

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第3期

Vol.37 No.3

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

一种气溶胶测量仪器标定系统的设计及性能评估	陈小彤, 蒋靖坤, 邓建国, 段雷, 郝吉明 (789)
空气细菌真菌污染的分级评价构建方法	张华玲, 姚大军, 张雨, 方子梁 (795)
2014年北京APEC期间大气醛酮污染物的污染特征与来源分析	何晓朗, 谭吉华, 郭送军, 马永亮, 贺克斌 (801)
北京市夏季不同O ₃ 和PM _{2.5} 污染状况研究	王占山, 张大伟, 李云婷, 董欣, 孙瑞雯, 孙乃迪 (807)
2013年1月南京北郊霾天气气溶胶的光学特性	王利朋, 马嫣, 郑军, 崔芬萍, 周瑶瑶 (816)
上海典型持续性PM _{2.5} 重度污染的数值模拟	常炉予, 许建明, 周广强, 吴剑斌, 谢英, 余钟奇, 杨辰 (825)
厦门室内多溴二苯醚的沉降通量、季节变化与人体暴露水平	韩文亮, 刘豫, 陈海明, 陈兴童, 范涛 (834)
复合催化膜生物反应器处理一氧化氮废气研究	黎宝仁, 陈洲洋, 王剑斌, 张再利, 樊青娟, 魏在山 (847)
环胶州湾污水处理厂排放口溶解有机氮生物可利用潜力研究	孔秀君, 张鹏, 杨南南, 梁生康 (854)
面向GOCI数据的太湖总磷浓度反演及其日内变化研究	杜成功, 李云梅, 王桥, 朱利, 吕恒 (862)
三峡库区支流澎溪河水华高发期环境因子和浮游藻类的时空特征及其关系	周川, 蔚建军, 付莉, 崔玉洁, 刘德富, 姜伟, Douglas Haffner, 张磊 (873)
三峡库区消落带水体DOM不同分子量组分三维荧光特征	陈雪霜, 江韬, 卢松, 魏世强, 王定勇, 闫金龙 (884)
黄河河南段水体中正构烷烃的分布特征与来源解析	冯精兰, 席楠楠, 张飞, 刘书卉, 孙剑辉 (893)
岩溶地下河流域表层土壤有机氯农药分布特征及来源分析	谢正兰, 孙玉川, 张媚, 余琴, 徐昕 (900)
长期不同耕作方式下紫色水稻土和上覆水中汞及甲基汞的分布特征	王欣悦, 唐振亚, 张成, 王永敏, 王定勇 (910)
长江口沉积物重金属赋存形态及风险特征	尹肃, 冯成洪, 李扬颀, 殷立峰, 沈珍瑶 (917)
巢湖表层沉积物营养盐和重金属分布及污染评价	熊春晖, 张瑞雷, 吴晓东, 冯立辉, 王丽卿 (925)
三峡库区典型支流库湾消落带沉积泥沙特征及重金属评价	王永艳, 文安邦, 史忠林, 严冬春, 朱波, 唐家良 (935)
海河干流水产品汞污染特征及摄入风险评估	童银栋, 张巍, 邓春燕, 王学军 (942)
三峡库区干支流落干期消落带土壤可转化态氮含量及分布特征	何立平, 刘丹, 于志国, 周斌, 杨振宇, 兰国新, 郭冬琴, 林俊杰 (950)
三峡水库消落带土壤与优势植物淹水后对土-水系统汞形态的影响	梁丽, 王永敏, 张成, 余亚伟, 安思危, 王定勇 (955)
不同灌溉模式下水稻田径流污染试验研究	周静雯, 苏保林, 黄宁波, 管毓堂, 赵堃 (963)
富营养化城市景观水体景观污染下的悬浮颗粒物粒度分布特征	贡丹燕, 潘杨, 黄勇, 包伟, 李倩倩 (970)
间歇曝气对垂直潜流人工湿地脱氮效果的影响	汪健, 李怀正, 甄葆崇, 刘振东 (980)
非水溶性醌加速菌GWF生物还原高氯酸盐的研究	张媛媛, 郭延凯, 张超, 梁晓红, 田秀蕾, 牛文钰, 廉静, 郭建博 (988)
紫外辐射对腐殖酸溶液理化性质及其混凝性能的影响	王文东, 张轲, 范庆海, 郑丹 (994)
类水滑石复合材料吸附去除水中硫酸根离子	顾怡冰, 马邕文, 万金泉, 王艳, 关泽宇 (1000)
富里酸对重金属在沉积物上吸附及形态分布的影响	李雨清, 何江, 吕昌伟, 樊明德, 王维, 张瑞卿, 谢志磊, 汪精华, 于波, 恩和, 丁涛 (1008)
铁有机骨架材料的快速合成及对阴离子染料的吸附性能	孙德帅, 刘亚丽, 张晓东, 秦婷婷 (1016)
富里酸-膨润土复合体对氟的吸附特性	方敦, 田华婧, 叶欣, 何次利, 但悠梦, 魏世勇 (1023)
3种低分子量有机酸对紫色土吸附非的影响	谢黎, 陈本寿, 张进忠, 卢松, 江韬 (1032)
HDTMA改性蒙脱土对土壤Cr(VI)的吸附稳定化研究	蒋婷婷, 喻恺, 罗启仕, 吉敏, 林匡飞 (1039)
水热处理时间对污泥中氮磷钾及重金属迁移的影响	王兴栋, 林景江, 李智伟, 赵焕平, 余广伟, 汪印 (1048)
煤制气废水总酚负荷对反硝化的抑制效应研究	张玉莹, 陈秀荣, 王璐, 李佳慧, 徐燕, 庄有军, 于泽亚 (1055)
硫自养反硝化耦合厌氧氨氧化脱氮条件控制研究	周健, 黄勇, 刘忻, 袁怡, 李祥, 完颜德卿, 丁亮, 邵经纬, 赵蓉 (1061)
低温下活性污泥膨胀的微生物群落结构研究	端正花, 潘留明, 陈晓欧, 王秀朵, 赵乐军, 方乐琪 (1070)
游离氨(FA)耦合曝气时间对硝化菌活性的抑制影响	孙洪伟, 吕心涛, 魏雪芬, 赵华南, 马娟, 方晓航 (1075)
1株Arthrobacter arilaitensis菌的耐冷异养硝化和好氧反硝化作用	何腾霞, 倪九派, 李振轮, 孙权, 冶青, 徐义 (1082)
海洋菌株y3的分离鉴定及其异养硝化-好氧反硝化特性	孙庆花, 于德爽, 张培玉, 林学政, 徐光耀, 李津 (1089)
几种不同方法估算农田表层土壤固碳潜力:以甘肃庄浪县为例	师晨迪, 许明祥, 邱宇洁 (1098)
不同耕作方式下土壤水分状况对土壤呼吸的初期影响	张延, 梁爱珍, 张晓平, 陈升龙, 孙冰洁, 刘四义 (1106)
绿肥间作和秸秆覆盖对冬季油菜根际土壤有机碳及土壤呼吸的影响	周泉, 王龙昌, 熊瑛, 张赛, 杜娟, 赵琳璐 (1114)
黑岱沟露天煤矿排土场不同植被复垦土壤酶活性及理化性质研究	方瑛, 马任甜, 安韶山, 赵俊峰, 肖礼 (1121)
黄土丘陵区退耕时间序列梯度上草本植被群落与土壤C、N、P、K化学计量学特征	张海东, 汝海丽, 焦峰, 薛超玉, 郭美丽 (1128)
包头某铝厂周边土壤重金属的空间分布及来源解析	张连科, 李海鹏, 黄学敏, 李玉梅, 焦坤灵, 孙鹏, 王维大 (1139)
砷污染土壤复合淋洗修复技术研究	陈寻峰, 李小明, 陈灿, 杨麒, 邓琳静, 谢伟强, 钟宇, 黄斌, 杨伟强, 张志贝 (1147)
以预处理剩余污泥为燃料MFC产电性能及不连续供电的可行性	赵艳辉, 赵阳国, 郭亮 (1156)
废弃物焚烧飞灰中持久性自由基与二噁英及金属的关联探究	王天娇, 陈彤, 詹明秀, 郭颖, 李晓东 (1163)
淘汰落后产能政策对我国重点工业行业二噁英类减排的影响	耿静, 吕永龙, 任丙南, 王铁宇 (1171)
《环境科学》征订启事 (1138) 《环境科学》征稿简则 (1155) 信息 (824, 853, 883)	

空气细菌真菌污染的分级评价构建方法

张华玲, 姚大军, 张雨, 方子梁
(重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘要: 针对空气细菌真菌污染评价存在的不足, 搜集整理现有研究文献中对室内外空气细菌和真菌的现场实测数据, 利用拟合优度 χ^2 检验法证明了在显著性水平 α 为 0.05 时, 室内外空气细菌和真菌分别采用撞击法和沉降法的 8 组浓度数据均服从正态分布, 并结合正态分布的 3σ 原则和现行评价标准, 给出了可用于空气细菌真菌分级评价的浓度建议区间, 研究成果可为将来制定空气细菌真菌污染的评价标准提供参考。

关键词: 微生物污染; 撞击法; 沉降法; 正态分布; 分级评价

中图分类号: X830.2 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)03-0795-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2016.03.002

Establishment of Assessment Method for Air Bacteria and Fungi Contamination

ZHANG Hua-ling, YAO Da-jun, ZHANG Yu, FANG Zi-liang
(College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: In this paper, in order to settle existing problems in the assessment of air bacteria and fungi contamination, the indoor and outdoor air bacteria and fungi filed concentrations by impact method and settlement method in existing documents were collected and analyzed, then the goodness of chi square was used to test whether these concentration data obeyed normal distribution at the significant level of $\alpha = 0.05$, and combined with the 3σ principle of normal distribution and the current assessment standards, the suggested concentrations ranges of air microbial concentrations were determined. The research results could provide a reference for developing air bacteria and fungi contamination assessment standards in the future.

Key words: bacteria and fungi contamination; impact method; sedimentation method; normal distribution; assessment method

本文通过查阅已有的空气细菌真菌污染现场检测研究文献, 并进行归纳整理与分析, 发现大多采用自然沉降法和撞击法采样方法对室内外空气细菌或真菌浓度进行测试, 部分也对菌种进行了鉴别^[1,2]。其中, 室外空气细菌真菌污染的评价标准主要采用文献[3~7]的“大气微生物评价建议标准”, 见表 1, 但该建议标准并未指明适用于哪种采样方法。室内空气细菌真菌污染评价的现行标准较多^[8~21], 见表 2, 但主要是针

对部分特殊场所, 一般是对细菌污染进行评价, 并未给出污染等级的分级评价指标。此外, 对比国内外室内细菌污染的评价指标, 其浓度差异也较大, 也缺乏对室内外空气真菌的分级评价指标。因此, 本文结合国内外现有的评价标准及已有报道的现场测试数据, 通过分析, 给出一种构建室内外空气细菌或真菌污染的分级评价建议浓度的方法, 以期将来建立空气细菌真菌评价标准提供参考。

表 1 室外空气细菌评价建议标准/cfu·m⁻³
Table 1 Proposed standard for outdoor atmospheric bacteria/cfu·m⁻³

污染等级	I (清洁)	II (较清洁)	III (轻微污染)	IV (污染)
浓度	<1 000	1 000 ~ 2 500	2 501 ~ 5 000	5 001 ~ 10 000
污染等级	V (中污染)	VI (严重污染)	VII (极严重污染)	
浓度	10 001 ~ 20 000	20 001 ~ 45 000	> 45 000	

1 文献数据整理

分析整理已有现场研究文献数据^[3~6,22~40], 得到撞击法和沉降法采样的室内外空气细菌和真菌浓度 8 组分类样本数据, 其浓度(cfu·m⁻³)分布见图 1~8。

计算得 8 组样本数据的均值和二阶中心距^[41]见表 3、表 4。

2 浓度分布的拟合优度检验

拟合优度 χ^2 检验法^[41,42]是一种判断样本数据 $X_1, X_2, X_3 \cdots X_n$ 是否满足某一分布 $F_0(x)$ 的方法,

收稿日期: 2015-09-22; 修订日期: 2015-10-21
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, 教授, 主要研究方向为建筑节能与人体热舒适, E-mail: hlzhang@cqu.edu.cn

表 2 室内空气细菌污染现行评价标准

Table 2 Current evaluation standard of indoor air microorganism pollution

规范名称	适用场所	浓度限值采样方法	规范名称	适用场所	浓度限值采样方法
《医院消毒卫生标准》 (GB 15982-2012)	母婴室,供应室,血液透析中心,普通及感染性疾病住院病区及门诊、检查、治疗室非洁净手术(室)洁净手术部和其他洁净场所	$\leq 4 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (沉降法,采样 5 min); $\leq 4 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (沉降法,采样 15 min); $\leq 150 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法); $\leq 4 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (沉降法,采样 30 min)	《文化娱乐场所卫生标准》(GB 9664-1996)	影剧院、音乐厅、录像厅(室)游艺厅、舞厅、酒吧、茶座、咖啡厅	$\leq 4000 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法); $\leq 40 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (沉降法,采样 5 min); $\leq 2500 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法); $\leq 30 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (沉降法,采样 5 min)
《室内空气质量标准》 (GB/T 18883-2002)	住宅和办公建筑,其它室内环境可参照执行	$\leq 2500 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法)	《旅店业卫生标准》(GB 9663-1996)	3~5 星饭店宾馆 1~2 星饭店宾馆	$\leq 1000 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ $\leq 2500 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法); $\leq 10 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (沉降法,采样 5 min)
《医院候诊室卫生标准》(GB 9671-1996)	区、县级及以上医院,包括挂号、取药等候室	$\leq 4000 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法) $\leq 40 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (沉降法,采样 5 min)	《室内空气中细菌总数卫生标准》(GB/T 17903-1997)	适用于室内空气检测和评价,其它室内场所可参照执行	$\leq 4000 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法); $\leq 45 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (沉降法,采样 5 min)
《体育馆卫生标准》 (GB 9668-1996)	体育馆室内	$\leq 4000 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法) $\leq 40 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (沉降法,采样 5 min)	《游泳场所卫生标准》(GB 9667-1996)	游泳馆室内	$\leq 4000 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法); $\leq 40 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (沉降法,采样 5 min)
《公共交通工具卫生标准》 (GB 9673-1996)	旅客列车车厢、轮船客舱、飞机客舱	$\leq 4000 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法); $\leq 40 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (沉降法,采样 5 min); $\leq 2500 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法); $\leq 30 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (沉降法,采样 5 min)	《公共交通等候室卫生标准》(GB 9672-1996)	候车室和候船室 候机室	$\leq 7000 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法); $\leq 75 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (沉降法,采样 5 min); $\leq 4000 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法); $\leq 40 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (沉降法,采样 5 min)
《理发店、美容店卫生标准》 (GB 9666-1996)	理发店、美容院(店)	$\leq 4000 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法); $\leq 40 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (沉降法,采样 5 min)	《饭馆(餐厅)卫生标准》(GB 16153-1996)	饭馆餐厅	$\leq 4000 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法); $\leq 40 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (沉降法,采样 5 min)
《商场(店)、书店卫生标准》 (GB 9670-1996)	商场(店)、书商场(店)、书店	$\leq 7000 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法); $\leq 75 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (沉降法,采样 5 min)	《图书馆、博物馆、美术馆、展览馆卫生标准》(GB 9669-1996)	图书馆、博物馆、美术馆、展览馆	$\leq 2500 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法); $\leq 30 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (沉降法,采样 5 min); $\leq 7000 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法); $\leq 75 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (沉降法,采样 5 min)
日本标准	普通室内	$\leq 30 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (最清洁) $\leq 75 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (清洁) $\leq 150 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (普通) $\leq 300 \text{ cfu} \cdot \text{皿}^{-1}$ (污染临界) (沉降法,采样 5 min)	WHO 推荐医院标准	普通病房	$200 \sim 500 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$
韩国标准	普通室内	$\leq 800 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法)	台湾《室内空气质量标准》	普通室内	$500 \sim 1000 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ (撞击法)

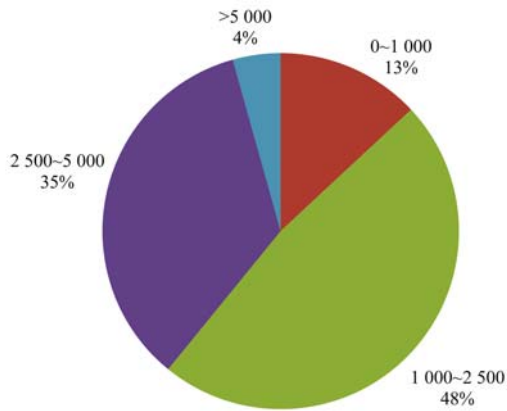
其统计假设为:

$H_0: F(x) = F_0(\chi), H_1: F(x) \neq F_0(x)$

基本思想是确定一个能刻画观测样本数据 $X_1, X_2, X_3 \cdots X_n$ 与理论分布 $F_0(\chi)$ 之间拟合程度的量,当这个量在某一置信区间时,说明样本总体服从该分布. 因此,对采用撞击法和沉降法室内外细菌及真菌浓度 8 组样本数据提出假设:

$H_0: F_k(x) = F_{k0}(\chi), H_1: F_k(x) \neq F_{k0}(x)$

设定拒绝域为: $\hat{\chi}_k^2 > \chi_{1-\alpha}^2(m_k - 1 - r_k)$,取显著性水平 $\alpha = 0.05$. 其中, m_k 为第 k 组样本所划分区间数, r_k 为 $F_{k0}(\chi)$ 的未知数个数, $k = 1, 2, 3 \cdots 8$, 分别表示室外细菌撞击法、室外细菌沉降法、室外真菌撞击法、室外真菌沉降法、室内细菌撞击法、室内细菌沉降法、室内真菌撞击法、室内真菌沉降法.



浓度单位：cfu·m⁻³，下同

图 1 室外空气细菌撞击法浓度百分比

Fig. 1 Outdoor bacteria concentration percentage of impact method

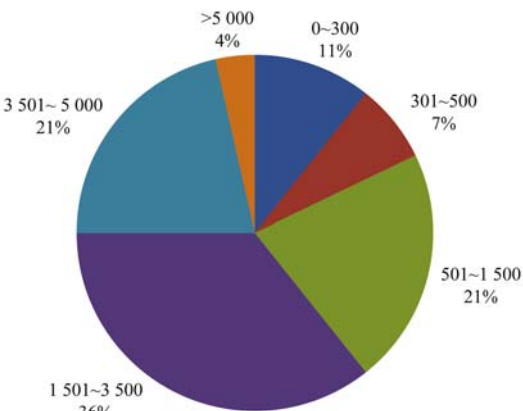


图 4 室外空气真菌沉降法浓度百分比

Fig. 4 Outdoor fungi concentration percentage of settlement method

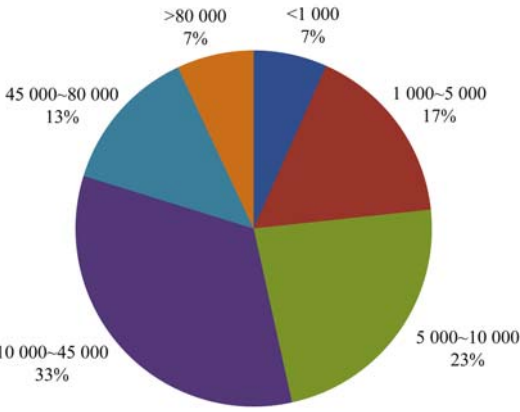


图 2 室外空气细菌沉降法浓度百分比

Fig. 2 Outdoor bacteria concentration percentage of settlement method

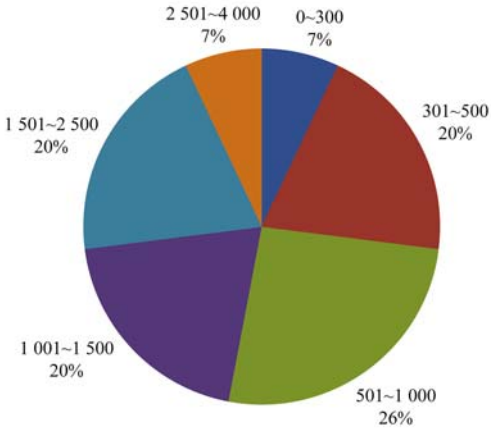


图 5 室内空气细菌撞击法浓度百分比

Fig. 5 Indoor bacteria concentration percentage of impact method

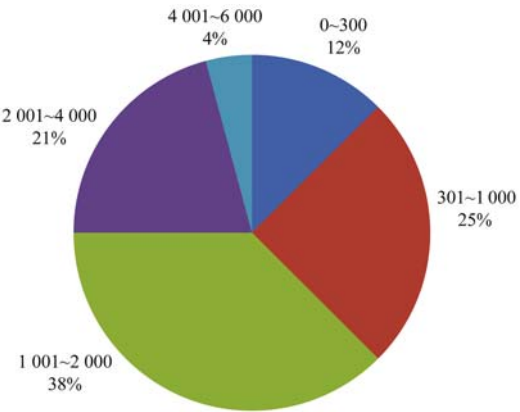


图 3 室外空气真菌撞击法浓度百分比

Fig. 3 Outdoor fungi concentration percentage of impact method

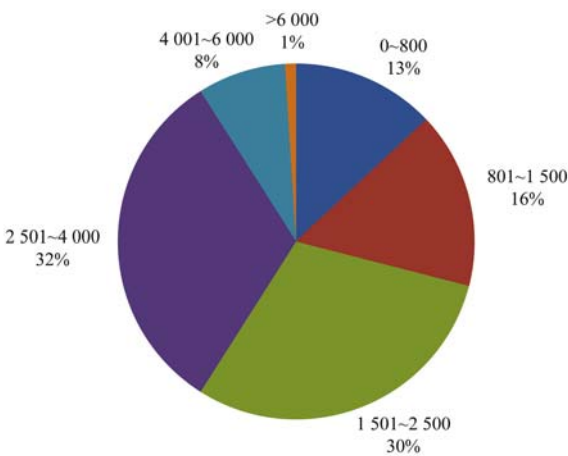


图 6 室内空气细菌沉降法浓度百分比

Fig. 6 Indoor bacteria concentration percentage of settlement method

$F_{k0}(\chi)$ 为某一正态分布的分布函数，每一个 $F_{k0}(\chi)$ 都存在两个未知数 μ_k 和 σ_k ，即对所有的 k 值有 $r_k = 2, \mu_k$ 和 σ_k 的最大似然估计为： $\hat{\mu}_k = \bar{X}_k$ ， $\hat{\sigma}_k =$

$\sqrt{M_{2k}^*}$ 。利用图 1 ~ 8 及表 3 ~ 4 中的 μ_k 和 σ_k 最大似然估计值 8 组样本数据的 $\hat{\chi}_k^2$ 值，见表 5。

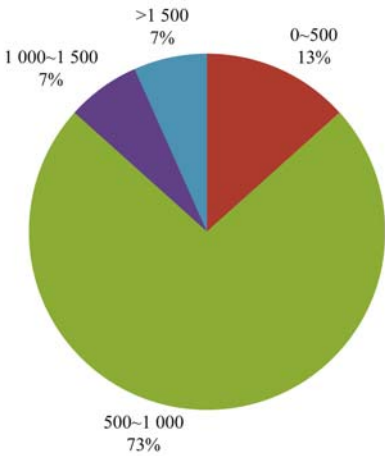


图 7 室内空气真菌撞击法浓度百分比
Fig. 7 Indoor fungi concentration percentage of impact method

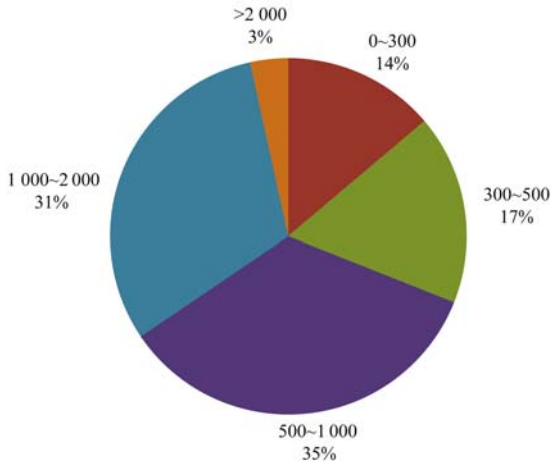


图 8 室内空气真菌沉降法浓度百分比
Fig. 8 Indoor fungi concentration percentage of settlement method

表 3 室外样本数据的均值及二阶中心矩

室外样本均值及中心距	室外细菌		室外真菌	
	撞击法	沉降法	撞击法	沉降法
样本均值($\bar{X}$)	2 067. 6	23 261. 5	1 437. 6	2 292. 4
样本二阶中心矩(M_2^*)	1 878 174. 9	680 680 678. 5	1 561 239. 0	3 507 695. 0
$\sqrt{M_2^*}$	1 370. 5	26 089. 9	1 249. 5	1 872. 9

表 4 室内样本数据的均值及二阶中心矩

室内样本均值及中心距	室内细菌		室内真菌	
	撞击法	沉降法	撞击法	沉降法
样本均值($\bar{X}$)	1 196. 8	2 357. 4	714. 5	841. 5
样本二阶中心矩(M_2^*)	840 114. 5	1 289 180. 3	102 368. 9	418 028. 6
$\sqrt{M_2^*}$	916. 6	1 135. 4	319. 9	635. 3

表 5 室内外 8 组样本数据的 $\hat{\chi}_k^2$ 值

室外样本	$\hat{\chi}_1^2$	$\hat{\chi}_2^2$	$\hat{\chi}_3^2$	$\hat{\chi}_4^2$
$\hat{\chi}_k^2$ 值	2. 937	6. 218	7. 215	9. 364
室内样本	$\hat{\chi}_5^2$	$\hat{\chi}_6^2$	$\hat{\chi}_7^2$	$\hat{\chi}_8^2$
$\hat{\chi}_k^2$ 值	7. 274	9. 356	5. 290	4. 963

$\chi_{1-\alpha}^2(m_k-1-r_k)$ 中 $\alpha=0.05$, $r_k=2$. 当 $k=2, 4, 5, 6$ 时, $m=7$, 即 $\chi_{1-\alpha}^2(m_k-1-r_k)=\chi_{0.95}^2(4)=9.49$. 当 $k=1, 7$ 时, $m=5$, 即 $\chi_{1-\alpha}^2(m_k-1-r_k)=\chi_{0.95}^2(2)=5.99$. 当 $k=3, 8$ 时, $m=6$, 即 $\chi_{1-\alpha}^2(m_k-1-r_k)=\chi_{0.95}^2(3)=7.81$. 因此, 8 组测试样本数据的 $\hat{\chi}_k^2$ 值均落在接受域内, 服从正态分布, 其正态分布密度函数如图 9~12.

由图 9~12 分析可知, 撞击采样法和沉降法得到的样本分布有较大差异, 撞击法得到样本的均值较沉降法得到的均值小, 且沉降法较撞击法得到的

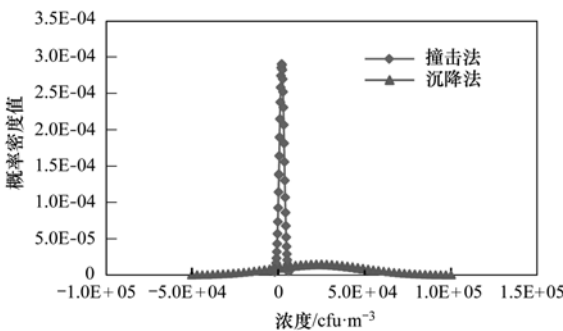


图 9 室外细菌浓度概率密度
Fig. 9 Probability density of outdoor bacteria

样本数据更分散, 室外细菌浓度分布尤其明显, 撞击法采样的室外细菌浓度主要分布在 $0 \sim 5\,000\text{ cfu}\cdot\text{m}^{-3}$, 沉降法采样的室外细菌浓度分布范围要大得多, 其均值已经超过 $20\,000\text{ cfu}\cdot\text{m}^{-3}$, 且集中在 $5\,000 \sim 50\,000\text{ cfu}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间, 因此表 1 的室外分级浓度只适用于沉降法^[43], 还需要建立采用撞击法的室外空气评价标准.

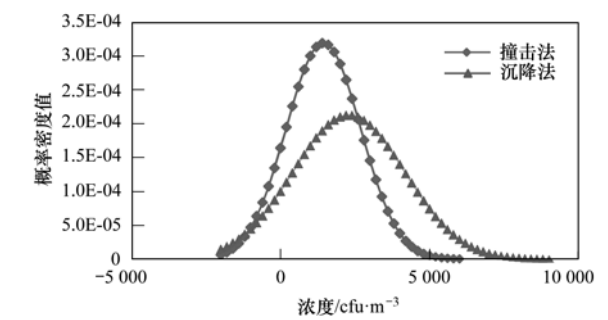


图 10 室外真菌浓度概率密度
Fig. 10 Probability density of outdoor fungi

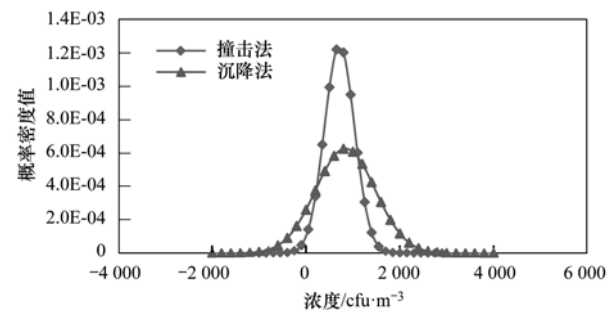


图 12 室内真菌浓度概率密度
Fig. 12 Probability density of indoor fungi

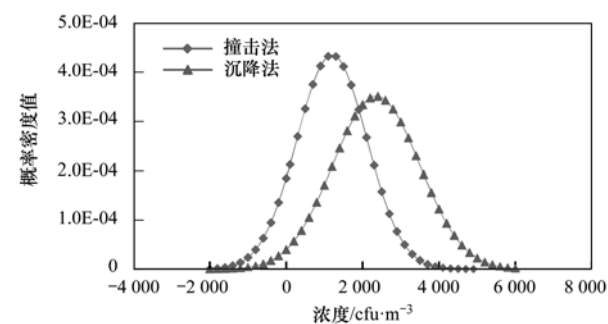


图 11 室内细菌浓度概率密度
Fig. 11 Probability density of indoor bacteria

3 空气细菌真菌分级评价方法

本文根据正态分布的 3σ 原则,得到空气细菌

真菌分级评价浓度区间,见表 6,结合图 9~12 四组数据的概率密度函数(舍去无实际物理意义的负值浓度),参考目前已有的评价标准阈值^[8~21,44~46],给出空气细菌真菌分级评价建议浓度区间,如表 7~8 所示。

表 6 原则的空气细菌真菌分级浓度划分
Table 6 Air microorganism concentration grading divided by the rule of 3σ

污染程度	污染等级	浓度范围	概率值
清洁	I	$0 \sim \mu - \sigma$	<0.158
较清洁	II	$\mu - \sigma \sim \mu$	0.342
轻污染	III	$\mu \sim \mu + \sigma$	0.342
污染	IV	$\mu + \sigma \sim \mu + 2\sigma$	0.135
严重污染	V	$> \mu + 2\sigma$	0.025

表 7 室外空气细菌真菌分级评价建议浓度区间/cfu·m⁻³
Table 7 Recommendation concentration range used in grading evaluation of outdoor air microorganisms/cfu·m⁻³

污染程度	清洁	较清洁	轻污染	污染	严重污染
撞击法细菌浓度	0~700	701~2 000	2 001~3 500	3 501~5 000	>5 000
沉降法细菌浓度	0~1 500	1 501~5 000	5 001~20 000	20 001~40 000	>40 000
撞击法真菌浓度	0~200	201~1 500	1 501~2 500	2 501~3 500	>3 500
沉降法真菌浓度	0~350	351~2 200	2 201~4 000	4 001~5 500	>5 500

表 8 室内空气细菌真菌分级评价建议浓度区间/cfu·m⁻³
Table 8 Recommendation concentration range used in grading evaluation of indoor air microorganisms/cfu·m⁻³

污染程度	清洁	较清洁	轻污染	污染	严重污染
撞击法细菌浓度	0~250	251~1 200	1 201~2 000	2 001~3 000	>3 000
沉降法细菌浓度	0~1 000	1 001~2 500	2 501~4 000	4 001~5 000	>5 000
撞击法真菌浓度	0~400	401~700	701~1 000	1 001~1 500	>1 500
沉降法真菌浓度	0~200	201~800	801~1 500	1 501~2 000	>2 000

4 结论

本文依据现有文献给出的空气细菌真菌测试浓度数据,通过整理与分析得到了撞击法和沉降法采样的室内外空气细菌和真菌浓度 8 组分类样本数据,沉降法得到的浓度数据均大于撞击法,其浓度分布存在明显差异,并应用拟合优度法检验在显著性

水平 α 为 0.05 的条件下服从正态分布,基于正态分布的 3σ 原则以及现有空气细菌真菌评价标准得到了室内外空气细菌真菌的分级评价建议浓度区间。

参考文献:
[1] 陈镔, 万东, 褚可成, 等. 空气微生物污染的监测及研究进展[J]. 中国环境监测, 2014, 30(4): 171-178.
[2] 赵莹莹, 徐姝颖, 刘登勇. 校园室内空气中微生物含量的调查分析[J]. 渤海大学学报(自然科学版), 2013, 34(1): 52-55.

- [3] 张雅婕, 魏建荣, 绳志强. 2012 年部分社区大气微生物指标污染现状分析[J]. 环境卫生学杂志, 2012, **4**(2): 132-134.
- [4] 傅本重, 赵洪波, 洪英娣, 等. 昆明部分地区秋季空气微生物污染监测与评价[J]. 环境与健康杂志, 2011, **28**(12): 1111-1112.
- [5] 冯友仁, 周德明. 长沙市不同功能区空气微生物污染与评价[J]. 城市环境与城市生态, 2008, **21**(6): 12-14.
- [6] 陈春华, 倪兆斌, 潘建听, 等. 嘉兴市不同区域空气微生物污染状况调查[J]. 嘉兴学院学报, 2006, **18**(6): 78-80.
- [7] 谢淑敏. 京津地区大气微生物本底研究[J]. 环境科学, 1986, **7**(5): 57-62, 44.
- [8] GB 15982-2012, 医院消毒卫生标准[S].
- [9] GB/T 18883-2002, 室内空气质量标准[S].
- [10] GB 9671-1996, 医院候诊室卫生标准[S].
- [11] GB 9668-1996, 体育馆卫生标准[S].
- [12] GB 9673-1996, 公共交通工具卫生标准[S].
- [13] GB 9666-1996, 理发店、美容店卫生标准[S].
- [14] GB 9670-1996, 商场(店)、书店卫生标准[S].
- [15] GB 9664-1996, 文化娱乐场所卫生标准[S].
- [16] GB 9663-1996, 旅店业卫生标准[S].
- [17] GB/T 17903-1997, 室内空气中细菌总数卫生标准[S].
- [18] GB 9667-1996, 游泳场所卫生标准[S].
- [19] GB 9672-1996, 公共交通等候室卫生标准[S].
- [20] GB 16153-1996, 饭馆(餐厅)卫生标准[S].
- [21] GB 9669-1996, 图书馆、博物馆、美术馆、展览馆卫生标准[S].
- [22] 方治国, 欧阳志云, 赵景柱, 等. 北京城市空气细菌群落结构与动态变化特征[J]. 微生物学报, 2006, **46**(4): 618-623.
- [23] 王春华, 谢小保, 曾海燕, 等. 深圳市空气微生物污染状况监测分析[J]. 微生物学杂志, 2008, **28**(4): 93-97.
- [24] 傅本重, 赵洪波, 永保聪, 等. 昆明市不同功能区夏季空气微生物污染监测[J]. 中国环境监测, 2012, **28**(3): 104-106.
- [25] 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.
- [26] 周慧晶, 郭振江. 近年葫芦岛市区空气微生物浓度变化特征分析[J]. 气象与环境学报, 2008, **24**(2): 68-72.
- [27] 王亚霞, 魏兰芬, 潘协商, 等. 撞击法与沉降法采样对洁净手术室空气细菌总数检测结果比较[J]. 中国消毒学杂志, 2014, **31**(3): 291-292.
- [28] 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.
- [29] Kim K Y, Kim C N. Airborne microbiological characteristics in public buildings of Korea[J]. Building and Environment, 2007, **42**(5): 2188-2196.
- [30] 陈怡平, 崔瑛, 曹军骥. 西安市秋季空气微生物群落结构和生态分布[J]. 环境与健康杂志, 2008, **25**(10): 885-887.
- [31] 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.
- [32] Tsai F C, Macher J M, Hung Y Y. Biodiversity and concentrations of airborne fungi in large US office buildings from the BASE study[J]. Atmospheric Environment, 2007, **41**(25): 5181-5191.
- [33] 方治国, 欧阳志云, 刘芑, 等. 北京市居家空气微生物污染特征[J]. 环境科学学报, 2013, **33**(4): 1166-1172.
- [34] 孙宗科, 康怀雄, 申志新, 等. 南方和北方城市住宅室内空气微生物调查[J]. 环境与健康杂志, 2011, **28**(2): 130-132.
- [35] 康琦, 吕锐. 某大学校园室内空气细菌含量检测及空气质量评价[J]. 青岛大学医学院学报, 2012, **48**(5): 449-450.
- [36] 董巍巍, 李琰. 校园室内细菌总数调查与分析[J]. 延边大学农学报, 2009, **31**(4): 284-286.
- [37] 潘立勇, 孙菱, 杨靖, 等. 城市人居环境空气微生物污染评价指标的比较分析与研究[A]. 见: 中国环境科学学会学术年会论文集(第一卷)[C]. 北京: 中国环境科学出版社, 2010. 450-455.
- [38] 胡利峰. 北京城市生态系统空气真菌群落结构与动态变化研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2005.
- [39] 谢小宝, 欧阳友生, 曾海燕, 等. 广州地铁站空气微生物污染状况研究[J]. 中国卫生检验杂志. 2008, **18**(9): 1883-1884, 1907.
- [40] 欧阳友生, 谢小宝, 陈仪本, 等. 广州市空气微生物含量及其变化规律研究[J]. 微生物学通报, 2006, **33**(3): 47-51.
- [41] 杨虎, 刘琼蓀, 钟波. 数理统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004. 70-77.
- [42] 薛定宇, 陈阳泉. 高等应用数学问题的 MATLAB 求解[M]. (第二版). 北京: 清华大学出版社, 2008. 336-339.
- [43] 方子梁. 病房室内空气微生物污染研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2015. 11-28.
- [44] Cabral J P S. Can we use indoor fungi as bioindicators of indoor air quality? Historical perspectives and open questions [J]. Science of the Total Environment, 2010, **408**(20): 4285-4295.
- [45] José A, Orosa, Armando C, *et al.* An indoor air perception method to detect fungi growth in flats[J]. Expert Systems with Applications, 2012, **39**(3): 3740-3746.
- [46] Haas D, Galler H, Luxner J, *et al.* The concentrations of culturable microorganisms in relation to particulate matter in urban air[J]. Atmospheric Environment, 2013, **65**: 215-222.

CONTENTS

Development and Performance Evaluation of a Supramicron Particle Generation System for Aerosol Instrument Calibration	CHEN Xiao-tong, JIANG Jing-kun, DENG Jian-guo, <i>et al.</i> (789)
Establishment of Assessment Method for Air Bacteria and Fungi Contamination	ZHANG Hua-ling, YAO Da-jun, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (795)
Chemical Characteristics and Sources of Atmospheric Carbonyls During the 2014 Beijing APEC	HE Xiao-lang, TAN Ji-hua, GUO Song-jun, <i>et al.</i> (801)
Different Air Pollution Situations of O ₃ and PM _{2.5} During Summer in Beijing	WANG Zhan-shan, ZHANG Da-wei, LI Yun-ting, <i>et al.</i> (807)
Aerosol Optical Properties in the Northern Suburb of Nanjing During Haze Days in January 2013	WANG Li-peng, MA Yan, ZHENG Jun, <i>et al.</i> (816)
A Numerical Study of Typical Heavy Air Pollution Episode of PM _{2.5} in Shanghai	CHANG Lu-yu, XU Jian-ming, ZHOU Guang-qiang, <i>et al.</i> (825)
Indoor Deposition Flux, Seasonal Variations and Human Exposure Levels of Polybrominated Diphenyl Ethers in Xiamen, China	HAN Wen-liang, LIU Yu, CHEN Hai-ming, <i>et al.</i> (834)
Nitric Oxide Removal with a Fe-TiO ₂ /PSF Hybrid Catalytic Membrane Bioreactor	LI Bao-ren, CHEN Zhou-yang, WANG Jian-bin, <i>et al.</i> (847)
Potential Bioavailability of Dissolved Organic Nitrogen in the Discharge Outlets of Sewage Treatment Plants Around the Jiaozhou Bay	KONG Xiu-jun, ZHANG Peng, YANG Nan-nan, <i>et al.</i> (854)
Inversion Model and Daily Variation of Total Phosphorus Concentrations in Taihu Lake Based on GOCI Data	DU Cheng-gong, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (862)
Temporal and Spatial Distribution of Environmental Factors and Phytoplankton During Algal Bloom Season in Pengxi River, Three Gorges Reservoir	ZHOU Chuan, YU Jian-jun, FU Li, <i>et al.</i> (873)
Three-dimensional Fluorescence Spectral Characteristics of Different Molecular Weight Fractionations of Dissolved Organic Matter in the Water-level Fluctuation Zones of Three Gorges Reservoir Areas	CHEN Xue-shuang, JIANG Tao, LU Song, <i>et al.</i> (884)
Distribution Characteristics and Source Apportionment of <i>n</i> -Alkanes in Water from Yellow River in Henan Section	FENG Jing-lan, XI Nan-nan, ZHANG Fei, <i>et al.</i> (893)
Distribution Characteristics and Source Identification of Organochlorine Pesticides in Surface Soil in Karst Underground River Basin	XIE Zheng-lan, SUN Yu-chuan, ZHANG Mei, <i>et al.</i> (900)
Effects of Long-term Different Tillage Methods on Mercury and Methylmercury Contents in Purple Paddy Soil and Overlying Water	WANG Xin-yue, TANG Zhen-ya, ZHANG Cheng, <i>et al.</i> (910)
Speciation and Risk Characteristics of Heavy Metals in the Sediments of the Yangtze Estuary	YIN Su, FENG Cheng-hong, LI Yang-yang, <i>et al.</i> (917)
Distribution and Pollution Assessment of Nutrient and Heavy Metals in Surface Sediments from Lake Gehu in Southern Jiangsu Province, China	XIONG Chun-hui, ZHANG Rui-lei, WU Xiao-dong, <i>et al.</i> (925)
Characteristics of Deposited Sediment and Assessment of Heavy Metals in Typical Tributaries Bay Riparian Zone of the Three Gorges Reservoir	WANG Yong-yan, WEN An-bang, SHI Zhong-lin, <i>et al.</i> (935)
Pollution Characteristics Analysis and Risk Assessment of Total Mercury and Methylmercury in Aquatic Products of the Haihe Stem River	TONG Yin-dong, ZHANG Wei, DENG Chun-yan, <i>et al.</i> (942)
Distribution and Content of Transferable Nitrogen in the Soil of Water Level Fluctuating Zones of Mainstream and Its Tributary of Three Gorges Reservoir Areas During the Dry Period	HE Li-ping, LIU Dan, YU Zhi-guo, <i>et al.</i> (950)
Effect of Soil and Dominant Plants on Mercury Speciation in Soil and Water System of Water-Level-Fluctuation Zone in the Three Gorges Area	LIANG Li, WANG Yong-min, ZHANG Cheng, <i>et al.</i> (955)
Runoff Pollution Experiments of Paddy Fields Under Different Irrigation Patterns	ZHOU Jing-wen, SU Bao-lin, HUANG Ning-bo, <i>et al.</i> (963)
Grain Size Distribution Characteristics of Suspended Particulate Matter as Influenced by the Apparent Pollution in the Eutrophic Urban Landscape Water Body	GONG Dan-yan, PAN Yang, HUANG Yong, <i>et al.</i> (970)
Effect of Intermittent Aeration on Nitrogen Removal Efficiency in Vertical Subsurface Flow Constructed Wetland	WANG Jian, LI Huai-zheng, ZHEN Bao-chong, <i>et al.</i> (980)
Effect of Non-dissolved Quinone on Perchlorate Reduction by Strain GWF	ZHANG Yuan-yuan, GUO Yan-kai, ZHANG Chao, <i>et al.</i> (988)
Effects of UV Radiation on the Physicochemical Properties and Coagulation Properties of Humic Acid Solution	WANG Wen-dong, ZHANG Ke, FAN Qing-hai, <i>et al.</i> (994)
Removal of Sulfate Ions from Aqueous Solution by Adsorption with Hydrotalcite-like Composite	GU Yi-bing, MA Yong-wen, WAN Jin-quan, <i>et al.</i> (1000)
Effects of Fulvic Acid on Adsorption and Form Distribution of Heavy Metals on Sediments	LI Yu-qing, HE Jiang, LÜ Chang-wei, <i>et al.</i> (1008)
Rapid Synthesis of Metal Organic Framework and Its Adsorption Properties on Anionic Dyes	SUN De-shuai, LIU Ya-li, ZHANG Xiao-dong, <i>et al.</i> (1016)
Adsorption Properties of Fluorine onto Fulvic Acid-Bentonite Complex	FANG Dun, TIAN Hua-jing, YE Xin, <i>et al.</i> (1023)
Influence of Three Low-Molecular-Weight Organic Acids on the Adsorption of Phenanthrene in Purple Soil	XIE Li, CHEN Ben-shou, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (1032)
Adsorptive Stabilization of Soil Cr(VI) Using HDTMA Modified Montmorillonite	JIANG Ting-ting, YU Kai, LUO Qi-shi, <i>et al.</i> (1039)
Effects of Hydrothermal Treatment Time on the Transformations of N, P, K and Heavy Metals in Sewage Sludge	WANG Xing-dong, LIN Jing-jiang, LI Zhi-wei, <i>et al.</i> (1048)
Inhibition of Denitrification by Total Phenol Load of Coal Gasification Wastewater	ZHANG Yu-ying, CHEN Xiu-rong, WANG Lu, <i>et al.</i> (1055)
Element Sulfur Autotrophic Denitrification Combined Anaerobic Ammonia Oxidation	ZHOU Jian, HUANG Yong, LIU Xin, <i>et al.</i> (1061)
Changes of Microbial Community Structure in Activated Sludge Bulking at Low Temperature	DUAN Zheng-hua, PAN Liu-ming, CHEN Xiao-ou, <i>et al.</i> (1070)
Synergetic Inhibitory Effect of Free Ammonia and Aeration Phase Length Control on the Activity of Nitrifying Bacteria	SUN Hong-wei, LÜ Xin-tao, WEI Xue-fen, <i>et al.</i> (1075)
Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification of the Hypothermia Aerobic Denitrification Bacterium: <i>Arthrobacter arilaitensis</i>	HE Teng-xia, NI Jiu-pai, LI Zhen-lun, <i>et al.</i> (1082)
Isolation, Identification and Nitrogen Removal Characteristics of a Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Strain y3 Isolated from Marine Environment	SUN Qing-hua, YU De-shuang, ZHANG Pei-yu, <i>et al.</i> (1089)
Estimation of Topsoil Carbon Sequestration Potential of Cropland Through Different Methods: A Case Study in Zhuanglang County, Gansu Province	SHI Chen-di, XU Ming-xiang, QIU Yu-jie (1098)
Priming Effects of Soil Moisture on Soil Respiration Under Different Tillage Practices	ZHANG Yan, LIANG Ai-zhen, ZHANG Xiao-ping, <i>et al.</i> (1106)
Effects of Green Manure Intercropping and Straw Mulching on Winter Rape Rhizosphere Soil Organic Carbon and Soil Respiration	ZHOU Quan, WANG Long-chang, XIONG Ying, <i>et al.</i> (1114)
Heidaigou Opencast Coal Mine: Soil Enzyme Activities and Soil Physical and Chemical Properties Under Different Vegetation Restoration	FANG Ying, MA Ren-tian, AN Shao-shan, <i>et al.</i> (1121)
C, N, P, K Stoichiometric Characteristic of Leaves, Root and Soil in Different Abandoned Years in Loess Plateau	ZHANG Hai-dong, RU Hai-li, JIAO Feng, <i>et al.</i> (1128)
Soil Heavy Metal Spatial Distribution and Source Analysis Around an Aluminum Plant in Baotou	ZHANG Lian-ke, LI Hai-peng, HUANG Xue-min, <i>et al.</i> (1139)
Mixture Leaching Remediation Technology of Arsenic Contaminated Soil	CHEN Xun-feng, LI Xiao-ming, CHEN Can, <i>et al.</i> (1147)
Performance of Electricity Generation and Feasibility of Discontinuous Power Supply of MFC by Using Pretreated Excess Sludge as Fuel	ZHAO Yan-hui, ZHAO Yang-guo, GUO Liang (1156)
Correlation of Persistent Free Radicals, PCDD/Fs and Metals in Waste Incineration Fly Ash	WANG Tian-jiao, CHEN Tong, ZHAN Ming-xiu, <i>et al.</i> (1163)
Effects of Eliminating Backward Production Capacities on Reduction of Dioxin Emissions in Key Industries	GENG Jing, LÜ Yong-long, REN Bing-nan, <i>et al.</i> (1171)

《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 刘 毅 汤鸿霄 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)

2016年3月15日 第37卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 3 Mar. 15, 2016

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