

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第5期

Vol.35 No.5

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长三角地区秸秆燃烧排放因子与颗粒物成分谱研究	唐喜斌, 黄成, 楼晟荣, 乔利平, 王红丽, 周敏, 陈明华, 陈长虹, 王倩, 李贵玲, 李莉, 黄海英, 张钢锋 (1623)
南京市大气颗粒物中水溶性离子的粒径分布和来源解析	薛国强, 朱彬, 王红磊 (1633)
2011年春季沙尘天气影响下上海大气颗粒物及其化学组分的变化特征	李贵玲, 周敏, 陈长虹, 王红丽, 王倩, 楼晟荣, 乔利平, 唐喜斌, 李莉, 黄海英, 陈明华, 黄成, 张钢锋 (1644)
结合外场观测分析珠三角二次有机气溶胶的数值模拟	郭晓霜, 司徒淑婷, 王雪梅, 丁翔, 王新明, 闫才青, 李小滢, 郑玫 (1654)
2013年夏季嘉兴市一次光化学事件的观测分析	沈利娟, 李莉, 吕升, 张孝寒, 吴博, 章国骏, 王翥 (1662)
移动监测法测量厦门春秋季节近地面 CO ₂ 的时空分布	李燕丽, 邢振雨, 穆超, 杜可 (1671)
秸秆烟尘和灰烬中元素碳的稳定同位素组成	刘刚, 李久海, 徐慧, 吴丹, 刘艳 (1680)
连续测量大气·OH的化学电离飞行时间质谱仪的研制	窦健, 花磊, 侯可勇, 蒋蕾, 谢园园, 赵无垠, 陈平, 王卫国, 田地, 李海洋 (1688)
我国重点城市水源及水厂出水中乙草胺的残留水平	于志勇, 金芬, 李红岩, 安伟, 杨敏 (1694)
巢湖水体组分垂向分布特征及其对水下光场的影响	马孟泉, 张玉超, 钱新, 马荣华, 段洪涛 (1698)
京杭大运河(杭州段)典型断面水生植物多样性调查及其与水环境相关性研究	陆胤, 许晓路, 张德勇, 王莉, 朱旭妮, 冯凤, 周巧君, 谢鹏 (1708)
合肥市典型景观水体氮磷污染特征及富营养化评价	李如忠, 刘科峰, 钱靖, 杨继伟, 张翩翩 (1718)
重庆园博园龙景湖新建初期内源氮磷分布特征及扩散通量估算	潘延安, 雷沛, 张洪, 单保庆, 李杰 (1727)
千岛湖库区及其主要入库河流水中有机氯农药残留污染特征及健康风险评价	唐访良, 张明, 徐建芬, 阮东德, 陈峰, 吴志旭, 程新良 (1735)
九龙江流域潜在病原菌污染分析	侯丽媛, 胡安谊, 马英, 于昌平 (1742)
江湖关系变化对鄱阳湖沉积物重金属分布及生态风险影响	刘婉清, 倪兆奎, 吴志强, 王圣瑞, 曾清如 (1750)
鄱阳湖-乐安河湿地水土环境中重金属污染的时空分布特征	简敏菲, 李玲玉, 徐鹏飞, 陈朴青, 熊建秋, 周雪玲 (1759)
典型岩溶水系统中溶解性有机质的运移特征	姚昕, 邹胜章, 夏日元, 许丹丹, 姚敏 (1766)
基于扰动分析方法的 AnnAGNPS 模型水文水质参数敏感性分析	席庆, 李兆富, 罗川 (1773)
混合胁迫条件下蓝藻运动特性研究	孙秀秀, 丛海兵, 高郑娟, 崔朝杰, 曹倩倩 (1781)
不同波长和强度光照对水体汞还原的影响	李希嘉, 钟紫旋, 孙荣国, 杨鲲, 王定勇 (1788)
地下水中常见离子对纳米零价铁除 Se(IV) 动力学的影响	杨文君, 郭迎庆, 杜尔登 (1793)
溴氧化铋可见光催化降解高效氯氟酯的研究	彭一荣, 赵小蓉, 贾漫珂, 周薇, 黄应平 (1798)
石墨烯基磁性复合材料吸附水中亚甲基蓝的研究	常青, 江国栋, 胡梦璇, 黄佳, 唐和清 (1804)
电化学氧化 PFOA 阳极材料筛选及其机制研究	卓琼芳, 邓述波, 许振成, 余刚 (1810)
典型抗生素在中国西南地区某污水处理厂中的行为和归趋	甘秀梅, 严清, 高旭, 张怡昕, 訾成方, 彭绪亚, 郭劲松 (1817)
颗粒状大孔阴树脂去除有机物以及缓解膜污染的效果与机制	何欢, 董秉直, 许光红, 闫昭辉 (1824)
石墨-活性炭纤维复合电极电吸附处理含盐废水的研究	周贵忠, 王兆丰, 王珣, 李文倩, 李少香 (1832)
酞基甲基化聚苯乙烯的制备及废水生化处理应用	张华雨, 许晴, 牛春梅, 王亚君, 侯正浩, 李绍英, 陈延明, 廉静, 吴士彬, 郭建博 (1838)
FePMo ₁₂ 催化电化学反应降解染料废水的研究	王栗, 岳琳, 郭建博, 杨景亮, 廉静, 罗晓, 王开红 (1843)
实际污水培养好氧颗粒污泥及其特性研究	杨淑芳, 张健君, 邹高龙, 杜至力 (1850)
SFBR 中好氧颗粒污泥的培养及特性研究	龙焙, 杨昌柱, 濮文虹, 杨家宽, 白俊, 王晶, 周玄月, 蒋国盛, 李春阳, 刘福标 (1857)
不同好/厌氧区容积负荷对生物膜/颗粒污泥耦合工艺脱氮除磷的影响	尹航, 刘畅, 高辉, 高大文 (1866)
黄原酸化废弃污泥吸附 Cu ²⁺ 研究	岑艳, 全向春, 姜晓满 (1871)
轮叶黑藻和穗花狐尾藻对铜的吸收机制研究	薛培英, 李国新, 赵全利 (1878)
不同烧制温度下玉米秸秆生物炭的性质及对苯的吸附性能	黄华, 王雅雄, 唐景春, 朱文英 (1884)
北京常见绿化树种叶片富集重金属能力研究	李少宁, 孔令伟, 鲁绍伟, 陈波, 高琛, 石媛 (1891)
泰州市区重金属污染的藜袋法与路生法评价研究	陈勤, 方炎明, 颜赞, 陈步金 (1901)
放牧对呼伦贝尔草甸草原土壤呼吸温度敏感性的影响	王旭, 闫瑞瑞, 邓钰, 闫玉春, 辛晓平 (1909)
苹果园土壤呼吸的变化及生物和非生物因素的影响	王蕊, 郭胜利, 刘庆芳, 张彦军, 姜继超, 郭慧敏, 李如剑 (1915)
重庆铁山坪森林土壤汞释放通量的影响因子研究	王琼, 罗遥, 杜宝玉, 叶芝祥, 段雷 (1922)
上海市郊区养殖场周边环境砷含量特征	奚功芳, 周守标, 丁海城, 姚春霞, 孔娟娟 (1928)
不同施氮量下水稻分蘖期光合碳向土壤碳库的输入及其分配的量化研究: ¹³ C 连续标记法	谭立敏, 吴昊, 李卉, 周萍, 李科林, 王久荣, 葛体达, 袁红朝, 吴金水 (1933)
污灌区盐分累积对土壤汞吸附行为影响的模拟研究	郑顺安, 李晓华, 徐志宇 (1939)
石灰干化污泥稳定后土壤中 Pb、Cd 和 Zn 浸出行为的研究	李翔, 宋云, 刘永兵 (1946)
大连市海产品中短链氯化石蜡的含量与分布研究	虞俊超, 王宝盛, 王亚韩, 孟梅, 陈茹, 江桂斌 (1955)
应用生物配体模型(BLM)研究辽河与太湖水体中铜对大型溞的急性毒性	周腾耀, 曹莹, 覃璐玫, 张亚辉, 曾鸿鸣, 闫振广, 刘征涛 (1962)
氧化铜纳米颗粒对水稻幼苗根系代谢毒性的研究	王淑玲, 张玉喜, 刘汉柱, 辛华 (1968)
吐温 80 对苏云金芽孢杆菌降解三苯基锡的促进机制	黄捷, 叶锦韶, 尹华, 彭辉, 马嘉雯, 唐立椿, 王惜若 (1974)
牛粪混合液微生物燃料电池长期运行稳定性研究	焦燕, 张国栋, 赵庆良 (1981)
针铁矿对城市生活垃圾有机组分厌氧发酵的影响	杨露露, 岳正波, 陈天虎, 王进 (1988)
城市生活垃圾集装箱转运过程中污染物产生状况研究	王晓媛, 刘殷华, 汪飞, 黄长缨, 陆峰, 谢冰 (1994)
铈插层黏土负载铁催化剂在 H ₂ S 选择性催化氧化过程中催化性能的研究	孙超, 张鑫, 郝郑平, 窦广玉, 孙春宝 (2002)
脱硫酸类水滑石衍生复合氧化物不同方法的制备与表征	祝春蕾, 王海林, 孙春宝 (2010)
固定污染源排气中 PM _{2.5} 采样方法综述	蒋靖坤, 邓建国, 李振, 李兴华, 段雷, 郝吉明 (2018)
产甲烷微生物研究概况	李煜珊, 李耀明, 欧阳志云 (2025)
《环境科学》征稿简则(1961) 《环境科学》征订启事(1967) 信息(1643, 1687, 1803, 1837)	

上海市郊区养殖场周边环境砷含量特征

奚功芳^{1,2}, 周守标², 丁海城^{1,3}, 姚春霞^{1*}, 孔娟娟²

(1. 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; 2. 安徽师范大学环境科学与工程学院, 芜湖 241003; 3. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要: 在上海市郊区选取 5 个大型养殖场, 分别采集地表水、饲料、土壤及蔬菜样品, 对其进行总砷及无机砷含量调查, 以了解目前上海市郊区养殖场砷含量水平特征, 以及有机砷饲料添加剂的使用情况。结果表明, 水样中总砷含量介于 $0.00 \sim 23.00 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间, 低于国家规定的地表水环境质量一级标准 ($50 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$); 饲料中总砷含量在 $0.40 \sim 12.13 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间, 其中无机砷占总砷的 $10.0\% \sim 80.0\%$; 抽查饲料样品中总砷含量范围为 $0.16 \sim 21.39 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 无机砷含量在 $0.003 \sim 10.67 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间, 其中超过饲料中砷的限量标准的占 16.7% ; 土壤中总砷含量介于 $8.08 \sim 18.50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 22.2% 的土壤样品中总砷含量超过土壤环境质量一级标准, 土壤中无机砷占总砷 $44.2\% \sim 78.9\%$; 蔬菜中总砷含量在 $0.003 \sim 0.093 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间, 均低于国家规定的限量标准 $0.50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 同种蔬菜不同部位砷含量存在一定差异: 根部砷含量要高于地上部分, 蔬菜中总砷富集系数与总砷含量呈明显的正相关, 与根际土壤中砷含量呈一定的负相关。

关键词: 养殖场; 水样; 饲料; 土壤; 蔬菜; 砷含量

中图分类号: X131 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)05-1928-05 DOI: 10.13227/j.hjks.2014.05.042

Characteristics of Arsenic Content in the Livestock Farms' Surrounding Environment in Shanghai Suburbs

XI Gong-fang^{1,2}, ZHOU Shou-biao², DING Hai-cheng^{1,3}, YAO Chun-xia¹, KONG Juan-juan²

(1. Institute for Agro-Product Quality Standards and Testing Technologies, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Anhui Normal University, Wuhu 241003, China; 3. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In the suburbs of Shanghai, selected five large farms and surface water, feed, soil and vegetable samples were collected, and then total and inorganic arsenic were detected to survey the current arsenic level of the livestock farms in Shanghai suburban, as well as the usage situation of organic arsenic as feed additives. The results showed that the total arsenic content in water samples ranged from $0.00 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ to $23.00 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, below the first standard of surface water quality ($50 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$); total arsenic in feed was among $0.40 \sim 12.13 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, in which inorganic arsenic was $10.0\% \sim 80.0\%$; total arsenic in spot-checking feed samples was $0.16 \sim 21.39 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ and inorganic arsenic was $0.003 \sim 10.67 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, and samples exceeding the limits of arsenic in feed accounted for 16.7% ; total arsenic content in soils ranged from $8.08 \sim 18.50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, in which 22.2% samples were higher than the first standard of soil environmental quality, and inorganic arsenic accounted for $44.2\% \sim 78.9\%$ of total arsenic; vegetables' total arsenic was $0.003 \sim 0.093 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, not higher than the maximal residue limit of $0.50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ on the current national standard; there were some differences in different parts of the same species vegetables on arsenic content; arsenic content in roots were higher than that in the aboveground part, and the bioconcentration factors showed a significantly positive correlation with the arsenic content in vegetables and a negative correlation with the arsenic content in rhizosphere.

Key words: farms; water; feed; soil; vegetable; arsenic content

砷污染物对人体具有较强的致癌风险, 但由于有机砷饲料添加剂(主要是洛克沙砷、阿散酸)能促进动物血液循环, 刺激生长, 并具有一定的抗菌、抗寄生虫等药理作用, 从而被畜禽养殖业广泛应用, 导致禽畜粪中砷残留^[1]。我国于 1993 年和 1996 年分别批准阿散酸和洛克沙砷上市使用, 允许作为饲料添加剂使用, 现行有效的《饲料药物添加剂使用规范》(2001 年农业部 168 号公告)中规定: 作为猪鸡饲料添加剂, 氨苯砷酸(阿散酸) $100 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$, 洛克沙砷 $50 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$, 休药期 5 d, 产蛋期禁用。有研究表明,

有机砷添加剂被猪、鸡等摄入后, 其在胃肠道吸收较少, 大部分未经转化即经粪便和尿液排出体外, 通过畜禽粪便的施用, 饲料源砷可在饲料-畜禽粪便-水-土壤-农产品中发生迁移、转化, 从而对环境造成一定的污染^[2]。

国内外对包括有机砷在内的兽药及饲料添加剂

收稿日期: 2013-07-31; 修订日期: 2013-12-19

基金项目: 上海市自然科学基金项目(12ZR1420200); 国家质检公益性行业科研专项(201310269)

作者简介: 奚功芳(1990~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为生态环境重金属污染, E-mail: xigongfang90@163.com

* 通讯联系人, E-mail: chunxia.yao@163.com

的生态毒性非常关注,并进行了一定的研究^[3,4]. 目前,上海市郊区养殖场的砷含量调查还属空白,养殖场饲料、周边水体、土壤、蔬菜等砷含量情况如何,是否会超过国家规定的限量值? 本研究展开对上海市郊区养殖场周边环境 中 砷 含 量 情 况 的 调 查,以 了 解 目 前 上 海 市 郊 区 养 殖 场 周 边 环 境 的 砷 含 量 特 征,以及有机肿饲料添加剂的使用情况.

1 材料与方法

1.1 材料

(1)样品 样品来自上海市郊区的 5 个大型养殖场,分别位于浦东 1(浦东区)、浦东 2(南汇区)、奉贤区、松江区及崇明区,样品类型包括养殖场周边的地表水,养殖场饲料、蔬菜及其根际土壤.

(2)试剂 砷标液(国家标准物质中心)、氢氧化钠、硼氢化钾、硫脲、抗坏血酸、碘化钾、盐酸、浓硝酸、高氯酸、正辛醇(所用试剂均为国产优级纯试剂,用水为去离子超纯水).

(3)仪器 AFS-930 型原子荧光光度计、万分之一电子天平、HWS-26 型恒温水浴锅、SK8210 超声波清洗机、JH404 型电热板、ELGA 超纯水仪等.

1.2 样品采集及处理

(1)水样 在养殖场周边不同地表水域采集表层水样 3 个(其中,浦东 1 两个水样,松江 1 个水样),共计 12 个,每个样品不少于 50 mL.

(2)饲料样品 分别于各养殖场采集饲料样 500 g,风干,用研钵磨碎过 100 目尼龙筛,充分混匀装于塑料样品袋中保存.

(3)土壤及蔬菜样品 以随机采样的方法于养殖场内施用有机肥的菜地采集蔬菜样(连根整颗采集)及其根际土壤(采样深度 0~20 cm,约 500 g),每个养殖场采集 6 种蔬菜及其根际土壤样品,共计 60 个. 将土壤样品置于室内自然风干,压碎,捡出石子、树枝等杂质,用研钵磨碎后过 100 目尼龙筛充分混匀装于塑料样品袋中保存;蔬菜样于实验室先用自来水将蔬菜表面沾有的土壤冲洗干净,再用去离子水冲洗 3 遍,用吸水纸吸干蔬菜表面的水分,分别取地上部分和根部进一步剪碎并用打样机打成匀浆状,装于塑料瓶中于-20℃冰箱保存待测.

1.3 测定方法

(1)总砷 准确称取 0.2 g 土壤样品、2.0 g 饲料样品及 15 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、18 mL 及 20 mL 冷消化过夜,次日于电热板上消化,

用去离子水冲洗锥形瓶过滤定容至 25 mL,加入 50 g·L⁻¹硫脲-抗坏血酸 5 mL 还原,供 HG-AFS 测定. 准确吸取 25 mL 水样,加入 6 mol·L⁻¹的盐酸 10 mL 提取,静置 30 min,过滤定容,硫脲-抗坏血酸还原,供 HG-AFS 测定,具体操作见文献[5].

(2)无机砷 土壤中无机砷采用 6 mol·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^[6]使用的方法. 饲料中无机砷采用 6 mol·L⁻¹的盐酸 70℃水浴 18 h, HG-AFS 测定,具体操作见 DB34/T 1035-2009^[7].

1.4 数据处理

将检测数据根据地区及样品类型进行分类,实验结果用 Excel 分析.

2 结果与分析

2.1 上海市郊区养殖场周边地表水中砷含量

由表 1 可知,水样中总砷的含量范围为 0.00~23.00 μg·L⁻¹. 总体上,浦东 2 地区水样中总砷的含量最高,奉贤次之,部分水样总砷含量低于仪器的检出限(0.01 μg·L⁻¹). 所有地表水样中总砷含量均未超过国家规定的地表水环境质量一级标准 0.05 mg·L⁻¹^[8]. 王付民等^[9]于 2006 年对广州地区长期使用有机肿饲料添加剂的猪场周围污水中砷含量的调查显示,其平均值在 0.55 mg·L⁻¹,表明有机肿添加剂的使用能够引起水体环境中总砷含量的升高. 上海市郊区养殖场周边地表水样中总砷含量明显低于广州地区,这可能与上海市养殖场周边环境整体砷含量水平不高有关,未对水体砷含量产生较大影响.

表 1 水样中总砷含量/μg·L⁻¹

Table 1 Total arsenic content in water/μg·L⁻¹

编号	浦东 1	浦东 2	奉贤	松江	崇明
1	0.32	9.59	未检出	1.12	0.61
2	0.10	9.91	10.00	— ¹⁾	4.45
3	—	19.59	23.00	—	4.50
均值	0.21	13.03	11.00	1.12	3.19

1) 为无检测样品,下同

2.2 上海市郊区养殖场饲料中砷含量

由饲料样品中总砷和无机砷检测结果(表 2)可知,饲料中总砷含量在 0.40~12.13 mg·kg⁻¹之间,浦东 1 地区养殖场使用的饲料中总砷含量最高,其无机砷含量已超过了国家规定的饲料中最高允许限值 2.0 mg·kg⁻¹^[10](不含国家允许添加的有机肿

量),其他4个地区养殖场的饲料中总砷含量均较低;饲料样品中无机砷含量介于 $0.04 \sim 5.96 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,占总砷 $10.0\% \sim 80.0\%$,这可能与各养殖场饲料的成分和配比不同有关。无机砷的毒性要明显高于有机砷,有机砷饲料添加剂经动物食用后通过排泄的形式进入环境,经降解、转化为无机砷,对环境造成一定危害。

表2 饲料样品中总砷和无机砷含量

Table 2 Total and inorganic arsenic concentrations of feed samples

项目	浦东1	浦东2	奉贤	松江	崇明
总砷/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	12.13	0.87	0.40	—	0.86
无机砷/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	5.96	0.41	0.04	—	0.69
无机砷占总砷的比例/%	49.1	47.1	10.0	—	80.0

表3 上海市饲料样品砷含量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Table 3 Arsenic content of feed samples in Shanghai/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

编号	浦东		金山		松江		奉贤	
	总砷	无机砷	总砷	无机砷	总砷	无机砷	总砷	无机砷
1	0.35	0.33	8.33	1.55	1.16	0.43	0.43	0.17
2	5.17	4.82	4.40	0.73	21.39	10.67	0.18	0.02
3	0.67	0.58	2.23	0.62	9.48	1.16	0.16	0.003
平均值	2.06	1.91	4.99	0.97	10.68	4.09	0.26	0.06

2.3 上海市郊区养殖场土壤中砷含量

由土壤中总砷及无机砷的检测结果显示(表4),上海市郊区养殖场土壤中总砷含量在 $8.08 \sim 18.50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,其中22.2%的土壤样品中砷含量已超过国家规定的一级标准 $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[12],主要集中于浦东和奉贤地区;土壤中无机砷的含量介于 $5.04 \sim 9.57 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,占总砷的比例为 $44.2\% \sim 78.9\%$ 。从总体上看,松江土壤中总砷含量相对较低,其平均值为 $8.51 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而奉

贤地区土壤中砷含量相对较高,平均值为 $15.13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,高出全国平均土壤含砷量($9.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[13]50.0%。孙仲秀等^[14]和彭来真等^[15]研究结果表明施肥是土壤中砷的主要来源,王付民等^[9]调查的广州猪场周边绝大部分土壤中砷含量已超过自然界最高背景值($15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),距离猪场越近的砷含量越高,肥料中的砷可对土壤中砷含量造成一定影响,需严格控制含砷肥料的施用。

表4 土壤中总砷和无机砷含量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Table 4 Total and inorganic arsenic concentrations in soils/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

类型	浦东1		浦东2		奉贤		松江		崇明	
	总砷	无机砷	总砷	无机砷	总砷	无机砷	总砷	无机砷	总砷	无机砷
青菜土	16.78	7.42	13.55	8.71	14.01	8.89	8.55	5.18	8.08	5.67
胡萝卜土	11.18	7.76	10.58	7.78	14.66	9.00	—	—	8.90	6.15
萝卜土	15.30	9.57	9.35	7.23	14.21	8.29	8.08	5.04	9.23	5.97
茼蒿土	15.01	8.94	11.14	8.22	18.50	8.63	—	—	8.52	6.72
生菜土	15.79	9.44	9.28	6.17	17.31	9.04	—	—	14.10	8.81
白菜土	10.07	6.81	12.09	8.67	12.09	7.74	8.91	5.74	10.62	6.51
平均值	14.02	8.32	11.00	7.80	15.13	8.60	8.51	5.32	9.91	6.64

2.4 上海市郊区养殖场内蔬菜中砷含量

蔬菜样品中总砷含量均较低(表5),介于 $0.003 \sim 0.093 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,未超过国家规定的限量标准($0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[16],其中茼蒿中砷含量明显

高于其他蔬菜,萝卜和白菜中砷含量较低。各地区蔬菜中总砷的平均值在 $0.006 \sim 0.044 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,浦东1地区蔬菜中总砷含量最高,为 $0.044 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,已超出蔬菜类含砷量的正常范围(0.001

~0.039 mg·kg⁻¹)^[17]; 浦东 2 和崇明次之, 松江地区蔬菜中总砷含量最低, 为 0.006 mg·kg⁻¹. 不同地区同种蔬菜中总砷含量不同, 同一地区不同蔬菜中总砷含量之间也有所差异, 这可能与土壤中砷含量及蔬菜积累砷的能力有关, 其中茼蒿积累砷的能力最强, 白菜积累砷的能力最弱.

表 5 蔬菜中总砷含量/mg·kg⁻¹

Table 5 Total arsenic content in vegetables/mg·kg⁻¹

类型	浦东 1	浦东 2	奉贤	松江	崇明
青菜	0.037	0.020	0.018	0.005	0.015
胡萝卜	0.058	0.022	0.012	—	0.014
萝卜	0.030	0.016	0.013	0.003	0.012
茼蒿	0.093	0.083	0.021	—	0.084
生菜	0.042	0.033	0.016	—	0.033
白菜	0.006	0.004	0.003	0.009	0.024
平均值	0.044	0.030	0.014	0.006	0.030

在所采集的样品中随机选取 26 种蔬菜样品对其地上部分、根部及其根际土壤中总砷含量进行分析, 以了解砷从土壤向蔬菜的迁移分布情况; 并对蔬菜中砷的生物富集系数进行分析. 由图 1(a)可知, 蔬菜根部总砷含量大于地上部分; 由图 1(b)可知, 蔬菜地上部分砷含量与其根部砷含量之间存在一定的相关性; 由图 1(c)、1(d)可知, 蔬菜地上部分、根部砷含量与其根际土壤中砷含量无明显相关性; 由图 1(e)、1(f)可知, 蔬菜中砷含量与其砷富集系数之间呈显著正相关, 与土壤砷含量呈一定的负相关. 这与蔡保松等^[18]和陈同斌等^[19]的研究结果一致. 张雨梅等^[20]在盆栽实验中在土壤中添加 20 mg·kg⁻¹洛克沙肿时, 青菜中总砷含量即超过 0.5 mg·kg⁻¹, 有机砷饲料添加剂进入环境中, 从土壤迁移到植物和水体.

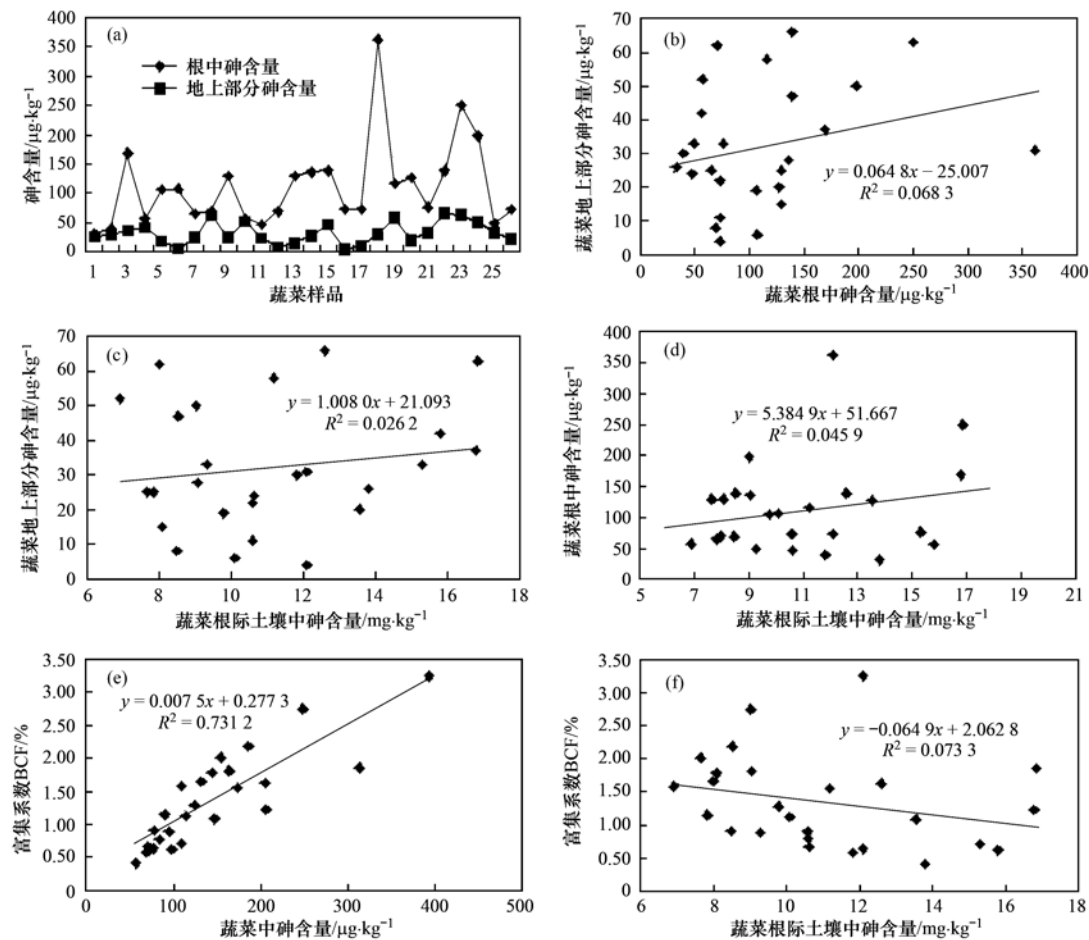


图 1 同种蔬菜不同部位与其根际土的砷含量关系

Fig. 1 Relationships between total As contents in different parts of the same vegetable and their rhizosphere soils

3 结论

(1)上海市郊区养殖场周边地表水中总砷含量

在 0.00 ~ 23.00 μg·L⁻¹之间, 低于国家规定的地表水环境质量一级标准 50 μg·L⁻¹, 养殖场周边地表水不存在砷污染.

(2) 饲料中总砷含量在 $0.40 \sim 12.13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,无机砷占总砷的 $10.0\% \sim 80.0\%$; 抽查饲料样品中总砷含量范围为 $0.16 \sim 21.39 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值在 $0.26 \sim 10.68 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,无机砷含量介于 $0.003 \sim 10.67 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其中 16.7% 的饲料样品中无机砷高于国家规定的标准值 $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

(3) 土壤中总砷含量在 $8.08 \sim 18.50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,各养殖场平均值为 $8.51 \sim 15.13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,其中高于国家一级土壤标准($15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)的样品数占 22.2% ; 无机砷介于 $5.04 \sim 9.57 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,占总砷的 $44.2\% \sim 78.9\%$; 浦东 1、浦东 2、奉贤及崇明 4 个地区土壤中总砷含量的平均值已超过全国平均土壤砷含量 $9.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

(4) 上海市郊区养殖场内同种蔬菜以及同一养殖场不同种蔬菜中总砷含量不同,分布范围为 $0.003 \sim 0.093 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 各养殖场蔬菜中总砷含量的平均值在 $0.006 \sim 0.044 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,这与不同土壤总砷含量以及蔬菜积累砷的能力有关; 蔬菜根部总砷含量大于地上部分; 蔬菜中总砷含量与其根际土壤中总砷含量无明显相关性; 蔬菜总砷富集系数与其总砷含量呈明显的正相关,与其根际土壤中砷含量呈一定的负相关.

(5) 上海市郊区养殖场周边环境中总砷含量水平总体不高,地表水以及蔬菜中总砷含量均远远低于国家规定的限量标准; 部分饲料和土壤中砷含量较高,饲料中无机砷含量超过国家规定的限量标准已达 16.7% , 并有 22.2% 的土壤样品中总砷含量已超过国家一级土壤标准,有机砷饲料添加剂的使用情况不容忽视.

参考文献:

- [1] Cang L, Wang Y J, Zhou D M, *et al.* Heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu province [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2004, **16**(3): 371-374.
- [2] 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]. *分析化学研究简报*, 2010, **38**(9): 1321-1324.
- [3] Garbarino A J, Bednar J R, Rutherford D W, *et al.* Environmental fate of roxarsone in poultry litter. I. Degradation of roxarsone during composting [J]. *Environmental Science and Technology*, 2003, **37**(8): 1509-1514.
- [4] Rutherford D W, Bednar A J, Garbarino J R, *et al.* Environmental fate of roxarsone in poultry litter. Part II. Mobility of arsenic in soils amended with poultry litter [J]. *Environmental Science and Technology*, 2003, **37**(8): 1515-1520.
- [5] 刘明忠. 原子荧光应用手册[R]. 北京: 北京吉天仪器有限公司.
- [6] 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, **26**(6): 538-540.
- [7] DB34/T 1035-2009, 饲料中总砷和无机砷的测定[S].
- [8] GB 3838-2002, 地表水环境质量标准[S].
- [9] 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.
- [10] GB 13078-2001, 饲料卫生标准[S].
- [11] 修金生, 吴顺意, 周伦江, 等. 福建省规模化猪场饲料和猪粪中重金属砷含量测定初报[J]. *中国农学通报*, 2011, **27**(17): 13-16.
- [12] GB 15618-1995, 土壤环境质量标准[S].
- [13] 张国祥, 杨居荣, 华路. 土壤环境中的砷及其生态效应[J]. *土壤*, 1996, (2): 64-68.
- [14] 孙仲秀, 周崇峻, 姜荧荧, 等. 长期定位施肥对菜园土壤砷累积和分布的影响[J]. *湖北农业科学*, 2011, **52**(9): 2021-2023.
- [15] 彭来真, 刘琳琳, 吕清瑶, 等. 施用猪粪对土壤和菜心砷含量的影响[J]. *热带作物学报*, 2011, **32**(3): 423-426.
- [16] 廖自基. 环境中微量重金属元素的污染危害与迁移转化[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 101-138.
- [17] GB 2762-2005, 食品中污染物限量[S].
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.

CONTENTS

Emission Factors and PM Chemical Composition Study of Biomass Burning in the Yangtze River Delta Region	TANG Xi-bin, HUANG Cheng, LOU Sheng-rong, <i>et al.</i> (1623)
Size Distributions and Source Apportionment of Soluble Ions in Aerosol in Nanjing	XUE Guo-qiang, ZHU Bin, WANG Hong-lei (1633)
Characteristics of Particulate Matters and Its Chemical Compositions During the Dust Episodes in Shanghai in Spring, 2011	LI Gui-ling, ZHOU Min, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (1644)
Numerical Modeling Analysis of Secondary Organic Aerosol (SOA) Combined with the Ground-based Measurements in the Pearl River Delta Region	GUO Xiao-shuang, SITU Shu-ping, WANG Xue-mei, <i>et al.</i> (1654)
Observation of a Photochemical Event in Jiaying During Summer 2013	SHEN Li-juan, LI Li, LÜ Sheng, <i>et al.</i> (1662)
Spatial and Temporal Variations of Near Surface Atmospheric CO ₂ with Mobile Measurements in Fall and Spring in Xiamen, China	LI Yan-li, XING Zhen-yu, MU Chao, <i>et al.</i> (1671)
Isotope Compositions of Elemental Carbon in the Smoke and Ash from Crop Straw Combustion	LIU Gang, LI Jiu-hai, XU Hui, <i>et al.</i> (1680)
Development of a Chemical Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometer for Continuous Measurements of Atmospheric Hydroxyl Radical	DOU Jian, HUA Lei, HOU Ke-yong, <i>et al.</i> (1688)
Residual Levels of Acetochlor in Source Water and Drinking Water of China's Major Cities	YU Zhi-yong, JIN Fen, LI Hong-yan, <i>et al.</i> (1694)
Vertical Distribution of Water Quality and Its Influence on Underwater Light Field in Lake Chaohu	MA Meng-xiao, ZHANG Yu-chao, QIAN Xin, <i>et al.</i> (1698)
Correlation Between Aquatic Plant Diversity and Water Environment in the Typical Sites of Hangzhou Section of the Beijing-Hangzhou Grand Canal	LU Yin, XU Xiao-lu, ZHANG De-yong, <i>et al.</i> (1708)
Nitrogen and Phosphate Pollution Characteristics and Eutrophication Evaluation for Typical Urban Landscape Waters in Hefei City	LI Ru-zhong, LIU Ke-feng, QIAN Jing, <i>et al.</i> (1718)
Distribution of Nitrogen and Phosphorus in the Sediments and Estimation of the Nutrients Fluxes in Longjing Lake, Chongqing City, During the Initial Impoundment Period	PAN Yan-an, LEI Pei, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (1727)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Organochlorine Pesticides (OCPs) in the Water of Lake Qiandao and Its Major Input Rivers	TANG Fang-liang, ZHANG Ming, XU Jian-fen, <i>et al.</i> (1735)
Distribution of Potential Pathogenic Bacteria in the Jiulong River Watershed	HOU Li-yuan, HU An-yi, MA Ying, <i>et al.</i> (1742)
Influence of the River-lake Relation Change on the Distribution of Heavy Metal and Ecological Risk Assessment in the Surface Sediment of Poyang Lake	LIU Wan-qing, NI Zhao-kui, WU Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1750)
Spatiotemporal Variation Characteristics of Heavy Metals Pollution in the Water, Soil and Sediments Environment of the Lean River-Poyang Lake Wetland	JIAN Min-fei, LI Ling-yu, XU Peng-fei, <i>et al.</i> (1759)
Dissolved Organic Matter (DOM) Dynamics in Karst Aquifer Systems	YAO Xin, ZOU Sheng-zhang, XIA Ri-yuan, <i>et al.</i> (1766)
Sensitivity Analysis of AnnAGNPS Model's Hydrology and Water Quality Parameters Based on the Perturbation Analysis Method	XI Qing, LI Zhao-fu, LUO Chuan (1773)
Movement Characteristics of <i>Cyanobacteria</i> Under Stress of Water-Lifting Aeration	SUN Xiu-xiu, CONG Hai-bing, GAO Zheng-juan, <i>et al.</i> (1781)
Influence of Light Wavelength and Intensity on the Reduction of Divalent Mercury in Aquatic System	LI Xi-jia, ZHONG Zi-xuan, SUN Rong-guo, <i>et al.</i> (1788)
Dynamic Effects of Commonly Co-Existing Anions on the Removal of Selenite from Groundwater by Nanoscale Zero-Valent Iron	YANG Wen-jun, GUO Ying-qing, DU Er-deng (1793)
BiOBr Promoted the Photocatalytic Degradation of Beta-cypermethrin Under Visible Light	PENG Yi-zhu, ZHAO Xiao-rong, JIA Man-ke, <i>et al.</i> (1798)
Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solution onto Magnetic Fe ₃ O ₄ /Graphene Oxide Nanoparticles	CHANG Qing, JIANG Guo-dong, HU Meng-xuan, <i>et al.</i> (1804)
Selection of Electrochemical Anodic Materials for PFOA Degradation and Its Mechanism	ZHUO Qiong-fang, DENG Shu-bo, XU Zhen-cheng, <i>et al.</i> (1810)
Occurrence and Fate of Typical Antibiotics in a Wastewater Treatment Plant in Southwest China	GAN Xiu-mei, YAN Qing, GAO Xu, <i>et al.</i> (1817)
Effects and Mechanism on Removing Organics and Reduction of Membrane Fouling Using Granular Macro-Porous Anion Exchange Resin in Drinking Water Treatment	HE Huan, DONG Bing-zhi, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (1824)
Research on Treatment of High Salt Wastewater by the Graphite and Activated Carbon Fiber Composite Electrodes	ZHOU Gui-zhong, WANG Zhao-feng, WANG Xuan, <i>et al.</i> (1832)
Preparation and Application of the Quinonyl Chloromethylation Polystyrene in Biological Treatment of Wastewater	ZHANG Hua-yu, XU Qing, NIU Chun-mei, <i>et al.</i> (1838)
Enhanced Electro-Catalytic Oxidation of Dye Wastewater with FeMo ₁₂ Adopted Catalyst	WANG Li, YUE Lin, GUO Jian-bo, <i>et al.</i> (1843)
Formation and Characterization of Aerobic Granules in a Pilot-scale Reactor for Real Wastewater Treatment	YANG Shu-fang, ZHANG Jian-jun, ZOU Gao-long, <i>et al.</i> (1850)
Research on Cultivation of Aerobic Granular Sludge and Its Characteristics in Sequencing Fed Batch Reactor	LONG Bei, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (1857)
Effect of Different Volume Loading of Aerobic/Anaerobic Zone on Nitrogen and Phosphorus Removal by Biofilm and Granular Sludge Coupling Process	YIN Hang, LIU Chang, GAO Hui, <i>et al.</i> (1866)
Adsorption of Cu ²⁺ by Xanthate-Functionalized Waste Sludge	CEN Yan, QUAN Xiang-chun, JIANG Xiao-man (1871)
Mechanisms of Copper Uptake by Submerged Plant <i>Hydrilla verticillata</i> (L. f.) Royle and <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	XUE Pei-ying, LI Guo-xin, ZHAO Quan-li (1878)
Properties of Maize Stalk Biochar Produced Under Different Pyrolysis Temperatures and Its Sorption Capability to Naphthalene	HUANG Hua, WANG Ya-xiong, TANG Jing-chun, <i>et al.</i> (1884)
Beijing Common Green Tree Leaves' Accumulation Capacity for Heavy Metals	LI Shao-ming, KONG Ling-wei, LU Shao-wei, <i>et al.</i> (1891)
Assessment of Heavy Metal Contamination by Moss-bag Method and Road-dust Method for Taizhou Urban Area	CHEN Qin, FANG Yan-ming, YAN Yun, <i>et al.</i> (1901)
Effect of Grazing on the Temperature Sensitivity of Soil Respiration in Hulunber Meadow Steppe	WANG Xu, YAN Rui-rui, DENG Yu, <i>et al.</i> (1909)
Variation Characteristic in Soil Respiration of Apple Orchard and Its Biotic and Abiotic Influencing Factors	WANG Rui, GUO Sheng-li, LIU Qing-fang, <i>et al.</i> (1915)
Influencing Factors of Mercury Emission Flux from Forest Soil at Tieshanping, Chongqing	WANG Qiong, LUO Yao, DU Bao-yu, <i>et al.</i> (1922)
Characteristics of Arsenic Content in the Livestock Farms' Surrounding Environment in Shanghai Suburbs	XI Gong-fang, ZHOU Shou-biao, DING Hai-cheng, <i>et al.</i> (1928)
Input and Distribution of Rice Photosynthesized Carbon in the Tillering Stage Under Different Nitrogen Application Following Continuous ¹³ C Labeling	TAN Li-min, WU Hao, LI Hui, <i>et al.</i> (1933)
Simulation Study on the Effect of Salinity on the Adsorption Behavior of Mercury in Wastewater-Irrigated Area	ZHENG Shun-an, LI Xiao-hua, XU Zhi-yu (1939)
Leaching Behavior of Pb, Cd and Zn from Soil Stabilized by Lime Stabilized Sludge	LI Xiang, SONG Yun, LIU Yong-bing (1946)
Levels and Distribution of Short Chain Chlorinated Paraffins in Seaford from Dalian, China	YU Jun-chao, WANG Thanh, WANG Ya-wei, <i>et al.</i> (1955)
Application of Biotic Ligand Model for the Acute Toxicity of Copper to <i>Daphnia magna</i> in Water of Liaohe River and Taihu Lake	ZHOU Teng-yao, CAO ying, QIN Lu-mei, <i>et al.</i> (1962)
Phytotoxicity of Copper Oxide Nanoparticles to Metabolic Activity in the Roots of Rice	WANG Shu-ling, ZHANG Yu-xi, LIU Han-zhu, <i>et al.</i> (1968)
Enhancing Effect of Tween 80 on Degradation of Triphenyltin by <i>Bacillus thuringiensis</i>	HUANG Jie, YE Jin-shao, YIN Hua, <i>et al.</i> (1974)
Long-term Performance of Microbial Fuel Cell Using Manure as Substrate	JIAO Yan, ZHANG Guo-dong, ZHAO Qing-liang (1981)
Influence of Goethite on Anaerobic Fermentation of Organic Fraction of Municipal Solid Waste (OFMSW)	YANG Lu-lu, YUE Zheng-bo, CHEN Tian-hu, <i>et al.</i> (1988)
Pollutants Produced in Municipal Refuse Container During Transfer Process	WANG Xiao-yuan, LIU Yin-hua, WANG Fei, <i>et al.</i> (1994)
Selective Catalytic Oxidation of H ₂ S over Supported Fe Catalysts on CeO ₂ -Intercalated Laponite Clay	SUN Chao, ZHANG Xin, HAO Zheng-ping, <i>et al.</i> (2002)
Preparation by Different Methods and Characterization of Desulfurization Mixed Oxides Derived from Hydrotalcites	ZHU Chun-lei, WANG Hai-lin, SUN Chun-bao (2010)
Sampling Methods for PM _{2.5} from Stationary Sources: a Review	JIANG Jing-kun, DENG Jian-guo, LI Zhen, <i>et al.</i> (2018)
A Research Overview of Methanogens	LI Yu-shan, LI Yao-ming, OUYANG Zhi-yun (2025)

《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)

2014年5月15日 35卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 5 May 15, 2014

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