

# “瘦肉精”类药物残留检测方法研究进展

盖圣美<sup>1</sup>, 魏法山<sup>2</sup>, 刘登勇<sup>1\*</sup>, 巩阿娜<sup>1</sup>

(1. 渤海大学食品科学与工程学院, 辽宁省食品安全重点实验室, 生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 锦州 121013; 2. 河南省产品质量监督检验院, 郑州 450004)

**摘要:**“瘦肉精”类药物是一种肾上腺类神经兴奋剂, 既可在临床上用于治疗支气管疾病, 也可作为促生长剂用于动物饲养业, 但由于人们长期食用含有此类药物的食品易引起中毒而被禁止使用。本文主要介绍克仑特罗、莱克多巴胺、沙丁胺醇等3种主要的“瘦肉精”类药物, 归纳总结我国现行有效的此类药物残留标准检测方法及其他新型检测方法, 并详细分析和评价每种药物各检测方法的优缺点。旨在为食品安全工作者及科研人员提供参考, 为肉食品行业健康快速发展和保障人们食品安全奠定基础。

**关键词:** 克仑特罗; 莱克多巴胺; 沙丁胺醇; 动物源食品

## Research progress of “clenbuterol” residues detection methods

GAI Sheng-Mei<sup>1</sup>, WEI Fa-Shan<sup>2</sup>, LIU Deng-Yong<sup>1\*</sup>, Gong A-Na<sup>1</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Bohai University; Food Safety Key Lab of Liaoning Province; National & Local Joint Engineering Research Centre of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, China; 2. Henan Province Product Quality Supervision and Inspection Center, Zhengzhou 450004, China)

**ABSTRACT:** “Clenbuterol”, a kind of  $\beta$ -adrenergic agonist, is not only widely used as a bronchodilator in clinic, but also illegally used as growth promoters in animal production. It was forbidden due to the poison of long-term consumption of “clenbuterol”. The present paper mainly introduced the domestic and foreign current detecting standards and methods of clenbuterol, ractopamine and salbutamol. The advantages and disadvantages of each kind of drugs detection method were analyzed and evaluated. It aimed at providing references for food safety workers and researchers, and laying a good foundation to the rapid development of meat industry and the safeguard of people’s safety.

**KEY WORDS:** clenbuterol; ractopamine; salbutamol; foodstuffs of animal origin

## 1 引言

“瘦肉精”类药物属于肾上腺类神经兴奋剂, 既可在临床上用于治疗支气管疾病, 也可作为促生长剂用于动物饲养业<sup>[1,2]</sup>。主要包含克仑特罗、莱克多巴胺、沙丁胺醇、硫酸沙丁胺醇、盐酸多巴胺等十几种。该类物质大量使用可促进动物体内的脂肪分解代谢, 提高蛋白质合成速度, 增

加瘦肉率, 曾被用作牛、羊、猪、鸡等畜禽的促生长剂和饲料添加剂, 但该类物质既不是兽药, 也非饲料添加剂<sup>[3]</sup>。据报道, 生猪养殖过程中使用“瘦肉精”类药物可使瘦肉率显著增加 9%~16%, 骨骼肌脂肪降低 10%~15%, 极大地改善胴体品质<sup>[4]</sup>。然而长期食用“瘦肉精”类药物污染的食品会引起心悸、头晕、乏力等中毒症状, 严重时可导致死亡<sup>[5]</sup>, 副作用较大。因此, 美国、加拿大、日本等国允许在

\*通讯作者: 刘登勇, 博士, 副教授, 主要研究方向为肉品质量安全控制。E-mail: jz\_dyliu@126.com

\*Corresponding author: LIU Deng-Yong, Ph.D., Associate Professor, Bohai University, No.19, Keji Road, New Songshan District, Jinzhou 121013, China. E-mail: jz\_dyliu@126.com

规定限量值内使用, 而欧盟、中国等 160 个国家陆续发表声明要求禁止克伦特罗药物在饲料和畜牧生产中使用<sup>[6]</sup>。尤其是我国在 2002 年 12 月 24 日农业部 235 号公告中明确动物性食品中不得检出“瘦肉精”类药物。然而, 因利益驱使, 非法使用“瘦肉精”的现象依然存在。

近年来, 食品安全已经成为全球关注的焦点, 对于食品中有毒有害残留物质的检测方法也迅速发展。目前常用的“瘦肉精”类检测方法有很多, 主要以酶联免疫吸附试验法<sup>[7]</sup>、高效液相色谱-质谱法<sup>[7]</sup>、液相色谱-串联质谱法<sup>[8]</sup>和气相色谱-质谱法<sup>[9]</sup>等为主。此外, 还有胶体金免疫层析<sup>[10]</sup>、分子印迹聚合物分析<sup>[11]</sup>等一些简单、快速、便捷的方法。本文主要对近几年爆发事件频率高、使用量大、对畜禽及人体危害程度较强药物的检测方法进行综述, 如克伦特罗、莱克多巴胺、沙丁胺醇等, 详细分析和评价每种药物各种检测方法的优缺点, 为食品安全工作者及科研人员提供参考, 为肉食品行业健康快速发展和保障人们食品安全奠定基础。

## 2 我国现行有效的“瘦肉精”类药物标准检测方法

“瘦肉精”类药物国家标准检测方法主要包括液相色谱-质谱法、气相色谱-质谱法、高效液相色谱法和酶联免疫吸附法等 4 种常规的检测方法。采用上述 4 种检测方法检测克伦特罗、莱克多巴胺和沙丁胺醇等 3 种主要的“瘦肉精”类药物, 由于采用的检测方法不同、畜禽类动物间的差异以及“瘦肉精”类药物不同导致检测结果存在较大差异。

自 1997 年我国有关行政部门多次明令禁止畜牧行业生产、销售和使用盐酸克伦特罗, 然而各地因食用含克伦特罗药物的食物而导致中毒的事件时有发生, 说明非法使用该类药物的现象依然存在, 如双汇“瘦肉精”事件、河南“瘦肉精”事件、上海“瘦肉精”中毒事件等。为此, 我国开始加强市场监管检验力度, 预防并大力打击中毒事件的发生, 建立一系列相关检测方法。尽管我国在检测方法建立方面起步较晚, 但是, 目前已经建立了一整套成熟的检测方法, 即液相色谱-质谱法(检出限: 0.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[7]</sup>; 0.10  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[12]</sup>; 0.05  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[13]</sup>; 0.25  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[14]</sup>)、气相色谱-质谱法(检出限: 0.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[7]</sup>; 1.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[9]</sup>; 2.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[15, 16]</sup>)、高效液相色谱法(检出限: 0.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[7]</sup>)和酶联免疫吸附法(检出限: 0.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[7]</sup>)等 4 种常规的检测方法。其中采用液相色谱-质谱法或气相色谱-质谱法测定克伦特罗药物的残留量时, 检出限却大有不同, 分析其原因包括很多方面, 主要是因液相/气相色谱条件(色谱柱、流动相、流速、柱温、进样量等)、前处理方法(经过离子交换固相萃取柱净化所得检出限更低)等的不同导致检出限含量不同。

国家标准制定莱克多巴胺的检测方法也分为 4 种, 即液相色谱-质谱法(检出限: 0.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[8]</sup>; 0.10  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[12]</sup>; 0.5

$\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[17]</sup>; 0.25  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[18]</sup>)、气相色谱-质谱法(检出限: 猪肉与肝: 0.005  $\text{mg}/\text{kg}$ 、猪尿与牛尿: 0.002  $\text{mg}/\text{kg}$ <sup>[19]</sup>; 2.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[8]</sup>)、高效液相色谱法(检出限: 0.002  $\text{mg}/\text{kg}$ <sup>[17]</sup>)和酶联免疫吸附法(检出限: 猪肉: 1.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、猪肝: 1.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、猪肾: 1.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[20]</sup>)等。在检测莱克多巴胺药物残留时, 与克伦特罗药物残留检测方法显示的情况一样, 采用液相色谱-质谱法或气相色谱-质谱法检测的结果, 因仪器设备的型号、色谱条件、操作人员以及操作环境的差异而导致检出限不同。

目前我国尚未建立独立的与沙丁胺醇相关的国家标准检测方法, 而是采用  $\beta$ -受体激动剂残留的检测方法进行测定, 方法主要包括液相色谱-质谱法(检出限: 0.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[8]</sup>; 0.10  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[12]</sup>; 0.05  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[13]</sup>; 0.25  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[18]</sup>)、气相色谱-质谱法(检出限: 1.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[8]</sup>)。目前还没有建立高效液相色谱法、酶联免疫吸附法等一些其他的检测方法。

综上所述, 上述方法中液相色谱-质谱法、气相色谱-质谱法、高效液相色谱法等检测方法具有检测精确度高、专属性好, 选择性强, 分辨率高, 灵敏度高, 检测限低, 且假阳性率低、重现性好等优点, 但是样品前处理周期长、操作复杂、耗时费力、费用高、对仪器设备要求较高、需要专业人士操作等问题, 而且此类方法也不适用于现场监督检查。酶联免疫吸附法操作简单, 对仪器设备的要求不高, 费用低, 适用于大批量样品的快速初步筛选, 但也存在一定的问题, 即试验的重现性与特异性较高液相色谱法差, 易出现假阴性或假阳性。

## 3 “瘦肉精”类药物新型检测方法研究现状

### 3.1 克伦特罗

大量试验已证明, 盐酸克伦特罗在动物体内的残留主要集中在眼睛、毛发、肺、肝、肾及肌肉和脂肪组织<sup>[21]</sup>。其中眼睛的视网膜和脉络膜、毛发中残留最高, 因为消除最慢; 其次是肺、肝和肾; 肌肉组织和脂肪组织中的残留情况大致相当, 克伦特罗在肺、肝脏中的残留普遍高于肾脏, 且残留时间较长<sup>[22-24]</sup>。

除国家标准规定的检测方法外, 胶体金免疫层析试纸条快速检测法因其具有快速、简单、抗基质干扰强等优点, 被广泛应用于基层现场筛查工作中<sup>[25]</sup>。但是该方法在使用过程中也有一定不足, 检测结果大部分是通过目测检测线显色条带的有无进行结果判定(检测限: 1  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), 多局限于定性或半定量<sup>[26]</sup>。根据胶体金免疫层析试纸法的缺陷, Wang 等<sup>[27]</sup>基于转换荧光粉(UCP)开发了一种超灵敏的免疫层析传感器(ICA)用于定量检测盐酸克伦特罗(CL), 该方法可在 10 min 内完成样品的检测, 且视觉检出限低于 0.1  $\text{ng}/\text{mL}$ , 研究表明该方法对现场检测克伦特罗药物及其他一些非法使用的药物实用性较强。同时, 李超辉等<sup>[28]</sup>建立了基于 T/C 比值的胶体金免疫层析法快速定量检测猪肉中克伦特罗残留的新方法, 与传统 ELISA 方法比对, 胶体

金免疫层析法与其具有较好的相关性( $R^2=0.9136$ )。此外, Tang 等<sup>[29]</sup>通过共价印记法合成克伦特罗分子印迹聚合物,并结合傅里叶紫外光谱、扫描电子显微镜等测定猪肉和饮用水样品中的克伦特罗含量,结果表明合成的分子印迹聚合物具有快速吸附及较强的特异性识别能力,该方法适用于猪肉与水样品中克伦特罗含量的检测。一些学者通过采用表面等离子体共振成像光谱检测技术检测牛血清蛋白中的克伦特罗含量<sup>[30,31]</sup>,采用一种敏感的电化学传感器与磺化石墨烯表/氧功能化多壁碳纳米管修饰电极结合检测动物肝脏中的克伦特罗含量<sup>[32,33]</sup>,以及 Xu 等<sup>[34]</sup>基于荧光共振能量转换使用荧光团功能化金纳米粒子对克伦特罗进行荧光检测。还有一些学者研究通过液相色谱-串联质谱(LC-MS/MS)法测定动物毛发中克伦特罗含量,结果显示该药物的检出限和定量限分别为 0.32 ng/g、0.36 ng/g<sup>[35,36]</sup>。

### 3.2 莱克多巴胺

与其他 $\beta$ -兴奋剂一样,当莱克多巴胺的用量达到临床用量的 5~10 倍时,具有促进营养重分配、促进家禽肌肉生长、降低脂肪含量、增加瘦肉产量等作用<sup>[37]</sup>。但实验证明,莱克多巴胺会在动物脏器中蓄积残留,可通过食物链进入人体,将对食用者的安全带来隐患<sup>[38]</sup>。目前,世界各国对肉及肉制品中是否可以含有定量的莱克多巴胺药物出现分歧,该类物质受到 160 多个国家的限制或禁用,其中 133 个国家禁用肉类产品中检测出此类物质,主要包括中国、俄罗斯以及欧盟成员国;而其余 27 个国家(如日本、美国、加拿大、韩国等)则认为可安全食用含莱克多巴胺类药物的肉品<sup>[33]</sup>。Nino 等<sup>[39]</sup>研究表明,我国出口欧盟国家与俄罗斯的肉及肉制品受莱克多巴胺药物残留量的限制,同时分析得免疫学技术适用于饲料加工厂进料检测,但是若有可疑结果时需要采用气相色谱-质谱法、液相色谱-串联质谱法、超高效液相色谱法等具有高灵敏度的检测方法进行验证。除常规方法外,为克服现有国家标准检测方法的一些不足,研究学者们根据实际需要,研究出一些不同的可以用来检测莱克多巴胺药物残留量的检测方法。Xiao 等<sup>[40]</sup>通过虚拟模板印迹固相萃取耦合联用表面增强拉曼光谱快速分析法测定猪组织(猪肉与猪肾)中的莱克多巴胺含量,该方法的检出限范围为 3.1~4.3  $\mu\text{g/L}$ ,回收率 72.4%~79.7%,结果显示该方法灵敏性、选择性较好,对复杂样品中 $\beta$ -受体激动剂的微量元素定量分析具有很好的潜力。Chen 等<sup>[41]</sup>利用生物聚合物偶联和磁性环糊精建立 QCM 免疫快速检测莱克多巴胺,该方法的检出限为 0.01 ng/mL,与酶联免疫吸附法比较,此方法的回收率范围为 92.3%~110%,由于其灵敏度高、选择性好,实现了饲料样品中莱克多巴胺的量化,并已成为潜在的提高食品安全性的现场筛查工具。此外还有学者通过基于碳纳米管和氧化锡的一

种新的伏安传感器<sup>[42]</sup>和使用碳纳米管膜修饰电极<sup>[43]</sup>来检测样品中的莱克多巴胺。也有学者对羊、猪毛发、尿液中莱克多巴胺残留含量的检测方法进行研究<sup>[44-47]</sup>。

### 3.3 沙丁胺醇

沙丁胺醇常被用作盐酸克伦特罗的替代品,也因与克伦特罗药物的副作用类似,被国家明令禁止作为饲料添加剂用于饲养业<sup>[48]</sup>。除国家标准检测方法气相色谱-质谱法和液相色谱-串联质谱法外,目前国内外学者正在研究与沙丁胺醇药物相关的检测方法。吴巧丽等<sup>[49]</sup>采用胶体金免疫层析技术快速检测出猪肉等组织和饲料试样中沙丁胺醇(低限浓度为 2 ng/mL),与盐酸克伦特罗的交叉反应率为 2.67%,且试验在 3 min 内完成,肉眼可判断结果,本检测方法检测沙丁胺醇,灵敏度高,特异性好,可用于现场的快速检测和筛查。Lin 等<sup>[50]</sup>使用混合型纳米管同时测定猪肉样本中莱克多巴胺和沙丁胺醇,其最低检出限分别为 0.05  $\mu\text{mol/L}$  和 0.1  $\mu\text{mol/L}$ ,回收率分别为 98.7%和 97.1%。Rajkumar 等<sup>[51]</sup>用聚牛磺酸氧化锆纳米粒子修饰电极的电化学检测猪肉和人体尿液样本中莱克多巴胺和沙丁胺醇。由此可知,在建立沙丁胺醇快速检测方法时,还需要考虑克伦特罗药物的交叉干扰与方法对莱克多巴胺药物的适用性。

## 4 存在问题

常规的检测方法如气相色谱-串联质谱法、液相色谱-质谱法、超高效液相色谱-质谱法等,此类方法的优点在于精确度高、专属性好,选择性强,分辨率高,灵敏度高,检测限低,且假阳性率低、重现性好,但是也存在一些弊端:(1)样品前处理比较繁琐,处理时间长、要求人员操作熟练程度高、需要专业人士进行操作等,且无法及时获得样品的检测结果;(2)由于人员操作差异、仪器设备的型号不同导致色谱条件不同,从而使检出限大小不同;(3)外标法和内标法定量精确度具有差异。

除常规的检测方法外,目前比较先进的检测方法,多数与生物学结合,具有精确、先进、新颖等优点。方法繁多,琳琅满目,而且此类方法多数操作难度大,专业性较强,费用高等,真正应用时,还需要结合实际情况慎重考虑。此外,目前一些先进的检测方法主要针对的对象为猪肉和水,然而,在实际畜牧饲养业中,促生长类药物的使用往往覆盖整个畜类养殖业,包括猪、牛、羊、兔等动物,而且不同畜类动物的不同部位含量和测定方法也具有一定的差别,由此说明此类新检测方法的适用范围具有一定的局限性。

从检测方法的先进程度和发展前景看,在常规检测方法与新方法中,建议建立“瘦肉精”类药物拉曼快速检测技术,该方法目前在我国农药残留方面已经得以广泛应用,然而在肉类食品中却尚未有报道。

## 5 结 论

由此可见,动物体内“瘦肉精”类药物残留量的检测方法很多,除常规的国家标准检测方法外,近几年陆续研究出一些新型检测方法,在众多方法中可根据不同方法的鲜明特点,发挥其长处,在饲料种植业、畜禽饲养业以及加工工业的各个环节采用不同方法,以保证检测的准确可靠;同时,也可以根据现有方法特点对其加以修饰与改进,研究出更加适合的方法。目前,已经有报道采用表面增强拉曼光谱快速分析猪组织(猪肉与猪肾)中的莱克多巴胺含量<sup>[39]</sup>,该方法在农药残留方面研究甚为广泛,在兽药残留方面尤其在“瘦肉精”类药物残留检测方法应用较少,该方法灵敏性、选择性较好,对复杂样品中 $\beta$ -受体激动剂的微量元素定量分析具有很好的潜力,建议该方法列为可开发的新方法范围加以研究。

## 参考文献

- [1] Blanca J, Muñoz P, Morgado M, *et al.* Determination of clenbuterol, ractopamine and zilpaterol in liver and urine by liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. *Anal Chim Acta*, 2005, 529(1-2): 199-205.
- [2] Bi S, Bo P, Wang T, *et al.* Investigation on the interactions of clenbuterol to bovine serum albumin and lysozyme by molecular fluorescence technique [J]. *Spectrochim Acta Part A Mol Biomol Spectrosc*, 2014, 120(4): 456-461.
- [3] 辛崇兴, 邵晔, 孟祥升, 等. 常用“瘦肉精”检测方法对比浅析[J]. *中国畜牧兽医文摘*, 2013, (7): 182-182.  
Xin CX, Shao X, Meng XS, *et al.* Contrast analyses of common“clenbuterol”detection method [J]. *Chin Anim Husb Vet*, 2013, (7): 182-182.
- [4] 路平, 肖肖, 张衍海, 等. 我国“瘦肉精”监管现状分析及对策建议[J]. *中国动物检疫*, 2011, 28(4): 4-6.  
Lu P, Xiao X, Zhang YH, *et al.* China's “clenbuterol” supervision situation analysis and countermeasures suggestions [J]. *China Anim Health Inspect*, 2011, 28(4): 4-6.
- [5] 范瑞环, 罗英娇, 周森松, 等. 浅谈基层如何进行猪“瘦肉精”残留检测[J]. *广东畜牧兽医科技*, 2014, 39(1): 23, 27.  
Fan RH, Luo YJ, Zhou SS, *et al.* Discussion on how to “clenbuterol” residues detection in pig [J]. *Guangdong J Anim Vet Sci*, 2014, 39(1): 23, 27.
- [6] 张瑞. 三种瘦肉精GC/MS法检测技术研究及应用[D]. 南宁: 广西大学, 2012.  
Zhang R. Research of detection technology of three kinds of clenbuterol by GC/MS and application [D]. Nanning: Guangxi University, 2012.
- [7] GB/T 5009.192-2003 动物性食品中克伦特罗残留的测定[S].  
GB/T 5009.192-2003 Determination of clenbuterol residues in animal food [S].
- [8] GB/T 22286-2008 动物源性食品中多种 $\beta$ -受体激动剂残留量的测定.液相色谱串联质谱法[S].  
GB/T 22286-2008 Determination of residual amounts of  $\beta$ -agonists in animal derived foods by liquid chromatography mass spectrometry [S].
- [9] 中华人民共和国国家标准. 农业部 1031 号公告-3-2008 猪肝和猪尿 $\beta$ -受体激动剂残留检测. 气相色谱-质谱法[S].  
National standard of the people's Republic of China. The agriculture department announcement No.1031-3-2008 Pig liver and urine  $\beta$ -agonist residues detection by gas chromatography mass spectrometry [S].
- [10] 李超辉, 陈雪岚, 郭亮, 等. 胶体金免疫层析法定量检测猪肉中克伦特罗[J]. *食品与发酵工业*, 2013, 39(4): 167-172.  
Li CH, Chen XL, Guo L, *et al.* Development of a colloidal gold immunochromatographic assay for rapid and quantitative detection of clenbuterol residues in pork [J]. *Food Ferment Ind*, 2013, 39(4): 167-172.
- [11] Huy BT, Seo MH, Zhang X, *et al.* Selective optosensing of clenbuterol and melamine using molecularly imprinted polymer-capped CdTe quantum dots [J]. *Biosens Bioelectron*, 2014, 57C(10): 310-316.
- [12] GB/T 21313-2007 动物源性食品中 $\beta$ -受体激动剂残留检测方法. 液相色谱-质谱法[S].  
GB/T 21313-2007 Detection method for beta receptor agonist residues in animal derived foods by liquid chromatography mass spectrometry [S].
- [13] SNT 1924-2011 进出口动物源食品中克伦特罗、莱克多巴胺、沙丁胺醇和特布他林残留量的测定. 液相色谱-质谱法[S].  
SNT 1924-2011 The food of animal origin for import and export of clenbuterol, ractopamine, salbutamol and terbutaline residues determination by liquid chromatography mass spectrometry [S].
- [14] 中华人民共和国国家标准. 农业部 1025 号公告-18-2008 动物源性食品中 $\beta$ -受体激动剂残留检测. 液相色谱-串联质谱法[S].  
National standard of the people's Republic of China. The agriculture department announcement No.1025-18-2008 Detection of  $\beta$ -agonists residues in animal derived foods by liquid chromatography mass spectrometry [S].
- [15] NYT 468-2006 动物组织中盐酸克伦特罗的测定.气相色谱-质谱法[S].  
NYT 468-2006 Determination of clenbuterol hydrochloride in animal tissues by gas chromatography mass spectrometry [S].
- [16] 中华人民共和国国家标准. 农业部 958 号公告-8-2007 牛可食性组织中克伦特罗残留检测方法. 气相色谱-质谱法[S].  
National standard of the people's Republic of China. The agriculture department announcement No.958-8-2007 Detection methods of clenbuterol residue in cattle edible tissues by gas chromatography mass spectrometry [S].
- [17] 中华人民共和国国家标准. 农业部 958 号公告-3-2007 动物源性食品中莱克多巴胺. 液相色谱-质谱法[S].  
National standard of the people's Republic of China. The agriculture department announcement No.958-3-2007 Ractopamine in animal derived food by liquid chromatography mass spectrometry [S].
- [18] 中华人民共和国国家标准. 农业部 1025 号公告-18-2008 动物源性食品中 $\beta$ -受体激动剂残留检测. 液相色谱-质谱法[S].  
National standard of the people's Republic of China. The agriculture department announcement No.1025-18-2008 Determination of residual  $\beta$ -agonists in animal derived foods by liquid chromatography mass spectrometry [S].
- [19] 中华人民共和国国家标准. 农业部 958 号公告-4-2007 动物组织及动物尿液中莱克多巴胺残留检测方法. 气相色谱-质谱法[S].  
National standard of the people's Republic of China. The agriculture department announcement No.1025-6-2008 Detection of ractopamine

- residues in animal tissues and animal urine by gas chromatography mass spectrometry [S].
- [20] 中华人民共和国国家标准. 农业部 1025 号公告-6-2008 动物性食品中莱克多巴胺残留检测. 酶联免疫吸附法[S].  
National standard of the people's Republic of China. The agriculture department announcement No.1025-6-2008 Detection of ractopamine residues in animal food by ELISA [S].
- [21] 孙来玉, 尹莉, 姚婷, 等. 瘦肉精克伦特罗残留检测免疫芯片技术的研究[J]. 药物分析杂志, 2014, (5): 859–864.  
Sun LY, Yin L, Yao T, *et al.* Research on immunochip techniques for residue detection of clenbuterol [J]. *Chin J Pharm Anal*, 2014, (5): 859–864.
- [22] Pfaffl MW, Ginkel LAV, Mcevoy JD, *et al.* Development of clenbuterol reference materials: lyophilized bovine eye samples free of clenbuterol (CRM 673) and containing clenbuterol (CRM 674). Part 2: Certification [J]. *Fresenius J Anal Chem*, 2001, 371(8): 1092–1097.
- [23] Zhang Y, Chen YN, Zheng XZ, *et al.* Tissue distribution of clenbuterol at toxic and therapeutic dosage in rabbits [J]. *Chin J Hospital Pharm*, 2007, 27(5): 574–575.
- [24] Yan K, Fu LL, Hong XF, *et al.* Acute clenbuterol induces hypotension, atrioventricular block and cardiac asystole in the rabbit [J]. *Cardio Toxicol*, 2013, 13(1): 85–90.
- [25] Ming-Zhou Z, Min-Zi W, Zong-Lun C, *et al.* Development of a colloidal gold-based lateral-flow immunoassay for the rapid simultaneous detection of clenbuterol and ractopamine in swine urine [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2009, 395(8): 2591–2599.
- [26] 胡华军, 付涛, 张明洲, 等. CdTe/ZnSe 核壳量子点免疫层析试纸条检测克伦特罗的研究[J]. 分析化学, 2010, 38(12): 1727–1731.  
Hu HJ, Fu T, Zhang MZ, *et al.* Development of CdTe/ZnSe core/shell quantum dots-based lateral-flow immunoassay for rapid detection of clenbuterol [J]. *Chin J Anal Chem*, 2010, 38(12): 1727–1731.
- [27] Wang P, Wang R, Zhang W, *et al.* Novel fabrication of immunochromatographic assay based on up conversion phosphors for sensitive detection of clenbuterol [J]. *Biosens Bioelectron*, 2015, 77: 866–870.
- [28] 李超辉, 陈雪岚, 郭亮, 等. 胶体金免疫层析法定量检测猪肉中克伦特罗[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(4): 67–172.  
Li CH, Chen XL, Guo L, *et al.* Development of a colloidal gold immunochromatographic assay for rapid and quantitative detection of clenbuterol residues in pork [J]. *Food Ferment Ind*, 2003, 39(4): 167–172.
- [29] Tang Y, Lan J, Gao X, *et al.* Determination of clenbuterol in pork and potable water samples by molecularly imprinted polymer through the use of covalent imprinting method [J]. *Food Chem*, 2016, 190: 952–959.
- [30] Yao M, Wu Y, Fang X, *et al.* Spectral surface plasmon resonance imaging for the detection of clenbuterol via three-dimensional immobilization of bioprobes [J]. *Anal Biochem*, 2015, 475: 40–43.
- [31] Suherman, Morita K, Kawaguchi T. Surface plasmon resonance for detecting clenbuterol: influence of monolayer structure [J]. *Appl Surface Sci*, 2015, 332: 229–236.
- [32] Zhai H, Liu Z, Chen Z, *et al.* A sensitive electrochemical sensor with sulfonated graphene sheets/oxygen-functionalized multi-walled carbon nanotubes modified electrode for the detection of clenbuterol [J]. *Sensors* *Actuat B Chem*, 2015, 210: 483–490.
- [33] Cao X, Li H, Lian L, *et al.* A dual-responsive fluorescence method for the detection of clenbuterol based on BSA-protected gold nanoclusters [J]. *Anal Chim Acta*, 2015, 871: 43–50.
- [34] Xu J, Li Y, Guo J, *et al.* Fluorescent detection of clenbuterol using fluorophore functionalized gold nanoparticles based on fluorescence resonance energy transfer [J]. *Food Control*, 2014, 46: 67–74.
- [35] Li L, Zhang J, Tang C, *et al.* Accumulation of clenbuterol residues in the hair of Chinese simmental beef cattle during and after treatment [J]. *J Anal Toxicol*, 2013, 38(1): 52–56.
- [36] Liang X, Kai Z, Zhang J, *et al.* Ractopamine residues in beef cattle hair during and after treatment [J]. *J Anal Toxicol*, 2016, 40 (2): 153–158.
- [37] Armstrong TA, Ivers DJ, Wagner JR, *et al.* The effect of dietary ractopamine concentration and duration of feeding on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of finishing pigs [J]. *J Anim Sci*, 2004, 82(11): 3245–3253.
- [38] Barbosa J, Cruz C, Martins J, *et al.* Food poisoning by clenbuterol in Portugal [J]. *Food Addit Contam*, 2005, 22(6): 563–566.
- [39] Niño AMM, Granja R MM, Wanschel AC, *et al.* The challenges of ractopamine use in meat production for export to European Union and Russia [J]. *Food Control*, 2015, 22(6): 563–566.
- [40] Xiao X, Yan K, Xu X, *et al.* Rapid analysis of ractopamine in pig tissues by dummy-template imprinted solid-phase extraction coupling with surface-enhanced Raman spectroscopy [J]. *Talanta*, 2015, 138: 40–45.
- [41] Chen S, Pan D, Gan N, *et al.* A QCM immunosensor to rapidly detect ractopamine using bio-polymer conjugate and magnetic  $\beta$ -cyclodextrins [J]. *Sensors Actuat B Chem*, 2015, 211: 523–530.
- [42] Baytak AK, Teker T, Duzmen S, *et al.* A novel voltammetric sensor based on carbon nanotubes and nanoparticles of antimony tin oxide for the determination of ractopamine [J]. *Mater Sci Eng C*, 2016, 59: 368–374.
- [43] Liu Z, Zhou Y, Wang Y, *et al.* Enhanced oxidation and detection of toxic ractopamine using carbon nanotube film-modified electrode [J]. *Electrochim Acta*, 2012, 74(4): 139–144.
- [44] Suo D, Zhao G, Wang R, *et al.* Determination of ractopamine in animal hair: application to residue depletion in sheep and residue monitoring [J]. *J Chromatogr B Anal Technol Biomed Life Sci*, 2014, 972: 124–128.
- [45] Wu J, Liu X, Peng Y. Determination of ractopamine in pig hair using liquid chromatography with tandem mass spectrometric detection [J]. *J Pharm Toxicol Methods*, 2014, 69(3): 211–216.
- [46] Wang H, Yan H, Shi M, *et al.* An enzyme-assisted and nitrogen-blowing salt-induced solidified floating organic droplet microextraction for determination of clenbuterol and ractopamine in swine feed via capillary electrophoresis [J]. *Anim Feed Sci Technol*, 2015, 209: 257–267.
- [47] Liu Z, Zhou Y, Wang Y, *et al.* Enhanced oxidation and detection of toxic ractopamine using carbon nanotube film-modified electrode [J]. *Thermochim Acta*, 2000, 345(1): 25–30.
- [48] 张凯, 张军民, 赵青余, 等. 沙丁胺醇在动物体内代谢残留规律及监管技术研究进展[J]. 中国食物与营养, 2015, 21(5): 9–13.  
Zhang K, Zhang JM, Zhao QY, *et al.* Research advancement of residue, depletion and monitoring technology of salbutamol in animal body [J]. *Food Nutr in China*, 2015, 21(5): 9–13.
- [49] 吴巧丽, 叶春生. 胶体金免疫层析技术快速检测沙丁胺醇残留[J]. 现

代食品科技, 2012, 28(11): 1595-1599.

Wu QL, Ye CS. Colloidal gold immunochromatographic assay for residual salbutamol [J]. Mod Food Sci Technol, 2012, 28(11): 1595-1599.

[50] Lin KC, Hong CP, Chen SM. Simultaneous determination for toxic ractopamine and salbutamol in pork sample using hybrid carbon nanotubes [J]. Sensors Actuat B Chem, 2013, 177(2): 428-436.

[51] Rajkumar M, Li YS, Chen SM. Electrochemical detection of toxic ractopamine and salbutamol in pig meat and human urine samples by using poly taurine/zirconia nanoparticles modified electrodes [J]. Colloids Surfaces B Biointerfaces, 2013, 110(10): 242-247.

(责任编辑: 李振飞)

## 作者简介



盖圣美, 讲师, 主要研究方向为食品安全与分析。

E-mail: gaishengmei@126.com



刘登勇, 博士, 副教授, 主要研究方向为肉品质量安全控制。

E-mail: jz\_dyliu@126.com