DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251009002
引用格式: 叶秋雄, 侯韬, 梁俊发, 等. 胶体金免疫层析法快速检测蔬菜中毒死蜱残留[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(4): 107–112.
YE QX, HOU T, LIANG JF, *et al*. Rapid detection of chlorpyrifos residues in vegetables by colloidal gold immunochromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(4): 107–112. (in Chinese with English abstract).

胶体金免疫层析法快速检测蔬菜中毒死蜱残留

叶秋雄[1#], 侯　韬[1#*], 梁俊发[1], 易云婷[1], 刘亚青[2], 梁　科[3],
毛新武[1], 罗志锋[1], 朱亮宇[1], 陈亮亮[1]

(1. 广州市食品检验所, 广州　511405; 2. 东莞理工学院生命健康技术学院, 东莞　523808;
3. 广东达元绿洲食品安全科技股份有限公司, 广州　510700)

摘　要: 目的　建立基于胶体金免疫层析技术的快速检测蔬菜中毒死蜱残留的方法。**方法**　对提取溶剂、提取时间、检测温度等前处理条件进行系统优化, 确定最佳快速检测参数, 并确定该快速检测方法的假阴性率、假阳性率、相对准确度等性能指标。**结果**　8.0 mL 0.1 mol/L 磷酸盐缓冲溶液为试样提取溶剂, 3 min 为提取时间, 检测温度为 15~35 ℃是最佳的快速检测参数。实验结果显示, 该方法的假阴性率和假阳性率均为 0%, 相对准确度为 100%; 20 份蔬菜试样的快速检测结果与液相色谱-串联质谱法检测结果一致。**结论**　该方法的检测性能良好, 适用于现场快速检测和大规模筛查。

关键词: 毒死蜱; 快速检测; 胶体金免疫层析

Rapid detection of chlorpyrifos residues in vegetables by colloidal gold immunochromatography

YE Qiu-Xiong[1#], HOU Tao[1#*], LIANG Jun-Fa[1], YI Yun-Ting[1], LIU Ya-Qing[2], LIANG Ke[3],
MAO Xin-Wu[1], LUO Zhi-Feng[1], ZHU Liang-Yu[1], CHEN Liang-Liang[1]

(1. *Guangzhou Institute of Food Inspection*, *Guangzhou* 511405, *China*; 2. *School of and Health Technology*, *Dongguan University of Technology*, *Dongguan* 523808, *China*; 3. *Guangdong Dayuan Oasis Food Safety Technology Co*., *Ltd*., *Guangzhou* 510700, *China*)

ABSTRACT: Objective　To establish a rapid detection method suitable for the determination of chlorpyrifos residues in vegetables based on the colloidal gold immunochromatographic technology. **Methods**　The pretreatment conditions such as extraction solvent, extraction time and detection temperature were systematically optimized to determine the optimal rapid detection parameters. Additionally, the performance indicators of this rapid detection method, including false negative rate, false positive rate and relative accuracy, were confirmed. **Results**　Using 8.0 mL of 0.1 mol/L phosphate buffer saline solution as the sample extraction solvent, setting the extraction time to 3 min,

收稿日期: 2025-10-09
基金项目: 国家市场监督管理总局科研项目(20221209)
#叶秋雄和侯韬为共同第一作者
第一作者: 叶秋雄(1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全与质量分析。E-mail: yqx0366@163.com
第一作者/*通信作者: 侯韬(1994—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品工程。E-mail: houtao26@163.com

and controlling the detection temperature within the range of 15–35 ℃ were determined as the optimal parameters for rapid detection. The experimental results showed that the false negative rate and false positive rate of this method were both 0%, with a relative accuracy of 100%; the rapid detection results of 20 vegetable samples were consistent with those obtained by the liquid chromatography-tandem mass spectrometry method. **Conclusion** This method demonstrates excellent detection performance and is suitable for on-site rapid detection and large-scale screening of chlorpyrifos residues in vegetables.

KEY WORDS: chlorpyrifos; rapid detection; colloidal gold immunochromatographic

0 引 言

毒死蜱是一种具有触杀、胃毒和熏蒸作用的有机磷杀虫剂[1], 因其对乙酰胆碱酯酶的抑制能力而表现出神经毒性和生殖发育毒性[2], 在种植蔬菜中用于病虫害的防治。我国自 2016 年起禁止在蔬菜中使用毒死蜱[3], 我国农药残留标准 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》对蔬菜中毒死蜱的最大残留限量做出了规定, 绝大部分蔬菜的最大残留限量为 0.02 mg/kg。欧盟、美国夏威夷州等地也相继出台禁用措施[4–7]。然而, 毒死蜱残留仍是蔬菜中常见的超标项目之一[8–12]。根据 2020 年食用农产品市场监管部门抽检不合格情况结果分析, 毒死蜱残留主要在芹菜、韭菜中检出[13]。说明毒死蜱在蔬菜种植中存在违规使用, 应加大监管力度。

国内外关于毒死蜱的检测方法主要有色谱法[14]、质谱法[15–16]等, 标准方法包括: GB 23200.8—2016《食品安全国家标准 气相色谱质谱联用法》、GB 23200.113—2018《食品安全国家标准 气相色谱质谱联用法》、NY/T 761—2008《气相色谱质谱法》、SN/T 2158—2008《气相色谱质谱法》, 检出限在 0.1 mg/kg 以上。现有的色谱、质谱等方法虽灵敏度高, 但设备昂贵、操作复杂, 难以满足现场快速检测需求。免疫分析法因其操作简便、成本低、速度快等优势, 成为快速筛查的重要手段。毒死蜱的快速检测方法有酶抑制率法[17–18]、酶联免疫分析法[19]、荧光免疫法[20]、免疫芯片法[21]、胶体金免疫层析法[22–27]等。除胶体金免疫层析法外, 这些快速检测方法都需要有机试剂进行试样前处理, 并使用如酶标仪、荧光检测仪等辅助设备。

本研究旨在建立一种基于胶体金免疫层析技术的毒死蜱快速检测方法, 系统优化前处理与检测条件, 并对性能参数进行验证, 该方法操作简单、检测时间短、交叉反应率低、准确性高, 为市场监管部门对毒死蜱试剂盒的管理提供标准依据, 在市场监管领域提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

韭菜、油麦菜试样来源于农贸市场, 经匀浆后, 采用参比方法进行检测, –18 ℃保存备用。

毒死蜱标准品(纯度≥95%, CAS: 2921-88-2, 国家标准物质中心); 甲醇(色谱纯, 美国 Sigma 公司); 十二水磷酸氢二钠、无水磷酸二氢钾、氯化钠、氯化钾、甲酸铵、甲酸[分析纯, 阿拉丁试剂(上海)有限公司]; 实验用水为超纯水; 胶体金免疫层析试剂盒(A 品牌, 试剂盒检出限为 0.02 mg/kg)。

1.2 仪器与设备

Agilent Infinity II 6470-6495 三重四极杆液质联用仪、Agilent ZORBAX Eclipse plus C18 色谱柱(3.0 mm×100 mm, 1.8 μm)(美国 Agilent 公司); FA2204 分析天平(精度 0.01 mg, 上海力辰仪器科技有限公司); HQ-mini 涡旋混合器(上海赫田科学仪器有限公司); C1415 离心机(美国 Scientific Industries 公司); KQ3200DE 数控超声波清洗器(成都一科仪器设备有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品前处理

取具有代表性的蔬菜水果试样约 100 g, 测定部位按照 GB 2763—2021 中附录 A 的规定执行, 充分均质混匀, 装入洁净容器, 密封, 标记。

称取试样 2 g(精确至 0.1 g)于 15 mL 离心管中, 加入 8 mL 试样提取液, 涡旋振荡 3 min, 静置 3 min 或 4000 r/min 离心 1 min, 上清液即为待测液。

1.3.2 样品检测

移取 200 μL 待测液于金标微孔中, 反复抽吸 5~10 次, 直至与微孔试剂混合均匀。室温孵育 3 min, 将试纸条插入金标微孔中, 反应 6 min, 从金标微孔取出试纸条, 除去试纸条下端的样品垫, 并进行结果判定。

1.3.3 参比方法

选择 GB 23200.121—2021《食品安全国家标准 植物源性食品中 331 种农药及其代谢物残留量的测定 液相色谱—质谱联用法》作为参比方法。

1.3.4 色谱和质谱条件

(1)色谱条件

进样量: 2.0 μL; 柱温: 40 ℃; 流速: 0.2 mL/min; 流动相梯度洗脱程序: 流动相 A 为 2 mmol/L 甲酸铵和 0.01%甲酸水溶液; 流动性 B 为甲醇溶液; 梯度洗脱程序:

0~1.0 min, 3% B; 1.0~1.5 min, 15% B; 1.5~2.5 min, 50% B; 2.5~18.0 min, 70% B; 18.0~23.0 min, 98% B; 23.0~27.0 min, 98% B; 27.0~30.0 min, 3% B。

(2)质谱条件

离子源: AJS 电喷雾离子源; 扫描方式: 多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM); 扫描模式: 正模式; 离子源温度: 250 ℃; 鞘气温度: 350 ℃; 鞘气流速: 11 L/min; 雾化气: 30 psi; 毛细管电压: 正源 300 V, 负源 2500 V。

1.3.5　溶液配制

毒死蜱标准溶液配制: 准确称取毒死蜱标准品 10 mg (精确至 0.1 mg), 用甲醇溶解并定容至 10 mL, 配制成浓度为 1000 mg/L 的标准储备液, 按比例用甲醇稀释质量浓度为 1 mg/L 的标准工作液, 避光–18 °C 及以下条件保存。

0.1 mol/L 磷酸盐缓冲溶液(phosphate buffer saline, PBS)配制: 称取 28.6 g+二水合磷酸氢二钠、2.7 g 无水磷酸二氢钾、9.0 g 氯化钠、2.0 g 氯化钾, 用水溶解并定容至 1000 mL。

1.3.6　测定条件的优化

为了优化毒死蜱的检测条件, 本研究采用阳性加标样品对提取溶剂、提取溶剂的使用量、提取时间、检测温度等检测条件进行优化。阳性样品的制备方法为: 称取毒死蜱空白样品 2 g, 加入适量毒死蜱标准溶液, 使得样品中毒死蜱的浓度达到 0.01 mg/kg、0.02 mg/kg。

(1)提取溶剂的选择。选择提取溶剂 1 (0.1 mol/L PBS)、提取溶剂 2 (95% 0.1 mol/L PBS+5%甲醇)、提取溶剂 3 (90% 0.1 mol/L PBS+10%甲醇)、提取溶剂 4 (80% 0.1 mol/L PBS+20%甲醇)、提取溶剂 5 (50% 0.1 mol/L PBS+50%甲醇)为考察对象, 各试样加标浓度为 0.02 mg/kg。

(2)提取溶剂使用量的优化。选择加入 2、4、6、8、10 mL 提取溶剂为考察对象, 保持其他试验条件不变, 各试样加标浓度为 0.01 mg/kg、0.02 mg/kg。

(3)提取时间的优化。选择试样提取时间分别为 1、2、3、4、5 min 为考察对象, 保持其他试验条件不变, 各试样加标浓度为 0.01 mg/kg、0.02 mg/kg。

(4)检测温度的优化。以加标浓度为 0.01 mg/kg、0.02 mg/kg 的试样为研究对象, 考察在 5、10、15、20、30、35、40 ℃下的检测结果。

1.3.7　胶体金免疫层析法性能参数验证

(1)真实试样和参比方法一致性验证

从农贸市场购买 20 份韭菜、油麦菜真实试样, 分别采用毒死蜱胶体金免疫层析法和参比方法进行检测, 评估两种方法检测结果的一致性[28]。

(2)假阴性率和假阳性率

向韭菜、油麦菜等空白试样中分别加入浓度为 0.00、0.01、0.02 mg/kg 的标准溶液, 采用 A 品牌试剂盒进行检测, 其中, 每种基质每种浓度平行检测 50 次, 评估快速检测方法的假阴性率和假阳性率[29–30]。

1.3.8　试剂盒结果判定

根据食品安全监督管理部门有关规定, 向试样中加入浓度为 0.01 mg/kg 的标准溶液, 快速检测结果应为阴性; 向试样中加入浓度为 0.02 mg/kg 的标准溶液, 快速检测结果应为阳性。

1.4　数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 软件进行数据处理。

2　结果与分析

2.1　测定条件的优化结果

2.1.1　提取溶剂的选择结果

当提取溶剂为 50% 0.1 mol/L PBS+50%甲醇溶液、80% 0.1 mol/L PBS+20%甲醇溶液时, A 品牌试剂盒对试样的检测结果均为阴性, 说明 50% 0.1 mol/L PBS+50%甲醇、80% 0.1 mol/L PBS+20%甲醇为提取溶剂时, 出现假阴性; 而当提取溶剂为 0.1 mol/L PBS 溶液、95% 0.1 mol/L PBS+5%甲醇溶液、90% 0.1 mol/L PBS+10%甲醇溶液时, A 品牌试剂盒对试样的检测结果为阳性, 实验结果见表 1。从安全、环保、经济等方面考虑, 本研究选择 0.1 mol/L PBS 溶液作为试样提取溶剂, 用于后续研究。

表 1　不同提取溶剂的检测结果

Table 1　Test results of different extraction solvent

试样名称	检测结果				
	提取溶剂 1	提取溶剂 2	提取溶剂 3	提取溶剂 4	提取溶剂 5
韭菜	+	+	+	-	-
	+	+	+	-	-
油麦菜	+	+	+	-	-
	+	+	+	-	-

注: +为阳性, -为阴性。表 2~5 同。

2.1.2　提取溶剂使用量的优化结果

当提取溶剂使用量为 2、4、6 mL 时, A 品牌试剂盒对加标浓度为 0.01 mg/kg、0.02 mg/kg 试样的检测结果均为阳性; 当提取溶剂使用量为 8 mL、10 mL 时, A 品牌试剂盒对加标浓度为 0.01 mg/kg 试样的检测结果均为阴性, 对加标浓度为 0.02 mg/kg 试样的检测结果均为阳性, 实验结果见表 2。综上所述, 在满足方法要求的基础上, 应尽量减少试剂的消耗量, 降低检测成本, 本研究选择 8 mL 提取溶剂来进行检测。

2.1.3　提取时间的优化结果

当提取时间分别为 1、2、3、4、5 min 时, A 品牌试剂盒对加标浓度为 0.01 mg/kg 试样的检测结果均为阴性; 当提取时间大于等于 3 min, A 品牌试剂盒对加标浓度为

0.02 mg/kg 试样的检测结果均为阳性，实验结果见表 3。因此，本研究选择 3 min 作为最佳的试样提取时间。

表 2 不同提取溶剂使用量的检测结果

Table 2 Optimization results of different extraction solvent usage

试样名称	加标浓度/(mg/kg)	检测结果				
		2 mL	4 mL	6 mL	8 mL	10 mL
韭菜	0.01	+	+	+	-	-
		+	+	+	-	-
	0.02	+	+	+	+	+
		+	+	+	+	+
油麦菜	0.01	+	+	+	-	-
		+	+	+	-	-
	0.02	+	+	+	+	+
		+	+	+	+	+

表 3 不同试样提取时间的检测结果

Table 3 Optimization results of different extraction time

试样名称	加标浓度/(mg/kg)	检测结果				
		1 min	2 min	3 min	4 min	5 min
韭菜	0.01	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
	0.02	+	+	+	+	+
		+	+	+	+	+
油麦菜	0.01	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
	0.02	-	-	+	+	+
		-	-	+	+	+

2.1.4 检测温度的优化

当温度为 5 ℃、10 ℃时，A 品牌试剂盒对加标浓度为 0.01 mg/kg 试样的检测结果均为阳性，对加标浓度为 0.02 mg/kg 试样有一个结果为无效；当温度为 40 ℃时，A 品牌试剂盒对加标浓度为 0.02 mg/kg 油麦菜试样的检测结果均为阴性；当温度为 15~35 ℃时，A 品牌试剂盒对加标浓度为 0.01 mg/kg 试样的检测结果均为阴性，对加标浓度为 0.02 mg/kg 试样的检测结果均为阳性，实验结果见表 4。因此，本研究的最佳检测温度为 15~35 ℃。

2.2 性能参数验证结果

2.2.1 胶体金免疫层析法和参比方法检测结果一致性验证

参比方法检测结果见表 5。结果显示，在 20 份真实试样中，试样编号为 JR019 试样的检测数值超过该品种的最大残留限量要求，为 2.3155 mg/kg。

从快速检测方法检测结果来看，A 品牌试剂盒对 JR019 试样检测结果为阳性，对其他试样的检测结果均为阴性，与参比方法检测结果一致，说明该快速检测方法与参比方法的一致性良好。

表 4 不同温度的检测结果

Table 4 Optimization results of different temperature

试样名称	加标浓度/(mg/kg)	检测结果						
		5 ℃	10 ℃	15 ℃	20 ℃	30 ℃	35 ℃	40 ℃
韭菜	0.01	+	+	-	-	-	-	-
		+	+	-	-	-	-	-
	0.02	+	+	+	+	+	+	-
		+	+	+	+	+	+	-
油麦菜	0.01	+	+	-	-	-	-	-
		+	+	-	-	-	-	-
	0.02	+	+	+	+	+	+	-
		无效	+	+	+	+	+	-

表 5 参比方法一致性的检测结果

Table 5 Results of consistency of reference method

试样编号	试样名称	最大残留限量/(mg/kg)	快速检测结果	参比方法结果/(mg/kg)
			A 品牌试剂盒	
JR01	韭菜	0.02	-	0.0042
JR02	韭菜	0.02	-	未检出
JR03	韭菜	0.02	-	未检出
JR04	韭菜	0.02	-	未检出
JR05	韭菜	0.02	-	未检出
JR06	韭菜	0.02	-	未检出
JR07	油麦菜	0.02	-	未检出
JR08	韭菜	0.02	-	未检出
JR09	油麦菜	0.02	-	未检出
JR010	韭菜	0.02	-	未检出
JR011	韭菜	0.02	-	未检出
JR012	韭菜	0.02	-	未检出
JR013	韭菜	0.02	-	未检出
JR014	油麦菜	0.02	-	未检出
JR015	油麦菜	0.02	-	未检出
JR016	油麦菜	0.02	-	未检出
JR017	韭菜	0.02	-	未检出
JR018	油麦菜	0.02	-	未检出
JR019	油麦菜	0.02	+	2.3155
JR020	油麦菜	0.02	-	未检出

2.2.2 假阴性率和假阳性率结果

假阴性率是指方法在实验条件下达到的检出限时，阳性样品中检出阴性结果的最大概率(以百分比计)，计算结果为方法最大假阴性率的结果；相反，假阳性率是指方法在实验条件下达到的检出限时，阴性样品中检出阳性结果的最大概率(以百分比计)，计算结果为方法最大假阳性率的结果。本研究通过表 6 结果显示，韭菜、油麦菜等试样的假阴性率和假阳性率均为 0%，相对准确度为 100%，说明本研究所建方法具有显著的优越性。

表 6　假阴性率和假阳性率
Table 6　False negative rate and false positive rate

试样加标浓度	韭菜检测结果			油麦菜检测结果		
	阳性	阴性	总数	阳性	阴性	总数
阳性(0.02 mg/kg)	100	0	100	100	0	100
阴性(0.01 mg/kg)	0	100	100	0	100	100
阴性(0 mg/kg)	0	100	100	0	100	100
总数	100	200	300	100	200	300
灵敏度(p+)/%		100			100	
特异性(p-)/%		100			100	
假阴性率(pf-)/%		0			0	
假阳性率(pf+)/%		0			0	
相对准确度/%		100			100	

3　结　论

本研究基于胶体金免疫层析技术建立了一种用于快速检测蔬菜中毒死蜱的方法, 该方法前处理简单, 可在 15 min 内完成检测, 方法的假阴性率和假阳性率低, 相对准确度高, 与参比方法具有高度一致性。适用于现场快速检测和大规模筛查, 对保障食品安全具有重要的实际应用价值。一方面可以提升市场监管部门对食用农产品质量安全监管水平, 及时筛查发现蔬菜中的农药残留, 保障消费者的健康安全和权益; 另一方面可以增强检测机构的服务能力和规范快速检测行业有序发展, 保障食品安全。

参考文献

[1] 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.

[2] HASSAN AA, BEL-HADJ-SALAH K, FAHMY EM, *et al*. GangcOlive leaf extract attenuates chlorpyrifos-induced neuro- and reproductive toxicity in male albino rats [J]. Life, 2022, 12(10): 1500.

[3] 中华人民共和国农业部公告第 2032 号[EB/OL]. (2013-12-09) [2026-02-27]. http://www.moa.gov.cn/nybgb/2014/dyq/201712/t20171219_6104266.htm
Announcement No.2032 of the Ministry of Agriculture of the People's Republic of China [EB/OL]. (2013-12-09) [2026-02-27]. http://www.moa.gov.cn/nybgb/2014/dyq/201712/t20171219_6104266.htm

[4] 申继忠. 毒死蜱的禁限用与替代产品的选择[J]. 世界农药, 2021, 43(6): 10　20.
SHEN JZ. Chlorpyrifos prohibition, restriction and alternative products [J]. World Pesticide, 2021, 43(6): 10　20.

[5] 赵艳玲, 王丹, 吴菲菲, 等. 2024 年全球农药监管新政概览[J]. 世界农药, 2025, 47(2): 1–14, 32.
ZHAO YL, WANG D, WU FF, *et al*. Overview of the global pesticide new regulations in 2024 [J]. World Pesticide, 2025, 47(2): 1–14, 32.

[6] 申继忠. 毒死蜱的禁限用与替代产品的选择[J]. 世界农药, 2021, 43(6): 10–20.
SHEN JZ. Chlorpyrifos prohibition, restriction and alternative products [J]. World Pesticide, 2021, 43(6): 10–20.

[7] EU. Commission Implementing Regulation (EU), concerning the non-renewal of the approval of the active substance chlorpyrifos, in accordance with regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council concerning the placing of plant protection products on the market, and amending the Annex to Commission Implementing Regulation (EU) No 540/2011 [EB/OL]. (2020-01-13) [2026-02-27]. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0018&from=EN

[8] 刘美玲. 我国蔬菜农药残留现状及预防对策[J]. 现代农业科技, 2023(12): 113–116.
LIU ML. Current status of pesticide residue in vegetable cultivation in our country and preventive measures [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2023(12): 113–116.

[9] 黄松, 刘佳, 胡凌, 等. 2022—2023 年度广州市市售蔬菜农药残留调查分析[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.

[10] 郭延波, 张琰, 潘胜东. 2020—2022 年宁波市市售蔬菜中农药残留状况分析及膳食暴露评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2025, 37(3): 269–277.
GUO YB, ZHANG Y, PAN SD. Analysis on pesticide residues in vegetables and dietary exposure assessment, Ningbo City from 2020 to 2022 [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2025, 37(3): 269–277.

[11] MA J, FAN S, YANG L, *et al*. Rapid screening of 420 pesticide residues in fruits and vegetables using ultra high performance liquid chromatography combined with quadrupole-time of flight mass spectrometry [J]. Food Science and Human Wellness, 2023, 12(4): 1064–1070.

[12] 柳国华. 食用农产品质量安全风险分析及监管建议[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(7): 2308–2316.
LIU GH. Quality and safety risk analysis and supervisory suggestions of edible agricultural products [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(7): 2308–2316.

[13] 本刊质量研究院. 农业农村部 2020 年食用农产品市场监管部门抽检不合格情况权威统计[J]. 产品可靠性报告, 2021(3): 23–25.
Institute of Quality Research. Authoritative statistics on the inspection of non-compliant edible agricultural products by market regulatory

authorities in 2020 from the Ministry of Agriculture and Rural Affairs [J]. Reliability Reports, 2021(3): 23–25.

[14] ZHANG Y, TAN L, WANG K, *et al*. Highly efficient selective extraction of chlorpyrifos residues from apples by magnetic microporous molecularly imprinted polymer prepared by reversible addition–fragmentation chain transfer surface polymerization [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2023, 71(2): 1046–1055.

[15] MOMTAZ M, KHAN MS. Analysis of chlorpyrifos pesticide residue in locally grown cauliflower, cabbage, and eggplant using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) Technique: A bangladesh perspective [J]. Foods, 2024, 13(11): 1780.

[16] MUTSHEKWA T, MUGWEDI L, MOYO B, *et al*. Assessing acetamiprid and chlorpyrifos pesticide concentrations in water and sediments across macadamia orchard and communal area small reservoirs [J]. Chemistry and Ecology, 2023, 39(4): 393–403.

[17] CHEN X, LIU Y, ZHANG Z. An electrochemical impedance spectroscopy-based biosensor for the detection of chlorpyrifos in water samples [J]. Biosensors and Bioelectronics, 2021(195): 113645.

[18] NIU K, ZUO Z, LU X, *et al*. Ultrathin graphdiyne nanosheets confining Cu quantum dots as robustelectrocatalyst for biosensing featuring remarkably enhanced activity and stability [J]. Biosensors and Bioelectronics, 2022(205): 114111.

[19] CHEN Z, ZHAO L, ZHANG Z, *et al*. Dispersive liquid-liquid microextraction combined with enzyme-linked immunosorbent assay for the analysis of chlorpyrifos in cereal samples [J]. Talanta, 2023, 265: 124802.

[20] ZOU R, GUO Y, WANG Y, *et al*. Insights into the binding profile of anti-chlorpyrifos recombinant antibodies: From computational simulation to immunoassay validation [J]. Analytical Chemistry, 2023, 95(30): 11287–11295.

[21] REN L, FENG W, HONG F, *et al*. One-step homogeneous micro-orifice resistance immunoassay for detection of chlorpyrifos in orange samples [J]. Food Chemistry, 2022, 386: 132712.

[22] 金洪伟, 裴小龙, 陈发荣, 等. 胶体金免疫层析法检测果蔬中毒死蜱前处理的优化[J]. 粮食与油脂, 2023, 36(9): 141–144.
JIN HW, PEI XL, CHEN FR, *et al*. Optimization of pretreatment during the detection of chlorpyrifos in fruits and vegetables by colloidal gold immunochromatography [J]. Cereals & Oils, 2023, 36(9): 141–144.

[23] 韩金治, 李亚茹, 罗林, 等. 胶体金免疫层析法快速检测水产品中河豚毒素的研究[J]. 分析测试学报, 2023, 42(12): 1598–1606.
HAN JZ, LI YR, LUO L, *et al*. Rapid detection of tetrodotoxin in aquatic products by colloidal gold immunochromatography assay [J]. Journal of Analytical Testing, 2023, 42(12): 1598–1606.

[24] 荣光, 徐向东, 彭维祺, 等. 胶体金免疫层析技术及其在畜禽疫病诊断中的应用[J]. 中国畜禽种业, 2022, 18(12): 27–30.
RONG G, XU XD, PENG WQ, *et al*. Colloidal gold immunochromatography and its application in the diagnosis of livestock and poultry diseases [J]. The Chinese Livestock and Poultry Breeding, 2022, 18(12): 27–30.

[25] 刘培辰. 烯啶虫胺胶体金免疫层析试纸条的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2014.
LIU PC. Study on the colloidal gold immunochromatographic assay for the determination of nitenpyram [D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2014.

[26] 周嘉明, 封冰, 智军海. 三氯杀螨醇胶体金免疫快速检测试纸条研制及在茶叶中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(15): 5337–5342.
ZHOU JM, FENG B, ZHI JH. Development of dicofol colloidal gold immune rapid detection test strip and its application in tea [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(15): 5337–5342.

[27] 许俊丽, 刘贝贝, 王玉龙, 等. 胶体金免疫层析试纸法检测农产品中戊唑醇残留[J]. 分析化学, 2019, 47(11): 1823–1831.
XU JL, LIU BB, WANG YL, *et al*. Lateral flow assay for determination of tebuconazole in agricultural products [J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2019, 47(11): 1823–1831.

[28] 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.

[29] ZHANG J, LI X, XIE J, *et al*. Rapid and simultaneous detection of aflatoxin B_1, zearalenone, and T-2 toxin in medicinal and edible food using gold immunochromatographic test strip [J]. Foods, 2023, 12(3): 633.

[30] GHOSH S, ALKAFAAS SS, BORNMAN C, *et al*. The application of rapid test paper technology for pesticide detection in horticulture crops: A comprehensive review [J]. Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences, 2022, 11(1): 73.

(责任编辑: 蔡世佳 安香玉)