

栖霞市苹果产地土壤环境质量评价

刘 苹, 于淑芳, 杨 力, 刘兆辉, 郑东峰, 江丽华, 张文君

(山东省农业科学院土壤肥料研究所, 山东 济南 250100)

摘 要:对栖霞市苹果产地土壤重金属 Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu、Zn 和 Ni 的含量进行了调查分析,并采用单项质量指数与综合质量指数相结合的方法对环境质量状况进行了评价。结果表明,栖霞市苹果产地土壤中各重金属的平均含量均低于“食用农产品产地环境质量评价标准”(HJ 332—2006)规定的限值,土壤环境质量定为 1 级,属于清洁水平,适宜发展无公害苹果。但部分监测点的土壤样品重金属含量超标,除 As 和 Pb 以外,其他元素均出现了超标情况,超标率介于 3.23%~9.68%之间。与山东省棕壤自然背景值相比,土壤中 Hg、Cu、Cd、Zn、Ni 和 As 等 6 种元素均出现了累积现象。除 As 与 Ni 外,其他元素之间多呈显著或极显著正相关关系。结合主成分分析的结果,推测 As 和 Ni 的含量主要受成土母质的影响,而其他 6 种元素受人类活动影响比较大。栖霞市苹果产地土壤存在可能引起复合污染的风险,建议进一步加强对肥料和农药使用的管理和限制,最大程度地降低环境风险。

关键词:重金属;土壤;环境质量;评价

中图分类号:X825 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)06-2274-05

Evaluation on Environmental Quality of Soils in Apple Farmland of Qixia

LIU Ping, YU Shu-fang, YANG Li, LIU Zhao-hui, ZHENG Dong-feng, JIANG Li-hua, ZHANG Wen-jun

(Soil and Fertilizer Institute, Shandong Academy of Agriculture Sciences, Jinan 250100, China)

Abstract: Contents of heavy metals Cd, Hg, As, Pb, Cr, Cu, Zn and Ni in soils(0~20 cm)of apple farmland in Qixia city were investigated. The environmental quality was evaluated by methods of single quality index and comprehensive quality index. Results showed that the average contents of heavy metals in soils were all under the threshold prescribed by “Farmland environmental quality evaluation standards for edible agricultural products”(HJ332—2006). The heavy metal contents varied greatly among different sites. The coefficient of variation(C.V.) of Cd was the highest, being 90.41%. While the C.V.of As was the lowest, being 10.86%. The single quality indices of the eight elements were all lower than 0.7, among which Ni had the highest value 0.68, followed by Cu, Hg, Zn, Cd, Cr, Pb and As. In combination with the comprehensive quality index of the eight elements(0.56), the environmental quality of soils in apple farmland of Qixia was classified as the first class belonging to clean level and fit for the plantation of non-environmental pollution apple. However, contents of heavy metals, except As and Pb, in some of the soil samples went beyond the standards, and the percent was between 3.23% and 9.68%. Compared with the background values of brown soils of Shandong Province, average contents of the six elements, Hg, Cu, Cd, Zn, Ni and As, were higher than the standards and showed accumulation in the soil. Contents of Cd, Hg, As, Cu, Zn or Ni in more than 70% of soil samples were higher than the background values. Most of the heavy metals were significantly positively correlated in contents, except As and Ni. And the correlations between Pb and Cd, Cd and Zn, Zn and Cu, Zn and Cr, Cu and Cr were the strongest($P<0.001$). Results of main component analysis of the single quality indices of the eight elements showed that the first and second components could explain 82.51% of the total variance and their eigenvalues were all larger than 1. As and Ni belonged to the second components, and the other six elements belonged to the first components. It was suggested that As and Ni were mainly affected by soil parent material, while the others were mainly affected by human activities. The risk of multiplex pollution might exist in soils of Qixia. To reduce environmental risk effectively, the management of fertilizer and pesticide use were proposed to be strengthened.

Keywords: heavy metal; soil; environmental quality; evaluation

收稿日期:2008-02-22

基金项目:山东省农业科学院博士基金项目(2006YBS015);山东农科院高技术自主创新基金项目(2007ycx023-01)

作者简介:刘 苹(1978-),女,山东泰安人,博士,助理研究员,主要从事农业生态学研究。E-mail:liuapple5326@sina.com

食品质量安全问题是世界各国高度关注的问题,是市场激烈竞争的焦点。随着经济的发展和人民生活水平的提高,消费者对食品质量的要求越来越高^[1]。苹果是我国一种重要的农产品,我国苹果总产量约占世界苹果总产的 34%,常年产量 2 000 万 t 左右。苹果生产作为一种商品生产,其经济效益的高低不仅取决于果品的数量,更为关键的决定因素是果品的质量^[2]。农业生态环境条件优劣是影响苹果质量的主要因素之一,土壤是生态环境的重要组成部分,土壤环境质量与农产品质量的关系最为密切,只有对土壤环境进行及时有效监测,才能为生产安全、无污染的果品提供有力保障^[3-4]。山东省栖霞市素有“中国苹果第一市”的美誉,苹果栽培历史悠久。本研究旨在通过对栖霞市苹果产地土壤重金属的含量进行调查分析,以期对其土壤环境质量现状做出准确评价,为栖霞市无公害苹果的生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

栖霞市位于山东省东北部,地处胶东半岛中心位置,位于东经 120°33′~121°15′、北纬 37°05′~37°32′之间,总面积 2 016 km²。辖 2 个街道、13 个镇,总人口 66 万人。栖霞四季分明,光照充足,境内大小山峰 2 500 余座,大小河流 114 条,年平均气温 11.3 ℃,土壤类型以棕壤为主,分布面积约占全市耕地面积的 70%,降雨量 650 mm 左右,无霜期 207 d,年日照总时 2 690 h,属暖温带季风型半湿润气候,是苹果栽培的最佳区域。果业是栖霞的产业支柱。栖霞的苹果栽培历史悠久,早在公元 1866 年,栖霞就引进了苹果,经过一个多世纪特别是近 10 多年来的发展,全市果园面积达到 4.3 万 hm²,主要有红富士、新红星、嘎啦、乔纳金等新优品种 60 多个品系,年产量 120 万 t。这里成为中国北方最大的苹果产地和果品市场,也是中国目前最大的苹果批发市场所在地。

1.2 样品的采集与分析方法

栖霞市的苹果栽培非常普遍,几乎每个乡镇的主栽果树都是苹果。本着代表性、准确性、合理性和科学性的原则,2006 年 11 月份对栖霞市苹果产地翠屏街道、观里镇、蛇窝泊镇、亭口镇、臧家庄镇等 14 个乡镇的土壤样品进行了集中取样。每个乡镇设 2~3 个监测点,在有可能造成污染的最不利的方位设置监测点,每个监测点沿着山坡采用“S”形进行取样,设采样点 5 个。由于土壤质地多为砂壤土,采集有一定的难度,

所以将采样深度设为 0~20 cm,在靠近树头的地方采样,将 5 个采样点的土壤混合均匀作为该监测点的样品。采样过程中严格避免与金属器具的接触,以免污染土壤样品。共计采得土壤样品 31 个。

采集的土样自然风干后过 2 mm 尼龙筛,用电位法测定 pH 值。用玛瑙研钵研细过 100 目尼龙筛后,每个样品取 0.4 g 左右经 HCl-HNO₃-HF-HClO₄ 消解后,用日本产原子吸收分光光度计(HITACHI,Z5000 型)测定总镉(Cd,石墨炉原子吸收分光光度法,GB/T 17171—1997)、总铅(Pb,石墨炉原子吸收分光光度法,GB/T 17171—1997)、总铬(Cr,火焰原子吸收分光光度法,GB/T 17137—1997)、总铜(Cu,火焰原子吸收分光光度法,GB/T 17138—1997)、总锌(Zn,火焰原子吸收分光光度法,GB/T 17138—1997)、总镍(Ni,火焰原子吸收分光光度法,GB/T 17139—1997)。用原子荧光光谱方法(北京海光产仪器,AFS230E)测定总汞(Hg,NY/T 1121.10—2006)和总砷(As,NY/T 1121.11—2006)。用软件 SPSS 12.0 进行数据统计分析。

1.3 金属环境质量的评价标准及方法

1.3.1 评价标准

本文主要采用国家环保总局颁布的“食用农产品产地环境质量评价标准”(HJ 332—2006)中推荐的评价方法及与果树产地环境相关的标准进行评价^[5],并同时将研究结果与山东省棕壤重金属自然背景值做了比较分析^[6]。“食用农产品产地环境质量评价标准”将评价指标分为严格控制指标和一般控制指标两类。严格控制指标依据各单项质量指数进行评价,一般控制项目参照各要素综合质量指数评定。土壤中的重金属 Cd、Hg、As、Pb、Cr 和 Cu 属于严格控制项目,Zn 和 Ni 属于一般控制项目,各指标的评价标准见表 1,评价标准均严格于“农产品安全质量无公害水果产地环境要求”(GB/T 18407.2—2001)和“无公害食品苹果产地环境条件”(NY 5013—2001)的要求。

表 1 土壤重金属含量评价标准(mg·kg ⁻¹)								
Table 1 The evaluated standards of heavy metal contents in soils(mg·kg ⁻¹)								
元素	Cd	Hg	As	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni
食用农产品产地环境质量标准(HJ 332—2006)								
pH < 6.5	0.30	0.30	40	80	150	150	200	40
6.5<pH<7.5	0.30	0.50	30	80	200	200	250	50
pH>7.5	0.60	1.00	25	80	250	200	300	60
自然背景值标准								
山东省棕壤	0.055	0.014	7.40	29.06	56.88	21.29	53.97	21.11

1.3.2 评价方法

单项质量指数=单项实测值/单项标准值

样本超标率(%)=(超标样本总数 / 监测样本总数)×100 %

各环境要素综合质量指数=

$$\sqrt{\frac{(\text{平均单项质量指数})^2+(\text{最大单项质量指数})^2}{2}}$$

对果树产地土壤环境质量等级划定的标准见表 2。

表 2 食用农产品产地土壤环境质量等级划定

Table 2 The grading standards of soil environment quality for farmland of edible agricultural products

环境质量等级	土壤各单项或综合质量指数	等级名称
1	≤0.7	清洁
2	0.7~1.0	尚清洁
3	>1.0	超标

2 结果与分析

2.1 土壤重金属含量统计

所测土壤样品(平均 pH 为 5.90)重金属含量的统计结果见表 3。栖霞苹果产地土壤中 Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu、Zn 和 Ni 等 8 种重金属的平均含量,均低于“食用农产品产地环境质量评价标准”规定的限值。不同监测点重金属含量的差异很大,其中 Cd 的变异系数最大,为 90.41%,Hg 和 Cr 的变异系数次之,分别为 86.91%和 83.94%。Pb 和 As 的变异系数相对最低,分别为 37.64%和 10.86%,Zn、Cu 和 Ni 的变异系数居中。部分监测点的土壤样品出现了重金属含量超标的情况,根据“食用农产品产地环境质量评价标准”规定的限值,除 As 和 Pb 以外,其他元素均出现了超标情况,超标率介于 3.23%~9.68%之间。

以山东省棕壤自然背景值为标准,除 Pb 和 Cr 以外,其他元素的平均含量均高于限值。所测 8 种元素

均出现了超标情况,而且超标率增幅很大,除 Pb 和 Cr 的超标率相对较低外,其他元素的超标率均大于 70%,其中 Hg 和 As 的超标率达到了 100%。

2.2 土壤重金属的环境质量评价

土壤重金属严格控制指标 Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu 和一般控制指标 Zn、Ni 的单项质量指数见图 1。以“食用农产品产地环境质量评价标准”规定的限值作为评价标准,所测重金属的单项质量指数均小于 0.7,其中 Ni 的质量指数最高,为 0.68,各元素的质量指数由高到低排列顺序为: Ni>Cu>Hg>Zn>Cd>Cr>Pb>As。结合 8 种重金属的综合质量指数(0.56)对栖霞市苹果产地的土壤环境质量进行评价,定为 1 级,土壤环境质量总体上属于清洁,适宜发展无公害苹果。

以山东省棕壤自然背景值作为评价标准,所测重金属除 Pb 和 Cr 以外,其他元素的单项质量指数均大于 1,按照该标准得到的重金属的单项质量指数,均高于以“食用农产品产地环境质量评价标准”为标准得到的值,其中 Hg 的单项质量指数增幅最大,其质量指数高达 9.87。8 种重金属的单项质量指数由高到低排列顺序为: Hg>Cu>Cd>Zn>Ni>As>Cr>Pb。

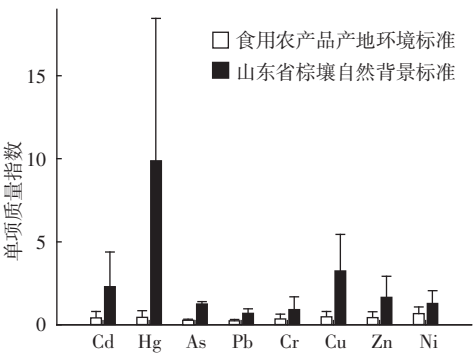


图 1 栖霞市苹果产地土壤重金属含量的单项质量指数

Figure 1 Single quality indices of heavy metal contents in soils of Qixia apple farmland

表 3 栖霞苹果产地土壤重金属含量统计(mg·kg⁻¹)

Table 3 Statistics of heavy metal contents in soils of Qixia apple farmland(mg·kg⁻¹)

元素	Cd	Hg	As	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni
平均含量	0.13	0.14	9.22	20.38	52.46	71.38	88.92	27.13
标准偏差	0.11	0.12	1.00	7.67	44.04	48.37	69.33	15.95
范围	0.04~0.54	0.06~0.40	7.85~10.71	7.33~42.23	16.46~234.97	13.25~230.03	41.16~441.50	9.56~96.06
变异系数/%	90.41	86.91	10.86	37.64	83.94	67.77	77.97	58.79
限值 1 ¹⁾	0.30	0.30	40	80	150	150	200	40
限值 2 ²⁾	0.055	0.014	7.40	29.06	56.88	21.29	53.97	21.11
超标率 1 ³⁾	9.68	3.23	0	0	3.23	6.45	3.23	6.45
超标率 2 ⁴⁾	87.10	100	100	9.68	22.58	93.55	90.32	70.97

注:1)、3)以“食用农产品产地环境质量评价标准”为依据。2)、4)以山东省棕壤自然背景值为依据。

2.3 土壤重金属含量的相关分析

为了探讨各重金属之间的相互关系,进行了相关分析,结果见表 4。各重金属含量之间除 As 与 Ni 和其他元素的相关性不强外,其他元素之间多呈正相关关系,而且大都达到了显著或极显著水平,其中 Pb 与 Cd,Cd 与 Zn,Zn 与 Cu,Zn 与 Cr,Cu 与 Cr 之间的相关性最强($P<0.001$)。

表 4 栖霞苹果产地土壤重金属含量的相关分析
Table 4 Correlation analysis of heavy metal contents
in soils of Qixia apple farmland

相关系数	Cd	Hg	As	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni
Cd	1							
Hg	0.91**	1						
As	-0.17	-0.26	1					
Pb	0.62***	0.93**	-0.00	1				
Cr	0.46**	0.82*	-0.08	0.38*	1			
Cu	0.57**	0.75	-0.30	0.49**	0.65***	1		
Zn	0.72***	0.96**	-0.19	0.50**	0.79***	0.74***	1	
Ni	-0.08	-0.33	-0.24	-0.23	0.33	0.03	0.04	1

注: * $P<0.05$, ** $P<0.01$, *** $P<0.001$ 。

2.4 土壤重金属单项质量指数的主成分分析

主成分分析作为一种用来辅助数据分析的统计方法,可进一步对数据进行详细解释,例如污染来源的确定以及自然和人为因素对土壤元素含量的贡献等^[7]。对栖霞市 8 种重金属元素的单项质量指数(以“食用农产品产地环境质量评价标准”为评价标准)进行了主成分分析,结果见表 5 和表 6。

在表 5 所描述的主成分中,第 1 主成分的贡献率为 65.023%,第 2 主成分的贡献率为 17.487%。第 1、第 2 主成分所描述的信息已达总信息量的 82.510%,且特征根均大于 1,说明已包含大部分重金属元素的

表 5 栖霞苹果产地土壤重金属单项质量指数的主成分分析
Table 5 Main component analysis of single quality indices of
heavy metal contents in soils of Qixia apple farmland

成分	初始特征值			提取后特征值		
	特征值	解释方差/ %	累计方差/ %	特征值	解释方差/ %	累计方差/ %
1	5.202	65.023	65.023	5.202	65.023	65.023
2	1.399	17.487	82.510	1.399	17.487	82.510
3	0.873	10.918	93.428			
4	0.376	4.694	98.122			
5	0.144	1.796	99.918			
6	6.591E-03	8.239E-2	100.000			
7	1.190E-16	1.487E-15	100.000			
8	-6.94E-17	-8.674E-16	100.000			

表 6 栖霞苹果产地土壤重金属单项质量指数主成分
分析成分矩阵

Table 6 Component matrix of single quality indices of heavy
metal contents in soils of Qixia apple farmland

元素	主成分	
	1	2
Cd	0.940	0.181
Hg	0.983	1.035E-02
As	-0.212	-0.660
Pb	0.912	-0.342
Cr	0.855	0.234
Cu	0.827	-1.12E-02
Zn	0.981	7.273E-02
Ni	-0.312	0.868

信息,因此可用两个主成分进行进一步的分析。结果表明,Cd、Hg、Pb、Cr、Cu 和 Zn 在第一主因子中具有较高的因子负荷,As 和 Ni 在第二主因子中负荷值较高(表 6)。

3 讨论

通过本项研究发现,栖霞市苹果产地土壤重金属含量的环境质量优良,所监测的 Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu、Zn 和 Ni 8 种重金属的含量均没有超过“食用农产品产地环境质量评价标准”(HJ 332—2006)规定的限值,达到无公害苹果产地土壤环境质量的要求。

栖霞市苹果产地的土壤重金属环境质量虽然总体来看比较优良,但是个别乡镇有重金属含量超标的现象。土壤中重金属除了来源于土壤母质以外,其含量受工业“三废”污染、交通污染、城镇生活排污以及农用化学品的超高量使用等因素的影响也很大^[8-11]。很多研究发现,在靠近污染源或城镇附近种植的作物,其产地土壤中重金属的含量一般较高,容易超出安全标准^[12]。本次研究中我们发现,亭口镇的一个监测点土壤中 Cu、Zn、Cr、Cd 和 Hg 元素的含量均超出了安全标准,分析其原因很可能与该监测点附近一家大型水泥生产厂排放的“三废”导致土壤污染有关。另外,在靠近市区的乡镇土壤中重金属含量超标的现象较为集中,很可能是受到了城市工业、生活排污、污灌等的影响所致。结合主成分分析的结果,As 和 Ni 元素主要分布在第 2 个主成分,Cd、Hg、Pb、Cr、Cu 和 Zn 主要分布在第 1 个主成分,推测 As 和 Ni 的含量主要受成土母质的影响,而其他 6 种元素受人类活动等人为因素影响比较大,As 和 Ni 与其他 6 种元素的相关性很弱似乎更加证实了这一点。

与山东省棕壤重金属自然背景值相比,栖霞市苹果产地土壤中 Hg、Cu、Cd、Zn、Ni 和 As 等 6 种元素均出现了累积现象,其中尤以 Hg、Cu、Cd 和 Zn 的累积最为显著。Hg 和 Cd 的积累推测与果品生产过程中施用含这两种元素的化肥、有机肥引起的残留有关,Cu、Zn 的积累很可能与含这两种元素的农药使用量较大有关^[3],如波尔多液、代森锌、福美锌等杀菌剂经常被果农用来防治苹果花腐病、早期落叶病、白粉病等病害。虽然目前土壤中的重金属含量还没有超出安全标准,但有些重金属的累积现象已比较明显,而重金属之间的相关性又比较显著,所以如果不能引起足够的重视,存在可能引起土壤复合污染的风险^[14]。建议进一步加强对肥料和农药使用种类、使用剂量、使用次数等的管理和限制,最大程度地降低环境风险。

4 结论

(1)栖霞市苹果产地土壤重金属 Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu、Zn 和 Ni 的平均含量均低于“食用农产品产地环境质量评价标准”(HJ 332—2006)规定的限值。结合重金属的单项质量指数与综合质量指数对栖霞市苹果产地土壤的环境质量进行评价,定为 1 级,土壤环境质量总体上属于清洁,适宜发展无公害苹果。

(2)部分乡镇的土壤样品出现了重金属含量超标的情况,根据“食用农产品产地环境质量评价标准”规定的限值,除 As 和 Pb 以外,其他元素均出现了超标情况,估计与城镇工业、生活排污、污灌等因素有关。结合主成分分析的结果,推测 As 和 Ni 的含量主要受成土母质的影响,而其他 6 种元素受人类活动等人为因素影响比较大。

(3)虽然栖霞市目前土壤中的重金属含量还没有超出安全标准,但有些重金属的累积现象已比较明显,而重金属之间的相关性又比较显著,所以如果不能引起足够的重视,存在可能引起土壤复合污染的风险。建议进一步加强对肥料和农药使用种类、使用剂量、使用次数等的管理和限制,最大程度地降低环境风险。

参考文献:

[1] 曾希柏,杨正礼. 中国农业环境质量状况与保护对策[J]. 应用生态学报, 2006, 16(1): 131-136.
ZENG Xi -bai, YANG Zheng -li. Agricultural environment quality of China and its improving countermeasures[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 16(1): 131-136.
[2] 邓振义,康克功. 陕西凤县无公害苹果产地环境质量评价[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(4): 138-142.
DENG Zhen-yi, KANG Ke-gong. Assessment of environment quality of

hazard-free apple in Fengxian[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(4): 138-142.
[3] 杨继松,孙丽娜,杨晓波,等. 沈阳市细河沿岸农田土壤重金属污染评价[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(5): 1933-1936.
YANG Ji-song, SUN Li-na, YANG Xiao-bo, et al. Evaluation of the heavy metal pollution in farmland of Xihe river outlet in Shenyang[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(5): 1933-1936.
[4] 马成玲,王火焰,周健民,等. 长江三角洲典型县级市农田土壤重金属污染状况调查与评价[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(3): 751-755.
MA Cheng-ling, WANG Huo-yan, ZHOU Jian-min, et al. Investigation and evaluation of the heavy metal pollution in farmland of a typical county in Yangtze river delta[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(3): 751-755.
[5] 中国环境科学出版社编. 食用农产品产地环境质量评价标准[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2007.
China Environmental Science Press. Farmland environmental quality evaluation standards for edible agricultural products[M]. Beijing:China Environmental Science Press, 2007.
[6] 山东省土壤元素背景值(A 层)表[N/OL]. 山东省人民政府网站. http://www.shandong.gov.cn/art/2005/12/23/art_6353_155817.html
Table of soil (A layer)elements background value of Shandong province [N/OL]. Net of the People's Government of Shandong Province. http://www.shandong.gov.cn/art/2005/12/23/art_6353_155817.html
[7] Facchinelli A, Sacchi E, Mallen L. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils[J]. *Environmental Pollution*, 2001, 114: 313-324.
[8] Mann S S, Rate A W, Gilkes R J. Cadmium accumulation in agricultural soils in Western Australia[J]. *Water Air and Soil Pollution*, 2002, 141: 281-297.
[9] Nicholson F A, Smith S R, Alloway B J, et al. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales[J]. *The Science of the Total Environment*, 2003, 311: 205-219.
[10] Wong S C, Li X D, Zhang G, et al. Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China [J]. *Environmental Pollution*, 2002, 119: 33-44.
[11] 王丽平,章明奎. 不同来源重金属污染土壤中重金属的释放行为[J]. 环境科学研究, 2007, 20(4): 134-138.
WANG Li-ping, ZHANG Ming-kui. Release behaviors of heavy metals from polluted soils with heavy metals from different sources[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2007, 20(4): 134-138.
[12] 刘 泓,熊德中,方惠云. 福州市郊蔬菜地土壤汞、铜污染综合评价[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(4): 147-149.
LIU Hong, XIONG De-zhong, FANG Hui-yun. Comprehensive evaluation of Cu and Hg pollution of soil in vegetable farms in suburb of Fuzhou[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005, 13(4): 147-149.
[13] 郑袁明,宋 波,陈同斌,等. 北京市菜地土壤和蔬菜中铜含量及其健康风险[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(5): 1093-1101.
ZHENG Yuan-ming, SONG Bo, CHEN Tong-bin, et al. A survey of copper concentrations in vegetables and soils in Beijing and their health risks[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(5): 1093-1101.
[14] 陈同斌,宋 波,郑袁明,等. 北京市菜地土壤和蔬菜镍含量及其健康风险[J]. 自然资源学报, 2006, 21(3): 349-361.
CHEN Tong-bin, SONG Bo, ZHENG Yuan-ming, et al. A survey of nickel concentrations in vegetables and vegetable soils of Beijing and their healthy risk[J]. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(3): 349-361.