DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251009003
引用格式: 易云婷, 侯韬, 叶秋雄, 等. 胶体金免疫层析法快速检测鸡肉中尼卡巴嗪[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(7): 251–256.
YI YT, HOU T, YE QX, *et al*. Rapid detection of nicarbazine in chicken by colloidal gold immunochromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(7): 251–256. (in Chinese with English abstract).

胶体金免疫层析法快速检测鸡肉中尼卡巴嗪

易云婷[1#], 侯　韬[1#*], 叶秋雄[1], 梁俊发[1], 林嘉健[1], 黄子泓[1], 朱亮宇[1], 陈亮亮[1], 罗鼎峰[1], 刘亚青[2], 梁　科[3]

(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　建立胶体金免疫层析法快速检测鸡肉中尼卡巴嗪残留标志物 4,4'-二硝基均二苯脲的方法。**方法**　通过对提取溶剂、用量、孵育时间等关键参数进行系统优化, 确定了最佳检测条件: 10.0 mL 甲醇作为试样提取溶剂, 2 min 提取时间, 孵育 3 min。**结果**　实验验证结果显示: 对地克珠利、盐霉素等 15 种常见抗球虫药及 5 种结构类似物的交叉反应率均小于 0.1%, 表明方法特异性强。在真实试样检测中与参比方法检测结果的一致性良好, 假阴性率和假阳性率为 0%, 相对准确度 100%。**结论**　本研究建立的方法操作简便、快速、灵敏、特异, 适用于鸡肉中尼卡巴嗪残留的现场快速筛查。

关键词: 尼卡巴嗪; 4,4'-二硝基均二苯脲; 胶体金免疫层析法; 快速检测

Rapid detection of nicarbazine in chicken by colloidal gold immunochromatography

YI Yun-Ting[1#], HOU Tao[1#*], YE Qiu-Xiong[1], LIANG Jun-Fa[1], LIN Jia-Jian[1], HUANG Zi-Hong[1], ZHU Liang-Yu[1], CHEN Liang-Liang[1], LUO Ding-Feng[1], LIU Ya-Qing[2], LIANG Ke[3]

(1. *Guangzhou Institute of Food Inspection*, *Guangzhou* 511405, *China*; 2. *School of Life 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 method for the rapid detection of the nicarbazine residue marker 4,4'-dinitrogendibenzuron in chicken by colloidal gold immunochromatography. **Methods**　Key parameters including extraction solvent, volume and incubation time were systematically optimized to determine the optimal detection conditions: 10.0 mL of methanol as the extraction solvent, an extraction time of 2 min and an incubation time of 3 min. **Results**　Experimental validation demonstrated that the method exhibited cross-reactivity rates of less than 0.1% with 15 kinds of common anticoccidial drugs (*e.g.*, diclazuril, salinomycin) and 5 kinds of structural

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(20220509)
#易云婷和侯韬为共同第一作者
第一作者: 易云婷(1982—), 女, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: yiyunting@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

analogs, indicating excellent specificity. When applied to real sample analysis, the results showed good agreement with those obtained by the reference method, with a false negative rate, false positive rate and relative accuracy of 0%, 0% and 100%, respectively. **Conclusion** The developed method is simple, rapid, sensitive and specific, making it suitable for on-site rapid screening of nicarbazin residues in chicken.

KEY WORDS: nicarbazine; 4,4'-dinitrocarbanilide; colloidal gold immunochromatographic; rapid detection

0 引 言

尼卡巴嗪又名球虫净, 是一种广谱、高效、性能稳定, 被广泛使用的合型抗球虫药, 由 4,4'-二硝基均二苯脲(4,4'-dinitrocarbanilide, DNC)和 2-羟基-4,6-二甲基嘧啶(2-hydroxy-4,6-dimethylpyrimidine, HDP)组成。HDP 与 DNC 均由家禽的消化道吸收, 并广泛分布于组织和体液中[1−2], HDP 以尿液排出, 代谢消除迅速, 而 DNC 代谢缓慢, 主要通过粪便排出[3]。由于 DNC 代谢缓慢, 被作为尼卡巴嗪在动物组织中的残留标志物[4]。鸡肉中残留的 DNC 经烹饪可转化为具有高毒性的对硝基苯胺, 长期摄入会对人体健康造成潜在危害[5], 尼卡巴嗪生理毒性的研究显示, 长期摄入超标剂量的尼卡巴嗪, 雄鼠的精子畸变率明显增加。长期食用尼卡巴嗪含量超标的鸡肉, 会对人体健康造成危害[6]。2020 年 12 月 4 日, 新加坡食品局[7]评估了鸡蛋中低浓度尼卡巴嗪存在的风险, 并规定鸡蛋中尼卡巴嗪的最大残留限量为 300 μg/kg; 我国 2021 年发布的 GB 31650—2019《食品安全国家标准 食品中兽药最大残留限量》中, 规定可食用鸡肉组织(肌肉、皮脂、肝脏和肾脏)中尼卡巴嗪的最大残留限量为 200 μg/kg; 评价尼卡巴嗪累积效应及作用机制是重要的基础研究, 对其相对应的配套检测技术性能也提出更高的要求, 快速、准确、高灵敏度和高通量成为发展的趋势[8]。

目前, 检测尼卡巴嗪残留的国标方法主要为高效液相色谱法[9−12]和液相色谱-串联质谱法[13−15]。这些方法虽准确度高, 但需昂贵仪器、专业操作人员且前处理复杂、耗时较长, 难以满足现场快速筛查的需求。酶联免疫吸附法灵敏度高[16], 但仍属非均相检测, 操作步骤较多[17]。胶体金免疫层析法因其操作简便、快速、成本低、无需复杂设备、结果可视等优点, 已成为现场快速筛查的重要手段[18−19], 在鸡蛋中的氯羟吡啶残留物快速检测[20], 和牛奶中多个抗生素联合检测都有相关研究应用[21], 并且大量真实样品中与液相色谱-串联质谱法对比表现出良好的性能[22]。然而, 市场上现有的胶体金免疫层析方法质量参差不齐[23−27], 缺乏统一的标准方法进行规范。

本研究旨在建立一种灵敏度高、特异性强、重复性好的鸡肉中尼卡巴嗪残留标志物的胶体金免疫层析快速检测方法, 并对方法进行全面的性能验证, 筛选出质量稳定可靠的快速检测产品, 为相关快检产品的标准化和市场监管提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

试样基质为鸡肉, 采用 GB 29690—2013《食品安全国家标准 动物性食品中尼卡巴嗪残留标志物残留量的测定 液相色谱-串联质谱法》进行检测, 所购买的鸡肉试样中均未检出尼卡巴嗪残留, 可作为空白样用于后续实验, 于 −20 ℃保存备用。

DNC (CAS 号: 587-90-6, 纯度≥98%, 上海源叶生物科技有限公司); DNC-D_8 (CAS 号: 1156508-87-0, 纯度≥98%)、乙腈、甲醇(色谱纯)、二甲基甲酰胺(纯度 99.5%)(美国 Sigma 公司); 0.05 mol/L 磷酸盐缓冲液(phosphate buffer solution, PBS)、十二水磷酸氢二钠、无水磷酸二氢钾、氯化钠、氯化钾[分析纯, 阿拉丁试剂(上海)有限公司]; 实验用水为超纯水; 胶体金免疫层析试纸条(A 品牌, 试剂盒检出限为 200 μg/kg)。

1.2 仪器与设备

Agilent Infinity II 6470-6495 QQQ 三重四极杆液质联用仪(美国 Agilent 公司); ES1055A 型分析天平(精度 0.01 mg, 上海力辰仪器科技有限公司); XH-2000-1 型涡旋混合器(上海赫田科学仪器有限公司); M5C-08SU-15T1 离心机(美国 Scientific Industries 公司); KQ-200TDE 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 参比方法的选择

我国现行有效的鸡肉组织中尼卡巴嗪残留标志物的检测方法有 GB 29690—2013、GB 29691—2013《食品安全国家标准 鸡可食性组织中尼卡巴嗪残留量的测定 高效液相色谱法》、SN/T 0216—2011《出口禽肉和肾脏中尼卡巴嗪残留量的测定 液相色谱法》, 其中 GB 29691—2013 和 SN/T 0216—2011 为液相色谱法, 方法检出限分别为 20 μg/kg、0.1 mg/kg, 而 GB 29690—2013 为液相色谱-串联质谱法, 检测灵敏度高, 方法检出限为 0.5 μg/kg, 定量限为 1 μg/kg。因此, 选择 GB 29690—2013 作为参比方法。

1.3.2 溶液配制

标准溶液配制: 准确称取 DNC 标准品 10.0 mg(精确至 0.01 mg), 置于烧杯中, 用适量二甲基甲酰胺溶解后,

转移至 10 mL 容量瓶中, 用甲醇稀释至刻度, 摇匀, 配制成质量浓度为 1 mg/mL 的 DNC 标准储备液, 按比例用甲醇稀释一定质量浓度的标准工作液。–18 ℃ 以下保存。

试样稀释液配制: 称取十二水合磷酸氢二钠 14.3 g、无水磷酸二氢钾 1.35 g、氯化钠 4.5 g、氯化钾 1.0 g, 用水溶解并定容至 1000 mL, 混匀。

1.3.3　试样前处理

称取约 100 g 具有代表性的鸡肉组织, 充分均质混匀, 均分成 2 份, 分别装入洁净容器作为试样和留样, 密封, 标记。留样置于–18 ℃ 以下保存。

称取试样 2.0 g(精确至 0.01 g)于 15 mL 离心管中, 加入试样提取溶剂, 涡旋振荡 2 min 至组织均匀分散, 4000 r/min 离心 30 s 或静置 3 min。准确吸取 50 μL 上清液于 5 mL 离心管中, 加入 1.95 mL 试样稀释液, 涡旋混匀 30 s, 即为待测液。

1.3.4　样品检测

吸取 100 μL 待测液于金标微孔中, 反复抽吸 5~10 次, 直至微孔试剂完全溶解。室温孵育, 吸取微孔内所有溶液滴加到检测卡加样孔中, 反应 5 min 判定结果。

1.3.5　试纸条测定条件的优化

为优化检测条件, 本研究采用阳性加标样品对提取溶剂、提取溶剂的使用量、孵育时间等条件进行优化。阳性加标样品制备: 称取空白试样 2.0 g, 加入适量 DNC 标准溶液, 使得样品中 DNC 的浓度达到 100 μg/kg、200 μg/kg。

(1)提取溶剂的选择。选择乙腈、甲醇、50%甲醇、0.05 mol/L PBS 溶液作为考察对象, 采用加标浓度水平分别为 0、100、200 μg/kg 的试样。

(2)提取溶剂使用量的优化。选择 4.0、6.0、8.0、10.0、12.0 mL 甲醇作为考察对象, 保持其他实验条件不变, 采用加标浓度水平分别为 0、100、200 μg/kg 的试样。

(3)孵育时间的优化。考察了金标微孔室温(25 ℃左右)环境下, 金标微孔分别孵育 1、3、5、8 min 时, 对胶体金卡片显色情况的影响。

1.3.6　实验室内验证

(1)交叉反应率验证

本研究选择兽用抗球虫药物 15 种, 包括地克珠利、甲基盐霉素、二硝托胺、莫能菌素、拉沙里菌素、马杜拉霉素、盐霉素、托曲珠利、氯羟吡啶、癸氧喹酯、乙氧酰胺苯甲酯、氨丙啉、赛杜霉素、氯苯胍、常山酮; 以及尼卡巴嗪结构类似 5 种, 包括 4,4’-双(3-甲基-3-苯基脲基)二苯基甲烷、4,4’-二氨基二苯硫醚、4,4’-二硝基二苯醚、4,4’-二氨基二苯砜、2-羟基-4,6-二甲基嘧啶作为潜在交叉物, 用试样稀释液将潜在交叉反应物稀释为检出限的 1000 倍, 记录检测结果为阳性的最小浓度; 当加入干扰物浓度水平大于或等于检出限的 1000 倍时, 特异性(交叉反应率)视为小于 0.1%。

(2)真实试样和参比方法一致性验证

从农贸市场中随机购买 10 份鸡肉真实试样, 去皮、去骨、去脂肪后, 取适量鸡肉组织进行绞碎, 均质后置于 –18 ℃以下保存, 备用。分别采用尼卡巴嗪残留标志物胶体金免疫层析法和参比方法进行检测, 评估两种方法的一致性[28–30]。

(3)假阴性率和假阳性率

使用浓度为 0、100、200 μg/kg 的鸡肉试样, 采用试剂盒和参比方法进行检测, 其中, 每种浓度平行检测 50 次, 记录并统计实验结果, 以评估方法的假阴性率和假阳性率。

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　前处理条件的优化结果

2.1.1　提取溶剂的选择

实验结果见表 1, 当提取溶剂为 50%甲醇、0.05 mol/L PBS 缓冲溶液时, 浓度为 0、100、200 μg/kg 的试样检测结果均为阴性, 说明 50%甲醇、0.05 mol/L PBS 缓冲溶液未能将分析目标物从试样中有效提取出来; 当提取溶剂为乙腈时, 浓度为 0 μg/kg 的试样检测结果为阴性, 而浓度为 100 μg/kg、200 μg/kg 的试样检测结果均为阳性; 当提取溶剂为甲醇时, 浓度为 0 μg/kg 及 100 μg/kg 的试样检测结果均为阴性, 而浓度为 200 μg/kg 的试样检测结果为阳性。根据《市场监管总局关于规范食品快速检测使用的意见》(国市监食检规〔2023〕1 号)有关要求, 0.5 倍最高残留限量的检测结果应为阴性; 另外, 乙腈的毒性比甲醇的更强, 对环境更加不友好。综上, 本研究选择甲醇作为试样提取溶剂, 用于后续研究。

表 1　提取溶剂的优化结果

Table 1　Optimization results of extraction solvent

加标浓度/(μg/kg)	检测结果							
	乙腈		甲醇		50%甲醇		0.05 mol/L PBS	
0	-	-	-	-	-	-	-	-
100	+	+	-	-	-	-	-	-
200	+	+	+	+	-	-	-	-

注: +表示阳性, -表示阴性。下表同。

2.1.2　提取溶剂使用量的优化

在选取甲醇为提取溶剂的基础上, 结果见表 2。当称样量为 2 g, 提取溶剂为甲醇, 使用量为 4.0 mL 和 6.0 mL 时, 加标浓度为 100 μg/kg、200 μg/kg 的试样检测结果均为阳性; 当提取溶剂的使用量为 8.0 mL 时, 浓度为 100 μg/kg 的试样有 1 批鸡肉检测结果为阳性, 浓度 200 μg/kg 试样的

表 2 提取溶剂使用量的优化结果

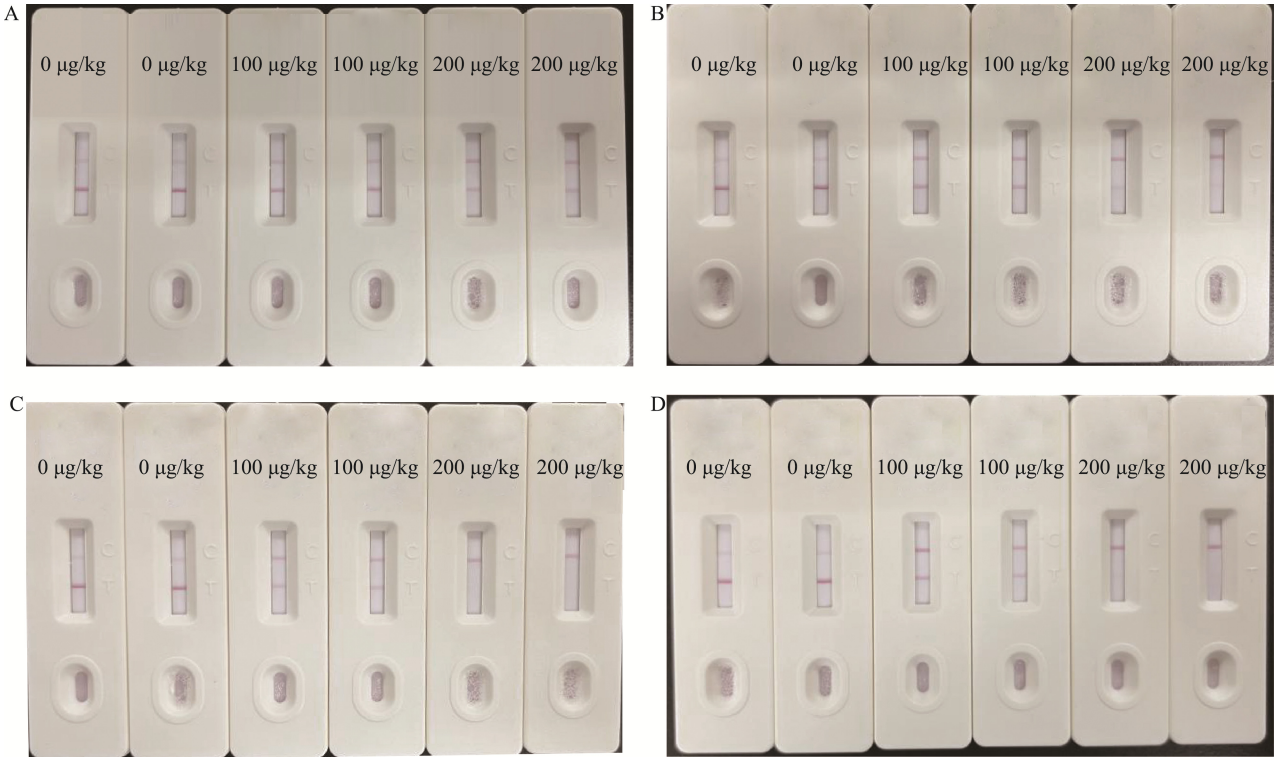
Table 2 Optimization results of extraction solvent usage

加标浓度/(μg/kg)	检测结果									
	4.0 mL		6.0 mL		8.0 mL		10.0 mL		12.0 mL	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
200	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

检测结果均为阳性；而当提取溶剂的使用量为 10.0 mL 和 12.0 mL 时，加标浓度为 100 μg/kg 试样的检测结果均为阴性，对浓度为 200 μg/kg 试样的检测结果均为阳性。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。因此，本研究选择 10.0 mL 作为提取溶剂的使用量。

2.1.3 孵育时间的优化

由图 1 可知，当孵育时间为 1 min 时，加标浓度为 0 μg/kg、100 μg/kg 鸡肉的检测结果均为阴性，而浓度为 200 μg/kg 为弱阳性，且 C、T 的显色较浅；当孵育时间为 3 min 时，浓度为 0 μg/kg、100 μg/kg 的试样均为阴性，浓度为 200 μg/kg 的试样均为明显的阳性，浓度为 0 μg/kg、100 μg/kg、200 μg/kg 的试样均为明显的阳性，且 C、T 的显色较为明显；当孵育时间为 5 min 时，浓度为 0 μg/kg 的试样均为阴性，而浓度为 100 μg/kg 的试样有个别为弱阳性，浓度为 200 μg/kg 的试样均为明显的阳性；当孵育时间为 8 min 时，浓度为 0 μg/kg 的试样均为阴性，浓度为 100 μg/kg 和 200 μg/kg 的试样均为明显的阳性。因此，本研究选择 3 min 作为孵育的最佳时间。



注：A. 1 min，B. 3 min，C. 5 min，D. 8 min。

图 1 孵育时间的优化结果

Fig.1 Optimization results of incubation time

2.2 实验室内验证结果

2.2.1 交叉反应率验证结果

实验结果表 3 显示，15 种兽用抗球虫药物和 5 种尼卡巴嗪结构类似物检测结果均为阴性，对尼卡巴嗪残留标志物均无交叉反应。

表 3 交叉反应率试验结果

Table 3 Results of cross reaction rate

药物类别	药物名称	检测结果	交叉反应率/%
抗球虫药物	地克珠利	-	<0.1
	甲基盐霉素	-	<0.1
	二硝托胺	-	<0.1
	莫能菌素	-	<0.1
	拉沙里菌素	-	<0.1
	马杜拉霉素	-	<0.1
	盐霉素	-	<0.1
	托曲珠利	-	<0.1

表 3(续)

药物类别	药物名称	检测结果	交叉反应率/%
抗球虫药物	氯羟吡啶	-	<0.1
	癸氧喹酯	-	<0.1
	乙氧酰胺苯甲酯	-	<0.1
	氨丙啉	-	<0.1
	赛杜霉素	-	<0.1
	氯苯胍	-	<0.1
	常山酮	-	<0.1
结构类似物	4,4'-双(3-甲基-3-苯基脲基)二苯基甲烷	-	<0.1
	4,4'-二氨基二苯硫醚	-	<0.1
	4,4'-二硝基二苯醚	-	<0.1
	4,4'-二氨基二苯砜	-	<0.1
	2-羟基-4,6-二甲基嘧啶	-	<0.1

2.2.2　真实试样和参比方法一致性验证结果

由表 4 可知, 从参比方法检测结果来看, 10 份真实试样中, 检出尼卡巴嗪残留的有 1 份, 检测结果为 430.63 μg/kg, 超过标准限量(200 μg/kg)要求, 其各特征离子质量色谱图见图 2; 从快检方法检测结果来看, RJ009 的试样检测结果为阳性, 其他试样的检测结果为阴性, 与参比方法检测结果的一致性良好。

表 4　参比方法一致性的检测结果

Table 4　Results of consistency of reference method

试样编号	试样名称	检测结果	参比方法结果/(μg/kg)
RJ001	普通鸡肉	-	未检出
RJ002	乌鸡肉	-	未检出
RJ003	普通鸡肉	-	未检出
RJ004	乌鸡肉	-	未检出
RJ005	乌鸡肉	-	未检出
RJ006	普通鸡肉	-	未检出
RJ007	普通鸡肉	-	未检出
RJ008	普通鸡肉	-	未检出
RJ009	普通鸡肉	+	430.63
RJ010	普通鸡肉	-	未检出

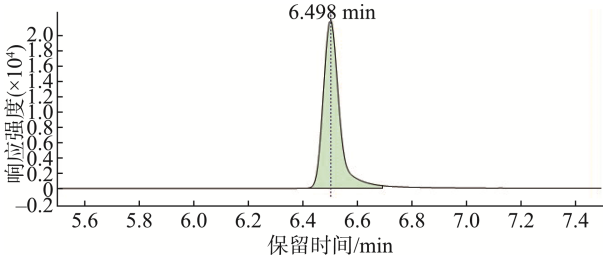


图 2　RJ009 试样中尼卡巴嗪残留标志物各特征离子质量色谱图

Fig.2　Characteristic ion mass chromatograms of nicarbazine residual markers in RJ009 sample

2.2.3　假阴性率和假阳性率结果

方法的假阴性率和假阳性率, 检测结果见表 5。结果显示: 假阴性率和假阳性率为 0%, 相对准确度 100%。

表 5　方法的假阴性率和假阳性率

Table 5　False negative rate and false positive rate of the method

试样加标浓度	检测结果		总数
	阳性	阴性	
阳性(200 μg/kg)	100	0	100
阴性(100 μg/kg)	0	100	100
阴性(0 μg/kg)	0	100	100
总数	100	200	300
灵敏度/%	100		
特异性/%	100		
假阴性率/%	0		
假阳性率/%	0		
相对准确度/%	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鸡肉中尼卡巴嗪残留标志物 DNC 的方法, 该方法前处理简单, 具有良好的灵敏度、特异性、重复性和再现性, 假阴性率和假阳性率低, 与液相色谱-串联质谱参比方法具有高度一致性。本研究为鸡肉中尼卡巴嗪残留的现场快速筛查提供了一种可靠的技术手段, 用于基层机构现场快速筛查, 初步得出结论。同时对规范快检产品市场、提升食品安全监管效率具有重要意义。

参考文献

[1] 曾云凤, 陈芳, 李文静, 等. 鸡蛋中抗球虫药尼卡巴嗪残留的调查与分析[J]. 中国兽药杂志, 2024, 58(8): 87–94.
ZENG YF, CHEN F, LI WJ, *et al*. Investigation and analysis of anticoccidial nicarbazine residues in eggs [J]. Chinese Journal of Veterinary Drug, 2024, 58(8): 87–94.

[2] PORTER CC, GILFILLAN JL. The absorption and excretion of orally administered nicarbazin by chickens [J]. Poultry Science, 1955, 34(5): 995–1001.

[3] YODER CA, MILLER LA, BYNUM KS. Comparison of nicarbazin absorption in chickens, mallards, and Canada geese [J]. Poultry Science, 2005, 84(9): 1491–1494.

[4] 王蕾, 冷佳蔚, 相光明, 等. 鸡肉中尼卡巴嗪超标现状及检验检测技术发展[J]. 中国禽业导刊, 2023, 40(7): 56–58.
WANG L, LENG JW, XIANG GM, *et al*. Current situation of excessive content of nicarbazine in chicken and development of inspection and testing technology [J]. Guide to Chinese Poultry, 2023, 40(7): 56–58.

[5] 墨瑾瑜, 林茜. 鸡蛋中兽药残留的检测方法及防控措施[J]. 现代食品,

2023, 29(1): 25–27.
MO JY, LIN Q. Detection methods and control measures of veterinary drug residues in eggs [J]. Modern Food, 2023, 29(1): 25–27.

[6] DOTSENKO R, VASHCHYK Y, ZAKHARIEV A, *et al*. Determination of toxicological characteristics of a complex antiemeric drug based on maduramycin and nicarbazine [J]. ScienceRise: Biological Science, 2021, 2(27): 37–43.

[7] 新加坡修订鸡蛋中尼卡巴嗪的最大残留限量[J]. 中国食品卫生杂志, 2021, 33(1): 57.
Singapore revised the maximum residue limit of nicarbazin in eggs [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2021, 33(1): 63.

[8] BACILA DM, FEDDERN V, MAFRA LI, *et al*. Current research, regulation, risk, analytical methods and monitoring results for nicarbazin in chicken meat: A perspective review [J]. Food Research International, 2017, 99: 31–40.

[9] BRUNELLE SL, LABUDDE RA, LOMBARDI K, *et al*. Determination and identification of nicarbazin, measured as 4,4’-dinitrocarbanilide (DNC), in chicken tissues by liquid chromatography with tandem mass spectrometry: Final action 2013.07 [J]. Journal of AOAC International, 2022, 105(4): 1008–1016.

[10] KNUPP G, BUGL-KREICKMANN G, COMMICHAU C, *et al*. The determination of the coccidio stat nicarbazin in animal tissue and eggs. I. Determination by pulse polaro graphy and high pressure fluid chromatography with electrochemical detection [J]. Zeitschrift Fur Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung, 1987, 185(6): 472–476.

[11] VERTOMMEN MH, VAN DERLAANA, VEENENDAAL-HESSELMAN HM. High-performance liquid chroma-tographic screening method for low levels of nicarbazin in eggs with off-line cartridge sample clean-up [J]. Journal of Chromatography A, 1989, 481: 452–457.

[12] PRIMUS TM, KOHLER DJ, GOODALL MA, *et al*. Determination of 4,4’-dinitrocarbanilide (DNC), the active component of the antifertility agent nicarbazin, in chicken, duck, and goose plasma [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(8): 3589–3593.

[13] MAI NTP, HUONG NTT, KHIEM NV, *et al*. Simultaneous determination of some coccidiostat antibiotics in food by liquid chromatography tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) [J]. Vietnam Journal of Food Control, 2024, 7(3): 329–342.

[14] BARRETO F, RIBEIRO C, HOFF RB, *et al*. A simple and high-throughput method for determination and confirmation of 14 coccidio stats in poultry muscle and eggs using liquid chromatography-quadrupole linear ion trap-tandem mass spectrometry (HPLC-QqLIT-MS/MS): Validation according to European Union 2002/657/EC [J]. Talanta, 2017, 168: 43–51.

[15] MUHAREM M, YAN H, XU S, *et al*. Determination of six anticoccidials in chicken using QuEChERS combined with ultra high liquid chromatography-high resolution mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Chromatography, 2015, 33(11): 1199–1204.

[16] SHEN H, ZHAO Q, CHEN B, *et al*. Preparation and identification of an anti-nicarbazin monoclonal antibody and its application in the agriculture and food industries [J]. Annals of Translational Medicine, 2022, 10(10): 557.

[17] GAUDIN V, LAURENTIE M. Application of total error approach to assess the performance of a biological method (ELISA) to detect nicarbazin residues in eggs [J]. Journal of Chromatography B, 2009, 877(23): 2358–2362.

[18] YANG M, WANG Y, YANG G, *et al*. A review of cumulative risk assessment of multiple pesticide residues in food: Current status, approaches and future perspectives [J]. Trends in Food Science & Technology, 2024, 144: 104340.

[19] XU X, LIU L, WU X, *et al*. Ultrasensitive immunochromatographic strips for fast screening of the nicarbazin marker in chicken breast and liver samples based on monoclonal antibodies [J]. Analytical Methods, 2020, 12(16): 2143–2151.

[20] 王兆芹, 陈姗姗, 赵义良, 等. 胶体金免疫层析法检测禽蛋中氯羟吡啶残留[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(5): 1517–1523.
WANG ZQ, CHEN SS, ZHAO YL, *et al*. Determination of clopidol residues in poultry eggs by colloidal gold immunochromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(5): 1517–1523.

[21] CHEN Y, CHEN Q, HAN M, *et al*. Near-infrared fluorescence-based multiplex lateral flow immunoassay for the simultaneous detection of four antibiotic residue families in milk [J]. Biosensors & Bioelectronics, 2016, 79: 430–434.

[22] BRAUN U, ALTMANN K, HERPER D, *et al*. Smart filters for the analysis of microplastic in beverages filled in plastic bottles [J]. Food Additives & Contaminants: Part A, 2021, 38(4): 691–700.

[23] 林永健, 徐敦明, 沈鹭英, 等. 鸡肉中尼卡巴嗪残留基体标准样品的研制[J]. 分析测试学报, 2023, 42(2): 166–172.
LIN YJ, XU DM, SHEN LY, *et al*. Preparation of matrix reference material for nicarbazin residues in chicken muscle [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2023, 42(2): 166–172.

[24] KONG S, GE M, LIU H, *et al*. Development and evaluation of a colloidal gold immunochromatographic assay for rapid on-site detection of cucumber mosaic virus [J]. Journal of Virological Methods, 2025, 337: 115190.

[25] MOGUET C, OUESLATI S, VANPARIS O, *et al*. Development and evaluation of a novel rapid immunochromatographic assay for the detection of DHA-producing enterobacterales [J]. The Journal of Antimicrobial Chemotherapy, 2025, 80(8): 2241–2246.

[26] 温雅君, 王全红, 杨红菊, 等. 胶体金免疫层析法快速检测韭菜中腐霉利的质量分析与评价[J]. 农药科学与管理, 2025, 46(1): 29–33.
WEN YJ, WANG QH, YANG HJ, *et al*. Quality analysis and evaluation of colloidal gold immunochromatography for rapid determination of procymidone in leeks [J]. Pesticide Science and Administration, 2025, 46(1): 29–33.

[27] 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.

[28] SONG A, WANG M, SHE Y, *et al*. Evaluation and validation of colloidal gold immunochromatographic qualitative testing products for the detection of emamectin benzoate, isocarbophos, and fipronil in cowpea samples [J]. Foods (Basel, Switzerland), 2025, 14(3): 478.

[29] PRABHU MV, CLIFFORD A. Development of a low-cost paper-based microfluidic device for rapid detection of milk adulterants to ensure food safety [J]. Microfluidics and Nanofluidics, 2025, 29(9): 62.

[30] 尹玉云, 陶健, 焦强, 等. 用于黄曲霉毒素 B_1 快速检测的胶体金试剂盒质量评价[J]. 食品与生物技术学报, 2024, 43(5): 130–137.
YI YY, TAO J, JIAO Q, *et al*. Quality evaluation of colloidal gold kits for rapid detection of aflatoxin B_1 [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2024, 43(5): 130–137.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)