DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251111001
引用格式: 孙明博, 赵继民, 张晓丽, 等. 2023—2024 年佳木斯市蔬菜中农药残留风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(8): 251–258.
SUN MB, ZHAO JM, ZHANG XL, *et al*. Risk assessment of pesticide residues in vegetables in Jiamusi City from 2023 to 2024 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(8): 251–258. (in Chinese with English abstract).

2023—2024 年佳木斯市蔬菜中农药残留风险评估

孙明博, 赵继民, 张晓丽*, 缪明霞, 王艳旭, 彭 渤, 王晨光

(佳木斯市疾病预防控制中心, 佳木斯 154002)

摘 要: 目的 评估 2023—2024 年佳木斯市蔬菜中农药残留水平及其膳食摄入风险。**方法** 运用气相色谱-质谱法和高效液相色谱-质谱法, 对农贸市场和超市采集的 90 份蔬菜样品中 38 种农药残留进行定量检测。并对检出农药进行慢性和急性膳食摄入风险评估。**结果** 蔬菜农药残留检出率为 63.33%, 氯氟氰菊酯、腐霉利、多菌灵、三唑磷等为主要检出农药。不同品类间, 叶菜类为蔬菜高风险品类。慢性和急性膳食摄入风险评估表明, 各类农药的每日允许摄入量百分比(acceptable daily intake%, ADI%)、急性参考剂量百分比(acute reference dose%, ARfD%)及食品安全指数(index of food safety, IFS)均低于安全阈值, 整体风险可控。**结论** 研究证实佳木斯市蔬菜存在一定农药残留, 虽膳食摄入风险总体可接受, 但需强化高风险农药监管, 优化监测体系并推进差异化管理。

关键词: 蔬菜; 农药残留; 风险评估

Risk assessment of pesticide residues in vegetables in Jiamusi City from 2023 to 2024

SUN Ming-Bo, ZHAO Ji-Min, ZHANG Xiao-Li*, MIAO Ming-Xia, WANG Yan-Xu, PENG Bo, WANG Chen-Guang

(*Jiamusi Center for Disease Control and Prevention*, *Jiamusi* 154002, *China*)

ABSTRACT: Objective To assess the levels of pesticide residues in vegetables in Jiamusi City from 2023 to 2024 and their dietary intake risks. **Methods** Quantitative detection of 38 kinds of pesticide residues in 90 vegetable samples collected from farmers' markets and supermarkets was conducted by gas chromatography-mass spectrometry and high performance liquid chromatography-mass spectrometry. Chronic and acute dietary intake risk assessments were conducted for detected pesticides. **Results** The detection rate of pesticide residues in vegetables was 63.33%. Cyfluthrin, propafenil, carbendazim and triadimefon were the main detected pesticides. Among different categories, leafy vegetables were high-risk types of vegetables. Chronic and acute dietary intake risk assessment indicated that the acceptable daily intake% (ADI%), acute reference dose% (ARfD%) and index of food safety (IFS) of various pesticides were all below the safety threshold and the overall risk was controllable. **Conclusion** The study confirms

收稿日期: 2025-11-11
第一作者: 孙明博(1982—), 男, 主要研究方向为理化检验。E-mail: mxysmb@163.com
***通信作者:** 张晓丽(1973—), 女, 硕士, 主要研究方向为理化检验。E-mail: cdclhjyk@126.com

that there are certain pesticide residues in vegetables in Jiamusi City. Although the overall dietary intake risk is acceptable, it is necessary to strengthen the supervision of high-risk pesticides, optimize the monitoring system and promote differentiated management.

KEY WORDS: vegetables; pesticide residues; risk assessment

0 引 言

近年来, 农药的广泛使用在保障农作物产量、减少病虫害损失方面发挥了重要作用[1−4]。但农药不合理使用和过度残留问题已成为威胁食品安全与公众健康的重要隐患[5−7]。据世界卫生组织(World Health Organization, WHO)和联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)的调查数据显示, 全球每年约有200万人因农药暴露引发急性中毒[8−9], 长期低剂量摄入还可能引发神经毒性、内分泌干扰及致癌风险。蔬菜作为日常饮食的重要组成部分, 其农药残留问题直接关系到消费者的身体健康[10], 因此, 开展相关风险评估具有重要的现实意义。

在我国, 随着居民生活水平的提高, 蔬菜农药残留问题备受社会关注[11−12]。政府高度重视食品安全问题, 2021年出台了 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》等法规标准以强化监管, 但受农业生产规模大、种植户安全用药意识参差不齐等因素, 部分地区蔬菜农药残留超标现象仍时有发生。

佳木斯市作为我国重要的农业生产基地, 其蔬菜的产量和质量不仅影响当地居民的饮食安全, 也对周边地区的农产品供应具有重要意义。然而, 目前针对佳木斯市蔬菜农药残留的系统性风险评估研究相对缺乏, 难以全面掌握当地农产品的质量安全状况。已有研究表明, 不同地区因气候条件、种植结构和农药使用习惯的差异, 蔬菜农药残留水平存在差异。因此, 开展佳木斯市蔬菜农药残留风险评估, 明确当地农药残留现状及其对居民膳食摄入的风险, 对提升农产品质量安全监管水平、保障公众健康具有重要的科学价值和实践意义。

本研究以 2023—2024 年佳木斯市农贸市场和超市销售的蔬菜为研究对象, 通过气相色谱-质谱仪[13]和高效液相色谱-质谱仪[14]对 57 种农药残留进行定量检测, 由于每年检测的项目不完全一致, 以两年都检测的项目并且在 GB 2763—2021 中有最大残留量的农药为标准, 取其中 38 种农药进行研究分析, 并运用食品安全指数(index of food safety, IFS)法、慢性和急性膳食摄入风险评估法[15−17], 系统评估当地蔬菜农药残留水平及其对居民健康的潜在风险, 以期为政府部门制定科学的监管政策、优化农药使用管理提供数据支持和理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

按照《国家食品污染和有害因素风险监测工作手册》对样品采集的要求, 采样覆盖全部区县, 蔬菜品种包括韭菜、葱(大葱、细香葱)、青花菜、菜心、叶用莴苣、茼蒿、香菜、油麦菜、结球甘蓝、樱桃番茄、茄子、辣椒、甜椒、黄瓜、苦瓜、豇豆、菜豆、荷兰豆、姜、山药, 每份样品采集一式三份, 每份样品至少 1000 g, 采样单位自留 1 份, 送至检测单位 2 份, 农贸市场和超市比例 1:1。项目组于2023—2024 年在农贸市场和超市共采集蔬菜 90 份。

1.2 仪器与试剂

8890-7000D 三重四极杆气质联用仪、色谱柱 HP-5MS UI (30 m×0.25 mm, 0.25 μm)(美国安捷伦公司); TQ-SIK20BS110G 高效液相色谱-串联质谱仪、色谱柱 C_{18} (2.1 mm× 50 mm, 1.7 μm)(美国沃特世公司)。

乙腈(色谱纯, 美国赛默飞世尔科技有限公司); 甲醇(色谱纯, 德国默克股份有限公司); 乙酸(色谱纯, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司)。

1.3 检测方法及判定依据

参照《国家食品污染物和有害因素风险监测工作手册》、GB 2763—2021、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》进行测定。

1.4 风险评估方法

1.4.1 食品安全指数

IFS 通过整合蔬菜中农药实际摄入剂量与人群饮食暴露水平, 构建科学评估模型, 精准量化农药残留对消费者健康的潜在风险[18]。具体而言, 该指数以数学模型为依托, 将农药在蔬菜中的残留情况与不同人群的饮食结构、消费量等因素相结合, 通过特定的计算公式, 直观呈现某种农药残留对公众健康可能造成的危害程度, 为食品安全风险评估提供量化依据。IFS 的计算如公式(1)~(3)。

$$EDI_c=R_i\times F_i\times E_i\times P_i \tag{1}$$

$$IFS_c=\frac{EDI_c}{ADI}\times f \tag{2}$$

$$IFS_i=\frac{\sum_i^n IFS_c}{n} \tag{3}$$

式中: EDI_c 为人体每日长期摄入农药的平均暴露水平(estimated daily intake), mg/kg; R_i 为农药残留水平(取平均值), mg/kg; F_i 为蔬菜日均估计摄入量, 蔬菜以 0.266 kg/d 计; E_i 为蔬菜的可食部因子, 取值 1.0; P_i 为蔬菜的加工因子, 取值 1.0。IFS_c 为食品安全指数; ADI 为每天允许摄入量(acceptable daily intake), mg/kg; ADI 依据 GB 2763—2021 标准; f 为安全摄入量的校正因子, 取值 1.0; IFS_i 为蔬菜 IFS 的平均值; n 为蔬菜中检出农药种类。

当 IFS_c 或 $IFS_i \leqslant 1$ 时, 表明食品安全风险处于可接受范围; 若数值大于 1, 则意味着存在超出可接受水平的风险, 需启动风险管理措施。

1.4.2　慢性膳食摄入风险评估

在评估蔬菜中农药残留的慢性摄入风险时, 通常采用每日允许摄入量百分比(acceptable daily intake%, ADI%)作为评价指标, 具体依据公式(4)~(5)进行计算。当 ADI%数值小于或等于 100%时, 说明人体通过日常膳食长期摄入农药残留的风险处于可接受状态, 且该数值越低, 意味着慢性风险越小; 反之, 若 ADI%超过 100%, 则表明这种慢性膳食暴露风险已超出安全范围, 数值越高, 所带来的慢性风险也越大。

$$\mathrm{Exp}=\frac{R_i \times F_i}{\mathrm{bw}} \tag{4}$$

$$\mathrm{ADI\%}=\frac{\mathrm{Exp}}{\mathrm{ADI}} \times 100\% \tag{5}$$

式中: Exp 为人体每日某种农药的暴露量, mg/kg; bw 为人体平均质量, 以 64.3 kg 计。

1.4.3　急性膳食摄入风险评估

对于蔬菜中农药残留引发的急性摄入风险, 学界普遍采用急性参考剂量百分比(acute reference dose%, ARfD%)作为核心评估指标, 并依据公式(6)~(7)开展量化计算。当 ARfD%的计算结果低于 100%时, 表明消费者因短期食用蔬菜而摄入农药残留所面临的风险处于安全可控范围, 且该数值越趋近于零, 急性风险的程度越低; 反之, 若 ARfD%数值超过 100%, 则意味着急性摄入风险已突破安全阈值, 数值越高, 消费者短期内因农药残留暴露而引发健康问题的可能性及严重程度就越高。

$$\mathrm{ESTI}=\frac{\mathrm{HR} \times \mathrm{LP}}{\mathrm{bw}} \tag{6}$$

$$\mathrm{ARfD\%}=\frac{\mathrm{ESTI}}{\mathrm{ARfD}} \times 100\% \tag{7}$$

式中: ESTI 为特定农药的估计短期摄入量(estimated short-term intake), mg/kg; HR 为蔬菜中某种农药的最高残留量(highest residue), 以农药检出最高值计, mg/kg; LP 为我国居民蔬菜消费的大份餐值(large portion), 研究中蔬菜取值为 0.5 kg[19]; ARfD 为农药急性参考剂量[20], mg/kg。

1.5　数据处理

所有实验均设置 3 次平行重复, 检测结果以平均值±标准偏差表示。采用 Excel 2021 进行数据整理与基础统计计算, 运用 SPSS 26.0 统计软件对不同品类蔬菜的农药残留检出率、残留水平等数据进行差异显著性分析, 检验水准 α=0.05。图表绘制采用 Origin 2023 软件。

2　结果与分析

2.1　2023—2024 年佳木斯市与其他城市蔬菜中农药残留检测结果对比分析

由表 1 可知佳木斯这两个上半年度外进蔬菜抽样总量达 70 份, 农药残留检出率为 62.8%。对比同期其他城市, 该检出率低于哈尔滨(75.0%)和鹤岗(70.0%), 与绥化(62.5%)基本持平, 高于牡丹江(60.0%)和鸡西(48.0%), 说明佳木斯外进蔬菜的农药残留整体情况在同批次抽检城市中处于中等水平, 整体风险可控。

表 2 可知 2023 年下半年度佳木斯地产蔬菜抽样 20 份, 农药残留检出率为 65.0%, 该数值比其 2023—2024 年上半年度外进蔬菜 62.8%的检出率高出 2.2%。且所有地产蔬菜样品均无农药残留 6 项及以上的情况, 13 份检出农药残留的样品均小于等于 5 项, 7 份未检出农药残留, 说明佳木斯地产蔬菜同样以低剂量农药残留为主, 无严重残留问题。

表 1　2023 年上半年度、2024 年上半年度多城市外进蔬菜中农药残留检测状况对比

Table 1　Comparison of pesticide residue detection status in externally sourced vegetables across multiple cities in the first half of 2023 and the first half of 2024

城市	采样时间	未检出农药残留样品数量/份	检出农药残留不超过 5 项样品数量/份	检出农药残留 6~10 项样品数量/份	检出农药残留大于 10 项样品数量/份	样品数量/份	检出率/%
佳木斯	2023 年上半年度、2024 年上半年度	26	43	1	0	70	62.8
哈尔滨	2023 年上半年度	5	13	2	0	20	75.0
绥化	2023 年上半年度	6	9	1	0	16	62.5
牡丹江	2024 年上半年度	12	17	0	1	30	60.0
鹤岗	2024 年上半年度	12	27	1	0	40	70.0
鸡西	2024 年上半年度	13	12	0	0	25	48.0

与 2023 年下半年度牡丹江(80.0%)、大庆(81.2%)的地产蔬菜检出率相比, 佳木斯 65.0%的检出率大幅偏低。这反映出在 2023 年下半年度, 佳木斯本地蔬菜种植过程中农药使用规范程度相对更高, 地产蔬菜的农药残留管控效果优于省内同批次抽检的另外两个城市。2024 年下半年度仅检测水果样品(无蔬菜样品), 该批次检测数据未予采用。

2.2 2023—2024 年佳木斯市蔬菜中多种农药残留检测结果分析

90 份蔬菜样品中检测出毒死蜱、三唑磷、水胺硫磷等 23 种农药, 百菌清、五氯硝基苯、乐果等 15 种农药未检出。检出率排名前 4 的为氯氟氰菊酯(24.44%)、腐霉利(14.44%)、多菌灵(11.11%)、三唑磷(11.11%), 其中杀虫剂检出率最高的是氯氟氰菊酯(24.44%), 杀菌剂检出率最高的是腐霉利(14.44%), 具体结果见表 3。

表 3 可知 23 种检出农药中, 仅 4 种检出率超 10%, 19 种检出率低于 10%, 其中甲胺磷、涕灭威等 4 种农药检出率仅 1.11%。低检出率的农药多为高毒杀虫剂或特定病害防治药剂, 如此低的检出比例, 说明佳木斯市蔬菜在农药使用上整体较为规范, 不存在大范围滥用农药的情况, 蔬菜农药残留的整体安全风险处于可控范围。

表 2 2023 年下半年度多城市地产蔬菜中农药残留检测状况对比

Table 2 Comparison of pesticide residue detection status in locally produced vegetables across multiple cities in the second half of 2023

城市	采样时间	未检出农药残留样品数量/份	检出农药残留≤5 项样品数量/份	检出农药残留 6~10 项样品数量/份	检出农药残留>10 项样品数量/份	样品数量/份	检出率/%
佳木斯	2023 年下半年度	7	13	0	0	20	65.0
牡丹江	2023 年下半年度	4	16	0	0	20	80.0
大庆	2023 年下半年度	3	12	1	0	16	81.2

表 3 2023—2024 年蔬菜中多种农药残留检测结果

Table 3 Detection results of multiple pesticide residues in vegetables from 2023 to 2024

序号	名称	样品数量/份	检出样品数量/份	检出限/(ng/mL)	检出率/%	检出均值/(mg/kg)	残留水平/(mg/kg)
1	甲胺磷	90	1	0.002	1.11	0.0100	0.0100
2	涕灭威	90	1	0.018	1.11	0.0511	0.0511
3	腈菌唑	90	1	0.002	1.11	0.0101	0.0101
4	阿维菌素	90	1	0.002	1.11	0.0036	0.0036
5	毒死蜱	90	2	0.009	2.22	0.0126	0.0124~0.0128
6	水胺硫磷	90	2	0.012	2.22	0.0176	0.0167~0.0184
7	噻虫胺	90	2	0.002	2.22	0.0072	0.0049~0.0094
8	硫丹	90	3	0.018	3.33	0.0216	0.0192~0.0240
9	恶霜灵	90	3	0.002	3.33	0.0028	0.0022~0.0039
10	嘧霉胺	90	3	0.002	3.33	0.0602	0.0122~0.1550
11	甲霜灵	90	4	0.009	4.44	0.1411	0.0129~0.5250
12	戊唑醇	90	4	0.002	4.44	0.0632	0.0031~0.1310
13	呋虫胺	90	4	0.002	4.44	0.0346	0.0097~0.0728
14	吡唑醚菌酯	90	5	0.002	5.56	0.0237	0.0079~0.0417
15	灭蝇胺	90	6	0.002	6.67	0.0308	0.0033~0.0836
16	苯醚甲环唑	90	6	0.002	6.67	0.0384	0.0164~0.0775
17	吡虫啉	90	6	0.002	6.67	0.0767	0.0034~0.3630
18	烯酰吗啉	90	7	0.002	7.78	0.0477	0.0021~0.1510
19	噻虫嗪	90	7	0.002	7.78	0.0618	0.0021~0.2140
20	三唑磷	90	10	0.018	11.11	0.0304	0.0212~0.0476
21	多菌灵	90	10	0.002	11.11	0.06	0.0031~0.1870
22	腐霉利	90	13	0.006	14.44	0.1402	0.0082~0.9380
23	氯氟氰菊酯	90	22	0.009	24.44	0.0876	0.0120~0.8090

从检出均值来看, 多数农药残留均值低于 0.1 mg/kg, 如阿维菌素均值仅 0.0036 mg/kg, 恶霜灵均值 0.0028 mg/kg。但部分农药残留量波动较大, 像甲霜灵残留水平在 0.0129~0.5250 mg/kg 之间, 腐霉利波动范围为 0.0082~0.9380 mg/kg, 氯氟氰菊酯则在 0.0120~0.8090 mg/kg, 这类波动可能与蔬菜品种、种植季节、用药剂量及用药时间等因素相关。

对 23 种检出农药的检出率进行描述性统计分析, 结果显示检出率呈右偏态分布(偏度系数=2.87, 峰度系数=8.32), 中位数为 3.33%, 其中仅 4 种农药检出率超过 10%, 占检出农药种类的 17.39%, 其余 19 种农药检出率均低于 10%, 表明农药残留检出具有明显的集中性特征。

采用变异系数(variable coefficient, CV)分析农药残留量的离散程度, 结果显示甲霜灵(CV=156.3%)、腐霉利(CV=138.7%)、氯氟氰菊酯(CV=126.5%)的 CV 高于其他农药(平均 CV=42.8%), 提示这 3 种农药的残留量波动较大, 受种植环境、用药方式等因素影响更为显著; 而阿维菌素(CV=12.1%)、恶霜灵(CV=18.3%)等农药残留量相对稳定, CV 较小。

2.3　不同种类蔬菜中农药残留检测结果分析

蔬菜按食用器官分类, 可分为叶菜类、花菜类、果菜类、茎菜类。表 4 可知叶菜类检出率(74.41%)远超其他品类, 比排名第 2 的茎菜类(56.25%)高出 18.16%, 花菜类(25.00%)检出率不足叶菜类的三分之一, 差异极为明显。叶菜类检出残留项数(66 项)是果菜类(38 项)的 1.74 倍、茎菜类(18 项)的 3.67 倍, 花菜类仅 1 项残留, 进一步印证了叶菜类残留问题最突出。叶菜类项数检出率(4.04%)虽最高, 但与果菜类(3.70%)、茎菜类(2.96%)差距较小, 仅花菜类(0.66%)显著偏低, 说明各类蔬菜中单个农药的检出概率差距不大, 核心差异在于受污染的样品数量和总残留频次。

2.4　蔬菜中多项农药检出情况分析

由图 1 可知, 90 份样品中 57 份检出农药残留, 整体检出率达 63.33%, 反映佳木斯市蔬菜农药残留问题具有一定普遍性。但从项数分布看, 单一农药残留占主导: 检出 1 项农药的样品占比 27.78%, 占所有阳性样品的 43.86% (25/57); 检出 2 项及以下(不含 0 项)的样品累计占比 44.45%, 接近总样品量的二分之一, 说明多数受污染蔬菜的农药使用种类相对单一。

检出 3 项及以上农药的样品占比仅 18.88% (17/90), 且项数越多占比越低: 3 项残留占 8.89%, 4~5 项残留均为 4.44%, 8 项残留仅 1 份(1.11%)。这种“金字塔型”分布符合蔬菜种植的实际用药逻辑——农户通常针对主要病虫害选择 1~2 种核心农药, 多品类混用场景较少, 但仍存在极端多残留案例。

检出 5 项残留的 4 份样品均为特定品类: 油麦菜、菜心、茼蒿(均属叶菜类)和荷兰豆(豆类蔬菜); 检出 8 项残留的唯一样品为荷兰豆。这表明叶菜类和部分豆类蔬菜是多残留风险的高发区, 可能与这类蔬菜病虫害种类复杂、需针对性使用多种农药防治有关。

对 90 份样品的农药残留项数进行频数分布拟合, 结果符合负二项分布(χ^2=6.32, P=0.176), 其中检出 1 项农药的样品占比最高(27.78%), 检出项数越多, 样品占比越低, 呈现典型的“金字塔型”分布。采用卡方拟合优度检验验证分布特征, 结果显示观测值与理论分布无显著差异(χ^2=5.87, P=0.210), 符合蔬菜种植中“针对性用药、少品类混用”的实际逻辑。

通过列联表分析多残留样品与蔬菜品类的关联性, 结果显示叶菜类和豆类蔬菜中多残留(≥3 项)样品占比(23.26%)显著高于其他品类(平均占比 4.17%), 卡方检验表明二者存在统计学关联(χ^2=10.23, P=0.001), 提示叶菜类和豆类蔬菜是多残留风险的高发区。

2.5　蔬菜中各类农药残留慢性膳食摄入风险情况分析

根据蔬菜中各项农药检出均值及 ADI 和我国居民日均蔬菜摄入量对佳木斯市蔬菜进行慢性膳食摄入风险评估。结果表明蔬菜被检农药的 ADI%范围为 0.02979%~12.58020%。蔬菜各类农药的 ADI%均远小于 100%, 见表 5。佳木斯市蔬菜中即使是最高值的三唑磷, 也远低于安全上限, 说明长期食用本地蔬菜, 因农药残留导致慢性健康风险的概率极低。

表 4　不同种类蔬菜农药残留检测结果

Table 4　Detection results of pesticide residues in different types of vegetables

蔬菜种类	样本数量/份	检出数量/份	检出率/%	检出农药种类/种	分析农药残留项目数	检测农药残留/项份	检出农药残留/项份	项数检出率/%
叶菜类	43	32	74.41	18	38	1634	66	4.04
花菜类	4	1	25.00	1	38	152	1	0.66
果菜类	27	15	55.56	15	38	1026	38	3.70
茎菜类	16	9	56.25	10	38	608	18	2.96

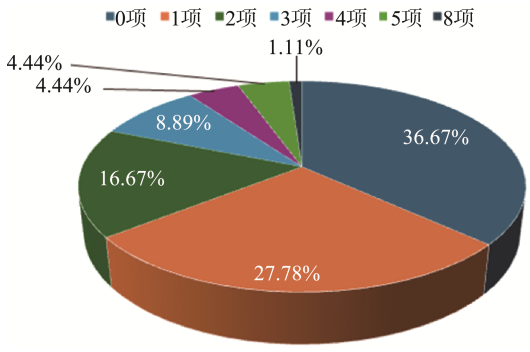


图 1 样品检出农药残留项数占比

Fig.1 Proportion of samples with detected pesticide residue items

2.6 蔬菜中各类农药残留急性膳食摄入风险情况分析

结果表明，仅 12 种农药有 ARfD%数据，其中氯氟氰菊酯最高(15.72706%)，三唑磷次之(1.85070%)，其余如毒死蜱(0.09953%)、吡唑醚菌酯(0.64852%)等均低于 1%。尽管氯氟氰菊酯 ARfD%相对较高，但仍远低于 100%的急性安全阈值，即便消费者一次性大量食用含有该农药残留的蔬菜，也不会引发急性中毒反应。

2.7 蔬菜农药残留风险系数评估

由表 5 和可知，对佳木斯市蔬菜农药残留进行安全指数评估，结果发现蔬菜被检农药的 IFS_{max} 范围为 0.00039~0.19691，IFS_c 范围为 0.00030~0.12580，IFS_i 为 0.01490。蔬菜的 IFS_{max}、IFS_c、IFS_i 均小于 1。这一结果从科学层面证实，佳木斯市蔬菜农药残留对消费者的健康风险完全处于可接受范围内。

对 IFS 进行统计描述，结果显示 IFS 均值为 0.02244，中位数为 0.00774，IFS_{max} 为 0.19691，IFS_i 为 0.01490，所有指数值均小于 1。采用 Shapiro-Wilk 检验验证 IFS_c 的正态性，结果显示符合正态分布(W=0.92, P=0.176)，95%置信区间为(0.015，0.031)，从统计学角度证实蔬菜农药残留的整体健康风险处于可接受范围。

表 5 蔬菜中各类农药残留膳食摄入风险评估

Table 5 Dietary exposure risk assessment of various pesticide residues in vegetables

农药名称	慢性膳食摄入风险评估			急性膳食摄入风险评估			食品安全指数		
	Exp/(mg/kg)	ADI/(mg/kg)	ADI%	ESTI/(mg/kg)	ARfD/(mg/kg)	ARfD%	IFS_{max}	IFS_c	IFS_i
甲胺磷	0.00004	0.00400	1.03008	0.00008	0.01000	0.77449	0.01030	0.01030	
涕灭威	0.00021	0.00300	7.04369	0.00040			0.07044	0.07044	
腈菌唑	0.00004	0.03000	0.13927	0.00008			0.00139	0.00139	
阿维菌素	0.00001	0.00100	1.48100	0.00003			0.01481	0.01481	
毒死蜱	0.00005	0.01000	0.52124	0.00010	0.10000	0.09953	0.00530	0.00521	
水胺硫磷	0.00007	0.00300	2.42006	0.00014			0.02537	0.02420	
噻虫胺	0.00003	0.10000	0.02979	0.00007			0.00039	0.00030	
硫丹	0.00009	0.00600	1.48927	0.00019	0.02000	0.93313	0.01655	0.01489	
恶霜灵	0.00001	0.01000	0.11583	0.00003			0.00161	0.00116	
嘧霉胺	0.00025	0.20000	0.12452	0.00121			0.00321	0.00125	
甲霜灵	0.00058	0.08000	0.72951	0.00408			0.02715	0.00730	
戊唑醇	0.00026	0.03000	0.87129	0.00102			0.01806	0.00871	
呋虫胺	0.00014	0.20000	0.07155	0.00057			0.00151	0.00072	0.01490
吡唑醚菌酯	0.00010	0.03000	0.32684	0.00032	0.05000	0.64852	0.00575	0.00327	
灭蝇胺	0.00013	0.06000	0.21204	0.00065	0.10000	0.65008	0.00576	0.00212	
苯醚甲环唑	0.00016	0.01000	1.58924	0.00060	0.30000	0.20088	0.03206	0.01589	
吡虫啉	0.00032	0.06000	0.52855	0.00282	0.40000	0.70568	0.02503	0.00529	
烯酰吗啉	0.00020	0.20000	0.09871	0.00117	0.60000	0.19570	0.00312	0.00099	
噻虫嗪	0.00026	0.08000	0.31978	0.00166	0.50000	0.33281	0.01107	0.00320	
三唑磷	0.00013	0.00100	12.58020	0.00037	0.02000	1.85070	0.19691	0.12580	
多菌灵	0.00015	0.10000	0.14744	0.00145	0.50000	0.29082	0.00774	0.00147	
腐霉利	0.00058	0.10000	0.58002	0.00729			0.03880	0.00580	
氯氟氰菊酯	0.00036	0.02000	1.81176	0.00629	0.04000	15.72706	0.16734	0.01812	

3　讨论与结论

3.1　讨　论

3.1.1　农药残留特征成因

高检出农药与种植需求密切相关。氯氟氰菊酯作为拟除虫菊酯类杀虫剂, 杀虫谱广、持效期长, 广泛用于防治叶菜类蚜虫、菜青虫等害虫; 腐霉利对蔬菜灰霉病、菌核病等真菌病害防治效果显著, 适用于多种蔬菜[21–22], 二者高检出率反映了当地蔬菜种植病虫害防治的主流需求, 但需警惕重复施用导致的残留累积[23]。

叶菜类高风险受客观特性和主观管理双重影响。叶菜类叶片柔嫩、蜡质层薄, 农药易附着且渗透吸收性强[24]; 同时其生长周期短(20~30 d), 部分种植户为快速控害缩短用药间隔期, 导致农药未充分降解即采收[25], 且叶菜类多鲜食, 清洗加工简单, 增加了消费者直接摄入残留农药的概率[26]。外调蔬菜对区域残留水平存在潜在影响。佳木斯市冬季蔬菜自给率低, 上半年大量外调蔬菜, 运输过程中(3~5 d)部分易降解农药受环境因素影响自然降解[27], 可能使检测结果低于本地夏季地产蔬菜实际残留水平, 不能忽视本地种植环节的农药管控[28]。

3.1.2　风险管控实践建议

强化高风险农药与品类的差异化监管。针对高频检出农药, 农业农村部门应限制其在叶菜类、果菜类上的施用频次和剂量, 推广生物农药等低毒低残留替代产品[29]; 建立“高风险农药-高风险品类”管控清单, 加强种植户专项培训, 普及安全间隔期和科学施药方法[30]。市场监管部门可在叶菜类销售区设置快速检测点, 提高流通环节管控效率。

3.2　结　论

2023—2024 年佳木斯市蔬菜农药残留总检出率为 63.33%, 共检出 23 种农药, 以氯氟氰菊酯、腐霉利、多菌灵、三唑磷为主要检出种类, 所有检出农药残留量均未超国家标准限值。不同品类蔬菜中, 叶菜类农药残留检出率和残留项数最高, 为高风险品类。膳食摄入风险评估显示, 各类农药的 ADI%、ARfD%及 IFS 均低于安全阈值, 长期和短期食用的健康风险均可控。与黑龙江省其他地市相比, 佳木斯市蔬菜农药残留检出率处于中等水平, 但外调蔬菜运输过程中农药自然降解可能影响检测结果, 生产端农药使用管控仍需重视。综上, 佳木斯市蔬菜农药残留整体安全风险可接受, 需通过强化高风险农药与品类监管、优化监测体系等措施, 进一步提升农产品质量安全水平。

参考文献

[1] 温馨, 黎小鹏, 谭淑铧, 等. 2021 年中山市种植蔬菜农药残留及膳食风险评估[J]. 浙江农业科学, 2023, 64(2): 455–462.
WEN X, LI XP, TAN SH, *et al*. Pesticide residues and dietary risk assessment of vegetables cultivated in Zhongshan City in 2021 [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2023, 64(2): 455–462.

[2] RANI L, THAPA K, KANOJIA N, *et al*. An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 283: 124657.

[3] SHARMA A, SHUKLA A, ATTRI K, *et al*. Global trends in pesticides: A looming threat and viable alternatives [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2020, 201: 110812.

[4] 刘翠玲, 张冉, 杨桂玲, 等. 三唑类杀菌剂在蔬菜中的残留分布及对不同人群的累积性膳食摄入风险[J]. 农药学学报, 2021, 23(6): 1194–1204.
LIU CL, ZHANG R, YANG GL, *et al*. Residue distribution of triazole fungicides in vegetables and cumulative dietary intake risk for different populations [J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2021, 23(6): 1194–1204.

[5] 穆姣姣, 崔相勇, 王岩松, 等. 液相色谱-串联质谱法测定蔬菜、水果中 4 种唑类杀菌剂的残留量[J]. 理化检验-化学分册, 2019, 55(1): 104–107.
MU JJ, CUI XY, WANG YS, *et al*. Determination of residues of 4 azole fungicides in vegetables and fruits by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis), 2019, 55(1): 104–107.

[6] 刘萍, 姬玲霞, 夏辉, 等. QuEChERS-三重四极杆气质联用法测定大米中 10 种有机氯农药残留[J]. 粮食加工, 2024, 49(5): 97–100.
LIU P, JI LX, XIA H, *et al*. Determination of 10 kinds of organochlorine pesticide residues in rice by QuEChERS-gas chromatography-triple quadrupole mass spectrometry [J]. Grain Processing, 2024, 49(5): 97–100.

[7] 唐雪梅, 纪铖臻, 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.

[8] 梁晓涵, 林敏, 万娜, 等. 基于食品安全指数法和危害物风险系数法评估海南芹菜的农药残留风险[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(1): 112–121.
LIANG XH, LIN M, WAN N, *et al*. Risk assessment of pesticide residues in Hainan celery based on food safety index method and hazard risk coefficient method [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(1): 112–121.

[9] 周蔚, 武丽辉, 宋和平, 等. 2023 年农药行业舆情分析及 2024 年展望[J]. 农药科学与管理, 2024, 45(6): 13–19.
ZHOU W, WU LH, SONG HP, *et al*. 2023 pesticide industry public opinion analysis and 2024 outlook [J]. Pesticide Science and Administration, 2024, 45(6): 13–19.

[10] 黄绘珍, 冯小峰. 气相色谱法测定蔬菜水果中农药 残留基质效应[J]. 中国食品业, 2023(20): 56–58.
HUANG HZ, FENG XF. Matrix effect of pesticide residue determination in fruits and vegetables by gas chromatography [J]. China Food Industry, 2023(20): 56–58.

[11] MAHDAVI V, ESLAMI Z, MOLAEE-AGHAEE E, *et al*. Evaluation of pesticide residues and risk assessment in apple and grape from western Azerbaijan Province of Iran [J]. Environmental Research, 2022, 203: 111882.

[12] 徐静, 代飞飞, 聂丹丹. 潍坊市 2015 年蔬菜、水果中农药残留污染情

况[J]. 中国热带医学, 2016, 16(2): 141–144, 148.
XU J, DAI FF, NIE DD. Pesticide residue contamination of vegetables and fruits in Weifang City in 2015 [J]. China Tropical Medicine, 2016, 16(2): 141–144, 148.

[13] SHENDY AH, AL-GHOBASHY MA, MOHAMMED MN, *et al*. Simultaneous determination of 200 pesticide residues in honey using gas chromatography-tandem mass spectrometry inconjunction with streamlined quantification approach [J]. Journal of Chromatography A, 2016, 1427: 142–160.

[14] WANG J, CHEUNG W. UHPLC/ESI-MS/MS determination of 187 pesticides in wine [J]. Journal of AOAC International, 2016, 99(2): 539–557.

[15] 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.

[16] KWOK ESC. Toxicological priority index framework for prioritizing pesticide products into human exposure and health risk assessments [J]. Human and Ecological Risk Assessment, 2021, 27(8): 2080–2103.

[17] FAO. Submission and evaluation of pesticide residues data for the estimation of maximum residue levels in food and feed, thirdedition [M]. Rome: FAO Plant Production and Protection Paper, 2018.

[18] JIA Q, LIAO G, CHEN L, *et al*. Pesticide residues in animal-derived food: current state and perspectives [J]. Food Chemistry, 2024, 438: 137974.

[19] 中国营养学会(杨月欣). 中国居民膳食营养素参考摄入量(2023 版)[EB/OL]. (2023-09-15) [2026-02-04]. https://www.cnsoc.org/learnnews/page13.html
Chinese Society of Nutrition (Yang Yuexin). Dietary reference intakes for chinese residents (2023 edition) [EB/OL]. (2023-09-15) [2026-02-04]. https://www.cnsoc.org/learnnews/page13.html

[20] JMPR 评估农药 ADI 和 ARfD 清单. Joint FAO/WHO meeting on pesticide residues (JMPR) (WHO core assessment group). List of pesticides evaluated by JMPR with ADI and ARfD values [EB/OL]. (2025-08-05) [2026-02-04]. https://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/ theme/pests/lpe/lpe-g/zh/ Food and Agriculture Organization of the United Nations
JMPR list of assessed pesticide ADI and ARfD. Joint FAO/WHO meeting on pesticide residues (JMPR) (WHO core assessment group). List of pesticides evaluated by JMPR with ADI and ARfD values [EB/OL]. (2025-08-05) [2026-02-04]. https://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/pests/lpe/lpe-g/zh/Food and Agriculture Organization of the United Nations

[21] DIAS JV, CUTILLAS V, LOZANO A, *et al*. Determination of pesticides in edible oils by liquid chromatography-tandem mass spectrometry employing new generation materials for dispersive solid phase extraction clean-up [J]. Journal of Chromatography A, 2016, 1462: 8–18.

[22] 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.

[23] 曹爱兵, 姚瑶, 陈长军, 等. 我国蔬菜农药的登记、残留现状及安全使用[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(22): 8–14.
CAO AIB, YAO Y, CHEN CJ, *et al*. Registration, residue status and safe use of vegetable pesticides in China [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(22): 8–14.

[24] 刘自伟, 郝会军, 李露露, 等. 潍坊市不同蔬菜类别中农药残留检测结果分析[J]. 黑龙江粮食, 2023(5): 98–101.
LIU ZW, HAO HJ, LI LL, *et al*. Pesticide residue detection results analysis of different vegetable categories in Weifang City [J]. Heilongjiang Grain, 2023(5): 98–101.

[25] 李读兴, 阚延荣. 2016 年—2020 年枣庄市市售蔬菜中农药残留污染状况和膳食暴露评估[J]. 中国卫生检验杂志, 2021, 31(20): 2545–2550.
LI DX, KAN YR. Pesticide residue contamination status and dietary exposure assessment of vegetables sold in Zaozhuang City from 2016 to 2020 [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2021, 31(20): 2545–2550.

[26] 王坤, 赵倩. 农产品农药残留检测中食品安全检测技术的应用探索[J]. 食品安全导刊, 2023(11): 184–186.
WANG K, ZHAO Q. Exploration on the application of food safety testing technology in pesticide residue detection of agricultural products [J]. Journal of Food Safety Guide, 2023(11): 184–186.

[27] CHANG QY, PANG GF, FAN CL, *et al*. High-throughput analytical techniques for the determination of the residues of 653 multiclass pesticides and chemical pollutants in tea, part VII: AGC-MS,GC-MS/MS,and LC-MS/MS study of the degradation profiles of pesticide residues in green tea [J]. Journal of AOAC International, 2016, 99(6): 1619–1627.

[28] HUA Y, LIU G. Food pesticide residues monitoring and health risk assessment [J]. Foods, 2024, 13(3): 474.

[29] 王国梅. 开展农药使用减量控害行动减少和控制面源污染[J]. 世界热带农业信息, 2024(9): 44–46.
WANG GM. Carry out pesticide use reduction and control action to reduce and control non-point source pollution [J]. World Tropical Agriculture Information, 2024(9): 44–46.

[30] 杨琪, 王娅芳, 李磊, 等. 2020—2022 年贵州省市售蔬菜中农药残留特征分析及健康风险评价[J]. 现代预防医学, 2023, 50(18): 3425–3430.
YANG Q, WANG YF, LI L, *et al*. Features and risk assessment of pesticide pollution in commercially available vegetables, Guizhou, 2020—2022 [J]. Modern Preventive Medicine, 2023, 50(18): 3425–3430.

(责任编辑: 安香玉 韩晓红)