

风险评估

相对效能因子法在有机磷农药慢性累积膳食风险评估中的应用研究

隋海霞,杨大进,蒋定国,张磊,刘兆平

(国家食品安全风险评估中心,北京 100022)

摘要:目的 以有机磷农药为模式化学物,计算中国居民,包括普通人群,以及2~6岁、7~12岁、13~17岁(男,女)和18岁以上(男,女)等6个性别-年龄组经蔬菜摄入有机磷农药的慢性累积暴露水平及其潜在健康风险。方法 有机磷农药的含量数据来自2011年全国范围内采集的蔬菜样品($N=11\ 171$),消费量数据来自2002年中国居民营养与健康状况调查数据。采用相对效能因子(RPF)法,以甲胺磷作为指示化学物,采用确定性暴露评估方法,计算全人群以及6个性别-年龄组人群12种有机磷农药的累积暴露水平。结果 毒死蜱是蔬菜样品中检出率最高的有机磷农药,检出率为6.50%(726/11 171)。1.70%(190/11 171)的蔬菜样品中检出一种以上不同有机磷农药的组合。累积暴露评估发现,我国全人群平均暴露水平为0.49 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,占指示化学物甲胺磷每日允许摄入量(ADI)的18.35%。高食物消费量人群(P95)的摄入量为1.28 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,不同性别-年龄组人群P95暴露量范围为1.04~2.38 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,均低于甲胺磷的ADI。个体分析发现,共有68例(0.10%)的个体摄入水平超过了甲胺磷的ADI。12种有机磷农药中,甲胺磷、乐果、甲拌磷、乙酞甲胺磷和杀扑磷对累积暴露的贡献最高,分别占总暴露的71.45%、6.03%、5.74%、5.46%和5.44%。结论 中国居民经蔬菜摄入有机磷农药的慢性累积风险较低,不需要引起健康关注。

关键词:有机磷农药;累积暴露;相对效能因子;蔬菜;中国;风险评估

中图分类号:R155 文献标志码:A 文章编号:1004-8456(2016)04-0523-06

DOI:10.13590/j.cjfh.2016.04.024

Relative potency factor approach and its application in organophosphorus pesticide chronic cumulative dietary risk assessment in Chinese population

SUI Hai-xia, YANG Da-jin, JIANG Ding-guo, ZHANG Lei, LIU Zhao-ping

(China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China)

Abstract: Objective To evaluate the potential cumulative effects to organophosphorus pesticides (OP) that act through a common mechanism of toxicity, and to assess the long term risks for the Chinese population, including general population, 2-6 aged, 7-12 aged, male and female adolescents aged 13-17 as well as male and female adults aged 18 and above. **Methods** Residue data were derived from vegetable samples ($N=11\ 171$) collected national wide during 2011, and food consumption data were taken from China National Nutrition and Health Survey 2002. The relative potency factor (RPF) approach was used to calculate the exposure of OPs using methamidophos as index chemical (IC). The exposure was estimated using a deterministic approach. **Results** It was found that chlorpyrifos had the highest detection rate (6.50%) in vegetable samples. About 1.70% of the samples contained at least one OP. The mean exposure for the general population was 0.49 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$, representing 18.35% of the acceptable daily intake (ADI) of methamidophos. The P95 of exposure to OPs in the total Chinese population was 1.28 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$, while the total P95 of the cumulative intake for 6 age-sex groups was in the range of 1.04 and 2.38 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$, and was all below the ADI of IC. Further analysis showed that there were 68 (0.10%) individuals whose exposure had exceeded the ADI of index chemical. Among the 12 kinds of OPs, methamidophos, dimethoate, phorate, "methidathion" acephate and methidathion contributed most of the total combined exposure, accounting for 71.45%, 6.03%, 5.74%, 5.46% and 5.44% respectively. **Conclusion** The results indicate that the cumulative chronic risk from consumption of organophosphorus pesticides from vegetables for the Chinese population is low and do no need to pose any health concern.

Key words: Organophosphorus pesticide; cumulative exposure; relative potency factor; vegetable; Chinese; risk assessment

收稿日期:2016-04-01

基金项目:国家自然科学基金课题(81273081)

作者简介:隋海霞 女 副研究员 研究方向为风险评估 E-mail:suihaixia@cfsa.net.cn

通信作者:刘兆平 男 研究员 研究方向为风险评估 E-mail:liuzhaoping@cfsa.net.cn

两种或以上可引起相同健康效应的化学物通过不同途径和媒介共同引起的总暴露称作累积暴露,而通过膳食途径的累积暴露,称为累积膳食暴露^[1]。在过去的几年里,人们越来越关注通过食物和环境同时暴露于多种化学物的健康风险。即使单独暴露于具有相同作用机制的任何一种化学物都没有健康风险,联合暴露于这类化学物的风险,可能需要引起关注。有机磷农药(organophosphorus pesticide, OP)由于高效、广谱、经济、易降解等特点,在农业生产中得到广泛应用。与此同时,空气、水和食物中有机磷农药残留,使人群暴露于多种有机磷农药,干扰人体神经系统、免疫系统、生殖系统等正常功能^[2-3]。多种有机磷农药的联合作用与单一种类有机磷农药产生的毒作用存在很大差异。Moser等^[4]测定了5种有机磷农药混合物的相互作用(毒死蜱、二嗪农、乐果、乙酰甲胺磷和马拉硫磷),发现在低剂量时5种农药混合物具有增强效应,而此剂量水平的单组分却没有可观察效应。如果忽视农药的累积性暴露,将导致低估消费者的农药暴露风险。

累积风险评估方法的前提是化学物之间的作用方式必须是基于剂量相加,即,化学物之间没有交互作用,每种化学物的单独的剂量反应曲线是平行的^[5]。累积风险评估的方法有很多,例如:危害指数法(hazard index, HI)、累积风险指数法(cumulative risk index, CRI)、相对效能因子法(relative potency factor, RPF)、参考点指数法(reference point index, RPI)、联合暴露边界比法(combined margin of exposure, MOE_T)以及生理毒代动力学法(physiologically based toxicokinetics, PBTK)等,每种方法各有优缺点^[6-10]。相对效能因子法是农药累积风险评估常用的一种方法^[11-12]。RPF法的理论基础是所有化学物作用机制相同,但毒性潜能有差异^[7]。使用RPF法进行累积风险评估时,以一种化学物作为指示化学物(index chemical, IC),其他化学物的关键效应剂量与指示化学物比较,获得目标化学物的相对效能因子,从而对每种化学物的暴露进行标准化校正,获得相对于指示化学物的总暴露,然后与指示化学物的健康指导值比较,进行风险特征描述^[6-7]。指示化学物通常为同组化学物中研究最清楚、具有大量可用毒性数据、且毒性数据具有最小不确定系数的化学物^[6-7]。

本研究利用蔬菜中检出的12种有机磷农药为例,结合2002年中国居民营养与健康状况调查数据,阐释相对效能因子法在有机磷农药累积风险评估中的应用。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 食品中有机磷农药残留数据

食品中有机磷农药残留数据来自2011年全国范围内采集的蔬菜样品,涉及根茎类、瓜茄果椒类、鲜豆类、叶类、鲜菌类等5类蔬菜,共计11 171份样品。

1.1.2 食物消费量数据

食物消费量数据来自2002年中国居民营养与健康状况调查数据。该数据是采用多阶段分层整群随机抽样方法,利用连续3天24小时回顾法和3天家庭食物称重法,获得了全国大城市、中小城市、一类农村、二类农村、三类农村、四类农村共计68 959名调查对象的食物消费量数据。

1.2 方法

1.2.1 样品检测

采用世界卫生组织对未检出数据的处理原则,未检出数据的比例低于60%时,所有未检出数据用1/2检出限(LOD)替代,当未检出数据的比例高于60%时,所有未检出数据用LOD替代^[13]。

1.2.2 暴露评估

1.2.2.1 单一农药残留的暴露评估

以2002年中国居民营养与健康状况调查获得的68 959名被调查者中每一个体的体重和对各类食物的消费量数据为基础,结合不同类别食物中某种有机磷农药的含量数据,采用简单分布模型,计算每个个体每日每公斤体重某种有机磷农药的摄入量,其公式为:

$$y_i = \frac{\sum_{k=1}^n x_k c_k}{BW_i} \quad (1)$$

其中: y_i 为个体 i 的每日每公斤体重某种OP的摄入量, $\mu\text{g}/\text{kg BW}$; x_k 为个体 i 第 k 种食物的消费量, g/d ; c_k 为第 k 种食物中某种OP的平均含量, mg/kg ; BW_i 为个体 i 的体重, kg ;在得到个体 i 通过各类食物摄入有机磷农药的基础上,可获得68 959名被调查者12种OPs暴露量的频数分布,从而可获得不同百分位数的OPs摄入量。

1.2.2.2 累积暴露评估

在得到个体 i 通过各类食物摄入12种OPs的基础上,利用RPF对其他11种OPs的暴露量进行校正,获得基于指示化学物的总暴露量,公式如下:

$$EXP_{\text{累积}} = \sum_{i=1}^n EXP_i \times RPF_i \quad (2)$$

$$RPF_{\text{化学物}_i} = \text{BMD}_{10\text{指示化学物}} / \text{BMD}_{10\text{化学物}_i} \quad (3)$$

其中, $EXP_{\text{累积}}$ 为12种有机磷农药的累积暴露水平, $\mu\text{g}/\text{kg BW}$; EXP_i 为第 i 种有机磷农药的暴露水

平, $\mu\text{g}/\text{kg BW}$; RPF_i 为第 i 种有机磷农药相对于指示化学物相对效能因子; BMD 为基准剂量 (benchmark dose), BMD_{10} 为基于 10% 基准反应获得的基准剂量, BMD_{10} 指示化学物 为指示化学物的基准剂量, $\text{mg}/\text{kg BW}$; BMD_{10} 化学物 i 为目标化学物的基准剂量, $\text{mg}/\text{kg BW}$ 。

1.2.3 健康指导值

丙溴磷、马拉硫磷、甲胺磷、甲拌磷、甲基毒死蜱、甲基对硫磷、毒死蜱、伏杀硫磷、亚胺硫磷、乐果、乙酰甲胺磷等 11 种有机磷农药的每日允许摄入量 (ADI) 来自食品安全国家标准 GB 2763—2014《食品中农药最大残留限量》^[14], 杀扑磷的 ADI 来自粮农组织/世界卫生组织农药残留联席会议 (JMPR)^[15], 12 种有机磷农药的 RPF 来自于美国环境保护署 (EPA)^[16]。

2 结果

2.1 蔬菜中 12 种有机磷农药的平均含量

表 1 列出了本次评估用的蔬菜中 12 种有机磷农药的平均含量。由表 1 可见, 根茎类蔬菜中毒死蜱的平均含量最高, 达 $0.067 \text{ mg}/\text{kg}$, 其次为亚胺硫磷, 为 $0.033 \text{ mg}/\text{kg}$, 其他 10 种有机磷农药的平均含量均在 $0.03 \text{ mg}/\text{kg}$ 以下。对瓜茄果椒类蔬菜而言, 亚胺硫磷、丙溴磷和伏杀硫磷的含量较高, 分别为 0.024 、 0.023 和 $0.021 \text{ mg}/\text{kg}$, 其他 9 种农药平均含量均在 $0.02 \text{ mg}/\text{kg}$ 以下。叶类蔬菜中, 平均含量最高的为乙酰甲胺磷, 达 $0.093 \text{ mg}/\text{kg}$, 其次为毒死蜱和甲胺磷, 分别为 0.031 和 $0.030 \text{ mg}/\text{kg}$, 其他 9 种有机磷农药的平均含量均在 $0.02 \text{ mg}/\text{kg}$ 以下。鲜豆类蔬菜和鲜菌类蔬菜中, 平均含量最高的农药均为乙酰甲胺磷, 分别为 0.018 和 $0.022 \text{ mg}/\text{kg}$ 。

表 1 蔬菜中 12 种有机磷农药的平均含量 (mg/kg)

Table 1 Mean concentrations of 12 kinds of OPs in vegetables

农药	根茎类	瓜茄果椒类	鲜豆类	叶类	鲜菌类
丙溴磷	0.020	0.023	0.011	0.014	0.013
毒死蜱	0.067	0.017	0.014	0.031	0.007
伏杀硫磷	0.024	0.021	0.013	0.016	0.016
甲胺磷	0.015	0.012	0.015	0.030	0.007
甲拌磷	0.012	0.010	0.010	0.011	0.008
甲基毒死蜱	0.016	0.013	0.010	0.011	0.011
甲基对硫磷	0.012	0.013	0.012	0.013	0.006
乐果	0.018	0.012	0.013	0.013	0.008
马拉硫磷	0.018	0.013	0.013	0.012	0.008
杀扑磷	0.016	0.013	0.010	0.011	0.010
亚胺硫磷	0.033	0.024	0.014	0.017	0.019
乙酰甲胺磷	0.021	0.018	0.018	0.093	0.022

注: 表中含量均为对未检出值进行转化后的含量

由图 1 可见, 12 种有机磷农药中, 毒死蜱的检出率最高, 达 6.50% ($726/11171$), 其次为乙酰甲胺磷和甲胺磷, 分别为 2.72% ($303/11142$) 和 2.10% ($231/10997$), 乐果、甲拌磷和马拉硫磷的检

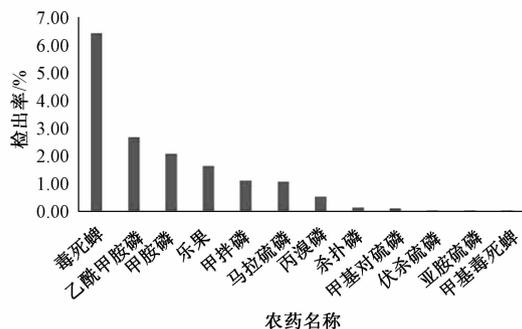


图 1 12 种有机磷农药在蔬菜中的检出率

Figure 1 Detection ratio of 12 kinds of OPs in vegetables

出率介于 $1.08\% \sim 1.65\%$, 其他 6 种农药的检出率均低于 1% 。

对同一种蔬菜中有机磷农药分析发现, 有 1.70% ($190/11171$) 的蔬菜样品检出不同组合的有机磷农药。其中, 2 份蔬菜中同时检出毒死蜱、乙酰甲胺磷、甲胺磷和乐果等 4 种有机磷农药; 21 份蔬菜中同时检出毒死蜱、乙酰甲胺磷、甲胺磷等 3 种有机磷农药; 12 份蔬菜中同时检出乙酰甲胺磷、甲胺磷和乐果等 3 种有机磷农药; 3 份蔬菜中同时检出毒死蜱、乙酰甲胺磷和乐果等 3 种有机磷农药; 3 份蔬菜中同时检出毒死蜱、乙酰甲胺磷和甲拌磷等 3 种有机磷农药; 还有 149 份蔬菜分别检出 2 种有机磷农药。

2.2 12 种农药的 ADI、 BMD_{10} 和 RPF

表 2 列出了 12 种有机磷农药的 ADI、 BMD_{10} 和相对效能因子。需要指出的是, ADI 的设定并非基于共同的观察终点。鉴于有大量的关于甲胺磷抑制胆碱酯酶活性的高质量毒理学数据, 美国环境保护署 (EPA) 采用甲胺磷作为指示化学物进行有机磷农药的累积风险评估。基于雌性大鼠胆碱酯酶活性下降作为观察终点, 获得不同有机磷农药的 BMD_{10} 。根据公式 3, 获得不同有机磷农药相对于指示化学物甲胺磷的 RPF ^[16]。本研究所用的 BMD_{10} 和 RPF 均引自美国 EPA。

表 2 12 种有机磷农药的 ADI、 BMD_{10} 和 RPF

Table 2 ADI, BMD_{10} and RPF of 12 kinds of OPs

农药	ADI/ $(\text{mg}/\text{kg BW})$	$BMD_{10}/(\text{mg}/\text{kg BW})$	RPF
马拉硫磷	0.3	313.91	0.0003
甲胺磷	0.004	0.08	1
甲拌磷	0.0007	0.21	0.39
甲基毒死蜱	0.01	16.2	0.005
甲基对硫磷	0.003	0.67	0.12
毒死蜱	0.01	1.48	0.06
杀扑磷	0.001	0.25	0.32
伏杀硫磷	0.02	6.93	0.01
亚胺硫磷	0.01	3.56	0.02
丙溴磷	0.03	20.58	0.004
乐果	0.002	0.25	0.32
乙酰甲胺磷	0.03	0.99	0.08

2.3 12种有机磷农药的慢性膳食暴露水平

由表3可见,12种有机磷农药的平均摄入量水平范围为0.07~0.35 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,占ADI比例的范围为0.03%~10.30%,均低于相应的健康指导值。高食物消费量人群摄入量水平范围为0.21~1.00 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,均低于相应的健康指导值。从个体分布水平分析,有32(0.05%)、10(0.01%)和3例(0.00%)的个体甲胺磷、甲拌磷和杀扑磷的摄入量超过相应的健康指导值。

表3 12种有机磷农药的慢性膳食暴露水平($N=68\ 959$)

Table 3 Chronic dietary exposure of 12 kinds of OPs

农药	摄入量/ $(\mu\text{g}/\text{kg BW})$			% ADI	超 ADI 个体数(占比/%)
	均值	P50	P95		
马拉硫磷	0.09	0.07	0.21	0.03	0(0)
甲胺磷	0.35	0.24	1.00	8.74	32(0.05)
甲拌磷	0.07	0.06	0.17	10.30	10(0.01)
甲基毒死蜱	0.08	0.07	0.19	0.82	0(0)
甲基对硫磷	0.08	0.07	0.19	2.67	0(0)
毒死蜱	0.23	0.18	0.56	2.29	0(0)
杀扑磷	0.08	0.07	0.19	8.32	3(0.00)
伏杀硫磷	0.13	0.10	0.29	0.63	0(0)
亚胺硫磷	0.15	0.12	0.35	1.48	0(0)
丙溴磷	0.11	0.09	0.27	0.38	0(0)
乐果	0.09	0.08	0.21	4.61	0(0)
乙酰甲胺磷	0.33	0.27	0.82	1.11	0(0)

注:% ADI为每种农药摄入量均值占该农药 ADI 的百分比

2.4 12种有机磷农药的慢性累积膳食暴露水平

由表4可见,从平均暴露水平而言,全人群12种有机磷农药慢性累积膳食暴露水平为0.49 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,占ADI的12.24%。不同性别-年龄组人群摄入量水平范围为0.41~0.90 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,均低于指示化学物甲胺磷的ADI,健康风险较低。而对于高食物消费量人群,全人群摄入量水平为1.28 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,不同性别-年龄组人群摄入量水平范围为1.04~2.38 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,均低于指示化学物甲胺磷的ADI,健康风险较低。从个体摄入量水平分析,共有68例(0.10%)的个体摄入量水平超过了甲胺磷的ADI,健康风险值得关注。进一步分析发现,不同性别-年龄组人群均有不同比例的个体摄入量水平超过ADI。

表4 12种有机磷农药的慢性累积膳食暴露水平

Table 4 Chronic cumulative dietary exposure of 12 kinds of OPs

组别	N	摄入量/ $(\mu\text{g}/\text{kg BW})$			% ADI	超 ADI 个体数(占比/%)
		均值	P50	P95		
2~6岁	3 992	0.90	0.68	2.38	22.41	34(0.85)
7~12岁	7 000	0.73	0.57	1.88	18.35	22(0.31)
13~17岁男	2 432	0.50	0.39	1.28	12.60	2(0.08)
13~17岁女	2 141	0.48	0.39	1.21	12.08	1(0.05)
≥ 18 岁男	25 221	0.41	0.33	1.04	10.35	5(0.02)
≥ 18 岁女	28 173	0.44	0.35	1.08	10.94	4(0.01)
全人群	68 959	0.49	0.37	1.28	12.24	68(0.10)

注:% ADI为每种农药摄入量均值占该农药 ADI 的百分比

2.5 不同农药对累积暴露的贡献水平

表5列出了不同农药采用指示化学物甲胺磷标准化后的暴露相对于累积暴露的贡献水平。由表可见,对累积暴露水平贡献最高的农药是指示化学物甲胺磷,高达71.45%,其次为乐果、甲拌磷、乙酰甲胺磷和杀扑磷,分别占累积暴露的6.03%、5.74%、5.46%和5.44%,其他7种有机磷农药的贡献水平,均低于3%。

表5 12种有机磷农药对慢性累积膳食暴露水平的贡献率($N=68\ 959$)

Table 5 Contribution of 12 kinds of OPs to total chronic

cumulative dietary exposure

农药	摄入量/ $(\mu\text{g}/\text{kg BW})$	% 总暴露
马拉硫磷	0.000	0.00
甲基毒死蜱	0.000	0.08
丙溴磷	0.001	0.10
伏杀硫磷	0.001	0.27
亚胺硫磷	0.003	0.61
甲基对硫磷	0.010	2.02
毒死蜱	0.014	2.80
杀扑磷	0.027	5.44
乙酰甲胺磷	0.027	5.46
甲拌磷	0.028	5.74
乐果	0.030	6.03
甲胺磷	0.350	71.45
合计	0.489	100.00

注:% 总暴露是每种农药的暴露量占12种农药累积暴露的百分比

3 讨论

近来,人们越来越关注通过食品和环境暴露于多种化学物。这些化学物有的具有联合作用,能够增加或降低毒性效应。因此,在暴露评估中,需要考虑联合效应。有研究表明,目前在世界范围内多种有机磷农药被应用到食品中。联合暴露于多种有机磷农药混和物的毒性日益受到关注^[17]。本研究以2011年全国范围内采集的蔬菜中12种有机磷农药作为模式化学物,计算我国居民经蔬菜摄入的12种有机磷农药,同时采用相对效能因子法,计算累积暴露水平。

目前常用的累积风险评估方法中,HI法简便迅速,但各化学物的健康指导值的确定并非基于共同的观察终点,因此,若HI大于1,还需要基于共同的观察终点重新制定各化学物的健康指导值,对HI进行校正。CRI法与HI法互为倒数,没有HI法简单易懂,具有与HI法相同的局限性。RPI法和 MOE_T 法互为倒数,最后的判断中要为整组化学物确定一个组的不确定系数。RPF法透明、易于理解,通过采用指示化学物对同组化学物的毒性进行标准化校正,但计算过程比较耗时。使用RPF方法进行的累积暴露评估,在很大程度上取决于指示化学

物的选择。然而, Wilkinson 等^[18]研究表明,若同组化学物使用相同的观察终点、相同的种属以及相同的不确定系数,则无论使用哪种累积风险评估的方法,结果都是相同的。本研究中所用 RPF,为不同化学物与指示化学物的基准剂量比较获得,该基准剂量基于共同的毒性作用终点——雌性大鼠脑中胆碱酯酶抑制活性。

本研究发现,在检测的 11 171 份蔬菜样品中,毒死蜱的检出率最高,达 6.50%,乙酰甲胺磷、甲胺磷、乐果、甲拌磷、马拉硫磷等 5 种有机磷农药的检出率均介于 1%~3% 之间。进一步分析发现,有 1.70% 的蔬菜样品检出不同组合的有机磷农药:2 份样品同时检出 4 种有机磷农药,39 份样品检出 3 种有机磷农药;149 份样品检出 2 种有机磷农药,其余样品仅检出 1 种或未检出有机磷农药。

本研究发现,基于 12 种有机磷农药的单一暴露评估结果,全人群以及不同性别-年龄组人群平均摄入量,以及高食物消费量人群摄入量,均低于相应的健康指导值。进一步分析发现,有 32 (0.05%)、10 (0.01%) 和 3 例 (0.00%) 的个体甲胺磷、甲拌磷和杀扑磷的摄入量超过相应的健康指导值,健康风险较高。而采用 RPF 法计算的累积暴露水平表明,全人群以及不同性别-年龄组人群平均摄入量,以及高食物消费量人群摄入量,均低于指示化学物甲胺磷的健康指导值。从个体摄入量分析,共有 68 例 (0.10%) 的个体摄入量超过了甲胺磷的 ADI,健康风险值得关注。进一步分析发现,不同性别-年龄组人群均有不同比例的个体摄入量超过 ADI。由此可见,即使单一化学物的健康风险不需要关注,联合暴露于多种具有相同作用机制的化学物,也有可能存在健康风险。

针对 12 种有机磷农药对累积暴露的贡献分析发现,指示化学物甲胺磷的贡献最高,达 71.45%,其次为乐果、甲拌磷、乙酰甲胺磷和杀扑磷,均占累积暴露 5%~6% 左右,而其他 7 种有机磷农药的贡献水平均低于 3%。进一步分析发现,就单一化学物暴露而言,甲胺磷和乙酰甲胺磷的暴露水平最高,乐果、杀扑磷和甲拌磷的暴露水平相近,且均很低;而甲拌磷、乐果和杀扑磷的 RPF 很高,因此,经 RPF 校正后,乐果、甲拌磷、乙酰甲胺磷和杀扑磷的贡献率远高于其他 7 种有机磷农药。

需要指出的是,本研究在食物消费量、未检出数据的处理、食物聚类等方面尚存在一定的不确定性。本研究仅针对蔬菜中农药残留进行评估,并未包括所有允许使用有机磷农药的食物类别,可能低估了暴露水平;此外,本研究未考虑加工对农药残

留的影响,可能会造成膳食暴露的偏移;另外,本研究仅涉及 12 种具有抗胆碱酯酶活性的有机磷农药,其他抗胆碱酯酶活性的化学物也需要纳入累积风险评估中,从而使累积暴露水平更加完善,这取决于其他抗胆碱酯酶活性物质的暴露水平以及毒性数据的可获得性。

参考文献

- [1] IPCS. 食品中化学物风险评估原则和方法[M]. 刘兆平,李凤琴,贾旭东,译. 北京:人民卫生出版社,2012:213.
- [2] Ayed-Boussema I, Rjiba K, Moussa A, et al. Genotoxicity associated with oxidative damage in the liver and kidney of mice exposed to dimethoate subchronic intoxication[J]. Environ Sci Pollut Res Int,2012,19(2):458-466.
- [3] YANG J, WANG H, XU W, et al. Metabolomic analysis of rat plasma following chronic low-dose exposure to diehlorvos[J]. Hum Exp Toxicol,2013,32(2):196-205.
- [4] Moser V C, Casey M, Hamm A, et al. Neurotoxicological and statistical analyses of a mixture of five organophosphorus residues using a ray design[J]. Toxicol Sci,2005,86(1):101-115.
- [5] Safe S H. Hazard and risk assessment of chemical mixtures using the toxic equivalency factor approach [J]. Environ Health Perspect,1998,106(Suppl 4):1051-1058.
- [6] US EPA. EPA/630/R-00/002 Supplementary guidance for conducting health risk assessment of chemical mixtures [R]. Washington DC:US Environmental Protection Agency,2000.
- [7] EFSA (European Food Safety Authority). Opinion of the scientific panel on plant protection products and their residues to evaluate the suitability of existing methodologies and, if appropriate, the identification of new approaches to assess cumulative and synergistic risks from pesticides to human health with a view to set MRLs for those pesticides in the frame of regulation (EC) 396/2005[J]. The EFSA Journal,2008,704:1-85.
- [8] Refstrup T K, Larsen J C, Meyer O. Risk assessment of mixtures of pesticides. Current approaches and future strategies[J]. Regul Toxicol Pharmacol,2010,56(2):174-192.
- [9] US EPA. Guidance on cumulative risk assessment of pesticides chemicals that have a common mechanism of toxicity [R]. Washington,DC:US Environmental Protection Agency,2002.
- [10] US EPA. EPA/600/R-03/052 Developing relative potency factors for pesticides mixtures: biostatistical analyses of joint dose-response [R]. Cincinnati: US Environmental Protection Agency,2003.
- [11] Boon P E, Van der V H, Van Raaij M T, et al. Cumulative risk assessment of the exposure to organophosphorus and carbamate insecticides in the Dutch diet [J]. Food Chem Toxicol,2008,46(9):3090-3098.
- [12] Jonker D, Freidig A P, Groten J P, et al. Safety evaluation of chemical mixtures and combinations of chemical and non-chemical stressors[J]. Rev Environ Health,2004,19(2):83-139.
- [13] World Health Organization. Second workshop on reliable evaluation of low-level contamination of food [R]. Rome: WHO,1995.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,中华人民共和国

- 国农业部. GB 2763—2014 食品中农药最大残留限量[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
- [15] JMPR. Inventory of IPCS and other WHO pesticide evaluations and summary of toxicological evaluations performed by the Joint Meeting on Pesticide Residues (JMPR) [EB/OL]. (1992-01-01) [2016-07-07]. <http://www.inchem.org/documents/jmpr/jmpmono/092pr12.htm>.
- [16] EPA (U. S. Environmental Protection Agency). Organophosphorus cumulative risk assessment [EB/OL]. (2002-04-17) [2016-06-07]. http://www.epa.gov/pesticides/cumulative/prap-op/rpf_final.htm.
- [17] YU Y, YANG A, ZHANG J, et al. Maternal exposure to the mixture of organophosphorus pesticides induces reproductive dysfunction in the offspring[J]. *Environ Toxicol*, 2013, 28(9):507-515.
- [18] Wilkinson C F, Christoph G R, Julien E, et al. Assessing the risk of exposures to multiple chemicals with a common mechanism of toxicity: how to cumulate? [J]. *Regul Toxicol Pharmacol*, 2000, 31(1):31-43.

风险评估

湖南居民主要食品中锑的污染及暴露评估

谭湘武¹, 马金辉¹, 萧福元¹, 彭蔚¹, 谭伊曼², 肖胜蓝¹

(1. 湖南省湘潭市疾病预防控制中心, 湖南湘潭 411100;

2. 湘潭医卫职业技术学院, 湖南湘潭 411100)

摘要:目的 掌握湖南省主要食品中锑的污染水平, 评估湖南居民膳食中锑暴露安全性。方法 运用湖南省常住居民营养与健康状况现状分析数据和2014—2015年湖南主要食品污染物监测数据, 获得湖南地区居民膳食中锑暴露量, 采用世界卫生组织规定锑的每日耐受摄入量(TDI)的限值, 评价湖南居民从食物中摄入锑的安全性。结果 粮食、蔬菜、水果、肉类、水产品、饮料、乳制品7类共1445份食品样品中, 锑检出率为80.8% (1168/1445), 食品中锑含量的范围为ND~0.20 mg/kg, 平均数为(0.046±0.17) mg/kg, 中位数为0.0084 mg/kg; 湖南地区居民通过7类主要食品的锑暴露量为0.65 μg/kg BW, 安全限值(MOS)为9.2。蔬菜是膳食中锑暴露的主要来源, 其贡献率为83.09%。结论 湖南地区主要食品中锑的暴露水平未超过TDI值, MOS值>1, 居民膳食中锑暴露水平总体处于安全状态, 但膳食中蔬菜类对锑暴露的贡献较大, 值得关注。

关键词: 粮食; 蔬菜; 水果; 肉类; 水产品; 饮料; 锑; 食品污染物; 摄入量; 暴露评估; 风险评估

中图分类号: R155 文献标志码: A 文章编号: 1004-8456(2016)04-0528-05

DOI: 10.13590/j.cjfh.2016.04.025

Dietary exposure assessment of antimony in Hunan

TAN Xiang-wu, MA Jin-hui, XIAO Fu-yuan, PENG Wei, TAN Yi-man, Xiao Sheng-lan
(Xiangtan Center for Disease Control and Prevention, Hunan Xiangtan 411100, China)

Abstract: Objective To obtain the information of antimony pollution level in main food and evaluate the dietary exposure level in Hunan Province. **Methods** Based on the data from Nutrition and Health Status in Hunan Province in 2002 and food contamination monitoring in 2014 and 2015, the dietary exposure level of antimony in Hunan Province was calculated, and the safety of antimony intake was evaluated by the TDI established by WHO. **Results** 1445 samples from 7 food categories were analyzed. The total detection rate was 80.8% (1168/1445). The detection values were ND-0.20 mg/kg. The median was 0.0084 mg/kg, daily dietary intake of antimony by the general population was 0.65 μg/kg BW, and the MOS values was 9.2. The main resource of antimony was vegetable which contributed 83.09% of the exposure. **Conclusion** The average dietary antimony exposure from 7 food categories did not exceed the TDI, the MOS was bigger than 1 as the exposure was safe in general. However, the vegetables had a high risk to the residents, which should be paid attention to.

Key words: Grain; vegetable; fruits; meat; aquatic product; drink; antimony; food contaminant; intake; exposure assessment; risk assessment