DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250813003
引用格式: 莎娜, 张福金, 刘广华, 等. 2024 年呼和浩特市售蔬菜农药残留调查及膳食摄入风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(3): 155–164.
SHA N, ZHANG FJ, LIU GH, *et al*. Investigation of pesticide residues in commercially available vegetables and risk assessment of dietary intake in Hohhot in 2024 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(3): 155–164. (in Chinese with English abstract).

2024 年呼和浩特市售蔬菜农药残留调查及膳食摄入风险评估

莎 娜[1,2], 张福金[1,2*], 刘广华[1,2], 连海飞[1,2], 曹凯慧[1,2], 苏 凤[1,2], 李宝贺[1,2], 魏宇红[1,2]

[1. 内蒙古自治区农牧业科学院, 呼和浩特 010031;
2. 农业农村部农产品质量安全风险评估实验室(呼和浩特), 呼和浩特 010031]

摘 要: 目的 了解 2024 年呼和浩特市市售蔬菜农药残留情况, 并开展膳食暴露风险评估。**方法** 以当地市售蔬菜为研究对象, 对 68 份样本进行农药残留分析测定, 建立慢性、急性膳食摄入风险评估模型, 用食品安全指数法评价农药蔬菜安全性, 综合评价蔬菜中农药残留对食用人群的危害。**结果** 在样品中共检测出 22 种农药残留, 含量在 0.012~1.870 mg/kg 之间, 超标参数为噻虫嗪、敌敌畏、氧乐果、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、对硫磷、甲拌磷, 超标率为 8.82%, 蔬菜农药残留除氧乐果以外其他农药慢性摄入风险低, 对人体健康暂不足以构成危害, 氧乐果慢性暴露风险大于 100%, 属不可接受风险, 随即进行急性暴露风险评估, 其急性膳食暴露风险值未大于 100%, 急性暴露风险可接受, 流通环节中氧乐果的食品安全指数值大于 1, 有一定风险。**结论** 呼和浩特市售蔬菜产品存在不同程度的农药残留污染, 通过本研究可以为其他农产品的农药残留评估提供借鉴, 进而为确保食品安全提供科学支撑。

关键词: 农药残留; 膳食暴露; 食品安全指数; 风险评估

Investigation of pesticide residues in commercially available vegetables and risk assessment of dietary intake in Hohhot in 2024

SHA Na[1,2], ZHANG Fu-Jin[1,2*], LIU Guang-Hua[1,2], LIAN Hai-Fei[1,2], CAO Kai-Hui[1,2], SU Feng[1,2], LI Bao-He[1,2], WEI Yu-Hong[1,2]

[1. *Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences*, *Hohhot* 010031, *China*;
2. *Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment for Agro-Products* (*Hohhot*), *Ministry of Agriculture and Rural Affairs*, *Hohhot* 010031, *China*]

ABSTRACT: Objective To learn the situation of pesticide residues in vegetables sold in Hohhot in 2024, and

收稿日期: 2025-08-13
基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD1601208); 农业部种植业安全例行监测监督项目(20242029)
第一作者: 莎娜(1985—), 女, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量安全与品质评价研究。E-mail: shana85624@sina.cn
***通信作者:** 张福金(1976—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全与污染生态学研究。E-mail: dizhangl@163.com

dietary exposure risk assessment should be conducted. **Methods** Vegetables sold in the local market were taken as research objects. A total of 68 samples were taken to carry out pesticide residue analysis and measurement, and a model that can be used to assess chronic and acute dietary intake risks was established. The method of food safety index was used to assess vegetables' safety risks, and the hazards of pesticide residues in vegetables for consumers were comprehensively evaluated. **Results** The 22 kinds of pesticide residues were detected in samples, with a content between 0.012 mg/kg and 1.870 mg/kg. Parameters that exceeded standards included thiamethoxam, dichlorvos, omethoate, methylamino benzoate, parathion and phorate, with an over-standard rate of 8.82%. Except for omethoate, the chronic intake risks of other pesticides were low, with a low possibility of causing damage to human health. The chronic dietary exposure risk acceptable daily intake of omethoate was higher than 100, which should be regarded as an unacceptable risk. An acute exposure risk assessment was carried out immediately. The acute reference dose value was no higher than 100. The acute exposure risk was acceptable. The index of food safety value of omethoate in circulation was higher than 1, there was a certain risk. **Conclusion** Vegetable products sold in Hohhot have pesticide residues and pollution to varying degrees, and prohibited pesticides have still been detected in vegetables. This study can provide references for pesticide residue assessment of other agricultural products, thus providing scientific support for ensuring food safety.

KEY WORDS: pesticide residues; dietary exposure; food safety index; risk assessment

0 引 言

蔬菜是日常饮食中的必需品，能提供维持人体所需的多种营养物质，随着栽培技术的不断进步，蔬菜的生长周期已越来越短，但蔬菜的病虫害也越来越重，绝大部分蔬菜需要连续多次施药后才能成熟上市，这容易造成蔬菜中农药残留的问题[1−3]，但若蔬菜农药残留超标，将致膳食风险提高，居民食用受污染的蔬菜易会对身体产生危害。农药残留对人体健康的威胁不可忽视[4−6]，近年来，多有研究者对内蒙古地区的蔬菜进行农药残留监测及膳食暴露风险评估研究，如王栋[7]在 2020—2021 年在内蒙古某地 10 个区域抽检 400 批次绿叶蔬菜，采用气相色谱法(gas chromatography, GC)、液相色谱-串联质谱法(liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS)、气相色谱-串联质谱法(gas chromatography-tandem mass spectrometry, GC-MS/MS)来检测其中农药残留，对该地区绿叶蔬菜的农药残留情况进行分析并开展风险评估，研究结果表明: 61 批次绿叶蔬菜存在农药残留，检出率 15.25%，合格 387 批次，合格率 96.75%，所有蔬菜中检测出的农药其平均日摄入量、最大日摄入量都小于每种农药的每日允许摄入量，在允许范围内；刘芳[8]在 2019—2020 年利用 GC、LC-MS 对乌兰察布市 7 个旗县的自产蔬菜进行 31 种农药检测，同时采取农药日摄入量(acceptable daily intake, ADI)、目标危险系数(target hazard quotient, THQ)、风险指数(hazard index, HI)进行人体膳食暴露风险评估，结果表明，农药单一摄入对人体健康无显著风险；梁靖凯等[9]采用食品安全指数法(index of food safety, IFS)与急性参考剂量(acute reference dose, ARfD)评估方法对内蒙古地区居民通过蔬菜摄入的农药残留进行风险评估，蔬菜中有机磷类、有机氯类、氨基甲酸酯类及拟除虫菊酯类农药均有检出，对内蒙古地区居民蔬菜中农药残留膳食暴露风险进行评估，结果表明，采用IFS以农药残留浓度(risk index, *Ri*)的平均值进行评估时, IFS 均小于 1，风险可接受。

前人对内蒙古地区蔬菜安全评价品种单一，仅局限于叶菜类蔬菜，评价指标较少，研究年代较早，对当下新型农药未有检测，部分检测方法使用色谱类仪器，存在分辨力低、检出限高的弊端，不能全面反映农药残留的风险。近年，内蒙古地区新型农药使用以高效低毒低残留、生物农药为主，此类农药涵盖微生物制剂、植物源农药等多个品类，针对此情况鲜见有学者报道其安全性评价。基于此，本研究对呼和浩特市售蔬菜进行农药残留调查及膳食摄入风险评估，旨在探明呼和浩特市老百姓餐桌农产品农药残留风险点，为政府建立完善的“菜篮子”供应、筛选、监测和品质保障提供参考。

1 材料与方法

1.1 试剂与仪器

乙腈、甲醇、正己烷、丙酮(质谱纯，德国 Merck 公司)；微孔滤膜(0.22 μm，上海谷研实业有限公司)；甲酸(优级纯，上海赛默飞世尔科技公司)；10 mL DIKMA 萃取包(1 g 氯化钠、1 g 柠檬酸钠、0.5 g 柠檬酸氢二钠)、2 mL DIKMA 净化管(C_{18} 50 mg、聚季铵盐 50 mg、$MgSO_4$ 150 mg)(北京迪玛科技公司)；各农药标准品(质量浓度 1000 μg/mL，农业农村部环境保护科研检测所)；实验用水为市购屈臣氏蒸馏水；乙酸乙酯(优级纯，天津康科德医药化工有限公司)。

TQS-Micro 超高效液相色谱-串联质谱仪(美国沃特世

公司); TSQ QUANTUM GC 气相色谱-串联质谱仪(美国赛默飞世尔科技公司); AE270 百分之一电子天平(精度 0.01 mg)(瑞士 Mettler Toledo 公司); X700 台式分散匀浆机(美国迪德公司); VORTEX-GENIE 涡旋振荡器(上海兰仪实业有限公司); GL-20G-C 高速冷冻离心机(上海精密科学仪器有限公司); TTL-DC 氮吹仪(天津奥特赛恩斯仪器有限公司); C_{18}BEH 色谱柱(1.2 μm×100 mm, 美国 Waters 公司)。

1.2　样品采集

针对呼和浩特市主要城区中的大型农贸批发市场、商超进行采样, 样品种类以每季(1—3 月、4—6 月、7—9 月、10—12 月)市场主售农产品为主, 包括: 茄果类、豆类、叶菜类、瓜类、芸薹属类、鳞茎类共计 68 个样品, 品种分类及来源见图 1、2。

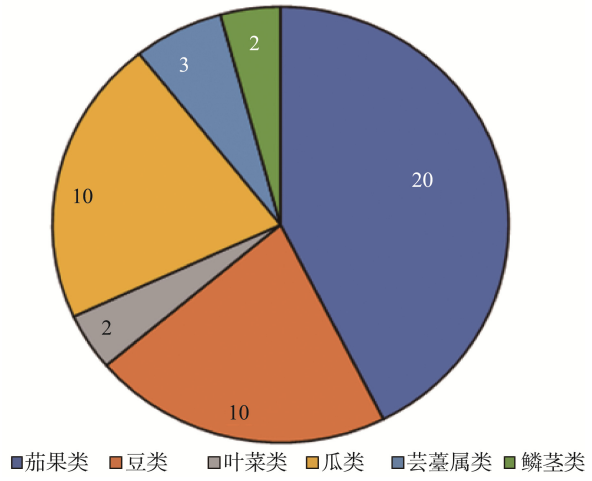


图 1　样品分类

Fig.1　Sample classification

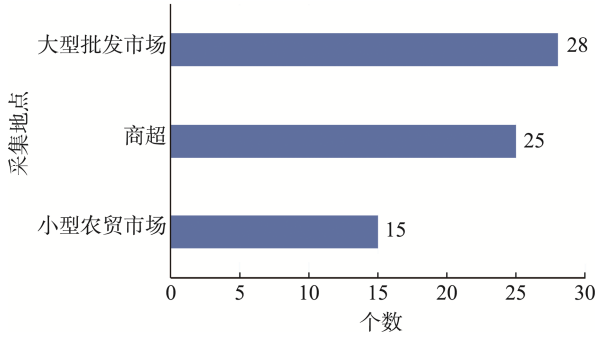


图 2　样品采集环节来源

Fig.2　Sources of sample collection links

1.3　农药残留检测方法及判定依据

依据 NY/T 789—2014《农药残留分析样本的采样方法》、GB 23200.113—2018《植物源食品中 208 种农药及其代谢物残留量的测定 气相色谱-串联质谱法》、GB 20769—2008《水果和蔬菜中 450 种农药及相关化学品残留的测定 液相色谱-串联质谱法》开展检测, 检测结果依据 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》[10]进行判断, 该方法中未规定限量的农药不予判定, 在检测过程中开展质量控制, 进行添加回收实验。

检测参数按照农药属性进行划分, 共计 76 项, 包括杀虫剂 55 项: 甲拌磷、甲拌磷砜、甲拌磷亚砜、毒死蜱、水胺硫磷、对硫磷、甲基对硫磷、杀螟硫磷、六六六、氟虫腈、氟甲腈、氟虫腈硫醚、氟虫腈砜、甲氰菊酯、氟氯氢菊酯、氯氟氰菊酯、氰戊菊酯、溴氰菊酯、联苯菊酯、氯菊酯、氯氰菊酯、虫螨腈、甲胺磷、氧乐果、甲基异柳磷、克百威、三羟基克百威、涕灭威、涕灭威砜、涕灭威亚砜、三唑磷、乐果、乙酰甲胺磷、灭多威、硫环磷、氯唑磷、敌敌畏、丙溴磷、马拉硫磷、亚胺硫磷、倍硫磷、辛硫磷、除虫脲、灭幼脲、吡虫啉、啶虫脒、阿维菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、噻虫嗪、氟啶脲、灭蝇胺、乙基多杀菌素、氯虫苯甲酰胺、醚菊酯、虫酰肼; 杀菌剂 16 项: 五氯硝基苯、百菌清、三唑酮、乙烯菌核利、腐霉利、异菌脲、苯醚甲环唑、多菌灵、嘧霉胺、烯酰吗啉、咪鲜胺、嘧菌酯、甲霜灵、霜霉威、吡唑醚菌酯、戊唑醇; 杀螨剂 3 项: 三氯杀螨醇、哒螨灵、内吸磷; 除草剂 1 项: 二甲戊灵; 植物生长调节剂 1 项: 氯吡脲。

1.4　实验方法

1.4.1　样品提取及净化

LC-MS/MS 测定: 称取 10.00 g(精确至 0.01 g)试样于 50 mL 塑料离心管中, 加入 10 mL 乙腈及 1 颗陶瓷均质子, 剧烈振荡 1 min 提取, 然后加入萃取包, 再次剧烈振荡 1 min 后 4200 r/min 离心 5 min, 定量吸取上清液至迪玛净化包, 涡旋混匀 1 min, 4200 r/min 离心 5 min, 吸取上清液过微孔滤膜, 待上机测定。

GC-MS/MS 测定: 称取 10.00 g 试样(精确至 0.01 g)于 50 mL 塑料离心管中, 加入 10 mL 乙腈, 剧烈振荡 1 min 加入萃取包, 剧烈振荡 1 min 后 4200 r/min 离心 5 min, 定量吸取上清液至净化包, 涡旋混匀 1 min, 4200 r/min 离心 5 min, 吸取 2 mL 上清液于 10 mL 试管中, 40 ℃水浴氮气吹至近干, 加入 1 mL 乙酸乙酯复溶, 过微孔滤膜, 待上机测定。

1.4.2　样品基质效应

通过计算基质标准曲线和溶剂标准曲线的线性斜率比来评价基质效应(斜率比为基质标准曲线方程斜率除以溶剂标准曲线方程斜率), 当斜率比为 1 时, 表明没有基质效应存在; 当斜率比小于 1 时, 表明存在基质抑制效应; 当斜率比大于 1 时, 表明存在基质增强效应。当斜率比为 0.8~1.2 时, 基质干扰程度较弱, 当斜率比介于 0.5~0.8 或 1.2~1.5 时, 表现为中等程度的基质干扰效应; 当斜率比小于 0.5 或斜率比大于 1.5, 表示基质效应的干扰强烈[11−12]。

1.5　风险评估方法

在膳食暴露风险评估中, 慢性急性膳食摄入法能够全面、系统地评估食品中存在的安全隐患程度, 从而更准确地反映食品的真实安全状况, 确保评估结果更加全面、客观

以提高评估的可靠性, 可为针对性的风险管理提供可靠依据, 因此本研究采用农药慢性、急性膳食暴露风险对检出农药进行农药残留风险评估, 其评价模型参照部分研究[13–17]报道的方法, IFS 是以量化形式来反映食品安全基本情况, 通过对食品安全监测数据进行统计分析, 从而对食品安全基本情况进行综合性分析[18–19], %ADI 评估旨在评估污染物长期常规饮食暴露, %ARfD 急性暴露风险是针对突发、大量食用污染物暴露的评估, 因此, 在评估农药残留风险时, 应综合使用多种评价方法来提高评估的全面性和客观性, 3 者同时应用在本研究中, 可以避免单方法评估的片面性, 全维度全方位评价某种农药在不同基质蔬菜的安全性。

1.5.1 慢性膳食暴露风险评估

慢性膳食暴露风险即慢性或长期接触毒性与农药残留每日允许摄入量的函数, 计算公式[20]如式(1)、(2):

$$\mathrm{EDI}=\frac{\sum(C_i\times F_i)}{\mathrm{bw}} \tag{1}$$

$$\%\mathrm{ADI}=\frac{\mathrm{EDI}}{\mathrm{ADI}}\times 100\% \tag{2}$$

式中: EDI (estimated daily intake)为每人每千克体重每日摄入量; C_i 为 i 种蔬菜的平均残留值, mg/kg; F_i 为 i 种食物的消费量, mg/kg; bw (body weight)为消费者平均体重, kg; ADI 为每日允许摄入量, mg/kg。本研究分别对成年人和未成年人进行暴露风险评估, 成年人每日蔬菜消耗量 262.1 g/d, 男性和女性的平均体重取 65.0 kg, 未成年人分 3 个年龄段分析, 即 6~10、11~13、14~17 岁, 体重分别取 28、43.1、53.9 kg, 对应每日蔬菜消耗量分别为 221.7、247.8、249.1 g/d[21]。当%ADI ≤ 100%时, 表示蔬菜中农药残留风险可接受, %ADI 越小则风险越小; 当%ADI>100%时, 表示蔬菜中农药残留有不可接受的风险。

1.5.2 急性膳食暴露风险评估

急性膳食暴露风险评估是计算 1 d 食物消费中摄入的食物和水中某种物质残留量, 计算公式[22]如(3)、(4):

$$\mathrm{ESTI}=\frac{\mathrm{HR}\times\mathrm{LP}}{\mathrm{bw}} \tag{3}$$

$$\%\mathrm{ARfD}=\frac{\mathrm{ESTI}}{\mathrm{ARfd}}\times 100\% \tag{4}$$

式中: ESTI (estimated short-term intake)为某种农药的估计短期摄入量, mg/kg; HR (hazard ratio)为残留量检测数据最高含量(本研究取检测数据最大值), mg/kg; LP (likelihood of presence)为蔬菜高端消量, mg/kg, 参考《中国居民膳食指南(2022)》推荐蔬菜摄入量 0.3~0.5 kg/d, 取 0.5 kg/d; bw 为消费者平均体重, 参照《中国人群暴露参数手册》取 65.0 kg[23]; ARfD 值为急性参考剂量, 各农药参考值可以从世界卫生组织数据库及联合国粮农组织农药残留联合专家会议(joint meeting of pesticide residues, JMPR)的评估报告获得[24–25]。

当%ARfD≤100%时, 表示蔬菜中农药残留风险可接受, %ARfD 越小则风险越小; 当%ARfD>100%时, 表示蔬菜中农药残留有不可接受的风险。

1.5.3 食品安全指数评估

本研究采用 IFS 评估法用公式(5)~(7)来评价呼和浩特市农药残留水平对本地人群安全性影响:

$$\mathrm{EDI}_C=R_i\times F_i\times E_i\times P_i \tag{5}$$

$$\mathrm{IFS}_C=\frac{\mathrm{EDI}_C\times f}{\mathrm{SI}_C\times\mathrm{bw}} \tag{6}$$

$$\overline{\mathrm{IFS}}=\frac{\sum_{i=1}^{n}\mathrm{IFS}_{ci}}{n} \tag{7}$$

式中: IFSc 为农药 C 的食品安全指数(food safety index); EDI_C 为残留 C 实际摄入量估算值, mg; R_i 为残留 i 的残留量, mg/kg; F_i 为人群对某类食品的摄入量的估算值, 根据梁靖凯等[9]报道, 我国居民平均每标准人日均新鲜蔬菜摄入量为 262.1 g(人/d); E_i、P_i 为农产品可食用及加工因子, 均以 1 计; IFS_C 为检出农药的食品安全指数; f 为农药安全摄入值校准因子, 以 1 计; SI_C 为农药 C 安全的安全摄入量, 以 ADI 值(mg/kg)计; $\overline{\mathrm{IFS}}$ 为所有农产品安全性指数平均值; n 为所有样本总数量, IFS_{ci} 代表蔬菜中农药 C 的安全指数。

IFS 评价标准: 当 IFS<<1 时, 农药残留 C 带来的食品安全无风险, 以 IFS≤0.01 计, IFS<1 时, 农药残留带来的食品安全风险可以接受, 当 IFS>1 时, 农药残留带来的食品安全风险不可以接受, 需要引起相关监管部门的重视, 根据式(7)计算出蔬菜的安全状态, 当 $\overline{\mathrm{IFS}}$<1 时, 认为蔬菜食品安全状态良好无风险, $\overline{\mathrm{IFS}}$>1 时, 认为蔬菜食品安全状态有风险[26–28]。

1.6 数据处理

依据 Office Excel 2016 进行处理与作图, 实验重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 蔬菜中农药残留检出情况

在 68 个样本中共计检出农药残留 22 个, 包括甲拌磷 1 次(1.47%)、对硫磷 2 次(2.94%)、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 1 次(1.47%)、烯酰吗啉 6 次(8.82%)、除虫脲 1 次(1.47%)、三唑磷 1 次(1.47%)、咪鲜胺 3 次(4.41%)、嘧菌酯 2 次(2.94%)、氧乐果 1 次(1.47%)、敌敌畏 2 次(2.94%)、毒死蜱 5 次(7.35%)、异菌脲 1 次(1.47%)、吡虫啉 7 次(10.29%)、戊唑醇 7 次(10.29%)、吡唑醚菌酯 6 次(8.82%)、啶虫脒 6 次(8.82%)、噻虫嗪 15 次(22.05%)、联苯菊酯 3 次(4.41%)、氯氟氰菊酯 8 次(11.76%)、多菌灵 4 次(5.88%)、腐霉利 8 次(11.76%)、苯醚甲环唑 4 次(5.88%), 检出农药以低毒农药为主, 检出农药含量在 0.012~1.870 mg/kg 之间, 超标参数为噻虫嗪、敌敌畏、氧乐果、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、对硫磷、甲拌磷, 超标率为 8.82%, 包括叶菜类、茄果类、鳞茎类、瓜类蔬菜, 其中白菜、芹菜、菠菜等叶菜类检出率较高, 具体检出情况见表 1, 图 3 为检出农药的种类。

表 1　蔬菜检出农药残留情况

Table 1　Pesticide residue detection in vegetables

农药种类	检出次数	检出率/%	超标份数	超标率/%	残留水平/(mg/kg)
苯醚甲环唑	4	5.88	0	0	0.015~0.019
腐霉利	8	11.76	0	0	0.013~0.040
多菌灵	4	5.88	0	0	0.060~0.026
氯氟氰菊酯	8	11.76	0	0	0.016~0.123
联苯菊酯	3	4.41	0	0	0.018~0.022
噻虫嗪	15	22.05	2	2.940	0.022~1.240
啶虫脒	6	8.82	0	0	0.080~0.110
吡唑醚菌酯	6	8.82	0	0	0.045~0.150
戊唑醇	7	10.29	0	0	0.022~0.268
吡虫啉	7	10.29	0	0	0.018~0.190
异菌脲	1	1.47	0	0	0.013~0.045
毒死蜱	5	7.35	0	0	0.012~0.067
敌敌畏	2	2.94	1	1.470	0.015~0.200
氧乐果	1	1.47	1	1.470	0.930
嘧菌酯	2	2.94	0	0	0.014~0.019
咪鲜胺	3	4.41	0	0	0.015~0.095
三唑磷	1	1.47	0	0	0.019
除虫脲	1	1.47	0	0	0.040
烯酰吗啉	6	8.82	0	0	0.023~1.870
甲氨基阿维菌素苯甲酸盐	1	1.47	1	1.470	0.079
对硫磷	2	2.94	1	1.470	0.043~0.280
甲拌磷	1	1.47	1	1.470	0.027

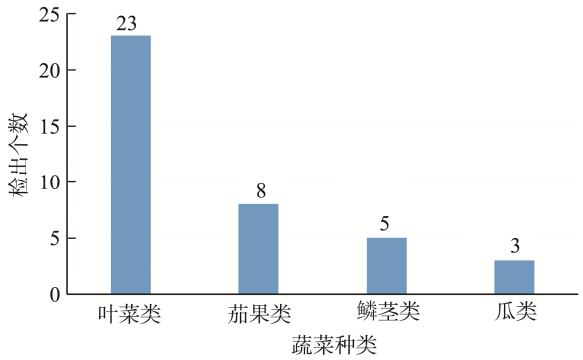


图 3　蔬菜农药残留检测情况

Fig.3　Detection of pesticide residues in vegetables

如图 4 所示，在 22 个检出农药参数中，杀虫剂检出 13 个，杀菌剂 9 个，且很多农药均有多次高频检出，甲拌磷、对硫磷、毒死蜱、啶虫脒、烯酰吗啉等 17 个参数检出 1~6 次，吡虫啉、戊唑醇、氯氟氰菊酯、腐霉利、噻虫嗪 5 个参数检出 7~15 次，特别是噻虫嗪检出 15 次，在所有农药检出的 39 批次蔬菜中有 16 批次检出农药 2 种或超过 2 种，多残留率为 41.02%，

按照检出蔬菜的国家标准限量，从表 2 中可见氧乐果、噻虫嗪、敌敌畏、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、对硫磷、甲拌磷 6 个参数超出食品中农药残留最大限量 GB 2763—2021 要求的 46.5 倍、2.4 倍、2.0 倍、7.9 倍、4.3 倍、28 倍、2.7 倍，这些农药在蔬果上的超标率为 1.470%~2.940%之间(表 1)，超标蔬菜包括白菜、芹菜、辣椒、黄瓜、洋葱和菠菜，说明蔬菜中依然存在氧乐果、对硫磷、甲拌磷等禁用农药残留，检出值超过 GB 2763—2021。

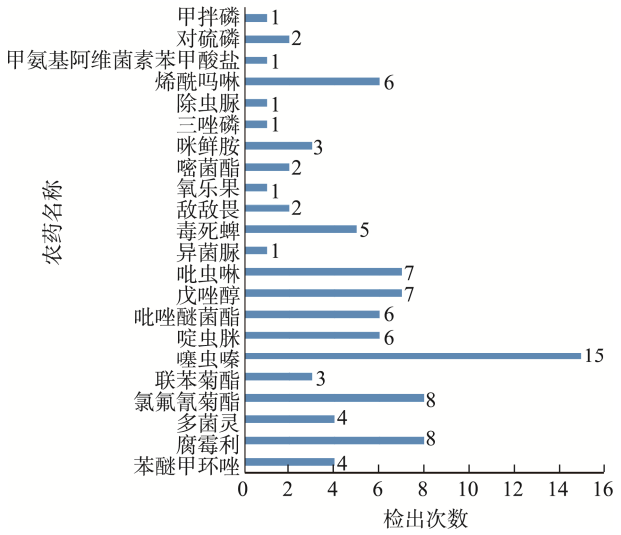


图 4　各农药残留指标检出情况

Fig.4　Detection of various pesticide residue indicators

表 2 超标农药的检出情况表

Table 2 Detection of situation of excessive pesticides

蔬果名称	检出数/批次	检出率/%	超标数/批次	超标率/%
白菜	7	10.29	1	1.470
芹菜	4	5.88	1	1.470
辣椒	2	2.90	1	1.470
黄瓜	3	4.41	1	1.470
洋葱	1	1.47	1	1.470
菠菜	3	4.41	1	1.470

2.2 基质效应评价

由表 3 可见，方法测定结果表明 76 种农药在质量浓度 50~100 ng/mL 范围内线性关系良好(r^2≥0.996)，农药基质效应均不一样，其中 14 种农药存在基质增强效应，比值为 1.02~1.32，其余 35 种农药表现为基质抑制效应，比值为 0.50~0.88，剩余 27 种农药基质效应较弱，因此，本研究用基质配标准曲线进行定量，以减少基质效应所带来的影响，保证方法的准确性。

表 3 蔬菜基质中 76 种农药不同浓度基质效应

Table 3 Matrix effects of 76 kinds of pesticides at different concentrations in vegetable matrices

农药名称	叶菜类		茄果类		鳞茎类		瓜类	
	50 ng/mL	100 ng/mL	50 ng/mL	100 ng/mL	50 ng/mL	100 ng/mL	50 ng/mL	100 ng/mL
3-羟基克百威	0.12	0.10	0.09	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02
甲氨基阿维菌素苯甲酸盐	1.02	1.12	1.30	1.32	1.25	1.28	1.28	0.30
甲拌磷	0.15	0.12	0.05	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03
甲拌磷砜	1.32	1.30	1.28	1.27	1.30	1.28	1.25	1.26
甲拌磷亚砜	0.20	0.15	0.05	0.08	0.10	0.12	0.09	0.08
毒死蜱	0.52	0.50	0.51	0.52	0.65	0.60	0.74	0.72
水胺硫磷	0.12	0.08	0.10	0.15	0.05	0.04	0.05	0.03
甲基对硫磷	0.60	0.50	0.70	0.65	0.62	0.60	0.65	0.66
杀螟硫磷	1.25	1.30	1.28	1.32	1.15	1.20	1.30	1.32
六六六	0.15	0.08	0.12	0.06	0.08	0.10	0.04	0.03
氟虫腈	0.80	0.75	0.66	0.65	0.74	0.70	0.62	0.60
氟虫腈硫醚	0.27	0.15	0.20	0.31	0.14	0.13	0.18	0.19
氟虫腈砜	0.07	0.06	0.05	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11
甲氰菊酯	0.20	0.15	0.23	0.24	0.25	0.11	0.09	0.08
氟氯氰菊酯	1.21	1.20	1.31	1.15	1.25	1.24	1.30	1.28
氯氟氰菊酯	0.71	0.65	0.55	0.70	0.75	0.77	0.76	0.77
氰戊菊酯	0.15	0.20	0.08	0.07	0.14	0.10	0.13	0.11
溴氰菊酯	0.55	0.56	0.65	0.59	0.70	0.65	0.74	0.70
联苯菊酯	0.18	0.15	0.09	0.05	0.12	0.11	0.07	0.05
氯氢酯氯	1.26	1.24	1.11	1.30	1.25	1.26	1.27	1.25
虫螨腈	0.63	0.60	0.54	0.55	0.74	0.73	0.60	0.61
甲胺磷	0.03	0.05	0.10	0.12	0.06	0.07	0.08	0.05
氧乐果	0.20	0.15	0.11	0.10	0.08	0.09	0.12	0.11
甲基异柳磷	0.74	0.65	0.50	0.53	0.74	0.70	0.65	0.74
克百威	0.78	0.80	0.70	0.66	0.80	0.78	0.71	0.69
涕灭威	1.27	1.25	1.23	1.20	1.30	1.31	1.27	1.25
涕灭威砜	0.80	0.70	0.65	0.74	0.78	0.80	0.61	0.60
涕灭威亚砜	1.24	1.23	1.11	1.24	1.01	0.09	1.26	1.24
三唑磷	0.60	0.62	0.70	0.63	0.65	0.61	0.64	0.70
乐果	0.18	0.15	0.20	0.09	0.12	0.10	0.05	0.08
乙酰甲胺磷	0.75	0.60	0.77	0.78	0.62	0.66	0.74	0.79
灭多威	0.09	0.08	0.05	0.04	0.10	0.11	0.08	0.07
硫环磷	1.20	1.23	1.25	1.26	1.28	1.14	1.28	1.29
氯唑磷	0.77	0.62	0.63	0.55	0.74	0.75	0.80	0.79
敌敌畏	0.06	0.10	0.08	0.07	0.05	0.13	0.09	0.10
丙溴磷	0.74	0.60	0.65	0.78	0.80	0.74	0.70	0.72
马拉硫磷	0.07	0.06	0.05	0.08	0.10	0.09	0.07	0.06
亚胺硫磷	1.27	1.25	1.26	1.27	1.30	1.31	1.26	1.24

表 3(续)

农药名称	叶菜类		茄果类		鳞茎类		瓜类	
	50 ng/mL	100 ng/mL	50 ng/mL	100 ng/mL	50 ng/mL	100 ng/mL	50 ng/mL	100 ng/mL
倍硫磷	0.65	0.60	0.61	0.62	0.70	0.69	0.73	0.75
辛硫磷	0.05	0.04	0.06	0.07	0.05	0.04	0.06	0.07
除虫脲	0.74	0.80	0.81	0.75	0.74	0.70	0.62	0.65
灭幼脲	1.30	1.28	1.24	1.25	1.26	1.30	1.27	1.28
吡虫啉	0.70	0.65	0.71	0.60	0.58	0.55	0.74	0.70
啶虫脒	0.08	0.05	0.10	0.09	0.07	0.08	0.10	0.05
阿维菌素	0.63	0.60	0.70	0.78	0.75	0.63	0.65	0.60
噻虫嗪	0.70	0.78	0.77	0.72	0.54	0.62	0.66	0.70
氟啶脲	0.14	0.08	0.10	0.11	0.09	0.05	0.11	0.10
灭蝇胺	1.31	1.28	1.22	1.08	1.30	1.24	1.30	1.29
乙基多杀菌素	0.65	0.65	0.60	0.61	0.63	0.80	0.75	0.74
氯虫苯甲酰胺	0.59	0.55	0.62	0.65	0.74	0.70	0.71	0.75
醚菊酯	0.09	0.08	0.07	0.10	0.15	0.12	0.05	0.04
虫酰肼	0.72	0.60	0.65	0.70	0.71	0.78	0.71	0.61
五氯硝基苯	0.79	0.80	0.74	0.72	0.63	0.78	0.74	0.70
百菌清	0.14	0.04	0.08	0.12	0.09	0.07	0.10	0.11
三唑酮	0.63	0.50	0.55	0.58	0.74	0.70	0.63	0.65
乙烯菌核利	1.28	1.20	1.26	1.27	1.30	1.26	1.29	1.29
腐霉利	0.74	0.63	0.60	0.80	0.62	0.59	0.55	0.60
异菌脲	0.70	0.74	0.69	0.74	0.70	0.72	0.79	0.71
苯醚甲环唑	1.22	1.20	1.25	1.31	1.30	1.26	1.28	1.25
多菌灵	0.57	0.43	0.60	0.33	0.37	0.62	0.74	0.64
嘧霉胺	0.60	0.55	0.62	0.63	0.57	0.59	0.62	0.65
烯酰吗啉	0.06	0.08	0.09	0.10	0.14	0.15	0.09	0.07
咪鲜胺	0.74	0.70	0.69	0.59	0.62	0.70	0.66	0.67
嘧菌酯	0.06	0.05	0.08	0.09	0.05	0.04	0.08	0.04
甲霜灵	0.59	0.53	0.62	0.65	0.58	0.59	0.62	0.61
霜霉威	0.72	0.70	0.75	0.77	0.63	0.65	0.74	0.69
吡唑醚菊酯	0.65	0.53	0.76	0.73	0.60	0.64	0.76	0.70
戊唑醇	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.06	0.10	0.07
三氯杀螨醇	1.24	1.13	1.22	1.23	1.29	1.24	1.31	1.30
哒螨灵	0.60	0.55	0.58	0.60	0.74	0.77	0.57	0.59
内吸磷	0.03	0.02	0.10	0.08	0.13	0.15	0.08	0.05
二甲戊灵	0.05	0.03	0.04	0.09	0.05	0.07	0.10	0.12
氯吡脲	0.08	0.07	0.05	0.09	0.10	0.04	0.03	0.08
对硫磷	0.77	0.60	0.63	0.66	0.80	0.71	0.69	0.77
氟甲腈	0.70	0.72	0.65	0.58	0.44	0.63	0.75	0.55
氯菊酯	0.62	0.74	0.88	0.63	0.65	0.60	0.71	0.66

2.3　蔬菜中农药残留慢性膳食暴露风险评估结果

慢性膳食暴露风险评估方法依据当地居民人均日蔬菜摄入量成人 249.1 g/d 为参考值, 未成年人按照 2~6、7~13、14~17 岁, 体重分别取 28.0、43.1、53.9 kg, 对应每日蔬菜消耗量分别为 221.7、247.8、262.1 g/d[12]评估检出的 22 种农药残留的慢性膳食暴露风险评估, 不同人群暴露风险见表 4。

可见在所有检出农药中, 氧乐果慢性暴露风险%ADI 大于 100%, 属不可接受慢性暴露风险, 其他参数的%ADI 值均低于 100%, 慢性暴露风险可接受, 在可接受慢性暴露风险中甲氨基阿维菌苯甲酸盐、啶虫脒、烯酰吗啉、吡唑醚菌酯、多菌灵、吡虫啉、戊唑醇、噻虫嗪、咪鲜胺、除虫脲、嘧菌酯、三唑磷、苯醚甲环唑、异菌脲、氯氟氰菊酯、联苯菊酯、腐霉利、毒死蜱的%ADI 值小于 10%时, 均处于低风险状态, 敌敌畏、对硫磷、甲拌磷、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐的%ADI 值大于 10%, 属于中度风险, 因为未成年人体重低, 代谢能力不同, 暴露风险也不同, 从表 4 可见随着年龄体重增长, 检出的农药慢性膳食暴露风险降低, 2~6 岁幼儿的不同农药慢性膳食暴露风险指数均为最高, 说明检出农药残留在 2~6 岁幼儿群体危害最大, 鉴于氧乐果的不可接受慢性暴露风险, 暴露量超过安全限值, 存在健康风险, 相关部门需加强科学管理控制措施。

表 4 检出农药残留慢性暴露风险评估结果

Table 4 Results of chronic exposure risk assessment for detected pesticide residues

农药名称	标准人群慢性风险评估			其他人群年龄段%ADI/%		
	ADI/(mg/kg)	短期膳食摄入量/(mg/kg)	%ADI/%	2~6 岁	7~13 岁	14~17 岁
甲氨基阿维菌素苯甲酸盐	0.0005	0.0790	63.4000	94.1000	87.9000	73.2000
氧乐果	0.0003	0.9300	1244.7000	2435.7000	1726.2000	1437.8000
啶虫脒	0.0700	0.1700	0.9700	1.9000	1.3500	1.1200
烯酰吗啉	0.2000	0.5900	1.1800	2.3100	1.6400	1.3600
吡唑醚菌酯	0.0300	0.2100	2.8100	5.5000	3.8900	3.2400
多菌灵	0.0500	0.0600	0.4800	0.9400	0.6600	0.5500
戊唑醇	0.0300	0.0700	0.9300	1.8300	1.2900	1.0800
吡虫啉	0.0600	0.0400	0.2600	0.5200	0.3700	0.3000
噻虫嗪	0.0800	0.1700	0.8500	1.6600	1.1800	0.9800
咪鲜胺	0.0100	0.0510	2.0400	4.0000	2.8300	2.3600
除虫脲	0.0200	0.0400	0.8030	1.5700	1.1100	0.9200
敌敌畏	0.0040	0.1530	15.3000	30.0000	21.2000	17.7000
嘧菌酯	0.0150	0.0450	1.2000	2.3500	1.6700	1.3900
三唑磷	0.0010	0.0190	7.6200	14.9000	10.5000	8.8100
苯醚甲环唑	0.0100	0.0380	1.5200	2.9800	2.1000	1.7600
异菌脲	0.0600	0.0450	0.3000	0.5800	0.4100	0.3400
氯氟氰菊酯	0.0200	0.1600	3.2100	6.2800	4.4500	3.7100
联苯菊酯	0.0100	0.0460	1.8400	3.6100	2.5600	2.1300
腐霉利	0.1000	0.0360	0.1400	0.2800	0.2000	0.1600
毒死蜱	0.0100	0.0320	1.2800	2.5100	1.7800	1.4800
甲基对硫磷	0.0040	0.1600	16.0000	31.4000	22.2000	18.5000
甲拌磷	0.0007	0.0270	15.4000	30.3000	21.4000	17.8000

2.4 蔬菜中农药残留急性膳食暴露风险评估结果

通过科学计算蔬菜中各急性膳食暴露风险评估结果, 如表 5 所示。

从表 5 中可以看出, 各组分农药残留%ARfD 偏差较大, 值在 0.30%~71.50%之间, 评估结果均未超阈值, 值得关注的是在评估过程中标准人群中氧乐果的慢性膳食摄入风险为 1244.7%, 存在风险, 在急性风险评估中, 同样氧乐果的%ARfD 值最大, 高达 71.50%, 但是未大于 100%, 说明氧乐果的长期膳食暴露风险在可接受范围内。

2.5 食品安全指数法评估

基于此次评估存在 1 种蔬菜多残留现象, 需对该蔬菜的安全状况进行研究, 依据公式(5)~(7)计算呼和浩特市此次评估蔬菜的 22 种农药残留的 IFS、$\overline{IFS}$ 值, 如表 6 所示。

22 种农药残留 IFS_C 范围在 0.0020~13.5000 之间, 氧乐果作为禁用农药, 每日允许摄入量较低, 同时检出量较高, 导致 IFS_C 值高达 13.5, 安全指数评价为不可接受, 表明其在蔬菜上的安全性远低于其他农药, 计算 $\overline{IFS}$ 值可以看出, 受氧乐果 IFS_C 值影响, 叶菜的整体安全风险较高, 需引起相关执法部门重视, 茄果、鳞茎、瓜类安全风险较低, 鉴于氧乐果超标样本数量较少, 需增加样品量进一步深入验证其安全性。

表 5 检出农药残留急性暴露风险评估结果

Table 5 Results of acute exposure risk assessment for detected pesticide residues

农药名称	ARfD/(mg/kg)	HR/(mg/kg)	%ARfD/%
甲氨基阿维菌素苯甲酸盐	0.010	0.079	6.07
氧乐果	0.010	0.930	71.50
啶虫脒	0.100	0.110	0.84
烯酰吗啉	0.600	1.870	2.39
吡唑醚菌酯	0.300	0.150	0.38
多菌灵	0.020	0.026	1.00
戊唑醇	0.050	0.268	4.12
吡虫啉	0.050	0.190	2.92
噻虫嗪	0.100	0.124	0.95
咪鲜胺	0.025	0.095	2.92
除虫脲	0.012	0.040	2.56
敌敌畏	0.10	0.200	1.53
嘧菌酯	-	0.019	-
三唑磷	0.001	0.019	14.60
苯醚甲环唑	-	0.019	-
异菌脲	0.060	0.045	0.57
氯氟氰菊酯	-	0.123	-
联苯菊酯	0.020	0.022	0.84
腐霉利	0.100	0.040	0.30
毒死蜱	0.005	0.067	10.30
甲基对硫磷	0.030	0.280	7.10
甲拌磷	0.003	0.027	6.90

注: -代表无 ARfD 值。

表 6　蔬菜中 22 种农药残留的安全状况
Table 6　Safety status of 22 kinds of pesticide residues in vegetables

农药种类	ADI/(mg/kg)	R_i/(mg/kg)	IFS_C 范围	安全指数评价
甲氨基阿维菌素苯甲酸盐	0.0005	0.0790	0.6900	可接受
氧乐果	0.0003	0.9300	13.5000	不可接受
啶虫脒	0.0700	0.1100	0.0060	可接受
烯酰吗啉	0.2000	1.8700	0.0400	可接受
吡唑醚菌酯	0.0300	0.1500	0.0210	可接受
多菌灵	0.0500	0.0260	0.0020	可接受
戊唑醇	0.0300	0.2680	0.0390	可接受
吡虫啉	0.0600	0.1900	0.0130	可接受
噻虫嗪	0.0800	0.1240	0.0060	可接受
咪鲜胺	0.0100	0.0950	0.0410	可接受
除虫脲	0.0200	0.0400	0.0080	可接受
敌敌畏	0.0040	0.2000	0.2180	可接受
嘧菌酯	0.0150	0.0190	0.0050	可接受
三唑磷	0.0010	0.0190	0.0820	可接受
苯醚甲环唑	0.0100	0.0190	0.0080	可接受
异菌脲	0.0600	0.0450	0.0030	可接受
氯氟氰菊酯	0.0200	0.1600	0.0340	可接受
联苯菊酯	0.0100	0.0460	0.0200	可接受
腐霉利	0.1000	0.0360	0.0010	可接受
毒死蜱	0.0100	0.0320	0.0130	可接受
甲基对硫磷	0.0040	0.1600	0.1740	可接受
甲拌磷	0.0007	0.0270	0.1680	可接受

3　结论与讨论

本研究中呼和浩特市售蔬菜农药残留检出率为 32.3%、超标率 8.8%, 远低于 2016—2020 年天津市报道的市售蔬菜中农药残留状况(检出率 70.54%)[29]、与 2019—2020 年乌兰察布报道的蔬菜农药残留状况相近(检出率 34.7%)[30], 2020—2022 年宁波市报道的市售蔬菜农药残留状况(检出率 66.29%)[31], 说明呼和浩特市售蔬菜整体安全性较高。

从农药检出情况看, 常规农药检出率较高, 以杀虫剂、杀菌剂为主, 虽然常规农药毒性低, 但非科学使用会导致农药在蔬菜上富集, 对人体产生健康危害, 种植户为了经济效益使用, 会导致超标情况发生, 因此, 要加强相关部门监管, 科学指导用药。从不同种类蔬菜检出看, 超标样品主要集中在叶菜, 这与张春荣等[10]研究的结果一致, 原因可能是叶菜叶片薄、表面积大, 农药易通过表皮吸附和气孔渗漏, 同时叶菜生长周期短, 农药代谢周期短较易富集。

从膳食风险评估来看, 本研究采用慢性和急性膳食摄入风险评估法及食品安全指数法对检出的 22 种农药残留进行评估, 该市售卖的蔬菜农药残留除氧乐果以外其他农药慢性摄入风险低, 对人体健康暂不足以构成危害, 虽然氧乐果属不可接受慢性暴露风险, 但在随后的急性膳食暴露风险评估中发现, 所检出的包括氧乐果在内的 22 种农药的%ARfD 值均未超过 100%, 表明所有农药急性摄入风险可接受, 基于上述研究, 针对所有蔬菜中检出的农药, 开展食品安全指数评价, 结果显示, 除氧乐果以外其余农药对蔬菜的安全性影响均可接受, 鉴于氧乐果的安全值较高, 表明其在蔬菜上的安全性低于其他农药, 蔬菜整体安全性上, 茄果、鳞茎、瓜类安全风险较低, 叶菜类安全风险较高, 在日常监测中应重点关注。

参考文献

[1] 孟繁磊, 谭莉, 范宏, 等. 长春市市售蔬菜农药残留污染特征及膳食风险评估[J]. 食品工业, 2024(2): 312–317.
MENG FL, TAN L, FAN H, *et al*. Characteristics of pesticide residue pollution in vegetables sold in Changchun and dietary risk assessment [J]. Food Industry, 2024(2): 312–317.

[2] 周倩倩, 陈丽萍, 徐明飞, 等. 蔬菜 5 种病害登记农药及安全选用对策[J]. 浙江农业科学, 2025, 66(7): 1696–1704.
ZHOU QQ, CHEN LP, XU MF, *et al*. Registered pesticides for 5 kinds of vegetable diseases and countermeasures for safe selection [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2025, 66(7): 1696–1704.

[3] 李海亮, 薛楠, 王剑, 等. 2024 年陕西地区蔬菜农药残留现状与风险分析[J]. 中外食品工业, 2025(6): 60–62.
LI HL, XUE N, WANG J, *et al*. Analysis of the current situation and risk of pesticide pesidues in vegetables in Shaanxi region in 2024 [J]. China & Foreign Food Industry, 2025(6): 60–62.

[4] 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 province in 2022 [J]. Modern Preventive Medicine, 2023, 50(18): 3420–3424.

[5] 刘路, 吴瑞, 申流柱, 等. 毕节市蔬菜农药残留及风险评估[J]. 农技服务, 2023, 40(6): 58–60.
LIU L, WU R, SHEN LZ, *et al*. Pesticide residues and risk assessment of vegetables in Bijie City [J]. Journal of Agricultural Technical Services, 2023, 40(6): 58–60.

[6] 郭蓉, 王玮, 刘存卫, 等. 陕西省部分蔬菜中有机磷农药残留的膳食暴露风险评估[J]. 预防医学, 2018, 30(2): 148–152.
GUO R, WANG W, LIU CW, *et al*. Risk assessment of dietary exposure to organophosphorus pesticide residues in some vegetables in Shaanxi Province [J]. Preventive Medicine, 2018, 30(2): 148–152.

[7] 王栋. 内蒙古某地绿叶蔬菜农药残留及风险评估[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2023.
WANG D. Pesticide residues and risk assessment of green-leaf vegetables in a certain area of Inner Mongolia [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2023.

[8] 刘芳. 乌兰察布市自产蔬菜农药残留检测与膳食暴露风险评估[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2022.
LIU F. Detection of pesticide residues in self-produced vegetables in Ulanqab and risk assessment of dietary exposure [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2022.

[9] 梁靖凯, 单美娜, 侯坤, 等. 内蒙古地区居民蔬菜中农药残留膳食暴露风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(3): 444–450.
LIANG JK, SHAN MN, HOU K, *et al*. Dietary exposure risk assessment of pesticide residues in vegetables among residents in Inner Mongolia [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(3): 444–450.

[10] 张春荣, 赵月, 李倩, 等. 山东省聊城市市售韭菜、芹菜、洋葱中农药残留分析及暴露风险评估[J]. 预防医学论坛, 2023, 29(1): 28–33.

ZHANG CR, ZHAN Y, LI Q, *et al*. Analysis of exposure risk assessment of pesticide residues in leeks, celery and onions sold in Liaocheng City, Shandong Province [J]. Preventive Medicine Forum, 2023, 29(1): 28–33.

[11] 范晓民, 王娇, 刘之炜, 等. QuEChERS-液相色谱-串联质谱法同时测定果蔬中 15 种植物生长调节剂中[J]. 浙江农业科学, 2025, 66(5): 1237–1243.
FAN XM, WANG J, LIU ZW, *et al*. Simultaneous determination of 15 kinds of plants growth regulators in fruits and vegetables by QuEChERS-liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2025, 66(5): 1237–1243.

[12] 罗佳, 张秋萍, 邓景景, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定铁皮石斛中 23 种农药残留[J]. 化学分析计量, 2025, 34(5): 87–93.
LUO J, ZHANG QP, DENG JJ, *et al*. Determination of 23 kinds of pesticide residues in *Dendrobium officinale* by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chemical Analysis and Meterage, 2025, 34(5): 87–93.

[13] 周瑚, 杨顺明, 沈银梅, 等. 岳阳市蔬菜水果中农药残留风险评估[J]. 湖南农业科学, 2025, 12(5): 96–102, 109.
ZHOU H, YANG SM, SHEN YM, *et al*. Risk assessment of pesticide residues in fruits and vegetables in Yueyang City [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2025, 12(5): 96–102, 109.

[14] RAN W, YA Y, YAO D, *et al*. Multiresidue analysis and dietary risk assessment of pesticides in eight minor vegetables from Guizhou, China [J]. Food chemistry, 2021, 380: 131863.

[15] 杨晶, 周艳琳. 基地蔬菜瓜果农药残留分析及膳食风险评估[J]. 中国瓜果, 2025, 38(1): 122–136.
YANG J, ZHOU YL. Analysis of pesticide residues in vegetables and fruits from production bases and dietary risk assessment [J]. China Fruits and Vegetables, 2025, 38(1): 122–136.

[16] UDOVICKI B, TOMIC N, RADUSIN K, *et al*. Cumulative dietary risk assessment of pesticide residues concerning craniofacial alterations in Serbia through fruits and vegetable intake [Z]. Food and Chemical Toxicology, 2025.

[17] DIVYA K, TEJAL M, RUPAL T, *et al*. Determination and dietary risk assessment of 52 pesticide residues in vegetable and fruit samples by GC-MS/MS and UHPLC-QTOF/MS from Gujarat, India [Z]. Journal of Food Composition and Analysis, 2023.

[18] 刘娅婷, 司闯, 舒利贤, 等. 食品安全评估方法的研究进展[J]. 现代食品, 2024, 30(21): 33–35.
LIU YT, SI C, SHU LX, *et al*. Research progress on food safety assessment methods [J]. Modern Food, 2024, 30(21): 33–35.

[19] 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 County based on food safety index method and hzard risk coefficient method [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(7): 244–253.

[20] 马婧妤, 吾建祥, 杨德毅, 等. 金华市茭白农药残留状况及风险评估[J]. 农技服务, 2021, 38(2): 38–40.
MA JY, WU JX, YANG DY, *et al*. Pesticide residue status and risk assessment of *Zizania iatifolia* in Jinhua City [J]. Agricultural Technology Service, 2021, 38(2): 38–40.

[21] 王晨诚, 宇盛好, 彭少杰, 等. 2014—2023 年上海市居民蔬菜和水果中毒死蜱膳食暴露评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(6): 45–51
WANG CC, YU SH, PENG SJ, *et al*. Assessment of dietary exposure to chlorpyrifos in vegetables and fruits among Shanghai residents from 2014 to 2023 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(6): 45–51.

[22] 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 grown in Zhongshan City in 2021 [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2023, 64(2): 455–462.

[23] 严清娜, 喻瑾, 何佩霖, 等. 2022—2023 年重庆市售蔬菜农药残留状况及膳食摄入风险评估[J]. 卫生研究, 2025, 54(2): 310–315, 325.
YAN QN, YU J, HE PL, *et al*. Pesticide residue status of vegetables sold in Chongqing and dietary intake risk assessment from 2022 to 2023 [J]. Journal of Hygiene Research, 2025, 54(2): 310–315, 325.

[24] 聂继云, 李志霞, 刘传德, 等. 苹果农药残留风险评估[J]. 中国农业科学, 2024, 47(18): 3655–3667.
NIE JY, LI ZX, LIU CD, *et al*. Risk assessment of pesticide residues in apples [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2024, 47(18): 3655–3667.

[25] 刘凤娇. 莆田市茶叶中农药残留及膳食风险评估[J]. 农业与技术, 2024, 44(18): 39–42.
LIU FJ. Pesticide residues and dietary risk assessment in tea from Putian City [J]. Agriculture and Technology, 2024, 44(18): 39–42.

[26] 赵杰斌, 邓浩, 徐振林, 等. 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, *et al*. Risk assessment of pesticide residues in vegetables and fruits in Taishan City based on food safety index method [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(6): 277–283.

[27] MOOSAVIAN PS, FEIZI A, ESMAILLZADEH A, *et al*. Association of food security, body mass index, micronutrient adequacy and adherence to alternative healthy eating index 2010 among Iranian households [J]. Nutrition Food Science, 2020, 51(5): 842–852.

[28] 严红梅, 吴超童, 普加云, 等. 食品安全指数法评估云南豇豆农药残留风险[J]. 中外食品工业, 2024(15): 13–15.
YAN HM, WU CT, PU JY, *et al*. Risk assessment of pesticide residues in cowpeas in Yunnan by food-safety index method [J]. China & Foreign Food Industry, 2024(15): 13–15.

[29] 罗莎, 赵帅, 高春海, 等. 2016—2020 年天津市市售蔬菜中农药残留状况及膳食暴露评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(6): 1238–1243.
LUO S, ZHAO S, GAO CH, *et al*. Pesticide residue status and dietary exposure assessment of marketed vegetables in Tianjin from 2016 to 2020 [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(6): 1238–1243.

[30] 刘芳, 朱国华, 韩育梅, 等. 乌兰察布市自产蔬菜农药残留检测与膳食暴露风险评估[J]. 江西农业学报, 2022, 34(7): 182–189.
LIU F, ZHU GH, HAN YM, *et al*. Detection of pesticide residues in self-produced vegetables in Ulanqab City and dietary exposure risk assessment [J]. Journal of Jiangxi Agricultural Sciences, 2022, 34(7): 182–189.

[31] 郭延波, 张琰, 潘胜东, 等. 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, *et al*. Analysis of pesticide residues in commercially available vegetables in Ningbo City from 2020 to 2022 and dietary exposure assessment [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2025, 37(3): 269–277.

(责任编辑: 冯东慧 蔡世佳)