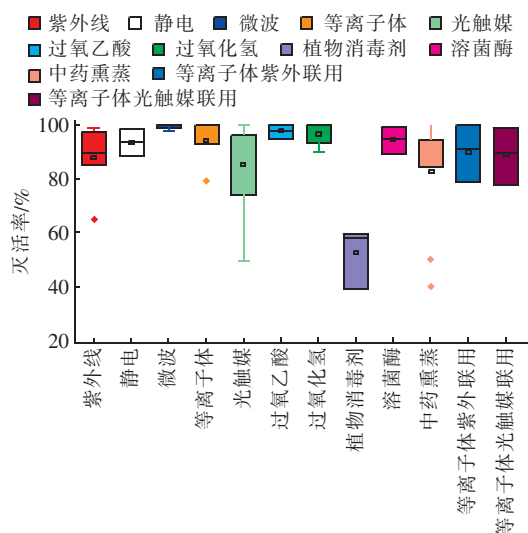


图1 不同类型空气消毒技术的灭活率

Fig. 1 Inactivation efficiency of various air disinfection technologies

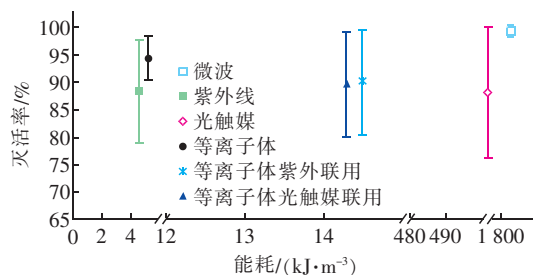


图2 不同类型空气消毒技术能耗与灭活率

Fig. 2 Energy consumption and inactivation efficiency of different air disinfection technologies

4 结论

致病微生物通过空气的传播相对于其他媒介的传播,具有传播速率快、感染性强等特点,给传染疾病的防治带来更大挑战。致病微生物在空气中主要以尘埃、飞沫与生物气溶胶三种方式进行传播,其中飞沫和生物气溶胶是气载致病微生物最主要的传播方式。生物气溶胶能够在空气中长期停留,可以随着空气的流动进行长距离传播。因此,对于气载致病微生物的防护,不仅要控制飞沫的传播,更要控制以生物气溶胶形式的传播。对于感染病人的废弃物(口罩等)和排泄物(粪便、污水等),在其收集、贮运和处理环节中也应防止生物气溶胶的扩散和治理。

我国空气微生物的相关标准最早在1996年颁

布,2002年后再无更新。期间发布的几个标准中相关标准值并未统一,且只包含了细菌,未包括真菌、病毒以及微生物的具体种类。标准值的确定方法以调研法为基础,辅以对国外标准的参考,未来还需要结合生物分子学技术和公共卫生调研数据等来研究微生物健康效应,为以后制定更加全面的微生物污染限值提供科学依据。

空气消毒技术的应用方式包括主动式和被动式,不同空气消毒技术具有不同的技术特点和适用范围,应根据条件和目的选择合适的空气消毒技术。目前,市场上已有的空气净化设备针对颗粒物或甲醛等具有较好的去除作用,对空气中微生物杀菌功能的设备较少,应进行空气净化设备的功能升级改造和高效空气消毒设备的研发。

参考文献:

- [1] 徐冬梅,傅占江,高秋菊,等. 不同空气消毒方法用于野战救护所手术帐篷的效果观察[J]. 中国消毒学杂志,2017,34(6):559-561.
Xu Dongmei, Fu Zhanjiang, Gao Qiuju, et al. Observation on disinfection effect of different air disinfection methods in operation tents of field medical aid station[J]. Chinese Journal of Disinfection, 2017, 34(6):559-561 (in Chinese).
- [2] 许莉,王仁媛,陈贝贝,等. 三种消毒方式对新生儿重症监护病房消毒效果的观察[J]. 中国消毒学杂志,2018,35(12):955-956.
Xu Li, Wang Renyuan, Chen Beibei, et al. Observation of disinfection effect in neonatal intensive care unit in three disinfection methods[J]. Chinese Journal of Disinfection, 2018, 35(12):955-956 (in Chinese).
- [3] 李贵荣. 不同消毒方法对传染病房室内空气消毒效果对比[J]. 中外女性健康研究,2019(7):127-128.
Li Guirong. Comparison of air disinfection effect in infectious disease rooms by different disinfection methods[J]. Women's Health Research, 2019(7):127-128 (in Chinese).
- [4] 吴晓文. 某院新型住院病房上层空气杀菌系统对室内消毒前后空气中菌落数生长的影响及其对杀菌效果的评价[J]. 抗感染药学,2019,16(9):1544-1547.
Wu Xiaowen. Influence of the upper air sterilization system of a new inpatient ward in a hospital on the number of colonies in the air before and after indoor

- disinfection and its evaluation on the sterilization effect [J]. *Anti - Infection Pharmacy*, 2019, 16 (9) : 1544 - 1547 (in Chinese).
- [5] 蔡标,戴陈伟,童琳,等. 汽化过氧化氢发生器、紫外线对生物安全实验室空气消毒效果比较[J]. *中国消毒学杂志*, 2019, 36(1) : 16 - 17, 20.
- Cai Biao, Dai Chenwei, Tong Lin, *et al.* Study on air disinfection efficacy of biosafety laboratory by vapor hydrogen peroxide generator and ultraviolet[J]. *Chinese Journal of Disinfection*, 2019, 36 (1) : 16 - 17, 20 (in Chinese).
- [6] 曾秋红,李英,冯通明. 紫外线安全灯对耐多药结核病房空气消毒的效果观察[J]. *湖北科技学院学报:医学版*, 2019, 33(1) : 47 - 49.
- Zeng Qiuhong, Li Ying, Feng Tongming. Observation on the effect of ultraviolet safety lamp on air disinfection of multidrug-resistant tuberculosis ward [J]. *Journal of Hubei University of Science and Technology: Medical Science*, 2019, 33(1) : 47 - 49 (in Chinese).
- [7] 杨晶雪,孙雷,杜丽,等. 紫外线照射消毒法对空气消毒净化的效果评价[J]. *中国卫生标准管理*, 2016, 7 (22) : 188 - 189.
- Yang Jingxue, Sun Lei, Du Li, *et al.* The effect of ultraviolet radiation disinfection on air disinfection and purification [J]. *Chinese Health Standard Management*, 2016, 7 (22) : 188 - 189 (in Chinese).
- [8] 魏源,刘南,任哲. 脉冲电场空气消毒器对黑曲霉菌杀灭效果观察[J]. *中国消毒学杂志*, 2017, 34(9) : 830 - 831.
- Wei Yuan, Liu Nan, Ren Zhe. Observation on killing effect of *Aspergillus niger* by a kind of pulse electric field air disinfectant [J]. *Chinese Journal of Disinfection*, 2017, 34(9) : 830 - 831 (in Chinese).
- [9] 郑威,戴露伊,柯大观. 产房三种空气消毒机消毒净化效果比较[J]. *预防医学*, 2019, 31(7) : 732 - 734.
- Zheng Wei, Dai Luyi, Ke Daguan. Comparison of disinfection and purification effects of three air sterilizers in the delivery room [J]. *Journal of Preventive Medicine*, 2019, 31(7) : 732 - 734 (in Chinese).
- [10] 刘仲秋. 等离子体空气消毒器与层流净化系统及紫外线对手术室空气消毒效果的比较分析[J]. *中国医药指南*, 2019, 17(15) : 298 - 299.
- Liu Zhongqiu. Comparative analysis of plasma air sterilizer, laminar flow purification system and ultraviolet on air disinfection in operating room [J]. *Guide of China Medicine*, 2019, 17(15) : 298 - 299 (in Chinese).
- [11] 杨毅,尹红,王冠中,等. 一种光触媒照明空气净化器对办公室空气消毒效果观察[J]. *中国消毒学杂志*, 2016, 33(4) : 390 - 391.
- Yang Yi, Yin Hong, Wang Guanzhong, *et al.* Observation of office air disinfection effect by photocatalyst illumination air purifier [J]. *Chinese Journal of Disinfection*, 2016, 33(4) : 390 - 391 (in Chinese).
- [12] 钟昱文,王雅静,陈惠珍,等. 一种光触媒空气净化消毒器对室内空气净化消毒效果的研究[J]. *中国消毒学杂志*, 2014, 31(11) : 1149 - 1151.
- Zhong Yuwen, Wang Yajing, Chen Huizhen, *et al.* Study on indoor air purification and disinfection effect of a photocatalyst air purification disinfectant [J]. *Chinese Journal of Disinfection*, 2014, 31 (11) : 1149 - 1151 (in Chinese).
- [13] Pham T, Lee B. Photocatalytic comparison of Cu- and Ag-doped TiO₂/GF for bioaerosol disinfection under visible light [J]. *J Solid State Chem*, 2015, 232 : 256 - 263.
- [14] 谭金煜,尹世辉,张馨心,等. 过氧乙酸在医院内空气消毒中的效果分析[J]. *中国卫生标准管理*, 2017, 8 (18) : 129 - 130.
- Tan Jinyu, Yin Shihui, Zhang Xinxin, *et al.* Effect of peracetic acid on disinfection of air in hospital [J]. *Chinese Health Standard Management*, 2017, 8 (18) : 129 - 130 (in Chinese).
- [15] 尹进,陈贵秋,朱应凯,等. 一种过氧乙酸的消毒性能观察[J]. *中国消毒学杂志*, 2017, 34(5) : 413 - 415.
- Yin Jin, Chen Guiqiu, Zhu Yingkai, *et al.* Observation on the performance of a certain peracetic acid disinfectant [J]. *Chinese Journal of Disinfection*, 2017, 34(5) : 413 - 415 (in Chinese).
- [16] 蔡标,戴陈伟,李舜,等. 过氧化氢蒸汽对微生物实验室的消毒效果观察[J]. *实用预防医学*, 2019, 26 (6) : 752 - 755.
- Cai Biao, Dai Chenwei, Li Shun, *et al.* Observation of disinfection effect of hydrogen peroxide vapor on microbiology laboratory [J]. *Practical Preventive Medicine*, 2019, 26(6) : 752 - 755 (in Chinese).
- [17] 范允舟,戴岷,卢琳,等. 过氧化氢气溶胶空气消毒对呼吸机相关肺炎的防控效果分析[J]. *中国消毒学杂志*, 2018, 35(11) : 822 - 824, 827.
- Fan Yunzhou, Dai Di, Lu Lin, *et al.* Research on the efficacy of hydrogen peroxide aerosol air disinfection in the prevention of ventilator-associated pneumonia [J]. *Chinese Journal of Disinfection*, 2018, 35 (11) : 822 -

- 824,827(in Chinese).
- [18] 苏裕心,张文福,帖金凤,等. 一种汽化过氧化氢消毒装置对物体表面和空气消毒效果研究[J]. 中国消毒学杂志,2016,33(12):1141-1145.
- Su Yuxin,Zhang Wenfu,Tie Jinfeng,*et al.* Disinfection efficacy of a hydrogen peroxide decontaminating device to the indoor air and surface[J]. Chinese Journal of Disinfection,2016,33(12):1141-1145(in Chinese).
- [19] 李玲,谭文影,林鼎光,等. 不同环境下复方柳叶熏蒸消毒剂的消毒效果及安全性评价[J]. 中国消毒学杂志,2017,34(8):722-725,729.
- Li Ling,Tan Wenying,Lin Dingguang,*et al.* Evaluation disinfection efficacy and safety of compound willow fumigation disinfectant under different time and space [J]. Chinese Journal of Disinfection,2017,34(8):722-725,729(in Chinese).
- [20] 章洁,方毕飞,朱珍华. 中药煮沸熏蒸用于呼吸科病室空气消毒的效果[J]. 中医药管理杂志,2019,27(18):225-226.
- Zhang Jie,Fang Bifei,Zhu Zhenhua. Effect of Chinese medicine boiling fumigation on air disinfection in respiratory ward[J]. Journal of Traditional Chinese Medicine Management,2019,27(18):225-226(in Chinese).
- [21] Wang C,Zhang Z W,Liu H. Microwave-induced release and degradation of airborne endotoxins from *Escherichia coli* bioaerosol[J]. J Hazard Mater,2019,366:27-33.



作者简介:宋璐(1992-),女,陕西渭南人,博士研究生,主要研究方向为生物气溶胶控制和气载抗性基因传播机理。

E-mail:happyulur@163.com

收稿日期:2020-02-01

(上接第36页)

- [3] Masayuki Otsuka,张哲,赵珍仪,等. 节水型坐便器排水横支管的输送性能研究[J]. 中国给水排水,2015,31(23):150-154.
- Masayuki Otsuka,Zhang Zhe,Zhao Zhenyi,*et al.* Study on carrying performance of horizontal drain branch of water-saving toilet [J]. China Water & Wastewater,2015,31(23):150-154(in Chinese).
- [4] 张哲,赵珍仪,黄鋆尧,等. 介护坐便器重力流管道的搬送性能研究[J]. 中国给水排水,2017,33(19):130-134.
- Zhang Zhe,Zhao Zhenyi,Huang Junyao,*et al.* Gravity flow pipeline transportation capability of nursing toilets [J]. China Water & Wastewater,2017,33(19):130-134(in Chinese).
- [5] 张磊,潘宝凤. 日本住宅排水系统日常维护技术简介及研讨[J]. 给水排水,2008,34(7):83-86.
- Zhang Lei,Pan Baofeng. Introduction and discussion on daily maintenance technology of Japanese residential drainage system[J]. Water & Wastewater Engineering,2008,34(7):83-86(in Chinese).



作者简介:张磊(1972-),女,北京人,硕士,教授级高级工程师,研究方向为健康居住环境。

E-mail:leiz@cadg.cn

收稿日期:2020-02-21