

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240926005

引用格式: 李亦奇, 郭洋, 张露菁, 等. 2021—2023年上海市市售豇豆中倍硫磷的膳食暴露风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(2): 296–301.

LI YQ, GUO Y, ZHANG LJ, et al. Dietary exposure risk assessment of fenthion in *Vigna unguiculata* sold in Shanghai from 2021 to 2023 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(2): 296–301. (in Chinese with English abstract).

2021—2023年上海市市售豇豆中倍硫磷的膳食暴露风险评估

李亦奇, 郭洋, 张露菁, 彭少杰*

(上海市市场监督管理局信息应用研究中心, 上海市食品安全技术应用中心, 上海 200030)

摘要: **目的** 评估2021—2023年上海市居民通过豇豆摄入倍硫磷的膳食暴露风险。**方法** 采用慢性风险商评估方法, 用实测的豇豆中倍硫磷暴露浓度的数值来对风险进行表征, 根据风险商数值的大小对慢性风险进行评估。**结果** 2021—2023年上海市市售2301件豇豆样品中倍硫磷总体检出率为3.00%, 不合格率为2.3%, 倍硫磷含量均值为 1.23×10^{-2} mg/kg, 最大值为4.45 mg/kg。按不同月份分析, 每年2月豇豆中倍硫磷不合格率和平均检出值最高分别为18.9%和0.12 mg/kg。按不同采样点分析, 网络销售的豇豆中倍硫磷的检出率 and 不合格率最高。上海市居民每日膳食平均暴露量为 5.88×10^{-6} mg/(kg·bw), P_{95} 暴露量为 3.05×10^{-5} mg/(kg·bw), 平均风险商为 8.40×10^{-7} , P_{95} 为 4.36×10^{-6} 。**结论** 2021—2023年上海市不同人群的风险商均远小于1, 因此上海市居民通过豇豆摄入倍硫磷对人体的健康风险较低。

关键词: 豇豆; 倍硫磷; 暴露评估; 风险商

Dietary exposure risk assessment of fenthion in *Vigna unguiculata* sold in Shanghai from 2021 to 2023

LI Yi-Qi, GUO Yang, ZHANG Lu-Jing, PENG Shao-Jie*

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

ABSTRACT: Objective To assess the dietary exposure risk of fenthion in *Vigna unguiculata* among Shanghai residents from 2021 to 2023. **Methods** The primary method employed was the chronic risk quotient assessment. The measured exposure concentrations of fenthion in *Vigna unguiculata* were used to characterize the risk, with the chronic risk evaluated based on the risk quotient values. **Results** From 2021 to 2023, a total of 2301 *Vigna unguiculata* samples from Shanghai markets were tested, with an overall detection rate of fenthion at 3.00% and a non-compliance rate of 2.3%. The average fenthion concentration was 1.23×10^{-2} mg/kg, with a maximum value of

收稿日期: 2024-09-26

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: 李亦奇(1985—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全风险监测与评估。E-mail: 562632523@qq.com

*通信作者: 彭少杰(1968—), 男, 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

4.45 mg/kg. Analysis by different months showed that in February each year, the non-compliance rate and average detection value of fenthion in *Vigna unguiculata* were the highest, at 18.9% and 0.12 mg/kg, respectively. Analysis by different sampling locations indicated that *Vigna unguiculata* sold online had the highest detection and non-compliance rates. The average daily dietary exposure of Shanghai residents was 5.88×10^{-6} mg/(kg · bw) with a P_{95} exposure of 3.05×10^{-5} mg/(kg · bw). The average risk quotient was 8.40×10^{-4} , with a P_{95} of 4.36×10^{-3} . **Conclusion** The risk quotient for different population groups in Shanghai from 2021 to 2023 is far below 1, indicating that the health risk from fenthion exposure through *Vigna unguiculata* consumption is low for Shanghai residents.

KEY WORDS: *Vigna unguiculata*; fenthion; exposure assessment; risk quotient

0 引言

豇豆[*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], 又称豆角、带豆等, 属一年生缠绕性草本植物, 以其嫩荚为产品, 富含微量营养素包括维生素 A 和铁^[1-6]。豇豆作为一种连续采摘作物, 花果同期嫩荚外露, 易遭受到许多害虫的危害^[7-8]。目前在豇豆的病虫害治理过程中, 高频率的农药施用造成豇豆的农药残留超标情况需格外关注^[9-12]。倍硫磷是一种触杀、广谱、持续期长的有机磷杀虫剂, 广泛应用于豇豆病虫害防治^[13-14]。倍硫磷虽然毒性较低, 但是残留量超标的豇豆被误食, 也会引起中毒现象, 对人体造成危害^[14-17]。

在 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》中允许倍硫磷作为杀虫剂在部分谷物、蔬菜和水果中使用, 但对其最大残留限量作了严格的规定, 尤其是在豆类蔬菜中倍硫磷的最大残留限量为 0.05 mg/kg。豇豆是我国居民日常膳食中十分常见的豆类蔬菜, 其质量安全一直深受社会关注。上海市食品安全委员会办公室制定了《上海市 2024 年重点监管食用农产品清单》, 将豇豆倍硫磷污染状况纳入其中。为了解上海市居民通过豇豆摄入倍硫磷的安全风险状况, 本研究收集 2021—2023 年上海市食品安全抽检监测数据并结合上海市居民蔬菜消费量, 采用慢性风险商(chronic risk quotient, RQ)评估上海居民经豇豆摄入倍硫磷的膳食风险, 为豇豆中倍硫磷的安全监管和控制规范提供参考。

1 材料与方法

1.1 样本来源

2301 件豇豆中倍硫磷的检测结果来源于 2021—2023 年上海市市场监管部门组织开展的食品安全抽检监测数据。

1.2 实验方法

1.2.1 豇豆中倍硫磷的检测方法

豇豆中倍硫磷农药残留量的测定按照 GB 23200.113—2018《食品安全国家标准 植物源性食品中 208 种农药及其代谢物残留量的测定 气相色谱-质谱联用法》, 倍硫磷农药的检出限为 0.01 mg/kg, 按照 GB 2763—2019《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》对检测结果进行评价。

1.2.2 居民豆类蔬菜的膳食消费量及相关数据

委托上海市质协用户评价中心开展上海市居民食物消费状况调查结果, 如表 1, 按照年龄分为儿童组(3~6 岁)、少年组(7~12 岁)、青年组(13~17 岁)、成年人组(18~59 岁)以及老年人组(60 岁以上)。采用家庭食物称重法收集上海市居民食物消费情况, 共计调查 526 人。调查结果包括居民平均体重以及豆类蔬菜的膳食平均消费量。男性的平均体重为 65.1 kg, 女性的平均体重为 52.4 kg。男性对于豆类蔬菜的每日摄入量平均值为 38.1 g, P_{95} 为 191 g, 最大值为 383 g。女性对于豆类蔬菜的每日摄入量平均值为 31 g, P_{95} 为 162 g, 最大值为 201 g。

表 1 上海市不同年龄居民的豇豆摄入量情况
Table 1 Consumption of *Vigna unguiculata* among different age groups in Shanghai

年龄/岁	调查人数/个	平均体重/kg	豇豆摄入量/g		
			平均值	P_{95} 值	最大值
3~6	35	19.4	12.2	81.8	90
7~12	40	33.3	23.3	117.0	191
13~17	38	53.1	20.4	113.0	117
18~59	295	65.4	31.9	165.0	237
60 岁及以上	118	63.3	55.7	197.0	383
合计	526	58.5	34.4	179.0	383

1.2.3 膳食暴露评估方法

本研究采用点评估方法计算上海居民通过豇豆摄入倍硫磷的暴露量，计算公式如式(1)所示。

$$E=\frac{C\times F}{W\times 1000}$$
(1)

式中： E 为上海市居民每日每千克体重倍硫磷暴露量， $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw})$ ； C 为豇豆中倍硫磷含量均值， $\mu\text{g}/\text{kg}$ ； F 为居民每日豆类蔬菜的消费量均值， g/d ； W 为居民的平均体重， kg 。

采用慢性风险商对上海市居民进行慢性膳食暴露评估。慢性风险商(risk quotient, RQ 将实测的豇豆中倍硫磷暴露水平与我国 GB 2763—2021 中倍硫磷的每日允许摄入量[acceptable daily intake, ADI, $0.007\text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{bw})$]相比，以获得风险商来对风险进行表征。当 $\text{RQ}\leq 1.0$ 时，表明污染物健康风险较低，需对相关风险源展开跟踪观察；当 $\text{RQ}>1.0$ 时，表明污染物存在较为严重的风险，需要采取相应措施使其风险降低^[18]。计算公式如式(2)所示。

$$\text{RQ}=\frac{E}{\text{ADI}}$$
(2)

1.3 数据处理

本研究采用世界卫生组织对食品中污染物的未检出值(not detected, ND)处理原则对样品中 ND 值进行处理^[18]，本次评估对于蔬菜中倍硫磷的 ND 值以 0 替代。本次评估对于豇豆样品中 ND 值以 0 替代。运用 SPSS 28.0 软件对抽检监测数据进行统计分析。不同月份的豇豆样品中倍硫磷检出率差异比较采用卡方检验(χ^2)。不同采样点的豇豆样品中倍硫磷的含量水平差异比较采用 Kruskal-Wallis H 检验。

2 结果与分析

2.1 豇豆中倍硫磷的污染状况

2.1.1 不同年份豇豆中倍硫磷的污染状况

由表 2 可知，2021—2023 年上海市市售 2301 件豇豆样品中倍硫磷总体检出率为 3.0%，含量均值为 $1.23\times 10^{-2}\text{ mg}/\text{kg}$ ，其中 2022 年的豇豆中倍硫磷的检出率 and 不合格率最高，分别为 3.5%和 2.7%，倍硫磷含量的最大值为 $4.45\text{ mg}/\text{kg}$ 。按照 GB 2763—2021 中的规定，倍硫磷在豆类蔬菜中的最大残留量为 $0.05\text{ mg}/\text{kg}$ ，对 2301 件豇豆样品进行检验结果评价，发现整体豇豆样品不合格率为 2.3%。

表 2 2021—2023 年上海市市售豇豆中倍硫磷的污染水平
Table 2 Levels of fenthion contamination in *Vigna unguiculata* sold in Shanghai from 2021 to 2023

年份	总件数	检出率/%	不合格率/%	含量/(mg/kg)			
				平均值	标准差	P_{95} 值	最大值
2021	300	2.0	1.3	1.51×10^{-2}	0.15	0.00	2.16
2022	1039	3.5	2.7	1.41×10^{-2}	0.16	0.00	4.45
2023	962	2.9	2.2	9.60×10^{-3}	0.08	0.00	1.02
合计	2301	3.0	2.3	1.23×10^{-2}	0.13	0.00	4.45

表 3 2021—2023 年不同月份上海市市售豇豆中倍硫磷的污染水平
Table 3 Levels of fenthion contamination in *Vigna unguiculata* sold in Shanghai across different months from 2021 to 2023

月份	总件数	检出率/%	不合格率/%	含量/(mg/kg)			
				平均值	标准差	P_{95} 值	最大值
1 月	7	0.0	0.0	0	0.00	0.00	0.00
2 月	58	24.2	18.9	1.20×10^{-1}	0.29	1.00	1.16
3 月	83	14.5	10.8	3.94×10^{-2}	0.14	0.30	0.79
4 月	111	4.6	3.6	1.39×10^{-2}	0.10	0.01	1.00
5 月	164	0.6	0.6	3.48×10^{-3}	0.04	0.00	0.57
6 月	304	0.0	0.0	0	0.00	0.00	0.00
7 月	394	0.0	0.0	0	0.00	0.00	0.00
8 月	455	1.1	0.6	9.40×10^{-4}	0.01	0.00	0.19
9 月	354	4.0	3.1	2.05×10^{-2}	0.15	0.00	2.16
10 月	272	4.8	3.3	2.60×10^{-2}	0.28	6.30×10^{-3}	4.45
11 月	99	5.1	5.0	1.01×10^{-2}	0.06	0.10	0.52
12 月	0	0.0	0.0	0	0.00	0.00	0.00
合计	2301	3.0	2.3	1.23×10^{-2}	0.13	0.00	4.45

2.1.2 不同月份豇豆中倍硫磷的污染状况

不同月份豇豆中倍硫磷的污染状况, 运用 SPSS 28.0 软件对监测数据进行统计分析, 其检出率差异有统计学意义($\chi^2=163.606, P<0.01$)。由表 3 可知, 2 月份的检出率和不合格率均达到最高, 分别为 24.2%和 18.9%; 而在 6 月和 7 月, 豇豆中均未检测出倍硫磷。2 月份的豇豆样本检出率和不合格率均呈现出了显著的高峰状态, 这一数据反映出豇豆种植过程中倍硫磷的使用具有显著的季节性特征。随着夏季的到来, 特别是在 6 月和 7 月, 豇豆的农药残留问题得到了显著改善, 这与气温上升导致农作物病虫害减少的规律相一致。

2.1.3 不同类型采样点豇豆中倍硫磷的污染状况

不同类型采样点豇豆中倍硫磷的污染状况, 运用 SPSS 28.0 软件对监测数据进行统计分析, 其检出率差异有统计学意义($\chi^2=14.712, P<0.05$)。由表 4 可知, 网购样品检出率和不合格率最高, 为 5.3%和 4.3%; 批发市场检出率和不合格率最低, 为 1.7%和 1.2%。不同采样点的豇豆样品中倍硫磷的含量水平差异比较采用 Kruskal-Wallis H 检验, 其含量水平差异显著($H=164.827, P<0.01$)。餐饮单位采集的豇豆中倍硫磷含量平均值最高为 3.50×10^{-2} mg/kg, 批发市场和菜市场采集的豇豆中倍硫磷含量均值较低, 为 3.25×10^{-3} mg/kg 和 3.84×10^{-3} mg/kg。这一结果说明不同类型的采样点(如批发市场、卖场超市、网络销售等)可能有不同的质量控制标准和检测频率, 导致农药残留检测结果

不同, 蔬菜合格率存在差异。

2.2 豇豆中倍硫磷的膳食暴露评估

2.2.1 上海市人群的豇豆消费量调查

由表 5 可知, 上海市居民每日通过豇豆摄入倍硫磷的膳食暴露平均值为 5.88×10^{-6} mg/(kg·bw)和最大值为 6.54×10^{-5} mg/(kg·bw)。上海市 60 岁及以上居民每日通过豇豆摄入倍硫磷的平均暴露量和最大值暴露量最高, 8.79×10^{-6} mg/(kg·bw)和 6.05×10^{-5} mg/(kg·bw), P_{95} 暴露量最高的是 3~6 岁居民为 4.22×10^{-5} mg/(kg·bw)。

综上可知, RQ 平均值和最大值最高的是 60 岁及以上居民, 风险商 P_{95} 最高的 3~6 岁居民。虽然 3~6 岁、7~12 岁居民和 60 岁及以上这 3 个年龄组的居民在风险商指标上相较其他年龄组较高, 但是慢性 RQ 均远小于 1, 因此豇豆中倍硫磷对这 3 个年龄组的居民的健康风险不大, 对其他年龄组的居民风险更小。由于检出含量小, 参考倍硫磷急性参考剂量 0.01 mg/(kg·bw)^[19], 豇豆中倍硫磷对不同年龄上海居民的健康风险不大。

2.2.2 上海市不同性别人群的豇豆消费量调查

由表 6 可知, 男性和女性每日通过豇豆摄入倍硫磷的平均暴露量分别为 5.85×10^{-6} mg/(kg·bw)和 5.91×10^{-6} mg/(kg·bw), P_{95} 暴露量分别为 2.94×10^{-5} mg/(kg·bw)和 3.09×10^{-5} mg/(kg·bw), P_{95} 风险商分别为 4.19×10^{-6} 和 4.42×10^{-6} , RQ 均远小于 1, 因此豇豆中倍硫磷对不同性别的居民的健康风险较低。

表 4 不同类型采样点上海市市售豇豆中倍硫磷的污染水平
Table 4 Levels of fenthion contamination in *Vigna unguiculata* from different sampling locations in Shanghai

采样点	总件数	检出率/%	不合格率/%	含量/(mg/kg)			
				平均值	标准差	P_{95} 值	最大值
卖场超市	517	4.3	2.7	1.36×10^{-2}	0.096	0.00	1.00
菜市场	195	2.6	1.5	3.84×10^{-3}	0.030	0.00	0.32
批发市场	617	1.7	1.2	3.25×10^{-3}	0.036	0.00	0.65
网购	344	5.3	4.3	2.47×10^{-2}	0.160	0.04	2.16
餐饮单位	161	3.2	3.1	3.50×10^{-2}	0.350	0.00	4.45
其他	467	2.0	1.7	9.45×10^{-3}	0.088	0.00	1.18
合计	2301	3.0	2.3	1.23×10^{-2}	0.130	0.00	4.45

表 5 上海市不同年龄居民每日通过豇豆摄入倍硫磷的膳食暴露量
Table 5 Daily dietary exposure to fenthion in *Vigna unguiculata* consumption among different age groups in Shanghai

年龄分组	每日膳食暴露量/[mg/(kg·bw)]			RQ		
	平均值	P_{95} 值	最大值	平均值	P_{95} 值	最大值
3~6 岁	6.19×10^{-6}	4.22×10^{-5}	4.64×10^{-5}	8.84×10^{-7}	6.02×10^{-6}	6.63×10^{-6}
7~12 岁	6.99×10^{-6}	3.53×10^{-5}	5.74×10^{-5}	9.99×10^{-7}	5.04×10^{-6}	8.20×10^{-6}
13~17 岁	3.84×10^{-6}	2.13×10^{-5}	2.20×10^{-5}	5.49×10^{-7}	3.04×10^{-6}	3.15×10^{-6}
18~59 岁	4.87×10^{-6}	2.52×10^{-5}	3.62×10^{-5}	6.96×10^{-7}	3.61×10^{-6}	5.18×10^{-6}
60 岁及以上	8.79×10^{-6}	3.12×10^{-5}	6.05×10^{-5}	1.26×10^{-6}	4.45×10^{-6}	8.64×10^{-6}
合计	5.88×10^{-6}	3.05×10^{-5}	6.54×10^{-5}	8.40×10^{-7}	4.36×10^{-6}	9.34×10^{-6}

表 6 上海市不同性别居民每日通过豇豆摄入倍硫磷的膳食暴露量
Table 6 Daily dietary exposure to fenthion in *Vigna unguiculata* consumption among different genders in Shanghai

性别	每日膳食暴露量/[mg/(kg · bw)]			RQ		
	平均值	P_{95} 值	最大值	平均值	P_{95} 值	最大值
男	5.85×10^{-6}	2.94×10^{-5}	5.88×10^{-5}	8.36×10^{-7}	4.19×10^{-6}	8.40×10^{-6}
女	5.91×10^{-6}	3.09×10^{-5}	3.84×10^{-5}	8.44×10^{-7}	4.42×10^{-6}	5.48×10^{-6}
合计	5.88×10^{-6}	3.05×10^{-5}	6.54×10^{-5}	8.40×10^{-7}	4.36×10^{-6}	9.34×10^{-6}

3 结论与讨论

本研究利用 2021—2023 年上海市食品安全抽检监测数据中豇豆样品倍硫磷的抽检监测结果,结合上海市居民豆类蔬菜消费量数据,采用慢性风险商法评价上海市居民经豇豆摄入倍硫磷的健康风险。结果发现,首先不同月份的豇豆中倍硫磷的合格率和检测结果有较大差异,说明倍硫磷的使用呈现出明显的季节性变化,也有可能是倍硫磷在夏季由于阳光充足发生自然降解。有研究指出,有机磷农药中磷硫键或磷氧键对光十分敏感,在阳光的作用下易引起结构变化从而发生自然降解反应^[20-22]。其次,不同类型的采样点检测豇豆中的倍硫磷含量不同,网购渠道销售的豇豆倍硫磷的检出率和不合格率最高,餐饮单位样品检出的倍硫磷残留量得平均含量最高。可能是各个渠道采购豇豆的来源不同,有研究表明不同产地的豇豆中倍硫磷含量不同,在湖南省调查了 529 份豇豆样品中发现倍硫磷的检出率为 3.78%,不合格率为 2.65%;在宁德市调查了 381 批次豇豆样品中发现倍硫磷的检出率为 4.03%,不合格率为 2.52%;在福建省调查了 522 份豇豆样品中倍硫磷的检出率仅为 0.77%;在河南省调查豇豆中农残时未检测出倍硫磷;在杭州市对本地来源和外地来源的豇豆进行农残检测对比发现外地农残超标率是本地的 3 倍多^[7,23-28]。

上海市居民 60 岁及以上居民每日通过豇豆摄入倍硫磷的平均暴露量最高,3~6 岁居民的每日膳食摄入量的 P_{95} 值最高,原因可能是儿童单位体重消耗的食物量大于成年人,而老人的饮食习惯更偏爱蔬菜所致^[29]。也有其他研究表明,低年龄人群暴露情况高于其他年龄人群,在海南省 2011—2012 年对豇豆中有机磷农药膳食暴露风险评估时发现 4~6 岁和 7~11 岁两个年龄组的膳食暴露高于其他年龄组人群,丹麦儿童的有机磷农药累积暴露水平会高于丹麦成年人的水平^[30-31]。女性通过豇豆摄入倍硫磷的平均每日暴露量略高于男性,为 5.91×10^{-6} mg/(kg · bw)。不同年龄组居民和不同性别居民的风险商均远小于 1,因此上海市居民通过豇豆摄入倍硫磷对人体的健康风险较低。

本评估存在一定的不确定性。首先,上海市居民食品的摄入量数据是居民一日的消费量调查调查,低年龄段的调查人数相对较少,存在一定的不确定性,从而可能造成暴露评估的偏差。其次,本次评估数据来源于市场监管抽检数据,可能由于每年 12 月制定和 1 月申报的抽检计划的

缘故而缺少了相应月份的监测数据。再者,本次仅考虑豇豆中倍硫磷的的暴露量,未考虑其他食品中倍硫磷的膳食暴露量也未考虑豇豆在烹调过程中的变化。有研究表明豇豆最安全的家庭加工方式是漂烫 5 min 和爆炒 3 min,说明加热的加工方式可以降低通过蔬菜摄入农药的膳食风险^[32]。

针对豇豆中倍硫磷的污染状况,提出以下监管建议:(1)加强豇豆的源头管理,监督农户科学地使用倍硫磷和污染控制规范,包括最大残留限量、使用频率和安全间隔期等,以降低豇豆中倍硫磷的污染水平。(2)鉴于倍硫磷在豇豆中的使用具有明显的季节性变化和抽检场所的差异性,建议加强重点季节和场所的监督频次和检测力度,包括对种植基地、批发市场、零售环节和网络销售环节的豇豆进行重点监测。(3)建立健全不合格产品追溯体系,查明污染源头,采取相应的整改措施。针对抽检中发现的不合格豇豆产品,应立即采取措施进行下架处理,并对相关生产商和销售商进行调查和处理。

参考文献

[1] 张忠武,蒋万,邓正春.我国矮生豇豆育种研究进展[J].现代农业科技,2022(12): 35-39.
ZHANG ZW, JIANG W, DENG ZC. Research progress on dwarf cowpea breeding in China [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2022(12): 35-39.

[2] 田海,冯玉洁,段云,等.我国豇豆农药残留限量标准研究现状分析与建议[J].中国蔬菜,2022(8): 1-6.
TIAN H, FENG YJ, DUAN Y, et al. Analysis and recommendations on the current status of research on pesticide residue limits for cowpeas in China [J]. China Vegetables, 2022(8): 1-6.

[3] OWADE JO, ABONG G, OKOTH M, et al. A review of the contribution of cowpea leaves to food and nutrition security in East Africa [J]. Food Science & Nutrition, 2019, 8(1): 36-47.

[4] 姜鹏,聂继云,刘明雨,等.我国豇豆农药登记产品和残留限量分析及相关建议[J].中国瓜菜,2024,37(1): 11-17.
JIANG P, NIE JY, LIU MY, et al. Analysis and suggestions of Chinese pesticide registration products and residue limits for cowpea [J]. China Cucurbits and Vegetables, 2024, 37(1): 11-17.

[5] 马帅,黄魁建.我国豇豆用药和病虫害防治现状及对保障蔬菜质量安全的建议[J].世界农药,2023,45(4): 13-21.
MA S, HUANG KJ. Current status of pesticide registration and control strategies of diseases and pests in cowpea in China and suggestions on improving vegetable quality and safety [J]. World Pesticide, 2023, 45(4): 13-21.

[6] WEI J, LIANG X, LI J, et al. Dietary risk assessment of pesticide residues in cowpeas from Hainan province of China [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2024, 125: 105769.

[7] 张群,段云,马晨,等.豇豆中 5 种农药及其代谢物残留检测与膳食风险评估[J].中国蔬菜,2022(10): 86-96.

- ZHANG Q, DUAN Y, MA C, *et al.* Determination of residual quantity from five pesticides and their metabolites in cowpea and dietary risk assessment [J]. *China Vegetables*, 2022(10): 86–96.
- [8] 梁启富, 邹华娇, 韦航, 等. 福建省产豇豆中农药残留水平及膳食暴露风险评估[J]. *农产品质量与安全*, 2024(4): 29–35.
- LIANG QF, ZOU HJ, WEI H, *et al.* Pesticide residue levels and dietary exposure risk assessment in cowpea from Fujian Province [J]. *Quality and Safety of Agro-products*, 2024(4): 29–35.
- [9] 李卫东, 俞美莲. 豇豆农药残留超标高频原因分析与对策[J]. *上海农业学报*, 2024, 40(3): 101–107.
- LI WD, YU ML. Cause analysis and countermeasures on high frequency of excessive pesticide residues in cowpea [J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2024, 40(3): 101–107.
- [10] 杨淞杰, 封传红, 尹勇, 等. 四川省豇豆病虫发生为害特点及绿色防控建议[J]. *中国植保导刊*, 2024, 44(6): 63–64, 69.
- YANG SJ, FENG CH, YI Y, *et al.* Characteristics of pest and disease infestation in cowpeas and green control recommendations in Sichuan Province China [J]. *Plant Protection*, 2024, 44(6): 63–64, 69.
- [11] 张爽, 詹德江, 王建忠, 等. 辽宁豇豆主要病虫害及绿色防控技术[J]. *园艺与种苗*, 2024, 44(6): 19–21.
- ZHANG S, ZHAN DJ, WANG JZ, *et al.* The main diseases and insect pests and green prevention and control technology of *Vigna unguiculata* in Liaoning [J]. *Horticulture & Seed*, 2024, 44(6): 19–21.
- [12] 孙金芳, 余小金, 闵捷, 等. 我国有机磷农药膳食暴露累积风险评估模型构建[J]. *东南大学学报(医学版)*, 2017, 36(5): 789–794.
- SUN JF, YU XJ, MIN J, *et al.* Development of a cumulative risk assessment model for dietary exposure to organophosphorus pesticides in China [J]. *Journal of Southeast University (Medical Science Edition)*, 2017, 36(5): 789–794.
- [13] 李萍萍, 徐志, 张振山, 等. QuEChERS 结合 UPLC-MS/MS 法测定海南豇豆中倍硫磷及其型代谢物农药残留[J]. *农药*, 2024, 63(8): 580–585, 591.
- LI PP, XU Z, ZHANG ZS, *et al.* Determination of fenthion and its typemetabolites in cowpea in Hainan by UPLC-MS/MS combined with QuEChERS [J]. *Agrochemicals*, 2024, 63(8): 580–585, 591.
- [14] 许蓉蓉, 黄焯焯. 气相色谱法测定蔬菜中倍硫磷、倍硫磷亚砷和倍硫磷砷的残留量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(6): 1383–1387.
- XU RR, HUANG XY. Determination of fenthion, fenthion sulfoxide and fenthion sulfone residue in vegetables by gas chromatography [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2018, 9(6): 1383–1387.
- [15] 王儒, 张欣琪, 王婷, 等. 气相色谱-质谱法测定豇豆中倍硫磷亚砷含量不确定度[J]. *现代食品*, 2023, 29(18): 208–213.
- WANG R, ZHANG XQ, WANG T, *et al.* Analysis of the uncertainty of sulfoxide content in cowpea by gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Modern Food*, 2023, 29(18): 208–213.
- [16] 周翊. 有机磷农药的神经毒性作用及其机制[J]. *当代化工研究*, 2017(6): 159–161.
- ZHOU Y. Neurotoxic effect of organophosphorus pesticide and its mechanism [J]. *Modern Chemical Research*, 2017(6): 159–161.
- [17] 段云, 钱程, 李建国, 等. 有机磷农药在海南菜心、苦瓜和豇豆中的残留分析及膳食风险评估[J]. *南方农业学报*, 2014, 45(9): 1594–1598.
- DUAN Y, QIAN C, LI JG, *et al.* Organophosphorus pesticide residues in Hainan bitter melon, Chinese flowering cabbage and cowpea and dietary exposure risk assessment [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2014, 45(9): 1594–1598.
- [18] 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, 36(4): 278–279.
- WANG XQ, WU YN, CHEN JS. Issues in handling low-level data in food contamination monitoring [J]. *Chinese Journal of Preventive Medicine*, 2002, 36(4): 278–279.
- [19] EFSA (European Food Safety Authority). The 2018 European Union report on pesticide residues in food [J]. *EFSA Journal*, 2020, 18(4): 6057.
- [20] 陈芒, 籍龙杰, 杨顺美, 等. 有机磷农药污染土壤降解修复研究进展[J]. *环境化学*, 2023, 42(5): 1484–1491.
- CHEN M, JI LJ, YANG SM, *et al.* The research of organophosphorus pesticide degradation and remediation in soil [J]. *Environmental Chemistry*, 2023, 42(5): 1484–1491.
- [21] 梁天柱, 朱梦真, 解伟欣, 等. 光催化降解农药残留研究进展[J]. *河南化工*, 2024, 41(6): 26–30.
- LIANG TZ, ZHU MZ, XIE WX, *et al.* Research progress on photocatalytic degradation of pesticide residues [J]. *Henan Chemical Industry*, 2024, 41(6): 26–30.
- [22] 步岩刚, 钱宗耀. 倍硫磷在新疆哈密瓜中的残留检测及其在土壤中的降解行为研究[J]. *现代农药*, 2024, 23(1): 70–74.
- BU YG, QIAN ZY. Detection of fenthion residues in hamimelon and its degradation behavior in soils [J]. *Modern Agrochemicals*, 2024, 23(1): 70–74.
- [23] 王兰兰, 黄茜, 王会霞, 等. 2022年湖北省市售蔬菜农药残留分析及风险评估[J]. *现代预防医学*, 2023, 50(18): 3420–3424.
- WANG LL, HUANG Q, WANG HX, *et al.* Analysis and risk assessment of pesticide residues in vegetables sold in Hubei, 2022 [J]. *Modern Preventive Medicine*, 2023, 50(18): 3420–3424.
- [24] 曾静, 乔雄梧. 我国近年蔬菜水果中农药残留超标状况浅析[J]. *农药学报*, 2023, 25(6): 1206–1221.
- ZENG J, QIAO XW. A brief analysis of pesticide residues exceeding maximum residue limits in vegetables and fruits in China [J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2023, 25(6): 1206–1221.
- [25] HUAN ZB, XU Z, JIANG WN, *et al.* Effect of Chinese traditional cooking on eight pesticides residue during cowpea processing [J]. *Food Chemistry*, 2015, 170: 118–122.
- [26] 张丽, 汪霞丽, 梁锋, 等. 湖南省市售豇豆农药残留的采样分析及安全风险评估[J]. *湖南师范大学自然科学学报*, 2024, 47(5): 95–102.
- ZHANG L, WANG XL, LIANG F, *et al.* Sampling analysis and safety risk assessment of pesticide residues in cowpea sold in hunan market [J]. *Journal of Natural Science of Hunan Normal University*, 2024, 47(5): 95–102.
- [27] MA C, WEI D, LIU P, *et al.* Pesticide residues in commonly consumed vegetables in Henan Province of China in 2020 [J]. *Frontiers in Public Health*, 2022, 10: 901485.
- [28] 金旭忠, 徐庭巧, 何良兴. 杭州市市供豇豆有机磷类和氨基甲酸酯类农药残留监测结果分析[J]. *中国卫生检验杂志*, 2012, 22(6): 1372–1374.
- JIN XZ, XU TQ, HE LX. The monitoring results of organophosphate and carbamate pesticide residues in cowpea in Hangzhou [J]. *Chinese Journal of Health Laboratory Technology*, 2012, 22(6): 1372–1374.
- [29] 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.
- ZHAO MX, WANG CN, LI TT, *et al.* Acute risk assessment of cumulative dietary exposure to organophosphorus pesticide among people in Jiangsu province [J]. *Journal of Hygiene Research*, 2013, 42(5): 844–848.
- [30] 段云, 钱程, 李建国. 海南豇豆中有机磷农药残留的累积性暴露评估[J]. *热带农业科学*, 2013, 33(12): 70–74.
- DUAN Y, QIAN C, LI JG. Cumulative dietary exposure of the organophosphorus pesticide residues on Hainan cowpea [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2013, 33(12): 70–74.
- [31] JENSEN AF, PETERSEN A, GRANBY K. Cumulative risk assessment of the intake of organophosphorus and carbamate pesticides in the Danish diet [J]. *Food Additives & Contaminants*, 2003, 20(8): 776–785.
- [32] 林丽容. 市售 3 种豆类蔬菜中农药残留状况及暴露比值分析[J]. *食品安全导刊*, 2023(36): 68–72.
- LIN LR. Analysis of pesticide residues and exposure ratio in three kinds of legume vegetables sold in the market [J]. *China Food Safety Magazine*, 2023(36): 68–72.

(责任编辑: 韩晓红 安香玉)