

滇西陇川县耕地土壤环境质量分析评价

张国云¹, 郭晋², 王定忠³, 毕生斌¹, 周新惟¹, 马柱芳¹

(1.德宏州农业环境保护监测工作站, 云南 芒市 678400; 2.云南省农业环境保护监测工作站, 云南 昆明 650034; 3.云南陇川县土壤肥料工作站, 云南 陇川 678401)

摘要: 为揭示滇西地区土壤环境质量状况,以陇川县为例,参照《绿色食品产地环境技术条件》,对耕地土壤 pH 值、有机质、全氮、速效磷、速效钾营养元素含量及重金属元素铅、镉、汞、砷、铬、铜总量进行测定分析。采用标准对比法、单因子污染指数法和 Nemerlo 综合污染指数法,对其土壤环境质量进行了评价。结果表明,研究区土壤 pH 值介于 3.49~7.45 之间,均值为 5.05,土壤偏酸;各营养元素平均值中有机质、全氮、速效磷含量为优良,速效钾含量为中等,有机质、全氮、速效磷、速效钾含量分别有 64.17%、59.34%、75.33%、71.66%的耕地面积达到生产绿色食品土壤肥力要求,分别有 35.83%、40.66%、24.67%、28.34%的面积土壤肥力不足;采用单因子污染指数法对土壤重金属评价,砷、铬、铜处于清洁状态;有 20.27%、2.03%、4.73%的样本铅、镉、汞单因子污染指数大于 1,所代表的面积受到铅、镉、汞轻度污染,镉有 1.35%样本单因子污染指数大于 2,所代表的面积受到镉中度污染;综合污染指数评价,4.79%样本达到轻度污染。

关键词: 土壤肥力;土壤重金属;污染指数法;绿色食品

中图分类号:X825

文献标志码:A

文章编号:1005-4944(2013)05-0031-05

Cultivated Land Soil Environment Quality Analysis and Evaluation in Longchuan County, Yunnan Province, China

ZHANG Guo-yun¹, GUO Jin², WANG Ding-zhong³, BI Sheng-bin¹, ZHOU Xin-wei¹, MA Zhu-fang¹

(1.Agricultural Environmental Protection and Monitoring Workstation of Dehong Prefecture, Mangshi 678400, China; 2.Yunnan Agricultural Environmental Protection and Monitoring Center, Kunming 650034, China; 3.Soil and Fertilizer Workstation of Longchuan County, Longchuan 678401, China)

Abstract: In order to reveal the status of the quality of soil environment in the western area of Yunnan Province, Taking Longchuan County as an example, referring to "green food producing area environment technical specifications", soil pH value, organic matter, total nitrogen, available phosphorus, available potassium content of nutrient elements and heavy metals such as lead, cadmium, mercury, arsenic, chromium, copper volume were measured and analyzed. Using the standard comparison method, the method of single factor pollution index and comprehensive pollution index method of Nemerlo, the soil environmental quality was evaluated. The results showed that, the soil pH ranged from 3.49 to 7.45, the mean value was 5.05, with acid soil nutrient elements. The average value of organic matter, total nitrogen, available phosphorus content was high, the content of rapidly available potassium was medium. Organic matter, total nitrogen, available phosphorus, available potassium content were 64.17%, 59.34%, 75.33%, 71.66% of the area of cultivated land respectively, which was agree to produce green food soil fertility requirements, and 35.83%, 40.66%, 24.67%, 28.34% of the area was of poor soil fertility respectively. Assessing the heavy metals in soil by using the single factor pollution index method, arsenic, chromium, copper was in a clean state, lead, cadmium, mercury single factor pollution index was 20.27%, 2.03%, 4.73% higher than 1, which represented the lead, cadmium, mercury as light pollution. There was 1.35% sample cadmium single factor pollution index greater than 2, which represented the cadmium pollution as medium. Comprehensive pollution index evaluation showed that there was 4.79% samples reached the light pollution standard.

Keywords: soil fertility; heavy metals in soil; pollution index method; green food

收稿日期:2013-04-29

基金项目:云南省农产品质量安全专项“农产品产地环境质量评价整体推进”项目(2130109)

作者简介:张国云(1971—),男,云南曲靖人,高级农艺师,主要从事土壤肥料、农业环境与农产品质量安全工作。E-mail:yngyzh@163.com

土壤是农业生产的基础,耕地质量是土壤特征的综合反映,也是揭示土壤条件最敏感的指标^[1],而且能体现人类活动对土壤的影响^[2]。随着经济活动的日益频繁,城市、工业、交通、采矿及农村经济的快速发展,土壤承载着各类垃圾、废气和废水的污染^[3-4],同时农业自身产生的面源污染也在逐年加剧^[5-6],导致我国的耕地质量急剧下降,不仅影响到农产品产量,而且影响了农产品质量,通过食物链进而影响人类身体健康^[7-10]。土壤养分是耕地地力的重要指标,土壤重金属是土壤环境质量的重要指标,提高土壤肥力,降低重金属污染,保护耕地质量刻不容缓^[11]。

陇川县地处云南西部,德宏州西南部,西与缅甸毗邻,整个地形为“三山两坝一河谷”,属南亚热带季风气候,具有四季不明、干湿季分明、光照充足、热量丰富、雨量充沛、年温差小、日温差大的气候特点。农业人口 14.03 万人,占总人口的 80.63%,是以景颇族、傣族为主体的少数民族县。森林覆盖率 50.1%,现有耕地面积 26 418.2 hm²。以种植业为主,工业极不发达,全县工业仅有制糖和水电。本文通过对全县耕地土壤肥力及环境质量进行调查分析与评价,既有利于耕地质量保护和提升,也为农产品质量安全生产提供保障,为农业提质增效提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与制备

根据当地基本情况(表 1),按行政区域划分 9 个

采样区,各采样区按土壤类型划分若干采样单元,网格法布设取样点位和点数,网格间距 1.3 km,采样密度约 1.8 个·km⁻²,GPS 精确定位(图 1)。2011 年 10—11 月进行土壤样品采集,按随机、均等的原则,采集表层(0~20 cm)(多年生作物采集 0~60 cm)多点混合样,用四分法留 1 kg,用塑料袋装好,做好标记和原始记录,带回检测室,总计获取有效样本 146 个。土样风干后,磨细过筛处理,分别过 0.85、0.25、0.15 mm 筛,各制备土样 100 g 供检测分析 pH 值、土壤养分及重金属。

1.2 检测分析

参照 NY/T 395—2000 标准,土壤经硫酸-硝酸-高锰酸钾消解,原子荧光光度法(AFS-230 原子荧光

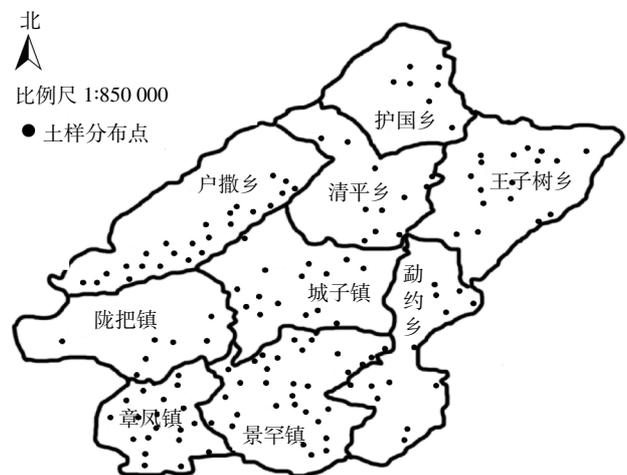


图 1 研究区示意图及土样分布图

表 1 土样采集区基本情况

采样区	地貌类型	土壤类型	气温/℃	降雨/mm	面积/hm ²	农业利用/%	土样/个
章凤镇	冲洪积平坝、丘陵	水稻土、赤红壤	18.9	1 544	4 840.2	稻-洋芋(烟、油、玉米)60%,蔗 30%,玉米-麦(豆、菜)7%,菜 2%,果 1%	21
陇把镇	冲洪积平坝、丘陵	水稻土、赤红壤	18.9	1 515	1 456.5	稻-洋芋(烟、油、玉米)30%,蔗 60%,玉米-麦(豆、菜)3%,菜 1%,果 1%	7
景罕镇	冲洪积平坝、丘陵	水稻土、赤红壤	19.4	1 287	6 687.0	稻-洋芋(烟、油、玉米)24%,蔗 62%,玉米-豆(油、菜)6%,果 5%,茶 3%	30
王子树乡	中山	黄壤、红壤	19.0	1 960	1 533.5	稻-油(烟、洋芋、玉米)34%,蔗 10%,玉米-菜(豆、麦、油)41%,茶 15%	17
护国乡	中、低山	黄壤、红壤	15.6	1 650	597.1	稻-麦(烟、油、玉米)50%,蔗 10%,玉米-菜(豆、麦)35%,茶 5%	7
城子镇	冲洪积平坝、丘陵	水稻土、赤红壤	16.0	1 800	3 358.0	稻-洋芋(烟、油、玉米)42%,蔗 45%,玉米-麦(豆、油、菜)3%,茶 10%	16
清平乡	冲洪积平坝、低山	水稻土、赤红壤	18.0	1 753	2 020.6	稻-油(烟、菜、玉米)21%,蔗 30%,玉米-油(豆、麦、菜)10%,茶 39%	11
勐约乡	中山	红壤、黄壤	21.0	1 300	1 979.3	稻-洋芋(油、玉米)20%,蔗 72%,玉米-菜(豆、菜)4%,果 3%,茶 1%	12
户撒乡	冲洪积平坝、中山	水稻土、红壤、黄壤	16.1	2 053	3 946.0	稻-油(烟、麦、菜)70%,玉米-油(豆、菜、麦)13%,茶 17%	25

光度计)测定汞;土壤经硫酸-硝酸-高氯酸消解,原子荧光光度法(AFS-230 原子荧光光度计)测定砷;土壤经盐酸-硝酸-氢氟酸-高氯酸消解,参照 GB/T 17141—1997 标准,火焰光度法(PE-1100B 原子吸收分光光度计)测定铅、镉、铜;参照 NY/T 395—2000 标准,二苯碳酰二肼光度法(721 分光光度计)测定铬;参照 NY/T 395—2000,玻璃电极法(Orion-210 酸度计)测定土壤 pH 值(土水比 1:2.5)^[12]。

土壤养分检测按《土壤分析技术规范》^[13]进行,参照 NY/T 1121.2—2006 标准,重铬酸钾氧化容量法测定有机质;参照 GB 7173—87 标准,半微量凯氏法(QSY-21D 凯氏定氮仪)测定全氮;参照 GB 12297—90 标准,钼锑抗比色法(721 分光光度计)测定速效磷;参照 NY/T 889—2004 标准,火焰光度法(TAS-990 原子吸收分光光度计)测定速效钾。

1.3 评价指标

因研究区工矿企业少,自然条件优越,参照国家《土壤环境质量标准》二级标准^[14]、《土壤环境质量监测技术规范》^[12],以限值较高的《绿色食品 产地环境技术条件》^[15]为依据进行分析评价,土壤肥力选取有机质、全氮、速效磷、速效钾含量作为评价因子(表 2),选取 6 种重金属元素铅、镉、汞、砷、铬、铜总量作为土壤环境质量评价因子(表 3)。土壤酸碱性评价,土壤 pH>8.5 为碱性,7.5<pH≤8.5 为微碱,6.5<pH≤7.5 为中性,5.5<pH≤6.5 为微酸,4.5<pH≤5.5 为酸性,pH≤4.5 为极酸^[12-16]。

1.4 环境质量评价方法

土壤肥力评价采用标准对比法,土壤重金属污染评价采用常用的污染指数法评价模型包括单因子污

表 2 土壤肥力分级指标^[15]

标准	有机质/ g·kg ⁻¹	全氮/ g·kg ⁻¹	速效磷/ mg·kg ⁻¹	速效钾/ mg·kg ⁻¹	评价
I	>25	>1.2	>15	>100	优良
II	20~25	1.0~1.2	10~15	50~100	中等
III	<20	<1.0	<10	<50	较差

表 3 土壤环境质量标准^[15](mg·kg⁻¹)

项目	浓度限值		
	6.5	6.5~7.5	>7.5
pH 值	6.5	6.5~7.5	>7.5
铅	50	50	50
镉	0.30	0.30	0.40
汞	0.30	0.40	0.40
砷	20	20	15
铬	120	120	120
铜	50	60	60

染指数法和 Nemer 综合污染指数法^[12,17-19]。在评价中,以单因子污染指数为主,综合污染指数为辅。当 $P_i < 1$ 时,即未超标;当 $P_i > 1$ 时,表示土壤受到污染; P_i 越大污染程度越重。其计算公式如下:

单因子污染指数法

$$P_i = C_i / S_i$$

式中: P_i 为土壤中污染物 i 的单因子污染指数; C_i 为土壤中污染物 i 的实测值; S_i 为土壤中污染物 i 的评价标准;

Nemer 综合污染指数法

$$P_{\text{综}} = \{[(C_i/S_i)_{\text{max}}^2 + (C_i/S_i)_{\text{ave}}^2] / 2\}^{0.5}$$

式中: $P_{\text{综}}$ 为土壤中污染物 i 的综合污染指数; $(C_i/S_i)_{\text{max}}$ 为土壤污染物中单因子污染指数最大值; $(C_i/S_i)_{\text{ave}}$ 为土壤各单因子污染指数的平均值;分级标准根据污染指数法的规定,依据土壤污染程度不同分为 5 个等级(表 4)。

1.5 数据处理

采用 Excel 2003 和 DPS 7.0 软件进行数据分析。

2 结果与讨论

2.1 土壤养分及重金属总体分布状况

各营养元素变异系数比较(表 5),速效磷>全氮>速效钾>有机质>pH 值,pH 值变异系数小于 10%,为弱变异性,有机质、全氮、速效磷、速效钾变异系数在 10%~100%之间,为中等变异性^[20],表明受人类生产活动干扰较大^[21]。各重金属元素变异系数(表 5),砷>

表 4 土壤污染指数法评价分级标准^[12]

标准等级	P_i	$P_{\text{综}}$	污染等级	污染程度
I	$P_i \leq 0.7$	$P_{\text{综}} \leq 0.7$	安全	土壤清洁
II	$0.7 < P_i \leq 1$	$0.7 < P_{\text{综}} \leq 1$	警戒级	土壤尚清洁
III	$1 < P_i \leq 2$	$1 < P_{\text{综}} \leq 2$	轻污染	土壤受轻度污染
IV	$2 < P_i \leq 3$	$2 < P_{\text{综}} \leq 3$	中污染	土壤作物均受中度污染
V	$P_i > 3$	$P_{\text{综}} > 3$	重污染	土壤作物均受严重污染

表5 土壤养分及重金属含量基本统计

项目	变幅	均值	中值	标准差	CV/%
pH值	3.49~7.45	5.05	5.03	0.31	9.49
有机质/g·kg ⁻¹	1.20~135.5	27.39	24.01	15.49	56.55
全氮/g·kg ⁻¹	0.03~6.93	1.31	1.14	0.99	75.39
速效磷/mg·kg ⁻¹	0.98~104.75	24.47	18.8	19.28	78.81
速效钾/mg·kg ⁻¹	11.22~530.68	79.44	69.02	53.25	67.03
铅/mg·kg ⁻¹	18.50~65.6	43.28	43.8	8.28	19.02
镉/mg·kg ⁻¹	0.08~0.68	0.16	0.52	0.07	40.88
汞/mg·kg ⁻¹	0.01~0.49	0.11	0.08	0.08	76.36
砷/mg·kg ⁻¹	0.04~27.74	4.75	3.17	4.31	91.51
铬/mg·kg ⁻¹	39.8~118	64.57	58.1	21.52	33.18
铜/mg·kg ⁻¹	6.1~44.3	17.17	16.6	6.36	36.81

汞>镉>铬>铜>铅,变异系数在10%~100%之间,为中等变异性^[20],说明分布差异较大,一方面是土壤背景值的因素,另一方面是受外源的影响^[21-24]。用Pearson法进行相关性分析,结果表明,pH值与铬、铜及铅与砷、铜之间呈极显著负相关,铅与汞、铬呈显著负相关,砷与铬、铜及铜与铬之间呈极显著正相关;有机质与全氮、速效钾及全氮与速效钾之间呈极显著正相关,速效钾与速效磷之间呈显著正相关。

2.2 土壤养分状况分析评价

各样本土壤养分(表6),达到优良级的样本比例速效磷>有机质>全氮>速效钾,达到中等级的样本比例速效钾>有机质>速效磷>全氮,达到较差级的样本

表6 各样本土壤养分优良级比例(%)

等级	有机质	全氮	速效磷	速效钾
优良级	47.17	46.67	61.50	21.33
中等级	17.00	12.67	13.83	50.33
较差级	35.83	40.66	24.67	28.34

比例全氮>有机质>速效钾>速效磷。陇川县耕地土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾分别有64.17%、59.34%、75.33%、71.66%样本代表的耕地面积为中等以上,达到生产绿色食品土壤肥力要求;分别有35.83%的面积有机质不足,40.66%的样本代表的耕地面积全氮不足,分别有28.34%、24.67%的样本代表的耕地面积速效钾、速效磷不足。

陇川县耕地土壤总体偏酸,pH值平均值为5.05,76.33%面积为酸性,9.17%面积为极酸;各采样区有机质含量比较,陇把镇、景罕镇、护国乡、城子镇、勐约乡为优良,章凤镇为较差,王子树乡、清平乡、户撒乡为中等;全氮含量陇把镇、景罕镇、护国乡、勐约乡为优良,清平乡为中等,王子树乡、城子镇、户撒乡、章凤镇为较差;速效磷含量勐约乡为中等,其余采样区均为优良;速效钾含量景罕镇、勐约乡为优良,其余采样区均为中等。研究区各养分平均值,有机质、全氮、速效磷为优良,速效钾为中等。

2.3 土壤重金属污染指数法评价

各元素单因子污染指数平均值(表7),铅>镉>铬>汞>铜>砷,铅单因子污染指数平均值达到警戒级尚清洁。各采样区铅单因子污染指数平均值达到警戒级,陇把镇铬、护国乡镉单因子指数达到警戒级,其余各

表8 各样本重金属污染指数等级比例(%)

等级	单因子污染指数						综合污染指数
	铅	镉	汞	砷	铬	铜	
I	14.19	95.27	89.86	98.65	82.43	97.97	38.36
II	65.54	1.35	5.41	1.35	17.57	2.03	56.85
III	20.27	2.03	4.73	—	—	—	4.79
IV	—	1.35	—	—	—	—	—
V	—	—	—	—	—	—	—

注:“—”表示无达标数据。

表7 各采样区土壤重金属单因子污染指数差异统计

采样区	铅	镉	汞	砷	铬	铜
章凤镇	0.83±9.48	0.53±0.03	0.32±0.07	0.17±3.22	0.54±16.41	0.4±4.31
陇把镇	0.81±7.15	0.51±0.02	0.21±0.03	0.17±4.80	0.72±20.2	0.45±2.45
景罕镇	0.89±7.01	0.53±0.05	0.21±0.02	0.19±5.90	0.5±17.12	0.32±5.45
王子树乡	0.85±7.89	0.52±0.01	0.28±0.04	0.15±4.57	0.52±24.71	0.34±6.79
护国乡	0.81±7.97	0.95±0.23	0.24±0.02	0.13±3.55	0.5±9.07	0.31±2.13
城子镇	0.91±9.90	0.54±0.07	0.36±0.04	0.12±4.71	0.51±23.11	0.32±9.70
清平乡	0.98±5.67	0.47±0.02	0.40±0.05	0.11±3.77	0.56±24.57	0.33±6.57
勐约乡	0.72±7.7	0.53±0.03	0.65±0.11	0.15±4.17	0.62±29.69	0.38±6.43
户撒乡	0.89±7.08	0.51±0.03	0.5±0.12	0.16±3.15	0.52±20.89	0.32±6.10
平均值	0.86±0.17	0.54±0.22	0.35±0.27	0.16±0.15	0.53±0.18	0.34±0.13

注:数据为平均值±标准差。

采样区各元素清洁安全。

各样本重金属污染评价(表8),砷、铬、铜单因子污染指数分别有1.35%、17.57%、2.03%样本为二级,达到警戒级,说明土壤尚清洁;铅、汞单因子污染指数20.27%、4.73%样本为三级,达轻度污染级,表明土壤样本代表的面积受到铅、汞轻度污染,不能生产绿色食品;镉单因子污染指数2.03%样本为三级,达轻度污染级,1.35%样本为四级,达中度污染,土壤样本所代表的区域均不能生产绿色食品。Nemero综合污染指数4.79%样本为三级,达到轻度污染级。各超标元素分布区域,铅分布于整个研究区,镉主要分布在勐约乡采样区,汞主要分布在户撒乡采样区。

根据实地调查和有关资料分析,陇川县耕地土壤主要重金属污染因子来源:一是农业活动增强,复种指数提高,农药、化肥、农膜、有机肥大量投入,养殖产生的粪便、污水利用,致使重金属在土壤中积累;二是居民生活废水、垃圾污染;三是企业商业活动产生的“三废”^[4,25];四是土壤类型和成土母质的差异,导致土壤重金属分布高度不均匀,空间变异性大,部分区域土壤重金属元素背景值较高^[21]。

3 结论

(1)陇川县耕地土壤以酸性为主,9.17%的土壤极酸($\text{pH} \leq 4.5$);以《绿色食品产地环境技术条件》中土壤肥力要求为评价标准,对各营养元素评价,有机质、全氮、速效磷为优良,速效钾为中等,有机质、全氮、速效磷、速效钾分别有64.17%、59.34%、75.33%、71.66%的样本代表的耕地面积达到生产绿色食品土壤肥力要求,分别有35.83%、40.66%、24.67%、28.34%的样本代表的耕地面积土壤肥力不足,需加强培肥地力。

(2)按照《绿色食品产地环境技术条件》中土壤环境质量标准要求,采用指数法对陇川县耕地土壤重金属评价,结果表明,铅、镉、汞是污染的主要因子,单因子污染指数评价,分别有20.27%、2.03%、4.73%样本所代表的面积分别受到铅、镉、汞的轻度污染,有1.35%样本代表的耕地面积受到镉中度污染,土壤样本所代表的区域不能作为绿色食品生产基地。Nemero综合污染指数评价,4.79%样本所代表的面积达到轻度污染级。

参考文献:

[1] 赵其国,孙波,张桃林.土壤质量与持续环境 I.土壤质量的定义及评价方法[J].土壤,1997,29(3):113-120.

[2] 胡金明,刘兴土.三江平原土壤质量变化评价与分析[J].地理科学,1999,19(5):417-421.

[3] 房世波,潘剑君,成杰民,等.南京市郊蔬菜地土壤中重金属含量的时空变化规律[J].生态与环境学报,2002,11(4):339-342.

[4] Kabaya-pendias A, Henryk P. Trace elements in soils and plants[M]. New York: CRC Press, 2000.

[5] 范美蓉,罗琳,周凤霞,等.洞庭湖农业面源污染现状及防治对策[J].农业环境与发展,2008,25(2):88-91.

[6] 李渝,罗龙皂,蒋太明,等.贵州省农产品产地环境现状及其评价研究进展[J].农业环境与发展,2012,29(4):11-14.

[7] 朱婷婷.农村土壤污染防治资金保障机制现状与完善[J].农业环境与发展,2012,29(5):12-14.

[8] 钟来元,郭良珍.不同利用方式农用地土壤重金属污染状况及其动态变化特征[J].生态环境学报,2011,20(12):12-14.

[9] 朱永官,陈保冬,林爱军,等.珠江三角洲地区土壤重金属污染控制与修复研究的若干思考[J].环境科学学报,2005,25(12):1575-1579.

[10] Hu K L, Zhang F R, Li H, et al. Spatial patterns of soil heavy metals in urban-rural transition zone of Beijing[J]. *Pedosphere*, 2006, 16(6): 690-698.

[11] 许学宏,纪从亮.江苏蔬菜产地土壤重金属污染现状调查与评价[J].农村生态环境,2005,21(1):1934-1939.

[12] HJ/T 166—2004 土壤环境质量监测技术规范[S].

[13] 全国农业技术推广服务中心.土壤分析技术规范[M].北京:中国农业出版社,2006.

[14] GB 15618—1995 土壤环境质量标准[S].

[15] NY/T 391—2000 绿色食品产地环境技术条件[S].

[16] 王树会,邵岩,邓云龙,等.云南植烟土壤主要养分特征及在生产上的对策[J].云南农业大学学报,2005,20(5):690-693.

[17] 赵秀峰,王强盛,石宁宁,等.石化园区周边农田土壤重金属污染分析与评价[J].环境科学学报,2010,30(1):133-141.

[18] 张一修,王济,张浩.地表灰尘重金属污染分析与评价[J].生态环境学报,2011,20(1):169-174.

[19] 马成玲,周健民,王火焰,等.农田土壤重金属污染评价方法研究[J].生态与环境学报,2006,21(1):48-53.

[20] 肖艳霞,黄海棠,许自成,等.豫中烟区土壤因子分布状况及对烤烟糖碱比的影响[J].中国土壤与肥料,2012(3):43-47.

[21] 唐国祥,屈明,汪璇,等.西南丘陵山区植烟土壤重金属环境质量及污染评价[J].西南大学学报,2012,34(专刊):119-125.

[22] 陈丹青,谢志宜.农村土壤环境质量监测与评价研究[J].农业环境与发展,2012,29(2):88-92.

[23] 肖思思,黄贤金,彭补拙,等.经济发达县域耕地土壤重金属污染评价及其影响因素分析——以江苏省昆山市为例[J].长江流域资源与环境,2007,16(5):674-679.

[24] 丛艳静,邢世和,罗文光.基于GIS技术的荔城平原区耕地土壤重金属污染程度及其风险评估[J].福建农业学报,2007,22(3):302-307.

[25] 李瑞平,郝英华,李光德,等.泰安市农田土壤重金属污染特征及来源解析[J].农业环境科学学报,2011,30(10):2012-2017.