

DOI:10.12138/j.issn.1671-9638.20257234

论著·真菌感染专题

医疗机构物体表面真菌分布研究

林晓锋^{1,2}, 李妍², 陈诺¹, 周威龙^{3,4}, 程樊², 谈宜斌², 王莹^{2,5}

[1. 湖北医药学院公共卫生与健康学院, 湖北 十堰 442000; 2. 武汉大学中南医院医院感染管理办公室, 湖北 武汉 430071; 3. 四川大学华西第二医院医院感染管理部(公共卫生科), 四川 成都 610000; 4. 四川省儿童医院(四川省儿童医学中心)医院感染管理部(公共卫生科), 四川 眉山 620000; 5. 感染性疾病精准防控与诊治湖北省工程研究中心, 湖北 武汉 430071]

[摘要] **目的** 了解医院环境物体表面真菌的分布特征, 为临床科学精准制定基于真菌的环境控制策略提供依据。**方法** 2023 年 12 月 7—23 日采集某大型三级甲等医院 6 个科室 19 类共 60 份环境标本, 分成水相关环境标本组、完整立面环境标本组和卫生洁具环境标本组。对检出真菌的标本进行 18S rRNA 测序。**结果** 环境表面标本真菌检出率为 20.0%(12/60), 其中内分泌科洗手池真菌菌落计数最高(15 CFU/cm²), 其次是胸外科的空气消毒机出风口和内分泌科的水龙头管内(均为 10 CFU/cm²)。水相关环境标本组检出的真菌菌属种类最多(14 种), 其中曲霉属(100%)、梅氏酵母属(99.06%)、线虫草属(95.63%)、小田酵母属(87.86%)的相对丰度较高。空气消毒机出风口检出较高丰度的毛壳菌属(44.08%)和花冠菌属(39.71%)。3 组环境标本之间的 α 多样性(Shannon 与 Simpson 指数, P 值分别为 0.661、0.568)和 β 多样性($P = 0.712$)比较, 差异均无统计学意义。**结论** 医疗机构在常规落实基础环境清洁消毒的状态下, 环境中真菌处于低流行状态。但潮湿物体表面以及空气消毒设备易发生真菌定植, 需加强日常监测并采取相应干预措施, 以降低感染发生风险。

[关键词] 医疗机构; 真菌; 环境清洁与消毒; 医院感染; 室内环境

[中图分类号] R187

Fungi distribution on object surface in medical institutions

LIN Xiaofeng^{1,2}, LI Yan², CHEN Nuo¹, ZHOU Weilong^{3,4}, CHENG Fan², TAN Yibin², WANG Ying^{2,5} (1. School of Public Health, Hubei University of Medicine, Shiyan 442000, China; 2. Office of Healthcare-associated Infection Management, Zhongnan Hospital of Wuhan University, Wuhan 430071, China; 3. Department of Healthcare-associated Infection Management [Public Health Division], West China Second University Hospital, Sichuan University, Chengdu 610000, China; 4. Department of Healthcare-associated Infection Management [Public Health Division], Sichuan Provincial Children's Hospital [Sichuan Provincial Children's Medical Center], Meishan 620000, China; 5. Hubei Engineering Research Center for Infectious Disease Prevention, Control and Treatment, Wuhan 430071, China)

[Abstract] **Objective** To understand the distribution characteristics of fungi on object surface in hospital environment, and provide reference for the scientific and precise formulation of environment control strategies based on fungal in clinic. **Methods** From December 7 to 23, 2023, a total of 60 environmental specimens of 19 categories in 6 departments of a large tertiary first-class hospital were collected and divided into water-related environmental specimen group, complete facade environmental specimen group, and sanitary ware environmental specimen group. 18S

[收稿日期] 2024-11-28

[基金项目] 国家自然科学基金青年科学基金项目(52408127); 国家卫健委医院管理研究所“感研”种子项目(GY2023049)

[作者简介] 林晓锋(2001-), 男(汉族), 陕西省西安市人, 硕士研究生在读, 主要从事医院感染预防与控制相关方面的研究。

[通信作者] 王莹 E-mail: wangying621@whu.edu.cn

rRNA sequencing was performed on specimens with fungi detected. **Results** Fungal detection rate of environmental specimens was 20.00% (12/60). Sink in the department of endocrinology had the highest fungal colony count (15 CFU/cm²), followed by the air outlet of air disinfection device in the department of thoracic surgery and the internal part of a faucet in the department of endocrinology (both 10 CFU/cm²). The water-related environmental specimen group detected most diverse fungal genera (14 species), with high relative abundances of *Aspergillus* (100%), *Meyerozyma* (99.06%), *Ophiocordyceps* genus (95.63%), and *Kodamaea* (87.86%). The air outlet of air disinfection device was detected with a high abundance of *Chaetomium* (44.08%) and *Corollospora* (39.71%). There was no statistically significant difference in the α -diversity (Shannon and Simpson indices, *P* values of 0.661 and 0.568, respectively) and β -diversity (*P* = 0.712) among the three environmental specimens. **Conclusion** Under the routine implementation of basic environmental cleaning and disinfection in medical institutions, fungi are in a low prevalence in the environment. However, moist surfaces and air disinfection device are prone to fungal colonization, and it is necessary to strengthen daily monitoring and take corresponding intervention measures to reduce the risk of infection.

[Key words] medical institution; fungus; environmental cleaning and disinfection; healthcare-associated infection; indoor environment

全球每年约发生 650 万例侵袭性真菌感染,导致约 380 万例死亡^[1]。我国侵袭性真菌病的发病率为 4.12%~41.18%,病死率为 9.8%~60.0%^[2]。据中国真菌监测网(CHIF-NET)报道,90.5%的真菌感染由念珠菌属引起,其中国内最常见的为白念珠菌^[3],隐球菌属感染占 7.7%,其他酵母菌属占 1.7%^[4]。此外,近年来,“超级真菌”传播事件时有发生。2023 年美国耳念珠菌大流行(流行率约为 50%),病死率约为 33.3%^[5]。同年,我国广东某医院报告了 140 例耳念珠菌感染病例,其中重症监护病房(ICU)患者占 70.0%,且该菌对传统抗真菌药物的耐药率达 98.7%,给治疗带来极大挑战^[6]。我国乃至全球真菌感染呈现出发病率升高、病死率增高和患者经济负担加重的共性特征,由于抗真菌治疗选择有限且耐药菌株不断出现,真菌感染已成为全球公共卫生重大威胁,这一趋势在世界卫生组织(WHO)发布的《真菌重点病原体清单》中得到系统性印证^[7]。

真菌在形态上主要分为酵母菌和霉菌,在体外或者环境中多呈霉菌形式,繁殖过程中会形成分生孢子,故其主要传播方式以吸入空气中的孢子或直接接触传播为主。既往研究^[8]提示,医疗机构内环境真菌的分布受人 群密度(拥挤环境中真菌气溶胶浓度达 3 852 CFU/m³)。手卫生依从性(未进行手卫生手部真菌检出率为 67.74%)^[9]、工程修缮(当空气过滤器位于非终端位置时,空气中真菌含量高于空气过滤器处于末端位时)^[10]等因素的影响。但既往研究主要针对发生真菌感染聚集性事件时开展的靶向环境监测,有一定样本代表局限性。究竟哪

些物体表面更易发生真菌定植,并对临床活动产生不良影响,目前尚不清晰。

基于此,本研究通过对某医院不同病区、不同环境媒介真菌定植现况进行监测,旨在揭示环境中致病真菌的分布特征,为精准制定真菌环境防控措施提供循证依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象 2023 年 12 月 7—23 日,在一所拥有 3 300 张床位的大型三级医院开展横断面研究。研究选择心血管外科(A)、胸外科(B)、呼吸与危重症医学科(C)、结直肠与肛门外科(D)、内分泌科(E)、血液内科(F)6 个感染防控高风险科室作为研究现场,选择 19 类环境物体表面,共纳入 60 份标本。环境标本按三组分类:水相关环境标本组、完整立面环境标本组和卫生洁具环境标本组。采样点位置及编号见图 1。

1.2 标本采集 为更好地反馈医疗环境中环境真菌分布现状,故研究环境标本采样时机为临床日常工作中开展随机抽取采样。已接受采样培训的研究人员将 5 cm×5 cm 灭菌规格板放在被检物体表面,使用浸有生理盐水采样液的棉拭子 1 支,在规格板内横竖往返各涂抹 5 次,并随之转动棉拭子,连续采样 4 个规格板面积(被采表面<100 cm² 取全部表面;被采表面≥100 cm² 取 100 cm²),剪去采样人员手接触部分,将棉拭子放入装有 10 mL 采样液的试管中立即送往医院临床检验中心进一步检测。门把手等小型物体则采用棉拭子直接涂抹物体采样。若

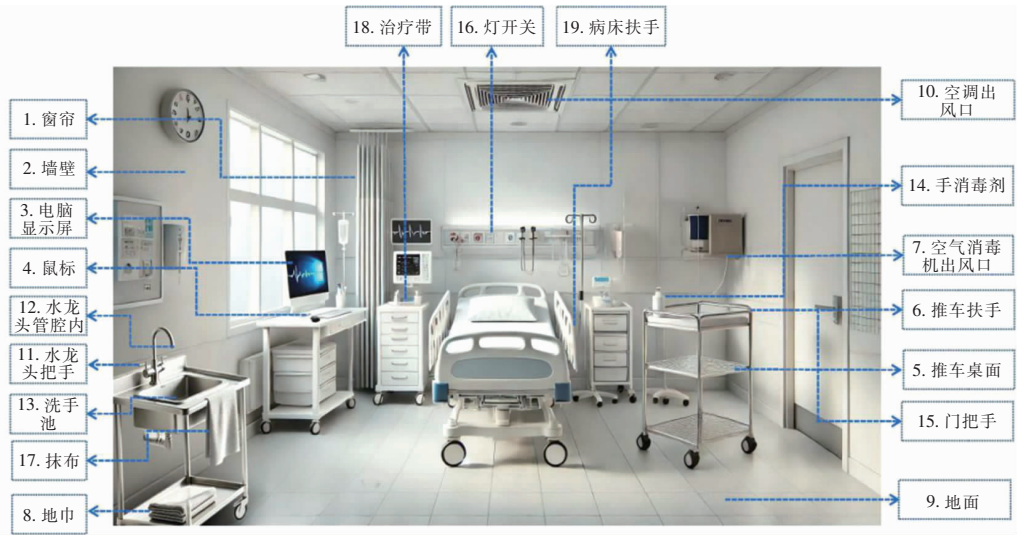


图 1 环境物体表面采样点编号示意图

Figure 1 Schematic diagram of sampling point numbering for environmental object surface

明确已知采样物体表面有消毒剂残留时,使用含相应中和剂的缓冲液作为采样液。

1.3 标本检测与分析 所有标本在采样后 24 h 内进行检测,用振荡器震荡采样管不少于 10 s,确保充分混匀。使用无菌吸管吸取 0.5 mL 待测样品,接种至液体沙氏培养基(liquid sabourand medium, SDB),放入(36±1)℃的培养箱中培养 48 h,进行微生物计数。将检测到的微生物标本分类并进行 18S rRNA 测序鉴定。

基因组 DNA 提取使用 E.Z.N.A™ Mag-Bind Soil DNA Kit(Omega,产品编号:M5635-02),并严格按照制造商提供的操作手册进行。在提取 DNA 后,进行聚合酶链式反应(PCR)扩增,并对扩增产物进行内部转录间隔区(ITS)分析,随后进行测序和序列比对,所有步骤均按照 DNA 提取试剂盒的使用说明进行。测序数据经 Usearch 软件(版本 11.0.667)处理,将有效标签按照≥97%的相似性阈值进行聚类,遵循推荐的分析流程和参数。微生物分类注释则依据 RDP 数据库进行,在属水平进行注释,以确保分类结果的高效性和可靠性。

1.4 数据分析 数据通过 Excel 整理后,使用 R 包 VEGAN 计算每个标本的 α 和 β 多样性。采用单因素方差分析(ANOVA)和 Tukey 事后检验比较不同组别 α 多样性是否具有差异。通过计算 Bray-Curtis 距离矩阵衡量样本 β 多样性的差异,并采用置换多元方差分析(PERMANOVA)以确定不同组别 β 多样性是否存在差异。数据分析及可视化均采用 R 4.3.3。双侧检验水准 α=0.05。

2 结果

2.1 标本菌落数检出情况 环境物体表面真菌检出率为 20.0%(12/60),内分泌科的洗手池菌落计数最高(15 CFU/cm²),其次是胸外科空气消毒机的出风口和内分泌科的水龙头管腔内(均为 10 CFU/cm²),结直肠与肛门外科水龙头把手检出真菌菌落数最少(2 CFU/cm²)。见表 1。

表 1 医院环境物体表面真菌检出情况

Table 1 Detection of fungi on object surfaces in hospital environment

点位编号	科室	监测点位	真菌菌落数 (CFU/cm²)
A12	心血管外科	水龙头管腔内	5
A17	心血管外科	抹布	3
B12	胸外科	水龙头管腔内	6
B2	胸外科	墙面	4
B7	胸外科	空气消毒机出风口	10
C7	呼吸与危重症医学科	空气消毒机出风口	3
D11	结直肠与肛门外科	水龙头把手	2
D9	结直肠与肛门外科	地面	4
E12	内分泌科	水龙头管腔内	10
E13	内分泌科	洗手池	15
F11	血液内科	水龙头把手	4
F9	血液内科	地面	9

注:点位编号中字母 A~F 表示科室代码,数字表示采样点。

2.2 标本深度测序情况 对 12 份真菌检出标本进一步进行 18S rRNA 测序,共检出 17 种真菌菌属。7 份标本中检出曲霉属,4 份标本分别检出梅氏酵母属和小田酵母属。以科室细分,胸外科检出真菌菌属种类最多(12 种),呼吸与危重症医学科及血液内科最少(2 种)。相较于不同采样物体,水龙头管内检

出的真菌菌属种类最多(12 种),抹布中最少(1 种)。以环境介质细分,水相关环境标本组共检出 14 种真菌菌属,完整立面环境标本组次之(9 种),卫生洁具环境标本组最少(共检出 1 种菌属)。不同标本真菌菌属的相对丰度见表 2。

表 2 三组不同标本真菌菌属的相对丰度(%)
Table 2 Relative abundance of fungal genera in different specimens in three groups (%)

菌属名称	检出频次	水相关环境标本组(n=14)						完整立面环境标本组(n=9)					卫生洁具环境标本组(n=1)
		A12	B12	D11	E12	E13	F11	B2	B7	C7	D9	F9	A17
		(n=4)	(n=8)	(n=1)	(n=2)	(n=4)	(n=1)	(n=2)	(n=7)	(n=2)	(n=2)	(n=1)	(n=1)
曲霉属	7	5.84	0.05	0	0	0	100	99.99	10.59	55.92	0	0	100
梅氏酵母属	4	0	99.06	100	0	27.42	0	0	1.27	0	0	0	0
隐毛属	1	0	0.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小田酵母属	4	87.86	0.29	0	0	0	0	0.01	36.86	0	0	0	0
毛壳菌属	1	0	0	0	0	0	0	0	0	44.08	0	0	0
花冠菌属	2	0	0	0	0	21.72	0	0	39.71	0	0	0	0
酵母属	3	2.36	0	0	0	0	0	0	5.76	0	72.97	0	0
线虫草属	1	0	0	0	95.63	0	0	0	0	0	0	0	0
篮状菌属	2	0	0	0	0	0	0	0	4.80	0	27.03	0	0
马拉色菌属	2	3.94	0	0	0	33.71	0	0	0	0	0	0	0
枝孢菌属	1	0	0	0	4.37	0	0	0	0	0	0	10	0
镰孢菌属	1	0	0	0	0	17.15	0	0	0	0	0	0	0
丝孢酵母属	1	0	0.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
洛德酵母属	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
漆斑菌属	1	0	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
念珠菌属	1	0	0.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
青霉属	1	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

注:n 表示各分组或标本检出菌属的种类,检出频次表示各菌属在所有标本中检出的频次。

2.3 标本 α 多样性 α 多样性分析结果显示,水相关环境标本组观察到的物种数量最多,但多数标本由单一菌属主导(如梅氏酵母属、曲霉属、小田酵母属、线虫草属),均匀度较低。与水相关环境标本组相比,完整立面环境标本组具有较高的物种多样性和均匀度,菌属组成相对均匀,由曲霉属主导,辅

以小田酵母属、酵母属及毛壳菌属。卫生洁具环境标本组的物种多样性和均匀度最低,完全由曲霉属主导,物种组成单一。单因素方差分析结果显示,3 组间 α 多样性(Shannon 与 Simpson 指数)差异无统计学意义(P 值分别为 0.661、0.568)。见图 2。

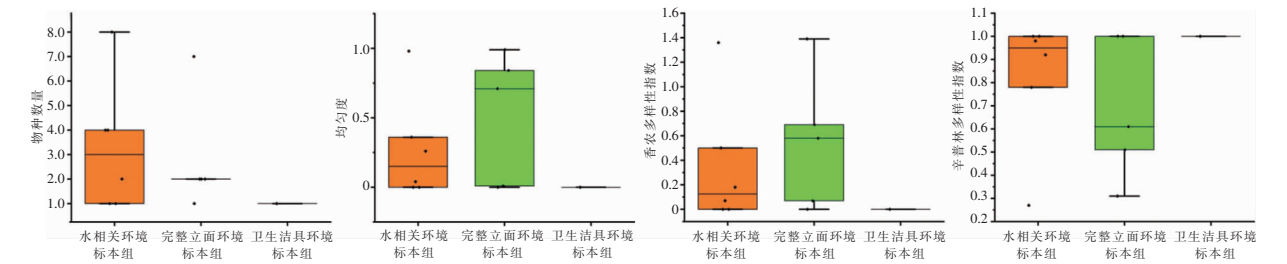


图 2 不同组别标本 α 多样性
Figure 2 α-diversity of specimens from different groups

2.4 标本 β 多样性 β 多样性分析结果显示,水相关环境标本组分布较分散,其组内菌群构成差异较大;完整立面环境标本组分布较集中,其组内菌群构成较为相似。与卫生洁具环境标本组相比,水相关环境标本组与完整立面环境标本组的菌群结构差异较小。置换方差分析结果显示,3 组间 β 多样性差异无统计学意义($P = 0.712$)。见图 3。

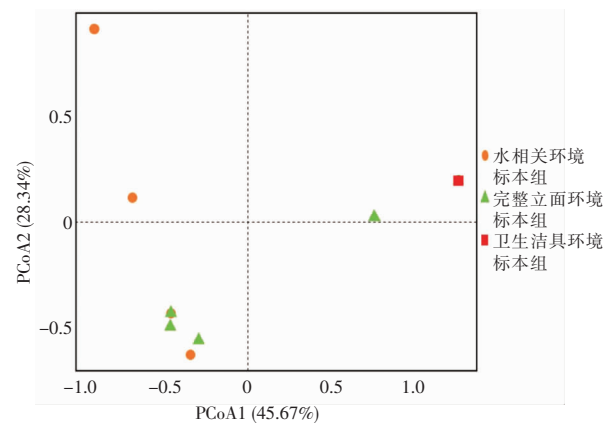


图 3 不同组别标本 β 多样性

Figure 3 β -diversity of specimens from different groups

3 讨论

近年来,由真菌引起的医院感染显著增加,给患者和医疗机构带来了巨大压力,已成为不可忽视的重大公共卫生问题。然而,既往尚未制定针对真菌的环境清洁和消毒策略,导致临床实际防控工作缺乏针对性,影响医院感染的防控效果^[11-13]。本研究通过在多个临床科室进行微生物采样、培养和测序,系统地揭示了医疗环境中真菌的分布特征,识别了潜在的环境真菌风险源,为精准开展医疗机构内真菌感染防控提供重要的临床证据。研究表明,在采取基础感染防控措施的情况下,医疗机构内部真菌定植的风险为低流行水平,但与水源相关的环境(如水龙头、洗手池)和空气消毒机出风口真菌检出率相对较高,需重点关注此类物体的真菌监测结果并制定相应干预措施。

既往环境标本中真菌检出率为 4%~24.4%^[14]。本研究选取了易受真菌污染的科室开展研究,真菌检出率为 20.0%,其中在水龙头管腔内、水龙头把手检出曲霉属(100%)、梅氏酵母属(99.06%)、小田酵母属(87.86%)的相对丰度高于其他物体,与既往研究^[15-16]结论一致。水体为真菌的繁殖和营养代谢

提供了理想环境,出水设备表面因微生物繁殖附着形成的生物膜,为真菌耐药性基因的水平传播提供了温床,而出水设备为公用设施,具有引起系统性的医院感染风险^[17-19]。基于此,建议医疗机构应关注水源相关的环境清洁与消毒,制定具有实际操作意义的防控策略。

本研究从空气消毒设备的出风口检出较高丰度的毛壳菌属(44.08%)和花冠菌属(39.71%),此前尚未见该区域检出真菌的相关报道。定植于空气消毒机出风口表面的真菌易被气流带入空气中,加速传播并被易感人群直接吸入,从而引发感染^[20-21]。在医疗机构中,紫外线消毒、高效颗粒空气过滤系统(HEPA)及低温等离子体空气净化技术等空气消毒手段已广泛应用于环境空气质量管理。然而,研究显示当空气消毒设备出风口滤网超过额定使用周期或维护不及时时,表面累积的有机颗粒物可能形成生物膜,为曲霉属等条件致病真菌提供适宜的生长基质。这种滤网生物污染可导致设备出风二次污染,产生真菌气溶胶的扩散风险。因此,建议建立基于设备运行时间的预防性维护制度,严格执行滤网更换规程与消毒组件效能监测,从而有效规避因设备污染引发的医院感染暴发事件^[22]。

本研究同样存在一定的局限性,未能全面考虑医疗环境中影响真菌分布的因素,如季节更替、人员流动频率等。

综上所述,与真菌相关的医院感染是全球关注的焦点,亟需了解真菌在医疗机构环境分布情况,有的放矢,制定防控策略。本研究结果显示,医疗机构在常规落实环境清洁与消毒措施下,环境中真菌处于低流行水平。但与水源相关的设施和空气消毒设备易发生真菌定植且极易被忽视。因此,需加强此类环境物体表面的日常清洁与消毒,以降低医院感染发生风险。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

[参 考 文 献]

[1] Denning DW. Global incidence and mortality of severe fungal disease[J]. Lancet Infect Dis, 2024, 24(7): e428-e438.
[2] Liao Y, Chen M, Hartmann T, et al. Epidemiology of opportunistic invasive fungal infections in China: review of literature [J]. Chin Med J (Engl), 2013, 126(2): 361-368.
[3] Xiao M, Sun ZY, Kang M, et al. Five-year national surveillance of invasive candidiasis: species distribution and azole

susceptibility from the China Hospital Invasive Fungal Surveillance Net (CHIF-NET) study[J]. J Clin Microbiol, 2018, 56(7): e00577-18.

[4] Wang H, Xiao M, Chen SCA, et al. *In vitro* susceptibilities of yeast species to fluconazole and voriconazole as determined by the 2010 National China Hospital Invasive Fungal Surveillance Net (CHIF-NET) study[J]. J Clin Microbiol, 2012, 50(12): 3952-3959.

[5] Santana DJ, Zhao GL, O'Meara TR. The many faces of *Candida auris*: phenotypic and strain variation in an emerging pathogen[J]. PLoS Pathog, 2024, 20(3): e1012011.

[6] Bing J, Du H, Guo PH, et al. *Candida auris*-associated hospitalizations and outbreaks, China, 2018 - 2023 [J]. Emerg Microbes Infect, 2024, 13(1): 2302843.

[7] MacVicar S. World Health Organization fungal priority pathogens list[J]. J Prescr Pract, 2024, 6(7): 280-281.

[8] Law AKY, Chau CK, Chan GYS. Characteristics of bioaerosol profile in office buildings in Hong Kong[J]. Build Environ, 2001, 36(4): 527-541.

[9] 杨巧贞, 莫晓娟, 吴继红. 肿瘤专科护理人员手部病原菌检出情况调查[J]. 中国卫生产业, 2016, 13(25): 75-77.

Yang QZ, Mo XJ, Wu JH. Investigation on the detection of pathogenic bacteria in the hand of cancer specialist nurses[J]. China Health Industry, 2016, 13(25): 75-77.

[10] Sabuco-Tébar EA, Arense-Gonzalo JJ, Campayo-Rojas FJ. Relationship between airborne fungi presence and the position of the high efficiency particulate air filter in the heating, ventilation, and air conditioning system[J]. HERD, 2023, 16(4): 56-68.

[11] Lionakis MS, Hohl TM. Call to action: how to tackle emerging nosocomial fungal infections [J]. Cell Host Microbe, 2020, 27(6): 859-862.

[12] Babler K, Sharkey M, Arenas S, et al. Detection of the clinically persistent, pathogenic yeast spp. *Candida auris* from hospital and municipal wastewater in miami-dade County, Florida[J]. Sci Total Environ, 2023, 898: 165459.

[13] Meyer V, Andersen MR, Brakhage AA, et al. Current challenges of research on filamentous fungi in relation to human welfare and a sustainable bio-economy: a white paper [J]. Fungal Biol Biotechnol, 2016, 3: 6.

[14] Prigitano A, Perrone PM, Esposto MC, et al. ICU environmental surfaces are a reservoir of fungi: species distribution in northern Italy[J]. J Hosp Infect, 2022, 123: 74-79.

[15] Facciola A, Pellicanò GF, Visalli G, et al. The role of the hospital environment in the healthcare-associated infections: a general review of the literature[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2019, 23(3): 1266-1278.

[16] Hayward C, Brown MH, Whiley H. Hospital water as the source of healthcare-associated infection and antimicrobial-resistant organisms[J]. Curr Opin Infect Dis, 2022, 35(4): 339-345.

[17] Capelletti RV, Moraes ÂM. Waterborne microorganisms and biofilms related to hospital infections: strategies for prevention and control in healthcare facilities[J]. J Water Health, 2016, 14(1): 52-67.

[18] Sharma S, Mohler J, Mahajan SD, et al. Microbial biofilm: a review on formation, infection, antibiotic resistance, control measures, and innovative treatment [J]. Microorganisms, 2023, 11(6): 1614.

[19] Gholipour S, Nikaeen M, Mohammadi F, et al. Antibiotic resistance pattern of waterborne causative agents of healthcare-associated infections: a call for biofilm control in hospital water systems[J]. J Infect Public Health, 2024, 17(7): 102469.

[20] 章鹏程, 张华. 空气净化消毒技术现状与展望[J]. 微生物与感染, 2023, 18(5): 312-320.

Zhang PC, Zhang H. Current status and prospects of air purification and disinfection technology[J]. Journal of Microbes and Infections, 2023, 18(5): 312-320.

[21] Li YF, Lu YR, Wang Y, et al. Investigation on the effectiveness of ventilation dilution on mitigating COVID-19 patients' secondary airway damage due to exposure to disinfectants[J]. Build Environ, 2023, 228: 109787.

[22] Price DL, Simmons RB, Crow SA Jr, et al. Mold colonization during use of preservative-treated and untreated air filters, including HEPA filters from hospitals and commercial locations over an 8-year period (1996-2003)[J]. J Ind Microbiol Biotechnol, 2005, 32(7): 319-321.

(本文编辑:左双燕)

本文引用格式:林晓锋,李妍,陈诺,等. 医疗机构物体表面真菌分布研究[J]. 中国感染控制杂志, 2025, 24(5): 625-630. DOI: 10.12138/j. issn. 1671-9638. 20257234.

Cite this article as: LIN Xiaofeng, LI Yan, CHEN Nuo, et al. Fungi distribution on object surface in medical institutions [J]. Chin J Infect Control, 2025, 24(5): 625-630. DOI: 10.12138/j. issn. 1671-9638. 20257234.