

调查研究

广东省居民主要膳食镉暴露风险的初步评估

王桂安^{1,2},梁春穗²,黄琼²,闻剑²,胡曙光²,李海²,戴昌芳²,王立斌²,张永慧²,杨杏芬²

(1. 暨南大学医学院,广东 广州 510632;2. 广东省疾病预防控制中心,广东 广州 510300)

摘要:目的 分析主要食物中镉含量水平,对广东省居民通过膳食途径暴露镉的健康风险进行初步的评估。方法 2009年在全省21地市采集15类食物共2200份,用石墨炉原子吸收光谱法测定食物中镉的含量,结合居民膳食消费数据,比照镉的暂定每月耐受摄入量(PTMI)及安全限值(MOS)初步评估广东省居民主要食物的镉暴露风险。结果 15类食物中紫菜中镉含量最高,为1830.0 μg/kg。城乡居民通过大米、蔬菜类、鱼虾类、动物内脏类四类食物每月膳食镉暴露量分别为1314.6和1394.3 μg。大米对城市和农村居民膳食镉的贡献率最高,分别为50.1%和64.9%,且以粤北地区最高。结论 主要食品对居民膳食镉的平均贡献水平未超过PTMI值,MOS值大于1,居民膳食镉暴露水平总体上安全。由于我国南方地区居民大米的消费量大及其对居民膳食镉贡献率最高,有必要加强大米可能的镉污染问题研究,并从源头上预防污染。

关键词:食品安全;食品污染物;镉;暴露评估

中图分类号:R155.5 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2012)04-0353-05

Preliminary risk assessment on the dietary exposure of Cd in Guangdong residents

Wang guian, Liang Chunsui, Huang Qiong, Wen Jian, Hu Shuguang,

Li Hai, Dai Changfang, Wang Libin, Zhang Yonghui, Yang Xingfen

(Medical College of Jinan University, Guangzhou Guangdong 510632, China)

Abstract: Objective To analyze the cadmium level of main food, and preliminarily assess the risk of dietary cadmium exposure of people in Guangdong province. **Methods** In 2009, 2 200 samples of 15 food groups were collected from 21 cities of the province. Cadmium contents in food were determined by using graphite furnace atomic absorption method and then the cadmium exposure from main food was estimated by combining the concentration of cadmium in foods with food consumption data. The health risk was assessed by comparing the cadmium exposure with provisional tolerable monthly intake (PTMI) and the margins of safety (MOS) of cadmium. **Results** The concentration of cadmium in seaweed was 1830 μg/kg, which was the highest among the 15 food groups being tested. Rice, vegetable, fish, shrimp and animal offal contributed totally 1314.6 and 1394.3 μg cadmium exposure per month in urban and rural residents respectively. Rice, as a most important contributor, contributed 50.1% and 64.9% to the total dietary cadmium exposure of urban and rural residents, respectively, and contributed more in the north of Guangdong Province. **Conclusion** The average dietary cadmium exposure from the main food did not exceed the PTMI, and the MOS is bigger than 1, so the level of dietary cadmium exposure is safe in general. However, based on the big consumption of rice in southern China and the high contribution rate of rice to dietary cadmium exposure, more attention should be paid to the possible cadmium contaminated rice to prevent the source of pollution.

Key words: Food safety; food contaminants; cadmium; exposure assessment

镉是人体非必需微量元素,广泛存在于环境中。镉具有生物富集性,容易在某些植物和动物体

内富集,并通过生物链最终进入人体。镉的半衰期长达10~35年^[1],长期接触可引起人体产生慢性中毒。既往大量的科学研究已证实镉是多器官损害毒物,可引发肾、肝、肺等多个实体器官损伤,并具有致癌和致畸作用。1993年国际肿瘤研究中心(IARC)将镉定为确证的人类致癌物质。欧盟、经济合作与发展组织(OECD)也将镉列为潜在的致畸物。

人体可通过食物、水、空气和吸烟等多途径接触镉。除职业暴露和吸烟者外,普通人群体内的镉

收稿日期:2012-05-11

基金项目:广东省科技计划项目(20090320);广东省自然科学基金(S2011010004984)

作者简介:王桂安 男 硕士生 研究方向为食品安全与营养流行病学

通信作者:杨杏芬 女 教授 博士 研究方向为食品安全风险评估 E-mail: yangxingfen@21cn.com

梁春穗 男 主任技师 研究方向为食物化学检验

主要来自于食物^[2-3]。20世纪初日本富川县出现的环境公害病“痛痛病”就是由于患者食用了镉含量严重超标的水稻所致。

食物中镉是世界卫生组织(WHO)列入重点监控的食物污染物之一。广东省既往对食物污染物监测发现,主要食物中镉含量有一定比例的超标^[4]。本研究拟通过在广东省21个地市进行的横断面调查采样,分析广东省主要食物镉含量水平,并结合居民食物消费数据,分析主要食物对居民膳食镉暴露的贡献水平,为系统开展食物中镉的健康危害风险评估提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 食物中镉含量调查

1.1.1 食物来源

2009年10—11月,在广东省21个地级市(包括市区与农村食杂店、集贸市场、大中型超市、批发市场、餐饮店)采集四大类(主要包括大米、蔬菜类、鱼虾类、动物内脏)15小类(大米、海水鱼、淡水鱼、软体类、甲壳类、根茎类蔬菜、叶类蔬菜、皮蛋、猪肝、猪肾、茶叶、海带、紫菜、鲜食用菌、干食用菌)食物共2200份。将叶类蔬菜和根茎类蔬菜归类为蔬菜类,将海水鱼、淡水鱼、软体类动物及甲壳类动物等归类为鱼虾类,将猪肝、猪肾等归类为动物内脏类。大米在每个地级市各采集20份,共420份,城市市场和农村市场的采样比例为5:3。其他类食物来自全省27个食物化学污染物监测地区,覆盖全省21个地级市中心城区及分布在东、西、北5个县级市以及广州市下辖区1个。进行区域性分析时,将广东省21个地级市按地理位置划分为4个区域,韶关、清远作为粤北地区,梅州、河源、惠州、潮州、汕头、汕尾、揭阳作为粤东地区,云浮、肇庆、阳江、茂名、湛江作为粤西地区,江门、中山、珠海、广州、佛山、东莞、深圳作为珠三角地区。

大米采集市售各品种大米,海水鱼重点监测带鱼和鲳鱼等,淡水鱼重点监测鲫鱼、鲢鱼、罗非鱼、草鱼、鳙鱼等,软体类重点监测鱿鱼、牡蛎、文蛤、扇贝、螺等,甲壳类重点监测蟹和虾,叶类蔬菜重点监测芥菜、菠菜、生菜、韭菜、白菜、菜心、油麦菜等,根茎类蔬菜重点监测白萝卜、红萝卜、马铃薯、芹菜等,茶叶为绿茶、红茶、乌龙茶等。

1.1.2 检测方法

依据GB/T 5099.15—2003《食物中镉的测定方法》^[5]采用石墨炉原子吸收光谱法检测样品中的镉含量,临界值和超标食物用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)进行复核测定。

1.1.3 质量控制

蔬菜及水产品等样品采集后迅速置于2~8℃的保温箱内,于当地实验室进行样品前处理,并冷冻运输尽快送省疾控中心实验室测定。实验过程的质控措施包括平行双样、标准物质法和加标回收试验,确保检测数据的准确性。

1.1.4 主要试剂和仪器

美国Varian AA—220Z型塞曼效应石墨炉原子吸收光谱仪。纯水(18 MΩ·cm),硝酸(GR),基体改进剂:氯化钡(GR),磷酸二氢铵溶液(20 g/L):称取2.0 g磷酸铵,以水溶解稀释至100 ml。

1.1.5 检测结果的评价

依据GB 2762—2005《食物中污染物限量标准》^[6]对样品中镉的含量进行评价。

1.2 膳食消费量计算

2002年,进行了广东省居民营养与健康状况调查,在农村通过使用称重法和记账法收集3天内住户详细的食物消费量数据。开始调查前称量家庭结存的食物(包括库存、厨房、冰箱中的所有食物),详细记录每日购入的各种食物量和每日各种食物的废弃量,调查结束后称量剩余的食物,登记家庭调查时每日每餐的进餐人数和进餐人的性别、年龄、劳动强度及生理状态,获得成人平均每日(成人按60 kg)食物摄入量。在城市用3天24小时回顾法记录家庭每种食物的膳食消费量并用称重法对调味品进行称重,获得成人平均每日食物摄入量。本研究依据《广东省居民膳食营养与健康状况研究》中的膳食消费量数据展开^[7]。

1.3 暴露评估方法

采用点评估方法,慢性暴露评估常用的模型为

$$\text{EXP} = \sum_{k=1}^p \frac{X_k C_k}{bw} \times f, \text{其中 } X_k \text{ 为第 } k \text{ 类食品的消费量, } C_k \text{ 为第 } k \text{ 类食品中镉的含量, } p \text{ 为消费的食品种类的数目, } bw \text{ 为被评估人群的平均体重, } f \text{ 为加工因子,本研究中没有考虑食物加工过程中镉含量的变化,取 } f=1. \text{ 由于本研究的目标人群是成人(体重按 } 60 \text{ kg), 结合 } 2010 \text{ 年 } \text{FAO/WHO} \text{ 食物添加剂联合专家委员会(JECFA)修订的镉的暂定每月允许摄入量(PTMI)为 } 25 \mu\text{g/kg Bw}^{[8]}, \text{ 每人每月镉的耐受摄入量(PTMI-60kg)为 } 1500 \mu\text{g}, \text{ 在评估过程中暴露量也以每人每月 } 30 \text{ 天膳食镉暴露量进行评估, } \text{EXP}' = \sum_{k=1}^p X_k C_k \times 30.$$

计算不同类别及主要膳食镉的安全限值(margins of safety, MOS)^[9]并进行初步风险评估,

$$\text{MOS} = \frac{\text{PTMI}}{\text{EXP}'}. \text{ MOS} > 1, \text{ 该物质对食品安全的风险}$$

是可以接受的; $MOS \leq 1$, 该物质对食品安全影响的风险超过了可以接受的限度, 应当采取适当的风险管理措施。

1.4 数据录入及统计分析

采样登记表和实验室检测数据用 EPIDATA 3.1 软件双录入, 由专人核对数据输入的准确性。用 SPSS 16.0 软件对主要食物中镉含量进行统计分析, 运用描述性统计中的交叉表计算超标率等。

2 结果

2.1 2009 年广东省 15 种食物中的镉含量水平

2009 年广东省 15 种食物的镉含量见表 1, 各种食物中以紫菜、干食用菌、海带、软体类动物及猪肾的镉均含量较高, 分别为 1830.0、576.9、330.5、302.3、288.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 甲壳类食品中镉平均含量为 123.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 其他各类食品中镉含量均低于 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。15 种食品中镉含量的中位数均高于其平均值, 不同种类食物中镉含量差异较大。各类食品中

干食用菌的超标率最高为 44.4%, 146 份海水鱼中镉含量均未超标。

2.2 广东省城乡居民主要膳食镉暴露风险评估

对样品进行聚类, 以各类食物中镉含量的中位数, 结合 2002 年广东省居民膳食营养与健康状况调查数据^[7]进行估计。表 2 提示, 广东省城乡居民主要食物每月膳食镉平均暴露水平农村(1 394.3 μg)略高于城市(1314.6 μg)。大米和蔬菜是消费量比较高的食物, 两类食物合计对城乡居民主要食物镉暴露的贡献率均超过 70%。广东是以大米为主食的地区, 大米对居民膳食镉的贡献率高于 50%, 且大米对农村居民(64.9%)膳食镉贡献率高于城市(50.1%)。

结合 PTMI 值对居民膳食镉暴露风险进行初步评估(表 2)。结果显示, 城市和农村居民每月四类主要食物镉暴露量 P50 值分别为 722.3 μg 和 917.3 μg , 均未超过 PTMI-60 kg(1 500 μg), MOS 值分别为 2.1 和 1.6。

表 1 2009 年广东省 15 种食物中镉含量

Table 1 Cadmium content of 15 kinds of food in Guangdong Province in 2009

食物种类	n	$\bar{x} \pm s$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	P50 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	P97.5 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	最大值 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	限量标准 ^① ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	超标率 (%)
大米	420	77.5 \pm 63.0	66.0	227.8	475.0	200	2.6
海水鱼	146	5.8 \pm 8.4	3.0	36.0	52.0	100	0.0
淡水鱼	177	14.0 \pm 105.6	1.8	66.6	1393.0	100	1.1
软体类	174	302.3 \pm 912.0	74.0	3380.0	8110.0	100	5.2
甲壳类	114	123.1 \pm 276.3	12.0	1330.0	1490.0	500	6.1
根茎类蔬菜	80	13.0 \pm 24.0	6.5	63.5	198.0	100	1.2
叶类蔬菜	251	44.6 \pm 177.0	15.7	278.2	2647.0	200	3.2
皮蛋	173	9.9 \pm 31.7	0.8	126.5	270.0	50	4.0
猪肝	82	98.2 \pm 174.4	40.0	660.0	1040.0	500	6.1
猪肾	90	288.2 \pm 483.5	214.5	892.0	4400.0	1000	1.1
茶叶	100	68.8 \pm 115.5	38.5	432.8	898.0	— ^②	—
海带	90	330.5 \pm 416.1	178.0	1728.0	2180.0	—	—
紫菜	86	1830.0 \pm 1355.5	1731.0	4845.7	6310.0	—	—
鲜食用菌	93	88.8 \pm 205.1	23.0	976.7	1200.0	200	10.8
干食用菌	124	576.9 \pm 1683.7	129.0	3211.0	17590.0	200	44.4

注:①限量标准依据 GB 2762—2005;②—表示没有相关标准;③按照 2000 年 WHO 推荐方法, 当有小于 60% 的结果低于检出限 (LOD) 时, 所有小于 LOD 的结果以 1/2 LOD 计算^[10]。

表 2 2009 年广东省城乡居民每月主要膳食镉暴露风险评估

Table 2 Risk assessment of monthly dietary cadmium exposure from major foods of urban and rural residents in Guangdong Province

食物种类	城市					农村				
	平均消费量 (g/月)	镉含量 P50 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	暴露量 ($\mu\text{g}/\text{月}$)	占主要食物镉暴露量 (%)	MOS	平均消费量 (g/月)	镉含量 P50 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	暴露量 ($\mu\text{g}/\text{月}$)	占主要食物镉暴露量 (%)	MOS
大米	8721.0	64.0	558.1	50.1	2.7	11151.0	70.0	780.6	64.9	1.9
蔬菜类	9414.0	13.0	122.4	26.5	12.3	8214.0	13.0	106.8	21.8	14.0
鱼虾类	2124.0	5.9	12.5	18.5	120.0	1170.0	5.9	6.9	9.6	217.4
动物内脏类	327.0	89.6	29.3	4.9	51.2	258.0	89.6	23.1	3.7	64.9
合计	20586.0	35.1	722.3	100.0	2.1	20793.0	44.1	917.3	100.0	1.6

注:①消费量数据引自《2002 年广东省居民膳食营养与健康状况研究》^[7];②镉含量数值为各大类食物中镉的中位数含量;③暴露量 = 消费量 \times 镉含量;④ $MOS = PTMI \div$ 暴露量。

表3 2009年广东省不同区域居民每月大米膳食镉暴露风险评估
Table 3 Risk assessment of monthly rice dietary cadmium exposure in different areas of Guangdong Province

地区	城乡	P50			P97.5			
		镉含量(μg/kg)	暴露量(μg/月)	MOS	镉含量(μg/kg)	暴露量(μg/月)	MOS	超过 PTMI 比例(%)
粤西	城市	48.0	418.6	3.6	224.1	1954.4	0.8	5.4
	农村	71.0	791.7	1.9	408.0	4549.6	0.3	6.2
粤东	城市	70.0	610.5	2.5	230.8	2012.8	0.7	6.2
	农村	77.0	858.6	1.7	309.0	3445.7	0.4	20.0
粤北	城市	126.5	1103.2	1.4	283.0	2468.0	0.6	23.1
	农村	99.5	1109.5	1.4	475.0	5296.7	0.3	28.6
珠三角	城市	71.0	619.2	2.4	190.7	1663.1	0.9	6.5
	农村	59.0	657.9	2.3	265.6	2961.7	0.5	14.9

注:①暴露量=平均消费量×镉含量(P50或P97.5);②消费量数据引自《2002年广东省居民膳食营养与健康状况研究》^[7]城市和农村居民每月大米平均消费量分别为8 721.0 g、11 151.0 g。

2.3 2009年广东省不同区域居民大米镉暴露风险

按区域对大米镉含量及其暴露量进行比较,从表3可以看出,镉含量P50和P97.5对应的粤西、粤东、粤北及珠三角四个地区居民对大米中镉的暴露水平差异较大,且农村居民对大米中镉的暴露量均高于城市。P50对应的对大米中镉的暴露水平以粤北地区最高,城乡分别为1 103.2μg/月和1 109.5μg/月,但各地区的暴露水平MOS值均大于1。P97.5对应的各地区都有一定比例的人群对大米中镉的暴露量超过PTMI值,MOS值均小于1,其中粤北地区农村居民对大米中镉的暴露量超过PTMI的比例为28.6%,高于其他各地区。

3 讨论

普通人群可通过环境中多种途径接触镉。以往对国内外不同人群的调查结果均显示无论是镉污染区还是非镉污染区,膳食暴露是人群镉暴露的主要来源^[11-13]。本课题组既往对广东省江门地区进行的镉风险评估结果也显示,环境镉暴露的主要来源是膳食暴露(占99.94%),大气和饮用水镉暴露所占比例极小,分别为0.05%和0.01%^[14]。因此普通居民的膳食镉暴露量大致相当于其环境镉接触总量。

3.1 对膳食镉暴露量贡献率高的食物

食物中的镉含量是影响居民膳食镉暴露水平的重要因素。不同种类食物可通过生物富集作用从其生长环境中富集镉,紫菜、海带和软体类动物等海产品中镉含量较高,可能与其生活的海水中镉含量较高及生物体本身的生物富集作用有关。肾脏是镉在动物体内蓄积的主要场所,因此猪肾中的镉含量也较高。大米可直接从土壤中吸收镉。本研究中广东省大米镉平均含量低于2003—2004年全国16个省(市)、自治区食物污染监测的大米中镉含量水平^[15]。

居民对膳食中镉的暴露量不仅与食物中镉的

含量有关,也与某种食物的消费量关系密切。2000年进行的全国总膳食研究结果显示,高消费量的谷类(33.3%±1.4%)、蔬菜(27.3%±2.0%)和水产类(19.6%±1.9%)三类食物对居民膳食中镉的暴露贡献了80%左右^[16]。根据居民膳食消费和食物中镉含量水平,将膳食消费量高和/或镉含量水平高的食物聚为四类,其中大米对城市和农村居民膳食中镉的贡献率分别占其主要食物中镉暴露水平的50.1%和64.9%,蔬菜对城市和农村居民膳食中镉的贡献率分别占主要食物中镉暴露水平的26.5%和21.8%。这与2010年JECFA报告中^[17]大米和蔬菜对我国普通居民总膳食中镉的平均贡献率(32%和25%)最高的结论基本一致,但大米对广东省居民膳食中镉暴露水平的贡献率要更高。

3.2 城乡居民主要食物中镉的暴露量

进行城乡居民不同种类食物镉暴露水平分析发现,农村居民对膳食中镉的暴露水平高于城市,主要由于城乡居民的膳食结构有差异,农村居民对大米的消费量高于城市,大米对农村居民膳食中镉的贡献水平也高于城市。

3.3 不同区域居民对大米中镉的暴露量

广东省是以大米为主食的地区,大米中镉含量水平能显著影响居民对膳食中镉的暴露水平。本研究中大米对城乡居民膳食中镉的贡献率均占四类主要食品对居民膳食中镉的贡献水平的一半以上。进一步分析可发现,不同地区大米中的镉对居民膳食中镉暴露的贡献率差别较大,粤北地区居民对大米中的镉暴露量高于其他地区,其次为粤东农村地区。这可能与环境因素有关,粤北地区是天然高镉本底区,其环境中镉含量高于广东省其他地区。粤北地区多铅锌矿,在矿物开采过程中可能会产生镉,进一步污染环境。

3.4 主要食物的镉暴露风险及评估结论

广东省普通居民通过大米、蔬菜类、鱼虾类和

动物内脏四类食物对镉的暴露水平总体上是安全的,农村居民膳食中的镉暴露水平高于城市。大米和蔬菜是影响膳食中镉暴露水平的主要食物,某些食用高镉含量大米的人群其镉暴露风险较高,粤北地区的高镉摄入人群健康风险应受到关注。

3.5 评估结果的不确定性分析

本研究中食物消费量数据来源于2002年广东省居民营养调查中的膳食消费量调查结果,距今已经有10年时间,期间居民膳食消费模式的变化等因素都可能对评估结果带来偏倚;另外,本研究主要针对膳食消费量高及镉含量高的食物进行评估,将主要食物归为四类,未考虑紫菜等镉含量高但消费水平低的食物,一定程度上可能低估了居民膳食总镉暴露水平。未充分考虑生物利用率的问题,检测食物中镉含量时未经烹调、蒸煮等过程,未考虑食品加工过程中镉含量的可能变化,评估结果存在一定不确定性。

3.6 本研究的局限性

本研究食物消费量数据来源于2002年广东省膳食消费量调查,未开展针对此次评估进行专项的膳食消费量调查,造成部分种类食品膳食消费量数据不完整,数据时效性也有一定局限。

3.7 建议

虽然镉在外环境中的含量一般较低,但是作为具有蓄积性的重金属,其通过食物链的富集作用可在人体内达到有害浓度^[18]。人体一旦受到镉的损害将很难恢复,因此密切关注食物中镉污染问题十分必要。大米是广东省人群高消费量食物,其镉含量水平影响居民膳食镉暴露风险,因此应加强对大米等主粮中镉的监测,开展精确的居民膳食镉暴露的风险评估,及时了解米镉对居民健康影响的风险,为国家修订食物中镉含量限值标准及采取有效措施从源头减少食物镉污染提供科学依据。

参考文献

- [1] SATARUG S, BAKER J R, REILLY P E B, et al. Evidence for a synergistic interaction between cadmium and endotoxin toxicity and for nitric oxide and cadmium displacement of metals in the kidney [J]. Nitric Oxide, 2000, 4: 431-440.
- [2] FRIEDMAN L S, LUCKYANOVA E M, KUNDIEV Y I, et al. Anthropometric, environmental, and dietary predictors of elevated blood cadmium levels in Ukraine ELSPEC group [J]. Environ Res, 2006, 102: 83-89.
- [3] NAWROT T, PLUSQUIN M, HOGERVORST J, et al. Environmental exposure to cadmium and risk of cancer: a prospective population-based study [J]. Lancet Oncol, 2006, 7: 119-126.
- [4] 梁春穗, 邓峰, 黄伟雄, 等. 广东省食物化学污染物的网点监测与动态分析 [J]. 中国食品卫生杂志, 2003, 15(5): 395-398.
- [5] 卫生部. GB 5009.15—2003 食品中镉的测定法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [6] 卫生部. GB 2762—2005 食品中污染物限量 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [7] 马文军. 2002年广东省居民膳食营养与健康状况研究 [M]. 广州: 广东人民出版社, 2004: 111.
- [8] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Summary and conclusions of the seventy-third meeting of joint FAO/WHO Expert committee on Food additives [R]. Geneva: FAO/WHO, 2010: 1-17.
- [9] OECD SIDS. Isocyanuric acid [M]. Paris: UNEP, 1999.
- [10] 王绪卿, 吴永宁, 陈君石. 食物污染监测低水平数据处理问题 [J]. 中华预防医学杂志, 2002, 36(4): 278-279.
- [11] NOGAWA K, KOBAYASHI E, OKUBO Y, et al. Environmental cadmium exposure, adverse effects and preventive measures in Japan [J]. BioMetals, 2004, 17: 581-587.
- [12] IKEDA M, EZAKI T, TSUKAHARA T, et al. Threshold levels of urinary cadmium in relation to increases in urinary beta-microglobulin among general Japanese populations [J]. Toxicol Lett, 2003, 137: 135-141.
- [13] 金泰翼, 雷立健, 常秀丽. 镉接触健康效应危险度评价 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2006, 5(24): 1-2.
- [14] 丁鸿, 杨杏芬. 广东省某市城区居民环境镉污染的暴露评估及基准剂量研究 [D]. 广州: 中山大学公共卫生学院, 2008.
- [15] 王茂起, 刘秀梅, 王竹天. 中国食品污染监测体系的研究 [J]. 中国食品卫生杂志, 2006, 18(6): 491-496.
- [16] 张磊, 高俊全, 李筱薇. 2000年中国总膳食研究—不同性别年龄组人群膳食铅、镉摄入量 [J]. 卫生研究, 2008, 37(3): 338-342.
- [17] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Summary and conclusions of the seventy-third meeting of joint FAO/WHO Expert committee on Food additives [R]. Geneva: FAO/WHO, 2010: 352.
- [18] 丁鸿, 杨杏芬. 环境镉危害早期健康效应风险评估的研究进展 [J]. 国外医学卫生学分册, 2007, 34(5): 279-282.