

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第2期

Vol.36 No.2

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

霾与非霾期间汞在不同粒径颗粒物上的分布特征	朱琮宇,程金平,魏雨晴,薄丹丹,陈筱佳,江璇,王文华(373)
大气传输路径对上甸子本底站气溶胶光学特性的影响	蒲维维,石雪峰,马志强,赵秀娟,张小玲,徐晓峰(379)
近3年太原市夏季降水的化学特征研究	郭晓方,崔阳,王开扬,何秋生,王新明(388)
太原市PM _{2.5} 中有机碳和元素碳的污染特征	刘珊,彭林,温彦平,白慧玲,刘凤娴,史美鲜,李丽娟(396)
青海省西宁市和天峻县大气颗粒物中有机氯农药和类二噁英多氯联苯的水平与分布	李秋旭,何畅,马召辉,马丽花,扎西卓玛,王英,金军(402)
北京10个常绿树种颗粒物吸附能力研究	王兵,张维康,牛香,王晓燕(408)
人工湿地空气微生物群落碳源代谢特征	宋志文,王琳,徐爱玲,吴等等,夏岩(415)
春季融雪补给后巩乃斯河水物理化学性质空间分布特征研究	刘翔,郭玲鹏,张飞云,马杰,牟书勇,赵鑫,李兰海(421)
青藏高原湖泊小流域水体离子组成特征及来源分析	李鹤,李军,刘小龙,杨曦,张伟,王洁,牛颖权(430)
亚热带深水水库——龙滩水库季节性分层与富营养化特征分析	张垒,李秋华,黄国佳,欧腾,李钊,吴迪,周黔兰,高廷进(438)
长江河口水库沉积物磷形态、吸附和释放特性	金晓丹,吴昊,陈志明,宋红军,何义亮(448)
黄河口溶解无机碳时空分布特征及影响因素研究	郭兴森,吕迎春,孙志高,王传远,赵全升(457)
苕溪干流悬浮物和沉积物的磷形态分布及成因分析	陈海龙,袁旭音,王欢,李正阳,许海燕(464)
滇池表层沉积物氮污染特征及其潜在矿化能力	孟亚媛,王圣瑞,焦立新,刘文斌,肖焱波,祖维美,徐天敏,丁帅,周童(471)
城郊排水沟渠溶质传输的暂态存储影响及参数灵敏性	李如忠,钱靖,董玉红,唐文坤,杨继伟(481)
艾比湖表层沉积物重金属的来源、污染和潜在生态风险研究	张兆永,吉力力·阿不都外力,姜逢清(490)
工矿业绿洲城郊排污渠沉积物重金属的形态分布规律及风险评价	臧飞,王胜利,南忠仁,王兆炜,任业萌,王德鹏,廖琴,周婷(497)
山东省典型工业城市土壤重金属来源、空间分布及潜在生态风险评价	戴彬,吕建树,战金成,张祖陆,刘洋,周汝佳(507)
UV协同ClO ₂ 去除三氯生及其降解产物的研究	李玉瑛,何文龙,李青松,金伟伟,陈国元,李国新(516)
氯化铁絮凝-直接过滤工艺对地下水中As(V)的去除机制研究	康英,段晋明,景传勇(523)
负载纳米零价铁铜藻基活性炭的制备及其去除水中Cr(VI)的研究	曾淦宁,武晓,郑林,伍希,屠美玲,王铁杆,艾宁(530)
磁性石墨烯吸附水中Cr(VI)研究	刘伟,杨琦,李博,陈海,聂兰玉(537)
TiO ₂ @酵母复合微球固定床吸附荧光增白剂-VBL的研究	吴菲,张凯强,白波,王洪伦,索有瑞(545)
MnO ₂ /CFP复合电极的制备及电吸附Pb ²⁺ 特性的研究	刘方园,胡承志,李永峰,梁乾伟(552)
吸附相反应技术制备微弱光响应的多组分掺杂TiO ₂ 催化剂	王挺,祝轶琛,孙志轩,吴礼光(559)
掺铁TiO ₂ 纳米管阵列模拟太阳光光电催化降解双酚A的研究	项国梁,喻泽斌,陈颖,徐天佐,彭振波,刘钰鑫(568)
天然矿物负载Fe/Co催化H ₂ O ₂ 氧化降解阳离子红3R	马楠,刘华波,谢鑫源(576)
臭氧微气泡处理酸性大红3R废水特性研究	张静,杜亚威,刘晓静,周玉文,刘春,杨景亮,张磊(584)
碳源类型、温度及电子受体对生物除磷的影响	韩芸,许松,董涛,王斌帆,王显耀,彭党聪(590)
低温低溶解氧EBPR系统的启动、稳定运行及工艺失效问题研究	马娟,李璐,俞小军,魏雪芬,刘娟丽(597)
O池溶解氧水平对石化废水A/O工艺污染物去除效果和污泥微生物群落的影响	丁鹏元,初里冰,张楠,王星,王建龙(604)
改善污泥脱水性能的丝状真菌的分离及其促进污泥脱水的机制初探	周雨璐,付豪逸,范先锋,王振宇,郑冠宇(612)
热碱处理对污水处理厂污泥特性的影响研究	杨世东,陈霞,刘操,肖本益(619)
不同退化程度羊草草原碳收支对模拟氮沉降变化的响应	齐玉春,彭琴,董云社,肖胜生,贾军强,郭树芳,贺云龙,闫钟清,王丽芹(625)
地表臭氧浓度升高对旱作农田N ₂ O排放的影响	吴杨周,胡正华,李岑子,陈书涛,谢燕,肖启涛(636)
亚热带次生林不同土壤呼吸组分的多年观测研究	刘义凡,陈书涛,胡正华,沈小帅,张旭(644)
川中丘陵县域土壤氮素空间分布特征及其影响因素	罗由林,李启权,王昌全,李冰,张新,冯文颖,翁倩,吴冕(652)
黄土丘陵区土地利用变化对深层土壤活性碳组分的影响	张帅,许明祥,张亚锋,王超华,陈盖(661)
汶川地震灾区不同气候区土壤微生物群落碳源代谢多样性	张广帅,林勇明,马瑞丰,邓浩俊,杜锟,吴承祯,洪伟(669)
土壤电动修复的电极空间构型优化研究	刘芳,付融冰,徐珍(678)
有机氯农药污染场地挖掘过程中污染物的分布及健康风险	张石磊,薛南冬,杨兵,李发生,陈宣宇,刘博,孟磊(686)
水稻不同生育期根际及非根际土壤砷形态迁移转化规律	杨文骏,王英杰,周航,易开心,曾敏,彭佩钦,廖柏寒(694)
植物根系体外溶液提取方法研究:以多环芳烃为例	朱满党,都江雪,乐乐,李金凤,杨青青,陆守昆,占新华(700)
垂序商陆叶细胞壁结合锰机制研究	徐向华,刘翠英,李平,郎漫,赵小艳,杨建军,官敏(706)
1株筛自柴油污染土壤的铜绿假单胞菌对萘的降解特性研究	刘文超,吴彬彬,李晓森,卢滇楠,刘永民(712)
CdSe/ZnS量子点对斑马鱼胚胎发育的毒性效应	陈慕飞,黄承志,蒲德永,郑朝依,袁开米,金星星,张耀光,金丽(719)
锯齿新米虾对Cu ²⁺ 和毒死蜱毒性的生理响应	李典宝,张玮,王丽卿,张瑞雷,季高华(727)
同步衍生超声乳化微萃取气相色谱法测定环境水样中的苯胺类化合物	田立勋,戴之希,王国栋,翁焕新(736)
热水环境中Na ⁺ 活化斜发沸石吸附钙离子除硬过程研究	张硕,王栋,陈远超,张兴文,陈贵军(744)
区域经济-污染-环境三维评价模型的构建与应用	樊新刚,米文宝,马振宁(751)
《环境科学》征订启事(401)	
《环境科学》征稿简则(437)	
信息(489,522,726,735)	

人工湿地空气微生物群落碳源代谢特征

宋志文, 王琳, 徐爱玲, 吴等等, 夏岩

(青岛理工大学环境与市政工程学院, 青岛 266033)

摘要: 采用 BIOLOG-GN 微平板分析自由表面流人工湿地空气微生物群落碳源代谢特征, 阐明空气微生物群落代谢功能与环境因子相关性。结果表明, 不同季节人工湿地空气微生物 AWCD 值、优势群落及 McIntosh 指数均存在差异, 春季和夏季空气微生物碳源代谢强度明显高于秋季和冬季 ($P < 0.01$); 4 个季节人工湿地空气微生物优势群落依次为羧酸类代谢群落、糖类代谢群落、聚合物类代谢群落和羧酸类代谢群落, 夏季空气微生物对 6 类化合物的利用水平高于其他季节 ($P < 0.05$)。主成分分析显示, 秋季和冬季空气微生物碳源代谢特征相似, 但与春季和夏季差别较大, 胺类是区分人工湿地夏季与春季、秋季和冬季的主要碳源类型, 羧酸类是区分春季与秋季和冬季空气微生物代谢差异的主要碳源类型。不同季节人工湿地空气微生物群落结构主导影响因素存在差异。

关键词: 人工湿地; 空气微生物群落; 碳源; 代谢特征; BIOLOG 方法

中图分类号: X172; X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)02-0415-06 DOI: 10.13227/j.hjkk.2015.02.007

Carbon Sources Metabolic Characteristics of Airborne Microbial Communities in Constructed Wetlands

SONG Zhi-wen, WANG Lin, XU Ai-ling, WU Deng-deng, XIA Yan

(Institute of Environment and Municipal Engineering, Qingdao Technological University, Qingdao 266033, China)

Abstract: Using BIOLOG-GN plates, this article describes the carbon sources metabolic characteristics of airborne microbial communities in a free surface-flow constructed wetland in different seasons and clarify the correlation between airborne microbial metabolic functions and environmental factors. The average well color development (AWCD), carbon metabolic profiles and McIntosh values of airborne microbial communities in different seasons were quite different. Analysis of the variations showed that AWCD in spring and summer differed significantly from that in autumn and winter ($P < 0.01$). In the same season, the degree of utilization of different types of carbon by airborne microbes was different. Summer had a significant difference from other seasons ($P < 0.05$). Dominant communities of airborne microbes in four seasons were carboxylic acids metabolic community, carbohydrates metabolic community, polymers metabolic community and carboxylic acids metabolic community respectively. Principal component analysis showed that the carbon metabolic characteristics of airborne microbial community in autumn were similar to those in winter but different from those in spring and summer. The characteristics of carbon metabolism revealed differences between summer and spring, autumn, or winter. These differences were mainly caused by amines or amides while the differences between spring and autumn or winter were mainly caused by carboxylic acids. Environmental factors, including changes in wind speed, temperature, and humidity acted to influence the carbon sources metabolic properties of airborne microbial community. The dominant environmental factors that acted to influence the carbon sources metabolic properties of airborne microbial community varied between different seasons.

Key words: constructed wetland; airborne microbial community; carbon sources; metabolic characteristics; BIOLOG method

空气微生物不仅具有极其重要的生态功能, 还与空气环境质量、空气污染和人体健康密切相关^[1]。生活污水在处理过程中由于污水流动、溢流跌落、搅拌或曝气可增加周边环境空气微生物浓度, 进而影响污水处理厂工作人员及周边人群健康^[2-4]。流行病学研究显示, 污水处理环境会对长期工作生活人群产生一系列健康效应, 特别是会导致污水工作者综合症 (sewage worker's syndrome)^[5,6]。

人工湿地利用基质、植物、微生物的物理、化学和生物三重协同作用净化污水, 在污水处理、污染物控制和改善环境等方面应用广泛^[7,8]。与传统

污水处理工艺相比, 人工湿地空气微生物对环境空气质量 and 人群健康的影响更应该引起足够重视^[9]。主要表现在: ①随着城市化进程加快, 人工湿地距离商业居住区越来越近, 随之带来的环境卫生安全问题也应引起关注。②与传统污水处理工艺的严格封闭式管理不同, 人工湿地是相对开放的生态系统, 部分人工湿地还作为旅游景点。③人工湿地污水和基质中存在一定数量的病原微生物^[10,11], 使得在特殊情况下, 人工湿地有可能成为周围环境病原微生物

收稿日期: 2014-06-01; 修订日期: 2014-09-08

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31170509)

作者简介: 宋志文 (1966 ~), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为环境微生物学, E-mail: songzhiwen@qtech.edu.cn

的源,并以微生物气溶胶形式传播^[12]. ④人工湿地内恒温动物和鸟类也可能成为病原微生物的源,并且存在季节性变化,有较大的不确定性. ⑤人工湿地植物叶片可以成为真菌孢子栖息和繁殖场所,使得人工湿地既是真菌孢子的汇也是周边环境的源^[13].

目前,已有部分学者采用传统培养方法对人工湿地空气微生物进行研究^[14,15],由于“可培养类”微生物仅占微生物总数的不到1%^[16,17],并且还有部分处于活的不可培养状态(viable but nonculturable, VBNC),同时培养结果受培养基组分影响较大,导致测得的数据与实际情况有较大偏差. Biolog 方法是利用微生物对碳源的利用程度来反映微生物生理活动的轮廓(community level physiological profiles, CLPPs)以及描述微生物群落功能多样性的分析方法^[18]. 该方法能够弥补传统方法的不足,较全面地表征微生物群落结构、总体代谢活性与功能信息,已在微生物鉴定、环境微生物群落比较、污染物对微生物群落影响评价以及环境修复效果评价等方面得到广泛应用^[19~22]. 本研究采用 BIOLOG 方法,分析人工湿地空气微生物群落碳源代谢特征以及代谢功能与环境因子的相关性,对于阐明人工湿地对环境空气质量和人群健康的影响具有重要意义.

1 材料与方法

1.1 研究地点概况

人工湿地位于青岛市黄岛区,属自由表面流人工湿地,其东面和南面临黄海,西面为倒置 A²O 二级污水处理工艺区,北面为住宅区. 人工湿地由 99 个并联运行湿地单元组成,每个单元大小为 140 m × 32 m,总占地面积 76.7 hm²,处理规模 3 × 10⁴ m³ · d⁻¹,污水来源为生活污水和工业废水(约 1:1). 湿地植物主要为芦苇,每年 11 月进入芦苇收割期,停止进水,次年 3 月开始进水.

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集

采用 SAS ISO 100 空气微生物采样器分别于 2013-01-05、2013-05-01、2013-08-10 和 2013-11-15 采集人工湿地空气微生物样品,空气流量 100 L · min⁻¹,采样时间 30 min,采样高度距地面 1.5 m. 每次采样设定两个采样点,相距约 10 m,采样点在人工湿地中的具体位置见文献[14]. 采样期间同时利用 TASI-620 数字式温、湿度计测定采样环境温度 and 湿度,利用 TASI-641 风速仪测定风速. 表 1 为

采样期间环境因子情况.

表 1 采样期间环境因子情况

Table 1 Environmental factors during sampling period				
季节	风向	风速/m · s ⁻¹	温度/℃	湿度/%
春季	东南	1.61	15.0	62.4
夏季	东南	1.09	33.8	60.5
秋季	东南	0.92	13.5	51.7
冬季	西北	2.45	-2.5	37.7

1.2.2 测定方法

采样后取下凝胶膜,加到 100 mL 灭菌生理盐水中,摇床振荡 10 min,待凝胶膜溶解后作为接种液接种至 BIOLOG-GN 板中,每孔接种量为 125 μL,将 BIOLOG-GN 板置于 25℃ 恒温培养箱中培养,每隔 24 h 于 BIOLOG 读数器上读取数据,波长 590 nm,整个培养过程共持续 10 d.

1.2.3 计算方法

平均光密度值(average well color development, AWCD)计算方法^[23]:

$$AWCD = \sum (C - R)/n$$

式中,C 为反应孔光密度值,R 为对照孔光密度值,n 为底物数量,BIOLOG-GN 板为 95;选用 72h 光密度值计算人工湿地不同季节空气微生物 Shannon 指数(H'),McIntosh 指数(U)和 Simpson 指数(D),计算方法见文献[24];利用 SPSS 17.0 软件进行主成分分析(PCA)和方差分析,利用 CANOCA 软件进行典范对应分析(CCA)^[25].

2 结果与分析

2.1 人工湿地空气微生物碳源代谢强度变化

平均光密度值(AWCD)反映了空气微生物利用单一碳源的能力,是空气微生物活性及群落功能多样性的重要指标,能够从代谢水平上揭示空气微生物群落功能多样性. 人工湿地不同季节 AWCD 值均随培养时间延长而增大,其中,夏季 AWCD 值 24 h 进入指数增长期,72 h 后达到稳定期,其后数值维持在 1.2 左右;春季 AWCD 值 48 h 内变化很小,之后进入对数增长期,192 h 后达到稳定期,数值与夏季基本相同;秋季和冬季 AWCD 值明显低于春季和夏季,并且随培养时间延长上升缓慢,稳定时 AWCD 值分别为 0.172 和 0.063(图 1). 方差分析表明,人工湿地春季和夏季空气微生物碳源代谢强度与秋季和冬季存在显著性差异(P < 0.01).

2.2 人工湿地空气微生物对不同碳源的利用水平

BIOLOG-GN 板中 95 种碳源可根据碳源官能团

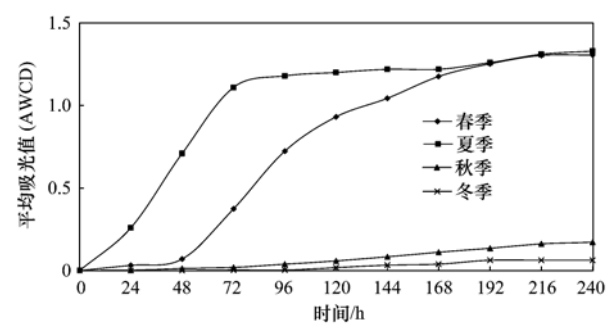


图1 人工湿地不同季节空气微生物 AWCD 变化

Fig. 1 AWCD changes of airborne microbes in different seasons of constructed wetlands

划分为 6 类,其中糖类(carbohydrates)30 种、羧酸类(carboxylic acids)24 种、氨基酸类(amino acids)20 种、胺/氨类(amines/amides)6 种、聚合物类(polymers)5 种、其他(miscellaneous)10 种. 从图 2 可以看出,人工湿地不同季节空气微生物对碳源利用水平不同,夏季空气微生物对 6 类碳源的利用水平明显高于其他季节($P < 0.05$),春季次之,而秋季和冬季均较低. 同一季节对不同碳源的利用也存在差异,夏季对糖类代谢水平最高,平均吸光值为 1.614,对胺/氨类代谢水平最低,平均吸光值 0.494;春季对羧酸类碳源代谢水平最高,平均吸光值 0.522,对聚合物类碳源代谢水平最低,平均吸光

值 0.076;秋、冬季对各类碳源代谢水平均较低,代谢水平最高的碳源分别为聚合物、羧酸类(图 2).

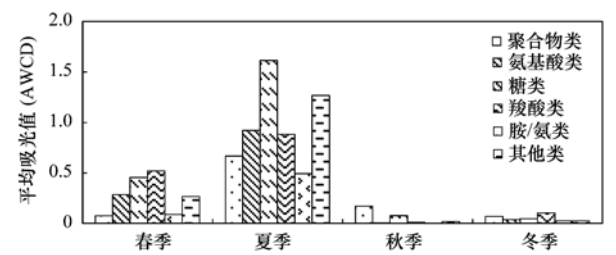


图2 人工湿地不同季节空气微生物群落对碳源利用情况

Fig. 2 Relative utilization ratios of carbon sources in BIOLOG plate by airborne microbes in different seasons of constructed wetlands

2.3 人工湿地空气微生物群落多样性分析

群落多样性指数可用来表征空气微生物利用碳源的程 度,采用 Shannon 指数、Simpson 指数和 McIntosh 指数分析人工湿地不同季节空气微生物群落多样性,其中,Shannon 指数反映了微生物群落物种数及种间个体分配的均匀性;Simpson 指数反映了群落中最常见的物种,是评估微生物群落优势度的指标;McIntosh 指数则是度量群落物种均一度的指标. 可以看出,不同季节 Simpson 指数基本相同,Shannon 指数冬季略高(4.32),春季(4.02)和夏季(3.97)基本相同,秋季较低(2.77),McIntosh 指数随季节变化较大,夏季明显高于其他季节(表 2).

表 2 人工湿地不同季节空气微生物群落多样性指数

Table 2 Diversity index of airborne microbial community in different seasons of constructed wetlands

多样性指数	春季	夏季	秋季	冬季
Shannon 指数(H')	4.02 ± 0.037 2	3.97 ± 0.038 9	2.77 ± 0.063 2	4.32 ± 0.025 0
McIntosh 指数(U)	0.80 ± 0.022 2	9.56 ± 1.421 6	1.19 ± 0.060 3	0.69 ± 0.006 2
Simpson 指数(D)	0.93 ± 0.000 9	0.98 ± 0.000 3	0.92 ± 0.003 5	0.98 ± 0.000 2

2.4 人工湿地空气微生物群落代谢功能主成分分析(PCA)

利用主成分分析法对人工湿地不同季节空气微生物群落代谢功能进行分析,共提取 2 个主成分,其中,主成分 1(PC1)方差贡献率 72.5%,主成分 2(PC2)方差贡献率 23.1%,累计方差贡献率 95.6%,可以表征不同季节空气微生物群落代谢能力. 主成分分析中的因子荷载可反映不同季节空气微生物碳源代谢差异,绝对值越大表明该基质的影响越大. 分析发现,在 PC1 上载荷大于 0.9 的基质有 53 种,主要是糖类和胺类;在 PC2 上载荷大于 0.9 的基质有 7 种,主要是氨基酸和羧酸类(图 3),因此,不同季节人工湿地空气微生物群落代谢功能差异主要体现在主成分 1 的高荷载基质上.

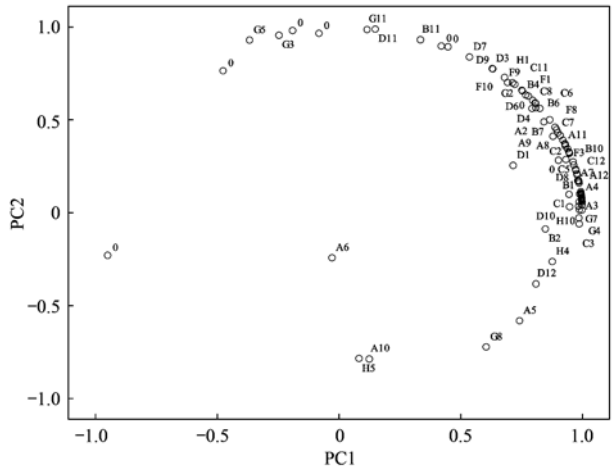


图3 人工湿地空气微生物碳源代谢特征主成分分析

Fig. 3 Principal component analysis of community metabolism of constructed wetlands

人工湿地不同季节空气微生物群落碳源代谢分析结果显示(图4),秋季和冬季空气微生物碳源代谢特征较相似,但与春季和夏季存在较大差异,其中,夏季与春季、秋季和冬季空气微生物群落碳源利用谱在 PC1 上容易区分,考察成分载荷矩阵可知,胺类在 PC1 上载荷较大,在 PC2 上载荷较小,是区分人工湿地夏季与春季、秋季和冬季空气微生物群落碳源代谢差异的主要碳源类型. 春季与秋季、冬季空气微生物群落碳源利用谱在 PC2 上容易区分,考察成分载荷矩阵可知,羧酸类在 PC2 上载荷较大,在 PC1 上载荷较小,是区分人工湿地春季与秋季、冬季空气微生物群落碳源代谢差异的主要碳源类型.

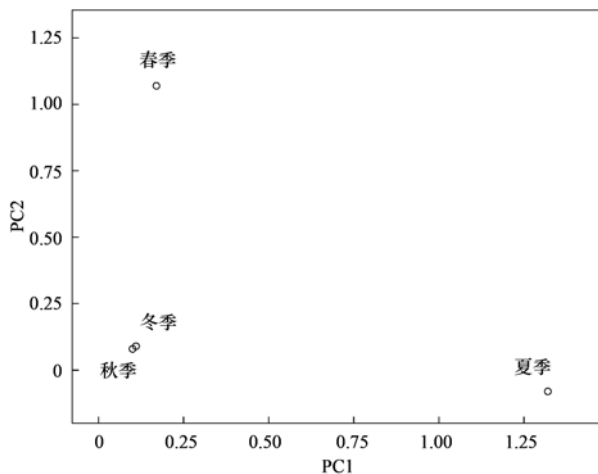


图4 人工湿地不同季节两因子得分变量散点图

Fig. 4 Scatter of two factor score variables of constructed wetland in different seasons

2.5 非生物因素对空气微生物群落代谢的影响

许多非生物因素(温度、湿度、海拔、风速、风向等)可以影响人工湿地空气微生物群落碳源代谢强度和利用能力^[26~28]. CCA 典范对应分析能够从统计学角度分析环境因子和空气微生物群落碳源代谢相关性,揭示不同环境条件下微生物群落结构变化原因. 人工湿地不同季节碳源代谢与环境因子相关性存在差异,其中,春季与湿度、风速等呈正相关,受风速影响相对较大,与温度呈负相关;夏季与温度、湿度呈正相关,与风速呈负相关,但总体受三者影响相对较小;秋、冬季与温度、湿度呈负相关,受风速影响较小,秋季受湿度影响大于冬季(图5).

3 讨论

存在于大气中的微生物除受采样区域人为活动、土壤状况、污水水质和植被影响外,还受大气

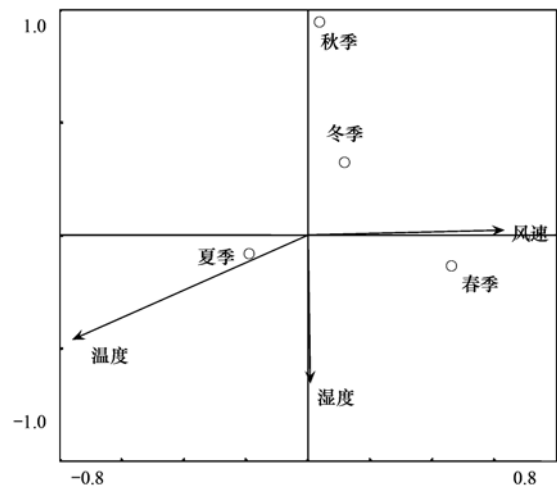


图5 人工湿地不同季节碳源代谢强度与环境因子 CCA 分析排序

Fig. 5 A two-dimensional graph analysis of CCA coordination for AWCD and environment factors in different seasons of constructed wetlands

温度、湿度、紫外线、风速、风向和降水等气象参数的影响^[13,29~33]. 研究表明,温度是决定不同环境空气微生物群落结构的最主要因素^[34~37],但也有学者认为空气微生物群落时间和空间变化是由气象因素、颗粒物化学组成、颗粒物主要源等多种因素作用的结果,而不仅仅是温度作用^[36,37]. 在大陆和温带地区温暖季节,植物是空气细菌的重要来源,寒冷季节空气细菌主要来源于土壤,沿海区域则来源于海洋的种类较丰富^[38,39]. 生活污水也是空气微生物的重要来源,研究发现,污水中细菌含量越大,其上空微生物气溶胶的数量越高^[4].

本研究地点位于海滨区域,污水、基质、植被、鸟类与恒温动物、海洋以及气象因子等都可对空气微生物群落结构产生影响^[40,41],其空气微生物来源更为复杂且存在明显的季节变化. 春季和夏季人工湿地均处于布水季节,湿度较高,碳源代谢强度明显大于秋季和冬季. 于淼等^[14]研究发现,人工湿地进水前(3~4月)空气细菌和空气真菌数量较低,进水后(5~8月)逐渐升高,之后又出现下降趋势(9月),与本研究结果吻合. 尽管春季和夏季空气微生物 AWCD 值在稳定期基本相同,但进一步比较碳源代谢优势群落和群落多样性发现,二者存在较大差异,分析可能与采样期间温度、风速和植被等方面的差异有关. 夏季温度、湿度有利于空气微生物生长繁殖,湿地中芦苇高度在 2.5~3.0 m,能够阻碍空气微生物传播,使得人工湿地空气微生物受外部因素影响较小,空气微生物主要来源于湿地本身

(基质、污水和植物叶片), 群落结构相对简单均一。与夏季相比, 春季人工湿地温度低, 芦苇刚开始生长(高度 < 0.5 m), 周围环境较为开阔, 加上采样期间风速较大, 有利于空气微生物扩散, 增加了人工湿地空气微生物来源, 群落均一度指数较低。

秋季和冬季人工湿地空气微生物碳源代谢特征较相似, 但与春季和夏季存在较大差异。秋季和冬季人工湿地分别处于芦苇待割期和土地裸露状态, 环境温度、湿度低, 不利于微生物生长。研究表明, 高辐射、寡营养及干燥环境使得一些生长缓慢、产孢子和芽孢的类群(如放线菌和芽孢杆菌)占优势, 导致碳源利用能力降低^[42], 而 BIOLOG 方法对生长缓慢、不能很好利用 BIOLOG 板中碳源的微生物反映能力较差^[43]。秋季芦苇长势茂盛, 能够形成阻挡作用, 同时人工湿地处于停止布水状态, 限制了空气微生物来源; 与秋季相比, 冬季人工湿地周围环境开阔, 有利于空气微生物传播和扩散, 采样期间风从城区方向吹来, 增加了人工湿地空气微生物来源。从群落多样性指数看, 秋季 Shannon 指数小于冬季, 但 McIntosh 指数较冬季大, 说明秋季空气微生物群落结构较冬季简单均一。另外, 尽管春季和秋季采样期间温度情况相似, 但两个季节碳源代谢强度、Shannon 指数、碳源利用水平和主成分分析结果都存在较大差异, 说明除温度外, 植被、湿度、风速等因素在空气微生物群落结构中也发挥重要作用。另外, 本污水处理系统二级处理工艺区位于人工湿地西侧(1 km), 当风向为西和西南时, 可能会对湿地空气微生物群落结构产生影响, 但在本研究期间风向为东南和西北, 其对人工湿地空气群落结构产生的影响较小。

4 结论

(1) 不同季节人工湿地空气微生物 AWCD 值、优势群落及 McIntosh 指数均存在差异, 春季和夏季空气微生物碳源代谢强度明显高于秋季和冬季, 夏季空气微生物对 6 类化合物的利用水平高于其他季节。

(2) 秋季和冬季空气微生物碳源代谢特征相似, 但与春季和夏季差别较大, 胺类是区分人工湿地夏季与春季、秋季、冬季的主要碳源类型, 羧酸类是区分春季与秋季、冬季空气微生物代谢差异的主要碳源类型。

(3) 不同季节人工湿地空气微生物群落结构主导影响因子存在差异。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Pillai S D, Ricke S C. Bioaerosols from municipal and animal wastes: background and contemporary issues [J]. *Canadian Journal of Microbiology*, 2002, **48**(8): 681-696.
- [3] Pascual L, Pérez-Luz S, Yáñez M A, *et al.* Bioaerosol emission from wastewater treatment plants [J]. *Aerobiologia*, 2003, **19**(3-4): 261-270.
- [4] Patentalakis N, Pantidou A, Kalogerakis N. Determination of enterobacteria in air and wastewater samples from a wastewater treatment plant by Epi-Fluorescence microscopy [J]. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus*, 2008, **8**(3): 107-115.
- [5] Clark C S, Bjornson A B, Schiff G M, *et al.* Sewage worker's syndrome [J]. *The Lancet*, 1977, **309**(8019): 1009.
- [6] Rylander R, Andersson K, Berlin L, *et al.* Sewage worker's syndrome [J]. *The Lancet*, 1976, **308**(7983): 478-479.
- [7] Song Z W, Zheng Z P, Li J, *et al.* Seasonal and annual performance of a full-scale constructed wetland system for sewage treatment in China [J]. *Ecological Engineering*, 2006, **26**(3): 272-282.
- [8] 黄锦楼, 陈琴, 许连煌. 人工湿地在应用中存在的问题及解决措施 [J]. *环境科学*, 2013, **34**(1): 401-408.
- [9] 徐敏, 宋志文, 杨光, 等. 人工湿地与环境健康安全 [J]. *生态学杂志*, 2007, **26**(11): 1873-1877.
- [10] 孙群, 吴蕾, 夏文香, 等. 人工湿地中指示和病原微生物分布与衰减研究 [J]. *安全与环境学报*, 2009, **9**(5): 63-66.
- [11] 宋志文, 孙群, 徐爱玲, 等. 人工湿地中指示与病原微生物动态分布及相关性分析 [J]. *生态学杂志*, 2013, **32**(1): 91-97.
- [12] Karim M R, Manshadi F D, Karpiscak M M, *et al.* The persistence and removal of enteric pathogens in constructed wetlands [J]. *Water Research*, 2004, **38**(7): 1831-1837.
- [13] Levetin E, Dorsey K. Contribution of leaf surface fungi to the air spora [J]. *Aerobiologia*, 2006, **22**(1): 3-12.
- [14] 于森, 孙群, 宋志文, 等. 自由表面流人工湿地微生物气溶胶研究 [J]. *环境污染与防治*, 2010, **32**(2): 8-12.
- [15] 钱生财, 宋志文, 吴等等, 等. 青岛市不同下垫面微生物气溶胶分布特征 [J]. *环境科学研究*, 2013, **26**(10): 1050-1056.
- [16] Brock T D. The study of microorganisms in situ: Progress and problems [A]. In: Fletcher M, Gray T R G, Jones J G (Eds.). *Symposium of the society for general microbiology*. Volume 41. *Ecology of microbial communities* [C]. 1987, **41**(3): 1-17.
- [17] Amann R I, Ludwig W, Schleifer K H. Phylogenetic identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation [J]. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 1995, **59**(1): 143-169.
- [18] Garland J L. Analytical approaches to the characterization of

- samples of microbial communities using patterns of potential C source utilization [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1996, **28** (2): 213-221.
- [19] 华建峰, 林先贵, 蒋倩, 等. 砷矿区农田土壤微生物群落碳源代谢多样性[J]. *应用生态学报*, 2013, **24** (2): 473-480.
- [20] Kenarova A, Radeva G, Traykov I, *et al.* Community level physiological profiles of bacterial communities inhabiting uranium mining impacted sites [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2014, **100**: 226-232.
- [21] Hashimoto K, Matsuda M, Inoue D, *et al.* Bacterial community dynamics in a full-scale municipal wastewater treatment plant employing conventional activated sludge process[J]. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2014, **118** (1): 64-71.
- [22] Huang H Y, Zhou P, Shi W W, *et al.* Microbial functional diversity in facilities cultivation soils of nitrate accumulation[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2012, **13**: 1037-1044.
- [23] Widmer F, Fließbach A, Laczko E, *et al.* Assessing soil biological characteristics: a comparison of bulk soil community DNA-, PLFA-, and BiologTM-analyses [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2001, **33** (7-8): 1029-1036.
- [24] Buyer J S, Kaufman D D. Microbial diversity in the rhizosphere of corn grown under conventional and low-input systems [J]. *Applied Soil Ecology*, 1997, **5** (1): 21-27.
- [25] 王强, 戴九兰, 吴大千, 等. 微生物生态研究中基于 BIOLOG 方法的数据分析[J]. *生态学报*, 2010, **30** (3): 817-823.
- [26] 段巍巍, 娄恺, 曾军, 等. 塔克拉玛干沙尘暴源区空气微生物群落的代谢特征[J]. *环境科学*, 2012, **33** (1): 26-31.
- [27] 凌琪, 王晏平. 黄山风景区夏季空气微生物分布特征初步研究[J]. *微生物学通报*, 2008, **35** (9): 1379-1384.
- [28] 凌琪, 包金梅, 李瑞, 等. Biolog-Eco 解析黄山风景区空气微生物碳代谢多样性特征[J]. *应用基础与工程科学学报*, 2012, **20** (1): 56-63.
- [29] 方治国, 欧阳志云, 胡利峰, 等. 城市生态系统空气微生物群落研究进展[J]. *生态学报*, 2004, **24** (2): 315-322.
- [30] 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.
- [31] Griffin D W, Kubilay N, Koçak M, *et al.* Airborne desert dust and aeromicrobiology over the Turkish Mediterranean coastline [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41** (19): 4050-4062.
- [32] Polymenakou P N, Mandalakis M, Stephanou E G, *et al.* Particle size distribution of airborne microorganisms and pathogens during an intense African dust event in the eastern Mediterranean [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2008, **116** (3): 292-296.
- [33] 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.
- [34] Maron P A, Mougél C, Lejon D P H, *et al.* Temporal variability of airborne bacterial community structure in an urban area [J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40** (40): 8074-8080.
- [35] Bowers R M, McCubbin I B, Hallar A G, *et al.* Seasonal variability in airborne bacterial communities at a high-elevation site [J]. *Atmospheric Environment*, 2012, **50**: 41-49.
- [36] Bertolini V, Gandolfi I, Ambrosini R, *et al.* Temporal variability and effect of environmental variables on airborne bacterial communities in an urban area of Northern Italy [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2013, **97** (14): 6561-6570.
- [37] 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.
- [38] Cho B C, Hwang C Y. Prokaryotic abundance and 16S rRNA gene sequences detected in marine aerosols on the East Sea (Korea) [J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2011, **76** (2): 327-341.
- [39] Fahlgrén C, Hagström Å, Nilsson D, *et al.* Annual variations in the diversity, viability, and origin of airborne bacteria [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2010, **76** (9): 3015-3025.
- [40] Grant S B, Sanders B F, Boehm A B, *et al.* Generation of enterococci bacteria in a coastal saltwater marsh and its impact on surf zone water quality [J]. *Environmental Science & Technology*, 2001, **35** (12): 2407-2416.
- [41] 刘苗苗, 祁建华, 高冬梅, 等. 青岛近海秋季生物气溶胶分布特征[J]. *生态环境*, 2008, **17** (2): 565-571.
- [42] Griffin D W. Atmospheric movement of microorganisms in clouds of desert dust and implications for human health [J]. *Clinical Microbiology Reviews*, 2007, **20** (3): 459-477.
- [43] 李鑫, 张会慧, 岳冰冰, 等. 桑树-大豆间作对盐碱土碳代谢微生物多样性的影响[J]. *应用生态学报*, 2012, **23** (7): 1825-1831.

CONTENTS

Size Distribution Characteristics of Particulate Mercury on Haze and Non-haze Days	ZHU Qiong-yu, CHENG Jin-ping, WEI Yu-qing, <i>et al.</i> (373)
Impact of Atmospheric Pollutants Transport Pathways on Aerosol Optical Properties at Shangdianzi Background Station	PU Wei-wei, SHI Xue-feng, MA Zhi-qiang, <i>et al.</i> (379)
Chemical Characteristics of 3-year Atmospheric Precipitation in Summer, Taiyuan	GUO Xiao-fang, CUI Yang, WANG Kai-yang, <i>et al.</i> (388)
Pollution Characteristics of Organic and Elemental Carbon in PM _{2.5} in Taiyuan	LIU Shan, PENG Lin, WEN Yan-ping, <i>et al.</i> (396)
Levels and Distribution of Organochlorine Pesticides and Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls in Atmospheric Particulates in Xining and Tianjun, Qinghai Province, China	LI Qiu-xu, HE Chang, MA Zhao-hui, <i>et al.</i> (402)
Particulate Matter Adsorption Capacity of 10 Evergreen Species in Beijing	WANG Bing, ZHANG Wei-kang, NIU Xiang, <i>et al.</i> (408)
Carbon Sources Metabolic Characteristics of Airborne Microbial Communities in Constructed Wetlands	SONG Zhi-wen, WANG Lin, XU Ai-ling, <i>et al.</i> (415)
Spatial Distribution Characteristics of the Physical and Chemical Properties of Water in the Kunes River After the Supply of Snowmelt During Spring	LIU Xiang, GUO Ling-peng, ZHANG Fei-yun, <i>et al.</i> (421)
Composition Characteristics and Source Analysis of Major Ions in Four Small Lake-watersheds on the Tibetan Plateau, China	LI He, LI Jun, LIU Xiao-long, <i>et al.</i> (430)
Seasonal Stratification and Eutrophication Characteristics of a Deep Reservoir, Longtan Reservoir in Subtropical Area of China	ZHANG Lei, LI Qiu-hua, HUANG Guo-jia, <i>et al.</i> (438)
Phosphorus Fractions, Sorption Characteristics and Its Release in the Sediments of Yangtze Estuary Reservoir, China	JIN Xiao-dan, WU Hao, CHEN Zhi-ming, <i>et al.</i> (448)
Spatial-Temporal Distributions of Dissolved Inorganic Carbon and Its Affecting Factors in the Yellow River Estuary	GUO Xing-sen, LÜ Ying-chun, SUN Zhi-gao, <i>et al.</i> (457)
Distributions of Phosphorus Fractions in Suspended Sediments and Surface Sediments of Tiaoxi Mainstreams and Cause Analysis	CHEN Hai-long, YUAN Xu-yin, WANG Huan, <i>et al.</i> (464)
Characteristics of Nitrogen Pollution and the Potential Mineralization in Surface Sediments of Dianchi Lake	MENG Ya-yuan, WANG Sheng-rui, JIAO Li-xin, <i>et al.</i> (471)
Influence of Transient Storage on Solute Transport and the Parameter Sensitivity Analysis in a Suburban Drainage Ditch	LI Ru-zhong, QIAN Jing, DONG Yu-hong, <i>et al.</i> (481)
Sources, Pollution Statue and Potential Ecological Risk of Heavy Metals in Surface Sediments of Aibi Lake, Northwest China	ZHANG Zhao-yong, Jilili Abuduwaili, JIANG Feng-qing (490)
Speciation Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments in Suburban Outfall of Industrial Oasis Region	ZANG Fei, WANG Sheng-li, NAN Zhong-ren, <i>et al.</i> (497)
Assessment of Sources, Spatial Distribution and Ecological Risk of Heavy Metals in Soils in a Typical Industry-based City of Shandong Province, Eastern China	DAI Bin, LÜ Jian-shu, ZHAN Jin-cheng, <i>et al.</i> (507)
Removal of Triclosan with the Method of UV/ClO ₂ and Its Degradation Products	LI Yu-ying, HE Wen-long, LI Qing-song, <i>et al.</i> (516)
Mechanism of Groundwater As(V) Removal with Ferric Flocculation and Direct Filtration	KANG Ying, DUAN Jin-ming, JING Chuan-yong (523)
Preparation of Nano Zero-valent Iron/ <i>Sargassum horneri</i> Based Activated Carbon for Removal of Cr(VI) from Aqueous Solution	ZENG Gan-ming, WU Xiao, ZHENG Lin, <i>et al.</i> (530)
Adsorption of Cr(VI) on Magnetic Graphene from Aqueous Solution	LIU Wei, YANG Qi, LI Bo, <i>et al.</i> (537)
Adsorption of the TiO ₂ @Yeast Composite Microspheres for Adsorbing Fluorescent Whitening Agent-VBL in Fixed Bed	WU Fei, ZHANG Kai-qiang, BAI Bo, <i>et al.</i> (545)
Preparation and Pb ²⁺ Electrosorption Characteristics of MnO ₂ /CFP Composite Electrode	LIU Fang-yuan, HU Cheng-zhi, LI Yong-feng, <i>et al.</i> (552)
Preparation of Weak Light Driven TiO ₂ Multi Composite Photocatalysts via Adsorption Phase Synthesis	WANG Ting, ZHU Yi-chen, SUN Zhi-xuan, <i>et al.</i> (559)
Photoelectrocatalytic Degradation of Bisphenol A in Water by Fe Doped-TiO ₂ Nanotube Arrays Under Simulated Solar Light Irradiation	XIANG Guo-liang, YU Ze-bin, CHEN Ying, <i>et al.</i> (568)
Oxidation of Cationic Red 3R in Water with H ₂ O ₂ Catalyzed by Mineral Loaded with Fe/Co	MA Nan, LIU Hua-bo, XIE Xin-yuan (576)
Characteristics of Acid Red 3R Wastewater Treatment by Ozone Microbubbles	ZHANG Jing, DU Ya-wei, LIU Xiao-jing, <i>et al.</i> (584)
Effects of Carbon Sources, Temperature and Electron Acceptors on Biological Phosphorus Removal	HAN Yun, XU Song, DONG Tao, <i>et al.</i> (590)
Startup, Stable Operation and Process Failure of EBPR System Under the Low Temperature and Low Dissolved Oxygen Condition	MA Juan, LI Lu, YU Xiao-jun, <i>et al.</i> (597)
Effects of Dissolved Oxygen in the Oxidative Parts of A/O Reactor on Degradation of Organic Pollutants and Analysis of Microbial Community for Treating Petrochemical Wastewater	DING Peng-yuan, CHU Li-bing, ZHANG Nan, <i>et al.</i> (604)
Isolation of Filamentous Fungi Capable of Enhancing Sludge Dewaterability and Study of Mechanisms Responsible for the Sludge Dewaterability Enhancement	ZHOU Yu-jun, FU Hao-yi, FAN Xian-feng, <i>et al.</i> (612)
Impacts of Alkaline Thermal Treatment on Characteristics of Sludge from Sewage Treatment Plant	YANG Shi-dong, CHEN Xia, LIU Cao, <i>et al.</i> (619)
Responses of Ecosystem Carbon Budget to Increasing Nitrogen Deposition in Differently Degraded <i>Leymus chinensis</i> Steppes in Inner Mongolia, China	QI Yu-chun, PENG Qin, DONG Yun-she, <i>et al.</i> (625)
Impacts of Elevated Ozone Concentration on N ₂ O Emission from Arid Farmland	WU Yang-zhou, HU Zheng-hua, LI Cen-zi, <i>et al.</i> (636)
Multi-Year Measurement of Soil Respiration Components in a Subtropical Secondary Forest	LIU Yi-fan, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (644)
Spatial Variability of Soil Nitrogen and Related Affecting Factors at a County Scale in Hilly Area of Mid-Sichuan Basin	LUO You-lin, LI Qi-quan, WANG Chang-quan, <i>et al.</i> (652)
Effects of Land Use Change on Soil Active Organic Carbon in Deep Soils in Hilly Loess Plateau Region of Northwest China	ZHANG Shuai, XU Ming-xiang, ZHANG Ya-feng, <i>et al.</i> (661)
Carbon Source Metabolic Diversity of Soil Microbial Community Under Different Climate Types in the Area Affected by Wenchuan Earthquake	ZHANG Guang-shuai, LIN Yong-ming, MA Rui-feng, <i>et al.</i> (669)
Optimization of Electrode Configuration in Soil Electrokinetic Remediation	LIU Fang, FU Rong-bing, XU Zhen (678)
Distribution and Health Risk of HCHs and DDTs in a Contaminated Site with Excavation	ZHANG Shi-lei, XUE Nan-dong, YANG Bing, <i>et al.</i> (686)
Transformation and Mobility of Arsenic in the Rhizosphere and Non-Rhizosphere Soils at Different Growth Stages of Rice	YANG Wen-tao, WANG Ying-jie, ZHOU Hang, <i>et al.</i> (694)
Extraction of Plant Root Apoplast Solution; A Case Study with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	ZHU Man-dang, DU Jiang-xue, YUE Le, <i>et al.</i> (700)
Mechanism of Manganese Binding to Leaf Cell Wall of <i>Phytolacca americana</i> L.	XU Xiang-hua, LIU Cui-ying, LI Ping, <i>et al.</i> (706)
Degradation Characteristics of Naphthalene with a <i>Pseudomonas aeruginosa</i> Strain Isolated from Soil Contaminated by Diesel	LIU Wen-chao, WU Bin-bin, LI Xiao-sen, <i>et al.</i> (712)
Toxic Effects of CdSe/ZnS QDs to Zebrafish Embryos	CHEN Mu-fei, HUANG Cheng-zhi, PU De-yong, <i>et al.</i> (719)
Physiological Response of <i>Neocaridina denticulata</i> to the Toxicity of Cu ²⁺ and Chlorpyrifos	LI Dian-bao, ZHANG Wei, WANG Li-qing, <i>et al.</i> (727)
Determination of Anilines in Environmental Water Samples by Simultaneous Derivatization and Ultrasound Assisted Emulsification Microextraction Combined with Gas Chromatography-Flame Ionization Detectors	TIAN Li-xun, DAI Zhi-xi, WANG Guo-dong, <i>et al.</i> (736)
Adsorption of Calcium Ion from Aqueous Solution Using Na ⁺ -Conditioned Clinoptilolite for Hot-Water Softening	ZHANG Shuo, WANG Dong, CHEN Yuan-chao, <i>et al.</i> (744)
Construction and Application of Economy-Pollution-Environment Three-Dimensional Evaluation Model for District	FAN Xin-gang, MI Wen-bao, MA Zhen-ni (751)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

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

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2015年2月15日 第36卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 2 Feb. 15, 2015

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

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行