

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心
■ 出版 科学出版社



2020

Vol.41 No.5
第41卷 第5期

目次

上海大气 PM _{2.5} 来源解析对比: 基于在线数据运用 3 种受体模型	周敏 (1997)
不同浓度臭氧对单颗粒气溶胶化学组成的影响	吴梦曦, 成春雷, 黄渤, 李梅, 陈多宏 (2006)
二次有机气溶胶壳对氯化钠核吸湿性的影响: 基于单颗粒微观尺度	张淑佳, 徐亮, 郭新梅, 黄道, 李卫军 (2017)
城区与县区不同空气质量下碳组分污染特征对比分析	李欣悦, 张凯山, 邓林俐, 向铎鹏, 武文琪, 殷子渊 (2026)
临沂市 PM _{2.5} 和 PM ₁₀ 中元素分布特征及来源解析	陆平, 赵雪艳, 殷宝辉, 张楠, 王歆华, 余浩, 杨文, 王晓丽 (2036)
西安市秋冬季市区与山区微生物气溶胶组成特征及来源	谢雯文, 路瑞, 慕飞飞, 戚玉珍, 白文艳, 李彦鹏 (2044)
北京市典型餐饮企业大气污染物排放特征	何万清, 王天意, 邵霞, 聂磊, 石爱军 (2050)
基于随机森林模型的中国 PM _{2.5} 浓度影响因素分析	夏晓圣, 陈菁菁, 王佳佳, 程先富 (2057)
大气污染联合治理分区视角下的中国 PM _{2.5} 关联关系时空变异特征分析	杨文涛, 黄慧坤, 魏东升, 赵斌, 彭焕华 (2066)
基于地-空观测数据的粤港澳大湾区大气污染调查及时空演变特征	王耀庭, 梁加成, 郑祚芳, 李青春, 李威, 窦俊 (2075)
龙子祠泉域岩溶地下水水化学特征及成因	唐春雷, 郑秀清, 梁永平 (2087)
三峡水库总磷时空变化特征及滞留效应分析	唐小娅, 童思陈, 黄国鲜, 许光祥, 李丹 (2096)
三峡水库汛后蓄水期典型支流溶解氧与叶绿素 a 垂向分布特征	杨凡, 纪道斌, 王丽婧, 李虹, 李莹杰 (2107)
汉丰湖正式运行年水体营养盐分布特征	付适, 倪九派, 何丙辉, 李天阳, 唐毅, 钱田, 向可翠 (2116)
白洋淀水体富营养化和沉积物污染时空变化特征	刘鑫, 史斌, 孟晶, 周云桥, 可欣, 王铁宇 (2127)
新安江水库悬浮颗粒物时空分布、沉降通量及其营养盐效应	史鹏程, 朱广伟, 杨文斌, 许海, 朱梦圆, 刘明亮, 虞左明, 吴志旭, 郑文婷, 王裕成, 笄文怡, 胡林娜 (2137)
不同水文情景下高邮湖、南四湖和东平湖有色可溶性有机物的生物可利用性特征	张柳青, 石玉, 李元鹏, 郭燕妮, 周蕾, 周永强, 张运林, 杨艳 (2149)
水源水库藻类功能群落演替特征及水质评价	李衍庆, 黄廷林, 张海涵, 温成成, 杨尚业, 林子深, 高欣 (2158)
人工强制混合对金盆水库水体藻类群落结构时空演替的影响	王晨旭, 黄廷林, 李楠, 齐允之, 徐金兰, 司凡, 张晗, 路林超 (2166)
雄安新区-白洋淀冬季冰封期水体好氧反硝化菌群落空间分布特征及驱动因素	周石磊, 孙悦, 岳智丞, 张航, 王周强, 刘世崇, 彭瑞哲, 苑世超, 李再兴, 崔建升 (2177)
分层型水库水体好氧不产氧光合细菌时空演替特征	张海涵, 王燕, 黄廷林, 王晨旭, 路林超, 司凡, 李楠, 刘凯文, 闫苗苗, 苗雨甜 (2188)
大型通江湖泊有色可溶性有机物对不同水文情景的响应	郭燕妮, 李元鹏, 石玉, 张柳青, 周蕾, 周永强, 张运林, 韩龙飞 (2198)
秦岭北麓河流夏季有色溶解有机物分布特征及影响因素	林子深, 黄廷林, 杨尚业, 温成成, 李衍庆, 周石磊, 宋选社 (2210)
长江下游流水体中多环芳烃的分布及生态风险评估	贾天琪, 雷荣荣, 武小琳, 倪涛涛, 孙树睿, 郭伟, 刘文彬 (2221)
太湖水体中 NSAIDs 的时空分布规律和生态风险评价	廉杰, 李祎飞, 王晓喧, 叶彬, 邹华, 史红星 (2229)
8 种典型 PhACs 在水中的赋存、生态风险及其对大型溞的影响	徐鑫磊, 刘建超, 陆光华 (2239)
我国南方桉树人工林区水库沉积物污染物的分布特征及迁移规律	朱雅, 李一平, 罗凡, 李荣辉, 黄列, 程一鑫, 蒋裕丰 (2247)
基于连续监测的城市内河返黑返臭机制初探: 以南宁市二坑溪为例	李永新, 王威, 何妹, 申泰铭 (2257)
城郊流域源汇景观格局与水体抗生菌的关系	李敏, 唐剑峰, 陈利顶, 赵方凯, 冯青郁, 杨磊 (2264)
城市雨水径流中溶解性有机物的分子化学多样性	聂云汉, 陈浩, 李磊, 朱奔, 赵昕, 贾其隆, 徐慧婷, 叶建峰 (2272)
方解石/氯磷灰石混合物添加对水体内源磷迁移转化的调控效应和机制	柏晓云, 林建伟, 詹艳慧, 常明玥, 吴俊麟, 辛慧敏, 黄良君 (2281)
不同环境条件下铁矿物和针铁矿纳米颗粒稳定性	王智巧, 马杰, 陈雅丽, 翁莉萍, 顾亚陶, 李永涛 (2292)
向日葵秸秆生物炭强化 Fe(III)/S ₂ O ₈ ²⁻ 体系降解苯甲酸	孙鹏, 张凯凯, 张玉, 张延荣 (2301)
非活化单过硫酸盐降解柳氮磺胺吡啶: 动力学及机制	丁曦, 张学维, 周润生, 宋哲, 严佳颖, 周磊, 修光利 (2310)
贵州某规模化养猪场废水中抗生素的污染特征及去除效果	杨钊, 李江, 向福亮, 李彦澄, 马凯, 谢锋 (2320)
新型填料 A/O 生物滤池处理低碳氮比农村污水脱氮	赵远哲, 杨永哲, 王海燕, 储昭升, 常洋, 董伟羊, 闫国凯, 王欢, 李丛宇 (2329)
贫营养好氧反硝化菌株的脱氮特性及氮/碳平衡分析	文刚, 王彤, 黄廷林, 万琪琪, 曹瑞华, 寇莉青, 杨尚业 (2339)
连续流 SNAD 工艺处理猪场沼液启动过程中微生物种群演变及脱氮性能	秦嘉伟, 信欣, 鲁航, 张萍萍, 王露蓉, 邹长武, 郭俊元 (2349)
不同培养条件厌氧氨氧化颗粒污泥性质及微生物群落结构差异	姜澄, 郭萌蕾, 谢军祥, 常尧彬, 谢嘉玮, 陈重军, 沈耀良 (2358)
反硝化除磷耦合部分亚硝化-厌氧氨氧化一体式工艺的启动	陈亚, 印雯, 张星星, 张钰, 宋吟玲, 吴鹏, 徐乐中 (2367)
土壤环境承载力评价体系构建与应用	李笑诺, 丁寿康, 陈卫平, 王夏晖, 吕斯丹, 刘睿 (2373)
磁性生物炭的合成及对土壤重金属污染的钝化效果	王俊楠, 程珊珊, 展文豪, 任强, 马晓宇, 王洋洋 (2381)
还原增溶强化 EGTA 淋洗修复重金属污染土壤	张金永, 朱玉婷, 王明新, 韩堂, 葛嘉琦 (2390)
不同价态铬和土壤理化性质对大麦根系毒性阈值的影响	付平南, 贡晓飞, 罗丽韵, 王琪, 李花粉 (2398)
生物炭施用对紫色土旱坡地土壤氮流失形态及通量的影响	王舒, 王子芳, 龙翼, 严冬春, 慈恩, 徐国鑫, 李妍, 高明 (2406)
长期撂荒恢复土壤团聚体组成与有机碳分布关系	王兴, 钟泽坤, 张欣怡, 吴少君, 卢绪巧, 杨改河, 任成杰, 韩新辉 (2416)
施用生物炭对壤土土壤微生物代谢养分限制和碳利用效率的影响	王强, 耿增超, 许晨阳, 郭靖宇, 李倩倩, 刘莉丽, 赵汉红, 杜旭光 (2425)
间种高粱及施用大颗粒尿素对茶园 N ₂ O 排放的影响	张珂彬, 刘新亮, 康曼, 王毅, 沈健林, 李勇 (2434)
缙云山森林植被类型对土壤 N ₂ O 相关功能微生物的影响	王盛燕, 王富华, 罗东海, 吕盛, 王子芳, 高明 (2445)
咸水滴灌对棉田土壤 N ₂ O 排放和反硝化细菌群落结构的影响	郭慧楠, 马丽娟, 黄志杰, 李美琪, 侯振安, 阎伟 (2455)
有机质提升对酸性红壤氮循环功能基因及功能微生物的影响	储成, 吴赵越, 黄欠如, 韩成, 钟文辉 (2468)
模拟酸雨对毛竹阔叶林过渡带土壤真菌结构及其多样性的影响	王楠, 潘小承, 王传宽, 白尚斌 (2476)
海洋沉积物中细菌 DNA 和 RNA 水平群落差异	李明月, 杨雨虹, 米铁柱, 贺惠, 甄毓 (2485)
2003 ~ 2013 年中国湿地变化的空间格局与关联性	周婷, 马姣姣, 徐颂军 (2496)

西安市秋冬季市区与山区微生物气溶胶组成特征及来源

谢雯文¹, 路瑞¹, 慕飞飞¹, 戚玉珍¹, 白文艳¹, 李彦鹏^{1,2*}

(1. 长安大学环境科学与工程学院, 西安 710054; 2. 长安大学旱区水文与生态效应教育部重点实验室, 西安 710054)

摘要: 为探究城市市区与山区微生物气溶胶组成特征及来源, 在西安市市区(城区和郊区)及南郊山区设立3个采样点, 采集细颗粒物、土壤及叶片样本。通过高通量测序法, 解析不同采样点真菌与细菌群落结构, 考察其时空变化特征; 使用 Source Track 源解析技术对空气中微生物进行来源分析。结果表明, 不同采样点真菌、细菌菌属差异较大, 说明地理位置对空气中微生物的群落结构影响显著; 冬季市区检测出较多的潜在真菌致病菌和细菌致病菌, 且具有较高的相对丰度和多样性。通过源解析技术发现, 在局部源叶片和土壤中, 叶片表面微生物是空气中微生物的主要潜在源, 且秋季叶片对空气中微生物的贡献率高于冬季。本研究不仅为空气中生物气溶胶的溯源研究提供了一定基础, 也为深入了解大气中微生物污染特性和为我国空气质量评价与疾病预防提供一定的科学依据。

关键词: 真菌; 细菌; 群落结构; 来源分析; 生物气溶胶

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2020)05-2044-06 DOI: 10.13227/j.hj.kx.201911010

Characteristics and Sources of Microbial Aerosols in Urban and Mountainous Areas in Autumn and Winter in Xi'an, China

XIE Wen-wen¹, LU Rui¹, MU Fei-fei¹, QI Yu-zhen¹, BAI Wen-yan¹, LI Yan-peng^{1,2*}

(1. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecology in Arid Areas, Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: To explore the bioaerosol composition characteristics and sources in urban areas and mountains, three sample sites were selected in urban (urban, suburban) and southern mountainous areas in Xi'an, and air, soil, and leaf samples were simultaneously collected. The fungi and bacteria community structures at different sampling sites were analyzed through a high-throughput sequencing method, and their spatio-temporal variations were also examined. Moreover, a source track technique was used to identify the source of microorganisms in the air. The results showed that the fungi and bacteria at different sampling sites were significantly different, indicating that the geographical location has a significant influence on the community structure of microorganisms in the air. In winter, more potential fungal pathogens and bacterial pathogens were detected in urban areas with high relative abundance and diversity. In addition, the results showed that the main local source of fungi and bacteria was the leaf surface, of which the contribution rate of bacteria in the air fine particles was up to (55 ± 30)%. This study can provide a scientific basis for understanding the characteristics of microbial pollution in the atmosphere, and for air environment quality evaluation and disease prevention in China.

Key words: fungi; bacteria; community structure; Source Track; bioaerosol

生物气溶胶是大气气溶胶的重要组成部分之一, 通常是指空气动力学直径小于 100 μm 且携带微生物或来源于生物性物质的气溶胶, 主要包括细菌、真菌、病毒、花粉和动植物碎片等^[1], 空气中的微生物主要是附着在空气颗粒物上。大气细颗粒物(PM_{2.5})作为主要的空气污染物, 具有粒径小、比表面积大等特点^[2], 微生物易富集在其表面, 对环境质量产生严重影响。生物气溶胶中含有大量病原体^[3,4], 这些病原体通过人体的皮肤、呼吸道和消化道侵入, 致使过敏性疾病、呼吸道感染和慢性肺病等疾病发病率升高, 对人类健康存在严重的威胁^[5]。

由于生物气溶胶受人类活动和工农业生产等社会因素影响, 使得微生物浓度和群落结构存在明显的空间差异^[6-9]。Kim 等^[10]和夏晓敏等^[11]的研究表明, 繁华的交通干线、商业中心微生物浓度明显较高

且微生物群落较为丰富; Bowers 等^[12,13]的研究指出, 城市和乡村的微生物群落结构存在较大差异, 不同采样点之间大气颗粒物中细菌群落组成和相对丰度有所不同。综合前人研究可知, 不同地点的微生物群落特征有所不同。

自然界中的微生物, 通常是由动植物、土壤和天然水体等载体释放。Bowers 等^[12]通过监测空气样本和土壤微生物样本, 得出近地层空气中的细菌部分来源于土壤的结论。除此之外, Fan 等^[14]的研究表明, 空气中的潜在致病菌群落结构组成变化可以通过土壤和叶片等局部潜在源的改变解释。因此, 以土

收稿日期: 2019-11-02; 修订日期: 2019-12-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(51478045); 陕西省土地整理重点实验室基金项目(2018-ZD04); 广东省环境催化与健康风险控制重点实验室基金项目(GKECHRC-07)

作者简介: 谢雯文(1996~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为生物气溶胶及其环境效应, E-mail: 1498422327@qq.com

* 通信作者, E-mail: liyanp01@chd.edu.cn

壤和叶片为潜在源,研究其对空气中微生物的贡献率,有利于判断微生物来源和实施空气质量控制。

本文主要以秋冬季西安市不同区域生物气溶胶为研究对象,在郊区、城区和山区这3个不同的采样点进行PM_{2.5}空气颗粒物样本和微生物潜在来源(叶片和土壤)采集,通过高通量测序和Source Track源分析方法,对比3个不同采样点微生物群落结构多样性,分析潜在来源对微生物的贡献率,以期了解西安市空气微生物分布提供基本信息,并为区域疾病预防和空气质量改善等方面提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

本研究共设置3个采样点,分别位于西安市郊区、城区和南郊山区。郊区采样点位于长安大学渭水校区原位实验场(渭水, 34.37°N, 108.91°E),城区采样点位于长安大学雁塔校区某实验楼顶(雁塔, 34.22°N, 109.18°E, 距地面高度27 m),两个采样点远离主干道,周围主要是居民住宅和学校,人流量较大,绿化程度高,主要树木种类有广玉兰、香樟树和梧桐树等,可归为市区采样点;山区采样点位于南郊山区秦岭支脉-翠华山脚下(秦岭, 34.02°N, 109.01°E),该采样点远离主干道,山脉植被茂密,落叶植物居多,主要树木种类有白蜡树、银杏树、桦树等,且人流量小。3个采样点周围均无潜在工业污染源。采样时间为2018年10月23~29日、2019年1月13~18日,共计12 d。

本次采样使用ZR-3930型大气颗粒物采样器(青岛众瑞)进行,同时将3个采样点的PM_{2.5}样本采集到直径为47 mm的无菌聚碳酸酯膜上(英国Whatman)。采集的PM_{2.5}样品采用高通量测序法测定空气中真菌与细菌群落结构。同时,对采样点周围,半径约15 m区域内的叶片和土壤进行采集,采集的叶片距地高度约1.5~2.0 m,采集5~6棵不同树木,每棵树木5片叶片;采集土壤为无植物生长的地表土,选取8个采样点采集后混合。采样前,所有采样容器在121℃高压蒸汽灭菌锅(上海LDZX-40BI)中灭菌20 min。采样前后均需对过滤器进行消毒。本次采样获得PM_{2.5}空气、叶片和土壤样本各36份。

1.2 DNA提取、PCR扩增和Illumina测序

大气颗粒采样器的采样流量为16.7 L·min⁻¹,每次采样时间为1 h,得到滤膜空气样品。将得到的样品放入无菌样品管中,带回实验室,在-80℃冰箱内低温保存。将同一采样点采集的叶片样本放入

1 000 mL锥形瓶中,加入100 mL缓冲溶液洗脱表面微生物,得到洗脱液。将混合好的土壤和叶片表面微生物样品保存,提纯备用测序分析。在超净台将滤膜样本用无菌刀分为两份,分别用于真菌、细菌检测。每两天的样品编为一组进行DNA提取,进行微生物种属鉴定。使用OMEGA Soil DNA Kit试剂盒分别提取每组样本中的DNA。采用Nano Drop ND-2000(Nano Drop Technologies, Wilmington, DE)分光光度计测定基因组DNA浓度和纯度,提取DNA作为PCR扩增模板。将扩增后的产物进行纯化,符合测序要求后,送往测序公司进行高通量测序分析。

1.3 数据分析

使用SPSS 25.0进行*t*检验。当*P*值小于0.05时,表示在95%的置信区间内具有统计学上的显著差异。使用R(64 3.5.3)对数据进行统计分析和可视化,Source Track源分析技术进行微生物溯源解析^[15,16]。利用Origin 8.5统计画图。

2 结果与讨论

2.1 西安市城区与山区细颗粒物中微生物群落多样性变化

表1为不同采样点PM_{2.5}中真菌和细菌的群落多样性。从总体上看,秋季各采样点的真菌群落的丰富度和多样性显著高于冬季。从Chao1和ACE指数来看,秋季市区采样点的群落丰富度显著高于郊区采样点(*P*<0.05);冬季山区采样点的真菌群落丰富度略高于市区两个采样点(*P*<0.05)。同时,看出秋冬两季Shannon指数稳定在5~7之间,Simpson指数均大于0.9,说明3个采样点的真菌种类较多,且离散程度大。其中,市区采样点的Shannon指数和Simpson指数显著高于山区,说明相比于山区,市区的真菌群落丰富度较高,且离散性大。OTUs数显示,秋冬两季,门水平、属水平的真菌种类均是市区高于山区。

分析细菌群落多样性可以看出,总体上秋季各采样点的细菌群落的丰富度和多样性低于冬季各采样点。从Chao1和ACE指数来看,秋季郊区采样点最高,冬季城区采样点最高,说明秋冬两季市区采样点的细菌丰富度高于山区。冬季的Shannon指数达到7~8.5,Simpson指数达到0.97~0.99,表示冬季细菌种类多且离散度大。统计门水平和属水平下OTUs数,数据显示秋季郊区采样点最高,冬季市区采样点最高。与真菌相同,秋季郊区采样点的丰富度和多样性最大,冬季城区采样点的丰富度和多样性最大,说明秋冬两季市区的细菌群落丰富度和多样性高于山区。

表 1 西安市区与山区 PM_{2.5} 中真菌和细菌群落多样性

Table 1 Diversity of fungal and bacterial communities in PM_{2.5} in urban and mountainous areas of Xi'an

季节	采样点	丰度				OTUs(门)	
		Chao1 指数		ACE 指数		真菌	细菌
		真菌	细菌	真菌	细菌		
秋季	郊区	325.06 ± 87.52	756.15 ± 40.14	325.15 ± 83.79	761.23 ± 37.43	262.00 ± 65.09	717.00 ± 28.83
	城区	248.00 ± 37.70	729.59 ± 36.81	248.60 ± 37.42	737.82 ± 38.19	200.00 ± 48.28	689.00 ± 43.59
	山区	270.61 ± 37.30	736.72 ± 416.98	272.07 ± 38.67	747.73 ± 408.07	224.33 ± 37.23	691.00 ± 416.04
冬季	郊区	152.33 ± 28.23	1 160.66 ± 200.31	152.33 ± 18.23	1 228.56 ± 198.42	136.00 ± 7.55	1 024.33 ± 242.33
	城区	220.87 ± 134.33	1 462.26 ± 191.37	221.10 ± 133.59	1 519.41 ± 188.36	181.33 ± 105.77	1 368.33 ± 193.45
	山区	231.58 ± 72.47	1 280.17 ± 242.10	263.39 ± 119.40	1 308.90 ± 249.63	192.67 ± 55.41	1 207.00 ± 209.59

季节	采样点	多样性				OTUs(属)	
		Shannon 指数		Simpson 指数		真菌	细菌
		真菌	细菌	真菌	细菌		
秋季	郊区	6.24 ± 0.74	6.68 ± 0.09	0.96 ± 0.03	0.95 ± 0.01	179.33 ± 47.25	573.33 ± 27.68
	城区	6.48 ± 0.21	6.01 ± 0.64	0.97 ± 0.01	0.92 ± 0.03	125.33 ± 36.23	550.33 ± 47.06
	山区	6.51 ± 0.21	5.48 ± 2.45	0.97 ± 0.01	0.83 ± 0.19	156.33 ± 28.11	450.67 ± 154.72
冬季	郊区	5.13 ± 0.79	7.36 ± 0.71	0.93 ± 0.04	0.98 ± 0.01	103.33 ± 9.29	673.00 ± 118.87
	城区	5.87 ± 0.71	8.25 ± 0.50	0.96 ± 0.02	0.99 ± 0.01	121.67 ± 70.06	823.67 ± 80.88
	山区	5.37 ± 0.31	7.77 ± 0.44	0.96 ± 0.00	0.98 ± 0.01	119.00 ± 35.54	787.33 ± 122.58

2.2 西安市市区与山区颗粒物中微生物群落结构变化

2.2.1 颗粒物中真菌群落结构变化

图 1 为门水平下 3 个不同采样点微生物中真菌的群落结构组成. 从中可知门水平下, 3 个采样点真菌群落结构相似度较高, 但相对丰度存在差异, 主要由子囊菌门 (Ascomycota)、担子菌门 (Basidiomycota) 构成, 这与前人的研究高度相似^[14,17-19]. 其中, 子囊菌门 (Ascomycota) 相对丰度显著高于其他菌群 ($P < 0.05$), Du 等^[18] 在对北京市微生物群落结构的季节变化研究中, 同样观察到北京市细颗粒物中子囊菌门 (Ascomycota) 为主要菌门的现象.

为深入研究不同采样点真菌群落结构的变化, 本研究选取不同采样点相对丰度较大共有优势真菌做物种分布的热图, 结果如图 2 所示. 从中可以看出, 不同季节、不同采样点真菌的共有菌种相对丰度差异较大. 郊区采样点秋季的优势菌种为酵母菌属 (*Bullera*), 冬季的优势菌种为枝孢霉菌属 (*Cladosporium*)、曲霉属 (*Aspergillus*); 城区采样点秋季栓菌属 (*Trametes*) 相对丰度较高, 冬季集珠霉属 (*Syncephalis*) 相对丰度较高; 而山区采样点的优势菌种秋季是烟管霉属 (*Bjerkandera*), 冬季是嗜热子囊菌属 (*Thermoascus*). 其中, 曲霉属 (*Aspergillus*) 产生的毒素会导致过敏^[20], 枝孢霉菌属 (*Cladosporium*) 会引发肺部感染和哮喘^[21]. 这些结果说明, 冬季市区采样点潜在致病真菌相对丰度较大. 与前人的研究对比可以发现^[14,18], 在北京市和西安市的冬季细颗粒物中, 均检测出较高的曲霉属

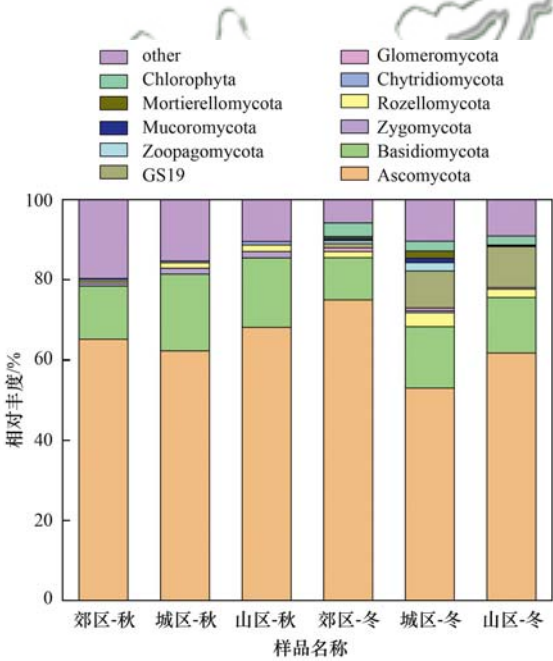


图 1 不同采样点真菌门水平分布

Fig. 1 Horizontal distribution of phylum fungi at different sampling sites

(*Aspergillus*)、枝孢霉菌属 (*Cladosporium*), 对人体健康存在潜在威胁. 此外, 还可以发现不同采样点的真菌优势菌种有所不同, 这与 Cao 等^[22] 的研究结果相同, 说明地理位置明显影响空气中真菌的群落结构.

2.2.2 颗粒物中细菌群落结构变化

图 3 为门水平下不同采样点微生物中细菌的群落结构组成. 从中可知门水平下, 不同采样点的细菌群落结构同样相似度较高, 相对丰度差异较大, 主要由变形菌门 (Proteobacteria)、厚壁菌门 (Firmicutes)、放线菌门 (Actinobacteria) 构成. 郊区采样点与城区采样点、山区采样点的相对丰度相差

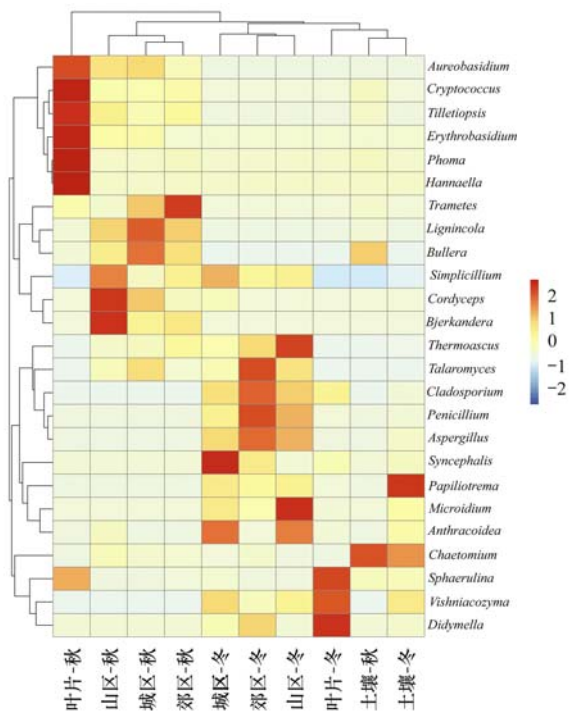


图2 不同采样点前25种真菌菌属热图

Fig. 2 Heatmap of the first 25 species of fungi at different sampling sites

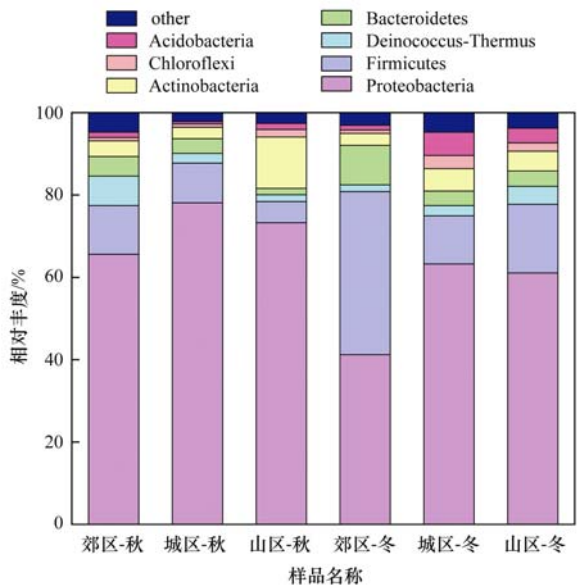


图3 不同采样点细菌门类水平分布

Fig. 3 Horizontal distribution of bacterial phyla at different sampling sites

较大,变形菌门(Proteobacteria)相对丰度最低($P < 0.05$),厚壁菌门(Firmicutes)相对丰度最高($P < 0.05$).根据前人研究可知^[23,24],青岛的优势菌门为变形菌门(Proteobacteria, 78.8%),济南的优势菌门为厚壁菌门(Firmicutes, 74.1%),北京的优势菌门为放线菌门(Actinobacteria, 62.3%),进一步证实不同区域门水平上细菌群落具有较高的相似性,但相对丰度不同.

图4为不同采样点优势细菌菌属的分布热图.从分析结果可以看出,不同季节、不同采样点之间的优势菌属的差异较大.秋季,郊区采样点主要有异常球菌属(*Deinococcus*),城区采样点主要有布丘氏菌属(*Buttiauxella*),山区采样点主要有水栖菌属(*Enhydrobacter*).冬季,郊区采样点的优势菌种变为乳杆菌属(*Lactobacillus*),城区采样点变为不动杆菌属(*Acinetobacter*),山区采样点是栖热菌属(*Thermus*),芽孢杆菌属(*Geobacillus*).其中,还在市区采样点检测到较高的假单胞菌属(*Pseudomonas*)、不动杆菌属(*Acinetobacter*)、马赛菌属(*Massilia*)等潜在致病菌,其易引发呼吸道感染、哮喘等疾病,会对人体健康产生不良影响^[17,25].市区人流量大,居民区垃圾产生量较大,温度适宜均会导致细菌致病菌相对丰度增加.类似于Bowers等^[13]的研究结果,不同采样点细菌结构的组成和相对丰度均有所差异.这进一步表明地理位置会影响空气中微生物群落结构.

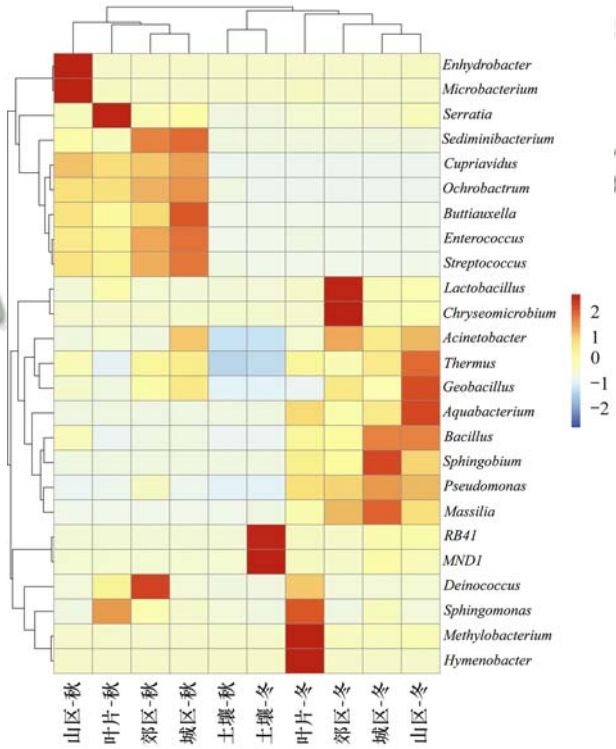


图4 不同采样点前25种细菌菌属热图

Fig. 4 Heatmap of the top 25 species of bacteria at different sampling sites

2.3 不同采样点微生物潜在来源分析

2.3.1 不同采样点真菌潜在来源分析

源解析可以揭示不同采样点空气中微生物的变化情况.本研究分析了采样点附近叶片表面和土壤中的微生物组成,以确定空中微生物的潜在来源.图5为通过Source Track源分析得到的不同采样点真菌局部来源贡献率.不同采样点叶片对空气中的真

菌的贡献率远高于土壤贡献率($P < 0.05$),说明相对于土壤,空气中的真菌更多来自于叶片.山区采样点叶片对空气中的真菌贡献度更高,这是由于空气中的真菌孢子大部分都由植物直接扩散,借助风力在大气中扩散,而山区植物种类多,覆盖率高,有利于真菌孢子释放^[26,27].冬季叶片的贡献率低于秋季($P < 0.05$),这可能由于冬季植物叶片减少和积雪覆盖.

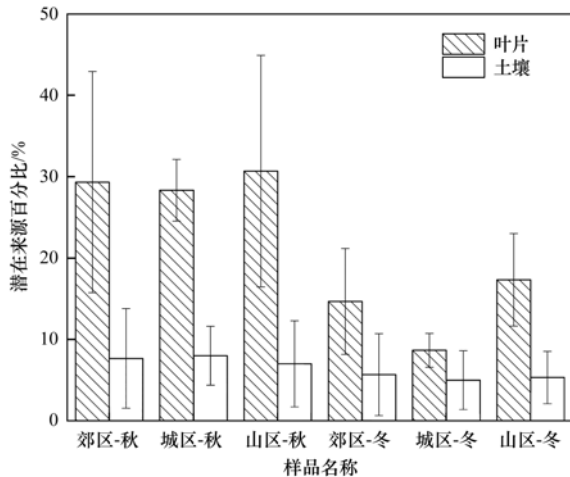


图5 不同采样点真菌潜在来源贡献度

Fig. 5 Contribution of potential fungal sources at different sampling sites

2.3.2 不同采样细菌潜在来源分析

空气中细菌群落与土壤、植被、水体和动物等各种当地来源有关^[28,29],局部来源的细菌会影响当地空气中的细菌群落结构^[30,31].本研究探究了空气样本和局部来源(叶片和土壤)的相关性.图6为不同采样点细菌潜在来源贡献度.根据 Source Track 源分析结果可知,叶片对空气中的细菌贡献率大于50%,说明叶片表面的细菌是空气样本中细菌的主要来源,这与大气颗粒物的沉降有关.在所有地点,叶片的细菌对空气中细菌群落的贡献在秋季略有增加.前人的研究表明,叶片表面是秋季条件致病菌的

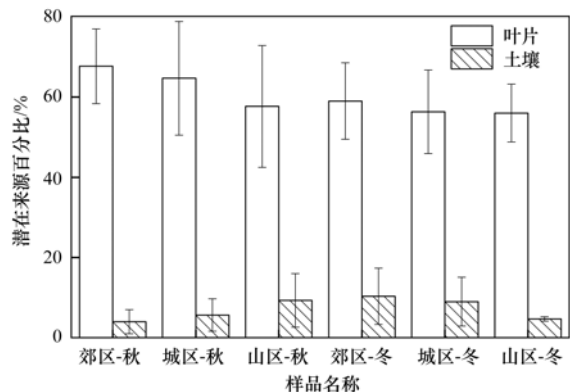


图6 不同采样点细菌潜在来源贡献度

Fig. 6 Contribution of potential bacterial sources at different sampling sites

主要来源^[13].值得注意的是,本研究未考虑树木种类对空气微生物贡献率的影响,这将在未来进一步研究.

3 结论

(1) 采样期间,市区空气中细菌的群落多样性与丰富度高于山区.

(2) 3个采样点相对丰度前25个共有真菌、细菌菌属差异较大,说明地理位置影响空气中微生物的群落结构.

(3) 本研究在市区样品中检测出较高的潜在致病菌,说明在人群密集的区域存在更多的潜在致病菌属.

(4) 来源分析显示,在局部源叶片和土壤中,叶片表面微生物是空气中微生物的主要潜在源,且秋季叶片对空气中微生物的贡献率高于冬季.

参考文献:

- [1] 祁建华, 高会旺. 生物气溶胶研究进展: 环境与气候效应[J]. 生态环境, 2006, 15(4): 854-861.
Qi J H. Environment and climate effect of bioaerosol: a review [J]. Ecology and Environment, 2006, 15(4): 854-861.
- [2] Pope III C A, Burnett R T, Thun M J, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution [J]. JAMA, 2002, 287(9): 1132-1141.
- [3] 甄泉, 方治国, 王雅晴, 等. 雾霾空气中细菌特征及对健康的潜在影响[J]. 生态学报, 2019, 39(6): 2244-2254.
Zhen Q, Fang Z G, Wang Y Q, et al. Bacterial characteristics in atmospheric haze and potential impacts on human health [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(6): 2244-2254.
- [4] 马嘉伟, 杨凯雄, 柴风光, 等. 生活垃圾填埋场细菌气溶胶粒径分布及种群特征[J]. 环境科学, 2019, 40(8): 3470-3476.
Ma J W, Yang K X, Chai F G, et al. Particle size distribution and population characteristics of airborne bacteria emitted from a sanitary landfill site [J]. Environmental Science, 2019, 40(8): 3470-3476.
- [5] Trout D B, Seltzer J M, Page E H, et al. Clinical use of immunoassays in assessing exposure to fungi and potential health effects related to fungal exposure [J]. Annals of Allergy, Asthma & Immunology, 2004, 92(5): 483-492.
- [6] Dong L J, Qi J H, Shao C C, et al. Concentration and size distribution of total airborne microbes in hazy and foggy weather [J]. Science of the Total Environment, 2015, 541: 1011-1018.
- [7] Xie Z S, Li Y P, Lu R, et al. Characteristics of total airborne microbes at various air quality levels [J]. Journal of Aerosol Science, 2018, 116: 57-65.
- [8] Li Y P, Lu R, Li W X, et al. Concentrations and size distributions of viable bioaerosols under various weather conditions in a typical semi-arid city of Northwest China [J]. Journal of Aerosol Science, 2017, 106: 83-92.
- [9] 孙强, 李杰, 赵炜, 等. 兰州某居民区大气微生物气溶胶分布特征研究[J]. 环境监测管理与技术, 2019, 31(4): 13-17.
Sun Q, Li J, Zhao W, et al. Study on distribution characteristics of atmospheric microbial aerosol in a residential area of Lanzhou

- [J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2019, **31**(4): 13-17.
- [10] Kim K Y, Kim C N. Airborne microbiological characteristics in public buildings of Korea[J]. Building and Environment, 2007, **42**(5): 2188-2196.
- [11] 夏晓敏, 汪建君, 陈立奇, 等. 厦门市 10 月份大气气溶胶中细菌群落结构的初步研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2010, **49**(5): 682-687.
- Xia X M, Wang J J, Chen L Q, *et al.* Preliminary study of airborne bacteria community structure of aerosols of Xiamen in October[J]. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2010, **49**(5): 682-687.
- [12] Bowers R M, Clements N, Emerson J B, *et al.* Seasonal variability in bacterial and fungal diversity of the near-surface atmosphere[J]. Environmental Science & Technology, 2013, **47**(21): 12097-12106.
- [13] Bowers R M, McLetchie S, Knight R, *et al.* Spatial variability in airborne bacterial communities across land-use types and their relationship to the bacterial communities of potential source environments[J]. The ISME Journal, 2011, **5**(4): 601-612.
- [14] Fan C L, Li Y P, Liu P X, *et al.* Characteristics of airborne opportunistic pathogenic bacteria during autumn and winter in Xi'an, China[J]. Science of the Total Environment, 2019, **672**: 834-845.
- [15] Knights D, Kuczynski J, Charlson E S, *et al.* Bayesian community-wide culture-independent microbial source tracking [J]. Nature Methods, 2011, **8**(9): 761-763.
- [16] Metcalf J L, Xu Z Z, Weiss S, *et al.* Microbial community assembly and metabolic function during mammalian corpse decomposition[J]. Science, 2016, **351**(6269): 158-162.
- [17] 苟欢歌, 谢纯斌, 童延斌, 等. 石河子市春季大气颗粒物 TSP 和 PM₁₀ 中微生物群落特征[J]. 环境工程学报, 2017, **11**(4): 2343-2349.
- Gou H G, Xie C B, Tong Y B, *et al.* Assessment of microbial communities in TSP and PM₁₀ of Shihezi during spring [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2017, **11**(4): 2343-2349.
- [18] Du P R, Du R, Ren W S, *et al.* Variations of bacteria and fungi in PM_{2.5}, in Beijing, China [J]. Atmospheric Environment, 2018, **172**: 55-64.
- [19] Xu C H, Wei M, Chen J M, *et al.* Fungi diversity in PM_{2.5} and PM₁ at the summit of Mt. Tai: abundance, size distribution, and seasonal variation [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2017, **17**(18): 11247-11260.
- [20] Nime F A, Hutchins G M. Oxalosis caused by *Aspergillus* infection[J]. The Johns Hopkins Medical Journal, 1973, **133**(4): 183-194.
- [21] Sandoval-Denis M, Gené J, Sutton D A, *et al.* New species of *Cladosporium* associated with human and animal infections [J]. Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi, 2016, **36**(1): 281-298.
- [22] Cao C, Jiang W J, Wang B Y, *et al.* Inhalable microorganisms in Beijing's PM_{2.5} and PM₁₀ pollutants during a severe smog event [J]. Environmental Science & Technology, 2014, **48**(3): 1499-1507.
- [23] 王琳, 宋志文, 徐爱玲, 等. 青岛市秋季空气微生物群落多样性[J]. 应用生态学报, 2015, **26**(4): 1121-1129.
- Wang L, Song Z W, Xu A L, *et al.* Phylogenetic diversity of airborne microbes in Qingdao downtown in autumn [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, **26**(4): 1121-1129.
- [24] 王步英, 郎继东, 张丽娜, 等. 基于 16S rRNA 基因测序法分析北京霾污染过程中 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 细菌群落特征[J]. 环境科学, 2015, **36**(8): 2727-2734.
- Wang B Y, Lang J D, Zhang L N, *et al.* Characterizing Beijing's airborne bacterial communities in PM_{2.5} and PM₁₀ samples during haze pollution episodes using 16S rRNA gene analysis method [J]. Environmental Science, 2015, **36**(8): 2727-2734.
- [25] 杨淑霞, 范晓华, 钟晓莉, 等. 不动杆菌属的研究进展[J]. 中国医学创新, 2010, **7**(28): 192-194.
- [26] Collins D P, Jacobsen B J. Optimizing a *Bacillus subtilis* isolate for biological control of sugar beet cercospora leaf spot [J]. Biological Control, 2003, **26**(2): 153-161.
- [27] Bovallius A, Bucht B, Roffey R, *et al.* Three-year investigation of the natural airborne bacterial flora at four localities in Sweden [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1978, **35**(5): 847-852.
- [28] Bowers R M, Sullivan A P, Costello E K, *et al.* Sources of bacteria in outdoor air across cities in the Midwestern United States [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2011, **77**(18): 6350-6356.
- [29] Brodie E L, DeSantis T Z, Parker J P M, *et al.* Urban aerosols harbor diverse and dynamic bacterial populations [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2007, **104**(1): 299-304.
- [30] Lu R, Fan C L, Liu P X, *et al.* Exposure characteristics of airborne bacteria during a haze pollution event at Qinling Mountain, China [J]. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2019, **25**(1-2): 438-454.
- [31] Iguchi A, Nagaya Y, Pradel E, *et al.* Genome evolution and plasticity of *Serratia marcescens*, an important multidrug-resistant nosocomial pathogen [J]. Genome Biology and Evolution, 2014, **6**(8): 2096-2110.

CONTENTS

Comparison of Three Receptor Models for Source Apportionment of PM _{2.5} in Shanghai: Using Hourly Resolved PM _{2.5} Chemical Composition Data	ZHOU Min (1997)
Impact of Differents in the Concentrations of Ozone on the Chemical Composition of Single Particles	WU Meng-xi, CHENG Chun-lei, HUANG Bo, <i>et al.</i> (2006)
Influence of Secondary Organic Coating on Hygroscopicity of a Sodium Chloride Core: Based on Micro-scale Single Particle Analysis	ZHANG Shu-jia, XU Liang, GUO Xin-mei, <i>et al.</i> (2017)
Comparative Analysis of Pollution Characteristics of Carbonaceous Aerosol Components in the Atmosphere Between Urban and Suburban Areas	LI Xin-yue, ZHANG Kai-shan, DENG Lin-li, <i>et al.</i> (2026)
Distribution Characteristics and Source Apportionment of Elements Bonded with PM _{2.5} and PM ₁₀ in Linyi	LU Ping, ZHAO Xue-yan, YIN Bao-hui, <i>et al.</i> (2036)
Characteristics and Sources of Microbial Aerosols in Urban and Mountainous Areas in Autumn and Winter in Xi'an, China	XIE Wen-wen, LU Rui, MU Fei-fei, <i>et al.</i> (2044)
Pollution Characteristics of Cooking Fumes, Particulates, and Non-methane Hydrocarbons in the Exhaust of Typical Beijing Restaurants	HE Wan-qing, WANG Tian-yi, SHAO Xia, <i>et al.</i> (2050)
PM _{2.5} Concentration Influencing Factors in China Based on the Random Forest Model	XIA Xiao-sheng, CHEN Jing-jing, WANG Jia-jia, <i>et al.</i> (2057)
Spatio-temporal Variation of PM _{2.5} Related Relationships in China from the Perspective of Air Pollution Regional Linkage Control and Prevention	YANG Wen-tao, HUANG Hui-kun, WEI Dong-sheng, <i>et al.</i> (2066)
Characteristics of Spatial and Temporal Evolution and Investigation of Air Pollution in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area Based on Ground-Space Observation Data	WANG Yao-ting, LIANG Jia-cheng, ZHENG Zuo-fang, <i>et al.</i> (2075)
Hydrochemical Characteristics and Formation Causes of Ground Karst Water Systems in the Longzici Spring Catchment	TANG Chun-lei, ZHENG Xiu-qing, LIANG Yong-ping (2087)
Tempo-spatial and Retention Analysis of Total Phosphorus in the Three Gorges Reservoir	TANG Xiao-ya, TONG Si-chen, HUANG Guo-xian, <i>et al.</i> (2096)
Vertical Distribution Characteristics of Dissolved Oxygen and Chlorophyll a in Typical Tributaries During the Impoundment Period of the Three Gorges Reservoir	YANG Fan, JI Dao-bin, WANG Li-jing, <i>et al.</i> (2107)
Spatial-temporal Distribution of Nutrients in Hanfeng Lake After Official Operation	FU Shi, NI Jiu-pai, HE Bing-hui, <i>et al.</i> (2116)
Spatio-temporal Variations in the Characteristics of Water Eutrophication and Sediment Pollution in Baiyangdian Lake	LIU Xin, SHI Bin, MENG Jing, <i>et al.</i> (2127)
Spatial-temporal Distribution of Suspended Solids and Its Sedimentation Flux and Nutrients Effects in Xin'anjiang Reservoir, China	SHI Peng-cheng, ZHU Guang-wei, YANG Wen-bin, <i>et al.</i> (2137)
Bioavailability Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter in Lake Gaoyou, Lake Nansi, and Lake Dongping Under Different Hydrological Scenarios	ZHANG Liu-qing, SHI Yu, LI Yuan-peng, <i>et al.</i> (2149)
Succession Characteristics of Algae Functional Groups and Water Quality Assessment in a Drinking Water Reservoir	LI Yan-qing, HUANG Ting-lin, ZHANG Hai-han, <i>et al.</i> (2158)
Effect of Artificial Mixing on Temporal and Spatial Succession of Algae Community Structure in Jinpen Reservoir	WANG Chen-xu, HUANG Ting-lin, LI Nan, <i>et al.</i> (2166)
Spatial Distribution Characteristics and Driving Factors of Aerobic Denitrification Bacterial Community Structure from Baiyangdian Lake in Xiong'an New Area During the Winter Freezing Period	ZHOU Shi-lei, SUN Yue, YUE Ge-cheng, <i>et al.</i> (2177)
Spatial and Temporal Succession Characteristics of Aerobic Anoxygenic Photosynthesis Bacteria in a Stratified Reservoir	ZHANG Hai-han, WANG Yan, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i> (2188)
Response of Chromophoric Dissolved Organic Matter Dynamics to Different Hydrological Scenarios in the Two Largest Freshwater Lakes Connected to the Yangtze River	GUO Yan-mi, LI Yuan-peng, SHI Yu, <i>et al.</i> (2198)
Distribution Characteristics and Influencing Factors of Chromophoric Dissolved Organic Matter in a Northern-Side River of the Qinling Mountains in Summer	LIN Zi-shen, HUANG Ting-lin, YANG Shang-ye, <i>et al.</i> (2210)
Distribution, Sources, and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Tributary Waters of the Lower Reaches of the Yangtze River, China	JIA Tian-qi, LEI Rong-rong, WU Xiao-lin, <i>et al.</i> (2221)
Temporal and Spatial Occurrence of NSAIDs in Taihu Lake and Relevant Risk Assessment	LIAN Jie, LI Yi-fei, WANG Xiao-xuan, <i>et al.</i> (2229)
Occurrence and Ecological Risk of Eight Typical PhACs in Surface Water and Its Impact on <i>Daphnia magna</i>	XU Xin-lei, LIU Jian-chao, LU Guang-hua (2239)
Distribution Characteristics and Migration Rules of Pollutants in Sediments of Reservoirs with <i>Eucalyptus</i> Plantation, Southern China	ZHU Ya, LI Yi-ping, LUO Fan, <i>et al.</i> (2247)
Mechanism of Urban Black Odorous Water Based on Continuous Monitoring: A Case Study of the Erkeng Stream in Nanning	LI Yong-xin, WANG Wei, HE Mei, <i>et al.</i> (2257)
Relationship Between Source-Sink Landscape Pattern and Antibiotics in Surface Water in Peri-urban Watershed	LI Min, TANG Jian-feng, CHEN Li-ding, <i>et al.</i> (2264)
Molecular Chemo-diversity of the Dissolved Organic Matter Occurring in Urban Stormwater Runoff	NIE Yun-han, CHEN Hao, LI Lei, <i>et al.</i> (2272)
Regulating Effect and Mechanism of Calcite/Chlorapatite Mixture Addition on Transformation and Transport of Phosphorus in Sediments	BAI Xiao-yun, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (2281)
Stability of Ferrihydrite and Goethite Nanoparticles Under Different Environmental Conditions	WANG Zhi-qiao, MA Jie, CHEN Ya-li, <i>et al.</i> (2292)
Sunflower-Staw-Derived Biochar-Enhanced Fe(III)/S ₂ O ₈ ²⁻ System for Degradation of Benzoic Acid	SUN Peng, ZHANG Kai-kai, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (2301)
Non-activated Peroxymonosulfate-Induced Degradation of Sulfasalazine: Kinetics and Mechanism Investigations	DING Xi, ZHANG Xue-wei, ZHOU Run-sheng, <i>et al.</i> (2310)
Pollution Characteristics and Removal Effects of Antibiotics in Wastewater from Large-Scale Pig Farms in Guizhou	YANG Zhao, LI Jiang, XIANG Fu-liang, <i>et al.</i> (2320)
Nitrogen Removal in Low-C/N Rural Sewage Treatment by Anoxic/Oxic Biofilter Packed with New Types of Fillers	ZHAO Yuan-zhe, YANG Yong-zhe, WANG Hai-yan, <i>et al.</i> (2329)
Nitrogen Removal Performance and Nitrogen/Carbon Balance of Oligotrophic Aerobic Denitrifiers	WEN Gang, WANG Tong, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i> (2339)
Bacterial Community Shifts and Nitrogen Removal Characteristics for a SNAD Process Treating Anaerobic Digester Liquor of Swine Wastewater (ADLSW) in a Continuous-Flow Biofilm Reactor (CFBR)	QIN Jia-wei, XIN Xin, LU Hang, <i>et al.</i> (2349)
Characteristics of ANAMMOX Granular Sludge and Differences in Microbial Community Structure Under Different Culture Conditions	JIANG Ying, GUO Meng-lei, XIE Jun-xiang, <i>et al.</i> (2358)
Start-up of an Integrated Process of Denitrifying Phosphorus Removal Coupled with Partial Nitrification and Anaerobic Ammonium Oxidation	CHEN Ya, YIN Wen, ZHANG Xing-xing, <i>et al.</i> (2367)
Construction and Application of an Evaluation System for Soil Environmental Carrying Capacity	LI Xiao-nuo, DING Shou-kang, CHEN Wei-ping, <i>et al.</i> (2373)
Synthesis of Magnetic Biochar and Its Application in the Remediation of Heavy-Metal-Contaminated Soils	WANG Jun-nan, CHENG Shan-shan, ZHAN Wen-hao, <i>et al.</i> (2381)
Remediation of Heavy-Metal-Contaminated Soil by EDTA Washing Enhanced with Reduction Solubilization	ZHANG Jin-yong, ZHU Yu-ting, WANG Ming-xin, <i>et al.</i> (2390)
Toxicity of Chromium to Root Growth of Barley as Affected by Chromium Speciation and Soil Properties	FU Ping-nan, GONG Xiao-fei, LUO Li-yun, <i>et al.</i> (2398)
Effect of Fertilizer Reduction and Biochar Application on Soil Nitrogen Loss in Purple Upland	WANG Shu, WANG Zi-fang, LONG Yi, <i>et al.</i> (2406)
Relationship Between the Composition of Soil Aggregates and the Distribution of Organic Carbon Under Long-Term Abandoned Restoration	WANG Xing, ZHONG Ze-kun, ZHANG Xin-yi, <i>et al.</i> (2416)
Effects of Biochar Application on Soil Microbial Nutrient Limitations and Carbon Use Efficiency in Lou Soil	WANG Qiang, GENG Zeng-chao, XU Chen-yang, <i>et al.</i> (2425)
N ₂ O Emissions from Tea Plantations with Sorghum Intercropping and Application of Big Urea Pills	ZHANG Ke-bin, LIU Xin-liang, KANG Man, <i>et al.</i> (2434)
Effects of Different Forest Vegetation Types on Soil Nitrogen-Related Microbial Communities and Functions in Jinyun Mountain	WANG Ying-yang, WANG Fu-hua, LUO Dong-hai, <i>et al.</i> (2445)
Nitrous Oxide Emission and Denitrifying Bacterial Communities as Affected by Drip Irrigation with Saline Water in Cotton Fields	GUO Hui-nan, MA Li-juan, HUANG Zhi-jie, <i>et al.</i> (2455)
Effect of Organic Matter Promotion on Nitrogen-Cycling Genes and Functional Microorganisms in Acidic Red Soils	CHU Cheng, WU Zhao-yue, HUANG Qian-ru, <i>et al.</i> (2468)
Effects of Simulated Acid Rain on Soil Fungi Diversity in the Transition Zone of Moso Bamboo and Broadleaf Forest	WANG Nan, PAN Xiao-cheng, WANG Chuan-kuan, <i>et al.</i> (2476)
Differences Between DNA- and RNA-Based Bacterial Communities in Marine Sediments	LI Ming-yue, YANG Yu-hong, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (2485)
Spatial Patterns and Spatial Autocorrelations of Wetland Changes in China During 2003-2013	ZHOU Ting, MA Jiao-jiao, XU Song-jun (2496)