

长江三角洲地区农用地土壤重金属污染状况与防治建议

甘婷婷^{1,2}, 赵南京^{1,2}, 殷高方^{1,2}, 马明俊^{1,2}, 孟德硕^{1,2}, 方丽^{1,2}, 杨瑞芳^{1,2}, 刘文清^{1,2}

(1. 中国科学院环境光学与技术重点实验室, 中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031;
2. 安徽省环境光学监测技术重点实验室, 合肥 230031)

摘要: 长江三角洲地区(简称长三角地区)是我国重要的工农业生产基地, 关注该地区农用地土壤重金属污染状况对促进地区经济社会良性发展、保障生态环境安全具有重要意义。本文根据近 20 年发表的长三角地区农用地土壤重金属相关文献中的重金属含量数据, 全面分析长三角不同区域农用地土壤典型重金属累积情况与污染状况, 系统探究导致长三角地区农用地土壤重金属累积与污染的主要原因。分析发现, 工业“三废”排放、交通运输、化肥、农药、农膜等的大量施用(使用), 使得长三角地区农用地土壤中重金属 Cd 累积与污染情况最为严重, 其次是 Cu、Hg 和 Pb, 而浙江台州和安徽铜陵分别存在 Cd、Hg、Cu, Cd、Pb、Cu 多种重金属复合污染问题。针对长三角地区农用地土壤重金属污染防治的迫切需求和主要污染成因, 在农用地土壤重金属污染源头控制、农用地土壤重金属快速动态监测、农用地土壤分级管理、重金属污染农用地土壤修复新技术研发、农用地土壤污染防治立法等方面提出了相关防治建议, 以期改善长三角地区农用地土壤生态环境、促进优质高效农业的可持续发展提供参考。

关键词: 农用地; 重金属; 污染; 防治; 长三角地区

中图分类号: X53 **文献标识码:** A

A Review on Heavy Metal Pollution of Agricultural Land Soil in the Yangtze River Delta and Relevant Pollution Control Strategy

Gan Tingting^{1,2}, Zhao Nanjing^{1,2}, Yin Gaofang^{1,2}, Ma Mingjun^{1,2}, Meng Deshuo^{1,2},
Fang Li^{1,2}, Yang Ruifang^{1,2}, Liu Wenqing^{1,2}

(1. Key Laboratory of Environmental Optics and Technology, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China; 2. Key Laboratory of Optical Monitoring Technology for Environment, Anhui Province, Hefei 230031, China)

Abstract: The Yangtze River Delta is an important industrial and agricultural production base in China. It is significant to pay attention to the heavy metal pollution of agricultural land in the Yangtze River Delta for promoting the healthy development of social economy and for ensuring the safety of ecological environment in China. In this paper, the accumulation and pollution status of typical heavy metals in the agricultural land soil in different regions of the Yangtze River Delta were comprehensively analyzed and the main reasons for the pollution were systematically discussed, according to the heavy metal content data reported in relevant literatures published

收稿日期: 2020-04-10; 修回日期: 2020-06-16

通讯作者: 赵南京, 中国科学院安徽光学精密机械研究所研究员, 研究方向为环境光学监测技术研究与系统研发;

E-mail: njzhao@aiofm.ac.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“长三角农用地土壤污染风险及防治对策研究”(2019-XZ-24)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

over the past 20 years. The analysis revealed that due to industrial “three wastes” emissions, transportation, and the extensive use of fertilizers, pesticides, and agricultural films, Cd accumulation and pollution in the agricultural land soil of the entire Yangtze River Delta is the most serious, followed by Cu, Hg and Pb pollution; specifically, Taizhou (in Zhejiang Province) has a compound pollution problem of Cd, Hg, and Cu while Tongling (in Anhui Province) has a compound pollution problem of Cd, Pb, and Cu. To meet the urgent need for the prevention and control of heavy metal pollution in the Yangtze River Delta and considering the main causes of pollution, some suggestions were proposed, including source control, rapid and dynamic monitoring, hierarchical management of agricultural land, research and development of new technologies for soil remediation, and legislation on prevention and control of agricultural land soil pollution. It is hoped that this research can provide a reference for improving the soil ecological environment in the Yangtze River Delta and promoting the sustainable development of a high-quality and efficient agriculture.

Keywords: agricultural land; heavy metal; pollution; prevention; Yangtze River Delta

一、前言

长江三角洲地区(简称长三角地区)包括上海市、江苏省、浙江省和安徽省(三省一市),作为我国重要的农产品生产基地和著名的商品粮基地,年均农业总产值和粮食总产量均占全国的12%以上[1]。然而近年来,长三角地区农用地土壤环境不容乐观,《全国土壤污染状况调查公报》指出本地区的耕地土壤环境污染问题较为突出,且以无机重金属污染为主[2]。农用地土壤重金属污染对农产品的品质和产量具有重要影响,对人体健康乃至生态环境构成严重威胁,制约了农业经济的可持续发展。

针对长三角地区农用地土壤重金属污染状况的调查研究,主要以小范围区域采样的实验室分析为主[3~5];受采样点位土壤环境及采样数量的限制,所获得的少量重金属数据在综合全面反映长三角地区重金属污染状况方面缺乏代表性。为全面了解长三角地区农用地土壤重金属污染状况、主要污染来源以指导有效防治,本文根据近20年发表的与长三角地区农用地土壤重金属相关文献中的重金属含量数据,依据区域划分,相对全面地分析长三角地区农用地土壤中典型重金属的累积情况与污染状况,系统探究导致长三角地区农用地土壤重金属累积与污染的主要原因。针对污染成因提出长三角地区农用地土壤重金属污染防治建议,以期改善长三角地区土壤生态环境、促进优质高效农业的可持续发展提供参考。

二、长三角地区农用地土壤典型重金属污染状况

课题组搜集了近20年发表的与长三角地区农

用地土壤重金属相关文献,对不同区域的典型重金属Cd、Ni、Cu、As、Hg、Pb、Cr和Zn含量数据进行汇总;将重金属平均含量与当地省市的土壤背景值[6]进行对比,根据重金属累积系数,分析不同区域农用地土壤典型重金属的累积情况。以《土壤环境质量标准(修订)(GB 15618—2008)》[7]中的农用地土壤无机污染物环境质量二级标准值($5.5 < \text{pH} < 6.5$)为评价依据,根据《全国土壤污染状况评价技术规定》[8]列出的单项污染指数法及相应分级标准,完成了不同区域农用地土壤典型重金属的污染状况评价。

(一) 上海市农用地土壤典型重金属污染状况

相比于上海市的土壤背景值,整个上海市农用地土壤中重金属Hg的累积程度最高。嘉定区、闵行区、青浦区、金山区、松江区、宝山区和浦东新区重金属Hg均有较高的累积系数,嘉定区重金属Pb的累积程度也较高;其他区域重金属Cd、Cu、As、Hg、Pb、Cr和Zn的累积程度较低,重金属平均含量接近于上海市土壤背景值(见图1)。根据上海市不同区域农用地土壤典型重金属的单项污染指数(见图2),各个区域农用地土壤均未发生重金属Cd、Cu、As、Cr和Zn的污染情况;但是嘉定区农用地土壤出现了重金属Hg和Pb的轻微污染,闵行区、青浦区、金山区农用地土壤中重金属Hg也处于轻微污染水平。应重视嘉定区、闵行区、青浦区、金山区农用地土壤中重金属Hg,嘉定区农用地土壤中重金属Pb的污染防治。

(二) 江苏省农用地土壤典型重金属污染状况

相比于江苏省的土壤背景值,南京市农用地

土壤中重金属 Cd 的累积程度最高，其次是重金属 Cu、Zn 和 Pb；苏州市农用地土壤中重金属 Cd 也有一定程度的累积，而其他区域农用地土壤中重金属 Cd、Ni、Cu、As、Hg、Pb、Cr 和 Zn 的累积程度并不高（见图 3）。根据江苏省不同区域农用地土壤典型重金属的单项污染指数（见图 4），江苏省各区域农用地土壤中均未发生重金属 Ni、Cu、As、Pb、Cr 和 Zn 的污染情况，但是南京市农用地土壤中重金属 Cd、苏州市农用地土壤中重金属 Hg 均处于 II 级轻微污染水平。应注意这两个区域农用地土壤中重金属 Cd 和 Hg 的污染防治，以避免重金属

Cd 和 Hg 持续累积而致使更为严重的重金属污染问题。

（三）浙江省农用地土壤典型重金属污染状况

相比于浙江省的土壤背景值，整个浙江省农用地土壤中重金属 Cd 的累积最为严重，其次为重金属 Hg。从区域分布来看，台州市重金属 Cu、As 和 Zn，嘉兴市和绍兴市重金属 Cu，金华市重金属 Cu 和 Pb 以及杭州市重金属 Zn 均有较高程度的累积。然而浙江省其他区域农用地土壤中重金属 Ni、Cu、As、Pb、Cr 和 Zn 的累积情况并不明显（见图 5）。

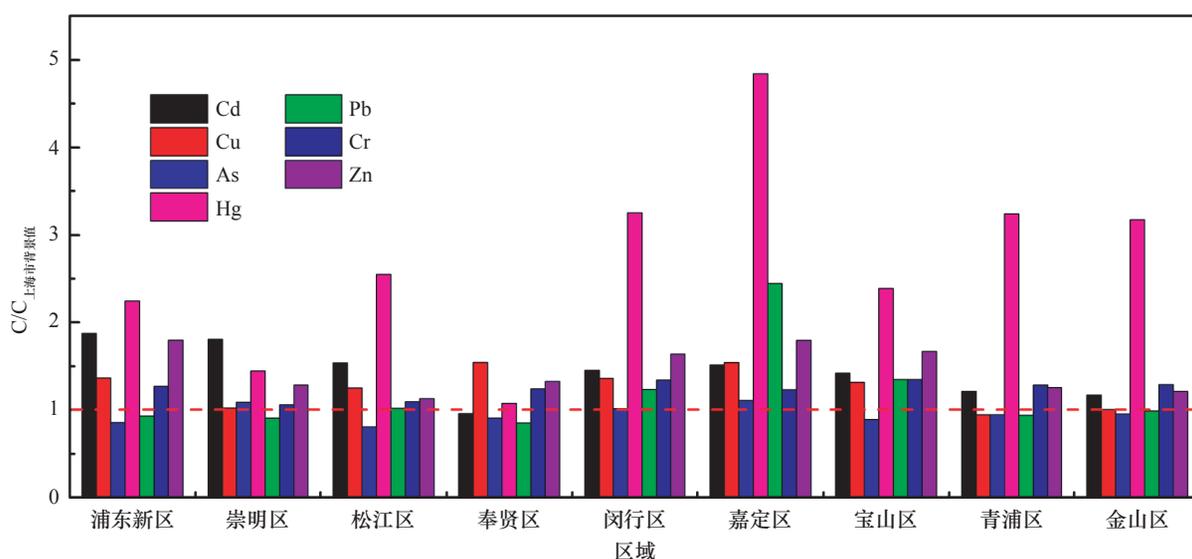


图 1 上海市不同区域农用地土壤重金属累积系数

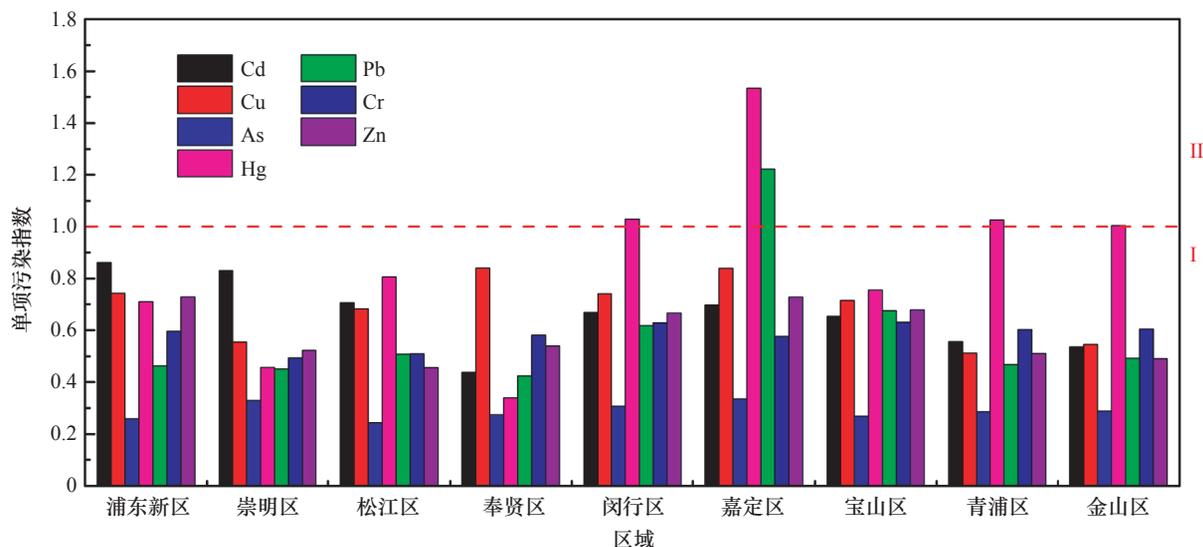


图 2 上海市不同区域农用地土壤重金属单项污染指数

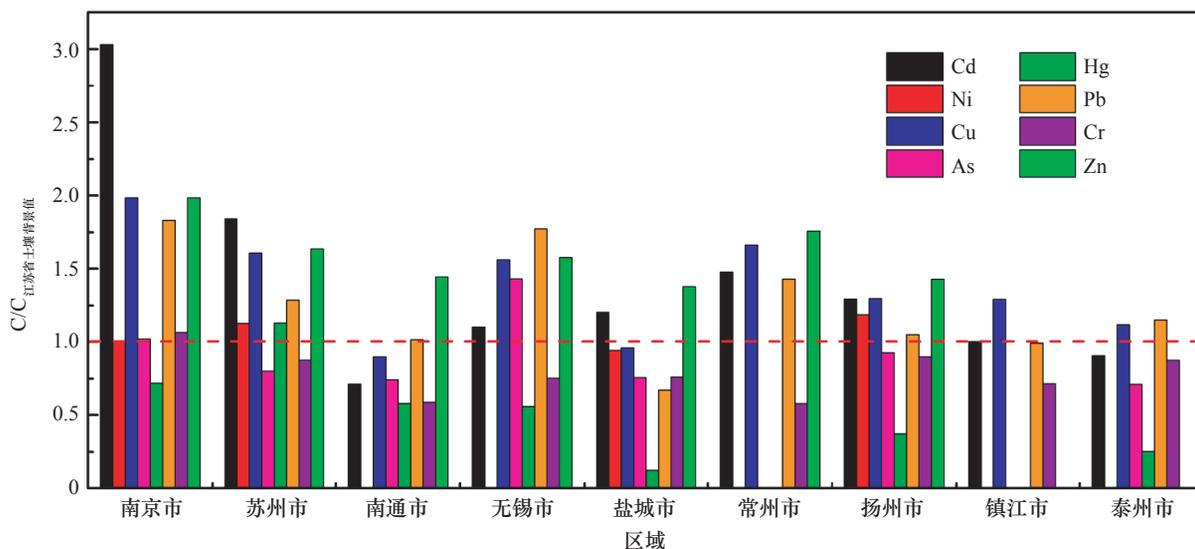


图 3 江苏省不同区域农用地土壤重金属累积系数

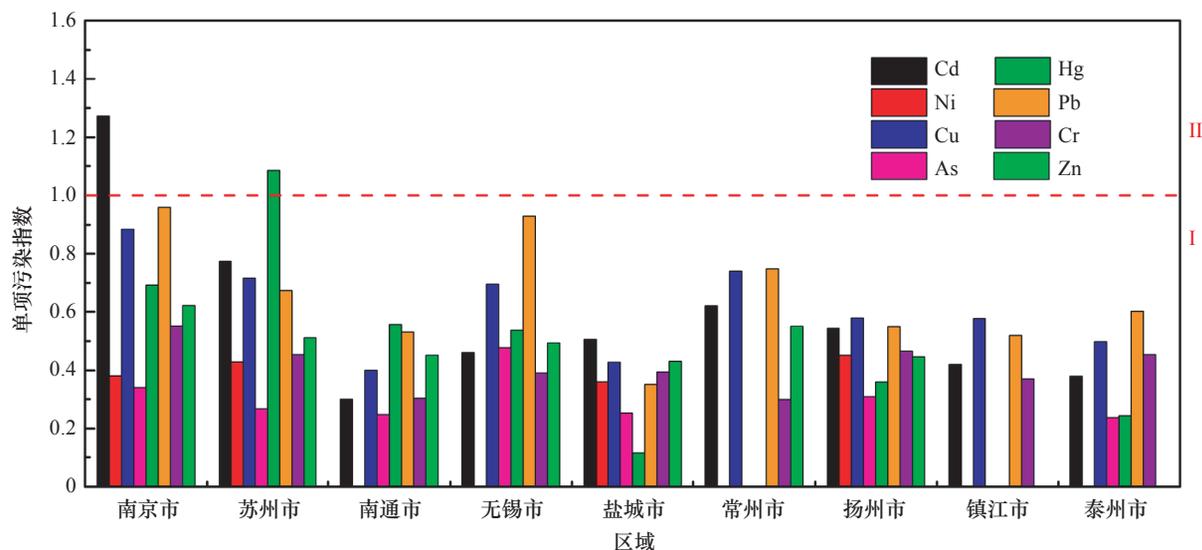


图 4 江苏省不同区域农用地土壤重金属单项污染指数

根据浙江省不同区域农用地土壤典型重金属的单项污染指数（见图 6），浙江省各区域农用地土壤中均未发生重金属 Ni、As、Pb、Cr 和 Zn 的污染情况；但是杭州市、宁波市、金华市农用地土壤中重金属 Cd，台州市农用地土壤中重金属 Cu，杭州市、台州市和绍兴市农用地土壤中重金属 Hg 均处于 II 级轻微污染水平；台州市农用地土壤中重金属 Cd 达到 IV 级中度污染水平。台州市农用地土壤重金属污染较为严重，同时存在重金属 Cd、Cu 和 Hg 的复合污染问题；杭州市农用地土壤也同时存在重金属 Cd 和 Hg 的复合污染问题。应重视台州市、杭州市、

绍兴市、嘉兴市和金华市农用地土壤重金属污染的防治。

（四）安徽省农用地土壤典型重金属污染状况

相比于安徽省的土壤背景，整个安徽省农用地土壤中重金属 Cd 的累积程度最为严重，其次为重金属 Cu 和 Hg。从区域分布来看，铜陵市农用地土壤中存在严重的重金属 Cd 和 Cu 的累积情况，也存在一定程度的重金属 Hg、Pb 和 Zn 的累积；芜湖市农用地土壤存在较程度的重金属 Cu、Cd、Hg 和 As 累积情况；巢湖市农用地土壤中重金属

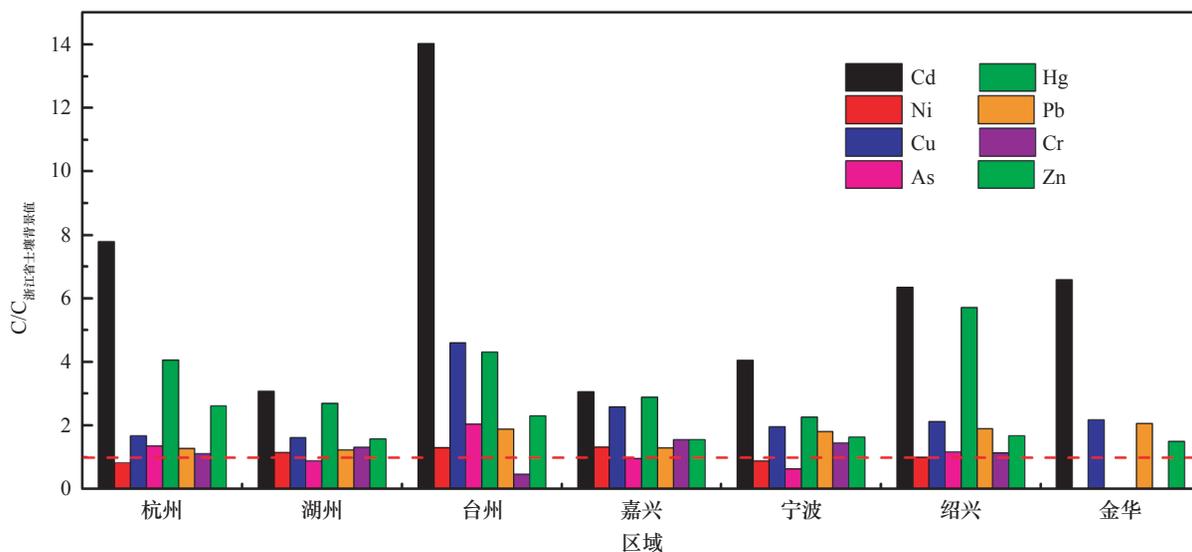


图5 浙江省不同区域农用地土壤重金属累积系数

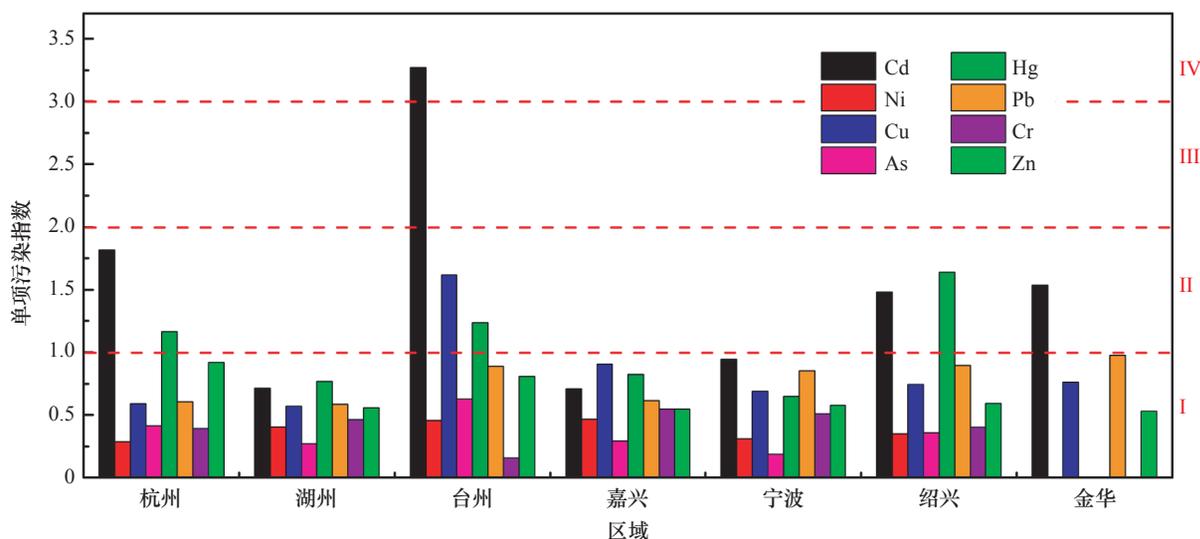


图6 浙江省不同区域农用地土壤重金属单项污染指数

Cd 和 As、合肥市农用地土壤中重金属 Cd 的累积程度也较高；而其他区域农用地土壤中重金属累积情况并不明显（见图 7）。根据安徽省不同区域农用地土壤典型重金属的单项污染指数（见图 8），安徽省各区域农用地土壤中均未发生重金属 Ni、As、Hg、Cr 和 Zn 的污染情况；但是铜陵市农用地土壤中重金属 Pb 处于 II 级轻微污染水平，重金属 Cd 和 Cu 达到 IV 级中度污染水平；芜湖市农用地土壤中重金属 Cu 处于 III 级轻度污染水平；滁州市农用地土壤中重金属 Cd 达到 V 级重度污染水平。安徽省铜陵市农用地土壤重金属污染最为严重，且存在着重金属 Cd、Cu 和 Pb 的复合污染问题，

应针对性加强农用地土壤重金属的污染防治力度；还应重视滁州市和芜湖市农用地土壤中单项重金属 Cd 和 Cu 的污染问题。

三、长三角地区农用地土壤重金属污染的来源分析

课题组搜集了近 20 年发表的长三角地区农用地土壤重金属相关文献，对典型重金属 Cd、Ni、Cu、As、Hg、Pb、Cr 和 Zn 的变异系数（VC）进行汇总，据此获得不同重金属元素变异系数的平均值（见图 9）。从区域分布来看，江苏省重金属

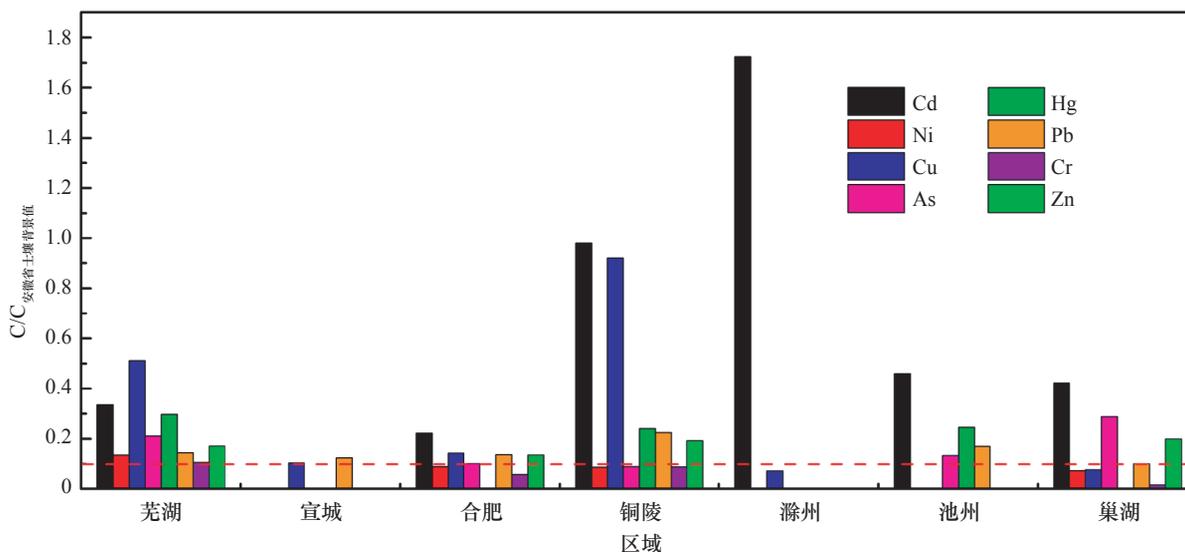


图 7 安徽省不同地区农用地土壤重金属累积系数

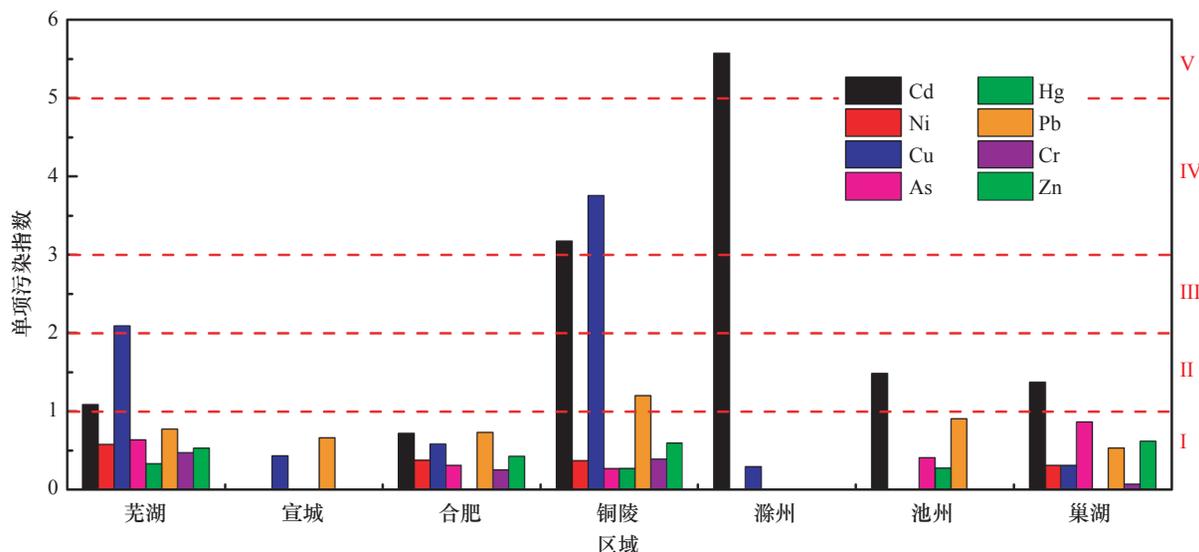


图 8 安徽省不同地区农用地土壤重金属单项污染指数

Cd 和 Pb 以及上海市重金属 Hg 的变异系数均超过 100%，江苏省重金属 Hg、浙江省重金属 Cd 和 Hg 以及安徽省重金属 Cd、Cu 和 Hg 的变异系数也均超过 50%。这表明，长三角地区农用地土壤中重金属 Cd、Pb、Hg 和 Cu 都具有极强的空间分异性，不同区域的重金属含量差异较大；整个长三角地区的农用地土壤重金属受人为活动因素影响显著。工业“三废”（废气、废水、固体废弃物）排放，交通运输污染，化肥、农药、粪肥、农用膜等的大量使用，这些人为污染源构成了重金属进入长三角地区农用地土壤的主要途径。

（一）工业“三废”排放

长三角地区是我国重要的工业生产基地，拥有钢铁、冶炼、电镀、化工、采矿、电子、纺织、印染、汽车制造等众多产业，2018 年工业生产总产值达 104 369.51 亿元（占全国的 34.2%），规模以上工业企业有近 11.38 万家（占全国的 30.03%）[1]，工业制造业主要产品产量（见表 1）具有优势。

长三角地区雄厚的工业生产实力伴生了较为严峻的环境重金属污染问题，可能的原因有：工业生产不乏使用众多含有重金属 Cd、Cr、Hg、Cu、As、Pb 和 Zn 的原材料，火力发电厂、金属

冶炼厂、水泥厂等燃煤产生的烟尘及工业粉尘中含有大量重金属 Hg、As、Cd、Cu 和 Pb 等，金属矿山的开采、冶炼及尾砂、废渣的堆积也会释放重金属 Cd、Pb 和 Zn 等。

根据《中国统计年鉴 2019》，2017 年长三角地区废气中烟（粉）尘排放量为 8.72×10^5 t，工业固体废弃物产生量为 3.012×10^8 t；废水排放总量为 1.475×10^{10} t，其中含重金属 Pb 的废水排放量为 1.867×10^7 t、含重金属 Hg 的废水排放量为 6.97×10^5 t、含重金属 Cd 的废水排放量为 2.121×10^6 t、含重金属 Cr 的废水排放量为 4.268×10^8 t、含重金属 As 的废水排放量为 8.729×10^6 t [1]。因此，长三角地区工业“三废”的大量排放成为重金属进入农用地土壤的最主要途径。

（二）交通运输污染

我国是世界上汽车保有量最大的国家。汽车涂料、防腐材料、制动器、轮胎中通常含有 Cd、Cu、Pb、Zn 和 Ni 等重金属，汽车燃油和润滑油中通常含有 Pb 和 Cu 等重金属 [9]，因此汽车燃油与润滑油的泄漏、汽车尾气的排放、车辆刹车时轮胎、制动系统的机械磨损、轮胎的老化等都会向周围环境中释放重金属，进而通过大气沉降在土壤中并逐渐累积。即使这些重金属含量较低，但与日俱增的汽车数量以及燃油的大量使用，仍然会导致土壤存在重金属污染的风险。研究表明 [10]，汽车刹车片磨损释放的重金属 Cu 污染负荷最大，其次是 Zn、Pb、Cr 和 Cd；汽车轮胎磨损释放的重金属 Zn 污染负荷最大，其次是 Pb、Cr、Cu、Ni 和 Cd。

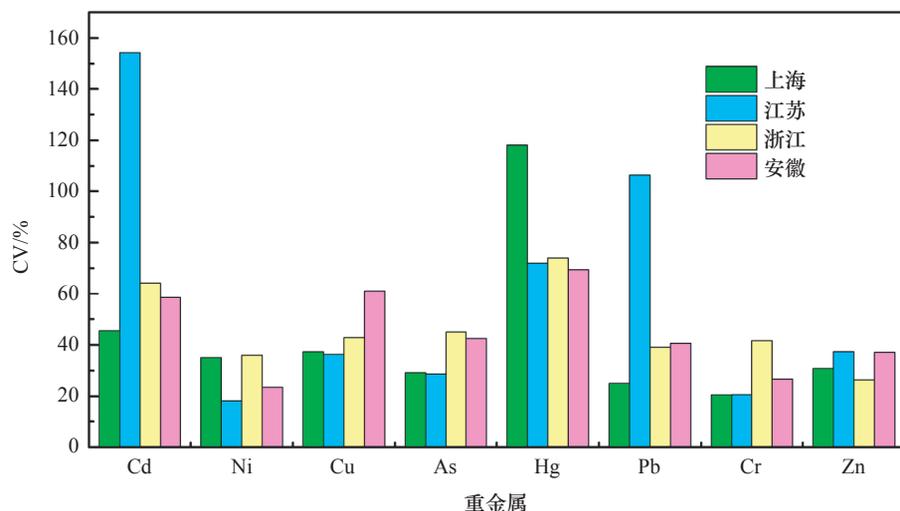


图 9 长三角不同区域农用地土壤典型重金属变异系数

表 1 2018 年长三角地区工业产品产量

工业产品	上海市	江苏省	浙江省	安徽省	全国	长三角地区的全国占比
农用氮、磷、钾化肥 ($\times 10^4$ t)	1.02	168.04	19.92	217.15	5418.00	7.50%
化学农药原药 ($\times 10^4$ t)	1.06	80.20	21.75	10.95	208.28	54.71%
初级形态的塑料 ($\times 10^4$ t)	335.39	930.78	926.21	14.25	8558.02	25.78%
化学纤维 ($\times 10^4$ t)	39.70	1370.47	2282.30	39.61	5011.09	74.48%
水泥 ($\times 10^4$ t)	414.52	14 717.81	12 323.46	13 248.19	220 770.68	18.44%
生铁 ($\times 10^4$ t)	1476.75	6796.05	873.75	2422.01	77 105.44	15.00%
粗钢 ($\times 10^4$ t)	1630.09	10 422.10	1266.51	3103.87	92 800.90	17.70%
钢材 ($\times 10^4$ t)	1983.32	12 146.72	3048.69	3194.95	110 551.65	18.43%
金属切削机床 ($\times 10^4$ 台)	0.60	8.49	11.97	2.84	48.86	48.92%
集成电路 ($\times 10^4$ 块)	233.48	564.24	65.36	1.25	1739.47	49.70%
家用电器 ($\times 10^4$ 台)	330.53	4160.73	2493.90	6536.30	34 096.09	39.66%

注：数据来源于《中国统计年鉴 2019》。

长三角地区的汽车保有量和车辆燃油消耗量均呈逐年上升趋势,2018 年汽车保有量为 8.405×10^7 辆,交通运输消耗汽油和柴油为 3.252×10^7 t (见图 10)。交通运输污染是该地区农用地土壤重金属污染的重要成因。2013 年对南京市八卦洲公路两侧农田土壤重金属含量和空间差异性进行的分析表明 [11],横跨公路两侧农田土壤中的重金属 Ni、Pb、Cr 和 Zn 含量平均值,显著高于八卦洲土壤重金属背景值。对沪宁高速句容、丹阳和苏州路段公路两侧农田土壤重金属 Pb、Cd、Cr 和 Zn 的空间分布特征研究发现 [12],公路两侧农田土壤中这 4 种重金属都存在不同程度的累积以及较大的空间变异;随着车流量的增加,公路两侧农田土壤中 Pb 和 Cd 含量显著增加,说明道路交通是导致长三角地区公路两侧农田土壤重金属累积的主要原因。

(三) 化肥、农药、粪肥的大量施用与农膜的使用

化肥、农药、粪肥和农膜是农业生产中不可或缺的农业投入品,但长期大量甚至过量施用(使用)将带来严重的农用地土壤重金属污染问题,主要原因有:磷肥、氮肥和复合肥等化肥中含有较高含量的 As、Cd、Pb、Zn、Cr 和 Hg 等重金属,猪粪、鸡粪、牛粪、羊粪等畜禽粪肥中含 Cu、Zn、As、Cd、Cr 和 Ni 等重金属,杀虫剂和杀菌剂等农药中含有 Hg、Cu、Cd 和 As 等重金属,农用薄膜在加工中会添加含有重金属 Cd 的热稳定剂。

根据《中国统计年鉴 2019》,长三角地区 2018 年农业生产中的化肥施用量达 6.904×10^6 t,其中氮肥和复合肥施用量最高,其次是磷肥和钾肥;农业生产中农药的使用量为 2.11×10^5 t,农用薄膜的使用量为 2.985×10^5 t (见表 2) [1]。化肥、农药和农膜的高强度施用(使用)导致长三角地区农用地土壤出现了重金属累积甚至污染问题。对芜湖市三山区菜地土壤重金属污染特征分析表明 [13],农药、化肥和鸡粪的长期施用是当地菜地中重金属 As 和 Zn 富集的主要原因。对富阳地区不同类型农田土壤重金属变异特征研究表明 [14],有机肥的施用是导致土壤中 Cu 和 Zn 含量较高的原因之一。

四、长三角地区农用地土壤重金属污染的防治建议

(一) 控制农用地土壤重金属污染源头

2011 年《重金属污染综合防治“十二五”规划》指出,仅依靠末端治理这种单一方式无法从根本上解决重金属污染问题。应注重“预防为主、防治源头、重视过程、末端治理”的综合防控理念,对导致长三角地区农用地土壤重金属污染的源头实施强化控制。

1. 严控工业“三废”源头污染

长三角地区工业生产中的“三废”排放是农用地土壤中重金属的主要污染来源。2018 年《关于打

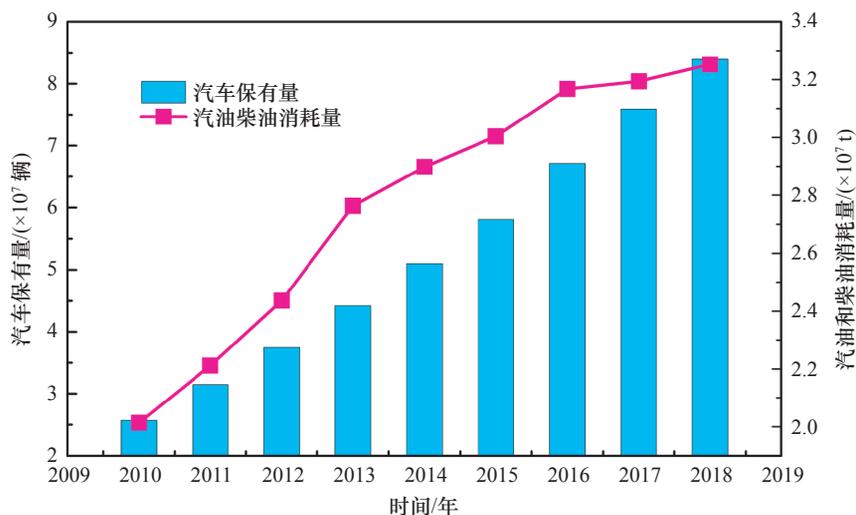


图 10 不同年份长三角地区的汽车保有量及燃油消耗量
注:数据来源于《中国统计年鉴》(2011—2019)。

表 2 2018 年长三角地区农用品使用量

省市	农化肥施用量/($\times 10^4$ t)					农用塑料薄膜 使用量/($\times 10^4$ t)	农药使用量/ ($\times 10^4$ t)
	总量	氮肥	磷肥	钾肥	复合肥		
上海	8.40	3.80	0.60	0.30	3.80	1.57	0.35
江苏	292.45	145.60	34.00	17.20	95.70	11.61	6.96
浙江	77.76	40.10	8.60	6.10	22.90	6.89	4.37
安徽	311.75	95.61	28.24	27.90	160.10	9.78	9.42

注：数据来源于《中国统计年鉴 2019》。

赢蓝天保卫战三年行动计划的通知》发布后，三省一市分别提出了“加快城市建成区重污染企业搬迁改造或关闭退出实施方案”，要求市、县行政区范围内实际建成或正在建设、相对集中分布的地区，对水泥、平板玻璃、化工、焦化、钢铁 5 个行业领域重污染企业进行搬迁改造或关闭退出。

①加快推进废气、废水净化处理新工艺以及固体废弃物回收再利用新工艺的开发与推广应用，减控工业“三废”排放的数量和浓度。②加强工业“三废”污染排放管控，督促各工业企业严格执行污染排放国家标准，杜绝工业“三废”超标排放现象；及时完善相关行业污染物排放标准和污染防治技术规范，为工业“三废”排放监管提供重要依据。③鼓励发展清洁能源，开发环保型原材料，制定涉重金属重点工业行业清洁生产技术推广方案，推进工业企业对清洁能源、环保型原材料、清洁生产技术、先进生产工艺和设备的使用；全面整治尾矿、煤矸石、冶炼渣等固体废物的堆放场所，加强电子废物、废轮胎等工业废物的处理处置。

2. 严控交通运输源头污染

①鼓励开展车用涂料、防腐材料、制动器、轮胎固化剂和促进剂等无污染新型材料的研发与应用推广，实现汽车制造过程中含重金属原材料的减量使用，降低汽车行驶过程中刹车磨损、轮胎老化磨损带来的重金属污染强度。②加快升级燃油品质，推广使用无铅汽油等清洁燃料；升级汽车尾气污染物排放标准，逐步开展汽车尾气净化装置的强制安装，降低汽车燃油与尾气排放带来的农用地土壤重金属污染风险。③研发汽车尾气污染防治配套设施，提高汽车尾气污染物的过滤、净化和防治能力。

3. 严控化肥、农药、农膜等农业源头污染

农业生产应合理安排农药化肥施用的时间和次数，提高利用率、减少使用量；妥善处理好农药化

肥的废弃包装物，推广使用高效、低毒、低残留农药和生态有机肥。加强植物病虫害预警系统防治体系的研发和应用，推广测土配方施肥技术和缓控释肥技术，做到农业施肥、用药有据可依。严格规范含重金属兽药、饲料添加剂的使用，减少畜禽粪便施用带来的农用地土壤重金属污染。鼓励农业生产者提高科学施肥、用药和环保的意识，规模化开展化肥农药科学使用技术培训。

在农膜使用方面，提高农业生产者对废旧农膜污染长远性和严重性的认识，提高废旧农膜回收意识和主动性。推广适期揭膜技术，运用农作物倒茬轮作制度，减少农膜使用量、提高农膜回收利用率。支持无污染可降解绿色生物地膜的研发和推广使用，实行不可降解农膜的减量使用，逐步消除农膜残留带来的农用地土壤重金属污染。

(二) 监控与治理农用地土壤重金属污染

1. 加强农用地土壤重金属快速动态监测

土壤污染物监测为土壤环境监管与污染防治提供支持数据，是土壤环境质量评价与土壤环境污染治理的重要基础和前提。应深入开展长三角地区农用地土壤重金属监测与调查，革新传统的“现场采样-实验室分析”的重金属检测分析模式；重点研发非侵入式、高精度、小型化、智能化的土壤重金属现场快速监测和应急监测技术与仪器设备，避免繁琐费时的现场采样及前处理过程来消除对被测土壤环境的扰动。通过新技术应用，降低土壤重金属污染调查研究的成本，提高污染快速筛查和应急监测的时效性，实现大面积农田的土壤重金属浓度数据的快速准确获取。

①为了掌握长三角地区农用地土壤重金属污染的时间和空间分布变化情况，应实施基于地理信息系统和高光谱遥感技术的土壤重金属污染大面积积

体动态高精度监测技术应用,建立长三角地区农用地土壤重金属污染的快速、大面积、立体动态监测系统。②引入互联网技术和信息技术,发挥大数据在环境监测方面的基础性作用,建立长三角地区农用地土壤环境质量自动监测网络体系、农用地土壤环境质量监测数据库。③形成长三角地区农用地土壤环境信息化管理平台,注重环境监测数据的合理共享与科学管理,全面掌握农用地土壤环境质量动态变化信息,为土壤重金属污染水平和演变趋势的判断与评估提供数据支持。

2. 加强农用地分级管理

根据长三角地区农用地土壤重金属的实际污染程度,对农用地进行分级管理。①对于未受到重金属污染的清洁农用地,加强监控与管理,建立永久性保护制度,维护农用地的正常生产功能,确保农产品质量安全。②对于重金属轻度和中度污染的农用地,针对性调整农作物种植布局,筛选适合种植的农作物品种,可采取边种植边修复的技术方案来实现农用地的安全利用。③对于重金属重度污染的农用地,实行严格管控(如禁止种植食用性农作物),调整农作物种植结构,采用相应的重金属污染土壤修复和整治方案来实施土壤保护与修复治理,力争尽快恢复区域内的农田生态环境质量。

3. 研发重金属污染农用地土壤修复新技术

对遭受重金属污染的农用地土壤开展治理,目前较多采用的农用地土壤修复技术分为物理技术、化学技术和生物技术。①物理技术,如客土法、热脱附技术和电动修复技术等,因其成本高、修复效率较低、仅适用于小面积污染区域,应用与推广具有一定的局限性。②化学修复技术,如淋洗技术、固定-稳定化技术、化学氧化技术等,由于使用化学试剂而具有农用地土壤修复的二次污染风险。③生物修复技术,如植物修复技术、微生物修复技术等,因其不改变土壤原始功能,具有成本低、效率高、操作简单、不产生环境二次污染等诸多优点而获得推广和应用;但受限于生物体自身吸附重金属的固有特性,难以快速修复与治理重金属污染农用地。

针对现有物理、化学、生物类修复技术的优缺点,长三角地区农用地土壤环境及其重金属污染特性,重点开展农用地土壤重金属修复新技术、多技术复合的农用地土壤联合修复技术的研发工作。注

重修复新技术在长三角地区农业生产中的推广应用,为长三角地区农用地土壤环境质量安全提供科技支撑。

(三) 推进农用地土壤污染防治立法,健全法规标准体系

在长三角地区乃至全国农用地土壤污染形势依然严峻、土壤环境甚至有所恶化的现状下,针对我国农用地土壤污染防治相关法律法规较为分散、不够系统等突出问题,建议在现行《土壤污染防治行动计划》《中华人民共和国土壤污染防治法》的基础上,及时开展具有针对性且操作性强的“农用地土壤污染防治法”专项立法,制定农用地土壤环境保护、监管、污染防治等方面的实施细则,明确防治监管行政责任主体和各级政府的属地职责。

根据长三角地区农用地土壤特性、生产功能和农产品质量安全的需要,在现有《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018)国家标准的基础上,细化制定农用地土壤污染调查和监测、类别划分、风险评估、种植业结构调整、修复与治理等行业性、地方性标准与技术规范,及时出台地方性的农用地土壤环境管理办法,适时优化有关化肥、农药、畜禽养殖、灌溉用水等农业生产活动的地方专项管理规定。通过立法,为长三角地区农用地土壤环境有效监管与污染防治提供依据和保障。

五、结语

在长三角地区,农用地土壤中的重金属 Cd 累积与污染情况最为严重,多个区域内存在重金属 Cd 污染问题;重金属 Hg 的累积与污染问题次之,而重金属 Pb 和 Cu 在部分区域也有一定程度的累积和轻微污染。导致长三角地区农用地土壤重金属 Cd、Hg、Pb 和 Cu 等累积甚至污染的主要原因有:工业“三废”排放、交通运输污染,化肥、农药、粪肥、农膜等的大量施用(使用)。

针对长三角地区农用地土壤重金属污染状况以及具体的污染来源,建议从农用地土壤重金属污染源控制、农用地土壤重金属快速动态监测、农用地土壤分级管理、重金属污染农用地土壤修复新技术研发、农用地土壤污染防治立法等方面着手,加

强污染防治,改善生态环境,保障农业用地安全生产,促进地区农业的优质、高效和可持续发展。

参考文献

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴2019 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.
National Bureau of Statistics. China statistical yearbook 2019 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2019.
- [2] 环境保护部, 国土资源部. 全国土壤污染状况调查公报[EB/OL]. (2014-04-17) [2020-04-23]. http://www.gov.cn/foot/2014-04/17/content_2661768.htm.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Bulletin of national survey on soil pollution [EB/OL]. (2014-04-17) [2020-04-23]. http://www.gov.cn/foot/2014-04/17/content_2661768.htm.
- [3] Xu X H, Zhao Y C, Zhao X Y, et al. Sources of heavy metal pollution in agricultural soils of a rapidly industrializing area in the Yangtze Delta of China [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2014, 108: 161–167.
- [4] Hu B F, Jia X L, Hu J, et al. Assessment of heavy metal pollution and health risks in the soil-plant-human system in the Yangtze River Delta, China [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2017, 14: 1–18.
- [5] 巩万合, 王志强, 阚建鸾. 长三角典型农业区耕地土壤重金属污染与潜在生态风险评价 [J]. *湖北农业科学*, 2017, 56(23): 4493–4496, 4518.
Gong W H, Wang Z Q, Kan J L. Heavy metal pollution and potential ecological risk assessment of cultivated soil in the typical agricultural region of Yangtze River Delta [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2017, 56(23): 4493–4496, 4518.
- [6] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值 [M]. 北京: 中国环境出版集团, 1990.
China National Environmental Monitoring Center. Chinese soil element background value [M]. Beijing: China Environment Publishing Group, 1990.
- [7] 环境保护部, 国家质量监督检验检疫总局. GB 15618—2008 土壤环境质量标准 [S]. 北京: 中国环境出版集团, 2009.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB 15618—2008 environmental quality standards for soils [S]. Beijing: China Environment Publishing Group, 2009.
- [8] 环境保护部. 全国土壤污染状况评价技术规定 [EB/OL]. (2008-05-19) [2020-04-23]. http://www.360doc.com/content/14/0418/15/16546_370054709.shtml.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. National technical regulations on soil pollution evaluation [EB/OL]. (2008-05-19) [2020-04-23]. http://www.360doc.com/content/14/0418/15/16546_370054709.shtml.
- [9] 王黎伟, 陈辉. 嘉兴市区汽车尾气污染存在的问题及建议 [J]. *绿色科技*, 2018 (16): 57–58.
Wang L W, Chen H. Problems and suggestions on vehicle exhaust pollution in Jiaxing City [J]. *Journal of Green Science and Technology*, 2018 (16): 57–58.
- [10] 杨激. 武汉市汽车制动重金属/轮胎PAHs污染负荷及控制措施 [D]. 武汉: 华中科技大学(硕士学位论文), 2014.
Yang W. Brake heavy metal/tire PAHs pollution load and control measures of automobile in Wuhan City [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology (Master's thesis), 2014.
- [11] 袁润杰, 于高伟, 邱晓蕾, 等. 区域土壤重金属空间差异及对蔬菜品质安全影响的分析——以南京八卦洲、江心洲为例 [J]. *农业环境科学学报*, 2015, 34(8): 1498–1507.
Yuan R J, Yu G W, Qiu X L, et al. Regionally spatial variation of soil heavy metals and their influences on vegetable quality: A case study of Baguazhou and Jiangxinzhou, Nanjing, China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2015, 34(8): 1498–1507.
- [12] 赵健. 高速公路沿线农田土壤和水稻重金属含量的空间分布特征及其影响因素分析 [D]. 南京: 南京农业大学(硕士学位论文), 2009.
Zhao J. Spatial distribution characteristics and influencing factors of heavy metal accumulations in soil and rice along expressway [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University (Master's thesis), 2009.
- [13] 王翔, 汪琳琳, 方凤满, 等. 芜湖市三山区菜地土壤重金属污染特征分析 [J]. *城市环境与城市生态*, 2011, 24(1): 31–33, 37.
Wang X, Wang L L, Fang F M, et al. Pollution characteristics of heavy metals in vegetable soil in Sanshan District of Wuhu City [J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2011, 24(1): 31–33, 37.
- [14] 陈惠芳, 李艳, 吴豪翔, 等. 富阳市不同类型农田土壤重金属变异特征及风险评价 [J]. *生态与农村环境学报*, 2013, 29(2): 164–169.
Chen H F, Li Y, Wu H X, et al. Characteristics and risk assessment of heavy metals pollution of farmland soils relative to type of land use [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2013, 29(2): 164–169.