DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260104007
引用格式: 范梦超, 商蕾, 王火青, 等. 2021—2025 年河北省邢台市市售果蔬中杀菌剂残留监测结果及暴露风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(12): 296–305.
FAN MC, SHANG L, WANG HQ, *et al*. Monitoring results and exposure risk assessment of fungicide residues in fruits and vegetables sold in Xingtai City, Hebei Province in 2021—2025 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(12): 296–305. (in Chinese with English abstract).

2021—2025 年河北省邢台市市售果蔬中杀菌剂残留监测结果及暴露风险评估

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

摘　要: 目的　了解邢台市市售果蔬中杀菌剂残留状况, 并对果蔬中检出的杀菌剂残留开展急性和慢性膳食摄入风险评估。**方法**　收集 2021—2025 年邢台市新鲜蔬菜水果 399 份, 利用液相色谱-串联三重四级杆质谱法对 10 种常见杀菌剂进行检测, 计算急性参考剂量百分比和每日允许摄入量百分比进行急性和慢性膳食摄入风险评估。**结果**　2021—2025 年邢台市市售的果蔬中 10 种杀菌剂残留检出率为 39.35%, 样品超标率为 0.25%。在 8 类蔬菜和 4 类水果中均有杀菌剂检出, 蔬菜中叶菜类检出率最高, 达到 56.47%, 水果中核果类检出率最高, 达到 50.00%。10 种杀菌剂监测中, 烯酰吗啉检出率最高, 达 24.56%。计算急性和慢性膳食摄入风险范围分别为 0.2016%~84.1602%、0.1264%~47.2337%, 均小于 100%。**结论**　河北省邢台市 2021—2025 年市售的果蔬中 10 种杀菌剂残留总体情况较好, 检出的杀菌剂残留对邢台市市售果蔬的安全状态在可接受范围。但果蔬中存在不同程度的杀菌剂污染及混用现象, 需要重点关注叶菜类、茄果类蔬菜和核果类水果等, 且 2~10 岁儿童组消费者的摄入风险明显高于其他年龄组, 需予以重视。

关键词: 果蔬; 杀菌剂; 残留; 风险评估

Monitoring results and exposure risk assessment of fungicide residues in fruits and vegetables sold in Xingtai City, Hebei Province in 2021—2025

FAN Meng-Chao, SHANG Lei*, WANG Huo-Qing, LV Jun-Qing, QI Yi-Dong, QI Zhi-Cai
[*Xingtai Center for Disease Control and Prevention* (*Municipal Health Supervision Bureau*), *Xingtai* 054000, *China*]

ABSTRACT: Objective　To understand the status of fungicide residues in fruits and vegetables sold in Xingtai City, and conduct acute and chronic dietary intake risk assessments on the detected fungicide residues in fruits and vegetables. **Methods**　A total of 399 samples of fresh fruits and vegetables were collected in Xingtai City from 2021 to 2025. Liquid chromatography-tandem triple quadrupole mass spectrometry was used to detect 10 kinds of common

收稿日期: 2026-01-04
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: 范梦超(1990—), 女, 硕士, 主管技师, 主要研究方向为食品理化检验。E-mail: fmc261179@163.com
***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

fungicides, and the percentage of acute reference dose and the percentage of acceptable daily intake were calculated to conduct acute and chronic dietary intake risk assessments. **Results** From 2021 to 2025, the detection rate of 10 kinds of fungicides in fruits and vegetables sold in Xingtai City was 39.35%, and the non-compliance rate of samples was 0.25%. Fungicide residues were detected in 8 categories of vegetables and 4 categories of fruits. Among vegetables, the detection rate of leafy vegetables was the highest, reaching 56.47%; and among fruits, the detection rate of stone fruits was the highest, reaching 50.00%. Among the 10 monitored fungicides, dimethomorph had the highest detection rate of 24.56%. The calculated ranges of acute and chronic dietary intake risks were 0.2016%–84.1602% and 0.1264%–47.2337%, respectively, both of which were less than 100%. **Conclusion** From 2021 to 2025, the overall situation of 10 kinds of fungicide residues in fruits and vegetables sold in Xingtai City, Hebei Province is good, and the detected fungicide residues are within the acceptable range for the safety status of fruits and vegetables sold in Xingtai City. However, there are varying degrees of fungicide contamination and mixed use in fruits and vegetables. It is necessary to focus on leafy vegetables, solanaceous vegetables, stone fruits and other categories. Additionally, the intake risk of consumers in the 2–10 years old children group is significantly higher than in other age groups, which requires particular attention.

KEY WORDS: fruits and vegetables; fungicides; residues; risk assessment

0　引　言

水果和蔬菜中富含矿物质、维生素、膳食纤维、碳水化合物、蛋白质等营养成分, 是人类获取营养的重要来源。食物的摄入能够降低心血管、肥胖症等疾病的发病率[1−2]。《中国居民膳食指南(2022)》指出蔬菜和水果是居民平衡膳食的重要组成部分, 每人每天新鲜蔬菜的摄入量不少于 300 g, 新鲜水果的摄入量 200~350 g[3]。然而, 在果蔬种植和存储中, 为提高产量保护其免受病媒虫害的威胁, 农药被广泛使用。因此, 果蔬中农药残留问题日益成为普遍关注的食品安全问题。随着农业现代化发展, 烯酰吗啉、苯醚甲环唑等高效低毒的广谱内吸性杀菌剂的使用量逐年增加, 有研究报道杀菌剂占全球农药市场的 35%以上, 预计未来其使用量还会增加[4]。

蔬菜和水果中杀菌剂残留现象在全球范围内屡见不鲜, 美国[5]、韩国[6]、印度[7]、阿联酋[8]等均有相关报道。我国也同样存在杀菌剂检出及超标现象, 2017 年对江西省市售 185 份水果中 14 种杀菌剂残留检测结果显示, 样品总检出率 58.4%[9]; 2016—2020 年对淮安市市售的 132 份蔬菜和 151 份水果中杀菌剂残留检测结果分析, 检出率分别为 10.23%和 14.65%, 腐霉利、烯酰吗啉、苯醚甲环唑和戊唑醇等均有样品检出超标, 超标农药的风险系数均大于 1.5, 对健康潜在危害风险为中、高度[10]。杀菌剂频繁使用对人类健康会造成危害, 有研究发现有 12 种杀菌剂对野生蜜蜂存在潜在的慢性风险[4]; 苯醚甲环唑、戊唑醇等杀菌剂在啮齿动物模型中显示出不同程度的毒性[11]; 还有研究表明长期食用多菌灵超标的食品会引起人恶心、头疼等中毒症状[12]。为保护消费者的健康, 减少杀菌剂农药的摄入量, 我国制定了食品中农药最大残留限量标准(GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》)。

目前, 邢台地区关于蔬菜和水果中多种杀菌剂残留的分析较少。为了解市售的蔬菜和水果中杀菌剂残留状况, 本研究对 2021—2025 年邢台市售的 8 类, 共 399 份蔬菜和水果样品中烯酰吗啉、嘧霉胺、多菌灵等 10 种杀菌剂残留状况进行分析, 并进行了膳食摄入风险评估, 为本地区居民健康和市场监管提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　材　料

1.1.1　样品采集

按照《国家食品污染物和有害因素风险监测工作手册》[13]的采样要求, 研究人员从邢台地区的超市、农贸市场、零售摊点等场所采集样品。共采集新鲜蔬菜水果 399 份, 其中蔬菜包括叶菜类、非葫芦科茄果类、甘蓝类等 8 类。水果包括浆果类、热带和亚热带水果类等 4 类。具体分类情况, 见表 1。

1.1.2　仪器与试剂

UPLC H CLASS/XEVO TQD 高效液相色谱-串联质谱联用仪、ACQUITY UPLC HSS T3 (100 mm×2.1 mm, 1.8 μm) (美国沃特世公司); VORIEX GENIE2 涡旋振荡器(德国 IKA 公司); GT204 电子天平(精度 0.0001 g, 上海佑科仪器仪表有限公司); GM200 刀式研磨仪(德国莱驰公司); X-3R 高速冷冻离心机[赛默飞世尔科技(中国)有限公司]。

乙腈、甲酸(色谱纯, 德国默克公司); 氨水(色谱纯, 国药集团化学试剂有限公司); 超纯水(广州屈臣氏食品饮料有限公司); 烯酰吗啉、嘧霉胺、多菌灵、三唑酮、苯醚

表 1 采集果蔬样品分类

Table 1 Classification of collected fruit and vegetable samples

果蔬类别		样品名称	采集样品份数
蔬菜	叶菜类	菠菜、白菜、香菜、生菜、油麦菜	85
	非葫芦科茄果类	彩椒、茄子、辣椒、青椒、西红柿	58
	甘蓝类、芸薹类	菜花、菜心、甘蓝、西蓝花	46
	鳞茎类	聪、韭菜、蒜苗、蒜薹、洋葱	33
	瓜菜类	冬瓜、黄瓜、西葫芦、苦瓜	31
	块根和块茎类	白萝卜、胡萝卜、山药、土豆	28
	鲜豆类	菜豆、豇豆	16
	茎菜类	茎用莴苣	9
水果	浆果和其他小粒水果	草莓、猕猴桃、葡萄、葡萄(阳光玫瑰)、桑葚	34
	热带及亚热带水果	火龙果、香蕉、杨梅、杧果	29
	核果类	樱桃、桃、冬枣	18
	仁果(梨果)类	苹果、梨	12

甲环唑、甲霜灵、丙环唑、戊唑醇、腈菌唑、吡唑醚菌酯等 10 种杀菌剂标准溶液(质量浓度 1000 μg/mL, 农业部环境保护科研监测所); 油麦菜、草莓中 57 种农残分析质控阴性样品(山东美正生物科技有限公司); QuEChERS 萃取管、QuEChERS 萃取纯化管(上海安谱科技有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 前处理方法

称取 10.0 g(精确至 0.01 g)检测样品放入 50 mL 离心管中, 加入 10 mL 提前冷却的乙腈, 振荡 1 min, 然后加入一袋 QuEChERS 萃取管, 迅速拧紧离心管盖, 剧烈振荡 1 min 后 4200 r/min 离心 5 min, 吸取 2 mL 上清液于 QuEChERS 萃取纯化管中涡旋混匀 1 min, 4200 r/min 离心 5 min, 移取 0.5 mL 上清液加入 0.5 mL 超纯水混匀, 过 0.22 μm 微孔滤膜后采用高效液相色谱-串联质谱联用仪测定分析。按同样方法做基质空白。

1.2.2 标准曲线的配制

分别移取适量体积的各个杀菌剂单标准溶液, 用乙腈作为溶剂, 配制成质量浓度为 5.0 μg/mL 的混合标准储备液, 于–18 ℃保存。再稀释成质量浓度为 1.0 μg/mL 的混合标准工作液, 临用现配。将混标工作液稀释配制成 0.5、1.0、2.0、5.0、10.0、50.0、100.0 μg/L 的标准曲线, 待上机测定。

1.2.3 仪器条件

色谱条件: 色谱柱为 ACQUITY UPLC HSS T3 (100 mm×2.1 mm, 1.8 μm)。流动相 A 为 0.2%甲酸水+0.02%氨水, 流动相 B 为乙腈。梯度洗脱程序以流动相 A 的体积比表示为: 0~3 min, 流动相 A 保持 95%; 3.0~5.5 min, A 为 95%至 80%; 5.5~6.5 min, A 为 80%至 60%; 6.5~12.0 min, A 为 60%至 5%; 12.0~16.0 min, A 为 5%至 80%; 16.0~18.0 min, A 为 80%至 95%; 18.0~20.0 min, A 保持 95%。流速为 0.3 mL/min, 色谱柱温度保持 35 ℃, 进样量为 5 μL。

质谱条件: 采用电喷雾离子源(electrospray ionization positive mode, ESI^+), 多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式。离子源温度 150 ℃; 毛细管电压 2 kV; 脱溶剂温度 500 ℃; 脱溶剂气流量 800 L/hr。10 种杀菌剂的离子对及其他相关参数见表 2。

1.3 果蔬中杀菌剂类农药残留风险评估

不同年龄的消费者在体重、果蔬摄入量等方面存在明显差异, 将消费者按 2~10 岁、11~17 岁、18~59 岁、≥60 岁分为 4 个年龄组, 本研究将根据不同消费者体重及膳食情况分别进行风险评估[14–15]。具体数据见表 3。

分别以急性参考剂量百分比(percentage of acute reference dose, %ARfD)和每日允许摄入量百分比(percentage of acceptable daily intake, %ADI)为指标, 对果蔬中杀菌剂残留进行急性和慢性膳食摄入风险评估。%ARfD 是通过短期膳食摄入量与农药的急性参考剂量比值得出, 当%ARfD≤100%表示风险在可接受范围, 反之视为不可接受, 数值越大, 急性膳食摄入风险会越大; %ADI 是通过长期膳食摄入量与农药每日允许的摄入量比较得出。%ADI≤100%表示风险在可接受范围, 反之视为不可接受, 数值越大, 慢性膳食摄入风险会越大[16]。%ARfD 按式(1)和式(2)计算:

$$NESTI=(LP\times HR)/BW \quad (1)$$

$$\%ARfD=\frac{NESTI}{ARfD}\times 100\% \quad (2)$$

式中: NESTI 为杀菌剂短期估计摄入量(national estimated short-term intake), mg/(kg • d); HR 为杀菌剂的最大残留浓度(highest residue), mg/kg; LP 为大份餐果蔬摄入量(large portion), kg/d; BW 为平均体重, kg; ARfD 为杀菌剂的急性参考剂量, mg/kg • BW, 数据来源于农药残留联席会议(Joint Meeting on Pesticide Residues, JMPR)对农药的历年评估报告[17]。%ADI 按式(3)和(4)计算:

表 2　10 种杀菌剂质谱参数
Table 2　Mass spectrometry parameters of 10 kinds of fungicides

杀菌剂	保留时间/min	母离子(*m*/*z*)	子离子(*m*/*z*)	锥孔电压/V	碰撞能量/eV
烯酰吗啉	12.01	388.1	301.1*	32	22
			165.2	32	30
嘧霉胺	11.28	200.2	107.2*	50	24
			183.1	50	24
多菌灵	7.95	192.1	160.2*	40	16
			132.2	40	28
三唑酮	12.13	294.1	197.2*	31	15
			69.3	31	20
苯醚甲环唑	13.1	406.0	251.1*	46	25
			111.1	46	60
甲霜灵	11.35	280.2	220.2*	24	14
			192.3	24	18
丙环唑	12.86	342.0	69.0*	46	22
			159.0	46	34
戊唑醇	12.77	308.2	70.1*	32	22
			125.1	32	28
腈菌唑	12.11	289.0	70.1*	42	16
			125.0	42	28
吡唑醚菌酯	12.92	388.0	194.1*	26	12
			163.1	26	26

注: *表示定量离子。

表 3　不同年龄消费者的体重及果蔬摄入情况
Table 3　Body weight and fruit and vegetable consumption of consumers of different age groups

年龄/岁	体重/kg	果蔬摄入量/(kg/d)	大份餐果蔬摄入量/(kg/d)
2~10	12.3~22.9	0.1698~0.2617	0.3394
11~17	34.0~46.7	0.2840~0.3234	0.5102
18~59	52.1~64.9	0.3329~0.3541	0.5102
≥60	51.0~61.5	0.2591~0.3291	0.5102

$$NEDI=(R\times F)/BW \quad (3)$$

$$\%ADI=\frac{NEDI}{ADI}\times 100\% \quad (4)$$

式中: NEDI 为杀菌剂长期估计摄入量(national estimated daily intake), mg/(kg • d); R 为杀菌剂的平均残留浓度, mg/kg; F 为果蔬每日摄入量, kg/d; ADI 为杀菌剂的日允许摄入量, mg/kg • BW, 数据来源与 ARfD 一致[17]。

1.4　数据处理

运用 Excel 2021 对数据进行统计分析, 当果蔬中杀菌剂残留检出值低于检出限时, 定义为未检出, 以 1/2 检出限统计计算。运用 SPSS 25.0 软件对杀菌剂残留检出率数据进行 χ^2 检验, $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

2　结果与分析

2.1　方法评价

由表 4 可知, 10 种杀菌剂在标准曲线 0.5~100.0 μg/L 的质量浓度范围内线性状况较好, 相关系数均大于等于 0.999, 检出限以 3 倍信噪比计算, 为 0.003 mg/kg, 定量限以 10 倍信噪比计算, 为 0.010 mg/kg。

为保证检测数据的准确性, 选择油麦菜和草莓的 57 种农药残留分析质控阴性样品, 每个样品添加 10 种杀菌剂的混标工作液, 分别制成 3 个浓度(0.010、0.060、0.100 mg/kg)的加标样品, 每个样品重复测定 6 次, 精密度以回收率的相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)表示。由表 5 可知, 加标回收率范围在 84.0%~125.8%, RSDs 在 1.3%~7.1%, 具有较好的回收率和精密度。

表 4 方法的线性回归方程、检出限、定量限

Table 4 Linear regression equations, limits of detection and limits of quantitation of the method

化合物	线性方程	相关系数(r)	检出限/(mg/kg)	定量限/(mg/kg)
烯酰吗啉	Y=5008.32X+5490.59	0.9991	0.003	0.010
嘧霉胺	Y=8138.04X+29054.8	0.9996	0.003	0.010
多菌灵	Y=14499.4X+292.281	0.9997	0.003	0.010
三唑酮	Y=1441.92X+52.3171	0.9994	0.003	0.010
苯醚甲环唑	Y=6178.92X+6069.78	0.9995	0.003	0.010
甲霜灵	Y=19920.3X+24261.8	0.9998	0.003	0.010
丙环唑	Y=3408.55X+2595.39	0.9991	0.003	0.010
戊唑醇	Y=7297.92X+5614.34	0.9995	0.003	0.010
腈菌唑	Y=2841.03X+849.253	0.9990	0.003	0.010
吡唑醚菌酯	Y=15458.1X+63997.7	0.9996	0.003	0.010

表 5 油麦菜和草莓阴性样品中 10 种杀菌剂的平均回收率及精密度(n=6)

Table 5 Average recoveries and precisions of 10 kinds of fungicides in negative samples of leaf lettuce and strawberry (n=6)

化合物	加标浓度/(mg/kg)	油麦菜		草莓	
		平均回收率/%	RSDs/%	平均回收率/%	RSDs/%
烯酰吗啉	0.010	90.2	4.3	97.9	4.5
	0.060	105.2	4.0	101.9	2.9
	0.100	91.1	6.3	105.7	2.0
嘧霉胺	0.010	94.7	2.0	90.4	4.7
	0.060	104.0	1.7	99.3	3.4
	0.100	89.1	7.0	91.7	2.3
多菌灵	0.010	99.0	1.8	104.4	4.6
	0.060	108.2	3.6	105.2	2.4
	0.100	94.0	4.6	113.2	4.8
三唑酮	0.010	86.1	2.9	123.5	1.6
	0.060	100.5	5.3	100.6	6.1
	0.100	84.7	5.3	120.5	4.6
苯醚甲环唑	0.010	84.0	1.7	95.4	3.8
	0.060	104.4	3.7	100.7	6.1
	0.100	86.8	4.0	96.8	1.9
甲霜灵	0.010	98.3	2.7	100.7	2.0
	0.060	101.9	4.6	110.3	6.7
	0.100	93.3	3.7	103.9	1.4
丙环唑	0.010	85.6	6.5	106.1	5.3
	0.060	102.7	3.2	97.1	4.6
	0.100	88.6	6.6	114.4	2.0
戊唑醇	0.010	91.1	2.9	104.8	2.7
	0.060	101.9	2.4	100.6	5.4
	0.100	89.1	6.1	107.9	2.1
腈菌唑	0.010	93.0	3.8	119.3	2.1
	0.060	101.6	5.1	105.3	3.4
	0.100	91.5	4.5	125.8	1.6
吡唑醚菌酯	0.010	91.7	2.8	101.8	1.3
	0.060	100.4	7.1	101.8	3.7
	0.100	94.5	4.2	99.0	1.4

2.2　不同类别果蔬中杀菌剂残留情况

本研究对河北省邢台地区采集的 8 类蔬菜和 4 类水果, 共 399 份样品开展检测分析。检测结果显示, 蔬菜样品中 117 份(38.24%)检出杀菌剂残留, 189 份(61.76%)未检出。水果样品中 40 份(43.01%)检出杀菌剂残留, 53 份(56.99%)未检出。杀菌剂的检出涵盖了所有的 8 类蔬菜和 4 类水果, 不同类别的蔬菜检出率差异(χ^2=37.174, P<0.05)有统计学意义, 水果检出率差异(χ^2=0.446, P=0.931)无统计学意义, 详见表 6。

叶菜类蔬菜中共检出杀菌剂 48 份, 不同品种叶菜的检出率分别为油麦菜 100.00%、菠菜 83.33%、生菜 50.00%、香菜 33.33%、白菜 33.33%; 非葫芦科茄果类蔬菜中共检出杀菌剂 28 份, 检出率分别为彩椒 88.89%、西红柿 58.33%、茄子 50.00%、辣椒 25.00%、青椒 14.28%; 甘蓝类、芸薹类蔬菜中共检出杀菌剂 11 份, 检出率分别为菜心 72.73%、西蓝花 16.67%、甘蓝和菜花未检出。鳞茎类蔬菜中只有韭菜检出杀菌剂残留, 检出率 50%, 大葱、蒜薹、洋葱等未检出; 瓜菜类中共检出杀菌剂 7 份, 检出率分别为黄瓜 71.43%、苦瓜 15.38%、西葫芦和冬瓜未检出; 块根和块茎类蔬菜中只有 2 份山药样品检出, 检出率为 40.00%, 土豆、白萝卜和胡萝卜未检出; 鲜豆类蔬菜中共检出杀菌剂 9 份, 检出率分别为豇豆 71.43%、菜豆 44.44%; 茎菜类蔬菜中 2 份茎用莴苣检出杀菌剂残留, 检出率为 22.22%。通过此研究还发现, 茎菜类、块茎类、瓜菜类蔬菜分别检出 3 种杀菌剂残留; 其他类别蔬菜检出 6~8 种杀菌剂残留。

4 类水果中, 核果类水果共检出杀菌剂 9 份, 其中检出率分别为冬枣 100.00%、樱桃 44.44%、桃未检出; 仁果(梨果)类水果检出杀菌剂 5 份, 检出率分别为苹果 50.00%, 梨未检出; 热带及亚热带水果检出杀菌剂 12 份, 检出率依次为杨梅 100.00%, 杧果 22.22%、香蕉 10.00%、火龙果未检出。浆果和其他小粒水果检出杀菌剂 14 份, 检出率分别为草莓 62.50%、猕猴桃 11.11%、葡萄 80.00%、葡萄(阳光玫瑰)80.00%、桑葚未检出, 其中 1 份草莓样品检出烯酰吗啉超标, 超标率 12.50%。通过研究发现, 仁果类水果检出 4 种杀菌剂残留, 其他 3 类水果检出 5~6 种杀菌剂残留。

2.3　10 种杀菌剂残留共存情况及检出情况

通过研究发现, 在监测样品中含有 1 种杀菌剂残留的果蔬样品有 67 份, 占比 16.79%; 检出 2 种杀菌剂残留的样品有 42 份, 占比 10.53%; 检出 3 种的样品有 26 份, 占比 6.52%; 检出 4 种的有 11 份, 占比 2.76%; 检出 5 种的有 5 份,

表 6　不同类别果蔬中杀菌剂残留检测结果

Table 6　Detection results of fungicide residues in different categories of fruits and vegetables

	果蔬类别	样品份数	检出份数	检出率/%	超标份数	超标率/%	浓度范围/(mg/kg)	检出成分
蔬菜	叶菜类蔬菜	85	48	56.47	0	0	ND~6.930	烯酰吗啉、嘧霉胺、多菌灵、苯醚甲环唑、甲霜灵、丙环唑、戊唑醇、吡唑醚菌酯
	非葫芦科茄果类蔬菜	58	28	48.28	0	0	ND~0.446	烯酰吗啉、嘧霉胺、多菌灵、苯醚甲环唑、甲霜灵、戊唑醇、吡唑醚菌酯
	甘蓝类、芸薹类	46	11	23.91	0	0	ND~1.100	烯酰吗啉、多菌灵、苯醚甲环唑、甲霜灵、丙环唑、戊唑醇、吡唑醚菌酯
	鳞茎类	33	10	30.30	0	0	ND~0.550	烯酰吗啉、嘧霉胺、多菌灵、苯醚甲环唑、甲霜灵、戊唑醇、腈菌唑、吡唑醚菌酯
	瓜菜类	31	7	22.58	0	0	ND~0.119	烯酰吗啉、多菌灵、戊唑醇
	块根和块茎类蔬菜	28	2	7.14	0	0	ND~0.118	烯酰吗啉、多菌灵、戊唑醇
	鲜豆类蔬菜	16	9	56.25	0	0	ND~0.364	烯酰吗啉、嘧霉胺、多菌灵、苯醚甲环唑、戊唑醇、吡唑醚菌酯
	茎菜类	9	2	22.22	0	0	ND~0.276	烯酰吗啉、嘧霉胺、甲霜灵
水果	核果类	18	9	50.00	0	0	ND~18.300	烯酰吗啉、多菌灵、苯醚甲环唑、戊唑醇、吡唑醚菌酯
	仁果(梨果)类	12	5	41.67	0	0	ND~0.114	烯酰吗啉、苯醚甲环唑、戊唑醇、吡唑醚菌酯
	热带及亚热带水果	29	12	41.38	0	0	ND~2.230	烯酰吗啉、苯醚甲环唑、戊唑醇、腈菌唑、吡唑醚菌酯
	浆果和其他小粒水果	34	14	41.18	1	3.22	ND~0.953	烯酰吗啉、嘧霉胺、苯醚甲环唑、甲霜灵、戊唑醇、吡唑醚菌酯

注: ND 表示未检出。

占比 1.25%; 检出 6 种的有 4 份, 占比 1.00%; 检出 7 种的有 2 份, 占比 0.50%。本研究中, 共监测 10 种杀菌剂残留, 除三唑酮外, 其他均有检出, 检出率 0.50%~24.56%。检出较高的依次是烯酰吗啉(24.56%)、苯醚甲环唑(16.54%)、吡唑醚菌酯(14.79%)、甲霜灵(7.27%)、戊唑醇(6.77%), 不同种类杀菌剂检出率差异有统计学意义(χ^2=274.768, P<0.05)。其中, 有 1 份草莓样品检出烯酰吗啉超标, 超标率 0.25%。详见图 1, 表 7。

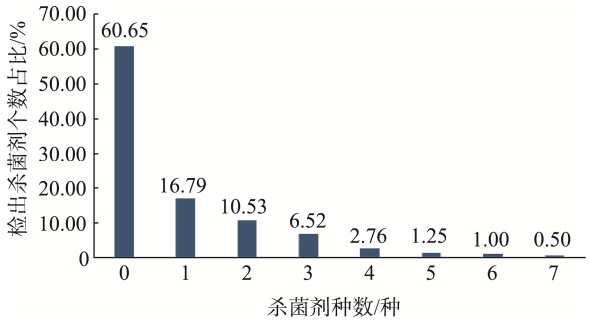


图 1 果蔬样品中杀菌剂残留同时检出情况

Fig.1 Detection of fungicide residues in fruit and vegetable samples

2.4 果蔬中杀菌剂膳食摄入风险评估

在测定的 10 种杀菌剂中, 由于三唑酮在蔬菜和水果中均未检出, 只计算其他 9 种杀菌剂残留的急性和慢性膳食摄入风险情况。根据公式(1)~(2)计算果蔬中杀菌剂农药残留的急性膳食摄入风险。但嘧霉胺没有 ARfD, 故不作分析。由表 8 可知, 不同年龄组消费者通过食用果蔬而摄入的杀菌剂的%ARfD 值范围在 0.2016%~84.1602%, 均小于 100%。其中 2~10 岁消费者的烯酰吗啉残留最大%ARfD 值接近 100%, 并且此年龄组的 8 种杀菌剂残留的%ARfD 值均高于其他 3 个年龄组。不同杀菌剂的急性风险依次是烯酰吗啉>吡唑醚菌酯>甲霜灵>戊唑醇>苯醚甲环唑>多菌灵>丙环唑>腈菌唑。根据公式(3)~(4)计算果蔬中杀菌剂农药残留的慢性膳食摄入风险。由表 9 可知, 不同年龄组消费者之间%ADI 不同, 风险依次为 2~10 岁>11~17 岁>18~59 岁>60 岁及以上, %ADI 范围在 0.1264%~47.2337%, 其中 2~10 岁消费者的苯醚甲环唑残留最高达 47.2337%, 但均在安全范围内。综上研究可知, 9 种杀菌剂残留慢性膳食摄入风险差异不大。因此, 邢台市监测的果蔬中杀菌剂残留的急性和慢性膳食摄入风险均在可接受范围, 对消费者不存在健康风险。

表 7 果蔬中 10 种杀菌剂残留检出情况

Table 7 Detection of 10 kinds of fungicide residues in fruits and vegetables

杀菌剂	检出份数	检出率/%	平均检测值/(mg/kg)	残留水平/(mg/kg)
烯酰吗啉	98	24.56	1.3400	ND~18.300
嘧霉胺	16	4.01	0.0600	ND~0.172
多菌灵	24	6.02	0.2050	ND~1.820
苯醚甲环唑	66	16.54	0.2220	ND~1.720
甲霜灵	29	7.27	0.2050	ND~0.982
丙环唑	21	5.26	0.2040	ND~1.010
戊唑醇	27	6.77	0.2260	ND~2.230
腈菌唑	2	0.50	0.0321	ND~0.0513
吡唑醚菌酯	59	14.79	0.2480	ND~1.240
三唑酮	0	0	-	-

注: 平均检测值表示所有阳性样品的平均浓度; ND 表示未检出。-为未有具体数值。

表 8 果蔬中 9 种杀菌剂残留对不同消费者急性膳食摄入风险

Table 8 Acute dietary exposure risk of 9 kinds of fungicide residues in fruits and vegetables for different consumer groups

杀菌剂	ARfD/(mg/kg)	急性参考剂量百分比(%ARfD)			
		2~10 岁	11~17 岁	18~59 岁	≥60 岁
烯酰吗啉	0.60	45.2039~84.1602	33.3214~45.7679	23.9770~29.8678	25.3026~30.5120
嘧霉胺	-	-	-	-	-
多菌灵	0.50	5.3948~10.0440	3.9767~5.4621	2.8615~3.5645	3.0197~3.6414
苯醚甲环唑	0.30	8.4974~15.8203	6.2637~8.6034	4.5072~5.6145	4.7563~5.7356
甲霜灵	0.10	14.5542~27.0968	10.7284~14.7358	7.7198~9.6164	8.1466~9.8239
丙环唑	0.30	4.9897~9.2898	3.6781~5.0520	2.6466~3.2969	2.7930~3.3680
戊唑醇	0.30	11.0169~20.5112	8.1210~11.1544	5.8436~7.2792	6.1666~7.4362
腈菌唑	0.20	0.3802~0.7078	0.2802~0.3849	0.2016~0.2512	0.2128~0.2566
吡唑醚菌酯	0.05	36.7560~68.4319	27.0941~37.2146	19.4961~24.2859	20.5739~24.8097

注: -为未检出。

表 9　果蔬中 9 种杀菌剂残留对不同消费者慢性膳食摄入风险

Table 9　Chronic dietary exposure risk of 9 kinds of fungicide residues in fruits and vegetables for different consumer groups

杀菌剂	ADI/(mg/kg)	%ADI			
		2~10 岁	11~17 岁	18~59 岁	≥60 岁
烯酰吗啉	0.200	4.9679~14.2552	4.0745~6.3729	3.4367~4.5537	2.8227~3.5853
嘧霉胺	0.200	0.2224~0.6383	0.1824~0.2854	0.1539~0.2039	0.1264~0.1605
多菌灵	0.030	5.0668~14.5389	4.1556~6.4997	3.5051~4.6443	2.8789~3.6567
苯醚甲环唑	0.010	16.4610~47.2337	13.5006~21.1161	11.3873~15.0883	9.3529~11.8797
甲霜灵	0.080	1.9001~5.4521	1.5584~2.4374	1.3144~1.7416	1.0796~1.3713
丙环唑	0.018	8.4035~24.1133	6.8922~10.7800	5.8134~7.7028	4.7747~6.0647
戊唑醇	0.030	5.5859~16.0282	4.5813~7.1655	3.8642~5.1201	3.1738~4.0313
腈菌唑	0.013	1.8309~5.2536	1.5016~2.3487	1.2666~1.6782	1.0403~1.3213
吡唑醚菌酯	0.030	6.1296~17.5885	5.0273~7.8631	4.2403~5.6185	3.4828~4.4237

3　讨论与结论

通过本研究发现, 2021—2025 年邢台市 399 份市售新鲜水果蔬菜样品的 10 种杀菌剂残留检出率为 39.35% (157/399), 样品超标率为 0.25% (1/399)。其中蔬菜样品检出率为 38.24%, 水果检出率为 43.01%。与 2020—2023 年浙江省温州市报道的蔬菜杀菌剂检出率 68.18%, 水果检出率 85.03%[18]相比偏低, 与 2021 年云南省报道的蔬菜中杀菌剂残留检出率 29.84%[19]相比偏高。同时发现, 叶菜类蔬菜杀菌剂检出率最高, 与文献[19–20]报道一致, 这主要是由于叶片表面积较大, 气孔多, 易吸收农药[20]。此外, 彩椒、西红柿、黄瓜、豇豆等检出率也较高, 与文献[15,21–22]研究一致; 核果类水果的检出率最高, 其中冬枣的杀菌剂残留检出率达到 100%, 其生长过程病虫害种类多, 频繁使用杀菌剂等农药, 果皮附着农药残留偏高[23]; 此外杨梅、草莓、葡萄及葡萄(阳光玫瑰)等杀菌剂的检出率均较高, 与文献[18,24–25]报道的研究相符。由于果蔬的营养成分高、果肉丰厚, 种植期间易被细菌及真菌感染。而杀菌剂是一类广谱高效低毒的农药, 已逐渐成为果蔬防治病害的重要农药类型, 受到种植户的青睐, 广泛应用于各种水果和蔬菜, 且大部分杀菌剂起效慢, 种植户由于对农药合理使用认识不足, 在种植期间会加大杀菌剂的使用量, 这可能是邢台市果蔬杀菌剂残留检出率较高的原因之一。

本研究从检出的杀菌剂残留情况分析, 有 3 个方面需引起关注。(1)果蔬中杀菌剂检出率较高的依次为烯酰吗啉(24.56%)、苯醚甲环唑(16.54%)和吡唑醚菌酯(14.79%), 这说明杀菌剂在果蔬防范病虫害上应用广泛, 与翟君等[26]研究基本相符。此外, 烯酰吗啉检出率最高, 可能是烯酰吗啉在果蔬中施药频率较高, 且具有一定的内吸性, 易被植物体吸收及传导, 从而可能存在残留。(2)本次研究中虽然杀菌剂的检出率较高, 但超标率较低。根据 GB 2763—2021 要求, 油麦菜中苯醚甲环唑的最大残留限量为 10 mg/kg, 吡唑醚菌酯的最大残留限量为 20 mg/kg。本研究中油菜苯醚甲环唑最大检测值为 1.72 mg/kg, 吡唑醚菌酯最大检测值为 1.24 mg/kg, 远低于最大残留限量, 与国内其他研究相一致[27–28]。(3)果蔬中检出两种及以上农药的现象比较常见, 陈明霞等[21]报道重庆市长寿区检出 2 种及以上农药占比 16.79%; 罗莎等[29]报道天津市占比 47.29%。本次监测的 399 份果蔬样品中有 90 份样品至少检出两种杀菌剂残留的情况, 占比 22.56%, 说明邢台地区市售果蔬中也存在混合杀菌剂使用的现象, 杀菌剂虽然具有低毒的特性, 但混合使用可能会使毒性积累, 增加对人畜的健康风险。但是 GB 2763—2021 中针对杀菌剂类农药的最大残留限量存在一定局限性, 针对多种农药残留情况标准未作规定。因此, 希望进一步完善, 增加多种农药残留的最大限量, 同时建议相关部门引导种植户正确认识农药使用标准, 加强安全使用农药的宣传和监管力度。

在膳食暴露风险评估方面, 对检出的 9 种杀菌剂进行急性和慢性膳食摄入风险评估, %ARfD 和每日允许摄入量百分比(%ADI)均小于 100%, 说明各类年龄组消费者食用果蔬而摄入的这 9 种杀菌剂残留的急性和慢性暴露风险是可以接受的。但烯酰吗啉和吡唑醚菌酯的最大%ARfD 值已超过 50%, 苯醚甲环唑的最大%ADI 值达到 47%, 存在一定的摄入风险, 需引起关注, 应重点监测。2~10 岁儿童组消费者较其他年龄组杀菌剂的急性和慢性膳食摄入风险高, 与其他地市监测结果基本相符[30], 这类人群需重点关注。

综上所述, 河北省邢台市 2021—2025 年市售的果蔬中 10 种杀菌剂残留总体情况较好, 但部分果蔬的杀菌剂残留检出率较高, 杀菌剂残留也成为邢台市果蔬污染源之一, 需要相关部门重点关注, 尤其是草莓中烯酰吗啉。虽然检出的 9 种杀菌剂残留对各年龄组消费者的急性和慢性

膳食摄入风险均在安全范围，但 2~10 岁儿童组消费者的摄入风险明显高于其他年龄组，需重点关注。建议监管部门加强对杀菌剂的监管力度，加强种植户对农药安全使用标准的培训力度，科学合理地混用农药，增强监测体系，以保障食品安全和人们健康。

参考文献

[1] SLAVIN J L, LLOYD B. Health benefits of fruits and vegetables [J]. Advances in Nutrition, 2012, 3(4): 506–516.

[2] IMAHORI Y, BAI J. Postharvest management of fruits and vegetables—Series II [J]. Foods, 2024, 13(7): 1049.

[3] 中国营养学会. 中国居民膳食指南(2022)平衡膳食准则[J]. 疾病预防控制通报, 2024, 39(1): 95.
Chinese Nutrition Society. Dietary guidelines for Chinese residents (2022): Guidelines for a balanced diet [J]. Bulletin of Disease Prevention and Control, 2024, 39(1): 95.

[4] RONDEAU S, RAINE NE. Fungicides and bees: A review of exposure and risk [J]. Environment International, 2022, 165: 107311.

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

[6] MIN SHIN J, CHOI SJ, HEY PARK Y, *et al*. Comparison of QuEChERS and liquid–liquid extraction methods for the simultaneous analysis of pesticide residues using LC-MS/MS [J]. Food Control, 2022, 141: 109202.

[7] SIVAPERUMAL P, RUPAL T, DHIRENDRA K, *et al*. Human health risk assessment of pesticide residues in vegetable and fruit samples in Gujarat State, India [J]. Heliyon, 2022, 8(10).: e10876-e10876.

[8] OSAILI TM, AL-SALLAGI MS, DHANASEKARAN DK, *et al*. Pesticide residues in fresh vegetables imported into the United Arab Emirates [J]. Food Control, 2022, 133: 108663.

[9] 宋利军, 廖秀海, 付倩, 等. 江西省市售水果中 14 种杀菌剂残留监测结果分析[J]. 现代预防医学, 2019, 46(5): 167–171.
SONG LJ, LIAO XH, FU Q, *et al*. Analysis of monitoring results of 14 fungicide residues in fruits sold in Jiangxi Province [J]. Modern Preventive Medicine, 2019, 46(5): 167–171.

[10] 蒋蔓, 刘雅婧, 王炎炎. 淮安市 2016—2020 年市售蔬菜水果中农药残留监测与风险评估[J]. 江苏预防医学, 2022, 33(6): 723–726.
JIANG M, LIU YJ, WANG YY. Monitoring and risk assessment of pesticide residues in fruits and vegetables sold in Huai'an City from 2016 to 2020 [J]. Jiangsu Journal of Preventive Medicine, 2022, 33(6): 723–726.

[11] VULPE CB, IACHIMOV-DATCU AD, PUJICIC A, *et al*. A systematic review on the toxicology of european union-approved triazole fungicides in cell lines and mammalian models [J]. Journal of Xenobiotics, 2025, 15(6): 208.

[12] 张盈, 魏进, 段婷婷, 等. QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法同时检测辣椒中 5 种杀菌剂残留[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(15): 6049–6055.
ZHANG Y, WEI J, DUAN TT, *et al*. Simultaneous determination of 5 kinds of fungicides residues in pepper by QuEChERS-ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(15): 6049–6055.

[13] 国家卫生和计划生育委员会. 2025 年国家食品污染物和有害因素风险监测工作手册[Z]. 北京: 国家食品安全风险评估中心, 2025.
National Health and Family Planning Commission. The national food contaminants and harmful factors risk monitoring manual in 2025 [Z]. Beijing: China National Center for Food Safety Risk Assessment, 2025.

[14] 金水高. 中国居民营养与健康状况调查之十: 2022 年营养与健康状况数据集[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008.
JIN SG. The tenth report of nutrition and health status for China residents: Nutrition and health status of annual 2002 [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2008.

[15] 李运朝, 及华, 王蒙, 等. 8 种杀菌剂在河北番茄和黄瓜中残留分析及其膳食暴露评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(17): 4570–4576.
LI YC, JI H, WANG M, *et al*. Residue levels and dietary exposure risk assessment of eight fungicides in the tomato and cucumber planted in Hebei [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2018, 9(17): 4570–4576.

[16] CHU Y, TONG Z, DONG X, *et al*. Simultaneous determination of 98 pesticide residues in strawberries using UPLC-MS/MS and GC-MS/MS [J]. Microchemical Journal, 2020, 156: 104975.

[17] WHO (World Health Organization). Inventory of evaluations performed by the Joint Meeting on Pesticide Residues (JMPR) [DB/OL]. [2025-10-26]. http://apps.who.int/pesticide-residues-jmpr-database/Home/Range/All.

[18] 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 NEN, 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.

[19] 刘本周, 李婧, 彭佳艳, 等. 2021 年云南省市售蔬菜中 11 种杀菌剂残留测定分析[J]. 食品安全导刊, 2023(35): 81–83, 87.
LIU BZ, LI J, PENG JY, *et al*. Determination and analysis of 11 fungicide residues in vegetables sold in Yunnan Province in 2021 [J]. China Food Safety Magazine, 2023(35): 81–83, 87.

[20] 吴敏, 赵鑫宇, 彭静. 2017—2020 年承德市果蔬农药残留监测结果分析[J]. 职业与健康, 2022, 38(11): 1478–1481.
WU M, ZHAO XY, PENG J. Analysis on monitoring results of pesticide residues in fruits and vegetables in Chengde City from 2017—2020 [J]. Occupation and Health, 2022, 38(11): 1478–1481.

[21] 陈明霞, 汤燕, 江光群. 2014—2022 年重庆市长寿区果蔬农药残留监测结果分析[J]. 职业卫生与病伤, 2023, 38(5): 291–296.
CHEN MX, TANG Y, JIANG GQ. Analysis of monitoring results of pesticide residues in fruits and vegetables in Changshou District of Chongqing from 2014 to 2022 [J]. Journal of Occupational Health and Damage, 2023, 38(5): 291–296.

[22] 梁施韵, 赖文锋. 2021—2023 年肇庆市市售蔬菜中农药残留状况及膳食暴露评估[J]. 食品安全导刊, 2024(34): 30–35.
LIANG SY, LAI WF. Status and dietary exposure assessment of pesticide residues in vegetables sold in Zhaoqing City from 2021 to 2023 [J]. China Food Safety Magazine, 2024(34): 30–35.

[23] 丁永冲, 陈勇达, 李悦清, 等. 三种栽培模式下的冬枣农药残留及其膳食风险评估[J]. 江苏农业学报, 2025, 41(7): 1448–1456.
DING YC, CHEN YD, LI YQ, *et al*. Pesticide residues and dietary risk assessment of winter jujube under three cultivation modes [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2025, 41(7): 1448–1456.

[24] 梁秀美, 张维一, 陈官菊, 等. 温州市杨梅农药残留与重金属污染特征及膳食摄入风险评估[J]. 浙江农业学报, 2024, 36(10): 2347–2357.
LIANG XM, ZHANG WY, CHEN GJ, *et al*. Pesticide residues, heavy metal contamination characteristics and dietary intake risk assessment of bayberry in Wenzhou City [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2024, 36(10): 2347–2357.

[25] 张仙, 胡西洲, 彭西甜, 等. 2022 年湖北地区市售葡萄中农药残留特征及膳食暴露风险评估[J]. 食品工业科技, 2023, 44(19): 313–319.
ZHANG X, HU XZ, PENG XT, *et al*. Characteristics of pesticide residues and dietary exposure risk assessment of grapes sold in Hubei area in 2022 [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(19): 313–319.

[26] 翟君, 董炳刚, 赵月, 等. 2020 年聊城市市售蔬菜中杀菌剂残留状况分析[J]. 食品安全导刊, 2024(27): 84–88.
ZHAI J, DONG BG, ZHAO Y, *et al*. Analysis of fungicide residue status in commercial vegetables in Liaocheng City in 2020 [J]. China Food Safety Magazine, 2024(27): 84–88.

[27] 赖宣丞, 蔡月, 黎承, 等. 2020—2022 年海南省市售蔬菜农药残留调查及风险评估[J]. 湖北农业科学, 2024, 63(9): 185–190.
LAI XC, CAI Y, LI C, *et al*. Investigation and risk assessment of pesticide residues in vegetables sold in Hainan Province from 2020 to 2022 [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2024, 63(9): 185–190.

[28] 何丰瑞, 秦国富, 李永波, 等. 2018 年陕西省市售食用菌中 11 种杀菌剂残留量的检测及风险评估[J]. 职业与健康, 2021, 37(16): 2194–2196, 2201.
HE FR, QIN GF, LI YB, *et al*. Detection and risk assessment of 11 fungicide residues in commercially available edible fungi in Shaanxi Province in 2018 [J]. Occupation and Health, 2021, 37(16): 2194–2196, 2201.

[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*. Present situation and dietary exposure assessment of pesticide residues in vegetables sold in Tianjin from 2016 to 2020 [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(6): 1238–1243.

[30] 马淑青, 王丹, 代飞飞. 潍坊市售果蔬中 14 种内吸性杀菌剂残留状况调查及慢性膳食暴露评估[J]. 预防医学论坛, 2022, 28(5): 345–348.
MA SQ, WANG D, DAI FF. Investigation on residue status of 14 systemic fungicides in fruits and vegetables sold in Weifang City and Assessment of chronic dietary exposure [J]. Journal of Preventive Medicine Forum, 2022, 28(5): 345–348.

(责任编辑: 韩晓红　安香玉)