

掺假羊乳及其制品中牛乳的检测技术研究进展

付尚辰¹, 李玲², 郑卫民², 王一凡¹, 刘永峰^{1*}

(1. 陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 西安 710119; 2. 西安市奶牛育种中心, 西安 710075)

摘要: 羊乳具有营养价值高、蛋白质组成更接近人乳、脂肪球直径小及致敏性低等优点, 更利于人体消化吸收, 受到消费者和乳品企业的青睐。近年来我国羊乳产业发展迅速且潜力巨大, 但由于受羊乳产量和养殖规模的限制, 羊乳价格昂贵, 市场中存在羊乳及其制品掺假牛乳的现象, 且掺假手段多样, 难以辨别。为了保证消费者的健康和权益, 保障羊乳市场良性发展, 羊乳及其制品的纯正性、真实性检测已经成为热点研究方向。本文通过分析基于乳中蛋白质、脂肪和核酸差异的羊乳中牛乳掺假检测技术的研究现状, 介绍和探讨了各检测技术的基本原理及其在应用中的优缺点, 同时展望羊乳掺假检测技术的发展方向, 旨在为牛羊乳混合掺假检测技术的进一步发展提供资料参考和思路。

关键词: 羊乳; 牛乳; 掺假; 检测技术

Research progress on adulteration detection technology of cow milk in goat milk and its products

FU Shang-Chen¹, LI Ling², ZHENG Wei-Min², WANG Yi-Fan¹, LIU Yong-Feng^{1*}

(1. College of Food Engineering and Nutrition Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China;
2. Xi'an Cow Breeding Center, Xi'an 710075, China)

ABSTRACT: Goat milk has the advantages of high nutritional value, protein composition closer to that of human milk, small diameter of fat globules, low sensitization, and so on. It is more conducive to the digestion and absorption of the human body, and is favored by consumers and dairy enterprises. In recent years, China's goat milk industry has developed rapidly and has great potential. However, due to the restrictions of goat milk production and breeding scale, goat milk is expensive. The phenomenon of adulteration of goat milk and its products into milk exists in the market, and the means of adulteration are diverse, making it difficult to identify. In order to ensure the health and rights of consumers, and ensure the healthy development of the goat milk market, the detection of the purity and authenticity of goat milk and its products has become a hot research direction. This paper analyzed the research status of detection technology of milk adulteration in goat milk based on the differences of protein, fat and nucleic acid in milk, introduced the basic principles of each detection technology, discussed their advantages and disadvantages in application, and prospected the development direction of detection technology of goat milk adulteration, which aimed to provide reference and ideas for the further development of detection technology of mixed adulteration in goat milk.

基金项目: 陕西省重点研发计划项目(2019ZDLNY06-05)、中央高校基本科研业务费专项项目(GK202001002)、陕西省林业科学院项目(SXLk2020-0303)

Fund: Supported by the Shaanxi Provincial Key Research and Development Program (2019ZDLNY06-05), Fundamental Research Funds for the Central Universities in China (GK202001002), and the Shaanxi Academy of Forestry Program (SXLk2020-0303)

***通信作者:** 刘永峰, 教授, 主要研究方向为畜产品科学与营养。E-mail: yongfeng200@126.com

***Corresponding author:** LIU Yong-Feng, Professor, College of Food Engineering and Nutrition Science, Shaanxi Normal University, No.620, West Chang'an Road, Chang'an District, Xi'an 710119, China. E-mail: yongfeng200@126.com

KEY WORDS: goat milk; cow milk; adulteration; detection technology

0 引言

食品科学与技术的发展使人们对乳产品营养价值的认识进一步深入,现阶段乳品已经成为人们生活中不可或缺的食品。羊乳作为我国当前乳品市场上仅次于牛乳的第二大乳源,与牛乳相比,不仅具有营养丰富、蛋白质组成与人乳更为接近、易于人体消化吸收等特点,还具有抗氧化、低致敏性、修复和改善肠道功能以及抗菌、抗肿瘤等功能特性^[1-5],有“奶中之王”的美誉,是牛奶过敏及乳糖不耐症等特殊消费人群的更优选择。未来随着人们对高营养高质量乳品需求的不断增长,羊乳及其制品会逐步在大众市场中被推广和普及。

现阶段,我国羊乳产业正在蓬勃发展,但与牛乳产业相比,我国现有的奶羊饲养模式仍存在饲养技术含量低、饲养规模小且分散、劳动生产率低以及环境污染不易解决问题,需要投入更多的人力和资金来保障鲜羊乳的品质;同时羊的产乳期每年仅有7个月且产乳量远低于牛乳,因此羊乳的市场价格高于牛乳^[6-7]。由于羊乳与牛乳的表现特性相似度高,掺入少量牛乳的羊乳在感官及常规指标检测上是很难鉴定的,一些商贩、企业为了降低成本获得更高利润,存在把更廉价的牛乳掺入羊乳中的掺假行为^[1]。研究表明,乳中引发机体产生过敏反应的主要过敏源是 α_{S1} -酪蛋白、 β -乳球蛋白和 α -乳白蛋白,它们在牛乳中占比高于羊乳,而且大多数牛乳蛋白即使浓度很低也可能存在导致过敏的风险^[8-10]。同时与牛乳相比,羊乳中酪蛋白的比例更接近人乳,已经成为易发生牛乳过敏人群的主要乳品选择^[11]。此外,牛乳中的乳糖会对缺乏乳糖酶的人群产生不良影响,而羊乳中乳糖含量低于牛乳,更适合患有乳糖不耐症人群饮用^[12]。总之,这些掺假行为不仅关系到消费者的身体健康,也会影响我国乳品产业的稳定发展,同时还可能涉及到某些特殊的医疗要求甚至是宗教信仰问题^[13],掺假已经成为羊乳产业快速发展中不可忽视的重要问题。因此,为了保障消费者的权益和羊乳产业的持续发展,建立羊乳中牛源性成分高效精准的检测体系对有效避免羊乳掺假行为的发生显得尤为重要。市场上,羊乳掺假牛乳最常见的形式是用牛乳部分代替羊乳或者将牛乳清粉掺入羊乳中。羊乳和牛乳虽然在感官和常规指标上具有相似性,但各类营养成分存在一定的差异,其中主要包括蛋白质、脂肪以及DNA分子的差异^[14]。现阶段,用于检测羊乳中牛乳成分的掺假技术主要以蛋白质检测和核酸检测2个方面为基础展开。

本文通过分析羊乳中牛乳掺假检测技术的研究现状,对各检测技术的基本原理及其在实践中的应用进行了概述,

同时对羊乳掺假检测技术的发展方向进行了分析,旨在为牛羊乳混合掺假检测技术的进一步发展提供参考。

1 以蛋白质为目标分析物的羊乳及其制品掺假牛乳的检测技术

蛋白质是乳制品的主要组成成分,不同种属乳品所含蛋白质种类和数量均有不同。研究发现,羊乳中的总蛋白质含量略高于牛乳,但其蛋白质种类与牛乳无明显差异^[15]。通过进一步分析羊乳和牛乳中不同种类酪蛋白发现,羊乳和牛乳中的 α_{S1} -酪蛋白和 β -酪蛋白含量具有显著差异,其中 α_{S1} -酪蛋白含量分别为5.6和38 g/100 g、 β -酪蛋白含量分别为54.8和36 g/100 g^[16],因此可以将牛乳中 α_{S1} -酪蛋白或羊乳中 β -酪蛋白等作为检测指标,分析羊乳中的牛源性成分。目前,基于蛋白质的掺假检测方法主要有电泳分析法、免疫学法、高效液相色谱法、质谱法和红外光谱法。

1.1 电泳分析法

电泳分析法是基于不同乳源特征蛋白质的分子量和等电点不同,导致其在电场的作用下发生迁移的速率不同,进而区分不同乳蛋白,最终可通过形成的电泳条带辨别乳品的种属。常用的电泳分析法主要有:聚丙烯酰胺凝胶电泳(polyacrylamide gel electrophoresis, PAGE)、等电点聚焦电泳(isoelectric focusing, IEF)和毛细管电泳(capillary electrophoresis, CE)。使用PAGE法鉴定羊乳中掺假牛乳时,通常以牛乳中的 α_{S1} -酪蛋白为检测蛋白,羊乳中掺入牛乳的比例越高, α_{S1} -酪蛋白的迁移速率越大^[17]。POONIA等^[18]通过尿素变异PAGE法分析乳中 α_{S1} -酪蛋白,检测出牛羊混合乳中5%以上的牛乳成分。IEF法是欧盟推荐使用的鉴定非牛乳制品中牛乳成分的方法^[19],该方法通过检测乳中 γ_2 -酪蛋白和 γ_3 -酪蛋白的等电点值,来区分不同乳种^[20]。SUHAJ等^[21]分别以牛羊乳中 γ_3 -酪蛋白、 γ_2 -酪蛋白为特征蛋白,通过IEF法分析羊乳中掺入牛乳的最低检测限分别为6.9%和5.4%。CE是一种无需载体的电泳法,能准确分离乳中酪蛋白和乳清蛋白^[22]。TRIMBOIL等^[23]建立了一种基于脱脂羊乳蛋白特异性CE峰的检测方法,通过线性回归模型分析可以快速地识别掺入羊乳中的高于5%的牛乳成分。石燕等^[24]以在牛羊乳中具有不同表型的 β -乳球蛋白、 α_{S1} -酪蛋白和 κ -酪蛋白为基础,利用CE法分离牛羊混合乳中各种乳酪蛋白,最低可检测到羊乳中2%牛乳成分。

1.2 免疫学检测法

免疫学检测法是一种通过放大特定抗体与乳清蛋

白或酪蛋白特异性结合时产生的信号来鉴别不同乳源的方法^[25]。酶联免疫吸附法(enzyme linked immune sorbent assay, ELISA)因其具有灵敏度高、易于操作、可自动化分析等优势在羊乳掺假检测技术中脱颖而出。使用 ELISA 法对鲜羊乳或冷冻羊乳进行掺假牛乳检测时,一般以不易在乳中发生水解的免疫球蛋白 G(IgG)为特异性抗体。HURLEY 等^[26-27]通过制备单克隆和多克隆抗牛 IgG 抗体,创新出竞争型 ELISA 法和夹心 IgG ELISA 法,2 种方法可快速、灵敏检测出羊乳中的牛乳掺假,最低检测限分别为 0.1%和 0.01%。赵芳等^[28]以牛乳中 IgG 为检测对象,开发了一种竞争型免疫层析法,在 10 min 内可以检测到羊乳中牛乳成分,最低检出限为 2%。但对于经高温处理的乳和乳制品来说,由于 IgG 受高温易变性,所以在进行羊乳中牛乳掺假检测时会以受热相对稳定的牛乳酪蛋白为抗原制备特异性抗体。张世伟等^[29]分别以牛 IgG 和牛 IgG 的 Fc 片段为抗原,制备抗牛 IgG 的多克隆和高特异性单克隆抗体,并将以此蛋白作为包被抗体构建双抗夹心 ELISA 方法,该方法能在 60 min 内检测到羊乳中 0.2%的掺伪牛乳。

1.3 高效液相色谱法

高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)以不同种属乳品中乳清蛋白的保留时间差异为基础,通过色谱分辨乳品种属或检测其是否掺假。雷颖颖等^[30]利用 HPLC 法分离出羊乳中的 5 类主要蛋白,创新出一种羊乳乳源指纹图谱与主成分分析法结合的方法评价羊乳品质。杜晔等^[31]利用 HPLC 法分离乳清蛋白中的 β -乳球蛋白,并对色谱峰面积分析,可检出 10%的牛乳成分。FERREIRA 等^[32]对 β -乳球蛋白进行了反相高效液相色谱分析,用于检测和定量牛、山羊和羊的混合乳,最终可在 5%~95%的浓度范围内定量不同乳种。

1.4 质谱法

质谱分析法的检测原理是根据不同乳品中所含多肽或蛋白质的不同进行种属鉴别。由于其对蛋白质质量测定和结构信息解析方面的优越性使得其在掺假羊乳检测中具有较好的适用性。CALVANO 等^[33]使用基质辅助激光解吸/电离飞行时间质谱(matrix-assisted laser desorption/ionization time of flight mass spectrometry, MALDI-TOF/MS)通过评估肽谱中的物种特异性标记来检测牛奶掺假, MALDI-TOF/MS 鉴定了牛奶的 7 个主要标记肽和羊奶的 2 个标记肽,可在掺假 5%牛乳的羊乳中检测到 4 个牛奶标记肽。NICOLAOU 等^[34]利用 MALDI-TOF/MS 用于检测和定量不同浓度的牛和山羊、绵羊的混合乳样,通过偏最小二乘法和最小二乘法分析 MALDI-TOF/MS 法测定牛羊乳混合掺假误差为 2%~13%。

液质联用(liquid chromatography-mass spectrometry, LC-MS)也应用于识别和定量一些牛奶组分和检测乳制品

的掺假。GUARINO 等^[35]利用液相色谱/电喷雾串联质谱分析山羊奶酪和牛奶酪蛋白提取物中的肽,建立了一种量化羊奶含量的方法。该方法可以检测羊奶酪中 50%的牛乳成分,也可检测奶酪中高于 2%的羊奶成分。KE 等^[36]通过检测 4 种酪蛋白和 2 种乳清蛋白的特征肽,建立了评估山羊或绵羊乳清和婴儿配方奶粉掺假成分的 UHPLC-MS/MS 方法,可以检测到掺假乳(乳粉)中 10%的牛源性成分。姜敏^[37]采用超高效液相色谱-四极杆/静电场轨道高分辨质谱技术建立牛羊乳掺假的筛查和定量方法,可以检测出牛羊混合乳中 1%以上的牛源性成分。

1.5 近红外光谱法

近红外光谱分析方法是一种可同时多组分快速、无损地分析样品的新兴技术,目前主要应用于食品、化工和制药领域。近红外光谱可以反映出被扫描样品混合物的组成和有机化合物的分子结构^[38]。近红外光谱技术在对样品进行定性定量分析时,须与化学计量学软件结合构建分析模型,是一种间接分析技术。褚莹^[39]利用近红外光谱技术结合主成分分析、神经网络和偏最小二乘法建立了区分掺假乳与纯羊乳的两类分析模型和六类掺假羊乳的定量判别模型。邹婷婷等^[40]用近红外光谱结合 v -支持向量模型对掺入牛乳清粉的羊乳粉进行分析,通过偏最小二乘法对比后得出该模型可检测出羊乳粉中 0.1~0.3 ng 的牛乳清粉。DOS SANTOS 等^[41]采用近红外光谱法和偏最小二乘法对添加牛乳的羊乳掺假进行了鉴定和定量,偏最小二乘判别分析(partial least-squares discrimination analysis, PLS-DA)法能够鉴别羊乳中 1%牛乳成分。

综上所述,基于乳中蛋白质差异所使用的电泳法、免疫分析法和色谱法等分析检测技术已成功应用于原料乳及乳制品的掺假鉴定。市售乳品为延长保存期大多都经过了高温高压的灭菌处理,部分乳制品还添加了各类食品添加剂,乳中多数蛋白质在加工处理过程中结构和稳定性会发生改变,不同乳品所特有的蛋白质或抗原决定部位也会随之改变,因此基于蛋白质的检测方法对于市售乳品的检测结果缺乏准确性。另外,对于像牛和水牛、山羊和绵羊等这类亲缘关系较近的物种,蛋白质检测法可能存在一定的局限性,无法准确检测。

2 以脂肪酸为目标分析物的羊乳及其制品掺假牛乳的检测技术

羊乳与牛乳的总脂肪含量相差不大,但不同种类脂肪酸的含量不同,其中长链脂肪酸 $C_{16:0}$ 和 $C_{18:0}$ 、不饱和脂肪酸 $C_{18:1}$ 和 $C_{18:3}$ 含量均低于牛乳,短链脂肪酸 $C_{6:0}$ 、 $C_{8:0}$ 、 $C_{10:0}$ 和 $C_{12:0}$ 含量显著高于牛乳^[42]。基于脂肪酸差异鉴定羊乳中牛乳掺假主要是通过气相色谱法检测乳中 C_{12}/C_{10} 比值来定量鉴定羊乳中的牛乳成分。通过气相色谱检测发现,

羊乳及羊乳酪的 C_{12}/C_{10} 的比值分别为 0.46 和 0.58, 牛乳的 C_{12}/C_{10} 的比值为 1.16, 且牛羊混合掺假乳中 C_{12}/C_{10} 比值随牛乳含量的增加而增加, 利用 C_{12}/C_{10} 比值可以检测到羊乳中 15% 以上的牛乳掺假^[14,43]。但对羊乳中牛乳掺假检测技术而言, 该方法的灵敏度显著低于基于蛋白质或核酸的检测技术, 也不适用于羊乳掺入脱脂牛乳的检测, 所以在羊乳掺假中得到广泛研究和应用。

3 以核酸为目标分析物的羊乳及乳制品掺假牛乳的检测技术

核酸具有丰富的遗传信息, 广泛存在动植物细胞和微生物体内, 其序列具有高度的保守性和特异性, 且耐热性和稳定性都高于蛋白质^[44], 在乳品掺假检测中具有明显优势。当乳品存在外源性掺假时, 该外源物质的种属特异性 DNA 也会随之引入。以核酸为基础的检测方法主要是通过检测不同物种特异性 DNA 的特定片段来实现对物种间外源性蛋白的间接检测, 具有高度的准确性和灵敏度, 常见的核酸检测方法有聚合酶链式反应(polymerase chain reaction, PCR)、定量 PCR(quantitative PCR, qPCR)和等温扩增技术等。

3.1 聚合酶链式反应

1985 年自 Mullis 发明 PCR 技术后 PCR 技术便逐渐发展壮大, 它的基本原理是以微量的 DNA 片段为模板, 在耐热性 DNA 聚合酶和特异性引物作用下, 通过碱基互补配对在短时内复制出大量的 DNA 拷贝, 完成目标 DNA 序列的体外核酸扩增^[45]。PCR 法因其特异强、灵敏度高、易于操作等特点受到科学界的认可。

乳汁中的体细胞是良好的物种基因组 DNA 来源^[46], 这成为使用 PCR 技术鉴别乳品掺假的必要前提条件。通过 PCR 技术利用牛或羊的特异性引物进行单重或双重 PCR 检测, 可以短时间内完成从乳中提取 DNA 的大量扩增, 再通过琼脂糖凝胶电泳观察结果对乳的种属进行鉴别^[47-48]。GOLINELLI 等^[49]设计出牛、羊在线粒体 12S rRNA 基因的特异性引物, 通过双重 PCR 能够检测出山羊奶酪配方中添加的 0.5% 牛乳成分。DENG 等^[50]基于山羊线粒体的 D-LOOP 基因和牛线粒体的 16S-RNA 基因设计了双重 PCR 反应特异性引物, 用于筛查羊奶中掺入的牛乳, 该方法可以检测原料混合乳中 0.1% 的牛乳, 巴氏杀菌和超高温杀菌混合乳中 0.2% 和 0.5% 的牛乳成分。

3.2 定量 PCR

普通的 PCR 技术只能获得定性结果, 到 20 世纪末, 随着生物荧光技术和分子生物学的发展, qPCR 应运而生。qPCR 技术的原理是通过向 PCR 反应体系中加入荧光染料或荧光探针, 在 PCR 反应过程中实时监测不断积累的荧光

信号, 最后结果与标准曲线对比从而进行未知模板的定量分析^[44]。与 PCR 技术相比, qPCR 无需对 PCR 产物进行琼脂糖凝胶电泳检测, 且可同时实现对目标物质的定性定量分析。常见的 qPCR 技术主要包括 TaqMan qPCR 技术和 SYBR Green qPCR 技术。前者在 PCR 体系中加入特异性荧光探针, 该探针两端分别具有报告荧光基团和淬灭荧光基团, 报告基团和淬灭基团随着 PCR 扩增发生分离生成荧光信号, 从而达到实时检测的效果^[51]。SYBR Green qPCR 是在 PCR 体系中加入荧光染料, 其在游离状态下发出的荧光强度很弱, 但当其与双链 DNA 结合后荧光信号随着目标 DNA 的扩增而增强, 实现对目标核酸的实时监测^[41]。

GUO 等^[52]以牛和羊的物种保守性和特异性荧光探针为引物, 开发并验证了一种三重 TaqMan qPCR 方法, 可在消除假阳性的同时检测到 0.005 ng 的羊 DNA 和 0.01 ng 的牛 DNA。GUO 等^[53]基于内源控制和物种特异性 TaqMan 荧光探针, 使用三重 TaqMan real-time PCR 法检测牛羊混合乳中牛、绵羊和山羊的 DNA, 其检出限分别为 0.00025、0.005 和 0.01 ng。宋宏新等^[54]选取牛和羊的特异性引物通过 SYBR Green qPCR 法, 最低可检测出新鲜羊奶中 2.5% 的牛乳成分。LIAO 等^[55]基于牛线粒体细胞色素 b 基因, 采用常规 PCR 法和 SYBR Green qPCR 法检测山羊乳中的牛乳掺假, 常规 PCR 的检出限为 0.1%, SYBR Green qPCR 的检出限为 0.5%。

3.3 等温扩增技术

核酸等温扩增技术是一类分子生物学技术的总称, 它能在某一特定的温度下扩增特定的 DNA 或 RNA 片段^[56]。与 PCR 技术相比, 核酸等温扩增对仪器的要求低、反应时间短, 更能满足快速便捷的检测需求。常见的等温扩增技术有环介导等温扩增(loop-mediated isothermal amplification, LAMP)、滚环扩增和快速等温检测放大技术等, 其中 LAMP 的应用最为广泛。

LAMP 技术是 2000 年日本研究员 Notomi 等发明的一种新型体外等温扩增特异性核酸片段的技术, 该技术主要利用 4 个特异性引物识别 6 个不同的靶 DNA 模板序列以及 2 个附加引物来加速 LAMP 反应, 因此它具有高度特异性, 能灵敏地实现不同物种的检测^[57]。澹台玮等^[58]设计牛和羊的特异性引物, 通过 LAMP 技术, 在牛羊乳混合样品中可检测到高于 1% 的牛乳掺假, 实现了掺假羊乳中牛乳成分的快速检测。张文娟等^[59]通过对牛引物的设计优化, 建立了基于高分辨熔解的双重 LAMP 法用于掺假羊乳中牛乳成分的检测。DEB 等^[60]建立了一种用于快速检测羊奶或羊肉样品中掺假奶牛 DNA 的 LAMP 方法, 可以在 100 min 内检测到在羊奶或羊肉样品中掺入的至少 5% 的牛乳成分。KIM 等^[61]使用双重 LAMP 结合直接扩增技术, 可以现场检测到 0.1 和 1 pg 牛和山羊的 DNA, 实现牛羊混合

乳中 2%以上的牛源性成分检测。

4 其他羊乳及其制品掺假牛乳的掺假检测方法

电子鼻技术是 20 世纪末发展起来的一种快速检测食品的新型仪器,它通过模拟哺乳动物嗅觉的形成过程,使用电化学传感器对复杂气味和挥发性化学物质产生感应并将其转化为电信号,用多元统计方法对得到的数据进行处理,实现对待测样品的分析、识别和评价^[62]。金螺等^[63]通过电子鼻系统检测掺入不同比例牛乳的牛羊混合乳中挥发性物质的响应值,采用主成分分析法和线性判别分析法均能有效区分羊乳中混入的不同比例牛乳,最低检测限为 5%。贾茹^[64]通过电子鼻对羊奶中的多组分混合掺假进行识别,根据不同传感器对同一个羊乳样品响应不同、不同类型乳样有不同响应图谱进行鉴别,得出电子鼻可以对混合掺假奶样进行准确预测的结论。

电子舌是在电子鼻之后的又一新兴检测技术,它是一种液体分析仪器,由传感器阵列、信号采集系统、模式识别系统 3 部分组成。其通过 36 个模拟人味觉的电子探头对样品进行辨别和分析,现已逐渐成为检测食品掺假、

真伪、药品残留的有效工具^[65]。DIAS 等^[66]通过电子舌结合线性判别分析法,建立了能够区分羊乳和牛乳的模型,实验结果显示该模型对未知乳样品的分类准确率分别为 87%和 70%。TAZI 等^[67]采用电子舌技术与主成分分析和线性判别分析相结合法,对牛羊乳进行检测,通过 2 种分析方法的交叉验证,该方法对牛乳和羊乳鉴定的正确分类率分别达到 95.7%和 87.1%。韩慧等^[68]采用电子舌结合主成分分析法,检测到混合乳样中 10%的牛乳成分,得出电子舌可以有效区分羊乳中不同浓度牛乳的结论。HAN 等^[69]采用电子舌检测系统对 6 种不同比例的掺假羊奶进行检测分析,利用核主成分分析方法可以有效识别不同掺假羊奶,准确率可达到 100%。电子舌技术已经在食品掺假鉴别领域得到了广泛应用,在对羊奶掺假检测的研究中,通常会与电子鼻结合使用。

5 羊乳及其乳制品掺假牛乳的检测方法比较

综上所述,现阶段以蛋白质、核酸和脂肪酸等检测物为基础的羊乳中牛源性成分掺假检测技术已经相对完善,但各类方法仍存在一定的优点和局限性。分析结果见表 1。

表 1 羊乳及其制品中掺假检测方法比较
Table 1 Comparison of detection methods for adulteration in goat milk and its products

	方法	检测特点	优点	缺点	最低检测限
以蛋白质为目标分析物	电泳分析法	基于乳中蛋白质分子量、等电点的不同在电场作用下区分不同蛋白	成本低、可操作性强、反应速度快	重现性差、结果不精确	2% ^[24]
	免疫学法	通过放大抗原和抗体特异性结合产生的信号进行检测	特异性强、灵敏度高、可制成快速检测产品	半定量检测、特异性抗体制备困难	0.01% ^[27]
	高效液相色谱法	利用样品中各组分的性质差异进行检测	分离度高,可以检测到微量元素	成本高、检测速度慢,色谱图谱分析复杂	5% ^[32]
	质谱法	基于不同乳品中所含多肽或蛋白质的不同进行种属鉴别	灵敏度高、特异性好	成本高、数据分析难度高	1% ^[37]
以脂肪酸为目标分析物	近红外光谱法	利用不同物质有不同的红外吸收光谱进行检测	可同时进行多个成分的定性定量,准确性高	成本高、需建立数据分析模型	1% ^[41]
	气相色谱法	基于不同脂肪酸在不同种属乳的含量不同进行分析	可以准确检测乳中不同脂肪酸含量	灵敏度低,成本高,操作复杂	15% ^[43]
以核酸为目标分析物	PCR	通过扩增目标 DNA 片段,采用电泳进行定性分析	特异性强、灵敏度高、反应速度较快	结果不能直接呈现,只能定性不能定量	0.1% ^[50]
	qPCR	通过检测 PCR 过程中荧光信号的积累,对核酸进行定性定量分析	特异性强、灵敏度高、反应速度较快,可以同时定性定量	染料法易受非特异性扩增和引物二聚体影响;探针法成本高,探针设计复杂	0.1% ^[55]
	LAMP	等温条件下快速高效的进行 DNA 扩增反应	扩增效率高、反应灵敏,操作简便,可用于户外检测	引物设计复杂,易出现假阳性	1% ^[58]
其他	电子鼻和电子舌	模拟哺乳动物嗅觉和味觉的形成过程,使用电化学传感器对待测样品进行检测	响应时间短、检测速度快,能灵敏检测到人们不能感知的气味	涉及专用仪器及分析设备、检测时间长、测试成本高	5% ^[63]

6 结束语

随着消费者食品安全意识的不断提高,面对乳品掺假屡禁不绝的现象,如何保证羊乳产品的质量与安全、维护羊乳产业的健康稳定发展依然是羊乳制品行业不可忽视的问题。我国现有的羊乳掺假检测技术丰富多样,但不同方法对羊乳制品中牛源性成分的灵敏度不同。由于市场中为了经济利益而故意掺假的比例一般都在10%以上^[70],所以以脂肪酸为目标分析物的气相色谱法不能较好地满足市场掺假检测需求。以大型仪器为基础的液相色谱法、质谱法、近红外光谱法等虽然可以满足市场掺假检测需求,但也存在成本高、操作难以及分析结果复杂等局限性,未能得到广泛使用。常规的电泳分析法和PCR法虽然准确度高,但无法满足短时间、大批量检测羊乳掺假的市场要求。因此,在羊乳及其制品中牛源性成分的掺假检测技术研究中,高灵敏度、高准确性、低成本、可操作性强、现场快速无损的检测技术将成为羊乳及其制品掺假检测的主要研究方向。本文所述的各种检测方法中,最具发展潜力的是基于蛋白质的酶联免疫检测技术和基于核酸的环介导等温扩增技术,这2种检测方法操作简单、省时省力,且剪异性强、剪敏度高,可以开发成快速检测试纸或试剂盒,应用于羊乳掺假现场检测或初筛检测。本文分析了羊乳及其制品中掺假牛乳的掺假检测技术研究现状,并对其未来的发展进行了合理预判,对进一步完善羊乳制品安全检测技术体系以及保障羊乳制品市场的良性发展具有参考和借鉴意义。

参考文献

- [1] 顾浩峰,张富新,梁蕾,等.山羊奶与牛奶和人奶营养成分的比较[J].食品工业科技,2012,33(8):369-373.
- [2] GU HF, ZHANG FX, LIANG L, *et al.* Comparison of nutritional components for goat milk, cow milk and human milk [J]. Technol Food Ind, 2012, 33(8): 369-373.
- [3] AHMEDA S, EL-BASSIONY T, ELMALT LM, *et al.* Identification of potent antioxidant bioactive peptides from goat milk proteins [J]. Food Res Int, 2015, 74: 80-88.
- [4] KAPILA R, KAVADI PK, KAPILA S. Comparative evaluation of allergic sensitization to milk proteins of cow, buffalo and goat [J]. Small Ruminant Res, 2013, 112(1-3): 191-198.
- [5] WANG Z, JIANG S, MA C, *et al.* Evaluation of the nutrition and function of cow and goat milk based on intestinal microbiota by metagenomic analysis [J]. Food Funct, 2018, 9(4): 2320-2327.
- [6] MEDEIROS GKVV, QUEIROGA RCRE, COSTA WKA, *et al.* Proteomic of goat milk whey and its bacteriostatic and antitumour potential [J]. Int J Biol Macromol, 2018, 113: 116-123.
- [7] 陈雪,张富新,贾润芳,等.山羊奶产品开发研究[J].农产品加工(学刊),2013,(17):46-48,51.
- [8] CHEN X, ZHANG FX, JIA RF, *et al.* The development situation of goat milk products [J]. Agric Prod Process, 2013, (17): 46-48, 51.
- [9] SLAČANAC V, BOŽANIĆ R, HARDI J, *et al.* Nutritional and therapeutic value of fermented caprine milk [J]. Int J Dairy Technol, 2010, 63(2): 171-189.
- [10] 党慧杰,刘振民,郑远荣.牛乳主要过敏原及其检测技术研究进展[J].食品安全质量检测学报,2020,11(3):765-770.
- [11] DANG HJ, LIU ZM, ZHENG YR. Research progress of main allergens in milk and their detection techniques [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(3): 765-770.
- [12] 何圣发,陈红兵,龙彩云,等.牛乳过敏原 β -乳球蛋白检测方法的研究进展[J].食品安全质量检测学报,2019,10(7):1763-1769.
- [13] HE SF, CHEN HB, LONG CY, *et al.* Research progress on the detection methods of cow's milk allergen β -lactoglobulin [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(7): 1763-1769.
- [14] MOHAPATRA A, SHINDE AK, SINGH R. Sheep milk: A pertinent functional food [J]. Small Ruminant Res, 2019, 181: 6-11.
- [15] 武立萌.人乳和牛乳、羊乳中蛋白质质量的对比研究[D].长春:吉林大学,2019.
- [16] WU LM. Comparative study on protein quality of human milk, cow milk and goat milk [D]. Changchun: Jilin University, 2019.
- [17] 郝淑苹,李静,李静芸,等.羊乳粉与牛乳粉引起乳糖不耐反应的比较[J].中国全科医学,2019,22(4):438-441,446.
- [18] HAO SP, LI J, LI JY, *et al.* Comparative analysis of lactose intolerance caused by drinking goat and cow milk powder solutions [J]. Chin Gen Pract, 2019, 22(4): 438-441, 446.
- [19] ERWANTO Y, ROHMAN A, ARSYANTI L, *et al.* Identification of pig DNA in food products using polymerase chain reaction (PCR) for halal authentication-A review [J]. Int Food Res J, 2018, 25(4): 1322-1331.
- [20] 张晓旭,葛武鹏,李宝宝,等.牛羊乳混掺检测鉴别技术研究进展[J].食品安全质量检测学报,2015,6(9):3594-3601.
- [21] ZHANG XX, GE WP, LI BB, *et al.* Research advance in detection and identification of the adulteration of goat milk with cow milk [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(9): 3594-3601.
- [22] 薛建龙.牛羊乳中蛋白质和脂肪的差异比较研究[D].西安:陕西科技大学,2015.
- [23] XUE JL. Comparative study on differences of fat and protein in goat and bovine milk [D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2015.
- [24] 刘翠,芦晶,张维,等.山羊乳蛋白质及其组学分析[J].中国食品学报,2019,19(5):295-301.
- [25] LIU C, LU J, ZHANG W, *et al.* Analysis of the protein and proteomics of goat milk [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2019, 19(5): 295-301.
- [26] 宋蓓,宋桂雪,宋薇.羊乳制品中牛乳源成分的鉴别检测技术[J].食品科学技术学报,2016,34(6):69-74.
- [27] SONG B, SONG GX, SONG W. Identification and detection techniques of cow milk derived components in goat milk and its products [J]. J Food Sci Technol, 2016, 34(6): 69-74.
- [28] POONIA A, JHA A, SHAMA R, *et al.* Detection of adulteration in milk: A review [J]. Int J Dairy Technol, 2017, 70(1): 23-42.
- [29] CZERWENKA C, MÜLLER L, LINDNER W. Detection of the adulteration of water buffalo milk and mozzarella with cow's milk by liquid chromatography-mass spectrometry analysis of β -lactoglobulin variants [J]. Food Chem, 2010, 122(3): 901-908.
- [30] SIENKIEWICZ T, DOGAN M, KROH LW. Investigation of proteins in ewe, goat and cow cheeses by gel isoelectric focusing [J]. Pol J Food Nutr

- Sci, 2006, 15: 203–207.
- [21] SUHAJ M, STANKOVSKA M, KOLEK E. Quantification of ovine and bovine caseins in Slovakian bryndza ewes' cheese by isoelectric focusing [J]. J Food Nutr Res Slov, 2010, 49(1): 45–52.
- [22] 方冰, 张昊, 任发政, 等. 毛细管区带电泳在牛乳蛋白掺假检测中的应用及方法优化[J]. 中国食品学报, 2019, 19(3): 289–298.
- FANG B, ZHANG H, REN FZ, *et al.* Optimization and application of capillary zone electrophoresis in bovine milk adulteration detection [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2019, 19(3): 289–298.
- [23] TRIMBOIL F, MORITTU VM, CICINOI C, *et al.* Rapid capillary electrophoresis approach for the quantification of ewe milk adulteration with cow milk [J]. J Chromatogr A, 2017, 1519: 131–136.
- [24] 石燕, 姜金斗, 刘宁. 利用毛细管电泳测定牛乳和山羊乳混合乳的蛋白质[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(11): 119–124.
- SHI Y, JIANG JD, LIU N. Milk protein determination of cow's and goat's milk mixtures by capillary [J]. J Northeast Agric Univ, 2010, 41(11): 119–124.
- [25] 程妮. 牛乳蛋白质的双向电泳分析及免疫检测技术研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2017.
- CHENG N. Two-dimensional electrophoresis analysis and immunoassay of bovine and goat milk proteins [D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2017.
- [26] HURLEY IP, COLEMAN RC, IRELAND HE, *et al.* Measurement of bovine IgG by indirect competitive ELISA as a means of detecting milk adulteration [J]. J Dairy Sci, 2004, 87(3): 543–549.
- [27] HURLEY IP, COLEMAN RC, IRELAND HE, *et al.* Use of sandwich IgG ELISA for the detection and quantification of adulteration of milk and soft cheese [J]. Int Dairy J, 2006, 16(7): 805–812.
- [28] 赵芳, 张欢. 羊乳中牛乳成分快速检测方法的建立[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(32): 11496–11497.
- ZHAO F, ZHANG H. Use of competitive immunochromatographic method for the detection of adulteration of goat's milk [J]. Anhui Agric Sci, 2014, 42(32): 11496–11497.
- [29] 张世伟, 王士峰, 赖心田, 等. 水牛乳和羊乳中掺伪牛乳高特异性酶联免疫检测方法[J]. 食品工业, 2015, 36(5): 191–194.
- ZHANG SW, WANG SF, LAI XT, *et al.* Detection of adulteration of bovine milk into buffalo and goat milk by high specific sandwich-antibody enzyme linked immunosorbent assay [J]. Food Ind, 2015, 36(5): 191–194.
- [30] 雷颖颖, 姚善泾. 羊奶粉中蛋白质 RP-HPLC 指纹图谱的建立和应用[J]. 高校化学工程学报, 2018, 32(1): 131–137.
- LEI YY, YAO SJ. Establishment and application of RP-HPLC fingerprint of proteins in goat milk powder [J]. J Chem Eng, 2018, 32(1): 131–137.
- [31] 杜晔, 方鸿滨, 韦吉春, 等. 用电泳和高效液相色谱法检测水牛乳中掺入的普通牛乳[J]. 西南民族大学学报: 自然科学版, 2009, 35(2): 261–263.
- DU X, FANG HB, WEI JC, *et al.* Detection of bovine milk in buffalo milk by electrophoresis and high performance liquid chromatography [J]. J Southwest Univ National: Nat Sci Ed, 2009, 35(2): 261–263.
- [32] FERREIRA IM, CAÇOTE H. Detection and quantification of bovine, ovine and caprine milk percentages in protected denomination of origin cheeses by reversed-phase high-performance liquid chromatography of beta-lactoglobulins [J]. J Chromatogr A, 2003, 1015(1–2): 111–118.
- [33] CALVANO CD, DE Ceglie C, MONOPOLI A, *et al.* Detection of sheep and goat milk adulterations by direct MALDI-TOF MS analysis of milk tryptic digests [J]. J Mass Spectrom, 2012, 47(9): 1141–1149.
- [34] NICOLAOU N, XU Y, GOODACRE R. MALDI-MS and multivariate analysis for the detection and quantification of different milk species [J]. Anal Bioanal Chem, 2011, 399(10): 3491–3502.
- [35] GUARINO C, FUSELLI F, LA MANTIA A, *et al.* Peptidomic approach, based on liquid chromatography/electrospray ionization tandem mass spectrometry, for detecting sheep's milk in goat's and cow's cheeses [J]. Rapid Commun Mass Sp, 2010, 24(6): 705–713.
- [36] KE X, ZHANG J, LAI S, *et al.* Quantitative analysis of cow whole milk and whey powder adulteration percentage in goat and sheep milk products by isotopic dilution-ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Anal Bioanal Chem, 2017, 409(1): 213–224.
- [37] 姜敏. 乳制品中主要蛋白的色谱及高分辨质谱检测方法研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2017.
- JIANG M. Study on the detection of main proteins by HPLC and UPLC-Q exactive in dairy products [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2017.
- [38] 黄宝莹, 余之蕴, 王文敏, 等. 近红外光谱技术在乳制品快速检测中的应用研究进展[J]. 中国酿造, 2020, 39(7): 16–19.
- HUANG BY, YU ZY, WANG WM, *et al.* Research progress of near-infrared spectroscopy application in rapid detection of dairy products [J]. China Brew, 2020, 39(7): 16–19.
- [39] 褚莹. 基于近红外光谱技术实现羊奶新鲜度检测及掺假检测的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- CHU Y. Study on discrimination of freshness of goat's milk and adulteration goat's milk by near-infrared spectroscopy technology [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2012.
- [40] 邹婷婷, 王莹, 宋焕禄. 牛乳清粉掺伪羊乳粉的近红外光谱法快速无损检测[J]. 中国食品学报, 2017, 17(8): 261–267.
- ZHOU TT, WANG Y, SONG HL. Near infrared spectroscopy combined with support vector regression applied for rapid and nondestructive detection of adulterate goat milk powder [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2017, 17(8): 261–267.
- [41] DOS SANTOS PEV, DE SOUSA FDD, DE ARAÚJO M, *et al.* Simultaneous determination of goat milk adulteration with cow milk and their fat and protein contents using NIR spectroscopy and PLS algorithms [J]. LWT, 2020: 127. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109427.
- [42] CLARK S, GARCIA MBM. A 100-year review: Advances in goat milk research [J]. J Dairy Sci, 2017, 100(12): 10026–10044.
- [43] IVERSON JL, SHEPPARD AJ. Detection of adulteration in cow, goat, and sheep cheeses utilizing gas-liquid chromatographic fatty acid data [J]. J Dairy Sci, 1989, 72(7): 1707–1712.
- [44] 廖晶. DNA 在牛奶加工贮藏过程中变化规律研究及其在掺假鉴别中的应用[D]. 西安: 陕西师范大学, 2018.
- LIAO J. Study on the variation of DNA in milk processing and storage and its application in adulteration identification [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2018.
- [45] 王磊. 肉及肉制品中鸭源成分荧光定量PCR检测方法的建立[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2019.
- WANG L. Establishment of fluorescent quantitative PCR detection method for duck-derived components in meat and meat products [D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2019.
- [46] LIAO J, LIU YF, YANG L, *et al.* Development of a rapid mitochondrial

- DNA extraction method for species identification in milk and milk products [J]. *J Dairy Sci*, 2017, 100(9): 7035–7040.
- [47] 刘永峰, 库婷, 高俊岭, 等. 超低温冻藏牛奶中牛基因组 DNA 的提取方法[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2015, 43(6): 94–99.
- LIU YF, KU T, GAO JL, *et al.* Study on cattle genomic DNA extraction from milk preserved at ultra-low temperature [J]. *J Shaanxi Norm Univ (Nat Sci Ed)*, 2015, 43(6): 94–99.
- [48] 王天添, 刘悦, 赵远, 等. 鉴定动物奶源的多重 RCR 方法建立及应用[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(11): 74–81.
- WANG TT, LIU Y, ZHAO Y, *et al.* Establishment and application of multiplex PCR method for the identification of animal milk sources [J]. *J China Agric Univ*, 2020, 25(11): 74–81.
- [49] GOLINELLI LP, CARVALLHO AC, CASAES RS, *et al.* Sensory analysis and species-specific PCR detect bovine milk adulteration of frescal (fresh) goat cheese [J]. *J Dairy Sci*, 2014, 97(11): 6693–6699.
- [50] DENG L, LI A, GAO Y, *et al.* Detection of the bovine milk adulterated in camel, horse, and goat milk using duplex PCR [J]. *Food Anal Method*, 2020, 13(2): 560–567.
- [51] KALOGIANNI DP. DNA-based analytical methods for milk authentication [J]. *Eur Food Res Technol*, 2018, 244(5): 775–793.
- [52] GUO L, YA M, HAI X, *et al.* A simultaneous triplex Taq Man real-time PCR approach for authentication of caprine and bovine meat, milk and cheese [J]. *Int Dairy J*, 2019, 95: 58–64.
- [53] GUO L, YU Y, XU WL, *et al.* Simultaneous detection of ovine and caprine DNA in meat and dairy products using triplex TaqMan real-time PCR [J]. *Food Sci Nutr*, 2020, 8(12): 6467–6476.
- [54] 宋宏新, 刘建兰, 徐丹, 等. 羊乳制品中牛乳成分的荧光定量 PCR 检测方法研究[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(7): 283–287.
- SONG HX, LIU JL, XU D, *et al.* Identification of bovine milk components in goat dairy products using real-time PCR [J]. *Food Ferment Ind*, 2018, 44(7): 283–287.
- [55] LIAO J, LIU YF, KU T, *et al.* Qualitative and quantitative adulteration identification of milk powder using the DNA with novel extraction method [J]. *J Dairy Sci*, 2017, 100(3): 1657–1663.
- [56] RAN G, REN L, HAN X, *et al.* Development of a rapid method for the visible detection of pork DNA in halal products by loop-mediated isothermal amplification [J]. *Food Anal Method*, 2016, 9(3): 565–570.
- [57] WANG Y, WANG Y, LAN R, *et al.* Multiple endonuclease restriction real-time loop-mediated isothermal amplification: A novel analytically rapid, sensitive, multiplex loop-mediated isothermal amplification detection technique [J]. *J Molecul Diagnos*, 2015, 17(4): 392–401.
- [58] 澹台玮, 徐秦峰, 马西亚, 等. 羊乳中牛乳成分的直接实时环介导等温扩增检测[J]. 中国乳品工业, 2020, 48(1): 38–41, 46.
- ZHAN TW, XU QF, MA XY, *et al.* Direct real-time loop mediated isothermal amplification method for determination of cow milk components in goat's milk [J]. *Chin Dairy Ind*, 2020, 48(1): 38–41, 46.
- [59] 张文娟, 澹台玮, 李敏康, 等. 羊乳中牛乳成分的 LAMP 高分辨熔解检测研究[J/OL]. 食品与发酵工业:1-7. [2020-12-01]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.024338>.
- ZHANG WJ, ZHAN TW, LI MK, *et al.* Determination of cow milk components in goat milk by LAMP-HRM [J/OL]. *Food Ferment Ind*: 1-7. [2020-12-01]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.024338>.
- [60] DEB R, SENGAR GS, SINGH U, *et al.* LAMP assay for rapid diagnosis of cow DNA in goat milk and meat samples [J]. *Iran J Vet Res*, 2017, 18(2): 134.
- [61] KIM MJ, KIM HY. Direct duplex real-time loop mediated isothermal amplification assay for the simultaneous detection of cow and goat species origin of milk and yogurt products for field use [J]. *Food Chem*, 2018, 246: 26–31.
- [62] LIU T, ZHANG W, YE L, *et al.* A novel multi-odour identification by electronic nose using non-parametric modelling-based feature extraction and time-series classification [J]. *Sensor Actuat B-Chem*, 2019, 298: 126690.
- [63] 金螺, 白丽娟, 彭小雨, 等. 采用电子鼻检测羊奶中的牛奶掺入[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(4): 165.
- JIN L, BAI LJ, PENG XY, *et al.* Discrimination of cow milk in goat milk by electronic nose [J]. *Food Ferment Ind*, 2015, 41(4): 165.
- [64] 贾茹. 电子鼻对羊奶中的蛋白质掺假及多组分混合掺假的识别研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- JIA R. Study on identification of protein adulterations and a variety of mixed adulteration of goat milk by electronic nose [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2017.
- [65] JIANG H, ZHANG M, BHANDARI B, *et al.* Application of electronic tongue for fresh foods quality evaluation: A review [J]. *Food Rev Int*, 2018, 34(8): 746–769.
- [66] DIAS LA, PERES AM, VELOSO ACA, *et al.* An electronic tongue taste evaluation: Identification of goat milk adulteration with bovine milk [J]. *Sensor Actuat B-Chem*, 2009, 136(1): 209–217.
- [67] TAZI I, CHOIRIYAH A, SISWANTA D, *et al.* Detection of taste change of bovine and goat milk in room ambient using electronic tongue [J]. *Indone J Chem*, 2017, 17(3): 422–430.
- [68] 韩慧, 王志强, 李彩虹, 等. 基于电子舌的掺假羊奶快速定量预测模型[J]. 食品与机械, 2018, 34(12): 53–56.
- HAN H, WANG ZQ, LI CH, *et al.* Rapid quantitative prediction model of adulterated goat milk based on electronic tongue [J]. *Food Mach*, 2018, 34(12): 53–56.
- [69] HAN H, WANG Z, LI C, *et al.* Purity detection of goat milk based on electronic tongue and improved artificial fish swarm optimized extreme learning machine [J]. *IFAC-PapersOnLine*, 2019, 52(30): 391–396.
- [70] LI TT, JALBANI YM, ZHANG GL, *et al.* Detection of goat meat adulteration by real-time PCR based on a reference primer [J]. *Food Chem*, 2019, 277: 554–557.

(责任编辑: 张晓寒)

作者简介



付尚辰, 硕士, 主要研究方向为乳品质量与安全。

E-mail: fushangchen@yeah.net



刘永峰, 教授, 主要研究方向为畜产品科学与营养。

E-mail: yongfeng200@126.com