

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241130002

引用格式: 姜玉榕, 马丽, 张维, 等. 应用胶体金免疫层析法检测肉类中多种动物源性成分[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(8): 261–266.

JIANG YR, MA L, ZHANG W, *et al.* Application of colloidal gold immunochromatography for detecting various animal derived components in meat [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(8): 261–266. (in Chinese with English abstract).

应用胶体金免疫层析法检测肉类中多种动物源性成分

姜玉榕¹, 马丽², 张维², 李青飞², 栾军^{2*}

(1. 国家轻工业食品质量监督检测南京站, 南京 210024; 2. 南京海关动植物与食品检测中心, 南京 210019)

摘要: **目的** 研究胶体金免疫层析法检测肉制品中动物源性成分的准确性及可行性。**方法** 利用该快速检测试剂盒检测肉制品中动物源性成分, 对样品中 8 种动物源成分的灵敏度、特异性、掺假模拟、假阳性率、假阴性率进行相关实验, 并以实时荧光定量聚合酶链式反应(quantitative real-time polymerase chain reaction, QPCR)为参比对照。**结果** 该快速检测试剂盒的灵敏度对牛、鸡、鸭、鹅的检出限可达到 0.1%, 对猪、羊、马、驴的检出限可达到 0.01%; 掺假模拟中猪、牛、羊、鸡、鸭、鹅、马、驴的检出限均可达到 0.5%, 同时与其他非本物种通道检测时均无交叉反应, 特异性较好。**结论** 本研究建立的胶体金免疫层析法适用于肉制品中动物源性的现场快速筛查和检测。

关键词: 胶体金免疫层析; 快速检测; 动物源成分; 实时荧光定量聚合酶链式反应

Application of colloidal gold immunochromatography for detecting various animal derived components in meat

JIANG Yu-Rong¹, MA Li², ZHANG Wei², LI Qing-Fei², LUAN Jun^{2*}

(1. National Light Industry Food Quality Supervision and Inspection Nanjing Station, Nanjing 210024, China;
2. Animal, Plant and Food Inspection Center, Nanjing Customs, Nanjing 210019, China)

ABSTRACT: Objective To study the accuracy and feasibility of colloidal gold immunochromatography for the detection of animal-derived components in meat products. **Methods** The rapid detection kit was used to detect the animal-derived components in meat products. The sensitivity, specificity, adulteration simulation, false positive rate and false negative rate of 8 kinds of animal-derived components were tested, and quantitative real-time polymerase chain reaction (QPCR) was used as a reference. **Results** The limits of detection of the rapid detection kit could reach 0.1% for cattle, chicken, duck and goose, and 0.01% for pig, sheep, horse and donkey. The limits of detection of pig, cattle, sheep, chicken, duck, goose, horse and donkey in the adulterated simulation could reach 0.5%, and there was no cross-reaction with other non-species channel detection, and the specificity was good. **Conclusion** The

收稿日期: 2024-11-30

基金项目: 南京海关科研项目(2025KJ30)

第一作者: 姜玉榕(1997—), 女, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 763005918@qq.com

*通信作者: 栾军(1982—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 505762258@qq.com

colloidal gold immunochromatography method established in this study is suitable for the rapid screening and detection of animal origin in meat products.

KEY WORDS: colloidal gold immunochromatography; rapid detection; animal derived components; quantitative real-time polymerase chain reaction

0 引言

肉类是蛋白质的重要来源,并为人类提供必需的氨基酸、维生素、微量元素以及大量的不饱和脂肪酸^[1-3]。据联合国粮食及农业组织报道,2013 年全球肉类产量为 3.082 亿 t,且每年都在大幅增长,至 2050 年肉类供应可养活 90 亿人^[4-5],可见肉制品的质量控制在其生产过程中至关重要。然而当前掺杂掺假、以次充好等牟取暴利的事件仍频繁出现,从欧洲的“马肉风波”到国内的“驴肉掺假”等^[6-8],不仅严重损害消费者身心健康,同时也引起了公众对于食品安全的担忧。因此,建立快速有效的动物源性成分检测方法,实现对肉类的高通量精准鉴别和对肉制品行业监管具有重要意义^[9-10]。

传统的感官鉴别方法主要是通过眼或显微镜对肉类组织结构进行鉴别,但经加工的肉制品组织结构被破坏,同时受限于检测人员的经验误差,会直接影响鉴定结果^[11-13]。KUMARI 等^[14]利用感官评价比较动物肉和植物肉在颜色、质地、味道上的差异。但在利益驱动下不法商贩通过添加香精香料改变肉的颜色、气味等,以致消费者无法辨别动物源性食品的真实性^[15]。基于蛋白质组分发展的酶联免疫吸附法(enzyme-linked immunosorbent, ELISA)、色谱法和质谱法等^[16]检测方法,同样会破坏肉制品本身的组织结构,且检测过程烦琐,不利于大规模推广。例如,ZHANG 等^[17]利用串联质谱法中多反应监测模式(multiple reaction monitoring, MRM)其离子源为电喷雾电离源正离子扫描模式,在毛细管电压与温度分别为 3500 V、275 °C,碰撞气压与流速分别为 1.5 mTorr、38 Arb 的条件下能识别不同动物源性的特异性肽,并成功鉴别出猪、牛、羊、鹿、鸡、鸭和火鸡动物源性成分。而基于无损样品的检测技术,如生物传感器、红外光谱法等,虽然避免了对样品本身的破坏,但所需的检测设备价格较昂贵,同样不利于推广^[18-19]。MABOOD 等^[20]建立了结合近红外光谱与多变量分析的检测方法,在包含 39 种肉类 5952 份混合样本中添加不同比例的猪肉,利用傅里叶变换近红外光谱(Fourier transform-near infrared spectroscopy, FT-NIR)在光谱波长 10000~4000 cm^{-1} 、分辨率 2 cm^{-1} 、总径 0.5 mm 的条件下成功分析出纯猪肉与添加猪肉的混合样品之间的区别。基于生物学为基础的检测方法高速发展,例如,聚合酶链式反应技术、实时荧光定量聚合酶链式反应(quantitative real-time polymerase chain reaction, QPCR)技术、多重聚合酶链式反应(multiplex polymerase

chain reaction, MPCR)技术等,IZADPANA 等^[21]利用多重反应 PCR 通过在细胞色素 C 氧化酶亚基(COXI)基因保守区设计特异性引物,成功区分猪、骆驼、绵羊、驴、山羊、牛以及鸡的动物源性成分。当前,这类检测方法广泛应用于肉制品中动物源性检测中,但仍受限于检测周期长、成本高,因此不适用于大规模样品的快速筛查。而基于抗原抗体特异性免疫结合反应原理的胶体金免疫层析法,相比较上述几种类型的检测方法具有操作简单、重现性好、成本低等优势^[22-26],近年来被广泛应用于食品中药物残留检测,如陈文硕等^[27]通过建立胶体金免疫层析法成功检测出动物源性食品中诺佛沙星;纪丽君等^[28]利用胶体金免疫层析法成功检测出山药中咪鲜胺。但目前应用胶体金免疫层析法检测肉制品中动物源性成分的研究鲜有报道。

本研究基于胶体金免疫层析法的原理,采用由杭州泰熙生物技术有限公司提供的动物源性快速检测试剂盒,对市售的肉制品进行检测。按照国家市场监督管理总局《总局关于规范食品快速检测方法使用管理的意见》对该方法的检出线、假阳性率、假阴性率、特异性以及参比方法的一致性进行评价^[29-31]。本方法的使用可以为基层监管部门对肉制品中动物源性掺假成分鉴定提供可靠的技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

实验用猪肉、牛肉、羊肉、鸡肉、鸭肉、鹅肉、马肉、驴肉均购于农贸市场、超市。

2×MASTER MIX (H20240105)(上海辉睿生物科技有限公司); Real Time PCR Bovine DNA Detection Kit (AN81384A)、Real Time PCR Ovine DNA Detection Kit (AM82588A)、Real Time PCR Porcine DNA Detection Kit (AN70800A)[宝日生物技术(北京)有限公司]; 动物源性成分(猪、牛、羊、鸡、鸭、鹅、马、驴)快速检测试剂盒(杭州泰熙生物技术有限公司)。

1.2 仪器与设备

JA31002 分析天平(精度 0.01 mg, 上海精密仪器仪表有限公司); Sorvall ST16 高速离心机、ViiA7 ABI 荧光定量 PCR 仪、QuantStudio5 实时荧光定量 PCR 仪(美国赛默飞世尔科技公司); KZ-II 样品研磨机(上海净信实业发展有限公司)。

1.3 实验方法

QPCR 检测肉制品中动物源性成分依据如下:牛、羊、

猪成分检测依据 SN/T 2051—2008《食品、化妆品和饲料中牛羊猪源性成分检测方法 实时 PCR 法》, 鸡、鸭、鹅成分检测依据 GB/T 38164—2019《常见畜禽动物源性成分检测方法 实时荧光 PCR 法》, 马成分检测依据 SN/T 3730.5—2013《食品及饲料中常见畜类品种的鉴定方法 第 5 部分: 马成分检测实时荧光 PCR 法》, 驴成分检测依据 SN/T 3730.4—2013《食品及饲料中常见畜类品种的鉴定方法 第 4 部分: 驴成分检测实时荧光 PCR 法》。

1.3.1 灵敏度检测

鸡鸭等肉制品去皮、去脂, 取组织均质, 称 1 g 试样置于 25 mL 离心管中, 加入 10 mL 样本稀释液, 匀浆、离心(8000 r/min, 5 min), 取上层清液配制成浓度梯度为 1.00%、0.10%、0.01% 的待测液, 吸取 100 μL 待测液滴加到试纸条的加样口, 静置 5~10 min, 观察颜色变化。质控线(C 线)和检测线(T 线)均出现红色为阴性, 仅 C 线出现红色为阳性、C 线不显色为试纸条无效。8 种动物源性成分设置 3 种不同浓度梯度, 每种浓度各 5 份, 共计 120 份, 每份样品重复检测 3 次。根据实验结果确定试剂条的检出限。

1.3.2 特异性检测

选择猪、牛、羊、鸡、鸭、鹅、马、驴为物种样本, 使用棉拭子吸取样本组织液, 用试纸条检测 5~10 min, 观察颜色变化, 每种物种样品各 4 份, 共计 32 份, 每份样品重复测定 3 次, 根据结果确定试剂条的特异性。

1.3.3 掺假模拟

分别称取 9.8 g 基质物种(牛、羊、鸡、鹅、马、驴)与 0.1 g 掺入物种(鸭、猪), 加入到 10 mL 稀释液振荡混匀, 配制成 1% 掺入模拟样品待测液, 取 10 g 基质物种配制成相同浓度的基质物种稀释液, 将掺入模拟样品待测液与基质物种稀释液等体积混匀成 0.5% 掺入模拟样品待测液, 吸取 100 μL 待测液滴加到试纸条的加样口, 静置 5~10 min, 并观察颜色变化。6 种基质物种配制成 2 种浓度梯度, 每种浓度各 5 份, 共计 60 份, 每份样品重复检测 3 次。

1.3.4 假阳性率、假阴性率测定

按照 1.3.1 前处理过程制备样品, 将 8 种动物源性成分设置 3 种不同浓度梯度, 每种浓度各 5 份, 共计 120 份, 每份样品重复测定 3 次, 并以空白样品为对照。按公式(1)~(3)分别计算假阳性率、假阴性率。

$$\text{灵敏度}/\% = \frac{C_0}{C_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{假阴性率}/\% = \frac{C_3}{C_1} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{假阳性率}/\% = \frac{C_4}{C_2} \times 100\% \quad (3)$$

式中: C₀ 为检出阳性结果的阳性样品数; C₁ 为总阳性样品数; C₂ 为总阴性数; C₃ 为阳性样品的阴性结果数; C₄ 为阴性样品的阳性结果数。

1.3.5 参比对照实验

相同条件下处理样品, 并按照上述 1.3 中 QPCR 法对样品进行同步测定, 比较两种方法测定结果的符合率。

1.4 数据处理

采用 Excel 2019 对数据进行处理。

2 结果与分析

2.1 猪、牛、羊、鸡、鸭、鹅、马、驴灵敏度检验结果分析

本研究使用的动物源性成分快速检测试剂盒检测结果如表 1 所示, 对猪、羊、马、驴的检出限可达到 0.01%; 对牛、鸡、鹅、鸭的检出限可达到 0.10%。如图 1 所示, 当试样中马、驴含量为 0.01%、0.10%、1.00% 时, C 线颜色明显深于 T 线, 检测结果为阳性, 且平行实验间重复性好。但牛、鸡、鸭、鹅 4 种肉源性试样浓度为 0.01% 时, 该试剂盒未检出阳性, 表明该试剂盒存在一定的局限性, 仅能对特定的几种动物源性具有较高的检出限。

表 1 试剂盒灵敏度检测结果
Table 1 Sensitivity test results of reagent kit

检测通道	检测物种	阳性次数/实验次数		
		1.00%浓度	0.10%浓度	0.01%浓度
猪	猪	15/15	15/15	15/15
牛	牛	15/15	15/15	0/15
羊	羊	15/15	15/15	15/15
鸡	鸡	15/15	15/15	0/15
鸭	鸭	15/15	15/15	0/15
鹅	鹅	15/15	15/15	0/15
马	马	15/15	15/15	15/15
驴	驴	15/15	15/15	15/15



注: A. 1.00%浓度; B. 0.10%浓度; C. 0.01%浓度。

图 1 马、驴动物源性灵敏度检测结果

Fig.1 Detection results of animal sensitivity of horse and donkey

为进一步验证该动物源性成分快速检测试剂盒的灵敏度,以 QPCR 检测为参比对照,当 8 种动物源成分检测结果的循环阈(cycle threshold, CT)≤35 时,表明该种动物源性成分检出。反之,则未检出。结果如表 2 所示,当 8 种动物源性成分浓度分别为 1.00%、0.10%时,所有试样的 CT 值均小于 35,8 种动物源性成分均可检出,这与该试剂盒的检测结果相一致,当检测浓度为 0.01%时,所有试样 CT 值均小于 35,表明仍可检出,而本试剂盒仅能检出猪、羊、马、驴 4 种动物源性成分,可见当浓度为 0.01%时,本试剂盒检测结果可靠性与 QPCR 检测有一定差距。

2.2 猪、牛、羊、鸡、鸭、鹅、马、驴特异性检验结果分析

如图 2 所示,当检测通道为牛时检测结果为两条线(阴性),此时其他物种检测结果均显示一条线(阳性),即该

试剂盒对猪、牛、羊、鸡、鸭、鹅、马、驴物种进行其他非本物种通道检测时均无交叉反应,检测结果与表 3 相符,表明该试剂盒具有较高的特异性。

表 2 实时荧光 PCR 灵敏度检测结果

Table 2 Real time fluorescence PCR sensitivity detection results

检测物种	CT 值		
	1.00%浓度	0.10%浓度	0.01%浓度
猪	19.98	23.38	26.66
牛	23.83	25.25	27.13
羊	19.77	23.34	25.52
鸡	16.44	19.72	22.33
鸭	18.32	20.69	23.18
鹅	19.69	21.57	25.03
马	25.62	27.86	30.55
驴	19.95	22.78	26.48

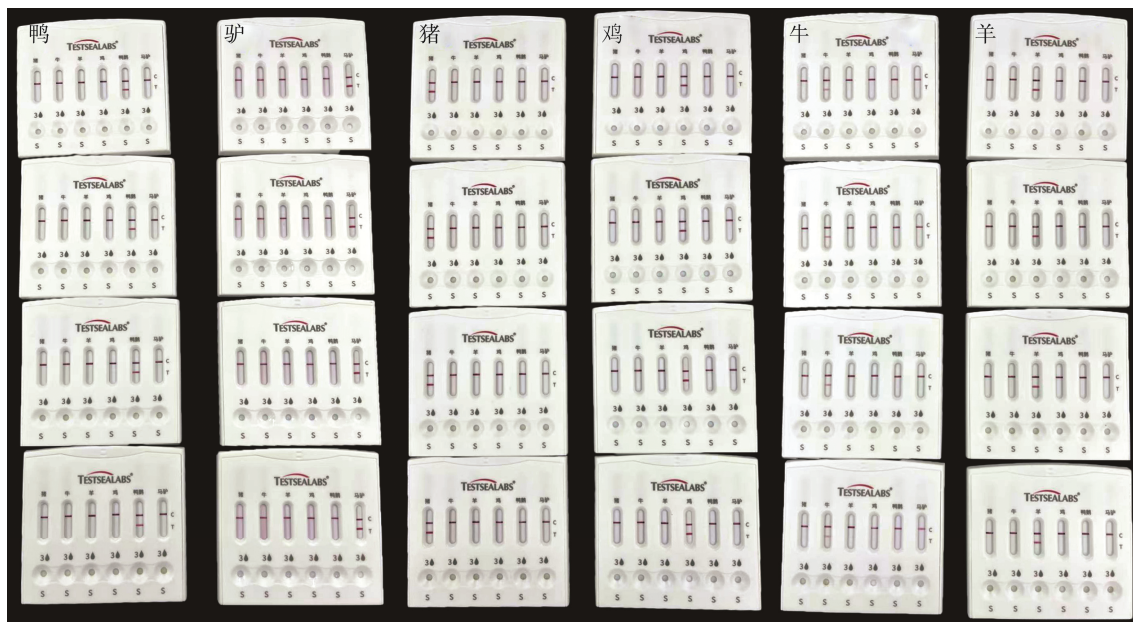


图 2 特异性测定结果

Fig.2 Results of specificity test

表 3 特异性测定结果

Table 3 Specificity test results

检测通道	检测物种	交叉反应物种
猪	牛、羊、鸡、鸭、鹅、马、驴	无交叉
牛	猪、羊、鸡、鸭、鹅、马、驴	无交叉
羊	猪、牛、鸡、鸭、鹅、马、驴	无交叉
鸡	猪、牛、羊、鸭、鹅、马、驴	无交叉
鸭	猪、牛、羊、鸡、鹅、马、驴	无交叉
鹅	猪、牛、羊、鸡、鸭、马、驴	无交叉
马	猪、牛、羊、鸡、鸭、鹅、驴	无交叉
驴	猪、牛、羊、鸡、鸭、鹅、马	无交叉

2.3 猪、牛、羊、鸡、鸭、鹅、马、驴模拟掺假检测结果分析

由表 4 可知,当基质物种(牛、羊、鸡、鹅、马、驴)分别与掺入物种(鸭、猪)混成 1.0%和 0.5%两种浓度时,该试剂盒检测结果均显示为阳性。同时,采用 QPCR 为参比对照时,结果如表 5 可知,所有样本检测结果的 CT 值均小于 35,表明所有检测样本中均能检测出猪、鸭两种动物源成分,这与本研究所用试剂盒检测结果相一致。表明该试剂盒在模拟掺假测试中的检出限达到了 0.5%。

表 4 掺假模拟检测结果
Table 4 Results of Adulteration simulation test

掺入物种	阳性次数/实验次数		
	基质物种	基质物种组织+1.0%掺入物种组织	基质物种组织+0.5%掺入物种组织
鸭、猪	牛(30/30)	鸭(15/15)+猪(15/15)	鸭(15/15)+猪(15/15)
鸭、猪	羊(30/30)	鸭(15/15)+猪(15/15)	鸭(15/15)+猪(15/15)
鸭、猪	鸡(30/30)	鸭(15/15)+猪(15/15)	鸭(15/15)+猪(15/15)
鸭、猪	鹅(30/30)	鸭(15/15)+猪(15/15)	鸭(15/15)+猪(15/15)
鸭、猪	马(20/20)	鸭(15/15)+猪(15/15)	鸭(15/15)+猪(15/15)
鸭、猪	驴(30/30)	鸭(15/15)+猪(15/15)	鸭(15/15)+猪(15/15)

表 5 掺假模拟测 QPCR 结果
Table 5 Results of Adulterated simulation measured QPCR

掺入物种	CT 值		
	基质物种	基质物种组织+1.0%掺入物种组织	基质物种组织+0.5%掺入物种组织
鸭、猪	牛(26.48)	鸭(28.45)+猪(29.86)	鸭(33.31)+猪(33.93)
鸭、猪	羊(22.63)	鸭(21.46)+猪(23.92)	鸭(28.56)+猪(29.27)
鸭、猪	鸡(18.01)	鸭(21.63)+猪(22.86)	鸭(24.66)+猪(26.17)
鸭、猪	鹅(19.12)	鸭(22.91)+猪(24.19)	鸭(27.33)+猪(28.97)
鸭、猪	马(24.33)	鸭(23.05)+猪(23.74)	鸭(28.09)+猪(28.69)
鸭、猪	驴(23.68)	鸭(21.93)+猪(23.52)	鸭(27.84)+猪(29.63)

2.4 猪、牛、羊、鸡、鸭、鹅、马、驴假阳性率与假阴性率结果分析

由表 6 可知, 当样品浓度为 1.00% 和 0.10% 时, 假阳性率与假阴性率均为 0, 当样品浓度为 0.01% 时, 假阴性率为 17%。可能是当样本提取液浓度过低时, 溶液中存在少量杂质, 使得该试剂盒无法检出阳性。

表 6 假阳性率、假阴性率(%)
Table 6 False positive rate and false negative rate (%)

性能指标	0%浓度	1.00%浓度	0.10%浓度	0.01%浓度
假阴性率	0	0	0	17
假阳性率	0	0	0	0

3 结论

肉制品掺假是食品安全领域一直存在的问题, 针对肉源性成分鉴定, 本研究建立了一种能够同时检测肉制品中 8 种动物源性成分的胶体金免疫层析法, 并对该方法进行验证。结果表明该检测方法对牛、鸡、鸭、鹅的检出限可达到 0.10%, 对猪、羊、驴、马的检出限可达到 0.01%; 掺假模拟实验中对猪、牛、羊、鸡、鸭、鹅、马、驴的检出限均可达到 0.5%。根据特异性实验结果可以看出本研究使用的快速检测试剂盒在检测 8 种动物源成分与其他非本物种通道时均无交叉反应, 具有较好的特异性。结合实时荧光定量 PCR 检测结果, 两者具有较好的一致性。但当样品浓度较低时, 该试剂盒出现较高的假阴性率, 因此, 可以进一步优化样品前处理, 去除更多杂质以提高该试剂盒检测精度。总体来说, 该试剂盒的检测结果准确、可靠, 符

合商品化要求。相比较于 QPCR 技术, 对仪器和试剂的要求低, 是一种低成本的检测技术, 更适用于基层市场的肉制品质量检测。

参考文献

- 郭亚宁, 刘亚轩, 周剑, 等. 动物源性食品真实性鉴别技术研究进展[J]. 肉类研究, 2024, 38(11): 55-63.
GUO YN, LIU YX, ZHOU J, *et al.* Research progress of authenticity identification techniques for food of animal origin [J]. Meat Research, 2024, 38(11): 55-63.
- 韩爱云, 张振冉, 解立斌, 等. 拉曼光谱技术在肉类掺假检测方面的应用研究进展[J]. 肉类研究, 2021, 35(7): 50-54.
HAN AIY, ZHANG ZR, XIE LB, *et al.* Research progress in the application of Raman spectroscopy in the detection of meat adulteration [J]. Meat Research, 2021, 35(7): 50-54.
- 李志敏, 黄莉丹, 李迎利, 等. PCR 技术检测羊肉中掺假动物源性成分[J]. 中国食品工业, 2022(17): 91-95.
LI ZM, HUANG LD, LI YL, *et al.* PCR was used to detect the adulterated animal-derived components in mutton [J]. Chinese Food Industry, 2022(17): 91-95.
- SENTANDREU MA, SENTANDREU E. Authenticity of meat products: Tools against fraud [J]. Food Research International, 2014, 60: 19-29.
- 刘瑞, 白李薇薇. 肉制品中动物源性成分鉴别研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(19): 102-110.
LIU R, BAI LWW. Progress in identification of animal-derived components from meat products [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(19): 102-110.
- 马炳存, 崔学文, 李琰歆, 等. 基于实时荧光聚合酶链式反应技术定量检测肉制品中动物源性成分研究进展[J]. 肉类研究, 2021, 35(7): 44-49.
MA BC, CUI XW, LI YX, *et al.* Research progress of quantitative detection of animal-derived components in meat products based on real-time fluorescent polymerase chain reaction [J]. Meat Research, 2021,

- 35(7): 44–49.
- [7] RAHMATI S, JULKAPLI NM, YEHE WA, *et al.* Identification of meat origin in food products-A review [J]. *Food Control*, 2016, 68: 379–390.
- [8] 尚柯, 张彪, 张敏, 等. 基于多酶恒温快速扩增-侧向流层析联用技术的肉制品真实性研究[J]. *食品科学*, 2024, 45(8): 1–12.
- SHANG K, ZHANG B, ZHANG M, *et al.* Research on the authenticity of meat products based on multi-enzyme constant temperature rapid amplification and lateral flow chromatography [J]. *Food Science*, 2024, 45(8): 1–12.
- [9] 陈勇勇, 黄世会, 牛熙, 等. 11种肉及肉制品动物源性成分PCR检测技术[J]. *中国动物检疫*, 2023, 40(5): 107–114.
- CHEN YY, HUANG SH, NIU X, *et al.* PCR detection of 11 animal derived components in meat and meat products [J]. *Animal Quarantine in China*, 2023, 40(5): 107–114.
- [10] 范维, 高晓月, 李贺楠, 等. 4种动物源性成分多重 real-time PCR 检测方法的建立及其在驴肉制品检测中的应用[J]. *食品科学*, 2023, 44(8): 317–323.
- FAN W, GAO XY, LI HN, *et al.* Establishment of multiple real-time PCR method for detection of 4 animal-derived components and its application in detection of donkey meat products [J]. *Food Science*, 2023, 44(8): 317–323.
- [11] 王恩辉, 张志然. 我国食品中动物源性成分检测标准研究进展[J]. *中国标准化*, 2024(5): 206–210.
- WANG ENH, ZHANG ZR. Research progress on detection standards of animal-derived components in food in China [J]. *Chinese Standardization*, 2024(5): 206–210.
- [12] 陈基耘. 动物源性成分分子生物学检测技术研究进展[J]. *食品工业*, 2023, 44(4): 281–284.
- CHEN JY. Advances in molecular biological detection techniques of animal-derived components [J]. *Food Industry*, 2023, 44(4): 281–284.
- [13] 张亚丽, 牛立沙, 黄云霞, 等. 畜禽肉中源成分检测技术研究进展[J]. *肉类研究*, 2022, 36(2): 59–64.
- ZHANG YL, NIU LS, HUANG YX, *et al.* Research progress on detection technology of source components in livestock and poultry meat [J]. *Meat Research*, 2022, 36(2): 59–64.
- [14] KUMARI S, ALAM AN, HOSSAIN MJ, *et al.* Sensory evaluation of plant-based meat: Bridging the gap with animal meat, challenges and future prospects [J]. *Foods*, 2024, 13(1): 108–112.
- [15] 李卿, 马盛凯, 张悦, 等. 感官评定在新食品开发中的应用[J]. *食品工程*, 2021(2): 42–45.
- LI Q, MA SK, ZHANG Y, *et al.* Application of sensory evaluation in the development of new foods [J]. *Food Engineering*, 2021(2): 42–45.
- [16] LI YC, LIU SY, MENG FB, *et al.* Comparative review and the recent progress in detection technologies of meat product adulteration [J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2020, 19(4): 2256–2296.
- [17] ZHANG M, LI Y, ZHANG Y, *et al.* Rapid LC-MS/MS method for the detection of seven animal species in meat products [J]. *Food Chem*, 2022, 371(3): 131–134.
- [18] LI Y, LIU J, FAN S, *et al.* Establishment of enzyme-linked immunosorbent assay for beef and lamb contents in cooked meat [J]. *Journal of Future Foods*, 2024, 4(1): 91–96.
- [19] MANSOURI M, FATHI F, JALILI KR, *et al.* SPR enhanced DNA biosensor for sensitive detection of donkey meat adulteration [J]. *Food Chemistry*, 2020, 331(5): 1–9.
- [20] MABOOD F, BOQUE R, ALKINDI AY, *et al.* Fast detection and quantification of pork meat in other meats by reflectance FT-NIR spectroscopy and multivariate analysis [J]. *Meat Science*, 2020, 163: 1080–1084.
- [21] IZADPANAH M, MOHEBALI N, ELYASI GZ, *et al.* Simple and fast multiplex PCR method for detection of species origin in meat products [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2017, 55(2): 698–703.
- [22] 徐志鹏, 泮秋立, 肖晶, 等. 胶体金免疫层析纸条鉴别乳品中牛、羊源性成分的性能评价[J]. *乳业科学与技术*, 2024, 47(6): 37–42.
- XU ZP, PAN QL, XIAO J, *et al.* Evaluation of colloidal gold immunochromatographic test strips for identification of bovine and sheep derived components in dairy products [J]. *Dairy Science and Technology*, 2024, 47(6): 37–42.
- [23] 栗慧, 于苗, 刘培, 等. 胶体金免疫层析法快速检测动物源性食品中土霉素残留[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(5): 1524–1530.
- LI H, YU M, LIU P, *et al.* Rapid detection of oxytetracycline residues in food of animal origin by colloidal gold immunochromatography [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2022, 13(5): 1524–1530.
- [24] 周文兰. 胶体金免疫层析技术在食品快速检测中的应用[J]. *食品安全导刊*, 2024(27): 133–136.
- ZHOU WL. Application of colloidal gold immunochromatography in rapid detection of food [J]. *China Food Safety Magazine*, 2024(27): 133–136.
- [25] QIAN SZ, BAU HH. Analysis of lateral flow biodetectors: Competitive format [J]. *Analytical Biochemistry*, 2004, 326(2): 211–224.
- [26] 古丽君, 吴世玉, 林长虹, 等. 水果蔬菜中甲拌磷残留胶体金免疫层析快速检测方法评估与分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2024, 15(23): 26–33.
- GU LJ, WU SY, LIN CH, *et al.* Evaluation and analysis of colloidal gold immunochromatography method for rapid detection of methyl mixed phosphorus residues in fruits and vegetables [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2024, 15(23): 26–33.
- [27] 陈文硕, 温宇浩, 姜婷婷, 等. 胶体金免疫层析法快速检测动物源食品中的诺氟沙星[J]. *化学试剂*, 2025, 47(1): 92–96.
- CHEN WS, WEN YH, LOU TT, *et al.* Rapid detection of norfloxacin in food of animal origin by colloidal gold immunochromatography [J]. *Chemical Reagent*, 2025, 47(1): 92–96.
- [28] 纪丽君, 李晟昊, 陆千里, 等. 胶体金免疫层析法快速检测山药中的咪鲜胺[J]. *食品安全质量检测学报*, 2024, 15(17): 39–46.
- JL LJ, LI SH, LU QL, *et al.* Rapid determination of imidamine in yam by colloidal gold immunochromatography [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2024, 15(17): 39–46.
- [29] 赵志勇, 朱少华, 赵晓燕, 等. 基于多重PCR技术同时检测肉制品中6种动物源性成分[J]. *上海农业学报*, 2021, 37(4): 117–124.
- ZHAO ZY, ZHU SH, ZHAO XY, *et al.* Simultaneous detection of 6 animal-derived components in meat products by multiplex PCR [J]. *Shanghai Journal of Agricultural Sciences*, 2021, 37(4): 117–124.
- [30] 周藏, 孙晓霞, 王金凤, 等. 同时检测速冻食品中鸡、鸭、猪和牛源性成分实时荧光聚合酶链式反应方法的建立及应用[J]. *肉类研究*, 2022, 36(8): 29–34.
- ZHOU C, SUN XX, WANG JF, *et al.* Establishment and application of real-time fluorescent polymerase chain reaction method for the detection of chicken, duck, pig and cow derived ingredients in frozen foods [J]. *Meat Research*, 2022, 36(8): 29–34.
- [31] 姚艳玲, 周宇东, 王文宇, 等. 肉串制品中猪牛羊源性成分多重荧光PCR检测方法研究[J]. *安徽农业科学*, 2024, 52(18): 184–187.
- YAO YL, ZHOU YD, WANG WY, *et al.* Multiplex PCR method for detection of pig, cattle and sheep derived components in meat skewer products [J]. *Anhui Agricultural Sciences*, 2024, 52(18): 184–187.

(责任编辑: 于梦娇 蔡世佳)