

汕头韩江三角洲南部蔬菜重金属污染及因素分析

马 瑾^{1,2}, 周永章^{1,2}, 窦 磊^{1,2}, 张澄博^{1,2}, 付善明^{1,2}, 蔡立梅^{1,2}

(1. 中山大学地球环境与地球资源研究中心, 广东 广州 510275; 2. 中山大学地球科学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 通过产地采样并用国颁标准方法对经济发达的韩江三角洲南部地区 46 个蔬菜样品中 6 种重金属元素进行了分析测试, 并对照当地土壤重金属污染情况进行了污染成因分析研究。结果表明, 研究区蔬菜中 Pb、Cd、Ni 3 种元素含量 100% 超标, Cr 元素含量也有 95.7% 超标。As 和 Zn 两元素未超标。同时, 蔬菜重金属污染与养地土壤重金属污染存在一定联系, 不同蔬菜对重金属富集能力存在显著差异。应用因子分析和聚类分析, 可将研究区 6 种重金属元素归因 3 个主因子, 分别对应大气污染、土壤环境污染和工业废水污染 3 种来源。

关键词: 重金属污染; 蔬菜; 韩江三角洲

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 1672-2043(2008)01-0071-07

Investigation of Heavy Metals Pollution in Vegetables and Influencing Factors in South Hanjiang Delta, Shantou

MA Jin^{1,2}, ZHOU Yong-zhang^{1,2}, DOU Lei^{1,2}, ZHANG Cheng-bo^{1,2}, FU Shan-ming^{1,2}, CAI Li-mei^{1,2}

(1. Center for Earth Environment & Resources, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China; 2. Department of Earth science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The vegetable quality is important to human health. In order to assess heavy metals pollution in vegetables, the investigation on heavy metals in vegetables was carried out in Shantou city. The results showed that 6 heavy metals were detected in 46 vegetable samples, and the contents of the heavy metals in all of vegetable samples were higher than the national standard for Pb, Cd and Ni in GB 18406.1 of PRC, respectively. The contents of heavy metals in vegetables were affected greatly by human activities, and varied greatly with different vegetable types in Shantou city. Factor analysis and cluster analysis indicated that 6 heavy metals could be reduced to 3 main factors, and they were respectively air pollution, soil pollution and industrial waste water. Lead, cadmium, chromium and nickel were the most serious pollution heavy metals in Shantou city.

Keywords: heavy metals pollution; vegetables; Hanjiang delta

蔬菜是人类重要的食物来源, 其品质直接关系到人体的健康。近年来, 对蔬菜重金属污染已有很多研究^[1-4]。韩江三角洲南部地区行政上主要隶属于汕头市, 后者是我国最早确立的经济特区之一, 经济、社会快速发展, 但该区域的蔬菜重金属污染状况一直不清楚。为此, 本文对作为韩江三角洲南部主体的汕头市域内 12 种蔬菜样品进行分析, 以期对当地人群健康

及相关部门控制污染和制订决策提供科学依据。

1 研究区概况

韩江三角洲位于广东省东部, 汕头市位于东经 116°14' 至 117°19', 北纬 23°02' 至 23°38' 之间, 全市总面积 2 064 km², 总人口为 487.5 万人。汕头地貌以三角洲冲积平原为主, 占全市面积 63.62%, 丘陵山地次之, 占土地面积 30.40%, 台地等占总面积 5.98%。作为经济特区, 汕头市区工业发达。

2 材料与方法

2.1 布点原则

根据汕头市工业布局、“三废”排放状况、灌溉水

收稿日期: 2007-01-05

基金项目: 国土资源部农业地质与生态地球化学调查项目(基[2005]011-16); 广东省自然科学基金研究团队项目(06202438); 广东省科技厅重大专项攻关项目(2005A30402006, 2004A3030800)

作者简介: 马 瑾(1978—), 男, 博士研究生, 从事环境地球化学与环境质量研究。E-mail: mj3140@163.com

类型、土壤类型、农业生产布局来确定采样点,并根据当地人群蔬菜消费习惯确定了典型的蔬菜样品,根据技术力量与财力条件,重点布设在具有典型性的地方,共采集蔬菜样品 46 个,土壤样品 115 个。

2.2 采样方法

植株样品在蔬菜收获盛期采集。蔬菜采集可食用部分,采用棋盘法采取 5 个以上样点的蔬菜植株样品,每个样品采集 1 kg。鲜样采集后即刻装入塑胶袋中密封并冷藏。土样采取 0~20 cm 表层土壤,采用多点取样混合成一个代表样的办法,每个代表样最终取样 1 kg。每个样品在采集过程中,都采用了全球定位系统(GPS)定位。

2.3 分析方法

2.3.1 菜样

将采集的植株样品用自来水反复冲洗数次,再用去离子水进行清洗,风干,用不锈钢刀片切碎,烘干,粉碎备用。

分析测试项目包括:As、Pb、Zn、Cd、Cr 和 Ni 6 种重金属元素。

As 的测定采用 GB/T50009.11-96 规定的方法,样品经硝酸、高氯酸消化后,用碘酸钾、氯化亚锡将高价 As 还原为低价 As,然后与锌粉和酸产生的新生态氢生成砷化氢,经过银盐溶液吸收后产生红色胶态物,与标准系列比较定量。

Pb、Zn、Cd 的测定采用 GB/T50009.12-96、GB/T50009.14-96、GB/T50009.15-96 规定的方法,样品经干灰化处理后,导入原子吸收分光光度计进行测定。

Cr、Ni 的测定分别采用 GB/T14962-1994 和 GB/T16343-1996 规定的方法,样品经消解后定容,吸取适量于石墨炉原子化器中原子化,分析吸光度。

2.3.2 土样

所有样品经过酸溶,As 采用 DDCAg 显色分光光度法进行测定,Pb、Zn、Cd、Cr、Ni 采用原子吸收分光光度法测定。

样品的分析测试工作在广东省生态环境与土壤研究所测试中心完成。

2.4 数据处理

数据统计分析采用 SPSS13.0 软件完成。

3 结果与分析

3.1 蔬菜重金属含量统计分析

汕头市蔬菜重金属含量统计分析结果见表 1。

3.2 讨论

从表 1 分析结果可以看出,蔬菜样品中 As、Zn 两种元素的含量均未超出 GB18406.1《农产品质量安全要求 无公害蔬菜安全要求》,在安全范围之内。而 Pb、Cd、Ni 3 种元素含量 100%超标。Cr 元素含量也有 95.65%超标。

蔬菜生长于农田土壤,会通过根系的吸收将土壤中有毒有害元素摄入体内,造成有毒有害元素在蔬菜体内的富集。由表 2 可以看出,本次研究区域农业土壤重金属含量普遍偏高,尤其是 Pb、Cd、Ni 3 种重金属元素超标严重,分别有 56.52%、22.61%和 28.70%的样品超过国家土壤环境质量一级标准,51.30%、100%、34.78%的样品超过广东省土壤背景值。这与本次研究中蔬菜 Pb、Cd、Ni 3 种重金属含量超标有很好的对应关系。相关研究也已证实土壤重金属污染会造成蔬菜重金属含量偏高并对蔬菜生长发育产生抑制作用^[5,6]。土壤 Cr 元素含量普遍较低,仅 1.74%的样品超过国家土壤环境质量一级标准,而蔬菜样品却有 95.65%超标,提示蔬菜中 Cr 元素有其他重要污染源。

本次研究结果 Pb 元素 100%超标,最高含量达到了 85 mg·kg⁻¹,超过了相关标准的 425 倍,铅污染情况较严重且带有普遍性,蔬菜对铅有较强的富集能力,这与唐意佳、马往校、王丽凤等的研究结果相符合,证明 Pb 是蔬菜重金属污染的主要元素之一^[7-10]。对照国家食品卫生标准(GB14935-94)蔬菜中 Pb 含量≤0.2 mg·kg⁻¹,该市蔬菜 Pb 含量全部超标。本次研究中蔬菜样品 Pb 含量最低值(5 mg·kg⁻¹)是国家标准的 25 倍,最高值则达到了国家标准的 425 倍。祖艳群^[11]认为,蔬菜中 Pb 含量与土壤 Pb 含量关系不明显。因此,蔬菜 Pb 含量尤其是叶菜类蔬菜 Pb 含量可能与大气沉降、汽车尾气等因素关系更密切。本次研究中,叶菜类蔬菜和非叶菜类蔬菜 Pb 含量均较高,有一角瓜样品铅含量达到了 80 mg·kg⁻¹。萝卜样品的 Pb 含量达到了 27 mg·kg⁻¹。汕头市蔬菜 Pb 含量异常,可能与当地工农业生产、工业污水排放、含铅农药的试用、汽车尾气有很大关系,且汽车尾气的影响范围会很大,该结果与相关研究报道是一致的^[12]。

蔬菜 Cd 元素含量也 100%超标,最高含量达到了 15.3 mg·kg⁻¹,超过相关标准的 306 倍,Cd 是一种对人体健康影响极大的剧毒重金属元素^[13],也是最受关注的重金属元素之一。土壤环境中的 Cd 可以被蔬菜吸收而在体内累计,另外,蔬菜也会吸收空气中气态或尘态的 Cd^[14],所以环境中 Cd 含量增加有可能导致生长在该土壤中的蔬菜 Cd 含量增加,高浓度的 Cd

表1 汕头市蔬菜重金属含量统计(mg·kg⁻¹)及超标率

Table 1 Descriptive statistics and excess standard index of heavy metals content in vegetables of Shantou city

品种	项目	As	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni
春菜 <i>Brassica juncea</i> Cosson. n=5	最大值	0.07	44	2	12.7	128	3.4
	最小值	0.04	5	0.4	0.3	64.5	2.9
	均值	0.06	19.8	1.26	3.94	78.4	3.18
	标准差	0.02	20.32	0.68	5.45	27.75	0.19
	变异系数	0.21	1.03	0.54	1.38	0.35	0.06
	超标率/%	0	100	0	100	100	100
小白菜 <i>Brassica chinensis</i> L. n=6	最大值	0.18	44	5.1	8.1	136	3.6
	最小值	0.04	5	0.4	0.1	61	2.6
	均值	0.09	15.83	1.83	2.08	98.03	2.93
	标准差	0.05	15.30	1.79	2.98	37.33	0.37
	变异系数	0.60	0.97	0.98	1.43	0.38	0.13
	超标率/%	0	100	0	100	100	100
白菜 <i>Brassica chinensis</i> L. n=3	最大值	0.06	28	3.3	3.8	67.3	3.4
	最小值	0.04	20	1.8	2.5	66.5	3.2
	均值	0.05	24	2.63	3.13	67	3.27
	标准差	0.04	12.22	1.43	2.30	35.24	0.91
	变异系数	0.89	0.54	0.58	0.78	0.50	0.10
	超标率/%	0	100	0	100	100	100
油菜 <i>Brassica chinensis</i> L. n=3	最大值	0.09	69	3.3	12.2	135	3.4
	最小值	0.04	9	1.4	1.9	66.6	3
	均值	0.06	40.67	2.03	7.63	108.2	3.13
	标准差	0.04	18.48	1.28	3.57	37.20	0.93
	变异系数	0.72	0.48	0.68	0.51	0.31	0.10
	超标率/%	0	100	0	100	100	100
生菜 <i>crispa</i> L. n=3	最大值	0.05	42	4.6	9.6	129	3.4
	最小值	0.04	39	2.5	7.6	120	3
	均值	0.05	40.33	3.3	8.33	124	3.17
	标准差	0.04	17.61	1.30	3.64	38.07	0.95
	变异系数	0.80	0.46	0.42	0.47	0.26	0.09
	超标率/%	0	100	0	100	100	100
菜花 <i>botrylis</i> L. n=3	最大值	0.07	40	4.1	7.2	70.2	3.4
	最小值	0.04	37	2	6.5	64.1	2.9
	均值	0.05	38	2.7	6.73	66.13	3.23
	标准差	0.03	16.58	1.26	3.38	36.59	0.96
	变异系数	0.69	0.46	0.50	0.54	0.49	0.09
	超标率/%	0	100	0	100	100	100
芥兰 <i>Brassica alboglabra</i> Bailey. n=6	最大值	0.07	85	5.4	15.3	128	3.3
	最小值	0.04	5	0.6	0.3	63.8	1.8
	均值	0.05	33.33	2.47	4.88	91.05	2.48
	标准差	0.03	18.90	1.35	3.78	35.28	0.92
	变异系数	0.15	1.05	0.96	1.09	0.95	0.45
	超标率/%	0	100	0	100	100	100
黄瓜 <i>Cucumis sativus</i> L. n=5	最大值	0.08	43	1.9	1.1	68.9	3.6
	最小值	0.04	5	0.4	0.3	63.5	2.6
	均值	0.06	23.4	1.32	0.62	65.84	3.04
	标准差	0.02	15.73	0.57	0.40	2.05	0.44
	变异系数	0.31	0.67	0.43	0.64	0.03	0.14
	超标率/%	0	100	0	100	100	100
角瓜	最大值	0.14	80	3	12	72.1	3.8
	最小值	0.04	37	1.8	4.6	64.3	3.2

续表 1 汕头市蔬菜重金属含量统计($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)及超标率

Table 1 Descriptive statistics and excess standard index of heavy metals content in vegetables of Shantou city

<i>Cucurbita pepo</i> L. <i>n</i> =3	均值	0.08	65	2.47	9.2	67.27	3.53
	标准差	0.04	27.14	0.85	4.76	21.60	1.02
	变异系数	0.42	0.43	0.33	0.54	0.04	0.13
	超标率/%	0	100	0	100	100	100
	最大值	0.07	38	2.4	5.4	62.4	3.9
萝卜 <i>Raphanus sativus</i> L. <i>n</i> =3	最小值	0.04	27	1.3	3.3	59.1	3
	均值	0.06	32.67	1.87	4.2	60.7	3.37
	标准差	0.03	22.45	0.77	3.94	20.57	1.04
	变异系数	0.51	0.72	0.38	0.99	0.06	0.13
	超标率/%	0	100	0	100	100	100
青瓜 <i>Cucumis sativus</i> L. <i>n</i> =3	最大值	0.12	35	2.3	1.6	56.4	3.9
	最小值	0.04	11	1.2	0.5	0.4	3.1
	均值	0.08	26.67	1.87	1.17	37.03	3.53
	标准差	0.03	20.45	0.74	3.56	23.75	1.06
	变异系数	0.37	0.82	0.36	3.30	0.47	0.12
白瓜 <i>Cucurbita moschata</i> Duch. <i>n</i> =3	超标率/%	0	100	0	100	66.67	100
	最大值	0.06	43	4.1	5.8	55.5	3.7
	最小值	0.04	27	2.1	3.7	0.4	3.3
	均值	0.05	36	3.37	4.6	34.87	3.5
	标准差	0.03	18.72	1.01	3.24	24.58	1.06
总计 <i>n</i> =48	变异系数	0.58	0.55	0.28	0.76	0.60	0.11
	超标率/%	0	100	0	100	100	100
	最大值	0.18	85	5.4	15.3	136	3.9
	最小值	0.04	5	0.4	0.1	0.4	1.8
	均值	0.06	30.89	2.16	4.34	77.20	3.13
	标准差	0.03	20.04	1.24	4.01	32.23	0.45
	变异系数	2.17	1.54	1.75	1.08	2.40	6.99
	超标率/%	0	100	0	100	95.65	100

注:超标率的标准依据为 GB18406.1《农产品安全质量安全要求 无公害蔬菜安全要求》。

表 2 汕头市土壤重金属含量统计($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)及超标率

Table 2 Descriptive statistics and excess standard index of heavy metals content in soil of Shantou city

区域	项目	pH	As	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni	
韩江三角洲南部 <i>n</i> =115	最大值	7.82	9.2	110	161	0.712	113	195	
	最小值	3.615	1.07	12.1	15	0.065	6	10	
	均值	5.58	4.63	41.23	67.27	0.17	12.82	34.65	
	标准差	0.91	1.99	20.40	27.35	0.07	14.77	36.12	
	变异系数	0.01	0.02	0.17	0.23		0.12	0.30	
	超标率 a/%	—	0	56.52	12.17	22.61	1.74	28.70	
	超标率 b/%	—	0.01	51.30	69.57	100	1.74	34.78	
	国家一级标准/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$			15	35	100	0.2	90	40
	广东省土壤背景值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$			8.9	36	51	0.04	50.5	27.7

注:超标率 a 为超过国家土壤环境质量一级标准样品数/ $n\times 100\%$;超标率 b 为超过广东省土壤背景值样品数/ $n\times 100\%$ 。

对植物会产生毒害作用^[15]。而工业活动如金属冶炼加工、电镀、电池生产、废弃物燃烧等都可能致土壤环境 Cd 含量增加^[16-18]。本次研究中的蔬菜样品 Cd 超标情况严重,与当地各种工业活动存在密切关系。另外,蔬菜 Cd 含量存在一个趋势,即叶菜类蔬菜 Cd 含量

高于瓜果类蔬菜,这与以往的研究结果相同^[19]。

Ni 元素主要来自工业生产、化石燃料燃烧以及 Ni 制品的使用^[20]。廖自基^[21]认为该元素在植物不同部位含量有很大差异,且与其他重金属元素在植物体内的含量情况相反。Ni 元素过量可能引起人体多种疾

病^[22]。因此,对食物中 Ni 含量及其对人体健康的风险已经引起学者的广泛关注^[23,24]。

Cr 是人和动物生长发育所必需的元素,但不一定是植物生长发育所必需的元素。植物可以通过根和叶吸收环境中的 Cr,也可以直接从含 Cr 工业废水中吸收 Cr,但 Cr 在植物体内移动非常缓慢。Cr 存在 Cr III 和 Cr VI 两种价态,前者若适量对人体健康有一定的帮助,而后者则有强烈的“三致”作用。所以,蔬菜 Cr 污染也应引起重视,由于人类的工农业生产活动导致土壤环境中 Cr 含量增加,进而导致蔬菜 Cr 含量增高。大气 Cr 含量对蔬菜 Cr 含量也有明显影响^[25],在快速工业化过程中,大量工业企业如雨后春笋般建立,其中不乏与 Cr 有关的工业企业,由于过去只注重经济效益不注重环境效益的错误思路,导致研究区环境介质中 Cr 含量的升高,进而导致生长在该环境中的蔬菜 Cr 含量的明显升高。本次研究中仅有 2 个青瓜样品 Cr 含量未超标,其余 44 个蔬菜样品 Cr 含量全部超标,最高含量达到了 $136 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,超过相关标准的 362 倍。

周建利^[26]的研究认为在我国蔬菜重金属污染中 Pb、Cd、Hg 是最主要的 3 种元素。这与本次研究的结果有相似之处。

4 因子分析

在科学研究中,存在非常多有价值的信息,但过多的信息会给分析带来一定的困难,这时就需要对数据进行简化(降维)。因子分析(Factor analysis)就可以

从多变量中选择少数几个综合独立的新变量,来反映原来的多变量大部分的信息。

对 46 个蔬菜样品中 6 种重金属元素进行因子分析,分析结果见表 3。

通过因子分析可得因子成分矩阵如下:

$$Z_1 = -0.101X_1 + 0.886X_2 + 0.596X_3 + 0.898X_4 + 0.358X_5 + 0.173X_6$$

$$Z_2 = 0.478X_1 + 0.027X_2 + 0.194X_3 - 0.132X_4 - 0.581X_5 + 0.801X_6$$

$$Z_3 = 0.527X_1 - 0.315X_2 + 0.447X_3 - 0.273X_4 + 0.589X_5 - 0.030X_6$$

表明原来 6 个变量反映的信息可由 3 个主成分反映,达 73.001%,说明提取 3 个主成分就可以了。主因子 I 包括 Pb 和 Cd,主因子 II 包括 Ni,主因子 III 包括 Cr。根据 3.2 的分析讨论,可知 Pb 和 Cd 两元素都与大气环境污染和其他因素引起的土壤污染有着直接的关系, Ni 元素的富集主要与人类活动(采矿、工业生产等)造成的废水排放及化石燃料燃烧而造成土壤重金属污染有关, Cr 元素富集主要不是来自于土壤,与工业含 Cr 废水灌溉有关,所以上述三个主因子可以归结为:大气沉降、土壤环境污染和工业含 Cr 废水三大因素。

由表 4 可见,主因子 I 所包含的重金属元素 Pb 和 Cd 有着显著的相关性。

5 聚类分析

聚类分析是按“物以类聚”的原则研究事物分类

表 3 主成分分析得到的全部解释变量

Table 3 Total explained variance obtained by principal component analysis

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	
1	2.116	35.269	35.269	2.116	35.269	35.269	
2	1.264	21.071	56.340	1.264	21.071	56.340	
3	1.000	16.661	73.001	1.000	16.661	73.001	
4	.905	15.087	88.089				
5	0.561	9.343	97.432				
6	.0154	2.568	100.000				
		Component					
		1	2	3			
AS	0.101	0.478	0.527				
Pb	0.886	0.027	-0.315				
Zn	0.596	0.194	0.447				
Cd	0.898	-0.132	-0.273				
Cr	0.358	-0.581	0.589				
Ni	0.173	0.801	-0.030				

注:提取方法为主因子法。提取了 3 个主因子。

表 4 汕头市蔬菜重金属相关性分析

Table 4 Correlation coefficients among heavy metals in vegetables of Shantou city

	As	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni
As	1					
Pb	0.067	1				
Zn	0.086	0.296	1			
Cd	-0.009	0.833	0.304	1		
Cr	-0.028	0.108	0.233	0.224	1	
Ni	0.113	0.113	0.221	0.023	-0.198	1

的一种多元统计分析方法,根据观测样找出一些能够度量样品间相似程度的统计量,将相似程度大的聚合为一类,关系疏远的聚合到另一类,直到把所有的样品聚合完毕,构成分类树状图。聚类分析的结果可以对因子分析的分析结果进行检验^[27]。对所测 46 个样品的 6 种重金属元素进行 R 型聚类分析结果见图 1, Pb 和 Cd 聚成一类,其余元素依次聚类,最终聚为一个大大类。这与之前因子分析的分类结果相同。

6 结论与建议

汕头市在经济社会发展过程中,对环境造成了一定的污染,当地农业土壤重金属含量有不同程度的富集和超标,蔬菜也出现了不同程度的重金属富集。

(1)对照《农产品安全质量安全要求 无公害蔬菜安全要求》,汕头市蔬菜中重金属含量出现不同程度的富集,其中 Pb、Cd、Ni、Cr 4 种元素超标严重。当地土壤 Pb、Cd、Ni 3 种元素含量普遍偏高且超标严重,与蔬菜中 Pb、Cd、Ni 3 种元素有一定关联。

(2)不同蔬菜品种由于生理特性等因素对不同重金属的富集效应有显著差异。

(3)汕头市存在面源污染源,导致土壤、大气等环

境介质污染,使得部分重金属元素在蔬菜中含量大范围超标。要采取有力措施从源头上治理污染,如关停或搬迁易造成环境污染的厂矿和企业,严格控制工业“三废”的排放,推广无铅汽油的使用等。

(4)在治理汕头市土壤以及大气污染的同时,应当确定合理的蔬菜种植规划,根据作物对重金属元素富集能力的不同,选择低富集能力的蔬菜品种,以减少蔬菜对重金属的富集,保障当地居民的饮食安全,降低健康风险。

参考文献:

- [1] 马 瑾,万洪富,杨国义,等.东莞市蔬菜重金属污染状况研究[J].生态环境,2006,15(2): 319-322.
- [2] 陈同斌,宋 波,郑袁名,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.
- [3] Wang Xi long, Sato T, Xing Bao shan, et al, Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish[J]. Science of the Total Environment, 2005,350:28-37.
- [4] 谢正苗,李 静,陈建军,等.中国蔬菜地土壤重金属健康风险基准的研究[J].生态毒理学报,2006,1(2): 172-179.
- [5] 陈亚画,黄少华,刘胜环,等.南京地区农田土壤和蔬菜重金属污染状况研究[J].长江流域资源与环境,2006,15(3): 356-360.
- [6] 宋玉芳,许夏华,任丽萍,等.土壤重金属污染对蔬菜生长的抑制作用及其生态毒性[J].农业环境科学学报,2003,22(1): 13-15.
- [7] 唐意佳,赵磷石. 韶关市区蔬菜中铅、镉检测结果分析[J]. 中国卫生检验杂志,2004,14(5): 603.
- [8] 马往校,段 敏,李 岚.西安市郊区蔬菜中重金属污染分析与评价[J].农业环境保护,2000, 2:96-98.
- [9] 王丽凤,等.沈阳市蔬菜污染调查及防治途径研究[J].农业环境保护, 1994,13(2): 84-88.
- [10] 白红鹃. 太原市蔬菜中铅、铬和镉含量分析及安全性评价[J].中国安全科学学报,2004,14(12): 78-81.
- [11] 祖艳群,李 元,陈海燕,等. 蔬菜中铅镉铜锌的影响因素研究[J].农业环境科学学报,2003,22(3): 289-292.

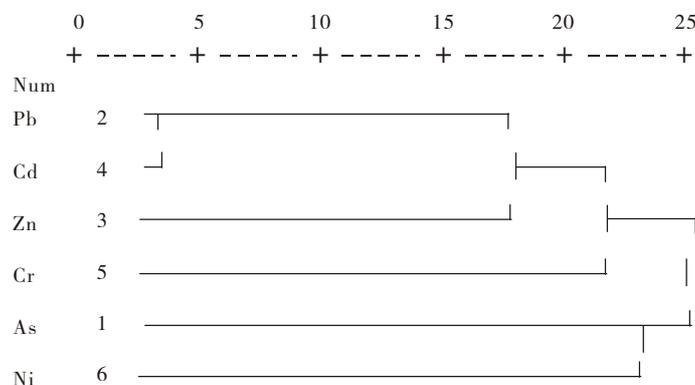


图 1 汕头市蔬菜重金属含量系统树状聚类图

Figure 1 Clustering tree of soil heavy metals concentration in vegetables of Shantou city

- [12] Muchuweti M, Birkett J W, Chinyanga E, et al. Heavy metal content in vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: Implications for human health[J]. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 2006,112:41-48.
- [13] 陈怀满. 土壤-植物系统中的重金属污染[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [14] 李其林,刘光德,黄 昀,等. 大田蔬菜铅、镉污染途径的研究[J]. *中国生态农业学报*,2004,12(4):149-152.
- [15] Foy C D, Chaney R L, White M C. The physiology of metal toxicity in plants[J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1978, 29:511-566.
- [16] Lindstrom M. Urban land use influences on heavy metal fluxes and surface sediment concentrations of small lakes[J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 2001,126: 363-383.
- [17] Lin Y P, Teng T P, Chang T K. Multivariate analysis of soil heavy metal pollution and landscape pattern in Changhua county in Taiwan [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2002,62: 19-35.
- [18] 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 Total Environment*, 2003,311: 205-219.
- [19] 段 敏,马往校,李 岚. 17种蔬菜中铅镉铬元素含量分析研究[J]. *干旱区资源与环境*,1999,13(4):74-80.
- [20] Kasprzak K S, Sunderman J F W, Salnikow K. Nickel carcinogenesis, mutation research fundamental and molecular mechanisms of mutagenesis[J]. *Mutat Res*, 2003,533(1-2):67-97.
- [21] 廖自基. 环境中微量重金属元素的污染危害与迁移转化[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 140-162.
- [22] Denkhaus E, Salnikow K. Nickel essentiality, toxicity and carcinogenicity[J]. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, 2002,42(1):35-56.
- [23] Yusuf A A ,Arowolo T A, Bamgbose O. Cadmium, copper and nickel levels in vegetables from industrial and residential areas of Lagos city, Nigeria[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2003, 41(3):375-378.
- [24] 皮嵩云,王艳丽,张玉莲. 低浓度镍对人体健康影响的探讨[J]. *实用预防医学*,2006,13(4):969-970.
- [25] Voutsas D, Crimanis A, Samara C, et al. Trace elements in vegetables grown in an industrial area in relation to soil and air particulate matter [J]. *Environmental Pollution*, 1996,94(3):325-335.
- [26] 周建利,陈同斌. 我国城郊菜地土壤和蔬菜重金属污染研究现状与展望[J]. *湖北农学院学报*,2002,22(5):476-480.
- [27] 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.