

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第8期

Vol.36 No.8

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

基于16S rRNA 基因测序法分析北京霾污染过程中 PM _{2.5} 和 PM ₁₀ 细菌群落特征	王步英, 郎继东, 张丽娜, 方剑火, 曹晨, 郝吉明, 朱昕, 田埂, 蒋靖坤 (2727)
北京城区冬季降尘微量元素分布特征及来源分析	熊秋林, 赵文吉, 郭道宇, 陈凡涛, 束同同, 郑晓霞, 赵文慧 (2735)
北京市典型餐饮企业油烟中醛酮类化合物污染特征	程婧晨, 崔彤, 何万清, 聂磊, 王军玲, 潘涛 (2743)
基于实际道路交通流信息的北京市机动车排放特征	樊守彬, 田灵娣, 张东旭, 曲松 (2750)
夏季珠江三角洲地区 PM _{2.5} 化学组分特征及其对大气能见度的影响	杨毅红, 瞿群, 刘随心, 李雄, 钟佩仪, 陶俊 (2758)
隧道工人的 PM ₁₀ 职业暴露特征调查分析及其健康风险评价	向华丽, 杨俊, 仇珍珍, 雷万雄, 曾婷婷, 兰志财 (2768)
基于在线监测的江苏省大型固定燃煤源排放清单及其时空分布特征	张英杰, 孔少飞, 汤莉莉, 赵天良, 韩永翔, 于红霞 (2775)
柴达木盆地东部降水氢氧同位素特征与水汽来源	朱建佳, 陈辉, 巩国丽 (2784)
长江口-浙闽沿岸沉积色素的分布特征及其指示意义	李栋, 姚鹏, 赵彬, 王金鹏, 潘慧慧 (2791)
“引江济太”过程中长江-望虞河-贡湖氮、磷输入特征研究	潘晓雪, 马迎群, 秦延文, 邹华 (2800)
重庆市典型城镇区地表径流污染特征	王龙涛, 段丙政, 赵建伟, 华玉妹, 朱端卫 (2809)
调水调沙对黄河下游颗粒有机碳运输的影响	张婷婷, 姚鹏, 王金鹏, 潘慧慧, 高立蒙, 赵彬, 李栋 (2817)
青藏高原冰川区可溶性有机碳含量和来源研究	严芳萍, 康世昌, 陈鹏飞, 柏建坤, 李洋, 胡召富, 李潮流 (2827)
岩溶区地下水补给型水库表层无机碳时空变化特征及影响因素	李建鸿, 蒲俊兵, 袁道先, 刘文, 肖琼, 于爽, 张陶, 莫雪, 孙平安, 潘谋成 (2833)
室内模拟不同因子对岩溶作用与碳循环的影响	赵瑞一, 吕现福, 段逸凡 (2843)
新乡市地表水体 HCHs 和 DDTs 的分布特征及生态风险评价	冯精兰, 余浩, 刘书卉, 刘梦琳, 孙剑辉 (2849)
青木关地下河系统中不同含水介质下正构烷烃对比研究	梁作兵, 孙玉川, 王尊波, 江泽利, 廖昱, 谢正兰, 张媚 (2857)
三峡库区长寿湖水体不同形态汞的空间分布特征	白薇扬, 张成, 赵锋, 唐振亚, 王定勇 (2863)
燃煤电厂周围渔业养殖行为对水生生态环境中汞形态变化的影响	梁鹏, 王远娜, 尤琼智, 郭芳, 高雪飞, 何杉杉 (2870)
运用硫同位素、氮氧同位素示踪厘清湖地下河硫酸盐、硝酸盐来源	李瑞, 肖琼, 刘文, 郭芳, 潘谋成, 于爽 (2877)
藻华聚集的生态效应: 对凤眼莲叶绿素和光合作用的影响	刘国锋, 何俊, 杨轶中, 韩士群 (2887)
DOM 对被动采样技术的影响与应用	于尚云, 周岩梅 (2895)
蛋白质对 PVDF 超滤膜污染行为的界面微观作用力解析	王旭东, 周森, 孟晓荣, 王磊, 黄丹曦, 夏四清 (2900)
水环境中碳纳米管对沙丁胺醇降解的影响	汪祺, 韩佳芮, 魏博凡, 周磊, 张亚, 杨曦 (2906)
β -In ₂ S ₃ 的制备及其太阳光下降解土霉素	艾翠玲, 周丹丹, 张嵘嵘, 邵享文, 雷英杰 (2911)
排水管道沉淀物氮释放特性的研究	陈红, 卓琼芳, 许振成, 王劲松, 魏清伟 (2918)
生物膜 CANON 反应器中沉积物影响及其成因分析	付昆明, 王会芳, 左早荣, 仇付国 (2926)
ABR-MBR 一体化工艺节能降耗措施优化研究	吴鹏, 陆爽君, 徐乐中, 刘捷, 沈耀良 (2934)
两个 CANON 污水处理系统中氨氧化古菌的丰度和多样性研究	高景峰, 李婷, 张树军, 樊晓燕, 潘凯玲, 马谦, 袁亚林 (2939)
ABR 耦合 CSTR 一体化工艺好氧颗粒污泥形成机制及其除污效能研究	巫恺澄, 吴鹏, 徐乐中, 李月寒, 沈耀良 (2947)
珠江三角洲地区土壤有机氯农药分布特征及风险评价	窦磊, 杨国义 (2954)
广西都安县耕地土壤重金属污染风险评价	吴洋, 杨军, 周小勇, 雷梅, 高定, 乔鹏伟, 杜国栋 (2964)
开封市公园地表灰尘重金属污染及健康风险	段海静, 蔡晓强, 阮心玲, 全致琦, 马建华 (2972)
我国西南地区氮饱和马尾松林土壤和植物 ¹⁵ N 自然丰度对长期氮施加的响应	刘文静, 康荣华, 张婷, 朱婧, 段雷 (2981)
黄土高原纬度梯度上的植物与土壤碳、氮、磷化学计量学特征	李婷, 邓强, 袁志友, 焦峰 (2988)
开顶式气室原位研究水稻根系对大气汞浓度升高的响应	陈剑, 王章玮, 张晓山, 秦普丰, 陆海军 (2997)
接种丛枝菌根真菌对蜈蚣草吸收砷的影响	郑文君, 王明元 (3004)
水稻种植对黑土微生物生物量和碳源代谢功能的影响	赵志瑞, 崔丙健, 侯彦林, 刘上千, 王岩 (3011)
固定化菌剂载体材料腐解产物对污染土壤中芘解吸的影响	全冬丽, 双生晴, 李晓军, 邓万荣, 赵然然, 贾春云, 巩宗强 (3018)
零价铁和碱激发矿渣稳定/固定化处理铬渣研究	陈忠林, 李金春子, 王斌远, 樊磊涛, 沈吉敏 (3026)
Fe ³⁺ 负载凹凸棒土 (Fe/ATP) 结构表征及其稳定化修复镉 (Cd) 机制研究	杨蓉, 李鸿博, 周永莉, 陈静, 王琳玲, 陆晓华 (3032)
原位生物修复提高多环芳烃污染土壤农作安全性	焦海华, 潘建刚, 徐圣君, 白志辉, 王栋, 黄占斌 (3038)
镉-八氯代二苯并呋喃复合污染土壤中紫茉莉对镉的修复能力	张杏丽, 邹威, 周启星 (3045)
不同水分条件对蜈蚣草修复砷污染土壤的影响	刘秋辛, 阎秀兰, 廖晓勇, 林龙勇, 杨静 (3056)
磷矿粉和腐熟水稻秸秆对土壤铅污染的钝化	汤帆, 胡红青, 苏小娟, 付庆灵, 朱俊 (3062)
洛克沙肿在青菜及土壤中的残留及降解特性	邵婷, 姚春霞, 沈源源, 张玉洁, 苏楠楠, 周守标 (3068)
3 种典型有机污染物对 2 种水生生物的急性毒性及安全评价	杨扬, 李雅洁, 崔益斌, 李梅 (3074)
石油污染物对海底微生物燃料电池性能的影响及加速降解效应	孟瑶, 付玉彬, 梁生康, 陈伟, 柳昭慧 (3080)
Cu-Mn-Ce/ 分子筛催化剂吸附甲苯后的微波原位再生及床层温度分布探究	虎雪姣, 卜龙利, 梁欣欣, 孟海龙 (3086)
热处理对猪粪高固厌氧消化产甲烷能力的影响	胡玉瑛, 吴静, 王士峰, 曹知平, 王凯军, 左剑恶 (3094)
磷石膏对麦田 CO ₂ 排放和小麦产量的影响及其经济环境效益分析	李季, 吴洪生, 高志球, 尚小厦, 郑培慧, 印进, Kakpa Didier, 任迁琪, Ogou Katchele Faustin, 陈素云, 徐亚, 姚童言, 李炜, 钱景珊, 马世杰 (3099)
全氟和多氟烷基化合物的环境风险评估研究现状、不确定性与趋势分析	郝薛文, 李力, 王杰, 曹燕, 刘建国 (3106)
《环境科学》征订启事 (2757)	
《环境科学》征稿简则 (2767)	
信息 (2734, 2783, 3073, 3079)	

洛克沙肿在青菜及土壤中的残留及降解特性

邵婷^{1,2}, 姚春霞², 沈源源², 张玉洁¹, 苏楠楠¹, 周守标^{1*}

(1. 安徽师范大学环境科学与工程学院, 芜湖 241003; 2. 上海市农业科学院农产品质量标准与检测技术研究所, 上海 201403)

摘要: 通过向土壤中施加含洛克沙肿有机肥的田间试验, 研究有机肥中的洛克沙肿在土壤-蔬菜中的降解、迁移转化及残留。结果表明, 土壤中施加低浓度的洛克沙肿对青菜的生长具有一定的抑制作用, 相比于对照组减产 15% ~ 32%; 青菜对土壤中砷具有一定的富集作用, 且其根部为砷主要蓄积部位; 土壤中总砷含量与施入洛克沙肿的量成正相关, 并且随着种植时间的延长先升高再下降, 最高达 12.94 mg·kg⁻¹, 土壤无机砷含量随着种植时间的延长先升高并于 30 d 后趋于稳定, 占总砷的 66.75% ~ 98.56%; 青菜中总砷含量与土壤总砷含量及青菜砷富集系数之间均存在一定的正相关; 洛克沙肿在土壤中的降解速率缓慢, 含洛克沙肿有机肥量添加量高于 5 000 kg·hm⁻² 时, 45 d 后土壤中有洛克沙肿残留; 施入一定量的洛克沙肿能显著提高土壤中细菌的数量, 对于霉菌和放线菌的生长, 较低浓度的洛克沙肿具有一定的抑制作用, 较高浓度的洛克沙肿具有一定的促进作用。

关键词: 洛克沙肿; 有机肥; 土壤; 青菜; 残留; 降解

中图分类号: X171.5 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)08-3068-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.08.046

Residue and Degradation of Roxarsone in the System of Soil-Vegetable

SHAO Ting^{1,2}, YAO Chun-xia², SHEN Yuan-yuan², ZHANG Yu-jie¹, SU Nan-nan¹, ZHOU Shou-biao^{1*}

(1. College of Environmental Science and Engineering, Anhui Normal University, Wuhu 241003, China; 2. Institute for Agro-Product Quality Standards and Testing Technologies, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China)

Abstract: The field experiment was developed for simulating the residues, transformation and degradation in soil-vegetable system of Roxarsone contained in organic fertilizer. Under the treatment, the yield of *Brassica chinensis* decreased in low Roxarsone concentration with a decline by 15% to 32% compared with the control group; there had an accumulating role of vegetables to arsenic, and the root was the main part; total content of arsenic in the soil was positively correlated with the dose of the applied Roxarsone; total arsenic in soil first increased and then decreased with the planting time prolonged and peaked at 12.94 mg·kg⁻¹, while the level of inorganic arsenic in the soil stabilized after 30 d, which accounting for 66.75% to 98.56% of the total arsenic; there existed a positively significant correlation of total arsenic content between the *Brassica chinensis* and the soil as well as the arsenic enrichment factor of vegetables; the degradation rate of Roxarsone in soil was slow, there was still some Roxarsone remained in soil after 45 d when added the organic fertilizer which containing Roxarsone with the dose higher than 5 000 kg·hm⁻²; Roxarsone could significantly increase the number of bacteria in the soil, and low concentration showed an inhibited role in the growth of fungi and actinomycetes, while high concentration of Roxarsone promoted the growth.

Key words: Roxarsone; organic fertilizer; soil; *Brassica chinensis*; residue; degradation

洛克沙肿(Roxarsone, Rox, 3-硝基-4-羟基苯甲酸)是一种常用的有机砷饲料添加剂。当洛克沙肿作为饲料添加剂被猪、鸡等摄入后,在胃肠道吸收较少,大部分未经转化即经粪便和尿液排出体外,畜禽粪便作为有机肥被广泛运用于肥沃土壤地或者灌溉蔬菜,继而进入土壤、水域等环境中,转变为毒性更大的无机形态砷,并吸附和蓄积在土壤中^[1~3]。土壤中的砷可通过土壤-植物系统迁移,并最终经食物链进入人体^[4]。研究表明洛克沙肿随畜禽粪便进入土壤后可较快地迁徙淋溶^[5],还有研究发现畜禽粪便中砷有 71% ~ 75% 为水溶性^[6]。砷及其制剂对土壤微生物结构有一定的毒性作用,并且对土壤微生物和土壤酶活均能产生一定的不良影响^[7]。同时

土壤中的砷可在微生物的还原作用下释放^[8,9]。目前,对施用含洛克沙肿的畜禽粪便对植物砷含量的影响研究较少,无机砷或有机砷化合物对植物均有强烈的生理效应。为了探明洛克沙肿在青菜及土壤中的降解、迁移转化及残留特性,本研究通过田间试验模拟畜禽粪便中残留的饲料源有机砷添加剂(洛克沙肿)对土壤的污染、土壤中砷向蔬菜中的迁

收稿日期: 2014-12-26; 修订日期: 2015-03-20

基金项目: 上海市自然科学基金项目(12ZR1420200); 安徽省科技攻关项目(12010402133); 上海市科委重大任务科研专项(14DZ1206303); 上海市科委重点支撑项目(13231202900)

作者简介: 邵婷(1991~),女,硕士研究生,主要研究方向为环境生物学, E-mail: shisanshao7113@126.com

* 通讯联系人, E-mail: zhoushoubiao@vip.163.com

移转化情况以及土壤中含砷水平对于土壤中微生物结构的影响, 以期对蔬菜生长的安全性评价提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试土壤位于上海市浦东新区普南园艺场常规大棚, 土壤的理化性质: pH 6.54, 有机质 $2.69 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效 N $209 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效 P $167 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效 K $178 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

洛克沙肿原料药: 湖北兴银河化工有限公司, 纯度 98.0%。洛克沙肿标准品: 北京北纳创联生物技术有限公司, 纯度 99.0%。砷标准液: 国家标准物质中心。

主要仪器: AFS-930 型双道原子荧光光度计(北京吉天仪器有限公司); Waters 2690 HPLC(美国 Waters 公司); Waters 2487 紫外检测器(美国 Waters 公司); Symmetry ShieldTM RP 18 色谱柱(150 mm × 4.6 mm, 3.5 μm , 美国 Waters 公司); 超声清洗机; 涡旋机; 离心机; 回旋振荡器; 旋转蒸发仪等。

主要试剂: 高氯酸、硝酸、硼氢化钾、氢氧化钠、盐酸、磷酸、甲醇(色谱纯)、磷酸二氢钠、磷酸氢二钾、磷酸二氢钾、甲酸(色谱纯)、超纯水、硫脲、抗坏血酸, 以上试剂未说明的均是分析纯试剂。

青菜品种为上海青。

1.2 方法

1.2.1 含洛克沙肿有机肥的配制

将 800 mg 洛克沙肿原料药溶于 500 mL 无水乙醇中, 将其喷洒于 8 kg 已风干过 2 mm 筛的空白有机肥中, 搅拌均匀, 待乙醇蒸发后, 再将有机肥过 2 mm 筛, 制成含 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 洛克沙肿的有机肥。

1.2.2 试验方案的设计

供试蔬菜为青菜, 试验于 2013 年 10 月 22 日开始, 并于 2013 年 12 月 6 日收获, 种植期共 45 d。田间试验共设 5 个处理组, 施加配制的有机肥的量分别为 CK ($0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、T1 ($1000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、T2 ($2000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、T3 ($5000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、T4 ($10000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), 随机区组排列, 每个处理组 3 个重复, 每个区组分别种植大小均匀的 30 棵青菜幼苗, 共 15 个区组, 有机肥一次性施入, 翻耕。分别在含洛克沙肿有机肥处理后的 0、15、30、45 d 于每个区组中随机采集 3 棵青菜植株, 一次共取 15 棵青菜, 以及

根层土壤(表层 3~4 cm 的混合土壤)。青菜样品先用自来水冲洗, 然后用去离子水冲洗干净后擦干, 分别取青菜的根部和地上部分, 并称其鲜重, 然后再将其置于烘箱中 60°C 烘干, 粉碎后, 用原子荧光法(AFS)测定其中的总砷含量; 土壤样品风干后, 挑去残渣和石子, 粉碎过 100 目筛, 用原子荧光测定其中的总砷和无机砷含量, 以及用高效液相色谱法(HPLC)测定其中的洛克沙肿含量。

1.2.3 原子荧光法测定青菜中总砷以及土壤中总砷和无机砷的含量

AFS 测定条件: 光电倍增管负高压 250 V; 灯电流 60 mA; 原子化器温度 200°C ; 原子化器高度 8 mm; 载气流量 $400 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$; 屏蔽气流量 $800 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

总砷: 称取 0.200 g 土壤样品以及 1.000 g 蔬菜样品于 150 mL 的锥形瓶中, 分别加入混酸(硝酸: 高氯酸 = 5:1, 体积比) 10 mL、15 mL 冷硝化过夜, 次日于电热板上硝化, 用去离子水过滤定容至 25 mL, 加入 $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫脲-抗坏血酸 5 mL 还原, 供 HG-AFS 测定。

无机砷: 土壤中无机砷采用 $6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸超声提取, 以盐酸为介质定容, 硫脲-抗坏血酸还原, 供 HG-AFS 测定, 具体操作见王长芹等^[10]使用的方法。饲料中无机砷采用 $6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸 70°C 水浴 18 h, HG-AFS 测定, 具体操作见 DB34/T 1035-2009^[11]。

1.2.4 高效液相色谱法测定土壤中的洛克沙肿

色谱条件: 色谱柱为 Symmetry ShieldTM RP 18 柱; 流动相为含 0.1% 甲酸的 $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 磷酸二氢钾: 甲醇 = 95:5 (体积比); 检测波长为 266 nm; 柱温为 40°C ; 进样量为 20 μL ; 流速为 $1.0 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

土壤中洛克沙肿采用 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaH}_2\text{PO}_4$: $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ H}_3\text{PO}_4$ = 9:1 (体积比) 10.00 mL 作为提取剂, 涡旋 2 min, 于 60°C 下超声提取 30 min, 取出冷却, 于 $4500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 10 min, 转移上清液于另一离心管中, 残渣再加入 10.00 mL 提取剂重复上述操作 1 次, 合并上清液, 将上清液倒入带有 5.00 mL 刻度的旋转蒸发玻璃器皿中, 于旋转蒸发仪上 55°C 旋转蒸发至干, 用纯水涡旋超声复溶并定容至 3.00 mL, 过 0.22 μm 微孔滤膜过滤, 进行 HPLC 检测。

1.2.5 土壤中微生物的测定

采用稀释平板计数法测定土壤中细菌、霉菌、放线菌的数量。细菌、霉菌和放线菌分别采用营养

琼脂、孟加拉红以及高氏 I 号培养基培养。

1.2.6 统计分析

采用 SPSS 17.0 for Windows 软件进行数据分析和差异显著性检验,数据结果以“平均值 ± 标准差”表示,采用 Excel 2010 软件作图。

2 结果与分析

2.1 含洛克沙肿有机肥的施用对青菜产量的影响

在青菜种植 45 d 后收获,分别对各处理组全部青菜样品进行称重。由表 1 可知,经洛克沙肿处理后,青菜的产量受到显著的影响,减产在 15% ~ 32%。当向土壤中添加洛克沙肿的量逐步递增时,青菜产量先急剧下降,再缓慢升高,于 T1 处理组处达最低值 3 400.17 kg·hm⁻²。表明施加洛克沙肿可抑制青菜的生长,然而随着施加洛克沙肿的量的提高,其对青菜生长的抑制作用逐渐降低。

表 1 洛克沙肿对青菜产量的影响¹⁾

Table 1 Impact on yield of *Brassica chinensis* treated with Rox

处理组	产量/kg·hm ⁻²	增产量/%
CK	5 000.25a	—
T1	3 400.17c	-32.00
T2	3 600.18c	-28.00
T3	3 933.53b	-21.33
T4	4 222.43b	-15.56

1)表中数据位平均值 ± SD(n = 3);不同字母表示 P < 0.05 水平上各处理间的差异显著,下同

表 2 不同阶段青菜不同部位砷含量/mg·kg⁻¹

Table 2 As content in different parts of *Brassica chinensis* in different stages/mg·kg⁻¹

处理组	15 d			30 d			45 d		
	植株	地上部分	根部	植株	地上部分	根部	植株	地上部分	根部
CK	0.682 ± 0.080c	0.376 ± 0.057b	0.286 ± 0.029c	0.854 ± 0.116cd	0.165 ± 0.072a	0.689 ± 0.088cd	0.622 ± 0.044c	0.126 ± 0.005bd	0.496 ± 0.039c
T1	0.635 ± 0.094c	0.320 ± 0.066b	0.315 ± 0.066c	0.741 ± 0.097d	0.148 ± 0.028a	0.593 ± 0.071d	0.654 ± 0.049cd	0.100 ± 0.008d	0.554 ± 0.048bcd
T2	0.793 ± 0.058c	0.367 ± 0.057b	0.426 ± 0.057bc	1.068 ± 0.077bc	0.164 ± 0.011a	0.904 ± 0.085bc	0.698 ± 0.050ac	0.107 ± 0.019cd	0.591 ± 0.032b
T3	0.839 ± 0.121b	0.317 ± 0.055b	0.522 ± 0.055b	1.206 ± 0.117b	0.198 ± 0.061a	1.008 ± 0.149b	0.940 ± 0.095a	0.139 ± 0.033ab	0.801 ± 0.054a
T4	1.312 ± 0.095a	0.456 ± 0.024a	0.856 ± 0.024a	2.030 ± 0.130a	0.201 ± 0.029a	1.831 ± 0.135a	0.815 ± 0.090b	0.164 ± 0.024a	0.651 ± 0.114b

2.3 洛克沙肿的施用对土壤中总砷及无机砷含量的影响

由表 3 可知,随着洛克沙肿施加量的增加,土壤中总砷含量逐步升高,最高处理组土壤中砷含量均已超过 12 mg·kg⁻¹,并未超出国家规定的一级土壤标准(15 mg·kg⁻¹)。随着种植时间的延长,各处理组土壤总砷含量呈现先升高再下降的趋势,在 30 d 时,达到最高值,最高为 12.94 mg·kg⁻¹。可能是洛克沙肿在土壤中的迁移能力较强,土壤中吸附的洛克沙肿可通过灌溉、地表径流等因素的影响而发生渗透、淋溶等现象,迁移至土壤深部,从而造成表层

2.2 含洛克沙肿有机肥的施用对青菜总砷含量的影响

由表 2 可知,青菜砷含量随着洛克沙肿施加量的增加逐渐升高,并且 T3、T4 处理组与其他处理组差异性显著(P < 0.05),青菜砷含量最高可达 2 mg·kg⁻¹,表明青菜对砷具有一定的富集作用,这与芸苔属植物对重金属有较明显的吸收累积现象^[12,13]相一致。

各处理组青菜中总砷含量均随着种植时间的延长呈现先升高后下降的趋势,于 30 d 时,含量达到最高。表明青菜在短期内可从土壤中富集砷,但种植时间过长时,青菜中的砷也可能会向土壤中迁移或发生降解。土壤中也存在一些元素可与砷发生拮抗作用,使土壤中砷的形态发生转化^[14]。

随着有机肥施加量的升高,青菜根部砷含量变化与青菜整体砷含量变化趋势高度一致,而地上部分砷含量差异不大,并且随着种植时间的延长,各处理组地上部分砷含量逐步下降,最低仅为 0.1 mg·kg⁻¹。这表明青菜根部为砷主要蓄积部位,难以向上迁移,而青菜地上部分短期内从土壤中富集的砷随着时间的延长会逐渐发生向下迁移。黄连喜等^[15]研究也表明鸡粪中的洛克沙肿对蔬菜生长具有一定影响,但对不同品种蔬菜有不同的体现,且鸡粪中的洛克沙肿均能提高蔬菜对砷的吸收及累积。

土壤总砷含量随着种植时间的延长而降低。

各处理组土壤无机砷含量随着种植时间的延长呈现先升高再稳定的趋势,占总砷含量由 69% 升至 95% 以上。在 30 d 内,各处理组之间土壤无机砷含量无明显差异(P > 0.05),45 d 后,T3、T4 与其他各组差异性显著(P < 0.05),这可能与有机肥中洛克沙肿进入土壤后,随着时间的延长,一部分以原形的形态存在,另一部分逐步转化成无机砷有关。

2.4 洛克沙肿施用后,土壤中总砷含量和青菜中总砷含量的相关性

将青菜砷含量与土壤砷含量、青菜砷含量与青

表 3 不同阶段土壤中总砷和无机砷含量/mg·kg⁻¹

处理组	0 d			15 d			30 d			45 d		
	总砷	无机砷	无机砷比例/%	总砷	无机砷	无机砷比例/%	总砷	无机砷	无机砷比例/%	总砷	无机砷	无机砷比例/%
CK	10.25 ± 0.060b	7.49 ± 0.113b	73.47	10.89 ± 0.142c	7.57 ± 0.129b	69.54	11.42 ± 0.062b	10.66 ± 0.093b	93.34	11.19 ± 0.174c	10.37 ± 0.188c	92.65
T1	10.78 ± 0.025a	7.77 ± 0.059a	71.92	10.74 ± 0.122c	7.42 ± 0.152b	69.13	11.89 ± 0.123b	11.23 ± 0.213b	94.41	11.38 ± 0.038b	10.89 ± 0.240c	95.74
T2	11.03 ± 0.281ab	7.65 ± 0.145ab	71.16	11.02 ± 0.111c	7.61 ± 0.067b	69.07	12.86 ± 0.124c	12.41 ± 0.092a	96.56	11.26 ± 0.166bc	10.88 ± 0.103c	96.61
T3	10.70 ± 0.085ab	7.65 ± 0.076ab	72.05	11.36 ± 0.065b	7.59 ± 0.007b	66.75	12.73 ± 0.003bc	11.44 ± 0.069ab	89.81	11.45 ± 0.017b	11.29 ± 0.197b	98.56
T4	11.19 ± 0.115a	7.76 ± 0.033a	68.64	12.00 ± 0.081a	8.68 ± 0.132a	72.32	12.94 ± 0.038a	11.37 ± 0.107ab	87.87	12.18 ± 0.100a	11.82 ± 0.175a	97.04

菜砷富集系数以及土壤总砷含量与青菜砷富集系数作相关性分析,由图 1 可知,青菜砷含量与土壤总砷含量之间存在一定的相关性,随着土壤总砷含量的升高青菜中砷含量也随之升高;由图 2、3 可知,青菜砷富集系数与其砷含量之间呈显著正相关,相关系数 $R^2=0.99$,同时,与土壤砷含量也呈一定的正相关. 这与文献[16,17]的研究结果一致.

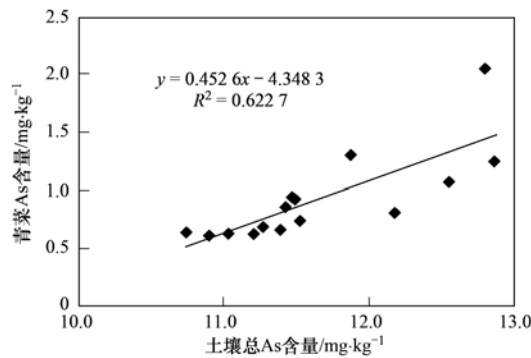


图 1 土壤总砷含量与青菜砷含量的相关性

Fig. 1 Correlation between total soil As content and vegetable As content

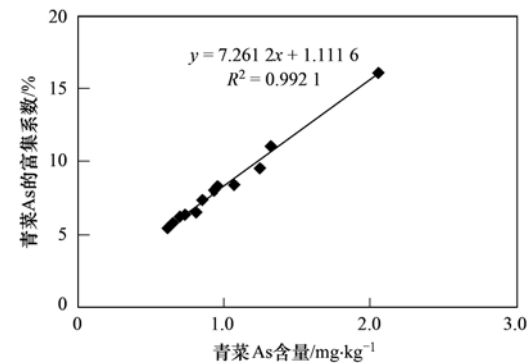


图 2 青菜砷含量与青菜中砷富集系数的相关性

Fig. 2 Correlation between total As content and BCF of vegetables

2.5 洛克沙肿在土壤中的残留与降解

从图 4 可知,洛克沙肿在种植青菜的土壤中的消除比较缓慢,添加含洛克沙肿有机肥量较高的处理组(T3、T4)在 45 d 后土壤中依然有洛克沙肿残

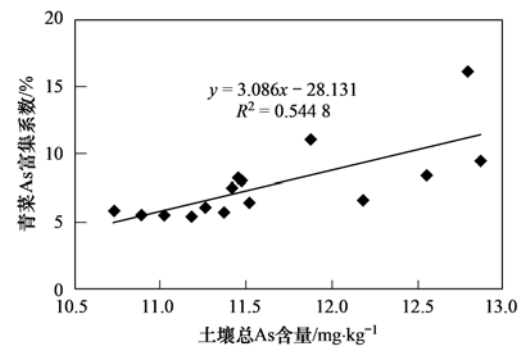


图 3 土壤总砷含量与青菜中砷富集系数的相关性

Fig. 3 Correlation between the total As content in soil and the BCF of vegetables

留,分别为 19.11 mg·m⁻³和 47.32 mg·m⁻³. 仅低浓度处理组(T1、T2)土壤中洛克沙肿在青菜种植 15 d 后低于仪器的检出限. T4 处理组的青菜在生长到 30 d 后,土壤中洛克沙肿的含量下降速率减缓,渐趋于稳定,45 d 后降解率为 52.7%. T3 处理组土壤中洛克沙肿降解速率缓慢,在种植时间达 45 d 时,土壤中有仍残留,降解率为 61.8%. 这与张雨梅等^[18]的研究结果一致. 土壤中添加的洛克沙肿可能一部分转化成无机砷和简单形态的有机砷,一部分通过地表渗漏和淋溶而迁移至深层土壤.

2.6 洛克沙肿对土壤微生物的影响

马一冬等^[19]研究表明,未灭菌的土壤比灭菌的

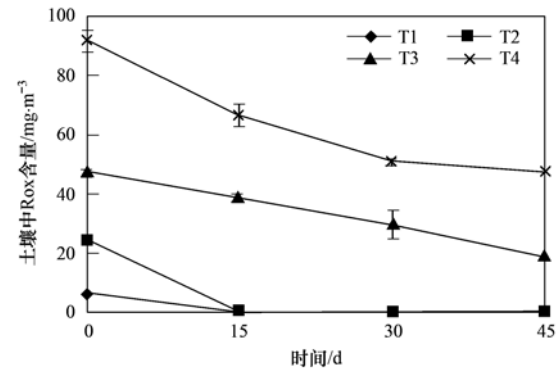


图 4 土壤中 Rox 的降解

Fig. 4 Degradation of Rox in soil

土壤对土壤中洛克沙肿的降解速率快得多,表明土壤微生物对洛克沙肿的降解起着重要的作用,同时洛克沙肿也会影响土壤微生物种群的结构.如表4所示,土壤中细菌的总数随着处理组施加含洛克沙肿有机肥量的升高而升高,于T4处理组达最高为 156×10^5 个 $\cdot g^{-1}$,并且在T2处理组土壤细菌总数升高明显,相较于T1处上升了61.04%,各处理组之间差异性显著($P < 0.05$),表明洛克沙肿在一定浓度内能够促进土壤细菌的增长.土壤中霉菌和放线菌的总数均随着含洛克沙肿有机肥的施加量先升高后下降,均在T2处理组总数降至最低,分别为 39×10^3 个 $\cdot g^{-1}$ 和 34×10^4 个 $\cdot g^{-1}$,与其他处理组有明显差异($P < 0.05$),这表明低浓度的洛克沙肿进入土壤后会对霉菌和放线菌产生一定的抑制作用,而高浓度的洛克沙肿能够减缓抑制并有一定的促进作用.可能是由于洛克沙肿含量的提高可在一定程度上增强霉菌和放线菌的耐受性,导致适应菌数量的增加和活性的增强来抵制不良影响.

表4 各处理组土壤中三大菌群数量的变化

Table 4 Changes of the amount of microbial in soils

处理组	细菌 $\times 10^5$ /个 $\cdot g^{-1}$	霉菌 $\times 10^3$ /个 $\cdot g^{-1}$	放线菌 $\times 10^4$ /个 $\cdot g^{-1}$
CK	$72 \pm 8.963c$	$63 \pm 2.309abd$	$86 \pm 4.041a$
T1	$77 \pm 9.005c$	$59 \pm 4.509bd$	$36 \pm 4.509b$
T2	$124 \pm 4.583b$	$39 \pm 3.786c$	$34 \pm 1.500b$
T3	$125 \pm 2.009b$	$58 \pm 4.509b$	$55 \pm 4.583c$
T4	$156 \pm 9.504a$	$67 \pm 2.517a$	$94 \pm 6.658a$

3 讨论

当土壤中施加低浓度的洛克沙肿时,能够抑制青菜的生长而降低青菜的产量,在有机肥施加量为 $10\ 000\ kg \cdot hm^{-2}$ 范围内,青菜植株和土壤中的砷含量均随着有机肥施加量的升高而逐步升高,均随着种植时间的延长,砷含量先升高再下降,并于30 d时,T4处理组砷含量达到最高,青菜为 $2\ mg \cdot kg^{-1}$,土壤为 $12.94\ mg \cdot kg^{-1}$.

土壤中洛克沙肿于30 d后降解速率减缓,渐趋于稳定.土壤中洛克沙肿能够促进细菌总数的增加,而低浓度的洛克沙肿进入土壤后会对霉菌和放线菌产生一定的抑制作用,高浓度的洛克沙肿又能促进土壤霉菌和放线菌数量的增长.

由于洛克沙肿在土壤中的降解较慢,在长期使用畜禽粪便施肥的地区,土壤中砷含量会明显升高^[20~22],由青菜中砷水平的测定结果可知,在洛克沙肿污染的土壤生长的青菜对土壤中洛克沙肿有明显的吸收累积,长期在饲料中添加洛克沙肿可能

会使农作物产品中砷具有超标的风险^[23].

4 结论

(1)青菜的根部为砷主要富集部位.青菜砷含量与土壤总砷含量之间存在一定正相关,青菜砷富集系数与其砷含量之间呈显著正相关.

(2)洛克沙肿施入土壤后,土壤无机砷会随着种植时间的延长而升高.且洛克沙肿在种植青菜的土壤中的消除比较缓慢.

(3)土壤中洛克沙肿能够促进细菌数量的增长,低浓度的洛克沙肿对霉菌和放线菌有抑制作用,而高浓度的洛克沙肿对其有促进作用.

参考文献:

- [1] Han F X, Kingery W L, Selim H M, *et al.* Arsenic solubility and distribution in poultry waste and long-term amended soil[J]. *Science of the Total Environment*, 2004, **320**(1): 51-61.
- [2] Brown B L, Slaughter A D, Schreiber M E. Controls on roxarsone transport in agricultural watersheds [J]. *Applied Geochemistry*, 2005, **20**(1): 123-133.
- [3] 朱怡苹. 有机肿药物在土壤(沉积物)中吸附行为研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2013.
- [4] 胡留杰, 白玲玉, 李莲芳, 等. 土壤中砷的形态和生物有效性研究现状与趋势[J]. *核农学报*, 2008, **22**(3): 383-388.
- [5] 刘慧岚. 洛克沙肿在土壤中的移动性研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2009.
- [6] Jackson B P, Bertsch P M, Cabrera M L, *et al.* Trace element speciation in poultry litter[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2003, **32**(2): 535-540.
- [7] Garbarino J R, Rutherford D W, Wershaw R L. Degradation of roxarsone in poultry litter; in the proceedings of Arsenic in the environment workshop[C]. Denver, Colorado: U. S. Geological Survey, 2001. 21-22.
- [8] 谢芸芸, 陈天虎, 周跃飞, 等. 微生物-铁氧化物交互作用对黄土中砷活化迁移的影响[J]. *环境科学*, 2013, **34**(10): 3940-3944.
- [9] 吴锡, 许丽英, 张雪霞, 等. 缺氧条件下土壤砷的形态转化与环境行为研究[J]. *环境科学*, 2012, **33**(1): 273-279.
- [10] 王长芹, 高洪彩, 公维磊, 等. 土壤中无机砷的超声提取-原子荧光测定法[J]. *环境与健康杂志*, 2011, **28**(6): 538-540.
- [11] DB34/T 1035-2009, 饲料中总砷和无机砷的测定[S].
- [12] Raskin I, Kumar P B A N, Dushenkov S, *et al.* Bioconcentration of heavy metals by plants[J]. *Current Opinion in Biotechnology*, 1994, **5**(3): 285-290.
- [13] 王松良, 郑金贵. 13种小白菜基因型对Cd、Pb、As累积特性比较[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2005, **34**(3): 304-308.
- [14] 雷鸣, 曾敏, 廖柏寒, 等. 含磷物质对水稻吸收土壤砷的影响[J]. *环境科学*, 2014, **35**(8): 3149-3154.
- [15] 黄连喜, 何兆桓, 曾芳, 等. 液相色谱-氢化物发生-原子荧光

- 联用同时测定洛克沙肿及其代谢物[J]. 分析化学, 2010, **38**(9): 1321-1324.
- [16] 陈同斌, 宋波, 郑袁明, 等. 北京市蔬菜和菜地土壤砷含量及其健康风险分析[J]. 地理学报, 2006, **61**(3): 297-310.
- [17] 蔡保松, 陈同斌, 廖晓勇, 等. 土壤砷污染对蔬菜砷含量及食用安全性的影响[J]. 生态学报, 2004, **24**(4): 711-717.
- [18] 张雨梅, 陈冬梅, 马一冬, 等. 洛克沙肿在青菜及土壤中的残留特性[J]. 农业环境科学学报, 2008, **27**(6): 2467-2470.
- [19] 马一冬. 洛克沙肿在土壤中降解的初步研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2009.
- [20] 王付民, 陈杖榴, 孙永学, 等. 有机砷饲料添加剂对猪场周围及农田环境污染的调查研究[J]. 生态学报, 2006, **26**(1): 154-162.
- [21] 胡锋, 李辉信, 史玉英, 等. 两种基因型小麦根际土壤生物动态及根际效应[J]. 土壤通报, 1998, **29**(3): 133-135.
- [22] 曾希柏, 李莲芳, 白玲玉, 等. 山东寿光农业利用方式对土壤砷累积的影响[J]. 应用生态学报, 2007, **18**(2): 310-316.
- [23] 杨文键, 刘夏另. 植物体内砷和硒累积和分布的相互作用[J]. 中国农业科学, 1997, **30**(3): 89-91.

《环境科学》再获“百种中国杰出学术期刊”称号

2014年9月26日, 中国科技论文统计结果发布会在北京举行, 会议公布了“百种中国杰出学术期刊”获奖名单. 《环境科学》连续13次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号. “百种中国杰出学术期刊”是根据中国科技学术期刊综合评价指标体系进行评定. 该体系利用总被引频次、影响因子、基金论文比、他引总引比等多个文献计量学指标进行统计分析, 对期刊分学科进行评比, 其评价结果客观公正, 为我国科技界公认, 并具有广泛影响.

CONTENTS

Characterizing Beijing's Airborne Bacterial Communities in PM _{2.5} and PM ₁₀ Samples During Haze Pollution Episodes Using 16S rRNA Gene Analysis Method	WANG Bu-ying, LANG Ji-dong, ZHANG Li-na, <i>et al.</i> (2727)
Distribution Characteristics and Source Analysis of Dustfall Trace Elements During Winter in Beijing	XIONG Qiu-lin, ZHAO Wen-ji, GUO Xiao-yu, <i>et al.</i> (2735)
Pollution Characteristics of Aldehydes and Ketones Compounds in the Exhaust of Beijing Typical Restaurants	CHENG Jing-chen, CUI Tong, HE Wan-qing, <i>et al.</i> (2743)
Emission Characteristics of Vehicle Exhaust in Beijing Based on Actual Traffic Flow Information	FAN Shou-bin, TIAN Ling-di, ZHANG Dong-xu, <i>et al.</i> (2750)
Chemical Compositions in PM _{2.5} and Its Impact on Visibility in Summer in Pearl River Delta, China	YANG Yi-hong, QU Qun, LIU Sui-xin, <i>et al.</i> (2758)
Health Risk Assessment of Tunnel Workers Based on the Investigation and Analysis of Occupational Exposure to PM ₁₀	XIANG Hua-li, YANG Jun, QIU Zhen-zhen, <i>et al.</i> (2768)
Analysis on Emission Inventory and Temporal-Spatial Characteristics of Pollutants from Key Coal-Fired Stationary Sources in Jiangsu Province by On-Line Monitoring Data	ZHANG Ying-jie, KONG Shao-fei, TANG Li-li, <i>et al.</i> (2775)
Hydrogen and Oxygen Isotopic Compositions of Precipitation and Its Water Vapor Sources in Eastern Qaidam Basin	ZHU Jian-jia, CHEN Hui, GONG Guo-li (2784)
Distribution Characteristics of Sedimentary Pigments in the Changjiang Estuary and Zhe-Min Coast and Its Implications	LI Dong, YAO Peng, ZHAO Bin, <i>et al.</i> (2791)
Nutrients Input Characteristics of the Yangtze River and Wangyu River During the "Water Transfers on Lake Taihu from the Yangtze River"	PAN Xiao-xue, MA Ying-qun, QIN Yan-wen, <i>et al.</i> (2800)
Pollution Characteristics of Surface Runoff of Typical Town in Chongqing City	WANG Long-tao, DUAN Bing-zheng, ZHAO Jian-wei, <i>et al.</i> (2809)
Effect of Water and Sediment Regulation on the Transport of Particulate Organic Carbon in the Lower Yellow River	ZHANG Ting-ting, YAO Peng, WANG Jin-peng, <i>et al.</i> (2817)
Concentration and Source of Dissolved Organic Carbon in Snowpits of the Tibetan Plateau	YAN Fang-ping, KANG Shi-chang, CHEN Peng-fei, <i>et al.</i> (2827)
Variations of Inorganic Carbon and Its Impact Factors in Surface-Layer Waters in a Groundwater-Fed Reservoir in Karst Area, SW China	LI Jian-hong, PU Jun-bing, YUAN Dao-xian, <i>et al.</i> (2833)
Modeling the Influencing Factors of Karstification and Karst Carbon Cycle in Laboratory	ZHAO Rui-yi, LÜ Xian-fu, DUAN Yi-fan (2843)
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of HCHs and DDTs in Surface Water Bodies in Xinxiang	FENG Jing-lan, YU Hao, LIU Shu-hui, <i>et al.</i> (2849)
Comparison Study of the Alkanes in Different Aquifer Medium Under Qingmuguan Underground System	LIANG Zuo-bing, SUN Yu-chuan, WANG Zun-bo, <i>et al.</i> (2857)
Spatial Distribution Characteristics of Different Species Mercury in Water Body of Changshou Lake in Three Gorges Reservoir Region	BAI Wei-yang, ZHANG Cheng, ZHAO Zheng, <i>et al.</i> (2863)
Influence of Marine Aquaculture Around Coal Power Plant on Mercury Species Change in Aquatic Ecological Environment	LIANG Peng, WANG Yuan-na, YOU Qiong-zhi, <i>et al.</i> (2870)
Using $\delta^{34}\text{S}\text{-SO}_4^{2-}$ and $\delta^{15}\text{N}\text{-NO}_3^-$, $\delta^{18}\text{O}\text{-NO}_3^-$ to Trace the Sources of Sulfur and Nitrate in Lihu Lake Underground Water, Guangxi, China	Li Rui, XIAO Qiong, LIU Wen, <i>et al.</i> (2877)
Ecological Effects of Algae Blooms Cluster: The Impact on Chlorophyll and Photosynthesis of the Water Hyacinth	LIU Guo-feng, HE Jun, YANG Yi-zhong, <i>et al.</i> (2887)
Influence of Natural Dissolved Organic Matter on the Passive Sampling Technique and Its Application	YU Shang-yun, ZHOU Yan-mei (2895)
Adhesion Force Analysis of Protein Fouling of PVDF Ultrafiltration Membrane Using Atomic Force Microscope	WANG Xu-dong, ZHOU Miao, MENG Xiao-rong, <i>et al.</i> (2900)
Influence of CNTs on Photodegradation of Salbutamol in Water Environment	WANG Qi, HAN Jia-rui, WEI Bo-fan, <i>et al.</i> (2906)
Preparation of $\beta\text{-In}_2\text{S}_3$ and Catalytic Degradation of Oxytetracycline Under Solar Light Irradiation	AI Cui-ling, ZHOU Dan-dan, ZHANG Rong-rong, <i>et al.</i> (2911)
Nitrogen Release Performance of Sediments in Drainage Pipeline	CHEN Hong, ZHUO Qiong-fang, XU Zhen-cheng, <i>et al.</i> (2918)
Analysis of Precipitation Formation in Biofilm CANON Reactor and Its Effect on Nitrogen Removal	FU Kun-ming, WANG Hui-fang, ZUO Zao-rong, <i>et al.</i> (2926)
Optimization of Energy Saving Measures with ABR-MBR Integrated Process	WU Peng, LU Shuang-jun, XU Yue-zhong, <i>et al.</i> (2934)
Abundance and Community Composition of Ammonia-Oxidizing Archaea in Two Completely Autotrophic Nitrogen Removal over Nitrite Systems	GAO Jing-feng, LI Ting, ZHANG Shu-jun, <i>et al.</i> (2939)
Formation Mechanism of Aerobic Granular Sludge and Removal Efficiencies in Integrated ABR-CSTR Reactor	WU Kai-cheng, WU Peng, XU Yue-zhong, <i>et al.</i> (2947)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Surface Soil of Pearl River Delta Economic Zone	DOU Lei, YANG Guo-yi (2954)
Risk Assessment of Heavy Metal Contamination in Farmland Soil in Du'an Autonomous County of Guangxi Zhuang Autonomous Region, China	WU Yang, YANG Jun, ZHOU Xiao-yong, <i>et al.</i> (2964)
Assessment of Heavy Metal Pollution and Its Health Risk of Surface Dusts from Parks of Kaifeng, China	DUAN Hai-jing, CAI Xiao-qiang, RUAN Xin-ling, <i>et al.</i> (2972)
Responses of Soil and Plant ^{15}N Natural Abundance to Long-term N Addition in an N-Saturated <i>Pinus massoniana</i> Forest in Southwest China	LIU Wen-jing, KANG Rong-hua, ZHANG Ting, <i>et al.</i> (2981)
Latitudinal Changes in Plant Stoichiometric and Soil C, N, P Stoichiometry in Loess Plateau	LI Ting, DENG Qiang, YUAN Zhi-You, <i>et al.</i> (2988)
Open-top Chamber for <i>in situ</i> Research on Response of Mercury Enrichment in Rice to the Rising Gaseous Elemental Mercury in the Atmosphere	CHEN Jian, WANG Zhang-wei, ZHANG Xiao-shan, <i>et al.</i> (2997)
Influence of Uranium in <i>Pteris vittata</i> L. Inoculated by Arbuscular Mycorrhizal Fungus	ZHENG Wen-jun, WANG Ming-yuan (3004)
Impact on the Microbial Biomass and Metabolic Function of Carbon Source by Black Soil During Rice Cultivation	ZHAO Zhi-rui, CUI Bing-jian, HOU Yan-lin, <i>et al.</i> (3011)
Effect of Decomposing Products of Immobilized Carriers on Desorption of Pyrene in Contaminated Soil	TONG Dong-li, SHUANG Sheng-qing, LI Xiao-jun, <i>et al.</i> (3018)
Solidification/Stabilization of Chromite Ore Processing Residue (COPR) Using Zero-Valent Iron and Lime-Activated Ground Granulated Blast Furnace Slag	CHEN Zhong-lin, LI Jin-chunzi, WANG Bin-yuan, <i>et al.</i> (3026)
Stabilization of Cadmium Contaminated Soils by Ferric Ion Modified Attapulgite (Fe/ATP): Characterizations and Stabilization Mechanism	YANG Rong, LI Hong-bo, ZHOU Yong-li, <i>et al.</i> (3032)
Improving Agricultural Safety of Soils Contaminated with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by In Situ Bioremediation	JIAO Hai-hua, PAN Jian-gang, XU Sheng-jun, <i>et al.</i> (3038)
Competence of Cd Phytoremediation in Cd-OCDF Co-contaminated Soil Using <i>Mirabilis jalapa</i> L.	ZHANG Xing-li, ZOU Wei, ZHOU Qi-xing (3045)
Effects of Soil Moisture on Phytoremediation of As-Contaminated Soils Using As-Hyperaccumulator <i>Pteris vittata</i> L.	LIU Qiu-xin, YAN Xiu-lan, LIAO Xiao-yong, <i>et al.</i> (3056)
Effects of Phosphate Rock and Decomposed Rice Straw Application on Lead Immobilization in a Contaminated Soil	TANG Fan, HU Hong-qing, SU Xiao-juan, <i>et al.</i> (3062)
Residue and Degradation of Roxarsone in the System of Soil-Vegetable	SHAO Ting, YAO Chun-xia, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> (3068)
Acute Toxicity and Safety Assessment of Three Typical Organic Pollutants to Two Aquatic Organisms	YANG Yang, LI Ya-jie, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (3074)
Effects of Oil Pollutants on the Performance of Marine Benthonic Microbial Fuel Cells and Its Acceleration of Degradation	MENG Yao, FU Yu-bin, LIANG Sheng-kang, <i>et al.</i> (3080)
Microwave In-situ Regeneration of Cu-Mn-Ce/ZSM Catalyst Adsorbed Toluene and Distribution of Bed Temperature	HU Xue-jiao, BO Long-li, LIANG Xin-xin, <i>et al.</i> (3086)
Impact of Thermal Treatment on Biogas Production by Anaerobic Digestion of High-solid-content Swine Manure	HU Yu-ying, WU Jing, WANG Shi-feng, <i>et al.</i> (3094)
Impact of Phosphogypsum Wastes on the Wheat Growth and CO ₂ Emissions and Evaluation of Economic-environmental Benefit	LI Ji, WU Hong-sheng, GAO Zhi-qiu, <i>et al.</i> (3099)
Status Quo, Uncertainties and Trends Analysis of Environmental Risk Assessment for PFASs	HAO Xue-wen, LI Li, WANG Jie, <i>et al.</i> (3106)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

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

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2015年8月15日 第36卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 8 Aug. 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