

山东省露地蔬菜产地土壤重金属含量的环境质量分析与评价

刘 苹¹, 赵海军², 刘兆辉¹, 王艳芹¹, 杨 力¹, 于淑芳¹

(1.山东省农业科学院土壤肥料研究所, 济南 250100; 2.山东省农业科学院, 济南 250100)

摘 要:对山东省露地蔬菜产地的土壤进行了重金属 Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu、Zn 和 Ni 含量的抽样调查分析,并采用单项质量指数与综合质量指数相结合的方法对重金属的环境质量状况进行了评价。结果表明,莱阳露地蔬菜产地、金乡大蒜、章丘大葱产地土壤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,三地土壤重金属的单项质量指数均 ≤ 0.7 ,综合质量指数分别为 0.56、0.50 和 0.43,土壤环境质量均为 1 级,属于清洁水平,适宜发展无公害蔬菜。同时发现,部分地区有重金属含量超标现象,莱阳 Cu 的样本超标率为 13.64%,金乡 Cd、Cu 和 Hg 的样本超标率分别为 5.41%、5.41%和 2.70%,章丘 Ni 的超标率为 4.76%。重金属含量之间多呈正相关关系,其中 Cd 与 Zn、Cu 与 Zn、Pb 与 Cr 之间的相关性达到极显著水平($P < 0.01$),As 与 Ni、Ni 与 Zn、Zn 与 Pb、Pb 与 Cu、Cu 与 Cr 之间的相关性达到显著水平($P < 0.05$)。大部分监测点的重金属含量均高于山东农业土壤自然背景值,表明在监测点土壤中产生了重金属累积。对山东省其他露地蔬菜产区土壤的随机调查,没有发现重金属含量超标。

关键词:露地蔬菜; 土壤; 重金属; 环境质量

中图分类号:X825 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)06-1130-07

Analysis and Evaluation of Soil Heavy Metal Environmental Quality in Farmlands of Vegetables Cultivated in Open Field of Shandong Province, China

LIU Ping¹, ZHAO Hai-jun², LIU Zhao-hui¹, WANG Yan-qin¹, YANG Li¹, YU Shu-fang¹

(1. Soil and Fertilizer Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China; 2. Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

Abstract: Soil heavy metals contents, Cd, Hg, As, Pb, Cr, Cu, Zn and Ni, in farmlands of vegetables cultivated in open field of Shandong Province were investigated by randomly sampling. The environmental quality conditions of these heavy metals were evaluated by methods of single quality index and complex quality index. Results showed that the average contents of heavy metals in vegetable soils of Laiyang, garlic soils of Jinxiang and scallion soils of Zhangqiu were all under the limit values prescribed by “Farmland environmental quality evaluation standards for edible agricultural products (HJ 332—2006)”. The heavy metal contents varied greatly among different sites. The coefficients of variation (C.V.) of the studied eight heavy metals were among 10 % and 60% in Laiyang, among 20% and 120% in Jinxiang, and among 12% and 51% in Zhangqiu. The single quality indices of the eight elements in the studied three places were all lower than or equal to 0.7. The comprehensive quality index of the eight elements was 0.56 in Laiyang, 0.50 in Jinxiang, and 0.43 in Zhangqiu. The soil environmental quality in the studied three places were all set at the first class belonging to clean level and were fit for the plantation of no pollution vegetables. But the contents of heavy metals in some areas were beyond the limit values, and the beyond rate of Cu in Laiyang was 13.64 %, the beyond rate of Cd, Cu and Hg in Jinxiang was 5.41%, 5.41% and 2.70% respectively, the beyond rate of Ni in Zhangqiu was 4.76%. Most of the heavy metals were positively correlated in contents, and the correlation of Cd and Zn, Cu and Zn, Pb and Cr reached a very significant level ($P < 0.01$), while the correlation of As and Ni, Ni and Zn, Zn and Pb, Pb and Cu, Cu and Cr reached a significant level ($P < 0.05$). Contents of most of the tested heavy metals were higher than natural background value of agricultural soils in Shandong Province, which indicated that metals were accumulated in the studied soils. Compared with the natural background values, the soil Cu content in Laiyang increased

收稿日期:2009-12-11

基金项目:国家“十一五”科技支撑项目(2006BAD17B07);山东省农科院博士基金项目(2006YBS015)

作者简介:刘 苹(1978—),女,山东泰安人,博士,助理研究员,主要研究方向为农业生态学。E-mail:liuapple5326@sina.com

nearly 2 times, and the soil Hg content increased nearly 4 and 3 times in Jinxiang and Zhangqiu respectively. Investigation on other farmlands of vegetables cultivated in open field of Shandong Province showed that the soils were not contaminated by heavy metals.

Keywords: vegetables cultivated in open field; soil; heavy metal; environmental quality

随着工业和经济的迅速发展,越来越多的污染物被排放到环境中。无论在发展中国家还是在发达国家,农业土壤的重金属污染问题越来越普遍^[1-4]。人类活动如工业和能源生产、汽车尾气排放、废物排放、能源燃烧等都有可能是农业土壤重金属的来源,为了高产而使用的大量农用化学品也是农业土壤重金属的重要来源之一^[5-9]。由于作物和蔬菜可以从污染的土壤中吸收重金属,再通过食物链进入人体,因此农业土壤重金属污染直接威胁到人类的健康^[10-11]。菜地土壤重金属的污染问题近年来受到广泛关注。现有研究表明,我国部分蔬菜产地土壤受到了一定程度的重金属污染,尤其是城郊区域,重金属污染情况比较严重。刘泓等研究发现,福州市郊蔬菜地土壤 Hg 污染严重, Cu 有一定程度的污染^[12]。宋波、郑袁明等研究表明,北京市蔬菜基地的土壤 Cd、Cu 等积累明显^[13-14]。

山东是个农业大省,是我国重要的蔬菜生产基地之一。本研究对山东省露地蔬菜产地的土壤进行了重金属含量的抽样调查分析,并进行了重金属含量的环境质量评价,研究结果将有助于了解山东省露地蔬菜产地土壤重金属的环境质量现状,对于防止蔬菜重金属污染,保障人们的身体健康具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

山东地处我国东部,位于黄河中下游,太行山东,渤海黄海之滨。温带大陆性季风气候,年平均温 11.0~14.2℃,年降水量 584~905 mm,雨热同季,降水量 60%以上集中于夏季,无霜期 173~250 d,年日照时数 2 300~2 900 h。山东省的露地蔬菜种植比较广泛,较为典型的产区有莱阳、金乡、章丘等,莱阳的土壤类型以棕壤为主,种植的蔬菜种类主要有菠菜、油菜、茼蒿、豌豆、洋葱、卷心菜等。金乡的土壤类型大多为潮土,主要种植大蒜。章丘以褐土为主,主要种植大葱。

1.2 土壤样品的采集与分析测试方法

2007 年 6 月,主要对山东省露地蔬菜典型产区莱阳市、金乡县、章丘市的土壤进行了集中取样。莱阳的露地蔬菜主要集中在照旺庄镇、古柳镇、龙旺庄镇、沐浴店镇、谭格庄镇和大乔镇等 6 个乡镇,金乡县每个乡镇都有大蒜的种植,章丘大葱的主要种植乡镇为宁

家埠镇、枣园镇、绣惠镇、党家镇、龙山镇和相公镇等乡镇。根据各地区的面积及露地蔬菜的种植规模,确定各地区样品的数量。采样深度为 0~20 cm,采用棋盘式布点的方法在每个取样点随机采集 5 个土样,混合后作为该取样点的土壤样品,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 80 个,其中莱阳 22 个,金乡 37 个,章丘 21 个,3 个地区的采样及相关情况见表 1。此外,对山东省其他露地蔬菜产区的土壤进行了随机采样。

表 1 山东省露地蔬菜典型产区土壤采样及相关情况

Table 1 Soil sampling and related conditions of typical farmlands of vegetables cultivated in open field in Shandong Province

产地	土壤类型	样品数量	pH	主要蔬菜种类
莱阳	棕壤	22	6.43±0.23	菠菜、油菜、白菜、豌豆、洋葱、卷心菜
金乡	潮土	37	7.46±0.31	大蒜
章丘	褐土	21	7.29±0.35	大葱

土样自然风干后用玛瑙研钵研细过 100 目尼龙筛,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 重金属环境质量的评价方法及标准

本文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)中推荐的关于露地蔬菜产地的评价方法与相关标准进行评价^[15]。该评价标准依据污染指标的毒理学特性和蔬菜吸收、富集能力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,一般控制项目参与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 2,评价标准均严格于“农产品安全质量无公害蔬菜产地环境质量”(GB/T 18407.1—2001)的要求。

$$\begin{aligned} & \text{单项质量指数}=\text{单项实测值}/\text{单项标准值} \\ & \text{样本超标率}(\%)=(\text{超标样本总数}/\text{监测样本总数}) \\ & \times 100\% \\ & \text{各环境要素综合质量指数}(P_n)= \\ & \sqrt{\frac{(\text{平均单项质量指数})^2+(\text{最大单项质量指数})^2}{2}} \end{aligned}$$

对土壤环境质量等级划定的标准见表 3。为了更好的了解重金属在土壤中的累积情况,将研究结果与山东省农业土壤重金属的背景含量进行了比较^[6]。

2 结果与分析

2.1 莱阳露地蔬菜土壤重金属含量统计

莱阳露地蔬菜产地土壤重金属含量的统计结果见表 4。可以看出,莱阳露地蔬菜土壤中重金属 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”规定的限值,不同取样点土壤的重金属含量差别较大,变异系数介于 10%

表 3 食用农产品产地土壤环境质量等级划定

Table 3 Grading standards of soil environmental 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

至 60%之间,部分地区出现了 Cu 含量超标的情况,样本超标率为 13.64%。

与山东省农业土壤棕壤自然背景值相比,除 As 和 Cr 的含量略低于背景值以外,其他元素的含量均高于背景值,其中 Cu 的平均含量增加最多,增加了近 2 倍。以自然背景值为依据,8 种重金属均出现了超标的情况,Cu 和 Ni 的超标率达到 100%,Cd、Pb 和 Zn 的超标率在 70%以上。

2.2 金乡大蒜产地土壤重金属含量统计

金乡大蒜产地土壤中重金属含量的统计情况见表 5。金乡大蒜土壤中所测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

表 2 露地蔬菜产地土壤重金属含量评价标准(mg·kg⁻¹)

Table 2 Evaluated standards of soil heavy metal contents in farmlands of vegetables cultivated in open field(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	0.25	30	50	150	50	200	40
6.5<pH<7.5	0.30	0.30	25	50	200	100	250	50
pH>7.5	0.40	0.35	20	50	250	100	300	60
山东省农业土壤自然背景值标准								
棕壤	0.041	0.049	8.22	11.5	50.8	12.5	38.1	16.6
潮土	0.091	0.022	12.9	14.4	53.6	21.4	65.1	24.9
褐土	0.061	0.032	9.1	22.7	58.1	20.4	60.6	28.6

表 4 莱阳露地蔬菜产地土壤重金属含量统计(mg·kg⁻¹)

Table 4 Statistics on soil heavy metal contents in farmlands of vegetables cultivated in open field of Laiyang(mg·kg⁻¹)

元素	Cd	Hg	As	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni
平均含量	0.06	0.08	7.39	16.71	45.24	35.03	64.68	24.75
标准偏差	0.04	0.05	1.34	3.30	10.09	18.90	35.57	2.84
最小值	0.03	0.04	5.39	10.86	30.15	15.99	24.50	20.60
最大值	0.18	0.15	9.10	21.27	61.62	94.93	197.42	29.18
变异系数/%	59.46	57.30	18.10	19.74	22.31	53.95	54.99	11.48
限值 1 ¹⁾	0.30	0.25	30	50	150	50	200	40
限值 2 ²⁾	0.041	0.049	8.22	11.5	50.8	12.5	38.1	16.6
超标率 1/% ³⁾	0	0	0	0	0	13.64	0	0
超标率 2/% ⁴⁾	72.73	18.18	18.18	90.91	31.82	100	81.82	100

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

表 5 金乡大蒜产地土壤重金属含量统计($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 5 Statistics on heavy metal contents in garlic soils of Jinxiang($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

元素	Cd	Hg	As	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni
平均含量	0.12	0.10	12.73	14.75	37.78	29.65	82.26	29.89
标准偏差	0.08	0.11	3.37	3.33	11.96	34.83	16.97	6.08
最小值	0.05	0.03	10.21	8.97	7.27	1.20	54.10	19.87
最大值	0.48	0.34	18.66	20.33	74.98	159.78	136.99	44.41
变异系数/%	69.09	111.15	26.46	22.61	31.66	117.48	20.62	20.35
限值 1 ¹⁾	0.30	0.30	25	50	200	100	250	50
限值 2 ²⁾	0.091	0.022	12.9	14.4	53.6	21.4	65.1	24.9
超标率 1/% ³⁾	5.41	2.70	0	0	0	5.41	0	0
超标率 2/% ⁴⁾	56.76	100	27.03	45.95	8.11	35.14	86.49	78.38

注: 1)、3)以“食用农产品产地环境质量评价标准”为依据, 2)、4)以山东省农业土壤潮土自然背景值为依据。

同取样点土壤 Hg 和 Cu 的含量差别最大, 变异系数分别为 111.15%和 117.48%。部分地区出现了 Cd、Cu 和 Hg 含量超标的情况, 样本超标率分别为 5.41%、5.41%和 2.70%。

与山东省农业土壤潮土自然背景值相比,Cr 的含量略低于背景值,As 和 Pb 的含量与背景值基本持平,其他 5 种元素的含量均高于背景值,其中 Hg 的平均含量增加最多,增加了近 4 倍。以自然背景值为依据,8 种重金属均出现了超标的情况,Hg 的超标率达到 100%,Cd、Zn 和 Ni 的超标率在 50%以上。

2.3 章丘大葱产地土壤重金属含量统计

章丘大葱产地土壤中重金属含量的统计情况见表 6。土壤中所测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,不同取样点土壤重金属含量的变异系数介于 12%~51%之间,有 1 个样品 Ni 含量超标 0.5 倍,样本超标率为 4.76%。

与山东省农业土壤褐土自然背景值相比,Pb、Cr 和 Ni 的含量略低于背景值,其他 5 种元素的含量均

高于背景值,其中 Hg 的平均含量增加最多,增加了近 3 倍。以自然背景值为依据,8 种重金属除 Cr 外均出现了超标的情况,Hg 的超标率达到 100%,Cu 和 Zn 的超标率在 90%以上。

2.4 其他产区土壤重金属含量的随机调查结果

对山东省露地蔬菜其他产区的土壤进行了随机采样,在平度、莱西、滕州、安丘、莘县、鱼台等地共采集土壤样品 18 个,所采土样中 8 种重金属的含量均低于“食用农产品产地环境质量评价标准”规定的限值,没有发现超标的情况。

2.5 土壤重金属的环境质量评价

山东省 3 个主要露地蔬菜产地土壤环境质量的综合评价结果见图 1。土壤重金属严控指标 Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu 和一般控制指标 Zn、Ni 的单项质量指数均小于 0.7,其中 Ni 的质量指数最高,为 0.58,各元素的质量指数由高到低排列顺序为: Ni>Cu>As>Hg=Pb>Cd=Zn>Cr。结合各重金属的单项与综合质量指数(0.31)对山东省 3 个主要露地蔬菜产地的土壤环境质

表 6 章丘大葱产地土壤重金属含量统计($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 6 Statistics on heavy metal contents in scallion soils of Zhangqiu($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

元素	Cd	Hg	As	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni
平均含量	0.09	0.11	9.71	20.94	46.67	25.38	72.76	25.42
标准偏差	0.04	0.06	1.17	3.26	8.02	5.08	9.94	11.75
最小值	0.05	0.06	8.34	14.56	26.63	17.12	52.58	15.90
最大值	0.21	0.19	11.51	26.19	56.71	36.73	86.69	74.83
变异系数/%	44.30	50.67	12.01	15.56	17.18	20.00	13.66	46.22
限值 1 ¹⁾	0.30	0.30	25	50	200	100	250	50
限值 2 ²⁾	0.061	0.032	9.1	22.7	58.1	20.4	60.6	28.6
超标率 1/% ³⁾	0	0	0	0	0	0	0	4.76
超标率 2/% ⁴⁾	71.43	100	57.14	38.10	0	90.48	96.48	9.52

注: 1)、3)以“食用农产品产地环境质量评价标准”为依据, 2)、4)以山东省农业土壤褐土自然背景值为依据。

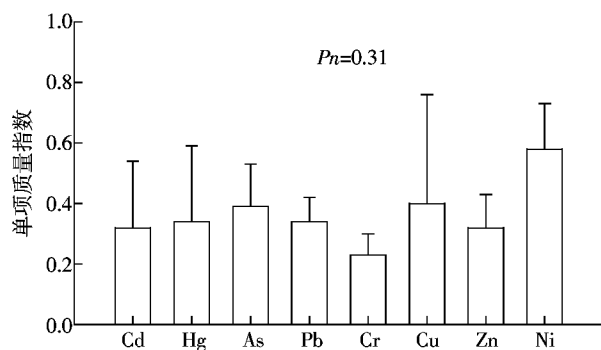


图1 莱阳、金乡、章丘露地蔬菜产地土壤重金属环境质量的综合评价

Figure 1 Comprehensive evaluation of soil heavy metal environmental quality in farmlands of vegetables cultivated in open field of Laiyang, Jinxiang and Zhangqiu

量进行综合评价,定为1级,土壤环境质量总体上属于清洁,适宜发展无公害蔬菜。

山东省3个主要露地蔬菜产区土壤环境质量的分区评价结果见图2。莱阳露地蔬菜产地土壤重金属

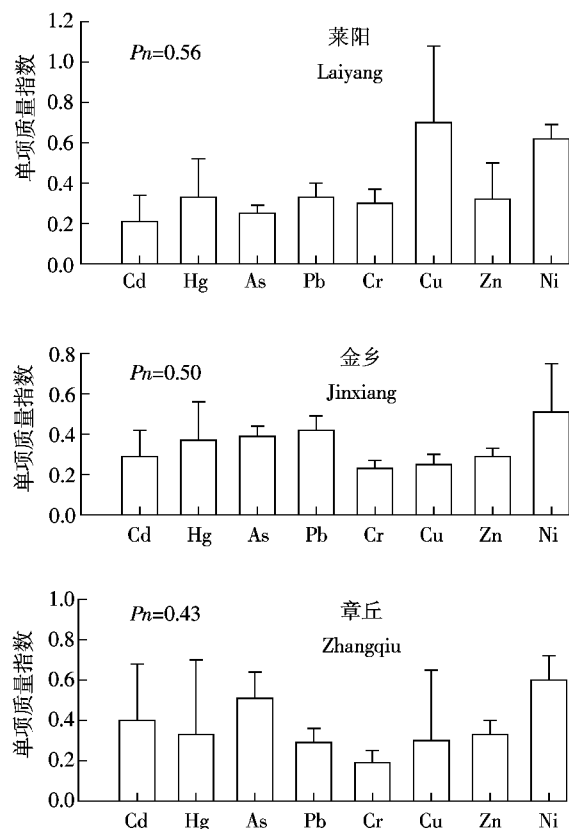


图2 莱阳、金乡、章丘露地蔬菜产地土壤重金属环境质量的分区评价

Figure 2 Individual evaluation of soil heavy metal environmental quality in farmlands of vegetables cultivated in open field of Laiyang, Jinxiang and Zhangqiu

的综合质量指数最高,为0.56,其次为金乡(0.50),章丘最低(0.43)。三地土壤重金属的单项质量指数均 ≤ 0.7 ,莱阳介于0.21~0.70之间,金乡介于0.19~0.60之间,章丘介于0.23~0.51之间。莱阳以Cu的单项质量指数最高,金乡和章丘均以Ni的单项质量指数为最高。三地重金属单项质量指数由高到低的排列顺序分别为:莱阳 $Cu > Ni > Hg = Pb > Zn > Cr > As > Cd$,金乡 $Ni > As > Cd > Hg = Zn > Cu > Pb > Cr$,章丘 $Ni > Pb > As > Hg > Cd = Zn > Cu > Cr$ 。莱阳、金乡、章丘三地土壤环境质量均为1级,总体清洁,适合种植无公害蔬菜。

2.6 土壤重金属含量的相关分析

为了探讨重金属之间的相互关系,对山东省3个主要露地蔬菜产地土壤重金属含量进行了相关分析,结果见表7。各重金属含量之间多呈正相关关系,其中Cd与Zn,Cu与Zn,Pb与Cr之间的相关性达到了极显著水平($P < 0.01$),As与Ni,Ni与Zn,Zn与Pb,Pb与Cu,Cu与Cr之间的相关性达到了显著水平($P < 0.05$)。

表7 莱阳、金乡、章丘露地蔬菜产地土壤重金属含量的相关分析

Table 7 Correlation analysis among soil heavy metal contents in farmlands of vegetables cultivated in open field of Laiyang, Jinxiang and Zhangqiu

相关系数	Cd	Hg	As	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni
Cd	1							
Hg	0.225	1						
As	0.312	0.436	1					
Pb	-0.043	-0.105	-0.221	1				
Cr	-0.038	-0.025	0.174	0.366**	1			
Cu	-0.013	-0.355	0.211	0.269*	0.277*	1		
Zn	0.330**	0.148	0.155	0.283*	0.200	0.358**	1	
Ni	0.193	0.174	0.458*	-0.121	0.148	-0.024	0.252*	1

注:* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。

3 讨论

山东省露地蔬菜部分产区出现了重金属含量超标的现象,莱阳以Cu超标为主,金乡有部分样品Cu、Cd和Hg超标,章丘有1个样品Ni超标。Cu、Cd、Hg和Ni的超标可能与农用化学品的大量使用有关,氮肥、某些杀虫剂、杀菌剂通常含有Cu和Hg元素,磷矿石Cd含量较高导致大量使用磷肥Cd污染的风险增大,畜禽粪便、有机肥中Cd、Cu、Ni等重金属含量较高^[17-18]。另外,工业和生活污水灌溉、污泥的使用、大气沉降等因素也可能是导致某些重金属含量超标的原因^[19-20],如在金乡靠近肥料厂和县城的乡镇,发现了

蒜地土壤 Cu、Cd 和 Hg 超标的现象。莱阳、金乡、章丘三地蔬菜土壤重金属含量水平以及超标情况不尽相同,可能与各地土壤类型、施肥习惯、污染源分布不同等因素有关。

笔者曾对山东寿光大棚蔬菜土壤重金属含量的环境质量状况进行调查分析^[21],发现保护地蔬菜土壤主要是 Cd 元素超标,本研究的结果表明露地蔬菜土壤重金属超标的主要元素为 Cu。露地与保护地蔬菜土壤污染重金属的差异可能与两者的施肥习惯、栽培方式等因素不同有关。据刘兆辉等的调查结果^[22],2004 年寿光蔬菜大棚土壤的施磷量为 $2\,022\text{ kg P}_2\text{O}_5\cdot\text{hm}^{-2}$,远远高于露地蔬菜的施磷量,推测是由于磷肥和有机肥 Cd 含量较高而导致大棚土壤 Cd 的累积。由于露地栽培蔬菜环境相对更为复杂,比保护地栽培更容易受到污水灌溉和大气沉降等因素的影响,可能导致进入到土壤中的 Cu 元素较多,在土壤中产生累积。

山东省露地蔬菜产地土壤重金属的平均含量虽低于“食用农产品产地环境质量评价标准”规定的限值,但是大多高于背景值,表明大部分监测重金属已在土壤中产生了累积。重金属之间在含量上存在直接或间接的相关关系,而且有的元素之间的相关性达到了显著或极显著水平,说明重金属元素之间存在一定的相互作用,其来源可能有共通之处。

4 结论

(1)山东省 3 个主要露地蔬菜生产基地莱阳、金乡、章丘土壤重金属 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”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三地菜地土壤的环境质量进行评价,均评定为 1 级,土壤环境质量总体上属于清洁,适宜发展无公害蔬菜。经随机调查,山东省其他露地蔬菜产区土壤重金属含量没有发现超标现象。

(2)山东省露地蔬菜产地土壤环境质量总体比较优良,但有部分产区出现了重金属含量超标的现象。莱阳以 Cu 超标为主,金乡有部分样品 Cu、Cd 和 Hg 超标,章丘有 1 个样品 Ni 超标。推测可能与农用化学品的大量使用有关,工业和生活污水灌溉、污泥的使用、大气沉降等因素也可能是导致某些重金属含量超标的原因。

(3)本研究结果初步表明,农业生产和人类活动已经影响到菜地土壤重金属的含量,建议采取降低农用化学品的使用量、减少污水灌溉、采用清洁生产工艺等措施,以降低菜地土壤重金属的含量,防止蔬菜污染。

参考文献:

- [1] Elsokkary I H, Amer M A, Shalaby E A. Assessment of inorganic lead species and total organo-alkyllead in some Egyptian agricultural soils[J]. *Environmental Pollution*, 1995, 87: 225–233.
- [2] Nicholson F A, Smith S R, Alloway, et al. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales[J]. *Science of Total Environment*, 2003, 311: 205–219.
- [3] Micó C, Recatalá L, Peris M, et al. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis[J]. *Chemosphere*, 2006, 65: 863–872.
- [4] Cheng J L, Shi Z, Zhu Y W. Assessment and mapping of environmental quality in agricultural soils of Zhejiang Province, China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, 19: 50–54.
- [5] Chen H M, Zheng C R, Tu C, et al. Heavy metal pollution in soils in China: Status and countermeasures[J]. *Ambio*, 1999, 28: 130–134.
- [6] Lucho-Constantino C A, Álvarez-Suárez M, Beltrán-Hernández R I, et al. A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater[J]. *Environment International*, 2005, 31: 313–323.
- [7] 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.
- [8] Gray C W, McLaren R G, Roberts A H C. Atmospheric accessions of heavy metals to some New Zealand pastoral soils[J]. *Science of Total Environment*, 2003, 305: 105–115.
- [9] Khan S, Cao Q, Zheng Y M, et al. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China[J]. *Environmental Pollution*, 2008, 152: 686–692.
- [10] 尹伟, 卢英, 甘海华, 等. 佛山市某工业区周边蔬菜地土壤重金属含量与评价[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3): 508–512.
YIN Wei, LU Ying, GAN Hai-hua, et al. Heavy metals concentrations and evaluation in soils around an industrial area in Foshan[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(3): 508–512.
- [11] 谢正苗, 李静, 徐建明, 等. 杭州市郊蔬菜基地土壤和蔬菜中 Pb、Zn 和 Cu 含量的环境质量评价[J]. 环境科学, 2006, 27(4): 742–747.
XIE Zheng-miao, LI Jing, XU Jian-ming, et al. Evaluation on environmental quality of Pb, Zn and Cu contents in vegetable plantation soils and vegetables in Hangzhou suburb[J]. *Environmental Science*, 2006, 27(4): 742–747.
- [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] 宋波, 陈同斌, 郑袁明, 等. 北京市菜地土壤和蔬菜镉含量及其健康风险分析[J]. 环境科学学报, 2006, 26(8): 1343–1353.
SONG Bo, CHEN Tong-bin, ZHENG Yuan-ming, et al. A survey of cadmium concentrations in vegetables and soils in Beijing and the potential risks to human health[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2006,

- 26(8):1343-1353.
- [14] 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 risk[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(5):1093-1101.
- [15] 中国环境科学出版社. 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.
- [16] 山东省农业土壤背景值表[EB/OL]. 山东省情网. <http://sd.infobase.gov.cn/bin/mse.exe?seachword=&K=a&A=45&rec=41&run=13>
Table of background values of Shandong agricultural soils[EB/OL]. Net of Shandong information base. <http://sd.infobase.gov.cn/bin/mse.exe?seachword=&K=a&A=45&rec=41&run=13>
- [17] 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.
- [18] 张树清, 张夫道, 刘秀梅, 等. 规模化养殖畜禽粪主要有害成分测定分析研究[J]. 植物营养与肥科学报, 2005, 11(6):822-829.
ZHANG Shu-qing, ZHANG Fu-dao, LIU Xiu-mei, et al. Determination and analysis on main harmful composition in excrement of scale livestock and poultry feedlots[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(6):822-829.
- [19] 金 燕, 李艳霞, 陈同斌, 等. 污泥及其复合肥对蔬菜产量及重金属积累的影响[J]. 植物营养与肥科学报, 2002, 8(3):288-291.
JIN Yan, LI Yan-xia, CHEN Tong-bin, et al. Effects of sewage sludge compost and compound fertilizers on vegetable yield and heavy metal accumulation[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, 8(3):288-291.
- [20] 刘 苹, 于淑芳, 杨 力, 等. 栖霞市苹果产地土壤环境质量评价[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(6):2274-2278.
LIU Ping, YU Shu-fang, YANG Li, et al. Evaluation of environmental quality of soils in apple farmland of Qixia[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(6):2274-2278.
- [21] 刘 苹, 杨 力, 于淑芳, 等. 寿光市蔬菜大棚土壤重金属含量的环境质量评价[J]. 环境科学研究, 2008, 21(5):66-71.
LIU Ping, YANG Li, YU Shu-fang, et al. Evaluation on environmental quality of heavy metal contents in soils of vegetable greenhouses in Shouguang city[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2008, 21(5):66-71.
- [22] 刘兆辉, 江丽华, 张文君, 等. 山东省设施蔬菜施肥量演变及土壤养分变化规律[J]. 土壤学报, 2008, 45(2):296-303.
LIU Zhao-hui, JIANG Li-hua, ZHANG Wen-jun, et al. Evolution of fertilization rate and variation of soil nutrient contents in greenhouse vegetable cultivation in Shandong[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(2):296-303.