

# 广东省居民重点食品中铅、镉的含量及暴露情况的评估

蔡文华<sup>1</sup> 苏祖俭<sup>1</sup> 胡曙光<sup>1,2</sup> 黄伟雄<sup>1</sup> 许秀敏<sup>1</sup> 黄湘东<sup>1</sup>

1. 广东省疾病预防控制中心国家食品安全风险监测重金属参比实验室 广东 广州 511430;

2. 中山大学生命科学院 广东 广州 510275

**摘要:** 目的 采用中国总膳食研究方法,运用 2007 年-2014 年广东省重金属污染监测工作所采集的各类居民日常食品中的铅、镉检测数据,评估广东省居民膳食中铅、镉的暴露情况。方法 测定广东省各市 7 类重点食品中的铅、镉含量,计算居民铅的暴露边界比和镉的每月摄入量,并以此作为评价标准。结果 广东省各类重点食品中铅、镉的总体均值分别为 0.104 mg/kg 和 0.110 mg/kg,超标率分别为 5.7% 和 11.0%。人群中铅的暴露边界比为 2.46~140.00;镉的每月摄入量为 0.01  $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw})$ ~20.90  $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw})$ ,占镉暂定每月可耐受摄入量的 0.04%~83.00%。但粤北地区人群食用大米镉的每月摄入量达到 31.2  $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw})$ ,占镉暂定每月可耐受摄入量的 125%。结论 广东省各类食品人群的铅、镉摄入量基本处于安全水平,但对于粤北地区的部分食品蕴藏着一定的人群镉暴露风险,值得警惕。

**关键词:** 暴露评估; 铅; 镉; 居民重点食品

中图分类号: R155.5

文献标识码: B

文章编号: 1004-8685(2015)14-2388-05

## Assessment of the content and exposure of lead and cadmium in the major food of Guangdong residents

CAI Wen-hua<sup>\*</sup>, SU Zu-jian, HU Shu-guang, HUANG Wei-xiong, XU Xiu-min, HUANG Xiang-dong

<sup>\*</sup> Reference Laboratory of Heavy Metals of National Food Safety Risk Monitoring, Centre for Disease Control and Prevention of Guangdong Province, Guangzhou, Guangdong 511430, China

**Abstract: Objective** The lead and cadmium detection data collected by heavy metal pollution monitoring institute in Guangdong province from 2007 to 2014, and assessment of the content and exposure of lead and cadmium in the major food in Guangdong residents was conducted with the method of China total diet study. **Methods** The contents of lead and cadmium in seven kinds of major food in Guangdong were measured. The margin of exposure (MOE) of lead and estimated monthly intake (EMI) of cadmium were worked out as evaluation criteria. **Results** The average contents of lead and cadmium in foods were 0.104 mg/kg and 0.110 mg/kg and the over limit rate were 5.7% and 11.0%. The MOE of lead of Guangdong residents was estimated to be 2.46-140.00. The EMI of cadmium ranged from 0.01  $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw})$  to 20.90  $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw})$ , which were 0.04%-83.00% of provisional tolerable monthly intake (PTMI). More heavily, The EMI of cadmium from rice was 31.2  $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw})$  in northern Guangdong, which was equivalent to 125% of PTMI. **Conclusion** It witnessed that lead, cadmium intake in Guangdong was in the safe level. However, it is worth noticing in the cadmium exposure risk of northern Guangdong residents.

**Key Words:** Exposure assessment; Lead; Cadmium; Major food

由于人类社会和经济的发展,重金属污染日趋严重,其对居民健康带来的危害日益受到关注(尤其是铅、镉)。铅是一种慢性和累积性毒物<sup>[1]</sup>,经食物链进入人体并造成伤害<sup>[2-3]</sup>,铅很容易被肠道吸收,其中一部分破坏血液使红血球分解,一部分通过血液扩散到全身器官和组织进入到骨骼<sup>[4]</sup>,沉积在体内的铅化

合物的排出速度极慢,逐渐形成慢性中毒。镉也是一种半衰期很长的多器官损害毒物,容易在植物和动物体内富集,通过呼吸道和消化道侵入人体,对肺、骨、肾、肝、免疫系统和生殖器官等产生一系列损伤<sup>[5]</sup>。由于铅、镉在较低摄入量的情况下就能对人体造成较大的危害,因此,长期监控居民重点食品中的铅、镉摄入量显得尤为重要。

过去,我国常用 FAO/WHO 食品添加剂联合专家委员会(JECFA)推荐的铅、镉暂定每周可耐受摄入量(PTWI),对人群的铅、镉暴露风险进行评估。根据

基金项目: 广东省医学科研基金课题(A2013068)

作者简介: 蔡文华(1978-),女,本科,主管技师,主要从事食品检验与食品安全风险监测工作。

通讯作者: 胡曙光 E-mail: tony\_hsg@163.com

JECFA 的建议,铅、镉的 *PTWI* 分别为  $25 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{bw})$  和  $7 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{bw})$ ,即相当于每人每天耐受摄入量为  $214 \mu\text{g}$  和  $60 \mu\text{g}$ 。2010年, JECFA 基于多方数据进行新评估,认为该摄入剂量的铅已经达到影响人类健康的水平,因此决定取消铅的 *PTWI* 值,而采用暴露边界比对成人和儿童进行风险评估,并建议各成员国应尽量减少膳食铅摄入量<sup>[6]</sup>。同时, JECFA 更严格地限定镉的含量,将镉的暂定每周耐受摄入量 (*PTWI*) 改为暂定每月耐受摄入量 (*PTMI*),并调低镉的 *PTMI* 为  $25 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{bw})$ <sup>[7]</sup>。

本文基于2007年-2014年广东省重金属污染监测工作所采集的各类居民日常食品中的铅、镉检测数据,挑选其中与居民最密切相关的谷物及其制品类、乳制品类、蔬菜类、水果类、水产品类、蛋类、肉类共7类重点食品,对广东省居民食品中铅、镉的暴露情况进行分析评价。

## 1 材料与方 法

**1.1 仪器与试剂** 电感耦合等离子体质谱仪 (ICP-MS, Agilent); 高压密闭微波消解系统 (Milestone); 控温电热板 ( $50 \text{ }^\circ\text{C} \sim 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , LabTech)。硝酸 (优级纯, 批号: 20140204); 铅标准使用液 ( $10.0 \text{ mg/L}$ ); 镉标准使用液 ( $100 \mu\text{g/L}$ )。

## 1.2 方 法

**1.2.1 样本的采集及制备** 2007年-2014年,从广东省内22个地级市采集各类市售日常居民食品样品共计5640份,种类涉及谷物及其制品(1781份)、蔬菜(1730份)、水果(383份)、禽畜肉(86份)、禽畜内脏(231份)、水产品(1166份)、乳制品(31份)、蛋类(232份)等。样品采集后,洗净,取可食部分,用纱布拭干表面水分,切碎或打成碎成匀浆,装入洁净的容器内,于冰箱冷藏保存。

**1.2.2 样品前处理** 准确称取  $0.2 \text{ g} \sim 0.6 \text{ g}$  (准确至  $0.1 \text{ mg}$ ) 样品于高压微波消解罐中,加入  $5 \text{ ml}$  硝酸旋紧罐盖后进行消解。 $25 \text{ }^\circ\text{C} \sim 140 \text{ }^\circ\text{C}$  消解  $10 \text{ min}$ ;  $140 \text{ }^\circ\text{C} \sim 160 \text{ }^\circ\text{C}$  消解  $10 \text{ min}$ ;  $160 \text{ }^\circ\text{C} \sim 190 \text{ }^\circ\text{C}$  消解  $20 \text{ min}$ 。冷却后取出,于控温电热板上  $160 \text{ }^\circ\text{C}$  赶酸,放冷后将消化液转移至  $25 \text{ ml}$  或  $50 \text{ ml}$  容量瓶中,用少量水多次洗涤罐和内盖,洗液合并后于容量瓶中定容至刻度,混匀备用;同时作试剂空白试验。

**1.2.3 样品中铅和镉的测定方法定量限及质量控制** 通过电感耦合等离子体质谱仪分析消化液中的 Pb、Cd 含量,同时测定空白液。测定方法的定量限 (LOQ): 铅为  $10 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 镉为  $2.0 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 所有未检出的结果按照定量限的一半进行计算和统计。通过每

批样品分别对国家参考标准物质小麦 (GBW10011)、菠菜 (GBW10015)、鸡肉 (GBW10018)、苹果 (GBW10019)、四川大米 (GBW10044)、猪肝粉 (GBW10051) 中2种重金属的含量进行测定和质量控制,保证分析结果的准确可靠。

## 1.2.4 铅、镉暴露评估方法

**1.2.4.1 铅的暴露边界比 (MOE) 评价方法** 由于 JECFA 在2010年取消铅的暂定每周可耐受摄入量值,故本文只采用 *MOE* 进行铅暴露评估。*MOE* 的表达式为:  $MOE_{\text{儿童}} = \frac{0.3 \times WAB}{c \times FIR}$ ,  $MOE_{\text{成人}} = \frac{1.2 \times WAB}{c \times FIR}$ 。

式中: *c*——各类食品中铅含量,  $\text{mg}/\text{kg}$ ; *FIR*——食物摄入量,  $\text{g}/\text{d}$ ; *WAB*——体重,  $\text{kg}$ 。当 *MOE*  $> 1$  时,可以认为摄入风险较低<sup>[8]</sup>,而当 *MOE*  $> 100$  时,可以认为不存在暴露风险<sup>[9]</sup>。

**1.2.4.2 镉暴露评估 *EMI/PTMI* 比较法** 由于自2010年起, JECFA 将镉的暂定 *PTWI* 改为暂定 *PTMI*,故采用镉每月摄入量 [*EMI*,  $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{bw})$ ],与镉的暂定 *PTMI* 进行比较,可对人群的摄入风险作出评估,表达式如下<sup>[10]</sup>:  $EMI = \frac{c \times FIR \times 30}{WAB}$ 。式中: *c*——各类食品中镉含量,  $\text{mg}/\text{kg}$ ; *FIR*——食物摄入量,  $\text{g}/\text{d}$ ; *WAB*——体重,  $\text{kg}$ 。

## 2 结 果

**2.1 标准参考物质的测定结果** 为保证每批样品的测定结果准确可靠,分别对各类不同基质的国家标准物质中小麦 (GBW10011)、菠菜 (GBW10015)、鸡肉 (GBW10018)、苹果 (GBW10019)、四川大米 (GBW10044)、猪肝粉 (GBW10051) 中铅、镉的含量进行测定,采用本文的前处理及测定方法对所采集的各类食品中铅、镉的测定数据符合 GB/T 27404—2008《实验室质量控制规范食品理化检测》的技术要求,是准确可靠的。

**2.2 广东各类食品中铅、镉的含量** 本文研究发现,对照 GB 2762—2012 及相关食品限量要求<sup>[11-12]</sup>,广东省各类重点食品中铅、镉污染水平仍然比较严重。从表1可见,2007年-2014年,从全省22个地级市共采集的5640份食品样品中,铅、镉的总体超标率分别为5.7%和11.0%,均值分别为  $0.104 \text{ mg}/\text{kg}$  和  $0.110 \text{ mg}/\text{kg}$ ,均高于国外水平<sup>[13-16]</sup>。铅超标率最高的食品是皮蛋,其铅的含量均值 ( $1.130 \text{ mg}/\text{kg}$ ) 达到国家标准限量值 ( $0.5 \text{ mg}/\text{kg}$ ) 的226%,其中最高含量是  $36.4 \text{ mg}/\text{kg}$ ,是国家标准限量值的73倍。而叶菜中的铅超标率位居第二,其铅的含量均值 ( $0.182 \text{ mg}/\text{kg}$ ) 达到国家标准限量值 ( $0.3 \text{ mg}/\text{kg}$ ) 的61%,其中最

高含量是 10.3 mg/kg, 是国家标准限量值的 34 倍。镉超标率最高的食品是大米, 其镉的含量均值 (0.235 mg/kg) 达到国家标准限量值 (0.2 mg/kg) 的

118%, 其中最高含量是 7.080 mg/kg, 是国家标准限量值的 35 倍。

表 1 2007 年 - 2014 年广东省 7 类重点食品中铅、镉含量 (mg/kg)

食品类别	食品名称	样品数	铅含量					镉含量				
			最小值	最大值	中位数	均值	超标率 (%)	最小值	最大值	中位数	均值	超标率 (%)
谷物及其制品	大米	1 559	<0.010	6.660	0.013	0.053	5.8	<0.002	7.080	0.106	0.235	21.0
	米制品	222	<0.010	0.255	<0.010	0.046	0.9	<0.002	0.708	<0.002	0.065	6.0
蔬菜	叶菜类蔬菜	678	<0.010	10.300	0.049	0.182	11.9	<0.002	7.510	0.019	0.078	7.0
	芸薹类蔬菜	98	<0.010	0.671	<0.010	0.042	5.4	<0.002	0.191	0.004	0.011	2.0
	豆类蔬菜菜	169	<0.010	0.500	0.015	0.033	3.0	<0.002	0.034	0.001	0.003	0.0
	根茎类蔬菜	212	<0.010	1.020	0.020	0.071	9.9	<0.002	1.360	0.005	0.032	6.0
	瓜类蔬菜菜	157	<0.010	0.585	0.011	0.027	1.9	<0.002	0.181	<0.002	0.004	1.0
	茎类蔬菜菜	135	<0.010	1.040	0.013	0.044	1.3	<0.002	0.659	0.011	0.034	1.0
	鳞茎类蔬菜	134	<0.010	1.270	<0.010	0.030	2.7	<0.002	3.610	0.002	0.056	4.0
	茄果类蔬菜	147	<0.010	0.259	<0.010	0.020	2.0	<0.002	0.146	0.007	0.014	5.0
	水产动物	淡水鱼	106	0.020	0.461	0.054	0.084	0.0	<0.002	0.018	0.002	0.002
海水鱼		806	<0.010	0.973	0.017	0.038	0.4	<0.002	0.460	0.004	0.014	2.0
甲壳类		130	0.020	0.390	0.057	0.080	0.0	0.002	2.330	0.025	0.152	10.0
软体类		124	0.020	7.420	0.174	0.556	10.5	<0.002	10.800	0.081	0.618	5.0
肉类	禽畜肉类	86	<0.010	0.265	0.041	0.054	3.5	<0.002	0.032	0.002	0.002	0.0
	肝肾类	231	<0.010	0.817	0.060	0.106	2.2	<0.002	7.610	0.06	0.194	7.0
水果	浆果	167	<0.010	0.228	<0.010	0.010	0.0	<0.002	0.187	<0.002	0.006	2.0
	水果	216	<0.010	0.098	<0.010	0.009	0.0	<0.002	0.079	<0.002	0.003	0.0
蛋及其制品	皮蛋	178	0.017	36.400	0.061	1.130	30.1	0.002	0.500	0.002	0.007	1.0
	蛋类	54	0.020	0.194	0.020	0.035	0.0	0.002	0.084	0.002	0.008	0.0
乳制品	乳制品	31	0.020	0.113	0.020	0.026	0.0	0.002	0.002	0.002	0.002	0.0
合计		5 640	<0.010	36.400	<0.010	0.104	5.7	<0.002	7.610	0.010	0.110	11.0

皮蛋中高含量的铅主要来自于其生产过程, 为了使蛋白质凝固, 传统的皮蛋在腌制过程中常在浸渍液中添加氧化铅或铜等重金属。由表 2 可见, 皮蛋中的铅含量随着时间的推移, 呈现一定的下降趋势, 这得益于近年来, 用硫酸铜、硫酸锌等代替氧化铅腌制无铅皮蛋的工艺被普遍推广, 但是皮蛋中铅含量过高的情况仍然不容乐观。

另外, 从表 3 和 4 中发现, 蔬菜和米类的铅、镉含量均存在着明显的地域性差异。这主要是因为农作物中的重金属主要来源于土壤, 土壤的受污染程度将影响当地所种农作物中的金属含量。粤北地区由于地质条件及生产结构的原因, 其环境污染水平是本文所研究的 4 个区域中最高的一个, 这也是造成粤北地

区蔬菜和米类中铅、镉含量远高于其他 3 个地区的原因之一。

表 2 各年份皮蛋中铅含量情况 (mg/kg)

年份(年)	样品数	最小值	最大值	中位数	均值	超标率 (%)
2007	24	0.020	14.7	0.104	1.64	46.0
2008	17	0.020	12.5	0.309	1.51	41.0
2009	43	0.020	36.4	0.049	1.19	38.0
2010	19	0.020	4.44	0.020	1.00	26.0
2011	21	0.017	12.4	0.265	0.97	21.0
2012	22	0.032	10.7	0.551	1.00	23.0
2013	18	0.026	22.1	0.044	0.84	18.0
2014	14	0.022	7.50	0.102	0.54	12.0

表 3 各地区大米中铅、镉含量情况( mg/kg)

不同区域	样品数	铅					镉				
		最小值	最大值	中位数	均值	超标率(%)	最小值	最大值	中位数	均值	超标率(%)
粤北	361	<0.01	6.660	0.057	0.117	16.0	0.004	7.080	0.209	0.184	34.0
粤东	389	<0.01	0.396	<0.010	0.020	1.0	<0.002	0.569	0.099	0.105	6.4
粤西	376	<0.01	0.210	<0.010	0.025	1.4	<0.002	0.512	0.094	0.103	3.5
珠三角	433	<0.01	0.211	<0.010	0.017	0.2	<0.002	0.606	0.105	0.116	11.0

表 4 各地区蔬菜中铅、镉含量情况( mg/kg)

不同区域	样品数	铅					镉				
		最小值	最大值	中位数	均值	超标率(%)	最小值	最大值	中位数	均值	超标率(%)
粤北	462	0.003	10.30	0.050	0.242	22.0	0.001	7.51	0.014	0.105	23.0
粤东	481	0.004	0.39	0.020	0.043	2.8	0.001	0.21	0.004	0.014	1.6
粤西	321	0.003	1.81	0.020	0.065	4.0	0.000	0.19	0.008	0.018	0.5
珠三角	466	0.000	2.07	0.011	0.033	1.9	0.000	0.37	0.007	0.016	0.9

2.3 2007 年 - 2014 年广东省 7 类重点食品中铅、镉含量的暴露情况评估

2.3.1 铅的暴露情况评估 按照食品类别,以成人的标准体重(60 kg)及相关统计资料中各类食品摄入量数据进行计算<sup>[17-18]</sup>。由表 5 可知,广东省各类重点食品中铅的 MOE 值为 2.46 ~ 140.00,均 > 1,说明广东省人群的铅摄入量总体基本处于安全水平。其中,叶菜、芸薹类蔬菜的 MOE 值最低,仅为 2.46。由于人们的饮食习惯,蔬菜的 FIR 值却比较高,如果蔬菜中的铅含量持续增大,将会明显增大人群食用蔬菜而带来的铅暴露风险,因此加强对叶菜、芸薹类蔬菜中铅污染的监控显得尤为重要。根据文献研究,人们亦可通过认真洗涤及选择适当的烹调方法来降低蔬菜中铅的摄入<sup>[19]</sup>。皮蛋的 MOE 值为 2.50,仅次于叶菜、芸薹类蔬菜。根据人群饮食习惯,虽然皮蛋的 FIR 值较低,通过皮蛋而摄入的铅含量尚未对人体造成健康风险。但是,如果 FIR 值增大,其风险也会明显增大,因此,建议改进皮蛋的生产工艺,同时建议人们应尽量选择低铅的皮蛋制品。

表 5 各类重点食品中铅的风险评估结果

食品类别	食品名称	FIR( g/d)	均值( mg/kg)	MOE
谷物及其制品	大米及其制品	339.0	0.053	4.01
蔬菜	新鲜蔬菜	178.8	0.030	13.40
	叶菜、芸薹类蔬菜	178.8	0.164	2.46
	豆类、根茎类蔬菜	178.8	0.054	7.46
水果	新鲜水果	55.5	0.010	130.00
	浆果及小粒水果	55.5	0.010	130.00

续表

食品类别	食品名称	FIR( g/d)	均值( mg/kg)	MOE
肉类	畜禽肉类	9.5	0.054	140.00
	畜禽内脏	9.5	0.106	71.50
水产动物	淡水鱼	60.4	0.084	14.30
	海水鱼	45.6	0.038	41.90
	甲壳类	34.1	0.080	26.30
	软体类	34.1	0.556	3.80
乳制品	乳制品	17.2	0.026	161.00
蛋及其制品	蛋类	19.5	0.035	105.00
	皮蛋	19.5	1.480	2.50

2.3.2 镉的暴露评估 按照食品类别,以成人的标准体重(60 kg)及相关统计资料中各类食品摄入量数据进行计算。由表 6 可知,广东省各类重点食品镉的每月摄入量(EMI 值)为 0.01 μg/(kg·bw) ~ 20.90 μg/(kg·bw),占 PTMI 的 0.04% ~ 83.00%,总体处于安全水平。但如果仅食用大米,镉的 EMI 值已达到 20.90 μg/(kg·bw),占 PTMI 的 83.00%,若再加上食用其它食品,人群镉的 EMI 值就有可能超过 25 μg/(kg·bw)。根据此数值,从表面上看,食用广东省产的大米,人群的镉暴露蕴藏着一定的风险。但深入分析后,可以发现,广东省各地区大米的镉含量存在明显的地域差异。从表 7 可见,粤北地区食用大米镉的 EMI 值为 31.2 μg/(kg·bw),高出 JECFA 规定的 PTMI 水平,占其比例为 125%。而粤东、粤西、珠三角食用大米中镉的 EMI 值则相对较低,占 PTMI 比例为 71% ~ 79%,表明广东省产大米的镉暴露风险主

要集中于粤北地区,而广东其他地区大米的镉暴露风险均处于安全水平。

表 6 各类重点食品中镉的风险评估结果

食品类别	食品名称	FIR (g/d)	均值 (mg/kg)	EMI [ $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{bw})$ ]	占 PTMI (%)
谷物及其制品	大米	339.0	0.123	20.90	83.00
	米制品	261.0	0.065	8.50	34.00
蔬菜	新鲜蔬菜	178.8	0.021	1.90	7.50
	叶菜	178.8	0.078	7.00	28.00
	豆类、根茎类、 茎类蔬菜	178.8	0.023	2.10	8.20
水果	新鲜水果	55.5	0.004	0.10	0.40
肉类	畜禽肉类	9.5	0.002	0.01	0.04
	畜禽内脏	9.5	0.194	0.90	3.70
水产动物	淡水鱼	60.4	0.002	0.10	0.30
	海水鱼	45.6	0.014	0.30	1.30
	甲壳类	34.1	0.152	2.60	10.00
	软体类	34.1	0.618	10.50	42.00
乳制品	乳制品	17.2	0.002	0.02	0.10
蛋及蛋制品	蛋及蛋制品	19.5	0.008	0.10	0.30

表 7 广东省各地区使用大米的人群镉的暴露风险评估

不同区域	均值(mg/kg)	EMI[ $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{bw})$ ]	占 PTMI (%)
粤北	0.184	31.2	125
粤东	0.105	17.8	71
粤西	0.103	17.5	70
珠三角	0.116	19.7	79

### 3 结 论

根据 2007 年 - 2014 年广东省食品安全风险监测所采集的数据显示,广东省 7 类重点食品中铅、镉污染的状况虽然有所改善,但仍然不容乐观。而且铅、镉的污染存在明显的地域性差异,粤北地区的污染情况最为严重。虽然广东省食品存在着较严重的铅、镉污染,但食用该地区食品的人群的铅、镉摄入量总体处于安全水平,只是粤北地区人群蕴藏一定的镉暴露风险,值得警惕。

#### 参考文献

[1] C. 赖利. 食品的金属污染[M]. 北京: 轻工业出版社, 1986: 90 - 130.  
 [2] JECFA. WHO Technical Report Series 884. Evaluation of Certain

Food Additives and Contaminants. Forty - ninth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives [R]. Geneva: WHO, 1999: 2 - 8.  
 [3] 谭见安. 地球环境与健康[M]. 北京: 化学工业出版社, 环境科学与工业出版社, 2004: 154 - 155.  
 [4] Fleming DE. Accumulated body burden and endogenous release of lead in employees of a lead smelter [J]. Environ Health Persp, 1997, 105(2): 224 - 233.  
 [5] Hartwig A, Schwerdtle T. Interactions by carcinogenic metal compounds with DNA repair processes: toxicological implications [J]. Toxicol Lett, 2002, 127(1): 47 - 54.  
 [6] JECFA. WHO Technical Report Series 884. Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants. Forty - ninth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives [R]. Geneva: WHO, 1999.  
 [7] 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.  
 [8] Joint FAO/WHO Expert Committee. Food Additives Summary and Conclusion, JECFA /73 / SC [R]. Geneva: WHO, 2010: 8 - 12.  
 [9] Reffstrup TK, Larsen JC, Meyer O. Risk assessment of mixtures of pesticides. Current approaches and future strategies [J]. Regul Toxicol Pharmacol, 2010, 56(2): 174 - 192.  
 [10] Agusa T, Kunito T, Sudaryanto A, et al. Exposure assessment for trace elements from consumption of marine fish in Southeast Asia [J]. Environ Pollut, 2007, 145(3): 766 - 777.  
 [11] 中华人民共和国卫生部. GB 2762—2012 食品中污染物限量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.  
 [12] 中华人民共和国商务部. 商务部出口商品技术指南 - 食品污染物、农残限量[M]. 北京: 中国商务出版社, 2005: 21 - 30.  
 [13] Stephen GC, William CC. Element and radionuclide concentrations in food: FDA total diet study 1991. 1996 [J]. AOAC Int, 2000, 83(1): 157 - 177.  
 [14] Won YT, Lee JA, Lee SR. Estimation of the dietary intake of toxic metals by total diet study in Korea [J]. Food Sci Biotech, 2001, 10(4): 414 - 417.  
 [15] Sart G, Milier P, Croasdale M, et al. 1997 UK total diet study - dietary exposures to aluminum, arsenic, cadmium, chromium, copper, lead, mercury, nickel, selenium, tin and zinc [J]. Food Addit Contam, 2000, 17(9): 775 - 786.  
 [16] Lebianc JC, Guerin T, Noell, et al. Dietary exposure estimates of 18 elements from the 1st French Total Diet Study [J]. Food Addit Contam, 2005, 22(7): 624 - 641.  
 [17] 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: 7.  
 [18] 唐洪磊, 郭英, 孟祥周, 等. 广东省沿海城市居民膳食结构及食物污染状况的调研 - 对持久性卤代烃和重金属的人体暴露水平评价 [J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(2): 329 - 336.  
 [19] Watson DH. Food chemical safety [M]. Cambridge: Woodhead Publishing limited, 2001: 148 - 168.

收稿日期: 2014 - 12 - 30