

郑州农区土壤重金属污染与蔬菜质量相关性探析*

赵勇 李红娟 孙治强

(河南农业大学环境系 郑州 450002)

摘要 以单因子污染指数和综合污染指数为评价方法,对郑州市郊区3种不同灌溉方式农田土壤进行重金属(Hg、Cr、Cd、Pb、As、Cu、Zn)污染监测和蔬菜质量调查。结果发现,郑州市郊区的土壤均未超过GB15618—1995《土壤环境质量标准》二级标准限值;部分蔬菜已受到重金属的污染,含量超过国家食品卫生蔬菜类标准;土壤中的Zn、Cu、Cd、Cr污染与多数蔬菜的污染呈显著的正相关,而Pb、Hg污染在多数蔬菜中均表现为与土壤污染无相关性。

关键词 土壤污染 蔬菜质量 单因子污染指数 综合污染指数 相关性

Correlation between the heavy metal pollution in soil and quality of vegetable in farming district of Zhengzhou. ZHAO Yong, LI Hong Juan, SUN Zhi-Qiang (Department of Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China), *CJEA*, 2006, 14(4):126~130

Abstract The single-factor pollution index and the comprehensive pollution index were adopted to investigate the heavy metals(Hg, Cr, Cd, Pb, As, Cu, Zn) pollution of 3 different irrigated soils and quality of vegetables growing in them in Zhengzhou suburb. The results show that the soil environment in Zhengzhou suburb is qualified for the second level criterion of "Standard of Soil Environment" (GB15618—1995). But some vegetables have been polluted seriously by heavy metals according to the national vegetable food criterion. The pollution of Zn, Cr, Cu, Cd in soil shows a significantly positive correlation with the pollution of most vegetables. And Pb, Hg pollution has not presented a correlation between the pollution of most vegetables and soil contamination.

Key words Soil pollution, Vegetables quality, Single factor pollution index, Comprehensive pollution index, Correlation (Received Feb. 25, 2005; revised April 3, 2005)

生物对污染物的富集作用是影响食品安全的关键问题,而多数植物具有富集重金属的特点,且能以对污染物富集数十倍甚至数百倍的能力聚集到植物体内^[1],不仅会影响植物的品质和产量,而且还会通过食物链直接或间接地进入人体,危害人体健康。研究表明,不同植物种类对同种污染物的富集能力不相同,同种植物对不同污染物的富集能力也有差异^[2]。因此,研究并探讨植物对污染物的富集特点与规律,对无公害作物的栽培和生产安全的绿色食品具有重要的作用。本研究以郑州市农区广泛栽培的7种蔬菜为研究对象,选择7种重金属为研究指标,通过对土壤污染和蔬菜污染监测,探讨污染状况和两者间的联系,为无公害蔬菜基地的发展规划提供科学依据。

1 研究地概况与研究方法

研究地选择在郑州市郊区,该区属黄河流域,地势平坦,土壤多为潮土。区域气候温和,四季分明,年平均气温为14.3℃,极端最高气温39.0℃,年均降水量为636mm,降雨集中在7~9月,占年降雨量的60%以上。郑州市境内有大小河流124条,分属黄、淮两大流域,大多干枯无水,淡水资源占有量约为287m³/hm²,属贫水区。郑州市郊区的农业用水主要有3个来源:一是黄河水,灌溉区主要集中在靠近黄河的北郊;二是地下水,灌溉区主要分布在无地表水的东郊和西郊;三是城市污水^[3],灌溉区一般集中在城市排污河、渠两侧。采样点选择在市郊不同灌溉方式的典型农田。共设置4个土壤、蔬菜监测点,分别为东郊张花庄井灌区、南郊东周庄污灌区、西郊五龙口井灌区和北郊老鸭陈黄灌区。在样区内根据地形、自然环境因素采用梅花形取样。土壤和蔬菜的监测因子均为Hg、Cr、Cd、Pb、As、Cu、Zn 7种重金属。选择郑州市常见黄瓜、豆角、西红柿、辣椒、茄子、萝卜、白菜等蔬菜进行分析。

* 河南省重大科技攻关项目(0322010900)和河南省科技攻关项目(04240900)资助

收稿日期:2005-02-25 改回日期:2005-04-03

分析方法采用国家标准分析方法^[4]。土壤评价标准采用 GB5618—1995《土壤环境质量标准》中二级标准(pH:6.5~7.5),标准限值为 Cd 0.30mg/kg, Pb 300mg/kg, Zn 250mg/kg, Cu 100mg/kg, As 25 mg/kg, Hg 0.5mg/kg, Cr 200mg/kg。蔬菜评价标准采用国家食品卫生标准中蔬菜类标准,标准限值见表 1。采用单因子污染指数和综合污染指数进行土壤蔬菜污染评价。单因子污染指数计算公式为:

表 1 国家食品卫生蔬菜类标准限值

Tab.1 National food sanitary standard limit value of vegetable

项目 Items	Cd	Pb	Zn	Cu	As	Hg	Cr
标准限值/mg·kg ⁻¹	0.05	0.2	20	10	0.5	0.01	0.5
标准号	GB15201—1994	GB14935—1994	GB13106—1991	GB15199—1994	GB4810—1994	GB2762—1994	GB14961—1994

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

式中, P_i 为污染物的污染指数, C_i 为污染物的测定值(mg/kg), S_i 为污染物的评价标准(mg/kg)。综合污染指数公式为:

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{(C_i/S_i)_{\text{max}}^2 + (C_i/S_i)_{\text{ave}}^2}{2}} \quad (2)$$

式中, $(C_i/S_i)_{\text{max}}$ 为污染物中污染指数最大值, $(C_i/S_i)_{\text{ave}}$ 为各污染指数平均值。根据上式求出的综合污染指数,并根据世界卫生组织及联合国粮农组织制定的限制量把蔬菜污染划分为 4 级,见表 2。

表 2 综合评价分级标准

Tab.2 Comprehensive appraisalment grades standard

等级划分 Grade	$P_{\text{综}}$ Comprehensive pollution index	污染等级 Pollution grade	污染水平 Pollution level
1	$P_{\text{综}} \leq 0.85$	非污染	清洁
2	$0.85 < P_{\text{综}} \leq 1.71$	轻污染	土壤轻污染,蔬菜已受污染
3	$1.71 < P_{\text{综}} \leq 2.56$	中度污染	土壤、蔬菜均受污染,某些污染物含量已超标
4	$P_{\text{综}} > 2.56$	重度污染	土壤、蔬菜受污染已相当严重

庄 Hg 检测结果最高,东周 Zn 检测结果最高,老鸦陈 Cr 检测结果最高。各测点综合污染指数均 < 0.5 (表 3),综合评价污染等级为“非污染”,可以看出郑州土壤环境质量总体较好,目前未出现污染现象。南郊的东周综合污染指数最大,主要因为南郊为污灌区,使用城市污水灌溉对增加土壤中重金属污染有较大影响,这也证明了污灌对土壤的污染明显比井灌和黄灌大^[5]。张花庄其他因子监测值均较低,仅由于单项 Hg 超标严重而造成综合污染指数较大,其 Hg 污染来源的主要原因可能与附近工业污染源和农用化学品的使用有关^[6]。按综合污染指数由大到小排序为:东周 = 张花庄 $>$ 五龙口 $>$ 老鸦陈。

2.2 蔬菜污染监测结果与分析

7 种蔬菜中的 7 种重金属污染指数见表 4。可以看出,不同蔬菜种类和重金属的污染指数差异明显^[7]。就重金属种类而言,蔬菜中 Hg 污染相对较重, Cd、As 污染较轻;而就蔬菜种类而言,黄瓜、萝卜、辣椒污染指数较大,茄子、西红柿污染相对较轻。

2.3 典型采样点重金属污染特征分析

北郊老鸦陈蔬菜品种多、产量大,是郑州市主要的蔬菜生产基地。因此,本研究选择老鸦陈为主要对象,重点分析其重金属污染特征,该监测点检测结果和污染指数见表 5。由表 5 可知,监测的老鸦陈测点 7 种蔬菜中,黄瓜、豆角、辣椒的 Hg 超标,茄子平标准;Hg 单项超标率为 50%,最大超标倍数为 0.6 倍;各种蔬菜其他几项污染因子的监测结果均未超标, Cd、Pb、As 均未检出。采用综合污染指数分析的方法对上述蔬

2 结果与分析

2.1 土壤污染监测结果与分析

4 个监测点土壤中 7 种重金属污染指数见表 3。各监测因子实测值与国家《土壤环境质量标准》比较均未超过 GB15618—1995《土壤环境质量标准》二级标准限值。测点中五龙口 Cu、Cd 检测结果最高,张花

表 3 各监测点土壤重金属污染情况

Tab.3 Heavy metals pollution situation in different soils

地点 Sites	单因子污染指数(P_i) Single-factor pollution index							$P_{\text{综}}$ Comprehensive pollution index
	Cd	Pb	Zn	Cu	As	Hg	Cr	
	老鸦陈	0.13	0.02	0.13	0.15	0.12	0.04	
五龙口	0.32	0.03	0.17	0.20	0.14	0.09	0.10	0.28
张花庄	0.24	0.02	0.3	0.18	0.13	0.28	0.10	0.36
东周	0.17	0.03	0.4	0.12	0.14	0.04	0.08	0.36

表4 7种蔬菜重金属污染情况

Tab.4 Average pollution situation of 7 vegetable

品种 Vegetable	地点 Sites	单因子污染指数(P_i) Single-factor pollution index						$P_{\text{综}}$ Comprehensive pollution index	
		Cd	Pb	Zn	Cu	As	Hg	Cr	
豆角	五龙口	0.06	0.15	0.25	0.12	0.06	0.4	0.24	0.31
	张花庄	0.06	0.15	0.05	0.11	0.06	0.4	0.08	0.30
	东周庄	0.06	0.15	0.32	0.01	0.06	0.4	0.33	0.31
	老鸦陈	0.06	0.15	0.38	0.15	0.06	1.3	0.69	0.96
	平均	0.060	0.150	0.250	0.098	0.060	0.625	0.335	0.470
茄子	五龙口	0.18	0.38	0.13	0.06	0.06	0.4	0.46	0.37
	张花庄	0.06	0.15	0.14	0.07	0.06	0.4	0.08	0.30
	东周庄	0.06	0.15	0.41	0.01	0.06	0.4	0.60	0.45
	老鸦陈	0.06	0.15	0.19	0.06	0.06	1.0	0.50	0.74
	平均	0.090	0.208	0.218	0.050	0.060	0.550	0.410	0.465
西红柿	五龙口	0.28	0.20	0.17	0.08	0.06	0.4	0.38	0.32
	张花庄	0.06	0.15	0.08	0.10	0.06	0.4	0.10	0.30
	东周庄	0.06	0.15	0.33	0.01	0.06	0.4	0.46	0.36
	老鸦陈	0.06	0.06	0.30	0.01	0.06	0.4	0.47	0.34
	平均	0.115	0.14	0.22	0.50	0.06	0.4	0.353	0.33
辣椒	五龙口	0.34	0.20	0.13	0.10	0.06	0.4	0.50	0.39
	张花庄	0.06	0.15	0.25	0.01	0.06	0.4	0.52	0.40
	东周庄	0.06	0.15	0.05	0.12	0.06	1.2	0.59	0.88
	老鸦陈	0.06	0.15	0.06	0.01	0.06	0.40	0.56	0.48
	平均	0.144	0.160	0.163	0.070	0.060	0.600	0.491	0.500
黄瓜	五龙口	0.12	0.20	0.14	0.08	0.06	0.4	0.26	0.31
	张花庄	0.06	0.15	0.23	0.11	0.06	0.4	0.06	0.30
	东周庄	0.06	0.15	0.42	0.01	0.06	0.4	0.52	0.40
	老鸦陈	0.06	0.15	0.27	0.08	0.06	1.6	0.50	1.16
	平均	0.075	0.163	0.265	0.070	0.060	0.700	0.335	0.543
白菜	五龙口	0.18	0.20	0.25	0.14	0.06	0.4	0.78	0.58
	张花庄	0.06	0.15	0.21	0.13	0.06	0.4	0.60	0.45
	东周庄	0.06	0.15	0.10	0.05	0.06	0.4	0.04	0.30
	老鸦陈	0.06	0.15	0.12	0.06	0.06	0.4	0.76	0.57
	平均	0.090	0.163	0.170	0.095	0.060	0.400	0.545	0.475
萝卜	五龙口	0.24	0.20	0.18	0.13	0.06	0.4	0.70	0.54
	张花庄	0.06	0.15	0.15	0.11	0.06	0.4	0.60	0.45
	东周庄	0.06	0.15	0.11	0.03	0.06	0.7	0.04	0.51
	老鸦陈	0.06	0.15	0.30	0.10	0.06	0.8	0.76	0.60
	平均	0.105	0.163	0.185	0.093	0.060	0.575	0.525	0.525

表5 蔬菜监测及评价结果统计表

Tab.5 The appraisalment results of vegetable inspection

污染因子 Polluting factor	项目 Items	黄瓜 Cucumber	豆角 Legume	茄子 Eggplant	辣椒 Capsicum	白菜 Cabbage	西红柿 Tomato	萝卜 Radish
Cd	监测结果/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
	污染指数(P_i)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Pb	监测结果/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
	污染指数(P_i)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Zn	监测结果/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	5.34	7.67	3.76	0.94	2.32	5.78	5.98
	污染指数(P_i)	0.27	0.38	0.19	0.05	0.12	0.30	0.30
Cu	监测结果/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.76	1.48	0.59	1.20	0.63	未检出	1.00
	污染指数(P_i)	0.08	0.15	0.06	0.12	0.06	0.01	0.10
As	监测结果/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
	污染指数(P_i)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Hg	监测结果/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.016	0.013	0.010	0.012	0.004	未检出	0.008
	污染指数(P_i)	1.60	1.30	1.00	1.20	0.40	0.40	0.80
Cr	监测结果/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.254	0.347	0.285	0.296	0.383	0.24	0.383
	污染指数(P_i)	0.51	0.69	0.57	0.59	0.77	0.47	0.76
	综合污染指数($P_{\text{综}}$)	1.10	0.87	0.68	0.82	0.52	0.30	0.52
	污染等级	轻污染	轻污染	非污染	轻污染	非污染	非污染	非污染

菜进行比较可知,茄子、辣椒、白菜、西红柿、萝卜综合污染指数 <0.85 ,综合评价污染等级为“非污染”;黄瓜、豆角综合污染指数 >0.85 且 <1.71 ,污染等级为“轻污染”。各种蔬菜按综合污染指数排序,污染程

度由大到小依次是:黄瓜>豆角>辣椒>茄子>萝卜=白菜>西红柿。

2.4 土壤重金属污染与蔬菜污染相关性分析

探讨土壤重金属污染与蔬菜重金属污染的关系,对预测和揭示与人类健康有关的食物安全问题十分重要。本研究根据土壤和蔬菜污染监测数据,以土壤重金属污染指数和蔬菜污染指数为基础,采用回归分析的方法,建立了土壤重金属污染(x)与蔬菜重金属污染(y)的相关性数学模型,结果见表 6。由表 6 可知,各种蔬菜的 Zn、Cu 含量均与土壤中的 Zn、Cu 含量成显著的相关关系,重金属 Cr 在各种蔬菜(除西红柿外)中则表现为与土壤污染呈显著相关,Cd 也表现出相同的趋势。而重金属 Pb、Hg,除萝卜中的 Hg 与土壤中的 Hg 呈显著的相关外,其他蔬菜均不相关。因此,就本研究而言,土壤中的 Zn、Cu、Cd、Cr 含量与蔬菜中的该金属的含量多数呈显著的正相关;而 Pb、Hg 在多数蔬菜中表现为不相关。相关曲线特性分析。为简便起见,选择有代表性的重金属 Zn、Cu 和代表性蔬菜豆角绘制了采样点土壤污染与蔬菜污染的相关曲线图(图 1)。从土壤污染与蔬菜污染相关性曲线可以看出,蔬菜污染随土壤污染的增加先增加、后降低、然后再升高。除污染不相关的重金属和蔬菜品种外,多数重金属和蔬菜品种也表现

表 6 土壤污染与蔬菜污染的关系*

Tab.6 The relation between the vegetable pollution and soil contamination

蔬菜 Vegetables	金属种类 Heavy metals	拟合公式 Quato	R^2	相关性 Correlation
豆角	Cd	—	—	—
	Pb	—	—	—
	Zn	$y=16.667x^2-9.1215x+1.2979$	0.9874	极相关
	Cu	$y=-48.885x^2+16.736x-1.2863$	0.8207	显著相关
	Hg	$y=37.5x^2-13.875x+1.345$	0.3333	不相关
茄子	Cr	$y=523.33x^2-102.7x+5.1967$	0.936	极相关
	Cd	$y=7.0672x^2-2.5943x+0.2842$	0.9742	极相关
	Pb	$y=0.0592e^{46.477x}$	0.3333	不相关
	Zn	$y=10.956x^2-5.0088x+0.6595$	0.999	极相关
	Cu	$y=-20.144x^2+7.0597x-0.5468$	0.9985	极相关
西红柿	Hg	—	—	—
	Cr	$y=400x^2-72x+3.6$	1	极相关
	Cd	$y=12.956x^2-4.7562x+0.471$	0.9742	极相关
	Pb	$y=0.1726\ln(x)+0.7804$	0.4804	不相关
	Zn	$y=14.125x^2-7.366x+1.017$	0.9996	极相关
辣椒	Cu	$y=0.0002e^{32.183x}$	0.7888	相关性一般
	Hg	—	—	—
	Cr	$y=373.33x^2-78.2x+4.3267$	0.5638	不相关
	Cd	$y=16.49x^2-6.0533x+0.583$	0.9742	极相关
	Pb	$y=0.6009x^{0.3548}$	0.3333	不相关
黄瓜	Zn	$y=-11.056x^2+5.8846x-0.5311$	0.973	极相关
	Cu	$y=71.916x^2-23.323x+1.8849$	0.9913	极相关
	Hg	$y=33.333x^2-12.333x+12.4$	0.3333	不相关
	Cr	$y=113.33x^2-24.4x+1.8167$	0.959	极相关
	Cd	$y=3.5336x^2-1.2971x+0.1721$	0.9742	极相关
白菜	Pb	$y=0.1125e^{14.384x}$	0.3333	不相关
	Zn	$y=9.0307x^2-4.0891x+0.6195$	0.912	极相关
	Cu	$y=71.916x^2-23.323x+1.8849$	0.9913	极相关
	Hg	$y=0.2188x-0.3755$	0.2489	不相关
	Cr	$y=586.67x^2-123.6x+6.6533$	0.8598	显著相关
萝卜	Cd	$y=7.0672x^2-2.5943x+0.2842$	0.9742	极相关
	Pb	$y=0.1125e^{14.384x}$	0.3333	不相关
	Zn	$y=-7.1285x^2+3.5661x-0.1944$	0.778	相关性一般
	Cu	$y=71.916x^2-23.323x+1.8849$	0.9913	极相关
	Hg	—	—	—
萝卜	Cr	$y=-603.33x^2+141.1x-7.3867$	0.9549	极相关
	Cd	$y=10.601x^2-3.8914x+0.3962$	0.9742	极相关
	Pb	$y=0.1125e^{14.384x}$	0.3333	不相关
	Zn	$y=2.8515x^2-2.0806x+0.4943$	0.8387	显著相关
	Cu	$y=-15.879x^2+6.2349x-0.4868$	0.9592	极相关
萝卜	Hg	$y=29.167x^2-10.792x+1.135$	0.9608	极相关
	Cr	$y=-536.67x^2+127.1x-6.6933$	0.9847	极相关

* 由于 As 在各种蔬菜中均未检出,所以没有参与分析。

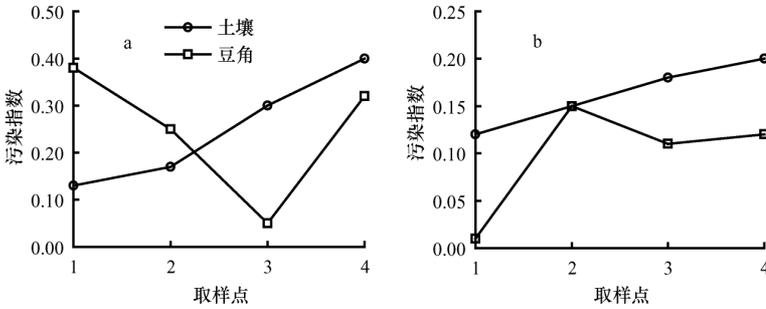


图 1 土壤与蔬菜中重金属 Zn(a)、Cu(b)污染相关曲线

Fig. 1 Correlation curve of heavy metals Zn(a), Cu (b) in soil and vegetable

污染与多数蔬菜的污染呈显著的正相关,而 Pb、Hg 在多数蔬菜中均与土壤污染不相关;多数蔬菜重金属污染一般随土壤污染的加重而表现为先高、后低、再升高的关系。

出这种相关趋势。

3 小结

郑州市郊区土壤中的 7 项污染监测因子,均未超过 GB15618—1995《土壤环境质量标准》二级标准限值;部分蔬菜已受到重金属污染;蔬菜中 Hg 污染相对较重,Pb、As 污染较轻;黄瓜、萝卜、辣椒污染指数相对较大,茄子、西红柿污染相对较轻;土壤中的 Zn、Cu、Cd、Cr

参 考 文 献

- 1 童 健. 重金属对土壤的污染不容忽视. 环境科学,1989,10(3):37~38
- 2 李红娟,赵 勇. 土壤污染生物修复进展. 中国科学学报,2004,4(1):68~71
- 3 李森照,罗金发. 中国污水灌溉与环境质量控制. 北京:气象出版社,1995
- 4 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法. 北京:中国环境科学出版社,1989.118~215
- 5 张祖锡,白 瑛. 改良城市污水农灌的作物与土壤效应. 农业环境保护,1988,7(2):23~24
- 6 罗厚枚,王 宏. 土壤重金属复合污染对作物的影响. 环境化学,1994,13(5):427~432
- 7 王 新,吴燕玉. 不同作物对重金属复合污染物吸收特性的研究. 农业环境保护,1998,17(5):193~196
- 8 孔令韶. 植物对重金属元素的吸收积累及忍耐、变异. 环境科学,1983,4(1):65~68
- 9 桑伟莲,孔繁翔. 植物修复研究进展. 环境科学进展,1999,7(3):40~44

欢迎订阅 2007 年《南方园林花卉》

《南方园林花卉》为重庆市农业科学院主办,由原《西南园艺》杂志(CN 50-1114/S,ISSN 1008-1488)向花卉专业方向分离、升级而来。栏目设置有试验研究、园林设计、专题论述、基地建设、栽培养护、品花论花、居家园艺、小小花经。彩色印刷,大 16 开本。双月刊,每期定价 10 元,全年 60 元。邮发代号 78-120,全国各地邮政局(所)均可订阅。漏订者可直接汇款至编辑部补订,地址:(400020)重庆市江北区华新街 345 号《南方园林花卉》编辑部;电话:023-67722381;E-mail:nfyllh@163.com,nfyllh@yahoo.com.cn。