

文章编号: 1009-6094(2007)06-0077-03

广东汕头市农业土壤和蔬菜铅含量及健康风险评估*

马瑾^{1,2}, 周永章¹, 奚磊¹, 张澄博¹, 万洪富²

(1 中山大学地球环境与地球资源研究中心, 广州 510275;

2 广东省生态环境与土壤研究所, 广州 510650)

摘要: 重金属元素铅的危害已经引起人们的广泛关注, 为了得到汕头市土壤及蔬菜铅污染的状况, 选取了该市 115 个土壤样品及 34 个蔬菜样品进行铅含量分析。研究发现, 汕头市土壤样品铅含量差异较大, 最高含量为 110 mg/kg, 最低含量则为 12.1 mg/kg, 极差达到 97.9 mg/kg。56.52% 的土壤样品铅含量超过国家土壤环境质量标准, 表明该市土壤铅污染存在普遍性, 且各区(县)土壤铅含量极不均匀。汕头市蔬菜样品铅含量全部超过国家食品卫生标准(GB 14935—94), 不同蔬菜品种对铅的富集能力均较强, 蔬菜样品铅最低含量为 5 mg/kg, 最高含量为 85 mg/kg, 分别为国家标准限值的 5 倍和 425 倍。经分析认为, 该市铅污染源主要来自工业“三废”排放、大量含铅农药的使用、汽车尾气排放以及大气沉降等。还对汕头市民通过食用蔬菜而导致的铅暴露进行了健康风险评估, 结果表明该市居民使用蔬菜存在较大的健康风险。

关键词: 环境地球化学; 土壤; 蔬菜; 铅; 健康风险; 汕头

中国分类号: X820.4

文献标识码: A

0 引言

随着工业化和城市化的推进, 土壤重金属污染尤其是土壤铅污染引起了各国学者的广泛关注^[1-4]。铅可以通过吞食、吸入和皮肤接触等途径进入人体, 人体铅中毒可引起贫血、食欲减退、便秘等。土壤中的铅与人体关系密切, 研究表明, 儿童血铅含量与当地土壤铅含量有密切关系^[5]。铅暴露会对人体健康造成危害已成为不争的事实, 国际癌症研究中心^[6]已将铅暴露作为可能的人体致癌因素, 风险级别为 2B。为此, 对铅暴露的评估就显得尤为必要, 评估铅暴露有多种方法, 环境检测是较常用的一种方法^[7], 所谓环境检测就是对暴露环境中各环境介质的铅浓度进行测定, 间接估算人体可能的吸收剂量以及可能造成的健康风险, 利用此方法对蔬菜进行铅暴露的评估已有报道^[8,9]。

汕头市是我国最早确立的经济特区之一, 工业化和城市化水平较高, 但针对该市的土壤以及蔬菜重金属污染的研究较少, 由此引发的蔬菜铅暴露的健康风险评价也未见报道。本文以汕头经济特区为研究区域, 探讨经济快速发展对土壤环境及蔬菜品质的影响。

汕头市位于广东省东部, 东经 116°14′~117°19′, 北纬 23°02′~23°38′, 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, 占全市面积的 63.62%, 丘陵山地次之, 占土地面积的 30.40%, 台地等占总面积的 5.98%。1981 年经国务院批准, 在市区龙湖试办经济特区。1991 年 4 月, 国务院批准汕头经济特区的区域扩大到整个汕头市区。1992 年, 汕头被评为全国“城市综合实力 50 强”和“首批投资硬环境四十优”城市, 1994 年跻身为全国 55 个人均国内生产总值超过万元城市之一。汕头是国家卫生城市、国家环境模范城市和中国优秀旅游城市。

1 材料与方法

1.1 布点原则

根据汕头市工业布局、“三废”排放状况、灌溉水类型、土壤类型、农业生产布局进行布点。基于技术力量与财力条件, 优先布设在污染严重、影响农产品安全的地方。由调查面积确定采样总数, 再具体分配到各采样区域(以镇为单位)。考虑到不同的土地利用类型, 并兼顾样点的均匀性, 共设表层土壤样点 115 个。

1.2 采样方法

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。植株样品采集在蔬菜收获盛期进行。蔬菜采集其可食用部分, 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。每个样品在采集过程中, 都采用了全球定位系统(GPS)定位。

1.3 分析方法

土壤样品采用石墨炉原子吸收分光光度法测定(GB/T 17141—1997), 蔬菜样品采用原子吸收分光光度法测定(GB/T 50009.12—1996)。

2 结果与分析

2.1 汕头市土壤铅含量特征

汕头市土壤铅含量分析结果见表 1 和 2。

从表 1 可以看出, 汕头市土壤铅含量普遍较高, 对照国家土壤环境质量标准(35 mg/kg), 汕头市土壤铅含量的超标率达到了 56.52%, 说明土壤铅污染在该市具有普遍性, 所测最高样品铅含量为国家标准的 3.14 倍, 且变异程度较大, 土壤铅含量最大值(110 mg/kg)为最小值(12.1 mg/kg)的 9.09 倍。

从表 2 可以看出, 汕头市各(县)的土壤铅污染程度各异, 依据土壤铅含量可做如下排序: 金园区>南澳县>澄海市>龙湖区>潮南区>潮阳市>升平区>达濠区>河浦区。河浦区土壤铅含量最低, 金园区、南澳县、澄海市、龙湖区土壤铅平均含量都超过了 40 mg/kg。金园区位于汕头市中心城区, 机动车流量大, 尾气排放量也随之增大, 因此采自该区的土壤样品铅含量全部超过国家土壤环境质量一级标准(35 mg/kg)。土壤铅含量最高的金园区位于汕头市中心城区, 由于过去过分强调“工业立区”, 忽视环保工作, 使得一些污染严重的企业如造纸厂、五金厂、金属工艺厂等进入该区, 工业三废的排放对当地环境造成了一定的影响。另外, 由于该区位于中心城区, 车辆往来频繁, 汽车尾气的排放也不可忽视。

郑袁明等^[10]认为, 垃圾填埋场对周围土壤铅元素含量有一定影响, 这也可能是本次研究部分土壤样品铅元素含量偏高的原因之一。值得注意的是, 南澳县是广东省唯一的海岛

* 收稿日期: 2007-04-12

作者简介: 马瑾, 讲师, 博士研究生, 从事环境地球化学与环境质量研究; 周永章(通讯作者), 教授, 博士, 博士生导师, 从事矿床与矿山环境地球化学研究。

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); 广东省科技厅重大专项攻关项目(2004A3030800, 2005A30402006, 2002C3201); 广东省自然科学基金研究团队项目(06202438)

表1 汕头市土壤铅含量情况 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 1 Lead content in soil of Shantou city

项目	样品数	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数	超标率
铅	115	110	12.1	97.9	41.23	217.19	5.27	56.52%

注: 超标率 = (超过国家土壤环境背景值的样品数/总数) \times 100%。

表2 汕头市菜地土壤环境铅含量情况 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 2 Lead content in vegetable soil environment in Shantou city

区域	样品数	范围	平均值	超标率%	变异系数
金园区	3	38.5 ~ 54.6	44.83	100	0.27
龙湖区	10	31 ~ 53.4	40.03	70	1.02
河浦区	3	14.5 ~ 32.6	24.27	0	0.53
达濠区	3	18.8 ~ 30.9	28.07	0	0.41
升平区	3	32.6 ~ 36	34.67	66.67	0.07
南澳县	6	22.1 ~ 77.6	44.5	66.67	1.10
潮阳市	29	14.1 ~ 110	39	51.72	3.03
澄海市	29	17 ~ 90.9	43.85	58.62	2.58
潮南区	29	12.1 ~ 95.3	39.26	48.28	3.01

注: 超标指超过国家土壤环境质量标准一级标准(35 mg/kg)。

县,2004 年被评为国家 AAAA 旅游区,2005 年被国家环保总局授予国家级生态示范区,近年来,随着经济开发,种植业也逐步发展壮大,绿色无公害农作物成为南澳农特产之一,而采自该县的土壤样品却有 66.67% 超过国家土壤环境质量一级标准,最高土壤铅含量达到了 77.6 mg/kg 。虽然该县近年大力发展生态旅游业、生态种养业、特色工业等生态型经济,但还是给当地环境造成了一定的负面影响,其原因可能是工业污染物排放以及由于发展旅游业而导致的上岛汽车的增多,进而导致汽车尾气排放增多等,而汽车尾气会有 70% 最终沉降在道路两旁的土壤环境中^[11]。这表明,在发展旅游产业的同时,要注重对当地自然资源和环境的保护,体现可持续发展的理念。对我国沈阳、成都等城市的土壤铅含量的研究同样发现土壤铅含量明显升高,并且与人类活动有很大关系^[12,13]。

2.2 汕头市蔬菜铅含量特征

汕头市蔬菜铅含量分析结果见表 3。

从表 3 可以看出,汕头市蔬菜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,这与唐意佳等^[14]的研究结果相同。对照国家食品卫生标准(GB 14935—94)(蔬菜中铅含量 $\leq 0.2 \text{ mg}/\text{kg}$),该市蔬菜铅含量全部超标。蔬菜样品铅含量最低值(5 mg/kg)是国家标准的 25 倍,最高值则达到了国家标准的 425 倍。祖艳群等^[15]的研究表明,蔬菜中铅含量与土壤铅含量关系不明显。因此,蔬菜铅含量尤其是叶菜类蔬菜铅含量可能与大气沉降、汽车尾气等因素关系更密切。本研究中,叶菜类蔬菜和非叶菜类蔬菜铅含量均较高,角瓜样品铅含量达到了 80 mg/kg 。萝卜样品的铅含量达到了 27 mg/kg ,Merry 等^[16]的研究也曾证实萝卜的地下部分铅含量较高。

汕头市土壤及蔬菜铅含量异常,可能与当地工农业生产、工业污水排放、含铅农药的使用、汽车尾气有很大关系,且汽车尾气的影响范围会很大,相关研究已有报道^[17-19]。Brunekreef^[20]研究认为,城市大气中的铅有 90% 以上来自汽车尾气,可见汽车尾气的危害极大。Allen 等^[11]认为,大气沉降

表3 汕头市蔬菜铅含量情况 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 3 Lead content in vegetables of Shantou city

品种	样品数	含量范围	平均含量	超标率
春菜	5	5 ~ 44	19.8	100%
白菜	2	20 ~ 28	24	100%
小白菜	6	5 ~ 22	15.83	100%
油菜	3	9 ~ 69	40.67	100%
生菜	1	39	39	100%
芥兰	6	5 ~ 85	33.33	100%
菜花	2	37	37	100%
黄瓜	4	5 ~ 43	21.25	100%
角瓜	2	37 ~ 80	58.5	100%
青瓜	1	11	11	100%
白瓜	1	27	27	100%
萝卜	1	27	27	100%
总计	34	5 ~ 85	27.76	100%

也是铅污染的一个重要因素。含铅汽油的使用在汕头市有相当长的时间,其影响不会在短时期内消除^[21]。汕头市在《汕头市环境保护与生态建设“十一五”规划》中已确定,2007 年 7 月 1 日起全市车用燃油实行国 III 标准,从源头上减少机动车尾气排放量,全面禁止销售和使用车用含铅汽油。相信该举措的实施会对降低当地土壤及蔬菜铅污染状况起到很好的推动作用。

3 健康风险评价

铅具有很强的毒性,对人类健康有着显著的毒副作用^[22]。1993 年,WHO/FAO 规定了人体每周铅允许摄入量为 25 $\mu\text{g}/\text{kg DW}$,若成人体重以 60 kg 计,则人体铅的日允许摄入量(ADI)为 214.29 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。以此为依据,可以对汕头市蔬菜进行人群铅暴露健康风险指数评价。

$$Q = D_i \cdot C_i \cdot F_{di}$$

$$RI = Q/ADI$$

式中 Q 为个人通过蔬菜对铅的摄入量, mg/d ; i 为蔬菜种类; D 为每日蔬菜的食用量,根据我国平均食物消费结构,人均每年消费的蔬菜为 110 kg ,相当于人均日消费蔬菜 0.3 kg ; C 为蔬菜中铅的浓度, mg/kg ; F_d 为鲜质量换算为干质量的系数(d 表示干),一般取 0.05; RI 为健康风险指数(Risk Index),若 $RI < 1$,则处于安全水平,若 $RI > 1$ 则存在健康风险,且数值越大,健康风险也越大。

表 4 是通过上述方法得出的各蔬菜的铅暴露健康风险指数。可以看出,依风险指数大小排序为:角瓜 > 油菜 > 生菜 > 菜花 > 芥兰 > 白瓜、萝卜 > 白菜 > 黄瓜 > 春菜 > 小白菜,不同品种蔬菜吸收富集铅元素的能力有所不同。当地居民通过食用被铅污染的蔬菜而导致健康风险指数普遍偏高,因此,当地居民食用含铅量较高的蔬菜存在较大的健康风险。

4 结论与建议

汕头市土壤铅污染具有普遍性,表明该市存在铅的面源污染,且各区(县)土壤铅含量变异较大。

汕头市蔬菜铅污染情况也较严重,各类蔬菜品种食用部位铅含量 100% 超过国家食品卫生标准,最高蔬菜铅含量达

表4 人群通过食用蔬菜导致的铅暴露健康风险指数

Table 4 Risk index of Pb exposure to human through consuming vegetables

蔬菜品种	春菜	白菜	小白菜	油菜	生菜	芥兰	菜花	黄瓜	角瓜	青瓜	白瓜	萝卜
RI	1.32	1.6	1.06	2.71	2.6	2.22	2.47	1.42	3.9	0.73	1.8	1.8

到了国家标准的 425 倍,汕头市居民食用当地生产的蔬菜而导致的铅暴露存在较大的健康风险。

汕头市土壤及蔬菜铅污染源主要是工农业生产、工业污水排放、含铅农药的使用、汽车尾气以及大气沉降等。

建议当地居民有选择性地食用铅低富集蔬菜,以降低健康风险。同时减少环境污染,严格控制工业污染源的排放,强化燃煤企业的环保设施,严格控制污水灌溉和城市垃圾肥料的使用。并严格执行国家质量监督检验检疫总局 2001 年颁布实施的《农产品安全质量无公害蔬菜安全要求》,规范蔬菜的生产、加工和销售,确保当地居民的食用安全。

References(参考文献):

- [1] SONG Y, WILSON M J, MOON H S, et al. Chemical and mineralogical forms of lead, zinc and cadmium in practical size fractions of some wastes, sediments and soils in Korea[J]. *Applied Geochemistry*, 1999, 14: 621-633.
- [2] MIELKE H W, REAGON P L. Soil is an important pathway of human lead exposure[J]. *Environment Health Prospective*, 1998, 106(S1): 217-229.
- [3] ZHOU C Y, WONG M K, KOH L L, et al. Soil lead and other metal levels in industrial residential and natural reserve areas in Singapore[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1997, 44: 605-615.
- [4] CHEN T B, WONG L W C, ZHOU H C, et al. Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soil of Hong Kong [J]. *Environmental Pollution*, 1997, 96(1): 96-98.
- [5] JIN A, TESCHKE K, COPES R. The relationship of lead in soil to lead in blood and implications for standard setting [J]. *Sci Total Environment*, 1997, 298: 23-40.
- [6] IARC. Monograph on the evaluation of carcinogenicity: An update of IARC monographs [J]. *Geneva*, 1987, 7: 1-42.
- [7] LI Junzhang(李俊璋), ZHANG Beijia(张倍嘉), ZHUANG Hongyi(庄弘毅), et al. Review of biological indication of Pb exposure to human [J]. *Journal of Occupational Safety and Health* (劳工安全卫生研究), 2000, 8(3): 345-372.
- [8] CHEN Tongbin(陈同斌), SONG Bo(宋波), ZHENG Yuanming(郑袁明), et al. A survey of lead concentrations in vegetables and soils in Beijing and their health risks [J]. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2006, 39(8): 1589-1597.
- [9] DING Aifang(丁爱芳), PAN Genxing(潘根兴). Contents of heavy metals in soils and Chinese cabbages from some urban vegetables fields around Nanjing and the human health risks [J]. *Ecology and Environment* (生态环境), 2003, 12(4): 409-411.
- [10] ZHENG Yuanming(郑袁明), CHEN Tongbin(陈同斌), CHEN Huang(陈煌), et al. Lead accumulation in soils under different land use types in Beijing city [J]. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 2005, 60(5): 791-797.
- [11] ALLEN P D, MOHAMMAD Shokouhian, NI Shubei. Loading estimates of lead, copper, cadmium and zinc in urban runoff from specific source[J]. *Chemosphere*, 2001, 44(5): 997-1009.
- [12] TAN Ting(谭婷), WANG Changquan(王昌全), LI Bing(李冰), et al. Pollution and avalustion of Pb in soil in Chendu plain [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin* (长江流域资源与环境), 2005, 14(1): 71-75.
- [13] REN Huimin(任慧敏), WANG Jinda(王金达), ZHANG Xuelin(张学林). Spatial distribution of Pb in soils and its risk assessment in Shenyang city [J]. *Advances in Earth Science* (地球科学进展), 2004, 19(5): 429-433.
- [14] TANG Yijia(唐意佳), ZHAO Linshi(赵磷石). Analysis on Pb and Cd contents in vegetables of Shaoguan [J]. *Chinese Journal of Health Laboratory Technology* (中国卫生检验杂志), 2004, 14(5): 603.
- [15] ZU Yanqun(祖艳群), LI Yuan(李元), CHEN Haiyan(陈海燕), et al. Research on factors influencing concentrations of Pb, Cd, Cu and Zn in vegetables [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment* (农村环境科学学报), 2003, 22(3): 289-292.
- [16] MERRY R H, TILLER K G, ALSTON A M. The effects of contamination of soil with copper, lead and arsenic on the growth and composition of plants[J]. 1986, 91(1): 115-128.
- [17] CHEN Weixin(陈维新), ZHANG Yulong(张玉龙), CHEN Zhonghe(陈中赫). Study on Pb content distribution in both sides of Shen-fu road in east suburb of Shenyang [J]. *Agro-environment Protection* (农业环境保护), 1990, 9(2): 10-13.
- [18] MA Jin(马瑾), PAN Genxing(潘根兴), WAN Hongfu(万洪富), et al. Investigation on heavy metal pollution in a typical area of the Pearl river delta [J]. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), 2004, 35(3): 636-638.
- [19] GUAN Dongsheng(管东生), CHEN Yujuan(陈玉娟). Study on heavy metal concentrations and the impact of human activity on them in urban and suburb soils of Guangzhou [J]. *Acta of Universitatis Sunyatseni* (中山大学学报), 2001, 40(4): 93-96.
- [20] BRUNEKREEF B. Childhood exposure to environmental lead. *MARC Report 34* [R]. London: Monitoring and Assessment Research Center, King's College, University of London, 1986.
- [21] MILBERG R P, LAGETRWERFF J V, DONALD L, et al. Soil lead accumulation alongside a newly constructed load way [J]. *Environ Qual*, 1980, 9(1): 6-9.
- [22] LINDSTORM M L. 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.

Investigation in Shantou city, Guangdong, over the lead content in the soil and vegetables

MA Jin^{1,2}, ZHOU Yong-zhang¹, DOU Lei¹, ZHANG Cheng-bo¹, WAN Hong-fu²

(1 Center for Earth Environment & Resources, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 2 Guangdong Institute of Eco-environment and Soil Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract: The present paper is to introduce its authors' investigation of the pollution caused by the over-content of Pb in the soil and vegetables produced in Shantou city, Guangdong. In order to make the assessment more objective and assurable, we have collected and tested 115 soil and 34 vegetable samples considered to be Pb pollution affected. The results of our investigation found that the Pb content in the soil samples tested are varied greatly (from the maximum content of 110 mg/kg to the minimum—12.1 mg/kg). The results also indicate that 56.52% of all the soil samples prove to be excessively lead-laden according to the State Soil Environment Quality Standard. Furthermore, the given investigation shows that Pb pollution in soils is an all-pervasive problem. Meanwhile, the Pb content in vegetable samples also reveal excessive when measured by the State Food Sanitary Standard. Thus, the result indicates that the environment has been strongly affected by the human and social activities. In addition, the main source of Pb proves to come from industrial wastes, lead-contained pesticide as well as waste gas left-over by the motor vehicle transportation, etc. What is more, the industrial and traffic pollution also contribute to the high Pb content in the soil and vegetables. More accurately speaking, our investigation indicates that the lowest Pb content in vegetables is 5 mg/kg whereas the highest content is 85 mg/kg, which means 25 times and 425 times higher than the data stated in the national standard (0.2 mg/kg). At the end of the paper, the health risk of lead exposure through vegetable consumption was also made, which proves that, the risk indexes of all vegetables are higher than the state stipulated safety level. That is to say, the potential health threat that is likely to cause has to be paid attention to.

Key words: environmental geochemistry; soil; vegetables; lead; health risk; Shantou city

CLC number: X820.4 **Document code:** A

Article ID: 1009-6094(2007)06-0077-03