DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251208001
引用格式: 李慧, 李青松, 黄湛, 等. 2024 年四川省主要叶菜类蔬菜中农药残留的膳食暴露风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(8): 220–229.
LI H, LI QS, HUANG Z, *et al*. Dietary exposure risk assessment of pesticide residues in main leafy vegetables in Sichuan Province in 2024 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(8): 220–229. (in Chinese with English abstract).

2024 年四川省主要叶菜类蔬菜中农药残留的膳食暴露风险评估

李 慧[1], 李青松[1], 黄 湛[1], 常 薇[1], 陈江涛[1], 刘 宏[1], 李富昌[2], 于曼曼[3*]

(1. 四川振兴检测科技股份有限公司, 成都 610081; 2. 云南师范大学经济学院, 昆明 650500;
3. 安徽农业大学茶与食品科技学院, 合肥 230036)

摘 要: 目的 探究四川省主要叶菜类蔬菜的农药残留情况, 评估其膳食暴露风险。**方法** 2024 年采集全省 16 个市/州下属 52 个区县的 5 种叶菜类蔬菜(芹菜、大白菜、小白菜、油麦菜和菠菜)共 769 份, 应用气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)和气相色谱-串联质谱法(gas chromatography-tandem mass spectrometry, GC-MS/MS)检测了氟虫腈等 8 类 60 种农药, 并采用危害物风险系数(hazard risk coefficient, *R*)、食品安全指数(index of food safety, IFS)和急性膳食摄入风险[以急性参考剂量(acute reference dose, ARfD)的百分比表示, 计作%ARfD]进行综合膳食暴露风险评估。**结果** 样品农药残留检出率为 69.96%, 超标率为 5.85%, 合格率为 94.15%。芹菜、小白菜和菠菜中毒死蜱的 *R* 较高, 分别为 6.75、2.57 和 8.79。丙环唑和苯醚甲环唑等 14 种农药的 IFS 不可接受(1.02~6.90)。氯氟氰菊酯等 16 种农药%ARfD 均可接受(小于 100%)。**结论** 四川省叶菜类蔬菜仍存在丙环唑等农药过量或超范围使用以及毒死蜱等禁限用农药违规使用的情况, 从而引发潜在的膳食暴露风险, 应加强对相关农药的监管力度和法规宣贯, 以保障四川省蔬菜产业的可持续发展和公众健康。

关键词: 叶菜类蔬菜; 农药残留; 膳食暴露; 危害物风险系数; 食品安全指数; 急性膳食摄入风险

Dietary exposure risk assessment of pesticide residues in main leafy vegetables in Sichuan Province in 2024

LI Hui[1], LI Qing-Song[1], HUANG Zhan[1], CHANG Wei[1], CHEN Jiang-Tao[1],
LIU Hong[1], LI Fu-Chang[2], YU Man-Man[3*]

(1. *Sichuan Zhenxing Testing Technology Co*., *Ltd*., *Chengdu* 610081, *China*; 2. *School of Economics*, *Yunnan Normal University*, *Kunming* 650500, *China*; 3. *College of Tea & Food Science and Technology*, *Anhui Agricultural University*, *Hefei* 230036, *China*)

收稿日期: 2025-12-08
基金项目: 云南省朱庆华专家工作站项目(202305AF150028); 云南省教育厅数字金融开发与管理重点实验室项目; 云南省哲学社会科学规划智库项目(ZK2024YB14)
第一作者: 李慧(1992—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为农产品质量与安全研究。E-mail: lihui@sclii.com
***通信作者:** 于曼曼(1992—), 女, 博士, 讲师, 主要研究方向为水产品加工与贮藏研究。E-mail: yumm@ahau.edu.cn

ABSTRACT: Objective　To investigate the pesticide residue levels in main leafy vegetables in Sichuan Province, assess the dietary exposure risks to residents. **Methods**　A total of 769 samples of 5 kinds of leafy vegetables (celery, Chinese cabbage, bok choy, romaine lettuce and spinach) were collected in 2024 from 52 counties across 16 cities/prefectures of Sichuan Province. The 60 kinds of pesticides from 8 categories, including fipronil, were analyzed using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and gas chromatography-tandem mass spectrometry (GC-MS/MS). Dietary exposure risks were comprehensively evaluated using the hazard risk coefficient (*R*), index of food safety (IFS) and acute dietary intake risk [expressed as the percentage of the acute reference dose (ARfD, denoted as %ARfD)]. **Results**　The overall detection rate of pesticide residues was 69.96%, with an exceedance rate of 5.85% and a compliance rate of 94.15%. Chlorpyrifos exhibited relatively high *R* values in celery, bok choy and spinach, at 6.75, 2.57 and 8.79, respectively. The 14 kinds of pesticides, including propiconazole and difenoconazole, showed unacceptable IFS values (1.02–6.90). The 16 kinds of pesticides, such as cyhalothrin, demonstrated acceptable acute dietary risks (%ARfD<100%). **Conclusion**　Leafy vegetables in Sichuan Province still show issues of excessive or off-label use of pesticides such as propiconazole, as well as the illegal use of banned or restricted pesticides like chlorpyrifos, posing potential dietary exposure risks. Strengthened regulation and enforcement regarding these pesticides are needed to support the sustainable development of Sichuan's vegetable industry and to safeguard public health.

KEY WORDS: leafy vegetables; pesticide residues; dietary exposure; hazard risk coefficient; index of food safety; acute dietary intake risk

0　引　言

蔬菜在我国膳食结构中占据重要地位, 不仅含有丰富的维生素与膳食纤维, 而且热量较低, 是维持健康不可或缺的食物来源[1–3]。随着人们对农产品安全性关注的提升, 蔬菜农药残留逐渐成为监管与消费者共同关注的问题。部分种植户为了追求经济效益, 仍存在超剂量或违规使用农药的现象[4–6], 从而引发农药残留超标及禁限用农药检出的风险[7–8]。四川省在我国蔬菜供应体系中具有重要地位, 是"南菜北运"及冬春蔬菜的重要基地。叶菜类蔬菜在当地种植面积大、消费量高, 但其生长期短且易受病虫害影响[9], 使得农药施用频率相对较高。因此, 叶菜农药残留超标、禁限用农药检出是四川省历年农药例行监测中的重点问题[10–11]。

食品中农药残留的风险评估综合考虑农药的暴露量、毒理学、膳食摄入量等多个因素, 能够客观评估农药的膳食风险边界, 该类评估方法在国际研究与监管领域应用较为成熟, 便于不同监测数据间的横向比较, 也为相关部门的监管决策提供依据[12–14]。目前的评估方法主要包括基于农药超标率、施检率等指标的危害物风险系数(hazard risk coefficient, *R*)[15]、基于农药的实际估算摄入量和安全摄入量等参数构建的食品安全指数(index of food safety, IFS)[16]和基于农药急性毒性参考剂量和食物短期摄入量的急性膳食摄入风险[以急性参考剂量(acute reference dose, ARfD)的百分比表示, 计作%ARfD][17–20]等。然而, 单一的评估方法存在一定局限性, 采用多种方法互补分析, 可对食品中农药残留的膳食暴露风险进行更全面的评估[21–23]。马新耀等[24]基于 IFS 和 *R* 综合评估了山西省韭菜中农药残留的膳食风险, 发现腐霉利等 6 种为高度风险农药, 但总体膳食风险可接受。郭延波等[25]发现 2020—2022 年宁波市售蔬菜中二硫代氨基甲酸酯类、氯氟氰菊酯等农药残留检出率较高且存在超标现象, IFS 和%ARfD 表明部分农药的残留风险在可接受范围内。目前四川省多侧重于农药残留检出水平的合规性监测[10–11], 虽能识别韭菜、芹菜中腐霉利、吡虫啉等高频超标药项, 但在量化膳食暴露风险及急性毒性评估方面仍存在不足, 缺乏从全省大样本地理跨度出发、针对多品种叶菜类蔬菜并结合多种评价模型进行风险评估的系统研究。

因此, 为全面监测四川省叶菜类蔬菜中的农药残留情况和膳食暴露风险, 本研究采集并分析了四川省 16 个地级市/自治州下属 52 个区县农贸市场的 5 种主要叶菜类蔬菜(芹菜、小白菜、大白菜、油麦菜和菠菜)的农药残留状况。基于监测数据, 采用 *R* 划分了每种检出农药在所有 5 种蔬菜中的总体风险程度; 应用 IFS 评估了每种检出农药的整体风险状态; 在此基础上, 采用%ARfD 评估了检出农药的急性膳食摄入风险, 完善了评估的时间维度。本研究的监测与评估结果为四川省开展农产品安全监管、制定针对性风险管理措施提供了必要的数据支撑, 也有助于改进高风险农药的使用规范, 提升本地蔬菜产业的质量安全水平。

1　材料与方法

1.1　样品来源

2024 年采集来自成都市(金牛区、双流区、天府新区、

新津区、简阳市、彭州市、大邑县), 德阳市(旌阳区、广汉市、绵竹市、中江县), 遂宁市(安居区、船山区), 广安市(邻水县), 绵阳市(涪城区、江油市、平武县、三台县), 乐山市(峨边彝族自治县、马边彝族自治县、井研县、沐川县), 眉山市(彭山区、青神县、仁寿县), 资阳市(雁江区、安岳县、乐至县), 泸州市(江阳区、叙永县), 内江市(市中区、威远县、资中县), 自贡市(荣县), 攀枝花市(东区、仁和区、西区、米易县), 南充市(高坪区), 凉山彝族自治州(西昌市、会理市、德昌县、甘洛县、会东县、金阳县、美姑县、冕宁县), 阿坝藏族羌族自治州(马尔康市、红原县、松潘县、汶川县), 甘孜藏族自治州(甘孜县)共 16 个地级市/自治州下属区县的蔬菜流通范围广的农贸市场的芹菜(177 份样品)、大白菜(143 份样品)、小白菜(136 份样品)、油麦菜(170 份样品)、菠菜(143 份样品)共 5 种四川省主要叶菜类蔬菜的 769 份样品。

1.2 试 剂

氟虫腈(质量浓度 100 μg/mL, 纯度>95%, 上海曼哈格生物科技有限公司); 甲胺磷等 59 种农药标准品(质量浓度 100 μg/mL, 纯度>95%, 天津阿尔塔科技有限公司); 乙腈、乙酸乙酯(色谱纯, 美国 Fisher Chemical 公司); 丙酮(色谱纯, 四川西陇化工有限公司); 正己烷(色谱纯, 美国 Morellk 公司); 氯化钠(分析纯, 广州光华科技股份有限公司); 柠檬酸盐提取盐试剂包(4 g 无水硫酸镁、1 g 氯化钠、0.5 g 柠檬酸氢二钠和 1 g 柠檬酸钠)、N-丙基乙二胺键合硅胶(primary secondary amine, PSA)净化管I (150 mg PSA 和 900 mg 无水硫酸镁)、PSA/石墨化碳黑(graphitizing of carbon black, GCB)净化管II (150 mg PSA、900 mg 无水硫酸镁和 45 mg GCB)(分析纯, 岛津技迩商贸有限公司)。

1.3 仪器与设备

7890B-7000D 气相色谱-质谱联用仪、HP-5 MS UI 色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)(美国 Agilent 公司); 5804R 冷冻离心机(德国 Eppendorf 公司); BC-1000 多管涡旋混匀仪(深圳逗点生物科技有限公司); XYN-100LMGC 氮气发生器(上海析友分析仪器有限公司); N1-50 氮吹浓缩仪(上海屹尧仪器科技发展有限公司); LT1002 电子天平(感量 0.01 g, 常熟天量仪器有限责任公司); PSA 固相萃取柱(北京迪马科技有限公司)。

1.4 实验方法

1.4.1 农药种类、检测及判定方法

根据《四川省食品安全监督抽检实施细则》(2024 版)以及《四川省食品安全评价性抽检实施细则》(2024 版), 对所采集的 769 份叶菜样品开展了氟虫腈等 60 种农药的定量检测, 其中包括杀虫剂 39 项、杀菌剂 12 项、杀螨剂 3 项、除草剂 2 项、植物生长调节剂 1 项、增效剂 1 项、杀虫/杀螨剂 1 项、杀线虫剂 1 项。为保证检测结果的灵敏度与准确性, 样品前处理、仪器分析、定量/定性判定与质量控制均严格按照相关标准执行。针对氟虫腈, 参考 SN/T 1982—2007《进出口食品中氟虫腈残留量检测方法 气相色谱-质谱法》, 采用气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)进行定量与确证(标准规定的离子监测/保留时间匹配及定量定性离子相对丰度判定规则)。除氟虫腈外, 其余农药参照 GB 23200.113—2018《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》, 采用气相色谱-串联质谱法(gas chromatography-tandem mass spectrometry, GC-MS/MS)多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式进行定量与确证, 并按标准规定的定量定性离子对、相对离子丰度允许偏差及保留时间偏差要求进行确认。氟虫腈检出限为 0.002 mg/kg, 其余农药定量限为 0.01 mg/kg。每批检测设置试剂空白、基质空白和基质加标质控样, 并开展加标回收验证(70%~120%), 用于保障定量结果的可靠性。农药的类别、名称和对应的检测标准方法如表 1 所示。

农药残留的超标按照 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》中叶菜类蔬菜的最大残留限量(maximum residue limit, MRL)进行判定, 该方法中未规定限量的农药不予判定。禁用农药依据中华人民共和国农业农村部发布的《禁限用农药名录》[26]有关规定进行评定。

1.4.2 仪器方法条件

GC-MS: 色谱条件如下: 使用 HP-5 MS UI 色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm); 程序升温方式: 起始温度为 60 ℃保持 2 min, 以 20 ℃/min 升至 300 ℃保持 1 min; 载气为氦气, 流速 1.0 mL/min; 进样口温度设为 250 ℃; 进样量: 1 μL, 采用不分流进样模式; 质谱条件: 负化学电离、离子源温度 150 ℃、四极杆温度 150 ℃; 选择离子监测方式(selective ion monitoring, SIM)。

GC-MS/MS: 色谱条件如下: 使用 HP-5 MS UI 色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm); 程序升温方式: 起始温度为 60 ℃保持 1 min, 以 40 ℃/min 升至 170 ℃, 随后以 10 ℃/min 升至 310 ℃保持 5 min; 载气为氦气, 流速 1.0 mL/min; 进样口温度设为 280 ℃; 进样量 1 μL, 采用不分流进样模式。质谱条件包括电子轰击电离源(70 eV)、离子源温度 280 ℃、传输线温度 280 ℃; MRM 模式。

1.4.3 膳食风险评估

(1)危害物风险系数法

R 综合考虑样品中农药残留的超标率、施检频率和农药本身的敏感性, 因此能够直观、系统地反映特定时期内农药残留的风险水平[27]。本研究参照赵杰斌等[28], 采用 *R* 评估四川省主要叶菜类蔬菜中农药残留的膳食暴露风险, 风险系数判定标准为: *R*<1.5, 表明该农药风险水平较低;

表 1　农药类别、名称和检测方法

Table 1　Pesticide categories, names and detection methods

农药类别	农药名称	检测方法
杀虫剂	氟虫腈	SN/T 1982—2007《进出口食品中氟虫腈残留量检测方法 气相色谱-质谱法》
杀虫剂	甲胺磷、敌敌畏、乙酰甲胺磷、异丙威、氧乐果、久效磷、治螟磷、甲拌磷(甲拌磷砜和甲拌磷亚砜)、六六六、乐果、克百威、二嗪磷、氯唑磷、抗蚜威、甲基毒死蜱、甲基对硫磷、杀螟硫磷、马拉硫磷、倍硫磷(倍硫磷砜和倍硫磷亚砜)、毒死蜱、对硫磷、艾氏剂、水胺硫磷、甲基异柳磷、硫环磷、杀扑磷、滴滴涕、丙溴磷、狄氏剂、三唑磷、甲氰菊酯、氯氟氰菊酯和高效氯氟氰菊酯、氯菊酯、氟氯氰菊酯和高效氟氯氰菊酯、氯氰菊酯和高效氯氰菊酯、氟氰戊菊酯、氰戊菊酯和 S-氰戊菊酯、溴氰菊酯	GB 23200.113—2018《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》
杀菌剂	嘧霉胺、甲霜灵和精甲霜灵、三唑酮、腐霉利、己唑醇、腈菌唑、肟菌酯、戊唑醇、腈苯唑、三唑醇、丙环唑、苯醚甲环唑	
杀螨剂	三氯杀螨醇、乙螨唑、哒螨灵	
除草剂	莠去津、二甲戊灵	
植物生长调节剂	多效唑	
增效剂	增效醚	
杀螨剂	联苯菊酯	
杀线虫剂	灭线磷	

1.5≤R≤2.5 为中度风险; R>2.5 则视为高风险。计算公式(1)如下。

$$R=S+a\times P+b/F \tag{1}$$

式中: R 为该农药残留的风险系数; S 为该农药残留的敏感因子(反映该农药在国内外食品安全领域的关注程度), 可根据实际情况调整, 本研究为常规施检, 且取 S=1; a 和 b 为相应的权重系数, 分别取 a=100, b=0.1; P 为该农药残留的超标率; F 为施检频率, 由于所有样品均检测了全部目标农药, 取 F=1。

(2)食品安全指数法

IFS 以量化方式综合呈现食品安全水平, 通过对监测结果的统计分析来评价不同农药在食品中的总体风险[29], 不同农药的 IFS 具有可加和性, 可用于评估其在食品中的总体风险, 是当前膳食暴露评估中应用较广、认可度较高的方法之一。本研究采用 IFS 评估四川省叶菜类蔬菜中的农药残留对食品安全性的影响。结合芹菜、大白菜、小白菜、油麦菜和菠菜样品中农药残留的实测值, 按照公式(2)和(3)计算 IFS 值。

$$\mathrm{EDI}_C=R_C\times F\times E\times P \tag{2}$$

式中: EDI_C 为农药 C 的实际日均摄入量估算值(estimated daily intake), mg/(kg • bw/d); R_C 为农药 C 的残留平均值, mg/kg; F 为蔬菜平均估计摄入量, kg/d, 按 0.2719 kg/d 计; E 为蔬菜的可食用部分因子, 以 1.0 计算; P 为蔬菜的加工处理因子, 以 1.0 计算。

$$\mathrm{IFS}_C=\frac{\mathrm{EDI}_C\times f}{\mathrm{SI}_C\times \mathrm{bw}}\times 100 \tag{3}$$

式中: IFS_C 为农药 C 的食品安全指数; f 为农药安全摄入校正因子, 以 1.0 计算; SI_C 为农药 C 的安全摄入量(safe intake), mg/kg, 以每日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI)表示, 数据来源于 GB 2763—2021; bw 为人群平均体重(body weight), 按 60 kg 计。

当 IFS<<1 时, 表明农药 C 对叶类蔬菜安全没有影响, 以 IFS≤0.01 计; 当 IFS≤1 时, 认为农药 C 对叶类蔬菜安全的风险处于可接受状态; IFS>1 时, 认为农药 C 对叶类蔬菜安全的风险处于不可接受状态, 需要采取相应的风险管理措施加以管制。

(3)急性膳食摄入风险

%ARfD 评估[30–31]首先依据公式(4)计算各农药的估计短期摄入量(international estimated short-term intake, IESTI), 然后采用公式(5)计算各农药的%ARfD 值, 一般来说, %ARfD 越小, 风险越小。当%ARfD≤100%时, 表示风险可以接受; 反之, 当%ARfD>100%时, 表示风险不可接受。计算如公式(4)~(5)所示。

$$\mathrm{IESTI}=\frac{\mathrm{LP}\times \mathrm{HR}}{\mathrm{bw}} \tag{4}$$

$$\%\mathrm{ARfD}=\frac{\mathrm{IESTI}}{\mathrm{ARfD}}\times 100\% \tag{5}$$

式中: IESTI 为国际估计短期摄入量, kg; HR 为最高残留量(highest residue), mg/kg, 取 99.9 百分位点值; LP 为消费大份餐(large portion, LP), 参考世界卫生组织(World Health Organization, WHO)统计数据[24], 为大部分中国膳食人群(涵盖 97.5%消费者)在芹菜(0.3059 kg)、大白菜(0.6684 kg)、小白菜(0.6016 kg)、油麦菜(0.4519 kg)、菠菜(0.3321 kg)的平均值, 按 0.4720 kg 计; ARfD 为农药的急性

参考剂量，mg/kg，参照国际食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission, CAC)数据报告。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2021 软件处理数据，Origin Pro 2021 作图。按照 GB 23200.113—2018 和 GB/T 27404—2008《实验室质量控制规范 食品理化检测》的规定，每份样品在重复性条件下对同一样品进行 2 次独立测定，结果以 2 次测定值的算术平均值表示，当检出农药残留超过控制限量时进行复测。

2 结果与分析

2.1 四川省主要叶菜类蔬菜中的农药残留情况

在采集的 769 份叶菜类蔬菜样品中，共有 538 份检出农药残留，检出率为 69.96%，其中 45 份样品的残留量超标，超标率为 5.85%，整体合格率为 94.15%。检出农药共 33 种，具体结果见表 2，乙酰甲胺磷、氧乐果和敌敌畏的检出率最低，均为 0.13%。丙环唑、苯醚甲环唑、氯氰菊酯、戊唑醇、氯氟氰菊酯和腐霉利等低毒或中毒农药的检出率均高于 10%，其中丙环唑的检出率高达 36.93%。说明部分

表 2 四川省主要叶菜类蔬菜中的农药残留总体情况

Table 2 Overall situation of pesticide residues in main leafy vegetables of Sichuan Province

序号	农药名称	农药类别	毒性	检出样品数	样品检出率/%	超标样品数	样品超标率/%
1	丙环唑	杀菌剂	低毒	284	36.93	—	—
2	苯醚甲环唑	杀菌剂	低毒	260	33.81	3	0.39
3	氯氰菊酯	杀虫剂	中等毒	192	24.97	6	0.78
4	戊唑醇	杀菌剂	低毒	175	22.76	—	—
5	氯氟氰菊酯	杀虫剂	中等毒	135	17.56	3	0.39
6	腐霉利	杀菌剂	低毒	128	16.64	—	—
7	甲霜灵	杀菌剂	低毒	64	8.32	—	—
8	哒螨灵	杀螨剂	低毒	60	7.80	—	—
9	联苯菊酯	杀虫/杀螨剂	中等毒	55	7.15	—	—
10	嘧霉胺	杀菌剂	低毒	52	6.76	—	—
11	毒死蜱*	杀虫剂	中等毒	42	5.46	24	3.12
12	溴氰菊酯	杀虫剂	中等毒	17	2.21	—	—
13	甲氰菊酯	杀虫剂	中等毒	12	1.56	—	—
14	三唑酮	杀菌剂	低毒	11	1.43	—	—
15	三唑醇	杀菌剂	低毒	10	1.30	—	—
16	氯菊酯	杀虫剂	低毒	9	1.17	1	0.13
17	已唑醇	杀菌剂	低毒	7	0.91	—	—
18	氟氯氰菊酯	杀虫剂	低毒	7	0.91	—	—
19	丙溴磷	杀虫剂	中等毒	6	0.78	—	—
20	乙螨唑	杀螨剂	低毒	5	0.65	—	—
21	肟菌酯	杀菌剂	低毒	4	0.52	—	—
22	腈苯唑	杀菌剂	低毒	4	0.52	—	—
23	甲拌磷*	杀虫剂	高毒	3	0.39	3	0.39
24	腈菌唑	杀菌剂	低毒	3	0.39	1	0.13
25	甲胺磷*	杀虫剂	高毒	2	0.26	1	0.13
26	马拉硫磷	杀虫剂	低毒	2	0.26	—	—
27	水胺硫磷*	杀虫剂	高毒	2	0.26	2	0.26
28	二甲戊灵	除草剂	低毒	2	0.26	—	—
29	氟虫腈*	杀虫剂	中等毒	2	0.26	2	0.26
30	氰戊菊酯	杀虫剂	中等毒	2	0.26	—	—
31	敌敌畏	杀虫剂	中等毒	1	0.13	1	0.13
32	乙酰甲胺磷*	杀虫剂	低毒	1	0.13	1	0.13
33	氧乐果*	杀虫剂	高毒	1	0.13	1	0.13

注: *为我国在蔬菜中禁止使用的农药; —表示无超标样品。

种植户可能未严格遵循农药使用浓度、剂量及安全间隔期等相关规范, 亟需加强对此类农药的使用指导与安全科普。从农药种类来看, 有 13 种农药的残留量超标, 包括 11 种杀虫剂和 2 种杀菌剂。其中有 7 种属于《禁限用农药名录》中明确禁止使用或在蔬菜上禁用的品种[26], 分别为毒死蜱、甲拌磷、甲胺磷、水胺硫磷、氟虫腈、乙酰甲胺磷和氧乐果, 其中毒死蜱超标率最高, 达 3.12%。相关部门应加强对禁限用农药违法违规使用的监管力度和法规条例宣贯。

从具体蔬菜品种来看, 芹菜、小白菜、油麦菜、大白菜和菠菜样品的农药检出情况如表 3 所示, 检出种类的顺序为芹菜(28 种)>小白菜(22 种)>油麦菜(18 种)>大白菜(16 种)>菠菜(15 种)。芹菜中检出的农药种类最多, 其中丙环唑和苯醚甲环唑检出率较高, 分别为 52.54%和 61.02%。根据已登记的农药信息[32], 丙环唑和苯醚甲环唑主要用于防

表 3　四川省主要叶菜类蔬菜中的农药残留检测结果

Table 3　Detection results of pesticide residues in main leafy vegetables of Sichuan Province

序号	农药名称	芹菜			大白菜			小白菜			油麦菜			菠菜		
		检出率/%	超标率/%	MRLs/(mg/kg)	检出率/%	超标率/%	MRLs/(mg/kg)	检出率/%	超标率/%	MRLs/(mg/kg)	检出率/%	超标率/%	MRLs/(mg/kg)	检出率/%	超标率/%	MRLs/(mg/kg)
1	丙环唑	52.54	—	20.00	0.70	—	—	3.68	—	—	85.88	—	—	27.27	—	—
2	苯醚甲环唑	61.02	1.69	3.00	2.10	—	1.00	29.41	—	—	55.88	—	10.00	9.79	—	10.00
3	氯氰菊酯	28.25	2.82	1.00	2.10	—	2.00	13.97	—	0.70	52.35	—	7.00	21.68	0.70	2.00
4	戊唑醇	36.72	—	15.00	8.39	—	7.00	4.41	—	—	54.12	—	—	—	—	—
5	氯氟氰菊酯	25.29	1.69	0.50	6.99	—	1.00	8.82	—	—	25.29	—	2.00	16.78	—	2.00
6	腐霉利	21.47	—	—	4.20	—	—	11.76	—	—	25.88	—	15.00	16.78	—	10.00
7	甲霜灵	8.47	—	—	2.10	—	—	2.21	—	—	24.12	—	—	1.40	—	2.00
8	哒螨灵	1.69	—	—	1.40	—	2.00	34.56	—	—	1.18	—	—	4.20	—	—
9	联苯菊酯	6.21	—	—	0.70	—	—	8.09	—	—	12.35	—	—	7.69	—	—
10	嘧霉胺	10.73	—	—	—	—	—	2.21	—	—	7.65	—	20.00	11.89	—	—
11	毒死蜱	11.86	5.65	—	0.70	—	—	2.94	1.47	—	0.59	0.59	—	10.49	7.69	—
12	溴氰菊酯	—	—	2.00	—	—	0.50	1.47	—	—	8.24	—	2.00	0.70	—	0.50
13	甲氰菊酯	1.13	—	1.00	—	—	1.00	1.47	—	—	3.53	—	—	1.40	—	1.00
14	三唑酮	3.95	—	—	0.70	—	—	1.47	—	—	—	—	—	0.70	—	—
15	三唑醇	2.26	—	—	2.10	—	—	0.74	—	—	—	—	—	1.40	—	—
16	氯菊酯	0.56	—	2.00	—	—	5.00	—	—	1.00	4.71	0.59	1.00	—	—	2.00
17	已唑醇	1.13	—	—	—	—	—	—	—	—	2.94	—	—	—	—	—
18	氟氯氰菊酯	2.26	—	0.50	0.70	—	0.50	1.47	—	—	—	—	10.00	—	—	0.50
19	丙溴磷	2.82	—	—	—	—	—	0.74	—	—	—	—	—	—	—	—
20	乙螨唑	1.69	—	—	0.70	—	—	0.74	—	—	—	—	—	—	—	—
21	肟菌酯	2.26	—	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22	腈苯唑	0.56	—	—	—	—	—	—	—	—	1.76	—	—	—	—	—
23	甲拌磷	1.13	1.13	0.01	—	—	0.01	—	—	0.01	—	—	0.01	0.70	0.70	0.01
24	腈菌唑	1.13	0.56	0.05	0.70	—	0.05	—	—	0.05	—	—	0.05	—	—	0.05
25	甲胺磷	1.13	0.56	0.05	—	—	0.05	—	—	0.05	—	—	0.05	—	—	0.05
26	马拉硫磷	0.56	—	1.00	—	—	8.00	—	—	—	0.59	—	—	—	—	2.00
27	水胺硫磷	—	—	0.05	0.70	0.70	0.05	0.74	0.74	0.05	—	—	0.05	—	—	0.05
28	二甲戊灵	1.13	—	—	—	—	0.20	—	—	—	—	—	—	—	—	0.20
29	氟虫腈	—	—	0.02	—	—	0.02	0.74	0.74	0.02	0.59	0.59	0.02	—	—	0.02
30	氰戊菊酯	—	—	—	—	—	—	1.47	—	—	—	—	—	—	—	—
31	敌敌畏	—	—	0.20	—	—	0.50	0.74	0.74	0.20	—	—	0.20	—	—	0.50
32	乙酰甲胺磷	0.56	0.56	0.02	—	—	0.02	—	—	0.02	—	—	0.02	—	—	0.02
33	氧乐果	0.56	0.56	0.02	—	—	0.02	—	—	0.02	—	—	0.02	—	—	0.02

注: —表示该农药未检出/未超标/未规定 MRLs。

治芹菜叶斑病。小白菜中哒螨灵和苯醚甲环唑检出率较高，分别为 34.56%和 29.41%。油麦菜中丙环唑和苯醚甲环唑的检出率最高，分别为 85.88%和 55.88%。尽管丙环唑和苯醚甲环唑防治叶斑病效果较好，但在油麦菜中未登记使用，我国也尚未制定丙环唑在油麦菜中的限量标准，可见农药超范围使用问题仍然存在，相关部门应尽快开展登记试验，完善相应限量标准。大白菜中戊唑醇和氯氟氰菊酯检出率较高，分别为 8.39%和 6.99%。菠菜中丙环唑和氯氰菊酯检出率较高，分别为 27.27%和 21.68%。与四川省 2021—2023 年的农药抽检情况相比[11]，毒死蜱、苯醚甲环唑在芹菜中的超标率分别由 0.94%、0.47%上升至 5.65%、1.69%，相关部门应加强对叶菜类蔬菜中高检出率和超标率农药的抽检力度和安全使用指导。

2.2 危害物风险系数分析

四川省主要叶菜类蔬菜中共有 13 种农药被评估为“中高风险”(表 4)。在芹菜中，苯醚甲环唑(2.79)、氯氰菊酯(3.92)、氯氟氰菊酯(2.79)和毒死蜱(6.75)的 *R* 均大于 2.50，为高风险；而甲拌磷、腈菌唑、甲胺磷、乙酰甲胺磷和氧乐果呈中风险(*R*=1.66~2.23)，其余农药均为低风险。在大白菜中，仅水胺硫磷为中风险(*R*=1.80)，其余均为低风险；在小白菜中，毒死蜱为高风险(*R*=2.57)，水胺硫磷、氟虫腈和敌敌畏为中风险(*R*=1.84)，其余均为低风险。在油麦菜中，除了毒死蜱、氯菊酯和氟虫腈为中风险外(*R*=1.69)，其余均为低风险；在菠菜样品中，毒死蜱为高风险(*R*=8.79)，氯氰菊酯和甲拌磷为中风险(*R*=1.80)，其余均为低风险。毒死蜱作为我国在蔬菜中的禁用农药，在芹菜、小白菜和菠菜样品中均有所检出且膳食风险较高，应加强以上叶菜类蔬菜中毒死蜱的抽检力度和监管指导，并开展其他中高风险农药的例行监测工作。

2.3 食品安全指数分析

四川省主要叶菜类蔬菜样品中残留农药的 IFS 如图 1 所示，在检出的 33 种农药中，有 14 种农药的安全风险不可接受(IFS=1.02~6.90)，分别为丙环唑、苯醚甲环唑、戊唑醇、氯氟氰菊酯、哒螨灵、联苯菊酯、毒死蜱、己唑醇、甲拌磷、甲胺磷、水胺硫磷、氟虫腈、敌敌畏和氧乐果，其余 19 种农药为可接受状态。丙环唑和苯醚甲环唑由于其在叶菜类蔬菜样品中的农药残留量高，处于不可接受状态。此外，甲拌磷和氟虫腈属于蔬菜上禁止使用的农药，即便在样品中的残留检出量较低，但其毒性强、ADI 值低，仍导致二者的 IFS 分别高达 6.90 和 5.21，安全风险较为突出。

2.4 急性膳食摄入风险分析

四川省主要叶菜类蔬菜中残留农药的%ARfD 结果见表 5。本次共检出 33 种农药，其中 17 种缺乏 ARfD 数据，因此仅对其余 16 种(如丙环唑等)开展急性膳食暴露风险评估。结果表明，这 16 种农药的%ARfD 均低于 100%，总体暴露水平处于可接受范围。相较其他农药，氯氟氰菊酯(32.230%)、氯氰菊酯(21.330%)和丙环唑(10.020%)的%ARfD 相对较高，应加以关注。

表 4 四川省主要叶菜类蔬菜中“中高风险农药”的 *R*

Table 4 *R* of “medium and high risk pesticides” in main leafy vegetables of Sichuan Province

序号	农药名称	芹菜	大白菜	小白菜	油麦菜	菠菜
1	苯醚甲环唑	2.79	—	—	—	—
2	氯氰菊酯	3.92	—	—	—	1.80
3	氯氟氰菊酯	2.79	—	—	—	—
4	毒死蜱	6.75	—	2.57	1.69	8.79
5	氯菊酯	—	—	—	1.69	—
6	甲拌磷	2.23	—	—	—	1.80
7	腈菌唑	1.66	—	—	—	—
8	甲胺磷	1.66	—	—	—	—
9	水胺硫磷	—	1.80	1.84	—	—
11	氟虫腈	—	—	1.84	1.69	—
11	敌敌畏	—	—	1.84	—	—
12	乙酰甲胺磷	1.66	—	—	—	—
13	氧乐果	1.66	—	—	—	—

注：—为低风险(*R*<1.5)。

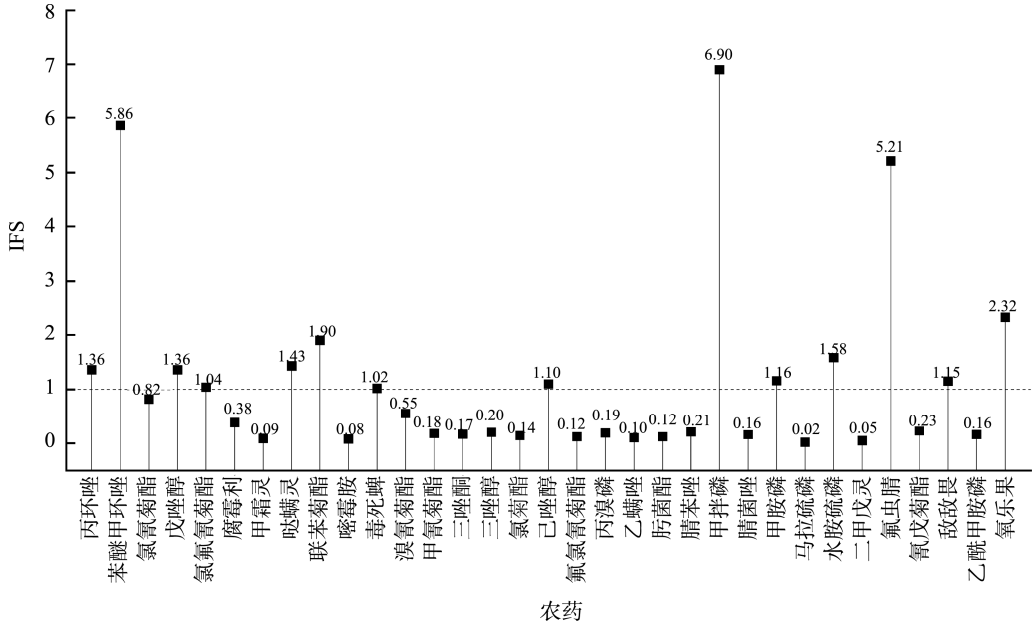


图 1　四川省主要叶菜类蔬菜中农药残留的 IFS

Fig.1　IFS of pesticide residues in main leafy vegetables in Sichuan Province

表 5　四川省主要叶菜类蔬菜中农药残留的%ARfD

Table 5　%ARfD of pesticide residues in main leafy vegetables in Sichuan Province

序号	农药名称	最高残留量/(mg/kg)	估计短期摄入量/kg	急性参考剂量/(mg/kg)	%ARfD
1	丙环唑	3.821	0.03005	0.300	10.020
2	苯醚甲环唑	2.127	0.01673	0.300	5.580
3	氯氰菊酯	1.084	0.00853	0.040	21.330
4	氯氟氰菊酯	0.819	0.00645	0.020	32.230
5	毒死蜱	0.390	0.00307	0.100	3.070
6	溴氰菊酯	0.081	0.00064	0.050	1.270
7	三唑酮	0.035	0.00027	0.080	0.340
8	三唑醇	0.035	0.00027	0.080	0.340
9	氟氯氰菊酯	0.011	0.00009	0.040	0.220
10	丙溴磷	0.010	0.00008	1.000	0.010
11	甲拌磷	0.010	0.00008	0.003	2.620
12	甲胺磷	0.010	0.00008	0.010	0.790
13	马拉硫磷	0.010	0.00008	2.000	0.004
14	氟虫腈	0.002	0.00002	0.003	0.520
15	乙酰甲胺磷	0.010	0.00008	0.100	0.080
16	氧乐果	0.010	0.00008	0.020	0.390

3　结　论

本研究监测了四川省芹菜、大白菜、小白菜、油麦菜和菠菜等 5 类主要叶菜类蔬菜中的农药残留情况, 检出率为 69.96%, 超标率为 5.85%, 整体合格率为 94.15%。基于监测数据, 采用 *R*、IFS 和%ARfD 3 种方法, 从不同维度综合评估了叶菜类蔬菜中农药残留的膳食暴露风险。一方面, 通过 *R* 识别出芹菜、小白菜和菠菜中毒死蜱的风险系数较高(6.75、2.57、8.79), 表明毒死蜱存在明显的超限/不合规风险; 同时 IFS 也将毒死蜱列为长期膳食风险不可接受的农药之一, 表明其不仅在超标判定上突出, 也可能在长期暴露贡献上占较大权重, 应对其优先管控。此外, IFS 不可接受的 14 种农药中, 部分农药(如氯氟氰菊酯、甲胺磷、水胺硫磷等)亦在 R 中存在中高风险或残留检出, 说明“残留检出频次较高”与“毒性参数(ADI)较低”叠加是造成综合风险上升的关键机制; 尤其对禁限用农药(如甲拌磷、氟虫

腈等), 即便残留量不高, 仍可因 ADI 较低导致 IFS 显著升高, 应作为监管重点。另一方面, %ARfD 显示 16 种农药的急性膳食摄入风险总体可接受(均小于 100%), 但其中氯氰菊酯、氯氟氰菊酯等在 *R*/IFS 中已被提示需关注, 说明当前仍应优先持续监测农药长期累积暴露与违规使用的潜在风险。

总体而言, 四川省叶菜类蔬菜仍存在偶发的超标、超范围施药以及禁限用农药违规使用等问题, 说明部分种植户对毒死蜱、甲拌磷、乙酰甲胺磷、甲胺磷和氟虫腈等禁限用农药的危害性和相关法规认识不足。建议对丙环唑等检出率上升的农药, 加强相关农药产品的登记管理和使用指导, 规范其在不同蔬菜品种上的安全限量和使用方法; 对于毒死蜱等禁限用农药, 应加大在农药销售和使用环节的监督检查力度, 切断违规农药的流通渠道; 同时, 完善农药追溯体系, 实现从农药生产到使用的全过程监管。此外, 提升蔬菜收购点与流通环节的抽检频次, 加快研发适用于毒死蜱等高风险农药在叶菜类蔬菜中的快速检测技术, 严控不合格农产品流通。长远来看, 应持续强化农业技术服务与科普培训, 提高种植户的风险意识, 严格执行农药例行监测制度, 提升农药残留检测技术水平, 扩大监测覆盖面, 为保障农产品质量安全和公众健康提供坚实支撑。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家卫生部营养与食品安全司, 中国营养学会. 中国居民膳食指南(2022)[M]. 北京: 北京人民卫生出版社, 2022.
National Health Commission of the People's Republic of China, Nutrition and Food Safety Department of the Ministry of Health of China, Chinese Nutrition Society. Chinese dietary guidelines for residents (2022) [M]. Beijing: Beijing People's Health Publishing House, 2022.

[2] 张丽丽, 周艳, 王培玉, 等. 中国居民平衡膳食宝塔(2022)评价[J]. 环境与职业医学, 2023, 40(9): 1074–1078.
ZHANG LL, ZHOU Y, WANG PY, *et al*. Evaluation of Chinese food guide pagoda (2022) [J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2023, 40(9): 1074–1078.

[3] 刘敏, 陈一苇, 车少辉, 等. 北京市昌平区本地蔬菜农药残留现状分析[J]. 北京农学院学报, 2024, 39(3): 47–51.
LIU M, CHEN YW, CHE SH, *et al*. Analysis of pesticide residues in local vegetables in Changping District, Beijing [J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 2024, 39(3): 47–51.

[4] TONG J, FENG D, WANG X, *et al*. Pesticide residue and dietary intake risk of vegetables grown in Shanghai under modern urban agriculture in 2018—2021 [J]. Heliyon, 2024, 10(5): e25505.

[5] 付朝伟. 山东省市售果蔬中25种有机磷农药残留状况分析及膳食暴露风险研究[D]. 保定: 河北大学, 2024.
FU CW. Analysis of 25 organophosphorus pesticide residues in fruits and vegetables sold in Shandong Province and a study on the risk of dietary exposure [D]. Baoding: Hebei University, 2024.

[6] WANG Y, LI L, ZHANG X, *et al*. Pesticide residues in greenhouse leafy vegetables in cold seasons and dietary exposure assessment for consumers in Liaoning Province, Northeast China [J]. Agronomy, 2024, 14(2): 322.

[7] SANDOVAL-INSAUSTI H, CHIU Y, LEE DH, *et al*. Intake of fruits and vegetables by pesticide residue status in relation to cancer risk [J]. Environment International, 2021, 156: 106744.

[8] KIM K, KABIR E, JAHAN SA. Exposure to pesticides and the associated human health effects [J]. Science of the Total Environment, 2017, 575: 525–535.

[9] MEFTAUL IM, VENKATESWARLU K, PARVEN A, *et al*. Human health risk assessment of pesticides in lettuce and spinach grown in urban backyard garden soils [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2023, 115: 104977.

[10] 邹勇. 2019年—2021年成都市新都区农产品质量安全监测结果分析及解决对策[J]. 上海农业科技, 2024(2): 48–49.
ZOU Y. Analysis of agricultural product quality and safety monitoring results in Xindu District, Chengdu (2019—2021) and solutions [J]. Shanghai Agricultural Science and Technology, 2024(2): 48–49.

[11] 田伟妮, 吴秋莹, 尹蓉, 等. 2021—2023年四川省食用农产品监督抽检情况分析[J]. 现代食品, 2024, 30(11): 211–215.
TIAN WN, WU QY, YIN R, *et al*. Analysis on supervision and sampling inspection of edible agricultural products in Sichuan Province from 2021 to 2023 [J]. Modern Food, 2024, 30(11): 211–215.

[12] DOAN NH, DUONG HT, TRINH HT, *et al*. Comprehensive study of insecticides in atmospheric particulate matter in Hanoi, Vietnam: Occurrences and human risk assessment [J]. Chemosphere, 2021, 262: 128028.

[13] 张倩倩. 南京仙林地区食物和大气中有机氯农药污染特征及人群暴露风险研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2018.
ZHANG QQ. Research on the characteristics of organochlorine pesticide contamination in food and atmosphere in Xianlin area, Nanjing, and the associated human exposure risks [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2018.

[14] LI C, ZHU H, LI C, *et al*. The present situation of pesticide residues in China and their removal and transformation during food processing [J]. Food Chemistry, 2021, 354: 129552.

[15] LIU Y, BEI K, ZHENG W, *et al*. Pesticide residues risk assessment and quality evaluation of four characteristic fruits in Zhejiang Province, China [J]. Frontiers in Environmental Science, 2023, 11: 1124094.

[16] IBRAHIM EA, SHALABY SEM. Monitoring and accumulative risk assessment of pesticide residues detected in the common vegetables grown in the Eastern Nile Delta, Egypt [J]. Food Chemistry Advances, 2023, 3: 100518.

[17] 汤晗, 吴园园, 成亚菲, 等. 浙江省芹菜中农药多残留水平及累积急性膳食摄入风险初评[J]. 农药学学报, 2021, 23(5): 947–955.
TANG H, WU YY, CHENG YF, *et al*. Pesticides residue levels and cumulative acute dietary intake risk assessment of celery in Zhejiang Province [J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2021, 23(5): 947–955.

[18] 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. Risk assessment of dietary intake of chlorpyrifos in vegetables in Yunnan Province from 2012 to 2019 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(15): 5209–5214.

[19] JANKOWSKA M, KACZYŃSKI P, HRYNKO I, *et al*. Dietary risk assessment of children and adults consuming fruit and vegetables with

multiple pesticide residues [J]. Chemosphere, 2024, 369: 143858.

[20] BEYUO J, SACKEY LNA, YEBOAH C, *et al*. The implications of pesticide residue in food crops on human health: A critical review [J]. Discover Agriculture, 2024, 2(1): 123.

[21] 彭浩, 王君. 重庆市市售蔬菜农药残留水平分析及其膳食风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(18): 69–76.
PENG H, WANG J. Analysis of pesticide residue levels and dietary risk assessment in vegetables sold in Chongqing [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(18): 69–76.

[22] EL-SHEIKH EA, RAMADAN MM, EL-SOBKI AE, *et al*. Pesticide residues in vegetables and fruits from farmer markets and associated dietary risks [J]. Molecules, 2022, 27(22): 8072.

[23] 陈春明, 邱文莹, 陈梅梅. 叶菜农药残留安全风险评估方法研究及应用进展[J]. 食品安全导刊, 2022(4): 25–28.
CHEN CM, QIU WY, CHEN MM. Research and application progress of safety risk assessment methods of pesticide residues in leafy vegetables [J]. Journal of Food Safety Guide, 2022(4): 25–28.

[24] 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.

[25] 郭延波, 张琰, 潘胜东. 2020—2022 年宁波市市售蔬菜中农药残留状况分析及膳食暴露评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2025, 37(3): 269–277.
GUO YB, ZHANG Y, PAN SD. Analysis on pesticide residues in vegetables and dietary exposure assessment, Ningbo City from 2020 to 2022 [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2025, 37(3): 269–277.

[26] 周欣欣, 孙晓维, 嵇莉莉, 等. 我国禁止和限制使用农药品种清单[J]. 农药科学与管理, 2025, 46(5): 1–5.
ZHOU XX, SUN XW, JI LL, *et al*. Prohibition and restriction of pesticide varieties in China [J]. Pesticide Science and Administration, 2025, 46(5): 1–5.

[27] 王小瑾, 陈德委, 付刚毅, 等. 基于食品安全指数法和危害物风险系数法评估苍南县农产品农药残留风险[J]. 现代食品科技, 2024, 40(7): 244–253.
WANG XJ, CHEN DW, FU GY, *et al*. Risk assessment of pesticide residues in agricultural products in Cangnan based on food safety index and hazard risk coefficient methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(7): 244–253.

[28] 赵杰斌, 邓浩, 徐振林. 基于食品安全指数法的台山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.

[29] 蓝小飞, 谢琳, 张丽娟, 等. 食品安全指数法评价嘉兴市售水产品污染物残留风险[J]. 湖北农业科学, 2023, 62(S1): 200–204.
LAN XF, XIE L, ZHANG LJ, *et al*. Risk evaluation of contaminant residues in aquatic products sold of Jiaxing City by food safety index method [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2023, 62(S1): 200–204.

[30] 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): 223–227.
SUN L, HUANG JX, DENG YC, *et al*. Risk assessment of dietary exposure to pesticide residues in staple leaf vegetables in Guangdong Province [J]. Food Science, 2017, 38(17): 223–227.

[31] 蒋成, 林树花, 何双, 等. 市售荔枝农药残留风险评估[J]. 中国食品学报, 2023, 23(12): 209–218.
JIANG C, LIN SH, HE S, *et al*. Risk assessment of pesticide residues in litchi on the market [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(12): 209–218.

[32] 中国农药信息网. 农药登记数据[EB/OL]. (2025-06-18) [2025-07-07]. http://www.chinapesticide.org.cn/zwb/dataCenter
China Pesticide Information Network. Pesticide registration data [EB/OL]. (2025-06-18) [2025-07-07]. http://www.chinapesticide.org.cn/zwb/data Center

(责任编辑: 安香玉　韩晓红)