

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第5期

Vol.34 No.5

**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

基于过氧化物的消毒技术研究进展 ..... 刁海玲, 赵三平, 周文 (1645)

环境损害评估: 国际制度及对中国的启示 ..... 张红振, 曹东, 於方, 王金南, 齐霖, 贾倩, 张天柱, 骆永明 (1653)

不同国家基于健康风险的土壤环境基准比较研究与启示 ..... 徐猛, 颜增光, 贺萌萌, 张超艳, 侯红, 李发生 (1667)

蚯蚓堆肥及蝇蛆生物转化技术在有机废弃物处理应用中的研究进展 ..... 张志剑, 刘萌, 朱军 (1679)

基于生态分区的我国湖泊营养盐控制目标研究 ..... 刁晓君, 席北斗, 何连生, 邓祥征, 吴锋, 王鹏腾 (1687)

我国东北地区地表水酸化现状 ..... 徐光仪, 康荣华, 罗遥, 段雷 (1695)

西安市对渭河水质的影响分析 ..... 于婕, 李怀恩 (1700)

极端干旱水文年(2011年)夏季珠江口溶解氧的分布特征及影响因素研究 ..... 叶丰, 黄小平, 施震, 刘庆霞 (1707)

应用相平衡分配法建立湘江衡阳段沉积物重金属质量基准 ..... 韩超南, 秦延文, 郑丙辉, 张雷, 曹伟 (1715)

长江口海域底栖生态环境质量评价——AMBI和M-AMBI法 ..... 蔡文倩, 孟伟, 刘录三, 朱延忠, 周娟 (1725)

温州城市降雨径流中BOD<sub>5</sub>和COD污染特征及其初始冲刷效应 ..... 王骏, 毕春娟, 陈振楼, 周栋 (1735)

影响悬浮颗粒物吸收系数测量的相关因素研究 ..... 余小龙, 沈芳, 张晋芳 (1745)

香溪河库湾春季pCO<sub>2</sub>与浮游植物生物量的关系 ..... 袁希功, 黄文敏, 毕永红, 胡征宇, 赵玮, 朱孔贤 (1754)

紊流脉动强度对藻类生长及水环境的影响研究 ..... 雷雨, 龙天渝, 伞磊, 安强, 黄宁秋 (1761)

高铁酸钾对水中藻类及其次生臭味污染物二甲基三硫醚同步去除研究 ..... 马晓雁, 张泽华, 王红宇, 胡仕斐, 李青松 (1767)

纳米Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>非均相Fenton反应催化氧化邻苯二酚 ..... 何洁, 杨晓芳, 张伟军, 王东升 (1773)

水中萘普生的紫外光降解机制及其产物毒性研究 ..... 马杜娟, 刘国光, 吕文英, 姚锬, 周丽华, 谢成屏 (1782)

酸活化赤泥催化臭氧氧化降解水中硝基苯的效能研究 ..... 康雅凝, 李华楠, 徐冰冰, 齐飞, 赵伦 (1790)

镉污染应急处置含镉絮体稳定性实验研究 ..... 柳王荣, 魏清伟, 杨仁斌, 许振成, 曾东 (1797)

基于光学在线监测及形态学研究的絮凝体强度分析方法 ..... 金鹏康, 冯永宁, 王宝宝, 王晓昌 (1802)

不同电子供体下三氯苯酚的还原脱氯机制研究 ..... 王金泉, 胡梦蝶, 马邕文, 黄明智 (1808)

壳聚糖季铵盐磁性颗粒的制备及其对甲基橙的吸附效果 ..... 张璐璐, 胡筱敏, 英诗颖, 王芳 (1815)

城市污水二级出水超滤膜污染与膜特性的研究 ..... 孟晓荣, 张海珍, 王磊, 王旭东, 赵亮 (1822)

倒置A<sup>2</sup>/O-MBR处理城市污水的中试研究 ..... 张健君, 邹高龙, 杨淑芳, 丁星, 王莉, 毛乾庄, 杨丹 (1828)

不同电子供体的硫自养反硝化脱氮实验研究 ..... 袁莹, 周伟丽, 王晖, 何圣兵 (1835)

短程同步硝化反硝化过程的脱氮与N<sub>2</sub>O释放特性 ..... 梁小玲, 李平, 吴锦华, 王向德 (1845)

基于固相萃取的水中多种有毒有害有机污染物富集方法优化 ..... 张明全, 李锋民, 吴乾元, 胡洪营 (1851)

多环麝香污染胁迫对蚯蚓特异性蛋白基因表达的影响 ..... 陈春, 刘潇威, 郑顺安, 周启星, 李松 (1857)

浙江省制药行业典型挥发性有机物臭氧产生潜力分析及健康风险评价 ..... 徐志荣, 王浙明, 许明珠, 何华飞 (1864)

苯系物光催化开环降解产物低级醛类的健康效应 ..... 赵伟荣, 廖求文, 杨亚楠, 戴九松 (1871)

四川妇女血清中多溴联苯醚的浓度水平与组成特征 ..... 邵敏, 陈永亨, 李晓宇 (1877)

咪唑类离子液体毒性的QSAR/QSPR研究 ..... 赵继红, 赵永升, 张宏忠, 张香平 (1882)

宁夏石嘴山河滨工业园区表层土壤重金属污染的时空特征 ..... 樊新刚, 米文宝, 马振宁, 王婷玉 (1887)

内蒙古包头白云鄂博矿区及尾矿区周围土壤稀土污染现状和分布特征 ..... 郭伟, 付瑞英, 赵仁鑫, 赵文静, 郭江源, 张君 (1895)

福建省重点城市路面尘负荷及化学组成研究 ..... 郑桢, 杨冰玉, 吴水平, 王新红, 陈晓秋 (1901)

重金属污染场地电阻率法探测数值模拟及应用研究 ..... 王玉玲, 能昌信, 王彦文, 董路 (1908)

丛枝菌根真菌对稀土尾矿中大豆生长和稀土元素吸收的影响 ..... 郭伟, 赵仁鑫, 赵文静, 付瑞英, 郭江源, 张君 (1915)

海洋细菌N3对几种赤潮藻的溶藻效应 ..... 史荣君, 黄洪辉, 齐占会, 胡维安, 田梓杨, 戴明 (1922)

1株分离自煤矿废水的铁硫氧化细菌LY01的鉴定及其氧化特性研究 ..... 刘玉娇, 杨新萍, 王世梅, 梁银 (1930)

1株苯并[a]芘高效降解菌的筛选与降解特性 ..... 蔡瀚, 尹华, 叶锦韶, 常晶晶, 彭辉, 张娜, 何宝燕 (1937)

2,2',4,4'-四溴联苯醚的好氧微生物降解 ..... 张姝, Giulio Franco, 李晓豹, 卢晓霞, 侯珍, 杨君君 (1945)

养猪废水培养微生物絮凝剂产生菌群B-737及发酵特性 ..... 裴瑞林, 信欣, 张雪乔, 周迎芹, 姚力, 羊依金 (1951)

1997~2011年北京市空气中酸性物质与降水组分变化趋势的相关性分析 ..... 陈圆圆, 田贺忠, 杨懂艳, 邹本东, 鹿海峰, 林安国 (1958)

黄山降水酸度及电导率特征分析 ..... 石春娥, 邓学良, 吴必文, 洪杰, 张苏, 杨元建 (1964)

夏季黄山不同高度大气气溶胶水溶性离子特征分析 ..... 文彬, 银燕, 秦彦硕, 陈魁 (1973)

广州秋季灰霾污染过程大气颗粒物有机酸的污染特征 ..... 谭吉华, 赵金平, 段菁春, 马永亮, 贺克斌, 杨复沫 (1982)

福建省三大城市冬季PM<sub>2.5</sub>中有机碳和元素碳的污染特征 ..... 陈衍婷, 陈进生, 胡恭任, 徐玲玲, 尹丽倩, 张福旺 (1988)

上海市含碳大气颗粒物的粒径分布 ..... 袁宁, 刘卫, 赵修良, 王广华, 姚剑, 曾友石, 刘邃庆 (1995)

上海市浦东新区二次气溶胶生成的估算 ..... 崔虎雄, 吴迺名, 段玉森, 伏晴艳, 张懿华, 王东方, 王茜 (2003)

沙尘暴期间上海市大气颗粒物元素地球化学特征及其物源示踪意义 ..... 钱鹏, 郑祥民, 周立旻 (2010)

厦门秋季近郊地面CO<sub>2</sub>浓度变化特征研究 ..... 李燕丽, 穆超, 邓君俊, 赵淑惠, 杜可 (2018)

GC-MS和GC-ECD同时在线观测本底大气中的HCFC-142b ..... 郭立峰, 姚波, 周凌晔, 李培昌, 许林 (2025)

城市居家环境空气真菌群落结构特征研究 ..... 方治国, 欧阳志云, 刘芄, 孙力, 王小勇 (2031)

城市污水处理厂挥发性芳香烃的气味指纹及定量评价研究 ..... 郭薇, 王伯光, 唐小东, 刘舒乐, 何洁, 张春林 (2038)

内河多点分散码头大气污染叠加影响特征 ..... 刘建昌, 李兴华, 徐洪磊, 程金香, 王忠岱, 肖杨 (2044)

义马煤中铅的热稳定性及转化行为研究 ..... 刘瑞卿, 王钧伟 (2051)

基于能源消费情景模拟的北京市主要大气污染物和温室气体协同减排研究 ..... 谢元博, 李巍 (2057)

《环境科学》征订启事(1652) 《环境科学》征稿简则(1789) 信息(1807, 1821, 1881, 1987) 专辑征稿通知(1863)

# 城市居家环境空气真菌群落结构特征研究

方治国<sup>1</sup>, 欧阳志云<sup>2</sup>, 刘芑<sup>3</sup>, 孙力<sup>3</sup>, 王小勇<sup>3</sup>

(1. 浙江工商大学环境科学与工程学院, 杭州 310012; 2. 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; 3. 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:** 居室环境质量的优劣与人类健康密切相关。成年人约80%~90%的时间是在室内度过,而且现代人们的生活越来越离不开空调,由于人体、房间和空调机在室内会形成了一个封闭的循环系统,容易使细菌、病毒、霉菌等微生物大量繁衍。因此,百货商场、学校教室、办公室和现代住宅等近年来成为了室内环境空气质量的研究热点。在北京市5个方向(东南西北中)共选取31户具有小孩的家庭于2009年11月~2010年10月进行试验,研究了城市居家环境空气真菌的群落结构特征。结果表明,从分离的225株空气真菌中共鉴定出24属,从鉴定出现的次数来看,其优势真菌属依次为青霉属(*Penicillium*)、枝孢属(*Cladosporium*)、曲霉属(*Aspergillus*)、链格孢属(*Alternaria*)和茎点霉属(*Phoma*),其中青霉属出现的次数占分离菌株总数的36%。居家环境中青霉属、枝孢属、曲霉属、链格孢属、丛梗孢属(*Monilia*)的出现频率较高,其中青霉属的出现频率在90%以上;浓度百分比较高的真菌依次为青霉属、枝孢属、曲霉属、无孢菌和链格孢属,它们浓度总和约占总浓度的65.0%及以上,其中青霉属浓度百分比为32.2%。在北京市取样的31户家庭中,空气真菌浓度范围为62~3 498 CFU·m<sup>-3</sup>,平均值为837 CFU·m<sup>-3</sup>。空气真菌总浓度与枝孢属、曲霉属、链格孢属浓度的季节变化特征基本一致,夏季明显高于春季、秋季和冬季( $P < 0.05^*$ ),冬季浓度最低,而青霉属浓度的季节变化则表现为春季较高,夏季、秋季和冬季没有显著差异( $P > 0.05^*$ )。北京市居家环境空气真菌浓度男孩家庭明显高于女孩家庭( $P < 0.05^*$ ),并且家庭空气真菌浓度与人均居住面积呈显著负相关。

**关键词:** 居家环境; 人们健康; 空气真菌; 青霉属; 枝孢属

中图分类号: X513; X172 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)05-2031-07

## Airborne Fungal Community Composition in Indoor Environments in Beijing

FANG Zhi-guo<sup>1</sup>, OUYANG Zhi-yun<sup>2</sup>, LIU Peng<sup>3</sup>, SUN Li<sup>3</sup>, WANG Xiao-yong<sup>3</sup>

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

**Abstract:** Indoor environmental quality has significant effects on human health. It is reported that adults in China spent about 80%-90% of their time in indoor environments, and a number of physically handicapped people such as the elderly and infants stayed in the room even up to 95% of their total time. Moreover, air conditioner in indoor environments becomes more and more important in modern life, and a closed circulatory system can be formed among human body, room and air conditioner in indoor environments with an air conditioner, which can make the microbes such as bacteria, viruses and mold indoors propagate rapidly or abundantly. Therefore, studies on the microbial pollution in the air at places such as mall, classroom, office, and family home have been the research hotspots recently. In the present study, the community composition and concentration variation pattern of airborne fungi were investigated from Nov 2009 to Oct 2010 in 31 family homes with children in Beijing. Results showed that 24 genera of airborne fungi in family homes were identified from 225 isolates. The most common fungi were *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Alternaria* and *Phoma*. The frequency of *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Alternaria* and *Monilia* was much higher than those of other fungal genera in family home, and the frequency of *Penicillium* was more than 90%. As for the concentration percentage, airborne fungi with most high concentrations were *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, No-sporing, and *Alternaria*, and totally accounted for more than 65.0%. *Penicillium* contributed to 32.2% of the total airborne fungi in family homes. In the 31 family homes selected, the fungal concentration in the air ranged from 62-3 498 CFU·m<sup>-3</sup>, and the mean concentration was 837 CFU·m<sup>-3</sup>. Seasonal variation pattern of total fungi, and *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Alternaria* concentration was consistent, and the highest fungal concentration was observed in summer, followed by spring and autumn, and the lowest in winter. Concerning the *Penicillium* concentration, the seasonal variation pattern was different, and higher concentration was observed in spring than summer, autumn and winter. Finally, we also found that higher fungal concentration was detected in families with boys than those with girls, and negative correlation was found between airborne fungal concentration and living area per capita.

**Key words:** family homes; human health; airborne fungi; *Penicillium*; *Cladosporium*

收稿日期: 2012-08-08; 修订日期: 2012-09-20

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基金项目(41030744); 浙江省自然科学基金项目(Y5100365); 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

居室环境与人们健康关系最为密切。据统计,成年人约 80%~90%的时间是在室内度过的,生活在城市中一些行动不便的人如老人、婴儿等可能高达 95%的时间是生活在室内<sup>[1]</sup>。随着城市人们生活水平的提高,越来越多的现代化设备和家用电器进驻室内,由此产生的空气污染、噪声污染、电磁波及静电干扰和紫外线辐射等给人们的身心健康带来不可忽视的影响。而且,现代城市人们的生活越来越离不开空调,由于人体、房间和空调机会在室内形成了一个封闭的循环系统,容易使细菌、霉菌和病毒等微生物大量繁衍<sup>[2,3]</sup>。许多人因此出现了头疼、呼吸道感染、恶心、过敏、皮炎等症状,世界卫生组织将上述症候群统称为“致病性建筑物综合症”。室内环境中的这些症状并非同时发生,而且它们的致病机制并未完全清楚,但它们与室内空气质量的恶化是密切相关的。因此,近年来大型百货商店、学校教室、办公室、民房和现代住宅等在内的室内空气质量成了室内环境研究的焦点。

室内空气生物污染是影响室内空气质量的一个重要因素,它对人们的健康有着较大的危害,能引起如各种呼吸道传染病、哮喘、建筑物综合症等各种疾病<sup>[4-6]</sup>。室内空气生物污染物主要包括细菌、真菌(含真菌孢子)、花粉、病毒、生物体有机成分等。在这些生物污染因子中有一些细菌和病毒是人类呼吸道传染病的病原体,有些真菌(含真菌孢子)、花粉和生物体有机成分则能够引起人体的过敏反应。室内空气生物污染的来源主要有患有相关疾病的病人、宠物(鸟、猫、狗等)<sup>[7]</sup>、空调器<sup>[8,9]</sup>和室外环境<sup>[1]</sup>等,并且与建筑物本身<sup>[10,11]</sup>和环境卫生状况以及居住者的活动与密度密切相关<sup>[12]</sup>。儿童由于年龄较小极易受影响,他们在室内比成年人更加容易遭受潜在与真菌有关的健康危险<sup>[13]</sup>。Koskinen 等<sup>[14]</sup>研究表明,真菌感染发生率与年龄密切相关,3岁以下的小孩具有很大的感染风险。因此,研究室内空气生物污染的种类、来源、时空分布及致病性至关重要,特别是有儿童居住的室内家庭。

## 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,系统研究北京市居家环境空气真菌群落特征。对取样 31 户家庭的选择具有以下的标准: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 3 户,南边 3 户,西边 4 户,北边 9 户,中间 4 户,南边学校社区 3 户,北边学校社区 5 户。因为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较多的地方,所以在北京市的北边选取了共 9 户家庭进行取样。所选家庭最大面积约为 125 m<sup>2</sup>,最小面积约为 40 m<sup>2</sup>;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 6 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 L·min<sup>-1</sup>,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。

### 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 户家庭空气真菌取样工作都是在 3 d 内完成。空气真菌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 L·min<sup>-1</sup>,采样器各层的孔眼至采样面的距离(即撞击距离)为 2 mm,室内空气真菌的取样时间为 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 已灭菌的真菌培养基,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<sup>-1</sup>)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真菌菌落进行计数、分离和纯化。

### 1.4 空气真菌浓度计算方法

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:

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

式中,  $Pr$  为校正后的菌落数;  $N$  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粒子的数量, 计算空气真菌的浓度, 具体计算方法如下:

$$c = \frac{T \times 1000}{t \times F}$$

式中,  $c$  为空气真菌浓度 ( $\text{CFU} \cdot \text{m}^{-3}$ );  $T$  为六级总菌落数 ( $\text{CFU}$ );  $t$  为采样时间 ( $\text{min}$ );  $F$  为空气流量 ( $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ )。

### 1.5 空气真菌菌种鉴定方法

根据真菌菌落形态和显微镜下真菌的孢子特征把空气真菌鉴定到属。借鉴国外学者经验, 对在原培养基上培养 3 d 未产生孢子的菌落如转种培养两周后仍未见孢子生成, 则列入无孢菌群, 简称为无孢菌。分离纯化后的室内空气真菌进行核糖体基因 ( $r\text{DNA}$ ) 内转录间隔区 (ITS) 序列分析, 以通用引物 ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') 和 ITS4

(5'-TCCTCCGCTTA TTGATA TGC-3') 进行 PCR 扩增、纯化、送公司测序, 再与 NCBI 数据库比对获得真核生物相关信息。

### 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 居家环境空气真菌群落结构

#### 2.1.1 居家环境空气真菌群落结构总体概况

在各个取样点共分离空气真菌 225 株, 其中 28 株未鉴定出结果, 共鉴定空气真菌 197 株, 具体的鉴定结果如表 1。从中可以得出, 在分离纯化的所有真菌菌株中, 总共鉴定出 24 属空气真菌。从菌属鉴定出现的次数来看, 居家环境空气中优势真菌属依次为青霉属 (*Penicillium*)、枝孢属 (*Cladosporium*)、曲霉属 (*Aspergillus*)、链格孢属 (*Alternaria*) 和茎点霉属 (*Phoma*), 分别约占总数的 36.0%、17.8%、9.3%、5.3% 和 3.6%。在所有优势菌属中, 青霉属占有绝对的优势, 其出现的次数占分离菌株总数的 36%。

表 1 居家环境空气真菌的群落结构

Table 1 Community composition of airborne fungi in family homes

真菌属	分离数量	百分比/%	真菌属	分离数量	百分比/%
<i>Alternaria</i>	12	5.33	<i>Peyronellaea</i>	3	1.33
<i>Aspergillus</i>	21	9.33	<i>Phoma</i>	8	3.56
<i>Beauveria</i>	2	0.89	<i>Pleospores</i>	2	0.89
<i>Chaetomium</i>	1	0.44	<i>Schizophyllum</i>	1	0.44
<i>Cladosporium</i>	40	17.78	<i>Scolecobasidium</i>	1	0.44
<i>Cochliobolus</i>	2	0.89	<i>Talaromyces</i>	3	1.33
<i>Epicoccum</i>	1	0.44	<i>Tilletiopsis</i>	2	0.89
<i>Eurotium</i>	3	1.33	<i>Trametes</i>	1	0.44
<i>Fusarium</i>	2	0.89	<i>Tritirachium</i>	1	0.44
<i>Lecanicillium</i>	5	2.22	<i>Ulocladium</i>	2	0.89
<i>Leptosphaerulina</i>	1	0.44	<i>Zygomycete</i>	1	0.44
<i>Neosartorya</i>	1	0.44	No-identification	28	12.44
<i>Penicillium</i>	81	36.00			

#### 2.1.2 居家环境空气真菌的出现频率及浓度百分比

图 1 是居家环境空气真菌的出现频率和浓度百分比。从出现频率来看, 北京市居家环境中青霉属、枝孢属、曲霉属、链格孢属、丛梗孢属 (*Monilia*) 的出现频率较高, 分别为 95.7%、89.4%、62.6%、45.6% 和 36.8%。在出现频率较高的菌属中, 青霉属的出现频率最高, 不同家庭的出现频率都在 90% 以上, 最高达 100%。除了这些优势菌属外, 其它真菌在空气中的出现频率都较低, 比如根霉属、木霉属和镰刀霉属等。

从浓度百分比来看, 居家环境浓度百分比较高的真菌属依次为青霉属、枝孢属、曲霉属、无孢菌和丛梗孢属, 它们浓度总和约占总浓度的 65.0% 及以上。其中青霉属真菌浓度百分比最高, 占总体的 32.2%。

### 2.2 居家环境空气真菌浓度变化特征

#### 2.2.1 居家环境空气真菌浓度背景值

在北京市不同方向取样的 31 户家庭中, 空气真菌浓度的最低值为  $62 \text{ CFU} \cdot \text{m}^{-3}$ , 最高值为  $3498 \text{ CFU} \cdot \text{m}^{-3}$ , 算术平均值为  $837 \text{ CFU} \cdot \text{m}^{-3}$ , 中值为  $633$

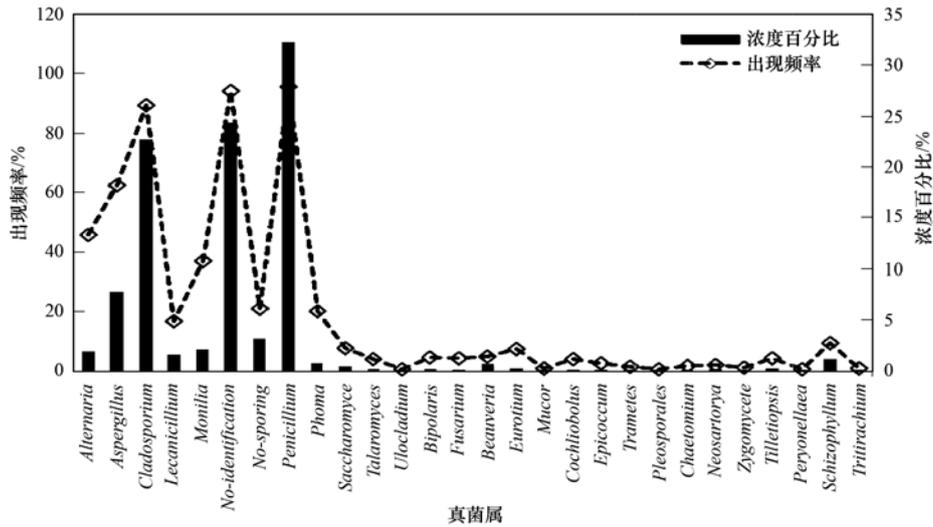


图1 居家环境空气真菌的出现频率和浓度百分比

Fig. 1 Frequency and concentration percentage of airborne fungi in family homes

CFU·m<sup>-3</sup>,几何平均值为561 CFU·m<sup>-3</sup>.

### 2.2.2 居家环境空气真菌浓度的季节变化特征

总体上,居家环境夏季空气真菌总浓度明显高于春季、秋季和冬季( $P < 0.05^*$ ),其次为春季和秋季,冬季浓度最低(图2).北京居家环境春夏秋冬的空气真菌总浓度分别约为804、1443、670和430 CFU·m<sup>-3</sup>.就不同菌属而言,居家环境中枝孢属、曲霉属、链格孢属真菌浓度的季节变化规律与空气真菌总浓度基本一致,但青霉属浓度的季节变化规律与空气真菌总浓度完全不同,其主要表现为春季较高,夏季、秋季和冬季没有显著差异( $P > 0.05^*$ ).

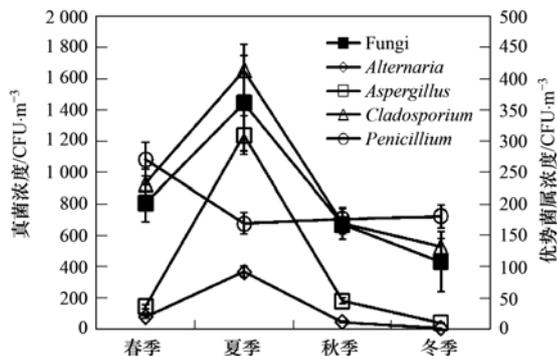


图2 居家环境空气真菌浓度季节变化特征

Fig. 2 Seasonal variation patterns of airborne fungal concentration in family homes

### 2.2.3 居住家庭儿童性别对空气真菌浓度的影响

图3是居住家庭儿童性别对居家环境中空气真菌浓度的影响.从中可以看出,1a中春夏秋冬四季男孩家庭空气中的真菌浓度明显高于女孩家庭( $P < 0.01^{**}$ ).总体上来看,北京市居家环境空气真

菌浓度男孩家庭明显高于女孩家庭( $P < 0.01^{**}$ ),男孩家庭平均值为906 CFU·m<sup>-3</sup>,女孩家庭平均值为764 CFU·m<sup>-3</sup>.

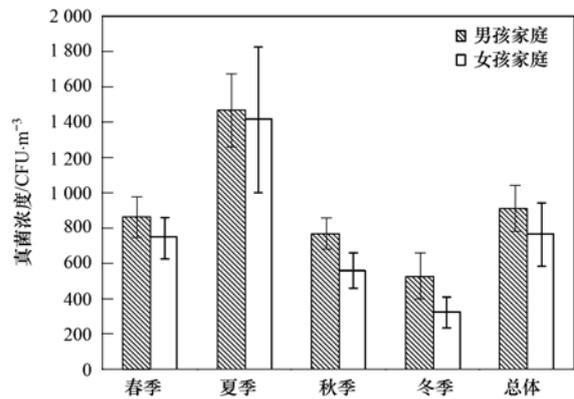


图3 居住家庭儿童性别对空气真菌浓度的影响

Fig. 3 Effects of child's gender on airborne fungal concentration in family homes

### 2.2.4 居住家庭房屋结构对空气真菌浓度的影响

房屋结构对居家环境空气真菌浓度的影响如图4.春季板楼和塔楼空气真菌浓度没有显著差异( $P > 0.05^*$ ),夏季和冬季板楼空气真菌浓度高于塔楼( $P < 0.05^*$ ),而秋季塔楼高于板楼( $P < 0.05^*$ ).总体上,板楼空气真菌浓度稍高于塔楼,但两者没有显著差异( $P > 0.05^*$ ),板楼家庭空气真菌浓度的平均值为861 CFU·m<sup>-3</sup>,塔楼则为787 CFU·m<sup>-3</sup>.因此,房屋结构对空气真菌浓度没有显著的影响.

### 2.2.5 家庭人均居住面积与空气真菌浓度相关性分析

图5是家庭人均居住面积与空气真菌浓度相关

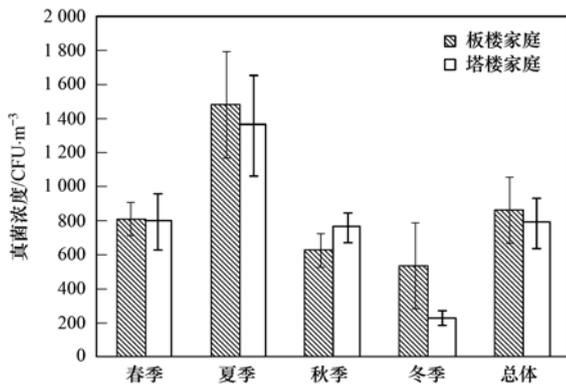


图4 居住家庭房屋结构对空气真菌浓度的影响

Fig. 4 Effects of apartment's construction on airborne fungal concentration in family homes

性分析. 利用 SPSS 19.0 软件分析获得两者之间的相关系数为  $-0.408$ , 并且检验表明两者在  $0.05$  水平上显著相关. 这就说明, 家庭空气真菌浓度与人均居住面积呈负相关, 随着人均居住面积的增加, 空气真菌浓度呈现下降趋势.

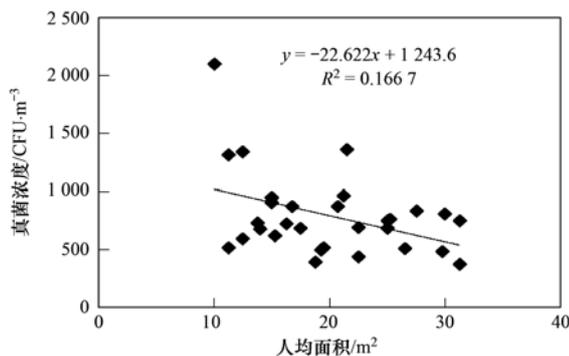


图5 居住家庭人均面积与真菌浓度的相关性

Fig. 5 Correlation between fungal concentration and living area per capita in family homes

### 3 讨论

空气中不同种类的真菌对人们健康具有不同的影响. *Mucor*, *Rhizopus* 等真菌具有强的感染性, *Alternaria alternata*、*Cladosporium herbarum*、*Aspergillus fumigatus*、*Aspergillus versicolor*、*Aureobasidium*、*Penicillium* 等真菌具有较强的致敏性, *Stachybotris*、*Aspergillus versicolor*、*Aspergillus flavus*、*Trichoderma*、*Fusarium* 等真菌能够产生具有毒性的次生代谢产物<sup>[10, 15]</sup>. 因此, 掌握室内空气中真菌的种类对于人们健康危险度评价具有非常重要的作用. 本研究发现在所有的 31 户取样家庭的空气环境中, 均检测到了真菌的存在, 并且共鉴定出 24 属空气真菌, 其中优势菌属依次为青霉属、枝孢

属、曲霉属和链格孢属等, 这与其它有关室内空气真菌的研究结果基本一致. Dassonville 等<sup>[1]</sup>对法国巴黎新生小孩家庭的空气真菌进行了研究发现, 在 10 月~次年 3 月, 77% 的家庭分离出了枝孢属, 93% 的家庭分离出了青霉属, 在 4~9 月, 95% 的家庭分离出了枝孢属, 83% 的家庭分离出了青霉属; 60% 的家庭分离出了曲霉属, 少于 20% 的家庭分离出了链格孢属; Lee 等<sup>[16]</sup>研究了美国辛辛那提地区 6 个家庭空气真菌的概况, 在室内外环境中共分离出 26 属空气真菌, 出现频率从高到低分别为无孢菌 (81.1%)、青霉属 (76.7%)、枝孢属 (63.6%)、曲霉属 (41.1%)、酵母菌 (17.8%) 和金孢子菌属 (*Chrysosporium*, 11.1%), 而其它属真菌的出现频率均低于 6%; Lee 等<sup>[17]</sup>研究了韩国高层建筑公寓里的生物气溶胶, 发现室内空气真菌的优势菌属为枝孢属、青霉属、曲霉属和链格孢属. 然而, 也有些研究室内空气真菌的优势菌属与本研究结果不同. 如 Basilio 等<sup>[18]</sup>对阿根廷圣达菲市 49 户家庭的空气真菌进行了研究发现, 共鉴定出 13 属空气真菌, 从百分比浓度来看, 依次为枝孢属 (58.9%)、链格孢属 (8.68%)、附球菌属 (*Epicoccum*, 5.74%)、镰孢属 (*Fusarium*, 5.37%) 等, 而青霉属和曲霉属分别占 1.25% 和 1.14%, 这可能与不同国家和地区的环境条件以及家庭居住人员习俗不同相关. Fang 等<sup>[19]</sup>研究发现, 北京市室外环境空气真菌的优势菌属依次为枝孢属、无孢菌、链格孢属、青霉属和曲霉属, 浓度百分比分别为 43.0%、18.0%、14.0%、11.0% 和 6.5%, 而本研究中青霉属、枝孢属、曲霉属、无孢菌和链格孢属的浓度百分比分别为 32.2%、22.7%、7.7%、3.1% 和 1.9%. 这个研究结果与枝孢属和链格孢属室外环境多于室内, 而青霉属室内环境多于室外完全相符合<sup>[1]</sup>.

北京市居家环境空气真菌的浓度范围为  $62 \sim 3498 \text{ CFU} \cdot \text{m}^{-3}$ , 算术平均值为  $837 \text{ CFU} \cdot \text{m}^{-3}$ , 几何平均值为  $561 \text{ CFU} \cdot \text{m}^{-3}$ , 这个研究结果明显高于世界上其它国家和地区室内环境空气真菌的浓度. 研究表明, 法国巴黎新生小孩家庭的空气真菌浓度几何平均值为  $209 \text{ CFU} \cdot \text{m}^{-3}$ <sup>[1]</sup>; 美国辛辛那提地区 6 个家庭空气真菌的浓度的几何平均值为  $88 \text{ CFU} \cdot \text{m}^{-3}$ , 真菌孢子的浓度为  $211 \text{ CFU} \cdot \text{m}^{-3}$ <sup>[16]</sup>; 韩国高层建筑公寓里空气真菌的浓度范围为  $10 \sim 1000 \text{ CFU} \cdot \text{m}^{-3}$ <sup>[17]</sup>. 而笔者以前的研究也发现, 北京市室外环境空气真菌的浓度明显高于世界上其它国家和地区<sup>[19]</sup>, 这两组数据比较的结果说明北京市

空气微生物污染的情况明显较其它国家和地区严重. 此外,北京市室外环境空气真菌的浓度平均值为 $1\ 165\ \text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$ [19],明显高于室内家庭的 $837\ \text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$ . 这与其它的研究结果室内空气真菌浓度低于室外基本相同. Garrett 等[10]发现室外浓度是室内的 6.25 倍; Lee 等[16]研究发现美国辛辛那提室外空气真菌浓度约为室内的 1.5 倍; Hargreaves 等[20]发现澳大利亚布里斯班城郊室外空气真菌浓度约为室内的 1.1~2.5 倍.

北京市居家环境夏季空气真菌总浓度明显高于其它季节,冬季浓度最低. 这是因为室内空气真菌主要是来源于室外,并且随着室外空气真菌浓度的变化而变化[21]. 室外空气真菌浓度受到各种环境因素的影响,会呈现出季节性变化规律. 在温带和寒带地区,冬季是真菌的休眠季节,夏季则是空气真菌孢子繁殖最重要的季节,空气真菌整年的基本特征主要取决于夏季[22]. 笔者以前的研究也发现,北京市室外空气真菌浓度也是夏季明显高于春秋冬季,与其居家环境空气真菌浓度的季节变化特征完全一致[19]. 国内外有些研究发现空气真菌浓度的季节变化特征与本研究基本相同. 意大利都灵空气中真菌最高浓度出现在夏季约为 $9\ 413\ \text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$ ,最低浓度出现在冬季仅为 $64\ \text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$ ,空气真菌的最高浓度是最低浓度的 147 倍[23]; 法国医院夏季(约 $4\sim 5\ \text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$ )空气真菌浓度明显高于冬季(约 $3\ \text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$ )[24]. 笔者同时发现,青霉属、枝孢属、曲霉属和链格孢属真菌浓度也表现出相关的季节变化规律.

本研究发现居住家庭儿童性别对空气真菌浓度具有显著的影响,男孩家庭空气真菌浓度明显高于女孩家庭. 这是因为女孩不会开展一些扰动较大的活动,研究发现在 10 岁之前女孩总体的活动量只有男孩的一半[25]. 因此,由于室内活动扰动的作用,男孩家庭的卫生状况要差于女孩家庭,这是男孩家庭空气真菌浓度较高的主要原因,因为很多学者研究发现空气真菌浓度与人们活动和环境的卫生条件密切相关[10].

#### 4 结论

(1)北京市居家环境空气中真菌种类呈现较高的多样性,不同真菌浓度百分比和出现频率各不相同. 总体上看,优势菌属依次为青霉属、枝孢属、曲霉属、链格孢属和茎点霉属,其中青霉属是居家环境中最常见的空气真菌.

(2)北京市居家环境空气真菌浓度受到时间和空间的影响,其变化范围较大. 在本研究中,最低值为 $62\ \text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$ ,最高值为 $3\ 498\ \text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$ ,算术平均值为 $837\ \text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$ .

(3)居家环境空气真菌浓度季节变化特征明显,总体上表现为夏季明显高于春季、秋季和冬季( $P < 0.05^*$ ),冬季浓度最低. 家庭空气真菌浓度受到儿童性别的显著影响,并且与人均居住面积呈显著负相关.

致谢:本研究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焯、孟龄,研究生江波、杨绍顺、陈法霖、张凯、饶恩明等的帮助,在此表示诚挚地感谢.

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] Li H L, Shan N. Investigation on the status of microbial contamination in air conditioner system[J]. *Shanghai Journal of Preventive Medicine*, 2004, **16**(3): 138-138, 141.
- [3] Shen J M, Xu Z L. Secondary contamination and bacterial control in air conditioning systems[J]. *Heating Ventilating & Air Conditioning*, 2002, **32**(5): 5-8.
- [4] Miller J D. Fungi as contaminants in indoor air[J]. *Atmospheric Environment*, 1992, **26**(12): 2163-2172.
- [5] Horner W E, Helbling A, Salvaggio J E, *et al.* Fungal allergens[J]. *Clinical Microbiology Reviews*, 1995, **8**(2): 161-179.
- [6] Douwesi J, Thorne P, Pearce N, *et al.* Bioaerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects[J]. *The Annals of Occupational Hygiene*, 2003, **47**(3): 187-200.
- [7] Koster J A D, Thorne P S. Bioaerosol concentrations in noncomplaint, complaint, and intervention homes in the Midwest[J]. *American Industrial Hygienic Association Journal*, 1995, **56**: 573-580.
- [8] Kodama A M, Mcgee R I. Airborne microbial contaminants in indoor environments. Naturally ventilated and air-conditioned homes[J]. *Archives of Environmental Health*, 1986, **41**(5): 306-311.
- [9] Law A K Y, Chau C K, Chan G Y S. Characteristics of bioaerosol profile in office buildings in Hong Kong[J]. *Building and Environment*, 2001, **36**(4): 527-541.
- [10] Garrett M H, Rayment P R, Hooper M A, *et al.* Indoor airborne fungal spores, house dampness and associations with environmental factors and respiratory health in children[J]. *Clinical and Experimental Allergy*, 1998, **28**(4): 459-67.
- [11] Dharmage S, Bailey M, Raven J, *et al.* Prevalence and residential determinants of fungi within homes in Melbourne, Australia[J]. *Clinical and Experimental Allergy*, 1999, **29**

- (11): 1481-1489.
- [12] Pastuszka J S, Tha Paw U K, Danuta O L, *et al.* Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland [J]. *Atmospheric Environment*, 2000, **34**(22): 3833-3842.
- [13] Kahan E, Gross S, Cohen H A. Exclusion of ill children from child-care centers in Israel [J]. *Patient Education and Counseling*, 2005, **56**(1): 93-97.
- [14] Koskinen O M, Husmana T M, Hyvarinen A M, *et al.* Two moldy day-care centers: A follow-up study of respiratory symptoms and infections [J]. *Indoor Air*, 1997, **7**(4): 262-268.
- [15] Bush R K, Portnoy J M, Saxon A, *et al.* The medical effects of mold exposure [J]. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 2006, **117**(2): 326-333.
- [16] 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.
- [17] Lee J H, Jo W K. Characteristics of indoor and outdoor bioaerosols at Korean high-rise apartment buildings [J]. *Environmental Research*, 2006, **101**(1): 11-17.
- [18] Basilio M de L, Chiericatti C, Aringoli E E, *et al.* Influence of environmental factors on airborne fungi in houses of Santa Fe City, Argentina [J]. *Science of the Total Environment*, 2007, **376**(1-3): 143-150.
- [19] Fang Z G, Ouyang Z Y, Hu L F, *et al.* Culturable airborne fungi in outdoor environments in Beijing, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2005, **350**(1-3): 47-58.
- [20] 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]. *Science of the Total Environment*, 2003, **312**(1-3): 89-101.
- [21] O'Connor G T, Walter M, Mitchell H, *et al.* Airborne fungi in the homes of children with asthma in low-income urban communities; the inner-city asthma study [J]. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 2004, **114**(3): 599-606.
- [22] Li D W, Kendrick B. Functional relationships between airborne fungal spores and environmental factors in Kitchener-Waterloo, Ontario, as detected by Canonical correspondence analysis [J]. *Grana*, 1994, **33**(3): 166-176.
- [23] Marchisio V F, Airaudi D. Temporal trends of the airborne fungi and their functional relations with the environment in a suburban site [J]. *Mycologia*, 2001, **93**(5): 831-840.
- [24] 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.
- [25] Girls less sporty 'from early age' [Z]. *BBC News*, 25 July, 2001, 23: 46 GMT 00: 46 UK.

## CONTENTS

Advances in Peroxide-Based Decontaminating Technologies .....	XI Hai-ling, ZHAO San-ping, ZHOU Wen (1645)
Environmental Damage Assessment; International Regulations and Revelation to China .....	ZHANG Hong-zhen, CAO Dong, YU Fang, <i>et al.</i> (1653)
Human Health Risk-Based Environmental Criteria for Soil: A Comparative Study Between Countries and Implication for China .....	XU Meng, YAN Zeng-guang, HE Meng-meng, <i>et al.</i> (1667)
Organic Waste Treatment by Earthworm Vermicomposting and Larvae Bioconversion: Review and Perspective .....	ZHANG Zhi-jian, LIU Meng, ZHU Jun (1679)
Strategies of Nutrients Control in Lakes Based on Ecoregions of Lakes in China .....	DIAO Xiao-jun, XI Bei-dou, HE Lian-sheng, <i>et al.</i> (1687)
Current Status of Surface Water Acidification in Northeast China .....	XU Guang-yi, KANG Rong-hua, LUO Yao, <i>et al.</i> (1695)
Impact Analysis of Xi'an to the Water Quality of Weihe River .....	YU Jie, LI Huai-en (1700)
Distribution Characteristics of Dissolved Oxygen and Its Affecting Factors in the Pearl River Estuary During the Summer of the Extremely Drought Hydrological Year 2011 .....	YE Feng, HUANG Xiao-ping, SHI Zhen, <i>et al.</i> (1707)
Application of Equilibrium Partitioning Approach to Establish Sediment Quality Criteria for Heavy Metals in Hengyang Section of Xiangjiang River .....	HAN Chao-nan, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (1715)
Assessing the Benthic Ecological Status in Yangtze River Estuary Using AMBI and M-AMBI .....	CAI Wen-qian, MENG Wei, LIU Lu-san, <i>et al.</i> (1725)
Pollution Load and the First Flush Effect of BOD <sub>5</sub> and COD in Urban Runoff of Wenzhou City .....	WANG Jun, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i> (1735)
Influencing Factors in Measuring Absorption Coefficient of Suspended Particulate Matters .....	YU Xiao-long, SHEN Fang, ZHANG Jin-fang (1745)
Relationship Between pCO <sub>2</sub> and Algal Biomass in Xiangxi Bay in Spring .....	YUAN Xi-gong, HUANG Wen-min, BI Yong-hong, <i>et al.</i> (1754)
Effects of Turbulent Fluctuation Intensity on the Growth of Algae and Water Environment .....	LEI Yu, LONG Tian-yu, SAN Lei, <i>et al.</i> (1761)
Simultaneous Removal of Algae and Its Odorous Metabolite Dimethyl Trisulfide in Water by Potassium Ferrate .....	MA Xiao-yan, ZHANG Ze-hua, WANG Hong-yu, <i>et al.</i> (1767)
Catalyzed Oxidation of Catechol by the Heterogeneous Fenton-like Reaction of Nano-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> System .....	HE Jie, YANG Xiao-fang, ZHANG Wei-jun, <i>et al.</i> (1773)
Photodegradation of Naproxen in Aqueous Systems by UV Irradiation: Mechanism and Toxicity of Photolysis Products .....	MA Du-juan, LIU Guo-guang, LÜ Wen-ying, <i>et al.</i> (1782)
Catalytic Ozonation of Nitrobenzene in Water by Acidification-activated Red Mud .....	KANG Ya-ning, LI Hua-nan, XU Bing-bing, <i>et al.</i> (1790)
Experimental Studies on Stability of Floes from Cadmium Pollution Emergency Treatment .....	LIU Wang-rong, GUO Qing-wei, YANG Ren-bin, <i>et al.</i> (1797)
Evaluation of Floc Strength Based on Morphological Analysis and Optical Online Monitoring .....	JIN Peng-kang, FENG Yong-ning, WANG Bao-bao, <i>et al.</i> (1802)
Mechanism of Reductive Dechlorination of Trichlorophenol with Different Electron Donors .....	WAN Jin-quan, HU Meng-die, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (1808)
Preparation of Magnetic Quaternary Chitosan Salt and Its Adsorption of Methyl Orange from Water .....	ZHANG Cong-lu, HU Xiao-min, YING Shi-ying, <i>et al.</i> (1815)
Membrane Fouling by Secondary Effluent of Urban Sewage and the Membrane Properties .....	MENG Xiao-rong, ZHANG Hai-zhen, WANG Lei, <i>et al.</i> (1822)
Treatment of Municipal Wastewater Using the Combined Reversed A <sup>2</sup> /O-MBR Process .....	ZHANG Jian-jun, ZOU Gao-long, YANG Shu-fang, <i>et al.</i> (1828)
Study on Sulfur-based Autotrophic Denitrification with Different Electron Donors .....	YUAN Ying, ZHOU Wei-li, WANG Hui, <i>et al.</i> (1835)
Nitrogen Removal and N <sub>2</sub> O Emission Characteristics During the Shortcut Simultaneous Nitrification and Denitrification Process .....	LIANG Xiao-ling, LI Ping, WU Jin-hua, <i>et al.</i> (1845)
Optimization of Solid-Phase Extraction for Enrichment of Toxic Organic Compounds in Water Samples .....	ZHANG Ming-quan, LI Feng-min, WU Qian-yuan, <i>et al.</i> (1851)
Polycyclic Musks Exposure Affects Gene Expression of Specific Proteins in Earthworm <i>Eisenia fetida</i> .....	CHEN Chun, LIU Xiao-wei, ZHENG Shun-an, <i>et al.</i> (1857)
Health Risk Assessment and Ozone Formation Potentials of Volatile Organic Compounds from Pharmaceutical Industry in Zhejiang Province .....	XU Zhi-rong, WANG Zhe-ming, XU Ming-zhu, <i>et al.</i> (1864)
Health Effect of Volatile Aldehyde Compounds in Photocatalytic Oxidation of Aromatics Compounds .....	ZHAO Wei-rong, LIAO Qiu-wen, YANG Ya-nan, <i>et al.</i> (1871)
Compositions and Distribution Characteristics of Polybrominated Diphenyl Ethers in Serum of Women from Sichuan Province .....	SHAO Min, CHEN Yong-heng, LI Xiao-yu (1877)
QSAR/QSPR for Predicting the Toxicity of Imidazolium Ionic Liquids .....	ZHAO Ji-hong, ZHAO Yong-sheng, ZHANG Hong-zhong, <i>et al.</i> (1882)
Spatial and Temporal Characteristics of Heavy Metal Concentration of Surface Soil in Hebin Industrial Park in Shizuishan Northwest China .....	FAN Xin-gang, MI Wen-bao, MA Zhen-ning, <i>et al.</i> (1887)
Distribution Characteristic and Current Situation of Soil Rare Earth Contamination in the Bayan Obo Mining Area and Baotou Tailing Reservoir in Inner Mongolia .....	GUO Wei, FU Rui-ying, ZHAO Ren-xin, <i>et al.</i> (1895)
Road Dust Loading and Chemical Composition at Major Cities in Fujian Province .....	ZHENG An, YANG Bing-yu, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (1901)
Numerical Simulation and Application of Electrical Resistivity Survey in Heavy Metal Contaminated Sites .....	WANG Yu-ling, NAI Chang-xin, WANG Yan-wen, <i>et al.</i> (1908)
Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth and Rare Earth Elements Uptake of Soybean Grown in Rare Earth Mine Tailings .....	GUO Wei, ZHAO Ren-xin, ZHAO Wen-jing, <i>et al.</i> (1915)
Algicidal Activity Against Red-tide Algae by Marine Bacterial Strain N3 Isolated from a HABs Area, Southern China .....	SHI Rong-jun, HUANG Hong-hui, QI Zhan-hui, <i>et al.</i> (1922)
Isolation, Identification and Oxidizing Characterization of an Iron-Sulfur Oxidizing Bacterium LY01 from Acid Mine Drainage .....	LIU Yu-jiao, YANG Xin-ping, WANG Shi-mei, <i>et al.</i> (1930)
Isolation of an Effective Benzo[a]pyrene Degrading Strain and Its Degradation Characteristics .....	CAI Han, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (1937)
Aerobic Microbial Degradation of 2,2',4,4'-Tetrabrominated Diphenyl Ether .....	ZHANG Shu, Franco Giulio, LI Xiao-bao, <i>et al.</i> (1945)
Piggery Wastewater Cultivating Biofloculant-Producing Flora B-737 and the Fermentation Characteristics .....	PEI Rui-lin, XIN Xin, ZHANG Xue-qiao, <i>et al.</i> (1951)
Correlation Between Acidic Materials and Acid Deposition in Beijing During 1997-2011 .....	CHEN Yuan-yuan, TIAN He-zhong, YANG Dong-yan, <i>et al.</i> (1958)
Characteristics of Precipitation pH and Conductivity at Mt. Huang .....	SHI Chun-e, DENG Xue-liang, WU Bi-wen, <i>et al.</i> (1964)
Chemical Characteristics of Water-Soluble Components of Aerosol Particles at Different Altitudes of the Mount Huang in the Summer .....	WEN Bin, YIN Yan, QING Yan-shuo, <i>et al.</i> (1973)
Pollution Characteristics of Organic Acids in Atmospheric Particles During Haze Periods in Autumn in Guangzhou .....	TAN Ji-hua, ZHAO Jing-ping, DUAN Jing-chun, <i>et al.</i> (1982)
Characterization of Organic Carbon (OC) and Elemental Carbon (EC) in PM <sub>2.5</sub> During the Winter in Three Major Cities in Fujian Province, China .....	CHEN Yan-ting, CHEN Jin-sheng, HU Gong-ren, <i>et al.</i> (1988)
Size Distribution of Carbonaceous Particulate Matter in Atmosphere of Shanghai, China .....	YUAN Ning, LIU Wei, ZHAO Xiu-liang, <i>et al.</i> (1995)
Secondary Aerosol Formation Through Photochemical Reactions Estimated by Using Air Quality Monitoring Data in the Downtown of Pudong, Shanghai .....	CUI Hu-xiong, WU Ya-ming, DUAN Yu-sen, <i>et al.</i> (2003)
Geochemical Characteristics and Sources of Atmospheric Particulates in Shanghai During Dust Storm Event .....	QIAN Peng, ZHENG Xiang-min, ZHOU Li-min (2010)
Near Surface Atmospheric CO <sub>2</sub> Variations in Autumn at Suburban Xiamen, China .....	LI Yan-li, MU Chao, DENG Jun-jun, <i>et al.</i> (2018)
<i>In-situ</i> Measurement of Background Atmospheric HCFC-142b Using GC-MS and GC-ECD Method .....	GUO Li-feng, YAO Bo, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i> (2025)
Airborne Fungal Community Composition in Indoor Environments in Beijing .....	FANG Zhi-guo, OUYANG Zhi-yun, LIU Peng, <i>et al.</i> (2031)
Study on Quantification Assessment and Odor Fingerprint of Volatile Aromatic Hydrocarbons from Sewage Treatment Plant .....	GUO Wei, WANG Bo-guang, TANG Xiao-dong, <i>et al.</i> (2038)
Superposition Impact Character of Air Pollution from Decentralization Docks in a Freshwater Port .....	LIU Jian-chang, LI Xing-hua, XU Hong-lei, <i>et al.</i> (2044)
Thermal Stability and Transformation Behaviors of Pb in Yima Coal .....	LIU Rui-qing, WANG Jun-wei (2051)
Synergistic Emission Reduction of Chief Air Pollutants and Greenhouse Gases Based on Scenario Simulations of Energy Consumptions in Beijing .....	XIE Yuan-bo, LI Wei (2057)

# 《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5月15日 34卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 5 May 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