

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第7期

Vol.34 No.7

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

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

生活垃圾堆肥渗滤液污染物组成与演化规律研究

李丹^{1,2}, 何小松^{2,3}, 席北斗^{2,3*}, 魏自民^{1*}, 潘红卫^{1,2}, 赵国鹏^{1,2}, 崔东宇^{2,3}

(1. 东北农业大学生命科学学院, 哈尔滨 150030; 2. 中国环境科学研究院水环境系统工程研究室, 北京 100012; 3. 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012)

摘要: 为阐明堆肥渗滤液的组成和演化规律, 寻找合适的处理技术, 研究了某堆肥厂不同堆肥时期渗滤液中无机阴离子、氨氮、重金属及有机物等的组成和演化特性。结果显示, 随着堆肥的进行, EC 及 F^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+-N 的浓度呈下降趋势, 而 $NO_2^- -N$ 、 $NO_3^- -N$ 及 Org-N 的含量与渗滤液的氧化还原氛围有关; 渗滤液中重金属 Pb、Cd、Cu、Zn 及类金属 As 随堆肥进行浓度呈下降趋势, 而重金属 Cr、Ni、Fe、Mn 随堆肥进行浓度上升; 堆肥渗滤液有机物主要为类蛋白质物质, 但也含有类腐殖质物质, 适合先生化后物化处理依次去除; 堆肥过程中类蛋白质物质相对含量先增加后减少, 而类腐殖质相对含量先减少后增加。堆肥渗滤液盐分和重金属含量较高, 不宜堆肥回流利用, 应先生化后物化处理达标后排放。

关键词: 堆肥; 渗滤液; 无机阴离子; 重金属; 有机物

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)07-2918-07

Composition and Transformation of Leachates During Municipal Solid Waste Composting

LI Dan^{1,2}, HE Xiao-song^{2,3}, XI Bei-dou^{2,3}, WEI Zi-min¹, PAN Hong-wei^{1,2}, ZHAO Guo-peng^{1,2}, CUI Dong-yu^{2,3}

(1. College of Life Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Laboratory of Water Environmental System Engineering, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 3. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: The composition and evolution characteristics of inorganic anions, ammonia, heavy metals and organic compounds in leachates with different composting times were studied in a composting plant in order to clarify its composition and evolution and search for a suitable processing technology. The results showed that concentrations of EC, F^- , Cl^- , SO_4^{2-} and NH_4^+-N decreased during the composting process, while the contents of $NO_2^- -N$, $NO_3^- -N$ and Org-N were related to the oxidation reduction atmosphere of leachates. The Pb, Cd, Cu, Zn and As concentrations in leachates exhibited a decrease trend during the composting process, while contents of heavy metals Cr, Ni, Fe, Mn showed an increase trend with increasing composting time. The composting leachate organics comprised mainly of protein-like substance, but also consisted of humic-like substances. The leachate organics were suitable to be treated by biochemical process firstly, and then by physico-chemical technique. The relative content of protein-like substances firstly increased and then decreased, while that of humic-like matter exhibited an opposite trend. The contents of salinity and heavy metal in compost leachates were high, which caused the improper reflux utilization of leachates. The compost leachates should be treated by the combined biochemical and physico-chemical process before emission.

Key words: composting; leachates; inorganic anions; heavy metals; organic matters

好氧堆肥是生活垃圾一种重要的处理方式。在我国, 生活垃圾中含有大量的剩菜剩饭和蔬菜瓜果, 含水率高, 在堆肥过程中产生大量的垃圾渗滤液, 因此, 一些大型的生活垃圾堆肥厂均配套建立了渗滤液处理车间, 以处理生活垃圾接收和堆肥过程中产生的渗滤液。

目前国内外研究较多的是生活垃圾填埋产生的渗滤液的组成、理化特性及处理技术^[1~4], 相比较而言, 生活垃圾堆肥渗滤液研究较少。在堆肥渗滤液的研究上, Fischer^[5]对堆肥渗滤液的组成进行了研究, Liu 等^[6]和 Guo 等^[7]分别研究了堆肥渗滤液中氨和盐分离子的去除和迁移特征, Jarecki 等^[8]及 Gils 等^[9]分别研究了堆肥渗滤液对植物生长的影

响, 这些研究主要集中在堆肥渗滤液组成、污染物去除及对作物生长的影响上, 而对渗滤液污染物在堆肥过程中的演化规律与影响因素却鲜有报道。国内曾现来等^[10]、郝莹^[11]分别研究了堆肥渗滤液与填埋垃圾渗滤液的差别及堆肥渗滤液中重金属的组成特征; 李明等^[12]、曾现来等^[13]研究了渗滤液回流对堆肥效果和氮素、碳素迁移的影响。总体来看, 国内学者对堆肥渗滤液的研究主要集中在渗滤

收稿日期: 2012-10-15; 修订日期: 2012-12-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(51078340); 环境保护公益性行业科研专项(2011467010)

作者简介: 李丹(1987~), 女, 硕士, 主要研究方向为固体废物处理处置, E-mail: lidangaga@126.com

* 通讯联系人, E-mail: xibeiyou@263.net; weizm691120@163.com

液的组成及回流对堆肥效果的影响上,而对堆肥渗滤液回流可能带来的风险却缺乏分析。

本研究采集了上海某堆肥厂不同堆肥阶段的渗滤液,分析了其中无机阴离子、氨氮、重金属及有机物等的组成特征、演化规律及其影响因素,探讨了堆肥过程渗滤液回流的环境风险,以期为堆肥渗滤液的处理技术选择和应用风险评价提供参考和科学依据。

1 材料与方法

1.1 渗滤液收集

堆肥渗滤液采集于上海某生活垃圾堆肥车间。该堆肥厂采用条垛式堆肥,通过机械翻堆进行供氧,分一次发酵和二次发酵。一次发酵过程中采集堆肥 4、7、11、15、21 及 25 d 产生的渗滤液,依次编号为 S1、S2、S3、S4、S5、S6。二次发酵过程产生的渗滤液很少,在后期时渗滤液收集非常困难,收集了 4 个渗滤液样品,其堆肥的时间均超过 30 d,按堆肥时间延伸依次编号为 L1、L2、L3 及 L4。采集完毕后装入放有冰块的保温箱于当天运回实验室,4℃ 低温保藏。

1.2 渗滤液预处理

将所采集的堆肥渗滤液于 4℃、10 000 r·min⁻¹ 下离心,所得上清液过 0.45 μm 的滤膜,收集滤液用于无机阴离子、氨氮、重金属及有机物组成分析。

1.3 常规指标分析

pH 和氧化还原电位(ORP)采用 TOLEDO 320 Meter 测定,电导率(EC)采用 METTLER TOLEDO SG3 型电导率仪测定。F⁻、Cl⁻、SO₄²⁻、NO₃⁻-N 及 NO₂⁻-N 测定仪器为美国戴安公司生产的 ICS-2000 离子色谱仪,NH₄⁺-N 采用纳氏试剂比色法测定,总氮(TN)是通过硫酸钾消解然后比色法测得,有机氮通过下述公式计算得到:有机氮=总氮-硝氮-亚硝氮-氨氮。重金属(As、Pb、Cd、Cu、Zn、Cr、Ni、Fe 及 Mn)采用美国热电公司生产的 ICP-AES 进行测定。

1.4 光谱测定

将渗滤液稀释至 DOC = 7 mg·L⁻¹ 左右后,测定渗滤液有机物的三维荧光光谱和紫外特征吸收参数。三维荧光光谱测定仪器为日本日立公司生产的 Hitachi F-7000 型荧光光度计,测定是激发波长固定为 200 ~ 450 nm,发射波长固定为 280 ~ 520 nm,扫描速度为 2 400 nm·min⁻¹,激发和发射狭缝宽度均设为 5 nm。采用优尼科公司生产的 4802-UV/VIS 型紫外分光光度计测定渗滤液有机物在 253 nm 和

220 nm 下的吸收值,计算其比值 E_{253}/E_{220} 。

1.5 统计分析

不同参数的相关性分析及主成分分析在 SPSS 16.0 上进行。三维荧光光谱中不同区域的体积积分在 Matlab 7.0b 软件上进行。

2 结果与讨论

2.1 生活垃圾堆肥渗滤液基本理化性质分析

生活垃圾中含有大量水分、无机盐和有机物,在堆肥过程中,堆体中含有的水分和降解产生的水在重力作用下淋溶出来,同时将生活垃圾中的无机盐、降解产物等也淋溶出来。如表 1 所示,整个堆肥周期中,堆肥渗滤液 pH 值均小于 7,呈酸性。但一次发酵结束时堆肥渗滤液的 pH 值从堆肥起始的 5.94 升至 6.47,发生了显著升高。一次发酵渗滤液 pH 值均值为 5.98,二次发酵渗滤液 pH 值均值为 6.67,二次发酵过程堆肥渗滤液 pH 明显高于一次发酵。堆肥过程中有机质降解生成二氧化碳和水的过程产生大量有机酸,导致渗滤液成酸性,但是,堆肥有机质降解的过程还产生了碱性物质——氨,并且氨转化为硝氮的过程较慢^[14],导致上述堆肥过程渗滤液 pH 值发生了上升。表 1 还显示,一次发酵初期和中期堆肥渗滤液的 ORP 为正值,显示渗滤液处于氧化氛围,而在一次发酵结束时以及整个二次发酵过程中堆肥渗滤液 ORP 为负值,显示这一时期渗滤液处于还原氛围,这可能与一次发酵过程中翻堆频繁供氧充分,而二次发酵翻堆次数过少导致供氧不足有关。EC、F⁻、Cl⁻、SO₄²⁻ 的浓度在一次发酵和二次发酵过渡的时间内呈现出一个较大的波动,这可能与一次发酵结束后进行二次发酵时堆肥物料重新进行了翻堆和调整有关。但是,尽管其中有数据发生了波动,在一次发酵过程中和二次发酵过程中,EC、F⁻、Cl⁻、SO₄²⁻ 的浓度均呈下降趋势,显示在一次发酵和二次发酵过程中,随着时间的延伸,堆肥垃圾中污染物的浸出浓度不断下降,以 F⁻ 浓度下降最为剧烈,经一次发酵初期后,其浓度下降了一半,而其他 3 个指标的降幅均未达到一半。与填埋垃圾渗滤液相似^[15],堆肥渗滤液中溶解性有机物的含量均超过 20 000 mg·L⁻¹,显示堆肥过程中大量有机物溶于渗滤液中。

堆肥渗滤液 NH₄⁺-N 的浓度在 1 097.42 ~ 2 216.70 mg·L⁻¹ 间,在一次发酵和二次发酵的过程中呈下降趋势,NO₃⁻-N 的浓度在堆肥渗滤液中变化不大,但二次发酵过程堆肥渗滤液中 NO₃⁻-N 的浓度

约为一次发酵渗滤液的一半左右,与此相反的是,NO₂⁻-N 的浓度在二次发酵过程中大大升高了,由一次发酵的平均值 23.85 mg·L⁻¹ 升至二次发酵的平均值 112.97 mg·L⁻¹,二次发酵过程中 NO₃⁻-N 的浓度的下降和 NO₂⁻-N 的浓度的显著上升与二次发酵过程翻堆频率低,堆体强烈的还原性氛围有关,这从 OPR 由一次发酵的正值变为二次发酵的负值也能看出.堆肥渗滤液的 4 种不同形态的氮中,Org-N 的浓度远远高于 NO₂⁻-N 与 NO₃⁻-N,仅低于渗滤液中 NH₄⁺-N 的浓度.其在一次发酵渗滤液和二次发酵渗滤液中浓度均值分别为 245.29 mg·L⁻¹ 和 484.28 mg·L⁻¹,二次发酵堆肥渗滤液中 Org-N 的浓度显著高于一次发酵,这可能与二次发酵处于还原性氛围,有机物降解慢,导致渗滤液中累积了大量含氮有机物有关.

堆肥渗滤液中含有大量的有机物和含氮化合物,通过回流进行堆肥可以增加堆肥产品中有机质和氮素,但是,另一方面,堆肥渗滤液含有大量的无机盐,进行回流处理会导致堆肥产品中盐分含量升高,如利用会致使土壤盐渍化,因此堆肥渗滤液不适合进行回流处理,应进行处理达标后排放.参考最新的渗滤液排放标准可知^[16],除堆肥一次发酵部分渗滤液 pH 轻微超过污水排放标准外,大部分渗滤液 pH 符合排放标准,但堆肥渗滤液中 DOC 均超过 20 000 mg·L⁻¹,换算成 COD 时远高于渗滤液排放标准;此外,堆肥渗滤液 NH₄⁺-N 的浓度在 1 097.42

~ 2 216.70 mg·L⁻¹,也大大超过渗滤液排放标准^[16],显示堆肥渗滤液必须经过处理才能排放.

对堆肥渗滤液不同指标的相关性分析(表 2)和主成分分析(图 1)显示,所有指标可以分为两个主成分,第一主成分占 52.63%,包括 pH、ORP、F⁻、NO₃⁻-N、NO₂⁻-N 及 Org-N,其中 pH、NO₂⁻-N 及 Org-N 三者之间两两正相关,均位于第一主成分的正方向,显示上述 3 个指标具有相同的变化趋势,而 NO₃⁻-N、ORP 均位于第一主成分的负方向,与 pH、NO₂⁻-N 及 Org-N 这 3 个指标均呈显著负相关,显示堆肥过程 OPR 的增大导致 NO₃⁻-N 的增大和 NO₂⁻-N、Org-N 的减少,进一步证实了 OPR 是影响 NO₃⁻-N、NO₂⁻-N、Org-N 相互间化的重要因素. F⁻ 也在第一主成分的负方向,但其未与其他任何指标达到显著性相关,显示其在堆肥中的变化规律与其他指标存在较大差异.第二主成分占 30.47%,包括 EC、NH₄⁺-N、Cl⁻、SO₄²⁻ 及 DOC,这些指标均在第二主成分的正方向,但 EC、Cl⁻ 及 DOC 位于第一象限,两两间的相关性均达到了显著水平,显示其具有共同的影响因素,Cl⁻ 和 DOC 是影响电导率最重要的因素; NH₄⁺-N 与 SO₄²⁻ 位于第四象限,两者也达到了显著水平,显示硫酸盐和铵盐在堆肥过程中具有相似的变化规律,可能是有机物在降解过程中伴随着硫酸盐的释放.此外, NH₄⁺-N、SO₄²⁻ 均与 EC 达到显著水平,显示 NH₄⁺-N、SO₄²⁻ 含量也是影响堆肥渗滤液电导率的重要因素.

表 1 生活垃圾堆肥渗滤液基本理化变化特征

Table 1 Changes in basic physicochemical characteristics of leachates during composting

编号	pH	ORP /mV	EC /mS·cm ⁻¹	F ⁻ /mg·L ⁻¹	Cl ⁻ /mg·L ⁻¹	SO ₄ ²⁻ /mg·L ⁻¹	DOC /mg·L ⁻¹	NH ₄ ⁺ -N /mg·L ⁻¹	NO ₃ ⁻ -N /mg·L ⁻¹	NO ₂ ⁻ -N /mg·L ⁻¹	Org-N /mg·L ⁻¹
S1	5.94	24.00	31.80	17.42	34.67	23.38	25 210.00	2216.70	33.68	34.90	134.35
S2	6.03	19.00	27.40	15.87	31.68	21.63	21 950.00	1931.84	38.25	29.44	291.66
S3	5.83	31.00	25.90	15.66	33.52	22.55	21 260.00	1509.93	33.60	21.86	320.30
S4	6.05	18.00	26.20	15.54	36.13	17.86	20 090.00	1234.61	30.76	16.82	161.29
S5	5.53	47.00	28.20	7.74	34.81	20.69	28 450.00	1651.82	35.40	25.16	272.39
S6	6.47	-6.00	24.50	6.82	32.50	19.03	21 690.00	1097.42	30.23	14.93	291.73
均值	5.98	22.17	27.33	13.18	33.89	20.86	23 108.33	1607.05	33.65	23.85	245.29
L1	6.51	-8.00	33.90	9.13	44.77	23.48	32 400.00	1905.53	15.63	123.61	517.99
L2	6.91	-30.00	30.80	8.63	40.38	21.46	29 620.00	1714.78	15.46	113.06	609.36
L3	6.26	-27.00	31.50	8.77	40.80	21.70	29 270.00	1791.83	15.31	114.10	399.31
L4	6.99	-34.00	25.40	7.34	31.75	18.44	21 660.00	1337.98	15.64	101.1	410.46
均值	6.67	-24.75	30.40	8.47	39.43	21.27	28 237.50	1687.53	15.51	112.97	484.28

2.2 生活垃圾堆肥渗滤液重金属浓度变化特征

生活垃圾中混有金属、电池、钱币等含金属的物品,因此,堆肥渗滤液中含有一定量的重金属.对堆肥渗滤液中 8 种金属和 1 种类金属浓度的分析显

示(表 3),堆肥渗滤液浓度最高的重金属为 Fe 和 Mn,其在渗滤液中的浓度均超过 5.0 mg·L⁻¹,紧随其次的是 Zn,其浓度超过 1.0 mg·L⁻¹,剩余的 6 种金属(类金属)浓度均低于 1.0 mg·L⁻¹,堆肥渗滤液

中的重金属(类金属)分为明显的两类,一类随着堆肥的进行其浓度呈下降趋势,这类金属(类金属)包括 As、Pb、Cd、Cu、Zn、Pb 在二次发酵堆肥渗滤液中未检测到,而 Cd 在二次发酵堆肥渗滤液中只有一个样品检测到. 另一类随着堆肥的进行其浓度呈

上升趋势,这类金属包括 Cr、Ni、Fe、Mn.

主成分分析也显示(图 2),堆肥渗滤液重金属分为两类,一类为 As、Pb、Cd、Cu、Zn,另一类为 Cr、Ni、Fe、Mn.

水溶性有机物在253 nm与220 nm下的吸收值

表 2 不同指标之间的皮尔逊相关系数¹⁾

Table 2 Pearson correlation coefficient among different parameters											
	pH	ORP	EC	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	DOC	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	Org-N
pH	1	-0.928 **	0.056	-0.519	0.242	-0.244	0.133	-0.231	-0.800 **	0.695 *	0.695 *
ORP		1	-0.175	0.561	-0.366	0.181	-0.249	0.155	0.890 **	-0.796 **	-0.694 *
EC			1	0	0.823 **	0.742 *	0.867 **	0.797 **	-0.427	0.622	0.371
F ⁻				1	-0.261	0.297	-0.434	0.377	0.606	-0.503	-0.603
Cl ⁻					1	0.441	0.843 **	0.346	-0.655 *	0.713 *	0.59
SO ₄ ²⁻						1	0.576	0.846 **	0	0.253	0.209
DOC							1	0.545	-0.539	0.691 *	0.606
NH ₄ ⁺ -N								1	0.029	0.273	0.049
NO ₃ ⁻ -N									1	-0.940 **	-0.786 **
NO ₂ ⁻ -N										1	0.827 **
Org-N											1

1) * 为 $P < 0.05$, ** 为 $P < 0.01$

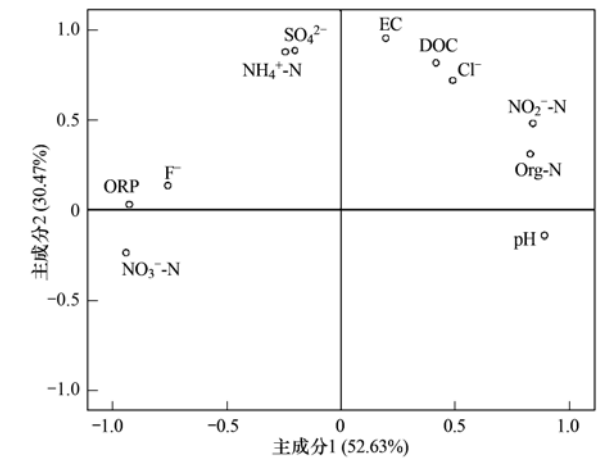


图 1 堆肥渗滤液不同指标间的主成分分析

Fig. 1 Principal component analysis of different parameters in composting leachates

E_{253}/E_{220} 是一个与苯环结构上取代基类型有关的参数,该值越大,显示苯环官能团上的取代基为羧基、羰基等电负性较高的官能团,而该值越小,显示苯环取代基上的官能团主要为脂肪类官能团^[17],通过 E_{253}/E_{220} 与堆肥渗滤液重金属浓度的相关性分析显示,堆肥渗滤液 DOM 的 E_{253}/E_{220} 值与 Cu ($r = -0.787, P < 0.01$) 和 Zn ($r = -0.712, P < 0.05$) 的浓度呈负相关,显示渗滤液苯环有机物中重金属 Cu 和 Zn 主要结合在脂肪链上.

2008 年新修订渗滤液排放标准中^[16],Cd、Cr、As 及 Pb 的排放标准分别为 0.01、0.1、0.1 及 0.1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,参照生活垃圾新版渗滤液排放标准可知^[16],一次发酵堆肥渗滤液中 Cd 浓度全部超标,超标倍数在2~4倍间,二次发酵堆肥渗滤液Cd浓度

表 3 堆肥渗滤液重金属含量变化特征/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

Table 3 Changes in the heavy metals content of leachates during composting/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$									
编号	As	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Ni	Fe	Mn
S1	0.9	0.03	0.04	0.61	2.87	0.25	0.73	8.16	7.16
S2	0.44	0.05	0.03	0.66	5.02	0.17	0.13	8.32	9.37
S3	0.2	0.02	0.02	0.15	2.45	0.1	0	9.05	10.82
S4	0.19	0.25	0.03	0.36	1.78	0.15	0	5.12	8.81
S5	0.2	0.23	0.03	0.46	1.59	0.15	0	5.47	8.35
S6	0.15	0.39	0.02	0.4	3.03	0.11	0.69	12.5	11.81
L1	0.24	0	0	0.15	1.22	0.49	1.58	207.8	18.56
L2	0.2	0	0.01	0.16	1.27	0.58	1.42	79.25	15.89
L3	0.23	0	0	0.22	1.38	0.41	1.51	97.28	16.41
L4	0.17	0	0	0.15	1.19	0.27	1.2	29.75	9.79
均值	0.292	0.097	0.018	0.332	2.18	0.268	0.726	46.27	11.697

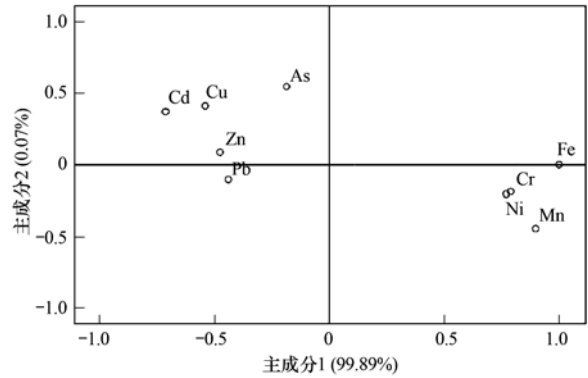


图 2 堆肥渗滤液重金属的主成分分析

Fig. 2 Principal component analysis of heavy metals in composting leachates

满足排放标准;堆肥渗滤液中 Cr 浓度除样品 S3 外,其余全部超标,超标在 1.1 ~ 5.8 倍间;堆肥渗滤液中 As 浓度也全部超标,超标在 1.7 ~ 9 倍间;Pb 在堆肥渗滤液中只有 3 个样品超标,超标在 2.5 ~ 3.9 倍间. 上述结果显示,大部分堆肥渗滤液中重金属浓度较高,不满足渗滤液排放标准,需要进行处理后才能排放. 由于堆肥渗滤液中重金属浓度较高,因此,在堆肥过程中,渗滤液不宜回流,以免造成堆肥产品重金属积累,影响其农用价值.

2.3 堆肥渗滤液水溶性有机物组成分析

三维荧光光谱可揭示渗滤液有机物中苯环结构

有机物的组成特性,而带苯环结构的有机物,又是堆肥渗滤液中可生化性最差的组分. 由于堆肥过程渗滤液有机物的三维荧光光谱谱图类似,选择 S1、S6、L1 及 L4 这 4 个样品的三维荧光光谱作为典型代表. 如图 3 所示,不同堆肥时期渗滤液 DOM 的三维荧光光谱图类似,均在 221/331 nm、273/322 nm 及 329/431 nm 附近出现了特征荧光峰. 221/331 nm、273/322 nm 附近的荧光峰与渗滤液中类蛋白质物质的存在有关,而 329/431 nm 的荧光峰与渗滤液中类腐殖质物质的存在有关^[18-21]. 纵观不同堆肥时期的渗滤液 DOM 的三维荧光光谱图,虽然存在类腐殖质荧光峰,但其为肩峰,最主要的还是类蛋白荧光峰,显示堆肥渗滤液中主要为类蛋白质物质,类腐殖质物质含量较少. 整个堆肥过程渗滤液 DOM 的三维荧光光谱图类似,显示堆肥渗滤液中主要为一些结构简单的类蛋白质物质,其可生化性较好,适于生化处理,但在处理后期,当类蛋白质物质经生化处理去除后,剩下的主要为类腐殖质物质时,生化性较差,需要经过物化方法进行处理^[4].

为了深入研究堆肥过程渗滤液 DOM 的三维荧光光谱图变化,将各样品的三维荧光光谱图依据所对应区域代表荧光物质类型的不同分为 I、II、III、IV、V 共 5 个区域,其对应的激发波长/发射波长分别为 200 ~ 250/280 ~ 330 nm、200 ~ 250/330 ~

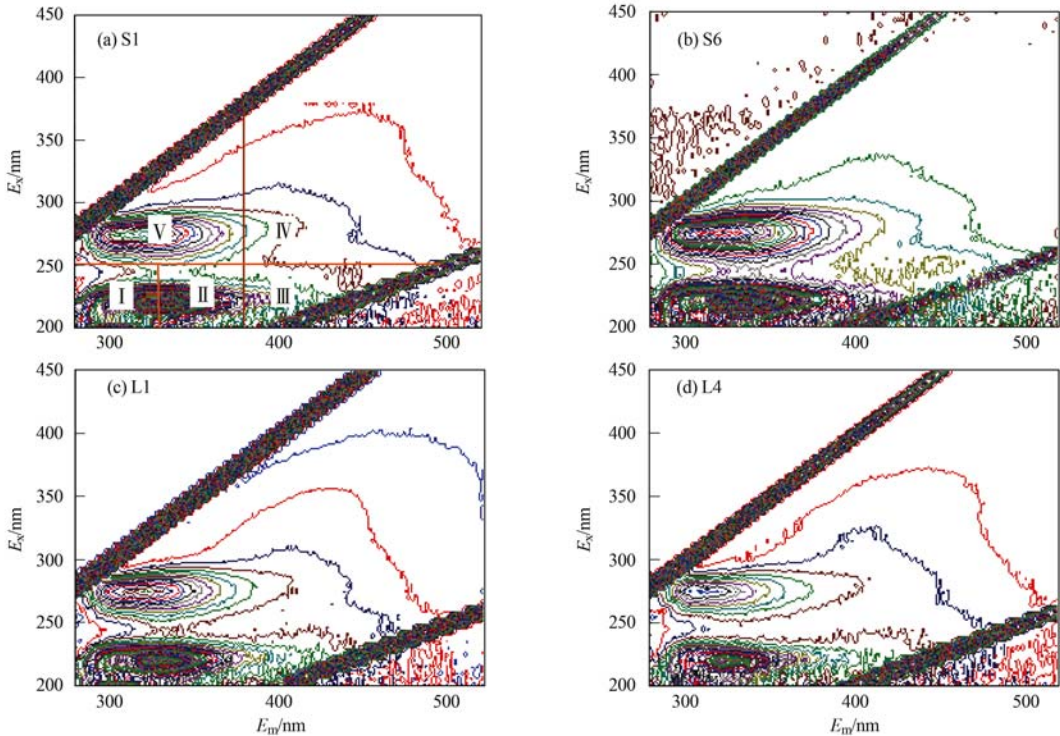


图 3 堆肥渗滤液 DOM 的三维荧光光谱图

Fig. 3 Excitation-emission matrix fluorescence spectra of DOM from composting leachates

380 nm、200 ~ 250/380 ~ 520 nm、250 ~ 450/280 ~ 380 nm 及 250 ~ 450/380 ~ 520 nm, 根据何小松等^[18]的报道可知, 区 I 来源于类色氨酸物质, 区 II 来源于类酪氨酸物质, 区 III 与类富里酸物质有关, 区 IV 为可溶性微生物降解产物产生的, 区 V 为类胡敏酸物质区, 计算各区的区域体积占总体积的百分比, 结果显示 (图 4): 初始阶段, 渗滤液 DOM 的三维荧光图中类蛋白质和可溶性微生物降解产物的体积百分数 (区 I、II、III) 在 20% ~ 26% 间, 而类腐殖质物质荧光区 (区 IV、V) 的百分含量数在 14% ~ 16%, 在堆肥的中期 (S3 ~ S5), 类蛋白和可溶性微生物降解产物的对应区域 (区 I、II、III) 荧光体积百分比呈现出上升的趋势, 而类腐殖质物质对应的区域荧光 (区 IV、V) 体积百分比呈下降趋势, 显示这一时期微生物活动频繁, 有机物降解剧烈^[22], 不溶性有机物水解成为简单的类蛋白质, 腐殖质类

物质被降解, 堆肥渗滤液可生化性提高了, 随后, 在一次发酵后期 (S5 ~ S6) 和整个二次发酵过程中 (L1 ~ L4), 类蛋白和可溶性微生物降解产物对应的区域荧光体积百分比一直呈下降趋势, 而腐殖质类物质对应的区域荧光体积百分比呈上升趋势, 显示这一时期堆肥有机物中腐殖质物质增多, 渗滤液可生化性变差, 这与其他研究者对堆肥过程物质转化规律研究所得结果一致^[23,24]. 因此, 在整个堆肥过程中, 堆肥渗滤液的可生化性先增强后又变差了. 不过, 堆肥渗滤液的主要产生期为一次发酵前期和中期, 在一次发酵后期和二次发酵渗滤液产生量很少, 因此, 堆肥渗滤液主要为类蛋白质类简单有机物, 适合生化处理, 当这些结构简单的蛋白质类物质经生化处理去除后, 剩下的主要为生化性差的腐殖质类物质了, 需要经过物化处理如高级氧化、膜过滤以提高其可生化性或将其直接去除^[25].

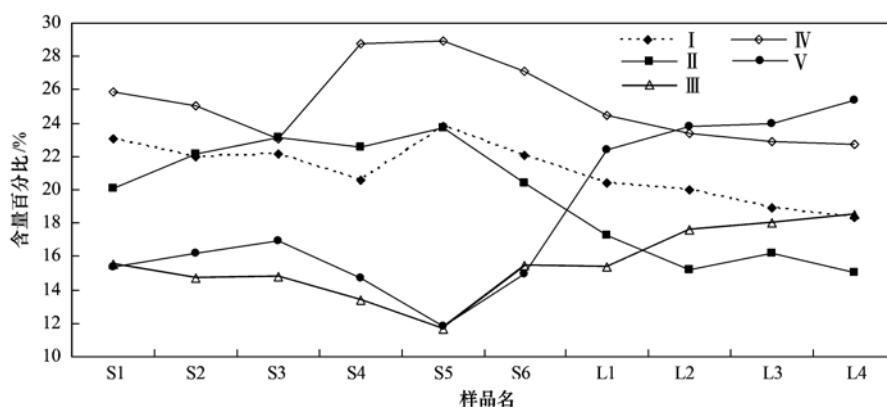


图 4 堆肥渗滤液 DOM 三维荧光光谱图不同区域所占体积百分比分布

Fig. 4 Distribution of different regions' volume fraction in excitation-emission matrix fluorescence spectra of DOM from composting leachates

3 结论

(1) 随着堆肥的进行, 堆肥渗滤液 pH 呈上升趋势, 而 EC 及 F^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ -N 的浓度呈下降趋势, NO_2^- -N、 NO_3^- -N 及 Org-N 的浓度与渗滤液的氧化还原氛围有关, 二次发酵过程的还原性氛围导致 NO_3^- -N 浓度下降与 NO_2^- -N、Org-N 浓度的升高.

(2) 堆肥过程中, 渗滤液中 As、Pb、Cd、Cu、Zn 随堆肥进行浓度呈下降趋势, 而 Cr、Ni、Fe、Mn 随堆肥进行浓度呈上升趋势, 渗滤液中重金属浓度较高, 不能用于堆肥回流.

(3) 渗滤液有机物中主要为类蛋白类简单物质, 但亦含有类腐殖质物质, 在堆肥过程中类蛋白质相对含量先增加后减少, 而类腐殖质物质相对含量先减少后增加, 堆肥渗滤液适合先生生化处理渗滤

液类蛋白质, 而物化处理去除类腐殖质物质.

参考文献:

- [1] 何小松, 席北斗, 魏自民, 等. 堆放垃圾渗滤液水溶性有机物的荧光特性[J]. 中国环境科学, 2010, **30**(6): 328-332.
- [2] Baker A, Curry M. Fluorescence of leachates from three contrasting landfills[J]. Water Research, 2004, **38**(10): 2605-2613.
- [3] Bu L, Wang K, Zhao Q L, et al. Characterization of dissolved organic matter during landfill leachate treatment by sequencing batch reactor, aeration corrosive cell-Fenton, and granular activated carbon in series[J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, **179**(1-3): 1096-1105.
- [4] 何小松, 于静, 席北斗, 等. 填埋垃圾渗滤液中水溶性有机物去除规律研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, **32**(9): 2528-2533.
- [5] Fischer D K. Environmental impact of composting plants[A]. In: De Bertoldi M, Bert P, Tiziano P (Eds.). The Science of Composting[C]. London: Blackie Academic & Professional,

- 1996: 81-86.
- [6] Liu C H, LO K V. Ammonia removal from compost leachate using zeolite. II. A study using continuous flow packed columns [J]. Journal of Environmental Science & Health, Part B- Pesticides, Food Contaminants, & Agricultural Wastes, 2001, **36**(5): 667-675.
- [7] Guo M X, Chorver J. Leachate migration from spent mushroom substrate through intact and repacked subsurface soil columns [J]. Waste Management, 2006, **26**(2): 133-140.
- [8] Jarecki M, Chong C, Voroney R. Evaluation of compost leachates for plant growth in hydroponic culture[J]. Journal of Plant Nutrition, 2005, **28**(4): 651-667.
- [9] Gils J, Chong C, Lurnis G. Response of container-grown ninebark to crude and nutrient-enriched recirculating compost leachates[J]. HortScience, 2005, **40**(5): 1507-1512.
- [10] 曾现来, 张增强, 刘旭东, 等. 垃圾好氧堆肥渗滤液与填埋场渗滤液比较[J]. 水土保持研究, 2007, **14**(6): 325-327.
- [11] 郝莹. ICP-AES 测定堆肥渗滤液中重金属含量[J]. 光谱实验室, 2009, **26**(3): 714-717.
- [12] 李明, 彭绪亚, 赵由才, 等. 垃圾渗滤液微生物循环接种强化堆肥碳素和氮素迁移[J]. 有色金属设计与研究, 2007, **28**(2-3): 198-214.
- [13] 曾现来, 张增强, 张永涛, 等. 堆肥渗滤液循环喷淋对城市生活垃圾好氧堆肥效果的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, **35**(7): 183-187.
- [14] He X S, Xi B D, Jiang Y H, *et al.* Structural transformation study of water-extractable organic matter during the industrial composting of cattle manure[J]. Microchemical Journal, 2013, **106**(1): 160-166.
- [15] Zhang L, Li A M, Lu Y F, *et al.* Characterization and removal of dissolved organic matter (DOM) from landfill leachate rejected by nanofiltration [J]. Waste Manage, 2009, **29**(3): 1035-1040.
- [16] 环境保护部, GB 16889-2008 生活垃圾填埋场污染控制标准 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.
- [17] Fuentes M, González-Gaitano G, García-Mina J M. The usefulness of UV-visible and fluorescence spectroscopies to study the chemical nature of humic substances from soils and composts [J]. Organic Geochemistry, 2006, **37**(12): 1949-1959.
- [18] 何小松, 刘晓宇, 魏东, 等. 荧光光谱研究垃圾堆场渗滤液水溶性有机物与汞作用[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, **29**(8): 2204-2207.
- [19] 李英军, 何小松. 鸡粪堆肥水溶性有机物转化特性研究[J]. 环境工程学报, 2010, **4**(9): 2135-2140.
- [20] He X S, Xi B D, Wei Z M, *et al.* Fluorescence excitation-emission matrix spectroscopy with regional integration analysis for characterizing composition and transformation of dissolved organic matter in landfill leachates[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, **190**(2-3): 293-299.
- [21] Chen W, Westerhoff P, Leenheer J A, *et al.* Fluorescence excitation-emission matrix regional integration to quantify spectra for dissolved organic matter [J]. Environmental Science and Technology, 2003, **37**(24): 5701-5710.
- [22] Marhuenda-Egea F C, Martinez-Sabater E, Jorda J, *et al.* Dissolved organic matter fractions formed during composting of winery and distillery residues: evaluation of the process by fluorescence excitation-emission matrix [J]. Chemosphere, 2007, **68**(2): 301-309.
- [23] Shao Z H, He P J, Zhang D Q, *et al.* Characterization of water-extractable organic matter during the biostabilization of municipal solid waste[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, **164**(2-3): 1191-1197.
- [24] He X S, Xi B D, Wei Z M, *et al.* Spectroscopic characterization of water extractable organic matter during composting of municipal solid waste[J]. Chemosphere, 2011, **82**(4): 541-548.
- [25] Zhang A M, Li Y F, Lu L *et al.* Characterization and removal of dissolved organic matter (DOM) from landfill leachate rejected by nanofiltration[J]. Waste Management, 2009, **29**(3): 1035-1040.

CONTENTS

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

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

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

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年7月15日 34卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 7 Jul. 15, 2013

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

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行