

中南某市地铁站室内环境微生物污染状况 及分布特征研究

罗姣^{1,2}, 苏丽琴^{1,2}, 葛覃兮², 邵冉起², 李峰², 奚伟豪², 程淑燕^{1,2}, 周纯良³, 彭蔚⁴, 桂卓嘉⁴,
彭敏兰⁴, 杨敏⁴, 洪峰¹, 张必科⁵, 王先良², 姚孝元²

1. 贵州医科大学公共卫生与健康学院环境污染与疾病监控教育部重点实验室, 贵州 贵阳 561113;
2. 中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所, 北京 100050; 3. 湖南省疾病预防控制中心;
4. 湘潭市疾病预防控制中心; 5. 中国疾病预防控制中心传染病预防控制所

摘要:目的 了解中南某市地下地铁站室内空气和公共设施物体表面微生物污染状况及分布特征。方法 对中南某市三座地铁站室内不同区域、时间段空气细菌和真菌总数, 重点公共设施表面细菌总数、真菌总数、大肠菌群和金黄色葡萄球菌进行采样检测。采用多元线性回归和 logistic 回归进行影响因素分析。结果 地铁站室内空气细菌和真菌总数中位数分别为 194.35 和 346.29 CFU/m³; 物表细菌和真菌总数中位数分别为 15.00 CFU/25 cm² 和 0 CFU/50 cm², 大肠菌群和金黄色葡萄球菌阳性率分别为 2.22% 和 11.11%。地铁站室内空气微生物水平存在时空分布差异, 其中站厅内细菌总数最高, 站台内真菌总数最高; 早高峰时段细菌总数最高, 晚高峰时段真菌总数最高。检票机表面细菌和真菌总数均高于其他公共设施, 中午公共设施表面真菌总数低于晚高峰时段, 大肠菌群阳性率低于早高峰时段。地铁站室内空气细菌总数与温度($\beta=-0.06$, 95% CI: -0.11 ~ -0.01)和风速($\beta=-0.28$, 95% CI: -0.55 ~ -0.01)呈负相关关系; 空气真菌总数与相对湿度($\beta=0.01$, 95% CI: 0 ~ 0.02)呈正相关关系, 与 PM_{2.5}($\beta=-0.01$, 95% CI: -0.02 ~ -0.01)呈负相关关系; 物表细菌总数与 PM_{2.5}($\beta=-0.04$, 95% CI: -0.07 ~ -0.02)呈负相关关系。结论 中南某市三座地铁站室内环境微生物水平较低, 公共设施物体表面存在致病菌的污染。地铁站细菌和真菌浓度在不同区域和时间段的分布规律存在差异, 且与温度、湿度、风速及 PM_{2.5} 有关。

关键词: 地铁站; 微生物污染; 室内空气; 物体表面; 时空分布

中图分类号: R122 文献标志码: A 文章编号: 1003-8507(2024)09-1580-06

DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202311459

Study on the status and distribution characteristics of indoor environmental microbial pollution at a metro station of a city in central south China

LUO Jiao*, SU Li-qin, GE Qin-xi, SHAO Ran-qi, LI Feng, XI Wei-hao, CHENG Shu-yan, ZHOU Chun-liang, PENG Wei, GUI Zhuo-jia, PENG Min-lan, YANG Min, HONG Feng, ZHANG Bi-ke, WANG Xian-liang, YAO Xiao-yuan

*Key Laboratory of Environmental Pollution and Disease Monitoring, Ministry of Education, School of Public Health and Health, Guizhou Medical University Guiyang, Guiyang 561113, China

Abstract: Objective To investigate the status and distribution characteristics of microbial pollution on the surface of indoor air and public facilities at a metro station of a city in the central south China. **Methods** The total number of bacteria and fungi in the air and those of bacteria, fungi, coliform, and Staphylococcus aureus on the surface of key public facilities were sampled and detected. Multiple linear regression and Logistic regression were used to analyze the influencing factors. **Results** The median of the total number of bacteria and fungi in the indoor air of metro station was 194.35 and 346.29 CFU/m³, respectively, the median of the total number of bacteria and fungi on the surface was 15.00 CFU/25 cm² and 0.00 CFU/50 cm², and the positive rates of coliform group and Staphylococcus aureus were 2.22% and 11.11%, respectively. There were differences in the temporal and spatial distribution of microorganisms in the indoor air of the metro: the total number of bacteria in the station hall was the highest and the total number of fungi in the platform was the highest; the total number of bacteria was the highest in the early peak period and the highest in the evening peak period. The total number of bacteria and fungi on the surface of the ticket inspection machine was higher than that of other public facilities, the total number of fungi on the surface of public facilities at noon was lower than that in the evening peak period, and the positive rate of coliform group was

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFC2600501); 全国公共场所健康危害因素监测项目

作者简介: 罗姣(1996—), 女, 硕士在读, 研究方向: 环境与健康研究

通信作者: 苏丽琴, E-mail: suliqin@nieh.chinaacc.cn

lower than that in the morning peak period. The total number of bacteria in the indoor air of subway station was negatively correlated with temperature ($\beta=-0.06$, 95%CI: -0.11 to -0.01) and wind speed ($\beta=-0.28$, 95%CI: -0.55 to -0.01). The total number of air fungi was positively correlated with relative humidity ($\beta=0.01$, 95%CI: 0.00 to 0.02) and negatively correlated with PM_{2.5} ($\beta=-0.01$, 95%CI: -0.02 to -0.01). There was a negative correlation between the total number of bacteria on the surface and PM_{2.5} ($\beta=-0.04$, 95%CI: -0.07 to -0.02). **Conclusion** The level of microorganisms in indoor environment of three metro stations in a city in the central south China is low, and the surface of public facilities is contaminated by pathogenic bacteria. The distribution of bacterial and fungal concentrations in metro stations vary among regions and time periods, which is related to temperature, humidity, wind speed, and PM_{2.5}.

Keywords: Metro station; Microbial pollution; Indoor air; Object surface; Temporal and spatial distribution

室内环境微生物主要包括细菌、真菌、病毒等,它们可悬浮在空气中形成气溶胶,也能附着于各式物体表面^[1]。研究显示,新冠肺炎和流感等传染性疾病的病原体可通过空气中的飞沫或附着于颗粒物上进行传播,尤其在密闭环境中可迅速播散,对人群健康安全构成极大威胁^[2]。研究还发现某些病原微生物在物体表面具有较强的生存能力,在塑料和不锈钢等材质的物表上存活时间甚至更长^[3],意味着人们一旦接触被这些致病微生物污染的表面,可能面临感染的风险。地铁站环境相对封闭,自然通风不足且缺乏阳光照射,不利于微生物的稀释和消除。同时,地铁站内人员密集,流动性大,健康与非健康个体混杂,公共设施在场所内供市民频繁交叉、反复触摸,极易造成微生物交叉污染,甚至是疾病的蔓延。因此,对地铁站室内微生物污染的研究显得尤为重要。

随着我国地铁交通飞速发展,地铁站室内微生物污染状况引起了政府和公众的高度关切。来自北京^[4]、上海^[5]、苏州^[6]、武汉^[7]等地的研究显示,地铁站室内环境存在一定的微生物污染风险,但研究指标多关注室内空气细菌和真菌总数,且关于公共设施物体表面微生物污染状况的报道极少。尚未见同时检测标准规定的空气及物体表面细菌总数、真菌总数、大肠菌群和金黄色葡萄球菌四项指标的报道。此外,既往研究多仅在某一时段进行采样检测,不同研究选择的时段不一,研究结果的可比性较差。为填补上述不足,揭示地铁站室内空气和物体表面微生物污染状况及分布特征,本研究选择中南某市典型地铁站开展精细调查,以期对地铁站室内环境微生物污染的精准防控提供科学依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象 2023年7月,于中南某市选取三个有代表性的地下地铁车站作为研究对象。其中一个车站为线路换乘站,一个车站为高铁接驳站,一个车站为独立车站。

1.2 监测指标 监测指标主要包括空气细菌总数和真菌总数,检票机、售票机屏幕、直梯按钮、自动扶梯

扶手和站台立柱壁五类公共设施物体表面细菌总数、真菌总数、大肠菌群和金黄色葡萄球菌。

1.3 监测时间 每天监测三个时段,即早高峰(7:00—9:00)、中午(11:00—13:00)和晚高峰(18:00—20:00),每个时段监测一次,连续监测两天(均为工作日)。

1.4 采样及检测方法

1.4.1 空气微生物 每个车站设置八个监测采样点,具体在站厅室内对称的两个安检口处以及中部各设置一个监测点,站台两端和中部各设置一个监测点,另外选择经过该站点列车车厢(共八节车厢)的第二和第六节车厢各一个监测点。监测点位置避开通风口,并距离墙壁1m左右,采样高度为1.2~1.5m。根据《公共场所卫生检验方法第3部分:空气微生物》(GB/T 18204.3-2013),撞击法采集空气微生物。同时,参照《公共场所卫生检验方法第1部分:物理因素》(GB/T 18204.1-2013)和《公共场所卫生检验方法第2部分:化学污染物》(GB/T 18204.2-2014)在每个监测点采用仪器现场直读温度、相对湿度、风速、CO₂、PM_{2.5}和PM₁₀。

1.4.2 公共设施物体表面微生物 使用无菌棉签于10ml无菌生理盐水中浸润后对公共区域的售票机屏幕、检票机、直梯按钮、自动扶梯扶手和站台立柱墙壁表面进行涂抹采样。依据《公共场所卫生检验方法第4部分:公共用品用具微生物》(GB/T 18204.4-2013),检测公共设施物体表面的细菌总数、真菌总数、大肠菌群和金黄色葡萄球菌。

1.5 评价方法 参照《公共场所卫生指标及限值要求》(GB 37488-2019),空气菌落总数 $>4\ 000\text{CFU}/\text{m}^3$ 为超标,物体表面菌落总数 $>300\text{CFU}/25\text{cm}^2$ 为超标,公共设施物体表面不得检出大肠菌群和金黄色葡萄球菌。参照《公共场所集中空调通风系统卫生规范》(WS 10013-2023),集中空调通风系统冷却水、冷凝水中不得检出嗜肺军团菌。

1.6 质量控制 采样及实验室检测人员均经过统一严格的培训,所用设备均经过检定校准。现场采样、实验室检测过程中的每批样品均设置空白样。

1.7 统计分析 使用SPSS 26.0软件对数据集进行

统计分析。本次研究对连续变量进行正态性检验后发现其均不符合正态分布,故以四分位间距 $[M(P_{25}, P_{75})]$ 进行统计描述,分类变量以例数和百分比进行统计描述。使用 Kruskal-wallis 检验和 χ^2 检验比较不同区域、时间段地铁站室内微生物浓度或阳性率的差异。将细菌和真菌总数经对数转换(log10)后采用多元线性回归探索环境细菌和真菌总数的影响因素。此外,采用多因素 logistic 回归模型分析物表大肠菌群和金黄色葡萄球菌污染的影响因素。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 基本情况 本次调查共采集空气细菌总数和真菌总数样本各 144 份,公共设施物体表面涂抹拭子样本 180 份,其中售票机 18 份、检票机 54 份,扶梯扶手、直梯按钮和立柱壁各 36 份。地铁站室内微生物指标监测结果显示,室内空气细菌总数和真菌总数 $[M(P_{25}, P_{75})]$ 分别为 194.35(134.28, 346.29)和 346.29

(254.42, 454.06)CFU/m³; 公共设施物体表面细菌总数和真菌总数 $[M(P_{25}, P_{75})]$ 分别为 15.00(2.50, 96.25)CFU/25cm² 和 0(0, 10.00)CFU/50cm²。地铁站室内空气和物体表面细菌总数超标率分别为 0 和 11.11%,大肠菌群和金黄色葡萄球菌阳性率分别为 2.22%和 11.11%。此外,地铁站站台相对湿度高于车厢,晚高峰时段 PM_{2.5} 高于早高峰和中午时段;温度、风速和 CO₂ 均无区域和时间分布的差异。见表 1。

2.2 地铁站室内空气微生物分布特征 地铁站不同区域、时间段空气微生物浓度差异性分析显示,站厅内空气细菌总数最高,站台空气真菌总数最高;早高峰时段空气细菌总数高于中午时段,晚高峰时段空气真菌总数高于中午时段,差异均具有统计学意义($P<0.05$)。此外,分别根据不同时间段的不同区域以及不同区域的不同时间段的微生物浓度进行差异性分析显示,站内微生物的浓度随着采样区域和时间段的变化,其浓度差异也存在较大区别。见图 1、表 1。

表 1 地铁站不同区域、监测时段各项卫生学指标监测情况 $[M(P_{25}, P_{75})]$

Table 1 Monitoring conditions of hygiene indicators in different areas and monitoring periods of metro stations

变量	区域			时间段						
	车厢 (n=36)	站台 (n=54)	站厅 (n=54)	H 值	P 值	早高峰 (n=48)	中午 (n=48)	晚高峰 (n=48)	H 值	P 值
温度(°C)	23.25 (22.70,24.23)	23.60 (22.73,25.28)	23.75 (23.00,25.83)	5.32	0.072	23.50 (23,25.35)	23.60 (22.88,25.43)	23.65 (22.78,24.43)	0.13	0.936
相对湿度 (%)	81.40 (80.00,84.80)	85.30 (83.20,88.38) ^b	84.30 (80.23,87.08)	8.63	0.013	84.20 (80.00,87.20)	85.00 (80.65,88.05)	83.90 (80.50,88.08)	0.37	0.832
风速(m/s)	0.09 (0.05,0.50)	0.07 (0.03,0.17)	0.08 (0.03,0.18)	3.68	0.104	0.12 (0.04,0.21)	0.08 (0.04,0.20)	0.08 (0.04,0.14)	0.61	0.653
CO ₂ (%)	0.06 (0.04,0.06)	0.06 (0.04,0.07)	0.06 (0.04,0.07)	0.93	0.629	0.06 (0.04,0.07)	0.06 (0.04,0.06)	0.06 (0.04,0.07)	1.97	0.373
PM ₁₀ (μg/m ³)	23.00 (19.75,26.00)	24.50 (22.00,27.00)	22.50 (20.00,27.00)	3.50	0.174	22.00 (18.25,26.00)	23.50 (20.75,26.00)	26.00 (21.00,29.00) ^{d,e}	11.84	0.003
PM _{2.5} (μg/m ³)	27.00 (21.00,32.50)	28.50 (20.25,35.00)	26.00 (18.00,32.75)	2.01	0.366	27.50 (18.00,34.75)	29.00 (19.00,34.00)	27.00 (21.00,32.00)	0.13	0.936
细菌总数 (CFU/m ³)	170.00 (91.87,263.25)	177.00 (136.04,337.46)	243.82 (171.38,429.33) ^{b,c}	9.80	0.007	272.08 (148.41,492.93)	169.61 (116.61,240.28) ^d	183.75 (139.58,383.39)	9.24	0.010
真菌总数 (CFU/m ³)	250.88 (201.41,318.02)	477.03 (355.12,662.54) ^b	335.69 (242.05,416.96) ^c	47.01	<0.001	321.55 (250.88,461.13)	282.69 (226.15,392.23)	416.96 (312.72,484.10) ^e	7.04	0.030

注:^b与车厢相比,差异有统计学意义;^c与站台相比,差异有统计学意义;^d与早高峰相比,差异有统计学意义;^e与中午相比,差异有统计学意义。

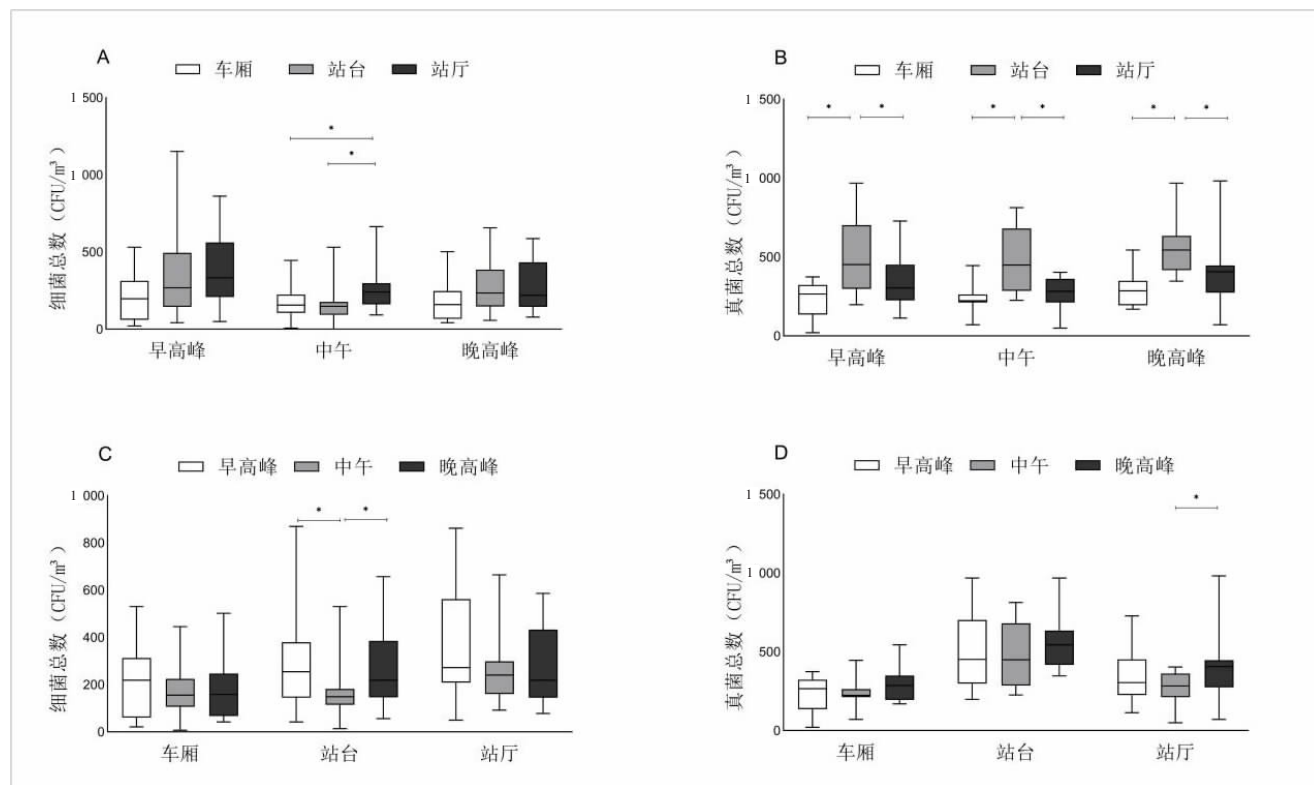
2.3 地铁站公共设施表面微生物分布特征 对场所内不同公共设施物体表面细菌总数、真菌总数、大肠菌群阳性率和金黄色葡萄球菌阳性率进行差异性分析显示,表面细菌总数:检票机>售票机>直梯按钮>扶梯扶手>立柱壁;表面真菌总数:检票机>售票机>扶梯扶手,差异均具有统计学意义($P<0.05$),见表 2。不同监测时段公共设施表面微生物浓度或阳

性率的差异性分析显示,中午公共设施表面真菌总数高于晚高峰($P<0.05$),大肠菌群阳性率低于早高峰($P<0.05$),见表 3。

2.4 地铁站室内环境微生物水平影响因素 多元线性回归分析结果显示,空气细菌总数与温度($\beta=-0.06$, 95% CI: -0.11 ~ -0.01)和风速($\beta=-0.28$, 95% CI: -0.55 ~ -0.01)呈负相关关系;空气真菌总数与相对

湿度($\beta=0.01, 95\%CI:0 \sim 0.02$)呈正相关关系,与 $PM_{2.5}$ ($\beta=-0.01, 95\%CI:-0.02 \sim -0.01$)呈负相关关系;物表

细菌总数与 $PM_{2.5}$ ($\beta=-0.04, 95\%CI:-0.07 \sim -0.02$)呈负相关关系。见表 4。



注: * $P < 0.05$ 。

图 1 地铁站室内空气细菌、真菌总数分布分层分析

Figure 1 Stratified analysis of the total number of airborne bacteria and fungi in metro stations

表 2 地铁站公共设施物体表面微生物分布 [$M(P_{25}, P_{75}), n(\%)$]

Table 2 Distribution of microorganisms on the surface of public facilities in metro stations [$M(P_{25}, P_{75}), n(\%)$]

变量	检票机($n=54$)	售票机($n=18$)	直梯按钮($n=36$)	扶梯扶手($n=36$)	立柱壁($n=36$)	H/χ^2 值	P 值
细菌总数 (CFU/25cm ²)	100.00 (30.00,220)	22.50 (6.87,121.25)	10.00 (3.12,73.12) ^b	5.00 (0,25.00) ^{bc}	2.50 (0,7.50) ^{bc,d}	50.58	<0.001
真菌总数 (CFU/50cm ²)	10.00 (0,30.00)	5.00 (0,11.20)	0 (0,5.00) ^{bc}	0 (0,5.00) ^{bc}	2.50 (0,10.00) ^b	24.42	<0.001
大肠菌群阳性	2(3.70)	0(0)	0(0)	1(2.78)	1(2.78)	1.78	0.940
金黄色葡萄球菌阳性	5(9.26)	3(16.67)	4(11.11)	6(16.67)	2(5.56)	3.16	0.537

注: ^b 与检票机相比, 差异具有统计学意义; ^c 与售票机相比, 差异具有统计学意义; ^d 与直梯按钮相比, 差异具有统计学意义。

表 3 地铁站不同监测时段公共设施物表微生物分布情况 [$M(P_{25}, P_{75}), n(\%)$]

Table 3 Distribution of microorganisms on public facilities at different monitoring periods in metro stations [$M(P_{25}, P_{75}), n(\%)$]

变量	早高峰($n=60$)	中午($n=60$)	晚高峰($n=60$)	H/χ^2 值	P 值
细菌总数(CFU/25cm ²)	16.25(2.50,57.50)	15.00(3.1,82.50)	16.25(2.50,197.50)	0.91	0.634
真菌总数(CFU/50cm ²)	0(0,10.00)	5.00(0,13.75)	0(0,5.00) ^c	7.58	0.023
大肠菌群阳性	4(6.67)	0(0) ^b	0(0)	5.82	0.035
金黄色葡萄球菌阳性	4(6.67)	8(13.33)	8(13.33)	1.87	0.439

注: ^b 与早高峰相比, 差异具有统计学意义; ^c 与中午相比, 差异具有统计学意义。

3 讨论

本研究中中南某市三座地下地铁站室内空气细菌和真菌总数与北京^[4]、上海^[5]等地的报道相比, 处于相对较低的水平; 而公共设施物体表面大肠菌群和金

黄色葡萄球菌阳性率高于东莞和广州^[8-9]。因此, 即使地铁站室内空气微生物处于较低的水平, 公共设施物体表面依然存在大肠菌群和金黄色葡萄球菌等致病菌的污染, 且污染程度并不低。余韵等^[10]也发现广州

表 4 地铁站室内环境微生物的影响因素的回归分析^a

Table 4 Regression analysis of influencing factors of indoor environmental microorganisms in metro stations

自变量	空气		物表			
	细菌总数 ^b	真菌总数 ^b	细菌总数 ^b	真菌总数 ^b	大肠菌群 ^c	金黄色葡萄球菌 ^c
温度	-0.06(-0.11 ~ -0.01) ^d	-0.03(-0.07 ~ 0)	-0.07(-0.24 ~ 0.09)	0.08(-0.14 ~ 0.30)	1.13(0.50 ~ 2.32)	0.79(0.52 ~ 1.15)
相对湿度	0.01(-0.01 ~ 0.02)	0.01(0 ~ 0.02) ^d	0.01(-0.05 ~ 0.06)	0.03(-0.04 ~ 0.10)	1.08(0.82 ~ 1.43)	1.08(0.95 ~ 1.23)
风速	-0.28(-0.55 ~ -0.01) ^d	0.04(-0.16 ~ 0.23)	0.03(-1.43 ~ 1.49)	-0.18(-1.98 ~ 1.62)	1.11(0.38 ~ 3.10)	0.83(0.50 ~ 1.34)
CO ₂	-0.11(-1.05 ~ 0.83)	0.20(-0.47 ~ 0.86)	0.17(-9.35 ~ 9.68)	3.30(-8.76 ~ 15.36)	0.54(0.01 ~ 9.64)	0.77(0.16 ~ 3.10)
PM _{2.5}	0(-0.01 ~ 0.01)	-0.01(-0.02 ~ -0.01) ^d	-0.04(-0.07 ~ -0.02) ^d	-0.02(-0.06 ~ 0.02)	0.99(0.88 ~ 1.13)	1.03(0.97 ~ 1.09)
PM ₁₀	-0.02(-0.04 ~ 0)	0.01(0 ~ 0.03)	0.04(-0.01 ~ 0.09)	-0.02(-0.07 ~ 0.04)	0.94(0.76 ~ 1.15)	1.01(0.92 ~ 1.11)

注:^a模型调整了客流量;^b β (95%CI),多元线性回归分析;^cOR(95%CI),多因素 logistic 回归分析;^d $P < 0.05$ 。

地铁站公共设施表面存在耐甲氧西林金葡菌、耐碳青霉烯肠杆菌等健康风险较高的病原菌的污染。提示,地铁站室内公共设施表面致病微生物的污染防治应受到重视。

地铁站室内环境微生物存在空间分布的差异。本研究中地铁站厅内空气细菌总数最高,站台空气真菌总数最高,车厢空气细菌总数和真菌总数均最低,与张海红等^[9]和张霞等^[11]的调查结果相似。然而,石斌等^[7]和王静等^[12]发现武汉和太原两地新建地铁站站台室内空气细菌总数高于站厅;张金萍等^[13]发现北京地铁站车厢空气细菌总数和真菌总数均高于站台。来自伊朗和墨西哥等国家的研究也发现不同地铁站室内微生物水平出现最高或最低的区域不都相同^[14-15]。不同类型公共设施表面微生物浓度和阳性率也存在差异,我们发现检票机微生物浓度和致病微生物阳性率最高,与姚振江等^[9]的调查结果相似。此外也有研究显示地铁站各类公共设施表面微生物水平、多样性以及群落结构等同样存在差异,但出现最高或最低的公共设施均不同^[10,16-17]。空间分布存在差异的原因可能与微生物种类、物体表面材质类型、建筑布局、使用频率等有关。因此有必要针对性地对每个地铁站开展对不同功能区的环境微生物监测,以确定各地铁站内重点防控的区域。

地铁站室内空气微生物浓度在一天内的不同时间段也存在较大的差异,本研究中呈现为早高峰时段细菌总数高于其他时段,而晚高峰空气真菌总数明显高于其他时段。李祺等^[18]和张莹等^[19]的研究也发现早晚高峰空气中微生物浓度明显高于其他时段。此外,微生物多样性和组成在一天内的不同时间段也存在差异,如雅典地铁室内空气细菌丰度白天高于夜间^[20];莫斯科地铁站早上室内空气和物表微生物多样性在 8 点左右达到最大值^[21]。因此,在进行微生物监测时,应充分考虑时间因素的关键作用,避免将某一时间点的数据概括为地铁整体的微生物的常态。

本研究发现温度、相对湿度、风速和 PM_{2.5} 是微生物

的重要影响因素,这与 Fan 等^[22]和 Wang 等^[23]的研究结果一致。每种微生物都有其独特的生存环境,温湿度可通过促进微生物的释放、扩散和生长来影响微生物群落,也可通过蒸发微生物的细胞水分来影响其生存能力^[22]。室内微生物易附着于颗粒物表面,以气溶胶的形式悬浮于空气中。Grydaki 等^[20]发现空气细菌与 PM₁₀ 呈正相关,而大部分真菌与 PM₁₀ 呈负相关。本研究与 Fan 等^[22]和 Wang 等^[23]的研究也发现空气真菌与 PM_{2.5} 浓度呈负相关,表明颗粒物对微生物的影响可能与菌群种类有关。地铁站室内环境微生物的影响因素是复杂多样的,但具体每种因素如何影响微生物的水平、种类、生存时间以及影响程度如何等等都值得更进一步的探讨。

综上,中南某市三座地铁站室内环境微生物水平较低,但公共设施表面依然存在致病菌的污染。站内微生物污染存在区域部位和时间段的差异,且与温湿度、风速和颗粒物等有关。在进行微生物监测时,应充分考虑空间分布和时间的关键作用,避免将某一时间点和功能区的数据概括为地铁整体的微生物的常态,针对性采取消毒或其他防护措施,保障乘客身体健康。本研究存在一定局限性,研究仅在三个地铁站内展开,样本数量有限,且仅采用培养法检测环境微生物水平,较难涵盖微生物种群的全貌。未来可采用更先进的微生物分析技术针对环境中的微生物种类和组成进一步研究,以揭示地铁环境中微生物更全面的分布规律。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] Ting M, Molinari JA, Suzuki JB. Current SARS-CoV-2 protective strategies for healthcare professionals [J]. Biomedicines, 2023, 11(3): 808.
 [2] Leung NHL. Transmissibility and transmission of respiratory viruses [J]. Nature Reviews Microbiology, 2021, 19(8): 528-545.
 [3] Van doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, et al. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1 [J]. New England Journal of Medicine, 2020, 382(16): 1564-1567.

- [4] 张翠林. 公建室内空气微生物污染及与颗粒物的相关性研究[D]. 北京:北京建筑大学,2020.
Zhang CL. Study on the correlation between indoor air microbial pollution and particulate matter in public buildings[D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2020.
- [5] 刘永萍,张莉君,苏瑾. 上海市地铁站公共区域空气质量抽样监测[J]. 上海预防医学,2022,34(10):1007-1013.
Liu YP, Zhang LJ, Su J. Air quality monitoring and correlation analysis in public areas of three subway stations in Shanghai[J]. Shanghai Journal of Preventive Medicine, 2022, 34(10): 1007-1013.
- [6] 张海红. 苏州市吴江区地铁4号线车站空气中细菌和真菌的暴露水平及分布特征[J]. 智慧健康,2020,6(25):82-85.
Zhang HH. Exposure level and distribution characteristics of bacteria and fungi in the air of Wujiang metro line 4 station in Suzhou[J]. Smart Healthcare, 2020, 6(25): 82-85.
- [7] 石斌,刘俊玲,王佩,等. 2021年武汉市新建地铁站室内空气污染特征及干预效果评估[J]. 职业与健康,2022,38(20):2834-2837.
Shi B, Liu JL, Wang P, et al. Indoor air pollution characteristics and intervention effect evaluation of new subway stations in Wuhan City in 2021[J]. Occupation and Health, 2022, 38(20): 2834-2837.
- [8] 杜济民,赵建军,黄岸仲,等. 2017年广东省东莞市地铁列车车厢环境卫生状况调查[J]. 实用预防医学,2019,26(3):357-359.
Du JM, Zhao JJ, Huang AZ, et al. Investigation on environmental health status of subway cars in Dongguan City, Guangdong Province in 2017[J]. Practical Preventive Medicine, 2019, 26(3): 357-359.
- [9] 姚振江,陈小凤,周俊立,等. 广州地铁站及车厢物体表面葡萄球菌污染特征分析[J]. 广东药学院学报,2013,29(4):447-450.
Yao ZJ, Chen XF, Zhou JL, et al. Characteristics of staphylococci contamination on the object surfaces in Guangzhou subway station and carriage [J]. Journal of Guangdong Pharmaceutical University, 2013, 29(4): 447-450.
- [10] 余韵,郑钟黛西,盛华芳,等. 广州地铁环境微生物组分布规律及其潜在影响因素分析[J]. 现代医院,2020,20(1):103-106.
Yu Y, Zheng ZDX, Sheng HF, et al. Analysis of environmental microbiome distribution and its potential influencing factors in Guangzhou Metro[J]. Modern Hospital, 2020, 20(1): 103-106.
- [11] 张霞,侯雪波,高剑晖,等. 某特大城市轨道交通环境微生物污染调查[J]. 环境与健康杂志,2020,37(2):139-142.
Zhang X, Hou XB, Gao JH, et al. Investigation of microbial pollution in metro environment in a megacity in China [J]. Journal of Environment and Health, 2020, 37(2): 139-142.
- [12] 王静,乔玫,宋晖,等. 太原市地铁试运营期间室内空气卫生状况调查[J]. 环境卫生学杂志,2023,13(7):501-505.
Wang J, Qiao M, Song H, et al. Investigation on indoor air sanitary conditions during trial operation of the newly-bulit metro line in Taiyuan, China [J]. Journal of Environmental Hygiene, 2023, 13(7): 501-505.
- [13] 张金萍,左云峰,张翠林,等. 人员密集型场所细菌真菌气溶胶冬季分布特征及健康影响分析 [J]. 建筑科学,2023,39(4):213-220,251.
Zhang JP, Zuo YF, Zhang CL, et al. Distribution characteristics and health impact assessment of bacterial and fungal aerosols in densely populated places in winter [J]. Building Science, 2023, 39 (4): 213-220, 251.
- [14] Hoseini M, Jabbari H, Naddafi K, et al. Concentration and distribution characteristics of airborne fungi in indoor and outdoor air of Tehran subway stations[J]. Aerobiologia, 2013, 29(3): 355-363.
- [15] Hernández AM, Vargas-Robles D, Alcaraz LD, et al. Station and train surface microbiomes of Mexico City's metro (subway/underground)[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 8798.
- [16] Guevarra RB, Hwang J, Lee H, et al. Metagenomic characterization of bacterial community and antibiotic resistance genes found in the mass Transit system in Seoul, South Korea[J]. Ecotoxicology and Environment Safety, 2022, 246: 114176.
- [17] Vargas-Robles D, Gonzalez-Cedillo C, Hernandez AM, et al. Passenger-surface microbiome interactions in the subway of Mexico City [J]. PLOS One, 2020, 15(8): e0237272.
- [18] 李祺. 江西某城市地铁空气中典型污染物时空分布特征实验研究[D]. 南昌:南昌航空大学,2022.
Li Q. Experimental analysis of the spatial and temporal distribution characteristics of typical pollutants in the subway air of a city in Jiangxi province [D]. Nanchang: Nanchang Hangkong University, 2022.
- [19] 张莹,马宇熙,张勇,等. 2021-2022年西北某城市地铁环境空气质量调查研究 [J]. 环境与职业医学,2023,40(11):1290-1296.
Zhang Y, Ma YX, Zhang Y, et al. Air quality of metro system in a northwestern city of China from 2021 to 2022[J]. Journal of Environmental & Occupational Medicine, 2023, 40(11): 1290-1296.
- [20] Grydaki N, Colbeck I, Mendes L, et al. Bioaerosols in the Athens metro: metagenetic insights into the PM10 microbiome in a naturally ventilated subway station [J]. Environment International, 2021, 146: 106186.
- [21] Pochtovyi AA, Vasina DV, Verdiev BI, et al. Microbiological characteristics of Some stations of Moscow subway[J]. Biology-Basel, 2022, 11(2): 170.
- [22] Fan L, Wang J, Yang YY, et al. Residential airborne culturable fungi under general living scenario: On-site investigation in 12 typical cities, China[J]. Environment International, 2021, 155: 106669.
- [23] Wang SQ, Qian H, Sun ZK, et al. Comparison of airborne bacteria and fungi in different built environments in selected cities in five climate zones of China[J]. Science of the Total Environment, 2023, 860: 160445.

收稿日期:2023-11-26