

基于不同标准的郑州市农产品产地土壤环境质量评价

李玲^{1,2}, 冯新伟¹, 路婕¹, 陈伟强¹, 吕巧灵¹, 吴克宁^{3*}

(1. 河南农业大学资源与环境学院, 郑州 450002; 2. 中国矿业大学土地复垦与生态重建研究所, 北京 100083;
3. 中国地质大学土地科学技术学院, 北京 100083)

摘要:以郑州市耕地土壤为例, 对其表层重金属Pb、Cr、Cd、Hg、As含量进行了测定分析, 按照单因子污染指数法和内梅罗综合污染指数法, 分别根据有机农业生产基地环境质量标准、绿色食品产地环境质量标准、无公害食品蔬菜产地环境条件标准进行了评价, 同时应用克里格插值方法进行空间特征分析。结果表明, 研究区表层土壤重金属变异程度由大到小为: Hg、Cr、Pb、As、Cd; 全区土壤环境质量完全满足无公害蔬菜产地环境条件的要求, 北部和东南部大部分满足绿色食品产地环境质量的要求, 而仅约半数的土壤适宜发展有机农业生产。可为农业生产发展规划和相关管理部门提供科学依据和辅助决策。

关键词:土壤环境质量; 重金属; 评价; 农产品产地; 郑州市

中图分类号: S159.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-8-0089-06

李玲, 冯新伟, 路婕, 等. 基于不同标准的郑州市农产品产地土壤环境质量评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 89-94.

Li Ling, Feng Xinwei, Lu Jie, et al. Evaluation of soil environmental quality in agricultural production areas based on different standards in Zhengzhou City[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 89-94.(in Chinese with English abstract)

0 引言

土壤是农业发展的依附, 土壤环境质量是土壤容纳、吸收和降解各种环境污染物质的能力, 其中重金属是土壤环境中一类具有潜在危害的污染物^[1-3], 因此, 针对土壤中的重金属进行调查, 并进行土壤环境质量的评价, 已是国内外广泛关注的问题。美国Burt^[4]分析了美国土壤中重金属元素含量, 开始建设土壤环境质量数据集; 德国Bloeme^[5]研究了Osnabrück镇表层土壤Cd、Cu、Pb、Zn的分布, 等等; 国内史学正、刘玉燕、陈杰、张凤荣、李晓秀、柴世伟等^[6-11]分别研究了城市边缘区、城乡交错区、北京市、广州市等的重金属污染状况; 还有一些学者相继以某些土壤环境质量标准为依据开展了相应的土壤污染分级评价的研究工作^[12-18], 但大部分以无公害农产品或绿色食品基地土壤环境质量标准进行单一标准的土壤环境质量评价。

郊区既是城市居民大量农副产品的供应基地, 同时又是城市废弃物的容纳场所, 郑州市郊区生产蔬菜的上市量占城区蔬菜供应量的60%以上, 城市生活、工业活动加重周边农地的污染负荷, 大气污染、沉降、酸雨、化肥农药大量使用使土壤环境压力增大, 对城市土壤的

环境质量造成了强烈的影响, 直接影响到城市市民的身体健康。因此, 本着动态评价和规划的原则, 以中原地区城市化发展较快的郑州市为研究区域, 分别依据无公害、绿色和有机三个不同标准划分等级进行评价是十分必要的。评价结果将为合理发展和规划农业生产提供科学参考, 同时对于已经污染的环境质量, 找出原因及存在问题, 为保护生态环境、改良土壤、农业结构调整和土地可持续利用规划提供理论依据。

1 研究区概况

研究区域处于河南省的中北部, 位于北纬34°36'~34°57'和东经113°27'~113°51'之间, 北依黄河, 西南与密县、荥阳接壤, 南毗新郑, 东与中牟为邻。包括郑州市的金水区、中原区、管城区、二七区和惠济区, 东西宽33~36 km, 南北长35~38 km, 总面积为1013.3 km²。研究区域为浅山丘陵向平原过渡的交接地带, 暖温带半湿润大陆性季风气候, 年平均气温14.4℃, 年降雨量640 mm, 年平均日照时数2385 h, 土壤有褐土、潮土、风砂土等土类^[19]; 土壤资源传统利用形式以蔬菜和小麦种植为主, 随着郑州市城市化的快速发展, 导致周边土壤肥力水平下降、土壤环境质量恶化, 土壤资源的环境压力日趋增大。

2 材料与方法

2.1 样品的采集与分析

首先用郑州市土地利用数据以2003年SPOT-5影像, 分辨率为2.5 m全色波段与10 m多光谱2/1/3波段的融合数据影像, 以地形图作为基础图, 在ENVI 4.0对卫星遥感图像进行几何配准; 然后将1982年郑州市郊区土壤类型图、2003年郑州市土地利用现状图、2000~2010年郑

收稿日期: 2007-10-25 修订日期: 2008-03-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(40471060); 郑州市科技攻关项目(064SGDN19194, 074STKG21132)

作者简介: 李玲(1973-), 女, 河南息县人, 博士生, 主要从事资源环境、土地管理教学与科研工作。郑州 河南农业大学资源与环境学院, 450002. Email: ndliling@tom.com

*通讯作者: 吴克宁(1963-), 男, 北京人, 教授, 博士, 主要从事土地评价、农用地分等定级等教学与科研工作。北京 中国地质大学土地科学技术学院, 100083. Email: knwu@sohu.com

州市土地利用规划图以及处理好的遥感影像进行叠置分析,得到 2003 年土壤图。在室内主要针对土壤肥力监测采用了 2.5 km×2.5 km 网格法进行样点布设,然后在 105 个土壤采样点中抽取 54 个样点进行土壤环境相关项目的分析。在选取环境采样点时,考虑到随着我国经济的发展,各个城市都在不断的扩张,城市化进程在加速发展,在扩张的过程中,城市近郊土壤污染的程度可能与距离城市远近有一定的关系,因此在 54 个土壤样品,以离市中心的距离为 10 km 以内,10~15 km,15 km 以上分别取 20、26、8 个样点。

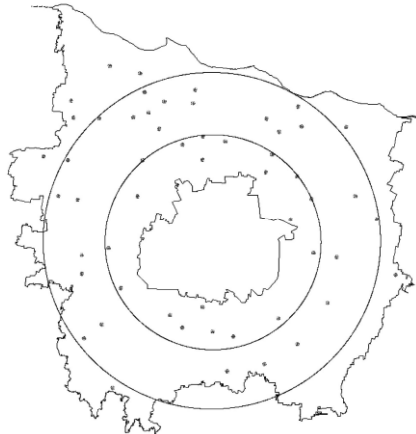


图 1 土壤样点分布图
Fig.1 Distribution of soil sampling sites

实地采样时,采用 GPS 进行定位,确定准确的采样点的经纬度,以网格点为圆心、10 m 为半径的范围内,以网格点为中心,选取 5 个点(即中间 1 点,周围 4 点)采集 0~120 cm 的耕层土壤,每一个样品都由相邻若干田块中的 5 点取样混合后,用四分法留取 1 kg 而成。土壤样品在野外用木铲进行采样、混合和留取,放入内衬聚乙烯塑料袋,进行编号;室内自然风干,剔除样品中植物根系、有机残渣以及可见侵入体,用木质工具碾碎并用玛瑙研钵研磨,分别过 10 目、60 目和 100 目尼龙筛。土壤样品常规理化性状分析参照《土壤农业化学分析方法》^[20]。土壤中 Hg: 冷原子荧光法, Cd: 原子吸收

法, Pb: 原子吸收法, As: 二乙基二硫代氨基甲酸分光光度法, Cr: 二苯碳酰二肼分光光度法。数据分析采用 SPSS 软件,统计分析采用 ArcGIS 等软件。

2.2 土壤环境质量评价方法

目前评价方法主要有单项指数法和综合指数法,其中,综合指数法又分为均值型指数、计权型指数和内梅罗指数等^[21]。单项污染指数法能够比较直观地反映环境中各项污染指标的情况;内梅罗综合指数法不仅考虑到了所有评价因子单项污染程度的平均水平,而且还考虑到了最大污染指数,因此能够更为科学、综合的反映评价区域内总体环境质量状况。评价公式如下:

单项污染指数法:

$$P_i=C_i/S_i \tag{1}$$

式中 P_i ——土壤中污染物*i*的环境质量指数; C_i ——污染物*i*的实测值; S_i ——污染物*i*的评价标准或背景值。

综合污染指数采用内梅罗综合指数法:

$$P_N=[(P_{\max}^2+P_{ave}^2)/2]^{1/2} \tag{2}$$

式中 P_N ——内梅罗综合指数; P_{\max} 即 $(C_i/S_i)_{\max}$ 为单项污染指数最大值; P_{ave} 即 $(C_i/S_i)_{ave}$ 为单项污染指数算术平均值。

2.3 土壤环境质量评价标准及分级

评价标准是衡量农产品生产基地环境质量是否合格的尺度^[22],如果评价标准制定或选取的过宽或过严,必将会导致农产品生产基地环境质量评价结论脱离实际或失误。本研究土壤环境质量评价采用的标准是土壤污染物临界值,综合考虑了各元素在不同含量范围内对生物效应、人体健康及土壤性状的影响,既反映了污染物的积累度,也反映了危害程度;但土壤污染临界值则是一个由土地具体用途决定的相对值^[23,24]。本着动态发展的原则,本文对评价因子分别采用了《有机农业生产基地环境质量标准》(GB15618-1995)(简称有机农业)、《绿色食品产地环境质量标准》(NY/T391-2000)(简称绿色食品)和《无公害食品蔬菜产地环境条件》(NY5010-2001)(简称无公害蔬菜)中的部分标准进行评价和分析。其标准见表1。

表1 土壤环境质量评价标准
Table 1 Evaluation criterion of soil environment quality

项 目	无公害蔬菜产地标准			绿色食品产地标准			有机农业产地标准	
	pH值≤6.5	pH值6.5~7.5	pH值>7.5	pH值≤6.5	pH值6.5~7.5	pH值>7.5	潮土	褐土
Cd	0.3	0.3	0.6	0.3	0.3	0.4	0.103	0.11
Hg	0.3	0.5	1.0	0.25	0.3	0.35	0.047	0.04
Pb	250	300	350	50	50	50	21.9	21.3
As	40	30	25	25	20	20	9.7	11.6
Cr	150	200	250	120	120	120	66.6	64.8

土壤污染分级标准参照以上土壤环境质量标准中的级别划分、农业部颁布的NY/T395—2000农田土壤环境质量监测技术规范,给出土壤重金属元素综合评价的分级

标准,见表2。首先利用单项污染指数,对各元素的污染程度加以分析,然后再利用综合污染指数进行土壤环境质量等级划分,进行分析评价。

表2 土壤环境质量评价分级标准
Table 2 Classification standards of soil environmental quality evaluation

等级划分	<i>P</i>	污染等级	污染水平
I	$P \leq 0.7$	安全	非污染, 清洁
II	$0.7 < P \leq 1$	警戒线	非污染, 尚清洁
III	$1 < P \leq 2$	轻污染	土壤轻污染, 作物已受污染
IV	$2 < P \leq 3$	中度污染	土壤、作物均受中度污染
V	$P > 3$	重度污染	土壤、作物已严重受污染

注：针对各重金属评价时，*P*代表单项污染指数；针对综合评价时，*P*代表内梅罗综合指数。

3 结果与分析

3.1 郑州市土壤重金属含量

郑州市采样点区的土壤类型主要为潮土和褐土，pH 值都在6.9~7.9之间，变幅不大，平均值为7.35，中性到微碱性。由于土壤重金属污染的非均匀性，采用平均值、变幅、标准差以及变异系数等4个统计指标进行统计分析，研究区54 个土壤表层样品重金属含量测定结果见表3。

表3 郑州市土壤重金属含量统计分析
Table 3 Descriptive statistics of soil heavy metals in Zhengzhou City /mg · kg⁻¹

项目	样本数	最小值	最大值	平均值	标准差 SD	变异系数 CV/%
Cd	54	0.002	0.123	0.078	0.020	25.256
Hg	54	0.007	0.093	0.028	0.015	53.963
Pb	54	6.80	61.5	25.196	9.647	38.287
As	54	2.48	9.68	4.343	1.460	33.628
Cr	54	23.78	135.9	54.555	27.932	51.199

表3数据显示研究区土壤样品重金属的平均含量分别为：Cd 0.078 mg/kg，Hg 0.028 mg/kg，Pb 25.196 mg/kg，As 4.343 mg/kg，Cr 54.555 mg/kg；变异系数反映了总体样本中各采样点的平均变异程度，该区域Hg的变异系数最大，达到53.963%，而Cd的变异系数最小为25.256%，平均变异程度由大到小的顺序为：Hg、Cr、Pb、As、Cd，重金属含量变异系数大致呈现三个层次，Hg和Cr两个元素的变异系数在50%以上，As和Pb含量的变异系数在30%~40%之间，只有Cd含量的变异系数小于30%，表明了在不同地点的Hg和Cr含量有较大的差异，各采样点Cd含量分布比较集中。

3.2 郑州市土壤环境质量指数值

以相关元素各评价标准，计算研究区域54个样点表层土壤五种重金属的单因子污染指数值和综合污染指数，分析结果见表4。

从结果可以看出，根据无公害蔬菜产地土壤环境质量标准，无论是根据单项污染指数还是综合污染指数，研究区域的污染指数平均值均小于0.4，绝大部分属于I级，属于清洁状况，极少量为II级，属于尚清洁状况。从

单项污染指数看，Cr和Cd的单项污染指数比较高，表明Cd和Cr的状况对研究区域具有较大的影响，决定着该点的综合污染指数；As次之；而Hg和Pb的指数都很小，绝大部分都小于0.1，其余的全部在0.1~0.2之间。说明郑州市完全符合无公害食品蔬菜产地环境的要求。

表4 郑州市土壤环境质量指数统计分析
Table 4 Descriptive statistics of soil environmental quality pollution index in Zhengzhou City /mg · kg⁻¹, %

项目	无公害蔬菜产地标准		绿色食品产地标准		有机农业产地标准	
	平均值	$P \leq 1$ 频率	平均值	$P \leq 1$ 频率	平均值	$P \leq 1$ 频率
<i>P</i> _{Cd}	0.232	100.00	0.247	100.00	0.743	98.15
<i>P</i> _{Hg}	0.052	100.00	0.091	100.00	0.623	88.89
<i>P</i> _{Pb}	0.082	100.00	0.504	96.29	1.162	38.89
<i>P</i> _{As}	0.150	100.00	0.217	100.00	0.425	98.15
<i>P</i> _{Cr}	0.271	100.00	0.455	98.15	0.826	70.37
<i>P</i> _N	0.354	100.00	0.647	90.74	1.056	62.96

根据绿色食品产地土壤环境质量标准，土壤环境质量评价指标分为严控环境指标（Cd、Hg、As、Cr）和一般控制指标（Pb、Cu、pH值）；在评价中如有一项或一项以上超标，则不适宜发展AA级绿色食品，但可根据超标物的性质、程度等具体情况及综合污染指数全面衡量后确定是否符合发展A级绿色食品的要求。研究区域的单项污染指数平均值小于0.7，绝大部分小于1，属于I级（清洁），但是少部分土壤样点重金属Pb和Cr的明显有超标现象，因此采用A级绿色食品产地环境质量评价程序及方法，即采用单项污染指数与综合污染指数相结合的方法，在评价中，尽管某种一般控制环境污染物超标会造成危害，而平均状况却不超标，考虑这一效应，采用指数平均值和最大值相结合的Nemerow指数法。评价结果表明重金属Pb和Cr具有一定的警情；内梅罗综合污染指数小于1的占总数90.74%，因此，现阶段少量土壤已不适合发展绿色食品基地。

根据有机农业生产基地土壤环境质量标准，研究区域土壤单项污染指数平均值Pb>Cr>Cd>Hg>As，其中Pb的污染比较严重，小于II级仅占到38.89%，其余重金属大部分单项污染指数小于1；因为Pb的极高贡献率使得综合污染指数值达到较高的污染水平，约半数的土壤尚可满足有机农业生产基地土壤质量的要求，表明郑州城市周围的土壤在此标准下，部分处于尚清洁状态，仅在警戒线水平，而非安全水平，因此郑州市土壤半数不适宜进行有机农业生产发展。

3.3 郑州市土壤环境质量空间分布

土壤是一个不均匀、具有高度空间变异性的复合体，克里格法是一种最佳空间局部估计方法，是地统计的主要分析方法。综合考虑变量的随机性和结构性，根据采样点的监测数据、采样点的相互位置关系，采用最小二乘法进行曲线拟合,根据变异函数图确定变异函数的块金

值、变程等,并确定变异函数的模型及变差函数模型,估测研究区域内其余点的数值^[25-27]。根据研究区域不同环境标准计算出的土壤重金属单项污染指数值和内梅罗综合污染指数绘制变异函数曲线图,分别用球状模型或指数模型进行拟合,产生的估计量是线性、无偏和最优的,因此,采用软件ArcGIS中普通克里格方法(Ordinary

Kriging),对研究区域进行插值,并按照不同环境质量标准对污染评价指数等级进行重新分级和分类,对土壤环境质量分布态势进行模拟可以较真实地反映不同环境质量标准下的土壤环境质量的分布规律。本文限于版面,仅显示根据不同评价标准所得综合污染指数空间分布,结果如图2所示。

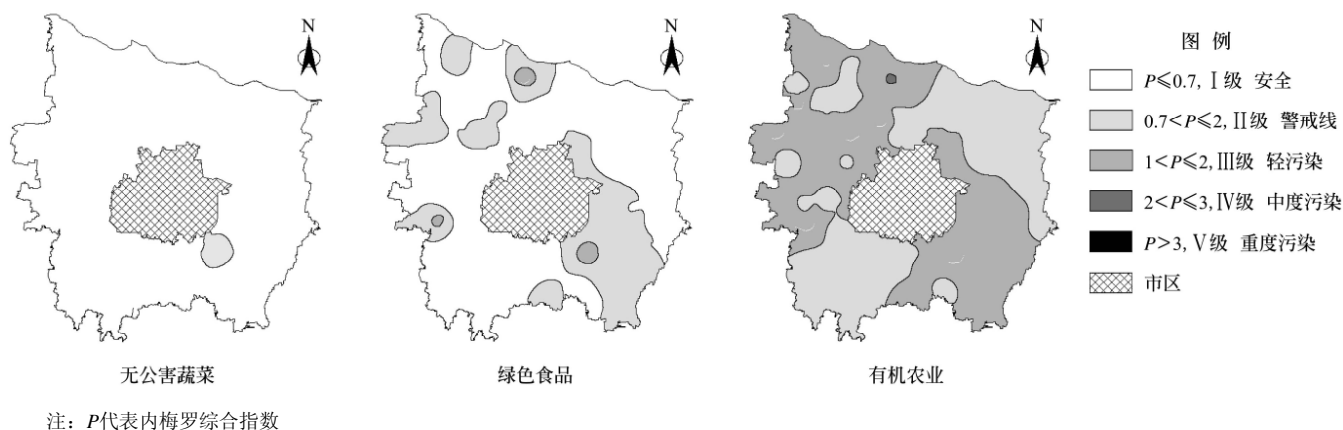


图2 基于不同标准的郑州市土壤环境质量评价空间分布图
Fig.2 Spatial variation of soil environmental quality based on different standard in Zhengzhou City

图中颜色越浅,土壤综合污染指数越小,土壤环境质量越好,反之,颜色越深,土壤环境质量相对越差。

由图2可以看出,根据无公害蔬菜产地土壤环境质量标准,郑州市耕地土壤综合污染指数均小于1,处于非污染状态,其中绝大部分为I级安全状态,只有紧邻郑州市区的管城区南曹姚庄附近出现了少量的II级警戒线状态,主要因其Cr的单项污染指数较高,达到0.982,Cr来源主要为工业废水,管城区姚庄附近工厂较多,而且Cr在土壤中主要以 Cr^{3+} 形态存在,土壤胶体对 Cr^{3+} 有强烈的吸附作用,较快地被吸附固定积累在表层,很少向下移动^[28,29],因而造成土壤Cr含量增加的主要原因,但也能满足无公害蔬菜生产的条件。

根据绿色食品产地土壤环境质量标准,约95%郑州市土壤综合污染指数小于1,可以发展的绿色食品基地,其中约70.37%达到I级,可以发展AA级绿色食品基地;25.11%达到II级,主要用于发展A级绿色食品基地,主要分布在郑州市北部和东南部,其中北部呈现离散分布,东南部则呈连续片状分布;但有部分地区污染的等级有明显上升,综合污染指数大于1,如惠济区东赵和中原区桐树王、金水区的花沟王和郑河、管城区的姚庄污染均达到III级水平,故已经不适宜进行绿色食品基地的发展,主要原因是Pb和Cr的单项污染指数较高,很多研究已经表明含Pb汽油的燃烧对土壤中Pb含量的影响很大^[29],因此从另一侧面也反映了城市化的发展对农业土壤资源带来一定的环境压力。

而根据有机农业生产产地土壤环境质量标准,约50%郑州市土壤综合污染指数小于1,其中处于安全状态的I级土壤环境质量几乎没有,约有半数的土壤综合污染指

数处于0.7与1之间,为II级警戒线状态,主要分布在郑州市的西南和东部,北部零星分布;其余大多土壤综合污染指数在1与2之间,为III级轻污染状态,将近占全区面积的一半;惠济区毛庄镇东赵村部分土壤土壤综合污染指数达到2以上,为IV级中度污染,主要因其各重金属均有较大程度的超标,可能与其长期种植蔬菜高强度的农化产品投入和污水灌溉有关。

4 结论与建议

1) 研究区域内表层土壤中各种重金属平均含量分别为: Cd 0.078 mg/kg, Hg 0.028 mg/kg, Pb 25.196 mg/kg, As 4.343 mg/kg, Cr 54.555 mg/kg, 平均变异程度 $\text{Hg} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{As} > \text{Cd}$ 。

2) 根据无公害蔬菜产地土壤环境质量标准,研究区域内表层土壤单项污染指数和综合污染指数平均小于0.4,绝大部分处于安全水平,全区完全符合无公害蔬菜产地环境的要求。

3) 根据绿色食品产地环境质量标准,研究区域的表层土壤单项污染指数和综合污染指数平均值均小于0.7;大部分处于安全水平,北部和东南部部分区域因Pb和Cr的单项污染指数较高,处于警戒线水平。

4) 根据有机农业生产基地环境质量标准,Pb的单项污染指数平均值大于1,其余小于1,综合污染指数大于1;全区基本无安全水平,约有半数的土壤处于警戒线水平,主要分布在郑州市的西南和东部,适合发展有机农业,其余区域存在污染,不适宜进行有机农业的生产。

研究表明,随着城市化的迅速推进,工业垃圾和生活垃圾日益俱增,带来的环境污染是多面的,而且由于

郑州市的地形特征, 国家政策等原因, 郑州市东、北方发展将加快速度, 这些区域的土壤环境质量会进一步恶化。因此, 为了城市人民和环境的健康, 如果将郑州市作为绿色蔬菜和有机农业的生产基地, 应该加大治污力度, 保持土壤清洁; 建议在技术人员和菜农中增强食品卫生质量、环境质量意识, 建议加强对农药和灌溉水的管理, 减少二次污染; 只有从各个方面加以严格控制, 才能够得以彻底解决土壤重金属污染问题。

受评价项目和样品数量的局限, 采样点土壤各项污染物的含量值及最终结果只能大体说明研究区域土壤态环境是否适合发展无公害农业、绿色食品以及有机农业, 而不能说明研究区域或范围内的其他生态环境情况, 诸如大气环境和水环境。因此对于某个具体区域或范围总体是否适合发展不同级别的农业生产, 则还需要进一步采样分析。

[参 考 文 献]

- [1] 陈怀满, 郑春荣, 周东美, 等. 土壤环境质量研究回顾与讨论[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(4): 821—827.
- [2] 李天杰. 土壤环境学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995: 96—100.
- [3] 吕晓男, 孟赐福, 麻万诸, 等. 重金属与土壤环境质量及食物安全问题研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(2): 197—200.
- [4] Burt R, Wilson M A, Mays M D, et al. Major and trace elements of selected pedons in the USA[J]. Journal of Environmental Quality, 2003, 32: 2109—2121.
- [5] Bloemen M L, Markert B, Lieth H. The distribution of Cd, Cu, Pb and Zn in topsoils of Osnabrück in relation to land use[J]. The Science of the Total Environment, 1995, 166: 137—148.
- [6] 赵彦锋, 史学正, 于东升, 等. 工业型城乡交错区农业土壤Cu、Zn、Pb和Cd的空间分布及影响因素研究[J]. 土壤学报, 2007, 44(2): 227—234.
- [7] 刘玉燕, 刘敏, 刘浩峰. 城市土壤重金属污染特征分析[J]. 土壤通报, 2006, 37(1): 184—188.
- [8] 胡克林, 张凤荣, 吕贻忠, 等. 北京市大兴区土壤重金属含量的空间分布特征[J]. 环境科学学报, 2004, 24(3): 463—468.
- [9] 陈晶中, 陈杰, 谢学俭, 等. 北京城市边缘区土壤重金属污染物分布特征[J]. 土壤学报, 2005, 42(1): 149—152.
- [10] 陈同斌, 郑袁明, 陈煌, 等. 北京市土壤重金属背景值的系统研究[J]. 环境科学, 2004, 25(1): 117—122.
- [11] 柴世伟, 温琰茂, 张云霓, 等. 广州市郊区农业土壤重金属含量特征[J]. 中国环境科学, 2003, 23(6): 592—596.
- [12] 刘凤枝, 师荣光, 徐亚平, 等. 农产品产地土壤环境质量适宜性评价研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(1): 6—14.
- [13] 李晓秀, 陆安祥, 王纪华, 等. 北京地区基本农田土壤环境质量分析与评价[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 60—63.
- [14] 李金新. 无公害蔬菜产地土壤重金属检测评价[J]. 甘肃科技, 2007, 23(5): 217—219.
- [15] 谭丽娟, 魏成熙, 常德荣. 贵阳市无公害蔬菜基地土壤环境质量的监测与评价[J]. 山地农业生物学报, 2004, 23(3): 234—238.
- [16] 刘庆, 王静, 史衍玺, 等. 绿色食品产地土壤重金属空间分布与污染评价[J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 90—94.
- [17] 高晓晶, 李晓秀, 岳子明. 北京市房山区绿色食品产地土壤环境质量评价[J]. 农业环境与发展, 2007, 24(1): 50—53.
- [18] 程红艳, 谢英荷. 绿色食品产地土壤环境质量分区的研究——以山西省临汾市为例[J]. 山西农业大学学报, 2005, 25(3): 257—260.
- [19] 郑州市郊区农业区划办公室. 郑州市郊区土壤普查办公室. 郑州市郊区土壤[R]. 1986, 39.
- [20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 147—211.
- [21] 华玉之, 李清雪. 环境质量评价方法简介[J]. 河北煤炭建筑工程学院学报, 1996, 3: 19—22.
- [22] 蔡彦明, 刘凤枝, 王跃华, 等. 我国土壤环境质量标准之探讨[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(z1): 403—406.
- [23] 黄国锋, 吴启堂. 绿色食品产地土壤环境质量现状评价标准的修正[J]. 农业环境保护, 2000, 19(2): 123—125.
- [24] 王国庆, 骆永明, 等. 土壤环境质量指导值与标准研究.I. 国际动态及中国的修订考虑[J]. 土壤学报, 2005, 42(2): 666—672.
- [25] 王元胜一, 赵春江, 王纪华, 等. 基于WebGIS的重金属污染决策支持系统设计与应用[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 137—140.
- [26] 尹君. 基于GIS绿色食品基地土壤环境质量评价方法研究[J]. 农业环境保护, 2001, 20(6): 446—448.
- [27] Trangmar B B, Yost R S, Uehara G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties[J]. Advanced Agronomy, 1985, 38: 44—49.
- [28] 易秀. 黄土性土壤对铬砷的吸附量及其吸附形态[J]. 生态环境, 2006, 15(3): 547—550.
- [29] 莫争, 王春霞, 陈琴, 等. 重金属Cu Pb Zn Cr Cd在土壤中的形态分布和转化[J]. 农业环境保护, 2002, 21(1): 9—12.

Evaluation of soil environmental quality in agricultural production areas based on different standards in Zhengzhou City

Li Ling^{1,2}, Feng Xinwei¹, Lu Jie¹, Chen Weiqiang¹, Lü Qiaoling¹, Wu Kening^{3*}

(1. Resource and environment College, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2. Research Institute of Land Reclamation and Ecological Restoration, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;

3. Department of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: To appraise soil environmental quality, the study was conducted in the suburb of Zhengzhou city. The concentrations of heavy metals Cd, Hg, Pb, As and Cr in the topsoil samples were analyzed, and the soil environmental quality on the base of different criteria were evaluated by single factor index and Nemerow multi-factor index method respectively. Furthermore, the spatial variability of soil heavy metals pollution was researched with Kriging interpolation method. The analytical results indicate that the variability of soil heavy metals has the feature of $Hg > Cr > Pb > As > Cd$; all the study area meet the demand of non-polluted vegetable production base environment, majority of study area is appropriate to development the green food production base, and only about half of it suit for the development of organic agricultural production base. So it could provide a credible groundwork and assistant decision-making for agricultural development planning and other relative manage department to protect cultivated land and realize the sustainable use of soil resources.

Key words: soil environmental quality; heavy metals; evaluation; agricultural producing area; Zhengzhou City