

基于液相色谱-串联质谱技术的羊牛乳特征肽段鉴别及测定

陈树娣, 谢景千, 蒋明峰, 黎永乐*

(深圳市计量质量检测研究院, 深圳 518131)

摘要: **目的** 建立液相色谱-串联质谱法(liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS)鉴别羊牛乳及定量检测羊乳中牛乳的方法。**方法** 样品经胰蛋白酶水解后,采用纳升液相色谱-串联飞行时间质谱仪(nano liquid chromatography-tandem time-of-flight mass spectrometer, nano LC-TOF-MS)检测,经ProteinPilot™软件、UniProt数据库和blast分析,筛选出特征肽段。然后基于高效液相色谱-串联质谱法(high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS),应用牛乳、羊乳的特征肽段对样品进行鉴别和定量测定。**结果** 本方法在羊乳中牛乳含量为5%~50%范围内,线性关系良好,相关性系数大于0.99,检出限为1.5%,定量限为5.0%,在5%、20%和40%添加水平的回收率为85.2%~114.0%,相对标准偏差小于10%(n=6)。**结论** 该方法快速、准确,适合应用于羊乳中牛乳的鉴别及定量分析。

关键词: 高效液相色谱-串联质谱法; 特征肽段; 羊乳; 牛乳; 鉴别

Identification and detection of goat and bovine milk peptide marker based on liquid chromatography-tandem mass spectrometry

CHEN Shu-Di, XIE Jing-Qian, JIANG Ming-Feng, LI Yong-Le*

(Shenzhen Academy of Metrology & Quality Inspection, Shenzhen 518131, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the identification and detection of goat and bovine milk peptide marker and quantitation of bovine milk in goat milk based on liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS). **Methods** Samples were determined by nano liquid chromatography-tandem time-of-flight mass spectrometer (nano LC-TOF-MS) after tryptic digestion. Peptide markers were screened by data analysis with ProteinPilot™ software and UniProt protein database, and searched with blast. The samples were identified and quantified based on high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (HPLC-MS/MS) with peptide markers. **Results** The proposed method had good linear dependence for bovine milk in goat milk from 5% to 50% with correlation coefficient $r^2 > 0.99$, the limit of detection (LOD) was 1.5% and the limit of quantitation (LOQ) was 5.0%. The recoveries were ranged from 85.2% to 114.0% at 5%, 20% and 40% spiked levels, and the relative standard deviations (RSDs) were less than 10% (n=6). **Conclusion** The proposed method is fast and accurate, which is suitable for the identification and quantitative detection of bovine milk in goat milk.

基金项目: 广东省市场监督管理局科技项目(2018CZ46)

Fund: Supported by the Guangdong Provincial Market Regulation Administration Technology Project (2018CZ46)

*通信作者: 黎永乐, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: 58745259@qq.com

*Corresponding author: LI Yong-Le, Master, Senior Engineer, Shenzhen Academy of Metrology and Quality Institute, Shenzhen 518131, China. E-mail: 58745259@qq.com

KEY WORDS: liquid chromatography-tandem mass spectrometry; peptide marker; goat milk; bovine milk; identification

0 引言

乳中含有丰富的蛋白质、脂肪、矿物质、维生素等, 是哺乳动物出生后赖以生存与发育的营养最完善的食物。研究表明, 乳与骨骼健康、心血管疾病、代谢综合征、炎症反应、特殊老年性疾病、孕产妇及婴幼儿的健康等均具有相关性^[1]。牛乳及羊乳是两种重要的乳源, 牛乳营养全面、产量大, 占全世界乳类生产和消费的 85%以上^[2-3]。与牛乳相比, 羊乳脂肪球较小, 干物质含量较高, 酪蛋白和清蛋白比例更接近人体, 在消化吸收、抗氧化、降低胆固醇、修复及改善肠道功能、低致敏性等多个方面都具有优势^[4-5]。由于羊的泌乳期短, 产奶量低, 不能集中饲养, 羊奶资源珍贵稀缺, 供不应求, 价格昂贵^[6]。现阶段我国羊乳制品主要以婴幼儿配方羊乳粉为主^[7]。2015 年曾出现羊奶粉掺牛乳清粉侵犯消费者知情权的“潜规则”乱象^[8]。针对此乱象, 2016 年国家食品药品监督管理总局发布的《婴幼儿配方乳粉产品配方注册管理办法》明确规定: 应在产品配料表中标明乳制品原料的动物性来源; 若使用两种以上动物性来源时, 应当标明所占比例。因此, 有必要对羊乳、牛乳的鉴定及定量检测进行研究。

目前, 羊乳、牛乳鉴别及定量检测的方法主要是根据羊乳和牛乳化学组成差异, 以蛋白质与氨基酸、脂肪与脂肪酸、DNA、维生素、指纹图谱、气味、小分子代谢产物等为特征指标所建立^[9-11]。其中, 以特征肽段为特征指标的检测方法简单、灵敏、准确、可靠, 已逐渐成为物种制品鉴别的主要方法^[12-15]。利用液相色谱-串联质谱技术, 房芳等^[16]确定了驴、猪、牛、马皮源特征肽段, 既可鉴别阿胶掺入的新阿胶及黄明胶, 也可鉴别阿胶驴皮原料中混杂的马皮; 李碧芳等^[17]鉴别出鹅肉的特征肽段, 并建立了肉制品中鹅肉的定量检测方法; 张淑霞等^[18]测出核桃露和杏仁露中大豆、花生成分。但是基于特征肽段的液相色谱-串联质谱技术测定羊乳中牛乳成分的研究鲜有报道。

基于此, 本研究采用纳升液相色谱-串联飞行时间质谱仪(nano liquid chromatography-tandem time-of-flight mass spectrometer, nano LC-TOF-MS)和高效液相色谱-串联质谱法(high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS), 筛选出羊乳和牛乳的特征肽段, 建立鉴别羊牛乳及定量检测羊乳中牛乳的方法, 为羊乳制品的市场监督提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

乙腈、甲酸(色谱纯, 美国 Thermo Fisher Scientific 公

司); 碳酸氢铵、碘代乙酰胺、二硫苏糖醇(纯度 $\geq 99\%$)、猪胰蛋白酶(13000~20000 BAEE units/mg, 美国 Sigma-Aldrich 公司); 实验用水为超纯水。

羊乳粉、牛乳粉均为市售预包装产品。

TripleTOF® 5600 纳升液相色谱-串联飞行时间质谱仪(美国 AB Sciex 公司); TSQ Quantis™ 高效液相色谱-串联质谱联用仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司); BF260 型电热恒温培养箱(德国 BINDER 公司); 5424R 型冷冻离心机(德国 Eppendorf 公司); QUINTIX224-1CN 型万分位天平(德国赛多利斯公司); Milli-Q 型纯水机(美国 Merck 公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 样品前处理

称取 1.0 g 乳粉于 50 mL 塑料离心管, 加入纯水定容至 25 mL, 涡旋混匀 60 s, 得到复原乳。准确移取复原乳 200 μ L 于 1.5 mL LoBind 塑料离心管中, 加入 150 μ L 碳酸氢铵溶液(100 mmol/L)、10 μ L 二硫苏糖醇溶液(500 mmol/L), 混匀后置 57 $^{\circ}$ C 反应 60 min; 冷却至室温, 加入 30 μ L 碘代乙酰胺溶液(500 mmol/L), 暗处静置 30 min; 再加入 50 μ L 猪胰蛋白酶溶液(400 μ g/mL), 充分混匀后, 置于 37 $^{\circ}$ C 酶解 4 h。用 10 μ L 甲酸混匀终止反应, 加入 500 μ L 乙腈溶液, 涡旋混匀, 12000 r/min 离心 5 min, 取上清液过膜, 供测试。

1.2.2 nano LC-TOF-MS 条件

(1)液相色谱条件

色谱柱为 Kinetex C₁₈ (50 mm \times 2.1 mm, 2.6 μ m, 美国 Phenomenex 公司), 流动相 A: 0.1% (V/V) 甲酸-水溶液, 流动相 B: 0.1% 甲酸-乙腈溶液(V/V)。液相梯度洗脱程序: 0~0.5 min, 98% A; 0.5~4 min, 98%~74% A; 4~5.5 min, 74%~50% A; 5.5~5.7 min, 50%~20% A; 5.7~7.5 min, 20% A; 7.5~7.7 min, 20%~98% A。流速: 0.35 mL/min; 进样体积: 5 μ L; 柱温: 40 $^{\circ}$ C。

(2)质谱条件

纳升喷雾电离源, 气帘气: 30 psi; 碰撞气: Medium; 离子喷雾电压: 5500 V; 源温度: 550 $^{\circ}$ C; 雾化气: 55 psi, 辅助气: 55 psi; 扫描方式: 信息依赖的采集工作模式。

1.2.3 HPLC-MS/MS 条件

(1)液相色谱条件

色谱柱: Hypersil Gold C₁₈ (100 mm \times 2.1 mm, 1.9 μ m, 美国 Thermo Fisher Scientific 公司), 流动相 A: 0.1% 甲酸-水溶液(V/V), 流动相 B: 乙腈。液相梯度洗脱程序: 0~1 min, 90% A; 1~2 min, 90%~74% A; 2~3 min, 74%~50% A; 3~5 min, 50%~5% A; 5~6 min, 5% A; 6~7.5 min, 5%~90% A; 7.5~10 min, 90% A。流速: 0.3 mL/min; 进样体积: 2 μ L; 柱

温: 40 °C。

(2) 质谱条件

电喷雾离子源; 正离子扫描模式; 喷雾电压: 3500 V; 鞘气: 40 Arb; 辅助气: 5 Arb; 离子传输管温度: 300 °C; 去溶剂温度: 300 °C; 碰撞气: 1.5 m Torr。

2 结果与分析

2.1 特征性肽段选择

特征肽段是蛋白质酶解后产生的能与其他蛋白质进行区分的特有肽段序列, 其筛选原则如下^[19-20]: 以 8~25 个氨基酸长度的肽为优先选择; 重现性高, 不易发生过切或漏切; 稳定性强, 不含不稳定存在的肽段; 具有响应较强的碎片离子。

本研究采用 nano LC-TOF-MS 对酶解后的样品进行扫描, 得到一级和二级图谱; 利用 UniProt 蛋白数据库寻找到牛乳和羊乳 α -乳白蛋白及 β -乳球蛋白的氨基酸序列。将氨基酸序列和仪器分析数据结果一同导入 ProteinPilot™ 软件, 并根据前处理过程的具体情况建立数据处理方法。ProteinPilot™ 软件对样品中的所有肽分子按照既定的反应条件和已知蛋白质序列进行归属, 获得羊牛乳样品的潜在特征肽段。将潜在特征肽段在美国国家生物技术信息中心 (National Center for Biotechnology Information, NCBI) 网站上进行 blast 分析, 排除非特异性肽段, 保留特征肽段, 进一步验证其特异性。经过蛋白数据鉴定筛选及 blast 分析, 羊牛乳的特征肽段信息见表 1。

2.2 肽段特异性检验

根据筛选出的羊牛乳特征肽段, 利用 Xcalibur 软件在 HPLC-MS/MS 平台上建立多反应监测 (multi-reactions monitoring, MRM) 模式, 构建离子对, 优化透镜电压、碰撞电压等质谱参数, 提高特征肽段的响应强度。研究发现, 牛乳 α -乳白蛋白的特征肽段“DDQNPHSSNICISCDK”响

应较弱, 因此不选择此特征肽段用于后续的定性及定量检测。优化后的 MRM 质谱采集参数见表 2。羊牛乳特征肽段的 MRM 提取离子流图见图 1。羊乳样品中, 羊乳特征肽段 GM1 (goat milk peptide marker 1) 和 GM2 (goat milk peptide marker 2) 出峰明显, 且峰面积分别为牛乳特征肽段 BM (bovine milk peptide marker) 的 4700 倍和 6800 倍。牛乳样品中, BM 出峰明显, 且峰面积分别为 GM1 的 6400 倍和 GM2 的 3200 倍。结果表明, 羊乳、牛乳的特征肽段具有特异性。

2.3 方法验证

2.3.1 线性关系和定量限

将牛乳粉分别按照质量分数为 5%、10%、20%、30%、40%、50% 的比例混合在羊乳粉中, 制作标准曲线。本方法在 5%~50% 范围内, 线性关系良好, 线性方程为 $Y=48297.6X+11342.9$, 相关系数为 0.9997, 以 3 倍和 10 倍信噪比确定羊乳中牛乳的最低掺入检出限为 1.5%, 定量限为 5.0%。该结果与文献^[9]中色谱-质谱法相结合技术报道的水平相当。

2.3.2 回收率和精密度

在羊乳粉中分别添加质量分数为 5%、20% 和 40% 的牛乳粉, 采用标准曲线法平行测定 6 次, 并计算加标回收率。加标实验结果见表 3, 平均回收率为 85.2%~114.0%, 精密度小于 10%。说明该方法稳定、准确、可靠, 能够定量测定羊乳中的掺入的牛乳成分。

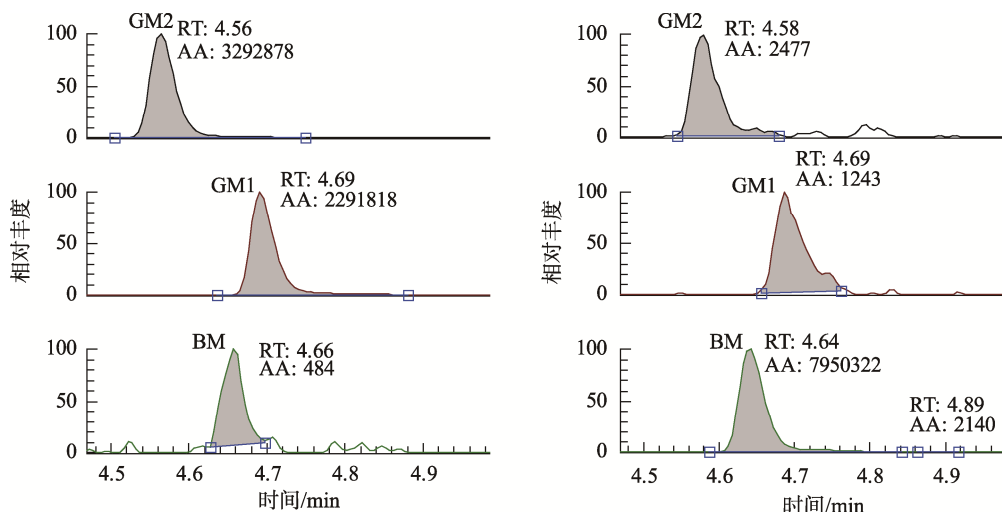
表 1 羊牛乳的特征肽段
Table 1 Peptide markers in goat and bovine milk

物种	蛋白质名称	肽段序列
羊	α -乳白蛋白	FLDDDLTDDIVCAK
	β -乳球蛋白	LAFNPTQLEGQCHV
牛	α -乳白蛋白	DDQNPHSSNICISCDK
	β -乳球蛋白	LSFNPTQLEEQCHI

表 2 MRM 质谱采集参数
Table 2 MRM mass spectrometric acquisition parameters

编号	肽段序列	保留时间/min	母离子(m/z)	子离子(m/z)	透镜电压/V	碰撞电压/V
GM1	FLDDDLTDDIVCAK	4.69	820.5	921.4	299	26.52
				1379.5	299	27.58
GM2	LAFNPTQLEGQCHV	4.56	807.5	600.2	299	27.96
				842.4	299	27.58
BM	LSFNPTQLEEQCHI	4.66	858.6	928.4	299	29.68
				1254.5	299	30.06

注: GM: goat milk peptide marker (羊乳特征肽段); BM: bovine milk peptide marker (牛乳特征肽段)。



注: RT: 保留时间; AA: 峰面积; GM: 羊乳特征肽段; BM: 牛乳特征肽段。

图 1 羊乳(A)和牛乳(B)特征肽段的 MRM 提取离子流图

Fig.1 MRM chromatograms of goat milk (A) and bovine milk (B)

表 3 牛乳特征肽段的平均回收率和精密度(n=6)
Table 3 Recoveries and precisions of peptide markers of bovine milk (n=6)

物种	肽段序列	加标量 /%	回收率 /%	精密度 /%
牛	LSFNPTQLEEQCHI	5	85.2	9.56
		20	105	8.47
		40	114	9.02

2.4 方法应用

运用建立的方法对 25 份市面上随机抽取的预包装羊乳粉进行了检测。25 份羊乳粉检测结果均与标签明示配料表相符。其中, 17 份羊乳粉中只检测到羊乳的特征肽段; 8 份羊乳粉同时检出羊乳及牛乳的特征肽段, 检测结果见表 4。同时采用胶体金免疫层析法^[21]进行对比验证, 2 种方法的检测结果一致, 表明了 LC-MS/MS 检测方法可应用于实际样品的检测中, 结果准确可靠。

表 4 8 份市售羊乳粉的检测结果
Table 4 Detection results of 8 market goat milk powder samples

样品	配料表中的含乳成分	牛乳清粉含量/%
较大婴儿配方羊奶粉	高油牛乳清粉、全脂羊乳粉	64.4
较大婴儿配方羊乳粉	生羊乳、脱盐乳清粉(牛)、浓缩乳清蛋白粉(牛)	57.8
幼儿配方羊奶粉	脱盐乳清粉(牛)、全脂羊奶粉、浓缩乳清蛋白粉(牛)	69.2
幼儿配方羊奶粉	脱盐牛乳清粉、全脂羊奶粉、浓缩牛乳清蛋白粉	65.3
幼儿配方羊乳粉	生羊乳、脱盐乳清粉(牛)、浓缩乳清蛋白粉(牛)	54.1
羊奶粉	全脂羊乳粉、脱盐乳清粉、乳清蛋白粉	41.9
羊奶粉	全脂羊乳粉、脱盐乳清粉、乳清蛋白粉	43.5
羊奶粉	全脂羊乳粉、脱盐乳清粉、脱脂乳粉	39.8

3 结论

本研究采用 nano LC-TOF-MS 和 HPLC-MS/MS 相结合, 共筛选出牛乳的 1 个 α -乳白蛋白特征肽段, 羊乳的 1

个 α -乳白蛋白特征肽段和 1 个 β -乳球蛋白特征肽段, 并建立羊乳中牛乳含量的检测方法。结果表明, 该方法筛选的特征肽段稳定且特异性好, 不易产生其他物种的干扰或假阳性现象。羊乳中掺入牛乳的定量限为 5%, 已成功应用于

市售样品的实际检测,为羊乳制品的市场监督提供了技术支持。与现有的牛羊乳混掺检测鉴别方法相比,LC-MS/MS检测技术不受羊乳制品的工艺影响,适用范围广,并可精确定量。但是本研究的样本量较少,种类及来源比较单一,在后续的工作中会加大样本量,覆盖市售羊乳制品类型,同时引入同位素内标以抵消基质效应,并利用合成的羊乳及牛乳的特征肽段进行验证,进一步提高方法的准确性和定量性。

参考文献

- [1] 任发政. 乳的营养与健康[J]. 中国食品学报, 2020, 20(7): 1-9.
REN FZ. Advances in milk nutrition and human health [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2020, 20(7): 1-9.
- [2] 杨博睿, 张富新, 邵玉宇, 等. 牛乳、羊乳和人乳中的蛋白质组成及消化特性研究[J]. 中国乳品工业, 2020, 48(8): 4-9.
YANG BR, ZHANG FX, SHAO YY, *et al.* Study on the composition and digestive properties of protein in cow milk, goat milk and breast milk [J]. Chin Dairy Ind, 2020, 48(8): 4-9.
- [3] 李文斐, 张磊, 宋宇轩, 等. 绵羊、山羊和牛乳的营养成分比较分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(24): 286-291.
LI WF, ZHANG L, SONG YX, *et al.* Comparative analysis of nutrients in sheep, goat and cow milk [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(24): 286-291.
- [4] 高婧昕, 毛学英. 羊乳组成及功能特性研究进展[J]. 中国乳业, 2019, (8): 160-164.
GAO JX, MAO XY. Research progress on components and functional property of goat milk [J]. China Dairy, 2019, (8): 160-164.
- [5] 陈天鹏, 刘翠, 冷友斌, 等. 羊乳营养成分及功能特性的研究进展[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(3): 71-76.
CHEN TP, LIU C, LENG YB, *et al.* Research progress on nutritional components and functional property of goat milk [J]. Food Nutr China, 2016, 22(3): 71-76.
- [6] 徐颖, 汪璇, 刘小丹, 等. 羊奶的优势与发展前景[J]. 新农业, 2010, (12): 62.
XU Y, WANG X, LIU XD, *et al.* Advantages and development prospects of goat milk [J]. Mod Agric, 2010, (12): 62.
- [7] 高颖智, 王力纬. 羊乳产业的前世、今生和未来[J]. 中国乳业, 2020, (2): 42-46.
GAO YZ, WANG LW. The past, present and future of goat milk industry [J]. China Dairy, 2020, (2): 42-46.
- [8] 佚名. 羊奶粉有猫腻被曝掺入牛乳清粉[J]. 中国食品, 2015, (24): 138.
ANON. Report on the mixing of goat milk powder and bovine milk powder [J]. China Food, 2015, (24): 138.
- [9] 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.
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.
- [10] 张昊阳, 严林, 党高平, 等. 羊乳制品掺假检测技术研究进展[J]. 中国乳业, 2019, (8): 132-136.
ZHANG HY, YAN L, DANG GP, *et al.* Research progress on adulteration detection technology of goat milk products [J]. China Dairy, 2019, (8): 132-136.
- [11] 房艳, 于思雨, 高俊海, 等. 超高效液相色谱-四级杆-飞行时间质谱法与代谢组学技术分析牛乳与羊乳差异性[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(7): 2075-2083.
FANG Y, YU SY, GAO JH, *et al.* Analysis of differences in cow milk and goat milk by ultra performance liquid chromatography-quadrupole-time of flight mass spectrometry and metabolomics approach [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(7): 2075-2083.
- [12] 吴培涵, 王雨晴, 皇甫洁, 等. 锡盟蒙古族传统发酵马乳中功能性特征肽段的研究[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(5): 46-51.
WU PH, WANG YQ, HUANGFU J, *et al.* Study on functional characteristic peptides of traditional fermented horse milk in Xilinguole League Mongolian [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(5): 46-51.
- [13] 刘宇文, 邹耀华, 侯娜. 特征肽技术用于龟甲(浙龟甲)中掺巴西龟的检查研究[J]. 中国现代应用药学, 2019, 36(22): 2810-2813.
LIU YW, ZOU YH, HOU N. Detection of Brazilian tortoise in tortoise shell (zhejia tortoise shell) by characteristic peptide technique [J]. Chin J Mod Appl Pharm, 2019, 36(22): 2810-2813.
- [14] 程显隆, 陈佳, 李明华, 等. 特征肽段检测技术用于胶类药材专属性鉴别方法研究[J]. 中国药学杂志, 2015, 50(2): 104-108.
CHENG XL, CHEN J, LI MH, *et al.* Identification study of glue medicines [J]. Chin Pharm J, 2015, 50(2): 104-108.
- [15] 许岩, 任皓威, 周广运, 等. 液相色谱质谱联用技术在植物蛋白及多肽研究中的应用[J]. 食品工业科技, 2017, 38(17): 310-318.
XU Y, REN HW, ZHOU GY, *et al.* Application of liquid chromatography-mass spectrometry in research of plant proteins and peptides [J]. Sci Technol Food Ind, 2017, 38(17): 310-318.
- [16] 房芳, 张九凯, 马雪婷, 等. 基于特征肽段的阿胶中异源性物种鉴别[J]. 食品科学, 2019, 40(16): 267-273.
FANG F, ZHANG JK, MA XT, *et al.* Identification of heterologous species in donkey-hide gelatin based on specific peptides [J]. Food Sci, 2019, 40(16): 267-273.
- [17] 李碧芳, 王韦达, 刘奕雄, 等. 超高效液相色谱-飞行时间质谱法鉴定鹅源性成分特征肽及其应用研究[J]. 分析科学学报, 2019, 35(5): 629-634.
LI BF, WANG WD, LIU YX, *et al.* Application and identification of goose-derived specific peptides by ultra-high performance liquid chromatography-time of flight mass spectrometry [J]. J Anal Sci, 2019, 35(5): 629-634.
- [18] 张淑霞, 田亚, 邢荣花, 等. 基于特征肽段的液相色谱质谱联用技术对

核桃、杏仁露进行掺假鉴别[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(21): 215-222.
ZHANG SX, TIAN Y, XING RH, *et al.* Identification the adulteration of walnut and almond drink based on marker peptides with liquid chromatography mass spectrometry [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(21): 215-222.

- [19] 古淑青, 詹丽娜, 赵超敏, 等. 基于液相色谱-串联质谱法的肉类特征肽段鉴别及掺假测定[J]. 色谱, 2018, 36(12): 1269-1278.

GU SQ, ZHAN LN, ZHAO CM, *et al.* Identification of meat marker peptides and detection of adulteration by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chin J Chromatogr, 2018, 36(12): 1269-1278.

- [20] 阳洪波, 王伟达, 李意, 等. 基于特征肽段的液相色谱-质谱技术鉴定胶原蛋白的物种来源[J]. 分析测试学报, 2018, 37(11): 1279-1286.

YANG HB, WANG WD, LI Y, *et al.* Identification of species origin of collagen based on liquid chromatography-mass spectrometry with peptide markers [J]. J Instrum Anal, 2018, 37(11): 1279-1286.

- [21] 王士峰, 姚添淇, 冯荣虎, 等. 胶体金免疫层析法快速检测配方羊奶粉中的牛 β -乳球蛋白[J]. 食品工业科技, 2018, 39(15): 60-64.

WANG SF, YAO TQ, FENG RH, *et al.* Colloidal gold immunochromatographic assay for rapid detection of bovine β -lactoglobulin in goat milk formulas [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(15): 60-64.

(责任编辑: 郑丽 张晓寒)

作者简介



陈树娣, 工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: 164793222@qq.com



黎永乐, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: 58745259@qq.com