

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

唐洪磊^{1,2}, 郭 英^{1,2}, 孟祥周^{1,2}, 沈汝浪¹, 曾永平¹

(1.中国科学院广州地球化学研究所 有机地球化学国家重点实验室, 广东 广州 510640; 2.中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:自改革开放以来,广东沿海城市逐步成为经济发展的热点地区。飞速的经济发展、快速的城市化进程以及有机氯农药的历史使用等原因,使得广东省内环境介质受到持久性卤代烃和重金属污染,这些污染物最终主要通过食物影响到处于生物链终端的人类。本文运用随机抽样的方法对广东省经济较发达的12个沿海城市居民的膳食情况进行问卷调查,分析其膳食营养状况。同时,结合该地区食物中持久性卤代烃和重金属的污染水平,对居民通过食物摄入的污染物进行人体暴露水平评价。结果表明,广东省沿海城市居民对蛋类、豆制品、乳品及水果的消费量均高于广东省平均水平,而蔬菜、禽肉和谷物的摄入量却低于广东省平均水平。与国家推荐摄入量相比,居民对蔬菜的摄入量仅为推荐量的一半,乳品的摄入也明显偏低。若以每标准人为单位,广东省沿海居民日均摄入能量低于全国平均值,占参考摄入量的90%,视黄醇、硫胺素、核黄素的日均摄入量也低于我国推荐值,而蛋白质和脂肪的日均摄入量则明显超出推荐值。而且,广东省沿海城市居民每日通过食物对持久性卤代烃的摄入量没有超过世界粮农组织和世界卫生组织(FAO/WHO)规定的每日允许摄入量。讨论了膳食中铅、砷、镉、铬4种金属的人体暴露情况,金属铅、砷和铬的暴露水平处于安全线内,但是金属镉的日均摄入量与FAO/WHO规定的最大耐受量相同。

关键词:膳食调查;人体暴露;持久性卤代烃;重金属;广东沿海城市

中图分类号:X820.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)02-0329-08

Nutritional Status in Dietary Intake and Pollutants via Food in Coastal Cities of Guangdong Province, China——Assessment of Human Exposure to Persistent Halogenated Hydrocarbons and Heavy Metals

TANG Hong-lei^{1,2}, GUO Ying^{1,2}, MENG Xiang-zhou^{1,2}, SHEN Ru-lang¹, ZENG Eddy Y¹

(1.State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2.Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China)

Abstract:Coastal cities in Guangdong Province are relatively well developed as a result of the economic reform initiated nearly 30 years ago. The rapid economic development and urbanization combined with certain historical reasons have led to substantial accumulation of anthropogenic pollutants, such as persistent halogenated hydrocarbons and heavy metals, in the environment. These contaminations may pose health risk to humans via food consumption. Using a question-answer approach, we randomly surveyed a total of 1 786 residents in 12 coastal cities of Guangdong Province to obtain dietary data, which allowed a comprehensive assessment of the current nutrient consumption. In addition, human exposure to persistent halogenated hydrocarbons and heavy metals via food consumption was assessed based on published contaminant concentration data. The results indicated that the average daily intakes of egg, bean, milk, and fruit for coastal residents were higher than those for the entire Guangdong Province, but the opposite was true for the daily intakes of vegetable, meat, and corn. The consumption rate of vegetable for the surveyed residents was only 50% of the government-recommended value, and that of milk was also lower than the national level. Moreover, the average daily intake of total calories was approximately 90% of the government-recommended value using an 18-year old male as the reference. The ingestion amounts of retinol, thiamine, and riboflavin were also lower than the recommended values, whereas those of protein and adipose were much higher than the recommended values. Furthermore, the daily intakes of persistent halogenated hydrocarbons

收稿日期:2008-03-23

基金项目:国家自然科学基金(40532013);中国科学院“引进国外杰出人才计划”基金

作者简介:唐洪磊(1981—),男,硕士研究生。E-mail:tanghonglei@gig.ac.cn

通讯作者:曾永平 E-mail:eddyzeng@gig.ac.cn

via food were lower than the Acceptable Daily Intakes recommended by the FAO/WHO. The daily intakes of lead, chromium, arsenic via food consumption were lower than the Acceptable Daily Intakes recommended by the FAO/WHO, but that of cadmium was equal to the FAO/WHO recommended value.

Keywords: dietary survey; human exposure; persistent halogenated hydrocarbons; heavy metals; coastal cities in Guangdong Province

合理的营养是健康的物质基础,而平衡膳食是合理营养的主要途径。随着我国经济的发展和人民生活水平的提高,与民众膳食密切相关的糖尿病、高血压、冠心病等慢性病罹患率上升迅速,与此同时,肥胖等导致慢性病的重要因素还在增加,这些因素已经严重影响到人群健康。因此,日常生活的膳食平衡问题的研究已经受到人们的普遍关注。

合理的膳食结构是人类健康的保障,但在食物给人体提供各种营养的同时,食物中残留的持久性卤代烃(PHHS)和重金属也会进入人体,并不断富集,对人体健康形成潜在危害。持久性卤代烃,如有机氯农药(OCPs)、多溴联苯醚(PBDEs)、多氯联苯(PCBs)等,具有致癌性、生殖毒性、神经毒性、内分泌干扰性等多种毒害作用,且因其极强的亲脂性而沿着食物链逐级放大,从而威胁处于食物链终端的人类。广东省农业发达,曾是 OCPs 的高使用量地区之一^[1],仅 1980 年广东省农药施用量就达到 1.22×10^5 t,其中约 78% 为 OCPs;虽然我国于 1983 年就已经禁止滴滴涕和六六六的生产和使用,但最近的研究显示广东省仍然存在此类物质新的来源^[2]。近年来,广东省工业与电子产业迅猛发展,加之各国电子垃圾无序输入,进一步加剧了该地区的毒害污染物水平,产生了所谓新兴污染物,最典型的例子就是作为阻燃剂的 PBDEs^[3]。根据文献的报道,广东地区居民通过食用海鲜对 OCPs 的摄入量处于世界高端^[4-5]。另外,由于工业“三废”的排放及城市垃圾、污泥、废弃物等的大量非法排放,也使该地区农业、渔业环境受到严重的重金属污染,从而也使有毒重金属在生物体中持续积累,使本来为人体提供丰富营养的食品成为毒害物质的载体,严重危害人类的健康。

因此,在关注膳食营养的同时,必须加强对人体通过食物对毒害物质的暴露水平的调查,及时了解此类污染物对区域人群饮食可能造成的危害,以便为保护人体健康提供科学依据。目前已有关于广东省居民的膳食结构调查、评价的报道^[6-8],也有针对食品中重金属和持久性卤代烃的基础调查报告^[9-13]。但综合上述两个方面而对居民膳食污染物暴露水平进行评价的报道尚不多见。在这种背景下,本文选取广东省渔

业、农业及经济相对发达的 12 个沿海城市,对居民进行膳食结构调查,分析其营养素摄入状况,并结合文献报道数据对广东省沿海城市居民膳食中持久性卤代烃和重金属暴露情况进行总结,这些工作可以为改善居民饮食结构、提高生活质量和保持身体健康提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 抽样方法

2006 年 3 月到 2006 年 4 月,我们采用随机抽样法进行调研。选取广东省 12 个沿海城市,包括:广州、东莞、佛山、珠海、江门、中山、阳江、茂名、湛江、汕头、汕尾、深圳。选择依据为:选择不同的功能区,涵盖主要的淡水鱼和海水鱼产区(上述地区 2004 年水产品总产量占广东省总产量的 81%);部分地区电子产业特别发达,如东莞,深圳;部分地区农业仍然较发达,如汕尾。每个城市选择不同城区,在超市、街道、小区、学校等地随机进行问卷调查。

1.2 调查及分析方法

调查问卷采用问答和答卷式记录数据。采用性别、年龄、体重、收入以及学历等条件对抽样对象进行区分。问卷内容涉及鱼类、虾蟹贝壳类、肉类、水果类、蛋类、蔬菜类、豆类、牛奶类和主食类共计 9 项内容,所有项目均涉及摄入量、食用方法、食用频率等,以选择题方式确定答案。调查期间,收回问卷 1 786 份,利用 Spss10.0 进行统计分析,得到有效问卷 1 626 份,数据结果输入 Sybase 数据库进行分项整理。对营养素进行分析时,结果以每标准人日摄入量表述(标准人指 18 岁从事极轻体力劳动的男子)。参照中国食物成分表 2002^[14]中各种食物的营养素含量计算平均每标准人日膳食中各类营养素的摄入量。

1.3 样本特征

膳食调查样本特性:总计有效调查问卷 1 626 份,其中男性 800 份,女性 777 份,未注明性别的 49 份。2~5 岁样本 9 个,6~17 岁的样本 398 个,18~44 岁的样本 985 个,45~59 岁样本 87 个,60 岁以上(含 60 岁)的样本 57 个,分别占总量的 0.6%、25%、62%、5.5%、3.5%以及 6.7%。从广州、东莞、佛山、珠海、江

门、中山、阳江、茂名、湛江、汕头、汕尾、深圳 12 个城市分别回收问卷 210、146、149、111、112、160、127、142、138、117、127、87 份。

2 结果与讨论

2.1 广东省沿海城市居民膳食结构及能量和营养素摄入水平

2.1.1 广东省沿海城市居民每日膳食摄入量

对有效问卷进行分析,将调查对象按年龄分为 5 组,以性别区分得到广东沿海居民每天对鱼类、虾蟹贝壳类、肉类、水果类、蛋类、蔬菜类、豆类、牛奶类和主食类等共计 9 项膳食内容的食用基本情况,其结果如表 1 所示。将该结果每个年龄段居民各项膳食摄入量的中值用图 1 表示。图 1 显示除婴幼儿外,该地区居民都以蔬菜和米制品为主要食品,肉类以及水果次之,其他各项每日摄入量相差不大。随着年龄的增加,

表 1 广东省沿海城市居民每日膳食摄入量(g)

Table 1 Daily dietary intakes for residents in coastal cities of

Guangdong Province(g)

年龄段	2~5 岁		6~17 岁		18~44 岁		45~59 岁		60 岁及以上		
性别	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	
样本数	4	5	204	194	495	490	48	39	28	29	
淡水	均值	52.1	17.7	52.5	47.7	60.4	53.5	67.5	112	73.6	74.3
养殖鱼	中值	12.5	8.25	25.0	24.8	37.5	24.8	37.5	62.5	41.3	62.5
海水	均值	38.5	36.3	44.6	41.2	45.6	48.5	44.3	56.8	43.2	27.8
养殖鱼	中值	12.5	25.0	24.5	17.5	24.5	17.5	24.5	25	24.8	24.8
海洋	均值	20.0	27.1	40.0	42.0	45.6	48.5	33.3	40.6	31.8	20.9
野生鱼	中值	10.5	25.0	17.5	12.5	17.5	17.5	12.5	17.5	17.5	10.5
虾蟹	均值	16.7	10.0	53.7	33.2	34.1	31.0	26.3	42.5	29.0	24.4
贝类	中值	10.5	10.5	26.8	17.5	19.3	17.5	17.5	19.8	24.5	17.5
肉类	均值	50.4	81.7	135	94.1	146	120	151	96.4	125	98.9
	中值	50.0	75.0	70.0	50.0	87.5	75.0	75.0	70.0	75.0	75.0
鸡蛋	均值	37.5	62.8	58.2	50.5	37.6	37.6	33.1	31.6	52.5	50.5
	中值	50.0	50.0	33.0	33.0	25.0	25.0	25.0	25.0	33.0	50.0
蔬菜	均值	163	110	132	176	224	234	245	239	416	319
	中值	150	75.0	75.0	125	150	150	225	150	450	350
豆类	均值	91.9	60.7	63.7	56.0	55.1	51.7	39.3	60.1	43.6	52.5
	中值	17.5	25	37.5	25	37.5	29.8	24.5	31.3	24.8	24.5
奶类	均值	119	150	128	102	73.5	85.8	42.5	67.1	68.2	94.2
	中值	125	175	74.3	63.0	41.3	57.8	25.0	29.8	24.5	24.8
水果	均值	93.8	75.7	127	109	94.0	114	84.4	131	118	130
	中值	75.0	75.0	75.0	75.0	62.5	75.0	62.5	75.0	75.0	76.5
米制品	均值	87.5	110	242	194	261	197	219	198	228	208
	中值	50.0	150	150	150	225	150	150	150	250	150
面制品	均值	2.63	39.4	87.6	61.4	72.5	49.4	61.1	37.6	38.2	21.8
	中值	3.50	10.5	57.8	37.5	50.0	37.5	35.0	17.5	17.5	10.5

蔬菜和米制品这些主食摄入逐步有所增加,但蛋、肉类和水果类等变化不甚明显。

取所有样本(1 626 个)的每日摄入食物均值以及中值与《中国居民膳食指南及平衡膳食宝塔》^[15]中膳食宝塔值比较(表 2),结果显示:当以平均值表示时,广东省沿海城市居民禽肉类和鱼虾类食品摄入量明显偏高,其中禽肉类消费量是推荐摄入量的 1.4~14 倍,而鱼虾类食物消费量为推荐摄入量的 2.4 倍。与 1995 年对广东城镇居民的膳食调查结果相比^[16],本次调研中显示的人均禽肉、谷物和鱼虾类的标准人摄入量均有显著增加。与 2002 年对广东省居民各类食物日均摄入量的调研结果相比^[7],本次调研中居民蛋类、豆制品、乳品、水果类食品的消费高于全省平均水平,分别为 41.9、55.1、87.1 和 108 g,乳品和鱼虾类的摄入量接近全省平均值的 2 倍,这主要与调研地区的选择有关。表 2 也反映出广东沿海城市居民蔬菜、禽肉和谷物的摄入低于全省平均水平;蔬菜摄入量(215 g)低于国家推荐摄入量,仅为推荐量的一半;乳品的摄入(87.1 g)也明显低于推荐值。当以本次调研的中值表示时,除蛋类、肉类和鱼虾类以外,各类食物的摄入量都低于膳食宝塔推荐量,表明还有一部分人的膳食结构是不合理的。值得注意的是调研地区男性居民对禽肉类的消费量为 158 g,高于推荐最高摄入量的 1.5 倍、对鱼虾类摄入量为 135 g,高于推荐摄入量的 2 倍。另外,男性对蔬菜和水果的摄入量低于女性,且低于推荐平均值。

2.1.2 广东省沿海城市居民膳食营养素及能量摄入水平

参照中国食物成分表 2002^[14]中各种食物的营养素含量,取所有样本(1 626 个)的膳食日摄入平均值,可计算出广东沿海城市居民每日每标准人摄入的能量和营养素。结果如表 3 所示,该地区每标准人日均能量摄入量不够,低于全国平均值和推荐摄入量^[17],而蛋白质和脂肪摄入量明显超出参考值。视黄醇、硫胺素、核黄素的摄入量低于推荐值,而被称为“抗癌之王”的微量元素硒的摄入量则远高于推荐值,这与沿海居民对豆类和鱼虾类的高摄入有一定的关系。计算显示广东省沿海城市居民热能来源中,蛋白质供热占总热量的 19.4%;来自碳水化合物热能偏低,仅占 49.6%,低于世界卫生组织建议的 55%~70%,而脂肪供热占 31%,略高于供给量标准。

国际倡导的膳食模式是动、植物食物比例适当,谷类、根茎类提供的能量达到总能量的 50%~60%,蛋白质约 40%~50%来源于动物性食物^[18]。该种膳食模

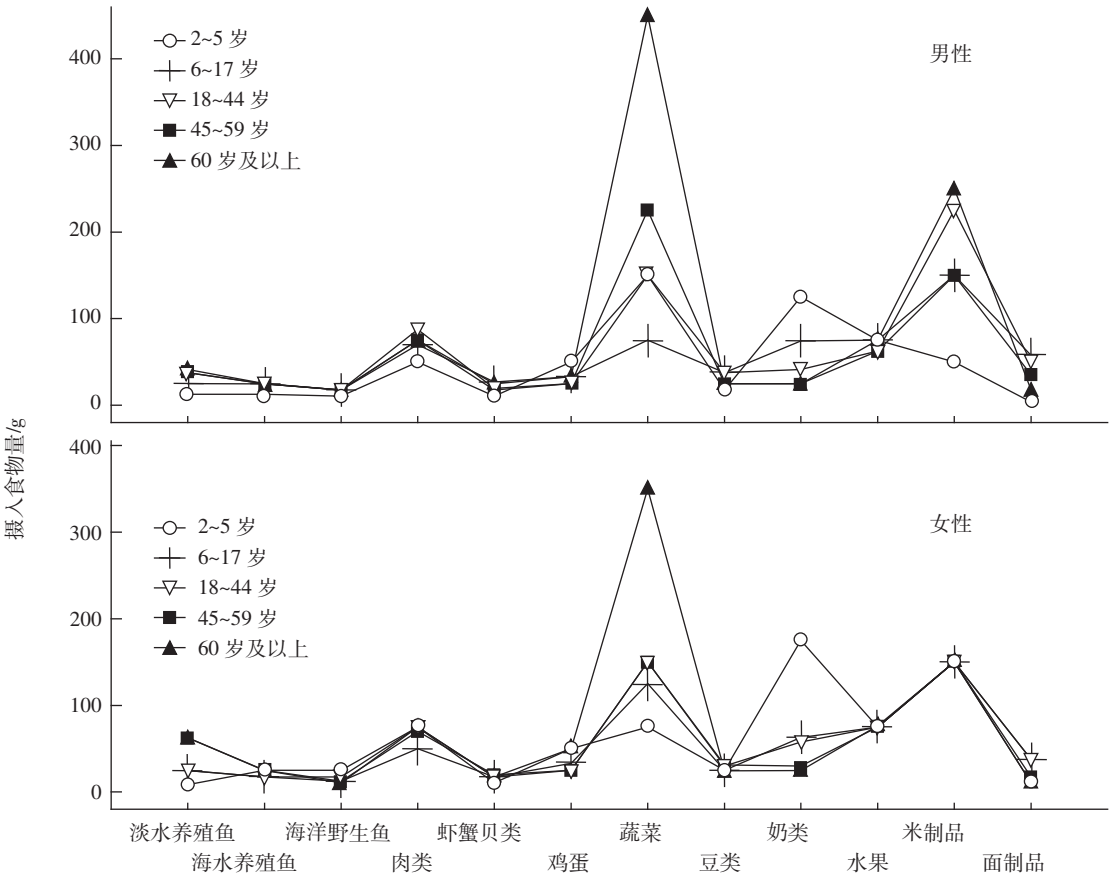


图 1 不同年龄段每日膳食摄入量

Figure 1 Daily food consumption in different age group

表 2 广东省沿海城市居民日均膳食摄入量与膳食平衡宝塔对比(g·d⁻¹)

Table 2 Comparison of standard dietary daily intakes in coastal cities of Guangdong Province with food tower(g·d⁻¹)

食物种类	宝塔推荐 摄入量	日摄入量 ^[6] (1995 年)	日摄入量 ^[7] (2002 年)	本次所有样本		本次男性样本		本次女性样本	
				均值	中值	均值	中值	均值	中值
禽、肉类	10~100	102	208	143	75	158	75	129	75
蛋类	25~50	—	27.6	41.9	25.5	43.2	25.5	41.0	75
蔬菜类	400~500	281	313	215	150	207	150	221	150
豆制品	50	—	29.1	55.1	31.5	55.7	37.5	25.0	76.7
乳品	100	—	38.8	87.1	50.0	85.5	50.0	89.7	57.8
水果	100~200	—	70.1	108	74.3	102	62.5	113	75.0
谷物	300~500	241	361	340	213	384	228	316	206
鱼虾类 ^a	50	55.6	70.8	124	56	135	115	66.5	49.5
鱼类				57.4	31.3	59.0	35.0	55.7	25.0
虾蟹贝类				66.6	24.8	76.1	31.5	58.9	24.5

注:^a 鱼虾类为鱼类和虾蟹贝类的总和。

式不仅可以提供合理的能量和营养来源,也可有效降低各种疾病的发生和发展。本次膳食调查所显示的模式中动物蛋白摄入量与植物蛋白摄入量相当,分别为 52.2% 和 47.8%,结构合理;居民膳食中的动物性脂肪的摄入量高于植物性脂肪,亟需改善。根据营养素摄入特点,建议该地区居民多食杂粮、坚果、豆类、

蛋类、动物肝脏、奶类以及菠菜、胡萝卜、南瓜等新鲜蔬菜,以改良膳食结构。

2.2 广东省沿海城市居民污染物暴露水平评价

2.2.1 持久性卤代烃

鱼类和其他水产品的食用是人体暴露于持久性卤代烃的主要方式之一^[19]。这里依据本次调研结果,

表 3 广东省沿海城市居民每标准人日能量和营养素摄入水平
Table 3 Daily intakes of calories and nutriment for a standard person in coastal cities of Guangdong Province

营养素	本次调查	推荐或参考摄入量 ^[17]	中国平均值 ^[8]
能量/MJ	9.06	10.04	9.42
蛋白质/g	105	70	65.9
脂肪/g	74.6	60	76.2
维生素 C/mg	108	60	
维生素 E/mg	30.9	10	35.6
视黄醇/ μg	675	800	469
钙/mg	623	800	389
铁/mg	27.5	12	23.2
锌/mg	19.3	15	11.3
硒/ μg	98.5	50	39.9
硫胺素/mg	1.14	1.20	1
核黄素/mg	1.11	1.20	0.8

注:^a 中国居民膳食营养素参考摄入量(2000),为 18 岁极轻体力男性劳动者推荐摄入量。

结合文献报道数据对广东省沿海居民持久性卤代烃暴露情况进行总结。

本次调查结果表明,广东省沿海城市居民每日鱼类食物的平均消费量/中值消费量为 57.4/31.3 g,男性平均值和女性平均值分别为 59.0 g 和 55.7 g,男性略高于女性。有研究显示,该地区鱼体肌肉中滴滴涕及其代谢产物(DDTs)浓度中值为 $6.0 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ (湿重)和 $352 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ (脂肪重),六六六(HCHs)中值为 0.50 和 $34.8 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$,PBDEs 中值为 0.15 和 $9.71 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$,PCBs 中值为 0.10 和 $5.67 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ^[14];而 5 种鱼类主要器官中 OCPs、HCHs 和 PBDEs 干重平均值分别为 832、10.8、 $3.20 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ^[20-21]。Zhou 等^[22]对广东省南海、顺德、中山、东莞和深圳 5 个地区 5 种淡水养殖塘鱼肌肉中的 OCPs 进行分析,其鱼体肌肉中 DDTs 平均含量范围为 $22.3\sim 381 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ (脂肪重),HCHs 的范围为 $<0.01\sim 7.80 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$,PCBs 的范围为 $0.06\sim 0.48 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。上述数据为我们提供了对该地区居民污染物暴露水平评价的可能性。水产品中污染物的允许最大残留量(maximum residue level, MRL)用于简单评估水产品的污染是否会对人体造成危害。2005 年我国重新规定了水产品 DDTs、HCHs 和 PCBs 的 MRL,分别为 0.5、0.1 和 $2.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (湿重)。按照此标准,广东省食用鱼类中 DDTs 浓度的中间值($6.0 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 湿重)和平均值浓度($32.2 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 湿重)远远低于其 MRL,超标率仅为 0.5%。鱼体中 HCHs 和 PCBs 浓度的最大值(分别为

24.1 和 $7.65 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 湿重)^[4] 均远小于我国制定的相关标准。同样,根据美国食品药品监督管理局制定的水产品中的残留标准(DDTs 和 PCBs 分别为 5.0 和 $2.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 湿重)^[23],我国食用鱼中 DDTs 和 PCBs 的残留浓度均没有超标。

以下述公式用于计算广东省沿海居民膳食中各种污染物的暴露量:

$$I=C\cdot V/W$$

式中:I 代表人体每日污染物的摄入量, $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ body weight}\cdot\text{d}^{-1}$;C 为食物中污染物浓度的平均值, $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1} \text{ wet weight}$;V 代表每人每日的食用量, $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$;W 则表示平均人体质量 60 kg。

从现有鱼体 PHHs 数据来计算,都低于 FAO/WHO 提出的每日允许最大摄入量(对 DDTs 和 HCHs 分别为 $10\ 000$ 和 $5\ 000 \text{ ng}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ body weight}\cdot\text{d}^{-1}$),表明持久性卤代烃通过鱼类食品的暴露不会对该地区的人体健康产生危害。以广东省处于世界高端污染水平的 DDTs 为例,其日均摄入量为 $30.8 \text{ ng}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ body weight}\cdot\text{d}^{-1}$,仅占其规定量的 0.3%,即使是采用鱼体各器官 OCPs 干重平均值计算,人体 OCPs 摄入量为 $4\ 271 \text{ ng}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ body weight}\cdot\text{d}^{-1}$,也没有超出每日允许摄入量。但是,本地区居民通过鱼类食物日均摄入的 DDTs 却处于一个高端水平,甚至高于美国或者日本人体每天从各类食物中摄入的 DDTs 的总量^[4]。广东沿海城市居民通过鱼类食物对 PBDEs 的摄入量为 $0.144 \text{ ng}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ body weight}\cdot\text{d}^{-1}$,低于其他国家通过食物对 PBDEs 的暴露水平(美国 $0.9\sim 1.2$,西班牙 $1.2\sim 1.4$,瑞典 $0.53\sim 0.63$,荷兰 $1.7 \text{ ng}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ body weight}\cdot\text{d}^{-1}$)^[24]。

本次膳食结构调查的结果表明,广东省沿海地区居民每日海鲜类水产品的平均消费量约为 66.6 g,Guo 等^[5,25]对该调研地区部分虾、蟹、贝类海产品进行持久性卤代烃含量分析,其 DDTs 在虾类、蟹类、贝类产品中的湿重平均含量范围为 $0.37\sim 20.3$ 、 $7.38\sim 35.6$ 、 $1.68\sim 210 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$,HCHs 范围为 $0.11\sim 0.34$ 、 $0.38\sim 1.54$ 、 $0.19\sim 1.13 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$,PBDEs 为 $0.07\sim 0.20$ 、 0.21 、 $0.04\sim 1.06 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。骆世昌等^[26]测定了珠江河口 2 种虾中 DDTs 和 HCHs 湿重含量为 $11\sim 16$ 和 $1\sim 7 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$,4 种蟹中 DDTs 和 HCHs 含量为 $14\sim 39$ 和 $1\sim 7 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。计算表明,广东省沿海居民仅通过鱼类或是虾蟹贝类的食用而对持久性卤代烃的日均摄入量在安全范围之内(表 4)。但是仍有部分地区的个别种类水产品污染较严重,例如郭的检测结果表明,有多达 27.6%的样品(其中大部分属于虾蛄、花蟹、翡翠贻贝、缢蛏和牡蛎等)

表 4 不同地区人体每天平均 DDTs 的摄入量的比较

Table 4 Comparison of daily intake of DDTs among different areas

国家或地区	人体日均 DDTs 的摄入量/ng·kg body weight ⁻¹ ·d ⁻¹	备注	FAO/WHO 每日允许摄入量/ng·kg body weight ⁻¹ ·d ⁻¹	文献
广东	56.7	鱼类和贝壳类	10 000	本研究
大连、天津、上海	14.7	鱼类和贝壳类		[27]
台湾	49.5(男性), 37.3(女性)	鱼类和贝壳类		[28]
克罗地亚	2.3(进口鱼类), 2.6(本地鱼类)	鱼类		[29]
日本	21.7	所有食物		[30]
美国	21.7	所有食物		[30]

DDTs 含量超过美国环保局的标准^[5,25]。

广东省疾病预防控制中心在 2000—2002 年检测了 283 份蔬菜、粮食、水果等食物中的 HCHs 和 DDTs^[10], 仅在 11 份粮食类, 29 份蔬菜类, 以及 13 份水果类样品中发现 OCPs 踪迹。其超标率为 2.1%, 表明该类食品中 OCPs 含量不高, 即使这些食物的摄入量远高于鱼类以及虾蟹等, 对于人体积累 OCPs 贡献也很小, 也不会对人体健康带来直接危害。

2.2.2 重金属

2005 年广东省曾出现北江水镉污染事故、英德群众砷中毒案件等环境问题, 并且有研究表明广州西郊铬渣污染区居民癌症死亡率相对较高^[31], 所以主要对广东省沿海城市居民铅、砷、镉、铬 4 种金属的暴露水平进行讨论。如表 5 所示, 在广东省各类食物中都有重金属的踪迹: 贝类和鱼虾类海鲜中各种重金属含量均较高, 贝类重金属含量要高于鱼类; 大米、蔬菜等主食中铅、镉含量相对较高。

参考国家食品安全标准中鱼类相关的重金属限量指标 GB 2762—2005(铅、砷、镉、铬分别为 0.5、0.1、0.1、2.0 mg·kg⁻¹), 表 5 中所列鱼虾类重金属含量部分超标: 采自珠江三角洲^[33]的鱼类食品中检测到的金属铅的浓度最高值为标准值的 15 倍以上, 砷、镉和铬的浓度最高值分别为标准值的 34 倍、15 倍和 13 倍, 说明某些地区个别种类水产品重金属的污染情况较为严重。

以表 2 中本次调研所有样本各种膳食平均摄入量为基准, 根据表 5 数据计算广东沿海城市居民每日通过各类食物对重金属摄入量, 结果如表 6 所示。FAO/WHO 关于铅、砷、镉、铬的每日允许最大摄入量分别为 3.6、2.15、1.0、2.17 μg·kg⁻¹ body weight·d⁻¹^[34], 广东省沿海城市居民日单项膳食对铅、砷、镉、铬的暴

表 5 广东地区居民膳食中重金属平均含量(mg·kg⁻¹, 湿重)

Table 5 The average levels of heavy metal in foods of Guangdong Province(mg·kg⁻¹, wet weight)

食物类别	时间(年)	采样地点	铅	砷	镉	铬	锌	铜	镍
大米	2000—2002	广东各地 ^[10]	0.103	0.093	0.127	— ^a	—	—	—
面制品	2000—2002	广东各地 ^[10]	0.108	0.051	0.019	—	—	—	—
鲜蛋	2000—2002	广东各地 ^[10]	0.179	0.024	0.003	—	—	—	—
水果	2000—2002	广东各地 ^[10]	0.091	0.019	0.007	—	—	—	—
鲜奶	2000—2002	广东各地 ^[10]	0.027	—	0.001	—	—	—	—
肉制品	2000—2002	广东各地 ^[10]	0.098	0.037	0.013	—	—	—	—
蔬菜	2000—2002	广东各地 ^[10]	0.138	0.024	0.049	—	—	—	—
	2003—2004	中山东莞 ^[32]	0.096	—	0.026	0.172	—	—	—
虾类	2000	珠江河口 ^[12]	0.50	0.23	0.04	0.15	2.60	1.28	0.27
	2000—2002	广东各地 ^[10]	0.088	—	0.173	—	—	—	—
贝类	2000—2002	广东各地 ^[10]	0.244	—	0.507	—	—	—	—
	2001	石牌市场 ^[13]	0.35	—	1.76	0.27	49.9	23.0	0.50
鱼类	1999	珠江河口 ^[11]	1.31	0.15	0.02	0.01	9.01	0.46	0.38
	2000	珠江河口 ^[12]	0.51	0.19	0.03	0.16	1.01	0.18	0.28
	2001	石牌市场 ^[13]	ND ^b	—	0.06	0.58	5.78	0.84	0.31
	2000—2002	广东各地 ^[10]	0.105	—	0.025	—	—	—	—
	2002	珠海等地 ^[33]	7.60	3.44	1.57	2.63	—	—	—
	2003	香港 ^[28]	0.26	0.09	0.10	0.24	8.89	0.17	0.17

注: ^a 没有检测; ^b 低于检测限; ^c 所取值为该研究中所有地点塘鱼中最高平均含量; ^d 所取值为该研究香港市场淡水鱼最高平均含量。

露水平均未超过 FAO/WHO 规定的每日允许最大摄入量。全部膳食加和的铅、砷、镉、铬的摄入量分别为 2.7、1.2、1.0、0.35 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{body weight}\cdot\text{d}^{-1}$, 铅、砷和铬的日均摄入量都没有超过 FAO/WHO 给出的每日允许摄入量, 但是镉的摄入量与该标准相同, 表明由金属镉带来的污染可能对该地区居民膳食安全构成潜在威胁。

表 6 广东省沿海城市居民每日膳食重金属摄入量(EDIs: $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{body weight}\cdot\text{d}^{-1}$)

Table 6 Estimated daily intakes of heavy metals for residents in coastal cities of Guangdong Province (EDIs: $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{body weight}\cdot\text{d}^{-1}$)

大米	EDIs	鲜蛋	EDIs	水果	EDIs	鲜奶	EDIs
铅	0.58	铅	0.13	铅	0.16	铅	0.04
砷	0.53	砷	0.02	砷	0.03	砷	
镉	0.72	镉	0.002	镉	0.01	镉	0.001
铬		铬		铬		铬	
肉制品	EDIs	蔬菜	EDIs	虾蟹贝类	EDIs	鱼类	EDIs
铅	0.23	铅	0.49	铅	0.56	铅	0.49
砷	0.09	砷	0.09	砷	0.26	砷	0.18
镉	0.03	镉	0.18	镉	0.04	镉	0.03
铬		铬		铬	0.17	铬	0.18

3 结论

(1)通过对调查问卷分析,认为广东省沿海城市居民膳食结构基本合理,但每标准人日均蛋白质和脂肪摄入量明显超过推荐值,居民食用的动物性脂肪多于植物性脂肪,且来自碳水化合物的热量偏低。男性居民对禽肉的消费量超过推荐标准,蔬菜摄入量较少。

(2)根据本次调研结果,结合文献数据对广东省沿海城市居民膳食中污染物的人体暴露水平进行评价发现:从现有持久性卤代烃数据来看,居民通过膳食对持久性卤代烃的日均摄入量低于 FAO/WHO 规定的每日允许摄入量,持久性卤代烃通过膳食的暴露不会对该地区的人体健康产生危害。但与其他国家或地区相比,本区域人体通过鱼类消费摄入的 DDTs 量处于一个高端水平,甚至高于美国或日本人体每日从食物中摄入 DDTs 的总量;有近三成海鲜类食品的 DDTs 含量超过美国环保局的限制标准,表明某些种类的水产品已经不适合长期大量的食用。因此本区域 DDTs 的生态环境及人体健康风险仍是一个需要持续关注的问题。讨论了膳食中铅、砷、镉、铬 4 种金属的暴露情况,计算结果显示,该地区居民日常膳食中铅、

砷和铬的暴露水平处于安全线内,但是金属镉的日均摄入量与 FAO/WHO 规定的每日允许摄入量相同,表明金属镉通过膳食的暴露可能对居民的健康构成潜在的威胁。

参考文献:

- [1] 安太成, 陈嘉鑫, 傅家谟, 等. 珠三角地区 POPs 农药的污染现状及控制对策[J]. 生态环境, 2005, 14(6): 981-986.
AN Tai-Cheng, CHEN Jia-xin, FU Jia-mo, et al. The pollution situation and control strategy of persistent organic pollutants in the Pearl River delta, China[J]. *Ecology and Environment*, 2005, 14(6): 981-986.
- [2] Fu J M, Mai B X, Sheng G Y, et al. Persistent organic pollutants in environment of the Pearl River Delta, China: an overview [J]. *Chemosphere*, 2003(52): 1411-1422.
- [3] Rahman F, Langford K H, Scrimshaw M D, et al. Polybrominated diphenyl ethers (PBDE) flame retardants.[J]. *The Science of the Total Environment*, 2001(275): 1-17.
- [4] Meng X Z, Zeng E Y, Yu L P, et al. Persistent halogenated hydrocarbons in consumer fish of China: Regional and global implications for human exposure [J]. *Environmental Science and Technology*, 2007(41): 1821-1827.
- [5] Guo J Y, Zeng E Y, Wu F C, et al. Organochlorine pesticides in seafood products from southern China and health risk assessment[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2007(26): 1109-1115.
- [6] 吕来文, 许焕波, 陈 馥, 等. 广东省潮汕地区城乡居民食物消费结构的现状研究[J]. 广东医学, 2005(26): 389-391.
LV Lai-wen, XU Huan-bo, CHEN Fu, et al. The study on nutritional status in dietary intake in Chaozhou and Shantou area[J]. *Guangdong Medical Journal*, 2005(26): 389-391.
- [7] 马文军, 邓 峰, 许燕君, 等. 广东省居民膳食营养状况研究[J]. 华南预防医学, 2005(31): 1-5.
MA Wen-jun, DENG Feng, XU Yan-jun, et al. The study on dietary intake and nutritional status of residents in Guangdong[J]. *South China J Prev Med*, 2005(31): 1-5.
- [8] 翟凤英, 何宇娜, 王志宏, 等. 中国城乡居民膳食营养素摄入状况及变化趋势[J]. 营养学报, 2005(27): 181-184.
ZHAI Feng-ying, HE Yu-na, WANG Zhi-hong, et al. The status and trends of dietary nutrients intake of Chinese populations[J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2005(27): 181-184.
- [9] 黄宏瑜, 许悦生, 王丽珍, 等. 珠海市水产品中汞镉铅砷污染状况监测[J]. 中国公共卫生, 1998(14): 23-25.
HUANG Hong-yu, XU Yue-sheng, WANG Li-zhen, et al. The study on mercury, cadmium, lead and arsenic in the city of Zhuhai. [J]. *China Public Health*, 1998(14): 23-25.
- [10] 梁春惠, 邓 峰, 黄伟雄, 等. 广东省食物中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): 395-401.
LIANG Chun-hui, DENG Feng, HUANG Wei-xiong, et al. Network monitoring and dynamic analysis of chemical contaminants in agricultural products in Guangdong[J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2003(15): 395-401.

- [11] 聂湘平, 蓝崇钰, 魏泰莉. 珠江入海口经济鱼类重金属含量分析[J]. 上海环境科学, 2000(19):485-488.
- NIE Xiang-ping, LAN Chong-yu, WEI Tai-li, et al. Heavy metal content in main economic fishes of estuary of River Pearl[J]. *Shanghai Environmental Science*, 2000(19):485-488.
- [12] 魏泰莉, 杨婉玲, 赖子尼, 等. 珠江口水域鱼虾类重金属残留的调查[J]. 中国水产科学, 2002(9):172-176.
- WEI Tai-li, YANG Wan-ling, LAI Zi-ni, et al. Residues of heavy metals in economic aquatic animal muscles in Pearl River estuary, south China[J]. *Journal of Fishery Science of China*, 2002(9):172-176.
- [13] 杨丽华, 方展强, 郑文彪, 等. 广州市市场食用鱼和贝类重金属含量及评价[J]. 环境科学与技术, 2002, 25:15-16.
- YANG Li-hua, FANG Zhan-qiang, CHENG Wen-biao, et al. Evaluation of heavy metals in edible fish and bivalves in a market in Guangzhou City [J]. *Environmental Science and Technology*, 2002, 25:15-16.
- [14] 中国疾病预防控制中心营养与食品安全所. 中国食物成分表 2002[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2002.
- National Institute for Nutrition and Food Safety, Chinese Center for Disease Control and Prevention, The People's Republic of China. China food composition 2002[M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2002.
- [15] 中国膳食指南专家委员会. 中国居民膳食指南及平衡膳食宝塔[M]. 北京: 中国检查出版社, 1999.
- The Institute of Nutrition of China. The pagoda of meal advice for Chinese[M]. Beijing: China Prosecutor Press, 1999.
- [16] 黄明路. 广东省居民食物消费机构调整的研究[J]. 卫生研究, 1997, 26:263-265.
- HUANG Ming-luo. The research on the change of food consumption of residents in Guangdong province, China[J]. *Journal of Hygiene Research*, 1997, 26:263-265.
- [17] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
- The Institute of Nutrition of China. Chinese dietary reference intakes, DRIs[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2001.
- [18] Doak C. Large-scale interventions and programmes addressing nutrition-related chronic diseases and obesity: examples from 14 countries[J]. *Public Health Nutrition*, 2002(5):275-277.
- [19] Nakata H, Kawazoe M, Arizono K, et al. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyl residues in foodstuffs and human tissues from China: Status of contamination, historical trend and human dietary exposure[J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2002(43):473-480.
- [20] Guo Y, Meng X Z, Tang H L, et al. Tissue distribution of organochlorine pesticides in fish collected from the Pearl River Delta, China: implications for fishery input source and bioaccumulation[J]. *Environmental Pollution*, (in press).
- [21] Guo Y, Meng X Z, Tang H L, et al. Distribution of polybrominated diphenyl ethers in fish tissues from the Pearl River Delta: levels, compositions and potential sources[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2008(27):576-582.
- [22] Zhou H Y, Wong M H. Screening of organochlorines in freshwater fish collected from the Pearl River Delta, People's Republic of China[J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2004(46):106-113.
- [23] U. S. Environmental Protection Agency. Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisories. Volume 2: risk assessment and fish consumption limits[C]. Washington DC, 2000.
- [24] 孟祥周, 余丽萍, 郭英, 等. 滴滴涕类农药在广东省鱼类中的残留及人体暴露水平初步评价[J]. 生态毒理学报, 2006(2):116-128.
- MENG Xiang-zhou, YU Li-ping, GUO Ying, et al. DDT residues in typical fishes of Guangdong Province and human exposure via fish consumption[J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2006(2):116-128.
- [25] Guo J Y, Zeng E Y, Mai B X, et al. Polybrominated diphenyl ethers in seafood products of South China [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007(55):9152-9158.
- [26] 骆世昌, 余汉生. 珠江口及附近海域生物体中 BHC 和 DDT 的含量研究[J]. 海洋通报, 2001, 20:44-50.
- LUO Shi-chang, YU Han-sheng. Studies on the contents of BHC and DDT in the organisms in the Pearl River estuary and adjacent sea area [J]. *Marine Science Bulletin*, 2001, 20:44-50.
- [27] Yang N, Matsuda M, Kawano M, et al. PCBs and organochlorine pesticides (OCPs) in edible fish and shellfish from China[J]. *Chemosphere*, 2005, 63(8):1342-1352.
- [28] Sun F, Wong S S, Li G C, et al. A preliminary assessment of consumer's exposure to pesticide residues in fisheries products[J]. *Chemosphere*, 2006(62):674-680.
- [29] Kipic D, Vukusic J, Sebecic B. Monitoring of chlorinated hydrocarbon pollution of meat and fish in Croatia[J]. *Food Technol Biotechnol*, 2002(40):39-47.
- [30] Nakata H, Nasu T, Abe S, et al. Organochlorine contaminants in human adipose tissues from China: mass balance approach for estimating historical Chinese exposure to DDTs[J]. *Environ Sci Technol*, 2005(39):4714-4720.
- [31] 陈学敏. 环境卫生学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2004.
- CHEN Xue-min. Environmental hygiene[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2004.
- [32] 黄勇, 郭庆荣, 任海, 等. 珠江三角洲典型地区蔬菜重金属污染状况研究——以中山市和东莞市为例 [J]. 生态环境, 2005, 14:559-561.
- HUANG Yong, GUO Qing-rong, REN Hai, et al. Investigation of heavy metal pollution in vegetables in the Pearl River delta: A case study of Zhongshan and Dongguan[J]. *Ecology and Environment*, 2005, 14:559-561.
- [33] Cheung K C, Leung H M, Wong M H. Metal concentrations of common freshwater and marine fish from the Pearl River Delta, South China[J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2008, 54:705-715.
- [34] Joint FAO/WHO expert committee on food additives. Report of the Joint FAO/WHO expert committee on food additives [C]/WHO technical report series; World Health Organization, Geneva, 1993. 837.