DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts. H20260204005
引用格式: 齐强强，张亚军，刘峰，等. 2023—2025 年宁夏地区冷凉蔬菜中新烟碱类农药的残留状况分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(15): 287–294.
Qi Qiangqiang, Zhang Yajun, Liu Feng, et al. Analysis of the residue status of neonicotinoid pesticides in cold vegetables in Ningxia Region from 2023 to 2025 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(15): 287–294. (in Chinese with English abstract).

2023—2025 年宁夏地区冷凉蔬菜中新烟碱类农药的残留状况分析

齐强强, 张亚军*, 刘　峰, 刘　元, 丁亚磊, 马江涛, 王　龙
[宁夏回族自治区疾病预防控制中心(宁夏回族自治区预防医学科学院), 银川　750001]

摘　要: 目的　调查宁夏地区冷凉蔬菜种植中新烟碱类农药的使用现状, 并评估其在蔬菜样本中的残留水平与安全性。**方法**　通过调查了解使用新烟碱类农药的有效成分、剂型及防治对象, 掌握其在冷凉蔬菜种植中的应用现状; 采集蔬菜样本进行新烟碱类农药残留检测, 分析其检出率、超标率及分布特征。结合居民膳食摄入量, 采用食品安全指数法和危害物风险系数法评估健康风险。**结果**　调查发现 2023—2025 年当地主要使用农药有效成分为吡虫啉、啶虫脒、呋虫胺、噻虫嗪和噻虫胺 5 种单剂或混剂。检测结果与实际使用的新烟碱类农药有效成分高度一致, 5516 份冷凉蔬菜样本的检测结果显示, 新烟碱类农药的总体检出率为 21.68%, 超标率 0.13%。噻虫嗪和啶虫脒的检出率相对较高。不同类别蔬菜的检出率存在差异, 茄果类蔬菜(32.15%)检出率最高, 其次为多年生类蔬菜和豆类蔬菜; 而芽菜类蔬菜、食用菌类和葱蒜类检出率相对较低。2023—2025 年宁夏冷凉蔬菜中新烟碱类农药检出率与超标率持续下降, 银川和固原两市检出率高于其他 3 市, 夏秋季明显高于春冬季。所有检出的新烟碱类农药的安全指数均小于 1、风险系数均小于 1.5, 对消费者健康低风险可接受。**结论**　宁夏冷凉蔬菜中新烟碱类农药残留总体风险较低, 但个别蔬菜(如茄果类蔬菜)及特定农药(如噻虫嗪)检出率偏高。还需持续加强对种植户在农药安全使用方面的指导, 进一步降低农药残留风险。

关键词: 冷凉蔬菜; 新烟碱类农药; 食品安全; 风险评估
中图分类号: TS207.3　　**文献识别码:** A　　**文章编号:** 2095–0381(2026)15–0287–08

Analysis of the residue status of neonicotinoid pesticides in cold vegetables in Ningxia Region from 2023 to 2025

QI Qiang-Qiang, ZHANG Ya-Jun*, LIU Feng, LIU Yuan, DING Ya-Lei, MA Jiang-Tao, WANG Long
(*Ningxia Center for Disease Control and Prevention, Ningxia Hui Autonomous Region Academy of Preventive Medicine, Yinchuan* 750001, *China*)

ABSTRACT: Objective　To investigate the current usage status of neonicotinoid pesticides in cold vegetable

收稿日期: 2026-02-04
基金项目: 宁夏自然科学基金项目(2025AAC030303，2023AAC03713)
第一作者: 齐强强(1984—), 男, 硕士, 副主任检验技师, 主要研究方向为食品理化检验。E-mail: qiqq1148@163.com
***通信作者:** 张亚军(1982—), 男, 硕士, 副主任检验技师, 主要研究方向为食品理化检验。E-mail: yajun50288@163.com

cultivation in Ningxia Region, and evaluate their residue levels and safety in vegetable samples. **Methods** Through investigation and understanding of the active ingredients, formulations and control targets of neonicotinoid pesticides, the current application status in cold vegetable cultivation was grasped. Vegetable samples were collected to detect neonicotinoid pesticide residues, and the detection rates, over-limit rates and distribution characteristics were analyzed. Combined with residents' dietary intake, health risks were evaluated using the index of food safety method and the hazard risk coefficient model. **Results** The investigation identified that the main active ingredients of the local used drugs from 2023 to 2025 were 5 kinds of single or mixed agents: imidacloprid, acetamiprid, dinotefuran, thiamethoxam and clothianidin. The detection results were highly consistent with the active ingredients of neonicotinoid pesticides actually in use. The detection of 5516 cold vegetable samples revealed an overall detection rate of 21.68% for neonicotinoid pesticides, with an over-standard rate of 0.13%. Thiamethoxam and acetamiprid exhibited relatively high detection rates. Detection rates varied among different of vegetables. The detection rate of solanaceous vegetables (32.15%) was the highest, followed by perennial and legume vegetables. The detection rates of sprout vegetables, edible fungi and onion garlic were relatively low. From 2023 to 2025, the detection rate and over-standard rate of neonicotinoid pesticides in Ningxia's cold vegetables continued to decline. The detection rate in Yinchuan and Guyuan was higher than in the other 3 cities, and these rates were significantly higher in summer and autumn compared to spring and winter. The safety index of all detected neonicotinoid pesticides was less than 1, and the risk coefficient was less than 1.5, indicating a low risk to consumer health and acceptability. **Conclusion** The overall risk of nicotinoid pesticide residues in cold vegetables in Ningxia is relatively low. However, the detection rates of certain vegetables (such as solanaceous vegetables) and specific pesticides (such as thiamethoxam) are relatively high. Consequently, it remains essential to enhance guidance for farmers on the safe use of pesticides , thereby further mitigating the risk of pesticide residues.

KEY WORDS: cold vegetables; neonicotinoid pesticides; food safety; risk assessment

0 引 言

冷凉蔬菜，是指在气候冷凉、昼夜温差大的高海拔(800 m 以上)或高纬度地区种植的蔬菜。此类区域独特的气候条件，尤其是显著的昼夜温差，能有效促进蔬菜体内糖分与干物质的积累。宁夏回族自治区整体海拔逾 1000 m，具备发展冷凉蔬菜产业的天然禀赋[1]。得益于这一环境优势，宁夏出产的冷凉蔬菜(如娃娃菜、西蓝花、甘蓝等)普遍具有营养物质丰富、口感清脆甘甜等特点，市场认可度较高。

近年来，随着现代冷链物流体系的完善与设施农业技术的推广，宁夏地区已初步实现蔬菜的四季均衡生产与全年稳定供应[2]。然而，在冷凉蔬菜的集约化生产过程中，为应对病虫害防控压力，新烟碱类农药的使用频率呈上升趋势，其在农产品中的持久性残留问题日益凸显[3−4]。研究表明，残留在蔬菜中的新烟碱类农药及其代谢产物，可能对食品安全及生态环境构成双重风险[5−6]。因此，开展新烟碱类农药使用现状调查和确定其残留水平，有助于为消费者提供安全放心的蔬菜，还能有效保护生态环境。

目前，关于宁夏地区冷凉蔬菜中新烟碱类农药的具体使用现状及其残留水平，尚缺乏系统性的调查数据与科学评估。因此，本研究旨在开展宁夏地区新烟碱类农药使用状况的实地调研及冷凉蔬菜中残留水平的监测分析。该研究不仅有助于掌握当前农药使用的实际状况与残留风险特征，为优化用药管理策略、提升农产品质量安全监管水平提供科学的数据支撑；同时也为推动冷凉蔬菜产业的绿色高质量发展、保障“从农田到餐桌”的食品安全链条，为广大消费者提供宁夏产放心优质蔬菜提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 蔬菜样本采集

通过对宁夏地区农业种植区(农业生产区、农业废弃物处理区)、农资供销主体(农药、种子销售部门)进行实地走访，收集农业种植种类、病虫害防治使用的农药种类、剂型、使用频率及农业废弃物处理等数据信息，并采集蔬菜样本 5516 份。共计蔬菜 11 大类 38 个细类，分别为茄果类蔬菜(茄子、番茄、辣椒、彩椒)、白菜类蔬菜(白菜、甘蓝、菜心、西蓝花)、葱蒜类(韭菜、大葱、洋葱、蒜苗)、瓜类蔬菜(南瓜、黄瓜、西葫芦、冬瓜)、豆类蔬菜(豇豆、菜豆、毛豆)、根菜类蔬菜(萝卜、青萝卜、胡萝卜)、绿叶菜类(菠菜、芹菜、香芹、香菜、茼蒿、油麦菜)、多年生类蔬菜(辣根、鲜黄花菜、螺丝菜)、芽菜类(豌豆芽)、食用菌类蔬菜(平菇、香菇、杏鲍菇)、薯芋类(马铃薯、山药、甘薯)。

1.2　试剂与仪器

12 种新烟碱类杀虫剂混标溶液(1ST022077-100A, 乙腈为溶剂, 天津阿尔塔科技有限公司); 乙腈(色谱纯, 德国 Merck 公司); 氯化钠(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); QuEChERS 用 50 mL 提取管(含 4 g 硫酸镁+1 g 氯化钠+1 g 柠檬酸钠+0.5 g 柠檬酸二钠)和 15 mL 净化管(900 mg 硫酸镁+150 mg N-丙基乙二胺)[技迩(大连)科技公司]; 实验室用水为 Milli-Q 纯水仪一级水。

Waters.Xevo.TQ-s液相色谱-串联质谱仪、ACQUITY™ BEH C18 column (2.1 mm×100 mm, 1.7 μm, 美国 Waters 公司); DT500A 电子天平(感量 0.01 g, 中国江苏常熟长青仪器仪表厂); Milli-Q 纯水仪(美国 Milliproe 公司)。

1.3　样品检测

依据 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》采集样品、遵循四分法取可食部分匀浆后分别转移到两个洁净的聚乙烯瓶中并标记, 置于–18 ℃冷藏保存。采用 QuEChERS-液相色谱-串联质谱法测定蔬菜样本[7–8], 12 种新烟碱类农药的检出限均为 0.003 mg/kg; 同一试样进行平行试验测定, 两次独立测定结果的绝对差值为算术平均值的 5.2%。分别选取每大类蔬菜中 1~2 份, 进行 12 种新烟碱类农药残留检测, 未检出的样本作为基质加标样本(n=6), 加标回收率为 81.5%~104.7%, 相对标准偏差为 2.54%~5.01%。

1.4　健康风险评估

以成人为研究对象, 采用食品安全指数法(index of food safety method, IFS)来评估宁夏地区冷凉蔬菜中新烟碱类农药的安全状态[9–10], 采用危害物风险系数法(hazard risk coefficient model, R)评估宁夏地区冷凉蔬菜新烟碱类农药残留风险[11]。计算如公式(1)~2)所示。

$$\mathrm{IFS}=\frac{c_i\times I}{\mathrm{ADI}\times \mathrm{bw}} \tag{1}$$

$$R=aP+\frac{b}{F}+S \tag{2}$$

式中: IFS 为食品安全指数; c_i 为蔬菜中新烟碱类农药残留量, mg/kg, 以检出值的平均值计算; I 为人均每日蔬菜摄入量(average daily vegetable intake), g/人·d; ADI 为各个农药的每日允许摄入量(acceptable daily intake), mg/(人·d), bw 为人均体重(average body weight), kg; 人均每日蔬菜摄入量和人均体重参考《中国人群暴露手册》(成人卷), 人均每日蔬菜摄入量取 266.5 g/(人·d), 人均体重为 64.1 kg; 农药的 ADI 参考 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》; P 为该种农药残留的超标率; F 为该种农药残留的施检频率; S 为该种农药残留的敏感因子; a 和 b 分别为 P 和 F 相应的权重系数。计算时 a=100, b=0.1, 评估的 12 种农药敏感度一般, 故设 S=1, 按照规定每年均进行抽检, 故设 F=1[12]。

评价标准为: IFS≤1, 该农药对蔬菜安全的风险可以接受, IFS>1, 该种农药对蔬菜安全的风险不可接受; 当 R<1.5, 该种农药处于低度风险, 1.5≤R≤2.5, 该种农药处于中度风险; R>2.5, 该种农药处于高度风险。

1.5　数据处理

本研究采用 Microsoft Excel 2010 进行采样数据管理及检测数据分析。

2　结果与分析

2.1　宁夏产地新烟碱类农药使用种类

调研发现, 宁夏产地冷凉蔬菜种植过程中新烟碱类农药已经广泛使用, 使用情况如表 1 所示, 由吡虫啉、啶虫脒、呋虫胺和噻虫嗪、噻虫胺等有效成分单一或者混配的颗粒剂、乳油、可湿性粉剂和悬乳剂等, 用于防治蚜虫、蓟马、菜青虫、红蜘蛛等多种作物害虫, 还作为种子处理剂或者可湿性粉剂、颗粒剂等撒施、灌根和拌种的方式防治钻心虫、蛴螬、金针虫、地老虎、黑头蛆等地下害虫。新烟碱类作为有效成分, 单剂含量范围从 0.5%~70.0%, 混剂含量范围为 1.2%~50.0%。除啶虫脒、噻虫胺作为有效成分与其他毒性较高农药的混剂确定为中等毒性外, 其余剂型农药均为低毒或者微毒。

2.2　蔬菜中新烟碱类农药残留检出情况

蔬菜样本的检测结果(表 2、3)显示: 5516 份冷凉蔬菜样本中 1196 份样本被检出了新烟碱类农药残留, 总体检出率为 21.68%, 检出了吡虫啉、啶虫脒、噻虫嗪、噻虫胺和呋虫胺等 5 种新烟碱类农药, 与用药调查结果一致。在所检出的新烟碱类农药中, 噻虫嗪检出率居首, 随后依次为啶虫脒、噻虫胺、呋虫胺和吡虫啉。

从表 3 可知, 在南瓜和冬瓜两类蔬菜中均未检出新烟碱类农药残留。此外, 吡虫啉在芽菜类、食用菌类、葱蒜类 3 大类蔬菜以及螺丝菜、山药等 11 种细类蔬菜中均未检出; 啶虫脒在芽菜类、食用菌类、葱蒜类 3 大类蔬菜及辣根、螺丝菜、马铃薯等 11 类细类蔬菜中亦未检出; 噻虫嗪在芽菜类、食用菌类两大类蔬菜和辣根、螺丝菜、毛豆、洋葱等 10 类细类蔬菜中未检出; 呋虫胺在菠菜、芹菜、茼蒿、油麦菜、菜豆、豇豆、韭菜等 7 个细类蔬菜中未检出; 噻虫胺在芽菜类、食用菌类两大类蔬菜及辣根、螺丝菜、毛豆、大葱、洋葱等 9 类蔬菜中未检出。而在其他各类蔬菜中均有不同程度的检出。各类蔬菜中新烟碱类农药的检出率存在差异, 依次为: 茄果类(32.15%)、多年生类蔬菜(26.26%)、豆类蔬菜类(22.97%)、根菜类(19.62%)、白菜类(19.42%)、绿叶菜类(19.12%)、薯芋类

(18.18%)、瓜菜类(16.81%)、芽菜类(7.89%)、食用菌类(7.02%)、葱蒜类(6.36%)。在共计 5516 份蔬菜样本中, 有 2 份大葱样本中噻虫嗪、2 份西葫芦和 3 份西蓝花样本中啶虫脒的残留量超过了 MRL, 超标率为 0.13%。其余 99.87% (5509/5516)蔬菜样本中各类新烟碱类农药的检测值均低于 GB 2763—2021 许可限值。

2.3 不同年份宁夏冷凉蔬菜中新烟碱类农药残留情况

2023—2025 年宁夏冷凉蔬菜中新烟碱类农药的检出及超标情况如图 1 所示。从图 1 可知, 连续 3 年的检出率和超标率均有明显下降, 相较于 2023 年, 检出率下降了 19.62%, 超标率下降了 72.22%。这可能得益于绿色防控体系的深化应用与农药减量增效行动的持续推进, 宁夏冷凉蔬菜产业中新烟碱类农药的施用已全面纳入安全可控的规范化轨道。然而, 面对依然存在的个别超标风险, 仍需保持高度警惕, 实施精准治理。

2.4 宁夏五市冷凉蔬菜新烟碱类农药残留区域差异分析

宁夏 5 个市蔬菜样品的新烟碱类农药残留情况如图 2 所示。由图 2 可知, 5 市蔬菜样本中新烟碱类农药的检出率和超标率范围分别为 19.98%~22.72%、0.09%~0.18%。其中吴忠市、石嘴山市和中卫市 3 个市的样本中新烟碱类农药残留检出率和超标率均低于银川市和固原市 2 个市, 检出率相差不大, 银川市和固原市蔬菜样本中新烟碱类农药残留检出超标率接近吴忠市、石嘴山市和中卫市的 2 倍。显示出不同区域在种植结构、病虫害发生规律及用药习惯上存在明显差异, 区域性风险分布不均衡。

表 1 宁夏产地种植病虫害防治中新烟碱类农药使用情况

Table 1 Usage of neonicotinoid pesticides in the prevention and control of plant diseases and insect pests in Ningxia

有效成分	剂型	加工剂型	施用方式	有效成分含量/%	防治对象	毒性
吡虫啉	单剂	颗粒剂、乳油、可湿性粉剂等	喷雾	2.0~70.0	蚜虫、蓟马、蚧壳虫、红蜘蛛、根蛆、蓟马、食心虫、小菜蛾、钻心虫等	低毒
	混剂	悬乳剂	喷雾	8.0~16.0	蚜虫、小菜蛾等	低毒
啶虫脒	单剂	水分散粒剂、乳油、可湿性粉剂	喷雾、灌根	10.0~70.0	蚜虫、蓟马、蚧壳虫、白粉虱、钻心虫、菜青虫、红蜘蛛、斑潜蝇、蚂蚁等	低毒
	混剂	微乳剂、水乳剂、水分散粒剂等	喷雾、灌根	3.0~12.0	菜青虫、蓟马、蚜虫、红蜘蛛、食心虫、菜青虫、卷叶虫、钻心虫、蛴螬等	微毒、低毒、中等毒性
噻虫嗪	单剂	悬乳剂、种子处理剂等	喷雾、灌根、拌种	2.0~70.0	蓟马、蚜虫、根蛆、韭蛆、跳甲、腻虫、小黑飞、蚧壳虫、斑潜蝇、蛴螬等	低毒
	混剂	悬乳剂、水分散粒剂、微乳剂等	喷雾、灌根	2.5~40.0	蚜虫、蓟马、红蜘蛛、白粉虱、小菜蛾、食心虫、菜青虫、小黑飞、绿叶蝉等	微毒、低毒
噻虫胺	单剂	颗粒剂和种子处理剂等	撒施、拌种或包衣	1.0~18.0	蛴螬、金针虫、地老虎、黑头蛆、蓟马	低毒
	混剂	颗粒剂、水分散粒剂、悬乳剂	撒施、喷雾、沟槽	1.2~15.0	蛴螬(马铃薯、沟施)、韭蛆、黑头蛆、地老虎、金针虫、葱蛆、蝼蛄、蓟马等	低毒、中等毒性
呋虫胺	单剂	悬乳剂、可溶粒剂、颗粒剂	喷雾、撒施	0.50~50.0	蚜虫、韭蛆、蓟马、菜青虫、臭虫、蟑螂、蚊子等	微毒、低毒
	混剂	悬乳剂	喷雾	10.0~50.0	粉烟虱(番茄)、蚜虫、蓟马、瓢虫等	低毒

表 2 2023—2025 年宁夏冷凉蔬菜中 12 种新烟碱类农药检出情况

Table 2 Detection of 12 kinds of neonicotinoid pesticides in cold vegetables in Ningxia from 2023 to 2025

检出农药种类	检出份数	检出率/%	蔬菜大类检出数/类	蔬菜大类检出率/%	蔬菜细类检出数/类	蔬菜细类检出率/%
吡虫啉	142	2.57	9	81.82	25	65.79
啶虫脒	334	6.06	8	72.73	25	65.79
噻虫嗪	357	6.47	9	81.82	28	73.68
呋虫胺	252	4.57	11	100.00	27	71.05
噻虫胺	269	4.88	10	90.91	27	71.05

注: 噻虫啉、氯噻啉、哌虫啶、环氧虫啶、氟啶虫胺腈和氟吡呋喃酮等 7 种农药未检出。

表 3　各种宁夏冷凉蔬菜中新烟碱类农药检出情况

Table 3　Detection of neonicotinoid pesticides in various cold vegetables in Ningxia

蔬菜大类	蔬菜细类	样本数	检出样本数	蔬菜细类检出率/%	蔬菜大类检出率/%	单份样本中最多检出农药种类
芽菜类	豌豆芽	38	3	7.89	7.89	1
薯芋类	马铃薯	386	71	18.39	18.18	2
	山药	32	6	18.75		2
	甘薯	44	7	15.91		2
食用菌类	平菇	173	12	6.94	7.02	1
	香菇	126	9	7.14		1
	杏鲍菇	100	7	7.00		1
多年生类蔬菜	辣根	55	2	3.64	26.26	1
	鲜黄花菜	183	75	40.98		3
	螺丝菜	59	1	1.69		1
茄果类	茄子	251	60	23.90	32.15	2
	辣椒	514	181	35.21		2
	彩椒	156	62	39.74		2
	番茄	603	187	31.01		3
绿叶菜类	菠菜	149	25	16.78	19.12	2
	芹菜	323	38	11.76		2
	香芹	123	32	26.02		3
	香菜	123	37	30.08		3
	茼蒿	110	19	17.27		2
	油麦菜	129	32	24.81		2
瓜菜类	南瓜	104	0	0.00	16.81	0
	黄瓜	129	32	24.81		2
	冬瓜	55	0	0.00		0
	西葫芦	69	28	40.58		2
根菜类	萝卜	108	18	16.67	19.62	2
	青萝卜	92	18	19.57		2
	胡萝卜	65	16	24.62		2
豆类蔬菜	菜豆	108	26	24.07	22.97	3
	豇豆	34	16	47.06		1
	毛豆	67	6	8.96		1
葱蒜类	大葱	95	3	3.16	6.36	1
	韭菜	75	6	8.00		1
	洋葱	30	5	16.67		1
	蒜苗	20	6	30.00		2
白菜类	菜心	129	27	20.93	19.42	2
	白菜	236	44	18.64		3
	西蓝花	178	34	19.10		3
	甘蓝	245	48	19.59		2
合计		5516	1196	21.68		

2.5　宁夏冷凉蔬菜中新烟碱类农药的残留季节差异分析

2023 年—2025 年宁夏冷凉蔬菜样本中新烟碱类农药的检出及超标情况如图 3 所示。从图 3 可知, 夏秋两季的检出率明显高于春冬两季, 与春季相比, 夏、秋和冬季的检出率分别高出了 72.26%、66.16%和 21.58%。同时, 超标样本也集中在夏秋两季, 超标率分别为 0.16%和 0.18%。由此可知, 季节变化对宁夏冷凉蔬菜中新烟碱类农药残留有一定影响, 呈现出显著的“夏秋高发”特征, 可能与高温高湿环境下的病虫害防治压力激增有关, 春冬两季的检出率与超标率均维持在极低水平, 说明在低温或休耕时段, 农药使用频次大幅降低, 残留风险得到了有效遏制。

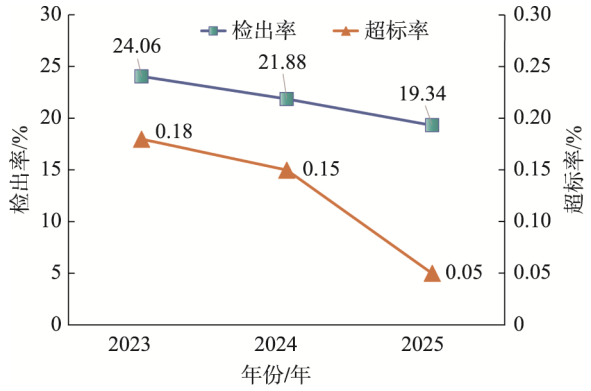


图 1 2023—2025 年宁夏冷凉蔬菜中新烟碱类农药每年的检出及超标情况

Fig.1 Detection and exceeding standard of neonicotinoid pesticides each year in cold vegetables in Ningxia from 2023 to 2025

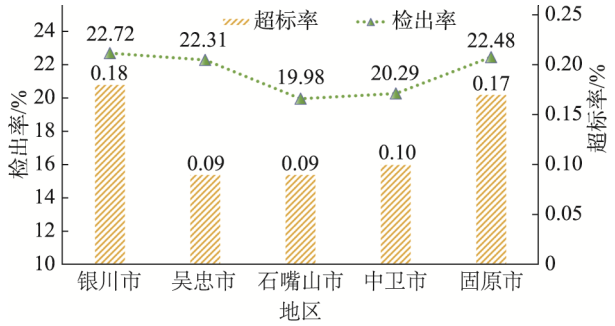


图 2 宁夏不同地区冷凉蔬菜中新烟碱类农药残留情况

Fig.2 Residues of neonicotinoid pesticides in cold vegetables in different regions of Ningxia

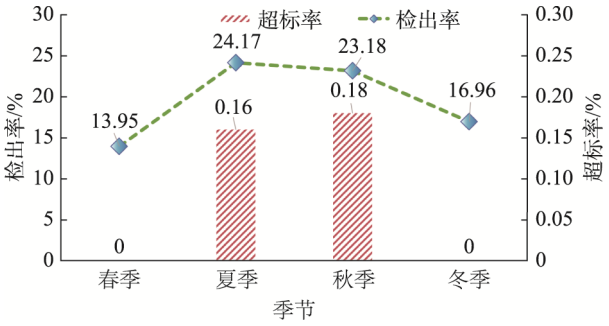


图 3 宁夏不同季节冷凉蔬菜中新烟碱类农药残留的检出及超标情况

Fig.3 Detection and exceeding standard of neonicotinoid pesticide residues in cold vegetables in different seasons of Ningxia

2.6 宁夏冷凉蔬菜中新烟碱类农药残留的风险评估

采用 IFS 评估蔬菜的安全状态，采用 *R* 评估蔬菜农药残留风险，结果如表 4 所示，从表 4 可知，检出的 5 种农药的 IFS 为 0.0054~0.0279，均小于 1.0，说明 2023—2025 年宁夏冷凉蔬菜中新烟碱类农药的残留对人体健康的潜在风险可接受[13−14]。同时，检出的 5 种新烟碱类农药的 *R* 均小于 1.5，属于低风险农药。IFS 指数法与危害物风险系数法的双重评估结果一致，表明宁夏冷凉蔬菜中新烟碱类农药残留水平安全可控，未构成显著的膳食健康风险。

表 4 宁夏冷凉蔬菜检出 5 种新烟碱类农药的安全状况及风险程度

Table 4 Safety status and risk degree of 5 kinds of neonicotinoid pesticides in cold vegetables of Ningxia

检出农药种类	ADI/(mg/kg bw)	c_i/(mg/kg)	$\bar{c}$ /(mg/kg)	IFS	安全指数评价	*P*/%	*R*	风险程度
吡虫啉	0.06	0.083~0.350	0.23	0.0159	可接受	0	1.10	低风险
啶虫脒	0.07	0.0063~0.7500	0.47	0.0279	可接受	0.091	1.19	低风险
噻虫嗪	0.08	0.016~0.870	0.35	0.0182	可接受	0.036	1.14	低风险
噻虫胺	0.10	0.0074~0.2500	0.13	0.0054	可接受	0	1.10	低风险
呋虫胺	0.20	0.042~1.170	0.64	0.0133	可接受	0	1.10	低风险

3 讨 论

3.1 宁夏冷凉蔬菜种植过程中广泛使用新烟碱类农药

调查发现，目前市场上可购得多种剂型的新烟碱类农药产品，其有效成分主要为吡虫啉、啶虫脒、呋虫胺、噻虫嗪和噻虫胺，包括乳油、悬乳剂、可湿性粉剂、颗粒剂及种子处理剂等，这些农药已广泛使用在蔬菜种植中。根据对病虫害的防治方式不同，施用的方法有喷雾、灌根、撒施、拌种和包衣等。作为一类新型、高效、低毒的杀虫剂[15]，新烟碱类农药对部分特定害虫表现出优异防效，例如，啶虫脒、噻虫嗪是防治蓟马类与粉虱类害虫的特效药，呋虫胺则对蝇虫类害虫具有突出防效，该类农药在一定程度上可替代高毒的有机磷和有机氯农药，其在农业生产中的推广使用反映了农药结构向更安全、更环保方向转变[16]。

3.2 宁夏冷凉蔬菜中新烟碱类农药残留状况及潜在风险

所有蔬菜样本中新烟碱类农药的总体残留检出率为 21.68% (1196/5516)，超标率仅为 0.13% (7/5516)，超标样本包括 2 份噻虫嗪超标的洋葱、2 份西葫芦及 3 份啶虫脒超标的西蓝花，其余 5509 份蔬菜样本中农药残留水平均低于 GB 2763—2021 的规定，表明该地区蔬菜中新烟碱类农药残留总体处于可控范围。5 种新烟碱类农药检出率在 2.57%~6.47%之间，明显低于近年来国内其他地区相关研究报道的水平[17−18]。从不同农药残留的检出情况分析，噻

虫噻和啶虫脒的残留检出比例相对偏高, 均超过 6.00%, 主要基于噻虫嗪和啶虫脒对蚜虫、飞虱、蓟马、潜叶蝇、蛴螬、金针虫等均有良好的靶向防治效果[16], 以土壤灌根、叶面喷雾和拌种等方式被施用后, 被转运到蔬菜各部位, 短时间内未全部降解被检出, 同样噻虫嗪作为种衣使用也存在土壤污染的风险[19]。新烟碱类农药在辣椒、彩椒、番茄、鲜黄花菜、香菜、西葫芦、豇豆和蒜苗等共 8 类蔬菜中的检出率均高于 30%, 这一现象可能与新烟碱类农药半衰期较长, 在环境中未能完全降解有关。尤其是蚜虫、白粉虱和烟粉虱等具刺吸式口器的害虫, 常在茄果类蔬菜(如番茄、辣椒、茄子、彩椒)生长中后期造成严重危害, 农户为了保障产量往往首选新烟碱类农药进行防治, 因此残留较多[20–21]。呋虫胺在菌棚中主要用于防治菇蚊、蚤蝇等害虫, 以保护菌丝子与子实体的生长[22], 并控制可能传播病害的卫生害虫。山药中检出呋虫胺, 可能与用药不规范或者土壤残留污染有关[23]。另外, 小菜蛾、菜青虫和蚜虫是白菜类蔬菜和绿叶菜类蔬菜的主要害虫, 常用乐果及高效氯氰菊酯乳油等喷雾防治。由于新烟碱类农药在该类作物上的使用相对受限, 其检出率一般低于辛硫磷、氯氰菊酯高[24]。因此, 还需继续加强对蔬菜种植者的合理用药科普, 依据农药特性与蔬菜不同生育期的虫害特点精准施药, 避免农药滥用现象的发生[25–26]。尽管新烟碱类农药残留整体处于安全范围, 但较高的检出比例反映出种植环节用药行为不规范的问题依然突出, 主要源于种植户对内吸性、残留期等药剂特性认知不足, 忽视了长期低剂量摄入的潜在风险[27]。因此, 亟需强化全链条监管与科学用药培训, 提升生产者安全意识, 从源头严控质量, 全方位提升蔬菜种植者对安全用药的认知水平和施药技术水平, 杜绝超标蔬菜流入市场[20]。

3.3　不同年份、不同季节和不同地区冷凉蔬菜中新烟碱类农药残留存在差别

本研究显示, 2023—2025 年宁夏冷凉蔬菜中新烟碱类农药残留的检出率与超标率均呈现下降趋势, 2025 年较 2023 年分别下降 19.62%和 72.22%, 这可能得益于农药监管强化与绿色防控技术推广。区域分析表明, 银川市与固原市冷凉蔬菜中新烟碱类农药残留的检出率高于吴忠、石嘴山和中卫 3 市, 提示区域间在用药习惯或监管力度上存在差异。季节性数据显示, 夏、秋两季检出率分别较春季高出 72.26%和 66.16%, 且所有超标样本均集中于该两季, 这可能与这两季环境条件下病虫害发生加重、施药频次增加有关[28]。要结合区域特征与季节气候变化规律, 实施精准化农药使用与管理, 以进一步保障蔬菜质量安全。

3.4　宁夏冷凉蔬菜中 5 种检出新烟碱类农药残留对人体健康风险的影响

2023—2025 年宁夏冷凉蔬菜中检出的 5 种新烟碱类农药的 IFS 均小于 1, R 也均小于 1.5, 表明宁夏冷凉蔬菜中新烟碱类农药残留水平对消费者健康是可接受的。反映了近年来宁夏对农药使用监管体系的不断完善和科学用药技术的推广应用初见成效[29]。同时, 还要进一步优化农药使用结构, 加快绿色替代进程[30–31], 推动农产品质量安全与生态环境保护协同发展[32–33]。

4　结　论

宁夏冷凉蔬菜种植中实际使用新烟碱类农药有效成分与检测出的残留成分高度一致。本研究所采集的样本中, 99.87%的样本中新烟碱类农药残留符合国家标准, 当前该地区冷凉蔬菜中新烟碱类农药残留风险对消费者健康风险可接受。噻虫嗪和啶虫脒因防治效果好、应用范围广, 成为检出率最高的两种成分。但还有 0.13%的样本超标提示在个别作物生长周期或施药方式上还不规范。要强化种植主体的科学施药素养, 结合防虫网等物理屏障与生物防治策略的推广应用, 有助于减少化学农药使用强度, 从而在生产源头实现蔬菜质量安全的有效管控。

参考文献

[1] 李旭霞. 宁夏地区冷凉蔬菜栽培现状调查研究[J]. 蔬菜, 2022(11): 54–57.
Li Xuxia. The investigation of cultivated present situation about cold vegetable in Ningxia area [J]. Vegetables, 2022(11): 54–57.

[2] 周向阳, 张银定. 宁夏蔬菜产业现状与高质量发展对策研究[J]. 北方园艺, 2024(15): 141–145.
Zhou Xiangyang, Zhang Yinding. Research on the development status and high-quality development countermeasures of vegetable industry in Ningxia [J]. Northern Horticulture, 2024(15): 141–145.

[3] Bonmatin J M, Giorio C, Girolami V, et al. Environmental fate and exposure; neonicotinoids and fipronil [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2015, 22(1): 35–67.

[4] 陈武瑛, 李凯龙, 李宗云, 等. 3 种烟碱类农药在露地芹菜中的沉积、分布和消解规律[J]. 农药, 2022, 61(5): 364–369.
Chen Wuying, Li Kailong, Li Zongyun, et al. Deposition, distribution and dissipation dynamics of 3 neonicotinoid pesticides under open field celery cultivation [J]. Agrochemicals, 2022, 61(5): 364–369.

[5] 张亮, 付岩, 王全胜, 等. 呋虫胺及其代谢物在稻米中的低温储藏稳定性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(22): 8821–8826.
Zhang Liang, Fu Yan, Wang Quansheng, et al. Study on the storage stability of dinotefuran and its metabolites in rice under low temperature [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(22): 8821–8826.
under low temperature [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(22): 8821–8826.

[6] Zhang Fu, Zou Lixia, Zhang Yunhui, *et al.* Neonicotinoid pesticides dinotefuran increase honeybee body temperature and accelerate honeybee (*Apis mellifera*) translocation of contaminants into hives to enhance ecotoxicity risk [J]. Environmental Chemistry and Ecotoxicology, 2026, 8: 631–641.

[7] 王秀丽, 张梅超, 倪瑞敏, 等. QuEChERS-液相色谱-串联质谱法同时测定蔬菜中 7 种新烟碱类农药[J]. 农药, 2024, 63(4): 254–260.
Wang Xiuli, Zhang Meichao, Ni Ruimin, et al. Simultaneous determination of 7 neonicotinoid pesticides in vegetables by QuEChERS-liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Agrochemicals, 2024, 63(4): 254–260.

[8] 尹丹阳, 解宇菲, 胡佳薇, 等. 超高效液相色谱串联质谱法同时测定蔬

菜中 12 种新烟碱类农药残留量[J]. 中国药业, 2024, 33(21): 67–71.
Yin Danyang, Xie Yufei, Hu Jiawei, et al. Simultaneous determination of 12 neonicotinoid pesticide residues in vegetables by UPLC-MS/MS [J]. China Pharmaceuticals, 2024, 33(21): 67–71.

[9] 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 Jiebin, Deng Hao, Xu Zhenlin. Risk assessment of pesticide residues in vegetables and fruits from Taishan City based on the index of food safety [J]. Modern Food Science & Technology, 2023, 39(6): 277–283.

[10] Jung D E, Yang S B. Development and application of the agricultural product safety index in major countries and imported food safety index for Korea [J]. Foods, 2025, 14(14): 2461.

[11] 王锦铭, 刘萍, 王小娜, 等. 基于食品安全指数法和危害物风险系数法评估无锡市市售蔬菜农药残留风险特征[J]. 中国食品卫生杂志, 2025, 37(5): 454–462.
Wang Jinming, Liu Ping, Wang Xiaona, et al. Characteristics and risk assessment of pesticide residues in commercially available vegetables in Wuxi City based on the index of food safety method and hazard risk coefficient model [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2025, 37(5): 454–462.

[12] 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 Xiaohan, Lin Min, Wan Na, et al. Risk assessment of pesticide residues in celery in Hainan based on food safety index and hazard risk coefficient method [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(1): 112–121.

[13] 于帅, 周旭东, 王俊杰, 等. 基于食品安全指数法评估新疆地区鸡肉与鸡蛋中兽药残留的膳食暴露风险[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(13): 299–306.
Yu Shuai, Zhou Xudong, Wang Junjie, et al. Assessment of the dietary exposure risk of veterinary drug residues intake in chickens and eggs in Xinjiang based on the food safety index approach [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(13): 299–306.

[14] 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 Xiaojin, Chen Dewei, Fu Gangyi, 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 & Technology, 2024, 40(7): 244–253.

[15] 尹全, 李忆, 刘炜, 等. 成都市生产基地蔬菜农药残留状况及原因分析[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(1): 131–134.
Yin Quan, Li Yi, Liu Wei, et al. Analysis of pesticide residues in vegetables of Chengdu city production base [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2021, 60(1): 131–134.

[16] 王宣仓, 张娟, 王菁, 等. 设施茄子化肥农药减施增效模式探索[J]. 蔬菜, 2021(9): 43–46.
Wang Xuancang, Zhang Juan, Wang Jing, et al. Exploration on the mode of reducing chemical fertilizer and pesticide application and increasing efficiency in greenhouse eggplant [J]. Vegetables, 2021(9): 43–46.

[17] 刘芳, 朱国华, 韩育梅. 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 Fang, Zhu Guohua, Han Yumei. Detection and dietary risk assessment of pesticide residues in self-produced vegetables in Ulanqab City [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2022, 34(7): 182–189.

[18] 黎承, 赖宣丞, 叶海涓, 等. 2022 年海南省市售蔬菜中烟碱类农药残留状况分析及膳食暴露评估[J]. 职业与健康, 2023, 39(22): 3076–3080.
Li Cheng, Lai Xuancheng, Ye Haimei, et al. Analysis of nicotine pesticide residues in commercial vegetables in Hainan Province in 2022 and evaluation of dietary exposure [J]. Occupation and Health, 2023, 39(22): 3076–3080.

[19] Sheridan A B, Johnson E J, Vallat-Michel A J, et al. Thiamethoxam soil contaminations reduce fertility of soil-dwelling beetles, *Aethina* tumida [J]. Chemosphere, 2023, 339: 139648.

[20] 王诗琦, 张旭东, 张媛媛, 等. 2022—2023 年辽宁省食用农产品监督抽检情况分析[J]. 食品安全导刊, 2024(29): 16–20.
Wang Shiqi, Zhang Xudong, Zhang Yuanyuan, et al. Analysis of the supervision and sampling of edible agricultural products in Liaoning Province from 2022 to 2023 [J]. China Food Safety Magazine, 2024(29): 16–20.

[21] 冀钦陇, 张海英, 李惠霞, 等. 噻虫嗪棉花种子包衣的残留动态及与棉蚜防效的相关性分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2024, 59(1): 178–184, 193.
JI Qinlong, Zhang Haiying, Li Huixia, et al. Analysis of thiamethoxam residue dynamics in cotton seed coating and its correlation with cotton aphid control efficiency [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2024, 59(1): 178–184, 193.

[22] 马洪涛. 香菇蚊蝇类害虫的防治技术与推广应用[J]. 中国农技推广, 2020, 36(2): 68–69.
Ma Hongtao. Prevention and control technology and popularization of mosquitoes and flies in mushrooms [J]. China Agricultural Technology Extension, 2020, 36(2): 68–69.

[23] 程浩淼, 成凌, 朱腾义, 等. 新烟碱类农药在土壤中环境行为的研究进展[J]. 中国环境科学, 2020, 40(2): 736–747.
Cheng Haomiao, Cheng Ling, Zhu Tengyi, et al. Research progress on environmental behaviors of neonicotinoids in the soil [J]. China Environmental Science, 2020, 40(2): 736–747.

[24] 秦迎旭, 张亚军, 赵玉婷, 等. 宁夏 2013—2014 年新鲜蔬菜中农药残留现状的调查与分析[J]. 宁夏医科大学学报, 2017, 39(5): 606–608.
Qin Yingxu, Zhang Yajun, Zhao Yuting, et al. Investigation and analysis of pesticide residues in fresh vegetables in Ningxia in 2013—2014 [J]. Journal of Ningxia Medical University, 2017, 39(5): 606–608.

[25] Rogers H, De La Iglesia B, Zebin T, et al. Advancing precision agriculture: domain-specific augmentations and robustness testing for convolutional neural networks in precision spraying evaluation [J]. Neural Computing and Applications, 2024, 36(32): 20211–20229.

[26] 于书研, 胡光阳, 籍风磊, 等. 病虫害识别及精准施药机器人的设计与实现[J]. 实验室研究与探索, 2025, 44(12): 113–117.
Yu Shuyan, Hu Guangyang, Ji Fenglei, et al. Design of robot for pest and disease recognition and precision spraying and its implementation [J]. Research and Exploration in Laboratory, 2025, 44(12): 113–117.

[27] Djekkoun N, Lalau J D, Bach V, et al. Chronic oral exposure to pesticides and their consequences on metabolic regulation: role of the microbiota [J]. European Journal of Nutrition, 2021, 60(8): 4131–4149.

[28] Muchomba M, Muindi E M, Naomi K, et al. Overview of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), economic importance, ecological requirements, and production constraints in Kenya [J]. International Journal of Plant & Soil Science, 2026, 38(1): 193–214.

[29] Li Ruining, Yu Yanli. Impacts of green production behaviors on the income effect of rice farmers from the perspective of outsourcing services: evidence from the rice region in northwest China [J]. Agriculture, 2022, 12(10): 1682.

[30] Bashir A, Manzoor M M, Bhatti F, et al. Ecological functions, inter-organismal interactions, and underlying mechanisms of fungal endophytes [J]. Plant and Soil, 2025, 514(1): 65–86.

[31] Flexa-Ribeiro B, Garcia M D N Jr, Silva A C D J, et al. Essential oil from *Curcuma longa* leaves: using nanotechnology to make a promising eco-friendly bio-based pesticide from medicinal plant waste [J]. Molecules, 2025, 30(5): 1023.

[32] Melikoglu M. Deep eutectic solvent-based microextraction for the determination of emerging contaminants in food samples: a review [J]. Microchemical Journal, 2025, 216: 114799.

[33] Sami N, Yasin D. Nanobiotechnology: a promise for sustainable agriculture ensuring food security [J]. Food and Humanity, 2026, 6: 101043.

(责任编辑: 韩晓红 蔡世佳)