

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250408001

引用格式: 黄聪灵, 黄健祥, 陈炎, 等. 蔬菜典型种植区豇豆农药残留特点及风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(14): 298–307.

HUANG CL, HUANG JX, CHEN Y, *et al.* Characteristics of pesticide residues and risk assessment of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. from typical vegetable-growing areas [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(14): 298–307. (in Chinese with English abstract).

蔬菜典型种植区豇豆农药残留特点及风险评估

黄聪灵^{1,2}, 黄健祥^{1,2}, 陈炎^{1,2}, 肖泽苗^{1,2}, 万凯^{1,2,3}, 陆莹³, 唐雪妹^{1,2*}

(1. 广东省农业科学院农业质量标准与监测技术研究所, 广州 510640; 2. 农业农村部农产品质量安全风险评估实验室, 广州 510640; 3. 广东农科监测科技有限公司, 广州 510640)

摘要: **目的** 分析典型种植区豇豆的农药残留情况, 并对其进行风险评估。**方法** 采用标准方法对 3 个典型种植区的 288 份豇豆样品进行农药残留检测。采用食品安全指数和危害物风险系数对农药残留情况进行风险评估。**结果** 288 份豇豆中共检出 39 种农药, 检出率为 0.35%~24.31%。检出率较高的依次为苯醚甲环唑、灭蝇胺、虫螨腈、吡啶醚菌酯、氯虫苯甲酰胺和啉虫脒等低毒农药。部分豇豆样品中存在多农药残留检出情况; 生产环节样品检出率和超标率均大于农贸市场和批发市场。风险评估结果表明, 倍硫磷、灭蝇胺和噻虫嗪的风险系数均大于 2.5, 为高度风险; 克百威、三唑磷、氯氟氰菊酯和啉虫脒风险系数介于 1.5~2.5, 为中度风险, 其他农药风险系数低于 1.5, 为低度风险。**结论** 豇豆上多种农药残留、超范围用药情况较为普遍, 但大部分检出农药风险较低, 主要高风险因子为倍硫磷、灭蝇胺和噻虫嗪, 需重点监管和加大监测力度。豇豆上部分农药在储运过程中可自然降解, 流通环节豇豆样品风险情况低于生产环节, 消费环节风险会进一步降低。**关键词:** 豇豆; 农药残留; 风险评估; 食品安全指数; 危害物风险系数

Characteristics of pesticide residues and risk assessment of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. from typical vegetable-growing areas

HUANG Cong-Ling^{1,2}, HUANG Jian-Xiang^{1,2}, CHEN Yan^{1,2}, XIAO Ze-Miao^{1,2},
WAN Kai^{1,2,3}, LU Ying³, TANG Xue-Mei^{1,2*}

(1. Institute of Quality Standard and Monitoring Technology for Agro-products of Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment of Agro-products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510640, China; 3. Guangdong Agricultural Monitoring Technology Co., Ltd., Guangzhou 510640, China)

ABSTRACT: Objective To analyze the pesticide residues in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. from typical vegetable-growing areas and evaluate their dietary exposure risk. **Methods** The pesticide residues of 288 *Vigna unguiculata* (L.) Walp. samples from 3 typical growing areas were prepared by standard methods. Risk assessments

收稿日期: 2025-04-08

基金项目: 以农业领域为单元的广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队建设项目(农产品质量安全共性关键技术)(2024CXTD18); 广东省农业科学院协同创新中心项目(XTXM202202)

第一作者: 黄聪灵(1990—), 女, 硕士, 实验师, 主要研究方向为农产品质量安全检测。E-mail: huangcongling@gdaas.cn

*通信作者: 唐雪妹(1991—), 女, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量安全检测与评价。E-mail: tangxuemei@gdaas.cn

were performed utilizing index of food safety and hazard risk coefficients. **Results** Totally 39 pesticides were detected in 288 *Vigna unguiculata* (L.) Walp. samples with detection rates ranged from 0.35% to 24.31%. Low-toxicity pesticides with high detection rate were difenoconazole, cyromazine, chlorfenapyr, pyraclostrobin, chlorantraniliprole and acetamiprid, successively. Multiple pesticide residues were detected in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. samples, and the detection rate and over-standard rate of samples in production were higher than those in farmers' market and wholesale market. The risk assessment results indicated that hazard risk coefficients values of fenthion, cyromazine and thiamethoxam were more than 2.5 with high risk; hazard risk coefficients values of carbofuran, triazophos, cyhalothrin and acetamiprid were more than 1.5 and less than 2.5 with moderate risk; hazard risk coefficients values of other pesticides were less than 1.5 with low risk. **Conclusion** The residues of various pesticides and the use of pesticides beyond the prescribed range are quite common on *Vigna unguiculata* (L.) Walp.. However, the risk of pesticides detected in most cases is relatively low. The main high risk factors are fenthion, cyromazine and thiamethoxam in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. of typical growing areas, which need to be focused on supervision and increased monitoring. Some pesticides on *Vigna unguiculata* (L.) Walp. can be naturally degraded during storage, transportation and sales. The risk situation of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. in the circulation stage is lower than that in the production stage, and the risk in the consumption stage will be further reduced.

KEY WORDS: *Vigna unguiculata* (L.) Walp.; pesticide residues; risk assessment; index of food safety; hazard risk coefficient

0 引言

豇豆 [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] 为一年生缠绕性草本植物, 风味独特、营养价值高, 深受消费者喜爱^[1-2]。作为重要的“菜篮子”产品^[3], 豇豆在我国常年种植面积在 57 万 hm^2 左右^[4-5], 主要集中在海南、广西、广东、云南、福建等地。同时, 豇豆也是海南、云南等地重要的冬季反季节蔬菜品种和冬季南菜北运主要蔬菜品种, 为保障北方冬季“菜篮子”稳定发挥了重要作用。由于豇豆上主要病虫害如蓟马、豇豆荚螟等藏匿花朵果实内部, 防治较为困难^[6], 部分种植者为了保障经济效益, 不科学使用或滥用农药, 甚至喷施蔬菜上禁止使用农药; 且豇豆采收阶段花果同期, 采收上市时经常难以保证安全间隔期, 从而导致豇豆农药残留超标问题时有发生^[7-11]。2021 年, 农业农村部、国家市场监督管理总局等 7 个部门联合印发《食用农产品“治违禁 控药残 促提升”三年行动方案》, 把豇豆列为治理的重点品种之一。各地不断探索豇豆绿色安全种植模式^[12], 但是受经济成本和产出的影响, 目前我国豇豆病虫害防治依然主要依赖化学防治^[13-14], 质量安全风险情况需持续跟踪评估。

农药膳食风险评估作为农药风险管理体系的核心构成, 主要通过定性或定量方法评估人体可能摄入的农药风险^[15]。该评估机制与农药最大残留限量标准形成双向支撑: 前者为限量标准制定提供科学依据, 后者则为风险管控设定具体阈值^[16]。当前国内外关于豇豆农药残留的研究已取得系列成果: 汪雨龙等^[17]针对浙江省“三棵菜”的检测发现, 豇豆中甲基异柳磷、克百威、三唑磷等 8 种农药存在高风

险暴露; WEI 等^[18]和 ZHANG 等^[8]通过对海南 654 份样品 (80 份与 574 份) 的系统评估, 揭示了该省豇豆质量安全动态, 强调持续监测的必要性; 福建省研究显示, 522 份样本中绝大多数农药的短期及长期膳食暴露风险可控^[19], 但林丽容^[20]对宁德市 595 批次豆类蔬菜的检测仍发现 5.38% 的超标率, 且风险排序为豌豆 > 豇豆 > 菜豆; 值得注意的是, HUAN 等^[21]发现 2013—2014 年间华南五省豇豆克百威的短期膳食暴露风险超出安全阈值。尽管现有研究积累了重要数据, 但存在显著局限性: 多数研究聚焦于单一省份或城市样本, 缺乏全国主产区的系统性分析。这种研究空白与豇豆产销特征形成矛盾——规模化产区普遍采取“集中收购-跨区销售”模式, 需经历产地→运输→批发市场→农贸市场→餐桌的全链条流通; 而分散种植户则多通过本地农贸市场直销^[22]。无论何种流通路径, 任一环节的农药残留失控均可能引发健康风险^[23]。消费者调查显示, 公众对食品生产流通透明度的需求日益增强, 期望通过全链条可追溯体系提升食品安全保障。由此可见, 构建覆盖种植、流通、销售全过程的农药残留监测网络至关重要。这种全链条风险评估不仅能精准识别风险节点, 更能为监管部门制定靶向性监控策略提供科学支撑, 最终实现“从田间到餐桌”的全程风险管控。

为获得多地区、综合性的风险评估结果, 本研究针对 3 个豇豆典型种植区的生产基地、农贸市场、批发市场和收购点等不同环节开展农残检测和风险评估。采用食品安全指数来评价豇豆中某种农药 (母体及其代谢物) 对消费者的健康危害程度^[24-26]。同时结合常用的危害物风险系数 (hazard risk coefficient, R) 法对豇豆中的 70 种农药残留进

行了分析和综合评估, 研究结果可为豇豆的精准监管及质量安全提升提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 试剂

70 种农药标准溶液(质量浓度 500 $\mu\text{g/mL}$ 或 1000 $\mu\text{g/mL}$, 纯度 $\geq 99.5\%$, 中国农业农村部环境保护科研监测所); 乙腈、甲醇、乙酸乙酯(色谱纯, 德国 Merck 公司); 甲酸、甲酸铵(纯度 $\geq 99.0\%$, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司); NaCl、无水 MgSO_4 (分析纯, 广州化学试剂厂); 乙二胺-N-丙基硅烷化硅胶(primary secondary amine, PSA, 40~60 μm)、石墨化炭黑(graphitized carbon black, GCB, 40~120 μm)(天津博纳艾杰尔科技有限公司); 微孔滤膜(0.22 μm , 天津津腾实验设备有限公司)。

1.2 仪器与设备

LCMS-8040 液相色谱-串联质谱联用仪、GCMS-TQ8040 气相色谱-串联质谱联用仪(日本岛津仪器有限公司); SiO-6512 QuEChERS 自动样品制备系统(北京本立科技股份有限公司); Milli-Q 超纯水仪(美国密理博公司); EM204 电子天平(精度 0.01 g, 中国梅特勒-托利多仪器有限公司); KQ-800KDE 超声波清洗器(昆山超声仪器有限公司); GL-88B 旋涡混合器(海门市其林贝尔仪器制造有限公司); Hypersil GOLD 液相色谱柱(150 mm \times 2.1 mm, 3 μm)[赛默飞世尔科技(中国)有限公司]; Agilent DB-5MS 气相色谱柱(30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm)[安捷伦科技(中国)有限公司]。

1.3 实验方法

1.3.1 样品采集

样品采集时间为 2022—2023 年。288 份豇豆鲜样来源于我国 3 个豇豆典型种植区的生产基地、批发市场、农贸市场和收购点等。样品分布情况为华南地区 206 个豇豆样品(E 104°28'50", N 36°18'20"; E 109°9'9", N 21°29'25"; E 108°25'17", N 22°49'23"; E 108°35'58", N 21°57'28"; E 110°17'25", N 25°16'26"; E 109°31'0", N 18°46'28"; E 108°40'15", N 19°6'48"; E 108°46'7", N 18°32'41"), 西南地区 52 个豇豆样品(E 100°47'29", N 22°1'12"; E 101°0'19", N 22°45'44"), 西北地区 30 个豇豆样品(E 18°32'41", N 34°31'11"; E 107°0'59", N 33°4'36")。所有样品均按照 NY/T 789—2004《农药残留分析样本的采样方法》, 采用随机法进行样品采集, 采样量 3 kg。

1.3.2 检测方法和判定依据

检测方法按照 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/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 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》、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》, 进行农药残留筛查和检测, 检测项目详见表 1。检测结果按照 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》和 GB 2763.1—2022《食品安全国家标准 食品中 2,4-滴丁酸钠盐等 112 种农药最大残留限量》进行判定。

表 1 70 种农药(含代谢物)及其检测标准
Table 1 The 70 kinds of pesticides (including metabolites) and their detection standards

农药种类	检测标准				
	GB 23200.121—2021	GB 23200.113—2018	GB 23200.8—2016	NY/T 761—2008	GB/T 20769—2008
杀虫剂	吡虫啉、啶虫脒、阿维菌素、噻虫嗪、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(以下简称甲维盐)、灭多威、克百威(含 3-羟基克百威)、甲萘威、除虫脲、涕灭威(含涕灭威砒、涕灭威亚砒)、氯虫苯甲酰胺、灭幼脲、虫酰肼、氟啶脲、啶螨灵、辛硫磷、乙基多杀菌素	甲胺磷、对硫磷、甲基对硫磷、六六六、三氯杀螨醇、甲拌磷、氧乐果、水胺硫磷、甲基异柳磷、氟虫脒、毒死蜱、三唑磷、乐果、乙酰甲胺磷、敌敌畏、杀螟硫磷、丙溴磷、马拉硫磷、亚胺硫磷、伏杀硫磷、二嗪磷、氯氰菊酯、氰戊菊酯、溴氰菊酯、甲氰菊酯、联苯菊酯、氯氟氰菊酯、氟氯氰菊酯、氟胺氰菊酯、氟氰戊菊酯、氯菊酯、倍硫磷	虫螨脒	无	灭蝇胺
杀菌剂	咪鲜胺、多菌灵、啉霉胺、苯醚甲环唑、烯酰吗啉、啉菌酯、甲霜灵、霜霉威、醚菊酯、吡唑醚菌酯	三唑酮、异菌脲、腐霉利、五氯硝基苯、乙烯菌核利	无	百菌清	无
除草剂	无	二甲戊灵	无	无	无
植物生长调节剂	氯吡脲、多效唑	无	无	无	无

1.4 风险评估方法

1.4.1 食品安全指数法

本研究采用单一安全指数(index of food safety, IFS)和总体安全指数均值(overall safety index mean values, \overline{IFS})评价豇豆中某种农药残留和总体农药残留对消费者健康的危害程度^[27]。当 IFS 或 $\overline{IFS} \leq 1$ 时, 表示所监测的农药在豇豆上的安全风险为可接受; IFS 或 $\overline{IFS} > 1$ 时, 监测的农药在豇豆上的安全风险为不可接受。计算公式如公式(1)~(3)所示:

$$EDI_c = R_c \times F \times E \times P \quad (1)$$

$$IFS_c = (EDI_c \times f) / SI_c \times bw \quad (2)$$

$$\overline{IFS} = \frac{\sum_{c=1}^n IFS_c}{n} \quad (3)$$

式中: EDI_c 为农药 c 的日实际摄入量估算值(estimate of the actual intake of pesticide, EDI); R_c 为豇豆中农药 c 的残留量, mg/kg; F 为豇豆日摄入量估计量, g/(人·d); E 为豇豆的可食用部分因子; P 为豇豆的加工处理因子; c 为检出某种特定农药; SI_c 为检出农药 c 的安全摄入量, 采用每日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI)表示; f 为农药安全摄入量的校正因子, 取 1; IFS_c 为豇豆中农药 c 的食品安全指数; n 代表检出农药种类数。参考文献[28-30], 取 $F=258.0$ g/(人·d), $E=1$, $P=1$, $f=1$, 成人 $bw=60$ kg。

1.4.2 危害物风险系数法

R 是衡量一个危害物风险程度大小最直观的参数, 客观反映了危害物的超标率(P)、危害物的受关注程度即敏感因子(S)和施检频率(F) 3 者之间的关系^[31]。该方法能够直观全面地反映在一段时间内某种危害物的风险程度, 因此常作为评估农产品风险程度的一种重要手段。计算如公式(4)所示:

$$R = aP + b/F + S \quad (4)$$

式中: P 为某种农药含量超过最大残留限量(maximum residue limit, MRL)的样品占样品总数的百分比; F 为农药残留的检查频率; S 为农药的敏感因子即受关注程度; a 和 b 为权重系数。 P 和 F 都是指定时间段的计算值。敏感因子 $S=2$ 适用于国内外高度关注或新的风险因子检查评估, 敏感因子 $S=1$ 适用于常规风险因子检查评估, 敏感因子 $S=0.5$ 适用于较低风险因子的检查评估。其中 $a=100$, $b=0.1$, $F=1$, $S=1$ ^[18]。

1.5 数据处理

本研究采用 Microsoft Excel 2010 进行数据计算和作图。

2 结果与分析

2.1 豇豆农药残留特点分析

2.1.1 豇豆农药残留总体检出率

本研究重点关注豇豆中 70 种农药的风险情况, 覆盖蔬菜上禁止使用农药 17 种以及生产中使用率较高的常规农药 53 种。由图 1 可知, 采集的豇豆样品中共检出 39 种农药, 检出率为 0.35%~24.31%。检出率在 20.00% 以上的

农药有 3 种, 由高到低依次为苯醚甲环唑、灭蝇胺和虫螨腈; 检出率在 10%~20% 的农药有 3 种, 由高到低依次为吡唑醚菌酯、氯虫苯甲酰胺和啉虫脲; 检出率在 5%~10% 的农药有 10 种, 由高到低依次为联苯菊酯、咪鲜胺、烯酰吗啉、甲维盐、啉菌酯、多菌灵、噻虫嗪、氯氟菊酯、倍硫磷和氯氟菊酯; 其他 23 种农药检出率为 0.35%~3.82%。值得注意的是, 在已检出的 39 种农药中, 蔬菜上禁止使用农药氧乐果、乙酰甲胺磷、灭多威、三唑磷和克百威, 检出率较低, 为 0.35%~1.39%。林丽容^[20]和梁启富等^[19]分别报道了宁德市和福建省产豇豆的农药残留情况, 同样存在检出蔬菜禁止使用农药氧乐果、毒死蜱、水胺硫磷和三唑磷等, 反映了豇豆上使用蔬菜禁用农药偶发的现象, 需加强监管。查询中国农药信息网发现, 目前豇豆上已登记的农药成分共 54 种, 其中杀虫剂为 34 种, 杀菌剂 14 种, 除草剂 2 种, 植物生长调节剂为 4 种。检出的 39 种农药中, 杀虫剂占比为 66.67%, 其他为杀菌剂; 检出农药只有 28.21% 在豇豆上取得登记。梁启富等^[20]对采集的 522 个福建省产豇豆样品中的 91 种农药残留进行了检测分析, 检出的 56 种农药中, 73.21% 在豇豆上未取得登记。这一结果和本研究相似, 都反映了豇豆生产中超范围用药现象普遍存在。

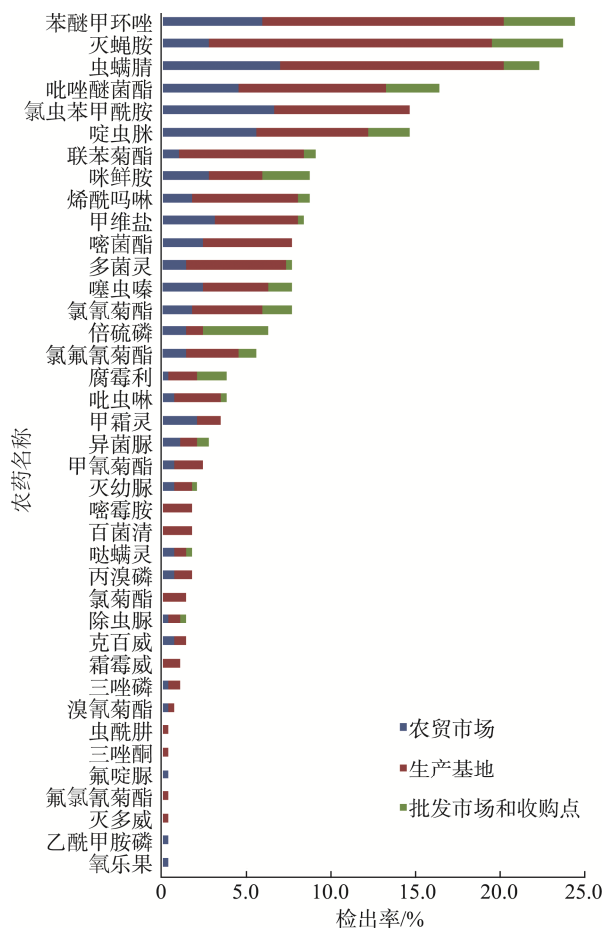


图 1 豇豆样品中农药检出总体情况
Fig.1 Overall situation of pesticide detection in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. samples

对比 3 个典型种植区农药检出情况, 华南地区、西南地区和西北地区豇豆样品中分别检出 38 种、23 种和 7 种农药残留, 农药检出率分别为 0.35%~12.93%、0.35~12.76% 和 0.35%~4.51%。华南地区豇豆样品中检出率较高农药为灭蝇胺、虫螨腈、苯醚甲环唑、吡唑醚菌酯、啶虫脒、联苯菊酯和氯虫苯甲酰胺等, 检出率在 10% 以上的农药有 5 种; 西南地区豇豆样品检出率较高的农药为苯醚甲环唑、氯虫苯甲酰胺、虫螨腈、灭蝇胺、啞菌酯等, 检出率在 10% 以上的农药仅有 1 种; 西北地区豇豆样品总体农药检出率较低。由此可见, 华南和西南地区豇豆用药种类存在共性, 但是农药残留情况不同, 这可能主要受气候影响较大。华南地区高温高湿的气候环境, 导致豇豆上病虫害频发, 且连续用药导致病虫害抗性较强, 防治难度较大, 种植户不得不轮换用药才能得到较好的防治效果, 因此检出农药残留种类较多^[18]。

2.1.2 豇豆中多农药残留检出情况

采集的 288 个样品中, 有 28.13% 的样品未检出农药残留; 只有 1 种农药残留检出的样品占比为 21.18%, 有 13.89%、11.81% 和 6.94% 的样品分别检出 2 种、3 种和 4 种农药残留(图 2)。1~4 种农药检出占比 53.82%, 占到样品总数的一半以上。值得注意的是, 所检测样品中有 2 个样品检出 10 种及以上农药残留, 检出 5 种及以上农药残留的样品占样品总数的 18.05%。总体来说, 部分豇豆上有多农

药残留现象, 多集中在 1~5 种农药, 5 种及以上农药残留情况较少。本研究结果与之前文献报道的豇豆等蔬菜水果农药残留情况类似^[31-33]。这可能是实际生产中, 为了追求产量和防治效果, 种植户往往选择混用多种农药进行病虫害的防治^[34]。

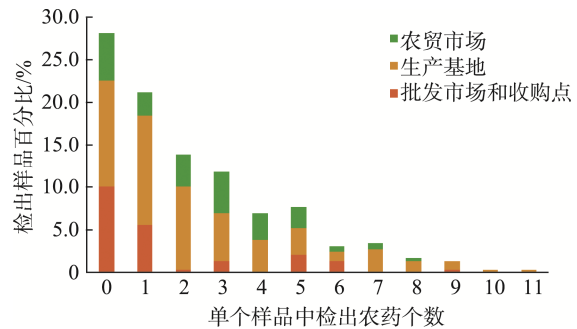
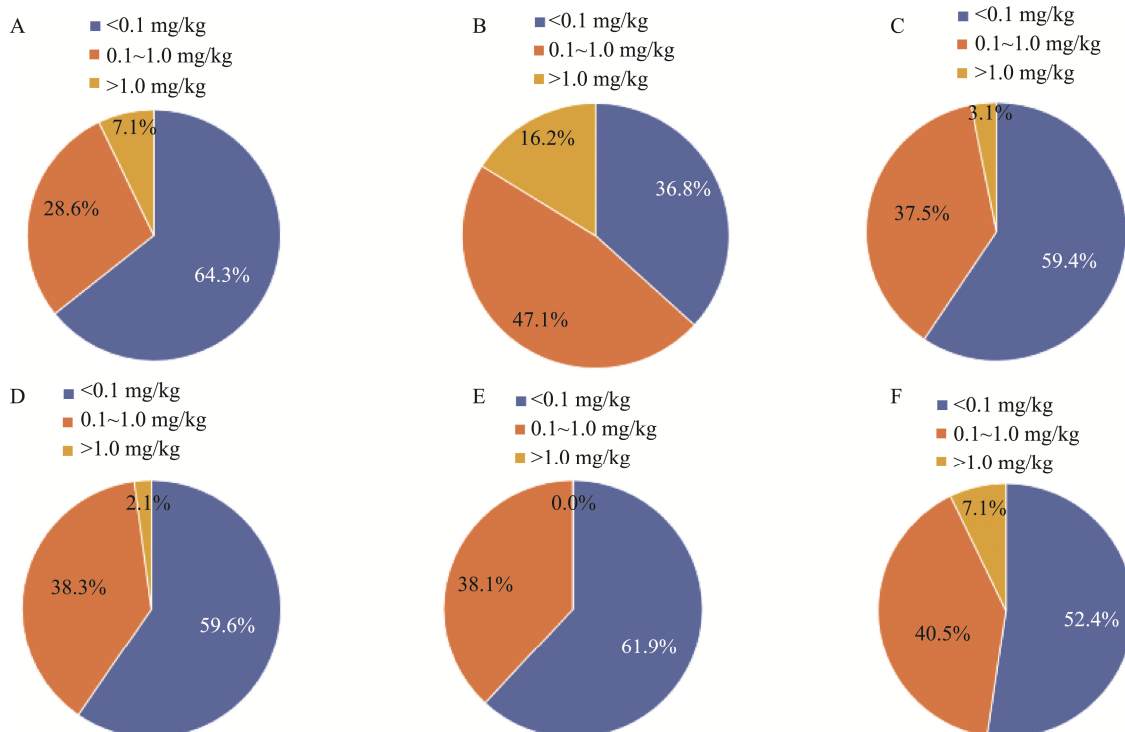


图 2 单个豇豆样品中多农药残留的比例

Fig.2 Proportion of multiple pesticide residues in individual cowpea samples

2.1.3 豇豆中农药残留检出值

对检出率大于 10% 的 6 种农药苯醚甲环唑、灭蝇胺、虫螨腈、吡唑醚菌酯、氯虫苯甲酰胺、啶虫脒进行了分析。除灭蝇胺外, 5 种农药检出值 50% 以上集中在 0.1 mg/kg 以内(图 3), 检出浓度较低; 6 种农药中, GB 2763—2021 中规定了灭蝇胺、氯虫苯甲酰胺和啶虫脒在豇豆上的 MRL 分别为 0.5、1.0 和 0.4 mg/kg, 检出值高于 MRL 值



注: A. 苯醚甲环唑; B. 灭蝇胺; C. 虫螨腈; D. 吡唑醚菌酯; E. 氯虫苯甲酰胺; F. 啶虫脒。

图 3 不同农药检出值分布百分比

Fig.3 Proportion of different pesticide residue concentrations

的样品百分比分别为 16.2%、0.0%和 7.1%, 其中灭蝇胺残留风险较高。苯醚甲环唑、虫螨腈和吡唑醚菌酯均存在检出值大于 1.0 mg/kg 的情况, 但是由于我国国家标准中未规定其在豇豆上的 MRL 值, 无法判定其是否超标。

从表 2 可以看出, 已检出农药 39 种, 有 21 种在中国未制定其在豇豆上的 MRL 值, 占比高达 53.85%。部分农药残留限量的缺失, 会导致检测结果无法判定, 可能会产生安全隐患^[35]。

表 2 豇豆样品中已检出农药的 IFS
Table 2 IFS of detected pesticides in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. samples

序号	农药名称	MRL 值 /(mg/kg)	检出值范围 /(mg/kg)	R 值 /(mg/kg)	F/[g /(人·d)]	EDI _c /(mg/d)	SI /(mg/kg bw)	IFS	IF _S
1	氧乐果	0.02	ND~0.032	0.032	258	0.0083	0.0003	0.4587	
2	克百威	0.02	ND~0.190	0.105	258	0.0270	0.0010	0.4504	
3	三唑磷	0.05	ND~0.340	0.208	258	0.0538	0.0010	0.8959	
4	乙酰甲胺磷	0.02	ND~0.035	0.035	258	0.0090	0.0300	0.0050	
5	灭多威	0.20	ND~0.026	0.026	258	0.0068	0.0200	0.0057	
6	丙溴磷	无	ND~8.550	1.940	258	0.5004	0.0300	0.2780	
7	氯氰菊酯	0.50	ND~0.163	0.048	258	0.0125	0.0200	0.0104	
8	溴氰菊酯	0.20	ND~0.056	0.035	258	0.0091	0.0100	0.0151	
9	甲氰菊酯	无	ND~0.155	0.077	258	0.0199	0.0300	0.0111	
10	联苯菊酯	无	ND~0.852	0.141	258	0.0365	0.0100	0.0608	
11	氯氟氰菊酯	0.20	ND~1.516	0.177	258	0.0457	0.0200	0.0381	
12	氟氯氰菊酯	无	ND~0.048	0.048	258	0.0124	0.0400	0.0052	
13	除虫脲	无	ND~0.085	0.052	258	0.0134	0.0200	0.0112	
14	灭幼脲	无	ND~0.636	0.323	258	0.0834	1.2500	0.0011	
15	吡虫啉	2.00	ND~0.441	0.115	258	0.0296	0.0600	0.0082	
16	啶虫脒	0.40	ND~0.940	0.154	258	0.0397	0.0700	0.0095	
17	哒螨灵	无	ND~0.113	0.058	258	0.0149	0.0100	0.0249	
18	甲维盐	0.20	ND~0.137	0.038	258	0.0098	0.0005	0.3283	
19	虫螨腈	无	ND~1.207	0.186	258	0.0481	0.0300	0.0267	
20	噻虫嗪	0.30	ND~3.905	0.428	258	0.1103	0.0800	0.0230	0.0903
21	氟啶脲	无	ND~0.082	0.082	258	0.0211	0.0050	0.0703	
22	异菌脲	无	ND~0.400	0.099	258	0.0256	0.0600	0.0071	
23	三唑酮	无	ND~0.016	0.016	258	0.0040	0.0300	0.0022	
24	百菌清	5.00	ND~3.384	1.071	258	0.2764	0.0200	0.2304	
25	腐霉利	无	ND~0.357	0.062	258	0.0161	0.1000	0.0027	
26	多菌灵	无	ND~1.243	0.247	258	0.0638	0.0300	0.0354	
27	苯醚甲环唑	无	ND~2.328	0.258	258	0.0666	0.0100	0.1110	
28	啞霉胺	无	ND~0.509	0.203	258	0.0524	0.2000	0.0044	
29	烯酰吗啉	无	ND~3.423	0.306	258	0.0789	0.2000	0.0066	
30	咪鲜胺	无	ND~0.826	0.180	258	0.0465	0.0100	0.0775	
31	啞菌酯	3.00	ND~1.060	0.088	258	0.0228	0.2000	0.0019	
32	灭蝇胺	0.50	ND~2.760	0.300	258	0.0773	0.0600	0.0215	
33	甲霜灵	无	ND~0.103	0.031	258	0.0079	0.0800	0.0016	
34	霜霉威	无	ND~1.278	0.546	258	0.1409	0.4000	0.0059	
35	氯虫苯甲酰胺	1.00	ND~0.597	0.106	258	0.0273	2.0000	0.0002	
36	氯菊酯	1.00	ND~1.270	0.383	258	0.0988	0.0500	0.0329	
37	虫酰肼	无	ND~0.219	0.219	258	0.0565	0.0200	0.0471	
38	吡唑醚菌酯	无	ND~1.402	0.144	258	0.0371	0.0300	0.0206	
39	倍硫磷	0.05	ND~1.160	0.272	258	0.0703	0.0070	0.1674	

注: ND 表示未检出。

2.1.4 不同环节豇豆的农药残留情况

本研究对比了生产基地、批发市场和收购点、农贸市场 3 个不同环节豇豆样品农药检出情况。生产基地豇豆样品中共检出 36 种农药残留,各农药检出率在 0.35%~16.67%,检出率较高的农药由大到小依次为灭蝇胺、苯醚甲环唑和虫螨腈等;农贸市场豇豆样品中共检出 31 种农药残留,农药检出率为 0.35%~6.94%,检出率较高的农药由大到小依次为虫螨腈、氯虫苯甲酰胺、苯醚甲环唑等;批发市场和收购点豇豆样品中共检出 20 种农药残留,检出率为 0.35%~4.17%,检出率较高的农药由大到小依次为灭蝇胺、苯醚甲环唑、倍硫磷等。总体来说,已检出的 39 种农药中,84.62%的农药检出率大小趋势相同,且由大到小依次为生产基地、农贸市场、批发市场和收购点。

对比单个豇豆样品中农药检出数量,发现不管检出农药多少种,来自生产环节样品均占比最高(图 2)。检出 1~3 种农药的生产基地样品占有样品的百分比为 28.13%,农贸市场样品占比 11.46%,批发市场和收购点样品占比 7.29%;而检出 4~6 种农药的占比分别是生产基地 7.99%、批发市场和收购点 3.47%、农贸市场 6.25%;生产基地单个样品甚至检出高达 11 种农药,而在流通环节最多检出 9 种农药,且数量较少。总体来说,单个样品检出农药残留数量由多到少依次是生产基地>农贸市场>批发市场和收购点。同时分析了农药超标豇豆样品在不同环节的分布情况,发现有 50%的超标样品来自于生产基地,超标频次较多的是灭蝇胺、噻虫嗪、氯氟氰菊酯、倍硫磷等;其次是农贸市场,占比为 27.78%,超标频次较多的是灭蝇胺、啉虫脒、克百威;来自批发市场和收购点的超标样品占总超标样品数的 22.22%,主要集中在倍硫磷超标。总体来说,按不同环节超标概率从大到小依次是生产基地>农贸市场>批发市场和收购点。李亦奇等^[6]的研究发现,批发市场、卖场超市、网络销售等不同类型采样点蔬菜样品农药残留检测结果不同,合格率也存在差异,这一结论和本研究结果有相似之处。

2.2 豇豆中农药残留风险评估

2.2.1 食品安全指数法结果

根据 1.4 的方法计算豇豆中各检出农药的 IFS 值如表 2 所示,结果表明,豇豆中各农药的 IFS 值为 0.0002~0.8959, \overline{IFS} 值为 0.0903,均小于 1,表明豇豆中检出农药残留的风险水平处于可接受范围,慢性暴露整体风险相对较低。其中克百威、氧乐果、三唑磷的 IFS 值相对较高,最高的三唑磷 IFS 值为 0.8959,接近 1,今后的抽检工作中需持续关注。造成这几种农药 IFS 值较高的主要原因可能是,克百威和三唑磷的 ADI 值为 0.001 mg/kg bw,氧乐果仅为 0.0003 mg/kg bw。由公式(2)可知,在农药残留量确定的情况下,ADI 值越小,该农药残留的 IFS 值越大,安全风险也越高。

2.2.2 危害物风险系数结果

本研究结合 R 法进行综合评价,得到更全面可靠的风险信息,从而对豇豆中农药残留污染进行膳食风险预警。根据 1.4.2 中的公式(4),当敏感因子 $S=1$,施检频率 $F=1$,权重系数 $a=100$, $b=0.1$ 时,各农药的 R 大小与农药的超标率呈正相关。当某种农药的 $R<1.5$ 时,表明豇豆中该农药对人体的风险等级为低风险;当 $1.5<R<2.5$ 时,风险等级为中风险;当 $R>2.5$ 时,风险等级为高风险^[6,24]。所检出 39 种农药中有 21 种我国未规定 MRL 值,因此未计算这些农药的风险等级。如表 3 所示,有 10 种农药存在超标情况,超标率较高的农药按由高到底依次为倍硫磷、灭蝇胺、噻虫嗪、克百威、啉虫脒、三唑磷,超标率为 1.0%~5.2%。其中倍硫磷和灭蝇胺的 R 高达 6.31 和 4.92,噻虫嗪为 2.84,均大于 2.5,表明所评估的豇豆样品中倍硫磷、灭蝇胺和噻虫嗪为高风险农药。而啉虫脒、氯氟氰菊酯、克百威和三唑磷的 R 在 1.5~2.5,风险等级为中等;其中克百威的 R 值为 2.49,需要密切关注。其他农药氯氟氰菊酯、溴氟菊酯、吡虫啉、甲维盐、百菌清等的 R 均小于 1.5,为低风险。另外,氧乐果、乙酰甲胺磷、灭多威虽然风险等级是低风险,但是这几种农药禁止在蔬菜、瓜果、茶叶、菌类和中药材上使用,需要加强监管和用药培训。

表 3 豇豆样品中农药残留 R
Table 3 R of pesticide residues in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. samples

序号	农药名称	超标率/%	敏感因子 (S)	R	风险等级
1	氧乐果	0.4	1	1.45	低
2	克百威	1.4	1	2.49	中
3	三唑磷	1.0	1	2.14	中
4	乙酰甲胺磷	0.4	1	1.45	低
5	灭多威	0	1	1.10	低
6	氯氟氰菊酯	0	1	1.10	低
7	溴氟菊酯	0	1	1.10	低
8	氯氟氰菊酯	0.7	1	1.79	中
9	吡虫啉	0	1	1.10	低
10	啉虫脒	1.0	1	2.14	中
11	甲维盐	0	1	1.10	低
12	噻虫嗪	1.7	1	2.84	高
13	百菌清	0	1	1.10	低
14	啉菌酯	0	1	1.10	低
15	灭蝇胺	3.8	1	4.92	高
16	氯虫苯甲酰胺	0	1	1.10	低
17	氯菊酯	0.4	1	1.45	低
18	倍硫磷	5.2	1	6.31	高

3 讨论与结论

综合典型种植区农药残留检出情况来看, 豇豆上多农药残留、超范围用药等情况较为普遍, 个别样品存在检出蔬菜上禁止使用农药的情况, 这可能是因为豇豆病虫害频发、花果同期的生长特点, 加上典型种植区常年种植导致病虫害抗性产生, 已登记农药可能无法满足实际生产需求; 个别豇豆种植户认知不足, 为了追求产量和经济效益, 盲目用药甚至喷施蔬菜禁止使用药物^[18,20,22]。从残留农药的检出值来看, 大部分检出水平在 0.1 mg/kg 以下, 整体检出浓度较低。然而, 已检出农药 39 种, 有 21 种我国未制定其在豇豆上的 MRL 值, 占比高达 53.85%, 导致无限量值农药风险情况难以评估, 需引起注意。

对比分析不同环节豇豆残留情况, 不管是从农药检出率、单个豇豆样品农药检出数量还是不同农药超标率, 由大到小均表现为生产基地>农贸市场>批发市场和收购点, 说明豇豆质量安全问题主要来源于生产环节, 在监管检测中需重点关注^[34,37]。这可能是因为生产基地采集的样品最接近生产实际, 连续采摘的生理特征导致安全间隔期难以保证, 采收时部分农药并未降解完全导致农药检出率相对较高。而批发市场和收购点在大规模转运豇豆前, 为了延长豇豆的保鲜时间, 常常采用过冰水等方式预冷, 后经转运流通进入农贸市场随后进入消费者餐桌, 这一过程一般要经历 2~3 d 时间, 而中间环节的冰水预冷^[38]、空气中的氧气和蔬菜中的酶都会使得部分农药残留在此过程中有所降解^[39-40]。同时较大规模的批发市场和收购点一般设有农药残留快速检测实验室, 技术人员会通过抽检等方式对蔬菜等样品进行速测把关, 从而可以规避一部分不合格样品流通上市^[41-42], 又在一定程度上降低了批发市场豇豆样品的农药残留检出率。农贸市场较批发市场检出率等较高, 可能是本研究在抽取农贸市场豇豆样品时, 为了反映当地农药残留的真实现状, 基本是抽取本地豇豆样品进行检测, 这种本地蔬菜可能大多来自产自销的小散户, 而这些小散户农产品质量安全意识相对较低, 用药过程中缺乏科学性, 质量问题更加突出。

风险评估结果表明, 豇豆样品中高风险因子主要集中在噻虫嗪、灭蝇胺、倍硫磷等 3 种常规农药。已有研究表明, 倍硫磷^[19]和灭蝇胺^[43]是豇豆上主要超标农药之一。而倍硫磷和灭蝇胺在豇豆上均未取得登记, 使用时无规范用药指引可能是导致超标的主要原因^[44]。灭蝇胺目前在菜豆上登记可用, 种植户容易按照菜豆上的推荐剂量用于豇豆斑潜蝇防治, 然而, 已有研究表明虽然同为豆类蔬菜, 灭蝇胺在豇豆上非常容易向内部渗透, 半衰期为 7.76 d 远大于菜豆, 参照菜豆用量容易导致残留超标^[45], 因此盲目借鉴其他蔬菜的推荐剂量防治病虫害做法并不可取, 超范围用药存在一定风险。建议进行灭蝇胺、倍硫磷等使用率高且易超

标农药的残留登记试验, 为明确是否适合在豇豆上登记和指导其规范使用提供科学指引。此外, 倍硫磷属于低毒农药, 而 GB 2763—2021 和 GB 2763.1—2022 规定其在豇豆中最大残留限量为 0.05 mg/kg, 和高毒农药三唑磷、水胺硫磷的 MRL 值相当。较低的 MRL 值可能是导致倍硫磷问题突出的另一主要原因。

近几年, 农业农村部门把豇豆作为重点治理品种开展整治, 合格率有了大幅提升, 但是超范围用药现象还较为普遍, 针对这一问题, 建议继续加大豇豆安全用药宣传和培训工作, 引导农民科学用药, 质量安全从源头抓起; 针对常检出农药在 GB 2763—2021 和 GB 2763.1—2022 中 MRL 值缺失导致检出值无法判定的问题, 建议根据豇豆实际生产情况, 加快标准制修订工作, 为豇豆质量安全提供执法依据; 针对常规农药残留风险高的情况, 建议在豇豆种植过程中推广使用化学农药与生物防治技术联用的绿色生产模式, 比如海南省的防虫网和生态调控技术^[46]、浙江省的早春设施栽培和高山栽培模式^[47]、乙基多杀菌素、溴虫酰胺替代易超标农药灭蝇胺的生物农药防治^[48]等, 减少豇豆生产中农药的使用频率, 实现豇豆绿色种植和农业可持续发展; 针对不同环节检出和超标情况不同, 建议在今后的监管检测工作中, 实时更新监测数据并进行预警分析, 实时调整工作方案做到精准监测。

参考文献

- [1] SODEDJI KAF, ASSOGBADJO AE, LEE B, *et al.* An integrated approach for biofortification of carotenoids in cowpea for human nutrition and health [J]. *Plants*, 2024, 13(3): 412.
- [2] BAI ZY, HUANG XJ, MENG JX, *et al.* A comparative study on nutritive peculiarities of 24 Chinese cowpea cultivars [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2020, 146: 111841.
- [3] 盛桂林, 沈迎春. 韭菜、豇豆和芹菜的农药登记现状和病虫害防控对策研究[J]. *现代农药*, 2021, 20(6): 12-15, 20.
SHENG GL, SHEN YC. Current situation of pesticide registration and strategies of diseases and pests control in leek, cowpea and celery [J]. *Modern Agrochemicals*, 2021, 20(6): 12-15, 20.
- [4] 张忠武, 詹远华, 田军. 豇豆高效栽培实用技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
ZHANG ZW, ZHAN YH, TIAN J. Practical techniques for efficient cultivation of cowpea [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020.
- [5] 王娟娟, 张曦, 蒋靖怡. 关于豇豆、芹菜和韭菜质量安全的思考[J]. *中国蔬菜*, 2022(6): 7-10.
WANG JJ, ZHANG X, JIANG JY. Reflections on the quality and safety of cowpea, celery and leek [J]. *China Vegetables*, 2022(6): 7-10.
- [6] LI K, CHEN W, XIANG W, *et al.* Determination, residue analysis and risk assessment of thiacloprid and spirotetramat in cowpeas under field conditions [J]. *Scientific Reports*, 2022, 12: 3470.
- [7] CUI K, WU X, WEI D, *et al.* Health risks to dietary neonicotinoids are low for Chinese residents based on an analysis of 13 daily-consumed foods [J]. *Environment International*, 2021, 149: 106385.
- [8] ZHANG Q, MA C, DUAN Y, *et al.* Determination and dietary intake risk

- assessment of 35 pesticide residues in cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp) from Hainan Province, China [J]. *Scientific Reports*, 2022, 12: 5523.
- [9] 李富根, 朴秀英, 廖先骏, 等. 农药残留国家标准体系建设现状与展望 [J]. *现代农药*, 2021, 20(6): 1-5.
LI FG, PIAO XY, LIAO XJ, *et al.* Present situation and prospect of system construction of pesticide residue national standard [J]. *Modern Agrochemicals*, 2021, 20(6): 1-5.
- [10] 张峰祖, 李富根, 朴秀英. 我国加工农产品中农药最大残留限量制定现状[J]. *农药科学与管理*, 2021, 42(10): 14-18, 5.
ZHANG ZF, LI FG, PIAO XY. Current situation on setting of pesticide maximum residue limits in processed commodities in China [J]. *Pesticide Science and Administration*, 2021, 42(10): 14-18, 5.
- [11] 明星星. 国内外农产品中农药最高残留限量标准的比对分析研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
MING XX. Comparative study of maximum residue limits of pesticides in farm products [D]. Beijing: China Agricultural University, 2005.
- [12] 刘美珍. 佛山市高明区豇豆绿色种植技术要点[J]. *南方农业*, 2023, 17(22): 100-103.
LIU MZ. Cowpea green planting technology points from Gaoming District of Foshan City [J]. *South China Agriculture*, 2023, 17(22): 100-103.
- [13] 李辉, 李娜, 刘磊, 等. 5种农药在豇豆上使用的安全性评价[J]. *福建农业学报*, 2018, 33(11): 1176-1180.
LI H, LI N, LIU L, *et al.* Safe application of five pesticides for cowpeas [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 33(11): 1176-1180.
- [14] 张静, 陈礼浪, 叶火春, 等. 20%虫螨腈·啉虫酰胺微乳剂对豇豆蓟马的杀虫活性[J]. *热带农业科学*, 2019, 39(1): 75-78, 91.
ZHANG J, CHEN LL, YE HC, *et al.* Insecticidal activity of chlorfenapyr+tolfenpyrad 20% microemulsion against thrips on cowpea [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2019, 39(1): 75-78, 91.
- [15] FAO/WHO. Principles and methods for risk assessment of chemicals in food: EHC 240 [Z]. Switzerland, Geneva: WHO press, 2020.
- [16] 贾蕙榕, 张斌斌, 潘兴鲁, 等. 农产品中农药残留与膳食风险研究进展[J]. *现代农药*, 2024, 23(6): 1-13.
JIA HR, ZHANG BB, PAN XL, *et al.* Research progress on pesticide residues in agricultural products and dietary risks [J]. *Modern Agrochemicals*, 2024, 23(6): 1-13.
- [17] 汪雨龙, 张科, 高凤, 等. 市售“三棵菜”农药残留特征及风险评价[J]. *食品与发酵工业*, 2024, 50(13): 279-289.
WANG YL, ZHANG K, GAO F, *et al.* Characteristics and dietary intake risk assessment of pesticide residues in commercial three vegetables [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2024, 50(13): 279-289.
- [18] 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.
- [19] 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 level and dietary exposure risk assessment in cowpeas from Fujian Province [J]. *Quality and Safety of Agro-Products*, 2024(4): 29-35.
- [20] 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*, 2024(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*, 2024(36): 68-72.
- [21] HUAN ZB, XU Z, LUO JH, *et al.* Monitoring and exposure assessment of pesticide residues in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) from five provinces of Southern China [J]. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2016(81): 260-267.
- [22] 于冬菊. 蔬菜供应链质量安全管理体系研究[D]. 济南: 山东大学, 2020.
YU DJ. Study on system of vegetable supply chain quality safety management [D]. Jinan: Shandong University, 2020.
- [23] WU L, GONG X, QIN S, *et al.* Consumer preferences for pork attributes related to traceability. Information certification, and origin labeling: Based on China's Jiangsu Province [J]. *Agribusiness*, 2017, 33(1): 1-19.
- [24] QIN GF, CHEN Y, HE FR, *et al.* Risk assessment of fungicide pesticide residues in vegetables and fruits in the mid-western region of China [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2021, 95: 103663.
- [25] ZUO XL, HAN AY. The residues and risk assessment of sulfonamides in animal products [J]. *Journal of Food Quality*, 2021, 1-6. DOI: 10.1155/2021/5597755
- [26] 张仙, 彭西甜, 胡西洲, 等. 葡萄中43种农药残留的快速分析方法与膳食暴露风险评估[J]. *食品科技*. 2023, 48(11): 296-304.
ZHANG X, PENG XT, HU XZ, *et al.* Rapid analysis method and dietary exposure risk assessment of 43 kinds of pesticide residues in grapes [J]. *Food Science and Technology*, 2023, 48(11): 296-304.
- [27] 王锦铭, 刘萍, 诸芸, 等. 无锡市市售蔬菜中新烟碱类杀虫剂残留分析及膳食风险评估[J]. *食品安全质量检测学报*, 2024, 15(8): 322-328.
WANG JM, LIU P, ZHU Y, *et al.* Analysis and dietary risk assessment of neonicotinoid insecticides in commercially available vegetables in Wuxi [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2024, 15(8): 322-328.
- [28] CHAI Y, YANG JY, LI Y, *et al.* Risk estimate of vegetables based on food safety indexes methods in Chongqing [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2010, 23(1): 98-102.
- [29] 金征宇. 食品安全导论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
JIN ZY. Introduction to food safety [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [30] 王冬群, 岑伟烈, 马金山. 基于食品安全指数法评估慈溪市翠冠梨农药残留的风险[J]. *浙江农业科学*, 2012(5): 721-724.
WANG DQ, CEN WL, MA JJ. Risk estimate of pear based on food safety indexes methods in Cixi [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2012(5): 721-724.
- [31] 马新耀, 刘娇, 李伟, 等. 基于食品安全指数法和危害物风险系数法评估山西省韭菜中农药残留的风险[J]. *中国蔬菜*, 2022(7): 92-97.
MA XY, LIU J, LI W, *et al.* Risk evaluation of pesticide residues in leeks in Shanxi Province based on food safety index and hazard risk coefficient method [J]. *China Vegetables*, 2022(7): 92-97.
- [32] 赵莹, 王玮, 尹丹阳, 等. 2018—2021年陕西省市售水果中农药残留状况调查及膳食摄入风险评估[J]. *中国食品卫生杂志*, 2023, 35(12): 1749-1756.
ZHAO Y, WANG W, YIN DY, *et al.* Investigation of pesticide residues in commercialized fruits and risk assessment of dietary intake in Shaanxi Province from 2018 to 2021 [J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2023, 35(12): 1749-1756.
- [33] KUANG LX, WANG ZQ, CHENG Y, *et al.* Residue levels and risk

- assessment of pesticides in litchi and longan of China [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2023, 115: 104921.
- [34] 梁宇. 豇豆生产中农药残留膳食风险评估与降解模型研究[D]. 海口: 海南医学院, 2023.
LIANG Y. Study on dietary risk assessment and degradation model of pesticide residues in cowpea production [D]. Haikou: Hainan Medical University, 2023.
- [35] 周鹏, 康小斐, 蒋雄武, 等. 豇豆、韭菜和芹菜农药残留限量标准比对研究[J]. *农产品质量与安全*, 2022(5): 83–88.
ZHOU P, KANG XF, JIANG XW, *et al.* Comparative study on pesticide residue limit standard of cowpea, leek and celery [J]. *Quality and Safety of Agro-Products*, 2022(5): 83–88.
- [36] 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.
- [37] 阳辛凤, 李萍萍, 刘春华, 等. 海南豇豆多菌灵、啮虫脒和阿维菌素残留及其膳食风险评估[J]. *南方农业学报*, 2017, 48(11): 2010–2015.
YANG XF, LI PP, LIU CH, *et al.* Residue analysis and dietary risk assessment of carbendazim, acetamiprid and abamectin in *Vigna unguiculata* L. Walp in Hainan [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2017, 48(11): 2010–2015.
- [38] 黄婵婵, 陈羽焯, 李冬桂, 等. 不同采后浸泡方式对豇豆农药残留的去除效果[J]. *南方农业学报*, 2024, 55(12): 3698–3706.
HUANG CC, CHEN YY, LI DG, *et al.* Effects of different postharvest soaking methods on the removal of pesticide residues in cowpea [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2024, 55(12): 3698–3706.
- [39] ACOGLU B, OMEROGU PY. Effectiveness of different type of washing agents on reduction of pesticide residues in orange (*Citrus sinensis*) [J]. *Food Science and Technology/Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 2021, 147: 111690.
- [40] 唐雪梅, 纪铨臻, 卢明瑞, 等. 热带果蔬农药残留处理方法及降解技术研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2024, 15(19): 1–12.
TANG XM, JI CZ, LU MR, *et al.* Research progress on treatment methods and degradation techniques of pesticide residues in tropical fruits and vegetables [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2024, 15(19): 1–12.
- [41] 林宇婧. 基于酶抑法的农产品农药残留快速检测系统及影响因素分析[J]. *河北农机*, 2024(19): 115–117.
LIN YJ. Rapid detection system of pesticide residues in agricultural products based on enzyme suppression method and analysis of influencing factors [J]. *Hebei Agricultural Machinery*, 2024(19): 115–117.
- [42] 李学林. 胶体金快检技术在豇豆质量安全监管中的应用[J]. *云南农业*, 2024(11): 51–52.
LI XL. Application of colloidal gold rapid detection technology in quality and safety supervision of cowpea [J]. *Yunnan Agriculture*, 2024(11): 51–52.
- [43] 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.
- [44] 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 of the national food safety supervision and sampling inspection result on vegetables in 2018 [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2019, 10(17): 5715–5721.
- [45] TANG XM, HUANG CL, HUANG JX, *et al.* Temporal-spatial analysis of cyromazine in cowpea using liquid chromatography-mass spectrometry coupled with mass spectrometry imaging [J]. *Food Quality and Safety*, 2023, 7: 1–8.
- [46] 王硕, 吕宝乾, 王树昌, 等. 基于防虫网+的热区豇豆病虫害生态调控策略[J]. *热带农业科学*, 2024, 44(7): 27–35.
WANG S, LV BQ, WANG SC, *et al.* The ecological control strategy for cowpea pest and disease in the hotspot based on insect-proof net+ [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2024, 44(7): 27–35.
- [47] 杨新琴, 吴新义, 李国景, 等. 基于病虫害绿色防控的豇豆优质高效栽培模式[J]. *浙江农业科学*, 2024, 65(12): 2972–2976.
YANG XQ, WU XY, LI GJ, *et al.* High quality and efficient cultivation mode of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. based on environmentally-friendly control methods for disease and pest [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2024, 65(12): 2972–2976.
- [48] 黄健祥, 谢书越, 唐雪妹, 等. 豇豆中灭蝇胺残留分析与膳食风险评估[J]. *现代食品科技*, 2023, 39(11): 263–269.
HUANG JX, XIE SY, TANG XM, *et al.* Analysis and dietary risk assessment of cyromazine residue in cowpea [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2023, 39(11): 263–269.

(责任编辑: 安香玉 韩晓红)