

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241008002

引用格式: 王晨诚, 宇盛好, 彭少杰. 2014—2023年上海市居民蔬菜和水果中毒死蜃膳食暴露评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(6): 45–51.

WANG CC, YU SH, PENG SJ, *et al.* Dietary exposure risk assessment of chlorpyrifos in vegetables and fruits in residents in Shanghai from 2014 to 2023 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(6): 45–51. (in Chinese with English abstract).

# 2014—2023年上海市居民蔬菜和水果中 毒死蜃膳食暴露评估

王晨诚, 宇盛好, 彭少杰\*

(上海市市场监督管理局信息应用研究中心, 上海 200030)

**摘要: 目的** 了解2014—2023年上海市蔬菜和水果中毒死蜃残留水平, 评估蔬菜和水果中毒死蜃膳食暴露风险。**方法** 收集整理2014—2023年上海市蔬菜和水果毒死蜃抽检监测数据, 结合2013年上海市居民食物消费量数据, 采用点评估方法计算居民毒死蜃膳食暴露量, 并与毒死蜃急性参考剂量(acute reference dose, ARfD)和每日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI)进行比较, 评估上海市居民通过蔬菜和水果摄入毒死蜃的急性中毒风险和慢性健康风险。**结果** 33796件蔬菜样本检出率为0.97%, 平均值为0.00131 mg/kg, 超标率为0.46%。9228件水果样本检出率为5.26%, 平均值为0.00320 mg/kg, 超标率为0.00%。上海市3岁以上人群通过蔬菜和水果摄入毒死蜃的急性暴露量分别为0.0432 mg/kg bw和0.0141 mg/kg bw, 急性暴露量占ARfD比值分别为43.19%和14.15%。通过蔬菜和水果摄入毒死蜃的慢性暴露量分别为 $5.34 \times 10^{-6}$  mg/kg bw和 $8.43 \times 10^{-6}$  mg/kg bw, 慢性暴露量占ADI比值分别为0.053%和0.084%。**结论** 上海市居民通过蔬菜和水果中毒死蜃摄入的急性中毒风险和慢性健康风险均较低。

**关键词:** 蔬菜; 水果; 毒死蜃; 膳食暴露; 风险评估

## Dietary exposure risk assessment of chlorpyrifos in vegetables and fruits in residents in Shanghai from 2014 to 2023

WANG Chen-Cheng, YU Sheng-Hao, PENG Shao-Jie\*

(Information Application Research Center of Shanghai Municipal Administration for Market Regulation, Shanghai 200030, China)

**ABSTRACT: Objective** To understand the residual levels of chlorpyrifos in vegetables and fruits in Shanghai in 2014—2023, and evaluate the dietary exposure risk of chlorpyrifos in vegetables and fruits. **Methods** A number of different varieties of vegetables and fruits in Shanghai were inspected and monitored for the detection of chlorpyrifos from 2014 to 2023. Combined with the food consumption data of residents in Shanghai in 2013, dietary exposure risk

收稿日期: 2024-10-08

基金项目: 2024年上海市市场监督管理局科技项目(2024-50)

第一作者: 王晨诚(1990—), 女, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为食品安全监管政策, 风险交流。E-mail: 275797724@qq.com

\*通信作者: 彭少杰(1968—), 男, 硕士, 主任医师, 主要研究方向为食品安全风险监测与评估。E-mail: pengshaojie2008@qq.com

assessment of chlorpyrifos were conducted by point assessment method. The assessment results were compared with the acute reference dose (ARfD) and acceptable daily intake (ADI) to assess the acute and chronic exposure risk of chlorpyrifos in vegetables and fruits in residents in Shanghai. **Results** The quantity of vegetables samples was 33796, the detection rate was 0.97%, the average value was 0.00131 mg/kg, and the exceedance rate was 0.46%. The quantity of fruits samples was 9228, the detection rate was 5.26%, the average value was 0.00320 mg/kg, and the exceedance rate was 0.00%. The acute exposure of chlorpyrifos residues ingested through vegetables and fruits were 0.0432 mg/kg bw and 0.0141 mg/kg bw, the ratio of acute exposure to ARfD respectively were 43.19% and 14.15% among the population aged 3 and above. The chronic exposure of chlorpyrifos residues ingested through vegetables and fruits were  $5.34 \times 10^{-6}$  mg/kg bw and  $8.43 \times 10^{-6}$  mg/kg bw, the ratio of chronic exposure to ADI respectively were 0.053% and 0.084%. **Conclusion** Both the acute and chronic exposure risks of chlorpyrifos ingested through vegetables and fruits in residents are low in Shanghai.

**KEY WORDS:** vegetables; fruits; chlorpyrifos; dietary exposure; risk assessment

## 0 引言

毒死蜱属于有机磷杀虫剂,中等毒性,具有触杀、胃毒和熏蒸作用<sup>[1]</sup>,是全世界目前使用最广泛的杀虫剂之一<sup>[2]</sup>。毒死蜱具有环境持久性和生物蓄积性,能通过饮水、食物、呼吸等渠道进入人体内,分布于血液、唾液,作用于神经、免疫、生殖、内分泌等器官系统。毒死蜱主要产生乙酰胆碱酯酶抑制作用,表现为急性神经毒性,此外还可能引起DNA损伤、基因突变、染色体畸变等遗传毒性,诱导细胞癌变,增加肺癌、白血病等癌症的发病风险<sup>[3]</sup>。

毒死蜱相比其他高毒类有机磷农药毒性相对较低,因此作为替代品得到了广泛的应用<sup>[4]</sup>,在蔬菜、水果和土壤中均发现其残留甚至超标<sup>[5-11]</sup>,已经成为各地食品安全风险监测和监督抽检的重点对象。由于毒死蜱会对环境、生物和人体健康造成影响<sup>[12-19]</sup>,近年来,欧盟已取消毒死蜱的相关使用登记,美国、加拿大、澳大利亚等国也取消了家用和家庭花园用毒死蜱的登记,印度、泰国等国也提议禁用毒死蜱<sup>[20]</sup>。我国农业部第2032号公告规定,自2014年12月31日起,撤销毒死蜱在蔬菜上的登记;自2016年12月31日起,禁止毒死蜱在蔬菜上使用<sup>[21]</sup>。联合国粮农组织/世界卫生组织农药残留专家联席会议(Joint Meeting on Pesticide Residues, JMPR)于2006年和1999年分别提出了毒死蜱的急性参考剂量(acute reference dose, ARfD)和每日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI),分别为0.1 mg/kg bw、0.01 mg/kg bw,用于评价毒死蜱短期急性暴露和长期慢性暴露所造成的健康危害<sup>[22]</sup>。如胡宁恩等<sup>[23]</sup>研究2020—2023年浙江省温州市市售果蔬中农药残留及膳食暴露风险,其中毒死蜱在果蔬中检出率为6.91%,超标率为1.06%,急性膳食摄入风险较低。聂宏寿等<sup>[24]</sup>研究2019—2020年海南省蔬菜中农药残留及膳食暴露风险,其中毒死蜱在6种蔬菜中检出率为3.15%,超标率为3.15%,急性和慢性膳食摄入风险均较低。

本研究对上海市2014—2023年蔬菜和水果中的毒死蜱抽检监测结果进行了梳理和分析,并结合2013年上海市居民食物消费量调查数据,对毒死蜱膳食暴露的急性中毒风险和慢性健康风险进行了评估,为后续科学开展蔬菜和水果抽检监测,降低毒死蜱残留、提高监管针对性提供对策建议。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品来源

2014—2023年,上海市市场监管部门(含原上海市食品药品监管部门)在全市16个区开展蔬菜和水果中农药残留抽检监测,共完成蔬菜样品33796件,水果样品9228件。样品来源于流通环节的批发市场、农贸市场,商场超市、食品店、网购,以及餐饮环节的大型餐馆、中型餐馆、小型餐馆和单位食堂等共计9个场所。蔬菜品类包括鳞茎类、芸薹属类、叶菜类、茄果类、瓜类、豆类、茎类、根茎类和薯芋类、水生类、芽菜类、其他类蔬菜和鲜食用菌共12个品类,水果品类包括柑橘类、瓜果类、核果类、浆果和其他小型水果、热带和亚热带水果和仁果类共6个品类。

### 1.2 检测方法

按照GB/T 20769—2008《水果和蔬菜中450种农药及相关化学品残留量的测定液相色谱-串联质谱法》、GB/T 23202—2008《食用菌中440种农药及相关化学品残留量的测定液相色谱-串联质谱法》、NY/T 761—2008《蔬菜和水果中有机磷、有机氯、拟除虫菊酯和氨基甲酸酯类农药多残留的测定》、GB 23200.8—2016《食品安全国家标准水果和蔬菜中500种农药及相关化学品残留量的测定气相色谱-质谱法》、GB 23200.121—2021《食品安全国家标准植物源性食品中331种农药及其代谢物残留量的测定液相色谱-质谱联用法》等方法检测毒死蜱含量,上述方法检出限范围为0.005~0.0126 mg/kg。本研究根据

GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品农药残留最大限量》即现行有效标准对2014—2023年蔬菜和水果中毒死蜱抽检监测结果进行评价。

### 1.3 膳食暴露量计算和评估

膳食暴露量计算所需的毒死蜱含量数据来源于2014—2023年上海市市场监管部门(含原上海市食品药品监管部门)开展的各类蔬菜和水果中毒死蜱抽检监测数据,所需消费量数据来源于2013年上海市3岁以上居民食物消费量调查数据。该调查采用分阶段整群随机抽样方法,在春夏秋冬每个季节选择一天,采用24 h回顾法、食品频率表法等进行居民入户调查,共调查5875人。

其中,急性暴露量计算如公式(1):

$$E = \frac{F_c \times C_{\max}}{W} \quad (1)$$

式中:  $E$  为居民通过蔬菜和水果摄入毒死蜱的急性暴露量, mg/kg bw;  $F_c$  为居民食物消费量的97.5百分位数( $P_{97.5}$ ), kg/d;  $C_{\max}$  为单个食品毒死蜱最大检测值, mg/kg;  $W$  为居民平均体重, kg。

慢性暴露量计算如公式(2):

$$E = \sum_i^n \frac{F_i \times C_i}{W} \quad (2)$$

式中:  $E$  代表居民通过蔬菜和水果摄入毒死蜱的慢性暴露量, mg/kg bw;  $F_i$  为第  $i$  品类食物的消费量, kg/d;  $C_i$  为第  $i$  品类食物中毒死蜱的含量, mg/kg;  $W$  为居民平均体重, kg。

本研究以 JMPR 提出的毒死蜱 ARfD (0.1 mg/kg bw) 和 ADI (0.01 mg/kg bw) 分别作为评估毒死蜱慢性健康风险和急性中毒风险的健康指导值。毒死蜱急性和慢性膳食摄入风险水平分别采用急性暴露量与 ARfD 的比值, 以及慢性暴露量与 ADI 的比值来表示。当急性暴露量与 ARfD 的比值  $\leq 100\%$  时, 表示风险可以接受, 值越小风险越小, 当急性暴露量与 ARfD 的比值  $> 100\%$  时, 表示存在一定急性中毒风险; 当慢性暴露量与 ADI 的比值  $\leq 100\%$  时, 表示风

险可以接受, 值越小风险越小, 当慢性暴露量与 ADI 的比值  $> 100\%$  时, 表示存在一定慢性健康风险。

### 1.4 数据处理

根据世界卫生组织提出的数据处理方法, 本研究在计算平均值时把样品中毒死蜱未检出(not detected, ND)的数据赋值为0<sup>[25]</sup>。采用 Excel 2013、SPSS 28.0 软件对数据进行处理与分析。通过卡方检验比较不同品类、不同抽检月份和不同抽样场所的蔬菜和水果毒死蜱检出率是否有统计学差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 抽检监测总体情况

2014—2023年, 蔬菜和水果共抽检监测33796件和9228件, 毒死蜱在蔬菜和水果中的检出率分别为0.97%和5.26%, 毒死蜱在蔬菜和水果中的超标率分别为0.46%和0.00%。毒死蜱在蔬菜和水果中的平均检出值分别为0.00131 mg/kg和0.00320 mg/kg。其中, 普通白菜中的毒死蜱检出值在蔬菜中是最高的, 达3.48 mg/kg; 桃中的毒死蜱检出值在水果中是最高的, 达1.40 mg/kg。近10年, 蔬菜中的毒死蜱检出率呈现逐年下降趋势。其中, 2014年蔬菜中的毒死蜱检出率和检出均值最高, 分别为3.48%和0.00970 mg/kg。近10年, 水果中的毒死蜱检出率呈现波动趋势。其中, 2015年水果中的毒死蜱检出率和检出均值最高, 分别为13.32%和0.00879 mg/kg。具体结果见表1。

### 2.2 不同品类抽检监测情况

不同蔬菜品类毒死蜱检出率差异具有统计学意义( $\chi^2=107.754, P<0.05$ ), 检出率较高的蔬菜品类主要包括鲜食用菌(2.66%)、根茎和薯芋类(2.54%)及豆类(2.28%)。不同水果品类毒死蜱检出率差异具有统计学意义( $\chi^2=318.108, P<0.05$ ), 检出率较高的水果品类主要包括柑橘类(13.90%)、热带和亚热带水果(5.94%)及核果类(5.25%)。检测结果见表2。

表1 2014—2023年上海市蔬菜和水果毒死蜱抽检监测结果  
Table 1 Monitoring results of chlorpyrifos residue in vegetables and fruits from 2014 to 2023

年份	蔬菜				水果			
	样本量/件	检出率/%	超标率/%	平均值/(mg/kg)	样本量/件	检出率/%	超标率/%	平均值/(mg/kg)
2014	660	3.48	2.86	0.00970	400	6.00	0.00	0.00181
2015	588	3.23	2.13	0.00440	368	13.32	0.00	0.00879
2016	1233	2.60	1.77	0.00495	350	9.14	0.00	0.00349
2017	869	2.65	1.63	0.00330	438	10.27	0.00	0.00583
2018	1111	1.53	0.64	0.00162	559	3.04	0.00	0.00118
2019	1196	1.34	0.69	0.00107	474	1.90	0.00	0.00091
2020	8229	0.49	0.28	0.00028	1759	2.90	0.00	0.00179
2021	7174	0.82	0.39	0.00127	1884	4.30	0.00	0.00315
2022	8830	0.72	0.19	0.00094	2300	5.30	0.00	0.00323
2023	3906	0.92	0.31	0.00088	696	7.90	0.00	0.00610
合计	33796	0.97	0.46	0.00131	9228	5.26	0.00	0.00320

表 2 不同蔬菜和水果品类毒死蜱抽检监测结果

Table 2 Sampling and monitoring results of chlorpyrifos in different species of vegetables and fruits

食品品类	具体品类	样本量 /件	检出率 /%	超标率 /%	平均值 /(mg/kg)
蔬菜品类	鳞茎类	3685	1.09	0.71	0.00099
	芸薹属类	1290	0.08	0.08	0.00006
	叶菜类	18882	0.99	0.43	0.00172
	茄果类	3748	0.67	0.37	0.00041
	瓜类	2921	0.10	0.03	0.00002
	豆类	527	2.28	1.90	0.00305
	茎类	292	0.34	0.00	0.00007
	根茎和薯芋类	1813	2.54	1.05	0.00159
	水生类	97	1.03	1.03	0.00024
	芽菜类	88	1.14	1.14	0.00026
	其他类蔬菜	2	0.00	0.00	0.00000
	鲜食用菌	451	2.66	/	0.00391
	小计	33796	0.97	0.46	0.00131
	水果品类	柑橘类	1611	13.90	0.00
瓜果类		490	0.00	0.00	0.00000
核果类		324	5.25	0.00	0.00716
浆果和其他小型水果		227	1.32	0.00	0.00021
热带和亚热带水果		724	5.94	0.00	0.00688
仁果类		5852	3.38	0.00	0.00193
小计		9228	5.26	0.00	0.00320

注：超标率根据 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品农药残留限量》进行统一判定。其中，鲜食用菌、瓜果类水果名下的所有品种，以及核果类水果与热带和亚热带水果名下的部分品种无相应限量标准，不作判定；/为未有此数据。

2014—2023 年，总体上，水果中毒死蜱检出率和检出均值高于蔬菜。其中，1 月与 12 月抽样的蔬菜中毒死蜱检出率最高，均为 1.60%(见图 1)，12 月蔬菜中毒死蜱检出均值最高，为 0.00294 mg/kg。1 月抽样的水果中毒死蜱检出率最高，为 10.56%，3 月抽样的水果中毒死蜱检出均值最高，

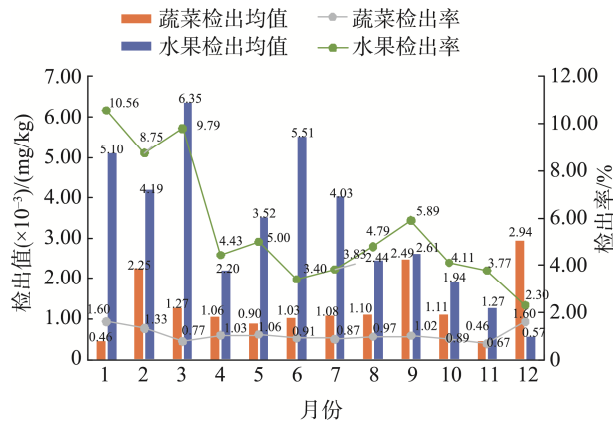


图 1 蔬菜和水果在不同抽样月份毒死蜱检出率和检出均值  
Fig.1 Detection rates and mean values of chlorpyrifos from vegetables and fruits in different month

为 0.00635 mg/kg。不同抽样月份水果中毒死蜱检出率差异具有统计学意义( $\chi^2=76.047, P<0.05$ )，但不同抽样月份蔬菜中毒死蜱检出率差异无统计学意义。

在中型餐馆抽样的蔬菜中毒死蜱检出率和检出均值均最高，分别为 1.34%和 0.00364 mg/kg(见图 2)。在单位食堂抽样的水果中毒死蜱检出率和检出均值最高，分别为 14.81%和 0.00893 mg/kg。在不同抽样场所蔬菜与水果中的毒死蜱检出率差异均具有统计学意义( $\chi^2$  分别为 710.510 和 154.156,  $P<0.05$ )。

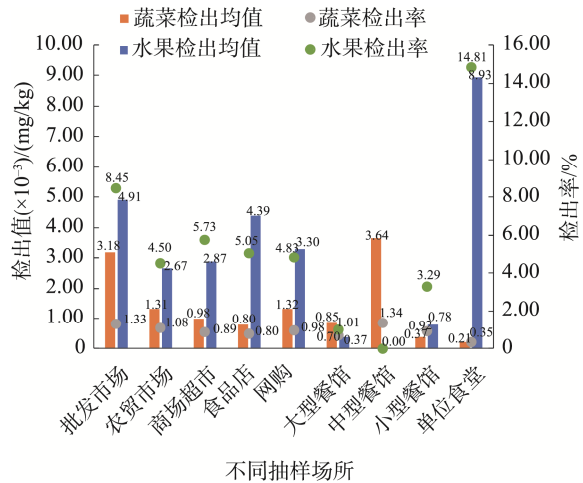


图 2 不同抽样场所蔬菜和水果毒死蜱检出率和检出均值  
Fig.2 Detection rates and mean values of chlorpyrifos from vegetables and fruits in different sampling sites

### 2.3 消费量分析

根据 2013 年上海市居民食物消费量数据调查结果，本市 3 岁以上居民蔬菜消费量平均值为 0.255 kg/d，水果消费量平均值为 0.131 kg/d，具体见表 3。蔬菜中平均消费量最高的是叶菜类，平均值为 0.117 kg/d。水果中平均消费量最高的是仁果类，平均值为 0.055 kg/d。

### 2.4 急性暴露量分析

根据 2013 年上海市居民食物消费量数据，计算每人每天蔬菜和水果消费量的 97.5 百分位值( $P_{97.5}$ )，结合蔬菜中毒死蜱检测最大值 3.48 mg/kg 和水果中毒死蜱检测最大值 1.40 mg/kg，计算各年龄组人群的急性暴露量。不同年龄组人群食用蔬菜和水果毒死蜱急性暴露量见表 4。结果显示，3 岁以上人群食用蔬菜和水果毒死蜱急性暴露量分别占 ARfD 的 43.19%和 14.15%，各年龄组人群食用蔬菜和水果毒死蜱急性暴露量均小于 ARfD(0.1 mg/kg bw)，其中食用蔬菜毒死蜱急性暴露量占 ARfD 的比值为 37.07%~79.52%，食用水果毒死蜱急性暴露量占 ARfD 的比值为 10.41%~31.79%，急性中毒风险均较低。

### 2.5 慢性暴露量分析

根据 2013 年上海市居民食物消费量数据，计算每人

每天蔬菜和水果消费量的平均值, 以蔬菜和水果中毒死蜱检测平均值为依据, 计算 3 岁以上人群食用蔬菜和水果的毒死蜱慢性暴露量分别是  $5.34 \times 10^{-6}$  mg/kg bw 和  $8.43 \times 10^{-6}$  mg/kg bw, 不同年龄组人群食用蔬菜和水果的毒死蜱慢性暴露量见表

5。结果显示, 3 岁以上人群通过蔬菜和水果毒死蜱慢性膳食暴露量占 ADI 的比值为 0.138%, 各年龄组人群通过蔬菜和水果毒死蜱慢性膳食暴露量均小于 ADI (0.01 mg/kg bw), 慢性健康风险较低。

表 3 上海市居民蔬菜和水果消费量情况(kg/d)  
Table 3 Consumption of vegetables and fruits by residents in Shanghai (kg/d)

食品品类	具体品类	3~17 岁		18~59 岁		60 岁以上		合计	
		平均值	$P_{97.5}$	平均值	$P_{97.5}$	平均值	$P_{97.5}$	平均值	$P_{97.5}$
蔬菜品类	叶菜类蔬菜	0.099	0.454	0.115	0.380	0.134	0.452	0.117	0.424
	根茎类和薯芋类蔬菜	0.026	0.227	0.019	0.122	0.027	0.150	0.023	0.150
	豆类蔬菜	0.008	0.071	0.011	0.099	0.011	0.083	0.010	0.091
	茄果类蔬菜	0.050	0.360	0.031	0.186	0.025	0.164	0.033	0.209
	芸苔属类蔬菜	0.022	0.212	0.016	0.114	0.014	0.106	0.017	0.122
	鳞茎类蔬菜	0.008	0.115	0.009	0.100	0.006	0.067	0.008	0.090
	瓜类蔬菜	0.021	0.212	0.016	0.114	0.015	0.106	0.017	0.122
	茎类蔬菜	0.002	0.035	0.009	0.100	0.009	0.100	0.007	0.089
	水生类蔬菜	0.002	0.017	0.003	0.033	0.002	0.025	0.003	0.030
	芽菜类蔬菜	0.010	0.122	0.004	0.050	0.002	0.033	0.005	0.060
	其他类蔬菜	0.007	0.102	0.011	0.122	0.009	0.100	0.010	0.114
	鲜食用菌	0.009	0.078	0.005	0.053	0.007	0.069	0.006	0.059
	小计		0.265	0.952	0.250	0.680	0.261	0.750	0.255
水果品类	热带和亚热带水果	0.044	0.500	0.024	0.210	0.022	0.210	0.027	0.210
	仁果类水果	0.105	0.400	0.045	0.205	0.043	0.208	0.055	0.249
	瓜果类水果	0.014	0.125	0.012	0.150	0.009	0.100	0.011	0.125
	核果类水果	0.002	0.000	0.002	0.013	0.002	0.020	0.002	0.015
	柑橘类水果	0.054	0.480	0.022	0.240	0.027	0.255	0.029	0.270
	浆果和其他小型水果	0.014	0.200	0.004	0.060	0.005	0.075	0.006	0.075
小计		0.234	0.946	0.109	0.497	0.107	0.475	0.131	0.605

表 4 不同人群食用蔬菜和水果中的毒死蜱急性暴露量  
Table 4 Acute exposure of chlorpyrifos in vegetables and fruits consumed in different populations

人群		蔬菜			水果		
年龄/岁	体重/kg	$P_{97.5}$ 消费量/(kg/d)	急性暴露量/(mg/kg bw)	急性暴露量占 ARfD 比值/%	$P_{97.5}$ 消费量/(kg/d)	急性暴露量/(mg/kg bw)	急性暴露量占 ARfD 比值/%
3~17	41.66	0.952	0.0795	79.52	0.946	0.0318	31.79
18~59	63.84	0.680	0.0371	37.07	0.497	0.0109	10.90
≥60	63.89	0.750	0.0409	40.85	0.475	0.0104	10.41
合计(≥3)	59.87	0.743	0.0432	43.19	0.605	0.0141	14.15

表 5 不同人群食用蔬菜和水果中的毒死蜱慢性暴露量  
Table 5 Chronic exposure of chlorpyrifos in vegetables and fruits consumed in different populations

年龄/岁	体重/kg	蔬菜		水果		合计	
		慢性暴露量/(mg/kg bw)	慢性暴露量占 ADI 比值/%	慢性暴露量/(mg/kg bw)	慢性暴露量占 ADI 比值/%	慢性暴露量/(mg/kg bw)	慢性暴露量占 ADI 比值/%
3~17	41.66	$7.29 \times 10^{-6}$	0.073	$2.14 \times 10^{-5}$	0.214	$2.87 \times 10^{-5}$	0.287
18~59	63.84	$4.86 \times 10^{-6}$	0.049	$6.51 \times 10^{-6}$	0.065	$1.14 \times 10^{-5}$	0.114
≥60	63.89	$5.49 \times 10^{-6}$	0.055	$6.72 \times 10^{-6}$	0.067	$1.22 \times 10^{-5}$	0.122
合计(≥3)	59.87	$5.34 \times 10^{-6}$	0.053	$8.43 \times 10^{-6}$	0.084	$1.38 \times 10^{-5}$	0.138

2014—2023 年,各品类蔬菜和水果毒死蜱慢性暴露量构成比变化见图 3,其中热带和亚热带水果、叶菜类蔬菜和柑橘类水果在 10 年内的慢性暴露量贡献率排名前 3,毒死蜱慢性暴露量贡献率超过 50%的品类分别是:热带和亚热带水果 2022 年和 2021 年慢性暴露量贡献率分别为 80.36%和 58.33%;叶菜类 2014 年、2016 年和 2018 年慢性暴露量贡献率分别为 78.30%、50.51%和 66.25%;柑橘类水果 2020 年慢性暴露量贡献率为 52.54%。各年份不同品类蔬菜和水果毒死蜱慢性暴露量变化较大,主要与相应品类蔬菜和水果毒死蜱检测均值差异较大有关。

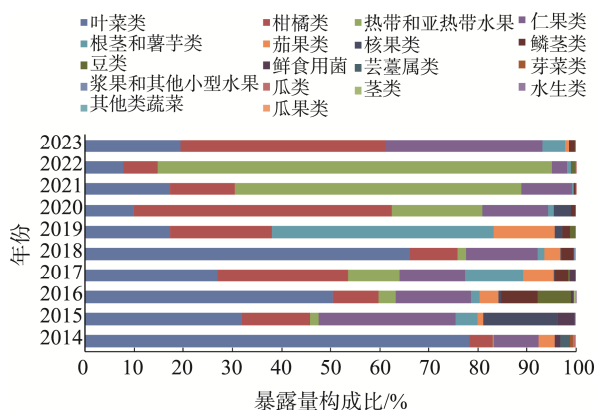


图 3 2014—2023 年各品类蔬菜和水果毒死蜱慢性暴露量构成比  
Fig.3 Composition ratio of chronic exposure of chlorpyrifos in varieties of vegetables and fruits from 2014 to 2023

## 2.6 不确定性分析

上海市抽检监测的蔬菜存在毒死蜱超标现象,其中叶菜类蔬菜对毒死蜱暴露量贡献率最大,但总体上本市居民通过蔬菜和水果毒死蜱急性暴露风险和慢性健康风险均较低。本次膳食暴露评估存在一定不确定性:(1)毒死蜱的摄入来源除了蔬菜和水果以外,还可能来自谷物、油脂、坚果、饮料等各类食物,本研究只是考察了蔬菜和水果来源的毒死蜱膳食暴露,具有一定局限性。(2)本研究采用的上海市居民食物消费量调查数据完成于 2013 年,与现阶段人群食用蔬菜和水果的消费情况存在一定的差异。(3)在不同年份对蔬菜和水果来源的毒死蜱进行检测时所采用的检测方法不同,检出限也不同,因此会产生一定不确定性。

## 3 讨论与结论

本研究发现,近 10 年本市蔬菜中毒死蜱总体检出率接近 1%,蔬菜中毒死蜱检出率总体呈现下降趋势,说明在我国农业部第 2032 号公告关于“自 2014 年 12 月 31 日起,撤销毒死蜱在蔬菜上的登记”后,蔬菜中违禁使用毒死蜱的现象逐渐减少,但仍有部分蔬菜被检出毒死蜱超标,这与蔬菜种植户违禁使用毒死蜱有关,也可能是环境中残留

的毒死蜱通过种植环节迁移至蔬菜中<sup>[26]</sup>。近 10 年本市水果中毒死蜱总体检出率在 5%左右,明显较蔬菜检出率高,其中,瓜果类水果、部分热带及亚热带水果和浆果类水果等暂没有国家标准而不做评价。研究发现,检出毒死蜱的蔬菜主要是根茎和薯芋类及鲜食用菌,检出毒死蜱的水果主要是柑橘类及热带和亚热带水果。

相比其他学者研究,本研究中蔬菜毒死蜱检出率、超标率低于云南省<sup>[1]</sup>、海南省<sup>[24]</sup>、广西贺州<sup>[27]</sup>、浙江绍兴<sup>[28]</sup>、贵州<sup>[29]</sup>,水果毒死蜱检出率略高于陕西<sup>[30]</sup>、广东台山<sup>[31]</sup>。不同地区蔬菜和水果毒死蜱残留情况不同可能与抽检监测食用农产品品类构成、抽检监测时间、种植户农药使用种类和方式等不同有关。

考虑到毒死蜱是我国明令在蔬菜中禁用的农药,建议农业部门进一步加强蔬菜种植环节毒死蜱农药合理使用的监管和指导,加强对农药蔬菜种植户的相关法律法规和技术培训,提高农民正确合理使用农药的知识和技能,确保农户严格按照国家规定使用毒死蜱。上海市作为食品输入型超大城市,应加强蔬菜和水果等食用农产品的源头对接和进货查验,强化抽检监测和溯源管理,对发现的不合格产品及时进行查处和通报。

## 参考文献

- [1] 徐丹先, 朱晓, 杨萍. 2012—2019 年云南省蔬菜中毒死蜱膳食摄入风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(15): 5209–5214.  
XU DX, ZHU X, YANG P. Dietary exposure assessment of chlorpyrifos in vegetables in Yunnan from 2012 to 2019 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(15): 5209–5214.
- [2] 刘占山, 黄安辉, 肖明山. 毒死蜱的研究应用现状及产业发展前景[J]. 世界农药, 2009(31): 59–61.  
LIU ZS, HUANG ANH, XIAO MS. Current situation of study application on chlorpyrifos and its industrial development prospects [J]. World Pesticide, 2009(31): 59–61.
- [3] 戴红梅, 邓媛英, 张辰, 等. 毒死蜱暴露对健康危害研究进展[J]. 中国公共卫生, 2016, 32(7): 995–998.  
DAI HM, DENG YY, ZHANG C, et al. Progress in researches on health effects of chlorpyrifos: A review [J]. Chinese Journal of Public Health, 2016, 32 (7): 995–998.
- [4] 王川, 周巧红, 吴振斌. 有机磷农药毒死蜱研究进展[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(7): 123–126.  
WANG C, ZHOU QH, WU ZB. Research progress of chlorpyrifos, an organophosphorus pesticide [J]. Environmental Science & Technology, 2011, 34(7): 123–126.
- [5] DESILVA PM, PATHIRATNE A, VAN-STRAALEN NM, et al. Chlorpyrifos causes decreased organic matter decomposition by suppressing earthworm and termite communities in tropical soil [J]. Environmental Pollution, 2010, 158(10): 3041–3047.
- [6] DUTTA M, SARDAR D, PAL R, et al. Effect of chlorpyrifos on microbial biomass and activities in tropical clay loam soil [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2010, 160(1–4): 385–391.
- [7] 吴长兴, 王新全, 赵学平, 等. 芹菜中毒死蜱高残留几率的原因分析[J]. 农药学报, 2012, 14(2): 203–207.  
WU CX, WANG XQ, ZHAO XP, et al. Cause analysis of the high residue possibility of chlorpyrifos in celery [J]. Chinese Journal of Pesticide

- Science, 2012, 14(2): 203–207.
- [8] 文献英, 张代友, 吴晓红, 等. 绵阳市市售蔬菜有机磷农药残留检测结果分析[J]. 现代预防医学, 2013, 40(6): 159–160.  
WEN XY, ZHANG DY, WU XH, *et al.* Analysis of organophosphorus pesticides residue in vegetables sold in Mianyang City [J]. Modern Preventive Medicine, 2013, 40(6): 159–160.
- [9] 罗娜, 甘宁, 李晨光. 2012—2013年鞍山市市售蔬菜农药残留情况分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2015, 25(3): 399–400.  
LUO N, GAN N, LI CG. Analysis of pesticide residues on vegetables from Anshan markets during 2012—2013 [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2015, 25(3): 399–400.
- [10] 黄松, 刘佳, 胡凌, 等. 2022—2023年度广州市市售蔬菜水果农药残留调查分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(19): 74–83.  
HUANG S, LIU J, HU L, *et al.* Investigation and analysis of pesticides residues in vegetables and fruits in Guangzhou from 2022 to 2023 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(19): 74–83.
- [11] 韩宇. 菏泽市市售蔬菜农药残留分析及应对策略[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(9): 17–19.  
HAN Y. Analysis of vegetable residual pesticide in Heze city and its control countermeasure [J]. Food and Nutrition in China, 2016, 22(9): 17–19.
- [12] HUANG X, CUI HW, DUAN WY. Ecotoxicity of chlorpyrifos to aquatic organisms: A review [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2020, 200: 110731.
- [13] NANDHINI AR, HARSHINY M, GUMMADI SN. Chlorpyrifos in environment and food: A critical review of detection methods and degradation pathways [J]. Environmental Science: Processes & Impacts, 2021, 23(9): 1255–1277.
- [14] RATHOD AL, GARG RK. Chlorpyrifos poisoning and its implications in human fatal cases: A forensic perspective with reference to Indian scenario [J]. Journal of Forensic and Legal Medicine, 2017, 47: 29–34.
- [15] TAHEREH F, OMID M, MAHMOOD S, *et al.* A systematic review on the metabolic effects of chlorpyrifos [J]. Reviews on Environmental Health, 2021, 37(1): 137–151.
- [16] NANDI NK, VYAS A, AKHTAR MJ, *et al.* The growing concern of chlorpyrifos exposures on human and environmental health [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2022(7): 185: 105138.
- [17] ELŻBIETA W, BOŻENA L, AGATA JT, *et al.* Chlorpyrifos occurrence and toxicological risk assessment: A review [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(19): 12209.
- [18] MARILYN HS. Chlorpyrifos and delta tetrahydrocannabinol exposure and effects on parameters associated with the endocannabinoid system and risk factors for obesity [J]. Current Research in Toxicology, 2021(2): 296–308.
- [19] LEMUS R, ABDELGHANI A. Chlorpyrifos: An unwelcome pesticide in our homes [J]. Reviews on Environmental Health, 2000, 15(4): 421–433.
- [20] 申继忠. 毒死蜱的禁用与替代产品的选择[J]. 世界农药, 2021, 43(6): 10–20.  
SHEN JZ. Chlorpyrifos prohibition, restriction and alternative products [J]. World Pesticide, 2021, 43(6): 10–20.
- [21] 中华人民共和国农业部公告第 2032 号 [EB/OL]. (2017-12-04). [2024-10-05]. [http://www.moa.gov.cn/nybg/2014/dyq/201712/t20171219\\_6104266.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/2014/dyq/201712/t20171219_6104266.htm)  
Announcement No.2032 of the Ministry of Agriculture of the People's Republic of China [EB/OL]. (2017-12-04). [2024-10-05]. [http://www.moa.gov.cn/nybg/2014/dyq/201712/t20171219\\_6104266.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/2014/dyq/201712/t20171219_6104266.htm)
- [22] 宋稳成. JMPR 评估农药 ADI 和 ARfD 清单[J]. 农药科学与管理, 2009, 30(8): 12–17.  
SONG WC. List of pesticide ADI and ARfD evaluated of JMPR [J]. Pesticide Science and Administration, 2009, 30(8): 12–17.
- [23] 胡宁恩, 李小东, 李瑞芳, 等. 2020—2023年浙江省温州市市售果蔬中农药残留的膳食暴露风险评估[J/OL]. 上海预防医学, 1-16. [2024-11-15]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1635.R.20241016.1633.004.html>  
HU NEN, LI XD, LI RF, *et al.* Dietary exposure risk assessment of pesticide residues in commercially available fruits and vegetables in Wenzhou, Zhejiang Province from 2020 to 2023 [J/OL]. Shanghai Journal of Preventive Medicine, 1-16. [2024-11-15]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1635.R.20241016.1633.004.html>
- [24] 聂宏骞, 赖宣丞, 黄圣南, 等. 2019—2020年海南省蔬菜农药残留及膳食暴露评估[J/OL]. 环境与健康杂志, 1-5. [2024-09-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1095.R.20221107.1658.002.html>  
NIE HQ, LAI XC, HUANG SN, *et al.* Pesticide residues in vegetables and dietary exposure assessment in Hainan from 2019 to 2020 [J/OL]. Journal of Environment and Health, 1-5. [2024-09-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1095.R.20221107.1658.002.html>
- [25] 王绪卿, 吴永宁, 陈君石. 食品污染监测低水平数据处理问题[J]. 中华预防医学杂志, 2002(4): 63–64.  
WANG XQ, WU YN, CHEN JS. Low level data processing of food contamination monitoring [J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2002(4): 63–64.
- [26] 吕冰峰, 刘敏, 邢书霞. 2018年蔬菜国家食品安全监督抽检结果分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(17): 5715–5721.  
LV BF, LIU M, XING SX. Analysis on the results of sampling inspection of national food safety supervision of vegetables in 2018 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(17): 5715–5721.
- [27] 梁琴, 尹志芬, 谭健峰, 等. 2010—2013年贺州市蔬菜和茶叶中农药残留监测与分析[J]. 华南预防医学, 2016, 42(2): 196–198.  
LIANG Q, YIN ZF, TAN JF, *et al.* 2010-2013 monitoring and analysis of pesticide residues in vegetables and tea in Hezhou City [J]. South China Journal of Preventive Medicine, 2016, 42(2): 196–198.
- [28] 徐来潮, 吴红苗. 2009—2014年绍兴市蔬菜中有机磷农药残留[J]. 卫生研究, 2016, 45(2): 328–330.  
XU LC, WU HM. Organophosphorus pesticide residues in vegetables of Shaoxing city from 2009 to 2014 [J]. Journal of Hygiene Research, 2016, 45(2): 328–330.
- [29] 杨蕙, 刘怡娅, 向红, 等. 2014—2016年贵州省761份市售蔬菜中农药残留监测结果分析[J]. 现代预防医学, 2017, 44(11): 1969–1972.  
YANG H, LIU YY, XIANG H, *et al.* Analysis of monitoring results of pesticide residues in 761 vegetables sold in Guizhou province from 2014 to 2016 [J]. Modern Preventive Medicine, 2017, 44(11): 1969–1972.
- [30] 田丽, 王玮, 胡佳薇, 等. 2013—2015年陕西省各类食品中农药残留概况[J]. 卫生研究, 2018, 47(2): 250–253.  
TIAN L, WANG W, HU JW, *et al.* Overview of pesticide residues in various foods in Shaanxi Province from 2013 to 2015 [J]. Journal of Hygiene Research, 2018, 47(2): 250–253.
- [31] 赵杰斌, 邓浩, 徐振林. 基于食品安全指数法的台州市蔬菜和水果农药残留风险评估[J]. 现代食品科技, 2023, 39(6): 277–283.  
ZHAO JB, DENG H, XU ZL. Risk assessment of pesticide residues in vegetables and fruits from Taishan City based on the index of food safety [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(6): 277–283.

(责任编辑: 韩晓红 蔡世佳)