

# 快速检测卡和酶联免疫试剂盒检测动物性食品中3种 $\beta$ -兴奋剂

张璐琪<sup>1\*</sup>, 王凤美<sup>2</sup>, 张鸿伟<sup>2</sup>, 徐彪<sup>2</sup>, 梁成珠<sup>2</sup>

(1. 中国海洋大学食品科学与工程学院, 青岛 266003; 2. 山东出入境检验检疫局检验检疫技术中心, 青岛 266002)

**摘要:** **目的** 评价快速检测卡和酶联免疫试剂盒检测动物性食品中3种 $\beta$ -兴奋剂的准确性。**方法** 分别采用快速检测卡和酶联免疫吸附法检测动物性食品中盐酸克伦特罗(CLB)、莱克多巴胺(RAC)和沙丁胺醇(SAL)3种 $\beta$ -兴奋剂残留, 并与液相色谱-串联质谱法(LC-MS/MS)进行比较评价。**结果** 盐酸克伦特罗速测卡和克伦特罗-莱克多巴胺-沙丁胺醇三联速测卡的检测结果与LC-MS/MS的符合率分别为83.3%和87.5%(CLB)、12.5%(RAC)、100%(SAL), CLB、RAC、SAL和 $\beta$ -兴奋剂ELISA试剂盒的检测结果与液相色谱-串联质谱法的符合率分别为94%、94%、76.2%和75%。**结论** 试剂盒的准确度相对较高, 但部分试剂盒的假阳性和假阴性情况明显。速测卡检测限较高, 准确度较差, 不满足一般检测要求。

**关键词:**  $\beta$ -兴奋剂; 速测卡; 酶联免疫吸附法; 准确性评价

## Detection of 3 kinds of $\beta$ -agonists in animal foods by rapid test card and ELISA kit

ZHANG Lu-Qi<sup>1\*</sup>, WANG Feng-Mei<sup>2</sup>, ZHANG Hong-Wei<sup>2</sup>, XU Biao<sup>2</sup>, LIANG Cheng-Zhu<sup>2</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;  
2. Technical Center for Inspection and Quarantine of Shandong Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Qingdao 266002, China)

**ABSTRACT: Objective** To evaluate the accuracy of the rapid test card and enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) kit in detecting 3 kinds of  $\beta$ -agonists in animal foods. **Method** Three kinds of  $\beta$ -agonists residues including clenbuterol (CLB), ractopamine (RAC) and salbutamol (SAL) in animal foods were detected by rapid test card and ELISA, respectively. The results were compared with those of the liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) and the methods were evaluated. **Results** The coincidence rate of clenbuterol rapid test card and LC-MS/MS was 83.3%. The coincidence rates of triple rapid test card and LC-MS/MS were 87.5%, 12.5% and 100% for CLB, RAC and SAL, respectively. The coincidence rates of ELISA kits and LC-MS/MS were 94%, 94%, 76.2% and 75% for CLB, RAC, SAL and  $\beta$ -agonists, respectively. **Conclusion** The accuracy of kits are relatively high, but the false positive and false negative of some kits are obvious. While the rapid test card has the high LOD and low accuracy, it does not meet the general detecting demand.

**KEY WORDS:**  $\beta$ -agonists; rapid test card; enzyme-linked immunosorbent assay; accuracy evaluation

\*通讯作者: 张璐琪, 硕士, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 15245122133@163.com

\*Corresponding author: ZHANG Lu-Qi, Master, College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China. E-mail: 15245122133@163.com

## 1 引言

$\beta$ -兴奋剂(也称“瘦肉精”)主要包括盐酸克伦特罗(clenbuterol, CLB)、莱克多巴胺(ractopamine, RAC)和沙丁胺醇(salbutamol, SAL), 是一类肾上腺受体激动剂, 广泛用于生猪的饲养中, 以促进家畜生长, 提高瘦肉率, 从而获取更大的经济利益<sup>[1]</sup>。人食用残留  $\beta$ -兴奋剂的食物后会引起食物中毒, 出现肌肉震颤、心悸、精神紧张、头疼、肌肉疼痛、晕眩、恶心、呕吐、发烧、战栗等症状, 严重者可引起死亡, 对消费者的健康引起极大危害<sup>[2]</sup>。因此, 各国禁止违规使用 CLB、RAC 和 SAL 作为饲料添加剂用于动物生产养殖中。目前检测“瘦肉精”残留的方法有高效液相色谱法(HPLC)<sup>[3-5]</sup>、气相色谱-质谱法(GC-MS)<sup>[6,7]</sup>、酶联免疫吸附法(ELISA)<sup>[8,9]</sup>和金标试纸条法<sup>[10,11]</sup>等。虽然色谱法和质谱法在定性和定量方面有很高的准确度, 但由于精密仪器价格昂贵、试剂耗材用量大、检测过程复杂、技术要求高、检测时间长等因素, 并不能完全满足监管需要<sup>[12]</sup>。因而金标快速检测卡和 ELISA 试剂盒等快速检测技术成为发展需求。本研究选用几种金标快速检测卡和 ELISA 试剂盒对已知阳性和阴性样品进行试验, 并与液相色谱-串联质谱法(LC-MS/MS)检测结果比较, 从而评估方法的准确性和适用性。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料与仪器

所用样品均为用经 LC-MS/MS 检测(检出限为 0.05  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )已知待测物阳性和阴性的样品。磷酸二氢钾缓冲液(pH=3); 甲醇、乙腈(色谱纯, 美国 Merck 公司)。

金标快速检测卡(检测限: CLB 3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、RAC 3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、SAL 5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 北京中卫食品卫生科技公司); 盐酸克伦特罗 ELISA 试剂盒(检测限: 0.04  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 德国 r-Biopharm 公司, 产品批号为 12445); 莱克多巴胺、沙丁胺醇 ELISA 试剂盒(检测限: 0.35  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、0.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 浙江迪恩生物科技股份有限公司, 产品批号分别为 70805 和 22405);  $\beta$ -兴奋剂 ELISA 试剂盒(检测限: 0.1  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 北京中检维康技术有限公司, 产品批号为 CS1506)。

TECAN infinite M200 微孔板酶标仪(瑞士 Tecan 公司), Himac CR22GII 高速冷冻离心机(日本 HITACHI 公司), 氮气吹干装置, 固相萃取装置, 恒温水浴装置, 振荡器, MS1Minishaker 旋涡混合器(德国 IKA 公司)等。

### 2.2 检测方法

#### 2.2.1 速测卡

(1)样品前处理: 称取 3 g 均质样品于离心管中; 放入 95  $^{\circ}\text{C}$  以上热水浴中加热 10~15 min; 将析出的样品组织液于 10000 r/min, 25  $^{\circ}\text{C}$  条件下离心 10 min, 吸取上清液作为

测定液备用。

(2)检测步骤: 取出检测卡平放于桌上, 用测试卡袋中的滴管垂直滴加 2 滴样品渗出液(约 40  $\mu\text{L}$ )于加样孔, 30 s 后再加入展开液 1~2 滴; 反应 5 min, 根据示意图判定结果。

#### 2.2.2 盐酸克伦特罗试剂盒

(1)样品前处理: 称取 5 g 均质样品于离心管中, 加入 25 mL 50 mmol/L HCl, 振荡 20 min; 在 8000 r/min, 15  $^{\circ}\text{C}$  条件下离心 10 min; 移取 18 mL 上清液(3 g 样品)于新离心管中, 加入 2 mL 0.5 mmol/L NaOH, 混匀 10 min; 加入 10 mL 500 mmol/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  缓冲液(pH=3), 简单混合并置于 4  $^{\circ}\text{C}$  下至少 1.5 h; 在 8000 r/min, 15  $^{\circ}\text{C}$  条件下离心 10 min; 移取 10 mL 上清液(1 g 样品), 回温至室温(20~25  $^{\circ}\text{C}$ ), 用 RIDA<sup>®</sup> C<sub>18</sub> 柱纯化。

(2) RIDA<sup>®</sup> C<sub>18</sub> 柱纯化步骤: 用 3 mL 甲醇(100%)洗涤柱子; 用 2 mL 50 mmol/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  缓冲液(pH=3)洗涤柱子; 样品溶液进柱; 用 2 mL 50 mmol/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  缓冲液(pH=3)洗涤柱子; 用正压去除残留的液体并用空气吹 2 min 干燥柱子; 用 1 mL 甲醇(100%)洗脱样品, 流速为 15 滴/min, 加正压收集所有洗脱液; 在 50~60  $^{\circ}\text{C}$  下氮气吹干; 用 1 mL 蒸馏水溶解干燥的残留物, 取 20  $\mu\text{L}$  进行分析。

(3)检测步骤: 将足够标准和样品所用数量的孔条插入微孔架, 并记录标准和样品的位置; 加入 100  $\mu\text{L}$  稀释的抗体溶液到微孔底部, 在室温下孵育 15 min; 倒出孔中液体, 每孔中加入 250  $\mu\text{L}$  蒸馏水, 再次倒出孔中液体, 重复操作洗涤步骤 2 次以上, 将微孔架倒置在吸水纸上拍打, 完全除去孔中液体; 加入 20  $\mu\text{L}$  标准和处理好的样品到各自微孔中, 再加入 100  $\mu\text{L}$  稀释的酶标记物, 用手轻轻摇动微孔板混合, 在室温下孵育 30 min; 倒出孔中液体, 每孔中加入 250  $\mu\text{L}$  蒸馏水, 再次倒出孔中液体, 重复操作洗涤步骤两次以上, 将微孔架倒置在吸水纸上拍打, 完全除去孔中液体; 加入 100  $\mu\text{L}$  基质/显色剂到每孔中, 轻轻混合后, 在室温下暗处孵育 15 min; 加入 100  $\mu\text{L}$  停止液到每孔中, 30 min 内在 450 nm 下测定吸光度值。

#### 2.2.3 莱克多巴胺和沙丁胺醇 ELISA 试剂盒

(1)样品前处理: 称取 2 g 均质样品于离心管中, 加入 4 mL 清洗液(将试剂盒中的清洗液 20 $\times$ 用纯水按 1:20 稀释), 再加入 2 mL 0.1 mol/L 盐酸溶液, 在涡旋振荡器上剧烈振荡约 30 s; 室温下 8000 r/min 离心 10 min; 取 1 mL 上清液, 用 1 mol/L 氢氧化钠溶液调节 pH 值至 6.75 $\pm$ 0.25, 若溶液浑浊, 8000 r/min 离心 5 min, 保留上清液; 取 50  $\mu\text{L}$  进行分析。

(2)检测步骤: 将足够标准和样品所用数量的孔条插入微孔架, 并记录标准和样品的位置; 加入 50  $\mu\text{L}$  标准和处理好的样品到各自微孔中, 再加入 100  $\mu\text{L}$  酶标物工作液, 轻轻混合, 在室温下孵育 10 min(沙丁胺醇 30 min); 倒出孔中液体, 加入 250  $\mu\text{L}$  清洗液, 再次倒出孔中液体, 重复操作洗涤步骤 3 次, 将微孔架倒置在吸水纸上拍打, 完全

除去孔中液体;加入 100  $\mu\text{L}$  基质/显色剂到每孔中,轻轻混合后,在室温下暗处孵育 10 min;加入 100  $\mu\text{L}$  停止液到每孔中,10 min 内在 450 nm 下测定吸光度值。

#### 2.2.4 $\beta$ -兴奋剂 ELISA 试剂盒

(1)样品前处理:称取 4 g 均质样品于离心管中,加入 8 mL 乙腈样品提取液,振荡提取 30 min;室温下 8000 r/min 离心 10 min,移取上清液 4 mL 于另一试管中,氮吹仪吹干;用 1 mL 复溶液(将试剂盒中的复溶浓缩液用纯水稀释 10 倍)复溶,加入 2 mL 正己烷,涡旋混匀 30 s,2000 r/min 离心 10 min;取 100  $\mu\text{L}$  下层样品提取液,用 400  $\mu\text{L}$  稀释缓冲液 B 稀释,混匀,取 50  $\mu\text{L}$  进行分析。

(2)检测步骤:将足够标准和样品所用数量的孔条插入微孔架,并记录标准和样品的位置;加入 50  $\mu\text{L}$  标准和处理好的样品到各自微孔中,再加入 50  $\mu\text{L}$  酶标抗原和 50  $\mu\text{L}$  抗体,避光,在室温温育 30 min;倒出孔中液体,每孔加入 250  $\mu\text{L}$  稀释的洗涤液,重复洗涤操作 3 次,用力在吸水纸上拍干;每孔加入 150  $\mu\text{L}$  显色剂,室温避光温育 10 min;每孔加入 50  $\mu\text{L}$  停止液,在 450 nm 处测定吸光度值。

### 2.3 试验设计

#### 2.3.1 盐酸克伦特罗速测卡

选取 5 个 clen 阳性样品(浓度分别为 3.51、7.70、7.90、8.79 和 33.86  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )和 20 个阴性样品用于检测,其中 5 个阳性样品做 2 个平行试验。

#### 2.3.2 盐酸克伦特罗-莱克多巴胺-沙丁胺醇三联速测卡

选取 2 个 clen 阳性样品(浓度为 7.70 和 8.79  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )、2 个 rac 阳性样品(浓度为 7.90 和 8.90  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )、2 个 sal 阳性样品(浓度为 15.80 和 41.90  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )和 20 个阴性样品用于检测,其中 6 个阳性样品做 2 个平行试验。

#### 2.3.3 盐酸克伦特罗试剂盒

选取 5 个 clen 阳性样品(浓度分别为 0.13、2.70、3.21、7.19 和 7.70  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )和 20 个阴性样品用于检测,每一个样品都做 2 个平行试验。

#### 2.3.4 莱克多巴胺试剂盒

选取 5 个 rac 阳性样品(浓度分别为 0.71、1.12、7.61、

7.98 和 8.90  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )和 20 个阴性样品用于检测,每一个样品都做 2 个平行试验。

#### 2.3.5 沙丁胺醇试剂盒

选取 3 个 sal 阳性样品(浓度分别为 3.22、15.80 和 41.90  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )和 18 个阴性样品用于检测,每一个样品都做 2 个平行试验。

#### 2.3.6 $\beta$ -兴奋剂试剂盒

选取 2 个 clen 阳性样品(浓度为 1.57 和 2.7  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )、2 个 sal 阳性样品(浓度为 3.22 和 41.90  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )和 20 个阴性样品用于检测,每一个样品都做 2 个平行试验。

## 3 结果与分析

### 3.1 金标速测卡

盐酸克伦特罗速测卡和三联速测卡的检出结果如表 1 所示,盐酸克伦特罗速测卡的检出结果与液质法的符合率一般,为 83.3%,且浓度在检测限附近(3~9  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )的阳性样品易出现假阴性问题。三联速测卡的符合率差异较大,其中沙丁胺醇检出结果与液质法完全一致,莱克多巴胺符合率最低,对阴性样品的检测结果均为阳性,可能这一批速测卡中莱克多巴胺的抗原抗体反应有一定的问题。克伦特罗的符合率较高,但浓度在检测限附近(7~9  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )的阳性样品均没有检出。

### 3.2 ELISA 试剂盒

各试剂盒的检出结果如表 2 所示,盐酸克伦特罗试剂盒和莱克多巴胺试剂盒的检出结果与液质法的符合率较高,均为 94%,沙丁胺醇试剂盒和  $\beta$ -兴奋剂试剂盒的符合率一般,分别为 76.2% 和 75%,主要表现在假阳性结果较多。

一般  $\text{IC}_{50}$  的数值越小,抗体的特异性能越强,由表 3 各试剂盒  $\text{IC}_{50}$  可知,在线性范围内,盐酸克伦特罗试剂盒和沙丁胺醇试剂盒的灵敏度要比莱克多巴胺试剂盒和  $\beta$ -兴奋剂试剂盒高。

表 1 快速检测卡的检出结果  
Table 1 Detection results of rapid test cards

速测卡	克伦特罗	三联		
		Clen	Rac	Sal
阳性检出比	6/10	0/4	4/4	4/4
阴性符合比	19/20	28/28	0/28	28/28
与液质法的符合率/%	83.3	87.5	12.5	100

注: 阳性检出比 =  $\frac{\text{阳性样品中速测卡的阳性检出数}}{\text{实际阳性样品数}}$ ; 阴性符合比 =  $\frac{\text{阴性样品中速测卡的阴性符合数}}{\text{实际阴性样品数}}$ ; 与液质法的符合率 =  $\frac{\text{阳性检出数} + \text{阴性符合数}}{\text{总样品数}} \times 100\%$ 。

表 2 ELISA 试剂盒的检出结果  
Table 2 Detection results of ELISA kits

ELISA 试剂盒	盐酸克伦特罗	莱克多巴胺	沙丁胺醇	$\beta$ -兴奋剂
阳性检出比	8/10	7/10	6/6	8/8
阴性符合比	39/40	40/40	26/36	28/40
与液质法的符合率/%	94	94	76.2	75

注: 阳性检出比 =  $\frac{\text{阳性样品中试剂盒的阳性检出数}}{\text{实际阳性样品数}}$ ; 阴性符合比 =  $\frac{\text{阴性样品中试剂盒的阴性符合数}}{\text{实际阴性样品数}}$ ; 与液质法的符合率 =  $\frac{\text{阳性检出数} + \text{阴性符合数}}{\text{总样品数}} \times 100\%$

表 3 各试剂盒  $IC_{50}$  及线性范围比较 ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )  
Table 3 Comparison of  $IC_{50}$  and linear ranges of kits ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

ELISA 试剂盒	盐酸克伦特罗	莱克多巴胺	沙丁胺醇	$\beta$ -兴奋剂
标准溶液	0、0.1、0.3, 0.9、2.7、8.1	0、0.1、0.3, 0.9、2.7、8.1	0、0.1、0.2, 0.4、0.8、2	0、0.1、0.5, 2、5、20
$IC_{50}$	0.378	2.129	0.389	4.021
线性范围	0.10~8.10	0.10~8.10	0.10~2.00	0.10~20.00

注:  $IC_{50}$  为 50%抑制率, 是试剂盒灵敏度的指标。

## 4 讨论

本研究旨在评估  $\beta$ -受体激动剂目前常用的速测卡及快速检测试剂盒用于日常样品检测时的准确性。所有样品均经过液相色谱 - 串联质谱法的确证。本文以阳性检出比、阴性符合比及与液质法的符合率来表示样品检测的准确度。本研究采用实际阳性样品, 即通过采食含有禁用物质的饲料而造成的动物肌体阳性, 而不是添加样品, 进行对比试验, 更具有实际的操作意义。

从试剂盒测定结果可看出, 尽管对于阳性样品大部分都检测出了阳性结果, 但其数值较液质法均偏低。此外, 有的样品平行性不好, 表现在测定数值相差较大, 或一个平行测出阳性, 另一个测出阴性。造成这些误差的原因可能有如下几个方面:

(1) 样品混入少量筋、膜、脂, 与试剂混合不充分导致提取的待测物丧失了小部分, 使结果偏低<sup>[13]</sup>。

(2) 测定盐酸克伦特罗时, RIDA  $C_{18}$  柱纯化流速未严格控制。组织分离出的上清液在通过  $C_{18}$  柱纯化时, 速度过快, 会使盐酸克伦特罗抗原没有完全吸附; 甲醇洗脱时速度过快, 会使克伦特罗抗原没有完全洗脱, 导致结果偏低<sup>[14]</sup>。

(3) 加样不完全。试剂盒加样时, 样液会留在微孔边缘, 这会使结果偏低。有的枪头会残留少许液体, 这使得加入各微孔中的液体体积不一致, 从而导致标准曲线的线性不好或平行样品的平行性不好。

(4) 洗板操作不规范。最后一次洗板后没有完全除去微孔中的洗液, 会使结果偏低。若洗板过程中洗液溅入其他

微孔, 也会由于酶标板孔间的污染而影响结果。

(5) 试剂被污染、酶标板拆封时间过长或未密封保存、酶失效等均会影响结果的准确性<sup>[15]</sup>。但造成假阳性的主要原因是速测卡和试剂盒本身问题还是操作过程的污染问题还需进一步验证。

由于实际检出的阳性样品较少, 而且本研究选取  $\beta$ -兴奋剂含量高于试剂盒和速测卡的检测限且在检测限附近的样品, 因为浓度低于检测限的和浓度太大的样品检测意义不大。因此, 为进一步研究快速检测方法的准确性和适用性, 应增加更多品牌的速测卡和试剂盒进行比较分析, 并增加阳性样品数量。

## 5 结论

本次试验结果显示, 速测卡虽然操作简便、检测时间短, 但准确性不好, 且其检测限较高, 不能满足一般标准要求, 只能在大量筛查和特殊情况下使用。试剂盒相对于速测卡其准确度和灵敏度要高, 但部分试剂盒的假阳性和假阴性情况仍明显, 且这几种试剂盒的准确度和灵敏度相差较大, 由于试剂盒本身的稳定性不好, 试验条件和人员操作等都会对实际检测结果造成一定的误差。因此, 采用试剂盒检测  $\beta$ -兴奋剂时, 需要严格控制试验条件和操作过程, 并且对于阳性样品和测定值在检出限附近的样品需要用质谱法进一步确证。

## 参考文献

- [1] 刘维红, 厉磊, 秦玲. 酶联免疫吸附法测定猪肉中的盐酸克伦特罗[J].

- 安徽农学通报, 2008, 19: 227-231.
- Liu WH, Li L, Qin L. Determination of clenbuterol hydrochloride in pork by enzyme-linked immunosorbent assay [J]. Anhui Agric Sci Bull, 2008, 19: 227-231.
- [2] 鲁晓翠, 侯玉泽, 王会玲, 等. 盐酸克伦特罗快速检测卡与试剂盒的比较分析[J]. 上海畜牧兽医通讯, 2008, 6: 61.
- Lu XC, Hou YZ, Wang HL, *et al.* Comparison of rapid test card and kit in detecting clenbuterol hydrochloride [J]. Shanghai J Anim Husb Vet Med, 2008, 6: 61.
- [3] 吴银良, 杨挺, 单吉浩, 等. 高效液相色谱法测定猪尿中克伦特罗对映异构体残留量[J]. 分析化学, 2010, 6: 833-837.
- Wu YL, Yang T, Shan JH, *et al.* Determination of residual clenbuterol enantiomers in swine urine by high performance liquid chromatography [J]. Chin J Anal Chem, 2010, 6: 833-837.
- [4] 蔡欣欣, 张秀尧. 超高效液相色谱三重四极杆质谱法同时快速测定动物源食品中 6 种  $\beta$  受体兴奋剂残留[J]. 中国卫生检验杂志, 2008, 7: 1252-1255.
- Cai XX, Zhang XY. Rapid simultaneous determination of six  $\beta$ -agonists in food stuffs of animal origin by ultra-performance liquid chromatography coupled with triple quadrupole mass spectrometry [J]. Chin J Heal Lab Technol, 2008, 7: 1252-1255.
- [5] 刘佳, 谢云峰, 任丹丹, 等. 反相液相色谱-串联质谱法检测猪肝中 26 种  $\beta_2$ -受体激动剂类药物残留[J]. 分析化学, 2014, 10: 1486-1492.
- Liu J, Xie YF, Ren DD, *et al.* Determination of residues of 26  $\beta_2$ -agonists in pork liver by reversed phase high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chin J Anal Chem, 2014, 10: 1486-1492.
- [6] 赵晶晶, 李云兰, 王仲琴, 等. 气质联用法测定小白鼠毛发中盐酸克伦特罗残留量的方法研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2008, 12: 2546-2547, 2556.
- Zhao JJ, Li YL, Wang ZQ, *et al.* Investigation of determination of clenbuterol hydrochloride in hair of rat using capillary by GC-MS [J]. Chin J Heal Lab Technol, 2008, 12: 2546-2547, 2556.
- [7] 谢孟峡, 刘媛, 蒋敏. 固相萃取-气相色谱-质谱分析肉样中盐酸克伦特罗的残留量[J]. 分析化学, 2002, 11: 1308-1311.
- Xie MX, Liu Y, Jiang M. Determination of clenbuterol in meat sample by coupling solid phase extraction with gas chromatography-mass spectrometry [J]. Chin J Anal Chem, 2002, 11: 1308-1311.
- [8] 刘达雄. ELISA、胶体金法和高效液相色谱法检测盐酸克伦特罗残留的比较研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2014, 5: 754-756.
- Liu DX. Comparison of determination of clenbuterol hydrochloride by ELISA, colloidal gold test paper and high performance liquid chromatography [J]. Chin J Health Lab Technol, 2014, 5: 754-756.
- [9] 何方洋, 于信念, 王坤, 等. 酶联免疫法与液相色谱-串联质谱法检测猪肉中沙丁胺醇[J]. 中国酿造, 2015, 8: 132-135.
- He FY, Yu XN, Wang K, *et al.* Determination of salbutamol residues in pork by ELISA and LC-MS/MS [J]. Chin Brew, 2015, 8: 132-135.
- [10] 刘子芝, 伊望中, 杜永平, 等. 应用酶联免疫吸附法(ELISA)结合胶体金试纸法快速筛选猪尿中的盐酸克伦特罗残留[J]. 中国动物检疫, 2005, 11: 23-24.
- Liu ZZ, Yin WZ, Du YP, *et al.* Rapid screening of clenbuterol residue in pig urine by enzyme-linked immunosorbent assay(ELISA) combined with colloidal gold test paper [J]. Chin Anim Quarant, 2005, 11: 23-24.
- [11] 熊琳, 李维红, 高雅琴, 等. 肉品中  $\beta$ -受体激动剂类药物残留检测技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 2: 528-533.
- Xiong L, Li WH, Gao YQ, *et al.* A review of inspection technology of  $\beta$ -agonist drug residues in meat [J]. J Food Saf Qual, 2015, 2: 528-533.
- [12] 叶雪珠, 王强, 赵首萍, 等. 快速检测尿液中盐酸克伦特罗残留技术评价[J]. 浙江农业科学, 2013, 5: 576-579.
- Ye XZ, Wang Q, Zhao SP, *et al.* Evaluation of rapid detection of clenbuterol hydrochloride in urine [J]. Zhejiang Agric Sci, 2013, 5: 576-579.
- [13] 于佳. 应用 ELISE 法测定盐酸克伦特罗的残留[J]. 肉类工业, 2008, 6: 42-44.
- Yu J. Application of ELISE on residue determination of clenbuterol hydrochloride [J]. Meat Ind, 2008, 6: 42-44.
- [14] 范锋, 毛爱民, 倪谷问. 酶联免疫吸附法测定盐酸克伦特罗常见误差分析及解决对策[J]. 畜牧兽医杂志, 2008, 1: 28-29.
- Fan F, Mao AM, Ni GJ. Error analysis and solutions of the determination of clenbuterol hydrochloride by enzyme-linked immunosorbent assay[J]. J Anim Sci Vet Med, 2008, 1: 28-29.
- [15] 查文云. 酶联免疫吸附试验中常见影响因素及控制方法[J]. 世界最新医学信息文摘, 2015, 29: 115.
- Zha WY. Common influence factors and control methods of enzyme-linked immunosorbent assay [J]. World Latest Med Inf, 2015, 29: 115.

(责任编辑: 金延秋)

## 作者简介



张璐琪, 硕士, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: 15245122133@163.com