

# 桂林市土壤和蔬菜镉含量调查及食用安全性评估

宋波<sup>①</sup>, 唐丽嵘 (桂林理工大学环境科学与工程学院, 广西 桂林 541004)

**摘要:** 对桂林市蔬菜和菜地土壤镉含量进行调查, 评价其累积状况, 并评估人体经食用蔬菜摄入镉的安全性。结果显示, 桂林市菜地土壤镉含量空间变异较大, 呈现西北部和西南部低、东北部和东南部高的分布特点; 与背景样点相比, 菜地土壤镉累积效应显著, 土壤镉含量范围、中值、算术均值和几何均值分别为 0.056 ~ 17.35、0.624、1.193 和 0.696  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 超标率为 85.5%。蔬菜镉含量范围、中值和几何均值分别为 0.09 ~ 663.2、29.4 和 29.2  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (以鲜质量计), 综合超标率为 4.95%; 叶菜类蔬菜镉含量显著高于根茎类和瓜果类, 花菜、韭菜、大白菜、大葱、芋头、豆苗、萝卜、菠菜、大蒜和蕃茄的镉富集系数较低, 抗镉污染能力较强。桂林市居民人均通过食用蔬菜的镉摄入量为 9.08  $\mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ , 对普通人群不存在明显的食用安全风险。

**关键词:** 蔬菜; 镉; 富集系数; 食用安全性; 桂林

**中图分类号:** X53; X56 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673 - 4831(2012)03 - 0238 - 05

**A Survey of Cadmium Concentrations in Vegetables and Soils in Guilin and Food Safety Assessment of Vegetables.** SONG Bo, TANG Li-rong (College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

**Abstract:** A large scale survey of cadmium levels in soil and vegetables planted or sold in Guilin was conducted to evaluate Cd pollution degree of vegetables and soil and to assess their potential health risks to local inhabitants. Results show that spatial distribution of soil Cd varied sharply from field to field in Guilin, displaying the characteristics of being lower in the northwest and southwest regions and higher in the northeast and southeast regions of Guilin. Compared with the sampling sites for background values, garden soils accumulated Cd significantly, and their Cd concentrations were found to be in the range from 0.056 to 17.35  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , and their median value, arithmetic mean value and geometric mean value was 0.624, 1.193 and 0.696  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , respectively. About 85.5% of the garden soils were beyond the criterion for Cadmium in garden soil. Cd concentrations in vegetables varied in the range from 0.09 to 663.2  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (FW), with median and geometric means being 29.4 and 29.2  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (FW), respectively. The integrated over-standard rate of the samples reached 4.95%. Cd concentration was higher in leafy vegetables than in root, tube and melon vegetables. Cauliflower, leeks, cabbage, onions, taro, sugar pea, radish, spinach, garlic and tomatoes were quite low in Cd enrichment coefficient and therefore high in Cd resistance. On average, the residents of Guilin ingest 9.08  $\mu\text{g}$  Cd per day per person through food, which does not pose any health risk to common people.

**Key words:** vegetable; cadmium; accumulation coefficient; food safety; Guilin

镉不是人体所必需的元素, 而是一种积累性的剧毒元素<sup>[1]</sup>。有关镉的环境行为和污染防治等方面的研究较多<sup>[2-3]</sup>。世界卫生组织 (WHO) 和美国环境保护署 (USEPA) 规定镉的最大允许摄入量均为 1  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ <sup>[4]</sup>。蔬菜是人体摄入镉的重要来源之一。镉在蔬菜中的含量水平及其对人体的健康风险已受到国内外研究者的广泛关注<sup>[5-6]</sup>。

目前有关桂林蔬菜镉含量水平的报道较少, 笔者在了解桂林市农业土壤和主要蔬菜基地区域分布的基础上, 对桂林市全境主要蔬菜基地的土壤和蔬菜镉含量进行系统调查分析, 并进行人体健康风险评估; 依据不同种类蔬菜的镉富集能力差异, 筛选出抗镉污染能力较强的蔬菜品种, 为桂林市蔬菜

食用安全和种植规划提供支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 样品采集与分析

样品采集时间为 2010 年 1 月 20 日—2 月 5 日, 采样范围覆盖桂林市全境 13 个县 (市) 的主要蔬菜生产基地和面积较大的蔬菜地 (图 1)。蔬菜样品包

收稿日期: 2012 - 02 - 13

基金项目: 广西科学基金 (桂科自 0848022, 桂科基 0832017); 广西环境工程与保护评估重点实验室基金 (桂科能 0801z023); 桂林理工大学科研启动费资助项目

① 通信作者 E-mail: songbo.china@163.com

括当季所有的蔬菜品种,为了增加样品的代表性,对于蔬菜种植量和居民消费量较大的品种(白菜、小白菜、生菜、菜薹、莴笋、大葱、辣椒、大蒜、芹菜、芥菜、胡萝卜和油麦菜等),样品数也相应增加。共采集 566 个蔬菜样品,其中 471 个直接采自菜地,另外为弥补本地当季蔬菜品种的不足,从各地农贸市场采集样品 95 个。按其可食部位不同分为叶菜类、根茎类和瓜果类。采样时摘取成熟新鲜的可食部分,装入塑料袋密封。用自来水和去离子水反复清洗、晾干、切碎,在 80 °C 条件下烘干,测定含水量,粉碎备用。

采集,在 10 m × 10 m 正方形的 4 个顶点和中心点各取约 1 kg 耕层(0 ~ 20 cm)土壤,充分混匀后用四分法取 1 kg 土壤置于布袋。土壤样品在室内风干、磨碎后过 0.149 mm 孔径尼龙筛,装袋备用。样品采集过程中未与金属工具接触,样品的混合、装袋、粉碎和研磨等也全部使用木头、塑料或玛瑙工具。

1.2 测定方法

土壤与蔬菜样品均采用美国环境保护署推荐的 HNO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 方法<sup>[7]</sup>消解,石墨炉 - 原子吸收光谱法测定镉含量<sup>[8]</sup>,分析过程中分别加入国家标准土壤样品(GSS - 6)和国家标准植物样品(GSV - 1)进行质量控制。分析所用试剂均为优级纯,所用水均为超纯水(亚沸水)。蔬菜镉含量以鲜质量计。

1.3 数据处理与分析

采用 ArcGIS 软件制作样点分布图,采用 SPSS 软件进行正态检验( $P_{K-S} > 0.05$  表示样本数据呈正态分布)和差异分析。菜地土壤和蔬菜镉含量的综合超标率以及居民食用蔬菜的镉摄入量(DI)计算方法参见文献[4]。

2 结果与分析

2.1 菜地土壤镉含量特征

桂林市菜地土壤镉含量范围、中值、算术均值、标准差、几何均值分别为 0.056 ~ 17.350、0.624、1.193、1.917、0.696 mg · kg<sup>-1</sup>,几何标准差为 2.62,原数据呈典型的偏态分布 [ $P_{K-S} = 0.000$ ,图 2(a)],经对数转换后服从正态分布 [ $P_{K-S} = 0.484$ ,图 2(b)]。桂林市背景土壤的镉含量范围、算术均值、标准差、几何均值分别为 0.056 ~ 1.190、0.468、0.355、0.340 mg · kg<sup>-1</sup>,几何标准差为 2.35,数据呈正态分布 [ $P_{K-S} = 0.157$ ,图 2(c)]。

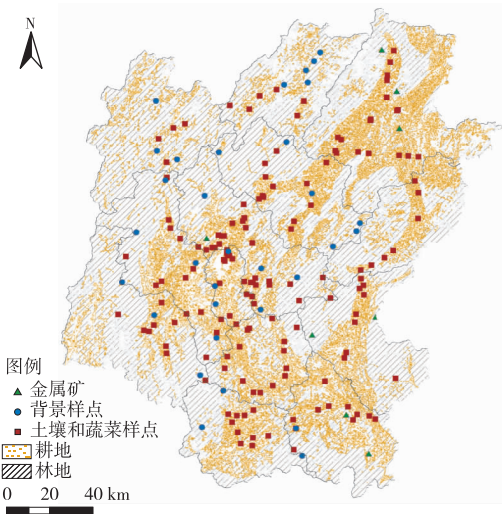


图 1 桂林市蔬菜与土壤采样点分布示意  
Fig.1 A sketch map of vegetable and soil sampling sites in Guilin

在采集蔬菜样品的同时采集菜地土壤样品 159 个,并在受人类活动影响较小的林地或山地采集 32 个土样作为背景样品(图 1)。菜地土样采用五点法

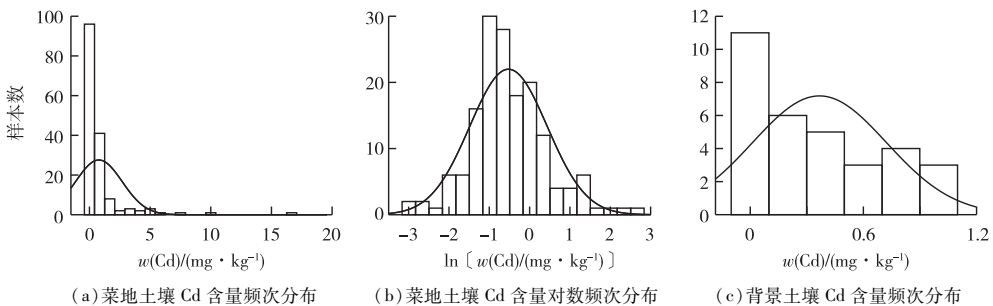


图 2 桂林市背景土壤和菜地土壤镉含量频次分布特征

Fig.2 Soil Cd background values and characteristics of Cd content distribution in vegetable fields of Guilin

与背景样点土壤镉含量相比较,桂林市菜地土壤镉含量表现出显著的累积效应( $P = 0.000$ ),平均

累积指数(菜地土壤镉含量与土壤镉背景值的比值)为 1.54。桂林地区土壤 pH 值为 4.4 ~ 5.7<sup>[9]</sup>,

与 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》中的农田土壤二级质量标准( $\text{pH}$  值  $< 6.5$ ) 和 HJ 332—2006《食用农产品产地环境质量评价标准》中的限量值( $0.30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 相比较, 桂林市菜地土壤镉含量的综合超标率为 85.7%。采用克里格插值法对桂林市菜地土壤镉含量的空间分布特征进行分析(图 3)。结果显示, 桂林市西北部和西南部一带菜地土壤镉含量较低, 而东北部和东南部地区相对较高, 尤其是恭城县中北部以及和阳朔交界处, 这与前人的研究结果<sup>[9]</sup> 相吻合。桂林矿产资源丰富, 矿种主要有铁矿、锰矿和铅锌矿等, 主要分布在桂林东北部的全州县荷叶界和长岗岭一带, 恭城县大湾、茶湾、水源、老厂和老山等区域以及和阳朔交界地带<sup>[10]</sup>, 金属矿的集中分布区域与土壤镉高含量区域基本吻合。

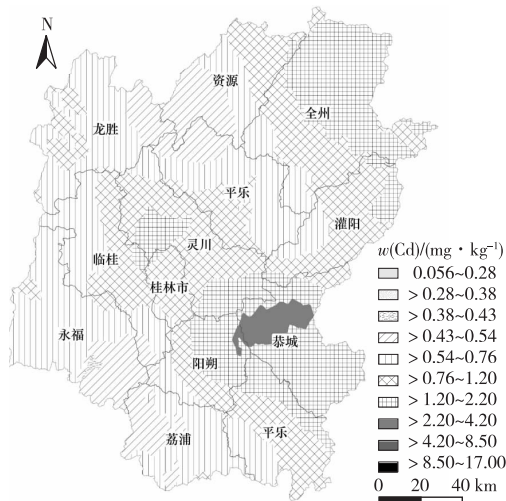


图3 桂林市菜地土壤镉含量空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of soil Cd content in garden soils of Guilin

## 2.2 蔬菜镉含量特征

从桂林市蔬菜镉含量的基本统计数据(表 1)来看, 除芹菜外, 其他各品种蔬菜平均镉含量均低于 GB 18406.1—2001《农产品安全质量无公害蔬菜安全要求》中的限量值(以鲜质量计) $0.05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 也低于 GB 2762—2005《食品中污染物限量标准》中的限量值(以鲜质量计): 根茎类蔬菜(除芹菜外) $0.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 叶菜、芹菜和食用菌类 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 其他蔬菜 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。但与《农产品安全质量无公害蔬菜安全要求》和《食品中污染物限量标准》相比, 蔬菜样品中分别有 179 和 28 个样品镉含量超标, 综合超标率分别为 31.6% 和 4.95%。可见, 采用不同的标准比较, 超标情况差异很大, 前一

标准相对较严。

桂林市各品种蔬菜镉含量经对数转换后均符合正态分布( $P_{K-S} > 0.05$ )。统计分析结果显示, 叶菜类蔬菜镉含量显著高于根茎类( $P = 0.000$ ) 和瓜果类蔬菜( $P = 0.000$ ), 而根茎类与瓜果类蔬菜镉含量差异不显著( $P = 0.168$ )。

## 2.3 不同品种蔬菜镉富集系数差异

蔬菜镉的富集系数是指蔬菜中镉含量与土壤中镉含量的比值<sup>[11]</sup>。镉富集系数越小, 则表明其吸收镉的能力越差, 抗镉污染能力越强<sup>[4]</sup>。由表 1 可知, 桂林市几种主要蔬菜的镉富集系数经对数转换后均符合正态分布。为比较各品种蔬菜的抗镉污染能力, 采用镉富集系数的几何均值进行层级聚类分析, 根据蔬菜镉富集系数的高低可将蔬菜分为 2 类: 生菜、油麦菜、豆类、菠菜、茼蒿、菜薹、莴笋、胡萝卜、芥菜、小白菜、辣椒和芹菜的镉富集系数较高, 划为 I 类; 花菜、韭菜、大白菜、大葱、芋头、豆苗、萝卜、菠菜、蕃茄和大蒜镉富集系数较低, 划为 II 类, 其可食部分对镉的累积能力较弱。在相同镉含量土壤条件下, 镉在 II 类蔬菜可食部分中的积累量较少; 即便是种植在镉含量相对较高的土壤中, 其可食部分的镉含量可能也不易超标。

统计分析表明, 叶菜类镉富集系数显著高于根茎类蔬菜( $P = 0.023$ ), 而其余各类型蔬菜间镉富集系数差异不显著。总体而言, 叶菜类蔬菜对镉的富集能力较强, 抗镉污染能力较弱, 这与前人的研究结果<sup>[4,12]</sup> 相似。

## 2.4 居民蔬菜镉摄入量及其食用安全性

广西城市居民人均蔬菜消费量为( $310.8 \pm 221.4$ )  $\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ <sup>[13]</sup>, 假设烹调不影响蔬菜镉含量, 参照文献<sup>[14]</sup>的推算方法, 对于成人(体质量以 55.9 kg 计)而言, 桂林市普通居民食用蔬菜的镉摄入量平均值为  $9.08 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ 。膳食为镉暴露的主要途径, 若考虑其他摄入途径, 广西普通人群膳食中蔬菜镉的贡献率约为 36%<sup>[15]</sup>。据此推算, 桂林市普通人群的膳食镉摄入量约为  $25.2 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ , 为世界卫生组织和美国环境保护署规定的成人镉最大允许摄入量(ADI 值,  $60 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ )<sup>[16-17]</sup> 的 42%。可见, 对于桂林市普通人群而言, 通过食用蔬菜摄入镉的量是安全的。采用 ADI 值进行反推, 当蔬菜镉含量高于  $70.3 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  时, 人体镉摄入量可能超标, 而笔者试验中这部分蔬菜样品占总样品数的 18.0%。但这是有前提的, 按照风险评估理论, 只有人群长期食用这种高污染物含量的食品时, 才可能产生潜在的健康风险, 但出现这种情况的概率较低。

表1 桂林市各品种蔬菜镉含量及富集系数

Table 1 Concentrations and enrichment coefficient of Cd in vegetables available in Guilin

蔬菜品种	含水量 $w/\%$	$w(\text{Cd})/(\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$				$P_{K-S}^{(1)}$	富集系数		$P_{K-S}^{(2)}$
		范围	中值	几何均值	标准差		几何均值	标准差	
叶菜类	94.2	0.09~663.2	35.3	34.1	2.72	0.009	0.056	3.24	0.095
大白菜 ( <i>Brassica campestris</i> ) <sup>3)</sup>	95.7	3.99~663.2	27.1	28.1	2.24	0.824	0.045	2.71	0.791
甘蓝 ( <i>Brassica caulorapa</i> ) <sup>4)</sup>	93.7	1.27~37.6	7.2	7.9	2.64	0.996	0.020	2.90	0.906
菠菜 ( <i>Spinacia oleracea</i> )	93.7	0.09~193.0	56.9	41.9	5.05	0.027	0.066	7.61	0.340
菜薹 ( <i>Brassica parachinensis</i> ) <sup>5)</sup>	93.7	7.28~168.1	36.2	38.2	1.95	0.975	0.068	1.95	0.941
大葱 ( <i>Allium fistulosum</i> )	94.4	7.38~304.0	26.2	32.9	2.77	0.589	0.047	3.39	0.645
芥菜 ( <i>Brassica juncea</i> )	95.0	15.0~135.8	52.0	46.6	2.12	0.926	0.080	2.52	0.869
韭菜 ( <i>Allium tuberosum</i> ) <sup>6)</sup>	93.8	8.69~241.8	27.0	30.1	2.76	0.935	0.038	3.47	0.984
生菜 ( <i>Romaine lettuce</i> )	96.6	19.4~323.3	48.9	49.9	1.89	0.989	0.072	2.37	0.876
大蒜 ( <i>Allium sativum</i> ) <sup>7)</sup>	89.9	0.09~356.9	35.9	29.6	4.94	0.395	0.029	6.68	0.914
茼蒿 ( <i>Garland chrysanthemum</i> )	92.6	5.67~144.6	26.2	29.6	2.72	0.989	0.064	6.01	0.999
青菜 ( <i>Brassica chinensis</i> ) <sup>8)</sup>	94.7	10.3~158.5	36.6	37.0	1.89	0.957	0.084	2.22	0.969
油麦菜 ( <i>Brassica campestris</i> ) <sup>9)</sup>	95.1	13.1~317.4	53.0	55.1	2.21	0.975	0.072	2.71	0.415
豆苗 ( <i>Bean sprouts</i> ) <sup>10)</sup>	92.5	1.34~58.3	10.3	9.7	3.77	0.988	0.021	2.17	0.811
根茎类	93.9	1.89~380.6	23.0	24.5	2.75	0.859	0.039	3.23	0.719
芹菜 ( <i>Apium graveolens</i> )	94.8	9.22~317.8	50.0	57.6	2.52	0.879	0.110	2.66	0.874
莴笋 ( <i>Lactuca sativa</i> ) <sup>11)</sup>	95.6	4.67~201.2	37.6	44.4	2.21	0.940	0.057	3.08	0.931
胡萝卜 ( <i>Daucus carota</i> )	94.1	15.5~380.6	12.0	13.3	2.31	0.493	0.081	3.14	0.764
萝卜 ( <i>Raphanus sativus</i> )	95.4	3.46~175.9	41.9	37.0	2.07	0.368	0.022	2.53	0.898
芋头 ( <i>Colocasia esculenta</i> )	75.9	20.3~329.2	28.8	46.9	2.80	0.758	0.050	1.44	0.999
瓜果类	85.5	1.61~245.6	21.6	17.2	3.48	0.717	0.044	3.01	0.828
花菜 ( <i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrytis</i> ) <sup>12)</sup>	91.4	3.65~52.0	18.5	16.1	2.26	0.788	0.041	2.09	0.625
辣椒 ( <i>Capsicum annuum</i> ) <sup>13)</sup>	73.7	5.58~245.6	43.3	42.2	2.48	0.991	0.103	1.82	0.970
蕃茄 ( <i>Lycopersicon esculentum</i> ) <sup>14)</sup>	95.7	9.07~47.2	21.0	21.2	1.70	0.910	0.013	1.95	0.957
豆类 <sup>15)</sup>	86.0	1.61~97.6	4.4	11.3	5.34	0.632	0.073	4.26	0.999
其他蔬菜 <sup>16)</sup>	92.0	1.65~317.1	27.8	20.7	3.60	0.092	0.052	4.02	0.876
全部蔬菜	93.3	0.09~663.2	29.4	29.2	2.86	0.053	0.050	3.25	0.421

蔬菜镉含量以鲜质量计。1) 镉含量经对数转换后的 Kolmogorov-Smirnov 正态检验结果,  $P_{K-S} > 0.05$  则呈正态分布; 2) 富集系数经对数转换后的 Kolmogorov-Smirnov 正态检验结果; 3) 白菜和大白菜; 4) 包菜、包心菜和橄榄包; 5) 菜花、红菜花、空菜花、老菜花、油菜花和大菜花; 6) 韭菜和黄牙白; 7) 大蒜、蒜头和蒜苔; 8) 小白菜、青菜和上海青; 9) 油麦菜和紫油麦菜; 10) 豌豆苗和豆苗; 11) 莴笋、红莴笋、绿莴笋、小莴笋和紫莴笋; 12) 白花菜、花菜和花椰菜; 13) 朝天椒和辣椒; 14) 蕃茄和小蕃茄; 15) 脆皮豆、刀豆、四季豆、甜豆、豌豆和长豆角; 16) 葱蒜、刺菜、大菜、苦叶菜、菜头、茄子、牛皮菜、冬笋、黄瓜、姜、老菜、莲藕、凉薯、萝卜菜、调羹菜、土豆、西兰花、西葫芦、苦瓜、香菜和紫贝菜。

### 3 讨论

桂林市菜地土壤镉超标率达 87.5%, 镉含量普遍偏高。首先, 这可能与桂林地区地质和土壤镉背景值较高有关。桂林地处南岭山系的西南部, 土壤类型以红壤为主, 主要成土母质是第四纪红壤和石灰岩, 桂东北地区第四纪红壤农业土壤耕作层和石灰岩母质镉含量范围分别为 2.542 ~ 3.854 和 0.258 ~ 2.514  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 平均值分别为 3.252 和 1.466  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[18]</sup>, 均高于全国绝大部分地区。笔者研究所得桂林土壤镉含量背景值为 0.340  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 与已有文献中报道的广西土壤背景值(0.267  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[9]</sup> 比较接近, 但远高于全国(0.097  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[19]</sup> 和广东省(0.09  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[20]</sup> 土壤镉背景值, 也明显高于北京市(0.119  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[21]</sup>、南宁

市(0.0845  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[22]</sup>、兰州市(0.14  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[5]</sup> 和嘉兴市(0.120  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[23]</sup> 的土壤镉背景值。其次, 可能与局部地区存在明显的镉污染源有关, 这也是造成桂林市菜地土壤出现显著镉累积效应的主要原因。在调查过程中发现, 个别样点土壤镉含量严重超标, 其中灵川县的定江烧煤余物地和恭城县栗木镇矿区的土壤镉含量分别超过标准 58 和 34 倍。

与其他地区相比, 桂林市蔬菜镉含量均值(29.2  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )与东莞市蔬菜镉含量均值(27.0  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[24]</sup> 接近, 低于长沙市郊(49.0  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[25]</sup>、埃及市郊(40  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[26]</sup> 和津巴布韦哈拉雷市郊(200  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[27]</sup> 以及青岛市售蔬菜(61.0  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[6]</sup> 的镉含量均值, 但远高于北京市蔬菜镉含量均值(12.8  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[4]</sup>。以食用蔬

菜的人均镉摄入量进行比较,桂林市( $9.08 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ )略高于全国平均水平( $6.7 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ )<sup>[15]</sup>,低于南宁( $20 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ )<sup>[28]</sup>、埃及( $20 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ )和美国( $18 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ ),与英国( $14 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ )和加拿大( $13 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ )<sup>[29]</sup>大致相当。

## 4 结论

桂林市菜地土壤出现显著的镉累积效应,土壤和蔬菜镉含量均存在一定的超标现象,超标率分别为85.5%和4.95%。因此,在镉含量较高的土壤中应尽量避免种植生菜、油麦菜、豆类、菠菜、茼蒿、菜薹、莴笋、胡萝卜、芥菜、小白菜、辣椒和芹菜等镉富集系数较高的蔬菜。桂林市居民通过食用蔬菜的人均镉摄入量为 $9.08 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ ,对普通人群而言,这一镉摄入量是安全的。

## 参考文献:

[1] 陈怀满,郑春荣,陈英旭,等.土壤-植物系统中的重金属污染[M].北京:科学出版社,1996:131.

[2] 黄春雷,陈国锋,宋金秋,等.典型固废拆解区土壤Cd、Cu含量特征及其对农产品安全的影响[J].生态与农村环境学报,2011,27(2):1-5.

[3] 许中坚,邱喜阳,刘文华,等.复合污染条件下莴苣对Zn、Cd的吸收与富集[J].生态与农村环境学报,2008,24(2):71-75.

[4] 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.

[5] 张伯尧,郑华平,张仁陟.兰州市菜地土壤和蔬菜镉含量及其健康风险分析[J].甘肃农业大学学报,2009,44(6):112-116.

[6] 钱翌,刘峥延,杨立杰.青岛市蔬菜重金属污染及铅、镉健康风险评估[J].中国农学通报,2011,27(22):176-181.

[7] EPA. Acid Digestion of Sediments Sludge and Soils EPA 3050B [EB/OL]. (1996-12) [2012-02-01]. <http://www.epa.gov/sam/pdfs/EPA-3050b.pdf>.

[8] 杨惠芬,李明元,沈文.食品卫生理化检验标准手册[M].北京:中国标准出版社,1998:121.

[9] 广西环境保护科学研究所.土壤背景值研究方法及其广西土壤背景值[M].南宁:广西科学技术出版,1992:125.

[10] 地质部广西地质局.桂林矿产图(1:20万)/报告[R].北京:地质部编译出版社,1969.

[11] 陈同斌,韦朝阳,黄泽春,等.砷超富集植物蜈蚣草及其对砷的富集特征[J].科学通报,2002,47(3):207-210.

[12] 沈彤,刘明月,贾来,等.长沙地区蔬菜重金属污染初探[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2005,31(1):87-90.

[13] 葛可佑.90年代中国人群的膳食和营养状况:第二卷 儿童青

少年分册(1992年全国营养调查)[M].北京:人民卫生出版社,1999:110-112.

[14] 郑娜,王起超,郑冬梅.基于THQ的锌冶炼厂周围人群食用蔬菜的健康风险分析[J].环境科学学报,2007,27(4):672-678.

[15] 高俊全,李筱薇,赵京玲.2000年中国总膳食研究:膳食铅、镉摄入量[J].卫生研究,2006,35(6):750-754.

[16] FAO/WHO. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives [EB/OL]. (2003-06) [2012-02-01]. <ftp://ftp.fao.org/es/esn/jecfa/jecfa61sc.pdf>.

[17] EPA. Integrated Risk Information System, Cadmium (CASRN744024329) 1994 [EB/OL]. [2012-02-01]. <http://www.epa.gov/iris/subst/0141.htm>.

[18] 郑武.广西桂东北地区农业土壤环境若干重金属元素背景值的调查[J].农村生态环境,1993,9(4):39-44.

[19] 中国环境监测总站.中国土壤元素背景值[M].北京:中国环境科学出版社,1990:91-378.

[20] 广东省环境监测中心站.广东省土壤环境背景值数据集[M].北京:中国环境科学出版社,1990:120.

[21] 陈同斌,郑袁明,陈煌,等.北京市土壤重金属含量背景值的系统研究[J].环境科学,2004,25(1):117-122.

[22] 秦波,白厚义,陈秀娟,等.南宁市郊菜园土壤重金属污染评价[J].农业环境科学学报,2006,25(增刊1):45-47.

[23] 洪春来,黄锦法,叶正钱,等.嘉兴市蔬菜土壤重金属含量的初步调查分析[J].农业环境与发展,2009(1):76-79.

[24] 蔡立梅,马瑾,周永章,等.东莞市农田土壤和蔬菜重金属的含量特征分析[J].地理学报,2008,63(9):994-1003.

[25] 李明德,汤海涛,汤睿,等.长沙市郊蔬菜土壤和蔬菜重金属污染状况调查及评价[J].湖南农业科学,2005(3):34-36.

[26] RADWAN M A, SALAMA A K. Market Basket Survey for Some Heavy Metals in Egyptian Fruits and Vegetables [J]. Food and Chemical Toxicology, 2006, 44(8):1273-1278.

[27] MAPANDA F, MANGWAYANA E N, NYAMANGARA J, et al. Uptake of Heavy Metals by Vegetables Irrigated Using Wastewater and the Subsequent Risks in Harare, Zimbabwe [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2007, 32(15/16/17/18):1399-1405.

[28] CUI Yu-jing, ZHU Yong-guan, ZHAI Ri-hong, et al. Exposure to Metal Mixtures and Human Health Impacts in a Contaminated Area in Nanning, China [J]. Environment International, 2005, 31(6):784-790.

[29] ALAM M G, SNOW E T, TANAKA A. Arsenic and Heavy Metal Contamination of Vegetables Grown in Samta Village, Bangladesh [J]. The Science of the Total Environment, 2003, 308(1/2/3):83-96.

作者简介:宋波(1972—),男,湖南溆浦人,副教授,博士,主要从事污染土壤修复、区域环境调查与风险评估研究。E-mail: songbo.china@163.com