

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第10期

Vol.34 No.10

**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

南京地区大气气溶胶 PM<sub>2.5</sub> 中稳定碳同位素组成研究 ..... 吴梦龙, 郭照冰, 刘凤玲, 孙德玲, 卢霞, 姜文娟 (3727)

太原市空气颗粒物中正构烷烃分布特征及来源解析 ..... 胡冬梅, 彭林, 白慧玲, 牟玲, 韩锋, 刘效峰, 冀豪栋, 张鹏九 (3733)

交通与气象因子对不同粒径大气颗粒物的影响机制研究 ..... 罗娜娜, 赵文吉, 晏星, 官兆宁, 熊秋林 (3741)

公交车燃用生物柴油的颗粒物排放特性 ..... 楼狄明, 陈峰, 胡志远, 谭丕强, 胡炜 (3749)

兰州及其周边区域大气降水 δ<sup>18</sup>O 特征及其水汽来源 ..... 陈粉丽, 张明军, 马潜, 李小飞, 王圣杰, 李菲 (3755)

天山乌鲁木齐河源 1 号冰川区气溶胶水溶性离子变化特征及来源分析 ..... 岳晓英, 李忠勤, 张明军, 周平, 樊晋 (3764)

O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 氧化苯乙烯气体性能及机制 ..... 何觉聪, 黄倩茹, 叶杞宏, 罗雨薇, 张再利, 樊青娟, 魏在山 (3772)

马尾松针叶组织稳定硫同位素地球化学特征及来源示踪 ..... 关晖, 肖化云, 朱仁果, 郑能建, 瞿玲露 (3777)

江西省表层土壤和苔藓硫含量及硫同位素组成对比研究 ..... 李男, 肖化云, 陈永忠, 周丹, 罗笠, 吴代敏 (3782)

辽河流域非点源污染空间特征遥感解析 ..... 王雪蕾, 蔡明勇, 钟部卿, 姚延娟, 殷守敬, 吴迪 (3788)

景观带尺度高寒区水文特征时空变化规律研究 ..... 杨永刚, 胡晋飞, 肖洪浪, 邹松兵, 尹振良 (3797)

金普湾海域表层沉积物中基质结合态磷化氢的分布特征 ..... 游丽丽, 宗海波, 张淑芳, 尹国宇, 李涛, 侯立军 (3804)

崇明东滩湿地干湿交替过程脲酶活性变化初探 ..... 韩建刚, 曹雪 (3810)

FDA 水解酶分析法表征近海泥滩微生物活性 ..... 刘叶, 邹立, 刘陆, 高冬梅 (3818)

中国东北主要河流沉积物中多溴二苯醚的含量状况及生态风险分析 ..... 袁海峰, 成杭新, 赵传冬, 刘应汉, 杨柯, 李括, 彭敏, 刘飞 (3825)

深圳大鹏湾海域表层沉积物和生物体中多环芳烃残留及其风险评价 ..... 孙闰霞, 柯常亮, 谷阳光, 卢腾腾, 杜飞雁, 马胜伟, 林钦 (3832)

PMF 和 PCA/MLR 法解析上海市高架道路地表径流中多环芳烃的来源 ..... 边璐, 李田, 侯娟 (3840)

三峡库区蓄水初期大宁河重金属食物链放大特征研究 ..... 余杨, 王雨春, 周怀东, 高博, 赵高峰 (3847)

小型封闭水体环境因子与叶绿素 a 的时空分布及相关性研究 ..... 李飞鹏, 张海平, 陈玲 (3854)

太湖氮、磷自净能力的实验与模型模拟 ..... 韩涛, 翟淑华, 胡维平, 张红举, 李钦钦 (3862)

湖泊疏浚方式对内源释放影响的模拟研究 ..... 陈超, 钟继承, 范成新, 孔明, 余居华 (3872)

水体/底泥生物基城市河道富营养化水体修复试验研究 ..... 周慧华, 宋晓光, 吴革, 谢鑫源 (3879)

底泥调控剂对感潮河涌沉积物中重金属的影响 ..... 区凤荏, 孙国萍, 许玫英 (3888)

区域水化学条件对淮南采煤沉陷区水域沉积物磷吸附特征的影响研究 ..... 易齐涛, 孙鹏飞, 谢凯, 曲喜杰, 王婷婷 (3894)

4 种人工湿地填料的 f<sub>2</sub> 噬菌体吸附特性 ..... 陈迪, 郑祥, 魏源送, 杨勇 (3904)

稻壳灰对抗生素磺胺的吸附特性研究 ..... 纪莹雪, 王凤贺, 张帆, 张艳红, 王国祥, 顾中铸 (3912)

紫外辐射对腐殖酸化学稳定性影响机制研究 ..... 王文东, 周礼川, 丁真真, 王洪平, 孙学军 (3921)

基于石墨烯载体的铁基材料制备及除砷性能比较 ..... 朝木尔乐格, 冯流, 霍艳霞 (3927)

nTiO<sub>2</sub> 在水中的分散沉降行为研究 ..... 陈金媛, 方金凤, 魏秀珍 (3933)

微生物-铁氧化物交互作用对黄土中砷活化迁移的影响 ..... 谢芸芸, 陈天虎, 周跃飞, 谢巧勤 (3940)

两性离子在聚偏氟乙烯 (PVDF) 膜表面接枝改性的研究 ..... 周桂花, 肖峰, 肖萍, 王东升, 段晋明, 石健, 臧莉 (3945)

化粪池排口处土壤对典型农户生活污水氮素污染物的消减测算研究 ..... 周锋, 王文林, 王国祥, 马久远, 万寅婧, 唐晓燕, 梁斌, 季斌 (3954)

珠江三角洲典型集约化猪场废水污染特征及风险评价 ..... 李文英, 彭智平, 于俊红, 黄继川, 徐培智, 杨少海 (3963)

污泥堆肥草坪基质利用对草坪生长及土壤和水环境的影响 ..... 金树权, 周金波, 陈若霞, 林斌, 王德耀 (3969)

活性污泥絮体粒径分布与分形维数的影响因素 ..... 李振亮, 张代钧, 卢培利, 曾善文, 杨永浩 (3975)

不同恢复方式对硝化颗粒污泥活性的影响 ..... 郭秀丽, 高大文, 卢健聪 (3981)

生物陶粒反应器的氨自养反硝化研究 ..... 陈丹, 王弘宇, 宋敏, 杨开, 刘晨 (3986)

亚高山草甸土壤呼吸的空间异质性研究 ..... 严俊霞, 李君剑, 王洪建, 张义辉 (3992)

SiB3 模式对作物区 CO<sub>2</sub> 通量的模拟研究 ..... 张庚军, 卢立新, 蒋玲梅, 蒋磊, Ian Baker (4000)

缙云山土地利用方式对土壤活性有机质及其碳库管理指数的影响 ..... 徐鹏, 江长胜, 郝庆菊, 祝滔 (4009)

典型农业城市街道灰尘重金属特征及其环境风险评价: 以许昌市为例 ..... 闫慧, 陈杰, 肖军 (4017)

苏州、无锡和南通道路灰尘中的多溴联苯醚和多氯联苯 ..... 史双昕, 董亮, 李玲玲, 张辉, 李斯明, 张天野, 黄业茹 (4024)

废旧汽车拆解区土壤中多环芳烃垂向分布特性 ..... 吴彦瑜, 胡小英, 洪鸿加, 彭晓春 (4031)

铬污染土壤的稳定化处理及其长期稳定性研究 ..... 王旌, 罗启仕, 张长波, 谈亮, 李旭 (4036)

典型磺胺类抗生素在土柱中的淋溶规律研究 ..... 李曼, 陈卫平, 魏福祥, 焦文涛 (4042)

3 种金属氧化物纳米材料在不同土壤中运移行为研究 ..... 方婧, 余博阳 (4050)

多孔介质中 NAPLs 流体毛细管指进形态及分形表征 ..... 李慧颖, 杜晓明, 杨宾, 伍斌, 徐竹, 史怡, 房吉敦, 李发生 (4058)

毛竹入侵对常绿阔叶林主要树种的化感作用研究 ..... 白尚斌, 周国模, 王懿祥, 梁倩倩, 陈娟, 程艳艳, 沈蕊 (4066)

珠江口典型水产养殖区抗生素抗性基因污染的初步研究 ..... 梁惜梅, 袁湘平, 施震 (4073)

江苏盐城地区水产品重金属含量与安全评价 ..... 刘洋, 付强, 高军, 徐网谷, 殷波, 曹亚乔, 秦卫华 (4081)

铜胁迫对不同基因型谷子幼苗基因组 DNA 多态性的影响 ..... 张义贤, 付亚萍, 肖志华, 张喜文, 李萍 (4090)

利用高通量测序对封存 CO<sub>2</sub> 泄漏情景下土壤细菌的研究 ..... 田地, 马欣, 李玉娥, 查良松, 伍洋, 邹晓霞, 刘爽 (4096)

酸性矿山水区域废矿石中真核生物多样性分析 ..... 李思远, 郝春博, 王丽华, 吕铮, 张丽娜, 刘莹, 冯传平 (4105)

十溴联苯醚降解菌的特性及功能蛋白初步分析 ..... 常晶晶, 尹华, 秦华明, 叶锦韶, 彭辉, 宋小飞 (4112)

硒对水稻吸收积累和转运锰、铁、磷和硒的影响 ..... 胡莹, 黄益宗, 黄艳超, 刘云霞, 梁建宏 (4119)

外源铁对不同番茄品种生理特性、镉积累及化学形态的影响 ..... 刘俊, 周坤, 徐卫红, 陈惠, 张明中, 江玲, 杨芸, 王崇力, 熊治庭 (4126)

电子废物排放持久性有毒污染物的控制政策分析 ..... 李力, 吕永龙, 王铁宇 (4132)

《环境科学》征稿简则 (3926) 《环境科学》征订启事 (4057) 信息 (3878, 3953, 3999, 4041)

# 污泥堆肥草坪基质利用对草坪生长及土壤和水环境的影响

金树权<sup>1</sup>, 周金波<sup>1</sup>, 陈若霞<sup>1</sup>, 林斌<sup>2</sup>, 王德耀<sup>3</sup>

(1. 宁波市农业科学研究院生态环境研究所, 宁波 315040; 2. 宁波市固体废物管理中心, 宁波 315040; 3. 慈溪市金地生物堆肥专业合作社, 宁波 315300)

**摘要:** 利用污泥堆肥和土壤按不同体积比例混合(污泥堆肥添加比例分别为 0%、10%、25%、50%、75% 和 100%) 作为草坪基质进行马尼拉草坪盆栽试验, 分析污泥堆肥草坪基质利用对草坪生长及土壤和水环境的影响。结果表明, 马尼拉的生长势随草坪基质中污泥堆肥添加比例的提高而增强; 马尼拉的植物 Hg 含量与草坪基质的 Hg 含量存在较高相关性; 草坪基质的 Cr、Cd、Hg 含量随污泥堆肥添加比例的提高而显著提高, 但均未超过土壤三级标准; 各处理淋溶液和草坪基质的重金属和氮含量存在较高相关性, 本试验中当污泥堆肥添加比例达到 50% 以上时, 淋溶液将出现 Cd 和硝酸盐浓度超标现象。

**关键词:** 污泥堆肥; 草坪基质; 草坪生长; 土壤和水环境

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)10-3969-06

## Effects of Sludge Compost Used as Lawn Medium on Lawn Growth and Soil and Water Environment

JIN Shu-quan<sup>1</sup>, ZHOU Jin-bo<sup>1</sup>, CHEN Ruo-xia<sup>1</sup>, LIN Bin<sup>2</sup>, WANG De-yao<sup>3</sup>

(1. Ecology and Environment Institute, Ningbo Academy of Agricultural Science, Ningbo 315040, China; 2. Solid Waste Management Center of Ningbo, Ningbo 315040, China; 3. Golden Land Biological Compost Cooperative of Cixi City, Ningbo 315300, China)

**Abstract:** To address effect of the sludge compost-containing medium on the growth of Manila lawn and environment quality, a pot experiment was conducted using six treatments based on contrasting sludge compost addition volume ratios in the soil system (i. e., 0%, 10%, 25%, 50%, 75% and 100%). The results indicated that the growth potential of Manila lawn was increased with increasing sludge compost addition volume ratio. The content of Hg in Manila plant was significantly positively correlated with that in the lawn medium. Although the contents of Cr, Cd and Hg in the lawn medium were synchronously increased with increasing sludge compost addition volume ratio in the soil system, their contents were all lower than the critical levels of third-class standard in the National Soil Environmental Quality Standard. The heavy metal and nitrate concentrations detected in percolating water were significantly positively correlated with those in the lawn medium, respectively. When the sludge compost addition volume ratio was more than 50% in this study, both heavy metal and nitrate concentrations in percolating water would exceed the maximum allowable levels of the National Groundwater Environment Quality Standard.

**Key words:** sludge compost; lawn medium; lawn growth; soil and water environment

随着城镇生活污水处理规模的不断扩大, 剩余污泥产生量急剧增加, 选择科学合理的污泥资源化利用途径不仅可以避免剩余污泥的二次污染问题, 也可充分利用剩余污泥的有效成分<sup>[1~3]</sup>。剩余污泥中含有大量的有机质和营养元素, 但同时也含有病原体、寄生虫(卵)、重金属和难降解有机污染物等有害物质<sup>[4,5]</sup>, 正是由于这些不利因素剩余污泥即使经过处理后进行农业利用, 人们仍然会担心土壤污染和影响农产品品质问题。目前城镇绿化建设过程中, 草坪卷由于具有易装运、成坪快等优点被普遍用于裸地绿化铺设, 然而草坪卷的大量生产会带走表层土从而破坏耕作层土壤, 造成土地资源浪费和生态环境破坏<sup>[6]</sup>。如果将剩余污泥进行好氧堆肥后的产品进行草坪基质利用, 不但可避开人类食物

链, 而且有研究显示利用污泥堆肥作为草坪基质还具有缩短草坪成坪时间、提高草坪品质等优点<sup>[7,8]</sup>, 这对于剩余污泥的处理处置无疑是一条兴利抑弊的好途径。

剩余污泥经好氧堆肥处理后可以有效腐熟并杀灭病原体和寄生虫(卵), 部分重金属可以被钝化, 但并不能去除污泥中的重金属, 因而污泥堆肥使用仍存在一定的土壤重金属污染风险, 另一方面目前堆肥利用对水环境污染方面研究相对较少, 污泥堆肥中过高的氮、磷营养成分施入土壤后易随雨水淋

收稿日期: 2013-01-18; 修订日期: 2013-04-08

基金项目: 宁波市科技局农业科研攻关项目(2009C50033)

作者简介: 金树权(1981~), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为固体废物利用和农村生态环境保护, E-mail: jinshuq@126.com

溶而对水环境构成潜在的水体富营养化风险,这些因素限制了污泥堆肥土地利用的可能和范围<sup>[9~11]</sup>.

本研究利用污泥堆肥和土壤按不同体积比例合作为草坪基质进行马尼拉草坪盆栽试验,分析污泥堆肥草坪基质利用对草坪生长及土壤和水环境的影响,以期为污泥堆肥作为草坪基质的科学合理利用提供理论依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

本试验在浙江省慈溪市金地生物堆肥合作社大棚内进行,试验期间大棚顶膜覆盖、边膜敞开.试验采用 50 cm × 30 cm × 20 cm 的塑料盆进行盆栽试验,各处理基质采用污泥堆肥和土壤按不同体积比例进行充分混合后的混合土,共设 6 个处理各 3 次重复:CK(100% 土壤)、1 号(10% 污泥

堆肥 + 90% 土壤)、2 号(25% 污泥堆肥 + 75% 土壤)、3 号(50% 污泥堆肥 + 50% 土壤)、4 号(75% 污泥堆肥 + 25% 土壤)、5 号(100% 污泥堆肥). 试验于 2012 年 3 月 28 日开始每盆均匀播种马尼拉草种 5.0 g,于 2012 年 5 月 17 日进行最后一次采样后结束.

### 1.2 供试材料

供试植物为马尼拉(*Zoysia matrella*),草种购自江苏省沐阳县建陵花卉园艺场.供试土壤取自试验大棚附近旱作地 0~20 cm 表层土,属碱性黏土.供试污泥堆肥是原料为剩余污泥、鸡粪和木屑经充分腐熟后的好氧堆肥产品,其中剩余污泥取自宁波市北区污水处理厂,该厂为城镇集中式生活污水处理厂,以处理城区生活污水为主但也接纳小部分工业废水,鸡粪和木屑取自附近的养鸡场和木材加工厂.供试土壤和污泥堆肥的基本理化性质见表 1.

表 1 供试土壤和污泥堆肥基本性质

Table 1 Properties of experimental soil and sludge compost

项目	pH	EC / $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	容重 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	总孔隙度 /%	阳离子交换量(CEC) / $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$	有机质 / $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	
供试土壤	7.42	478	1.41	46.8	8.2	12.3	
供试污泥堆肥	7.12	3 280	0.78	70.6	25.1	215.2	
项目	全氮(以 N 计) / $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	全磷(以 $\text{P}_2\text{O}_5$ 计) / $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Cr / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Cd / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Hg / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Pb / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	As / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
供试土壤	0.69	0.96	71.0	0.104	0.045	26.8	9.2
供试污泥堆肥	12.4	15.8	127.0	0.730	0.460	24.0	7.4

### 1.3 取样和样品处理

试验于 2012 年 3 月 28 日播种前采集各处理的草坪基质样品,采样时在各盆内随机取 5 点,混合后用四分法取 100 g 混合土样,去除石砾和植物残体后过 2 mm 筛后装瓶备用;于 2012 年 5 月 17 日采集各盆内全部马尼拉并进行考种测定植物基本性状,之后用清水洗净植物在烘箱内烘干(80℃)后称生物量,将烘干后的植物样品用碾磨机粉碎,过 0.25 mm 筛后用于植物重金属含量测定;于 2012 年的 3 月 28 日、4 月 13 日、4 月 29 日、5 月 10 日进行 4 次淋溶试验,每次淋溶试验时各处理基质表面均匀浇注蒸馏水,通过试验盆底部托盘的穿孔引流到量筒收集初期渗滤液 100 mL,水样收集后进行水质重金属和硝酸盐浓度测定.

### 1.4 样品测定方法

#### 1.4.1 土壤及污泥堆肥样品测定方法

土壤 pH 值测定采用玻璃电极法;土壤容重采用环刀法;总孔隙度采用计算法;阳离子交换量(CEC)采用乙酸铵交换法;有机质测定采用重铬酸

钾法;全氮(以 N 计)测定采用半微量凯氏定氮法;全磷(以  $\text{P}_2\text{O}_5$  计)测定用  $\text{HClO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$  消煮后采用钼锑抗比色法;土壤重金属采用  $\text{HF-HClO}_4\text{-HNO}_3$  法消煮,Cr、Cd、Pb 含量测定采用火焰原子吸收分光光度法,Hg、As 含量测定采用原子荧光法<sup>[12,13]</sup>.

#### 1.4.2 植物样品测定方法

马尼拉草坪成坪时间为草坪盖度达到 80% 的所需时间,根据马尼拉生长情况观察得出;马尼拉平均株高和平均茎粗分别采用直尺和游标卡尺进行测定;叶面叶绿素采用 SPAD-502 Plus 便携式叶绿素仪进行测定;生物量使用烘干法(80℃)进行测定.植物重金属采用  $\text{HF-HClO}_4\text{-HNO}_3$  法消煮,Cr、Cd、Pb 含量测定采用火焰原子吸收分光光度法,Hg、As 含量测定采用原子荧光法<sup>[12,13]</sup>.

#### 1.4.3 水质样品测定法

水质 Cr、Cd、Pb 含量测定采用火焰原子吸收分光光度法,Hg、As 含量测定采用原子荧光法;硝酸盐浓度测定采用紫外分光光度法<sup>[14]</sup>.

### 1.5 数据处理

数据采用 SPSS 15.0 软件进行单因素方差 (One-Way ANOVA) 分析和相关性分析, 不同处理之间多重比较采用 Duncan 新复极差方法, 然后经过  $t$  检验 ( $P < 0.05$ )。制图软件采用 Origin 7.5。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同污泥堆肥处理对草坪生长的影响

从表 2 可以看出, 各处理草坪成坪时间随基质中污泥堆肥添加比例的提高而缩短, 全部利用污泥堆肥作为草坪基质的 5 号处理的成坪时间比全部利用土壤作为草坪基质的 CK 缩短一半以上。草坪成

坪时间是指草坪盖度达到 80% 的时间<sup>[15]</sup>, 是衡量草坪生长的一个重要评价指标。成坪时间短, 表明幼苗活力强, 苗期抗性好, 该种草坪基质有利于草坪草生长, 本试验中添加不同比例污泥堆肥均利于草坪生长。从植物性状看, 各处理马尼拉平均株高随基质中污泥堆肥添加比例的提高而增高, 而各处理之间马尼拉平均茎粗不存在显著性差异, 基质中添加污泥堆肥的 5 个处理的马尼拉叶面叶绿素均显著高于 CK。从植物生物量看, 各处理马尼拉生物量随基质中污泥堆肥添加比例的提高而显著增加, 5 号处理的马尼拉生物量是 CK 的 6.5 倍。

表 2 各处理草坪盆栽的成坪时间、植物性状和生物量<sup>1)</sup>

Table 2 Formation time, botanical phenotype and biomass of lawn in different pot treatments

处理	成坪时间 /d	平均株高 /cm	平均茎粗 /mm	叶面平均 叶绿素/SPD	生物量(干重) /g·m <sup>-2</sup>
CK(100% 土壤)	52.00f	5.22a	1.17a	21.99a	56.60a
1 号(10% 堆肥 + 90% 土壤)	37.33c	7.44a	1.39b	35.29b	107.80b
2 号(25% 堆肥 + 75% 土壤)	34.67c	8.23a	1.21ab	37.34b	143.20c
3 号(50% 堆肥 + 50% 土壤)	33.00b	14.89b	1.37ab	40.07b	215.07d
4 号(75% 堆肥 + 25% 土壤)	31.67b	19.85c	1.34ab	35.59b	287.13e
5 号(100% 堆肥)	25.00a	25.14d	1.24ab	36.71b	368.07f

1) 各列中的字母表示统计分析的显著性, 相同字母表示不显著, 不同的字母表示在  $P = 0.05$  水平上显著, 下同

从表 3 可以看出, 各处理草坪盆栽的植物 Cr 含量较为接近且不存在显著性差异, 各处理的植物 Cd、Pb、As 含量存在一定差异但无明显规律, 但是不同处理的植物 Hg 含量随基质中污泥堆肥添加比例的提高而显著增加。

### 2.2 不同污泥堆肥处理对土壤养分和重金属含量的影响

从表 4 可以看出, CK 的土壤和 5 号处理的污泥堆肥的有机质、营养元素和重金属含量均存在较大

差异, 污泥堆肥的有机质、全氮和全磷含量均显著高于土壤, 污泥堆肥的 Cr、Cd 和 Hg 含量均显著高于土壤, 特别是污泥堆肥的 Cd 和 Hg 含量分别是土壤的 7.0 倍和 10.2 倍, 但是污泥堆肥的 Pb 和 As 含量略低于土壤。各处理的有机质、营养元素和重金属含量存在差异主要由于土壤和污泥堆肥的混合比例不同而造成, 从表 4 可以看出各处理的有机质、全氮、全磷、Cr、Cd 和 Hg 含量随基质中污泥堆肥添加比例的提高而显著提高, Pb 和 As 含量则较为接近。

表 3 各处理草坪盆栽的植物重金属含量/mg·kg<sup>-1</sup>

Table 3 Heavy metal contents in lawn of different pot treatments/mg·kg<sup>-1</sup>

处理	Cr	Cd	Hg	Pb	As
CK(100% 土壤)	43.12a	0.28a	0.11a	4.70b	1.71b
1 号(10% 堆肥 + 90% 土壤)	45.43a	0.33b	0.12b	5.00b	2.32e
2 号(25% 堆肥 + 75% 土壤)	40.64a	0.31ab	0.14c	3.51a	2.03d
3 号(50% 堆肥 + 50% 土壤)	44.56a	0.40c	0.16d	3.52a	1.92cd
4 号(75% 堆肥 + 25% 土壤)	45.68a	0.34b	0.17d	3.74a	1.77bc
5 号(100% 堆肥)	42.79a	0.33b	0.20e	5.76c	1.56a

从表 4 可以看出, 污泥堆肥(5 号处理)的重金属含量均低于《城镇污水处理厂污泥处置园林绿化泥质》(GB/T 23486-2009) 中在中碱性土壤 ( $pH \geq 6.5$ ) 上相应的重金属限制标准, 表明本研究污泥堆肥草坪基质利用符合标准。根据《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995), 土壤二级标准为保障农业生

产, 维护人体健康的土壤限制值; 土壤三级标准为保障农林业生产和植物正常生长的土壤临界值。从表 4 可以看出, 供试土壤(CK 处理) 重金属含量均低于土壤二级标准, 1 号和 2 号处理重金属含量均低于土壤二级标准, 3~5 号处理的 Cd 含量超过土壤二级标准但低于土壤三级标准, 表明各处理添加

表 4 各处理草坪基质的有机质、营养元素和重金属含量

Table 4 Organic matter, nutrition elements and heavy metal contents in different lawn medium

处理与标准 <sup>1)</sup>	有机质 /g·kg <sup>-1</sup>	全氮(以 N 计) /g·kg <sup>-1</sup>	全磷(以 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 计) /g·kg <sup>-1</sup>	Cr /mg·kg <sup>-1</sup>	Cd /mg·kg <sup>-1</sup>	Hg /mg·kg <sup>-1</sup>	Pb /mg·kg <sup>-1</sup>	As /mg·kg <sup>-1</sup>
CK(100% 土壤)	12.30a	0.69a	0.96a	71.00a	0.10a	0.05a	26.80d	9.20c
1 号(10% 堆肥 + 90% 土壤)	22.32b	1.52b	1.85b	74.13b	0.15b	0.07b	25.64cd	9.11c
2 号(25% 堆肥 + 75% 土壤)	41.21c	2.54c	3.08c	79.85c	0.21c	0.11c	26.24bcd	8.93bc
3 号(50% 堆肥 + 50% 土壤)	80.62d	5.11d	6.78d	90.28d	0.33d	0.18d	25.98bc	8.57b
4 号(75% 堆肥 + 25% 土壤)	137.84e	7.93e	10.25e	104.40e	0.48e	0.31f	25.54b	8.15a
5 号(100% 堆肥)	215.20f	12.4f	15.8f	127.00f	0.73f	0.46e	24.00a	7.40a
土壤二级标准	/	/	/	≤200	≤0.3	≤0.5	≤300	≤30
土壤三级标准	/	/	/	≤300	≤1.0	≤1.5	≤500	≤40
污泥园林绿化泥质标准	/	/	/	<1 000	<20	<15	<1 000	<75

1) 土壤二、三级标准指《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995)中的相应土壤标准值; 污泥园林绿化泥质标准为《城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化泥质》(GB/T 23486-2009)中在中碱性土壤(pH≥6.5)上的相应标准

不同比例的污泥堆肥后,甚至 100% 利用污泥堆肥作为草坪基质能满足保障植物正常生长的重金属限制标准。

### 2.3 不同污泥堆肥处理对水环境的影响

对于污泥堆肥作为基质利用后的淋溶液目前无明确的评价标准,由于降水后草坪基质的淋溶液主要进入地下水,因此本研究以《地下水质量标准》(GB/T 14848-93)的Ⅳ类标准作为评价标准(地下水Ⅳ标准以农业和工业用水要求为依据,除适用于农业和部分工业用水外,适当处理后可作生活用水)。本研究在试验开始后的 0、15、30 和 45 d 共进行 4 次草坪基质淋溶试验,淋溶液的重金属和硝酸盐含量和变化如图 1 所示,试验淋溶用水为蒸馏水,4 次淋溶试验用水各重金属均未检出,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 浓度 < 0.1 mg·L<sup>-1</sup>。

从图 1 可以看出,3~5 号处理淋溶液的 Cd 和硝酸盐含量出现超标现象,特别是 5 号处理淋溶液在 4 次淋溶试验中 Cd 和硝酸盐含量均较高,各处理淋溶液的 Cd 和硝酸盐含量随淋溶次数增多下降趋势较为明显。不同处理之间淋溶液的 Cr<sup>6+</sup> 和 Hg 含量随基质中污泥堆肥添加比例的提高而提高,同一处理淋溶液的 Cr<sup>6+</sup> 和 Hg 含量随栽培时间延长呈下降趋势,特别是 Cr<sup>6+</sup> 含量下降趋势最为明显,到第 4 次淋溶试验时各处理 Cr<sup>6+</sup> 含量几乎都为 0。各处理淋溶液的 Pb 和 As 含量差异不大,随淋溶次数增加浓度变化亦不大。

## 3 讨论

### 3.1 污泥堆肥对草坪生长的影响

从各处理草坪盆栽的成坪时间、植物性状和生

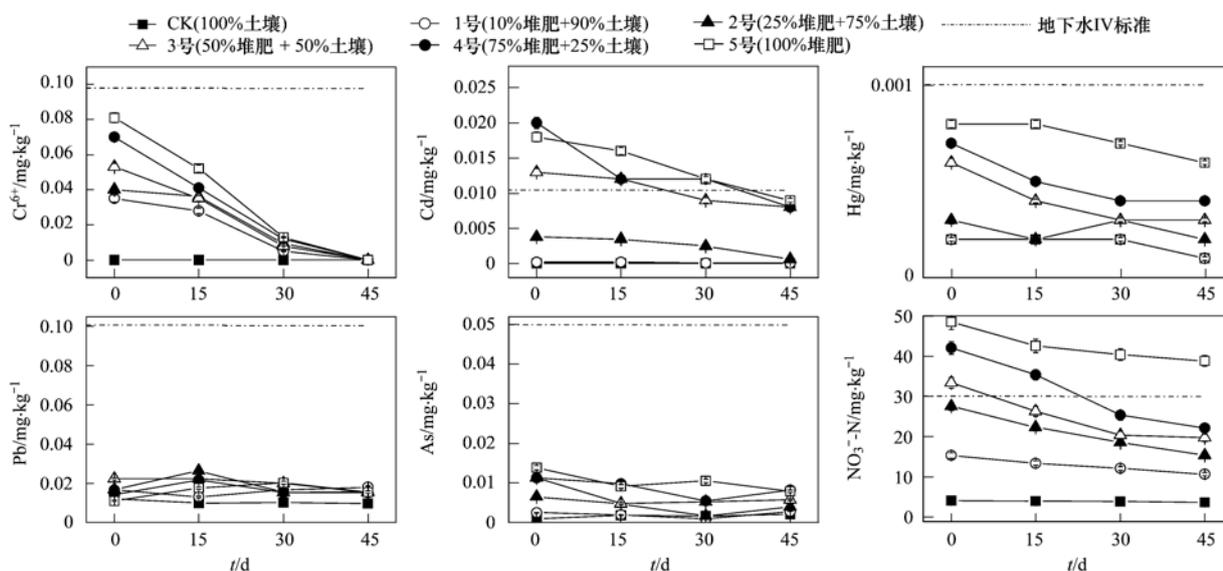


图 1 各处理淋溶液重金属和硝酸盐含量变化

Fig. 1 Variation of heavy metal and nitrate concentrations in leaching solution of different treatments

物量比较可以看出,污泥堆肥能促进马尼拉生长,而且马尼拉的生长势随基质中污泥堆肥添加比例的提高而增强,此结果与一些研究认为污泥施用超过一定量将对植物产生抑制的结论存在区别<sup>[16,17]</sup>,这一方面可能因为本试验的污泥堆肥已经充分腐熟对植物抑制作用较小,另一方面可能供试植物马尼拉具有较强的抗逆性也存在一定关系。

从表 3 马尼拉的植物重金属含量可以看出,各处理的植物 Cd 含量随基质中 Cd 含量的提高而提高,经相关性分析两者的相关系数为 0.957 \*\*,然而植物体内的并非所有重金属含量都与基质中相应的重金属含量存在较高的正相关关系,本试验中污泥堆肥中的 Cr 和 Hg 含量显著高于土壤,但各处理的植物 Cr 和 Hg 含量并未随基质中 Cr 和 Hg 含量的提高而提高,可见马尼拉对重金属富集具有选择性,这一结论与前人研究结果一致<sup>[18~20]</sup>。从另一角度考虑,由于马尼拉草坪不直接进入人类食物链,因而即使马尼拉存在一定的重金属富集作用也不会直接对人类健康产生影响。

### 3.2 污泥堆肥对土壤养分和重金属含量的影响

从表 4 各处理基质的检测结果可以看出,施用污泥堆肥可以提高草坪基质的有机质、全氮和全磷含量,能显著提高草坪基质的土壤肥力,这一结论与前人研究结果一致<sup>[21,22]</sup>,污泥堆肥中大量的腐殖质能使土壤结构得到改善,利于植物生长。

重金属污染问题一直是人们担心污泥土地利用的主要原因,是限制其大规模土地利用的最大障碍因素<sup>[19]</sup>。污泥堆肥的重金属含量直接取决于剩余污泥和调理剂的重金属含量,因此为保证污泥堆肥

能安全利用需对污泥堆肥原材料的重金属含量进行正确评估,从源头进行质量监控。目前剩余污泥在农用、园林绿化利用方面均已经有相关标准,污泥堆肥在使用过程中一定要符合相应标准,以免对土壤环境产生二次污染。

### 3.3 污泥堆肥对水环境的影响

由于污泥堆肥养分和重金属含量相对较高,在作为草坪基质利用过程中由于降水作用会产生对地表水和地下水环境的影响。草坪基质经雨水淋溶后大部分污染物质主要进入地下水,对所在区域的水环境将会产生一定影响。从图 1 淋溶液的检测结果可以看出,淋溶液中重金属和硝酸盐浓度的超标风险随草坪中污泥堆肥比例的提高而增加,本研究中当污泥堆肥添加比例达到 50% 以上时,淋溶液将出现 Cd 和硝酸盐浓度超标现象,这可能与污泥堆肥中含有较高的 Cd 和全氮有关。当然,从草坪基质渗滤液进入地下水还需经过土壤层,污染物浓度由于土壤层的各种物理、化学、生物作用<sup>[23,24]</sup>浓度将会进一步降低,因此本研究得出的结论是最为严格的限制值。

从表 5 各处理淋溶液和草坪基质的重金属和氮含量相关性分析可以看出,各处理淋溶液和基质的 Cr、Cd、Hg 和氮含量存在显著相关性,而 Pb 和 As 相关性不显著,可见淋溶液的重金属和硝酸盐浓度与基质的成分存在直接关系,因而从污泥堆肥草坪基质利用对水环境影响的角度考虑,需要控制污泥堆肥的添加量,这一结论与前人较为一致<sup>[25~27]</sup>。从本研究的试验分析,供试污泥堆肥添加比例应控制在 50% 以下。

表 5 各处理淋溶液和草坪基质的重金属和氮含量相关性分析<sup>1)</sup>

Table 5 Correlation analysis of heavy metal and nitrogen contents between leaching solution and lawn medium of different treatments

淋溶液-基质	Cr <sup>6+</sup> -Cr	Cd-Cd	Hg-Hg	Pb-Pb	As-As	硝酸盐-全氮
相关系数	0.896 **	0.893 **	0.940 **	0.340	0.335	0.920 **

1) \*\* 表示相关极显著( $P < 0.01$ )

## 4 结论

(1) 污泥堆肥可以有效提高草坪基质的有机质、全氮和全磷含量,且马尼拉的生长势随基质中污泥堆肥添加比例的提高而增强;各处理的马尼拉植物 Hg 含量与草坪基质的 Hg 含量相关性显著,但其余的植物重金属含量与草坪基质重金属含量不存在显著性相关。

(2) 污泥堆肥将提高草坪基质部分重金属的含量,其中 Cr、Cd、Hg 含量随污泥堆肥添加比例的提高而显著提高,但本研究中各处理的基质重金属含量均未超过土壤三级标准。

(3) 污泥堆肥草坪基质利用对地下水环境存在较大影响,本试验中当污泥堆肥添加比例达到 50% 以上时,淋溶液将出现 Cd 和硝酸盐浓度超标现象,各处理淋溶液和草坪基质的重金属和氮含量存在较高的相关性。

参考文献:

- [1] Pathak A, Dastidar M G, Sreekrishnan T R. Bioremediation of heavy metals from sewage sludge: a review [J]. Journal of

- Environmental Management, 2009, **90**(8): 2343-2353.
- [ 2 ] Smith S R. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge[J]. Environment International, 2009, **35**(1): 142-156.
- [ 3 ] 于芳芳, 常智慧, 韩烈保. 城市污泥和污泥堆肥在草坪的利用研究进展[J]. 草业学报, 2011, **20**(5): 259-265.
- [ 4 ] Bhogal A, Nicholson F A, Chambers B J, *et al.* Effects of past sewage sludge additions on heavy metal availability in light textured soils; implications for crop yields and metal uptakes[J]. Environmental Pollution, 2003, **121**(3): 413-423.
- [ 5 ] 王小治, 王爱礼, 王守红, 等. 污泥蚓粪对匍匐剪股颖草生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, **30**(8): 1683-1687.
- [ 6 ] 高定, 刘洪涛, 陈同斌, 等. 城市污泥堆肥用于草坪基质的生物与环境效应[J]. 中国给水排水, 2009, **25**(15): 119-121.
- [ 7 ] Warman P R, Termeer W C. Composting and evaluation of racetrack manure, grass clippings and sewage sludge [J]. Bioresource Technology, 1996, **55**(2): 95-101.
- [ 8 ] Linde D T, Hepner L D. Turfgrass seed and sod establishment on soil amended with biosolid compost[J]. Horttechnology, 2005, **15**(3): 577-583.
- [ 9 ] 赵秀兰, 卢吉文, 陈萍丽, 等. 重庆市城市污泥中的重金属及其农用环境容量[J]. 农业工程学报, 2008, **24**(11): 188-192.
- [ 10 ] 刘强, 陈玲, 黄游, 等. 施用污泥堆肥对土壤环境及高羊茅生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, **28**(1): 199-203.
- [ 11 ] 唐滢海, 刘郡英, 谷春豪, 等. 作物秸秆与城市污泥高温好氧堆肥产物对土壤氮矿化的影响[J]. 农业工程学报, 2011, **27**(1): 326-331.
- [ 12 ] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [ 13 ] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [ 14 ] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [ 15 ] 宋桂龙. 运动场草坪土壤配比及其对草坪草生长影响研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [ 16 ] 王新, 周启星, 陈涛, 等. 污泥土地利用对草坪草及土壤的影响[J]. 环境科学, 2003, **24**(2): 50-53.
- [ 17 ] 黄明强, 谢小青, 黄强, 等. 生物干化污泥对马尼拉草坪生长性状和环境效应的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2011, (4): 69-73.
- [ 18 ] Dai J Y, Chen L, Zhao J F, *et al.* Characteristics of sewage sludge and distribution of heavy metal in plants with amendment of sewage sludge[J]. Journal of Environmental Sciences, 2006, **18**(6): 1094-1100.
- [ 19 ] 梁丽娜, 黄雅曦, 杨合法, 等. 污泥农用对土壤和作物重金属累积及作物产量的影响[J]. 农业工程学报, 2009, **25**(6): 81-86.
- [ 20 ] 徐加庆, 于瑞莲, 郑建山. 城市污水厂脱水污泥施用对马尼拉草生长及其对重金属迁移转化的影响[J]. 环境化学, 2011, **30**(6): 1091-1095.
- [ 21 ] Tang Z, Yu G H, Liu D Y, *et al.* Different analysis techniques for fluorescence excitation emission matrix spectroscopy to assess compost maturity [J]. Chemosphere, 2011, **82**(8): 1202-1208.
- [ 22 ] 李艳霞, 赵莉, 陈同斌. 城市污泥堆肥用作草皮基质对草坪草生长的影响[J]. 生态学报, 2002, **22**(6): 797-801.
- [ 23 ] 胡克林, 李保国, 黄元仿, 等. 农田尺度下土体硝酸盐淋失的随机模拟及其风险性评价[J]. 土壤学报, 2005, **42**(6): 909-915.
- [ 24 ] 赵兴敏, 王春玲, 董德明, 等. 重金属和有机氯农药在沈阳郊区农田土壤中的吸附和迁移[J]. 环境科学学报, 2010, **30**(9): 1880-1887.
- [ 25 ] Planquart P, Bonin G, Prone A, *et al.* Distribution, movement and plant availability of trace metals in soils amended with sewage sludge composts; application to low metal loadings[J]. Science of the Total Environment, 1999, **241**(1-3): 161-179.
- [ 26 ] Kaschl A, Romheld V, Chen Y N. The influence of soluble organic matter from municipal solid waste compost on trace metal leaching in calcareous soils [J]. Science of the Total Environment, 2002, **291**(1-3): 45-57.
- [ 27 ] Cai Q Y, Mo C H, Wu Q T, *et al.* Concentration and speciation of heavy metals in six different sewage sludge composts [J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, **147**(3): 1063-1072.

## CONTENTS

Stable Carbon Isotopic Composition in PM <sub>2.5</sub> in Nanjing Region .....	WU Meng-long, GUO Zhao-bing, LIU Feng-ling, <i>et al.</i> (3727)
Distribution and Source Apportionment of <i>n</i> -Alkanes in Atmospheric Particle in Taiyuan, China .....	HU Dong-mei, PENG Lin, BAI Hui-ling, <i>et al.</i> (3733)
Study on Influence of Traffic and Meteorological Factors on Inhalable Particle Matters of Different Size .....	LUO Na-na, ZHAO Wen-ji, YAN Xing, <i>et al.</i> (3741)
Particle Emission Characteristics of Diesel Bus Fueled with Bio-diesel .....	LOU Di-ming, CHEN Feng, HU Zhi-yuan, <i>et al.</i> (3749)
Characteristics of δ <sup>18</sup> O in Precipitation and Water Vapor Sources in Lanzhou City and Its Surrounding Area .....	CHEN Fen-li, ZHANG Ming-jun, MA Qian, <i>et al.</i> (3755)
Characteristics and Sources of Soluble Ions in Aerosols from Glacier No. 1 at the Headwater of Urumqi River, Tianshan Mountains, China .....	YUE Xiao-ying, LI Zhong-qin, ZHANG Ming-jun, <i>et al.</i> (3764)
Mechanism and Performance of Styrene Oxidation by O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	HE Jue-cong, HUANG Qian-ru, YE Qi-hong, <i>et al.</i> (3772)
Sulfur Isotopic Signatures in Leaves of <i>Pinus massoniana</i> Lamb. and Source Apportionment .....	GUAN Hui, XIAO Hua-yun, ZHU Ren-guo, <i>et al.</i> (3777)
Comparisons of Sulfur Contents and Isotopes Between Mosses and Surface Soils in Jiangxi Province .....	LI Nan, XIAO Hua-yun, CHEN Yong-zhong, <i>et al.</i> (3782)
Research on Spatial Characteristic of Non-point Source Pollution in Liaohe River Basin .....	WANG Xue-lei, CAI Ming-yong, ZHONG Bu-qing, <i>et al.</i> (3788)
Spatial and Temporal Variations of Hydrological Characteristic on the Landscape Zone Scale in Alpine Cold Region .....	YANG Yong-gang, HU Jin-fei, XIAO Hong-lang, <i>et al.</i> (3797)
Distribution of Matrix-Bound Phosphine in Surface Sediments of Jinpu Bay .....	YOU Li-li, ZONG Hai-bo, ZHANG Shu-fang, <i>et al.</i> (3804)
Effects of Drying-Rewetting Alternation on Urease Activity in Chongming East Intertidal Flat; Results of a Simulation Study .....	HAN Jian-gang, CAO Xue (3810)
Characterization of Microbial Activities in Marine Mudflat Sediment Using FDA Hydrolase Analysis .....	LIU Ye, ZOU Li, LIU Lu, <i>et al.</i> (3818)
Analysis of Ecological Risk and the Content Situation of Polybrominated Diphenyl Ethers in Sediments from Northeast China River Basin .....	NIE Hai-feng, CHENG Hang-xin, ZHAO Chuan-dong, <i>et al.</i> (3825)
Residues and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Sediments and Marine Organisms from Dapeng Bay, Shenzhen .....	SUN Run-xia, KE Chang-liang, GU Yang-guang, <i>et al.</i> (3832)
Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Using Two Mathematical Models for Runoff of the Shanghai Elevated Inner Highway, China .....	BIAN Lu, LI Tian, HOU Juan (3840)
Biomagnification of Heavy Metals in the Aquatic Food Chain in Daning River of the Three Gorges Reservoir During Initial Impoundment .....	YU Yang, WANG Yu-chun, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (3847)
Temporal and Spatial Distribution of Environmental Factors and Chlorophyll-a and Their Correlation Analysis in a Small Enclosed Lake .....	LI Fei-peng, ZHANG Hai-ping, CHEN Ling (3854)
Experiment and Model Simulation of Self-Purification Capacity of Nitrogen and Phosphorus in Lake Taihu .....	HAN Tao, ZHAI Shu-hua, HU Wei-ping, <i>et al.</i> (3862)
Simulation Research on the Release of Internal Nutrients Affected by Different Dredging Methods in Lake .....	CHEN Chao, ZHONG Ji-cheng, FAN Cheng-xin, <i>et al.</i> (3872)
Research of Urban Eutrophic Water Repair by Water/Sediment Biological Bases .....	ZHOU Hui-hua, SONG Xiao-guang, WU Ge, <i>et al.</i> (3879)
Effects of Regulatory Agent on the Heavy Metal Stability in Tidal Sediments .....	OU Feng-zhuang, SUN Guo-ping, XU Mei-ying (3888)
Impact of Regional Water Chemistry on the Phosphorus Isothermal Adsorption of the Sediments in Three Subsidence Waters of the Huainan Mine Areas .....	YI Qi-tao, SUN Peng-fei, XIE Kai, <i>et al.</i> (3894)
Adsorption Characteristics of f2 Bacteriophages by Four Substrates in Constructed Wetland .....	CHEN Di, ZHENG Xiang, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> (3904)
Adsorption Characteristics of the Antibiotic Sulfanilamide onto Rice Husk Ash .....	Ji Ying-xue, WANG Feng-he, ZHANG Fan, <i>et al.</i> (3912)
Study on the Stability Variation Mechanism of Humic Acid Water Solution After Radiated by the UV Light .....	WANG Wen-dong, ZHOU Li-chuan, DING Zhen-zhen, <i>et al.</i> (3921)
Comparison of As Removal Performance by Graphene/Iron-Based Material .....	Chaomuerlege, FENG Liu, HUO Yan-xia (3927)
Studies on the Dispersion and Deposition Behavior of Nano-TiO <sub>2</sub> in Aquatic System .....	CHEN Jun-yuan, FANG Jin-feng, WEI Xiu-zhen (3933)
Effect of the Interaction of Microorganisms and Iron Oxides on Arsenic Releasing into Groundwater in Chinese Loess .....	XIE Yun-yun, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (3940)
Surface Modification of Polyvinylidene Fluoride (PVDF) Membrane by Using the Zwitterionic Substance .....	ZHOU Gui-hua, XIAO Feng, XIAO Ping, <i>et al.</i> (3945)
Estimate the Abatement Rate of Septic Tank Sewage Outfall Soil on Nitrogen Pollutants of Typical Farmer Household Sewage .....	ZHOU Feng, WANG Wen-lin, WANG Guo-xiang, <i>et al.</i> (3954)
Wastewater Pollution Characteristics from Typical Intensive Pig Farms in the Pearl River Delta and Its Ecological Risk Assessment .....	LI Wen-ying, PENG Zhi-ping, YU Jun-hong, <i>et al.</i> (3963)
Effects of Sludge Compost Used as Lawn Medium on Lawn Growth and Soil and Water Environment .....	JIN Shu-quan, ZHOU Jin-bo, CHEN Ruo-xia, <i>et al.</i> (3969)
Influencing Factors of Floc Size Distribution and Fractal Dimension of Activated Sludge .....	LI Zhen-liang, ZHANG Dai-jun, LU Pei-li, <i>et al.</i> (3975)
Influence of Different Recovery Methods on the Activity of Nitrification Granular Sludge .....	GUO Xiu-li, GAO Da-wen, LU Jian-cong (3981)
Study on Hydrogen Autotrophic Denitrification of Bio-ceramic Reactor .....	CHEN Dan, WANG Hong-yu, SONG Min, <i>et al.</i> (3986)
Studies on Spatial Heterogeneity of Soil Respiration in a Subalpine Meadow .....	YAN Jun-xia, LI Jun-jian, LI Hong-jian, <i>et al.</i> (3992)
Modeling of CO <sub>2</sub> Fluxes at Cropland by Using SIB3 Model .....	ZHANG Geng-jun, LU Li-xin, JIANG Ling-mei, <i>et al.</i> (4000)
Effects of the Different Land Use on Soil Labile Organic Matter and Carbon Management Index in Junyun Mountain .....	XU Peng, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju, <i>et al.</i> (4009)
Heavy Metal Content in Street Dust and Environmental Risk Assessment of Agricultural City: A Case Study of Xuchang City .....	YAN Hui, CHEN Jie, XIAO Jun (4017)
Polybrominated Diphenyl Ethers and Polychlorinated Biphenyls in Road Dust from Suzhou, Wuxi and Nantong .....	SHI Shuang-xin, DONG Liang, LI Ling-ling, <i>et al.</i> (4024)
Vertical Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Abandoned Vehicles Dismantling Area Soil .....	WU Yan-yu, HU Xiao-ying, HONG Hong-jia, <i>et al.</i> (4031)
Stabilization and Long-term Effect of Chromium Contaminated Soil .....	WANG Jing, LUO Qi-shi, ZHANG Chang-bo, <i>et al.</i> (4036)
Leaching Characteristics of Sulfadiazine and Sulfamethoxazole in Soil Column .....	LI Man, CHEN Wei-ping, WEI Fu-xiang, <i>et al.</i> (4042)
Transport Behaviors of Metal Oxide Nanomaterials in Various Soils .....	FANG Jing, YU Bo-yang (4050)
Fractal Characteristics of Capillary Finger Flow for NAPLs Infiltrated in Porous Media .....	LI Hui-ying, DU Xiao-ming, YANG Bin, <i>et al.</i> (4058)
Allelopathic Potential of <i>Phyllostachys edulis</i> on Two Dominant Tree Species of Evergreen Broad-leaved Forest in Its Invasive Process .....	BAI Shang-bin, ZHOU Guo-mo, WANG Yi-xiang, <i>et al.</i> (4066)
Preliminary Studies on the Occurrence of Antibiotic Resistance Genes in Typical Aquaculture Area of the Pearl River Estuary .....	LIANG Xi-mei, NIE Xiang-ping, SHI Zhen (4073)
Concentrations and Safety Evaluation of Heavy Metals in Aquatic Products of Yancheng, Jiangsu Province .....	LIU Yang, FU Qiang, GAO Jun, <i>et al.</i> (4081)
Effects of Cu <sup>2+</sup> Stress on DNA Polymorphism of Genome in Foxtail Millet of Different Genotypes .....	ZHANG Yi-xian, FU Ya-ping, XIAO Zhi-hua, <i>et al.</i> (4090)
Research on Soil Bacteria Under the Impact of Sealed CO <sub>2</sub> Leakage by High-throughput Sequencing Technology .....	TIAN Di, MA Xin, LI Yu-e, <i>et al.</i> (4096)
Microeukaryotic Biodiversity in the Waste Ore Samples Surrounding an Acid Mine Drainage Lake .....	LI Si-yuan, HAO Chun-bo, WANG Li-hua, <i>et al.</i> (4105)
Characteristics and Functional Protein Analysis of an Effective Decabromodiphenyl Ether-Degrading Strain .....	CHANG Jing-jing, YIN Hua, QIN Hua-ming, <i>et al.</i> (4112)
Effect of Selenium on the Uptake and Translocation of Manganese, Iron, Phosphorus and Selenium in Rice ( <i>Oryza sativa</i> L.) .....	HU Ying, HUANG Yi-zong, HUANG Yan-chao, <i>et al.</i> (4119)
Effect of Exogenous Iron on Accumulation and Chemical Forms of Cadmium, and Physiological Characterization in Different Varieties of Tomato .....	LIU Jun, ZHOU Kun, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (4126)
Analysis of Control Policy for Persistent Toxic Substances from Electronic Wastes in China .....	LI Li, LÜ Yong-long, WANG Tie-yu (4132)

# 《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10月15日 34卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 10 Oct. 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