DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250507004
引用格式: 张敏, 刘志斌, 黄丽, 等. 2024 年南昌市流通环节水果农药残留情况分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(2): 213–221.
ZHANG M, LIU ZB, HUANG L, *et al*. Analysis of pesticide residues situation of fruits in circulation in Nanchang City in 2024 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(2): 213–221. (in Chinese with English abstract).

2024 年南昌市流通环节水果农药残留情况分析

张 敏[1], 刘志斌[1], 黄 丽[1], 陈军玲[1*], 陈达炜[2*]

(1. 南昌市检验检测中心, 南昌市保健食品及其接触材料质量安全风险评估重点实验室, 南昌 330015;
2. 国家食品安全风险评估中心, 北京 100021)

摘 要: 目的 利用静电场轨道离子阱高分辨质谱法(orbitrap high-resolution mass spectrometry, Orbitrap HRMS)快速筛查水果中农药多残留, 并了解 2024 年南昌市流通环节水果农药残留情况。**方法** 使用 QuEChERS 法净化水果样品, 结合 Orbitrap HRMS 对采集到的 15 类共 721 批次的水果开展 1200 余种农药及其代谢物的快速非靶向筛查, 依据 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》对检测结果进行评价, 超过最大残留限量即为不合格。**结果** 通过对基质加标样品的测试分析而建立的数据库进行定性和半定量筛选, 检测结果显示, 各水果农药残留总体控制在安全范围内, 样品农药残留总体合格率为 92.8%, 少批次样品农药残留不合格(不合格率 7.2%), 较少批次检出禁限用农药(检出率 2.9%)。**结论** 基于 HRMS 筛查结果, 南昌市 2024 年流通水果农药残留合格率 92.8%, 整体风险可控, 有少量样品不合格及禁用农药检出情况, 需持续加强监管。

关键词: QuEChERS; 高分辨质谱法; 快速筛查; 南昌; 水果; 农药残留

Analysis of pesticide residues situation of fruits in circulation in Nanchang City in 2024

ZHANG Min[1], LIU Zhi-Bin[1], HUANG Li[1], CHEN Jun-Ling[1*], CHEN Da-Wei[2*]

(1. *Nanchang Inspection and Testing Center*, *Nanchang Key Laboratory for Quality and Safety Risk Assessment of Health Food and its Contact Materials*, *Nanchang* 330015, *China*; 2. *China National Center for Food Safety Risk Assessment*, *Beijing* 100021, *China*)

ABSTRACT: Objective To understand the situation of pesticide residues in fruits in circulation in Nanchang City in 2024, and quickly screen for multiple pesticide residues in fruits by orbitrap high-resolution mass spectrometry (Orbitrap HRMS). **Methods** The fruit samples were purified by QuEChERS method, combined with Orbitrap HRMS, more than 1200 kinds of pesticides and their metabolites were rapidly screened for 721 batches of 15 kinds of fruits collected. According to GB 2763—2021 *National food safety standard-Maximum residue limits for*

收稿日期: 2025-05-07
基金项目: 江西省市场监管局科研项目(GSJK202313, GSJK202226)
第一作者: 张敏(1979—), 女, 博士, 副主任中药师, 主要研究方向为食品药品检测与分析。E-mail: 40271858@qq.com
***通信作者:** 陈军玲(1972—), 女, 硕士, 主要研究方向为食品药品监管及风险监控。E-mail: zfishm@163.com
陈达炜(1983—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品安全风险评估。E-mail: chendw@cfsa.net.cn

pesticides in food, the test results were evaluated, and exceeding the maximum residue limit was considered unqualified. **Results** The results of qualitative and semi-quantitative screening based on the database established through the testing and analysis of matrix-spiked samples showed that the pesticide residues in fruits were generally under safe control. The overall pass rate of pesticide residues in the samples was 92.8%. A few batches of samples had pesticide residues that were unqualified (unqualified rate 7.2%), with detections of prohibited and restricted pesticides in an even smaller number of batches (detection rate 2.9%). **Conclusion** Based on the screening results of HRMS, the qualified rate of pesticide residues in circulating fruits in Nanchang City in 2024 is 92.8%, and the overall risk is controllable. There are a small number of samples that are unqualified and banned pesticides detected, and continuous supervision is needed.

KEY WORDS: QuEChERS; high-resolution mass spectrometry; rapid screening; Nanchang; fruit; pesticide residues

0 引 言

近年来, 水果农药残留问题备受关注, 关乎民众健康与食品安全。农药残留问题不仅关系到公众健康和生态环境的可持续发展, 还影响到农业生产的经济效益和国际贸易。各地历年来对水果农药残留水平多有研究[1–5]。有文献表明, 部分地区水果农药残留超标现象时有发生[6–10], 个别区域超标率高达 6.33%[11], 进口水果农药残留问题同样不容忽视, 数据显示甲拌磷和水胺硫磷在进口猕猴桃和柑橘中超标严重, 不合格率分别高达 18.9%和 13.5%[12]。农药残留检测的传统方法主要有光谱分析法、色谱分析法、酶联免疫法、表面增强拉曼散射技术等[13], 前处理过程较为复杂, 检测时间长、成本高。近年来兴起的免疫分析[14]、色谱-质谱法[15–16]和传感技术等[17]快速检测技术受到越来越多的重视, 尤其是利用 QuEChERS 试剂快速净化样品结合高分辨质谱筛查[18–20]的方法在农药残留检测中的应用愈发广泛, 如乙二胺-N-丙基硅烷(primary secondary amine, PSA)可减少对目标农药的保留, 显著降低离子抑制/增强效应[21]; 同时 C_{18} 吸附剂可去除非极性脂类和叶绿素[22], 特别适用于高色素样品(如车厘子、蓝莓等), 避免色谱柱污染和基线漂移。QuEChERS 通过靶向净化与高分辨质谱高选择性检测的联用[23–25], 是农药多残留筛查中降低基质效应、提升数据可靠性的关键前处理技术。本研究旨在建立静电场轨道离子阱高分辨质谱法实现对水果中农药多残留的快速筛查, 并对 2024 年南昌市流通环节 721 批次水果的农药残留展开检测, 以期为当地水果质量安全监管提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

水果样品采自南昌市多个农贸市场、超市、水果店及电商平台, 包括橙 45 批次、柑橘 138 批次、苹果 139 批次、梨 154 批次、猕猴桃 16 批次、芒果 119 批次、香蕉 89 批次等共 15 个品类合计 721 批次。

乙腈、甲醇(色谱纯, 德国 Merck 公司); 甲酸、甲酸铵(色谱纯, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司); 微孔滤膜[13 mm×0.22 μm, 有机相, 安谱实验科技(上海)有限公司]; 66 种农药混合标准溶液、34 种农药混合标准溶液、28 种农药混合标准溶液(质量浓度 100 μg/mL, 甲醇或乙腈为溶剂, 天津阿尔塔有限公司); 无水硫酸钠、柠檬酸钠、柠檬酸氢二钠、氯化钠(分析纯, 西陇科学股份有限公司)。

Orbirap Exloris 120 静电场轨道离子阱质谱仪[含 Xcalibur 4.6、TraceFinder 5.1 化学工作站、Compound Discoverer (CD) 3.3 数据处理软件、Vanquish 超高效液相色谱系统(含二元梯度泵)]、Thermo Accucore aQ 色谱柱(100 mm×2.1 mm, 2.6 μm)(美国 Thermo Fisher Scientific 公司); AutoEVA-60 全自动平行浓缩仪(山东睿科仪器有限公司); XS105DU 十万分之一电子天平[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]; Eppendorf centrifuge 5430R 高速冷冻离心机(德国 Eppendorf 公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 样品前处理

准确称取样品 5 g 均质后样品于 50 mL 离心管中, 加入 10 mL 4 ℃乙腈振荡 1 min, 然后分别加入 4 g 无水硫酸镁、1 g 氯化钠、1 g 柠檬酸钠、0.5 g 柠檬酸氢二钠及 1 颗陶瓷均质子, 剧烈振荡 1 min 后, 5000 r/min 离心 10 min。吸取 2 mL 上清液至内含除水剂和净化材料的 2 mL 净化管中[每毫升提取液使用 50 mg 伯仲胺吸附剂(primary secondary amine, PSA), 150 mg 无水硫酸镁, 50 mg C_{18}], 涡旋混匀 1 min, 5000 r/min 离心 10 min, 吸取上清液 1 mL 过 0.22 μm 微孔滤膜, 上机测定。

1.2.2 仪器条件

色谱条件: 色谱柱: Thermo Accucore aQ 色谱柱(100 mm×2.1 mm, 2.6 μm); 进样量: 5 μL; 柱温: 30 ℃; 流动相 A: 5 mmol 乙酸铵-0.1%甲酸水溶液; 流动相 B: 5 mmol 乙酸铵-0.1%甲酸甲醇溶液; 梯度洗脱(0~1 min, 5% B; 1~5 min, 5%~30% B; 5~13 min, 30%~55% B; 13~25 min, 55%~95%

B; 25~26 min, 95%~5% B), 流速 0.3 mL/min, 柱温 40 ℃。

质谱条件: 电喷雾离子源(heated electrospray ionization, HESI), 扫描方式为全扫描(full mass spectrometry, Full MS)和数据依赖的二级质谱扫描(data-dependent MS2 scanning, dd-MS2)(正负离子同时采集); 质谱参数设置如下: 雾化气流速 40 arb (5.37 L/min), 加热气流速: 10 arb (9.35 L/min), 传输线温度: 320 ℃, 雾化温度: 380 ℃; 正离子模式电压: 3400 V, 负离子模式电压: 2600 V; 一级扫描分辨率(Full MS): 60000, 扫描范围: 100~1000, 射频透镜: 70%; 二级扫描分辨率(dd-MS2): 15000, 扫描范围: Auto, 归一化碰撞电压(higher energy collisional dissociation, HCD): 15、30、50 V (HCD 采用在 10~60 V 范围内选择 3 个梯度作为碰撞能量, 以获取不同碎裂程度的二级质谱碎片, 以提高农药定性的准确性), 隔离窗口(*m*/*z*): 2.0。

1.2.3　标准溶液配制

混合标准溶液(1 mg/L): 分别吸取 100 μL 的农药标准溶液(100 mg/L)至 10 mL 容量瓶中, 用乙腈定容至刻度。

1.2.4　定性及定量分析

被测试样中目标农药的色谱峰保留时间与标准色谱峰的保留时间的相对误差应在±2.5%之内, 一级质谱碎片离子的精确质量数偏差应小于 5 ppm, 二级质谱碎片离子的精确质量数偏差应小于 10 ppm。采用超高效液相色谱-高分辨质谱法外标法定量。检测过程中采用基质测定、基质加标等质控方式确保检验结果的准确性。加标回收率在 80%~120%之间, 相对标准偏差小于 15%。农药化合物的质谱信息表见表 1。

表 1　农药化合物的保留时间、质谱参数及筛查限

Table 1　Retention times, mass spectrum parameters and screening detection limits of pesticide compounds

序号	农药名称	CAS 号	分子式	母离子	碎片离子	农药类别
1	倍硫磷	55-38-9	$C_{10}H_{15}O_4PS_2$	295.0222	142.9927, 278.9910, 137.0420	有机磷类杀虫剂
2	地虫硫膦	994-22-9	$C_{10}H_{15}OPS_2$	247.0375	137.0184, 155.0289, 80.9558	
3	氯唑磷	42509-80-8	$C_9H_{17}ClN_3O_3PS$	314.0489	286.0177, 162.0429, 119.9959	
4	甲基异柳磷	99675-03-3	$C_{14}H_{22}NO_4PS$	332.1079	290.0605, 230.9872, 180.1016	
5	马拉硫磷	121-75-5	$C_{10}H_{19}O_7PS$	331.0433	127.0390, 142.9926, 99.0077	
6	甲胺磷	10265-92-6	$C_2H_8NO_2PS$	142.0085	112.0157, 124.9821, 94.0052	
7	乙基杀扑磷	19691-80-6	$C_8H_{15}N_2O_4PS_3$	331.0004	311.8910, 145.0066, 187.8740	
8	久效磷	6923-22-4	$C_7H_{14}NO_5P$	224.0682	127.0155, 165.0549, 193.0260	
9	甲基对硫磷	298-00-0	$C_8H_{10}NO_6P$	248.0316	234.0285, 202.0386, 94.0416	
10	对硫磷	311-45-5	$C_{10}H_{14}NO_6P$	276.0630	220.0005, 248.0319, 174.0076	
11	甲拌磷砜	2588-04-7	$C_7H_{17}O_4PS_3$	293.0098	214.9958, 171.0240, 114.9616	
12	甲拌磷亚砜	2588-05-8	$C_7H_{17}O_3PS_3$	277.0149	199.0011, 170.9698, 96.9508	
13	甲拌磷	298-02-2	$C_{12}H_{15}ClNO_4PS_2$	367.9941	182.0002, 114.9615, 170.0004	
14	磷胺	13171-21-6	$C_{10}H_{19}ClNO_5P$	300.0760	226.9871, 174.0680, 100.0757	
15	辛硫磷	14816-18-3	$C_{12}H_{15}N_2O_3PS$	299.0613	129.0447, 114.9615, 153.0132	
16	抗蚜威	23103-98-2	$C_{11}H_{18}N_4O_2$	239.1503	182.1288, 72.0444, 195.1604	
17	嘧啶磷	23505-41-1	$C_{13}H_{24}N_3O_3PS$	334.1349	198.1059, 182.1288, 154.0975	
18	治螟磷	3689-24-5	$C_8H_{20}O_5P_2S_2$	323.0299	171.0237, 294.9984, 114.9615	
19	特丁磷砜	56070-16-7	$C_9H_{21}O_4PS_2$	289.0691	171.0239, 142.9926, 57.0707	
20	三唑磷	24017-47-8	$C_{12}H_{16}N_3O_3PS$	314.0723	162.0663, 286.0411, 119.0607	
21	对硫磷	56-38-2	$C_{10}H_{14}NO_6P$	276.0630	220.0005, 174.0076, 202.9978	
22	甲基毒死蜱	5598-13-0	$C_7H_7Cl_3NO_3PS$	321.9022	289.8758, 142.9926, 124.9821	
23	乙酰甲胺磷	57960-19-7	$C_4H_{10}NO_3PS$	184.0191	140.9769, 136.0158, 101.9737	
24	硫线磷	95465-99-9	$C_{10}H_{23}O_2PS_2$	271.0950	158.9698, 215.0324, 130.9385	
25	三硫磷	786-19-6	$C_{11}H_{16}ClO_2PS_3$	342.9819	156.9873, 114.9616, 142.9384	
26	甲基内吸磷	919-86-8	$C_6H_{15}O_3PS_2$	231.0272	89.0424, 61.0114	
27	敌敌畏	62-73-7	$C_4H_7Cl_2O_4P$	220.9531	127.0154, 144.9814, 109.0051	
28	乐果	60-51-5	$C_5H_{12}NO_3PS_2$	230.0067	198.9647, 170.9698, 156.9541	
29	灭线磷	13194-48-4	$C_8H_{19}O_2PS_2$	243.0637	215.0324, 201.0167, 138.9977	
30	发硫磷	2275-18-5	$C_9H_{20}NO_3PS_2$	286.0687	226.9960, 114.9613, 199.0011	

表 1(续)

序号	农药名称	CAS 号	分子式	母离子	碎片离子	农药类别
31	噻虫嗪	153719-23-4	$C_8H_{10}ClN_5O_3S$	292.0264	211.0648, 131.9669, 246.0337	烟碱类杀虫剂
32	吡虫啉	138261-41-3	$C_9H_{10}ClN_5O_2$	256.0595	209.0586, 175.0976, 212.0582	
33	噻虫胺	210880-92-5	$C_6H_8ClN_5O_2S$	250.0159	169.0542, 131.9669, 206.0149	
34	噻虫啉	111988-49-9	$C_{10}H_9ClN_4S$	253.0309	126.0105, 186.0139, 226.0200	
35	啶虫脒	135410-20-7	$C_{10}H_{11}ClN_4$	223.0744	126.0105, 56.0495, 90.0338	杂环类杀虫剂
36	螨蜱胺	61676-87-7	$C_{12}H_{14}N_2S$	219.0949	204.0715, 171.0917, 144.0809	噻唑类杀虫剂
37	烯丙菊酯	584-79-2	$C_{19}H_{26}O_3$	303.1947	135.0806, 123.1171, 149.0962	拟除虫菊酯类杀虫剂
38	氟氰戊菊酯	70124-77-5	$C_{26}H_{23}F_2NO_4$	452.1668	252.0841, 423.1417, 179.0192	
39	氟胺氰菊酯	102851-06-9	$C_{26}H_{22}ClF_3N_2O_3$	503.1342	208.0754, 181.0646, 402.0738	
40	氟氯氰菊酯	68359-37-5	$C_5H_8ClN_5$	174.0540	132.0323, 146.0227, 79.0064	
41	除虫脲	35367-38-5	$C_{14}H_9ClF_2N_2O_2$	311.0401	158.0410,141.0144	灭幼脲类杀虫剂
42	毒死蜱	2921-88-2	$C_7H_7Cl_3NO_3PS$	321.9022	289.8758, 142.9926, 127.0155	硫代磷酸酯类杀虫剂
43	噻嗪酮	69327-76-0	$C_{16}H_{23}N_3OS$	306.1635	201.1056, 116.0528, 86.0600	吡啶类杀虫剂
44	杀螟腈	2636-26-2	$C_9H_{10}NO_3PS$	244.0187	127.0155, 142.9925, 230.0033	广谱杀虫剂
45	乙螨唑	153233-91-1	$C_{21}H_{23}F_2NO_2$	360.1769	141.0146, 177.1274, 304.1144	杀螨剂
46	联苯肼酯	149877-41-8	$C_{17}H_{20}N_2O_3$	301.1541	198.0913, 170.0964, 153.0699	联苯肼类杀螨剂
47	涕灭威亚砜	1646-87-3	$C_7H_{14}N_2O_3S$	207.0797	90.0377, 132.0479, 150.0581	氨基甲酸酯类杀虫剂
48	涕灭威砜	1646-88-4	$C_7H_{14}N_2O_4S$	223.0744	165.0537, 121.0655, 93.0699	
49	合杀威	8065-36-9	$C_{13}H_{19}NO_2$	222.1489	72.0444, 160.0791, 98.9845	
50	丁酮砜威	34681-23-7	$C_7H_{14}N_2O_4S$	223.0744	165.0537, 121.0655, 93.0699	
51	甲萘威	63-25-2	$C_{12}H_{11}NO_2$	202.0862	145.0647,155.0603, 117.0700	
52	克百威	1563-66-2	$C_{12}H_{15}NO_4$	238.1072	181.0859, 163.0754, 117.0699	
53	乙霉威	87130-20-9	$C_{14}H_{21}NO_4$	268.1542	226.1070, 180.1014, 152.0704	
54	仲丁威	3766-81-2	$C_{12}H_{17}NO_2$	208.1332	115.9649, 184.0018, 133.9763	
55	伐虫脒	23422-53-9	$C_{11}H_{15}N_3O_2$	222.1236	165.1022 ,120.0446	
56	异丙威	2631-40-5	$C_{11}H_{15}NO_2$	194.1175	95.0491 ,137.0961, 152.0706	
57	灭多威	16752-77-5	$C_5H_{10}N_2O_2S$	163.0535	106.0324, 88.0220, 58.0296	
58	速灭威	1129-41-5	$C_9H_{11}NO_2$	166.0862	109.0648, 142.9682, 91.0542	
59	甜菜宁	13684-63-4	$C_{16}H_{16}N_2O_4$	301.1183	168.0654, 136.0392, 108.0446	
60	残杀威	114-26-1	$C_{11}H_{15}NO_3$	210.1123	185.0631, 170.0396, 122.0726	
61	涕灭威	116-06-3	$C_7H_{14}N_2O_2S$	191.0849	75.0269, 156.0452, 116.0530	
62	避蚊胺	134-62-3	$C_{12}H_{17}NO$	192.1382	119.0492, 100.0759, 91.0546	苯甲酰胺类杀虫剂
63	氟虫腈	704886-18-0	$C_{12}H_4Cl_2F_6N_4OS$	490.9929	421.9976, 388.9634, 301.9889	苯基吡唑类杀虫剂
64	多效唑	76738-62-0	$C_{15}H_{20}ClN_3O$	294.1368	70.0413, 125.0153, 165.0466	三唑类杀菌剂
65	苄氯三唑醇	75736-33-3	$C_{15}H_{19}Cl_2N_3O$	328.0975	70.0413, 87.0804, 158.9763	
66	氟环唑	133855-98-8	$C_{17}H_{13}ClFN_3O$	330.0803	121.0448, 141.0100, 129.0447	
67	乙环唑	60207-93-4	$C_{14}H_{15}Cl_2N_3O_2$	328.0609	158.9763, 204.9818, 186.9712	
68	腈菌唑	88671-89-0	$C_{15}H_{17}ClN_4$	289.1214	70.0400, 125.0153, 151.0309	
69	戊菌唑	66246-88-6	$C_{13}H_{15}Cl_2N_3$	284.0715	247.2414, 97.1012, 119.0604	
70	丙环唑	60207-90-1	$C_{15}H_{17}Cl_2N_3O_2$	342.0770	158.9760, 69.0705, 86.9710	
71	戊唑醇	107534-96-3	$C_{16}H_{22}ClN_3O$	308.1524	70.0413, 125.0153, 151.0309	
72	三唑酮	43121-43-3	$C_{14}H_{16}ClN_3O_2$	294.1003	197.0728, 115.0754, 225.0677	
73	三唑醇	55219-65-3	$C_{14}H_{18}ClN_3O_2$	296.1159	70.0406, 99.0808, 227.0837	
74	嘧菌环胺	121552-61-2	$C_{14}H_{15}N_3$	226.1339	108.0808, 210.1026, 133.0760	

表 1(续)

序号	农药名称	CAS 号	分子式	母离子	碎片离子	农药类别
75	稻瘟灵	50512-35-1	$C_{12}H_{18}O_4S_2$	291.0720	231.0144, 188.9675, 88.9514	有机硫杀菌剂
76	三环唑	41814-78-2	$C_9H_7N_3S$	190.0433	163.0324, 136.0215	噻唑类杀菌剂
77	吡喃灵	24691-76-7	$C_{13}H_{15}NO_2$	218.1173	125.0598, 99.0808, 71.0498	内吸性杀菌剂
78	嘧菌胺	110235-47-7	$C_{14}H_{13}N_3$	224.1185	209.0947, 106.0651, 131.0604	嘧啶胺类杀菌剂
79	多菌灵	10605-21-7	$C_9H_9N_3O_2$	192.0767	160.0505	咪唑类杀菌剂
80	抑霉唑	35554-44-0	$C_{14}H_{14}Cl_2N_2O$	297.0554	158.9763, 69.0447, 200.9868	
81	咪鲜胺	67747-09-5	$C_{15}H_{16}Cl_3N_3O_2$	376.0379	308.0006, 70.0287, 194.9166	
82	十三吗啉	81412-43-3	$C_{19}H_{39}NO$	298.3104	130.1225, 116.1070, 98.0967	吗啉类杀菌剂
83	吡唑醚菌酯	175013-18-0	$C_{19}H_{18}ClN_3O_4$	388.1056	194.0817, 164.0711, 149.0470	甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂
84	肟菌酯	141517-21-7	$C_{20}H_{19}F_3N_2O_4$	409.1368	186.0525, 206.0812, 116.0495	
85	嘧菌酯	131860-33-8	$C_{22}H_{17}N_3O_5$	404.1241	372.0979, 183.0553, 272.0818	
86	水杨菌胺	70193-21-4	$C_{13}H_{16}Cl_3NO_3$	340.0266	116.9060, 146.0238, 107.9401	有机氯类杀菌剂
87	放线菌酮	66-81-9	$C_{15}H_{23}NO_4$	282.1692	264.1589, 219.1375, 201.1270	蛋白质合成杀菌剂
88	甲霜灵	57837-19-1	$C_{15}H_{21}NO_4$	280.1543	220.1332, 248.1281, 192.1383	
89	烯酰吗啉	110488-70-5	$C_{21}H_{22}ClNO_4$	388.1308	301.0626, 165.0551, 242.0493	真菌杀菌剂
90	苯醚甲环唑	119446-68-3	$C_{19}H_{17}Cl_2N_3O_3$	406.0717	337.0393, 251.0025, 188.0387	杂环类杀菌剂
91	氯磺隆	64902-72-3	$C_{12}H_{12}ClN_5O_4S$	358.0369	141.0768, 167.0561, 129.0100	磺酰脲类除草剂
92	碘甲磺隆	185119-76-0	$C_{14}H_{14}IN_5O_6S$	507.9768	167.0561, 141.0769, 83.0245	磺隆类除草剂
93	胺苯磺隆	97780-06-8	$C_{15}H_{18}N_6O_6S$	411.1079	196.0829, 170.1036, 142.0723	
94	百草枯	4685-14-7	$C_{10}H_{14}NO_5PS$	292.0402	235.9774, 264.0087, 123.0316	非选择性除草剂
95	二甲戊灵	40487-42-1	$C_{13}H_{19}N_3O_4$	282.1449	247.2414, 97.1012, 119.0604	二硝基苯胺类除草剂
96	特丁津	5915-41-3	$C_9H_{16}ClN_5$	230.1170	174.054, 132.0323, 146.0227	三嗪类除草剂
97	莠去通	1610-17-9	$C_8H_{14}ClN_5$	216.1010	174.0541, 96.0556, 104.0010	三氮苯类除草剂
98	乙草胺	34256-82-1	$C_{14}H_{20}ClNO_2$	270.1251	238.0995, 162.1278, 220.0889	芽前除草剂
99	甲草胺	15972-60-8	$C_{14}H_{20}ClNO_2$	270.1251	238.0995, 162.1278, 134.0967	
100	丁草胺	23184-66-9	$C_{17}H_{26}ClNO_2$	312.1724	252.1150, 176.1434, 147.1043	
101	环莠隆	2163-69-1	$C_{11}H_{22}N_2O$	199.1805	89.0709, 72.0444, 111.1168	
102	氰草津	21725-46-2	$C_9H_{13}ClN_6$	241.0965	214.0854, 132.0323, 96.0556	选择性除草剂
103	环草敌	1134-23-2	$C_{11}H_{21}NOS$	216.1413	154.1226, 83.0855, 134.0634	
104	丙炔氟草胺	103361-09-7	$C_{19}H_{15}FN_2O_4$	355.1089	327.1135, 299.0826, 176.0506	三唑啉酮类除草剂
105	氯吡脲	68157-60-8	$C_{12}H_{10}ClN_3O$	248.0585	129.0214, 155.0007, 111.0553	植物生长调节剂

1.3　数据处理

使用 Thermo Xcalibur 5.1 软件采集样品信息, TraceFinder 5.1 软件的解卷积功能建立数据库。农药定性筛查和定量测定均采用 TraceFinder 5.1 软件。利用 Compound Discoverer 3.3^{TM} 建立未知物筛查的分析方法, 以未知物和天然产物鉴定分析模板, 结合 Orbitrap 所采集的高质量数据进行峰提取和峰对齐, 对同位素峰进行精准判断并拟合可能的分子式; 将实测样品谱图与网络数据库 mzCloud^{TM} 以及本地谱图库 mzVault 进行匹配; 同时利用峰提取后所得的精确质荷比或软件拟合分子式信息, 在线搜索 ChemSpider 数据库进行匹配以达到搜索潜在农药残留的目的。

2　结果与分析

2.1　筛查结果总体分析

2024 年对南昌市 721 份水果样品中 18 种禁限用农药和 87 种常规农药进行检测分析。分析结果表明, 检出有农药残留的样品数为 495 份(有检出代表至少筛出一种农药残留), 检出率为 68.65%。检出频次较高的农药残留参数见表 2, 共 52 份样品不合格, 样品农药残留总体合格率为 92.8%, 不合格率为 7.2%; 不合格指标主要是咪鲜胺、吡唑醚菌酯、氟氰戊菊酯和乙螨唑; 检出率较高的常规农药有啶虫脒、嘧菌酯、噻嗪酮、吡虫啉和苯醚甲环唑等, 其中啶虫脒检出率最高, 达 43.6%。

表 2 检出率大于 5%的农药残留结果

Table 2 Pesticide residues results of detection rate higher than 5%

序号	项目	检出次数	检出率/%	含量/(mg/kg)
1	啶虫脒	314	43.6	0.002~0.535
2	嘧菌酯	197	27.3	0.003~2.200
3	噻嗪酮	197	27.3	0.007~0.581
4	烯丙菊酯	128	17.8	0.009~8.210
5	丁酮砜威	123	17.1	0.004~0.263
6	苯醚甲环唑	118	16.4	0.003~3.140
7	联苯肼酯	104	14.4	0.011~0.123
8	吡唑醚菌酯	88	12.2	0.001~3.360
9	氯苯嘧啶醇	84	11.7	0.015~0.447
10	多菌灵	80	11.1	0.001~2.850
11	乙螨唑	77	10.7	0.001~4.660
12	噻虫胺	65	9.0	0.004~0.799
13	咪鲜胺	63	8.7	0.004~5.280
14	烯酰吗啉	53	7.4	0.005~0.628
15	氟氰戊菊酯	50	6.9	0.031~2.460
16	吡虫啉	42	5.8	0.003~0.573

从表 3 可知, 水果样品中 18 种禁限用农药残留无超标情况, 但有检出情况, 总体检出率为 2.9%; 检出涕灭威、灭线磷、克百威和甲基异柳磷 4 种禁限用农药, 检出率分别为 1.5%、0.4%、1.1%和 0.8%, 以涕灭威的检出率最高。这 4 种农药均为高毒杀虫剂或杀线虫剂, 常用于土壤处理、种子包衣或灌根等方式防治地下害虫和线虫(如根结线虫), 筛查出的农药残留应主要来源于种植环节。农业农村部公告第 736 号明确规定, 自 2024 年 6 月 1 日起撤销含克百威、涕灭威等制剂产品的登记, 禁止生产; 自 2026 年 6 月 1 日起全面禁止销售和使用, 这一政策的推出可显著降低禁限用农药检出率。

表 3 禁限用农药残留检测结果

Table 3 Test results for restricted and prohibited pesticide residues

序号	项目	检出次数	检出率/%	检出样品类别
1	涕灭威	11	1.5	柑橘类、热带和亚热带水果、仁果类
2	灭线磷	3	0.4	热带和亚热带水果
3	克百威	8	1.1	柑橘类、热带和亚热带水果
4	甲基异柳磷	6	0.8	热带和亚热带水果

2.2 样品中不同种类农药的检测情况

检出率排名前 3 的水果分别是柑橘类(检出率 88.9%)、仁果类(检出率 75.3%)、热带和亚热带类水果(检出率 65.7%)。不合格样品共 47 批次, 总不合格率为 6.5%。各类型水果的不合格率差异较大, 见图 1。721 批次水果中柑橘类和热带水果的不合格情况比较突出, 不合格率分别为 3.5%和 1.1%, 主要的不合格项是吡唑醚菌酯、乙螨唑和噻虫胺, 见表 4。GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》对橙、柑橘、猕猴桃、芒果、香蕉等品种中的氟氰戊菊酯无限量要求, 本次筛查发现其在上述水果中检出率较高, 应引起关注。

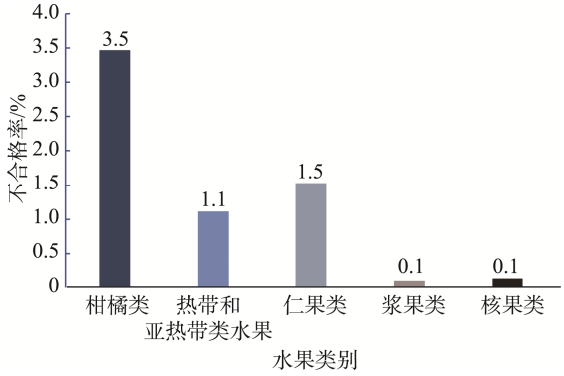


图 1 各类水果总不合格率示意图

Fig.1 Schematic diagram of the total unqualified rates of various types of fruits

表 4　农药残留不合格率与不合格项目汇总表
Table 4　Summary table of pesticide residue non-compliance rates and items

样品种类	样品名称	单品种不合格率/%	不合格项目
柑橘类	橙	24.4 (11/45)	吡唑醚菌酯(11 批次)、乙螨唑(6 批次)、涕灭威(2 批次)、肟菌酯(2 批次)
	粑粑柑、沃柑	10.1 (14/138)	吡唑醚菌酯(3 批次)、克百威(5 批次)、乙螨唑(14 批次)、涕灭威(10 批次)
热带和亚热带水果	芒果	5.0 (6/119)	吡唑醚菌酯(6 批次)、噻虫胺(5 批次)、涕灭威(3 批次)、戊唑醇(2 批次)、嘧菌酯(1 批次)
	香蕉	2.2 (2/89)	噻虫胺(2 批次)、吡虫啉(2 批次)
仁果类	苹果	3.6 (5/137)	乙螨唑(4 批次)、氟氯戊菊酯(3 批次)、涕灭威(1 批次)
	梨	3.9 (6/154)	苯醚甲环唑(4 批次)、吡唑醚菌酯(6 批次)、咪鲜胺(4 批次)、氟氯戊菊酯(3 批次)
浆果类	猕猴桃	6.3 (1/16)	涕灭威(1 批次)
核果类	桃	33.3 (1/3)	抗蚜威(1 批次)

3　讨论与结论

QuEChERS 结合高分辨质谱法可快速准确、高通量地对水果中的农药残留进行分析, 在半定量的情况下实现水果中 105 种农药的非靶向快速筛查, 可为南昌市水果农药残留风险监测、质量控制及监管提供技术支撑。相较于传统靶向检测方法, 本研究采用的高分辨质谱非靶向筛查技术可同时监测 1200 余种农药及代谢物, 筛查通量提升 3~5 倍, 且通过精确质量数(误差小于 5 ppm)和二级碎片匹配, 显著降低假阳性率。

2024 年, 南昌市对 721 份水果样品中的 18 种禁限用农药和 87 种常规农药进行了检测分析。结果显示, 农药残留检出率为 68.65%, 合格率为 92.8%, 不合格率为 7.2%。禁限用农药虽未超标, 但总体检出率为 2.9%, 常规农药中啶虫脒检出率最高(43.6%), 不合格指标主要为咪鲜胺、吡唑醚菌酯等。其中柑橘类和热带水果的不合格情况较为突出, 主要不合格项为吡唑醚菌酯、乙螨唑等。柑橘类水果近年来多有报道不合格[11,26–27], 这可能与这类水果病虫害较多、防治难度大有关[28–31]。针对氟氯戊菊酯在橙、柑橘等水果中检出量较高但暂无限量标准的问题, 建议参考欧盟法规(如 EC 396/2005), 结合我国膳食暴露评估结果, 制定合理的最大残留限量。

针对部分禁限用农药检出及常规农药超标情况, 应从源头追溯进行隐患问题排查[32–34], 建立水果生产、流通全链条的追溯体系[35], 对高风险农药和高风险水果类别进行动态监测和风险预警[36], 还应建立农药残留检测数据共享平台, 实现监管部门、科研机构和公众之间的信息互通。

参考文献

[1] 李荷丽, 杨洋, 韩世鹤, 等. 北京市场进口水果中 725 种农药残留筛查[J]. 中国食品卫生杂志, 2024, 36(7): 834–850.
LI HL, YANG Y, HAN SH, *et al*. Screening of 725 pesticide residues in imported fruits in Beijing market [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2024, 36(7): 834–850.

[2] 代飞飞, 马淑青. 2018—2021 年山东省潍坊市市售樱桃中农药残留状况分析[J]. 预防医学论坛, 2023, 29(6): 431–434.
DAI FF, MA SQ. Analysis on pesticide residues in cherries sold in Weifang City, Shandong Province from 2018 to 2021 [J]. Preventive Medicine Tribune, 2023, 29(6): 431–434.

[3] 黄素美, 周海青, 吴海军, 等. 2023 年河源市市售果蔬农药残留状况调查分析[J]. 中国食品工业, 2024(6): 82–84.
HUANG SM, ZHOU HQ, WU HJ, *et al*. Investigation and analysis of pesticide residues in marketed fruits and vegetables in Heyuan City in 2023 [J]. China Food Industry, 2024(6): 82–84.

[4] 乔佳璐. 2023 年宝鸡市市售果蔬农药残留监测结果分析[J]. 食品安全导刊, 2024(7): 89–92.
QIAO JL. Analysis of monitoring results of pesticide residues in fruits and vegetables in Baoji in 2023 [J]. China Food Safety Magazine, 2024(7): 89–92.

[5] 胡宁恩, 李小东, 李瑞芳, 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.

[6] 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.

[7] 吴基任, 林青, 梁凤雅, 等. 市售芒果中农药残留分析[J]. 食品安全导刊, 2025(1): 93–98.
WU JR, LIN Q, LIANG FY, *et al*. Analysis of pesticide residues in

commercially available mango [J]. China Food Safety Magazine, 2025(1): 93–98.

[8] 付朝伟. 山东省市售果蔬中25种有机磷农药残留状况分析及膳食暴露风险研究[D]. 保定: 河北大学, 2024.
FU ZW. Analysis of 25 organophosphorus pesticide residues in fruits and vegetables sold in Shandong Province and a study on the risk of dietary exposure [D]. Baoding: Hebei University, 2024.

[9] 卢俊萍. 上海浦东新区果蔬供应品中农药残留和重金属污染监测分析[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2023.
LU JP. Monitoring and analysis of pesticide residues and heavy metal pollution in fruit and vegetable supplies in Pudong New Area, Shanghai [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2023.

[10] 周秀莹, 温馨, 贾晓菲, 等. 2021 年中山市水果中农药残留及风险分析[J]. 安徽农业科学, 2023, 51(4): 201–204, 237.
ZHOU XY, WEN X, JIA XF, *et al*. Pesticide residues and risk analysis of fruits in Zhongshan City in 2021 [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2023, 51(4): 201–204, 237.

[11] 曾静, 乔雄梧. 我国近年蔬菜水果中农药残留超标状况浅析[J]. 农药学学报, 2023, 25(6): 1206–1221.
ZENG J, QIAO XW. A brief analysis of pesticide residues exceeding maximum residue limits in vegetables and fruits in China [J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2023, 25(6): 1206–1221.

[12] 陆阳, 蒲凤琳, 刘忠莹, 等. 进口柑橘、香蕉、猕猴桃农药残留风险评估[J]. 质量安全与检验检测, 2023, 33(1): 68–74.
LU Y, PU FL, LIU ZY, *et al*. Risk assessment of pesticide residues in imported citrus, banana and kiwi [J]. Quality Safety Inspection and Testing, 2023, 33(1): 68–74.

[13] 汪芳芳, 张洁茹, 李军. 农产品农药残留检测技术的研究进展[J]. 食品安全导刊, 2025(18): 188–192.
WANG FF, ZHANG JR, LI J. Research progress on the detection technology of pesticide residues in agricultural products [J]. China Food Safety Magazine, 2025(18): 188–192.

[14] 高丽霞. 果蔬中常见农药残留检测方法研究[J]. 食品安全导刊, 2025(5): 7–9.
GAO LX. Study on detection methods of common pesticide residues in fruits and vegetables [J]. China Food Safety Magazine, 2025(5): 7–9.

[15] 黄怡丹. 液相色谱-质谱联用技术在地产农产品农残检测中的应用进展[J]. 现代食品, 2025(10): 182–184.
HUANG YD. Progress in the application of liquid chromatography-mass spectrometry in the detection of agricultural residues in local agricultural products [J]. Modern Food, 2025(10): 182–184.

[16] 申玲, 于艳丽, 朱险峰, 等. 色谱技术在果蔬农药残留检测中的应用研究[J]. 中国检验检测, 2025, 33(3): 78–80, 83.
SHEN L, YU YL, ZHU XF, *et al*. Application of chromatography in the detection of pesticide residues in fruits and vegetables [J]. China Inspection and Testing, 2025, 33(3): 78–80, 83.

[17] 霍佳平, 张红, 王莹, 等. 传感技术在农药残留快速检测中的应用[J]. 中国食物与营养, 2015, 21(2): 57–61.
HUO JP, ZHANG H, WANG Y, *et al*. Application of transduction technology in rapid detection of pesticide residues [J]. Food and Nutrition in China, 2015, 21(2): 57–61.

[18] 周婷婷, 刘芫汐, 金红宇, 等. 农药残留快速检测技术研究进展及其在中药中的应用[J]. 中国现代中药, 2025, 27(11): 2001–2012.
ZHOU TT, LIU RX, JIN HY, *et al*. Research progress of rapid detection technologies for pesticide residues and its application in traditional Chinese medicine [J]. Modern Chinese Medicine, 2025, 27(11): 2001–2012.

[19] 吴晓鹏, 许啸, 翁良娜, 等. 改进的 QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法检测 4 种热带水果中的 17 种植物生长调节剂残留[J]. 农药学学报, 2024, 26(6): 1171–1180.
WU XP, XU X, WENG LN, *et al*. Detection of 17 plant growth regulator residues in 4 tropical fruits by improved QuEChERS-ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2024, 26(6): 1171–1180.

[20] SUN S, YAO K, ZHAO S, *et al*. Determination of aflatoxin and zearalenone analogs in edible and medicinal herbs using a group-specific immunoaffinity column coupled to ultra-high performance liquid chromatography with tandem mass spectrometry [J]. Journal of Chromatography B, 2018, 236: 1092228.

[21] 严旭旭, 戴唯, 王缅, 等. 超高效液相色谱-四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱法测定果蔬中 10 种新型除草剂及杀虫剂的残留量[J]. 中国口岸科学技术, 2025, 7(1): 70–79.
YAN XX, DAI W, WANG M, *et al*. Determination of 10 new herbicides and insecticides residues in fruits and vegetables by UPLC-Q/Orbitrap HRMS [J]. China Port Science and Technology, 2025, 7(1): 70–79.

[22] 吴永宝, 周鑫魁, 洪霞, 等. 利用 QuEChERS 技术解决复杂基质样品中毒素快速检测的缺陷[J]. 中国食品添加剂, 2025, 36(6): 161–169.
WU YB, ZHOU XK, HONG X, *et al*. Solving the defects in rapid detection of toxins in complex matrix samples using QuEChERS technology [J]. China Food Additives, 2025, 36(6): 161–169.

[23] 门雪, 吴兴强, 仝凯旋, 等. 改进的 QuEChERS 法结合液相色谱-高分辨质谱筛查热带水果中 33 种新烟碱类杀虫剂及杀菌剂[J]. 分析测试学报, 2022, 41(6): 820–826.
MEN X, WU XQ, TONG KX, *et al*. Screening of 33 neonicotinoid insecticides and fungicides in tropical fruits by liquid chromatography-high resolution mass spectrometry with a modified QuEChERS method [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2022, 41(6): 820–826.

[24] 方俊兰, 张丹阳, 伊岳星, 等. 基于超高效液相色谱-四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱筛查茶叶中 166 种农药残留方法研究[J]. 分析测试学报, 2023, 42(12): 1537–1546.
FANG JL, ZHANG DY, YI YX, *et al*. Screening of 166 pesticide residues in tea based on ultra performance liquid chromatography-quadrupole/electrostatic field orbitrap high resolution mass spectrometry [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2023, 42(12): 1537–1546.

[25] 王兴宁, 戴唯, 李志, 等. 超高效液相色谱-四极杆-静电场轨道阱高分辨质谱法快速测定植物源性食品中 96 种除草剂的残留量[J]. 理化检验-化学分册, 2023, 59(3): 264–273.
WANG XN, DAI W, LI Z, *et al*. Rapid determination of residues of 96 herbicides in plant derived foods by ultra performance liquid chromatography-quadrupole/electrostatic field orbitrap high resolution mass spectrometry [J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B:

Chemical Analysis), 2023, 59(3): 264–273.

[26] 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, 2024(12): 96–102, 109.
ZHOU H, YANG SM, SHEN YM, *et al.* Risk assessment of farm chemical residues in vegetables and fruits in Yueyang City [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2024(12): 96–102, 109.

[27] 黄松, 刘佳, 胡凌, 等. 2022—2023 年度广州市市售蔬菜水果农药残留调查分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(19): 74–83.
HUANG S, LIU J, HU L, *et al.* Investigation and analysis of pesticides residues in vegetables and fruits in Guangzhou from 2022 to 2023 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(19): 74–83.

[28] 郭林宇, 钱宸, 崔素娟, 等. 我国农产品出口欧盟因农药残留受阻分析及对策[J]. 中国食品卫生杂志, 2024, 36(6): 758–765.
GUO LY, QIAN C, CUI SJ, *et al.* Analysis and countermeasures for the obstruction of agro-products export from China to EU due to pesticide residues [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2024, 36(6): 758–765.

[29] 关文碧, 张添浩, 叶芷晴. MWCNTs 改进 QuEChERS 结合 HPLC-MS/MS 检测柑橘类水果中 16 种农药残留[J]. 中国食品添加剂, 2024, 35(8): 34–43.
GUAN WB, ZHANG TH, YE ZQ. MWCNTs improved QuEChERS combined with HPLC-MS/MS for the determination of 16 pesticide residues in citrus fruits [J]. China Food Additives, 2024, 35(8): 34–43.

[30] 郑放, 焦晨, 谢艳, 等. 中国柑橘菌物病原名录[J]. 菌物学报, 2022, 41(3): 387–411.
ZHENG F, JIAO C, XIE Y, *et al.* A checklist of pathogenic fungi on citrus in China [J]. Mycosystema, 2022, 41(3): 387–411.

[31] 刘芫汐, 王莹, 申明睿, 等. 铁皮石斛中农药最大残留限量标准方法研究及 40 种常用农药筛查分析[J]. 中国药学杂志, 2024, 59(16): 1460–1465.
LIU WX, WANG Y, SHEN MR, *et al.* Establishment of maximum residue limits for pesticides in *Dendrobium officinale* and screening analysis of 40 commonly used pesticides [J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2024, 59(16): 1460–1465.

[32] 周文兰. 农产品质量安全控制问题及对策[J]. 食品安全导刊, 2025(1): 163–165.
ZHOU WL. Agricultural products quality and safety control problems and countermeasures [J]. China Food Safety Magazine, 2025(1): 163–165.

[33] 柴娟, 王陈强, 王雪铭, 等. 农业种植中农药残留问题的治理与监管对策[J]. 中外食品工业, 2025(2): 102–104.
CHAI J, WANG CQ, WANG XM, *et al.* Governance and regulatory strategies for pesticide residues in agricultural production [J]. China & Foreign Food Industry, 2025(2): 102–104.

[34] 蔡秋萍, 陈蕾, 廖建萌. 果蔬中农药残留来源分析及其防控对策[J]. 食品安全导刊, 2024(31): 53–55.
CAI QP, CHEN L, LIAO JM. Source analysis of pesticide residues in fruits and vegetables and their prevention and control measures [J]. China Food Safety Magazine, 2024(31): 53–55.

[35] 张铁亮, 赵玉杰, 刘文婧, 等. 农产品质量安全监测评估科技创新路径思考[J]. 农产品质量与安全, 2025(1): 48–52.
ZHANG TL, ZHAO YJ, LIU WJ, *et al.* Thoughts on the path of technological innovation in monitoring and evaluating the quality and safety of agricultural products [J]. Quality and Safety of Agro-Products, 2025(1): 48–52.

[36] 刘姝甜, 李贤宾, 梁慧芯, 等. 农药残留累积性膳食风险评估研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(6): 99–105.
LIU ST, LI XB, LIANG HX, *et al.* Research progress on cumulative dietary risk assessment of pesticide residues [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(6): 99–105.

(责任编辑: 安香玉　蔡世佳)