

# 基质匹配外标法优化国家标准 检测鸡蛋酰胺醇类残留

张倩勉<sup>1</sup>, 黄燕红<sup>2\*</sup>, 黄海霞<sup>2</sup>

(1. 南宁学院食品与质量工程学院, 广西南宁 530200;

2. 广西—东盟食品检验检测中心, 广西南宁 530028)

**摘要:**针对酰胺醇类药物在鸡蛋中的残留检测问题, 研究开发了一种基于基质配制曲线的外标法, 以克服 GB 31658.20 标准中内标法成本高、线性不佳的缺点。采用乙酸乙酯与氨水的混合溶液作为提取剂, 对样品进行处理, 结合混合强阳离子交换固相萃取技术进行净化。并运用超高效液相色谱-串联质谱(UHPLC-MS/MS)进行检测。实验结果显示, 该方法在鸡蛋基质中对氯霉素、氟苯尼考、甲砒霉素和氟苯尼考胺这4种化合物均表现出良好的线性关系( $r>0.99$ )。该方法的检测限和定量限分别低至0.024~0.096  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和0.080~0.32  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 均低于当前的国家标准。通过加标回收实验进一步验证, 平均回收率为78.25%~96.70%, 相对标准偏差在2.0%~8.7%之间。该方法适用于鸡蛋中酰胺醇类药物及其代谢物的筛查和定量分析, 为食品安全检测提供了一种准确、可靠且经济的解决方案。

**关键词:** 基质效应; 酰胺醇类药物; 外标法; UHPLC-MS/MS

中图分类号: TS207.3

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2025)05-0262-05

DOI: 10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2025.05.044

## Matrix-matched external standard method for optimization of China's national standard for detection of amphenicol residues in eggs

ZHANG Qian-mian<sup>1</sup>, HUANG Yan-hong<sup>2\*</sup>, HUANG Hai-xia<sup>2</sup>

(1. College of Food and Quality Engineering, Nanning University, Nanning 530200, China;

2. Guangxi ASEAN Food Inspection and Testing Center, Nanning 530028, China)

**Abstract:** To address the challenges from detecting amphenicol drugs residues in eggs, a novel external standard method based on matrix-matched calibration curves is developed to avoid the high cost and poor linearity associated with the internal standard method specified in China's GB 31658.20 standard. In this study, a mixture of ethyl acetate and ammonia water is used as the extraction solvent to process the samples that are further purified through combining with mixed strong cation exchange solid-phase extraction technology. Detection is performed by using ultrahigh performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UHPLC-MS/MS). Experimental results demonstrate that this method exhibits excellent linear relationships ( $r>0.99$ ) for chloramphenicol, florfenicol, thiamphenicol, and florfenicol amine in egg matrices. Furthermore, the detection limits and quantification limits of this method are as low as 0.024–0.096  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  and 0.080–0.32  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectively, both below China's current national standards. It is further verified through spiked recovery experiments that the average recovery rate is 78.25%–96.70%, and the relative standard deviation ranges from 2.0% to 8.7%. This method is suitable for screening and quantitatively analyzing amphenicol drugs and their metabolites remained in eggs, providing an accurate, reliable, and cost-effective solution for food safety testing.

**Key words:** matrix effect; amphenicol drugs; external standard method; UHPLC-MS/MS

鸡蛋作为营养丰富的食品, 被推荐为各年龄段人群每日膳食的一部分。然而, 近年来, 在国家对食品的抽检过程中, 多次检测到鸡蛋样本中存在酰胺醇类药物的残留问题, 具体包括氯霉素、甲砒霉素以及氟苯尼考等<sup>[1-5]</sup>。这些药物属于广谱抗生素类别, 因具有广泛的抗菌作用, 在畜禽养殖业中常被用作预防和治疗细菌感染的手段<sup>[6]</sup>。氯霉素和甲砒霉素因会抑制人体造血机能, 对人体健康构成威胁

而已被多国列为禁用药<sup>[7]</sup>。氟苯尼考虽然抗菌活性与安全性相对优于氯霉素, 但超标使用同样可能造成人体造血机能损害<sup>[8]</sup>。我国标准 GB 31650.1—2022 对以上药物在鸡蛋中的最大残留量做了明确的规定, 并规定了氟苯尼考以氟苯尼考与其代谢标志物氟苯尼考胺之和计。

现阶段, 针对酰胺醇类药物的检测, 主要采用的方法包括高效液相色谱法<sup>[9-11]</sup>、气相色谱法<sup>[12]</sup>、高

收稿日期: 2024-08-13; 修回日期: 2025-03-11

基金项目: 南宁学院科研基金项目(2024KY191)

作者简介: 张倩勉(1981-), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向为食品质量与安全标准化, zqmhp@163.com; 黄燕红(1988-), 女, 本科, 副主任技师, 研究方向为食品检验与质量标准, 通讯联系人, 340518006@qq.com。

效液相色谱-串联质谱法<sup>[13-20]</sup>。由于鸡蛋基质复杂,而且适用于鸡蛋基质的标准较少,故目前同时检测酰胺醇类药物及其代谢物的研究相对较少。国标 GB 31658.20—2022 使用 2% 氯化乙酸乙酯溶液对样品进行提取并用正己烷进行脱脂处理后,通过液相色谱-串联质谱法(LC-MS/MS)利用内标法进行定量,实现了多种药物的同时测定。内标法虽然准确度高,但高纯度的内标物质(如氯霉素-D3、甲砒霉素-D3、氟苯尼考-D3、氟苯尼考胺-D3等)通常价格较高,会增加检测成本。此外,在该国标中,甲砒霉素-D3 的定量离子对为 357.2>293.0,氟苯尼考-D3 的定量离子对为 359.2>339.0,因自然界中氯同位素分布的影响,导致外标甲砒霉素和氟苯尼考的碎片离子中也包含这 2 个离子对,会导致内标峰面积的增加,因此甲砒霉素-D3 和氟苯尼考-D3 使用标准中的定量离子对会导致标准曲线的线性较差,影响定量准确性。

本研究采用乙酸乙酯-氨水(体积比 98:2)混合溶液进行样品提取,结合混合强阳离子交换固相萃取(MCX)技术进行净化处理,运用超高效液相色谱串联质谱技术进行检测,并利用基质匹配曲线外标法进行定量。此方法有效解决了基质干扰问题,并降低了内标法定量带来的高昂成本,实现了同步检测鸡蛋中酰胺醇类药物及其代谢物残留量。该研究可为相关监管部门的日常抽检工作提供科学、高效的技术参考。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 仪器与试剂

AB SCIEX TPIPLE QUAD 4500 高效液相色谱-三重四级杆串联质谱仪[配备电喷雾离子源(electrospray ionization, ESI),美国 AB SCIEX 公司];XS205DU 电子天平(瑞士梅特勒-托利多公司);Multi Reax 全自动震荡仪(德国 Heidolph 公司);Multifuge X3R 高速冷冻离心机(美国 Thermo 公司);Milli-Q 超纯水器(法国 Millipore 公司);Multivap 氮吹仪(美国 Organomation 公司)。

乙酸乙酯、乙腈、正己烷(色谱纯,德国马克公司);乙酸(色谱纯,科密欧公司);氨水(分析纯,光华科技公司);MCX 固相萃取柱(3 cc,60 mg, Waters 公司)。

标准物质:氯霉素、甲砒霉素(纯度大于 99%,德国 Dr. Ehrenstorfer GmbH);氟苯尼考、氟苯尼考胺(纯度大于 99%,中国 Bepure 公司)。

样品:国家监督抽验及风险监测样品,共 24 批。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 样品前处理

(1)样品的提取:精确称取 2 g(精确至 0.01 g)经过充分捣碎并均匀的样品,置于 50 mL 的聚丙烯离心管中。向离心管内加入 10 mL 的乙酸乙酯-氨水(体积比为 98:2)溶液,并使用涡旋振荡器振荡 5 min,以确保样品与溶液充分混合。将离心管置于 4℃ 环境下,以 10 000 r/min 的转速离心 5 min。离心后,取上清液转移至另一个 50 mL 的离心管中。对残渣进行重复提取一次,并将 2 次提取得到的液体合并。向合并后的提取液中加入 4 mL 的 5% 乙酸溶液并充分混匀。将混合液在 45℃ 的条件下进行氮吹,直至体积减少至 3 mL。之后,向其中加入 5 mL 的正己烷,再次使用涡旋振荡器振荡 1 min。最后,以 4 500 r/min 的转速离心 5 min,弃去上层液体,保留下层提取液备用。

(2)样品的净化:依次使用 2 mL 的甲醇和 2 mL 的水对 MCX 固相萃取柱进行活化处理。取备用液上柱,并用 2 mL 的 5% 乙酸溶液进行淋洗,淋洗液随后弃去。用 5 mL 的甲醇-氨水溶液(体积比 90:10)进行洗脱,并收集洗脱得到的液体。将收集到的洗脱液在 45℃ 的条件下进行氮吹,直至完全干燥。用 1 mL 的初始流动相溶液对干燥后的残留物进行复溶。使用 0.22 μm 的微孔滤膜对复溶后的溶液进行过滤,取续滤液进行上机测定。

#### 1.2.2 基质加标的标准曲线配制

##### (1)空白基质的制备

取鸡蛋空白样品(阴性样品)每份 2.00 g,按 1.2.1 制备得到空白基质溶液。

##### (2)混合标准使用液的配制

准确称取 4 种标准物质,每种各 10 mg(精确至 0.1 mg),分别置于 4 个 10 mL 的容量瓶中。使用乙腈对这些标准物质进行稀释,并定容至每个容量瓶的刻度线,从而配制成浓度为 1 mg/mL 的标准储备液。分别从每个标准储备液中精密吸取 1 mL 置于同一个 100 mL 的容量瓶中。用乙腈进行稀释并定容至该容量瓶的刻度线,得到浓度为 10 μg/mL 的混合标准中间液。精密量取混合标准中间液 0.10 mL 和 1 mL,分别置于 2 个 10 mL 的容量瓶中,用乙腈进行稀释并定容至每个容量瓶的刻度线。分别得到浓度为 100 ng/mL 和 1 μg/mL 的混合标准使用液。

##### (3)标准曲线的配制

用空白基质溶液把混合标准使用液稀释成浓度

为 0.2、1、5、10、20、50、100 ng/mL 的基质匹配标准曲线。

### 1.2.3 液相色谱-串联质谱条件

#### (1) 液相色谱条件

本实验采用 Poroshell 120 SB-AQ 色谱柱,规格为 4.6 mm×100 mm,粒度为 2.7 μm。柱温设定为 35℃。流动相由 A 和 B 2 部分组成,其中 A 为 0.1% 的甲酸水溶液, B 为乙腈。流速控制在 0.3 mL/min。进样量设定为 5 μL。梯度洗脱程序如下:在 0~1 min 内, B 相的比例保持在 10%; 1~6 min 内, B 相的比例从 10% 线性增加至 90%; 6~8 min 内, B 相的比例保持在 90%; 8~9 min 内, B 相

的比例从 90% 线性降低至 10%; 最后, 在 9~11 min 内, B 相的比例保持在 10%。

#### (2) 质谱条件

本实验采用电喷雾电离 (ESI) 源, 并设置为负离子模式进行扫描。在多反应监测 (MRM) 模式下, 各项参数设置如下: 气帘气压力为 35 psi, 喷雾气压力为 55 psi, 辅助加热气压力同样为 55 psi。碰撞气设置为 Medium 档位。离子源温度维持在 550℃。对于正离子, 离子化电压设定为 5 500 V, 入口电压为 10 V; 而对于负离子, 离子化电压则设定为 -4 500 V, 入口电压为 -10 V。其他质谱参数详见表 1。

表 1 4 种化合物的质谱参数

名称	保留时间/min	母离子( <i>m/z</i> )	子离子( <i>m/z</i> )	锥孔电压/V	碰撞能量/eV	采集模式
氯霉素 (Chloramphenicol)	7.77	321.1	152.1*/257.0/194.1	50	23, 16, 16	-
氟苯尼考 (Florfenicol)	7.82	355.8	336.0*/184.9	91	17, 24	-
甲砒霉素 (Thiamphenicol)	7.19	353.8	184.9*/289.9	75	28, 18	-
氟苯尼考胺 (Florfenicol Amine)	4.47	247.7	230.0*/130.0	52	18, 34	+

注: \* 为定量离子。

### 1.2.4 数据处理

采用 AB SCIEX 的 Multi Quant 3.0.2 和 Excel 2020 软件进行数据处理与分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 基质效应和线性结果

基质效应 (matrix effects, ME) 普遍存在于质谱分析中, 表现为离子抑制效应或增强效应, 从而影响检测结果的准确性。实验室采用空白基质配制标样响应值 (*A*) 与同质量浓度溶剂标样响应值 (*B*) 的比值进行评价基质效应, 计算公式为  $ME = A/B \times 100$ <sup>[16]</sup>, 当 *ME* 介于 0.9~1.1 时, 基质干扰程度较低; 当 *ME* < 0.9 或 > 1.1 时, 为基质抑制或增强<sup>[21]</sup>。结果见表 2。结果显示, 甲砒霉素、氟苯尼考胺表现出较强的基质抑制, 氯霉素表现为基质增强, 说明方法存在较大的基质效应, 影响检测结果, 为了确保检测结果的准确性, 故本实验采用空白基质匹配标准曲线, 按照 1.2 方法测定曲线各点, 实验结果以定量离子峰面积 (*Y*) 作为纵坐标, 以质量浓度 (*X*) 作为横坐标, 绘制了标准曲线, 并对所得数据进行了回归方程拟合 (详细数据见表 2)。为了确保标准曲线的准确性和可靠性, 本实验采用了空白基质进行配制。实验结果显示, 在 0.2~100 μg/L 的质量浓度范围内, 这 4 种化合物均展现出了良好的线性关系, 相关系数 *r* 均超过了 0.99。

表 2 基质效应及线性结果

化合物	线性范围/ (μg·L <sup>-1</sup> )	线性回归方程	相关系数 ( <i>r</i> )	基质 效应
氯霉素	0.2~100	$Y = 24090.05351X + 1277.75760$	0.9976	1.29
氟苯尼考	0.2~100	$Y = 18707.48746X + 1798.23742$	0.9994	1.02
甲砒霉素	0.2~100	$Y = 5547.15737X + 1293.16283$	0.9943	0.60
氟苯尼考胺	0.2~100	$Y = 10094.11287X + 5243.46572$	0.9941	0.21

### 2.2 检出限和定量限结果

称取鸡蛋空白样品 2.00 g, 加入一定量的混合标准溶液, 按照 1.2.1 节所述的前处理方法对样品进行处理, 并使用相关仪器进行了测定。数据处理阶段, 分别采用 3 倍信噪比和 10 倍信噪比的计算方法, 确定检出限和定量限, 结果见表 3。

表 3 4 种化合物检出限及定量限结果 μg/kg

化合物	检出限	定量限
氯霉素	0.024	0.080
氟苯尼考	0.027	0.088
甲砒霉素	0.029	0.098
氟苯尼考胺	0.096	0.320

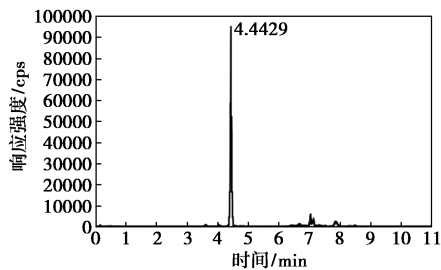
实验结果显示,方法检出限为 0.024~0.096  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,定量限为 0.080~0.32  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,均低于现行标准 GB 31658.2—2021 和 GB 31658.5—2021 的检出限和定量限。

### 2.3 回收率和精密度结果

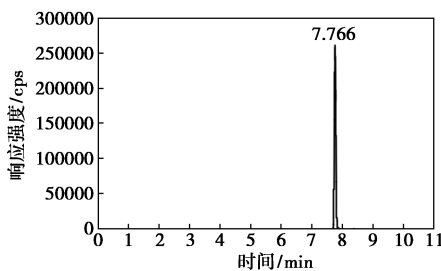
为了评估检测方法的准确性和可靠性,本实验在鸡蛋空白样品中分别添加了 1、5、20  $\mu\text{g}/\text{kg}$  3 个浓度水平的 4 种目标化合物进行加标回收实验。每个添加水平进行 6 次平行测定。表 4 列出了回收率及相对标准偏差的结果,图 1 展示了浓度为 5  $\mu\text{g}/\text{kg}$  时,4 种目标化合物的 MRM 离子色谱图。

表 4 4 种化合物的加标回收率和相对标准偏差 ( $n=6$ )

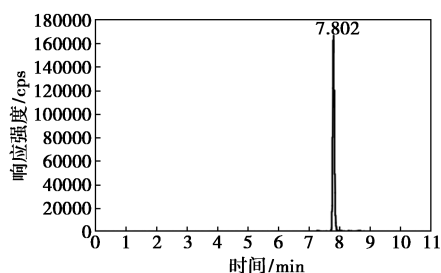
化合物	1 $\mu\text{g}/\text{kg}$		5 $\mu\text{g}/\text{kg}$		20 $\mu\text{g}/\text{kg}$	
	回收率/%	相对标准偏差/%	回收率/%	相对标准偏差/%	回收率/%	相对标准偏差/%
氯霉素	95.44	4.6	91.59	2.5	88.33	7.3
氟苯尼考	85.15	8.7	96.70	5.3	84.26	5.6
甲砒霉素	78.25	2.7	87.37	2.0	92.84	8.2
氟苯尼考胺	78.34	5.7	84.47	2.3	82.39	3.6



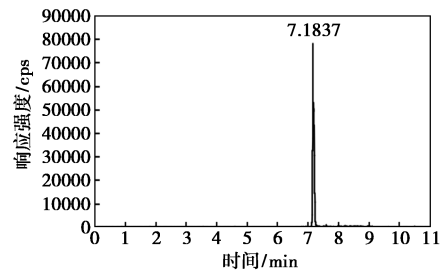
(a) 氟苯尼考胺



(b) 氯霉素



(c) 氟苯尼考



(d) 甲砒霉素

图 1 浓度为 5  $\mu\text{g}/\text{kg}$  时 4 种化合物的 MRM 色谱图

实验结果表明,这 4 种化合物的平均回收率介于 78.25%~96.70% 之间,相对标准偏差则控制在 2.0%~8.7% 的范围内,均满足了 GB/T 27404—2008《实验室质量控制规范 食品理化检测》中对于检测方法确认的技术要求。

### 2.4 样品检测结果

采用本方法对 24 批鸡蛋样品进行以上 4 种药物残留量测定,结果为 2 批样品为阳性样,其中 1 批检出氯霉素 (0.32  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ),另一批样品检出氟苯尼考 (25.8  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) 及氟苯尼考胺 (8.9  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )。通过国标方法对阳性样品进行验证,检验结果与本法相对偏差为 3.4%~7.9%,说明方法准确可靠。

### 2.5 讨论

本研究通过采用基质匹配外标法,显著降低了基质效应对鸡蛋中酰胺醇类药物残留检测结果的影响,确保了检测结果的准确性和可靠性。然而,在实际应用中,不同批次鸡蛋的基质成分可能存在显著差异,这种差异主要来源于鸡蛋的来源、饲养条件、饲料配方以及鸡的品种等多种因素。基质成分的微小变化可能会直接影响样品的提取和净化效率,进而对最终的检测结果产生偏差。

因此,可以通过对不同来源、不同饲养条件下的鸡蛋基质进行系统的评估和分析,建立全面的基质库,来深入了解和掌握基质成分的变异性和其对检测结果的具体影响。同时,针对不同基质类型的鸡蛋,针对性地优化提取和净化条件,以确保检测方法的稳定性和可靠性。此外,在实际检测过程中,还需要定期验证基质匹配标准曲线的适用性,一旦发现基质差异较大的样品,应及时重新配制基质匹配标准曲线,以确保检测结果的准确性。

### 3 结论及展望

本研究针对鸡蛋中酰胺醇类药物及其代谢物残留的检测,成功开发并验证了一种基于基质配制曲

线的外标法,主要结论如下。

(1)实验结果显示,该方法对氯霉素、氟苯尼考、甲砒霉素和氟苯尼考胺 4 种化合物的检测表现出较好的线性关系,相关系数  $r$  均大于 0.99,表明方法具有高准确性。在加标回收实验中,4 种化合物的平均回收率为 78.25%~96.70%,相对标准偏差为 2.0%~8.7%,符合国家标准对检测方法的技术要求,验证了方法的稳定性和可靠性。

(2)相较于传统内标法,本研究采用基质匹配外标法避免了高纯度内标物质的使用,显著降低了检测成本。

(3)该方法在鸡蛋基质中的检出限为 0.024~0.096  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,定量限为 0.080~0.320  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,均低于现行国家标准,进一步证明了其高灵敏度。

随着食品安全问题的日益突出,快速、准确、经济的检测方法成为研究热点。本研究为酰胺醇类药物残留检测提供了一种新的思路和技术手段,但仍需进一步优化和完善。未来研究可以关注以下几个方面:一是扩展该方法的应用范围,如检测其他类型食品中的药物残留;二是深入研究基质效应的机制,提出更有效的基质消除策略;三是开发便携式检测设备,提高现场检测能力。此外,随着新技术的不断涌现,如人工智能和大数据分析等,未来可以将这些方法与技术相结合,进一步提升检测效率和准确性。

### 参考文献

- [1] 国家市场监督管理总局.市场监管总局关于 11 批次食品抽检不合格情况的通告(2021 年第 50 号)[EB/OL].[2021-12-24].[https://gkml.samr.gov.cn/nsjg/specs/202112/t20211224\\_338435.html](https://gkml.samr.gov.cn/nsjg/specs/202112/t20211224_338435.html).
- [2] 国家市场监督管理总局.市场监管总局关于 13 批次食品抽检不合格情况的通告(2021 年第 47 号)[EB/OL].[2021-12-03].[https://gkml.samr.gov.cn/nsjg/specs/202112/t20211203\\_337768.html](https://gkml.samr.gov.cn/nsjg/specs/202112/t20211203_337768.html).
- [3] 国家市场监督管理总局.市场监管总局关于 12 批次食品抽检不合格情况的通告(2021 年第 46 号)[EB/OL].[2021-11-26].[https://gkml.samr.gov.cn/nsjg/specs/202111/t20211126\\_337403.html](https://gkml.samr.gov.cn/nsjg/specs/202111/t20211126_337403.html).
- [4] 国家市场监督管理总局.市场监管总局关于 13 批次食品抽检不合格情况的通告(2021 年第 44 号)[EB/OL].[2021-11-12].[https://gkml.samr.gov.cn/nsjg/specs/202111/t20211112\\_336697.html](https://gkml.samr.gov.cn/nsjg/specs/202111/t20211112_336697.html).
- [5] 国家市场监督管理总局.市场监管总局关于 9 批次食品抽检不合格情况的通告(2021 年第 36 号)[EB/OL].[2021-09-10].[https://gkml.samr.gov.cn/nsjg/specs/202109/t20210910\\_334609.html](https://gkml.samr.gov.cn/nsjg/specs/202109/t20210910_334609.html).
- [6] 陈涛,倪建秀,陈桂芳,等.超高效液相色谱-串联质谱检测鸡蛋、鸡肉和猪肉中酰胺醇类药物残留[J].畜牧与兽医,2020,52(6):66-75.
- [7] 王波,赵霞,谢恺舟,等.鸽蛋中氯霉素甲砒霉素氟苯尼考及其代谢物氟苯尼考胺同时检测的超高效液相色谱-串联质谱法的建立[J].中国兽医科学,2019,49(3):393-402.
- [8] 崔悦,刘墨一,曹冬,等.液相色谱-串联质谱法检测蜂蜜中氟苯尼考及其代谢物残留量[J].食品安全质量检测学报,2021,12(7):2695-2700.
- [9] 罗昭军,陈幸,单乃荣,等.高效液相色谱法检测鸡蛋中氯霉素类药物残留[J].中国畜牧兽医文摘,2018,34(3):72-74.
- [10] 刁志祥,王波,张培杨,等.加速溶剂萃取/超高效液相色谱-荧光法检测鸽蛋和鹌鹑蛋中氟苯尼考和氟苯尼考胺残留[J].福建农业学报,2019,34(11):1315-1322.
- [11] Wang G, Wang B, Zhao X, *et al.* Determination of thiamphenicol, florfenicol and florfenicol amine residues in poultry meat and pork via ASE-UPLC-FLD[J].J Food Compos Anal,2019,81:19-27.
- [12] 杨秋红,艾晓辉,李荣,等.固相萃取-气相色谱法同时检测水产品中的氯霉素、甲砒霉素、氟苯尼考和氟苯尼考胺[J].分析试验室,2015,34(5):533-537.
- [13] Wang C, Li X, Yu F, *et al.* Multi-class analysis of veterinary drugs in eggs using dispersive-solid phase extraction and ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Chem,2020,334:127598.
- [14] Xu X, Whao W H, Ji B C, *et al.* Application of silanized melamine sponges in matrix purification for rapid multi-residue analysis of veterinary drugs in eggs by UPLC-MS/MS[J].Food Chem,2022,369:130894.
- [15] Xu X, Xu X Y, Han M, *et al.* Development of a modified QuEChERS method based on magnetic multiwalled carbon nanotubes for the simultaneous determination of veterinary drugs, pesticides and mycotoxins in eggs by UPLC-MS/MS [J]. Food Chem,2019,276:419-426.
- [16] 雷美康,候建波,彭芳,等.固相萃取-高效液相色谱-串联质谱法同时测定蜂蜡中氯霉素、甲砒氯霉素、氟苯尼考和其代谢产物氟苯尼考胺残留[J].食品工业科技,2021,42(17):241-246.
- [17] 吴彦蕾.超高效液相色谱-串联质谱法快速筛查水产品中氯霉素类药物残留[J].食品与发酵科技,2020,56(4):98-104.
- [18] Hou X, Xu X, Xu X Y, *et al.* Application of a multiclass screening method for veterinary drugs and pesticides using HPLC-QTOF-MS in egg samples[J].Food Chem,2020,309:125746.
- [19] Faulkner D V, Cantley M L, Kennedy D G, *et al.* MRM<sup>3</sup>-based UH-PLC-MS/MS method for quantitation of total florfenicol residue content in milk and withdrawal study profile of milk from treated cows[J].Food Chem,2022,379:132070.
- [20] Shizuka S S, Kouji S, Jumpei N, *et al.* Determination of total florfenicol residues as florfenicol amine in bovine tissues and eel by liquid chromatography-tandem mass spectrometry using external calibration[J].J Chromatogr B,2019,1109:37-44.
- [21] 莫迎,盘正华,蒋湘,等.多壁碳纳米管 QuEChERS 结合超高效液相色谱-串联质谱法测定鸡蛋中兽药多残留[J].食品安全质量检测学报,2019,10(16):5443-5452. ■