DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251218001
引用格式: 商蕾, 范梦超, 吕俊庆, 等. 2022—2024 年邢台市售果蔬中新烟碱类农药残留分析及膳食暴露评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(12): 287–295.
SHANG L, FAN MC, LV JQ, *et al*. Analysis of nicotinoid pesticide residues and dietary exposure assessment in fruits and vegetables sold in Xingtai City from 2022 to 2024 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(12): 287–295. (in Chinese with English abstract).

2022—2024 年邢台市售果蔬中新烟碱类农药残留分析及膳食暴露评估

商 蕾*, 范梦超, 吕俊庆, 齐志彩, 王育灿, 戚义东, 庞俊华, 李成成
[邢台市疾病预防控制中心(市卫生监督所), 邢台 054000]

摘 要: 目的 探讨邢台市售果蔬中新烟碱类农药的污染情况, 评估新烟碱类农药残留对居民膳食暴露风险。**方法** 采集 2022—2024 年邢台市市售的蔬菜水果 210 份, 利用超高效液相色谱-串联三重四级杆质谱仪对 12 种新烟碱类杀虫剂进行检测, 根据 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》判定新烟碱类农药的检出和超标情况。采用点评估法, 对新烟碱类农药进行慢性和急性膳食暴露风险评估。通过食品安全指数, 对检出农药开展危害评价。**结果** 本次监测的 12 种新烟碱类杀虫剂, 有 8 种存在不同程度的检出, 检出率在 0.5%~34.8%, 超标率在 1.0%~6.7%, 并且一个样品中有多种农药检出的情况。12 种新烟碱类杀虫剂的慢性和急性膳食摄入风险值均小于 100%, 单一农药的食品安全指数均小于 1, 总体食品安全指数也小于 1。**结论** 邢台市市售蔬菜水果中, 新烟碱类杀虫剂有一定的检出和超标, 但本次监测的膳食摄入风险均在可接受的范围内, 整体安全性较好。

关键词: 蔬菜; 水果; 新烟碱类; 膳食摄入; 风险评估

Analysis of nicotinoid pesticide residues and dietary exposure assessment in fruits and vegetables sold in Xingtai City from 2022 to 2024

SHANG Lei*, FAN Meng-Chao, LV Jun-Qing, QI Zhi-Cai, WANG Yu-Can, QI Yi-Dong, PANG Jun-Hua, LI Cheng-Cheng
[*Xingtai Center for Disease Prevention and Control* (*Xingtai Health Supervision Institute*), *Xingtai* 054000, *China*]

ABSTRACT: Objective To investigate the pollution conditions of neonicotinoid pesticides in fruits and vegetables sold in Xingtai, and assess the dietary exposure risk of neonicotinoid pesticide residues to local residents. **Methods** A total of 210 vegetable and fruit samples were collected from markets in Xingtai from 2021 to 2024. The 12 kinds of neonicotinoid insecticides were determined by ultra performance liquid chromatography-tandem triple quadrupole mass spectrometry. The detection and over-limit situations of neonicotinoid pesticides were evaluated in accordance

收稿日期: 2025-12-18
基金项目: 河北省医学科学研究课题计划资助项目(20251400)
第一作者/*通信作者: 商蕾(1985—), 女, 硕士, 副主任技师, 主要研究方向为食品理化检验。E-mail: xts6011@163.com

with GB 2763—2021 *National food safety standard-Maximum residue limits for pesticides in food*. Chronic and acute dietary exposure risk assessments of neonicotinoid pesticides were conducted by the point assessment method. Hazard evaluation of the detected pesticides was performed by the food safety index. **Results** Among the 12 kinds of neonicotinoid insecticides monitored in this study, 8 were detected at varying levels, with detection rates ranging from 0.5% to 34.8% and exceedance rates from 1.0% to 6.7%. Moreover, multiple pesticides were detected in a single sample. Both the chronic and acute dietary intake risk values of the 12 kinds of neonicotinoid insecticides were below 100%, the food safety index of each individual pesticide was less than 1, and the overall food safety index was also below 1. **Conclusion** Certain neonicotinoid insecticides are detected and found exceeding standard limits in vegetables and fruits sold in Xingtai City. However, the dietary intake risks identified in this monitoring are all within acceptable ranges, indicating an overall good safety level.

KEY WORDS: vegetables; fruits; nicotinoid; dietary intake; risk assessment

0 引 言

蔬菜水果因富含膳食纤维、维生素、矿物质等多种重要的营养物质，成为居民生活中不可缺少的食品种类，在人类膳食平衡中起着重要的作用，并且消费量也呈逐年上升的趋势。为保证蔬菜水果的品质和产量，防治和根除其生长过程中病虫害，普遍使用大量的农药[1]。但是，使用者对农药的毒性认识不足，对于国家限用、禁用的高毒、剧毒农药因药效明显而频繁使用，这些可能导致居民食用受污染的食物使得各类农药在人体内不断地蓄积，从而威胁人体的健康[2−4]。新烟碱类农药应用于 20 世纪 90 年代，因高效广谱等优势，迅速成为全球主要使用的杀虫剂，在我国以吡虫啉、噻虫嗪等品种为核心，应用广泛。新烟碱类主要作用于昆虫神经系统突触后膜烟碱乙酰胆碱受体及周围神经，使昆虫保持兴奋、麻痹而死亡的一类神经活性农药，常用于蔬菜、水果等植物成长过程中病虫害的防治[5]。目前全球农业区土壤、地表地下水、食品中普遍检出其残留，我国东部农业密集区污染尤为突出[6−7]。新烟碱类杀虫剂在植物体中易被吸收，并且难以去除，导致此类农药在植物性食品中通过膳食摄入对人体健康存在潜在的影响[8]，对人类的神经系统、肝脏、生殖系统、内分泌系统等都会造成毒性[9]。近期已有研究在人类的生物样本中检出新烟碱类杀虫剂及其代谢物质[10]，因此，对蔬菜水果中新烟碱类杀虫剂残留情况，评估其膳食暴露对人体健康的潜在风险十分重要[11]，同时为健康风险管控提供重要的科学支撑。

为了解邢台地区蔬菜水果中新烟碱类杀虫剂的污染情况及人体暴露风险水平，本研究在 2022—2024 年，对市售的210份蔬菜水果中12种新烟碱类农药残留情况进行污染分析，并对其健康风险进行膳食暴露评估，研究蔬菜水果中农药残留对人体潜在的急性、慢性暴露危害，并进行食品安全性评价，为本地区监管部门制定新烟碱类农药的管理措施提供科学支持，为当地居民蔬菜水果的健康食用提供风险预警。

1 材料与方法

1.1 样品采集

在 2022—2024 年间，采集邢台地区超市、便利店、农贸市场等不同地方市售的蔬菜和水果样品 210 份，具体品种包括叶菜类(81 份)、根茎类(14 份)、茄果类(18 份)、甘蓝类(23 份)、豆类(9 份)、仁果类(9 份)、核果类(9 份)、浆果类(30 份)和热带水果(17 份)等 9 种食品类别。

1.2 试剂与仪器

乙腈、甲酸(色谱纯，德国默克公司)；12 种新烟碱类标准品(质量浓度 1000 μg/mL，农业部环境保护科研监测所)；QuEChERS 萃取盐包(上海安谱实验科技股份有限公司)；QuEChERS 净化管(体积 2 mL 上海安谱实验科技股份有限公司)；实验用水(蒸馏水，香港屈臣氏集团)。

UPLC H CLASS/XEVO TQD 超高效液相色谱-串联三重四极杆质谱仪[沃特世科技(上海)有限公司]；VORIEX GENIE2 涡旋振荡器(德国 IKA 公司)；FA2004 万分之一电子天平(上海精密科学仪器有限公司)；GM200 刀式研磨仪(德国莱驰公司)；KQ-600E 超声波清洗仪[小美超声仪器(昆山)有限公司]；X-3R 高速冷冻离心机[赛默飞世尔科技(中国)有限公司]。

1.3 检验方法与判定依据

按照《国家食品污染和有害因素风险监测工作手册》[12]中的检验方法，采用超高效液相色谱-串联三重四极杆质谱仪，对 12 种新烟碱类杀虫剂含量进行测定。新烟碱类杀虫剂的检出和超标情况，根据 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》规定的残留限量进行判定。

1.4　实验室质量控制

实验过程中每 10 份样品包含一个平行样品和空白样品, 同时每批次实验都带有高、中、低 3 个浓度水平的加标和不同蔬菜水果基质的标准物质, 平均回收率为 86.7%~110.0%, 测定不同蔬菜水果基质的标准物质也在规定的数值内, 各方面保证检测结果准确可靠。

1.5　膳食暴露风险评估

以农药残留每日可接受的摄入量(acceptable daily intake, ADI)作为慢性暴露评估的指导值; 农药残留急性参考剂量(acute reference dose, ARfD)作为急性暴露评估的指导值。结合城市居民蔬菜水果的日消费量和平均体重[13–14], 与 12 种新烟碱类农药残留量的浓度数据进行整合, 分别计算农药残留的慢性膳食摄入风险(%ADI)和急性膳食摄入风险(%ARfD), 对人体摄入蔬菜水果进行暴露风险评估。%ADI 或%ARfD 的值越小, 表明慢性或急性膳食摄入风险越小; 反之, 则越大。当%ADI 或%ARfD≥100%时, 表示慢性或急性膳食风险不可接受, 反之则表示风险可以接受[15–17]。

食品安全指数(index of food safety, IFS)和总体 IFS 是用来评价蔬菜水果中某一种农药残留和总体农药残留对人群健康风险的危害程度[18]。当二者的数值越小, 则说明一种或总体的农药残留安全风险越小; 当二者的值大于等于 1 时, 说明一种或总体的农药残留对人体的健康风险超出了可接受的限度, 对人体造成了危害; 反之, 则表示风险可以接受。

具体计算如公式(1)~(6):

$$\mathrm{Exp}=\frac{R\times F}{\mathrm{BW}} \tag{1}$$

式中: Exp 为每日农药暴露量, mg/kg; R 为果蔬消费量, kg, 根据《2019 年中国卫生健康统计年鉴》推荐的数据为 0.048 kg[13]; F 为农药残留数据的平均含量, mg/kg; BW 为居民体质量, kg, 按成人 60 kg 计算:

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

式中: ADI 为 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》查询得出中, mg/kg・BW:

$$\mathrm{ESTI}=\frac{C\times L}{\mathrm{BW}} \tag{3}$$

式中: ESTI 为某种农药的短期摄入量, mg/kg; C 为农药残留检测的最高含量, mg/kg; L 为果蔬的高端消费量, kg, 根据《2019 年中国卫生健康统计年鉴》提供的居民果蔬日消费量的 97.5 百分位点值, 0.40 kg[13]:

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

式中: ARfD 根据《JMPR 评估农药 ADI 和 ARfD 清单》[18]查询得出, mg/kg・BW:

$$\mathrm{EDI}_c=R\times F\times E\times P \tag{5}$$

式中: EDIc 为农药实际日摄入量(estimated daily intake), mg/kg; E 为蔬菜水果的可食部分因子, 默认为 1; P 为蔬菜水果的加工处理因子, 默认为 1。

$$\mathrm{IFS}=\frac{\mathrm{EDIc}\times f}{\mathrm{ADI}\times \mathrm{BW}} \tag{6}$$

式中: f 为农药安全摄入量的校正因子, 默认为 1。

$$\text{总体 IFS}=\frac{\sum_{i=1}^{n}\mathrm{IFS}}{n} \tag{7}$$

式中: n 为农药种类的数量。

1.6　数据处理

运用 Excel 2016 和 Origin 2024 统计软件对果蔬中农药残留污染水平的实验数据进行处理和分析, 若新烟碱类农药在果蔬中的检出值低于检出限时, 定义为未检出, 对于未检出的数据大于数据总量的 60%时, 统计时用 1/2 检出限替代[19]。计数资料用%表示, 计量资料采用分位数表示果蔬中新烟碱类农药的污染水平差异。

2　结果与分析

2.1　方法学验证

本研究待测物的离子化模式采用(electrospray ionization positive mode, ESI^+)标准溶液直接进样, 确定目标物的母离子和子离子, 采用外标法进行定量分析, 12 种新烟碱类农药的检出限为 0.0030 mg/kg, 定量限为 0.010 mg/kg, 实验过程中 12 种农药的线性关系良好。为了验证方法的准确度, 以蔬菜水果的阴性样品为基质, 添加低、中、高不同浓度水平的标准进行加标实验, 同时对蔬菜水果的有证标准物质进行测定, 测定加标回收率为 86.7%~110%, 有证标准物质也在规定的数值内。综上所述, 本研究方法适用于新烟碱类农药的定量分析。具体标准溶液多反应监测(multi-reaction monitoring, MRM)色谱图、质谱条件和线性范围等, 详见图 1、表 1 和表 2。

2.2　新烟碱类杀虫剂的检出情况

2022—2024 年,共监测蔬菜水果样品 210 份, 新烟碱类杀虫剂 12 种, 除了环氧虫啶、哌虫啶、氟啶虫胺腈和氟吡呋喃酮未检出外, 其余 8 种新烟碱类农药均有不同程度的检出。其中, 噻虫胺检出率最高达到 34.8%, 噻虫嗪、吡虫啉、啶虫脒次之, 分别为 29.1%、18.6%和 14.8%; 其余 4 项新烟碱类农药检出率均低于 4%。8 种新烟碱类农药检出的平均值介于 0.00374~0.08510 mg/kg, 最大值介于 0.0772~4.4700 mg/kg, 其中噻虫胺检出的平均值和最大值在 8 种新烟碱类杀虫剂中是最高的, 12 种新烟碱类杀虫剂检出、超标及各分位值的具体情况, 详见表 3。

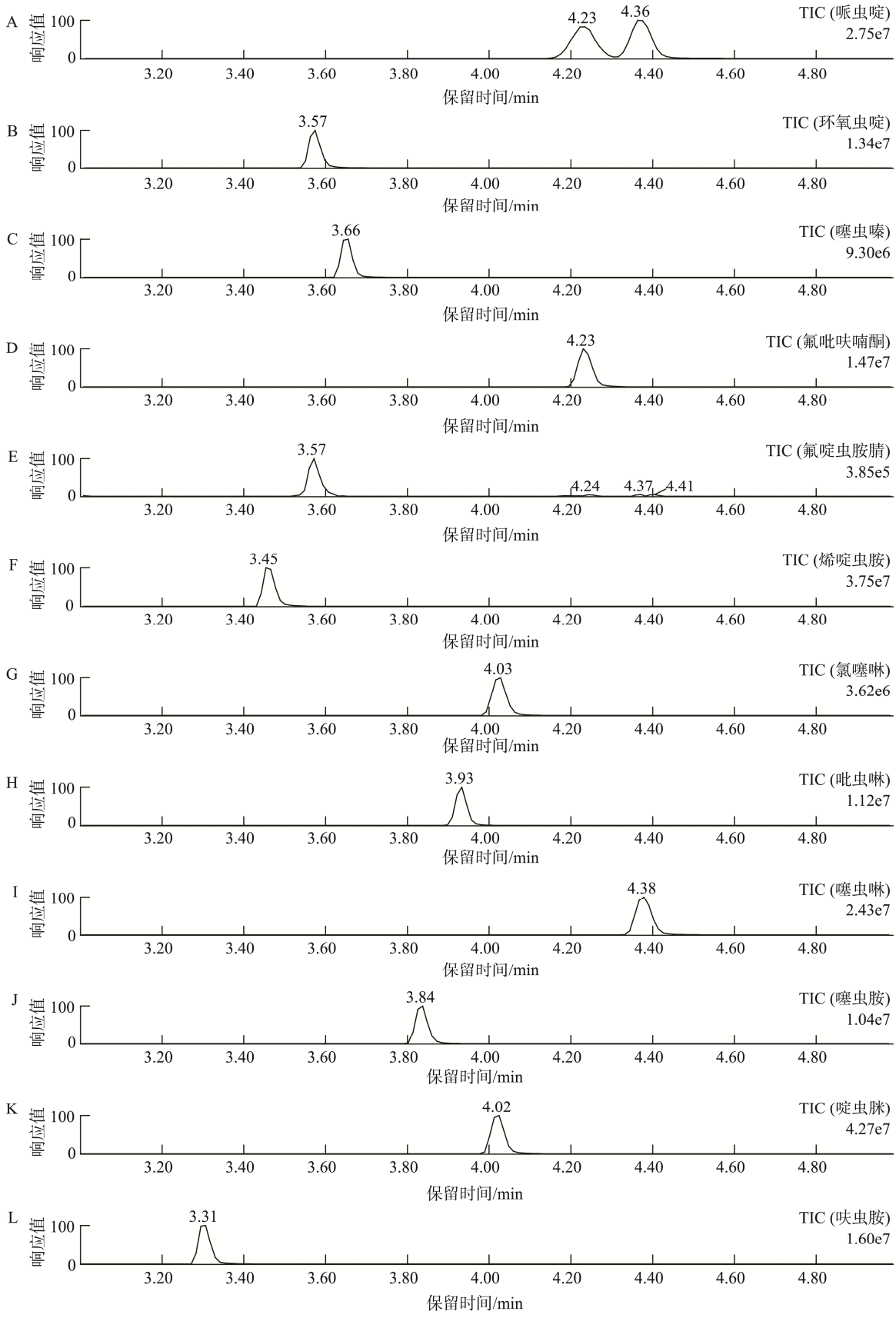


图 1 标准溶液 MRM 色谱图

Fig.1 MRM chromatograms of standard solution

表 1　12 种新烟碱类农药的质谱条件

Table 1　Mass spectrometry conditions for 12 kinds of neonicotinoid pesticides

化合物	母离子(*m*/z)	定量离子(*m*/z)	定性离子(*m*/z)	锥孔电压/V	离子碰撞电压/eV
氟啶虫胺腈	278.0	173.9	153.9	56	28/28
氟吡呋喃酮	289.0	126.1	90.0	38	20/20
哌虫啶	367.2	137.1	263.1	34	22/22
噻虫啉	253.0	126.0	90.1	40	24/24
噻虫胺	250.0	169.1	132.0	24	14/14
烯啶虫胺	271.1	225.1	126.0	30	24/24
呋虫胺	203.1	129.0	157.0	22	12/12
啶虫脒	223.1	126.0	56.2	34	12/20
吡虫啉	256.1	175.1	209.1	28	20/16
氯噻啉	262.0	181.0	122.1	22	12/12
噻虫嗪	292.0	211.1	181.1	18	10/10
环氧虫啶	323.2	126.0	151.1	34	42/42

表 2　12 种新烟碱类农药的线性方程、标准物质和加标回收率

Table 2　Linear equations, reference materials and spiked recoveries of 12 kinds of neonicotinoid pesticides

化合物	线性方程	相关系数(*r*)	标准物质/(mg/kg)		加标回收率/%
			真值范围	测定值	
哌虫啶	*Y*=4878.06*X*–914.222	0.999	0.031~0.051	0.0412	95.9
噻虫啉	*Y*=12407.7*X*–1568.46	0.998	0.029~0.049	0.0490	98.6
噻虫胺	*Y*=1216.52*X*+168.431	0.999	0.038~0.064	0.0632	109.2
烯啶虫胺	*Y*=3042.81*X*–28.7068	0.999	0.027~0.045	0.0276	86.7
呋虫胺	*Y*=3643.13*X*–114.186	0.994	0.036~0.060	0.0528	95.8
啶虫脒	*Y*=10210.1*X*–86.4738	0.998	0.044~0.072	0.0604	107.0
吡虫啉	*Y*=1750.54*X*+74.5599	0.998	0.042~0.070	0.0670	110.0
氯噻啉	*Y*=2128.78*X*+378.562	0.999	0.039~0.065	0.0578	100.0
噻虫嗪	*Y*=3387.5*X*+73.3399	0.998	0.037~0.061	0.0564	102.7
环氧虫啶	*Y*=2646.52*X*–137.469	0.998	0.017~0.029	0.0278	98.0
氟啶虫胺腈	*Y*=91.2995*X*–682.191	0.997	0.031~0.053	0.0476	96.6
氟吡呋喃酮	*Y*=3285.32*X*–227.433	0.996	0.038~0.062	0.0584	100.0

表 3　12 种新烟碱类农药残留的检出及超标情况

Table 3　Detection and over-limit situations of 12 kinds of neonicotinoid pesticide residues

化合物	样品数/份	检出数/份	检出率/%	超标数/份	超标率/%	平均值/(mg/kg)	P_{50}/(mg/kg)	P_{75}/(mg/kg)	P_{95}/(mg/kg)	P_{99}/(mg/kg)	$P_{99.5}$/(mg/kg)	最大值/(mg/kg)
呋虫胺	210	7	3.3	0	0.0	0.00591	0.0045	0.0045	0.0045	0.0938	0.1040	0.1240
啶虫脒	210	31	14.8	2	1.0	0.02810	0.0045	0.0045	0.1030	0.4520	0.4620	1.9400
噻虫胺	210	73	34.8	14	6.7	0.08510	0.0045	0.0133	0.4380	1.2800	1.4700	4.4700
噻虫啉	210	4	1.0	0	0.0	0.00620	0.0045	0.0045	0.0045	0.0506	0.1720	0.3680
吡虫啉	210	39	18.6	2	1.0	0.08190	0.0045	0.0045	0.2330	3.1300	3.6600	4.4200
氯噻啉	210	1	0.5	0	0.0	0.00439	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.2130
烯啶虫胺	210	1	0.5	0	0.0	0.00374	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0772
噻虫嗪	210	61	29.1	4	1.9	0.08480	0.0045	0.0145	0.2600	1.8800	3.0800	3.8700
环氧虫啶	210	0	0.0	0	0.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
哌虫啶	210	0	0.0	0	0.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
氟啶虫胺腈	210	0	0.0	0	0.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
氟吡呋喃酮	210	0	0.0	0	0.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

注: ND 表示未检出。

2.3 不同类别果蔬中新烟碱类杀虫剂的检出情况

在蔬菜方面，叶菜类蔬菜中有 6 种新烟碱类杀虫剂有不同程度的检出，其中噻虫胺检出率最高达到 48.15%，其次为噻虫嗪 39.51%，啶虫脒 22.22%，吡虫啉 19.75%，烯啶虫胺最少仅为 1.23%；根茎类蔬菜只有噻虫胺、吡虫啉和噻虫嗪 3 种新烟碱类农药有检出，检出率分别为 42.86%、14.29%、7.14%；茄果类蔬菜中噻虫胺的检出率达到 72.22%，其次为吡虫啉 61.11%，噻虫嗪 50.00%，啶虫脒 33.33%，噻虫啉 5.56%；豆类蔬菜中新烟碱类杀虫剂检出 6 种，其中噻虫胺检出率最高，达到 66.67%，其余 5 种的检出率在 33.33%~11.11%；甘蓝类蔬菜中新烟碱类农药检出率在 4.35%~21.74%；

在水果方面，仁果类在本次研究中主要是苹果，新烟碱类农药主要是啶虫脒和噻虫嗪的检出，检出率分别为 33.33%和 22.22%；核果类水果是樱桃，新烟碱类农药仅有吡虫啉和啶虫脒的检出，检出率均为 11.11%；浆果类水果主要是草莓、猕猴桃和桑葚，新烟碱类农药只有噻虫胺、噻虫嗪和啶虫脒的检出，检出率在 6.67%~13.33%；热带水果是香蕉和杨梅，新烟碱类农药有 4 种检出，其中噻虫胺和噻虫嗪检出率均为 23.53%，吡虫啉检出率 17.65%，噻虫啉检出率 5.88%。

在本研究中发现，蔬菜中噻虫胺、噻虫嗪和吡虫啉在每一类蔬菜中均有检出，啶虫脒除了在根茎类蔬菜中未检出外，其余几类也有检出的情况；水果中新烟碱类杀虫剂使用频率较高的是啶虫脒、噻虫胺和噻虫嗪；此外，环氧虫啶、哌虫啶、氟啶虫胺腈和氟吡呋喃酮在蔬菜水果中均未检出。这说明在 12 种新烟碱类杀虫剂中，使用频率较高的是噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉和啶虫脒。详见表 4。

2.4 蔬菜水果中多种农药混用情况

通过本研究发现，在 145 份蔬菜中，检出 1 种农药的有 36 份，24.8%；检出 2 种农药的有 35 份，24.1%；检出 3 种农药的有 21 份，14.5%；检出 4 种以上农药的有 7 份，4.8%。通过研究得出，检出 2~4 种农药残留的样品共有 62 份，占比 42.8%。在 65 份水果中，检出 1 种农药的有 12 份，18.5%；检出 2 种农药的有 5 份，7.7%；检出 3 种农药的有 2 份，3.1%；检出 2~4 种农药残留的样品有 7 份，占比 10.8%。所以，在实际生产中，种植者为了更好的达到蔬菜水果防病防虫的要求，普遍存在多种农药混用的情况。详见图 2、图 3。

表 4 不同蔬菜水果中新烟碱类农药的检出情况

Table 4 Detection situation of neonicotinoid pesticides in different kinds of fruits and vegetables

食品种类	样品数/份	12 种新烟碱类农药的检出率/%							
		呋虫胺	啶虫脒	噻虫胺	噻虫啉	吡虫啉	氯噻啉	烯啶虫胺	噻虫嗪
叶菜类	81	7.41	22.22	48.15	0.00	19.75	0.00	1.23	39.51
根茎类	14	0.00	0.00	42.86	0.00	14.29	0.00	0.00	7.14
茄果类	18	0.00	33.33	72.22	5.56	61.11	0.00	0.00	50.00
甘蓝类	23	13.04	4.35	21.74	0.00	17.39	0.00	0.00	21.74
豆类	9	0.00	11.11	66.67	22.22	33.33	11.11	0.00	22.22
仁果类	9	0.00	33.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.22
核果类	9	0.00	11.11	0.00	0.00	11.11	0.00	0.00	0.00
浆果类	30	0.00	10.00	6.67	0.00	0.00	0.00	0.00	13.33
热带水果	17	0.00	0.00	23.53	5.88	17.65	0.00	0.00	23.53

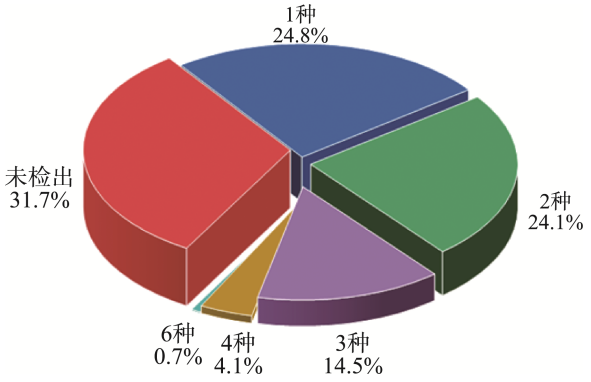


图 2 蔬菜中不同农药残留同时检出情况

Fig.2 Simultaneous detection situation of different pesticide residues in vegetables

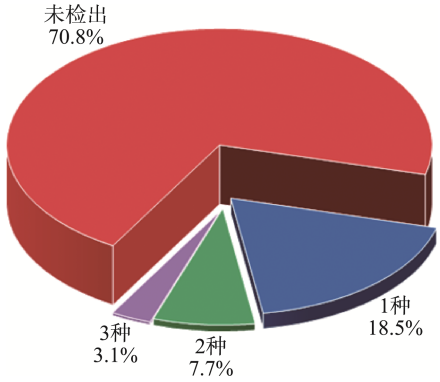


图 3 水果中不同农药残留同时检出情况

Fig.3 Simultaneous detection situation of different pesticide residues in fruits

2.5　蔬菜水果中新烟碱类杀虫剂膳食摄入风险评估

因环氧虫啶、哌虫啶、氟啶虫胺腈、氟吡呋喃酮在所测样品中均未检出, 因此, 这 4 种农药的膳食暴露风险评估忽略不计。通过研究发现, 新烟碱类杀虫剂的%ADI 均小于 1.0%, 远远小于规定的 100%, 表明蔬菜水果中新烟碱类农药残留的慢性膳食摄入风险是可以接受的; 由于啶虫脒、氯噻啉、烯啶虫胺缺乏 ARfD 的数据, 因此对其急性暴露风险不予评价, 其余 5 种农药残留的%ARfD 值分别为: 噻虫啉(8.18%)、吡虫啉(7.37%)、噻虫嗪(5.16%), 噻虫胺(2.98%)、呋虫胺(0.08%), 均小于 100%, 急性暴露风险也在可控的范围内。详见表 5。

2.6　食品安全指数评价

本研究结合蔬菜水果中新烟碱类农药残留的检出情况和膳食暴露风险评估的数据, 使用 IFS 模型评价单一种农药对人体健康安全风险的可接受程度, 以及蔬菜水果整体的新烟碱类农药残留的安全性进行评价。通过研究发现新烟碱类农药的 IFS 的范围值在 0.00000564~0.00109000, 总体 IFS 值为 0.000451, 远远低于 1.0, 说明采集的蔬菜水果样品中检出的新烟碱类农药残留对消费者的安全风险在可接受的范围内, 蔬菜水果中新烟碱类农药残留总体的安全风险可控。

表 5　蔬菜水果中新烟碱类农药膳食摄入风险评估

Table 5　Dietary intake risk assessment of neonicotinoid pesticides in vegetables and fruits

化合物	慢性膳食暴露风险			急性膳食暴露风险			IFS		
	Exp/(mg/kg)	ADI/(mg/kg・BW)	%ADI	ESTI/(mg/kg)	ARfD/(mg/kg・BW)	%ARfD	EDIc	IFS	总体 IFS
呋虫胺	0.00000473	0.200	0.00236	0.00083	1.0	0.08	0.000284	0.00002360	0.000451
啶虫脒	0.00002248	0.070	0.03210	0.0129	-	-	0.001350	0.00032100	
噻虫胺	0.00006810	0.100	0.06810	0.0298	1.0	2.98	0.004080	0.00068100	
噻虫啉	0.00000496	0.010	0.04960	0.00245	0.030	8.18	0.000298	0.00049600	
吡虫啉	0.00006550	0.060	0.10900	0.02950	0.40	7.37	0.003930	0.00109000	
氯噻啉	0.00000351	0.025	0.01400	0.00142	-	-	0.000211	0.00014040	
烯啶虫胺	0.00000299	0.530	0.00056	0.000515	-	-	0.000180	0.00000564	
噻虫嗪	0.00006780	0.080	0.08480	0.02580	0.50	5.16	0.004070	0.00084800	

注: -表示无相关数据。

3　讨论与结论

新烟碱类杀虫剂的污染状况和居民膳食暴露的风险评估对于保障食品安全非常重要[20]。本研究通过对 210 份蔬菜水果中新烟碱类农药残留进行研究发现, 12 种新烟碱类农药中检出 8 种。其中, 检出较多的有噻虫胺、噻虫嗪、吡虫啉和啶虫脒, 检出率分别为 34.8%、29.1%、18.6%、14.8%。宋韶芳等[21]对广州市蔬菜中新烟碱类农药残留的研究中发现, 噻虫胺、噻虫嗪和吡虫啉在蔬菜中的检出率较高; 王锦铭等[22]对无锡市售蔬菜中的新烟碱类农药残留进行研究发现, 检出较多的 5 种新烟碱类杀虫剂, 分别为吡虫啉、啶虫脒、呋虫胺、噻虫胺、噻虫嗪。中山市温馨在 2021 年对种植蔬菜中农药残留及膳食风险评估进行研究也得出相似结果[23]。李苗等[24]、熊碧等[25]、SUN 等[26]对蔬菜样品中新烟碱类农药残留进行检测, 也发现噻虫嗪、吡虫啉、噻虫胺和啶虫脒 4 种新烟碱类农药均有不同程度检出。综合国内现有研究来说, 各类相关结果均与本研究结果相一致。

此外, 本研究还发现, 在蔬菜水果中存在 2 种或 2 种以上新烟碱类农药残留的检出情况。在 145 份蔬菜中, 检出 2~4 种新烟碱类农药残留的样品有 62 份, 占比 42.5%; 在 65 份水果中, 检出 2~4 种农药残留的样品有 7 份, 占比 10.8%。CRADDOCK 等[27]研究发现, 美国农业部抽查水果样品中 5%以上的苹果、芹菜和樱桃样本中检测出 2 种或 2 种以上新烟碱杀虫剂。曹小丽等[28]、赵莹等[29]在市售的水果中也检出了 2 种及 2 种以上的农药残留的情况。因此, 在实际种植应用中, 为防止蔬菜水果出现病虫害, 保障食品的品质, 普遍存在多种农药混用的情况。但是, 多种新烟碱类农药的混合使用给监管部门的监管和食品安全风险评估也带来了一定的风险。

通过研究还发现, 蔬菜水果中 8 种新烟碱类农药残留的%ADI 均小于 1.0%, 远远小于规定的 100%, 慢性膳食摄入风险是可以接受的; 噻虫啉、吡虫啉、噻虫嗪、噻虫胺、呋虫胺的%ARfD 均小于 100%, 急性暴露风险也在可控的范围内; 新烟碱类农药残留的食品安全指数也远远低于 1.0, 对消费者的安全风险可控, 总体安全风险处于较低水平, 安全质量良好。宋韶芳等[21]研究发现, 蔬菜中新烟碱类农药对各年龄组居民的非致癌风险商值小于阈值 1, 暴露于所有新烟碱类的非致癌风险商值总和也小于 1。谭颖等[30]研究也发现, 北京市售蔬菜水果中新烟碱类农药在蔬菜水果中普遍存在, 摄食蔬菜水果暴露的非致癌风险商值小于 1, 总体安全可控。以上研究结果均与本研究相吻合,

说明食品安全的风险监测的监管力度日益加大，种植中农药使用的监督不断完善，通过多效举措保障了食品安全。

综上所述，邢台市市售蔬菜水果中监测的新烟碱类杀虫剂，仍有个别样品农药残留超标的情况；虽然总体安全风险处于较低水平整体可控，但仍需要相关部门继续加大监管和宣传力度，尽可能降低蔬菜水果中新烟碱类农药的残留，减少人群的暴露风险。

参考文献

[1] 毛敏. 厦门市售特色农产品水果中 64 种农药残留研究与分析[J]. 现代食品, 2022, 28(3): 163–166.
MAO M. Research and analysis of 64 pesticide residues in fruits of characteristic agricultural products in Xiamen [J]. Modern Food, 2022, 28(3): 163–166.

[2] 梁靖凯, 蒲云霞. 蔬菜与水果中农药残留现状及风险评估工作进展[J]. 公共卫生与预防医学, 2022, 33(3): 123–126.
LIANG JK, PU YX. Current status of pesticide residues invegetables and fruits and progress in risk assessment [J]. Journal of Public Health and Preventive Medicine, 2022, 33(3): 123–126.

[3] 方玉林, 次仁旦措, 白玛央吉, 等. 2022—2024 年日喀则市市售农产品农药残留调查与分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(10): 285–292.
FANG YL, CI RDC, BAI MYJ, *et al*. Investigation and analysis of pesticides residues in commercial agricultural products in Shigatse from 2022 to 2024 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(10): 285–292.

[4] 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.

[5] 李昌兴, 刘东东, 高一星, 等. 新烟碱类杀虫剂的研究与开发进展[J]. 化学试剂, 2023, 45(3): 29–36.
LI CX, LIU DD, GAO YX, *et al*. Research and development progress of neonicotinoid insecticides [J]. Chemical Reagents, 2023, 45(3): 29–36.

[6] 马杰, 郝莹, 郭礼强, 等. 食品中新烟碱类杀虫剂污染与控制研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(1): 278–286.
MA J, HAO Y, GUO LQ, *et al*. Research progress on pollution and control of neonicotinoid insecticides in food [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(1): 278–286.

[7] ZHAO Y, YANG J, REN J, *et al*. Exposure level of neonicotinoid insecticides in the food chain and the evaluation of their human health impact and environmental risk: An overview [J]. Sustainability, 2020, 12(18): 7523..

[8] WATANABE E. Review of sample preparation methods for chromatographic analysis of eonicotinoids in agricultural and environmental matrices: From classical to state-of-the-art methods [J]. Journal of Chromatography A, 1643. DOI: 10.1016/j.chroma.2021.462042

[9] 马跃, 毛亚萍, 刘芙, 等. 新烟碱类杀虫剂对人类及哺乳动物的生殖毒性作用[J]. 沈阳医学院学报, 2022, 24(2): 191–195.
MA Y, MAO YP, LIU F, *et al*. Reproductive toxicity of neonicotinoid insecticides to humans and mammals [J]. Journal of Shenyang Medical College, 2022, 24(2): 191–195.

[10] MAHAI G, WAN YJ, XIA W, *et al*. Exposure assessment of neonicotinoid insecticides and their metabolites in Chinese women during pregnancy: A longitudinal study [J]. Science of the Total Environment, 2022, 18: 151806.

[11] 胡宁恩, 李小东, 李瑞芬, 等. 2020—2023 年浙江省温州市市售果蔬中农药残留的膳食暴露风险评估[J]. 上海预防医学, 2025, 37(1): 72–78.
HU NN, LI XD, LI RF, *et al*. Risk assessment of dietary exposure to pesticide residues in commercially available fruits and vegetables in Wenzhou, Zhejiang Province from 2020 to 2023 [J]. Shanghai Journal of Preventive Medicine, 2025, 37(1): 72–78.

[12] 国家食品安全风险评估中心. 国家食品污染及有害因素风险监测工作手册[M]. 北京: 国家食品安全风险评估中心, 2024.
National Center for Food Safety Risk Assessment. National food contamination and harmful factors risk monitoring manual [M]. Beijing: National Center for Food Safety Risk Assessment, 2024.

[13] 国家卫生健康委员会. 2019 年中国卫生健康统计年鉴[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2019.
State Health Commission of PRC. China health statistical yearbook 2019 [M]. Beijing: China Union Medical College Press, 2019.

[14] 国家卫生计生委疾病预防控制局. 中国居民营养与慢性病状况报告[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2015.
Bureau of Disease Prevention and Control of the National Health Planning Commission. Report on the status of Chinese residents' nutrition and chronic diseases [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2015.

[15] 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. Assessment of pesticide residues pollution and dietary exposure in commercially available vegetables in Zaozhuang city from 2016 to 2020 [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2021, 31(20): 2545–2550.

[16] 张惠珠, 张翠霞. 2016 年—2019 年市售苹果中农药残留状况及膳食摄入风险评估[J]. 中国卫生检验杂志, 2021, 31(19): 2410–2413.
ZHANG HZ, ZHANG CX. Current situation and dietary intake assessment of pesticide residues in apples from markets, 2016—2019 [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2021, 31(19): 2410–2413.

[17] 王姝婷, 何华丽, 刘少颖, 等. 食品安全指数法评估杭州地区市售草莓中农药残留风险[J]. 中国卫生检验杂志, 2021, 31 (23): 2917–2920.
WANG ST, HE HL, LIU SY, *et al*. Risk assessment of pesticide residues in strawberry in Hangzhou region on food safety indexes [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2021, 31(23): 2917–2920.

[18] Word Health Organization. Inventory of evaluations performed by the Joint Meeting on Pesticide Residues (JMPR) [DB/OL]. (2014-01-16). https: //apps.who.int/pesticide residues-jmpr-database/Home/Range/All

[19] 王绪卿, 吴永宁, 陈君石. 食品污染物监测低水平数据处理问题[J]. 中华预防医学杂志, 2002, 36(4): 278–279.
WANG XQ, WU YN, CHEN JS. Low-level data processing problems in food contaminant monitoring [J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2002, 36(4): 278–279.

[20] YANG BX, TU ML, WANG S, *et al*. Neonicotinoid insecticides in plant-derived foodstuffs: A review of separation and determination methods based on liquid chromatography [J]. Food Chemistry, 2024, 444. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.138695

[21] 宋韶芳, 张维蔚, 张玉华, 等. 广州市 21 种市售蔬菜新烟碱类杀虫剂膳食风险评估[J]. 预防医学, 2023, 35(9): 781–785.
SONG SF, ZHANG WW, ZHANG YH, *et al*. Dietary risk assessment of 21 types of neonicotinoid insecticides in vegetables sold in Guangzhou [J]. Preventive Medicine, 2023, 35(9): 781–785

[22] 王锦铭, 刘萍, 诸芸, 等. 无锡市市售蔬菜中新烟碱类杀虫剂残留分析及膳食风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(8): 322–328.
WANG JM, LIU P, ZHU Y, *et al*. Analysis and dietary risk assessment of neonicotinoid insecticides in commercially available vegetables in Wuxi [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2024, 15(8): 322–328.

[23] 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*.Assessment of pesticide residues and dietary intake risk of vegetables planted in Zhongshan city in 2021 [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2023, 64(2): 455–462.

[24] 李苗, 金萍, 代菲, 等. 苏州市蔬菜水果中新烟碱类农药残留监测[J]. 食品工业, 2023, 44(7): 301–303.
LI M, JIN P, DAI F, *et al*. Monitoring of neonicotinoid pesticide residues in vegetables and fruits in Suzhou City [J]. The Food Industry, 2023, 44(7): 301–303.

[25] 熊碧, 刘小红, 杨清清, 等. 2022-2023 年湖北省蔬菜中新烟碱类农药残留分析及慢性膳食暴露评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(9): 113–119.
XIONG B, LIU XH, YANG QQ, *et al*. Analysis and chronic dietary exposure assessment of neonicotinoids pesticide residues in vegetables in Hubei Province from 2022 to 2023 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(9): 113–119.

[26] SUN P, REN D, DING GT, *et al*. Neonicotinoid pesticides: residue detection and dietary risk assessment in commercially available plant-based agricultural products in North China [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2025, 197(8): 1–12.

[27] CRADDOCK HA, HUANG D, TURNER PC, *et al*. Trends in neonicotinoid pesticide residues in food and water in the United States, 1999—2015 [J]. Environ Health, 2019, 18(1): 7–10.

[28] 曹小丽, 杨晓倩, 孟中华, 等. 2016-2020 年济南市市售苹果中多种农药残留的污染状况及膳食暴露风险评估[J]. 预防医学论坛, 2024, 30(3): 184–190.
CAO XL, YANG XQ, MENG ZH, *et al*. Pollution status and dietary exposure risk assessment of multiple pesticide residues in commercial apples in Jinan city from 2016 to 2020 [J]. Preventive Medicine Tribune, 2024, 30(3): 184–190.

[29] 赵莹, 王玮, 尹丹阳, 等. 2018-2021 年陕西省市售水果中农药残留状况调查及膳食摄入风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2023, 35(12): 1749–1756.
ZHAO Y, WANG W, YIN DY, *et al*. Investigation of pesticide residues in commercialized fruits and risk assessment of dietary intake in Shaanxi Province from 2018 to 2021 [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2023, 35(12): 1749–1756.

[30] 谭颖, 张琪, 赵成, 等. 蔬菜水果中的新烟碱类农药残留量与人群摄食暴露健康风险评价[J]. 生态毒理学报, 2016, 11(6): 15–20.
TAN Y, ZHANG Q, ZHAO C, *et al*. Residues of neonicotinoid pesticides in vegetables and fruit and health risk assessment of human exposure via food intake [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2016, 11(6): 15–20.

(责任编辑: 韩晓红　安香玉)