

[16] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Safety evaluation of certain food additives and contaminants [R].2011 (64):381-497.

[17] EFSA Scientific Committee. Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food [J]. The EFSA Journal, 2012, 10 (12): 2985.

[18] FAO/WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants [R] WHO Technical Report Series, 2011(64):305-380.

[19] Codex Alimentaries Commission. Codex Alimentarius Commission; procedural manual, 27<sup>th</sup> ed [M]. Rome: FAO/WHO, 2019.

[20] 刘丽,邓时铭,黄向荣,等.浅谈水产动物中的重金属污染[J].河北渔业,2011,7(19):51-54.

[21] 李筱薇,高俊全,陈君石.2000 年中国总膳食研究——膳食汞摄入量[J].卫生研究,2006,35(3):323-325.

[22] 刘镜恪.海鱼早期阶段必需脂肪酸和磷脂的研究现状与展望[J].海洋水产研究,2002,23(2):58-63.

[23] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Safety evaluation of certain food additives and contaminants [R]. 2016 (995):1-132.

[24] 李筱薇,刘卿,刘丽萍,等.应用中国总膳食研究评估中国人膳食铅暴露分布状况[J].卫生研究,2012,41(3):379-384.

[25] 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锡摄入量[J].卫生研究,2008,37(3):338-342.

[26] European Food Safety Authority (EFSA). Cadmium dietary exposure in the European population European Food Safety Authority[J]. The EFSA Journal, 2012,10(1):2551-2588.

[27] European Food Safety Authority (EFSA). Scientific opinion on arsenic in food [J]. The EFSA Journal, 2009, 7 (10): 1351-1550.

[28] European Food Safety Authority (EFSA). Scientific opinion on lead in food[J] The EFSA Journal, 2010,8(4):1570.

[29] 隋海霞,杨大进,蒋定国,等.相对效能因子法在有机磷农药慢性累积膳食暴露风险评估中的应用研究[J].中国食品卫生杂志,2016,28(4):523-527.

风险评估

云南省新鲜蔬菜中 11 种有机磷农药残留情况分析 & 慢性累积暴露评估

张婷, 万玉萍, 段毅宏, 李彦生, 刘建辉, 许燕  
(云南省疾病预防控制中心, 云南 昆明 650022)

**摘要:**目的 分析云南省新鲜蔬菜中 11 种有机磷农药的残留情况,评估云南省居民有机磷农药的慢性累积暴露风险。方法 对 2012—2017 年云南省新鲜蔬菜中 11 种有机磷农药含量数据进行统计分析,结合 2012 年中国居民营养与健康状况调查中新鲜蔬菜消费量数据,采用危害指数法评估云南省居民有机磷农药的慢性累积暴露风险。结果 2 150 份样品中 11 种有机磷农药总检出率为 14.1%(303/2 150),超标率为 4.3%(93/2 150)。危害指数法评估结果显示云南省居民平均危害指数为 0.382 5,城市男性和城市低收入人群危害指数较高,分别为 0.526 7 和 0.489 0,但均小于 1。氧化乐果的慢性累积暴露量贡献率最高(48.3%)。结论 云南省新鲜蔬菜存在有机磷农药残留情况,云南省居民经新鲜蔬菜摄入的有机磷农药慢性累积暴露风险小,但仍存在违规使用和滥用农药的问题,需加强对农药生产使用的监管。

**关键词:**有机磷农药; 蔬菜; 残留情况; 累积暴露; 风险评估; 云南

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004- 8456(2019)05- 0475- 06

DOI:10. 13590/j. cjfh. 2019. 05. 015

Contamination and cumulative risk assessment of 11 organophosphorus pesticides in fresh vegetables from Yunnan Province

ZHANG Ting, WAN Yuping, DUAN Yihong, LI Yansheng, LIU Jianhui, XU Yan  
(Yunnan Center for Disease Control and Prevention, Yunnan Kunming 650022, China)

**Abstract: Objective** To analyze the contamination of 11 organophosphorus pesticides in fresh vegetables from Yunnan Province and to assess the cumulative risk after chronic exposure. **Methods** Eleven organophosphorus pesticides content

收稿日期:2019-08-19

作者简介:张婷 女 主管技师 研究方向为理化检验、食品风险监测和食品安全 E-mail:zting15@ 163.com

通信作者:许燕 女 副主任技师 研究方向为理化检验、食品风险监测和食品安全 E-mail:xuyan\_yncdc@ 163.com

in fresh vegetables in Yunnan Province from 2012 to 2017 were analyzed, combined with the fresh vegetables consumption of National Nutrition and Health Survey in 2012, and hazard index method was used to assess the cumulative risk of organophosphate pesticides in Yunnan Province. **Results** The total detection rate of 11 organophosphorus pesticides in 2 150 samples was 14.1% (303/2 150), the exceeding standard rate was 4.3% (93/2 150). The result showed that the average hazard index of residents in Yunnan Province was 0.382 5 by hazard index method, the average hazard index of urban male (0.526 7) and urban low-income (0.489 0) were relatively high, but both less than 1. The chronic cumulative exposure contribution rate of omethoate was the highest (48.3%). **Conclusion** There was organophosphorus pesticide pollution of fresh vegetables in Yunnan Province, the risk of chronic accumulated exposure was low. Strengthening supervision of pesticide production and application still could not be ignored in order to control illegal use and abuse.

**Key words:** Organophosphorus pesticides; vegetable; contamination condition; cumulative exposure; risk assessment; Yunnan

有机磷农药(organophosphorus pesticides, OPs)属于一类磷酸酯类或硫代磷酸酯类化合物,是我国使用范围最广、用量最大、引起农药中毒占比最高的杀虫剂。随着有机磷农药的广泛应用,其对人类健康的影响受到越来越多的关注,有机磷农药的主要中毒机理为抑制人体内胆碱酯酶的活性,表现为以神经系统损害为主的全身性疾病,包括胆碱能兴奋或危象、中间期肌无力(IMS)和迟发性多发性神经病(OPIDPN),目前慢性毒性研究主要集中在其致癌性、神经毒性和生殖毒性<sup>[1-8]</sup>,因此,鉴于有机磷农药的高毒性,我国已禁止氧化乐果等部分农药的使用。云南省近年开展的监测中,农药检出和超标情况也一直存在。本研究以农药残留相对较多的新鲜蔬菜为研究对象,对2012—2017年云南省连续监测四年及以上、检出率较高的11种有机磷农药的检测数据进行污染情况分析,并应用危害指数(HI)法评估经新鲜蔬菜摄入11种有机磷农药对云南省居民的慢性累积暴露风险。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 新鲜蔬菜中有机磷农药含量数据

数据来源于云南省开展的监测工作,共2 150份样品,样品采自云南省所属15个州市,采样地点包括流通环节、种植环节和餐饮环节,共20 884条数据。样品的采集、检验、质量控制参照监测工作手册<sup>[9]</sup>,含量测定参照手册中气相色谱法或气相色谱-质谱联用法,在2012—2017年连续监测四年及以上的有机磷农药中,选择检出率较高的11种农药(毒死蜱、甲胺磷、三唑磷、氧化乐果、乙酰甲胺磷、久效磷、敌敌畏、甲基对硫磷、灭线磷、水胺硫磷、乐果)进行分析,按照中国食物成分表将样品分为根茎类、茄果瓜菜类、豆类、叶花类。

#### 1.1.2 新鲜蔬菜消费量数据

新鲜蔬菜平均消费量数据来源于2012年中国居民营养与健康状况调查中云南省的调查结果,采用多阶段分层与人口成比例的整群随机抽样,抽取云南省6个地区1 072户2 170人,以3 d 24 h膳食回顾法进行入户调查,得到云南省城乡居民各类食物消费情况<sup>[10]</sup>。膳食结构调查结果,各品种蔬菜具体消费量按照根茎类11%、茄果瓜菜类27%、豆类6%、叶花类53%的比例结合云南省新鲜蔬菜平均消费量计算得到<sup>[11]</sup>。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 数据处理

对未检出(ND)值的处理,根据世界卫生组织(WHO)发布的“食品中低水平污染物可信评价”的推荐性程序<sup>[12]</sup>,若检出值小于检出限(LOD)的数据量比例小于等于60%,以1/2LOD值代替未检出值代入统计计算;若检出值小于LOD的数据量比例大于60%,以0和LOD值分别代替未检出值代入统计计算;若检出值小于LOD的数据量比例大于80%,应根据膳食暴露评估结果,合理选择适当值代替未检出值。本研究选择以LOD值代替未检出值统计。

#### 1.2.2 累积暴露风险评估方法

##### 1.2.2.1 单个农药膳食暴露量的计算

利用有机磷农药含量和新鲜蔬菜消费量,以点评估方法得到单个农药的膳食暴露量,计算公式为:

$$Exp = \sum_{k=1}^n \frac{F_k \times C_k}{W}$$

其中:Exp为单个农药的膳食暴露量(每天每公斤体重农药的摄入量),mg/kg BW; $F_k$ 为第k种新鲜蔬菜的消费量,kg/d; $C_k$ 为第k种蔬菜中有机磷农药的平均含量,mg/kg<sup>[13]</sup>;W为体重,kg。标准人体重男性以60 kg计算,女性以55 kg计算。

1.2.2.2 慢性累积暴露风险

慢性累积暴露风险运用 HI 法进行评估, 结合单个农药的膳食暴露量和健康指导值计算出 11 种有机磷农药的危害商 (HQ), 进一步加和得到 HI, 当 HI<1, 则认为累积暴露风险可接受, 反之则不可接受<sup>[14]</sup>。计算公式为:

$$HI = \sum_{i=1}^n HQ_i = \sum_{i=1}^n \frac{Exp_i}{RV_i}$$

其中: HI 为危害指数; HQ 为单个农药的危害商; RV<sub>i</sub> 为单个农药的健康指导值, mg/kg BW。本研究以 GB 2763—2016《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》<sup>[15]</sup>规定的有机磷农药的每日允许摄入量 (ADI) 值 (mg/kg BW) 为对应的健康指导值。

1.3 统计学分析

所有数据运用 Excel 2013 和 SPSS 22.0 进行分析和统计。其中同时监测的 11 种有机磷农药含量间差异性分析采用 Fridman 和 Kendall's W 检验 (多配对样本检验), 4 类蔬菜中同种农药的含量差异性

分析采用 Mann-Whitney U (两独立样本) 检验, 以 P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 新鲜蔬菜中 11 种有机磷农药的残留情况

11 种有机磷农药在新鲜蔬菜中均有一定残留, 具体检测结果见表 1, 2 150 份样品中有机磷农药总检出率为 14.1% (303/2 150), 超标率为 4.3% (93/2 150)。从农药种类看, 蔬菜中毒死蜱、乙酰甲胺磷和氧化乐果的检出率和平均含量较高, 氧化乐果的超标率最高 (2.5%, 48/1 890)。从蔬菜种类看, 叶花类蔬菜的有机磷农药总检出率最高 (17.4%, 190/1 093), 其次为根茎类 (12.3%, 56/454), 茄果瓜菜类和豆类的检出率分别为 9.5% (40/421) 和 9.3% (17/182); 叶花类和根茎类蔬菜的有机磷农药超标率较高, 分别为 5.6% (61/1 093) 和 4.2% (19/454), 茄果瓜菜类和豆类的超标率分别为 2.4% (10/421) 和 1.7% (31/182)。

表 1 11 种农药在各类蔬菜中的残留情况  
Table 1 Residual condition of 11 OPs in different vegetables

| 农药种类  | 根茎类         |            |                      |                       | 茄果瓜菜类       |            |                      |                       | 豆类         |            |                      |                       |
|-------|-------------|------------|----------------------|-----------------------|-------------|------------|----------------------|-----------------------|------------|------------|----------------------|-----------------------|
|       | 检出率<br>/%   | 超标率<br>/%  | 平均含量<br>/(mg/<br>kg) | LOD 值<br>/(mg/<br>kg) | 检出率<br>/%   | 超标率<br>/%  | 平均含量<br>/(mg/<br>kg) | LOD 值<br>/(mg/<br>kg) | 检出率<br>/%  | 超标率<br>/%  | 平均含量<br>/(mg/<br>kg) | LOD 值<br>/(mg/<br>kg) |
| 敌敌畏   | 1.4(6/414)  | 0.0(0/414) | 0.007 0              | 0.006                 | 0.2(1/403)  | 0.0(0/403) | 0.007 5              | 0.007                 | 0.6(1/169) | 0.0(0/169) | 0.006 9              | 0.006                 |
| 毒死蜱   | 4.8(22/454) | 1.1(5/454) | 0.029 3              | 0.009                 | 1.9(8/421)  | 0.2(1/421) | 0.011 1              | 0.010                 | 2.2(4/182) | 0.0(0/182) | 0.010 8              | 0.010                 |
| 甲胺磷   | 0.9(4/454)  | 0.4(2/454) | 0.007 2              | 0.006                 | 1.4(6/421)  | 0.0(0/421) | 0.007 7              | 0.007                 | 1.6(3/182) | 0.5(1/182) | 0.008 9              | 0.007                 |
| 甲基对硫磷 | 1.4(6/420)  | 0.7(3/420) | 0.006 7              | 0.005                 | 0.8(3/364)  | 0.3(1/364) | 0.005 6              | 0.005                 | 3.0(5/169) | 0.0(0/169) | 0.005 0              | 0.005                 |
| 久效磷   | 0.7(3/414)  | 0.5(2/414) | 0.006 3              | 0.006                 | 0.2(1/403)  | 0.2(1/403) | 0.007 1              | 0.007                 | 1.2(2/169) | 0.6(1/169) | 0.005 7              | 0.005                 |
| 乐果    | 0.7(2/288)  | 0.0(0/288) | 0.009 3              | 0.009                 | 1.3(3/227)  | 0.0(0/227) | 0.011 1              | 0.010                 | 2.1(3/141) | 0.0(0/141) | 0.012 1              | 0.010                 |
| 灭线磷   | 0.8(3/367)  | 0.0(0/367) | 0.004 6              | 0.004                 | 0.9(3/322)  | 0.0(0/322) | 0.005 0              | 0.004                 | 0.0(0/158) | 0.0(0/158) | 0.004 7              | 0.005                 |
| 三唑磷   | 0.9(4/454)  | 0.0(0/454) | 0.009 3              | 0.009                 | 1.2(5/421)  | 0.0(0/421) | 0.010 3              | 0.009                 | 1.1(2/182) | 0.0(0/182) | 0.010 9              | 0.009                 |
| 水胺硫磷  | 0.0(0/371)  | 0.0(0/371) | 0.006 8              | 0.007                 | 0.3(1/309)  | 0.0(0/309) | 0.007 2              | 0.007                 | 0.0(0/160) | 0.0(0/160) | 0.006 4              | 0.006                 |
| 氧化乐果  | 2.9(12/420) | 1.7(7/420) | 0.010 5              | 0.006                 | 2.5(9/364)  | 1.9(7/364) | 0.008 7              | 0.006                 | 0.6(1/169) | 0.6(1/169) | 0.007 3              | 0.006                 |
| 乙酰甲胺磷 | 2.7(11/414) | 0.0(0/414) | 0.023 7              | 0.020                 | 3.0(12/403) | 0.0(0/403) | 0.024 6              | 0.020                 | 0.6(1/169) | 0.0(0/169) | 0.029 5              | 0.029                 |

| 农药种类  | 叶花类           |              |                  |                   | 合计            |               |                  |
|-------|---------------|--------------|------------------|-------------------|---------------|---------------|------------------|
|       | 检出率<br>/%     | 超标率<br>/%    | 平均含量<br>/(mg/kg) | LOD 值<br>/(mg/kg) | 检出率<br>/%     | 超标率<br>/%     | 平均含量<br>/(mg/kg) |
| 敌敌畏   | 2.2(23/1 028) | 0.0(4/1 028) | 0.009 5          | 0.007             | 1.5(31/2 014) | 0.2(4/2 014)  | 0.008 4          |
| 毒死蜱   | 4.9(54/1 093) | 0.5(6/1 093) | 0.013 7          | 0.010             | 4.1(88/2 150) | 0.6(12/2 150) | 0.016 2          |
| 甲胺磷   | 2.7(29/1 093) | 0.5(5/1 093) | 0.008 9          | 0.007             | 2.0(42/2 150) | 0.4(8/2 150)  | 0.008 3          |
| 甲基对硫磷 | 1.2(11/937)   | 0.4(4/937)   | 0.007 2          | 0.005             | 1.3(25/1 890) | 0.4(8/1 890)  | 0.006 6          |
| 久效磷   | 1.3(13/1 028) | 0.4(4/1 028) | 0.007 6          | 0.007             | 0.9(19/2 014) | 0.4(8/2 014)  | 0.007 1          |
| 乐果    | 2.8(17/615)   | 0.0(0/615)   | 0.010 5          | 0.009             | 2.0(25/1 271) | 0.0(0/1 271)  | 0.010 5          |
| 灭线磷   | 0.8(6/767)    | 0.5(4/767)   | 0.005 1          | 0.004             | 0.7(12/1 614) | 0.2(4/1 614)  | 0.004 9          |
| 三唑磷   | 0.5(5/1 093)  | 0.0(0/1 093) | 0.009 4          | 0.009             | 0.7(16/2 150) | 0.0(0/2 150)  | 0.009 7          |
| 水胺硫磷  | 0.6(5/887)    | 0.0(0/887)   | 0.007 2          | 0.007             | 0.3(6/1 727)  | 0.0(0/1 727)  | 0.007 0          |
| 氧化乐果  | 4.4(41/937)   | 3.5(33/937)  | 0.018 5          | 0.006             | 3.3(63/1 890) | 2.5(48/1 890) | 0.013 8          |
| 乙酰甲胺磷 | 5.6(58/1 028) | 0.1(1/1 028) | 0.028 5          | 0.020             | 4.1(82/2 014) | 0.0(1/2 014)  | 0.026 8          |

注: 为得到更为保守的结果, 每种农药均为以 LOD 值代替未检出值的统计结果; 因每年实际检测条件不同, 表中 LOD 值为实际方法 LOD 值的平均值; 乙酰甲胺磷总超标率为 0.05%

根茎类、茄果瓜菜类和叶花类蔬菜中毒死蜱、乙酰甲胺磷、氧化乐果检出率较高, 豆类蔬菜中甲

基对硫磷、毒死蜱、乐果检出率较高,与总体蔬菜中农药检出率基本一致。2 150 份样品中,1 129 份样品同时监测了 11 种有机磷农药,其中 73 份样品同时检出多种农药,对 1 129 份样品在同类新鲜蔬菜中的 11 种有机磷农药含量间进行多配对样本检验,经 Fridman 和 Kendall's W 检验,差异均有统计学意义( $\chi^2=2\ 182.953,P<0.05$ )。

将 4 类蔬菜中同种农药的含量进行两独立样本检验,经 Mann-Whitney U 检验,敌敌畏、毒死蜱、甲胺磷和三唑磷在根茎类和茄果瓜菜类中的含量差异有统计学意义( $Z=-2.496,P<0.05;Z=-2.300,P<0.05;Z=-2.479,P<0.05$ );敌敌畏、三唑磷和氧化乐果在根茎类和叶花类中的含量差异有统计学意义( $Z=-2.233,P<0.05;Z=-2.151,P<0.05;Z=-2.203,P<0.05$ );甲基对硫磷和灭线磷在茄果瓜菜类和叶花类中的含量差异有统计学意义( $Z=-2.417,P<0.05;Z=-1.966,P<0.05$ );久效磷在豆类和茄果瓜菜类中的含量差异有统计学意义( $Z=-2.551,P<0.05$ )。乐果、水胺硫磷和乙酰甲胺磷在 4 类蔬菜间含量均差异无统计学意义( $P>0.05$ )。

分组统计不同监测时间下有机磷农药在各类

蔬菜中的残留情况(见图 1),在 2013—2017 年间检出率总体呈先增高后降低的趋势,在 2014 年检出率较高,之后开始逐年降低。从各类蔬菜检出率随监测时间的变化看,除茄果瓜菜类因 2015 年样品较少造成检出率波动较大外,其余三类蔬菜检出率变化趋势与总体一致。

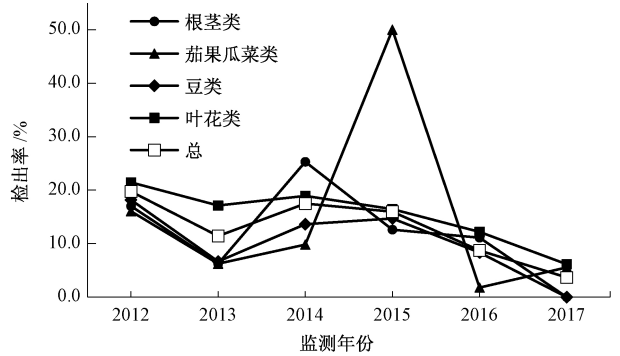


图 1 不同监测时间各类蔬菜中 11 种有机磷农药检出率  
Figure 1 Detection rates of 11 Ops in different monitoring time

### 2.2 云南省居民各类新鲜蔬菜消费量

参考文献[11]膳食结构调查结果,结合云南省居民新鲜蔬菜平均消费量数据,得到云南省居民各类新鲜蔬菜消费量数据,见表 4。

表 4 云南省居民各类新鲜蔬菜消费量(g/d)  
Table 4 Fresh vegetable consumption of Yunnan Province

| 地区 | 分类   | 分组     | 根茎类    | 茄果瓜菜类  | 豆类      | 叶花类     | 合计      |
|----|------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 城市 | 性别   | 男性     | 36.619 | 89.883 | 19.974  | 176.437 | 322.913 |
|    |      | 女性     | 31.207 | 76.599 | 17.022  | 150.361 | 275.189 |
|    | 收入水平 | 低收入    | 34.001 | 83.457 | 18.546  | 163.823 | 299.827 |
|    |      | 中等收入   | 33.726 | 82.782 | 18.396  | 162.498 | 297.402 |
|    |      | 高收入    | 31.647 | 77.679 | 17.262  | 152.481 | 279.069 |
|    | 性别   | 男性     | 26.598 | 65.286 | 14.508  | 128.154 | 234.546 |
| 女性 |      | 22.561 | 55.377 | 12.306 | 108.703 | 198.947 |         |
| 农村 | 收入水平 | 低收入    | 23.034 | 56.538 | 12.564  | 110.982 | 203.118 |
|    |      | 中等收入   | 25.718 | 63.126 | 14.028  | 123.914 | 226.786 |
|    |      | 高收入    | 24.376 | 59.832 | 13.296  | 117.448 | 214.952 |
| 合计 |      |        | 26.598 | 65.286 | 14.508  | 128.154 | 234.546 |

### 2.3 云南省居民 11 种有机磷农药慢性累积暴露风险分析

根据各类蔬菜中每种农药平均含量和云南省居民各类蔬菜消费量,计算每种农药的膳食暴露量,结合各自的 ADI 值计算每种农药的 HQ,见表 5,累计加和得到相应的 HI。结果显示,云南省居民平均 HI 为 0.382 5,小于 1,总体慢性累积暴露风险低。根据云南省各类特定人群新鲜蔬菜的消费量,计算城乡不同性别、不同收入人群的 HI,结果见表 6,城市男性和城市低收入人群 HI 较高,分别为 0.526 7 和 0.489 0,但均小于 1,慢性累积暴露风险低。通过单种农药的 HQ 在 HI 中的占比计算得到各种农药的慢性累积暴露量贡献率,见图 2。结果

显示氧化乐果贡献率最高(48.3%),此外,灭线磷、久效磷和三唑磷的贡献率均在 10%及以上,其余有机磷农药的贡献率总和在 20%以下。

### 3 讨论

本研究分析了 2012—2017 年云南省新鲜蔬菜中 11 种有机磷农药的残留情况,结果显示 2 150 份样品中有机磷农药检出率为 14.1%,超标率为 4.3%,毒死蜱、乙酰甲胺磷和氧化乐果的检出率和平均含量较高,氧化乐果超标率较高,叶花类蔬菜农药总检出率和超标率较高。张兴旺<sup>[16]</sup>对云南省蔬菜中有机磷农药残留现状研究结果显示,1 779 份样品中 7 种有机磷农药总检出率为 15.5%,检出



表 5 新鲜蔬菜中 11 种有机磷农药在云南省居民中的慢性累积暴露风险

Table 5 Chronic cumulative exposure risk of 11 OPs in fresh vegetables in Yunnan resident

| 农药名称  | 膳食暴露量<br>/(mg/kg BW) | ADI<br>/(mg/kg BW) | HQ      |
|-------|----------------------|--------------------|---------|
| 氧化乐果  | 0.000 055 5          | 0.000 3            | 0.184 8 |
| 灭线磷   | 0.000 019 4          | 0.000 4            | 0.048 4 |
| 久效磷   | 0.000 028 2          | 0.000 6            | 0.047 0 |
| 三唑磷   | 0.000 038 1          | 0.001              | 0.038 1 |
| 乐果    | 0.000 041 5          | 0.002              | 0.020 8 |
| 水胺硫磷  | 0.000 027 7          | 0.003              | 0.009 2 |
| 甲基对硫磷 | 0.000 025 6          | 0.003              | 0.008 5 |
| 敌敌畏   | 0.000 033 2          | 0.004              | 0.008 3 |
| 甲胺磷   | 0.000 032 7          | 0.004              | 0.008 2 |
| 毒死蜱   | 0.000 057 0          | 0.01               | 0.005 7 |
| 乙酰甲胺磷 | 0.000 105 2          | 0.03               | 0.003 5 |

表 6 新鲜蔬菜中 11 种有机磷农药在云南省各类人群中的 HQ 和 HI 值

Table 6 HQ and HI of 11 OPs in fresh vegetables in Yunnan specific groups of people

| 农药名称      | 城市      |         |         |         |         | 农村      |         |         |         |         |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|           | 男性      | 女性      | 低收入     | 中等收入    | 高收入     | 男性      | 女性      | 低收入     | 中等收入    | 高收入     |
| 敌敌畏       | 0.011 4 | 0.009 7 | 0.010 6 | 0.010 5 | 0.009 9 | 0.008 3 | 0.007 0 | 0.007 2 | 0.008 0 | 0.007 6 |
| 毒死蜱       | 0.007 8 | 0.006 7 | 0.007 3 | 0.007 2 | 0.006 8 | 0.005 7 | 0.004 8 | 0.004 9 | 0.005 5 | 0.005 2 |
| 甲胺磷       | 0.011 2 | 0.009 6 | 0.010 4 | 0.010 4 | 0.009 7 | 0.008 2 | 0.006 9 | 0.007 1 | 0.007 9 | 0.007 5 |
| 甲基对硫磷     | 0.011 7 | 0.010 0 | 0.010 9 | 0.010 8 | 0.010 1 | 0.008 5 | 0.007 2 | 0.007 4 | 0.008 2 | 0.007 8 |
| 久效磷       | 0.064 7 | 0.055 2 | 0.060 1 | 0.059 6 | 0.056 0 | 0.047 0 | 0.039 9 | 0.040 7 | 0.045 5 | 0.043 1 |
| 乐果        | 0.028 6 | 0.024 4 | 0.026 6 | 0.026 3 | 0.024 7 | 0.020 8 | 0.017 6 | 0.018 0 | 0.020 1 | 0.019 0 |
| 灭线磷       | 0.066 6 | 0.056 8 | 0.061 9 | 0.061 4 | 0.057 6 | 0.048 4 | 0.041 0 | 0.041 9 | 0.046 8 | 0.044 3 |
| 三唑磷       | 0.052 4 | 0.044 7 | 0.048 7 | 0.048 3 | 0.045 3 | 0.038 1 | 0.032 3 | 0.033 0 | 0.036 8 | 0.034 9 |
| 水胺硫磷      | 0.012 7 | 0.010 8 | 0.011 8 | 0.011 7 | 0.011 0 | 0.009 2 | 0.007 8 | 0.008 0 | 0.008 9 | 0.008 5 |
| 氧化乐果      | 0.254 5 | 0.216 9 | 0.236 3 | 0.234 4 | 0.219 9 | 0.184 8 | 0.156 8 | 0.160 1 | 0.178 7 | 0.169 4 |
| 乙酰甲胺磷     | 0.004 8 | 0.004 1 | 0.004 5 | 0.004 4 | 0.004 2 | 0.003 5 | 0.003 0 | 0.003 0 | 0.003 4 | 0.003 2 |
| 合计 (HI 值) | 0.526 7 | 0.448 8 | 0.489 0 | 0.485 1 | 0.455 2 | 0.382 5 | 0.324 5 | 0.331 3 | 0.369 9 | 0.350 6 |

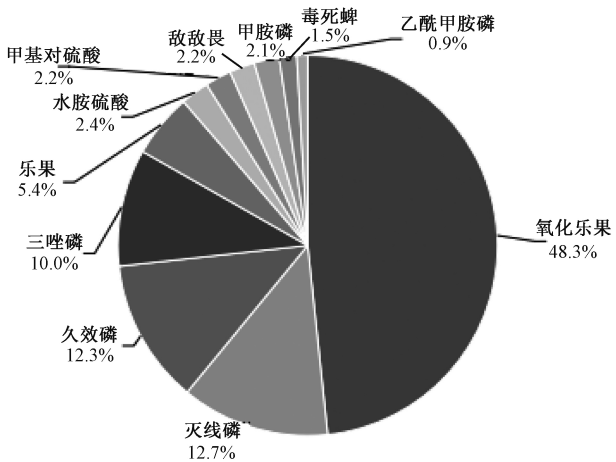


图 2 11 种有机磷农药的慢性累积暴露量贡献率

Figure 2 Chronic cumulative exposure contribution rates of 11 OPs

累积暴露风险小,这与已有报道<sup>[17-21]</sup>基本一致。隋海霞等<sup>[17]</sup>采用相对效能因子法评估了全国有机磷农药慢性累积膳食风险,结果表明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

率前三位的农药为毒死蜱、氧化乐果和甲胺磷,与本研究结果相似。通过对蔬菜中农药残留含量相关性分析,同类蔬菜中 11 种有机磷农药的含量间差异均有统计学意义( $P<0.05$ ),说明同类蔬菜受不同种类农药的污染情况不同;乐果、水胺硫磷和乙酰甲胺磷在不同种类蔬菜中含量均差异无统计学意义( $P>0.05$ )。不同监测年份各类蔬菜中有机磷农药检出率变化趋势显示云南省新鲜蔬菜中农药总体残留情况基本向好。

结合云南省各类蔬菜消费量和 11 种农药在各类蔬菜中的平均含量,运用 HI 法评估得到云南省居民平均 HI 为 0.382 5,城市男性和城市低收入人群 HI 较高,分别为 0.526 7 和 0.489 0,均小于 1,表明云南省居民经新鲜蔬菜摄入的有机磷农药慢性

健康关注。赵敏娴等<sup>[18]</sup>报道江苏省居民的有机磷农药膳食累积平均暴露水平处于安全范围,少数高端暴露儿童存在急性中毒风险。刘守钦等<sup>[19]</sup>报道济南市市售蔬菜农药残留量在安全限值之内,居民蔬菜中农药残留的慢性膳食暴露风险小。虽然评估结果显示风险较低,但从 11 种有机磷农药均有检出和超标情况以及慢性累积暴露量贡献率看,云南省仍存在违规使用和滥用农药的可能性。

本研究对了解云南省新鲜蔬菜的农药残留水平、评估云南省居民经新鲜蔬菜摄入有机磷农药的健康风险有一定意义。值得关注的是,其他食品中农药残留问题也屡见报道,因此应继续开展多种类食品中农药残留含量监测,补充水果、谷物、茶叶等食物中有机磷农药含量数据,为下一步开展全食品种类的有机磷农药累积暴露风险做准备。从食物消费量看,本研究依托了 2012 年中国居民营养与健康状况调查结果,采用了 2012 年云南省新鲜蔬菜的平均消费量数据,各种类蔬菜居民消费量为参考文献折算,给评估结果带来了一定的不确定性,也从

侧面反映了开展更为系统完善的食物消费量调查在评估工作中的必要性和重要性。从评估方法看,本研究采用的 HI 法具有简单快速的优点,适用于初级的累积风险评估,但由于参与计算有机磷农药的 ADI 值是基于不同的毒性终点,简单加和的方法可能会使评价结果不够精确,后续可尝试运用其他累积风险评估方法进行评估<sup>[14]</sup>。

参考文献

[ 1 ] JOKANOVIC M.Neurotoxic effects of organophosphorus pesticides and possible association with neurodegenerative diseases in man: a review[ J].Toxicology,2018,410(9):125-131.

[ 2 ] KING A M, AARON C K. Organophosphate and carbamate poisoning[ J]. Emergency Medicine Clinics of North America, 2015,33(1):133-151.

[ 3 ] MORTAZAVI N,ASADIKARAM G,EBADZADEH M R, et al. Organochlorine and organophosphorus pesticides and bladder cancer: a case-control study [ J]. Journal of Cellular Biochemistry,2019,120(9):14847-14859.

[ 4 ] KOUTROS S,BEANE F L E,LUBIN J H,et al.Risk of total and aggressive prostate cancer and pesticide use in the agricultural health study[ J].Am J Epidemiol,2013,177(1):59-74.

[ 5 ] TIAN H, LI Y, WANG W, et al. Exposure to monocrotophos pesticide during sexual development causes the feminization/ demasculinization of the reproductive traits and a reduction in the reproductive success of male guppies ( *Poecilia reticulata* ) [ J]. Toxicol Appl Pharmacol,2012,263(1):163-170.

[ 6 ] FURLONG M A, HERRING A, BUCKLEY J P, et al. Prenatal exposure to organophosphorus pesticides and childhood neurodevelopmental phenotypes [ J]. Environmental Research, 2017,158(7):737-747.

[ 7 ] 姚新民.长期接触低剂量有机磷农药对人体健康影响的研究进展[ J].环境与职业医学,2008,25(4):409-411.

[ 8 ] NTZANI E E, CHONDROGIORGIS M, NTRITSOS G, et al. Literature review on epidemiological studies linking exposure to pesticides and health effects [ J].EFSA Supporting Publication, 2013,EN-497:159.

[ 9 ] 国家食品安全风险评估中心. 2018 年国家食品污染物和有害因素风险监测工作手册: 植物性食品中有机磷农药多残留测定的标准操作程序[ Z].2018.

[ 10 ] 阮元,万蓉,刘志涛,等.云南省城乡居民膳食营养状况分析[ J].中国食物与营养,2016,22(5):87-89.

[ 11 ] 余光辉.广州市居民食品中硒、砷含量和膳食摄入的安全性研究[ D].广州:中山大学,2007.

[ 12 ] Word Health Organization.Second workshop on reliable evaluation of low-level contamination of food[ R].Rome:WHO,1995.

[ 13 ] 张磊,刘兆平.食品化学物风险评估中一些重要参数的选择和使用[ J].中国食品卫生杂志,2015,27(3):308-311.

[ 14 ] 张磊,李凤琴,刘兆平.食物中化学物累积风险评估方法及应用[ J].中国食品卫生杂志,2011,23(4):378-382.

[ 15 ] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,中华人民共和国农业部,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准食品中农药最大残留限量:GB 2763—2016[ S].北京:中国标准出版社,2016.

[ 16 ] 张兴旺.云南省蔬菜中有机磷农药残留现状分析[ J].农业环境与发展,2009(4):85-88.

[ 17 ] 隋海霞,杨大进,蒋定国,等.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[ J].中国食品卫生杂志,2016,28(4):523-528.

[ 18 ] 赵敏娟,王灿楠,李亭亭,等.江苏居民有机磷农药膳食累积暴露急性风险评估[ J].卫生研究,2013,42(5):844-848.

[ 19 ] 刘守钦,杨柳,孙延斌,等.济南市市售蔬菜中农药残留及慢性膳食暴露风险评估[ J].中国食品卫生杂志,2016,28(4):532-535.

[ 20 ] 孙玲,黄健祥,邓义才,等.广东省主要叶菜农药残留膳食暴露风险评估研究[ J].食品科学,2017,38(17):230-234.

[ 21 ] 郭蓉,王玮,刘存卫,等.陕西省部分蔬菜中有机磷农药残留的膳食暴露风险评估[ J].预防医学,2018,30(2):148-152.

· 资讯 ·

欧盟修订环氟菌胺等 4 种物质的最大残留限量

据欧盟官方公报消息,2019 年 9 月 17 日,欧盟委员会发布条例(EU)2019/1559 号法规,修订环氟菌胺(cyflufenamid)、腈苯唑(fenbuconazole)、氟喹唑(flquinconazole)和环磺酮(tembotrione)在一些产品中的最大残留限量,并修订法规(EC)No 396/2005 附件 II 和 III。

本条例自发布之日起第二十天生效,从 2020 年 4 月 7 日起实施。部分修订限量如下:

| 序号 | 农药   | 产品             | 修订限量/(mg/kg) |
|----|------|----------------|--------------|
| 1  | 环氟菌胺 | 仁果类水果          | 0.06         |
| 2  | 腈苯唑  | 葡萄             | 1.5          |
| 3  | 氟喹唑  | 鳞茎类蔬菜          | 0.01         |
| 4  | 环磺酮  | 食用牛和马内脏(除肝和肾外) | 0.05         |