DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260428003
引用格式: 黄泽玮, 米倩文, 高姗姗, 等. 胶体金免疫层析法快速检测动物性食品中阿奇霉素[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(17): 56–62.
Huang Zewei, Mi Qianwen, Gao Shanshan, et al. Rapid detection of azithromycin in animal-derived foods by colloidal gold immunochromatographic assay [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(17): 56–62. (in Chinese with English abstract).

胶体金免疫层析法快速检测动物性食品中阿奇霉素

黄泽玮, 米倩文, 高姗姗, 何　欢, 金丽鑫, 余晓琴*
(四川省食品检验研究院, 成都　610097)

摘　要: 目的　建立胶体金免疫层析技术(colloidal gold immunochromatographic assay, GICA)快速检测动物性食品中阿奇霉素残留的方法。**方法**　通过优化前处理和试纸条层析条件, 将 GICA 应用于鸡肉、鱼肉、猪肉、牛肉、羊肉及其相应制品中阿奇霉素残留的快速检测, 评价了方法的检出限、灵敏度、假阳性率、假阴性率和交叉反应, 并通过与液相色谱-串联质谱法(liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS)比较, 评价快速检测方法的准确性。**结果**　本研究建立的快速检测方法对动物性食品中阿奇霉素的检出限为 0.5 μg/kg, 灵敏度 100%、假阳性率小于等于 2%、假阴性率 0%; 与加米霉素、泰拉霉素、泰万菌素、吉他霉素、红霉素、螺旋菌素、替米考星不发生交叉反应; 通过真实样品考察, 与 LC-MS/MS 的结果一致率为 100%。**结论**　该方法准确性高、易操作、速度快、成本低, 适用于畜禽渔类农产品及相关制品中阿奇霉素残留的高通量现场快速检测。

关键词: 动物性食品; 阿奇霉素; 胶体金免疫层析; 快速检测
中图分类号: R155.5+5　　**文献识别码:** A　　**文章编号:** 2095–0381(2026)17–0056–07

Rapid detection of azithromycin in animal-derived foods by colloidal gold immunochromatographic assay

HUANG Ze-Wei, MI Qian-Wen, GAO Shan-Shan, HE Huan, JIN Li-Xin, YU Xiao-Qin*
(*Sichuan Institute of Food Inspection*, *Chengdu* 610097, *China*)

ABSTRACT: Objective　To establish a method for the rapid detection of azithromycin residues in animal-derived foods by colloidal gold immunochromatographic assay (GICA). **Methods**　By optimizing the pretreatment and the conditions of the test strip chromatography, the GICA was applied to the rapid detection of azithromycin in chicken, fish, pork, beef, lamb and the respective products. The limit of detection, sensitivity, false positive rate, false negative rate and cross reaction of the method were evaluated, and the accuracy was confirmed by liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS). **Results**　In this study of the rapid detection method, the limit of detection of azithromycin in animal-derived foods was 0.5 μg/kg, with the sensitivity 100%, false positive rate less than or equal to 2%, false negative rate 0%. There was no cross-reaction with gamithromycin, tulathromycin, tylvalosin, kitasamycin, erythromycin, spiramycin and tilmicosin. The coincidence rate between the test results and LC-MS/MS of actual samples was 100%. **Conclusion**　The

收稿日期: 2026-04-28
基金项目: 四川省市场监督管理局科技计划项目(SCSJS2025005)
第一作者: 黄泽玮(1986—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量安全。E-mail: 375401034@qq.com
***通信作者:** 余晓琴(1979—), 女, 博士, 正高级工程师, 主要研究方向为食品质量安全。E-mail: 113343838@qq.com

method is accurate, convenient, rapid and cheap, which is suitable for the high-throughput on-site rapid detection of azithromycin residues in animal-derived foods.

KEY WORDS: animal-derived foods; azithromycin; colloidal gold immunochromatographic assay; rapid detection

0　引　言

阿奇霉素(azithromycin, AZM)是一种大环内酯类抗生素, 不仅具有较好的抗菌活性, 还具有抗炎、调节免疫功能、抗病毒、抗疟疾等作用, 在近两年肆虐全球的新型冠状病毒肺炎的治疗中, AZM 也表现出较好的抗炎及免疫调节作用[1]。临床上 AZM 被广泛用于儿科呼吸道感染、皮肤软组织感染、尿路感染和性传播疾病的临床治疗[2−3], 也曾被收录于地方兽药标准用于兽医临床治疗[4]。但人用抗生素用于畜禽养殖, 会通过食物链迁移到人体, 引发过敏、细菌耐药性以及菌群失调等问题[5]。2005 年 8 月, 原农业部发布第 560 号公告, 取消收录 AZM 为兽药的地方标准, 将其列为禁用兽药[6]。但受经济利益的驱使, 养殖户仍然将 AZM 添加于饲料中或通过其他途径使用, 导致动物性食用农产品中 AZM 残留, 并且随着农产品深加工转移到相应的动物加工食品中, 包括肉制品、速冻食品以及近年来新兴的预制菜等食品中。食用含有 AZM 残留的食品会导致其在人体内蓄积, 损害食用者的胃肠、肝胆、血液、神经系统, 危害人体健康[7−8]。因此为了“舌尖上的安全”, 有必要建立一种简单快速的测定动物性食品中 AZM 残留的检测方法。

目前, AZM 的检测多集中在医药方面, 方法主要有微生物法[9−10]、薄层色谱法[11−12]、高效液相色谱法[13−14]、液相色谱-串联质谱法(liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS)[15−17]和酶联免疫吸附法[18]等。微生物法操作烦琐、费时, 灵敏度较差; 薄层色谱法准确度不高, 且易受实验条件影响[15]; 高效液相色谱法、LC-MS/MS 和酶联免疫吸附法均具有较高的灵敏度和精密度, 但操作复杂、耗时长、成本高、对技术人员要求高, 难以满足实时、现场、快速检测的需求[19]。基于抗原-抗体特异性结合的胶体金免疫层析技术(colloidal gold immunochromatographic assay, GICA), 通过特异性抗体与胶体金颗粒相结合, 制成胶体金标记抗体, 再利用层析技术, 从而实现对目标化合物的靶向快速检测[20]。该技术具有操作简便、检测速度快、成本低等优点, 已被广泛应用于农兽药残留[21−22]、真菌毒素[23−24]、重金属[25−26]和病原微生物检测[27−28]。目前针对包括畜禽鱼类食品加工制品在内的动物性食品中 AZM 残留的快速检测应用研究鲜有报道。

鉴于此, 本研究采用 GICA 测定动物性食品中 AZM 残留, 通过优化 AZM 前处理和试纸条层析条件, 实现对动物性食品中 AZM 残留的快速检测, 克服高油脂高盐分动物性食品在分析中的干扰问题, 为食品质量安全监管和食品生产经营者提供一种快速准确的技术手段。

1　材料与方法

1.1　仪器、试剂与材料

2000SBL 天平(感量 0.01 g, 美国 Setra 公司); MX-F 涡旋混匀仪[大龙兴创实验仪器(北京)股份公司]; DT5-2B 台式低速离心机(北京新时代北利医疗器械有限公司); Kwin6400 样品浓缩仪(北京勤邦科技股份有限公司); 安捷伦 1290-6495 液相色谱-串联质谱仪(美国安捷伦科技有限公司)。

AZM、吉他霉素、红霉素、替米考星标准品(纯度≥97%, 德国 Dr. Ehrenstorfer GmbH 公司); 泰拉霉素标准品(纯度≥98%, 美国 Panphy 公司); 加米霉素、泰万菌素标准品(纯度≥90%, 广州佳途科技股份有限公司); 螺旋霉素标准品(纯度≥98%, 加拿大 TRC 公司); 乙酸乙酯、乙腈、酸化乙腈、正己烷、氯化钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); AZM 残留检测试纸条(北京勤邦科技股份有限公司)。

鸡肉、鱼肉、牛肉、羊肉、猪肉及相关制品均为市售。

1.2　实验方法

1.2.1　检测原理

将胶体金标记的 AZM 单克隆抗体(金标抗体)在微孔中冻干, 硝酸纤维素膜的检测线(T 线)和质控线(C 线)分别包被 AZM 抗原和羊抗鼠免疫球蛋白 G (immunoglobulin G, IgG)二抗。样本中若含有 AZM, 则会先与微孔中的金标抗体结合, 从而在层析过程中抑制金标抗体与硝酸纤维素膜上包被的 AZM 抗原的结合, 使 T 线颜色发生变化。通过比较 T 线与 C 线的颜色, 可以对样品中的 AZM 进行定性判定。

1.2.2　检测方法

(1)样品前处理

将动物肌肉组织样品搅碎并均质; 称取均质混匀的样品 4.0 g 至 15 mL 离心管中, 加入 1 mL 30%氯化钠溶液, 再加入 5 mL 磷酸缓冲液(称取 25.8 g 磷酸氢二钠和 4.36 g 磷酸二氢钠, 溶于 1 L 超纯水中), 涡动 2 min, 3000~4000 r/min 离心 5 min; 取 3 mL 上清液至 10 mL 离心管中, 50~60 ℃水浴氮气流下吹干; 加入 300 μL 正己烷, 涡动 60 s, 再加入 300 μL 0.02 mol/L 磷酸盐缓冲液(称取 25.8 g 磷酸氢二钠和 4.36 g 磷酸二氢钠, 溶于 1 L 超纯水中), 轻轻振荡 5 s; 3000~4000 r/min 离心 5 min, 去除上层有机相, 下层水相即为待测液。

(2)样品检测与结果判定

吸取 100 μL 待测液于微孔中, 缓慢抽吸使之充分混匀, 室温孵育 3 min; 吸取 100 μL 微孔中的混匀液垂直滴

于试纸条加样孔中，液体流动时开始计时，反应 8 min，采用目测法对结果进行判定。如图 1 所示，若 T 线显色强于 C 线或与 C 线显色相当，则为阴性；若 T 线显色弱于 C 线或不显色，则为阳性；若 C 线不显色，则试纸条无效。

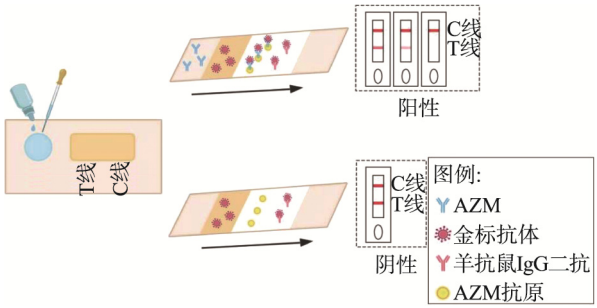


图 1 GICA 原理图

Fig.1 Principle diagram of GICA

1.2.3 前处理优化

(1)筛选提取溶剂

分别以乙酸乙酯、乙腈、酸化乙腈作为提取溶剂，其余步骤同 1.2.2。以不含 AZM 的和 AZM 添加浓度为 0.5 μg/kg 的鸡肉样品做为阴阳性对照，用试纸条进行检测，根据显色情况筛选最佳提取剂。

(2)考察提取剂用量

使用已选定的最佳提取剂，分别加入 3、4、5、6、7 mL，其余步骤同 1.2.2，测定不含 AZM 的和 AZM 添加浓度为 0.5 μg/kg 的鸡肉样品，根据试纸条显色情况，确定最佳提取剂用量。

(3)考察上清液取用量

称取均质混匀的鸡肉样品 4.0 g 至离心管中，加入 1 mL 30%氯化钠溶液，再加入选定的最佳提取剂，涡动 2 min，3000~4000 r/min 离心 5 min；分别取 2、3、4 mL 上清液至离心管中，其余步骤同 1.2.2，测定不含 AZM 的和 AZM 添加浓度为 0.5 μg/kg 的鸡肉样品，根据试纸条显色情况，确定最佳上清液取用量。

1.2.4 试纸条性能评价

(1)检出限

以不含 AZM 的鸡肉样品为基质开展系列梯度加标试验，分别添加 AZM 标准品至浓度为 0、0.125、0.250、0.500、1.000 μg/kg，用试纸条进行检测，每个加标浓度设置两平行，以 T 线显色弱于 C 线的最小浓度作为试纸条的检出限。

(2)基质适用性

选择不含 AZM 的猪肉、羊肉、鱼肉、牛肉样品，分别添加 AZM 标准品至检出限浓度，用试纸条进行检测，以确定试纸条在不同动物组织基质中的适用性。

(3)灵敏度、假阳性率、假阴性率

根据《食品快速检测产品符合性评价技术要求》(国市监食检规〔2023〕1 号)[29]，选取不含 AZM 的空白鸡肉、猪肉、羊肉、鱼肉和牛肉样品，设置空白样品和 1 倍检出限浓度水平，每个基质每个浓度水平各 50 份，用试纸条进行检测。空白样品用以考察假阳性率，1 倍检出限浓度水平用以评价假阴性率，检出阳性结果的阳性样品数占总阳性样品数的百分比用于评价灵敏度。

(4)交叉反应

选取不含 AZM 的空白鸡肉样品，分别加入适量 AZM、加米霉素、泰拉霉素、泰万菌素、吉他霉素、红霉素、螺旋霉素以及替米考星标准溶液，使浓度水平为 500 μg/kg，用试纸条进行检测，每个交叉药物设置两平行，考察方法的交叉反应情况。

1.2.5 准确性验证

选取 21 份肉及肉制品，同时用本快速检测方法及 LC-MS/MS 进行检测，评价快速检测方法的准确性。LC-MS/MS 参考标准 SN/T 5359—2021《出口动物源食品中阿奇霉素残留量的测定 液相色谱-质谱/质谱法》。

1.3 数据处理

使用安捷伦数据处理软件 MassHunter B.09.00 9.0.9037.0 进行标准曲线线性拟合后读取和分析测定结果，通过 WPS office 12.1.0.28505 软件进行数据统计，采用 Photoshop 26.2.0 版绘制图形。

2 结果与分析

2.1 样品前处理优化

2.1.1 筛选提取溶剂优化

AZM 为亲脂类化合物，极性小，不溶于水，易溶于有机溶剂[30]，本研究分别以乙酸乙酯、乙腈、酸化乙腈作为提取溶剂，将鸡肉样品前处理后，采用试纸条进行检测，结果见图 2。当使用乙酸乙酯进行提取时，阳性样品 T 线显色强于 C 线，出现了假阴性现象；而乙腈和酸化乙腈均可准确判断阴阳性样品，但考虑到 AZM 的弱碱性和对酸的相对稳定性[31]，且后续氮吹过程中，使用酸化乙腈所需吹干时间小于乙腈，因此最终选择酸化乙腈作为提取剂。



图 2 提取剂的筛选

Fig.2 Selection of extractant

2.1.2 考察提取剂用量优化

用酸化乙腈作提取剂，4.0 g 样品分别添加 3、4、5、6、7 mL，对比不同剂量提取剂的抑制情况，结果见图 3。当加入 3 mL 提取剂时，由于用量太少，目标物质提取不充分，

阳性样品检测出现了假阴性现象; 当加入量为4 mL时, 阳性样本的T线与C线显色对比仍不明显; 随着提取剂用量的增加, 阳性样品T线显色逐渐变浅; 当加入量为5、6、7 mL时, 阴阳性样品显色对比明显, 均可以正确显示结果, 出于节约试剂及方便操作考虑, 优先选择 5 mL 作为提取剂的用量。

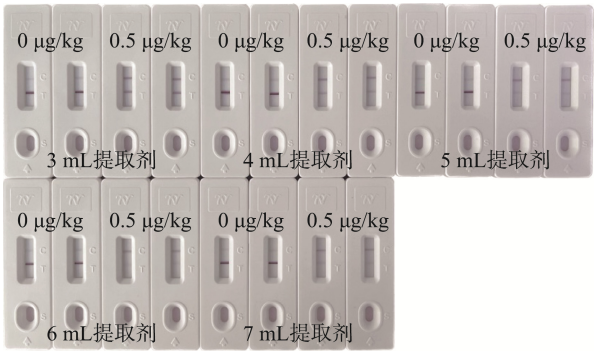


图 3　提取剂用量的优化
Fig.3　Optimization of extractant dosage

2.1.3　考察上清液取用量优化

将鸡肉样品用酸化乙腈提取、离心后, 分别取 2、3、4 mL 上清液进行氮吹及后续操作, 对比不同体积上清液的抑制情况, 结果见图 4。当上清液体积为 2 mL 时, 阳性样品 T 线和 C 线显色对比不明显, 存在假阴性风险; 随着吸取上清液的量越多, 阴阳性样品显色对比越明显, 但 4 mL 上清液吸取时操作难度较大, 因此出于方便操作的考虑, 选择吸取 3 mL 上清液进行氮吹。



图 4　上清液体积的优化
Fig.4　Optimization of liquid supernate volumn

2.2　试纸条性能评价

2.2.1　检出限结果

试纸条检出限测定结果如图 5 所示, 随着 AZM 浓度的增加, T线显色逐渐变浅; 当添加浓度为0.5 μg/kg时, 肉眼观察到T线显色明显弱于C线显色, 因此确定试纸条对鸡肉中 AZM 的检出限为 0.5 μg/kg, 优于 LC-MS/MS 法检出限(SN/T 5359—2021 中方法检出限为 1.0 μg/kg)。

由于GICA是通过目测T线与C线的显色情况来进行结果判定, 容易受光线和试验人员主观影响而出现误判, 或者在待测物浓度处于临界状态时难以判定[32], 因此可能出现假阳性现象, 当结果判定为阳性时, 需采用国家标准中规定的仪器方法来进行确证。

2.2.2　基质适用性实验

本研究选择猪肉、羊肉、鱼肉、牛肉进行测定, 结果见图 6, 这 4 种动物组织的阳性样品检测结果均观察到 T 线显色弱于 C 线, 而阴性样品的 T 线显色强于 C 线, 表明这些动物组织样品均有良好的适用性。



图 5　检出限测定结果
Fig.5　Test results of the limit of detection

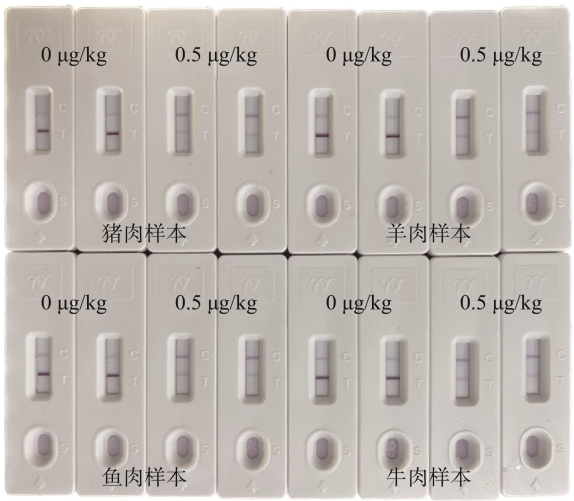


图 6　适用基质考察
Fig.6　Applicable matrix investigation

2.2.3　灵敏度、假阳性率、假阴性率结果

按照《食品快速检测产品符合性评价技术要求》计算灵敏度、假阳性率、假阴性率, 结果见表 1, 灵敏度 100%、假阳性率小于等于 2%、假阴性率 0%。

2.2.4　交叉反应结果

加米霉素、泰拉霉素、泰万菌素、吉他霉素、红霉素、螺旋霉素、替米考星均为常用的大环内酯类药物, 与 AZM 具有类似结构, 因此, 本方法将上述 7 种药物作为交叉反应考察对象。如图 7 所示, AZM 在 500 μg/kg 水平时检测结果为阳性, 加米霉素、泰拉霉素、泰万菌素、吉他霉素、红霉素、螺旋霉素、替米考星在相同浓度水平时检测结果均为阴性, 说明在本研究的 GICA 快速检测试纸条中上述 7 种药物对 AZM 无交叉反应。该快速检测方法特异性良好。

2.3 准确性验证结果

选取鸡肉、猪肉、牛肉、鱼肉及相关制品 21 份, 采用本研究方法与 LC-MS/MS(按照 SN/T 5359—2021 进行测定, 方法检出限为 1.0 μg/kg)同时进行检测。对比检测结果, 在食用农产品、肉制品、速冻食品中两种方法的检测结果一致率为 100%, 结果详见表 2。

表 1 性能指标评价结果

Table 1 Evaluation results of the performance index

样品情况	鸡肉			猪肉			羊肉			鱼肉			牛肉		
	阴性	阳性	总数	阴性	阳性	总数	阴性	阳性	总数	阴性	阳性	总数	阴性	阳性	总数
阴性样品	49	1	50	50	0	50	49	1	50	49	1	50	50	0	50
阳性样品	0	50	50	0	50	50	0	50	50	0	50	50	0	50	50
总数	49	51	100	50	50	100	49	51	100	49	51	100	50	50	100
灵敏度/%	100			100			100			100			100		
假阳性率/%	2			0			2			2			0		
假阴性率/%	0			0			0			0			0		

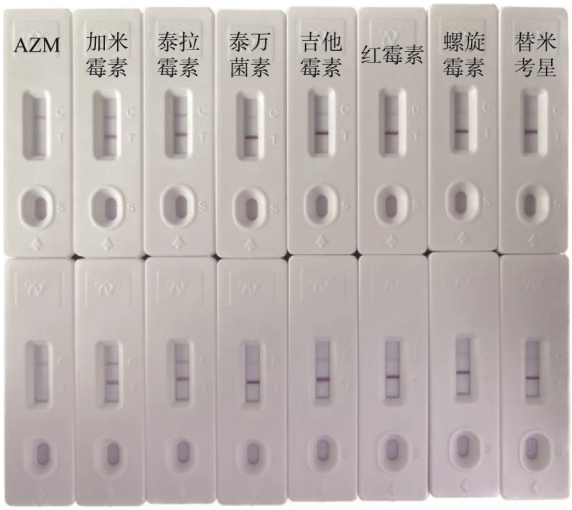


图 7 交叉反应结果

Fig.7 Results of cross reaction

表 2 GICA 和 LC-MS/MS 检测结果比较

Table 2 Comparison of the results between GICA and LC-MS/MS

样品编号	样品名称	食品类别	检测结果	
			GICA	LC-MS/MS/(μg/kg)
1	罗非鱼	食用农产品	阴性	未检出
2	罗非鱼	食用农产品	阴性	未检出
3	琵琶腿(鸡肉)	食用农产品	阳性	24.60
4	油炸酥肉	肉制品	阳性	1.96
5	炸翅	肉制品	阳性	4.00
6	香卤鸡翅尖	肉制品	阳性	1.55
7	香卤凤爪	肉制品	阳性	8.68
8	猪肝	食用农产品	阳性	6.18
9	麻辣牛肉	肉制品	阳性	63.00
10	乌鱼	食用农产品	阳性	109.00
11	酱香柠檬鸡爪	肉制品	阳性	7.38
12	免浆黑鱼片	速冻食品	阳性	17.50
13	黄辣丁鱼	食用农产品	阳性	1840.00
14	乌鱼	食用农产品	阳性	171.00

表 2(续)

样品编号	样品名称	食品类别	检测结果	
			GICA	LC-MS/MS/(μg/kg)
15	麻辣鸡胗	肉制品	阳性	4.03
16	黑鱼	食用农产品	阳性	703.00
17	黄辣丁	食用农产品	阳性	2.91
18	黄辣丁	食用农产品	阳性	1520.00
19	免浆黑鱼片	速冻食品	阳性	109.00
20	免浆黑鱼片	速冻食品	阳性	98.50
21	乌鱼	食用农产品	阳性	13.80

3　结　论

本研究建立了一套在动物性食品中 AZM 的风险防控快速检测方法。通过优化前处理条件, 将胶体金快速检测方法应用于鸡肉、鱼肉、猪肉、牛肉、羊肉及相关制品中 AZM 的快速检测, 能在 30 min 内完成动物性食品中 AZM 残留检测, 操作简便, 耗时短; 方法检出限为 0.5 μg/kg, 灵敏度 100%、假阳性率小于等于 2%、假阴性率 0%; 特异性好, 与加米霉素、泰拉霉素、泰万菌素、吉他霉素、红霉素、螺旋菌素、替米考星等结构类似物不发生交叉反应; 准确性高, 能排除高油高盐类动物性工业加工食品中的干扰, 对实际样本的快速检测结果与 LC-MS/MS 的符合率为 100%。本研究建立的 GICA 具有灵敏、简便、快速等优点, 适用于动物性食品中 AZM 残留的高通量现场快速检测。

参考文献

[1] 赵丽凤, 袁征, 李鹰飞. 阿奇霉素: 多功能的抗生素药物[J]. 国外医药(抗生素分册), 2023, 44(1): 33–38.
Zhao Lifeng, Yuan Zheng, Li Yingfei. Azithromycin: a multifunctional antibiotic drug [J]. World Notes on Antibiotics, 2023, 44(1): 33–38.

[2] 李沛珊, 刘莹. 阿奇霉素抗感染治疗的药理作用、临床应用与不良反应研究[J]. 中国药物滥用防治杂志, 2023, 29(10): 1771–1774.
Li Peishan, Liu Ying. Study on the pharmacological effects, clinical application and adverse reactions of azithromycin anti-infective therapy [J]. Chinese Journal of Drug Abuse Prevention and Treatment, 2023, 29(10): 1771–1774.

[3] Saita M G, Aleo D, Melilli B, et al. pH-Dependent stability of azithromycin in aqueous solution and structure identification of two new degradation products [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2018, 158: 47–53.

[4] 王英英, 杨智国, 朱娜, 等. UPLC-MS/MS 法测定混合型饲料添加剂中非法添加药物阿奇霉素的研究[J]. 中国饲料, 2026(9): 131–136, 145.
Wang Yingying, Yang Zhiguo, Zhu Na, et al. Determination of azithromycin illegal addition in mixed feed additives by UPLC-MS/MS [J]. China Feed, 2026(9): 131–136, 145.

[5] 崔淑丹. 超高效液相色谱-质谱联用法测定食品中阿奇霉素[J]. 现代食品, 2024, 30(24): 204–206.
Cui Shudan. Determination of azithromycin residues in food by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Modern Food, 2024, 30(24): 204–206.

[6] 中华人民共和国农业部. 中华人民共和国农业部公告第 560 号[EB/OL]. (2005-10-28) [2024-08-23]. http://www.moa.gov.cn/gk/zcfg/nybgz/200806/t20080606_1057240 htm.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Announcement No. 560 of the Ministry of Agriculture of the People's Republic of China [EB/OL]. (2005-10-28) [2024-08-23]. http://www.moa.gov.cn/gk/zcfg/nybgz/200806/t20080606_1057240.htm.

[7] 张闻, 杨佐君, 直俊强, 等. 畜禽排泄物中抗生素残留及危害的研究[J]. 今日畜牧兽医, 2019, 35(3): 70–71.
Zhang Wen, Yang Zuojun, Zhi Junqiang, et al. Study on antibiotic residue and harm in livestock and poultry excrement [J]. Today Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2019, 35(3): 70–71.

[8] 朱万燕, 徐文远, 张鸿伟, 等. QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法测定配合饲料中阿奇霉素含量[J]. 饲料工业, 2023, 44(21): 101–106.
Zhu Wanyan, Xu Wenyuan, Zhang Hongwei, et al. Determination of azithromycin in compound feed by QuEchERS purification coupled with ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Feed Industry, 2023, 44(21): 101–106.

[9] 安丽康, 刘沙, 王尹潇, 等. 一种新的阿奇霉素干混悬剂微生物限度检查方法研究[J]. 安徽医药, 2026, 30(2): 283–286.
An Likang, Liu Sha, Wang Yinxiao, et al. Study on a new microbiological examination method for azithromycin dry suspension [J]. Anhui Medical and Pharmaceutical Journal, 2026, 30(2): 283–286.

[10] 闵红, 张秉华, 闫博, 等. 阿奇霉素干混悬剂微生物限度检查方法选择原则[J]. 中国医药科学, 2024, 14(3): 79–82, 90.
Min Hong, Zhang Binghua, Yan Bo, et al. The principles for selection of microbial limit test methods of azithromycin for suspension [J]. China Medicine and Pharmacy, 2024, 14(3): 79–82, 90.

[11] 王艳萍. 高效液相色谱在化学药物分析中的应用探讨[J]. 药店周刊, 2021, 30(31): 59.
Wang Yanping. Discussion on the application of high performance liquid chromatography in chemical drug analysis [J]. Pharmacy Weekly, 2021, 30(31): 59.

[12] Losa F, Mavanga Mabaya T, Mankulu Kakumba J, et al. Development of a thin layer chromatography method for simultaneous detection of chloroquine, azithromycin and paracetamol in counterfeit tablets used against covid-19 [J]. American Journal of Biomedical and Life Sciences, 2020, 8(5): 126.

[13] Zhuo Yanli. A study on the determination of azithromycin by high-performance liquid chromatography [J]. Proceedings of Anticancer

Research, 2021, 5(4): 125–130.

[14] 曹建中. 阿奇霉素的高效液相色谱法测定[J]. 北方药学, 2019, 16(10): 1–2.
Cao Jianzhong. Determination of azithromycin by high performance liquid chromatography [J]. Journal of North Pharmacy, 2019, 16(10): 1–2.

[15] 邵丽, 徐淑飞, 王晓, 等. 高效液相色谱-串联质谱法快速测定鸡肉中阿奇霉素残留[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(9): 182–184.
Shao Li, Xu Shufei, Wang Xiao, et al. Rapid determination of azithromycin residues in chicken by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrome-try [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2022, 50(9): 182–184.

[16] Xiang Jianjun, Zha Cidan, Liao Qiegen, et al. Detection of azithromycin residue in broiler feathers by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Chromatography B, 2020, 1152: 122225.

[17] 章安源, 张传津, 王洪涛, 等. 高效液相色谱-串联质谱法检测清肺止咳散中添加阿奇霉素含量[J]. 中国兽药杂志, 2021, 55(9): 8–14.
Zhang Anyuan, Zhang Chuanjin, Wang Hongtao, et al. Determination of azithromycin in qingfeizhikesan powder by high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Veterinary Drug, 2021, 55(9): 8–14.

[18] 许静. 阿奇霉素单克隆抗体的制备及其免疫检测方法的初步建立[D]. 宜昌: 三峡大学, 2020: 35.
Xu Jing. Preparation of monoclonal antibody against azithromycin and initial establishment of immunoassay for azithromycin [D]. Yichang: China Three Gorges University, 2020: 35.

[19] 智军海, 孟超, 周嘉明, 等. 胶体金免疫层析法快速检测金银花中的马拉硫磷[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(1): 53–60.
Zhi Junhai, Meng Chao, Zhou Jiaming, et al. Rapid determination of malathion in *Lonicera japonica* by colloidal gold immunochromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(1): 53–60.

[20] 吴雨豪, 刘文娟, 武燕华, 等. 多枝状胶体金免疫层析试纸条定量检测猪尿中沙丁胺醇[J]. 生物加工过程, 2018, 16(2): 74–79.
Wu Yuhao, Liu Wenjuan, Wu Yanhua, et al. Multi? branched gold nanoparticles based immunochromatographic strip for quantitative detection of salbutamol in swine urine [J]. Chinese Journal of Bioprocess Engineering, 2018, 16(2): 74–79.

[21] Wang Yudan, Fu Yanwei, Miao Kun, et al. A colloidal gold immunochromatographic method for rapid screening of imidacloprid residues in Chinese herbal medicines [J]. Journal of Chromatography B, 2024, 1244: 124240.

[22] 郝秋艳, 周嘉明, 智军海, 等. 胶体金免疫层析法同步快速测定畜禽肉中 3 种兽药残留[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(11): 284–293.
Hao Qiuyan, Zhou Jiaming, Zhi Junhai, et al. Simultaneous rapid determination of three veterinary drug residues in livestock and poultry meat by GICA [J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(11): 284–293.

[23] 傅骏青, 程玲云, 杨振东, 等. 玉米粉(渣)中伏马菌素胶体金快检产品评价与应用[J]. 食品工业, 2023, 44(10): 292–296.
Fu Junqing, Cheng Lingyun, Yang Zhendong, et al. Evaluation and application of fumonisin colloidal gold rapid detection products in corn flour (residue) [J]. The Food Industry, 2023, 44(10): 292–296.

[24] Wang Xichun, Fan Haixin, Fan Mengxue, et al. A sensitive immunochromatographic assay using colloidal gold–antibody probe for rapid detection of fumonisin B_1 in corn [J]. Food Additives & Contaminants: Part A, 2016, 33(9): 1435–1443.

[25] 王乐, 崔冰. 农产品中重金属快速检测方法研究进展[J]. 中国果菜, 2025, 45(12): 17–21, 44.
Wang Le, Cui Bing. Research advances of rapid detection methods for heavy metals in agricultural products [J]. China Fruit & Vegetable, 2025, 45(12): 17–21, 44.

[26] 王志强. 食品与环境中铅镉砷三种重金属的快速检测研究[D]. 无锡: 江南大学, 2025: 39-40.
Wang Zhiqiang. Study on rapid detection of lead, cadmium and arsenic in food and environment [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2025: 39-40.

[27] Li Zhenxue, Zhao Feipeng, Tang Tingting, et al. Development of a colloidal gold immunochromatographic strip assay for rapid detection of bovine rotavirus [J]. Viral Immunology, 2019, 32(9): 393–401.

[28] Hu Weiguo, Yan Zeyi, Li Hongmei, et al. Development of a new colloidal gold immunochromatographic strip for rapid detecting subgroup A of avian leukosis virus using colloidal gold nanoparticles [J]. Biochemical Engineering Journal, 2019, 148: 16–23.

[29] 国家市场监督管理总局. 市场监管总局关于规范食品快速检测使用的意见 [EB/OL]. (2023-01-29) [2024-08-23]. https://www.samr.gov.cn/spcjs/xxfb/art/2023/art_7e0ffa2fe3d14a74b3bb6277c3131320. html.
State Administration for Market Regulation. Opinion of the state administration for market regulation on regulating the use of rapid food testing [EB/OL]. (2023-01-29) [2024-08-23]. https://www.samr.gov.cn/spcjs/xxfb/art/2023/art_7e0ffa2fe3d14a74b3bb6277c3131320. html.

[30] 唐祥, 赵立军, 罗成, 等. 液相色谱-串联质谱法测定育肥猪配合饲料中的阿奇霉素[J]. 分析测试学报, 2017, 36(3): 361–366.
[30]Tang Xiang, Zhao Lijun, Luo Cheng, et al. Determination of azithromycin in formula feed for fattening pigs by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2017, 36(3): 361–366.

[31] 马珍. 注射用阿奇霉素微乳体系优化及相关特性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2023: 1.
Ma Zhen. Optimization of azithromycin microemulsion system for injection and study on its related characteristics [D]. Chongqing: Southwest University, 2023: 1.

[32] 宋昀鹏, 李灏, 丁子元, 等. 胶体金读数仪在快速检测中的应用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(1): 163–168.
Song Yunpeng, Li Hao, Ding Ziyuan, et al. Research advance of application of colloidal-gold strips readers in rapid detection [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2017, 8(1): 163–168.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)