

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第7期

Vol.34 No.7

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

唐山市大气颗粒物 OC/EC 浓度谱分布观测研究	郭育红, 辛金元, 王跃思, 温天雪, 李杏茹, 封孝信 (2497)
北京东灵山地区主要大气污染物浓度变化特征	于阳春, 胡波, 王跃思 (2505)
奥运前期与奥运期间北京市大气细颗粒物特征比较分析	张菊, 欧阳志云, 苗鸿, 王效科, 任玉芬, 宋文质 (2512)
华东森林及高山背景区域臭氧变化特征及影响因素	苏彬彬 (2519)
北京市居家空气微生物粒径及分布特征研究	方治国, 孙平, 欧阳志云, 刘芄, 孙力, 王小勇 (2526)
民用燃煤源中多环芳烃排放因子实测及其影响因素研究	海婷婷, 陈颖军, 王艳, 田崇国, 林田 (2533)
醇类汽油车醇醛酮、芳香烃和烯烃类排放的试验研究	张凡, 王建海, 王小臣, 王建昕 (2539)
微波解吸-催化燃烧净化甲苯研究	曹晓强, 张浩, 黄学敏 (2546)
生物滴滤池对 BTEX 的去除及相应细菌群落分析	李建军, 廖东奇, 许玫英, 孙国萍 (2552)
炼油厂废水处理站挥发性羰基化合物成分谱研究	周博宇, 刘旺, 王伯光, 周咪, 黄青, 周磊 (2560)
春季东、黄海溶解甲烷的分布和海气交换通量	曹兴朋, 张桂玲, 马啸, 张国玲, 刘素美 (2565)
千岛湖湖泊区水体季节性分层特征研究	董春颖, 虞左明, 吴志旭, 吴春金 (2574)
新安江流域土地利用结构对水质的影响	曹芳芳, 李雪, 王东, 赵越, 王玉秋 (2582)
长江中下游草型湖泊浮游植物群落及其与环境因子的典范对应分析	孟睿, 何连生, 过龙根, 席北斗, 李中强, 舒俭民, 刁晓君, 李必才 (2588)
河口盐度梯度下溶解态核酸的微生物可利用性	杨青青, 李朋辉, 黄清辉 (2597)
水藻暴发的影响因素定量化研究初步	张卓, 宋志尧, 黄昌春, 俞肇元 (2603)
深水型水库藻类功能组时空演替及生境变化的影响	卢金锁, 胡亚潘 (2611)
结合水体光学分类反演太湖总悬浮物浓度	周晓宇, 孙德勇, 李云梅, 李俊生, 龚绍琦 (2618)
Subwet 模型在人工湿地设计中的应用	李慧峰, 黄津辉, 林超 (2628)
白洋淀荷茎叶提取液对铜绿微囊藻及四尾栅藻化感效应	何连生, 孟繁丽, 刁晓君, 李一葳, 孟睿, 席北斗, 舒俭民 (2637)
苦草 (<i>Vallisneria spiralis</i>) 对城市缓流河道黑臭底泥理化性质的影响	许宽, 刘波, 王国祥, 马久远, 曹勋, 周峰 (2642)
铁屑-微生物协同还原去除水体中 Cr(VI) 研究	汤洁, 王卓行, 徐新华 (2650)
铁铜催化剂非均相 Fenton 降解苯酚及机制研究	杨岳主, 李玉平, 杨道武, 段锋, 曹宏斌 (2658)
不同形态无机氮对水中微量药物安替比林光降解效能影响	赵倩, 陈超, 封莉, 张立秋 (2665)
邻苯二甲酸二甲酯的紫外光-H ₂ O ₂ 降解机制研究	刘青, 陈成, 陈泓哲, 杨绍贵, 何欢, 孙成 (2670)
二胺基改性有序多孔 SBA-15 对溶液中 Cd ²⁺ 离子的吸附研究	张萌, 杨亚提, 秦睿, 王力, 张增强, 李忠宏, 李荣华, 孟昭福 (2677)
酸化蛭石的表面有机修饰及其对疏水性微污染物的吸附	蒋争明, 于旭彪, 胡芸, 任源, 李雪辉, 韦朝海 (2686)
基于废陶瓷的多孔陶瓷研制及其对 Ni ²⁺ 的吸附性能	张永利, 王承智, 史册, 尚玲玲, 马瑞, 董婉莉 (2694)
树皮支持的厌氧生物法去除地下水中的高氯酸盐	王蕊, 刘菲, 陈楠, 陈鸿汉 (2704)
Cr(VI) 污染地下水修复的 PRB 填料实验研究	朱文会, 董良飞, 王兴润, 翟亚丽 (2711)
化学沉淀法去除稀土湿法冶炼废水中钙与高浓度氨氮研究	王浩, 成官文, 宋晓薇, 徐子涵, 蒙金结, 董传强 (2718)
镍铁尾矿硫酸浸出动力学研究	陈安安, 周少奇, 黄鹏飞 (2729)
HRT 对 A ² O 工艺中典型多环麝香迁移转化的影响	刘鹏程, 黄满红, 陈东辉, 陈亮 (2735)
发酵液作为 EBPR 碳源的动力学模拟	张超, 陈银广 (2741)
强化污泥利用水解反应器改善碳源与污泥减量作用研究	熊娅, 王强, 宋英豪, 朱民, 林秀军 (2748)
污泥胞外聚合物的提取方法及其对污泥脱水性能的影响	周俊, 周立祥, 黄焕忠 (2752)
不同粒径铁铝泥对砷(Ⅲ)的吸附效果	林璐, 胥嘉瑞, 吴昊, 王昌辉, 裴元生 (2758)
我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析	仇焕广, 廖绍攀, 井月, 栾江 (2766)
浙北平原富硒土壤资源区硒来源的定量分离	徐明星, 潘卫丰, 岑静, 马学文 (2775)
三江平原土地利用方式变化对土壤锰形态影响	张仲胜, 吕宪国, 宋晓林 (2782)
吉林前郭水田土壤有机碳垂直分布规律和储量研究	汤洁, 张雯辉, 李昭阳, 张楠, 胡猛 (2788)
关中地区农田土壤有机碳固存速率及影响因素: 以陕西武功县为例	张晓伟, 许明祥 (2793)
三峡库区不同林草措施土壤活性有机碳及抗蚀性研究	黄茹, 黄林, 何丙辉, 周立江, 于传, 王峰 (2800)
土壤自养微生物同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究: ¹⁴ C 连续标记法	史然, 陈晓娟, 吴小红, 简燕, 袁红朝, 葛体达, 隋方功, 童成立, 吴金水 (2809)
西南丘陵区保护性耕作下小麦农田土壤呼吸及影响因素分析	张赛, 张晓雨, 王龙昌, 罗海秀, 周航飞, 马仲炼, 张翠微 (2815)
丹江口水库迁建区土壤有机氯农药的分布特征及风险评价	李子成, 秦延文, 郑丙辉, 张雷, 赵艳民, 时瑶 (2821)
农药企业场地苯系物污染风险及调控对策	庞博, 王铁宇, 杜立宇, 谭冰, 朱朝云, 吕永龙 (2829)
水分管理对硫铁镉在水稻根区变化规律及其在水稻中积累的影响	张雪霞, 张晓霞, 郑煜基, 王荣萍, 陈能场, 卢普相 (2837)
硝酸盐对沉积物中有机物氧化减量及微生物群落结构的影响	刘近, 邓代永, 孙国萍, 刘永定, 许玫英 (2847)
零价铁对脱色希瓦氏菌 S12 偶氮还原的促进作用	周庆, 陈杏娟, 郭俊, 孙国萍, 许玫英 (2855)
2 株好氧反硝化菌的筛选及其强化贫营养生物膜脱氮效果	全向春, 岑艳, 钱殷 (2862)
反硝化聚磷菌快速富集、培养及其荧光原位杂交技术鉴别	刘立, 汤兵, 黄绍松, 付丰连, 张启泰, 黎健彬, 罗建中 (2869)
1 株反硝化除磷菌的鉴定及其反硝化功能基因研究	张倩, 王弘宇, 桑穗姣, 李孟, 杨开, 马放 (2876)
1 株高效 BBP 降解菌的分离与特性研究	陈湖星, 杨雪, 张凯, 钟秋, 郭佳, 王攀, 熊丽, 刘德立 (2882)
微生物-化学水解联合作用下烟嘧磺隆的降解	张小林, 李咏梅, 袁志文 (2889)
扑草净降解菌的分离、筛选与鉴定及降解特性初步研究	周际海, 孙向武, 胡锋, 李辉信 (2894)
固定化 <i>Lysinibacillus cresolovorans</i> 的 PVA-SA-PHB-AC 复合载体制备及间甲酚的降解	李婷, 任源, 韦朝海 (2899)
生物破乳菌 <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1 表面活性物质提取与其破乳特性分析	黄翔峰, 张树聪, 彭开彰, 陆丽君, 刘佳 (2906)
A ² O 工艺活性污泥中可培养丝状细菌的多样性	高莎, 金德才, 赵志瑞, 齐嵘, 彭霞薇, 白志辉 (2912)
生活垃圾堆肥渗滤液污染物组成与演化规律研究	李丹, 何小松, 席北斗, 魏自民, 潘红卫, 赵国鹏, 崔东宇 (2918)
专辑征稿通知 (2551) 《环境科学》征稿简则 (2685) 《环境科学》征订启事 (2868) 信息 (2875)	

北京市居家空气微生物粒径及分布特征研究

方治国¹, 孙平², 欧阳志云³, 刘芑⁴, 孙力⁴, 王小勇⁴

(1. 浙江工商大学环境科学与工程学院, 杭州 310012; 2. 解放军 77221 部队, 昆明 650112; 3. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 4. 北京宝洁技术有限公司舒肤佳家庭卫生研究院, 北京 100086)

摘要: 室内外空气微生物对人们健康的危害不仅与微生物的种类和浓度有关, 而且还与微生物粒子的大小及粒径分布特征密切相关, 并且不同粒径的空气微生物对人们健康影响的作用机制不同. 在北京市不同方向选取 31 户有 1~10 岁儿童的家庭进行空气微生物取样, 系统研究了室内家庭空气微生物粒径及分布特征. 结果表明, 室内空气细菌和真菌粒径分布特征不随家庭环境、季节特征、儿童性别、房屋结构的变化而变化, 但空气细菌和真菌的粒径分布特征不同. 总体上空气细菌和真菌粒径均呈对数正态分布, 但空气细菌粒子百分比从 I 级 ($>8.2 \mu\text{m}$) 到 V 级 ($1.0 \sim 2.0 \mu\text{m}$) 逐渐增加, VI 级 ($<1.0 \mu\text{m}$) 细菌粒子百分比急剧下降, 最高值出现在 V 级, 而空气真菌粒径百分比从 I 级 ~ IV 级 ($2.0 \sim 3.5 \mu\text{m}$) 逐渐增加, 而后从 IV 级 ~ VI 级真菌粒径百分比急剧下降, 最高值出现在 IV 级. 不同优势真菌属的粒径分布也不相同, 枝孢属、青霉属和曲霉属呈对数正态分布, 最高值出现在 IV 级, 而链格孢属为偏态分布, 最高值出现在 II 级 ($5.0 \sim 10.4 \mu\text{m}$). 室内空气细菌的中值直径明显大于空气真菌, 1 a 中空气细菌和真菌春、夏、秋季的粒径明显大于冬季.

关键词: 居家环境; 空气微生物; 儿童性别; 房屋结构; 生物污染

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)07-2526-07

Studies on the Size Distribution of Airborne Microbes at Home in Beijing

FANG Zhi-guo¹, SUN Ping², OUYANG Zhi-yun³, LIU Peng⁴, SUN Li⁴, WANG Xiao-yong⁴

(1. School of Environmental Science and Engineering, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310012, China; 2. 77221 People's Liberation Army, Kunming 650112, China; 3. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 4. Safeguard Research Institute, Procter & Gamble (Beijing) Technology, Beijing 100086, China)

Abstract: The effect of airborne microbes on human health not only depends on their compositions (genera and species), but also on their concentrations and sizes. Moreover, there are different mechanisms of airborne microbes of different sizes with different effects on human health. The size distributions and median diameters were investigated in detail with imitated six-stage Andersen sampler in 31 selected family homes with children in Beijing. Results showed that there was similar distribution characteristics of airborne microbes in different home environment, different season, different child's sex, and different apartment's architecture, but different distribution characteristics between airborne bacteria and fungi were observed in family homes in Beijing. In general, although airborne bacteria and fungi were plotted with normal logarithmic distribution, the particle percentage of airborne bacteria increased gradually from stage 1 ($>8.2 \mu\text{m}$) to stage 5 ($1.0 \sim 2.0 \mu\text{m}$), and then decreased dramatically in stage 6 ($<1.0 \mu\text{m}$), the percentage of airborne fungi increased gradually from stage 1 to stage 4 ($2.0 \sim 3.5 \mu\text{m}$), and then decreased dramatically from stage 4 to stage 6. The size distributions of dominant fungi were different in different fungal genera. *Cladosporium*, *Penicillium* and *Aspergillus* were recorded with normal logarithmic distribution, with the highest percentage detected in stage 4, and *Alternaria* were observed with skew distribution, with the highest percentage detected in stage 2 ($5.0 \sim 10.4 \mu\text{m}$). Finally, the median diameters of airborne bacteria were larger than those of airborne fungi, and the lowest median diameter of airborne bacteria and fungi was found in winter, while there were no significant variations of airborne bacterial and fungal median diameters in spring, summer and autumn in a year in this study.

Key words: family home; airborne microbe; child's sex; apartment's architecture; biological pollution

生物气溶胶是指空气中具有生物来源的粒子, 主要包括花粉、真菌、细菌、病毒、昆虫片段、哺乳动物的皮毛、生物残体或代谢产物等^[1]. 其中, 空气中的细菌主要吸附在尘埃粒子表面, 真菌则以孢子的形式存在于空气中^[2]. 空气中这些特定的生物粒子具有特定的动力学粒径, 风媒传粉的植物花粉为 $17 \sim 58 \mu\text{m}$, 真菌孢子为 $1 \sim 30 \mu\text{m}$, 细菌为 $0.25 \sim 8 \mu\text{m}$ 之间, 病毒的直径则小于 $0.3 \mu\text{m}$ ^[3, 4]. 研究

表明, 空气中微生物粒子在人们呼吸系统内的沉积作用与其粒径分布特征密切相关^[5], 并且不同粒径的空气微生物对人们健康影响的作用机制不同.

收稿日期: 2012-10-23; 修订日期: 2012-11-30

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(41005085); 北京宝洁技术有限公司舒肤佳家庭卫生研究院科技项目; 国家自然科学基金重点项目(41030744); 教育部留学回国人员科研启动基金项目

作者简介: 方治国(1977~), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为空气环境微生物学特征, E-mail: zhgfang77@yahoo.com.cn

Horner 等^[6]1995 年报道,较大的孢子 ($>10\ \mu\text{m}$) 沉积在上支气管(鼻,咽喉),能够引起干热发烧症状;较小的孢子 ($<10\ \mu\text{m}$, 特别 $<5\ \mu\text{m}$) 可以渗透到下支气管,可以导致过敏和哮喘;那些更小的孢子 ($<0.1\ \mu\text{m}$) 则能够渗透到呼吸道或更深的部分,不同程度地影响人们身体的健康. 因此,空气中生物气溶胶粒径大小及分布特征的研究对人们在气溶胶暴露的风险性评估具有重要的作用.

室内空气生物污染是影响室内空气质量的一个重要因素,它主要来源于患有呼吸道疾病的病人、动物(鸟、猫、狗等宠物)、空调器和室内环境等^[7-9],并且人们在房屋内的活动及走路能够使得空气中生物粒子的浓度加倍,鞋子和外套也是室内灰尘的主要来源^[10, 11]. 此外,有部分的室内生物污染来源于室外环境,如萨斯病毒的污染即来自室外下水道的生物气溶胶污染. 室内环境中生物污染能够引起如各种呼吸道传染病、哮喘、建筑物综合症等各种疾病^[12]. 因此,室内空气生物污染的研究近年来受到各国科研人员的高度重视,然而,绝大部分研究内容主要集中于室内外空气微生物种类及浓度变化规律,而忽视了空气微生物粒径大小及分布特征. Seino 等^[13]2005 年在东京评估了拥挤的地下公共场所的空气细菌特征; Lee 等^[14]2006 年研究了单身家庭室内外空气真菌的浓度及可培养性, Dassonville 等^[9]2008 年研究了巴黎新生儿童家庭空气真菌的浓度; Sautour 等^[15]2009 年研究了法国医院室内外空气真菌的季节变化特征; Kim 等^[16]2009 年研究了饲料制造工厂空气细菌和真菌的分布特征; Yassin 等^[17]2010 年评估了科威特室内外空气细菌和真菌的分布情况, Karbowska-Berent 等^[18]2011 年研究了波兰图书馆和档案馆空气微生物的存在特征,而室内空气微生物的粒径及分布特征研究相对较少. 本研究在北京市不同方向选取 31 户有 1~10 岁儿童的家庭进行空气微生物取样,系统分析了室内家庭空气微生物粒径及分布特征,对儿童成长过程中在气溶胶暴露下的风险评估具有重要的意义.

1 材料与方法

1.1 研究样点概况

在北京市 5 个方向(东南西北中)共选取 31 户家庭于 2009 年 11 月~2010 年 10 月进行取样,系统研究室内家庭环境空气微生物粒径及分布特征. 对这 31 户家庭的选择具有以下标准:每户家庭都具有年龄在 1~10 岁之间的儿童;居家室内没有肉眼可

见的霉菌;没有明显能够闻到的霉味;以前和现在的房屋建筑都没有受到湿度的破坏;所选取样的家庭位于北京市东南西北中的不同区域;房屋的建筑面积和窗户类型各不相同. 在选择的 31 户家庭当中,东边(east)3 户,南边(south)3 户,西边(west)4 户,北边(north)9 户,中间(center)4 户,南边学校社区(south college community)3 户,北边学校社区(north college community)5 户. 因为北京北边有着“上风上水”的说法,北京北边聚集着众多的高校,是经济发展非常活跃的区域,也是人口比较密集和人口流动比较多的地方,所以在北京市的北边选取的共 9 户家庭进行取样. 所选家庭最大面积约为 $125\ \text{m}^2$,最小面积约为 $40\ \text{m}^2$; 16 户家庭儿童为男孩,15 户家庭为女孩,小孩最大年龄 10 岁,最小年龄 2 岁;建筑户型 21 户为板楼,10 户为塔楼.

1.2 空气微生物取样器

采用国产 Andersen 生物粒子取样器(FA-1, 辽阳应用技术研究所)进行取样测定. 它是模拟人呼吸道的解剖结构和空气动力学生理特征,采用惯性撞击原理设计制造的. 该取样器分为六级,每级 400 个孔,从 I~VI 级孔的直径逐渐缩小,空气流量为 $28.3\ \text{L}\cdot\text{min}^{-1}$,每一级的空气流速逐次增大,从而把空气中的带菌粒子按大小不同分别捕获在各级培养皿上. 取样器按粒径从大到小共分为 I 级、II 级、III 级、IV 级、V 级和 VI 级,其孔径分别为 1.18、0.91、0.71、0.53、0.34、0.25 mm,粒子的捕集范围分别为 >8.2 、5.0~10.4、3.0~6.0、2.0~3.5、1.0~2.0、 $<1.0\ \mu\text{m}$,其有效截留粒径分别为 8.2、6.0、3.0、2.0、1.0、0.65 μm .

1.3 取样和培养方法

选择相同的天气条件进行室内家庭环境空气微生物(空气细菌和真菌)的取样工作,每户家庭每个季节取样 1 次,每次连续取样 3 d,每天取样 1 次,每次 3 个重复,一年四季中 31 户家庭空气微生物取样工作都是在 3 d 内完成. 空气微生物的取样高度为人呼吸带,距离地面约 1.5 m 处. 取样空气流量为 $28.3\ \text{L}\cdot\text{min}^{-1}$,采样器各层的孔眼至采样面的距离(即撞击距离)为 2 mm,室内空气微生物的取样时间为 3 min. 取样采用直径为 90 mm 的一次性塑料培养皿,预先在无菌条件下加入 20~25 mL 已灭菌的微生物培养基,操作时尽量控制培养皿内培养基厚度的一致性,以减少试验的系统误差. 空气细菌取样采用牛肉膏蛋白胨培养基(牛肉膏 3~5 g,蛋白胨 10 g,氯化钠 5 g,琼脂,13~17 g,蒸馏水 1 000 mL),采集的细菌样品在

37℃培养箱内培养 48 h; 空气真菌取样采用沙氏培养基(葡萄糖 40 g, 蛋白胨 10 g, 琼脂 20 g, 蒸馏水 1 000 mL), 加入氯霉素(0.05 ~ 0.125 mg·mL⁻¹)抑制细菌的生长, 采集的真菌样品在 25℃培养箱内培养 72 h, 然后分别在各级取样培养皿上对微生物菌落进行计数、分离和纯化。

1.4 空气微生物各级带菌粒子计算方法

1.4.1 各级带菌粒子百分比计算

由于通过 Andersen 采样器各筛孔的微生物粒子, 超过一定数量后, 会出现微生物粒子通过同一筛孔撞击在同一点上的重叠现象, 故各级采集的菌落数需经下式校正:

$$P_r = N \left(\frac{1}{N} + \frac{1}{N-1} + \frac{1}{N-2} + \cdots + \frac{1}{N-r+1} \right)$$

式中, P_r 为各级校正后的菌落数; N 为采样器各级采样孔数; r 为实际的菌落数。

最后根据校正后各级空气带菌微生物粒子的数量, 计算采样器各级带菌粒子百分比, 具体计算方法如下:

$$P = \frac{P_r}{T_r} \times 100\%$$

式中, P 为各级带菌粒子百分比; T_r 为校正后六级菌落总数; P_r 为各级校正后的菌落数。

1.4.2 带菌粒子中值直径计算

根据校正后试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, 然后按照 VI 级 ~ I 级的顺序进行累加, 算出各级的累计百分比, 再根据给定的采样器各级 ECD 和各级累计百分比, 求得对数回归方程, 累计百分比为 50% 时相对应的 ECD 值即为中值直径。

1.5 空气真菌鉴定方法

根据真菌菌落的培养特性和显微镜下真菌孢子的形态特征把空气真菌鉴定到属。对在原培养基上培养 7 d 未产生孢子的菌落, 接种培养两周后, 仍未见孢子生成, 则被认为是无孢菌群。

1.6 统计分析和图表制作方法

本研究数据分析和图表绘制用 SPSS Version 19.0 和 Microsoft Excel 2007 进行。

2 结果与分析

2.1 居家空气微生物粒径分布特征

2.1.1 居家空气细菌粒径分布特征

不同季节居家空气细菌粒径分布: 不同季节居家空气细菌粒径分布特征基本相同, 但各级粒子百

分比具有显著差异(图 1)。空气细菌粒子百分比从 I 级(>8.2 μm)到 V 级(1.0 ~ 2.0 μm)逐渐增加, VI 级(<1.0 μm)细菌粒子百分比急剧下降。四季细菌粒子百分比最大值皆分布在 V 级, 春夏秋冬分别占 26.25%、28.74%、29.38%、34.41%, 冬季 V 级的细菌粒子百分比显著高于其它季节, 春季则最低。四季最低值均分布在 VI 级, 春夏秋冬分别占 3.55%、4.51%、2.62%、5.21%。

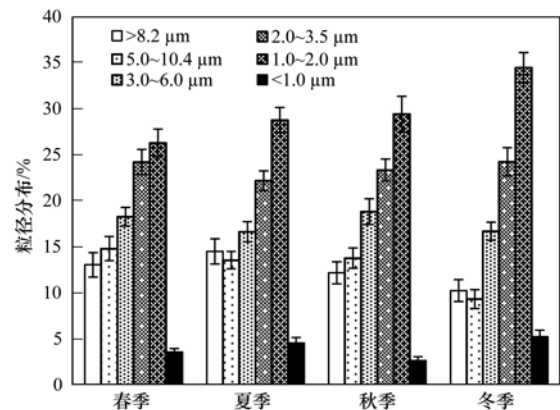


图 1 不同季节居家空气细菌粒径分布

Fig. 1 Size distributions of airborne bacteria in different seasons in family homes

居住家庭儿童性别及房屋结构对空气细菌粒径分布的影响: 空气细菌粒径分布特征不受居家儿童性别和房屋结构的影响, 其基本趋势相同(图 2)。空气细菌粒子百分比从 I 级 ~ V 级逐渐增加, VI 级细菌粒子百分比急剧下降。男孩和女孩家庭细菌粒子百分比最大值皆分布在 V 级, 分别占 30.54% 和 29.61%, 最低值出现在 VI 级, 分别占 4.54% 和 3.59%。板楼和塔楼最大值也分布在 V 级, 分别占 30.69% 和 28.83%, 最低值出现在 VI 级, 分别占 4.03% 和 4.20%。

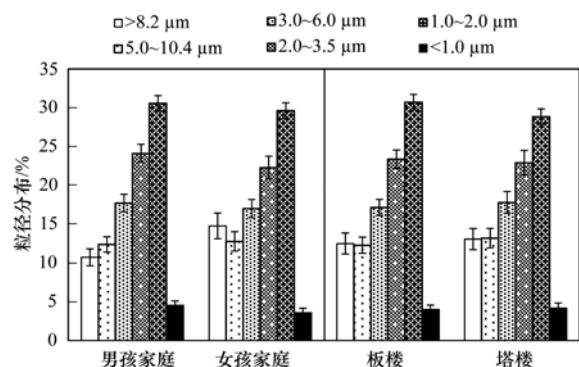


图 2 居住家庭儿童性别及房屋结构对空气细菌粒径分布的影响

Fig. 2 Effect of child's sex and apartment's architecture on size distributions of airborne bacteria in family homes

2.1.2 居家空气真菌粒径分布特征

不同季节居家空气真菌粒径分布:不同季节居家环境空气真菌的粒径分布特征基本相同,但各级百分比具有显著差异(图3)。空气真菌粒径百分比从Ⅰ级~Ⅳ级逐渐增加,而后从Ⅳ级~Ⅵ级真菌粒径百分比急剧下降,总体上呈对数正态分布,与空气细菌的粒径分布特征有着显著差异。四季真菌粒径百分比最大值皆分布在Ⅳ级,春夏秋冬分别占42.39%、45.43%、49.57%、47.33%,秋季Ⅳ级真菌粒径百分比明显高于其它季节,春季则最低;四季最低值均分布在Ⅵ级,春夏秋冬分别占1.14%、2.63%、1.87%、0.95%。Ⅲ级、Ⅳ级和Ⅴ级真菌粒径百分比总和约占80%以上,分别为85.24%(春季)、82.64%(夏季)、85.91%(秋季)和90.40%(冬季)。

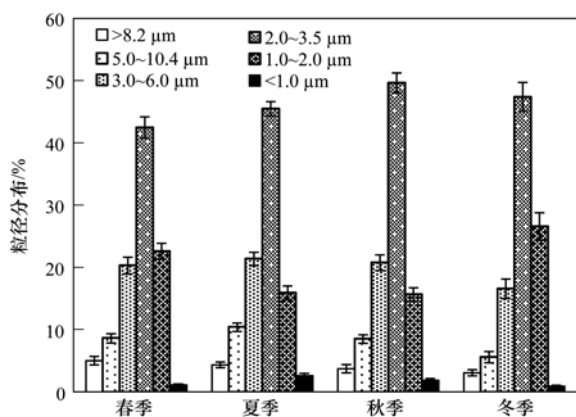


图3 不同季节居家空气真菌粒径分布

Fig. 3 Size distributions of airborne fungi in different seasons in family homes

(1)居住家庭儿童性别及房屋结构对空气真菌粒径分布的影响 空气真菌粒径分布特征不受居家儿童性别和房屋结构的影响,其基本趋势相同(图4)。空气真菌粒径百分比从Ⅰ级~Ⅳ级逐渐增加,而从Ⅳ级~Ⅵ级真菌粒径百分比急剧下降,呈对数正态分布。男孩和女孩家庭真菌粒径百分比最大值皆分布在Ⅳ级,分别占46.46%和46.49%,最低值出现在Ⅵ级,分别占1.57%和1.45%。板楼和塔楼家庭最大值也分布在Ⅳ级,分别占44.90%和49.79%,最低值出现在Ⅵ级,分别占1.59%和1.33%。

(2)居家优势空气真菌粒径分布 图5是居家优势空气真菌粒径分布特征。从中可以看出,曲霉属、枝孢属和青霉属真菌粒径呈对数正态分布特征,粒径百分比从Ⅰ级~Ⅳ级逐渐增加,而从Ⅳ级~

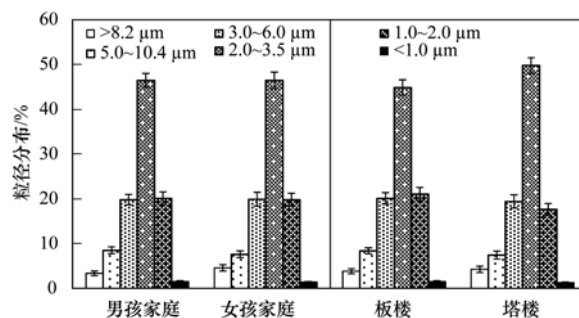


图4 居住家庭儿童性别及房屋结构对空气真菌粒径分布的影响

Fig. 4 Effect of child's sex and apartment's architecture on size distributions of airborne fungi in family homes

Ⅵ级真菌粒径百分比急剧下降,最高值出现在Ⅳ级,分别占36.82%、40.83%和42.77%,最低值出现在Ⅵ级,分别占3.85%、1.80%和2.37%,Ⅲ级、Ⅳ级和Ⅴ级的粒径百分比总和约分别占80.59%、81.33%和88.74%。而链格孢属真菌粒径呈偏态分布特征,粒径百分比从Ⅰ级~Ⅱ级逐渐增加,而从Ⅱ级~Ⅵ级真菌粒径百分比逐渐下降,最高值出现在Ⅱ级,占30.67%,最低值出现在Ⅵ级,占2.91%,Ⅰ级、Ⅱ级和Ⅲ级的粒径百分比总和约为76.15%。

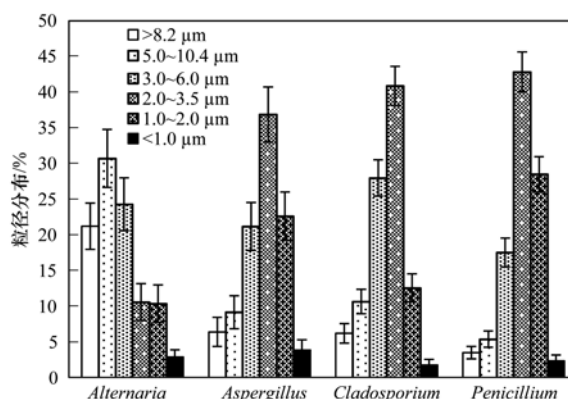


图5 居家优势空气真菌粒径分布特征

Fig. 5 Size distribution of dominant airborne fungi in family home

2.2 居家空气微生物中值直径

2.2.1 居家空气微生物中值直径季节变化

不同季节居家环境空气微生物粒子中值直径不同(图6)。空气细菌粒子中值直径变化范围为1.17~3.57 μm,平均值为1.95 μm,空气真菌中值直径变化范围为1.09~2.26 μm,平均值为1.73 μm。空气细菌粒子粒径明显大于空气真菌($P < 0.01$),并且空气细菌和真菌春、夏、秋季的粒径明显大于冬季($P < 0.01$),1 a中春夏秋冬季节空气细菌粒径分别为2.04、2.00、1.98和1.77 μm,而空气真菌粒径分别为1.83、1.88、1.86和1.35 μm。

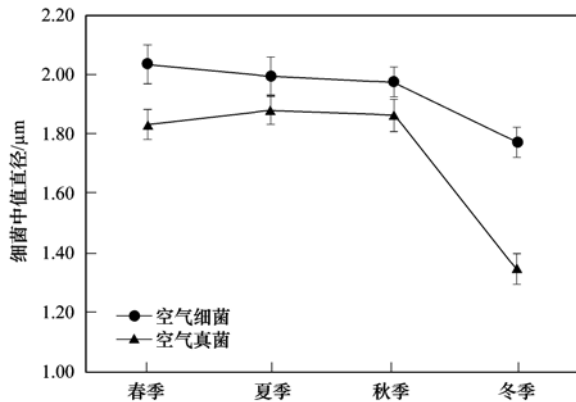


图 6 不同季节居家环境空气微生物中值直径

Fig. 6 Median diameter of airborne microbes in different seasons in family homes

2.2.2 居住家庭儿童性别及房屋结构对空气微生物中值直径的影响

图 7 是居住家庭儿童性别和房屋结构对空气微生物中值直径的影响。从中可以看出,男孩家庭室内空气微生物的粒径明显大于女孩家庭 ($P < 0.01$),男女和女孩家庭室内空气细菌的粒径分别为 $2.04 \mu\text{m}$ 和 $1.85 \mu\text{m}$,空气真菌的粒径分别为 $1.75 \mu\text{m}$ 和 $1.71 \mu\text{m}$ 。板楼和塔楼家庭室内空气微生物的粒径没有显著差异 ($P > 0.05$),板楼和塔楼家庭室内空气细菌的粒径分别为 $1.93 \mu\text{m}$ 和 $1.97 \mu\text{m}$,空气真菌的粒径分别为 $1.73 \mu\text{m}$ 和 $1.74 \mu\text{m}$ 。

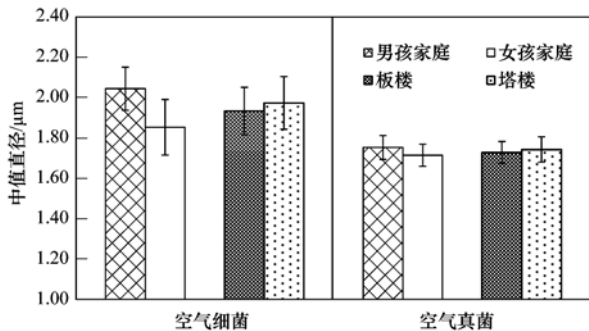


图 7 居住家庭儿童性别及房屋结构对空气微生物中值直径的影响

Fig. 7 Effect of child's sex and apartment's architecture on the median diameter of airborne microbes in family homes

3 讨论

本研究在北京市不同方向选取了 31 户有 1 ~ 10 岁儿童的家庭,于 2009 年 11 月 ~ 2010 年 10 月进行了空气微生物取样,系统研究了室内家庭空气微生物粒径及分布特征。结果表明室内家庭空气细菌粒径分布总体特征不随各种条件(家庭环境、季节特征、儿童性别、房屋结构)的变化而变化,总体

上呈对数正态分布,空气细菌粒子百分比从 I 级 ($> 8.2 \mu\text{m}$) 到 V 级 ($1.0 \sim 2.0 \mu\text{m}$) 逐渐增加,VI 级 ($< 1.0 \mu\text{m}$) 细菌粒子百分比急剧下降。这与笔者以前北京市室外空气细菌的粒径分布特征完全不同^[19],北京市室外空气细菌粒子主要分布在前四级 ($> 2.0 \mu\text{m}$) 中,粒数百分比从 I 级 ~ VI 级逐渐减少,在 II 级 ($5.0 \sim 10.4 \mu\text{m}$) 有明显下降趋势,呈偏态分布^[19]。也与纪思思等^[20]在北京市垃圾填埋场作业区和覆盖区空气细菌的研究结果不同,其空气细菌粒数百分比从 I 级 ~ VI 级逐渐减少,在 II 级没有下降趋势。分析原因,这是由于城市室外人们活动的扰动作用,导致地面上较大的尘埃粒子漂浮在近地面的空气环境中,而空气细菌大多是吸附于尘埃粒子表面,所以室外空气环境中粒径较大的细菌粒子百分比含量高,空气细菌粒径呈偏态分布。而室内地面对室外地面而言,相对比较清洁,粒径较大的尘埃粒子含量较少,粒径较小的尘埃粒子含量较多,这就导致了室内空气细菌粒径为对数正态分布特征,最高值出现在 V 级。然而,Wang 等^[21]研究敦煌莫高窟空气细菌粒径分布时发现,封闭洞穴、半封闭洞穴、开放洞穴和入口空气细菌粒径均呈对数正态分布,可培养空气细菌粒数百分比最高值均出现在 IV 级 ($2.0 \sim 3.5 \mu\text{m}$),分别 18.2%、20.0%、24.0% 和 18.5%,这与本研究的室内空气细菌粒径分布特征基本一致。陈新宇等^[22]在广州市研究室内空气细菌粒谱时也发现其粒径分布规律与本研究结果基本相同。这就进一步说明了室内外空气细菌粒径分布特征的不同,应该引起相关研究人员的关注。

本研究同时表明,室内家庭空气真菌粒径分布总体特征也不随各种条件(家庭环境、季节特征、儿童性别、房屋结构)的变化而变化,总体上也呈对数正态分布,但与室内细菌粒子的对数正态分布具有显著的差异,空气真菌粒径百分比从 I 级 ~ IV 级逐渐增加,而后从 IV 级 ~ VI 级真菌粒径百分比急剧下降。这与以前北京市室外空气真菌的粒径分布的总体趋势基本相同^[19],北京市室外空气真菌主要分布在 III 级 ($3.0 \sim 6.0 \mu\text{m}$),IV 级和 V 级中,高峰出现在 IV 级中,呈对数正态分布。胡庆轩等^[23]在 90 年代初期研究北京西单和丰台空气微生物粒径分布时也发现,空气真菌呈对数正态分布,但是高峰分布在 III 级中。这可能与取样的环境条件密切相关,各种环境因素的变化可能引起空气真菌粒径高峰的变化。综合的研究表明,室内外环境空气真菌粒径分

布特征基本相同。然而研究的具体数据表明,室内外空气真菌在取样器不同级(I级~Ⅵ级)的百分比含量差异显著,室内家庭空气真菌粒径百分比最大值均分布在Ⅳ级,约占42%~50%,最低值均分布在Ⅵ级,约占0.90%~2.7%,Ⅲ级、Ⅳ级和Ⅴ级的真菌粒径百分比总和约占82~91%;室外环境空气真菌粒径主要分布在Ⅲ级,Ⅳ级和Ⅴ级中,约占68%~72%,高峰出现在Ⅳ级,约占28%~37%,最低值出现在Ⅵ级中,约占4.0%~6.0%^[19]。从以上北京市室内外空气真菌粒径分布可以得出,室内空气真菌在FA-1取样器Ⅵ级上的粒数百分比低于室外,在Ⅳ级上的粒数百分比以及Ⅲ级、Ⅳ级和Ⅴ级的粒数百分比总和高于室外,这可能与室内外环境条件及不同的优势真菌种类密切相关,因为环境条件不同,空气中优势真菌的种类可能不同,其孢子的形态和大小都具有本质的区别。

室内家庭空气细菌中值直径明显大于空气真菌,这与笔者以前室外的研究结果完全相同^[19],研究表明,无论室内还是室外,空气细菌主要吸附在尘埃粒子表面,空气真菌则以单个孢子的形式存在于空气环境中,这可能是细菌中值直径大于真菌的主要原因^[2]。与室外空气细菌和真菌的中值直径相比,室内空气细菌和真菌的中值直径明显偏小,北京市室外空气细菌和真菌的中值直径分别约为2.50 μm 和2.00 μm ^[19],而室内家庭空气细菌和真菌分别约为1.95 μm 和1.73 μm 。分析原因,笔者认为室内外环境地面的清洁度不同导致了这样的结果,室外地面较大颗粒的尘埃粒子相对较多,由于人们的各种活动存在,这些粒子会漂浮在近地面的空气中而导致生物粒子中值直径偏大,而室内地面相对比较清洁干净,基本没有较大粒子的尘埃灰尘,这就导致室内生物粒子的中值直径偏小。1 a中冬季室内空气细菌和真菌中值直径明显低于其他季节,这与春、夏、秋季家庭住户为了通风经常开窗密切相关。因为室内有部分空气微生物来源于室外环境,开窗通风有利于空气的流通,室外较大的生物粒子容易进入室内导致其中值直径较大,而冬季因为寒冷家庭住户会减少开窗的频率,室外较大的生物粒子无法进入到室内而导致其中值直径较小。

4 结论

(1)室内空气细菌和真菌的粒径分布特征不同。空气细菌粒子百分比从I级(>8.2 μm)到Ⅴ级(1.0~2.0 μm)逐渐增加,Ⅵ级(<1.0 μm)细菌

粒子百分比急剧下降,最高值出现在Ⅴ级,而空气真菌粒径百分比从I级~Ⅳ级(2.0~3.5 μm)逐渐增加,而后从Ⅳ级~Ⅵ级真菌粒径百分比急剧下降,最高值出现在Ⅳ级。

(2)不同优势真菌属的粒径分布特征不相同,枝孢属、青霉属和曲霉属呈对数正态分布,最高值出现在Ⅳ级,而链格孢属偏态分布,最高值出现在Ⅱ级(5.0~10.4 μm)。

(3)室内空气细菌的中值直径明显大于空气真菌,一年中空气细菌和真菌春、夏、秋季的粒径明显大于冬季。

致谢:本研究实验取样过程中得到中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室的工作人员张烨,博士研究生江波、杨绍顺、陈法霖、张凯等的帮助,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 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): 3941-3961.
- [2] Che F. The Principle and Application of Airborne Microbiology [M]. Beijing: Science Press, 2004. 1-41.
- [3] Reponen T, Gazenko S, Grinshpun S, *et al.* Characteristics of airborne actinomycete spores [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1998, **64**(10): 3807-3812.
- [4] Gregory P. The microbiology of the atmosphere (2nd ed.) [M]. London: Leonard Hall, 1973.
- [5] Lee S A, Adhikari A, Grinshpun S A, *et al.* Personal exposure to airborne dust and microorganisms in agricultural environments [J]. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2006, **3**(3): 118-130.
- [6] Horner W, Helbling A, Salvaggio J, *et al.* Fungal allergens [J]. *Clinical Microbiology Reviews*, 1995, **8**(2): 161-179.
- [7] DeKoster K J, Thorne P S. Bioaerosol concentrations in noncomplaint, complaint, and intervention homes in the Midwest [J]. *American Industrial Hygienic Association Journal*, 1995, **56**(6): 573-580.
- [8] Law A, Chau C, Chan G. Characteristics of bioaerosol profile in office buildings in Hong Kong [J]. *Building and Environment*, 2001, **36**(4): 527-541.
- [9] Dassonville C, Demattei C, Detaint B, *et al.* Assessment and predictors determination of indoor airborne fungal concentrations in Paris newborn babies' homes [J]. *Environmental Research*, 2008, **108**(1): 80-85.
- [10] Thatcher T L, Layton D W. Deposition, resuspension, and penetration of particles within a residence [J]. *Atmospheric Environment*, 1995, **29**(13): 1487-1497.
- [11] Yoon Y H, Brimblecombe P. Contribution of dust at floor level to particle deposit within the Sainsbury Centre for Visual Arts [J].

- Studies in Conservation, 2000, **45**(2): 127-137.
- [12] Douwesi J, Thorne P, Pearce N, *et al.* Bioaerosol health effects and exposure assessment: progress and prospect[J]. The Annals of Occupational Hygiene, 2003, **47**(3): 187-200.
- [13] Seino K, Takano T, Nakamura K, *et al.* An evidential example of airborne bacteria in a crowded, underground public concourse in Tokyo[J]. Atmospheric Environment, 2005, **39**(2): 337-341.
- [14] Lee T, Grinshpun S A, Martuzevicius D, *et al.* Culturability and concentration of indoor and outdoor airborne fungi in six single-family homes[J]. Atmospheric Environment, 2006, **40**(16): 2902-2910.
- [15] Sautour M, Sixt N, Dalle 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.
- [16] Kim K Y, Kim H T, Kim D, *et al.* Distribution characteristics of airborne bacteria and fungi in the feedstuff-manufacturing factories[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, **169**(1-3): 1054-1060.
- [17] Yassin M F, Almouqatea S. Assessment of airborne bacteria and fungi in an indoor and outdoor environment[J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2010, **7**(3): 535-544.
- [18] Karbowska-Berent J, Górny R, Strzelczyk A, *et al.* Airborne and dust borne microorganisms in selected Polish libraries and archives[J]. Building and Environment, 2011, **46**(10): 1872-1879.
- [19] Fang Z G, Ouyang Z Y, Zheng H, *et al.* Concentration and size distribution of culturable airborne microorganisms in outdoor environments in Beijing, China [J]. Aerosol Science and Technology, 2008, **42**(5): 325-334.
- [20] 纪思思, 夏立江, 杜文利, 等. 北京某垃圾填埋区空气细菌浓度及粒径分布特征[J]. 中国环境监测, 2009, **25**(6): 67-70.
- [21] Wang W F, Ma Y T, Ma X, *et al.* Seasonal variations of airborne bacteria in the Mogao Grottoes, Dunhuang, China[J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2010, **64**(4): 309-315.
- [22] 陈新宇, 毕新慧, 盛国英, 等. 广州市秋季室内外空气细菌谱及其气溶胶分布特征[J]. 中国热带医学, 2008, **8**(5): 739-742, 759.
- [23] 胡庆轩, 陈振生, 徐桂清, 等. 北京地区大气微生物粒子谱的研究[J]. 中国环境监测, 1991, **7**(1): 9-11.

CONTENTS

Observation of Size Distribution of Atmospheric OC/EC in Tangshan, China	GUO Yu-hong, XIN Jin-yuan, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (2497)
Changing Characteristics of the Main Air Pollutants of the Dongling Mountain in Beijing	YU Yang-chun, HU Bo, WANG Yue-si (2505)
Characteristic Comparative Study of Particulate Matters in Beijing Before and During the Olympics	ZHANG Ju, OUYANG Zhi-yun, MIAO Hong, <i>et al.</i> (2512)
Characteristics and Impact Factors of O ₃ Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin (2519)
Studies on the Size Distribution of Airborne Microbes at Home in Beijing	FANG Zhi-guo, SUN Ping, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (2526)
Emission Factors of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Residential Coal Combustion and Its Influence Factors	HAI Ting-ting, CHEN Ying-jun, WANG Yan, <i>et al.</i> (2533)
Experimental Research on Alcohols, Aldehydes, Aromatic Hydrocarbons and Olefins Emissions from Alcohols Fuelled Vehicles	ZHANG Fan, WANG Jian-hai, WANG Xiao-cheng, <i>et al.</i> (2539)
Combination Process of Microwave Desorption-Catalytic Combustion for Toluene Treatment	CAO Xiao-qiang, ZHANG Hao, HUANG Xue-min (2546)
Removal of BTEX by a Biotrickling Filter and Analysis of Corresponding Bacterial Communities	LI Jian-jun, LIAO Dong-qi, XU Mei-ying, <i>et al.</i> (2552)
Source Profile of Volatile Carbonyl Compounds in Wastewater Treatment Plant of an Oil Refinery	ZHOU Bo-yu, LIU Wang, WANG Bo-guang, <i>et al.</i> (2560)
Distribution and Air-Sea Fluxes of Methane in the Yellow Sea and the East China Sea in the Spring	CAO Xing-peng, ZHANG Gui-ling, MA Xiao, <i>et al.</i> (2565)
Study on Seasonal Characteristics of Thermal Stratification in Lacustrine Zone of Lake Qiandao	DONG Chun-ying, YU Zuo-ming, WU Zhi-xu, <i>et al.</i> (2574)
Effects of Land Use Structure on Water Quality in Xin'anjiang River	CAO Fang-fang, LI Xue, WANG Dong, <i>et al.</i> (2582)
Canonical Correspondence Analysis Between Phytoplankton Community and Environmental Factors in Macrophtic Lakes of the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	MENG Rui, HE Lian-sheng, GUO Long-gen, <i>et al.</i> (2588)
Microbial Bioavailability of Dissolved Nucleic Acids Across the Estuarine Salinity Gradient	YANG Qing-qing, LI Peng-hui, HUANG Qing-hui (2597)
Elementary Quantitative Study on Factors of Phytoplankton Bloom	ZHANG Zhuo, SONG Zhi-yao, HUANG Chang-chun, <i>et al.</i> (2603)
Spatiotemporal Succession of Algae Functional Groups and the Influence of Environment Change in a Deep-water Reservoir	LU Jin-suo, HU Ya-pan (2611)
Hyperspectral Remote Sensing of Total Suspended Matter Concentrations in Lake Taihu Based on Water Optical Classification	ZHOU Xiao-yu, SUN De-yong, LI Yun-mei, <i>et al.</i> (2618)
Application of Subwet Model in the Design of Constructed Wetland	LI Hui-feng, HUANG Jin-hui, LIN Chao (2628)
Allelopathic Effect of <i>Nelumbo nucifera</i> Stem and Leaf Tissue Extract on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i> and <i>Scenedesmus quadricauda</i>	HE Lian-sheng, MENG Fan-li, DIAO Xiao-jun, <i>et al.</i> (2637)
Influence of <i>Vallisneria spiralis</i> on the Physicochemical Properties of Black-odor Sediment in Urban Sluggish River	XU Kuan, LIU Bo, WANG Guo-xiang, <i>et al.</i> (2642)
Removal of Cr(VI) by Iron Filings with Microorganisms to Recover Iron Reactivity	TANG Jie, WANG Zhuo-xing, XU Xin-hua (2650)
Degradation of Phenol with a Fe/Cu-Catalytic Heterogeneous-Fenton Process	YANG Yue-zhu, LI Yu-ping, YANG Dao-wu, <i>et al.</i> (2658)
Effect of Different Forms of Inorganic Nitrogen on the Photodegradation of Antipyrine in Water	ZHAO Qian, CHEN Chao, FENG Li, <i>et al.</i> (2665)
Degradation Mechanisms of Dimethyl Phthalate in the UV-H ₂ O ₂ System	LIU Qing, CHEN Cheng, CHEN Hong-zhe, <i>et al.</i> (2670)
Adsorption of Cd ²⁺ Ions in Aqueous by Diamine-Modified Ordered Mesoporous SBA-15 Particles	ZHANG Meng, YANG Ya-ti, QIN Rui, <i>et al.</i> (2677)
Surface Organic Modification of Acid Vermiculite and Its Adsorption of Hydrophobic Micro Pollutants in Aqueous Solutions	JIANG Zheng-ming, YU Xu-biao, HU Yun, <i>et al.</i> (2686)
Preparation of Porous Ceramics Based on Waste Ceramics and Its Ni ²⁺ Adsorption Characteristics	ZHANG Yong-li, WANG Cheng-zhi, SHI Ce, <i>et al.</i> (2694)
Perchlorate Removal from Underground Water by Anaerobic Biological Reduction with Bark	WANG Rui, LIU Fei, CHEN Nan, <i>et al.</i> (2704)
Experimental Study on the Remediation of Chromium Contaminated Groundwater with PRB Media	ZHU Wen-hui, DONG Liang-fei, WANG Xing-run, <i>et al.</i> (2711)
Removal of Calcium and High-strength Ammonia Nitrogen from the Wastewater of Rare-earth Elements Hydrometallurgical Process by Chemical Precipitation	WANG Hao, CHENG Guan-wen, SONG Xiao-wei, <i>et al.</i> (2718)
Leaching Kinetics of Josephinite Tailings with Sulfuric Acid	CHEN An-an, ZHOU Shao-qi, HUANG Peng-fei (2729)
Effects of HRT on Fate of Typical Polycyclic Musk by A ² O Process	LIU Peng-cheng, HUANG Man-hong, CHEN Dong-hui, <i>et al.</i> (2735)
Kinetic Simulation of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Fermentation Broth as Carbon Source	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (2741)
Effluent Carbon Source Improvement and Sludge Reduction by Hydrolysis Reactor with Enhanced Sludge Utilization	XIONG Ya, WANG Qiang, SONG Ying-hao, <i>et al.</i> (2748)
Optimization of Extracellular Polymeric Substance Extraction Method and Its Role in the Dewaterability of Sludge	ZHOU Jun, ZHOU Li-xiang, WONG Woo-chung (2752)
Effectiveness of Arsenite Adsorption by Ferric and Alum Water Treatment Residuals with Different Grain Sizes	LIN Lu, XU Jia-rui, WU Hao, <i>et al.</i> (2758)
Regional Differences and Development Tendency of Livestock Manure Pollution in China	QIU Huan-guang, LIAO Shao-pan, JING Yue, <i>et al.</i> (2766)
Quantitative Partitioning of Soil Selenium in the Selenium-Rich Area of Northern Zhejiang Plain	XU Ming-xing, PAN Wei-feng, CENG Jing, <i>et al.</i> (2775)
Effects of Land Use on Manganese Distribution and Fractions in Wetland Soil of Sanjiang Plain, Northeast China	ZHANG Zhong-sheng, LU Xian-guo, SONG Xiao-lin (2782)
Research on Vertical Distribution Pattern and Reserve of Organic Carbon in Paddy Field Soil of Qianguo, Jilin	TANG Jie, ZHANG Wen-hui, LI Zhao-yang, <i>et al.</i> (2788)
Soil Organic Carbon Sequestration Rate and Its Influencing Factors in Farmland of Guanzhong Plain; A Case Study in Wugong County, Shanxi Province	ZHANG Xiao-wei, XU Ming-xiang (2793)
Effects of Biological Regulated Measures on Active Organic Carbon and Erosion-Resistance in the Three Gorges Reservoir Region Soil	HUANG Ru, HUANG Lin, HE Bing-hui, <i>et al.</i> (2800)
Quantifying Soil Autotrophic Microbes-Assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous ¹⁴ C Labeling	SHI Ran, CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, <i>et al.</i> (2809)
Analysis of Soil Respiration and Influence Factors in Wheat Farmland Under Conservation Tillage in Southwest Hilly Region	ZHANG Sai, ZHANG Xiao-yu, WANG Long-chang, <i>et al.</i> (2815)
Distribution Characteristics and Risk Evaluation of Organochlorine Pesticides in Soil from Relocation Areas of the Danjiangkou Reservoir	LI Zi-cheng, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (2821)
Risk Assessment and Countermeasure of BTEX in Pesticide Factory	PANG Bo, WANG Tie-yu, DU Li-yu, <i>et al.</i> (2829)
Accumulation of S, Fe and Cd in Rhizosphere of Rice and Their Uptake in Rice with Different Water Managements	ZHANG Xue-xia, ZHANG Xiao-xia, ZHENG Yu-ji, <i>et al.</i> (2837)
Effects of Nitrate on Organic Removal and Microbial Community Structure in the Sediments	LIU Jin, DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, <i>et al.</i> (2847)
Zero-Valent Iron-Enhanced Azoreduction by the <i>Shewanella decolorationis</i> S12	ZHOU Qing, CHEN Xing-juan, GUO Jun, <i>et al.</i> (2855)
Isolation, Identification of Two Aerobic Denitrifiers and Bioaugmentation for Enhancing Denitrification of Biofilm Under Oligotrophic Conditions	QUAN Xiang-chun, CEN Yan, QIAN Yin (2862)
Rapid Enrichment and Cultivation of Denitrifying Phosphate-Removal Bacteria and Its Identification by Fluorescence <i>in situ</i> Hybridization Technology	LIU Li, TANG Bing, HUANG Shao-song, <i>et al.</i> (2869)
Identification of a Denitrifying Polyphosphate-accumulating Organism (DPAO) and Study on Its Denitrifying Functional Genes	ZHANG Qian, WANG Hong-yu, SANG Wen-jiao, <i>et al.</i> (2876)
Isolation and Characterization of a Highly Efficient BBP-degrading Bacterium	CHEN Hu-xing, YANG Xue, ZHANG Kai, <i>et al.</i> (2882)
Degradation of Nicosulfuron by Combination Effects of Microorganisms and Chemical Hydrolysis	ZHANG Xiao-lin, LI Yong-mei, YUAN Zhi-wen (2889)
Isolation, Screening and Identification of Prometryne-Degrading Bacteria and Their Degrading Characteristics	ZHOU Ji-hai, SUN Xiang-wu, HU Feng, <i>et al.</i> (2894)
Preparation of PVA-SA-PHB-AC Composite Carrier and <i>m</i> -Cresol Biodegradation by Immobilized <i>Lysinibacillus cresolivorans</i>	LI Ting, REN Yuan, WEI Chao-hai (2899)
Extraction of Surface Active Substance and Analysis of Demulsifying Characteristics for the Demulsifying Strain <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1	HUANG Xiang-feng, ZHANG Shu-cong, PENG Kai-ming, <i>et al.</i> (2906)
Diversity of Culturable Filamentous Bacteria in the Activated Sludge from A ² O Wastewater Treatment Process	GAO Sha, JIN De-cai, ZHAO Zhi-rui, <i>et al.</i> (2912)
Composition and Transformation of Leachates During Municipal Solid Waste Composting	LI Dan, HE Xiao-song, XI Bei-dou, <i>et al.</i> (2918)

《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)

2013年7月15日 34卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 7 Jul. 15, 2013

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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行