

重庆市北碚区蔬菜地土壤铅含量及影响因素分析

袁 波, 傅瓦利, 蓝家程, 张 婷, 彭景涛

(西南大学 地理科学学院, 重庆 400715)

摘 要: 为了解重庆市北碚区新规划蔬菜地以及老蔬菜基地土壤铅含量及分布状况, 为蔬菜生产提供基础资料, 2010 年 8 月通过野外采样及室内测试方法对北碚区蔬菜地耕层土壤铅含量进行了调查分析研究, 同时采用单项污染指数法进行了污染程度评价。结果表明: 北碚区蔬菜地土壤耕层铅平均含量为 43.92 mg/kg, 最高值是最低值的 4.71 倍; 通过计算污染指数得出北碚区的蔬菜地土壤在铅含量水平上完全满足无公害蔬菜生产, 基本能满足绿色蔬菜生产; 影响研究区域内土壤铅含量的自然因素主要是土壤类型和土壤理化性质中的 pH 值、黏粒含量、有机质含量, 人为因素主要是距离公路的远近。

关键词: 土壤; 铅; 分布特征; 污染评价

中图分类号: X53; S606.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)05-0179-04

Investigation on Lead Content and Influencing Factor in Vegetable Plantation in Beibei District of Chongqing

YUAN Bo, FU Wa-li, LAN Jia-cheng, ZHANG Ting, PENG Jing-tao

(School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: To understand the contents of lead and distribution of the promising new planning and old vegetable plantation in Beibei District of Chongqing, and provide basic data for vegetable production, in August 2010, we made an analysis of the lead contents of topsoil in vegetable plantation of Beibei District through field sampling and test in lab, and adopted single pollution index method to evaluate the pollution degree. Results show that: the average content of topsoil in vegetable plantation in Beibei is 43.92 mg/kg, the maximum value is 4.71 times of the lowest. Through calculating pollution index of Beibei vegetable plantation, it shows that vegetable plantation of Beibei District in that lead level can completely satisfy non-pollution vegetable production, and the basic satisfy green vegetable production. The main natural factors which can impact the lead content of study area are the types of soil, and the pH value, clay and organic matter content in basic properties of the soil, the artificial factor is the distance from the highway.

Key words: soil; lead; distribution characteristic; pollution evaluation

土壤是人类赖以生存的环境因素之一,也是重金属元素生物地球化学循环的重要环节。在土壤重金属污染中铅是主要的污染元素之一,而目前我国土壤的铅污染现象是比较普遍的^[1-2]。土壤中的铅不但影响作物的产量和质量,而且还通过食物链富集进入动物体内导致生理或代谢障碍,危害人畜健康^[3]。蔬菜是人们日常生活的必需食品,其质量的高低直接关系到人体的健康,而蔬菜中的铅含量是受土壤中铅含量影响的^[4],因此,蔬菜地土壤的环境质量直接关系到

蔬菜的质量,关系到人体的健康。一直以来,土壤的铅污染问题都是农业环境研究与保护的重点和难点^[5]。在 2010 年初,以重庆市两江新区发展为契机,北碚区农业进行产业结构调整,推行 6 667 hm² 蔬菜种植计划。因此,为了保障居民的食品安全,本文选取新规划的蔬菜地和以前的蔬菜基地为研究区域,根据研究区域内土壤的分布情况,对分布相对集中的菜地土壤耕层的铅元素进行调查研究,以期降低蔬菜中铅含量,生产高品质蔬菜提供科学依据。

收稿日期: 2011-03-05

修回日期: 2011-05-17

资助项目: 重庆市移民局课题(200909); 重庆市自然科学基金(40701179)

作者简介: 袁波(1984—),男,四川宣汉人,在读硕士研究生,主要从事土壤环境与土地利用研究。E-mail: ycb@swu.edu.cn

通信作者: 傅瓦利(1954—),女,山西籍重庆人,博士,教授,硕士生导师,主要从事土壤地理和土地利用研究。E-mail: fuwali@swu.edu.cn

1 材料和方法

1.1 研究区概况

北碚区是重庆市主城九区之一,位于东经 $106^{\circ}18'14''-106^{\circ}56'53''$,北纬 $29^{\circ}39'00''-30^{\circ}03'53''$ 。境内由低山槽、山麓裸丘、浅丘和沿江河谷构成,海拔最高 1 312 m,最低 175 m。区内属亚热带季风湿润气候,热量丰富,雨量充沛;最高气温 39°C ,最低气温 1°C ,年平均气温 18°C 。全区共有土地面积为 75 419.6 hm^2 ,其中耕地面积为 29 644.6 hm^2 ,土壤以紫色土、水稻土为主,这两种土壤占全区土壤面积的 81.7%。新规划的蔬菜地远期目标是 6 667 hm^2 ,目前有 4 380 hm^2 ,这些蔬菜地大部分都分布在紫色土和水稻土分布的区域内。本文研究区域内的槽上蔬菜基地分布的土壤主要是石灰土。区内紫色土是由三叠系飞仙关组暗紫泥岩及侏罗系自流井组暗紫色、杂色泥岩、沙溪庙组灰棕紫色泥岩风化物的坡积、残积母质发育形成的;石灰土主要是石灰土类中的黄色石灰土,是由三叠系及二叠系后层灰岩溶蚀后的残积物发育形成的;水稻土主要有三个亚类,其中紫色性水稻土占水稻土总面积的 80% 以上,紫色性水稻土是在区内紫色土的基础之上水耕熟化而来的^[6]。

1.2 样品的采集及处理

根据行政区划、土壤及蔬菜地分布情况,综合区内地形地貌等其他因素,在北碚区内的三圣镇、柳荫镇、复兴镇、澄江镇、天府镇、静观镇、东阳镇及槽上石灰岩区蔬菜基地共布置采样点 65 个,采样深度为 0—20 cm,其中石灰土样 13 个,非石灰土土样 52 个。每个土样采集点采用多点采样方式(5—7 个点),将

所取每个分样点的样品充分混合,用四分法反复取舍,最后保留 1 kg 左右的土壤作为该采样点混合样。采取的土样在室内自然风干,剔除植物残体、碎石,玛瑙研钵研细过 100 目筛后保存备用。

1.3 分析及评价方法

1.3.1 分析方法 土壤理化性质及全铅的测定参考鲁如坤的《土壤农业化学分析》^[7];pH 采用电位法,有机质采用重铬酸钾外加热法,阳离子代换量采用乙酸铵法,土壤质地采用甲种比重计法;土壤全铅($\text{HF}-\text{HClO}_4-\text{HNO}_3$ 消煮)采用原子吸收分光光度法测定。数据分析及作图采用 SPSS 17.0 和 Excel 2003 软件。

1.3.2 环境质量评价方法及标准 对土壤重金属环境质量评价方法有很多,本研究只是对铅这一种元素进行评价,所以本文采用中国绿色食品发展中心推荐的单项因子污染指数法和综合污染指数法中的单项因子污染指数法进行环境质量评价^[8]。单因子指数法是目前国内土壤重金属环境质量评价普遍采用的方法之一,其计算公式为:

$$P_i = C_i / S_i$$

式中: P_i ——土壤中污染物 i 的单项污染指数; C_i ——污染物 i 的实测值(mg/kg); S_i ——污染物 i 的评价标准(mg/kg)。 $P_i > 1$ 表示土壤受污染; $P_i \leq 1$ 表示土壤未受污染。 P_i 值越大,则受污染程度越严重。

由于本文是基于蔬菜地土壤铅的环境质量评价,所以在评价中分别采用了《无公害食品—蔬菜产地环境条件》(NY5010—2002)(简称无公害蔬菜产地标准)和《绿色食品产地环境质量标准》(NY/T391—2000)(简称绿色蔬菜产地标准)中土壤环境铅的要求标准进行评价。其具体标准见表 1。

表 1 蔬菜地土壤铅环境质量评价标准

项 目	无公害蔬菜产地标准						绿色蔬菜产地标准		
pH	<6.5		6.5~7.5		>7.5		<6.5	6.5~7.5	>7.5
土壤铅含量/(mg·kg ⁻¹)	50d	250	50d	300	50d	350	50	50	50

注:d 代表萝卜、水芹在此标准下产地应满足的要求。

2 结果与分析

2.1 蔬菜地土壤部分理化性质统计分析

前人研究^[9-10]表明土壤 pH、有机质、阳离子代换量、黏粒含量等都对土壤中重金属含量有不同程度的影响。本文测定北碚区蔬菜地土壤的部分理化性质并统计分析如表 2 所示,pH 的变异系数最小,均值为 6.04,说明研究区内蔬菜地土壤的 pH 变化较小,基本都在中性偏酸性的范围内。从平均值来看北碚区蔬菜地土壤的有机质含量水平是比较高的,其中变异系数较大,这说明在区内有机质空间分异较为明显。

黏粒($<0.001 \text{ mm}$)含量可以分为两大类,其中石灰土的黏粒含量普遍较高,水稻土和紫色土黏粒含量远小于石灰土。阳离子代换量(CEC)在平均水平上是比较高的;CEC 反映了土壤胶体的负电荷量,CEC 越高,负电荷量越高。

表 2 北碚区蔬菜地土壤部分理化性质统计

指标	极小值	极大值	均值	标准差	变异系数
pH	4.95	6.94	6.04	0.45	0.07
有机质/ $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	13.10	70.88	30.34	12.89	0.42
黏粒/ $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	85.79	335.98	184.54	67.93	0.37
CEC/ $(\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1})$	10.78	33.01	20.18	4.41	0.22

2.2 蔬菜地土壤耕层铅含量统计分析

土壤样品的测定结果(表 3)表明,北碚区蔬菜地耕层土壤铅含量的平均值为 43.92 mg/kg,低于杨梅^[11]对重庆市耕地重金属研究结果中铅平均含量 52.09 mg/kg 和李章平等^[12]的研究结果中重庆主城区农业区铅平均含量 52.14 mg/kg,略高于李其林^[13]对重庆市菜地土壤研究中北碚区蔬菜地土壤铅含量的平均值 38.91 mg/kg,其原因可能是在此次采样中有 26 个样品采样点位于交通要道两旁。在研究区域内最低值为 16.31 mg/kg,出现在东阳镇;最高值为 76.69 mg/kg,出现在槽上蔬菜基地;全区最高值是最低值的 4.71 倍,其变异系数为 37.3%,属于中等变异。在研究区内若以行政区域为统计单元其不同行政区含量差异是比较明显的,静观镇的平均含量最低(28.17 mg/kg),三圣镇的平均含量最高(54.04 mg/kg),其中东阳镇最高值为最低值的 4.64 倍,其变异系数最大。各采样地蔬菜地土壤耕层铅含量依次为:三圣镇(54.04 mg/kg)>槽上蔬菜基地(48.49 mg/kg)>柳荫镇(47.76 mg/kg)>天府镇(42.64 mg/kg)>复兴镇(42.92 mg/kg)>东阳镇(39.60 mg/kg)>澄江镇(34.46 mg/kg)>静观镇(28.17 mg/kg)。所有样品铅的检出率为 100%。

表 3 北碚区蔬菜地土壤耕层铅含量

地点	n/个	铅含量/(mg·kg ⁻¹)				变异系数
		极小值	极大值	均值	标准差	
北碚区	65	16.3	76.7	43.9	16.4	0.4
复兴镇	9	24.2	65.4	42.9	14.7	0.3
东阳镇	7	16.3	75.7	39.6	20.6	0.5
天府镇	9	29.4	68.7	43.6	13.3	0.3
三圣镇	8	24.3	70.2	54.0	14.0	0.3
柳荫镇	8	26.2	71.3	47.8	16.6	0.3
澄江镇	7	23.4	53.6	34.5	10.8	0.3
静观镇	4	21.1	46.7	28.2	12.4	0.4
槽上蔬菜地	13	22.0	76.7	48.5	18.4	0.4

3 讨论

3.1 北碚区蔬菜地土壤耕层铅环境质量评价

由于所有样品的 pH 为 4.95~6.94,其中 pH 小于 6.5 的样品占总数的 84.6%,所以在以无公害蔬菜产地标准计算污染指数中都按照无公害蔬菜产地中铅含量的最低标准计算,即当 pH<6.5 时的 250 mg/kg。按照《无公害食品蔬菜产地环境条件》(NY5010—2002)中对土壤环境中铅的最低限值要求标准进行计算评价,所有蔬菜地的单项污染指数 P_i 都没有超过 0.25,远低于 1,这说明研究区域内的土壤在此标准下土壤未受到污染,这也表明研究区域内的土壤环

境在铅含量水平上适合无公害蔬菜生产,但是部分地区其铅含量超过了 50 mg/kg 不适合萝卜、水芹的生产。各地蔬菜地土壤铅在无公害蔬菜产地标准下的单项污染指数 P_i 见图 1。

按照《绿色食品产地环境质量标准》(NY/T391—2000)中规定的绿色蔬菜产地环境质量中铅的要求为标准对各采样区域内的土壤进行计算评价,只有三圣镇的污染指数超过了 1,但超出水平不大,其余地方都在 1 以下,这说明在此标准下研究区内的土壤有部分土壤已受到轻度污染,除三圣镇部分区域外其他地方在铅含量水平上都满足绿色蔬菜种植的需求。北碚区的平均污染指数达 0.878,快接近阈值,所以如要种植绿色蔬菜则在铅污染防治上还要采取一定措施。各地蔬菜地土壤铅在绿色蔬菜产地标准下的单项污染指数 P_i 见图 1。

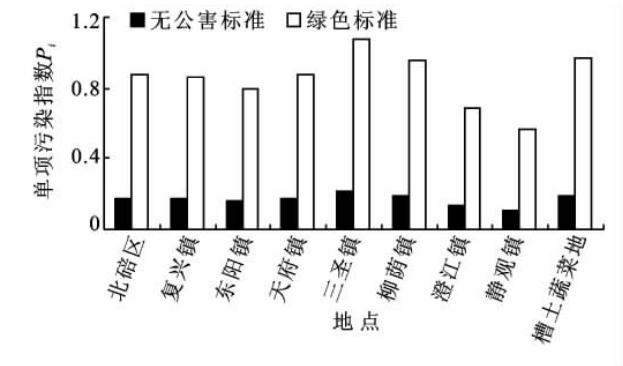


图 1 蔬菜地的单项污染指数

3.2 蔬菜地土壤全铅含量影响因素分析

3.2.1 土壤类型的影响 在本研究区域内,其中槽上蔬菜基地位于石灰土区域范围内,其石灰土分布区域内土壤全铅的平均含量为 48.48 mg/kg,而非石灰土区域其平均值为 37.78 mg/kg,二者之间具有明显的差异,而此研究结果也与中国主要土壤类型的重金属铅的环境背景值(石灰土背景值高于紫色土与水稻土)结果相一致^[3]。究其原因可能是成土母质中铅含量不同以及形成同样厚度的石灰土需要比紫色土和紫色性水稻土更长的时间出现了富集现象有关^[14]。

3.2.2 土壤理化性质的影响 通过对实测数据整理、分类,运用 SPSS 软件相关分析发现,北碚区蔬菜地土壤理化性质中的 pH、有机质含量、黏粒含量和全铅含量关系显著;而阳离子代换量与全铅含量关系不明显,这可能是与不同区域土地利用方式有关。

(1)土壤 pH 的影响。根据前人研究表明,不同 pH 范围对重金属含量的影响不同。对所有土壤样品 pH 值进行分段(即 4.95<pH<6.5, 6.94>pH>6.5),再与全铅含量相关分析发现,土壤铅含量受 pH 值影响较大,在不同 pH 范围内铅含量趋势是不相同

的。从图 2 可以看出: $\text{pH} < 6.5$ 时土壤铅含量与 pH 呈极显著正相关, 相关系数 $R = 0.369^{**}$, 其回归方程为 $Y = 16.169\text{pH} - 50.888 (n = 55)$ 。在本研究中当 $6.94 > \text{pH} > 6.5$ 时, 全铅含量和 pH 之间不具相关性, 可能是样品数据太少, 具有偶然性; 在 $\text{pH} < 6.5$ 的时候, 随着 pH 的增大全铅含量有升高的趋势, 这可能是在较酸性条件下, 重金属铅的淋溶迁移能力较大, 滞留在土壤中的铅就相对少些^[15]。并且有研究还显示酸性范围内随着 pH 的升高, 土壤中 H^+ 、 Fe^{2+} 、 Al^{3+} 、 Mg^{2+} 等一些离子浓度在减小, 与 Pb^{2+} 竞争吸附减少, 为土壤吸附铅提供了更好的环境^[16]。

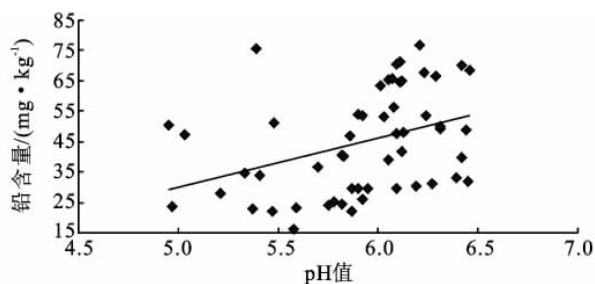


图 2 土壤 pH 与铅含量的关系

(2) 土壤黏粒含量的影响。在本研究中, 由于石灰土黏粒含量比其他土壤类型高很多, 在不具强污染的区域, 其铅含量主要受本底值影响, 所以在进行数据分析的时候对其样品单独分析。通过 SPSS 软件相关分析发现, 石灰土样全铅含量与黏粒含量呈显著的正相关, 相关系数 $R = 0.572^*$, 回归方程为 $\text{Pb} = 0.435M - 85.772 (n = 13, M \text{——黏粒含量})$; 其余土壤样品的全铅含量与黏粒含量呈极显著的正相关, 其相关系数 $R = 0.364^{**}$, 回归方程为: $\text{Pb} = 0.174M + 15.604 (n = 52, M \text{——黏粒含量})$ 。从数据分析上看, 土壤黏粒含量是影响全铅含量的重要因素, 这与成春奇^[17]等研究认为质地黏重的土壤中, 铅更易积累, 而不易迁移流失的结果相似。其原因可能是土壤中的黏粒含量影响土壤的阳离子代换量^[18], 而国内外许多研究表明, 阳离子代换量是影响土壤铅吸附的重要因素^[19]。

(3) 土壤有机质含量的影响。对蔬菜地土壤有机质含量与铅含量的相关分析显示: 有机质含量与铅含量呈极显著正相关, 相关系数 $R = 0.322^{**}$, 回归方程为 $\text{Pb} = 0.409\text{Org} + 31.488 (n = 65, \text{Org} \text{——有机质含量})$, 如图 3 所示。全铅含量随有机质增加而增大其原因可能是随着有机质含量的增加, 土壤中有有机胶体和有机—无机复合胶体含量增加, 阳离子交换量增强, 土壤对阳离子的吸附能力提高; 而有机胶体和有机无机—复合胶体同铅离子发生络合、螯合反应, 生成稳定的络合物和螯合物, 富集在土壤中^[20]。

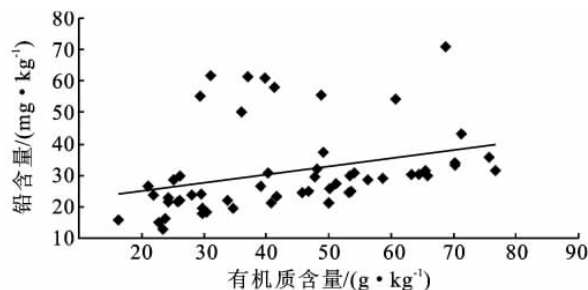


图 3 有机质含量与铅含量关系

3.2.3 距离公路远近的影响 在所取 65 个样品中有 26 个点是位于公路 100 m 范围以内的, 在野外采样过程中对其作出了标记。通过表 4 可以看出, 靠近公路的采样区域比远离公路的采样区域平均值要高很多, 这说明公路对土壤铅含量有直接的影响。其主要原因就是公路上的汽车等排放的废气中含有含铅化合物, 使公路两侧土壤表层铅含量相对较高^[21]。部分规划蔬菜地分布在交通要道两侧, 其土壤势必会受到轻度的污染, 因此为了生产高品质的蔬菜, 在规划蔬菜地的时候要避开公路这个带状污染源。

表 4 距公路远近蔬菜地铅含量数据比较 mg/kg

类别	样品数	极小值	极大值	均值	标准差
靠近公路 2 km	6	30.5	76.7	59.2	11.2
远离公路	39	16.3	58.6	33.7	10.1

4 结论

(1) 北碚区蔬菜地土壤耕层铅含量平均值为 43.92 mg/kg , 最小值为 16.30 mg/kg , 最大值为 76.69 mg/kg , 最大值是最小值的 4.71 倍, 变异系数为 37.3%, 说明研究区内铅含量空间差异不是很明显。

(2) 以《无公害食品—蔬菜产地环境条件》(NY5010—2002) 和《绿色食品产地环境质量标准》(NY/T391—2000) 中铅限值为标准通过单项污染指数计算评价北碚区的蔬菜地土壤在铅含量水平上完全满足无公害蔬菜地生产, 基本满足绿色蔬菜生产。

(3) 自然因素中土壤类型和土壤理化性质中的 pH 、黏粒含量、有机质含量是对北碚区蔬菜地土壤中铅含量有重要影响。土壤类型主要受成土母质及成土时间的影响。另外研究发现距离公路远近也是影响土壤全铅含量的重要因素。

参考文献:

- [1] 张辉, 马东升. 公路重金属污染的形态特征及其解吸吸附能力探讨[J]. 环境化学, 1998, 17(6): 564-568.
- [2] 李宗利, 薛澄泽. 污灌土壤中 Pb 、 Cd 形态的研究[J]. 农业环境保护, 1994, 13(4): 152-157.

波辐射能比其它三个季节多,这种效应致使春季的热岛效应值明显高于其它三个季节^[2],在相同的西安城市环境背景下,其相应春季的干岛效应值明显的高于其它三个季节。

4 结 论

(1)西安城区干岛效应年变化趋势呈二次曲线下垂型,最大降温达-9%,降温幅度最大时段为 20 世纪 90 年代以后,年变化存在 1992 年的突变年份。

(2)西安城区干岛效应存在明显的季节变化,四季比较,冬、春季明显强于夏、秋季。冬、春比较,春季强于冬季。夏、秋比较,差异很小。

(3)代表西安城区发展程度的人口数量与城区四季干岛效应之间存在较强的线性关系,春季城市发展程度影响最大,冬、夏、秋次之且差异不明显。城区干岛效应快速增强的主要原因是城市人为热直接排放的增加和城市人为下垫面硬化面积的扩大。

参考文献:

- [1] 张光智,徐祥德,王继志,等. 北京及周边地区城市尺度热岛特征及其演变[J]. 应用气象学报,2002,13(特刊): 41-49.
 - [2] 任春艳,吴殿廷,董锁成. 西北地区城市化对城市气候环境的影响[J]. 地理研究,2006,25(2):234-236.
 - [3] 张宏利,陈豫,张纳伟锐,等. 西安市热岛效应的变化特征与城市人口发展研究[J]. 水土保持研究,2009,16(4):131-136.
 - [4] 延军平,胡小晖,刘登伟,等. 秦岭南北环境响应程度比较[M]. 北京:科学出版社,2006:33-34.
 - [5] 康丽莉,顾骏强,樊高峰. 兰江流域近 43 年气候变化及对水资源的影响[J]. 气象,2007,33(2):71-75.
 - [6] 魏风英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]北京:气象出版社,2007:61-63.
 - [7] 李卓仑,王乃昂,轧靖,等. 近 40 年兰州城市气候季节性变化与城市[J]. 高原气象,2007,26(2):588-589.
-
- (上接第 182 页)
- [3] 张乃明,段永蕙,毛昆明. 土壤环境保护[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2002:114-116.
 - [4] 刘敏超,王飞生,岳艳明. 蔬菜污染与无污染蔬菜的持续发展[J]. 现代化农业,2000(8):10-12.
 - [5] 李录久,许圣君,李光雄. 土壤重金属污染与修复技术研究进展[J]. 安徽农业科学,2004,32(1):156-158.
 - [6] 重庆市北碚区地方志编纂委员会. 北碚自然地理[M]. 重庆:西南师范大学出版社,1986:145-184.
 - [7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999.
 - [8] 黄国锋,吴启堂,容天雨,等. 无公害蔬菜生产基地环境质量评价[J]. 环境科学研究,1999,12(4):53-56.
 - [9] Bradl H B. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents [J]. J. Colloid Inter-face Sci., 2004, 277:1-18.
 - [10] Naidu R, Bolan N S, Kookana R S, et al. Ionic-strength and pH effects on the sorption of cadmium and the surface charge of soils [J]. Euro. J. Soil Sci., 1994, 45:419-429.
 - [11] 杨梅. 重庆市耕地土壤的重金属空间变异性研究:地统计学方法[D]. 重庆:西南大学,2005.
 - [12] 李章平,陈玉成,魏世强,等. 重庆市主城区土壤重金属的潜在生态危害评价[J]. 西南农业大学学报,2006,28(2):227-230.
 - [13] 李其林,何九江,刘光德,等. 菜地土壤和蔬菜中几种重金属的分布特征[J]. 矿物学报,2004,24(4):373-377.
 - [14] 邢光熹,朱建国. 土壤微量元素和稀土元素化学[M]. 北京:科学出版社,2002:45-48.
 - [15] 王春苗,石中山,杨剑虹. 重庆土壤铅含量污染评价及其影响因素分析[J]. 广西农业科学,2009,40(9):1172-1176.
 - [16] 王孝堂. 土壤酸度对重金属形态分配的影响[J]. 土壤学报,1991,28(1):103-107.
 - [17] 成春奇. 黏土对重金属污染物容纳阻滞能力研[J]. 水文地质工程地质,2001(6):12-14.
 - [18] 杨金燕,杨肖娥,何振立,等. 土壤中铅的吸附-解吸行为研究进展[J]. 生态环境,2005,14(1):102-107.
 - [19] Chip A, Lena M A. Concentration, pH, and surface charge effects on Cadmium and Lead sorption in three tropical soils[J]. Environ. Qual., 2002, 31(4): 581-589.
 - [20] 李军,张玉龙,陈维新. 有机质对土壤铅吸附特性的影响[J]. 沈阳农业大学学报,1992,23(专辑):38-42.
 - [21] 李波,林玉锁. 公路两侧农田土壤铅污染及对农产品质量安全的影响[J]. 环境监测管理与技术,2005,17(1): 11-14.