

大学校园空气微生物污染现状及影响因素研究进展

邓许诺¹, 刘雨珩¹, 高春艳¹, 许子华¹, 马雪征², 任立平¹, 陈晓芹¹

1.首都医科大学燕京医学院,北京 101300;2.中国检验检疫科学研究院卫生检验与检疫研究所

【摘要】 高校校园空气中的微生物,尤其是病原微生物极易通过尘埃、飞沫传播,并引起各类传染病的发生。研究总结了高校校园空气微生物污染状况、潜在暴露量以及微生物的粒径和种类分布,探讨空气微生物对人群健康的影响,并从气候、人为因素、时间和空间 4 个方面分析影响校园空气微生物的因素,为制定有效的改善措施、提高空气质量、保障师生健康提供科学依据。

【关键词】 空气微生物学;环境监测;危险因素;学生保健服务

【中图分类号】 G 478 R 122.2 Q 938.1⁺¹ G 478.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-9817(2024)05-0751-06

Research progress on the current status and associated factors of airborne microbial pollution in college campuses/DENG Xunuo*, LIU Yuheng, GAO Chunyan, XU Zihua, MA Xuezheng, REN Liping, CHEN Xiaoqin. *Yanjing Medical College, Capital Medical University, Beijing (101300), China

【Abstract】 Airborne microorganisms, especially pathogenic microorganisms, are easily transmitted through dust and droplets, leading to various infectious diseases. The study summarizes the status of airborne microbial pollution, potential exposure levels, particle size, and species distribution of microorganisms, discusses the impact of airborne microorganisms on human health, and analyzes specific factors affecting campus air microorganisms from four aspects: climate, anthropogenic factors, time, and space, to provide a scientific basis for formulating effective improvement measures, improving air quality and safeguarding the health of teachers and students.

【Keywords】 Air microbiology; Environmental monitoring; Risk factors; Student health services

空气中细菌、真菌、病毒和放线菌等有生命的活体统称为空气微生物,来源广泛^[1]。高校校园作为人口密集的区域,其空气质量问题备受关注,空气中的微生物,尤其是病原微生物极易通过尘埃、飞沫传播,并引起各类传染病的发生^[2]。目前,已有多项研究显示校园空气微生物有超标情况^[3-5],因此对校园环境中空气微生物的研究至关重要。

本文数据来源于中国知网和 Web of Science (WOS)。在中国知网利用高级检索,检索式为:“校园”AND“空气微生物”OR“空气细菌”OR“空气真菌”OR“气溶胶”OR“颗粒物”OR“空气污染”,检索出中文文献 255 篇,经过筛选、剔除无关文献后剩余 229 篇;在 WOS 中进行高级检索,检索式为 TS = “campus airborne microorganisms” OR “campus air microorganisms”,共检索出英文文献 154 篇,经过筛选、剔除无关文献后剩余 59 篇。本文通过对中国大学校园空气微生物污染现状进行综述,对目前所存在的问题进行深入分析,并对其发展方向进行展望。

1 空气微生物污染对人群健康造成的危害

陈宁庆等^[6]研究表明,全球有 100 多种病原菌可通过空气传播,而超标的空气微生物对人群健康造成严重危害。近年来,频繁发生的大规模传染性疾病,如严重急性呼吸道综合征(severe acute respiratory syndrome, SARS)^[7]、禽流感、埃博拉、新型冠状病毒感染^[8]等与微生物在空气中的传播直接相关。Sanchez-Moral 等^[9]研究显示,流感、麻疹、出血热、腮腺炎、水痘、肺炎和结核等传染病均可通过空气飞沫传播。Allan 等^[10]研究显示,空气微生物中大多数病毒可引起上呼吸道感染,其中鼻病毒、人冠状病毒、呼吸道合胞病毒和腺病毒分别引起 30%~80%,15%,10%~15%和 5%的感冒发生。2023 年秋冬季,呼吸道感染性疾病高发,甲型和乙型流感病毒、呼吸道合胞病毒、鼻病毒、偏肺病毒、腺病毒、肺炎支原体等呼吸道病原体活跃,甚至出现合并多种病原体感染的病例,与呼吸道分泌物飞沫在空气中的传播密切相关,给人群健康带

【基金项目】 首都医科大学 2023 年第二课堂教学项目(D2KT2023221)

【作者简介】 邓许诺(2003-),女,北京市人,大学本科;刘雨珩(2003-),女,天津市人,大学本科。邓许诺与刘雨珩为共同第一作者。

【通信作者】 陈晓芹, E-mail: chenxq_1001@ccmu.edu.cn

来严重威胁^[11]。

徐静等^[12]通过流行病学研究指出,空气中过高浓度的微生物可以作为过敏原。沈雁翎等^[13]研究表明,真菌孢子及其菌丝是空气中过敏原的主要组分之一,室内潮湿物品(如地毯、墙壁、衣物)中的霉菌是室内空气过敏原的重要来源。唐小兰^[14]研究显示,空气中的链格孢属、曲霉属和枝孢属等常引起皮肤过敏性反应。可见,空气微生物对过敏性反应存在潜在威胁。

由于空气的高流通性,空气中的微生物还可能污染食物、饮品、生活用品等,间接对人体造成危害;微生物的生长代谢还会释放出各种气味,严重时可能导致人群不适^[15]。此外,微生物气溶胶的存在加剧了环境的恶化,慕飞飞^[16]研究表明空气中 PM_{2.5} 体积浓度与微生物体积浓度呈正相关。

2 校园空气微生物污染状况

在空气微生物的采样方法上,多数研究采用自然沉降法,仅有约 1/4 的报道采用不同的空气微生物采样器^[17]。在分析的微生物种类中,真菌和细菌占主导地位,其次是放线菌,其他种类的报道相对较少^[18]。多数文献只报道空气微生物的数量和浓度,少部分通过形态学鉴定属或以上分类,极个别文献报道了群落组成和多样性分析^[19-20]。

2.1 校园空气微生物污染程度 多篇文献记载了空气质量不合格的监测点^[3,4,21-30],此类监测点多位于食堂、学生公寓、教室等地,评价结果一般为轻度污染和中度污染,个别情况甚至出现极重度污染;另有部分文献显示大学校园内有空气质量不合格情况,但未标注污染等级^[31-32]。由此可知,我国校园空气质量仍有待提高,需要进一步的研究提供理论依据。

2.2 校园空气微生物日均潜在暴露量 暴露量是指人体在一定时间内接触某种污染物的总量^[33]。赵秀阁等^[34]研究指出,微生物暴露量一般只计算其主要进入途径即通过呼吸系统进入人体的暴露量,细菌和真菌气溶胶对校园室内不同人群的日均潜在暴露量范围分别为 98~15 878 和 91~6 323 CFU/d^[35]。日均潜在暴露量的计算,可以推测空气微生物的暴露水平,对改善室内空气微生物污染水平、保护人体健康有重要意义。

2.3 校园空气微生物粒径分布 夏秋良等^[3]研究发现,空气中细菌主要集中于采样器第 II~V 级,真菌主要集中于采样器第 II 和 III 级。而孙霞等^[30]研究发现,各典型场所微生物气溶胶主要分布于 III~V 层级。叶瑾^[36]研究显示室内可培养空气微生物的粒径分布呈单峰型,峰值浓度通常出现在 1.1~2.1 μm(V 级);冬季时,可进入人体下呼吸道的可培养细菌和真菌的粒子,即直径小于 4.7 μm(III 级以上)分别约占 79%和

83%,而在夏季,这些粒子的比例更高,分别为 87%和 89%。喻道军等^[31]检测结果显示可吸入霉菌粒子占霉菌粒子总数的比例高达 60.5%。而孙帆等^[5]在空气微生物粒径分布特征中发现,粒径小于 4.7 μm(III 级以上)的细菌占 75.6%,真菌占 93.0%。可能是因为空气真菌常以单个孢子的形式存在,而细菌主要吸附于非生物粒子表面。长期暴露可能对呼吸系统造成严重感染与损伤。

2.4 校园空气微生物种属分布 熊振明等^[37]研究结果显示,校园空气中含有的细菌共有 11 属,其中革兰阳性菌多于革兰阴性菌,优势菌属为芽胞杆菌属、葡萄球菌属和微球菌属,以上菌属具有运动性,多为好氧菌、适应性较强。此外,放线菌共有 7 属,优势菌属包括链霉菌属和放线菌属^[38]。

黄国英^[39]通过革兰染色法对校园各处空气中的细菌进行镜检,发现革兰阳性菌平均占 84.66%,其中以杆菌为主,球菌次之。真菌中最常见的是枝孢菌属,其次是弯孢菌属、链格孢菌属、镰刀菌属和青霉菌属^[40]。孙帆等^[19-20]研究显示,校园室内空气中细菌的优势菌属为拟杆菌属、双歧杆菌属、马赛菌属、链球菌属和假单胞菌属等,真菌优势菌属为镰刀菌属和耐冷酵母菌等。Fang 等^[41]研究根据 16S rDNA 序列鉴定了空气中传播的细菌,其中优势菌属为微球菌、芽胞杆菌、葡萄球菌、考库氏菌和假单胞菌。Yuan 等^[42]研究显示校园空气中真菌的优势菌属为黑曲霉属、链格孢属和痂黑霉属。以上菌属大部分是非致病菌,但也存在少部分致病菌,如链球菌属中的 A 群链球菌、假单胞菌属中的铜绿假单胞菌和镰刀菌属可能引起不同的感染性疾病。

3 影响校园空气微生物含量的因素

3.1 气候因素

3.1.1 温度和湿度 研究显示,当空气中温湿度处于适宜范围时,有利于微生物的生长繁殖^[3,43-45]。在各类室内监测点中,学生宿舍和餐厅的空气微生物含量普遍偏高,尤其在夏秋季明显高于冬春季^[46]。原因可能是因为夏秋气温较高,而学生宿舍、餐厅等地由于衣物晾晒和食物腐败变质等原因,湿度增高,导致空气微生物含量增加。然而,邵志军等^[47]研究表明并不是所有微生物的数量都随着湿度的增加而增加,真菌在一定范围内随着环境湿度的增大而减少。

3.1.2 沙尘、雾霾 石广玉等^[48]研究表明,一些生物气溶胶(如细菌、真菌等)往往伴随沙尘、雾、霾等天气出现。Yuan 等^[49]在北京一次沙尘天气的观测结果表明,沙尘天气中的细菌浓度比非沙尘天气高出 1 个数量级。可能是因为沙尘空气中含有较多悬浮颗粒,有利于微生物附着;且此类天气还可能降低师生开窗通

风频率,从而导致室内外空气中微生物种类和含量同时增加的现象。

3.1.3 雨雪 胡庆轩等^[50]实验表明,雨雪对空气微生物有冲刷和净化作用,能够减少空气中细菌和真菌大粒子的浓度。降雪可以使细菌粒子浓度降低 22.4 倍,而且空气中细菌粒子越大,减少的效果越明显;但如果雨雪持续时间过长,潮湿的空气中则可能存在更多种类的微生物^[51]。

3.2 人为因素

3.2.1 人流量 在监测中发现^[21,39],学生宿舍、网吧等人员密集,人流量大的地方,空气中的微生物含量普遍较高;且在对教室的取样监测中发现,课前明显小于课后。原因可能是人群携带的各种微生物会进入空气,且走动过程会导致地面的灰尘飞扬到空气中,有利于微生物附着。从微生物种类分析,Qian 等^[52]实验显示,有人活动时空气中总颗粒质量和细菌、真菌种类都有显著增加,且部分为人类口腔、皮肤特有菌群。

3.2.2 通风条件 研究发现,学生宿舍、网吧等微生物含量普遍较高,而教室、图书馆等地微生物含量普遍较少^[21,39,43]。可能是因为学生宿舍、网吧等地一般人口密集,通风条件不佳,空气流通性差,而教室、图书馆等地虽然人流量大,但通风条件良好,不利于微生物的生长繁殖。因此,密闭且通风不良的环境更有利于微生物的生长。

3.2.3 卫生习惯 李国森等^[22]研究指出,实验室的空气微生物含量始终处于较低水平,这是因为学校实验室都有严格的管理规定,经常进行规范的消毒操作。相比之下,部分食堂空气中微生物含量较高的原因可能包括后厨中食物残渣清理不及时,导致霉烂和变质^[41]。此外,宿舍内不常开窗通风、堆积杂物、晾晒衣物等也会导致湿度上升,使空气中微生物含量偏高^[22,54]。

3.3 时间因素

3.3.1 全年时间变化 叶瑾^[36]研究发现,在南方的高湿地区,夏季空气细菌数高于冬季,而空气真菌数则相反;在北方,空气细菌数和真菌数都呈现出冬季高于夏季的特征。可见,全国各地同一季节的情况存在较大差异,使得季节对空气微生物的影响也不尽相同。

张燕茹^[54]研究显示在同一个校园环境内,室内外场所受季节影响不同。室内空气微生物含量受季节影响较小,可能与校园室内环境中空调、暖气、新风系统等设施的使用有关。而孙帆等^[5]研究表明室内人员密集度越高,人流量越大,空气微生物含量越不易受季节影响。相比之下,室外环境受季节影响较大,不同地区的校园内不同季节空气微生物含量排序各

不相同,但夏季室外空气微生物数量和含量普遍高于冬季^[54-55]。

3.3.2 全天时间变化 有文献报道,一天中空气微生物含量最高的时间点通常是在日出后 2 h 左右和日落前后 1 h 左右^[39-54]。与光照对空气微生物的双重作用有关:一方面,太阳辐射中的紫外线具有强大的杀菌作用,可减少空气微生物含量;另一方面,光照会使空气温度升高,而适度的升高也利于空气微生物生存。因此,在日出和日落前后,辐射较低,温度适宜,从而导致空气微生物含量较高。此外,张燕茹^[54]研究还表明,一天中空气稳定性的变化也是重要的影响因素,通常在早晨和晚上,空气比较稳定,使空气微生物含量升高。

3.4 空间因素 空间差异对空气微生物含量的影响是目前研究最为广泛的影响因素。徐桂芹等^[56]研究结果显示,空气微生物含量的排序为:生活服务区>景观休闲区>公共交通区>科研教学区>行政办公区>文体活动区。

在室内区域,主要受到人为因素影响,而室外区域,更多地受到自然因素的影响^[57]。主要原因是室外环境中蚊虫较多,蚊虫活动和其身上携带的微生物可能导致微生物含量的增加。湖区的湖水蒸发导致湿度上升,且水中微生物较多,因此水面上空气微生物含量通常高于陆地。周连玉等^[58]的研究表明绿地也具有一定的抑菌作用,但对真菌和放线菌有一定的滋养作用。贾丽等^[2]研究表明复合型绿地的杀菌作用更显著。

4 小结

空气微生物污染对人体有多种危害,从数量、暴露量、粒径分布、种属分布多角度分析校园空气微生物,都显示其对师生健康存在威胁;另外,空气微生物受多种因素影响,且不同影响因素间存在相互关系。因此,学校应加强卫生知识宣传、增加绿地、完备消杀措施和空气净化系统、建立有效的空气微生物监测网络等,师生可采取勤通风、勤打扫等方式,以降低空气微生物水平,保障健康。同时应深化校园空气微生物研究,此举将进一步探究微生物粒径分布、种类分布、下游菌群等,有助于疫情防控,发现传播源、制定防控措施、降低传播风险,保障公共卫生安全。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突。

参考文献

- [1] 吴等等. 青岛市不同功能区空气微生物多样性研究[D]. 青岛:青岛理工大学,2013.
WU D D. Studies on airborne microbial diversity at different functional regions in Qingdao[D]. Qingdao:Qingdao Technological University,

2013. (in Chinese)
- [2] 贾丽, 巨天珍, 石焱, 等. 校园大气微生物的时空分布及与人群活动关系的研究[J]. 安全与环境工程, 2006, 13(2): 34-37, 41.
JIA L, JU T Z, SHI Y, et al. Distribution and character of the campus microorbes in early summer[J]. Saf Environ Engineer, 2006, 13(2): 34-37, 41. (in Chinese)
- [3] 夏秋良, 张臣飞, 尹乐斌, 等. 大学校园不同场所室内微生物污染调查及分析[J]. 农产品加工(下半月), 2016(2): 67-69.
XIA Q L, ZHANG C F, YIN L B, et al. Investigation and analysis of indoor microbial pollution of different locations in university campus[J]. Farm Prod Process(Second Half Mon), 2016(2): 67-69. (in Chinese)
- [4] 喻道军, 叶丽杰, 程明, 等. 校园空气微生物浓度的监测与分析[J]. 微生物学杂志, 2011, 31(2): 102-105.
YU D J, YE L J, CHENG M, et al. Monitor and analysis of airborne microbial content in college campus[J]. J Microbiol, 2011, 31(2): 102-105. (in Chinese)
- [5] 孙帆, 钱华, 叶瑾, 等. 南京市校园室内空气微生物特征[J]. 中国环境科学, 2019, 39(12): 4982-4988.
SUN F, QIAN H, YE J, et al. Characteristics of airborne microorganisms in school classrooms in Nanjing[J]. Chin Environ Sci, 2019, 39(12): 4982-4988. (in Chinese)
- [6] 陈宁庆, 刘育京, 高巨真, 等. 生物武器防护医学[M]. 北京: 人民军医出版社, 1991: 23-29.
CHEN N Q, LIU Y J, GAO J Z, et al. Biological weapons defense medicine[M]. Beijing: People's Military Medical Press, 1991: 23-29. (in Chinese)
- [7] 于玺华. 微生物气溶胶的感染与控制; 兼论 SARS 病毒预防[J]. 洁净与空调技术, 2003, 4(4): 25-29.
YU X H. The infection and control of microorganism aerosol; concurrently treats of prevent in the SARS virus[J]. Clean Air-Cond Technol, 2003, 4(4): 25-29. (in Chinese)
- [8] ALLAN M, LièVRE M, LAURENSEN-SCHAFFER H, et al. The World Health Organization COVID-19 surveillance database[J]. Int J Equity Health, 2022, 21(Suppl 3): 167.
- [9] SANCHEZ-MORAL S, LUQUE L, CUEZVA S, et al. Deterioration of building materials in Roman catacombs; the influence of visitors[J]. Sci Total Environ, 2005, 349(1/2/3): 260-276.
- [10] ALLAN G M, ARROLL B. Prevention and treatment of the common cold; making sense of the evidence[J]. CMAJ, 2014, 186(3): 190-199.
- [11] 吕娜, 李岩异, 马祝青. 人呼吸道合胞病毒感染的预防和治疗研究进展[J]. 生物技术进展, 2024, 14(1): 26-34.
LYU N, LI Y Y, MA Z Q. Advances on prevention and treatment of human respiratory syncytial virus[J]. Curr Biotechnol, 2024, 14(1): 26-34. (in Chinese)
- [12] 徐静, 刘文森, 许娜. 室内空气微生物对人体健康的不良影响及防控措施[C]//中国畜牧兽医学学会兽医公共卫生学分会. 中国畜牧兽医学学会兽医公共卫生学分会第三次学术研讨会论文集. 广州, 2012.
XU J, LIU W S, XU N. Adverse effects of indoor air microorganisms on human health and preventive and control measures[C]//Chinese Society of Animal Husbandry and Veterinary Medicine. Proceedings of the Third Symposium of the Veterinary Public Health Branch of the Chinese Society of Animal Husbandry and Veterinary Medicine. Guangzhou, 2012. (in Chinese)
- [13] 沈雁翎, 李厚橙, 李仕祯, 等. 气溶胶微生物健康风险研究进展[J]. 上海预防医学, 2023, 35(3): 292-300.
SHEN Y L, LI H C, LI S Z, et al. Research progress on health risks of aerosol microorganisms[J]. Shanghai J Prev Med, 2023, 35(3): 292-300. (in Chinese)
- [14] 唐小兰. 空气微生物污染的危害与防护技术发展[J]. 中国消毒学杂志, 2015, 32(12): 1238-1240.
TANG X L. Hazards of airborne microbial contamination and development of protective technologies[J]. Chin J Disinfect, 2015, 32(12): 1238-1240. (in Chinese)
- [15] 吴楠京, 贾文坤, 马洁, 等. 仿生嗅觉技术在微生物代谢产物气味检测中的应用研究进展[J]. 分析试验室, 2018, 37(3): 366-372.
WU N J, JIA W K, MA J, et al. Advances in application of biomimetic olfactory technique to odor detection of microbial metabolites[J]. Chin J Analysis Laborat, 2018, 37(3): 366-372. (in Chinese)
- [16] 慕飞飞. 西安市秋冬季微生物气溶胶的垂直分布特征研究[D]. 西安: 长安大学, 2020.
MU F F. Vertical distribution characteristics of bioaerosols vertical distribution characteristics of bioaerosols during autumn and winter in Xi'an[D]. Xi'an: Chang'an University, 2020. (in Chinese)
- [17] 潘成梅, 张俊勋, 次旦, 等. 西藏大学新校区室内空气微生物数量调查[J]. 西藏科技, 2019(2): 35-40.
PAN C M, ZHANG J X, CI D, et al. Survey of indoor air microbial counts in the new campus of Tibet University[J]. Tibet Sci Technol, 2019(2): 35-40. (in Chinese)
- [18] 王雪丽, 傅博强, 王磊, 等. 空气中病原微生物气溶胶采样技术和采样器的研究进展[J]. 中国生物医学工程学报, 2023, 42(5): 617-625.
WANG X L, FU B Q, WANG L, et al. Research progress of aerosol sampling technology and samplers for air pathogenic microorganisms[J]. Chin J Biomed Engineer, 2023, 42(5): 617-625. (in Chinese)
- [19] 孙帆. 南京地区校园室内空气微生物群落特征及影响因素分析[D]. 南京: 东南大学, 2020.
SUN F. Indoor airborne microbial community and influencing factors in schools in Nanjing[D]. Nanjing: Southeast University, 2020. (in Chinese)
- [20] 刘泓泉. 夏季校园公共室内空气微生物污染特征研究[D]. 桂林: 桂林理工大学, 2022.
LIU H Q. Research on the characteristics of microbial pollution in public indoor air of summer campus[D]. Guilin: Guilin University of Technology, 2022. (in Chinese)
- [21] 禅清莲, 尚天翠. 校园内环境中空气微生物的检测及分析[J]. 广东化工, 2023, 50(6): 166, 200-202.
CHAN Q L, SHANG T C. Detection and analysis of airborne microorganisms in the campus environment[J]. Guangdong Chem Ind, 2023, 50(6): 166, 200-202. (in Chinese)
- [22] 李国森, 周甜. 校园空气中细菌浓度调查分析[J]. 生物化工, 2019, 5(3): 96-98.
LI G S, ZHOU T. Investigation and analysis of bacterial concentration in campus air[J]. Biol Chem Eng, 2019, 5(3): 96-98. (in Chinese)
- [23] 吕小明, 孙先锋, 邓蕊. 西安工程大学校园不同区域空气中微生物含量[J]. 纺织高校基础科学学报, 2008, 21(2): 249-252.
LYU X M, SUN X F, DENG R. Study on microbial contamination of the air in Xi'an Polytechnic University campus[J]. Basic Sci J Text Univ, 2008, 21(2): 249-252. (in Chinese)
- [24] 朱文华. 校园环境空气微生物的检测与分析[J]. 现代农村科技,

- 2020,4(4):69-70.
- ZHU W H. Detection and analysis of ambient air microorganisms on campus[J]. *Mod Rural Sci Technol*, 2020,4(4):69-70. (in Chinese)
- [25] 张明洋,温贵兰,贺欣薇,等. 校园空气微生物分布及其变化规律研究[J]. *中国校医*,2018,32(5):329-332.
- ZHANG M Y, WEN G L, HE X W, et al. Research on distribution and variation of air microorganism in campus of Guizhou University [J]. *Chin J School Doctor*, 2018,32(5):329-332. (in Chinese)
- [26] 邓彩萍,张金梅,郝艳平,等. 山西农业大学校园夏初室外空气细菌污染监测与分析[J]. *山西农业大学学报(自然科学版)*,2016,36(1):31-34.
- DENG C P, ZHANG J M, HAO Y P, et al. Monitoring and analysis of bacteria pollution in the air on the campus of Shanxi Agricultural University in early summer[J]. *J Shanxi Agr Univ (Nat Sci Edit)*, 2016, 36(1):31-34. (in Chinese)
- [27] 司东霞,司振书,徐丙荣. 聊城大学校园空气细菌的时空分布及空气质量评价[J]. *中国学校卫生*,2007,28(5):433-434.
- SI D X, SI Z S, XU B R. Space-time distribution of air bacteria and evaluation of air quality on campus of Liaocheng University[J]. *Chin J Sch Health*, 2007,28(5):433-434. (in Chinese)
- [28] 于梦汝. 某高校校园空气微生物的检测与评价[J]. *社区医学杂志*,2012,10(8):43-44.
- YU M R. Detection and evaluation of airborne microorganisms on a college campus[J]. *J Commun Med*, 2012,10(8):43-44. (in Chinese)
- [29] 司东霞,徐丙荣,张敏. 校园室内空气微生物污染的调查[J]. *环境与健康杂志*,2007,24(6):431-432.
- SI D X, XU B R, ZHANG M. Investigation of microbial contamination of indoor air on campus[J]. *J Environ Health*, 2007,24(6):431-432. (in Chinese)
- [30] 孙霞,夏宇翔,张笑迎,等. 武汉某高校校内场地微生物气溶胶分布特性分析[J]. *武汉轻工大学学报*,2021,40(2):29-33.
- SUN X, XIA Y X, ZHANG X Y, et al. Characterization of microbial aerosol distribution at an on-campus site of a university in Wuhan, China[J]. *J Wuhan Univ Light Ind*, 2021, 40(2):29-33. (in Chinese)
- [31] 喻道军,叶丽杰,程明,等. 大学校园空气微生物污染调查[J]. *预防医学情报杂志*,2011,27(10):766-769.
- YU D J, YE L J, CHENG M, et al. Investigation of microbial contamination of air on university campuses[J]. *J Prev Med Inf*, 2011, 27(10):766-769. (in Chinese)
- [32] 咎宇星,郑敏,黄俊榜,等. 校园内空气微生物分布特征与影响因素[J]. *环境与健康杂志*,2018,35(1):87-89.
- ZAN Y X, ZHENG M, HUANG J B, et al. Characterization of airborne microbial distribution and influencing factors on campus[J]. *J Environ Health*, 2018, 35(1):87-89. (in Chinese)
- [33] 张金萍,冯东浩,左云峰. 夏秋时段公共场所室内微生物气溶胶污染及暴露评估[J]. *建筑科学*,2023,39(2):251-260.
- ZHANG J P, FENG D H, ZUO Y F. Indoor microbial aerosol pollution and exposure assessment in public places in summer and autumn [J]. *Build Sci*,2023,39(2):251-260. (in Chinese)
- [34] 赵秀阁,黄楠,段小丽,等. 环境健康风险评估中的皮肤暴露参数[J]. *环境与健康杂志*,2012,29(2):124-126.
- ZHAO X G, HUANG N, DUAN X L, et al. Dermal exposure factors in environmental health risk assessment[J]. *J Environ Health*, 2012, 29(2):124-126. (in Chinese)
- [35] 王智. 不同功能建筑室内微生物浓度水平及相关参数影响研究[D]. 北京:北京建筑大学,2019.
- WANG Z. Study on the influence of indoor microbial concentration level and related parameters in different functional buildings[D]. Beijing:Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2019. (in Chinese)
- [36] 叶瑾. 基于高通量测序和培养法的南京住宅室内外微生物群落特征的研究[D]. 南京:东南大学,2021.
- YE J. Study on residential microbial communities in Nanjing based on high-throughput sequencing and culturing methods [D]. Nanjing: Southeast University, 2021. (in Chinese)
- [37] 熊振明,王继华,代阳. 哈尔滨师范大学秋季校园微生物的检测与评价[J]. *哈尔滨师范大学自然科学学报*,2007,23(4):72-75.
- XIONG Z M, WANG J H, DAI Y. The test and assessment to indoor air microorganisms of harbin normal university in autumn [J]. *Nat Sci J Harbin Norm Univ*, 2007,23(4):72-75. (in Chinese)
- [38] 牟江,邱菊,刘翩,等. 以典型空气漂浮尘为主要影像表现的肺炎放线菌感染一例[J]. *临床内科杂志*,2020,37,8(9):663-664.
- MU J, QIU J, LIU P, et al. A case of actinobacillus pulmonary with typical air floatation sign as the main imaging manifestation[J]. *J Clin Int Med*,2020,37,8(9):663-664. (in Chinese)
- [39] 黄国英. 大学校园不同场所空气微生物种类及分布特征[J]. *甘肃农业*,2019(8):116-119.
- HUANG G Y. Characteristics of airborne microbial species and distribution in different places on university campuses[J]. *Gansu Agr*, 2019(8):116-119. (in Chinese)
- [40] HARGREAVES M, PARAPPUKKARAN S, MORAWSKA L, et al. A pilot investigation into associations between indoor airborne fungal and non-biological particle concentrations in residential houses in Brisbane, Australia[J]. *Sci Total Environ*,2003,312(1/2/3):89-101.
- [41] FANG Z, WENCHONG, LOU X, et al. Profile and characteristics of culturable airborne bacteria in Hangzhou, Southeast of China [J]. *Aerosol Air Q Res*,2016(7):1690-1700.
- [42] YUAN C, WANG X, PECORARO L. Environmental factors shaping the diversity and spatial-temporal distribution of indoor and outdoor culturable airborne fungal communities in Tianjin University Campus, Tianjin, China[J]. *Front Microbiol*,2022,13:928921.
- [43] 刘国强,周妮. 校园空气污染微生物的检测与评价[J]. *微生物学杂志*,2004,24(3):56-58.
- LIU G Q, ZHOU Y. Test and assessment of pollutant microbes in our campus' atmosphere[J]. *J Microbiol*, 2004,24(3):56-58. (in Chinese)
- [44] 陈源,巨天珍,赵英杰,等. 校园空气微生物污染状况及时空分布特征[J]. *云南地理环境研究*,2007,19(5):123-128.
- CHEN Y, JU T Z, ZHAO Y J, et al. Status of airborne microorganism pollution and the distribution of space-time on campus [J]. *Yunnan Geogr Environ Res*, 2007,19(5):123-128. (in Chinese)
- [45] 康琦,吕锐. 某大学校园室内空气细菌含量检测及空气质量评价[J]. *青岛大学医学院学报*,2012,48(5):449-450.
- KANG Q, LYU R. Inspection of indoor air bacterial content and assessment of air quality of a certain university's campus[J]. *J Qingdao Univ (Med Sci)*, 2012,48(5):449-450. (in Chinese)
- [46] 荆雨萱. 校园内空气微生物污染状况和净化方式的研究[J]. *中国校医*,2019,33(12):937-939.

- JING Y X. A study on the status of air microbial contamination and purification methods on campus[J]. Chin J School Doctor, 2019,33(12):937-939.(in Chinese)
- [47] 邵志军,刘英杰. 克山县冬季校园室内空气微生物污染的调查与评价[J]. 黑龙江环境通报,2002,26(3):87-89.
- SHAO Z J, LIU Y J. Investigation and assessment of microbe pollution in campus indoor atmosphere of Keshan County in winter[J]. Heilongjiang Environ J, 2002,26(3):87-89.(in Chinese)
- [48] 石广玉,檀赛春,陈彬. 沙尘和生物气溶胶的环境和气候效应[J]. 大气科学,2018,42(3):559-569.
- SHI G Y, TAN S C, CHEN B. Environmental and climatic effects of mineral dust and bioaerosol[J]. Chin J Atmos Sci, 2018,42(3):559-569.(in Chinese)
- [49] YUAN H, ZHANG D, SHI Y, et al. Cell concentration, viability and culture composition of airborne bacteria during a dust event in Beijing[J]. J Environ Sci,2017,55(5):33-40.
- [50] 胡庆轩,鹿建春,车凤翔. 降雪对大气细菌粒子的影响[J]. 环境保护科学,1992,18(4):59-62.
- HU Q X, LU J C, CHE F X. Effects of snowfall on atmospheric bacterial particles[J]. Environ Prot Sci, 1992,18(4):59-62.(in Chinese)
- [51] 吴昊锦,王博. 一次大范围雾霾及雨雪对西安市空气质量的短期影响[J]. 环境与可持续发展,2017,42(1):126-128.
- WU H J, WANG B. The short effect of one large-scale of fog and rain or snow on the AQI of Xi'an City[J]. Environ Sustain Dev, 2017,42(1):126-128.(in Chinese)
- [52] QIAN J, HOSPODSKY D, YAMAMOTO N, et al. Size-resolved emission rates of airborne bacteria and fungi in an occupied classroom[J]. Indoor Air,2012,22(4):339-351.
- [53] LI Y, GE Y, WU C, et al. Assessment of culturable airborne bacteria of indoor environments in classrooms, dormitories and dining hall at university:a case study in China[J]. Aerobiologia,2020,36(3):313-324.
- [54] 张燕茹. 校园环境微生物气溶胶的分布特征研究[D]. 西安:长安大学,2013.
- ZHANG Y R. Study on distribution characteristics of microorganism in university campus environment [D]. Xi'an: Chang'an University, 2013.(in Chinese)
- [55] 王佳楠,崔硕,郑力燕,等. 校园空气微生物时空分布特征及与人群活动的关系[J]. 实验室科学,2014,17(5):31-33.
- WANG J N, CUI S, ZHEN L Y, et al. Air microbial distribution pattern and correlation to anthropogenic actives in the university campus [J]. Lab Sci, 2014,17(5):31-33.(in Chinese)
- [56] 徐桂芹,王涛. 中国大学校园空气质量典型参数分析[J]. 中国学校卫生,2022,43(3):455-458.
- XU G Q, WANG T. Analysis of typical parameters of air quality in Chinese colleges[J]. Chin J Sch Health, 2022,43(3):455-458.(in Chinese)
- [57] 昌艳萍,汤辉,毛平道,等. 夏季校园室外空气微生物群落结构和生态分布[J]. 河南师范大学学报(自然科学版),2011,39(6):133-135.
- CHANG Y P, TANG H, MAO P D, et al. Community structure and ecology distribution of outside airborne on campus in summer[J]. J Henan Norm Univ(Natl Sci),2011,39(6):133-135.(in Chinese)
- [58] 周连玉,乔枫,米琴,等. 校园绿地空气微生物的含量及抑菌效应[J]. 江苏农业科学,2012,40(7):160-162.
- ZHOU L Y, QIAO F, MI Q, et al. Content and bacteriostatic effect of airborne microorganisms in campus green spaces[J]. Jiangsu Agr Sci, 2012,40(7):160-162.(in Chinese)

收稿日期:2024-02-02 修回日期:2024-03-28 本文编辑:顾璇

(上接第 750 页)

- [39] 徐瑞芬. 格林模式联合微信平台在佩戴角膜塑形镜患者健康教育中的应用[J]. 当代护士(上旬刊),2020,27(7):161-164.
- XU R F. Application of precede-proceed mode combined with WeChat platform in health education for patients wearing orthokeratology lenses [J]. Mod Nurse,2020,27(7):161-164.(in Chinese)
- [40] 张英兰,廖二龙. 视频宣教在配戴角膜塑形镜患者健康教育中的应用[J]. 中国临床护理,2015,7(5):425-427.
- ZHANG Y L, LIAO E L. Application of videos in health education of patients wearing corneal shaping lens [J]. Chin Clin Nurs, 2015,7(5):425-427.(in Chinese)
- [41] 卢海燕,邓群波,蓝方方,等. 角膜塑形术患儿用眼健康行为评定问卷的构建与验证[J]. 护理学杂志,2021,36(4):22-25.
- LU H Y, DENG Q B, LAN F F, et al. Development and validation of an eye health behavior assessment scale for children after orthokeratology [J]. J Nurs Sci,2021,36(4):22-25.(in Chinese)
- [42] VINCENT S J, CHO P, CHAN K Y, et al. CLEAR-orthokeratology[J]. Cont Lens Anterior Eye,2021,44(2):240-269.
- [43] 孔怡儒,贾绍静,米光丽. 基于格林模式的健康教育在 2 型糖尿病高危人群中的应用[J]. 中国护理管理,2018,18(12):1644-1649.
- KONG Y R, JIA S J, MI G L. Application of health education based on PRECEDE-PROCEED Model in high-risk population with type 2 diabetes mellitus[J]. Chin Nurs Manage,2018,18(12):1644-1649.(in Chinese)
- [44] MCALINDEN C, LIPSON M. Orthokeratology and Contact Lens Quality of Life Questionnaire (OCL-QoL)[J]. Eye Contact Lens,2018,44(5):279-285.
- [45] MOHD-ALI B, LOW Y C, MOHAMAD S M, et al. Comparison of vision-related quality of life between wearing orthokeratology lenses and spectacles in myopic children living in Kuala Lumpur[J]. Cont Lens Anterior Eye,2023,46(1):101774.
- [46] 何坤夏,卢海燕,黄惠瑶. 翻转课堂教学在角膜塑形术首次戴镜患儿中的应用[J]. 护理学杂志,2020,35(1):61-63.
- HE K X, LU H Y, HUANG H Y. Application of flipped classroom approach in children with myopia wearing orthokeratology contact lenses [J]. J Nurs Sci,2020,35(1):61-63.(in Chinese)
- [47] PINHO S, CRUZ M, FERREIRA F, et al. Improving medication adherence in hypertensive patients: a scoping review[J]. Prev Med,2021,146:106467.
- [48] PEDRETTI R, HANSEN D, AMBROSETTI M, et al. How to optimize the adherence to a guideline-directed medical therapy in the secondary prevention of cardiovascular diseases: a clinical consensus statement from the European Association of Preventive Cardiology [J]. Eur J Prev Cardiol,2023,30(2):149-166.

收稿日期:2024-01-10 修回日期:2024-03-04 本文编辑:顾璇