

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第4期

Vol.36 No.4

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

中美空气质量指数(AQI)对比研究及启示 高庆先,刘俊蓉,李文涛,高文康(1141)

2013年1月北京市PM_{2.5}区域来源解析 李璇,聂滕,齐珺,周震,孙雪松(1148)

2013年1月北京市一次空气重污染成因分析 程念亮,李云婷,张大伟,聂滕,邱启鸿,徐文帅(1154)

上海大气总悬浮颗粒物中金属的可溶性特征 常燕,冯冲,瞿建国,张经(1164)

厦门春季PM₁₀中PAHs成分谱特征及其与气象要素相关性分析 张健,樊曙先,孙玉,张悦,魏锦成(1173)

硫氧同位素示踪南京北郊大气PM_{2.5}中硫酸盐来源 魏英,郭照冰,葛鑫,祝胜男,姜文娟,石磊,陈姝(1182)

结合激光雷达分析2014年春季南京地区一次大气污染过程 包青,贺军亮,查勇,程峰,李倩楠(1187)

春季华东高山背景区域PM_{2.5}和PM_{2.5-10}中水溶性无机离子特征 苏彬彬,张智胜,陶俊,许榕洋,纪贤鑫,刘心东,张若宇(1195)

落叶燃烧排放的颗粒物及有机碳、元素碳的研究 杨伟宗,刘刚,李久海,徐慧,吴丹(1202)

四川省秸秆露天焚烧污染物排放清单及时空分布特征 何敏,王幸锐,韩丽,冯小琼,毛雪(1208)

深圳市船舶排放清单与时空特征研究 杨静,尹佩玲,叶斯琪,王水胜,郑君瑜,区家敏(1217)

超细颗粒通过建筑狭缝的传输特性 孙在,陈秋方,蔡志良,杨文俊,汪晗(1227)

空调病房真菌气溶胶浓度及粒径分布特征 张华玲,冯鹤华,方子梁,王本栋,李丹(1234)

基于氢氧稳定同位素的黄土高原云下二次蒸发效应 靳晓刚,张明军,王圣杰,朱小凡,董蕾,任正果,陈粉丽(1241)

黄河小浪底水库水沙调控对DOC输送的影响 张永领,王明仕,董玉龙(1249)

调水调沙工程长期实施对黄河口近岸沉积物粒度分布与黏土矿物组成特征的影响 王苗苗,孙志高,卢晓宁,王伟,王传远(1256)

春季生物作用对山地岩溶池水地球化学特征的影响 于正良,杨平恒,赵瑞一,李林立,张琳,童小容,罗刚(1263)

降雨期间岩溶城镇区地下水重金属变化特征及来源解析 任坤,杨平恒,江泽利,王尊波,师阳,王凤康,李晓春(1270)

北江和珠江广州河段水体的三卤甲烷风险评价 钟惠舟,韦朝海(1277)

丰水期洪湖水水质空间变异特征及驱动力分析 李昆,王玲,李兆华,王祥荣,陈红兵,吴忠,朱鹏(1285)

三峡库区典型干-支流相互作用过程中的营养盐交换:以梅溪河为例 操满,傅家楠,周子然,邓兵,王雨春,汪福顺(1293)

营养盐输入对太湖水体中磷形态转化及藻类生长的影响 王睿喆,王沛芳,任凌霄,王超,王颖(1301)

一小型藻华池塘浮游植物群落动态及其影响因子研究 杨文,朱津永,张克鑫,万莉,陆开宏(1309)

昌黎生态监控区夏季浮游植物群落年际变化特征分析 梁晓林,杨阳,王玉良,张月明,赵志楠,韩晓庆,张鉴达,高伟明(1317)

河道曝气提升河流水质的WASP模型研究 朱文博,王洪秀,柳翠,张建,梁爽(1326)

γ辐射降解水中的盐酸环丙沙星的研究 祝胜男,郭照冰,赵永富,葛鑫,魏英,陈姝,王静(1332)

电化学氢化物发生法处理含铈废水及对铈的回收 陈京晶,张国平,李海霞,付志平,欧阳小雪,吴琼(1338)

Fe-MCM-41催化臭氧氧化间甲酚废水 孙文静,王亚曼,卫皇墨,王森,李旭宁,李敬美,孙承林,安路阳(1345)

生物阳极及其反转为生物阴极降解氯霉素 孔德勇,梁斌,云慧,王爱杰,任南琪(1352)

308 nm光作用下α-Fe₂O₃表面HNO₃的光解 陆军,孙云东,谢晶晶,赵军,邹家骥,朱承强(1359)

L-组氨酸-赤藓红复合膜修饰电极同时检测对苯二酚、邻苯二酚 何家洪,徐强,丁武泉,李强(1365)

酞基功能型高分子生物载体(PET-AQS)制备及催化生物反硝化特性研究 许晴,侯正浩,田秀蕾,牛春梅,郭延凯,廉静,郭建博(1374)

枯草芽孢杆菌对土臭素和2-甲基异冰片的降解动力学特性 马念念,罗国芝,谭洪新,姚妙兰,王晓用(1379)

嗜咪降解菌筛选及其对焦化废水强化处理 李静,李文英(1385)

Fe³⁺对同步硝化反硝化过程氮元素迁移转化及N₂O释放的影响 李浩,闫玉洁,谢慧君,贾文林,胡振,张建(1392)

内循环半短程亚硝化工艺运行条件与微生物群落研究 赵志瑞,焦海华,崔丙健,黄迪,曹世超,王云,刘上千,马斌,白志辉(1399)

利用处理含4-氯苯酚模拟废水的剩余污泥培养普通小球藻 王璐,陈秀荣,闫龙,何怡萱,施震东(1406)

进水渗滤液总氮和BOD₅/TN对填埋场反应器反硝化和厌氧氨氧化协同脱氮的影响 杨盈盈,陈奕,李明杰,谢冰(1412)

重庆金佛山土壤中PAHs含量的海拔梯度分布及来源解析 师阳,孙玉川,梁作兵,任坤,袁道先(1417)

湖南攸县典型煤矿和工厂区水稻田土壤镉污染特征及污染途径分析 张敏,王美娥,陈卫平,牛俊杰(1425)

沟渠化对三江平原湿地铁元素沉积过程的影响 苏文辉,于晓菲,王国平,栾金花,邹元春(1431)

施用磷酸盐和沸石对土壤镉形态转化的影响 王秀丽,梁成华,马子惠,韩月(1437)

不同条件下皂苷对污染壤土中Cu、Pb的淋洗修复 邓红侠,杨亚莉,李珍,许岩,李荣华,孟昭福,杨亚提(1445)

陕北某化工企业周围污灌区土壤-作物系统重金属积累特征及评价 齐雁冰,楚万林,蒲洁,刘梦云,常庆瑞(1453)

有机无机缓释复合肥对不同土壤微生物群落结构的影响 王菲,袁婷,谷守宽,王正银(1461)

玉米对铅胁迫的响应及体内铅化学形态研究 程海宽,张彪,景鑫鑫,杨素勤,赵鹏,孙晓雪,周志云(1468)

硼铈交互作用对水稻吸收积累铈和硼的影响 向猛,黄益宗,蔡立群,保琼莉,黄永春,王小玲,乔敏,胡莹,金姝兰,李季,王斐(1474)

丛枝菌根真菌对不同含盐量湿地土壤中芦苇生长的影响 郭江源,郭伟,毕娜,付瑞英,赵文静,赵仁鑫,王立新(1481)

滨海区芦苇和香蒲耐盐碱性及除氮磷效果对比研究 陈友媛,孙萍,陈广琳,王宁宁(1489)

不同温度下的土壤微生物呼吸及其与水溶性有机碳和转化酶的关系 吴静,陈书涛,胡正华,张旭(1497)

工业VOCs经济手段和工程技术减排对比性分析 王宇飞,刘昌新,程杰,郝郑平,王铮(1507)

《环境科学》征订启事(1216) 《环境科学》征稿简则(1248) 信息(1163,1194,1248,1424)

空调病房真菌气溶胶浓度及粒径分布特征

张华玲, 冯鹤华, 方子梁, 王本栋, 李丹

(重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘要: 医院室内空气真菌污染会影响医护人员、病人及陪护人员的健康, 其影响程度不仅与空气真菌的种类和浓度有关, 还与真菌气溶胶粒径及分布特征有关, 不同粒径的真菌气溶胶影响人体健康的作用机制不同. 本研究对重庆某综合医院的普通病房进行空气真菌取样, 系统分析了病房空气真菌浓度、种属及粒径分布特征. 通过分析实验数据, 发现病房空气真菌浓度与病人患病类型及人员密度无关, 主要影响因素为温湿度与季节变化. 冬夏各科室病房真菌粒径分布特征大致呈正态分布, 粒径的百分比从 I 级 ~ III 级各级所占比例逐渐增大, III 级 ~ V 级所占比例总体最大, V 级 ~ VI 级所占比例逐渐降低. 冬夏不同科室病房的空气真菌孢子中值直径没有显著差异, 真菌孢子的中值直径小于 $3.19 \mu\text{m}$. 病房冬夏优势菌属基本相同, 主要为青霉属、曲霉属及交链孢霉属, 与其它建筑相比并无显著性差异. 因此, 病房空调系统设计应提高对粒径为 $1.1 \sim 4.7 \mu\text{m}$ 真菌孢子的过滤效率, 病房的日常卫生维护与空调系统运行管理时应有针对性地选择适宜的抑菌除菌方法和设备.

关键词: 医院病房; 空气真菌; 气溶胶; 优势菌种; 分布特征

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)04-1234-07 DOI: 10.13227/j.hjks.2015.04.013

Airborne Fungal Aerosol Concentration and Distribution Characteristics in Air-Conditioned Wards

ZHANG Hua-ling, FENG He-hua, FANG Zi-liang, WANG Ben-dong, LI Dan

(School of Urban Construction & Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: The effects of airborne fungus on human health in the hospital environment are related to not only their genera and concentrations, but also their particle sizes and distribution characteristics. Moreover, the mechanisms of aerosols with different particle sizes on human health are different. Fungal samples were obtained in medicine wards of Chongqing using a six-stage sampler. The airborne fungal concentrations, genera and size distributions of all the sampling wards were investigated and identified in detail. Results showed that airborne fungal concentrations were not correlated to the diseases or personnel density, but were related to seasons, temperature, and relative humidity. The size distribution rule had roughly the same for testing wards in winter and summer. The size distributions were not related with diseases and seasons, the percentage of airborne fungal concentrations increased gradually from stage I to stage III, and then decreased dramatically from stage V to stage VI, in general, the size of airborne fungi was a normal distribution. There was no markedly difference for median diameter of airborne fungi which was less $3.19 \mu\text{m}$ in these wards. There were similar dominant genera in all wards. They were *Aspergillus* spp, *Penicillium* spp and *Alternaria* spp. Therefore, attention should be paid to improve the filtration efficiency of particle size of $1.1 \sim 4.7 \mu\text{m}$ for air conditioning system of wards. It also should be targeted to choose appropriate antibacterial methods and equipment for daily hygiene and air conditioning system operation management.

Key words: hospital wards; airborne fungi; aerosol; dominant genera; distribution characteristics

国内外研究结果显示, 生物气溶胶在大气中的浓度维持在较高水平^[1]. 空气中生物气溶胶粒子在人们呼吸系统上的沉积作用与其粒径分布特征密切相关, 粒径大于 $10 \mu\text{m}$ 的粒子几乎完全沉积于鼻咽部位, 粒径在 $2 \sim 5 \mu\text{m}$ 范围的粒子约 10% 沉积于支气管部位, 粒径小于 $2 \mu\text{m}$ 的粒子主要沉积于肺泡组织中^[2]. 当生物气溶胶粒径在 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 范围内时, 约有 50% 沉积在肺泡中, 粒径范围越小沉积量越大^[3]. 生物气溶胶粒子粒径越小, 其表面积越大, 可以吸附的重金属和挥发性有机有害物质更多, 毒性也越大^[4].

空气中真菌通常以孢子的形式存在^[5,6], 这些孢子就是生物气溶胶的构成之一^[7]. 空气真菌孢子

分布广泛、数量巨大、种类繁多, 其中一些种类可以引起人类真菌感染性疾病, 如真菌性皮肤病和真菌性内脏病等^[8]. 近年来由于滥用抗生素、激素、免疫抑制剂及抗癌药物, 造成机体免疫力低下, 真菌感染明显上升, 且多为继发感染, 早期难以发现, 真菌极易产生耐药性, 很难得到根治. 真菌致病性与其生物学特性、局部刺激、产生的破坏性物质、真菌毒素中毒和致癌作用有关, 此外, 真菌种类繁多, 某些真菌具有很强的侵袭力, 进入机体后特别在感

收稿日期: 2014-08-02; 修订日期: 2014-11-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(51278506)

作者简介: 张华玲(1967~), 女, 博士研究生, 教授, 主要研究方向为室内环境, E-mail: hlzhang0@gmail.com

染中生长速度很快,所需营养条件要求不高,顽强的繁殖能力也是其致病机制之一,应引起重视。

因此,关于室内空气真菌污染研究近年来受到各国科研人员的重视,大部分研究主要集中于室内外空气真菌种类及浓度变化规律,忽视了空气真菌气溶胶(孢子)粒径大小及分布特征。中国台湾学者^[9]研究了台南市普通家庭冬夏季空气真菌气溶胶浓度及种属,韩国学者^[10-12]研究了福利院、幼儿园、护士中心、小学及高层办公建筑的室内空气真菌气溶胶浓度及种属,尼日利亚学者^[13]检测到了尼日利亚某医院 9 个科室空气真菌菌属主要为曲霉属和青霉素,法国研究者^[14]对法国某医院的室内外空气真菌种属和季节性变化进行了研究。发现室内真菌浓度受到温湿度、通风情况、建材的挥发性有机物等因素的影响,但没有对空气真菌气溶胶粒径的分布及其特征进行研究。

相对于普通建筑,医院因其功能和使用群体的不同而成为一种有特殊意义的公共服务场所,医院空气中的病原微生物相对集中,人们长时间暴露在空气微生物较多的环境中会导致很多健康问题,尤其对病人这类对感染抵抗力相对较弱的群体,健康影响将更为严重。本研究针对尚无文献给出空调病房空气真菌气溶胶粒径的分布及其特征的现状,选取重庆某综合医院不同科室的 3 个病房,分别在冬、夏进行了 7 次现场测试与空气微生物采样,分析了空调病房空气真菌浓度、粒径、真菌优势菌属及分布特征,以期为病房的日常卫生维护、空调系统设计与运行管理提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 测试地点

测试采样地点为某医院的内科大楼,共 13 层,每层病房均为同一科室。为探寻微生物的种类和浓度与疾病种类是否有关联,故选择儿科、心内科、呼吸科这 3 个科室的普通病房,这 3 个病房位于内科大楼在垂直方向重叠位置,分别位于二楼、五楼和八楼,尽量减小外界环境对病房空气的影响。一个病房的面积大约为 15 m²,故每间病房内设置两个采样点,均匀布置于病房对角线上。冬季室外采

样点为该楼一楼室外入口行人区(此处人员干扰大),夏季调整为六楼室外新风口处,同时增设无人且空调未开启的会议室作为病房对照组。测试时采样器距离地面均为 1.3 m,在采样期间及采样之前,各病房空调均为 24 h 运行。

1.2 测试时间

综合考虑病房内病员与医护人员活动情况,冬季选择 3 个典型时段,即上午 09:00 ~ 11:30、中午 11:30 ~ 14:30、下午 14:30 ~ 17:00,测试日期为 2013 年 1 月 19 日、21 日、25 日和 29 日,共 4 次。分析冬季数据后,夏季测试调整为两个典型时段,即上午 09:00 ~ 11:30 和下午 14:30 ~ 17:00,测试日期为 2013 年 6 月 19 日、7 月 5 日、7 月 15 日,共 3 次。采用六级撞击式空气微生物采样器(北京检测仪器有限公司,JWL-6 型六级撞击式空气微生物采样器)对室内外进行主动法采样,采样前要先将采样仪用酒精消毒杀菌,以免影响测试结果,在采样操作过程中戴好口罩,避免人员在采样器附近谈话与咳嗽,减小采样点附近的人员活动,以免影响采样结果。采样器的部分技术参数如表 1 所示。

1.3 培养基

采用沙氏培养基(Sabourand's agar)进行培养。配方:蛋白胨 10 g、葡萄糖 40 g、琼脂 20 g、蒸馏水 1 000 mL。pH: 5.5 ~ 6.0。

1.4 采样和培养

采样器流量设置为 28.3 L·min⁻¹,采样时长为 2 min,采样的同时记录采样点的温度、湿度、风速、人员密度等。每次采样前用酒精对采样器及操作工具进行消毒,采样完毕后,迅速取出培养皿扣上盖,依次按顺序和编号,再将培养皿包裹严实。将培养皿带回实验室后放入温度为 28℃ 恒温箱中,培养时间为 3 ~ 5 d。

1.5 空气真菌鉴别方法

将采集的真菌培养后在实验室内采用 400 倍油镜进行观察鉴别,实验室相对湿度为 40% ~ 60%,温度为 20 ~ 24℃,根据观察到的孢子与菌丝的形态特征,对真菌类别加以鉴定。对在原培养基上未产生孢子的菌落,接种培养两周后,仍未见孢子生成,则认为无孢菌群。

表 1 六级微生物采样器技术参数

Table 1 Technical parameters of the sampler

级数	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级	VI 级
捕获范围/ μm	>7.0	4.7 ~ 7.0	3.3 ~ 4.7	2.1 ~ 3.3	1.1 ~ 2.1	0.65 ~ 1.1
孔径/mm	1.18	0.91	0.71	0.53	0.34	0.25
有效截留粒径/ μm	8.2	6.0	3.0	2.0	1.0	0.65

1.6 空气真菌气溶胶浓度计算

冬夏季实验得到采样器各级真菌培养皿有效数据共 691 个,真菌浓度按式(1)计算:

$$\text{空气中微生物数量}(\text{CFU} \cdot \text{m}^{-3}) = \frac{\text{所有培养皿菌落数} \times 1000}{\text{采样时间}(\text{min}) \times 28.3(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})} \quad (1)$$

1.7 空气真菌气溶胶中值直径计算

根据实验数据算出采样器各级的空气带菌粒子数占总数的百分比,见式(2),然后按照Ⅵ级~Ⅰ级顺序进行累加,算出各级的累计百分比,再由采样器各级的有效截留粒径和各级累计百分比,求得对数回归方程,累计百分比为 50% 时对应的有效截留粒径即为中值直径。

各级带菌粒子百分比:

$$P = \frac{n}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中, P 为各级带菌粒子百分比; T 为六级总菌落数; n 为各级菌落数。

2 结果与分析

首先运用 SPSS 对同一病房的两个采样点的微生物浓度进行 Shapiro-Wilk 检验(W 检验),结果表明病房内的两个采样数据都符合正态分布($\text{Sig.} > 0.05$)。然后采用独立样本 t 检验对两不同采样点的数据进行差异性检验,结果表明病房的两个采样数据均没有显著性差异($\text{Sig.} > 0.05$),可近似认为是基本均匀的。

2.1 真菌浓度

在冬季,心内科病房空气真菌的浓度最大,为 $672 \text{ CFU} \cdot \text{m}^{-3}$,儿科、呼吸科和室外采样点浓度接近,分别为 367 、 346 和 $342 \text{ CFU} \cdot \text{m}^{-3}$,冬季室外采样点为内科大楼入口处,过往人员较多。在夏季,各采样点的空气真菌浓度均都低于冬季,心内科病房空气真菌的浓度最大,为 $324 \text{ CFU} \cdot \text{m}^{-3}$;呼吸科、室外点、对照会议室、儿科的浓度依次降低,分别为 321 、 191 、 183 和 $152 \text{ CFU} \cdot \text{m}^{-3}$,夏季室外采样点为内科大楼五楼空调新风入口处,排除了过往人员的人为影响。

采用独立样本 t 检验对各采样点的冬夏季数据进行差异性分析,结果显示,各采样点的冬夏季数据之间具有显著性差异($\text{Sig.} < 0.05$),说明季节是影响空气真菌浓度的因素。而在同一个季节中,不同科室采样点之间的空气真菌浓度数据之间没有显著性差异($\text{Sig.} > 0.05$),说明科室(疾病类型)不是影

响普通病房中空气真菌浓度的因素。此外,采用单向方差分析方法对现场采样测试时刻对应的病房人数进行单因素分析,发现病房人员密度不是影响空气真菌浓度的显著因素($\text{Sig} < 0.05$);同时对采样测试时刻病房内空气温湿度进行单因素分析,发现温湿度是影响病房空气真菌浓度的显著因素($\text{Sig.} > 0.05$)。

2.2 真菌粒径分布特征

图 1 和图 2 为冬夏不同粒径真菌样本的所占比例,可见,冬夏季各病房空气真菌的粒径分布特征基本相同,Ⅰ级~Ⅲ级各级所占比例逐渐增大,Ⅲ级~Ⅴ级所占比例总体最大,Ⅴ级~Ⅵ级所占比例逐渐降低,总体呈正态分布。

在冬季,心内科病房真菌浓度最高的为Ⅳ级,占 35.10%,Ⅲ级~Ⅴ级占 83.00%;儿科病房真菌浓度最高的为Ⅲ级,占 30.50%,Ⅲ级~Ⅴ级占 78.20%;呼吸科病房真菌浓度最高的为Ⅴ级,占 29.80%,Ⅲ级~Ⅴ级占 81.00%;室外测点最高的为Ⅳ级,占 28.70%,Ⅲ级~Ⅴ级占 75.80%。

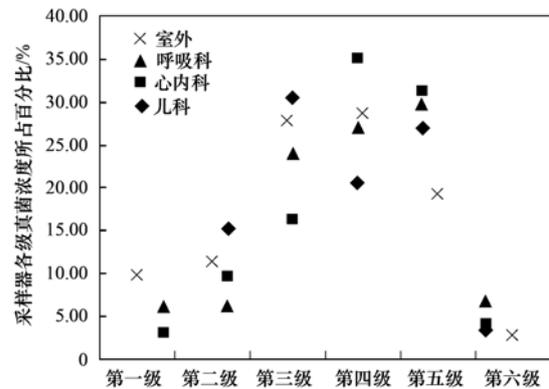


图 1 冬季真菌粒径分布

Fig. 1 Airborne fungal distribution characteristics in winter

在夏季,心内科病房真菌浓度最高的为Ⅳ级,占 30.90%,Ⅲ级~Ⅴ级占 80.90%;儿科病房真菌浓度最高的为Ⅴ级,占 34.20%,Ⅲ级~Ⅴ级占 76.30%;呼吸科病房真菌浓度最高的为Ⅴ级,占 29.3%,Ⅲ级到Ⅴ级占 72.60%;室外测点最高的为Ⅲ级,占 29.30%,Ⅲ级~Ⅴ级占 70.10%;无人会议室真菌浓度最高为Ⅳ级,占 30.60%,Ⅲ级~Ⅴ级占 78.20%。

根据各采样点的空气真菌孢子粒径的分布百分比与各级有效截留粒径,可计算出冬夏季不同科室病房内空气真菌孢子的中值直径,结果如图 3 所示,冬季各采样点的中值直径分别为 $2.69 \mu\text{m}$ (儿科), 2.36

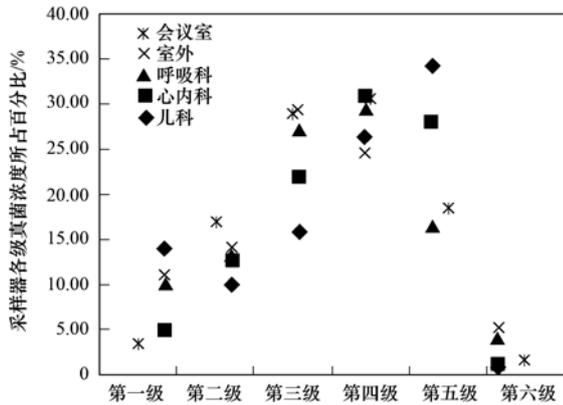


图2 夏季真菌粒径分布

Fig. 2 Airborne fungal distribution characteristics in summer

μm(心内科), 2.48 μm(呼吸科)和 3.11 μm(室外). 夏季空气真菌孢子中值直径略大于冬季, 分别为 2.69 μm(儿科), 2.68 μm(心内科), 3.18 μm(呼吸科), 3.19 μm(室外)和 2.81 μm(会议室).

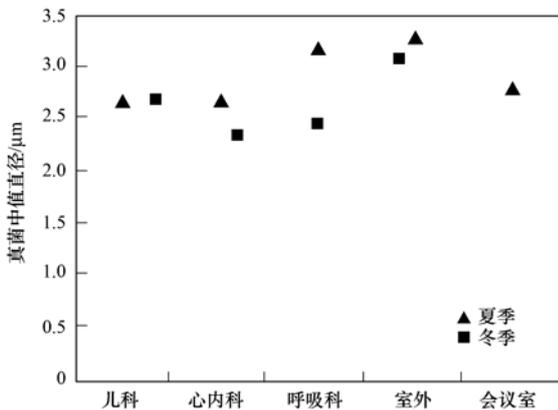


图3 冬夏季各科室真菌气溶胶中值直径

Fig. 3 Median diameters of fungal aerosols in winter and summer

计算结果发现, 冬夏季室外采样点的空气真菌孢子粒径中值直径都略大于其它各采样点, 这可能是病房空调系统对室外较大尘埃粒子进行了过滤; 不同科室病房的空气真菌孢子的中值直径基本相同, 说明人员密度和患病类型对中值直径的影响不大; 同一季节的空气真菌孢子粒径中值直径几乎相同, 并且冬夏季各病房空气真菌的粒径分布特征也基本相同, 说明季节对空气真菌孢子粒径的影响不大. 由于采样器捕集的空气真菌孢子粒径大部分在Ⅲ级以下, 则空气真菌孢子粒径中值直径大部分小于 3.19 μm, 该粒径范围的真菌孢子粒径可以进入气管或支气管的范围, 部分甚至可以进入深部呼吸道乃至肺泡^[2,3], 因此小粒径空气真菌孢子对病人及医护人员的潜在健康危害应引起重视. 因此, 空调系统设计与运行管理时应增加过滤器对粒径为

1.1 ~ 4.7 μm 的空气真菌孢子的过滤效率.

2.3 真菌菌落特征

冬季实验得到采样器各级真菌培养皿总共培养出真菌 912 株, 其中室内 756 株, 室外 156 株, 鉴定出 22 个菌属, 包括曲霉、青霉、枝孢菌、假丝酵母菌、木霉、葡萄孢霉、离蠕孢霉、毛壳菌、毛癣菌、单头孢霉、交链孢霉、附球菌、黏帚霉、着色霉、小孢子霉、单端孢霉等. 夏季实验得到采样器各级真菌培养皿总共培养出真菌 730 株, 其中室内 395 株, 室外 26 株, 鉴定出 6 个菌属, 包括曲霉、青霉、交链孢霉、枝孢菌、木霉、根霉等. 图 4 ~ 7 为冬夏季样本中优势菌属及其比例.

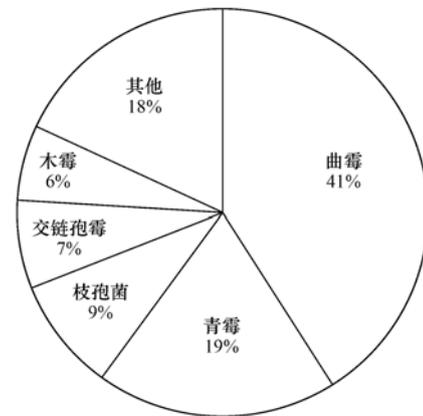


图4 冬季室内真菌优势菌种

Fig. 4 Dominant indoor fungal genera in winter

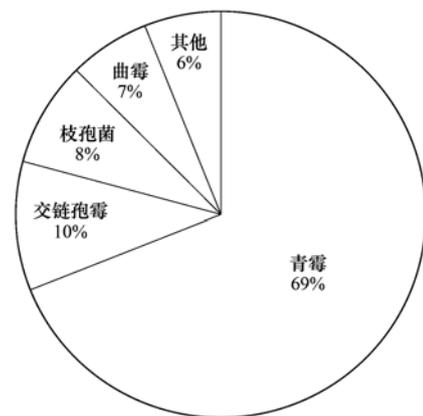


图5 冬季室外真菌优势菌种

Fig. 5 Dominant outdoor fungal genera in winter

从图 4 ~ 7 中可以看到, 冬夏季的优势菌属基本一致, 但各菌属所占比例不同. 冬季室内真菌最常见的是曲霉属, 占室内菌属的 41.0%, 其次为青霉属, 占总数的 19.0%; 夏季室内最常见的青霉菌属, 占 69.0%, 其次为交链孢霉属占 10.3%, 枝孢菌占 8.3%.

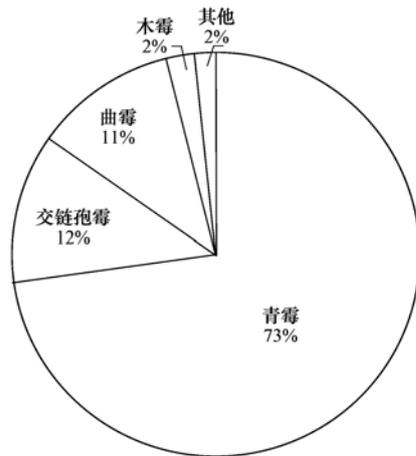


图6 夏季室内真菌优势菌种

Fig. 6 Dominant indoor fungal genera in summer

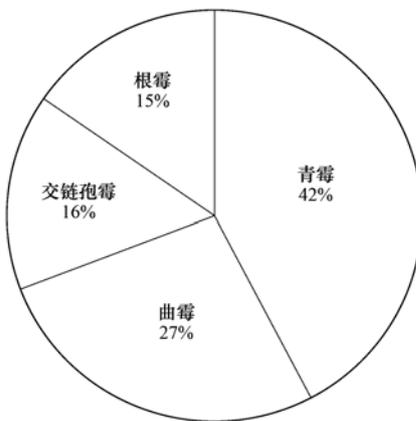


图7 夏季室外真菌优势菌种

Fig. 7 Dominant outdoor fungal genera in summer

本研究通过现场采样检测出病房空气中的真菌浓度,在冬季,心内科、儿科和呼吸科病房分别为 672、367 和 346 $\text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$;在夏季,心内科、呼吸科和儿科病房的空气真菌浓度分别为 324、321 和 152 $\text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$ 。文献[10]给出了网吧、酒吧和学校冬季的真菌浓度分别为 237、209 和 371 $\text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$,酒吧和住宅夏季(雨季之前)的真菌浓度分别为 5012 $\text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 3802 $\text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$;法国医院^[14]冬夏季采样结果为 138 $\text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 49 $\text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$ 。本研究的实验结果和已有文献的数据有较大差异,说明采样地点及建筑类型会影响室内空气真菌浓度。

3 讨论

文献[12]发现厨房在烹饪期间空气真菌浓度较高,认为烹饪期间厨房较为潮湿是主要原因;文献[15,16]指出有霉变家庭的空气真菌浓度远远高

于无霉变家庭,本研究也通过数据处理分析指出空气真菌浓度与环境温湿度有关。文献[17~23]发现空调管道中的积尘及风机盘管冷凝水是室内空气真菌的来源,本研究分析发现冬季空气真菌浓度高于夏季,与文献[9]的研究结论一致,但文献[24]则发现夏季的空气真菌浓度高于冬季,文献[25]则指出不同地区大气真菌浓度的随季节变化。分析影响这些研究结论存在差异的原因,可能是由于地区气候的差异性造成的。重庆夏天气温较高,不适合真菌繁殖生长,夏季雨水较多,但多雨的气象条件又会导致空气中真菌孢子被雨水清除。另外,夏季多发的高温高湿气候条件,增强了大气气溶胶粒子的吸湿性,加速了微细粒子的湿沉降清除过程,缩短了真菌孢子在大气中的停留时间,导致夏季测试浓度降低。重庆与其它地区相比,冬季空气相对湿度适宜,病房温度适宜,真菌可在众多的宿主上生长繁殖,致使重庆病房空气真菌冬季浓度高于夏季。

病房冬夏季真菌粒径分布特征基本相同,真菌主要附着在Ⅲ级~Ⅴ级气溶胶上,冬季Ⅲ级~Ⅴ级的空气真菌浓度达到总浓度的 83.0%~75.8%,在夏季占到了总浓度的 70.1%~80.9%。文献[25]研究发现这三级的浓度达到了总浓度的 85.24%(春)、82.64%(夏)、85.91%(秋)和 90.04%(冬),文献[26]研究结果表明这三级的浓度占总浓度的 63%。说明季节对空气真菌孢子粒径的分布没有显著影响。

本研究通过对冬夏季病房空气真菌的镜检发现:优势菌属为青霉属、曲霉属、枝孢菌属及交链孢霉。文献[26]发现居家环境空气中优势真菌属依次为青霉属、枝孢属和曲霉属,分别占总浓度的 36.0%、17.8%和 9.3%;法国学者^[14]通过长达一年的采样观察,得到法国某医院的室外空气真菌优势菌属为枝孢菌(55%),室内空气真菌的优势菌属为青霉菌属(23%~25%)和曲霉菌属(15%~23%);文献[9]研究了韩国医院、养老院和幼儿园空气微生物,发现空气真菌的主要污染菌属为青霉菌属、枝孢菌和曲霉菌属,文献[10]研究显示在回收站、小学和住宅中的空气真菌的优势菌属依次为枝孢菌、青霉菌属和曲霉菌属。文献[27]通过采集博物馆空调系统中积尘,研究发现在西安市省博物馆的真菌中优势菌属是青霉属、曲霉属和枝孢霉属,分别占 30.1%、17.2%、41.8%。综合分析已有文献的研究成果发现与本研究给出的优势菌属基本一致,只是在不同的地区季节,各菌属所占的比例不

同,说明空气真菌的主要菌属不受地理位置、建筑类型和季节等因素的影响,但会影响真菌各优势菌属所占的比例。

4 结论

(1)冬季各科室病房空气真菌浓度高于夏季。心内科真菌浓度最高,冬季为 $672 \text{ CFU} \cdot \text{m}^{-3}$,夏季为 $324 \text{ CFU} \cdot \text{m}^{-3}$ 。空气真菌浓度与病人患病类型和人员密度无关,室内环境的温湿度和季节变化等因素可以影响空气真菌浓度。

(2)冬夏各科室病房真菌粒径分布特征基本相同。空气真菌粒径的百分比从 I 级 ~ VI 级总体呈正态分布, III 级 ~ V 级所占比例最大。冬夏季空气真菌主要附着在采样器 III 级 ~ V 级($1.1 \sim 4.7 \mu\text{m}$)气溶胶上,冬季 III 级 ~ V 级真菌浓度占总浓度的 $83.0\% \sim 75.8\%$,夏季占总浓度的 $70.1\% \sim 80.9\%$ 。

(3)冬夏不同科室病房的空气真菌孢子中值直径差异不大,但夏季大部分采样点的空气真菌孢子中值直径略大于冬季,各科室冬夏季空气真菌孢子中值直径小于 $3.19 \mu\text{m}$,冬夏季室外采样点的空气真菌孢子中值直径都大于室内点。病房空调系统设计与管理时,需提高对粒径为 $1.1 \sim 4.7 \mu\text{m}$ 真菌孢子的过滤效果。

(4)冬夏季病房环境空气真菌的优势菌属基本一致,但各菌属所占比例不同。总体上看,优势菌属依次为青霉属、曲霉属、交链孢霉属、枝孢菌和木霉属等。病房日常卫生维护与空调系统运行管理时,应有针对性地选择适宜的抑菌除菌方法和设备。

参考文献:

- [1] Matthias-Maser S, Jaenicke R. The Size distribution of primary biological aerosol particles with radii $>0.2 \mu\text{m}$ in an urban/rural influenced region [J]. *Atmospheric Research*, 1995, **39**(4): 279-286.
- [2] 杜茜, 温占波, 李劲松. 病毒气溶胶飞沫在室内环境中传播扩散机制的研究进展[J]. *军事医学*, 2011, **35**(8): 631-633.
- [3] Ostro B, Broadwin R, Green S. Fine particulate air pollution and mortality in nine California counties; results from CALFINE[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2006, **114**(1): 29-33.
- [4] 刘岩磊, 孙岚, 张英鸽. 粒径小于 $2.5 \mu\text{m}$ 可吸入颗粒物的危害[J]. *国际药学研究杂志*, 2011, **38**(6): 428-431.
- [5] 车凤翔. 空气生物学原理及应用[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2004. 1-41.
- [6] 赵琳, 张华玲. 室内环境热湿参数的健康影响分析与评价方法探讨[J]. *上海环境科学*, 2011, **30**(1): 37-46.
- [7] Peccia J, Hernandez M. Incorporating polymerase chain reaction-based identification, population characterization, and quantification of microorganisms into aerosol science: A review [J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(21): 3491-3961.
- [8] 李艳菊, 祁建城, 张宗兴, 等. 室内空气微生物污染来源、传播和去除方法研究进展[J]. *环境与健康杂志*, 2011, **28**(1): 86-88.
- [9] Wu P C, Su H J, Lin C Y. Characteristics of indoor and outdoor airborne fungi at suburban and urban homes in two seasons[J]. *Science of the Total Environment*, 2000, **253**(1-3): 111-118.
- [10] Jo W K, Seo Y J. Indoor and outdoor bioaerosol levels at recreation facilities, elementary schools, and homes [J]. *Chemosphere*, 2005, **61**(11): 1570-1579.
- [11] Kim K Y, Kim C N. Airborne microbiological characteristics in public buildings of Korea[J]. *Building and Environment*, 2007, **42**(5): 2188-2196.
- [12] Lee J H, Jo W K. Characteristics of indoor and outdoor bioaerosols at Korean high-rise apartment buildings [J]. *Environment Research*, 2006, **101**(1): 11-17.
- [13] Sautour M, Sixt N, Dlle F, et al. Profiles and seasonal distribution of airborne fungi in indoor and outdoor environments at a French hospital [J]. *Science of the Total Environment*, 2009, **407**(12): 3766-3771.
- [14] Awosika S A, Olajubu F A, Amusa N A. Microbiological assessment of indoor air of a teaching hospital in Nigeria [J]. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2012, **2**(6): 465-468.
- [15] Salonen H, Lappalainen S, Lindroos O, et al. Fungi and bacteria in mould-damaged and non-damaged office environments in a subarctic climate [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(32): 6797-6807.
- [16] Pastuszka J S, Paw U K, Lis D O, et al. Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland [J]. *Atmospheric Environment*, 2000, **34**(22): 3833-3842.
- [17] 朱晓斌. 空调参数对送风管道积尘伴生微生物生长影响的试验研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2009. 15-36.
- [18] Li A G, Liu Z J, Zhu X B, et al. The effect of air-conditioning parameters and deposition dust on microbial growth in supply air ducts [J]. *Energy and Buildings*, 2010, **42**(4): 449-454.
- [19] Noris F, Siegel J A, Kinney K A. Evaluation of HVAC filters as a sampling mechanism for indoor microbial communities [J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45**(2): 338-346.
- [20] 姚灵芝. 空调送/回风系统微生物污染研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2008. 5-59.
- [21] Li A G, Liu Z J, Liu Y, et al. Experimental study on microorganism ecological distribution and contamination mechanism in supply air ducts [J]. *Energy and Buildings*, 2012, **47**: 497-505.
- [22] 戴若林. 空调系统风管中气溶胶污染及沉降特性研究[D]. 湖南: 湖南大学, 2005. 19-28.
- [23] 孙平勇, 刘雄伦, 刘金灵, 等. 空气微生物的研究进展[J]. *中国农学通报*, 2010, **26**(11): 336-340.
- [24] 方治国, 欧阳志云, 刘芑, 等. 城市居家环境空气真菌群落结构特征研究[J]. *环境科学*, 2013, **34**(5): 2031-2037.

- [25] 杜睿,周宇光.北京及周边地区大气近地面层真菌气溶胶的变化特征[J].中国环境科学,2010,30(3):296-301. 及分布特征研究[J].环境科学,2013,34(7):2526-2532.
- [26] 方治国,孙平,欧阳志云,等.北京市居家空气微生物粒径 [27] 姚灵芝,李安桂,侯娟娟,等.通风空调机组真菌污染实测分析[J].环保科技,2008,14(4):4-7.

《环境科学》征稿简则

1. 来稿报道成果要有创新性,论点明确,文字精炼,数据可靠.全文不超过8 000字(含图、表、中英文摘要及参考文献).国家自然科学基金项目、国家科技攻关项目、国际合作项目或其它项目请在来稿中注明(在首页以脚注表示).作者投稿时请先登陆我刊网站(www.hjkx.ac.cn)进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面给出的提示信息投稿即可.

2. 稿件请按GB 7713-87《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》中学术论文的规范撰写.论文各部分的排列顺序为:题目;作者姓名;作者工作单位、地址、邮政编码;中文摘要;关键词;中图分类号;英文题目;作者姓名及单位的英译名;英文摘要;关键词;正文;致谢;参考文献.

3. 论文题目应简练并准确反映论文内容,一般不超过20字,少用副标题.

4. 中文摘要不少于300字,以第三人称写.摘要内容包括研究工作的目的、方法、结果(包括主要数据)和结论,重点是结果和结论.英文摘要与中文对应,注意人称、时态和语言习惯,以便准确表达内容.

5. 前言包括国内外前人相关工作(引文即可)和本工作的目的、特点和意义等.科普知识不必赘述.

6. 文中图表应力求精简,同一内容不得用图表重复表达,要有中英文对照题目.图应大小一致,曲线粗于图框,图中所有字母、文字字号大小要统一.表用三线表.图表中术语、符号、单位等应与正文一致.

7. 计量单位使用《中华人民共和国法定计量单位》(SI).论文中物理计量单位用字母符号表示,如mg(毫克),m(米),h(小时)等.科技名词术语用国内通用写法,作者译的新名词术语,文中第一次出现时需注明原文.

8. 文中各级标题采用1,1.1,1.1.1的形式,左起顶格书写,3级以下标题可用(1),(2)……表示,后缩2格书写.

9. 文中外文字母、符号应标明其大小写,正斜体.生物的拉丁学名为斜体.缩略语首次出现时应给出中文全称,括号内给出英文全称和缩略语.

10. 未公开发表资料不列入参考文献,可在出现页以脚注表示.文献按文中出现的先后次序编排.常见文献书写格式为:

期刊:作者(外文也要姓列名前).论文名[J].期刊名,年,卷(期):起页-止页.

图书:作者.书名[M].出版地:出版社,年.起页-止页.

会议文集:作者.论文名[A].见(In);编者.文集名[C].出版地:出版社(单位),年.起页-止页.

学位论文:作者.论文名[D].保存地:保存单位,年份.

报告:作者.论文名[R].出版地:出版单位,出版年.

专利:专利所有者.专利题名[P].专利国别:专利号,出版日期.

11. 来稿文责自负,切勿一稿多投.编辑对来稿可作文字上和编辑技术上的修改和删节.在3个月内未收到本刊选用通知,可来电询问.

12. 投稿请附作者单位详细地址,邮编,电话号码,电子邮箱等.编辑部邮政地址:北京市2871信箱;邮编:100085;电话:010-62941102,010-62849343;传真:010-62849343;E-mail:hjkx@rcees.ac.cn;网址:www.hjkx.ac.cn

CONTENTS

Comparative Analysis and Inspiration of Air Quality Index Between China and America	GAO Qing-xian, LIU Jun-rong, LI Wen-tao, <i>et al.</i>	(1141)
Regional Source Apportionment of PM _{2.5} in Beijing in January 2013	LI Xuan, NIE Teng, QI Jun, <i>et al.</i>	(1148)
Formation Mechanism of a Serious Pollution Event in January 2013 in Beijing	CHENG Nian-liang, LI Yun-ting, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i>	(1154)
Soluble of Metals within TSP in Shanghai	CHANG Yan, FENG Chong, QU Jian-guo, <i>et al.</i>	(1164)
Analysis of Component Spectral Characteristics of PM ₁₀ -Bound PAHs and the Influence of Weather Conditions During Spring in Xiamen	ZHANG Jian, FAN Shu-xian, SUN Yu, <i>et al.</i>	(1173)
Tracing Sources of Sulfate Aerosol in Nanjing Northern Suburb Using Sulfur and Oxygen Isotopes	WEI Ying, GUO Zhao-bing, GE Xin, <i>et al.</i>	(1182)
Analysis of an Air Pollution Process Using LiDAR in Nanjing, Spring of 2014	BAO Qing, HE Jun-liang, ZHA Yong, <i>et al.</i>	(1187)
Characteristics of Water-soluble Inorganic Ions in PM _{2.5} and PM _{2.5-10} in Mountain Background Region of East China in Spring	SU Bin-bin, ZHANG Zhi-sheng, TAO Jun, <i>et al.</i>	(1195)
Emission of Particulate Matter, Organic and Elemental Carbon from Burning of Fallen Leaves	YANG Wei-zong, LIU Gang, LI Jiu-hai, <i>et al.</i>	(1202)
Emission Inventory of Crop Residues Field Burning and Its Temporal and Spatial Distribution in Sichuan Province	HE Min, WANG Xing-rui, HAN Li, <i>et al.</i>	(1208)
Marine Emission Inventory and Its Temporal and Spatial Characteristics in the City of Shenzhen	YANG Jing, YIN Pei-ling, YE Si-qi, <i>et al.</i>	(1217)
Characteristic of Ultrafine Particles Transferring Through Building Envelopes	SUN Zai, CHEN Qiu-fang, CAI Zhi-liang, <i>et al.</i>	(1227)
Airborne Fungal Aerosol Concentration and Distribution Characteristics in Air-Conditioned Wards	ZHANG Hua-ling, FENG He-hua, FANG Zi-liang, <i>et al.</i>	(1234)
Effect of Below-cloud Secondary Evaporation in Precipitations over the Loess Plateau Based on the Stable Isotopes of Hydrogen and Oxygen	JIN Xiao-gang, ZHANG Ming-jun, WANG Sheng-jie, <i>et al.</i>	(1241)
Effect of the Runoff-sediment Control of the Xiaolangdi Reservoir on DOC Transport	ZHANG Yong-ling, WANG Ming-shi, DONG Yu-long	(1249)
Effects of Long-term Implementation of the Flow-Sediment Regulation Scheme on Grain and Clay Compositions of Inshore Sediments in the Yellow River Estuary	WANG Miao-miao, SUN Zhi-gao, LU Xiao-ning, <i>et al.</i>	(1256)
Influences of Biological Processes on Geochemical Characteristics: An Example of a Mountain Karst Pool in Spring Season	YU Zheng-liang, YANG Ping-heng, ZHAO Rui-yi, <i>et al.</i>	(1263)
Variation Characteristics and Sources of Heavy Metals in an Urban Karst Groundwater System during Rainfall Event	REN Kun, YANG Ping-heng, JIANG Ze-li, <i>et al.</i>	(1270)
Risk Assessment of Trihalomethane Production Using the Beijiang River and the Pearl River, Guangzhou as Drinking Water Sources	ZHONG Hui-zhou, WEI Chao-hai	(1277)
Spatial Variability Characteristics of Water Quality and Its Driving Forces in Honghu Lake During High Water-level Period	LI Kun, WANG Ling, LI Zhao-hua, <i>et al.</i>	(1285)
Nutrient Exchange Between Meixi River and Yangtze River Due to the Typical Interaction Process of the Three Gorges Reservoir and Its Tributary	CAO Man, FU Jia-nan, ZHOU Zi-ran, <i>et al.</i>	(1293)
Effects of Nutrient Inputs on Changes of Phosphorus Forms and Phytoplankton Growth in Taihu Lake	WANG Rui-zhe, WANG Pei-fang, REN Ling-xiao, <i>et al.</i>	(1301)
Community Dynamics of Phytoplankton and Related Affecting Factors in a Eutrophicated Small Pond	YANG Wen, ZHU Jin-yong, ZHANG Ke-xin, <i>et al.</i>	(1309)
Yearly Changes of Phytoplankton Community in the Ecology-monitoring Area of Changli, Hebei in Summer	LIANG Xiao-lin, YANG Yang, WANG Yu-liang, <i>et al.</i>	(1317)
Improvement of River Water Quality by Aeration: WASP Model Study	ZHU Wen-bo, WANG Hong-xiu, LIU Cui, <i>et al.</i>	(1326)
Radiolytic Decomposition of Ciprofloxacin Hydrochloride in Aqueous Solution Using γ Irradiation	ZHU Sheng-nan, GUO Zhao-bing, ZHAO Yong-fu, <i>et al.</i>	(1332)
Removal of Antimony in Wastewater by Electrochemical Hydride Generation and the Recovery of Antimony	CHEN Jing-jing, ZHANG Guo-ping, LI Hai-xia, <i>et al.</i>	(1338)
Degradation of <i>m</i> -Cresol with Fe-MCM-41 in Catalytic Ozonation	SUN Wen-jing, WANG Ya-min, WEI Huang-zhao, <i>et al.</i>	(1345)
Bioanode and Inversion of Bioanode to Biocathode for the Degradation of Antibiotic Chloramphenicol	KONG De-yong, LIANG Bin, YUN Hui, <i>et al.</i>	(1352)
Photolysis of Gaseous HNO ₃ on the α -Fe ₂ O ₃ Films Under 308 nm UV Light	LU Jun, SUN Yun-dong, XIE Jing-jing, <i>et al.</i>	(1359)
Simultaneous Determination of Hydroquinone and Catechol Based on L-Histidine-Erythrosine Composite Film Modified Glassy Carbon Electrode	HE Jia-hong, XU Qiang, DING Wu-quan, <i>et al.</i>	(1365)
Preparation and Characterization of Quinone Functional Polymer Biocarrier (PET-AQS) for Bionitrification Catalysis	XU Qing, HOU Zheng-hao, TIAN Xiu-lei, <i>et al.</i>	(1374)
Kinetic Characteristics of Degradation of Geosmin and 2-Methylisoborneol by <i>Bacillus subtilis</i>	MA Nian-nian, LUO Guo-zhi, TAN Hong-xin, <i>et al.</i>	(1379)
Screening of a Highly Efficient Quinoline-degrading Strain and Its Enhanced Biotreatment on Coking Waste Water	LI Jing, LI Wen-ying	(1385)
Effect of Ferric Iron on Nitrogen Immigration and Transformation and Nitrous Oxide Emission During Simultaneous Nitrification Denitrification Process	LI Hao, YAN Yu-jie, XIE Hui-jun, <i>et al.</i>	(1392)
Running Condition and Bacterial Community Associated with the Partial Nitritation System	ZHAO Zhi-rui, JIAO Hai-hua, CUI Bing-jian, <i>et al.</i>	(1399)
Using Excess Activated Sludge Treated 4-Chlorophenol Contained Waste Water to Cultivate <i>Chlorella vulgaris</i>	WANG Lu, CHEN Xiu-rong, YAN Long, <i>et al.</i>	(1406)
Effects of Total Nitrogen and BOD ₅ /TN on Anaerobic Ammonium Oxidation-Denitrification Synergistic Interaction of Mature Landfill Leachate in Aged Refuse Bioreactor	YANG Ying-ying, CHEN Yi, LI Ming-jie, <i>et al.</i>	(1412)
Altitudinal Gradient Distribution and Source Analysis of PAHs Content of Topsoil in Jinfo Mountain, Chongqing	SHI Yang, SUN Yu-chuan, LIANG Zuo-bing, <i>et al.</i>	(1417)
Characteristics and Inputs of Cd Contamination in Paddy Soils in Typical Mining and Industrial Areas in Youxian County, Hunan Province	ZHANG Min, WANG Mei-e, CHEN Wei-ping, <i>et al.</i>	(1425)
Effects of Canalization on the Iron Deposition in Sanjiang Plain	SU Wen-hui, YU Xiao-fei, WANG Guo-ping, <i>et al.</i>	(1431)
Effects of Phosphate and Zeolite on the Transformation of Cd Speciation in Soil	WANG Xiu-li, LIANG Cheng-hua, MA Zi-hui, <i>et al.</i>	(1437)
Leaching Remediation of Copper and Lead Contaminated Lou Soil by Saponin Under Different Conditions	DENG Hong-xia, YANG Ya-li, LI Zhen, <i>et al.</i>	(1445)
Accumulation Characteristics and Evaluation of Heavy Metals in Soil-Crop System Affected by Wastewater Irrigation Around a Chemical Factory in Shenmu County	QI Yan-bing, CHU Wan-lin, PU Jie, <i>et al.</i>	(1453)
Effects of Organic and Inorganic Slow-Release Compound Fertilizer on Different Soils Microbial Community Structure	WANG Fei, YUAN Ting, GU Shou-kuan, <i>et al.</i>	(1461)
Response of Maize to Lead Stress and Relevant Chemical Forms of Lead	CHENG Hai-kuan, ZHANG Biao, JING Xin-xin, <i>et al.</i>	(1468)
Effect of Boron-antimony Interaction on the Uptake and Accumulation of Antimony and Boron by Rice Seedling	XIANG Meng, HUANG Yi-zong, CAI Li-qun, <i>et al.</i>	(1474)
Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth of Reeds in Wetland Soils with Different Salt Content	GUO Jiang-yuan, GUO Wei, BI Na, <i>et al.</i>	(1481)
A Contrastive Study on Salt-alkaline Resistance and Removal Efficiency of Nitrogen and Phosphorus by <i>Phragmites australis</i> and <i>Typha angustifolia</i> in Coastal Estuary Area	CHEN You-yuan, SUN Ping, CHEN Guang-lin, <i>et al.</i>	(1489)
Soil Microbial Respiration Under Different Soil Temperature Conditions and Its Relationship to Soil Dissolved Organic Carbon and Invertase	WU Jing, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua, <i>et al.</i>	(1497)
Comparison Analysis of Economic and Engineering Control of Industrial VOCs	WANG Yu-fei, LIU Chang-xin, CHENG Jie, <i>et al.</i>	(1507)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2015年4月15日 第36卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 4 Apr. 15, 2015

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行