

高效液相色谱-串联质谱法研究克伦特罗在猪毛发中残留及蓄积代谢规律

张 罡¹, 王凤美^{1*}, 汤志旭¹, 王树峰², 管恩平², 颜显辉³

(1. 山东出入境检验检疫局检验检疫技术中心, 青岛 266002; 2. 黄岛出入境检验检疫局, 黄岛 266500; 3. 荣成出入境检验检疫局检验检疫技术中心, 荣成 264300)

摘要: **目的** 建立一种检测动物毛发中克伦特罗含量的高效液相色谱-串联质谱法(high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS)并研究克伦特罗在毛发中的残留及蓄积代谢规律。**方法** 选择成长期白猪(平均体质量 50 kg), 饲喂克伦特罗日粮, 喂药周期为 35 d, 停药 32 d。分别于喂药后的 d 2、5、7、9、11、13、15、17、19、21、23、25、27、32、35, 每个时间点随机采毛发样品 3 份, 1.0 mol/L 氢氧化钠溶液溶解, 叔丁醇:乙酸乙酯(3:7, v:v)震荡萃取, 过阳离子交换(mixed-mode cationic exchange, MCX)固相萃取柱净化后用 LC-MS/MS 法检测克伦特罗残留量。于停药后的 d 0、3、5、7、9、11、13、15、17、19、21、23、25、26、27、30、32, 每个时间点简单随机直抽法处死 3 只白猪, 取毛发样品处理后用 HPLC-MS/MS 法检测克伦特罗残留量。**结果** 克伦特罗在毛发中的残留浓度随用药增加呈上升趋势(喂药 d 35 为 866.75 μg/kg); 克伦特罗在毛发中的残留在停药后浓度先升高后慢慢降低, 停药 d 32 仍能够检出量为 87 μg/kg。**结论** 该方法操作简单、重复性好、回收率高, 适于检测动物毛发中的克伦特罗含量, 可为食用动物饲养过程的有效监管提供技术依据。**关键词:** 克伦特罗; 动物毛发; 高效液相色谱-串联质谱法

Determination of clenbuterol residues in pig hairs by high performance liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry and investigation of the residue and elimination regularity of clenbuterol

ZHANG Gang¹, WANG Feng-Mei^{1*}, TANG Zhi-Xu¹, WANG Shu-Feng², GUAN En-Ping², YAN Xian-Hui³

(1. Technical Center of Shandong Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Qingdao 266002, China; 2. Huangdao Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Huangdao 266500, China; 3. Technical Center for Inspection and Quarantine of Rongcheng Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Rongcheng 264300, China)

ABSTRACT: Objective To develop a high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (HPLC-MS/MS) method for detecting the residues of clenbuterol in pig hair and investigate the residue and elimination regularity of clenbuterol. **Methods** Growing white pigs (the average weight of 50 kg) were fed with the diet that contained clenbuterol for 35 d, withdrawal 32 d. Three hair samples were collected at each time point (d 2, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 32, and d 35 after the first drug administration). The

基金项目: 国家质检总局科研项目(2011IK189)、检验检疫标准(2013B324)

Fund: Supported by the Scientific and Technological Project of the General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (2011IK189) and the Inspection and Quarantine Standards (2013B324)

*通讯作者: 王凤美, 高级工程师, 主要研究方向为药物残留分析。E-mail: fengmeiw@126.com

*Corresponding author: WANG Feng-Mei, Senior Engineer, Technical Center of Shandong Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, No.70, Qutangxia Road, Shinan District, Qingdao 266002, China. E-mail: fengmeiw@126.com

hairs were dissolved by sodium hydroxide, extracted by tert-butyl alcohol: ethyl acetate (3:7, v:v), after purified with MCX solid phase extraction cartridge, then the residual amount of clenbuterol in these samples was determined by HPLC-MS/MS. Three pigs were killed at each time point (d 0, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 26, 27, 30, and d 32 after the last drug administration), their hair samples were taken and the residues of clenbuterol were determined by LC-MS/MS. **Results** The residual amount of clenbuterol in the hair samples presented a rising trend while the drug accumulate in the pig (866.75 $\mu\text{g}/\text{kg}$ at 35 d). The residual amount of clenbuterol rose at first, and then reduced slowly after withdrawal. The residual amount of clenbuterol was still to 87 $\mu\text{g}/\text{kg}$ after withdrawal 32 days. **Conclusion** This is a simple operation, with a good repeatability and high recovery rate, which is suitable to detect the residue of clenbuterol in animal's hair. This study can help to offer the reference and basis for supervision of edible animal feeding process.

KEY WORDS: β -Agonists; pig hairs; high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

1 引言

克伦特罗(clenbuterol)俗称“瘦肉精”,具有促进动物生长、提高瘦肉率的作用,曾作为促生长添加剂被广泛关注,但大量或长期超量使用易在动物可食组织中残留蓄积,引发一系列的中毒事件^[1-3]。欧盟早在 1996 年通过的委员会指令 96/22/EC^[4]中,就对该类药物实施了禁用,我国的农业部^[5,6]公告中也明确将该类药物列入禁止在饲料和动物饮用水中使用的药物目录。但是受经济利益驱使, β -受体激动剂的使用屡禁不止。因此,发展快速高效的 β -受体激动剂类药物检测方法,对市场监管和人民身体健康均有重要的意义。

β -受体激动剂类药物常用的检测方法主要有高效液相色谱法^[7,8],酶联免疫法^[9,10],气相色谱-质谱法^[11,12]和高效液相色谱-串联质谱法^[13,14]等。目前, β -受体激动剂的监管主要靶器是动物可食组织和动物尿液。然而,动物屠宰后的残留检测监管(动物可食组织)有一定局限性,一方面不合格的产品必须销毁,造成人力、物力的巨大浪费;另一方面也很难杜绝不合格产品流入市场。动物尿液由于采集不方便,且 β -受体激动剂在尿液中随外界环境的变化性质不稳定,给日常监控带来极大困难。 β -受体激动剂在毛发中有明显的蓄积且代谢缓慢,样品性质稳定且易于保存。本研究建立了高效液相色谱-串联质谱法(high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS)检测动物毛发中克伦特罗残留的方法,并对克伦特罗在毛发内的蓄积代谢规律进行了系统研究,以期为畜禽养殖过程中 β -受体激动剂的监管提供更为有效的技术支持。

2 材料与方 法

2.1 动物实验与样品采集

选择 3 月龄的三元猪(平均体质量 50 kg),饲喂克伦特罗含量为 1.5 mg/kg 的日粮,每天 2 次,喂药周期为 35 d,停药 32 d。蓄积规律:从喂养第 2 天起,在用药的第 2、5、7、9、11、13、15、17、19、21、23、25、27、32、35 天,任选 3 头,每天上午 8:00~10:00 采毛发样品 3 份,使用建立好的毛发中液相色谱串联质谱法测定克伦特罗残留量。消除规律:从停药第 0、3、5、7、9、11、13、15、17、19、21、23、25、26、27、30、32 天任选 2 头及当天屠宰猪的毛发样品使用建立的检测方法测定克伦特罗的含量。

2.2 仪器与试剂

Agilent1100 高效液相色谱仪(美国 Agilent 公司); API 4000 串联质谱仪(美国 AB 公司);配有电喷雾离子源;Himac CR 22G II 高速离心机(日本 Hitachi 公司);Pierce Model 1878 型氮气浓缩装置;PHS-3C 型 PH 计(上海康仪有限公司);Oasis MCX 固相萃取柱(3 mL, 60 mg)(美国 Waters 公司)。

克伦特罗(德国 Dr. Ehrenstorfer 公司);克伦特罗内标(加拿大 C/D/N ISOTopes 公司);甲醇、乙腈均为残留级(美国 Burdick & Jackson 公司);叔丁醇、乙酸乙酯为色谱纯(美国 Burdick & Jackson 公司);甲酸为优级纯(天津光复精细化工研究所),乙酸铵为优级纯(美国 J.T.Baker 公司);实验室用水为 Milli-Q 超纯水。

2.3 标准溶液的配制

准确称取克伦特罗(折合目标化合物 10 mg)于 4 个 10 mL 容量瓶中,依次用适量甲醇溶解,并用甲醇

定容至刻度,混匀,配置成 1 g/L 的标准储备溶液,避光-18 °C 保存。吸取每种标准储备溶液各 100 μ L,用甲醇定容至 10 mL,稀释成 10 mg/L 的混合标准中间溶液,避光-18 °C 保存。

2.4 样品处理

2.4.1 毛发的清洗

本试验中毛发先后采用热水、甲醇清洗 3 次,通风厨内自然晾干,用剪刀将毛发剪至约 5 mm 长。

2.4.2 提取

准确称取 1 g 试样,置于 50 mL 离心管中,添加同位素内标工作液,加入 1 mol/L 氢氧化钠溶液 10 mL,充分震荡混匀,在 80 °C 水浴中恒温 1 h,冷却至室温。在毛发水解液中加入氯化钠至饱和,用稀盐酸调节 pH 至 9.5~10.0,加入 10 mL 叔丁醇:乙酸乙酯(3:7)震荡萃取,高速离心取上层溶液于鸡心瓶中,萃取过程重复 2 次。上层萃取液于 40 °C 水浴旋转蒸干,分 2 次加入 10 mL 0.1 mol/L 的盐酸溶解残渣,待净化。

2.4.3 净化

先用甲醇、水、0.1 mol/L 盐酸各 5 mL 依次淋洗活化的 MCX 固相萃取柱,将提取样液以 ≤ 1.0 mL/min 的流速加载在小柱上,再依次用 0.1 mol/L 盐酸、水、甲醇-水(1:1, v:v)、正己烷各 5 mL 淋洗,最后用乙酸乙酯-甲醇-氨水(50:45:5, v:v)洗脱(流速 ≤ 1.0 mL/min),收集洗脱液,45 °C 下氮气吹干,加入 1.0 mL 0.1% 甲酸溶液溶解残渣,过 0.22 μ m 滤膜,待测。

2.5 测定

2.5.1 色谱条件

资生堂 CAPCELL PAK C8 色谱柱(4.6 mm \times 250 mm, 5 μ m); 流动相 A: 10 mmol/L 乙酸铵(含 0.15% 乙酸)、B: 乙腈,梯度洗脱条件为 T: 0~7~13~13.1~18 min, 10%~25%~30%~10%~10% B; 流速:0.5 mL/min; 柱温: 35 °C; 进样量: 10 μ L。

2.5.2 质谱条件

电喷雾电离(electrospray ionization, ESI)正离子模式; 质谱扫描方式: 多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM); 毛细管电压: 5500 V; 干燥气温度: 550 °C; 干燥气流量: 11 L/min; 雾化器压力: 35 psi; 其他质谱条件见表 1。

3 结果与讨论

3.1 毛发的预处理

动物的毛发容易受到尿液和粪便的污染,因此毛发用于检测前必须采取一定的洗涤程序以去除可能存在的污染物。本实验毛发样品先用热水清洗 3 遍,再用甲醇清洗 3 遍,可有效去除毛发外部的污物以及可能存在的 β -受体激动剂污染,通风厨自然晾干又大大节省了试剂配制及样品处理时间。毛发洗涤后将其剪切到适当长度再进行提取处理。

3.2 提取条件的优化

碱水解是毛发中 β -受体激动剂提取最常见的方式,常采用 NaOH 或 KOH 进行处理^[15,16]。一般情况下,碱液浓度越大,提取温度越高,所需水解时间越短。本试验分别对 60 °C、70 °C、80 °C 和 90 °C 水温条件下 10 mL 1 mol/L 的 NaOH 溶液水解 1 g 猪毛需要的时间做了对比,结果见表 2。毛发中的 β -受体激动剂的水解也可用酸水解^[17,18],主要用 0.1 mol/L HCl 溶液,但是酸水解需要水浴过夜,所需时间较长。动物组织中 β -受体激动剂的提取一般采用的是酶水解^[14],本实验对比了 SN/T 1924-2011 方法的前处理过程,采用葡萄糖醛酸酶水解,结果表明提取效率不高,可能克伦特罗在毛发中并未形成葡萄糖醛酸结合反应物。文献^[19]采用蛋白酶 K 酶解和链蛋白酶酶解提取出毛发中 β -受体激动剂,提取效率也不如碱水解和酸水解。考虑到时间问题和方法的通用性,本实验采用碱水解,可用于一般动物毛发包括猪毛、羊毛等中 β -受体激动剂的提取。

表 1 克伦特罗主要参考质谱参数

Table 1 Optimized spectrometric parameters of clenbuterol

化合物	母离子 (m/z)	子离子 (m/z)	驻留时间 (ms)	裂解电压 (V)	碰撞能量 (eV)
克伦特罗	277.0	203.0*	100	70	24
		132.0	100	70	40
		168.0	100	70	42
克伦特罗-D9	286.2	204.1	100	70	25

*为定量离子对

表 2 毛发在不同温度下需要的水解时间

Table 2 Hydrolysis time of animal hair under different temperature

水温 (°C)	60	70	80	90
溶解时间 (min)	90	60	45	45

3.3 方法检测限与线性范围

本实验中样品称样量为 1 g, 克伦特罗的检出限为 0.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 定量限为 0.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 在 0.1~100.0 ng/mL 内线性范围良好, 相关系数均大于 0.99。由于在活体猪毛发中克伦特罗的蓄积代谢规律实验中, 样品浓度超过日常检测范围, 又增加 100~1000 ng/mL 的线性方程, 线性范围良好, 相关系数大于 0.99(表 3)。

3.4 回收率及精密度

本方法对克伦特罗的回收率试验采用 3 个加标浓度, 分别为定量限浓度的 1、2、10 倍, 不同基质平均回收率及精密度见表 4。

3.5 蓄积代谢规律研究

3.5.1 毛发中克伦特罗的蓄积规律

以喂药时间为横坐标, 以测得的药物浓度为纵坐标绘制浓度与时间的相应关系图(图 2a)。由图 2a 可以看出, 整个给药期间毛发中蓄积浓度随用药增加呈上升趋势。毛发中克伦特罗蓄积较快, 饲喂第 2 天即可从毛发中检出克伦特罗 7.33 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 这可以从药物分子吸收到毛发中被认为是常见的“被动扩散”, 即是从血液扩散至毛囊中的成长找到答案, 有研究

[16]证明在饲喂几小时即可从血液中检出克伦特罗。

由于密集的毛细血管网络环绕毛囊, 因此第 2 天在毛发中检出克伦特罗较为合理。但这与苏晓鸥等[17]研究中提到饲喂浓度(10 mg/kg), 在用药 5 d 后, 黑色猪毛发有少量克伦特罗残留出现, 而白色猪毛发中未检出的结果有差异, 可能是由于猪的品种不同所致。从图 2a 中可以看出猪毛发中克伦特罗在饲喂期间蓄积量逐渐增加, 从第 19~29 天进入快速增加通道, 其中第 19~21 天增幅最大, 从 186.83 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 增至 384.47 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 增幅为 197.64 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 29~35 d 增幅逐渐放缓, 每 2 d 的增加幅度仅约为 80 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。远远小于最大增幅的 197 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。饲喂第 35 天毛发中克伦特罗蓄积量达到 866.75 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

3.5.2 毛发中克伦特罗的代谢规律

以停药时间为横坐标, 以测得的药物浓度为纵坐标绘制浓度与时间的相应关系图(图 2b)。从图 2b 中可以看出, 停止饲喂含有克伦特罗的日粮后, 毛发中的克伦特罗量没有立即发生减小, 反而略有增加, 停药 0 d 毛发中克伦特罗的浓度为 866.75 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 停药第 5 天增至 897 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 这可能是由于毛发中克伦特罗的蓄积有一定的延迟性。毛发中的克伦特罗开始消除后, 消除速度在前期较快, 停药第 7 天, 浓度即降为 420 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 约为最高峰值的一半。停药第 13 天降至 187 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。从停药第 13 天起, 消除速度变缓, 停药第 15 天为 176 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 至停药第 30 天毛发中克伦特罗的浓度为 120 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 停药 32 d 仍能够检出 87 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 的残留。

表 3 克伦特罗的线性方程及相关系数

Table 3 Regression equation and correlation coefficients of clenbuterol

化合物	浓度范围 (ng/mL)	线性方程	相关系数 (r^2)
克伦特罗	0.1~100	$Y=1.62X+0.075$	0.9945
	100~1000	$Y=1.24X+1.359$	0.9958

表 4 克伦特罗的添加回收率试验数据 ($n=6$)Table 4 Recoveries of clenbuterol ($n=6$)

化合物	添加浓度 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	猪毛		羊毛	
		平均回收率 (%)	相对标准偏差 (%)	平均回收率 (%)	相对标准偏差 (%)
克伦特罗	0.5	93.5	8.9	95.4	7.8
	1.0	97.8	6.5	91.9	8.1
	5.0	101.4	7.4	97.3	5.2

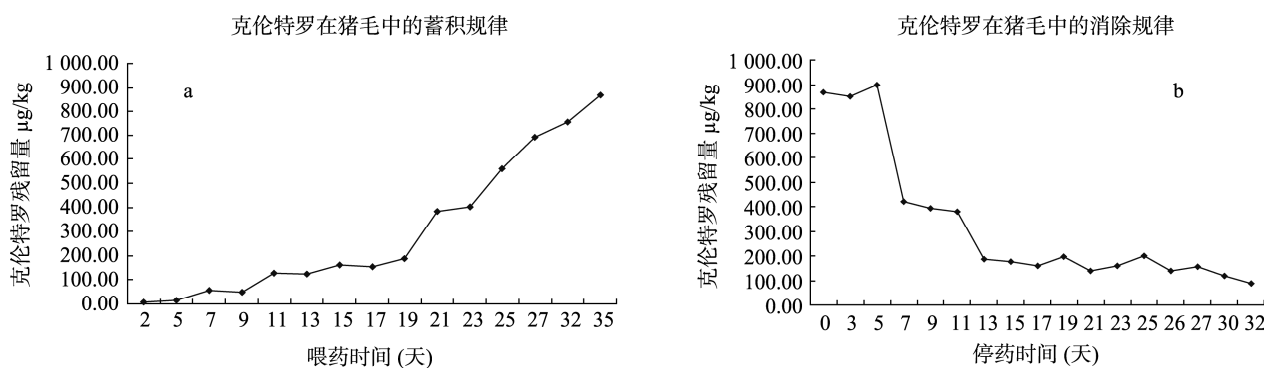


图 2 克伦特罗在猪毛发中蓄积代谢规律

Fig. 2 Metabolism regularity of accumulation clenbuterol in pig hair

4 结 论

本试验建立了专属、灵敏的 HPLC-MS/MS 检测方法, 并研究了克伦特罗在动物毛发中的蓄积代谢规律。结果显示, 动物毛发中克伦特罗蓄积浓度随用药增加呈上升趋势, 饲喂 35 d 的蓄积量达到 866.75 µg/kg; 停药后克伦特罗残留没有立即发生减小, 反而略有增加至最大浓度后逐渐减小, 且停药 32 d 仍能够检出 87 µg/kg 的残留。由此表明, 克伦特罗在毛发中很容易蓄积, 且代谢缓慢, 可作为动物饲养过程中药物监管的有效靶组织。

参考文献

- [1] 江岚. 瘦肉精中毒抢救 24 例临床分析[J]. 中国现代医生, 2009, 47(30): 130-131.
Jiang L. Clinical analysis of 24 cases of clenbuterol poisoning rescue [J]. China Mod Doct, 2009, 47(30): 130-131.
- [2] 周少峰. 一起因食用猪肝引起瘦肉精中毒的调查分析[J]. 实用预防医学, 2002, 9(6): 706.
Zhou SF. Investigation with the consumption of the pig liver caused by clenbuterol poisoning [J]. Pract Prev Med, 2002, 9(6): 706.
- [3] Martine Z, Navaari JE. Food poisoning related to consumption of illicit B-agonist in liver [J]. Lancet, 1990, 336(8726): 1311-1315.
- [4] Directive EC. Council directive 96/22EC of 29 April 1996 concerning the prohibition on the use in stock farming of certain substances having a hormonal other hypostatic action and of beta-agonist, and repealing directives 81/602 [J]. EEC, 1996, 88(146): 3-9.
- [5] 中华人民共和国农业部公告第 176 号. 禁止在饲料和动物饮用水中使用的药物品种目录[R]. 中华人民共和国农业部, 2002.
- [6] 中华人民共和国农业部公告第 193 号. 食品动物禁用的兽药及其他化合物清单[R]. 中华人民共和国农业部, 2002.
- [7] 戴华, 袁智能, 黄志强, 等. 饲料中盐酸克伦特罗、沙丁胺醇高效液相色谱测定[J]. 分析测试学报, 2003, 22(3): 57-60.
Dai H, Yuan ZN, Huang ZQ, *et al.* Determination of clenbuterol hydrochloride and salbutamol in feed by HPLC [J]. J Instrum Anal, 2003, 22(3): 57-60.
- [8] Gleixner A, Sauerwein H, Meyer HD. Detection of the anabolic-adrenoceptor agonist clenbuterol in human scalp hair by HPLC/EIA [J]. Clin Chem, 1996, 42: 1869-1878.
- [9] 刘文卫, 钮伟民. 酶联免疫与气质联用法测定猪尿中的克伦特罗[J]. 中国卫生检验杂志, 2006, 16(5): 564-565.
Liu WW, Niu WM, Jiang LF, *et al.* ELISA and GC-MS determination of clenbuterol in pig urine [J]. Chin J Health Lab Technol, 2006, 16(5): 564-565.
- [10] 王建平, 沈建忠. 猪肝和猪尿中沙丁胺醇和克伦特罗残留的酶联免疫吸附检测法研究[J]. 畜牧兽医学报, 2005, 36(4): 397-401.
Wang JP, Shen JZ. Detection of salbutamol and clenbuterol in swine liver and swine urine by enzyme linked immunosorbent assays [J]. Acta Vet Zootech Sin, 2005, 36(4): 397-401.
- [11] 朱永林, 邵德佳. 气相色谱-质谱法同时测定猪肝中盐酸克伦特罗、莱克多巴胺残留[J]. 中国兽药杂志, 2006, 40(11): 5-8.
Zhu YL, Shao DJ. Simultaneous determination of clenbuterol

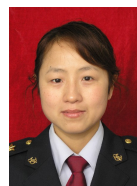
- hydrochloride and ractopamine residues in swine liver by GC/MS [J]. *Chin J Vet Drug*, 2006, 40(11): 5–8.
- [12] 吴银良, 李晓薇, 刘素英等. 气相色谱-质谱法测定肝脏组织中盐酸克伦特罗和莱克多巴胺[J]. *分析化学*, 2006, 34(8): 1083–1086.
- Wu YL, Li XW, Liu SY, *et al.* Determination of residual clenbuterol and ractopamine in animal liver tissues by solid phase extraction with gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Chin J Anal Chem*, 2006, 34(8): 1083–1086.
- [13] 聂建荣, 洪振涛, 连槿, 等. HPLC-MS/MS 快速检测动物尿液中的莱克多巴胺和克伦特罗[J]. *中国兽药杂志*, 2008, 42(8): 17–20.
- Nie JR, Hong ZT, Lian J, *et al.* Rapid determination of ractopamine and clenbuterol in animal urine with HPLC-MS/MS [J]. *Chin J Vet Drug*, 2008, 42(8): 17–20.
- [14] 王凤美, 张鸿伟, 庞士平, 等. 超高效液相色谱-串联质谱测定动物源性食品和尿液中 4 种 β -受体激动剂残留[J]. *分析化学*, 2008, 36(12): 1629–1635.
- Wang FM, Zhang HW, Pang SP, *et al.* Determination of four beta-agonists residues in products of animal origin and urine by ultra performance liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry [J]. *Chin J Anal Chem*, 2008, 36(12): 1629–1635.
- [15] Fene CA, Vaquez BI. Determination of clenbuterol residues in bovine hair by using diphasic dialysis and gas chromatography-mass spectrometry [J]. *J Chromat B*, 726(1999): 133–139.
- [16] Nielsen MWF, Lasaroms JJP. Multiresidue analysis of beta-agonists in bovine and porcine urine, feed and hair using liquid chromatography electrospray ionization tandem mass spectrometry [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2008, 391: 199–210.
- [17] 苏晓鸥, 沈建忠. 用 HPLC-MS/MS 研究动物毛发中克伦特罗的残留及代谢规律[J]. *动物生产*, 2008, 44(11): 41–45.
- Su XO, Shen JZ. Studies on the Determination of clenbuterol in swine hairs using LC-MS/MS and its residue elimination [J]. *Anim Product*, 2008, 44(11): 41–45.
- [18] Hernandez-Carrasquilla M. External contamination of bovine hair with β_2 -agonist compounds: evaluation of decontamination strategies [J]. *J Chromat B*, 767(2002): 235–243.
- [19] Carrasquilla HM. Analysis of β -agonist compounds in bovine hair. Evaluation of procedures for extraction of hair [J]. *J Chromat B*, 2000, 51: 601–607.

(责任编辑: 张宏梁)

作者简介



张 罡, 助理工程师, 主要研究方向为食品中兽药残留分析检测。
E-mail: zhanggang2062@163.com



王凤美, 高级工程师, 主要研究方向为药物残留分析。
E-mail: fengmeiw@126.com