

农用地土壤重金属分布特征与污染分析*

刘善劼, 何秉宇[†], 邹嘉琪

(新疆大学 资源与环境科学学院 绿洲生态教育部重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830017)

摘要: 为探讨国内农用地土壤环境污染问题, 本文利用已经公开发表的文献数据, 借助环境污染指数(PI)、Nemerow综合污染指数、单因素方差分析等方法, 对农用地土壤Cr、Cu、Cd、Pb、Zn5种重金属分布特征和污染状况进行分析。结果表明:(1) 我国农用地(样地)土壤重金属含量分布特征存在空间分布及种植类型等方面的差异, 重金属含量平均值均在国家农用地土壤风险筛选值最高允许浓度标准限定之内。(2) 基于区域土壤环境背景值的污染状况分析表明, 研究区农用地(样地)土壤出现不同程度的污染现象; 基于国家农用地土壤风险筛选值的污染状况分析表明, 研究区仅个别农用地(样地)土壤Cd出现污染, Cr、Cu、Pb、Zn未达到污染水平, 不同区域农用地(样地)土壤综合污染指数大小依次为: 华中>西南>华南>华东>西北>东北>华北, 不同种植区农用地(样地)土壤综合污染指数大小依次为: 蔬菜种植区>果园>粮食作物种植区>药材园>其他园>茶园。

关键词: 农用地; 种植区; 土壤重金属; 分布特征; 污染分析

DOI: 10.13568/j.cnki.651094.651316.2021.02.01.0001

中图分类号: X5 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-7675(2022)02-0219-010

引文格式: 刘善劼, 何秉宇, 邹嘉琪. 农用地土壤重金属分布特征与污染分析[J]. 新疆大学学报(自然科学版)(中英文), 2022, 39(2): 219-228+241.

英文引文格式: LIU Shanjie, HE Bingyu, ZOU Jiaqi. Distribution characteristics and pollution analysis of soil heavy metals in agricultural land[J]. Journal of Xinjiang University(Natural Science Edition in Chinese and English), 2022, 39(2): 219-228+241.

Distribution Characteristics and Pollution Analysis of Soil Heavy Metals in Agricultural Land

LIU Shanjie, HE Bingyu, ZOU Jiaqi

(School of Resource and Environment Sciences, Key Laboratory of Oasis Ecology Ministry of Education, Xinjiang University, Urumqi Xinjiang 830017, China)

Abstract: In order to discuss the soil environmental pollution of agricultural land in China, the distribution characteristics and pollution status of the five heavy metals Cr, Cu, Cd, Pb and Zn in the soil of agricultural land were analyzed by using the published literature data and the methods of environmental pollution index(PI), Nemerow comprehensive pollution index and single-factor analysis of variance. The results showed that: (1) The distribution characteristics of heavy metal content in soil of agricultural land(sample land) in China were different in spatial distribution and planting types, and the mean value of heavy metal content was within the limit of the maximum allowable concentration standard of soil risk screening value of national agricultural land. (2) Analysis of soil pollution status based on the regional soil environmental background value showed that the agricultural land(sample land) in the study area had different degrees of soil pollution; The pollution status analysis based on the soil risk screening value of national agricultural land showed that only a few agricultural land(sample land) in the study area had soil Cd pollution, while Cr, Cu, Pb and Zn did not reach the pollution level. The comprehensive soil pollution index of agricultural land(sample land) in different regions was: in Central China>Southwest China>South China>East China>Northwest China>Northeast China>North China, the comprehensive soil pollution index of agricultural land(sample land) in different planting areas was in the order of: vegetable planting area>orchard>grain crop planting area>medicinal herb garden>other garden>tea garden.

Key words: agricultural land; planting area; soil heavy metals; distribution characteristics; pollution analysis

* 收稿日期: 2021-02-01

基金项目: 新疆大学科技类应用研究课题项目(070220082)。

作者简介: 刘善劼(1997-), 男, 硕士生, 从事区域污染控制与环境影响评价的研究, E-mail: shanjieliu@126.com.

[†] 通讯作者: 何秉宇(1961-), 男, 硕士, 副教授, 主要从事区域污染控制与环境影响评价的研究, E-mail: byhe718@163.com.

0 引言

习近平总书记指出“像保护大熊猫一样保护耕地”。《中华人民共和国土地管理法》中规定农用地是直接用于农业生产的土地,它是土地资源的精华,是人类获取粮食、蔬菜、水果、茶等基本农产品的基础条件之一,也是农业可持续发展的根本保证。

随着现代农业技术的不断发展,农药化肥在种植中大量使用^[1-2],部分农用地土壤存在不同程度有机物污染和无机物污染,其中尤以重金属污染较为突出^[3-4]。重金属污染不仅会破坏土壤生态环境^[5],还会通过食物链胁迫人类健康^[6-7]。

近年来,国内学者研究土壤重金属污染方面的文献较多,如李伟迪等^[8]探明太滹运河流域农用地土壤重金属存在超标情况,其中Pb和Cd点源污染现象较为明显;余志等^[9]发现黔西北地区某典型锌冶炼区蔬菜地土壤重金属污染严重;Sun等^[10]研究表明农业土壤尤其是果园及蔬菜产地的土壤Cu污染报道逐年增加;李福燕等^[11]认为海南岛农用地土壤重金属元素Cd、Cr、Pb等积累是该地区土壤的主要环境隐患。

本文根据公开发表的文献数据,对国内农用地土壤在不同区域、不同作物种植类型下的5种重金属(铬Cr、铜Cu、镉Cd、铅Pb、锌Zn)相关数据进行统计、整理、归类、分析,以期整体上说明研究区农用地(样地)土壤重金属目前的空间及种植类型分布特征。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

根据民政部、国家测绘局共同主编的《中华人民共和国行政区划图集》、中国行政区划网中的分区标准和《中国自然地理区划大纲草案》《中国自然地理分区草案》等文献^[12-15]以及收集到的相关研究成果分布状况,将研究区分为东北(黑龙江、吉林、辽宁)、华东(上海、江苏、浙江、安徽、山东、江西、福建)、华北(北京、天津、河北、山西、内蒙古)、华中(河南、湖北、湖南)、华南(广东、广西、海南)、西南(重庆、四川、贵州、云南、西藏)、西北(陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆)等7个地理分区,涵盖了国内31个省区市(由于收集文献资料有限,研究区不包含中国香港特别行政区、澳门特别行政区,中国台湾以及南海诸岛等区域),本文将分布在7个地理分区的农用地(样地)土壤对应称为各地区土壤。同时,根据国土资源部修订的《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017),将研究区内农用地(样地)类型分为粮食作物种植区、蔬菜种植区、果园、茶园、药材园和种植桑树等多年生作物的其他园地。

1.2 数据来源

在中国知网(CNKI)和Web of Science数据库基础上,调查了2001—2019年国内外公开发表的研究区土壤重金属污染相关文献,共选出328篇文献中725处样地数据进行分析。总体上,各样地土壤选择在表层(0~20 cm)范围内取样,根据各样地土壤经纬度信息从Arcgis软件在Harmonized World Soil Databases上获得了土壤pH值等基本理化性质数据信息。

1.3 评价方法

本文评价方法包括单因子污染指数评价法和内梅罗污染指数评价法(Nemerow方法),利用单因素方差分析法(one-way ANOVA)判断农用地土壤重金属含量差异显著情况。通过Excel 2019、SPSS 26.0和R 3.5.2软件包进行统计计算。

单因子污染指数评价法以土壤单项污染物的实测值与评价标准比值为分值数,用以表示土壤中该污染物的污染程度。即: $P_{ij} = C_{ij}/S_i$ 。式中: P_{ij} 为研究区土壤样品 j 中第 i 项污染物的污染分指数; C_{ij} 为研究区土壤样品 j 中第 i 项污染物实测值; S_i 为第 i 项污染物的评价标准。 $P_{ij} \leq 0.7$ 表示土壤属于清洁状态, $0.7 < P_{ij} \leq 1$ 表示为尚清洁状态, $1 < P_{ij} \leq 2$ 表示为轻度污染, $2 < P_{ij} \leq 3$ 表示为中度污染, $P_{ij} > 3$ 表示为重度污染。

综合污染评价选用Nemerow方法,该法用于评价不同重金属元素对于土壤污染的综合状况,由内梅罗(N. L. Nemerow)教授于1974年在其所著《河流污染科学分析》中提出,其中 C_{ij} 是研究区土壤样品 j 中第 i 项污染物实测值, S_i 是第 i 种重金属的风险控制标准或局部背景值。

$$\text{Nemerow综合污染指数法: } P_{\text{综}} = \sqrt{[(C_{ij}/S_i)_{\text{ave}}^2 + (C_{ij}/S_i)_{\text{max}}^2]/2}.$$

1.4 评价标准

以区域土壤背景值和《土壤环境质量-农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018)中农用地土壤污染风险筛选值(见表1)为评价标准进行评价, Nemerow综合污染指数的分级标准见表2.

表 1 土壤环境质量-农用地土壤污染风险管控标准(试行)(GB 15618—2018)摘录

土壤重金属	农用地类型	风险筛选值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$			
		$\text{pH}\leq 5.5$	$5.5<\text{pH}\leq 6.5$	$6.5<\text{pH}\leq 7.5$	$\text{pH}>7.5$
Cd	水田	0.30	0.40	0.60	0.80
	其他	0.30	0.30	0.30	0.60
Cr	水田	250.00	250.00	300.00	350.00
	其他	150.00	150.00	200.00	250.00
Cu	果园	150.00	150.00	200.00	200.00
	其他	50.00	50.00	100.00	100.00
Pb	水田	80.00	100.00	140.00	240.00
	其他	70.00	90.00	120.00	170.00
Zn	所有类型	200.00	200.00	250.00	300.00

表 2 Nemerow综合污染指数法评价土壤环境质量分级^[16]

分级	综合污染指数	污染等级	污染程度
1	$P_{\text{综}}\leq 0.7$	安全	清洁
2	$0.7<P_{\text{综}}\leq 1.0$	警戒限	尚清洁
3	$1.0<P_{\text{综}}\leq 2.0$	轻度污染	污染物超过起始污染值, 作物开始污染
4	$2.0<P_{\text{综}}\leq 3.0$	中度污染	土壤和作物污染明显
5	$P_{\text{综}}>3.0$	重度污染	土壤和作物污染

2 结果与分析

2.1 农用地(样地)土壤重金属含量分布特征

如表3所示, 研究区农用地土壤重金属Cr、Cu、Cd、Pb、Zn的平均含量分别为68.159 mg/kg、35.791 mg/kg、0.745 mg/kg、49.453 mg/kg和119.457 mg/kg, 均在农用地土壤污染风险筛选值最高允许浓度标准限定之内, 平均含量分别为最高允许浓度标准限定的19%、18%、93%、21%和40%.

变异系数可以反映重金属元素的分布差异, 变异系数越大, 说明受到外界影响越大, 农用地土壤5种重金属元素的变异系数大小顺序为: $\text{Cd}>\text{Pb}>\text{Cu}>\text{Zn}>\text{Cr}$, 并且其变异系数均超过0.75, 说明它们受外源影响较大, 含量分布不均匀.

表 3 研究区农用地(样地)土壤重金属含量

项目	Cr	Cu	Cd	Pb	Zn
平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	68.159	35.791	0.745	49.453	119.457
标准差	57.177	58.813	3.789	102.756	171.061
变异系数	0.839	1.643	4.486	2.078	1.432

2.1.1 区域农用地(样地)土壤重金属含量分布特征

如图1所示, A、B、C、D、E、F、G代表的东北、华东、华北、华中、华南、西南、西北地区5种土壤重金属的含量有所不同, 存在显著差异($P<0.05$), 总体上中部、南部土壤重金属含量高于北部.

Cr平均含量较高的地区是西南和华中, 分别为89.58 mg/kg和79.26 mg/kg; 华东、东北地区含量分别为71.22 mg/kg和67.12 mg/kg; 西北地区含量较低, 为47.89 mg/kg.

西南和华中地区Cu平均含量较高, 分别为49.71 mg/kg和45.73 mg/kg; 华东地区次之, 为38.87 mg/kg; 华北、华南地区较低, 分别为26.98 mg/kg和24.08 mg/kg.

不同区域土壤Cd平均含量为0.26~2.75 mg/kg,由高到低的顺序为:华中>西南>西北>华南>东北>华北>华东.

华中地区Pb平均含量较高,为97.37 mg/kg;西南、华南地区次之,分别为69.48 mg/kg和64.12 mg/kg;西北地区含量较低,为19.98 mg/kg.

华中、西南地区Zn平均含量较高,分别为252.41 mg/kg和163.54 mg/kg,其余地区含量较低,西北地区含量最低,为80.37 mg/kg.

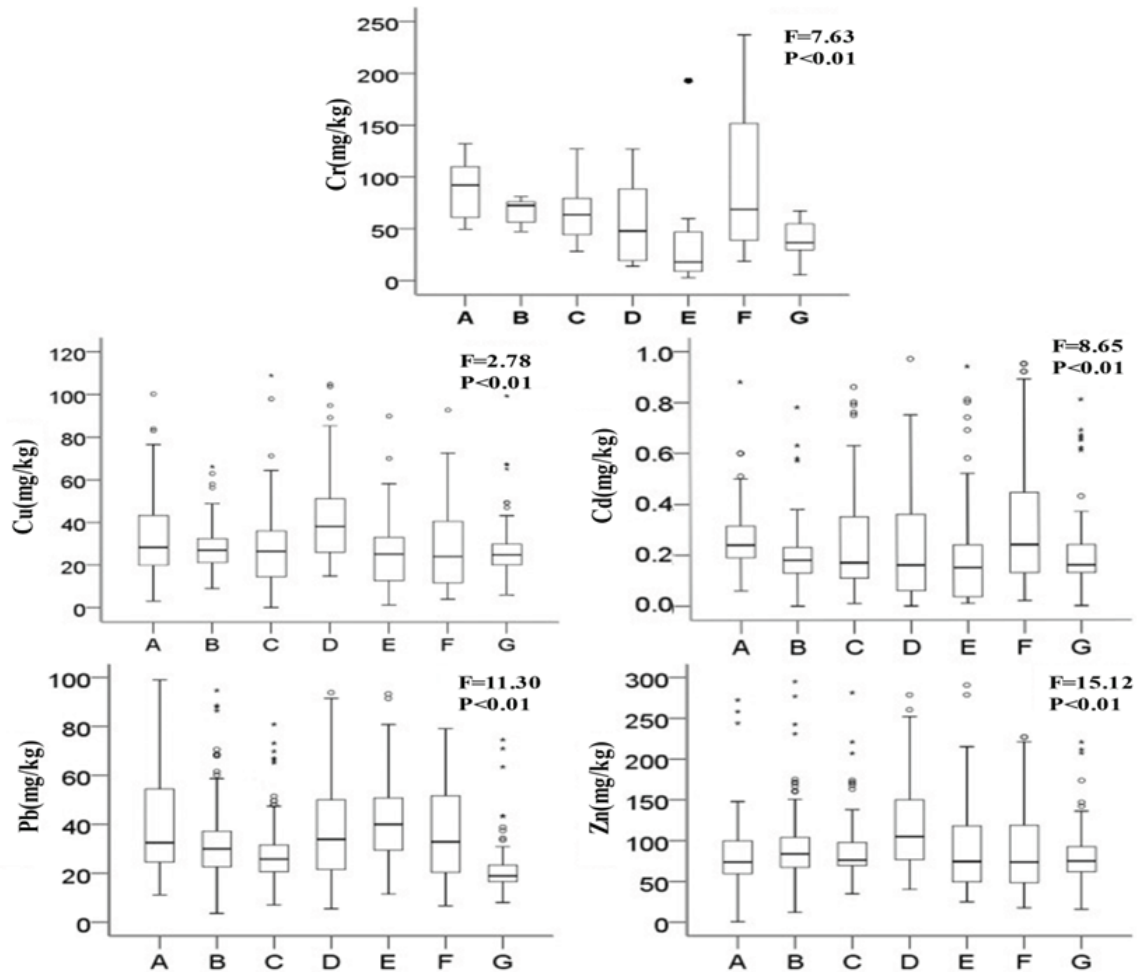


图 1 不同地区农用地(样地)土壤重金属含量箱线图

2.1.2 不同种植区农用地(样地)土壤重金属含量分布特征

如图2所示, A、B、C、D、E、F代表的粮食作物种植区、蔬菜种植区、果园、茶园、药材园和其他园土壤中的5种重金属的含量也有所不同,并且存在显著差异($P < 0.05$),总体上粮食作物种植区、蔬菜种植区和果园土壤重金属含量高于剩余种植区.

具体来说, Cr含量较高的是粮食作物种植区和蔬菜种植区,分别为81.7 mg/kg和63.94 mg/kg;果园和药材园含量中等,分别为52.71 mg/kg和55.05 mg/kg;茶园和其他园较低,分别为44.37 mg/kg和45.27 mg/kg.

不同种植区土壤Cu含量平均值为15.34~45.54 mg/kg,由高到低的顺序为:蔬菜种植区>粮食作物种植区>药材园>果园>其他园>茶园.

蔬菜种植区Cd含量较高,为2.08 mg/kg;茶园含量最低,为0.17 mg/kg,剩余种植区含量中等.

Pb含量较高的是粮食作物种植区和蔬菜种植区,分别为59.34 mg/kg和54.28 mg/kg;果园和其他园含量中等,分别为32.06 mg/kg和31.37 mg/kg;茶园和药材园较低,分别为26.62 mg/kg和23.26 mg/kg.

Zn含量中等的是茶园和药材园,分别为84.38 mg/kg和66.82 mg/kg;果园和其他园较低,含量分别为73.92 mg/kg和69.09 mg/kg;较高的是粮食作物种植区和蔬菜种植区,分别为128.96 mg/kg和132.12 mg/kg.

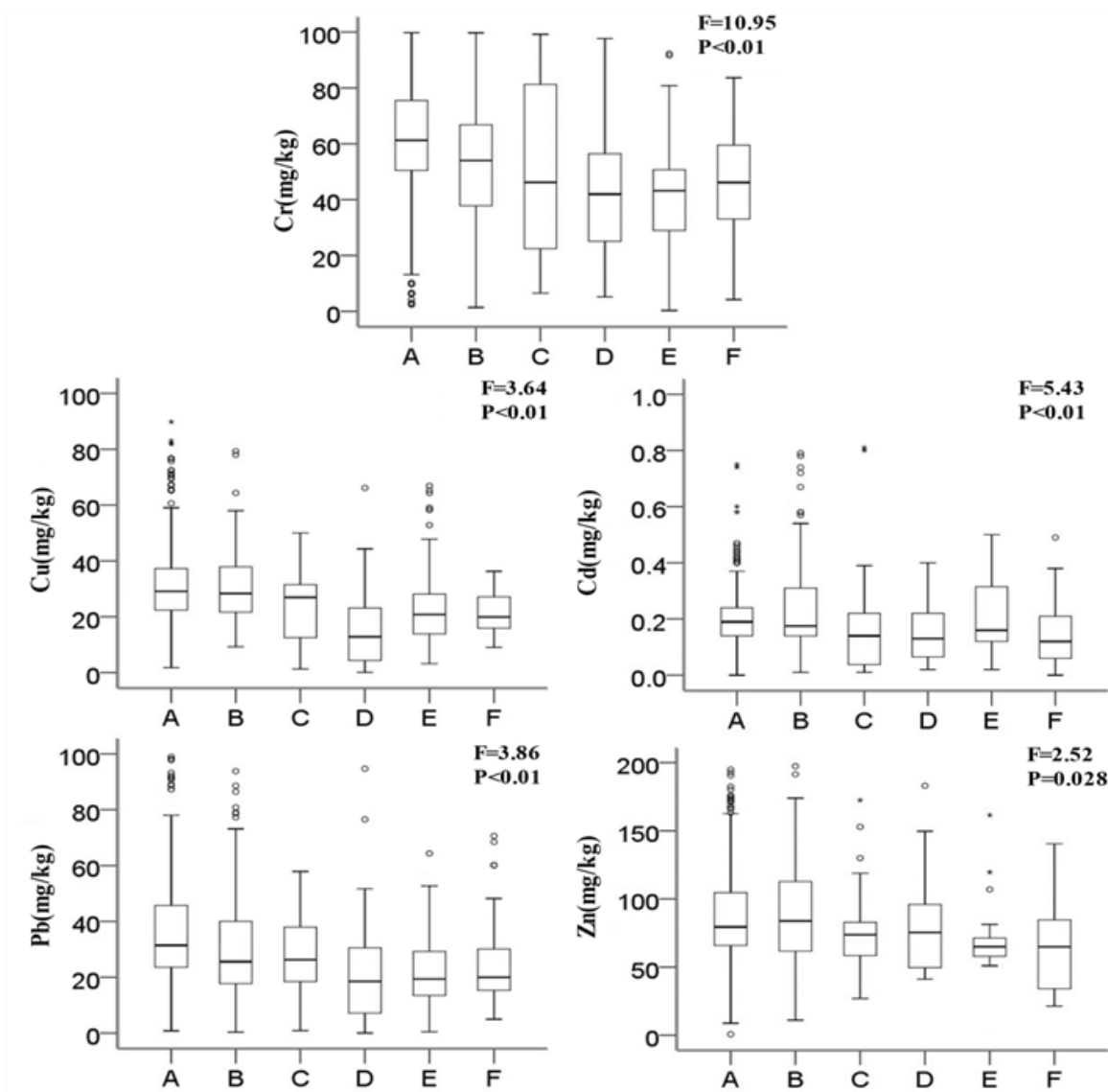


图 2 不同类型农用地(样地)土壤重金属含量箱线图

2.2 农用地(样地)土壤污染分析

基于区域土壤重金属背景值的分析表明,研究区农用地土壤出现了一定程度的污染,且Cd超标情况相对较为严重。

根据研究区各样地土壤pH值,选择对应的农用地土壤风险筛选值(GB 15618—2018)进行分析,结果表明:除个别样地重金属Cd外,研究区内农用地土壤为安全等级,属于清洁状态,Cr、Cu、Cd、Pb、Zn的污染比率分别为0.52%、6.97%、25.05%、6.76%和6.70%,同样重金属Cd污染情况相对较为严重。

2.2.1 区域农用地(样地)土壤重金属污染分析

如图3所示, n 为各地区包含样地数,基于区域土壤重金属背景值的分析表明,7个不同地区土壤综合污染指数大小依次为:华中>华南>西北>西南>华北>华东>东北,其中华中地区土壤综合污染指数为6.898,属于重度污染,剩余地区土壤综合污染指数值均在2~3之间,属于中度污染.基于农用地土壤风险筛选值的分析表明,7个不同地区综合污染指数大小依次为:华中>西南>华南>华东>西北>东北>华北,其中华中地区土壤综合污染指数为2.088,属于中度污染,西南地区土壤综合污染指数为0.964,为警戒限等级,属于尚清洁状态,剩余地区土壤综合污染指数均未超过0.7,为安全等级,属于清洁状态。

如图4所示,基于区域背景值的分析表明,华中地区土壤Cd、Pb、Zn的 P_i 值大于1,其中Cd的 P_i 值最高,为9.015,属于重度污染,且污染相对比率较大,Pb、Zn的 P_i 值分别为2.951、2.001,属于中度污染,Cr的 P_i 值

为0.656,属于清洁状态.

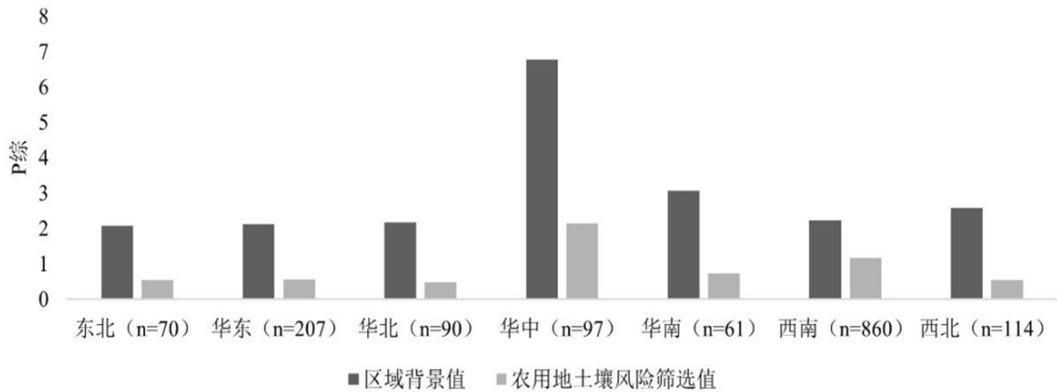


图 3 基于不同标准的研究区农用地(样地)土壤综合污染指数

华南地区土壤Cd、Pb、Cu、Zn污染程度也相对较高,Cd的 P_i 值为3.808,属于重度污染,Pb的 P_i 值为2.343,属于中度污染,Cu、Zn的 P_i 值分别为1.875、1.526,属于轻度污染.

西南地区土壤Cd、Pb污染程度与同地区其他重金属相比较, P_i 值分别为2.821、1.759,属于中度污染,Zn、Cr、Cu的 P_i 值分别为0.956、0.929、0.758,属于尚清洁状态.

华东地区土壤重金属的 P_i 值由大到小的顺序为: Cd>Cu>Pb>Zn>Cr,其中Cd的 P_i 值为2.641,属于中度污染,Cu、Pb、Zn的 P_i 值分别为1.563、1.298、1.031,属于轻度污染,Cr的 P_i 值为0.678,属于清洁状态.

华北地区土壤重金属的 P_i 值由大到小为: Cd>Pb>Cu>Zn>Cr,其中Cd的 P_i 值为2.775,属于中度污染,Pb、Cu的 P_i 值分别为1.385、1.049,属于轻度污染,Zn、Cr的 P_i 值分别为0.753、0.722,属于尚清洁状态.

西北地区土壤Cd的 P_i 值为3.384,属于重度污染,Pb的 P_i 值为1.015,属于轻度污染,Cu、Zn、Cr的 P_i 值分别为0.909、0.821、0.744,属于尚清洁状态.

西南地区土壤主要受到Cd和Pb污染,Cd的 P_i 值为2.821,属于中度污染,Pb的 P_i 值为1.759,属于轻度污染,而Cr、Cu、Zn的 P_i 值较低,分别为0.929、0.758、0.956,属于尚清洁状态.

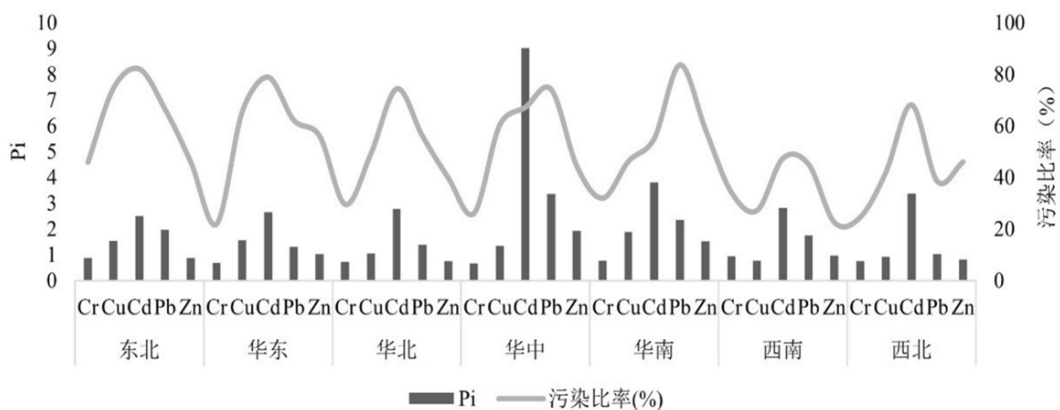


图 4 基于区域背景值的研究区农用地(样地)土壤污染分析

如图5所示,基于农用地土壤风险筛选值的分析表明,华中地区土壤Cd污染程度相对较高, P_i 值为2.845,属于中度污染,Pb、Zn的 P_i 值分别为0.868、0.779,属于尚清洁状态,Cu、Cr的 P_i 值分别为0.517、0.167,属于清洁状态.

西南地区土壤除Cd的 P_i 值为1.53(属于轻度污染)外,Cr、Cu、Pb和Zn的 P_i 值分别为0.322、0.321、0.499、0.356,均属于清洁状态.

华南地区土壤5种重金属的 P_i 值从大到小的顺序为: Cd>Pb>Cu>Zn>Cr,其中Cd的 P_i 值为0.909,属于尚清洁状态,Pb、Cu、Zn、Cr的 P_i 值分别为0.609、0.339、0.317、0.191,均属于清洁状态.

东北、华东、华北和西北地区所有土壤均未受到重金属污染,5种重金属的 P_i 值均小于0.7,属于清洁状态,其中东北地区土壤Cr、华北地区土壤Cr、Pb和Zn、西北地区土壤Cr和Zn的污染比率均为0.

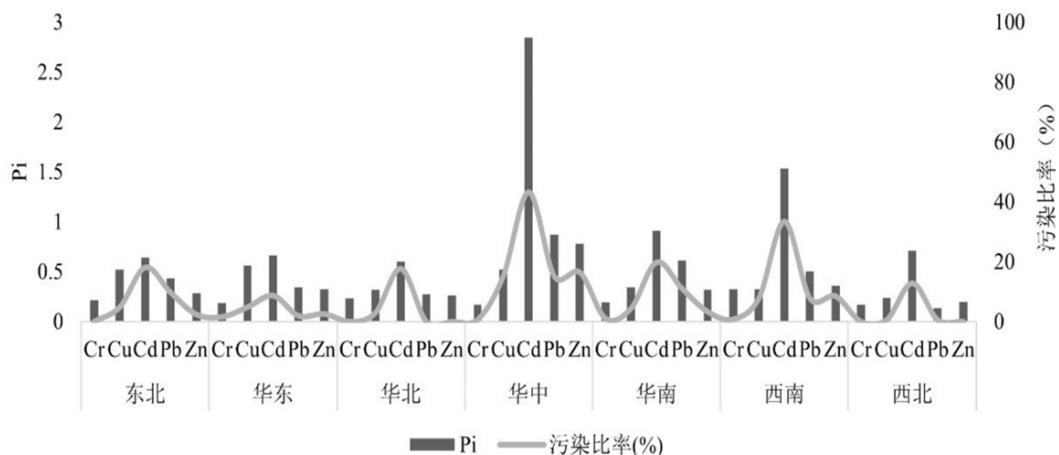


图 5 基于农用地土壤风险筛选值的研究区农用地(样地)土壤污染分析

2.2.2 不同种植区农用地(样地)土壤重金属污染分析

如图6所示, n 为不同种植区包含样地数, 基于区域土壤重金属背景值的分析表明, 6种不同种植区农用地土壤重金属综合污染指数大小依次为: 蔬菜种植区>果园>粮食作物种植区>其他园>药材园>茶园, 其中蔬菜种植区、果园、粮食作物种植区土壤综合污染指数分别为6.493、5.509、4.617, 属于重度污染, 其他园土壤综合污染指数为2.362, 属于中度污染, 药材园、茶园土壤综合污染指数分别为1.995、1.963, 属于轻度污染. 基于农用地土壤风险筛选值的分析表明, 6种不同种植区农用地土壤重金属污染综合污染指数大小依次为: 蔬菜种植区>果园>粮食作物种植区>药材园>其他园>茶园, 其中蔬菜种植区、果园、粮食作物种植区土壤综合污染指数分别为1.993、1.697、1.221, 属于轻度污染, 药材园、其他园、茶园土壤综合污染指数分别为0.621、0.616、0.569, 属于安全等级, 清洁未污染.

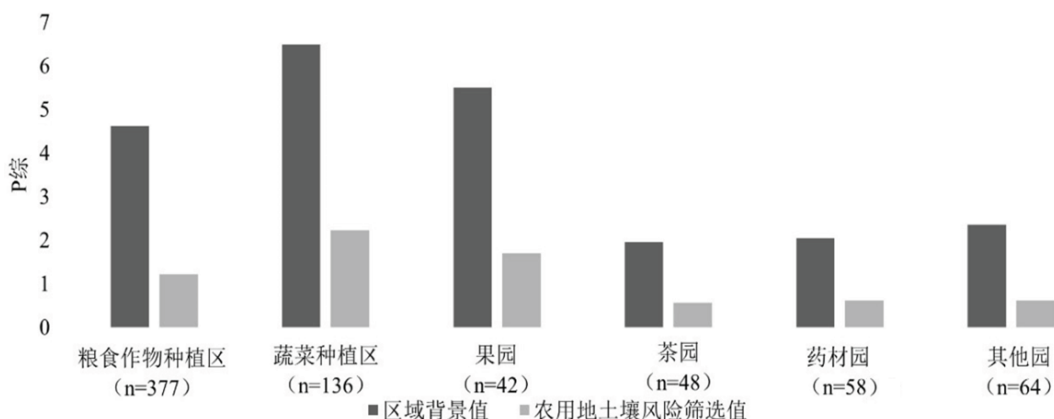


图 6 基于不同标准的6种植植区农用地(样地)土壤综合污染指数

如图7所示, 基于区域背景值的分析表明, 蔬菜种植区土壤Cd的 P_i 值为8.755, 污染程度相对较高, 污染相对比率较大, 属于重度污染, Zn、Pb、Cu的 P_i 值分别为1.443、1.433、1.359, 属于轻度污染, Cr的 P_i 值为0.865, 属于尚清洁状态.

粮食作物种植区土壤Cd的 P_i 值为6.049, 属于重度污染, Pb、Cu、Zn的 P_i 值分别为1.863、1.846、1.625, 属于轻度污染, Cr的 P_i 值为0.904, 属于尚清洁状态.

果园土壤Cd的 P_i 值为7.311, 属于重度污染, Pb、Zn、Cu、Cr的 P_i 值分别为1.873、1.631、1.625、1.022, 属于轻度污染.

药材园土壤5种重金属的 P_i 值从大到小的顺序为: Cd>Zn>Cu>Pb>Cr, 其中Cd的 P_i 值为2.574, 属于中度污染, Zn、Cu的 P_i 值分别为1.18、1.061, 属于轻度污染, Pb、Cr的 P_i 值分别为0.992、0.784, 属于尚清洁状态.

其他园土壤Cd的 P_i 值为3.018, 属于重度污染, 污染相对比率较大, Zn、Cu、Pb的 P_i 值分别为1.16、1.112、1.099, 属于轻度污染, Cr的 P_i 值为0.777, 属于尚清洁状态.

茶园土壤Cd与同类型土壤其他重金属相比,污染程度相对较高, P_i 值为2.472,属于中度污染,Pb、Cu和Cr的 P_i 值分别为0.987、0.963、0.928,属于尚清洁状态,且污染比率均不足10%。

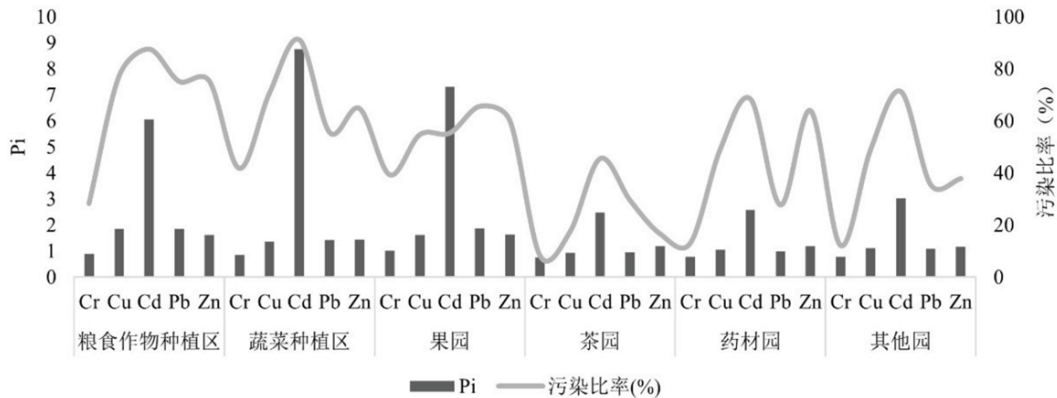


图 7 基于区域背景值的不同种植区农用地(样地)土壤污染分析

如图8所示,基于农用地土壤风险筛选值的分析表明,蔬菜种植区、果园土壤Cd的 P_i 值分别为2.996、2.259,属于中度污染,且污染相对比率较大,而剩余土壤重金属的 P_i 值均未超过0.7,属于清洁状态。

粮食作物种植区土壤Cd的 P_i 值为1.586,属于轻度污染,Cr、Cu、Pb和Zn的 P_i 值分别为0.293、0.587、0.446、0.526,属于清洁状态,除Cd外剩余重金属污染比率不足10%。

药材园、其他园和茶园土壤5种重金属 P_i 值均小于0.7,属于清洁状态,且Cr和Zn污染比率均为0,没有污染迹象。

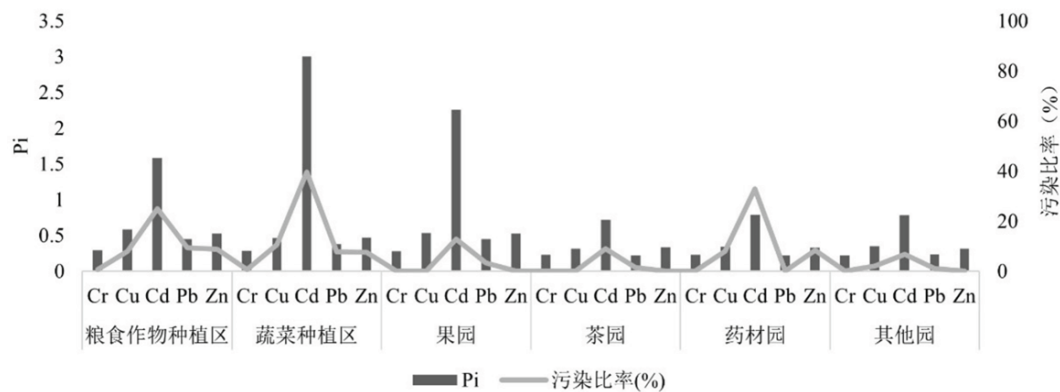


图 8 基于农用地土壤风险筛选值的不同种植区农用地(样地)土壤污染分析

3 讨论

3.1 成土母质的影响

我国农用地土壤重金属含量空间分布较为明显,不同地区农用地土壤重金属含量与成土母质的差异^[17]、耕作管理方式^[18]、区域经济发展和气候特性^[19]等因素有关.从平均值来看,华中地区明显高于西北与华北地区,这可能是由于各地区成土母质导致的土壤背景值的差异^[20],例如湖南、湖北土壤重金属含量背景值相对其他行政区略高,同时河南一直是我国重要的农作物主产区之一,农用地土壤施肥量大^[21];西南、华南等地区平均值高于西北与华北地区,可能是因为云南、贵州和广西等地区地势变化与纬度变化复合,从而导致土壤地质构造复杂,成土母质重金属含量较高^[17,22].另外,南方地区粮食作物可每年种植2~3次,土壤更容易积累重金属^[23],也可能受工业、交通、经济等方面的影响^[24].

3.2 种植类型的影响

我国农用地土壤重金属含量种植类型差异也比较明显,这与郑燕平^[21]得出河南地区各种种植类型土壤重金属元素分布规律不明显的结论略有不同.近些年随着农村经济的快速发展,频繁的工业活动、汽车尾气排放^[25]会造成金属粒子沉降到不同种植类型农用地土壤^[26],从而造成重金属积累^[27],不同作物生产表现出的异质性^[28]也

可能会造成差异. 茶园、药材园等种植区土壤重金属含量小于粮食作物、蔬菜等种植区,可能是与耕作制度、种植规格、灌溉用水和施肥量的不同有关^[29]. 郭朝晖等^[30]研究发现粮食作物和蔬菜土壤重金属富集情况较为明显. 郑燕平^[21]认为河南地区各种种植类型土壤重金属污染大小排序为: 果园地>水田>菜地>其他粮田. 同时,在调查文献^[31-33]中发现,我国粮食作物、蔬菜、果园等种植区样地数据也多于其他种植区,这也从另一方面说明我国粮食作物、蔬菜、果园土壤更受关注,污染情况相对较为严重,因此人们应采取更多切实有效的措施来推进农用地土壤重金属污染防治工作^[34].

3.3 不同标准污染评价的影响

以不同标准进行评价,结果会有所不同,采用双重标准有助于更全面地了解土壤污染状况. 基于区域背景值的分析表明,研究区内各重金属元素出现污染的样地数比较多,且污染指数较高. 基于农用地土壤风险筛选值(GB 15618—2018)分析表明,除个别样地土壤重金属Cd以外,其他均未达到污染水平,属于安全级别. 综合污染指数结果表明,华中、西南地区土壤受到重金属污染相对较重,粮食作物、蔬菜和果园种植区土壤也受到相对较重的重金属污染,这与2.1节农用地(样地)土壤重金属分布特征研究结果相一致. 各地区、种植区2种标准土壤综合污染指数值排序结果略有不同,主要是因为重金属Cd单因子污染指数值不同.

3.4 结论的合理性分析

总体来看,我国农用地土壤重金属污染比率不高,且含量基本处于安全范围,但需注意重金属Cd的潜在风险,这与很多学者结论一致,例如李野等^[35]在研究中指出湖南水稻中Cd污染较为严重,宋伟等^[36]研究表明,我国138个耕地典型区域中有16.66%的土壤受到了污染,其中Cd在几种污染重金属中位居第一. 陈文轩等^[37]认为除重金属Cd外,各行政区农田土壤重金属的平均含量均在中国农业土壤污染物的最高允许浓度标准限定之内,而本研究计算表明重金属Cd平均含量也未超出农用地土壤污染风险筛选值的最高允许浓度标准,只是接近此标准.

由于本文研究样地数据均来自于公开发表论文,相应工作多在特定污染的区域展开,且受样地采样点密度与分布、采样时间与方法、测试方法与精度等方面的影响,故本文的分析结论只在特定的时空范围内适用.

4 结论

4.1 土壤重金属含量分布

从采样点分布来看,我国农用地土壤重金属Cr、Cu、Cd、Pb、Zn含量总体上呈现出空间分布和种植类型分布特征,且平均含量均在农用地土壤风险筛选值最高允许浓度标准限定之内.

从空间分布特征来看,中部、南部地区土壤重金属平均含量高于北部,其中:华中地区平均含量最高,华北、西北地区平均含量较低.

从种植类型分布特征来看,粮食作物、蔬菜、果园土壤重金属平均含量高于茶园、药材园和其他园,其中:蔬菜种植区平均含量最高,茶园平均含量较低.

4.2 基于土壤背景值的污染状况

基于区域背景值的分析表明,研究区部分农用地土壤受到了一定程度污染.

不同地区农用地土壤综合污染指数大小依次为:华中>华南>西北>西南>华北>华东>东北,其中华中地区土壤为重度污染,这主要是因为该地区土壤Cd污染样点较多,且部分污染指数相对较高,剩余地区土壤为中度污染.

不同种植区农用地土壤综合污染指数大小依次为:蔬菜种植区>果园>粮食作物种植区>其他园>药材园>茶园,其中蔬菜种植区、果园、粮食作物种植区的土壤为重度污染,这主要是因为土壤重金属Cd富集程度相对较高,其他园土壤为中度污染,药材园、茶园土壤为轻度污染.

4.3 基于农用地土壤风险筛选值的污染状况

基于农用地土壤风险筛选值(GB 15618—2018)分析表明,研究区内农用地土壤除个别样地土壤金属Cd外,其他均未出现污染,属于安全等级.

不同地区农用地土壤综合污染指数大小依次为:华中>西南>华南>华东>西北>东北>华北,其中:华中地区土壤为中度污染,Cd的污染相对比率较高,为43.15%,西南地区土壤为警戒限等级,剩余地区土壤属于安全

等级,且华北、东北地区土壤Cr的污染比率均为0.

不同种植区农用地土壤综合污染指数大小依次为:蔬菜种植区>果园>粮食作物种植区>药材园>其他园>茶园,其中蔬菜种植区、果园、粮食作物种植区土壤为轻度污染,剩余种植区土壤属于安全等级,茶园土壤Cr、Cu和Zn的污染比率为0.

参考文献:

- [1] MORTVED J J. Heavy metal contaminants in inorganic and organic fertilizers[J]. Fertilizer Research, 1995, 43(1/3): 55-61.
- [2] NOOKABKAEW S, RANGKADILOK N, PRACHOOM N, et al. Concentrations of trace elements in organic fertilizers and animal manures and feeds and cadmium contamination in herbal tea(*Gynostemma pentaphyllum* Makino)[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2016, 64(16): 3119-3126.
- [3] 翁倩, 李启权, 代天飞, 等. 崇州市典型农田土壤中铬的含量状况与空间分布[J]. 四川农业大学学报, 2015, 33(4): 408-414.
- [4] 邹萌萌, 周卫红, 张静静, 等. 我国东部地区农田土壤重金属污染概况[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(1): 117-124.
- [5] 陈雅丽, 翁莉萍, 马杰, 等. 近十年中国土壤重金属污染源解析研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(10): 2219-2238.
- [6] NRIAGU J O, PACYNA J M. Don't ask, don't tell: beyond the log cabin republicans injunction and the defense authorization act[J]. Nature, 1988, 333(6169): 134-139.
- [7] ARORA M, KIRAN B, RANI S, et al. Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources[J]. Food Chemistry, 2008, 111(4): 811-815.
- [8] 李伟迪, 崔云霞, 曾撑撑, 等. 太滹运河流域农田土壤重金属污染特征与来源解析[J]. 环境科学, 2019, 40(11): 5073-5081.
- [9] 余志, 陈凤, 张军方, 等. 锌冶炼区菜地土壤和蔬菜重金属污染状况及风险评价[J]. 中国环境科学, 2019, 39(5): 2086-2094.
- [10] SUN X, MA T, YU J, et al. Investigation of the copper contents in vineyard soil, grape must and wine and the relationship among them in the Huaizhuo basin region, China: a preliminary study[J]. Food Chemistry, 2018, 241: 40-50.
- [11] 李福燕, 李许明, 杨帆, 等. 海南岛农田土壤重金属污染的评价及其来源分析[J]. 海南大学学报(自然科学版), 2013, 31(3): 211-217.
- [12] 冯绳武. 中国自然地理区划大纲草案[J]. 兰州大学学报, 1959, 1: 39-43.
- [13] 罗开富. 中国自然地理分区草案[J]. 地理学报, 1954, 20(4): 379-394.
- [14] 赵松乔. 中国综合自然地理区划的一个新方案[J]. 地理学报, 1983, 38(1): 1-10.
- [15] 陈征, 徐莹, 何峰, 等. 我国历史文化村镇的空间分布特征研究[J]. 建筑学报, 2013, S1: 14-17.
- [16] 汪雅各, 王玮, 卢善玲, 等. 客土改良菜区重金属污染土壤[J]. 上海农业学报, 1990, 6(3): 50-55.
- [17] 罗慧, 刘秀明, 王世杰, 等. 中国南方喀斯特集中分布区土壤Cd污染特征及来源[J]. 生态学杂志, 2018, 37(5): 1538-1544.
- [18] CHABUKDHARA M, MUNJAL A, NEMA A K, et al. Heavy metal contamination in vegetables grown around peri-urban and urban-industrial clusters in Ghaziabad, India[J]. Human & Ecological Risk Assessment An International Journal, 2016, 22(3): 736-752.
- [19] TUDI M, PHUNG D T, RUAN H D, et al. Difference of trace element exposed routes and their health risks between agriculture and pastoral areas in bay county Xinjiang, China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019, 26(14): 14073-14086.
- [20] 王玉军, 吴同亮, 周东美, 等. 农田土壤重金属污染评价研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(12): 2365-2378.
- [21] 郑燕平. 河南农田土壤重金属污染状况及其评价[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2007, 17(3): 44-46.
- [22] 李丽辉, 王宝禄. 云南省土壤As、Cd元素地球化学特征[J]. 物探与化探, 2008, 32(5): 497-501.
- [23] ZHANG C, LI Z, YANG W, et al. Assessment of metals pollution on agricultural soil surrounding a lead-zinc mining area in the karst region of Guangxi, China[J]. Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology, 2013, 90(6): 736-741.
- [24] HANG Z, YANG W T, XIN Z, et al. Accumulation of heavy metals in vegetable species planted in contaminated soils and the health risk assessment[J]. International Journal of Environmental Research & Public Health, 2016, 13(3): 289.
- [25] LI F R, KANG L F, GAO X Q, et al. Traffic-related heavy metal accumulation in soils and plants in Northwest China[J]. Soil and Sediment Contamination, 2007, 16(5): 473-484.
- [26] ZHAO F J, MA Y, ZHU Y G, et al. Soil contamination in China: current status and mitigation strategies[J]. Environmental Science & Technology, 2015, 49(2): 750-759.
- [27] YANG Q, LI Z, LU X, et al. A review of soil heavy metal pollution from industrial and agricultural regions in China: pollution and risk assessment[J]. Science of the Total Environment, 2018, 642(11/15): 690-700.

(下转第 241 页)