

超高效液相色谱-串联质谱法快速测定动物源性食品中的地塞米松残留量

陈少莉, 吴学贵, 王一晨*, 王芳姑, 黄肖凤, 李小梅

(海南威尔检测技术有限公司, 澄迈 571924)

摘要: 目的 建立超高效液相色谱-串联质谱法快速测定动物源性食品中地塞米松残留量的分析方法。

方法 组织样品经碱水解, 乙酸乙酯提取, 旋近干, 正己烷除脂, 20%乙腈水定容, 以 0.05%甲酸水-乙腈作为流动相, Poroshell 120 EC-C₁₈(50 mm×2.1 mm, 2.7 μm)进行色谱分离, 超高效液相色谱-串联质谱多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式测定, 内标法定量。**结果** 猪肝、牛肉、鸡蛋、牛奶等4种基质中地塞米松在 1~20 ng/mL 范围内线性良好, 相关系数 $r^2=0.9999$, 最低定量限为 0.2~1 μg/kg, 平均回收率为 83.2%~108.2%, RSD 为 2.5%~6.5%。**结论** 该方法简便, 快捷, 回收率好, 精密度高, 灵敏度高, 适用于快速测定动物源性食品中地塞米松的残留量。

关键词: 地塞米松; 超高效液相色谱-串联质谱法; 内标法; 动物源性食品

Rapid determination of dexamethasone residue in animal-origin foods by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

CHEN Shao-Li, WU Xue-Gui, WANG Yi-Chen*, WANG Fang-Gu, HUANG Xiao-Feng, LI Xiao-Mei

(Hainan Willtest Technology Co., Ltd., Chengmai 571924, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the determination of dexamethasone residues in animal-origin foods by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS). **Methods** The sample was hydrolyzed by alkali and extracted by ethyl acetate, the extraction liquid was spin dry, and purified by *N*-hexane, followed by 20% acetonitrile water constant volume. The mobile phase was 0.05% formic acid water-acetonitrile. Poroshell 120 EC-C₁₈(50 mm×2.1 mm, 2.7 μm) was used for chromatography separation. Then it was determined by HPLC-MS with multiple reaction monitoring mode. Inner standard method was used for quantitative analysis. **Results** The dexamethasone in 4 matrices such as the pig liver, beef, egg and milk had good linear relationships in the range of 1–20 ng/mL, with correlation coefficient (r^2) was 0.9999. The limits of detection (LODs) were 0.2–1 μg/kg. The recoveries were 83.2%–108.2%, with the relative standard deviations (RSD) of 2.5%–6.5%. **Conclusion** This method is simple, rapid, good recovery, good repeatability and high sensitivity, which is suitable for rapid determination of dexamethasone residues in animal-origin foods.

KEY WORDS: dexamethasone; ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry; internal standard method; animal-origin foods

*通讯作者: 王一晨, 工程师, 主要研究方向为食用农产品检测。E-mail: 455589269@qq.com

*Corresponding author: WANG Yi-Chen, Engineer, Hainan Willtest Technology Co., Ltd., Laocheng Hi-tech Industry Demonstration Zone, Chengmai 571924, China. E-mail: 455589269@qq.com

1 引言

地塞米松(dexamethasone)于1957年首次合成,并列名于世界卫生组织基本药物标准清单之中,为基础公共卫生体系必备药物之一,地塞米松又名氟美松、氟甲强的松龙、德沙美松,是一种人工合成的皮质类固醇,与其他糖皮质激素一样,其药理作用主要是抗炎、抗毒、抗过敏、抗风湿,临床使用较广泛^[1,2]。在兽医临床中被广泛应用于治疗母畜代谢病,或与抗生素联合用于治疗感染性疾病,也是家畜、家禽饲养中常用的药物之一^[3]。但地塞米松对动物也会造成某些不良反应,例如胃肠道反应、过敏反应、肝功能异常、皮肤黏膜症状等,人类长期食用地塞米松超标的畜禽产品,会引起糖尿病、高血压、心肌梗塞、消化道溃疡等症状^[4,5]。因此,世界各国严格禁止地塞米松作为生长激素使用,同时普遍限制此药物用于动物源性食品中,并提出了严格的限量要求^[6]。目前,国内外有关地塞米松残留的检测方法较多,主要采用酶联免疫法^[7]、液相色谱法^[8,9]、液相色谱-串联质谱法^[10-12]、超液相色谱-串联质谱法^[13,14]、气质联用法^[15]等。本研究在农业部1031号公告-2-2008《动物源性食品中糖皮质激素类药物多残留检测液相色谱-串联质谱法》^[10]基础上,对前处理、色谱条件、质谱条件等步骤进行优化,建立了一种简便、快捷、回收率好、精密度高、灵敏度高的超高效液相色谱-串联质谱法快速检测动物源性食品中地塞米松的残留量,以期快速有效检测动物源性食品中地塞米松的残留提供参考。

2 材料与amp;方法

2.1 仪器、材料和试剂

2.1.1 仪器

Agilent1290-G6470A 超高效液相色谱-三重四级杆质谱仪; PL602-L 电子天平[0.5~610 g, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]; Heidolph 旋转蒸发器(Hei-VAP Precision 海道夫); TTL-DCII 氮吹仪(北京同泰联科技发展有限公司); LXJ-IIB 低速大容量多管离心机(上海安亭科学仪器厂); Milli-QA10 超纯水机[密理博(上海)贸易有限公司]; HY-3 多功能振荡器(江苏金坛市环宇科学仪器厂)。

2.1.2 材料与试剂

牛肉、鸡蛋样品: 购于海口市农贸市场; 猪肝、牛奶样品: 购于老城镇洪都超市。

地塞米松标准物质(纯度>97.0%, 北京坛墨质检科技有限公司); 甲基强的松龙标准物质(纯度>98.0%, 北京坛墨质检科技有限公司); 乙腈、甲醇、正己烷(色谱纯, 北京百灵威科技有限公司); 乙酸乙酯(分析纯, 广东光华科技股份有限公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 样品前处理

参照农业部1031号公告-2-2008《动物源性食品中糖

皮质激素类药物多残留检测-液相色谱-串联质谱法》^[10]方法进行优化, 具体优化方法: 称取组织试样2 g(精确到0.01 g)于50 mL离心管中, 加入100 μ L内标甲基强的松龙(浓度为0.1 μ g/mL)和0.1 mol/L氢氧化钠溶液10 mL充分碱解组织样品, 涡旋1 min混匀, 加20 mL乙酸乙酯, 涡旋1 min混匀, 在振荡器振荡10 min, 4000 r/min离心10 min, 再用15 mL乙酸乙酯重新提取1次, 合并上清液, 用旋转蒸发器于45 $^{\circ}$ C水浴上减压蒸发近干, 用压缩空气吹干, 用3 mL正己烷除脂, 涡旋30 s, 加1 mL 20%乙腈水溶液, 点滴20次, 4000 r/min离心10 min, 去掉上层正己烷, 取下层过0.22 μ m滤膜至样品瓶中, 供超高效液相色谱-串联质谱仪测定。

取牛奶试样2 mL(精确到0.01 mL)、称取鸡蛋试样2 g(精确到0.01 g)于50 mL离心管中, 加入100 μ L内标甲基强的松龙(浓度为0.1 μ g/mL), 加20 mL乙酸乙酯, 涡旋1 min混匀, 在振荡器振荡10 min, 4000 r/min离心10 min, 用旋转蒸发器于45 $^{\circ}$ C水浴上减压蒸发近干, 用压缩空气吹干, 用3 mL正己烷除脂, 涡旋30 s, 加1 mL 20%乙腈水溶液, 点滴20次, 4000 r/min离心10 min, 去掉上层正己烷, 取下层过0.22 μ m滤膜至样品瓶中, 供超高效液相色谱-串联质谱仪测定。

2.2.2 标准溶液和内标的配制

地塞米松标准溶液的配制: 准确称取10.31 mg地塞米松标准物质, 用甲醇溶解定容至25 mL, 配成0.4 mg/mL浓度的标准储备液; 准确吸取50 μ L 0.4 mg/mL标准储备液, 用甲醇定容20 mL, 配制成1 μ g/mL浓度的标准溶液。

甲基强的松龙内标溶液的配制: 准确称取10.20 mg甲基强的松龙标准物质, 用甲醇溶解定容至25 mL, 配成0.4 mg/mL浓度的标准储备液; 准确吸取25 μ L浓度为0.4 mg/mL的标准储备液, 用甲醇定容1 mL稀释为10 μ g/mL浓度; 准确吸取200 μ L 10 μ g/mL标准溶液, 用甲醇定容20 mL稀释成0.1 μ g/mL浓度的标准溶液。

2.2.3 标准曲线绘制

准确吸取100 μ L浓度为1 μ g/mL地塞米松标准工作液用甲醇稀释为0.1 μ g/mL浓度, 吸取适量用20%乙腈水溶液分别配成浓度为1.0、2.0、5.0、10.0、20.0 ng/mL的标准溶液, 各加入100 μ L浓度为0.1 μ g/mL甲基强的松龙做为内标(内标甲基强的松龙浓度均为10 ng/mL), 现配现用。

2.2.4 超高效液相色谱-串联质谱条件

(1) 超高效液相色谱条件

流动相: 0.05%甲酸水(A)-乙腈(B), 梯度洗脱, 见表1。色谱柱: 安捷伦 Poroshell 120 EC-C₁₈(50 mm \times 2.1 mm, 2.7 μ m)。流速: 0.3 mL/min; 柱温: 35 $^{\circ}$ C; 进样体积: 5 μ L。

(2) 质谱条件

离子源模式: 电喷雾电离(electrospray ionization, AJS ESI)源; 检测方式: 多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM), 负离子扫描模式; 干燥气温度: 300 $^{\circ}$ C;

干燥气流量: 10 L/min; 雾化气压力: 45 psi; 鞘气温度: 350 °C; 鞘气流量: 11 L/min; 毛细管电压: 3500 V; 喷嘴电压: 1500 V; 定性/定量离子碰撞气能量(collision energy, CE): 35 V/15 V; 驻留时间: 125 min。

表 1 梯度洗脱方式
Table 1 Elution gradients

时间/min	A/%	B/%
初始	90	10
3.0	50	50
3.5	5	95
4.5	5	95
4.6	90	10
7.0	90	10

3 结果与分析

3.1 质谱条件优化

分别将地塞米松及内标的标准溶液配制成 1 μg/mL 浓度的标准溶液, 首先在负离子模式下进行全扫描, 确定化合物的分子离子, 将分子离子作为母离子, 给予一定的碰撞能量和碰撞气体, 全扫描二级离子, 选取丰度较强、干扰较小的 2 个子离子分别作为定性及定量离子, 并优化母离子电压和碰撞电压, 地塞米松及内标质谱参数优化结果见表 2。

3.2 前处理条件优化

与农业部 1031 号公告-2-2008《动物源性食品中糖皮质激素类药物多残留检测-液相色谱-串联质谱法》^[10]方法相比, 本方法通过优化, 在振荡和离心过程中, 节省了 10~20 min; 未使用固相萃取柱净化, 直接加正己烷除脂, 节省约 40 min; 一共约节省了 50~60 min, 也节省了固相萃取柱和相应的试剂。此外, 本方法在最后定容时, 加 1 mL 20%乙腈水溶液定容液, 避免有时样品定容液上层浑浊, 样液太少不够用于分析, 需要加内衬管, 不方便操作。

3.3 内标的选择

为了提高方法的准确度、保持良好的重复性, 尽可能排除各种因素造成的定量问题, 引入内标法进行定量。内标要选择一种结构类似、性质接近的物质, 选择甲基强的松龙作为内标, 与地塞米松结构类似, 分子量接近且有区别, 色谱行为类似, 能明显地降低基质效应, 且性质稳定, 容易获得, 实际实验效果良好^[16]。在仪器最佳工作条件下, 采用内标为甲基强的松龙进行定量测定^[17], 可以追踪实验全流程, 很好地规避提取过程的基质效应和损失。

3.4 基质空白试验考察

分别选猪肝、牛肉、鸡蛋、牛奶不同基质做空白样品, 按照前处理步骤提取与净化, 得到空白样品。经上机分析, 目标物出峰处无干扰, 空白专属性良好, 详见图 1。

3.5 方法考察

3.5.1 检测方法的线性范围、定量限及方法信噪比 S/N

以相对峰面积(Y)对相对浓度(X, ng/mL)绘制内标标准曲线, 回归方程 $Y=0.948693X+0.006920$, 相关系数 $r^2=0.9999$, 线性关系良好。农业部 1031 号公告-2-2008^[10]给出最后定容体积为 0.5 mL, 本方法最后定容体积为 1 mL(结果见表 3), 通过比较, 本方法定量限最终溶液浓度更低。参照农业部 1031 号公告-2-2008^[10]给出的不同基质中地塞米松的定量限, 分别对猪肝(1 μg/kg)、牛肉(0.5 μg/kg)、鸡蛋(0.5 μg/kg)、牛奶(0.2 μg/L)做方法的定量限, 考察方法信噪比 S/N 及目标物峰型, 结果见表 4 和图 2, 可见本方法信噪比 S/N 较高(方法定量限 S/N≥10), 目标物峰型较好。

$$\text{计算公式: } X = \frac{C_x \times V}{m}$$

式中: X—被测组分残留量, μg/kg;

V—定容体积, mL;

C_x —从标准工作曲线得到的被测组分溶液浓度, ng/mL;

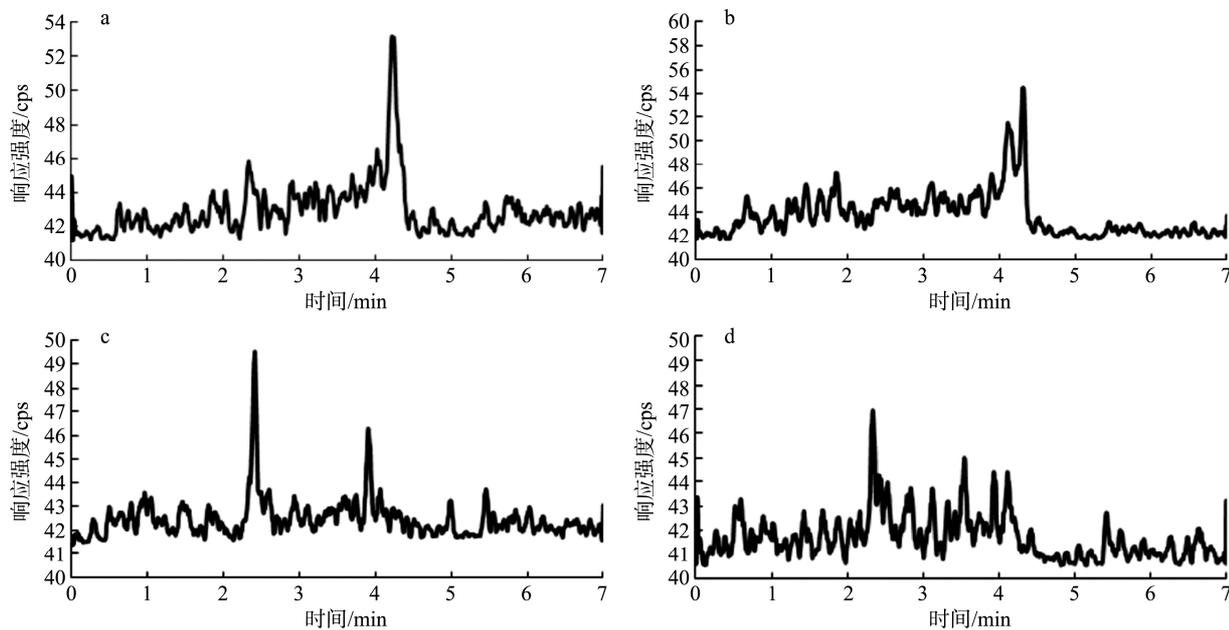
m—称样量, g 或 mL;

注: 计算结果需将空白值扣除。

表 2 质谱参数
Table 2 Mass spectrum parameter

化合物	监测离子对(m/z)	驻留时间/min	毛细管出口电压/V	碰撞能量/V	加速电压/V
地塞米松	437.1/361.2*	125	82	15	4
	437.1/307.1	125	82	35	4
甲基强的松龙	419.2/343.2*	125	112	14	4
	419.2/309.1	125	112	36	4

注: *为定量离子对。



注: a: 猪肝基质; b: 牛肉基质; c: 鸡蛋基质; d: 牛奶基质。

图1 4个空白样品的谱图

Fig.1 Spectras of 4 blank samples

表3 定量限对比

Table 3 Quantitative limit contrast

方法	基质	定容体积/mL	定量限/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	定容后溶液中/(ng/mL)
《农业部 1031 号公告-2-2008》	猪肝	0.5	1	4
	牛肉	0.5	0.5	2
	鸡蛋	0.5	0.5	2
	牛奶	0.5	0.2 $\mu\text{g}/\text{L}^*$	0.8
本方法	猪肝	1	1	2
	牛肉	1	0.5	1
	鸡蛋	1	0.5	1
	牛奶	1	0.2 $\mu\text{g}/\text{L}^*$	0.4

注: 1. *是液体, 单位为 $\mu\text{g}/\text{L}$; 2. 定容后溶液中溶度, 由上文计算公式得出。

表4 信噪比 S/N 实验结果

Table 4 Result of SNR

基质	浓度/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	信噪比(S/N)
猪肝	1	274.86
牛肉	0.5	289.34
鸡蛋	0.5	267.56
牛奶	0.2 $\mu\text{g}/\text{L}^*$	117.04

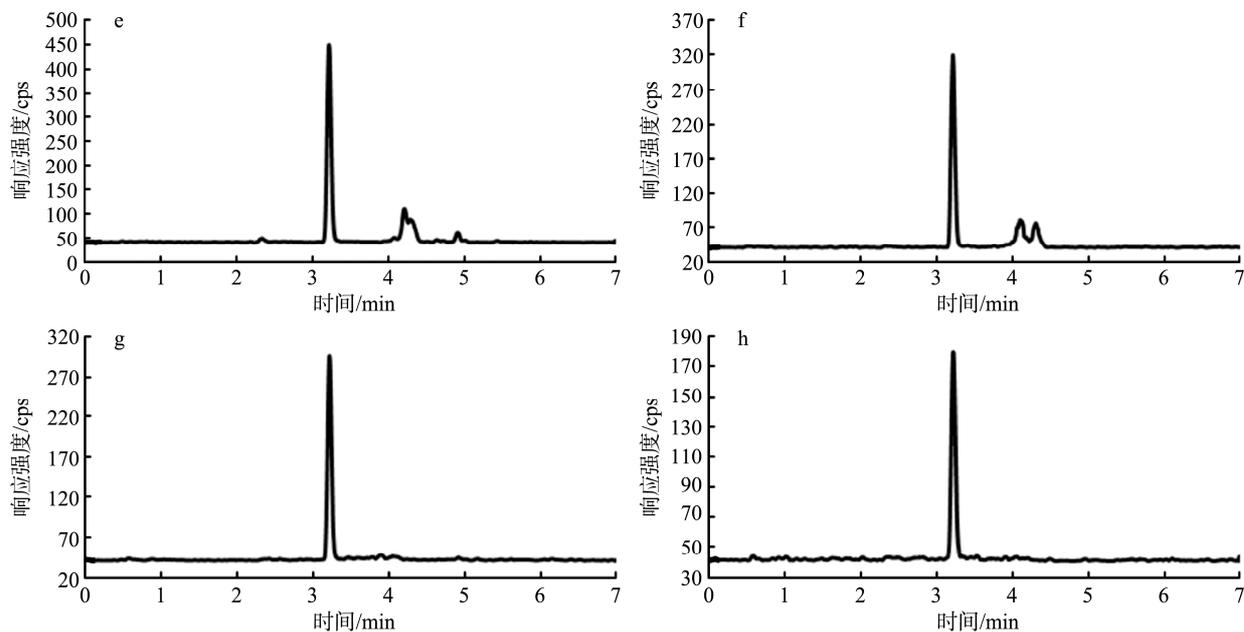
注: *是液体, 单位为 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。

3.5.2 准确度和精密度

本方法分别选猪肝、牛肉、鸡蛋、牛奶不同基质做低、中、高 3 个水平, 分别平行制备 6 份加标样品进行测定, 计算回收率及相对标准偏差(relative standard deviation, RSD), 考察方法的准确度和精密度, 结果见表 5, 平均回收率为 83.2%~108.2%, RSD 为 2.5%~6.5%。由此可见, 该方法回收率和精密度良好。

3.6 实际样品测定

采用本方法对市场上销售的 10 份猪肝、10 份牛肉、10 份鸡蛋、10 份牛奶样品进行测定, 没有发现阳性样品。



注: e: 猪肝(1 µg/kg); f: 牛肉(0.5 µg/kg); g: 鸡蛋(0.5 µg/kg); h: 牛奶(0.2 µg/L)。

图 2 猪肝(1 µg/kg)、牛肉(0.5 µg/kg)、鸡蛋(0.5 µg/kg)、牛奶(0.2 µg/L)加标样品谱图

Fig.2 Spectrograms of pig liver (1 µg/kg), beef (0.5 µg/kg), egg (0.5 µg/kg), milk (0.2 µg/L) spiked sample

表 5 加标回收率和精密度实验结果(n=6)

Table 5 Result of spiked recovery and precision (n=6)

基质	浓度/(µg/kg)	平均回收率/%	RSD/%
猪肝	1	98.1	6.2
	4	93.4	3.5
	8	95.8	2.7
牛肉	0.5	108.2	6.4
	2.5	101.1	3.4
	10	105.8	3.2
鸡蛋	0.5	87.1	5.2
	2.5	83.2	3.5
	10	87.4	3.1
牛奶	0.2 µg/L*	85.4	6.5
	0.6 µg/L*	83.8	4.7
	5 µg/L*	96.3	2.5

注: *是液体, 单位为 µg/L。

4 结论与讨论

本方法通过优化农业部 1031 号公告-2-2008《动物源性食品中糖皮质激素类药物多残留检测-液相色谱-串联质谱法》^[10]方法的前处理, Agilent1290-G6470A 超高效液相色谱、质谱等条件后, 大大节省了实验时间和净化部分的材

料和试剂, 使实验操作更加简便、快捷。本方法在测定不同基质猪肝、牛肉、鸡蛋、牛奶中的地塞米松残留量, 定量限值的信噪比、精密度、回收率均良好, 地塞米松出峰时间为 3.217 min, 仪器分析时间为 7 min, 不同基质不同浓度的加标回收变异系数 RSD%值均小于 10。本方法是一种简便、快速、准确、灵敏、实用的检测方法, 可以满足对不同基质中地塞米松药物残留的大批量检测要求。

参考文献

- [1] 郑宇潇, 陶婵娜, 金芳, 等. 地塞米松在临床肿瘤治疗中的应用进展 [J]. 医学综述, 2019, 25(17): 3491-3496.
Zheng YX, Tao LN, Jin F, *et al.* Advances in the application of dexamethasone in clinical tumor therapy [J]. Med Rev, 2019, 25(17): 3491-3496.
- [2] Guillaume B, Nicolas V, Astrid Be, *et al.* Preparation and physico-chemical stability of dexamethasone oral suspension [J]. Pharm Technol Hosp Pharm, 2018, 2(4): 193-120.
- [3] 王永娟, 朱善元, 刘博, 等. 地塞米松促进猪繁殖与呼吸综合征病毒致病性[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(7): 293-295.
Wang YJ, Zhu SY, Liu B, *et al.* Pathogenicity of dexamethasone promoting porcine reproductive and respiratory syndrome virus [J]. Jiangsu Agric Sci, 2016, 44(7): 293-295.
- [4] 左晓磊, 韩爱云, 王冰. 猪肉中地塞米松兽药残留及摄入量风险评估 [J]. 农产品质量与安全, 2019, (4): 60-64.
Zuo XL, Han AY, Wang B. Risk assessment of dexamethasone residue and intake in pork [J]. Qual Saf Agro-Prod, 2019, (4): 60-64.
- [5] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2010 年版: 第一增补本[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010.
National pharmacopoeia commission. Pharmacopoeia of the People's

- Republic of China: 2010 edition: The first supplement [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2010.
- [6] 林维宣. 各国食品中农药兽药残留限量规定[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2003.
- Lin WX. Limits on pesticide and veterinary drug residues in food of various countries [M]. Dalian: Dalian Maritime University Press, 2003.
- [7] 吴小胜, 刘莹, 崔廷婷, 等. 环境水样中地塞米松的酶联免疫法测定[J]. 山东畜牧兽医, 2018, 39(5): 1-3.
- Wu XS, Liu Y, Cui TT, *et al.* Determination of dexamethasone in environmental water samples by enzyme linked immunoassay [J]. Shandong J Anim Sci Vet Med, 2018, 39(5): 1-3.
- [8] 刘芊芊, 梁萌, 封焯, 等. 高效液相色谱法测定长循环红细胞载体中地塞米松磷酸钠的含量[J]. 国际药学研究杂志, 2019, 46(4): 292-295.
- Liu QQ, Liang M, Feng Y, *et al.* Determination of dexamethasone sodium phosphate in long-circulating erythrocyte-based drug by HPLC [J]. Int J Pharm Res, 2019, 46(4): 292-295.
- [9] 杨雪, 马虹英, 刘博, 等. 高效液相色谱法测定地塞米松磷酸钠乳膏中地塞米松磷酸钠含量[J]. 中南药学, 2018, 16(4): 537-540.
- Yang X, Ma HY, Liu B, *et al.* Determination of dexamethasone sodium phosphate in dexamethasone sodium phosphate cream by HPLC [J]. Zhongnan Pharm, 2018, 16(4): 537-540.
- [10] 农业部 1031 号公告-2-2008 动物源性食品中糖皮质激素类药物多残留检测液相色谱-串联质谱法 [EB/OL]. [2008-05-09]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/9/17442.html>.
- Announcement No.1031-2-2008 of the Ministry of agriculture-Determination of glucocorticoids in animal-derived food by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [EB/OL]. [2008-05-09]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/9/17442.html>.
- [11] 舒顺顺, 米倩, 杨彩霞, 等. 液相质谱法同时检测猪肉中氯霉素和地塞米松[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(5): 186-190.
- Shu SS, Mi Q, Yang CX, *et al.* Simultaneous determination of chloramphenicol and dexamethasone residues in pork by liquid phase mass spectrometry [J]. Food Res Dev, 2019, 40(5): 186-190.
- [12] 裴昆, 刘荷英, 左丽平, 等. 液相色谱-串联质谱法同时检测消字号产品中的地塞米松和氯倍他索丙酸酯[J]. 中国卫生检验杂志, 2017, 27(21): 3071-3073, 3076.
- Pei K, Liu HY, Zuo LP, *et al.* Simultaneous determination of dexamethasone and clobetasol propionate by high liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. Chin J Health Lab Technol, 2017, 27(21): 3071-3073, 3076.
- [13] 赵洋, 王婷, 华蕾, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定化妆品中同分异构体构型糖皮质激素[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(6): 1559-1564.
- Zhao Y, Wang T, Hua L, *et al.* Determination of isomer configuration glucocorticoids in cosmetics by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(6): 1559-1564.
- [14] 仲伶俐, 郭灵安, 毛建霏, 等. UPLC-MS/MS 法同时测定牛奶中替米考星、地塞米松、氟苯尼考和氯霉素残留[J]. 中国畜牧兽医, 2018, 45(9): 2645-2652.
- Zhong LL, Guo LA, Mao JF, *et al.* Simultaneous determination of telmicox, dexamethasone, flufenicol and chloramphenicol residues in milk by UPLC-MS/MS method [J]. Chin J Anim Husband Veter Med, 2018, 45(9): 2645-2652.
- [15] 张瑞, 苏小川, 雷宁生, 等. 气相色谱-质谱联用法测定人体尿液中地塞米松[J]. 应用预防医学, 2014, 20(6): 379-381.
- Zhang R, Su XC, Lei NS, *et al.* Determination of dexamethasone in human urine by gas chromatography-mass spectrometry [J]. App Prev Med, 2014, 20(6): 379-381.
- [16] 王新财, 胡磊. LC-MS 快速测定面膜中的地塞米松[J]. 中国现代应用药学, 2018, 35(6): 836-839.
- Wang XC, Hu L. LC-MS rapid determination of dexamethasone in facial mask [J]. Chin J Mod Appl Pharm, 2018, 35(6): 836-839.
- [17] GB/T 20741-2006 畜禽肉中地塞米松残留量的测定 液相色谱-串联质谱法[S].
- GB/T 20741-2006 Determination of dexamethasone residues in poultry meat-Liquid chromatography-tandem mass spectrometry [S].

(责任编辑: 于梦娇)

作者简介



陈少莉, 助理工程师, 主要研究方向为兽药残留检测。
E-mail: 1635859480@qq.com



王一晨, 工程师, 主要研究方向为食用农产品检测。
E-mail: 455589269@qq.com