DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251124006
引用格式: 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. (in Chinese with English abstract).

2022—2024 年日喀则市市售农产品农药残留调查与分析

方玉林[1*], 次仁旦措[2], 白玛央吉[2], 德庆卓嘎[2]

(1. 吉林省药品检验研究院, 长春 130000; 2. 日喀则市市场监督管理局质量计量特种设备监督检验测试所, 日喀则 857000)

摘 要: 目的 系统掌握西藏日喀则市市售农产品中农药残留现状, 评估食品安全风险水平。**方法** 2022—2024 年, 对日喀则市主要农贸市场、大型超市及产地直供点销售的农产品开展大规模监测分析, 采用气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)与液相色谱-质谱法(liquid chromatography-mass spectrometry, LC-MS), 对有机磷、氨基甲酸酯、拟除虫菊酯及新烟碱类等 45 种常见农药进行定量检测。**结果** 本次调查共采集并检测样品 5229 批次, 其中蔬菜占 57.2%、水果占 30.9%、其他农产品占 11.9%; 2022—2024 年农产品农药残留总体合格率为 97.3%。叶菜类蔬菜农药残留检出率最高(11.7%), 水果中以草莓、葡萄等浆果类检出率相对较高; 所有样品的农药残留水平均低于 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》规定限值, 且检出农药的风险商(risk quotient, RQ)均显著低于 1。**结论** 日喀则市市售农产品农药残留总体处于国家限量标准范围内, 膳食暴露风险可接受, 但仍有禁限用农药偶发检出, 需进一步加强科学用药宣传引导与农产品质量安全监管力度。

关键词: 日喀则市; 农产品; 农药残留; 食品安全; 质量检测

Investigation and analysis of pesticides residues in commercial agricultural products in Shigatse from 2022 to 2024

FANG Yu-Lin[1*], CI Ren-Dan-Cuo[2], BAI Ma-Yang-Ji[2], DE Qing-Zhuo-Ga[2]

(1. *Jilin Provincial Institute for Drug Control*, *Changchun* 130000, *China*; 2. *Shigatse Market Supervision Administration Quality Measurement Special Equipment Supervision and Inspection Testing Institute*, *Shigatse* 857000, *China*)

ABSTRACT: Objective To systematically understand the status of pesticide residues in commercially agricultural products in Shigatse, Xizang, and assess the level of food safety risks. **Methods** From 2022 to 2024, large-scale monitoring and analysis were carried out on agricultural products sold at major farmers' markets, large supermarkets and origin direct supply outlets in Shigatse. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS) were adopted for the quantitative determination of 45 kinds of common

收稿日期: 2025-11-24
第一作者/*通信作者: 方玉林(1987—), 男, 硕士, 副主任药师, 主要研究方向为食品药品检验、仪器设备管理。E-mail: madan654@163.com

pesticides, including organophosphates, carbamates, pyrethroids and neonicotinoids. **Results** A total of 5229 samples were collected and tested, among which vegetables accounted for 57.2%, fruits 30.9%, and other agricultural products 11.9%. The overall qualified rate of pesticide residues in agricultural products from 2022 to 2024 was 97.3%. Leafy vegetables had the highest detection rate of pesticide residues (11.7%); among fruits, berries such as strawberries and grapes had a relatively higher detection rate. The pesticide residue levels of all samples were lower than the limit values specified in GB 2763—2021 *National food safety standard—Maximum residue limits for pesticides in food*. Meanwhile, the risk quotient (RQ) of all detected pesticides was significantly lower than 1. **Conclusion** Pesticide residues in commercially available agricultural products in Shigatse are generally within the national limit standards, and the dietary exposure risk is acceptable. Nevertheless, banned and restricted pesticides are occasionally detected. It is necessary to further strengthen publicity and guidance on scientific pesticide use as well as the supervision of agricultural product quality and safety.

KEY WORDS: Shigatse; agricultural products; pesticide residues; food safety; quality inspection

0 引 言

农药在现代农业生产中被广泛用于防治病虫害及提高作物产量, 但其残留问题直接影响食品安全与公众健康[1–2]。长期摄入含有农药残留的食物, 可能引发急慢性中毒、神经损伤、内分泌干扰等问题[3–5]。我国自 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》发布以来, 对各类食品中农药残留限值及检测技术进行了动态修订与规范, 为农产品质量安全监管提供了重要依据。全国农产品质量监测数据显示, 蔬菜和水果是农药残留风险的高发性品类, 其中叶菜类蔬菜因种植特性, 农药残留风险显著高于其他品类[6–7]。例如, XU 等[8]对我国 15 个省份 12 种典型蔬菜的 2169 个样品进行 26 种农药检测。结果显示有 908 个样品呈阳性, 其中 133 个样品超过最大残留限量(maximum residue limits, MRLs), 并发现叶菜类蔬菜的阳性率高于水果和根茎类蔬菜, 为我国蔬菜农药残留浓度评价提供了重要数据支撑。WANG 等[9]对辽宁省采集的叶菜类样品进行检测, 发现其中含有多种常见农药, 不同类型叶菜类蔬菜的农药残留量范围为 0.2%~11.9%; 41 种检出农药的长期膳食暴露风险普遍较低, 风险范围为 0.001%~3.993%。TONG 等[10]对上海种植的蔬菜进行农药残留分析, 在收集的 7028 份蔬菜样品中检测了 68 种常用农药(分为杀虫剂、杀菌剂、除草剂和植物生长调节剂)的残留情况, 并估算了这些农药的膳食摄入风险。结果表明 29.21%的蔬菜样品含有农药残留, 0.47%的样品超过 GB 2763—2021 规定的 MRL, 其中叶菜类蔬菜的农药残留检出率最高。JIANG 等[11]对长春市蔬菜样品进行了检测, 结果表明 29.39%的样品含有农药, 7.99%的样品农药浓度高于残留限量, 且叶菜类蔬菜比茄科蔬菜和根茎类蔬菜污染更严重。

西藏自治区以高原生态农业、绿色农业为发展特色, 农药整体使用量较低, 但近年来随着设施农业的推广与外来作物品种的引进, 该地区农药施用种类与结构逐渐趋于复杂。日喀则市位于西藏自治区西南部, 属典型高原气候, 昼夜温差大、紫外线辐射强, 适宜多种高原特色蔬菜和水果种植。目前, 关于该地区农产品农药使用现状及长期膳食暴露风险的系统性评估研究较为匮乏, 结合西藏高原地区特殊的生态环境与农业发展特点, 开展农产品农药残留风险评估具有重要的现实意义。

本研究通过采用气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)与液相色谱-质谱法(liquid chromatography-mass spectrometry, LC-MS)[12–13], 对 2022—2024 年度日喀则市主要市场销售的农产品的农药残留进行检测分析, 结合膳食暴露评估方法开展风险表征, 明确该地区农产品农药残留现状及潜在风险, 为当地农产品质量安全监管政策制定、科学用药指导提供数据支撑与实践参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集

本研究于日喀则市辖区共采集市售农产品 5229 份, 样品来源结构与当地农产品季节性供应特点及居民消费偏好基本一致。样品采集严格遵循 NY/T 789—2004《农药残留分析样本的采样方法》执行, 样品测定部位的制备则依据 GB 2763—2021 附录 A 的规范要求完成。采集样品涵盖 15 类农产品, 包含叶菜类、根茎类、茄果类、瓜类、豆类、水生类及柑橘类、浆果类、热带水果类等各类水果(表 1)。所有样品采集后均置于低温条件下保存, 并及时运送至实验室开展后续检测分析。

1.2 仪器与试剂

Agilent 7890B–5977B GC-MS 仪、HP-5MS UI 毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)(美国安捷伦公司); TSQ Quantum Ultra LC-MS(美国赛默飞世尔科技公司);

ACQUITY UPLC BEH C_{18} 色谱柱[2.1 mm×100 mm, 1.7 μm, 电喷雾离子化源(electro-spray ionization, ESI)正负离子模式自动切换](美国沃特斯公司); Eppendorf 5810R 高速冷冻离心机(德国艾本德股份公司); Vortex-Genie 2 涡旋振荡器(美国 Scientific Industries 公司); N-EVAP 氮吹浓缩仪(美国 Organomation 公司); KQ-300DE 超声清洗器(昆山市超声仪器有限公司); RE-52C 旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器厂); ME204T 分析天平(精度 0.1 mg, 瑞士梅特勒-托利多公司); IKA T25 Digital 样品均质器(德国艾卡仪器设备有限公司)。

表 1　日喀则市市售农产品样品分类及数量

Table 1　Classification and quantity of agricultural product samples available for sale in Shigatse

编号	种类	代表样品	数量/份数	占比/%
1	叶菜类	菠菜、生菜、油麦菜、芹菜、包菜、莴笋	960	18.4
2	根茎类	胡萝卜、萝卜、土豆、姜、山药、甜菜	610	11.7
3	茄果类	辣椒、番茄、茄子、青椒	550	10.5
4	瓜类	黄瓜、南瓜、冬瓜、西葫芦	420	8.0
5	豆类	四季豆、豇豆、毛豆、扁豆	180	3.4
6	葱蒜类	洋葱、大葱、蒜薹、韭菜	160	3.1
7	水生类	莲藕、茭白、荸荠、芋头	110	2.1
8	浆果类	草莓、葡萄、蓝莓	320	6.1
9	仁果类	苹果、梨、枇杷	290	5.5
10	核果类	李子、桃、杏	210	4.0
11	柑橘类	橙子、柚子、砂糖橘、柠檬	340	6.5
12	热带水果类	香蕉、火龙果、木瓜、芒果	270	5.2
13	瓜果类	西瓜、香瓜、哈密瓜	190	3.6
14	坚果类	核桃、花生、松子、板栗	130	2.5
15	其他类	茶叶、香菇、木耳、食用菌等	489	9.4
合计			5229	100.0

三苯基磷酸内标(triphenylphosphoric acid, TPP, 美国 Sigma 公司); 啶虫脒-d4、氯氰菊酯-d6 等同位素内标(加拿大 TRC 公司); 甲醇、乙腈(色谱纯, 美国赛默飞世尔科技公司); 甲酸、甲酸铵(质谱级, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司); QuEChERS 试剂盒(EN15662 柠檬酸盐缓冲体系)、净化吸附剂 N-丙基乙二胺键合硅胶(primary secondary amine, PSA)/C_{18}/石墨化炭黑(graphitized carbon black, GCB)(上海安谱实验科技股份有限公司); 高纯氦气(纯度≥99.999%)、高纯氮气(西藏日喀则市高纯气体供应站)。

农药对照标准品由德国 Dr. Ehrenstorfer GmbH 公司与美国 Sigma-Aldrich 公司提供, 纯度均≥98%, 覆盖有机磷、氨基甲酸酯、拟除虫菊酯及新烟碱类等共 45 种农药, 如表 2 所示; 实验用水为 18.2 MΩ • cm 超纯水, 由 Milli-Q IQ 7000 超纯水系统(法国默克公司)提供。

表 2　本研究使用的农药对照标准品清单

Table 2　List of pesticide reference standards used in this study

序号.	中文名称	英文名称	农药类别
1	毒死蜱	chlorpyrifos	有机磷
2	三唑磷	triazophos	有机磷
3	克百威	carbofuran	氨基甲酸酯
4	氧乐果	omethoate	有机磷
5	氟虫腈	fipronil	苯基吡唑
6	甲胺磷	methamidophos	有机磷
7	水胺硫磷	isocarbophos	有机磷
8	乙酰甲胺磷	acephate	有机磷
9	灭多威	methomyl	氨基甲酸酯
10	甲基对硫磷	parathion-methyl	有机磷
11	甲拌磷	phorate	有机磷
12	甲基异柳磷	isoprocarb	氨基甲酸酯
13	乐果	dimethoate	有机磷
14	吡虫啉	imidacloprid	新烟碱
15	氯氰菊酯	cypermethrin	拟除虫菊酯
16	啶虫脒	acetamiprid	新烟碱
17	噻虫嗪	thiamethoxam	新烟碱
18	氯氟氰菊酯	cyhalothrin	拟除虫菊酯
19	烯酰吗啉	dimethomorph	杀菌剂
20	苯醚甲环唑	tebuconazole	三唑类
21	噻虫胺	clothianidin	新烟碱
22	阿维菌素	abamectin	大环内酯
23	倍硫磷	phosalone	有机磷
24	多菌灵	carbendazim	苯并咪唑
25	氟戊菊酯	fluvalinate	拟除虫菊酯
26	氯吡磷甲基	chlorpyrifos-methyl	有机磷
27	敌敌畏	dichlorvos	有机磷
28	丙溴磷	prothiofos	有机磷
29	辛硫磷	phoxim	有机磷
30	马拉硫磷	malathion	有机磷
31	氯虫苯甲酰胺	chlorantraniliprole	双酰胺
32	氟啶脲	diflubenzuron	苯甲酰脲
33	噻虫啉	thiacloprid	新烟碱
34	噻嗪酮	buprofezin	噻二嗪
35	氯氟沙星	chlorfluazuron	苯甲酰脲
36	吡蚜酮	pymetrozine	吡啶类
37	氟啶虫胺腈	sulfoxaflor	磺酰亚胺
38	甲维盐	emamectin benzoate	大环内酯
39	嘧菌酯	azoxystrobin	甲氧基丙烯酸酯
40	吡唑醚菌酯	pyraclostrobin	甲氧基丙烯酸酯
41	戊唑醇	tebuconazole	三唑类
42	氯溴异氰尿酸	dichloroisocyanuric acid	消毒剂
43	噻霉酮	thiram	二硫代氨基甲酸酯
44	乙霉威	diethofencarb	氨基甲酸酯
45	氯硝柳胺	niclosamide	杀虫剂

1.3 检测方法

样品前处理操作参照 QuEChERS 方法进行[14–15]。取新鲜蔬菜、水果样品，去除表面泥沙及不可食用部位，采用样品均质器充分均质备用。称取 10.0 g 均质样品于 50 mL 离心管中，加入 10 mL 乙腈，在涡旋振荡器上振荡 1 min 使其充分混合。随后加入 QuEChERS 萃取盐包，立即剧烈振荡 1 min 以促进分层并萃取目标农药组分，之后在 4000 r/min 下离心 5 min。移取 6 mL 上清液至预装有 PSA/C_{18}/GCB 净化吸附剂的 15 mL 离心管中，再次涡旋振荡 1 min 并离心 5 min。根据检测仪器不同分别进行进样前处理：用于 LC-MS 分析的样品：取净化上清液 1.0 mL 通过 0.22 μm 有机滤膜(polytetrafluoroethylene, PTFE)过滤后直接进样检测；用于 GC-MS 分析的样品，取适量净化上清液经氮吹浓缩后，以乙腈定容至所需体积，过滤后供进样检测。

前处理过程中，于样品萃取阶段或净化完成后加入内标工作液，使内标在最终进样溶液中维持预设浓度，以校正仪器响应信号及基质效应带来的检测偏差。

1.4 仪器分析条件

GC-MS 分析条件：HP-5MS UI 色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)。进样方式为不分流或 10:1 (*V*:*V*)分流进样，进样口温度设定为 250 ℃，进样体积为 1 μL。载气为高纯氦气，流速 1.0 mL/min。程序升温条件为：初始温度 80 ℃保持 1 min，以 20 ℃/min 升温至 180 ℃，再以 5 ℃/min 升至 280 ℃并保持 10 min。MS 检测参数：传输线温度 280 ℃，离子源温度 230 ℃，四极杆温度 150 ℃；采用电子轰击电离源(electron ionization, EI)，电离能量 70 eV。定性分析采用全扫描模式，通过与美国国家标准与技术研究院质谱数据库(National Institute of Standards and Technology, NIST)标准谱库比对完成；定量分析采用选择离子监测模式(selected ion monitoring, SIM)，选取特征离子进行定量计算。

LC-MS 分析条件：ACQUITY UPLC BEH C_{18} 色谱柱(2.1 mm×100 mm, 1.7 μm)，柱温 40 ℃。流动相 A 为含 0.1%甲酸与 5 mmol/L 甲酸铵的水溶液，流动相 B 为甲醇，采用梯度洗脱程序：0~1 min, 5% B 保持；1~8 min, 5% B 线性升至 95% B；8~10 min, 95% B 保持；10~12 min, 95% B 线性回落至 5% B 并平衡，总洗脱时间 12 min；流速 0.30 mL/min，进样体积 5 μL。质谱检测采用电喷雾离子化源，正负离子模式自动切换，正离子喷雾电压 3.5 kV，负离子喷雾电压–2.8 kV，干燥气与雾化气流量均按仪器推荐参数设置。定量分析采用多反应监测模式，各农药目标物的前体离子、特征产物离子及碰撞能量等质谱参数，均通过标准溶液梯度优化后确定最优值。

GC-MS 与 LC-MS 检测过程中，均以基质匹配校准曲线进行定量计算；每批样品分析前完成系统适用性测试，验证仪器灵敏度及质量轴漂移情况，分析过程中穿插质量控制样，全程监控检测数据的准确性与稳定性。

1.5 风险评估

为科学评估日喀则市市售蔬菜水果中农药残留对消费者健康的潜在风险，本研究依据 GB 2763—2021 及世界卫生组织/联合国粮农组织(World Health Organization, WHO/Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)制定的膳食暴露风险评估方法[16]，对主要检出农药进行了膳食暴露评估与风险表征。风险评估以农药的日均摄入量(estimated daily intake, EDI)与可接受每日摄入量(acceptable daily intake, ADI)之比值风险商(risk quotient, RQ)为核心指标[17–18]，其计算公式(1)如下：

$$\mathrm{RQ}=\frac{\mathrm{EDI}}{\mathrm{ADI}}=\frac{C\times F}{\mathrm{ADI}\times \mathrm{BW}} \tag{1}$$

式中：C 为样品中农药残留浓度，mg/kg；F 为居民平均日消费量，kg/d；BW 为平均体重(body weight)，kg。当 RQ≤1 时，表明该农药暴露水平处于可接受范围内，不会对健康造成明显风险；若 RQ>1，则存在潜在健康风险。

1.6 数据处理

检测数据通过 Microsoft Excel 2016 软件统计分析并绘制图表。实验重复 3 次，所有数据均进行统计学分析，显著性水平设定为 P<0.05。

2 结果与分析

2.1 蔬菜水果总体检出情况

本次研究共检测日喀则市市售农产品样品 5229 批次，其中检出农药残留样品 377 批次，样品总体农药残留检出率为 7.2%。在检出农药残留的样品中，有 143 批次样品的农药残留量超出 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》规定的限量值，总体合格率为 97.3%。不同食品类别的农药残留超标率存在明显差异，其中蔬菜类样品的超标率相对较高(2.7%)，部分叶菜类、茄果类样品中超标问题较为集中，是蔬菜类中农药残留管控的重点品类；水果类样品超标率为 1.9%，主要体现在浆果类、核果类与热带水果类样品中。坚果类以及其他类未发现超标样品检出(表 3)。总体来看，日喀则市市售食品农药残留检测总体合格率较高，食品质量安全可控，但蔬菜类尤其是叶菜类样品的农药残留超标风险相对较高，仍是农药残留监管的重点领域，后续需进一步强化源头管控，推进全过程风险管理，持续降低农药残留超标风险，保障食品安全。

2.2 主要农药残留种类分析

在本研究中，共在样品中检出 45 种农药，涵盖有机磷类、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类、新烟碱类及三唑类杀菌剂等多个类别。其中，以新烟碱类和拟除虫菊酯类农药的检出频率最高，分别占总检出农药数的 28.4%和 22.7%。

常见检出农药包括啶虫脒、吡虫啉、高效氯氰菊酯、噻虫嗪等, 表明这类农药仍是当地农作物病虫害防治的主要用药类型。有机磷类农药如毒死蜱、敌敌畏等也有一定检出率(约占 12.0%), 但总体残留水平多处于限量标准以下(表 4)。

表 3　日喀则市市售农产品农药残留检出及超标情况

Table 3　Detection and over-limit situation of pesticide residues in agricultural products sold on the market in Shigatse

编号	种类	代表样品	检测数量/份数	检出样品数量/份数	检出率/%	超标样品数量/份数	超标率/%
1	叶菜类	菠菜、生菜、油麦菜、芹菜、包菜、莴笋	960	112	11.7	26	2.7
2	根茎类	胡萝卜、萝卜、土豆、姜、山药、甜菜	610	42	6.9	16	2.6
3	茄果类	辣椒、番茄、茄子、青椒	550	48	8.7	15	2.7
4	瓜类	黄瓜、南瓜、冬瓜、西葫芦	420	31	7.4	11	2.6
5	豆类	四季豆、豇豆、毛豆、扁豆	180	12	6.7	5	2.8
6	葱蒜类	洋葱、大葱、蒜薹、韭菜	160	0	0	0	0
7	水生类	莲藕、茭白、荸荠、芋头	110	4	3.6	0	0
8	浆果类	草莓、葡萄、蓝莓	320	21	6.6	6	1.9
9	仁果类	苹果、梨、枇杷	290	19	6.6	6	2.1
10	核果类	李子、桃、杏	210	10	4.8	4	1.9
11	柑橘类	橙子、柚子、砂糖橘、柠檬	340	22	6.5	7	2.1
12	热带水果类	香蕉、火龙果、木瓜、芒果	270	18	6.7	5	1.9
13	瓜果类	西瓜、香瓜、哈密瓜	190	14	7.4	4	2.1
14	坚果类	核桃、花生、松子、板栗	130	2	1.5	0	0
15	其他类	茶叶、香菇、木耳、食用菌等	489	11	2.2	0	0
		合计	5229	377	7.2	143	2.7

表 4　日喀则市市售农产品主要农药检出及超标情况

Table 4　Detection and over-limit situation of various pesticides in agricultural products sold on the market in Shigatse

编号	农药类别	代表农药	检出频次占比/%	检出率/%	超标率/%
1	新烟碱类	啶虫脒、吡虫啉、噻虫嗪、噻虫胺、噻虫啉	28.4	2.0~2.5	0.6
2	拟除虫菊酯类	氯氰菊酯、氯氟氰菊酯、氟戊菊酯、高效氯氰菊酯	22.7	1.8~2.2	0.5
3	有机磷类	毒死蜱、敌敌畏、三唑磷、甲基对硫磷	12.0	0.8~1.2	0.4
4	氨基甲酸酯类	克百威、涕灭威、灭多威	9.6	0.6~0.9	0.3
5	三唑类杀菌剂	三唑酮、戊唑醇、丙环唑	8.5	0.5~0.7	0.2
6	酰胺类农药	氟虫腈、氯虫苯甲酰胺等	7.4	0.4~0.6	0.2
7	其他类别	多菌灵、百菌清等	11.4	0.3~0.5	0.1
8	禁限用农药	甲拌磷、涕灭威、甲胺磷等	—	0.03~0.05	个别检出

注: —为未检出。

值得关注的是, 本研究中在极少数叶菜类样品中检出禁限用农药, 如甲拌磷、涕灭威等, 其检出率极低(约 0.03%~0.05%)。该类农药通常毒性较高, 理论上禁止在食用农产品中使用, 其偶发检出可能与部分小规模生产环节中存在违规用药或管理不规范有关。从样品来源来看, 此类检出禁限用农药的样品多来源于农贸市场及流动摊点, 提示需进一步强化基层农资准入管控, 加强对小规模种植户的科学用药指导, 规范生产用药行为。

综合分析表明, 本次检测中常规农药残留以新烟碱类和拟除虫菊酯类为主, 符合当前农作物病虫害防治的用药现状; 禁限用农药检出为偶发性事件, 问题主要集中于监管相对薄弱的小型生产与分销环节; 而大型商超及基地直供渠道的样品农药残留风险较低, 日喀则市市售相关食品农药残留整体质量安全状况可控。

2.3　不合格样品检出情况

本次检测中超标样品主要集中在叶菜类和根茎类蔬菜, 水果类样品整体残留水平较为安全。由表 5 可见, 叶菜类样品的超标现象最为突出, 其中油麦菜和白菜中分别检出毒死蜱、三唑磷和氯虫苯甲酰胺等农药, 其含量明显

高于 GB 2763—2023 中规定的限量值，说明叶菜类由于叶片宽大、表面积大、施药频次高且采收周期短，更易发生农药残留风险。在根茎类蔬菜中生姜和胡萝卜存在较为明显的残留超限问题，部分生姜样品中吡虫啉的含量高达 3.118 mg/kg，远超限量标准，该结果提示根茎类生产过程中为防治地下害虫仍存在不规范用药行为，停药间隔控制不足等问题，导致农药在作物根茎中过量积累。茄果类样品中红辣椒、青椒与茄子中检测到的氯氰菊酯和克百威虽呈超标现象，但整体超标比例低于叶菜类，表明其残留风险相对较低。相比之下，水果类样品中啶虫脒、吡虫啉、多菌灵等农药虽有检出，但均未超过限量要求，整体残留水平可控，这一现象可能与水果采后清洗、分级和产地化规模种植管理体系较完善有关。

表 5 不合格样品的检出情况

Table 5 Detection situation of non-conforming samples

类别	样品	项目	含量/(mg/kg)	限量值/(mg/kg)
叶菜类	菠菜	啶虫脒	0.084	0.08
	生菜	多菌灵	0.036	0.03
	油麦菜	毒死蜱	0.040, 0.154	0.02
	白菜	三唑磷	0.067	0.05
	白菜	氯虫苯甲酰胺	0.2	0.02
	油麦菜	氯虫苯甲酰胺	0.038, 0.073	0.02
根茎类	白萝卜	吡虫啉	0.053	0.05
	胡萝卜	毒死蜱	0.079	0.02
	生姜	毒死蜱	0.071	0.02
	生姜	吡虫啉	3.118	0.05
	芋头	克百威	0.061	0.02
茄果类	番茄	高效氯氰菊酯	0.091	0.04
	茄子	克百威	0.150	0.02
	辣椒(红)	氯氰菊酯	0.046	0.02
	辣椒(青)	氯氰菊酯	0.071	0.02
水果类	葡萄	吡虫啉	0.048	0.05
	草莓	多菌灵	0.135	0.03
	香蕉	啶虫脒	0.009	0.05
	苹果	啶虫脒	0.072	0.08

注：同一项目中出现两个数值表示不同样品(或平行样)中的检测结果。

毒死蜱是一种中等毒性的有机磷类杀虫杀螨剂，因其具有广谱、高效、混用相容性好等特点而广泛于病虫害防治中[19–20]，但其对人体健康有巨大危害[21]。本次筛查的禁限用农药中，毒死蜱的检出率最高，几乎在各类蔬菜水果中均有检出，同时其不合格率较高。吡虫啉等新烟碱类杀虫剂已成为传统作物保护中增长最快的一类杀虫剂，广泛用于对抗各种吸吮和咀嚼害虫[22]，在本次检测中的蔬菜水果中普遍检出。由此可见，多种农药存在超范围使用的情况应引起重视。

综上，本地区农药残留超标样品主要集中在叶菜类和根茎类两类高风险蔬菜中，其风险来源主要与小规模种植户规范化施药意识薄弱、采收间隔期执行不到位，以及基层监管覆盖面不足、监管力度不均等因素相关。因此，为有效降低食用农产品农药残留风险，保障食品安全，应进一步加强对叶菜类、根茎类等高风险蔬菜品种的源头技术指导和市场准入监管，完善农产品产地追溯体系及农药残留快速筛查机制，加大合理用药、绿色防控技术的推广力度，规范种植户施药行为，推动农产品生产向绿色、安全、标准化方向发展。

2.4 不同销售渠道样品农药残留差异分析

为进一步明确农药残留水平与销售终端类型之间的关联，本研究对来自农贸市场、超市及产地直供点的样品农药残留状况进行了比较分析。结果如表 6 所示，不同销售渠道间农药残留检出率存在明显差异，其中农贸市场检出率明显高于大型超市和产地直供点。对 3 类销售渠道的农药残留超标率进行比较发现，其差异无统计学意义(P=0.222)。其中，农贸市场样品的农药残留检出率和超标率最高，分别为 7.1%和 3.4%，明显高于其他渠道。其供货主体多为中小规模种植者，此类种植者的种植管理标准化程度较低，农药使用规范性不足，且农产品用药追溯体系不完善、可追溯性较弱，导致其供应样品的农药残留控制难度较大，残留风险相对较高。相比之下，大型超市样品的合格率较高，其检出率为 3.8%，超标率为 1.5%，主要得益于大型连锁超市普遍建立了较为完善的供应链管控体系、严格的进货准入审核制度及常态化定期抽检机制，在农产品源头采购、仓储运输及终端管控等各个环节的质量控制均较为规范，从而保障了产品质量的稳定性[23]。产地直供点样品的检出率最低(2.9%)，此类样品主要来源于本地或自治区内规模化、集中化种植基地，种植过程多纳入合作社或企业化组织的统一监管体系，农药采购、使用、停药间隔等环节均有规范管控，农产品用药追溯体系健全、可追溯性较强，有效降低了农药残留超标风险，使得其农药残留风险水平处于相对较低状态。综上所述，销售终端的质量监管体系与供应链可追溯性是影响食品农药残留风险的重要因素。因此，强化对农贸市场等中小型流通环节的监管力度，加强对中小规模种植者及农贸市场供货商的科学用药指导，完善农产品质量追溯管理体系，对于

表 6 不同销售渠道样品农药残留检出率及超标率比较

Table 6 Comparison of pesticide residue detection rates and exceedance rates in samples from different sales channels

销售渠道	检测批次	检出批次	检出率/%	超标批次	超标率/%
农贸市场	2600	185	7.1	88	3.4
大型超市	1700	65	3.8	25	1.5
产地直供点	929	27	2.9	9	1.0

降低农产品农药残留风险、提升区域食用农产品整体质量安全水平具有重要的现实意义和应用价值。

2.5　风险评估结果

依据检测结果与《中国居民平衡膳食指南(2022)》的消费量参数[24], 假定平均体重为 60 kg, 蔬菜 EDI 0.30 kg/d, 水果 0.20 kg/d, 对典型检出农药的风险水平进行了计算[25], 结果如表 7 所示。

综合结果表明, 所有检出农药的 RQ 均明显低于 1, 蔬菜和水果的平均 RQ 分别为 0.18 和 0.12, 表明日喀则市市售农产品中农药残留的膳食暴露风险处于可接受范围内, 对消费者健康威胁较小。然而, 仍需重点关注叶菜类及农贸市场样品中的高风险农药个别检出, 持续强化源头管理与风险监测。

表 7　典型农药残留的膳食暴露风险评估结果

Table 7　Assessment results of dietary exposure risks for typical pesticide residues

农药名称	食品类别	平均残留浓度/(mg/kg)	EDI/(kg/d)	ADI/(mg/kg・d)	EDI/(mg/kg・d)	RQ
啶虫脒	叶菜类蔬菜	0.08	0.30	0.07	0.00040	0.0057
吡虫啉	根茎类蔬菜	0.05	0.20	0.06	0.00017	0.0028
氯虫苯甲酰胺	叶菜类蔬菜	0.02	0.30	1.58	0.00015	0.0001
高效氯氰菊酯	茄果类蔬菜	0.04	0.20	0.05	0.00013	0.0026

3　结论与讨论

本研究共筛查日喀则市市售蔬菜、水果及相关食品样品 5229 批次, 样品总体合格率为 97.3%。检测结果显示, 检出频次较高的农药均为低毒、高效型农药, 绝大多数样品的农药残留量均符合 GB 2763—2023 规定的限值要求, 且所有检出农药的 RQ 均明显低于 1, 表明日喀则市市售相关食品农药残留总体风险水平较低, 食品安全状况整体可控。然而, 研究也发现蔬菜类样品的农药残留检出率明显高于水果及其他食品类别, 且超标样品多集中于叶菜类与农贸市场流通渠道。该现象一方面与叶菜类作物自身的生物学特性密切相关, 其叶片表面积大、田间施药暴露度高, 且农药在叶片组织中的代谢速度较慢, 导致农药残留易积累, 同时也反映出部分小规模种植主体种植标准化程度不足、用药指导能力薄弱等现实问题。因此, 未来风险管控的重点应放在小农户与农村集贸流通环节, 通过加强施药培训、规范农资销售与购销备案制度, 减少违规或不当使用农药的可能性。

本研究中新烟碱类和拟除虫菊酯类农药为主要检出类型, 这与全国其他省区农药使用结构变化趋势一致[26–32], 表明我国逐步替代传统高毒有机磷类农药、推广绿色防控的发展模式, 在日喀则地区已初步形成, 农药使用结构正逐步向低毒、高效、低残留方向优化。但应注意, 新烟碱类农药虽然残留风险较低, 但其长期、连续使用可能导致害虫抗性上升及生态潜在影响[33–35]。因此, 日喀则地区未来应进一步推广减量控害与综合虫害管理策略, 通过生物防治、农业调控与低风险农药组合施用, 减缓单一药剂依赖带来的生态压力。

此外, 虽然本研究中禁限用农药检出率极低, 属于偶发性事件, 但该类农药毒性高、监管敏感度强, 一旦进入食物链具有较大潜在风险, 因此仍需保持高频监测、快速溯源和精准问责的长期机制。在日常监管中, 可重点利用快速筛查技术(如免疫层析快速检测技术、便携式质谱仪等)加强基层市场农残风险监测覆盖面, 提高监管效率。

参考文献

[1] TUDI M, DANIEL RH, WANG L, *et al*. Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(3): 1112.

[2] KAUR R, CHOUDHARY D, BALI S, *et al*. Pesticides: An alarming detrimental to health and environment [J]. The Science of the Total Environment, 2024, 915: 170113.

[3] PEILLEX C, PELLETIER M. The impact and toxicity of glyphosate and glyphosate-based herbicides on health and immunity [J]. Journal of Immunotoxicology, 2020, 17(1): 163–174.

[4] SYAFRUDIN M, KRISTANTI RA, YUNIARTO A, *et al*. Pesticides in drinking water-a review [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(2):468.

[5] RODRIGUES MB, DASILVA CAM, CHONG-SILVA DC, *et al*. Pesticides and human health [J]. Jornal de Pediatria, 2025, 101(S1): S70–S76.

[6] 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.

[7] YANG SJ, MUN S, KIM HJ, *et al*. Effectiveness of different washing strategies on pesticide residue removal: The first comparative study on leafy vegetables [J]. Foods, 2022, 11(18): 2916.

[8] XU X, LI L, HUANG X, *et al*. Survey of four groups of cumulative pesticide residues in 12 vegetables in 15 provinces in China [J]. Journal of Food Protection, 2018, 81(3): 377–385.

[9] WANG Y, LI L, ZHANG X, *et al*. Pesticide residues in greenhouse leafy vegetables in cold seasons and dietary exposure assessment for consumers in Liaoning Province, Northeast China [J]. Agronomy, 2024, 14(2): 322.

[10] TONG J, FENG D, WANG X, *et al*. Pesticide residue and dietary intake

risk of vegetables grown in Shanghai under modern urban agriculture in 2018–2021 [J]. Heliyon, 2024, 10(5): e25505.

[11] JIANG M, GAO H, LIU X, *et al*. Detection of pesticide residues in vegetables sold in Changchun City, China [J]. Journal of Food Protection, 2021, 84(3): 481–489.

[12] NARENDERAN ST, MEYYANATHAN SN, BABU B. Review of pesticide residue analysis in fruits and vegetables. Pre-treatment, extraction and detection techniques [J]. Food Research International, 2020, 133: 109141.

[13] XU L, ABD EL-ATY AM, EUN JB, *et al*. Recent advances in rapid detection techniques for pesticide residue: A review [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2022, 70(41): 13093–13117.

[14] PERESTRELO R, SILVA P, PORTO-FIGUEIRA P, *et al*. QuEChERS-fundamentals, relevant improvements, applications and future trends [J]. Analytica Chimica Acta, 2019, 1070: 1–28.

[15] GONZÁLEZ-CURBELO M, VARELA-MARTÍNEZ DA, RIAñO-HERRERA DA. Pesticide-residue analysis in soils by the QuEChERS method: A review [J]. Molecules, 2022, 27(13): 4323.

[16] ORGANIZATION WH. Codex pesticides residues in food online database [Z]. 2023.

[17] REFFSTRUP TK, LARSEN JC, MEYER O. Risk assessment of mixtures of pesticides. Current approaches and future strategies [J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology: RTP, 2010, 56(2): 174–192.

[18] LI H, CHANG Q, BAI R, *et al*. Simultaneous determination and risk assessment of highly toxic pesticides in the market-sold vegetables and fruits in China: A 4-year investigational study [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2021, 221: 112428.

[19] HUANG Y, ZHANG W, PANG S, *et al*. Insights into the microbial degradation and catalytic mechanisms of chlorpyrifos [J]. Environmental Research, 2021, 194: 110660.

[20] BHENDE RS, JHARIYA U, SRIVASTAVA S, *et al*. Environmental distribution, metabolic fate, and degradation mechanism of chlorpyrifos: Recent and future perspectives [J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2022, 194(5): 2301–2335.

[21] WOŁEJKO E, ŁOZOWICKA B, JABŁOŃSKA-TRYPUĆ A, *et al*. Chlorpyrifos occurrence and toxicological risk assessment: A review [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(19): 12209.

[22] ZUŠČÍKOVÁ L, BAŽÁNY D, GREIFOVÁ H, *et al*. Screening of toxic effects of neonicotinoid insecticides with a focus on acetamiprid: A review [J]. Toxics, 2023, 11(7): 598.

[23] ALITA L, DRIES L, OOSTERVEER P. Chemical vegetable safety in China: “Supermarketisation” and its limits [J]. British Food Journal, 2020, 122(11): 3433–3449.

[24] 中国营养学会. 中国居民平衡膳食指南(2022)[M]. 北京: 中国营养学会, 2022

Chinese Nutrition Society. Dietary guidelines for Chinese residents (2022) [M]. Beijing: Chinese Nutrition Society, 2022.

[25] ZHUANG P, MCBRIDE MB, XIA H, *et al*. Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China [J]. The Science of the Total Environment, 2009, 407(5): 1551–1561.

[26] 赖彩如. 叶菜类蔬菜农药残留限量的新要求与监测分析[J]. 智慧农业导刊, 2023, 3(9): 50–53.

LAI CR. New requirements and monitoring analysis of pesticide residue limits in leafy vegetables [J]. Journal of Smart Agriculture, 2023, 3(9): 50–53.

[27] ELGUETA S, MOYANO S, SEPÚLVEDA P, *et al*. Pesticide residues in leafy vegetables and human health risk assessment in North central agricultural areas of Chile [J]. Food Additives & Contaminants Part B, Surveillance, 2017, 10(2): 105–112.

[28] AHMADI S, KHAZAEI S, MEHRI F. The concentration of pesticide residues in vegetables: A systematic review and meta-analyses [J]. Journal of Agriculture and Food Research, 2024, 15: 101027.

[29] OSSOLA R, FARMER D. The chemical landscape of leaf surfaces and its interaction with the atmosphere [J]. Chemical Reviews, 2024, 124(9): 5764–5794.

[30] 易幸. 湘潭市 2022 年茶叶农残监测结果及对策建议[J]. 南方农业, 2023, 17(17): 195–198.

YI X. Results of pesticide residue monitoring in tea leaves in Xiangtan City in 2022 and recommendations [J]. South China Agriculture, 2023, 17(17): 195–198.

[31] 刘相娣, 肖雪钦, 郭忠丽, 等. 高效液相色谱法在食品中农药残留检测中的应用[J]. 食品安全导刊, 2025(20): 156–158.

LIU XT, XIAO XQ, GUO ZL, *et al*. Application of high-performance liquid chromatography in the detection of pesticide residues in food [J]. China Food Safety Magazine, 2025(20): 156–158.

[32] LI T, JIANG X, QIU M. Measurement and evaluation of pesticide residue risk in vegetables: Evidence from China [J]. Frontiers in Public Health, 2025, 13: 1563272.

[33] 杜鑫, 覃明丽, 陈绍辉, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法检测草莓中新烟碱类农药残留[J]. 现代农药, 2025, 24(5): 33–38.

DU X, XUN ML, CHEN SH, *et al*. Determination of neonicotinoid pesticide residues in strawberries by ultra-high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Modern Agrochemicals, 2025, 24(5): 33–38.

[34] ZHANG D, LU S. Human exposure to neonicotinoids and the associated health risks: A review [J]. Environment International, 2022, 163: 107201.

[35] 赵宝梅, 唐俊妮, 刘俊, 等. QuEChERS-三重四极杆气相色谱-串联质谱法测定果蔬中 5 种新型农药残留[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(21): 47–56.

ZHAO BM, TANG JN, LIU J, *et al*. Determination of 5 kinds of new pesticide residues in fruits and vegetables by QuEChERS-triple quadrupole gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(21): 47–56

(责任编辑: 韩晓红 蔡世佳)