

食品中“新型瘦肉精”的检测方法研究进展

曹金博^{1,2}, 王耀^{1*}, 李燕虹^{1,2}, 孟继秋¹, 胡晓飞², 邓瑞广², 李兆周¹, 陈秀金¹

(1.河南科技大学食品与生物工程学院/食品加工与安全国家级实验教学示范中心/食品原料河南省工程技术研究中心,河南洛阳 471023;2.河南省农业科学院农业部动物免疫学重点实验室/河南省动物免疫学重点实验室,河南郑州 450002)

摘要 对苯乙醇胺 A、赛庚啉、可乐定、巴氯芬等常见“新型瘦肉精”药物的检测方法进行综述,主要有高效液相色谱法、气相色谱-质谱法、毛细管电泳法等仪器检测方法以及酶联免疫法、免疫层析法、电化学发光免疫法等免疫分析方法,为保障我国动物性食品安全提供更好的技术支持。**关键词** 新型瘦肉精;危害;检测方法

中图分类号 TS 207.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)08-0001-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.08.001



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

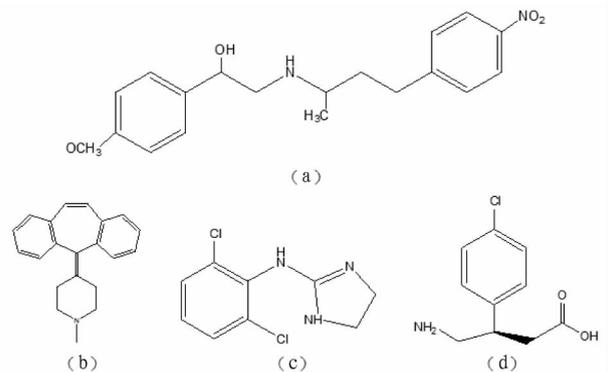
Research Progress of New Type Lean Meat Powder Detection Methods in Food**CAO Jin-bo^{1,2}, WANG Yao¹, LI Yan-hong^{1,2} et al** (1.College of Food and Bioengineering/National Demonstration Center for Experimental Food Processing and Safety Education/Henan Engineering Research Center of Food Material, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023; 2.Key Laboratory for Animal Immunology of the Ministry of Agriculture/Henan Key Laboratory of Animal Immunology, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450002)**Abstract** The detection methods of common “new type lean meat” drugs such as phenylethanolamine A, cyheptadine, clonidine and baclofen were summarized, the main detection methods include high-performance liquid chromatography, gas chromatography-mass spectrometry, capillary electrophoresis and other instrumentation methods, and immunoassay methods such as enzyme-linked immunoassay, immunochromatography, and electrochemiluminescence immunoassay, so as to provide better technical support for ensuring the safety of animal food in China.**Key words** New type lean meat powder; Harm; Detection method

瘦肉精是一类国家禁止在禽畜养殖中使用的肾上腺素受体激动剂类药物的俗称,将其添加在饲料或动物饮水中能有效促进禽畜生长,提高瘦肉率^[1]。传统的瘦肉精药物一般包括盐酸克伦特罗、莱克多巴胺、沙丁胺醇等,是目前禽畜养殖中主要监控的药物^[2-3],但近些年,随着我国食品安全监管力度的加大,一些不法分子为逃避监控开始使用一些功能类似的“新型瘦肉精”药物,如苯乙醇胺 A、赛庚啉、可乐定、巴氯芬等^[4]。农业部在 2010 年发布 1519 号公告,明确规定禁止在饲料和动物饮水中添加苯乙醇胺 A 等物质。因此,为加强动物性食品安全监控,开展“新型瘦肉精”检测方法研究尤为必要。

1 概述

“新型瘦肉精”的出现给动物性食品安全检测带来新的挑战,尤其针对苯乙醇胺 A、赛庚啉、可乐定、巴氯芬等药物的检测^[5],其结构式如图 1 所示,此类药物虽结构式各不相同,但却共同具有促生长、提高瘦肉率的作用^[6-8]。研究表明,“新型瘦肉精”类药物主要通过以下两个途径对动物体内营养素进行再分配。一是与细胞膜上的受体结合,激活 G 蛋白释放二磷酸鸟苷(GDP),GDP 与三磷酸鸟苷(GTP)结合从

而活化腺苷酸活化酶(AC),进而促进环-磷酸腺苷(cAMP)水平升高^[9]。cAMP 可对多种酶和细胞代谢进行调节,一方面活化甘油三酯酶,提高血浆脂肪酸含量,使游离脂肪酸进入肌肉组织中加强氧化作用^[10];另一方面使糖原合成酶失活,促进糖原分解,进而加快脂肪分解和蛋白质合成;二是降低脂肪细胞膜上胰岛素受体数量,使葡萄糖进入脂肪细胞的数量减少,从而降低脂肪沉积^[11]。



注: a. 苯乙醇胺 A; B. 赛庚啉; c. 可乐定; d. 巴氯芬

Note: a. Phenylethanolamin A; b. Cyheptadine; c. Clonidine; d. Baclofen

图 1 几种常见“新型瘦肉精”结构式

Fig.1 Structure of several common new types of lean meat powder

“新型瘦肉精”类药物容易在机体内蓄积,一次性大量摄入或长期摄入将会引起机体急性中毒或慢性中毒,从而导致机体系统紊乱,严重影响身体健康。大量研究表明,苯乙醇胺 A 具有呼吸毒性、心血管毒性以及神经毒性,其中毒症状主要表现为头晕、无力、颤抖、心悸等,尤其对高血压患者

基金项目 国家自然科学基金项目(31702218);国家科技支撑计划项目(20141BAD13B05);河南省自然科学基金项目(182300410038);河南省科技攻关项目(182102110445,182102310230);河南省高等学校重点科研项目(18B550001);农业部动物免疫学重点实验室开放课题(PKLA120170603);河南科技大学博士科研启动基金项目(13480062)。

作者简介 曹金博(1994—),男,河南夏邑人,硕士研究生,研究方向:食品安全检测。*通信作者,讲师,博士,从事食品安全检测研究。

收稿日期 2018-12-02

和心脏病患者来说,其中毒症状更为严重^[12];赛庚啉在体内浓度过高会引起疲劳、嗜睡、内分泌失调、抽搐等症状^[13];可乐定中毒表现为口干舌燥、心动缓慢等^[14-15];而巴氯芬则会引起恶心、头疼、呕吐、腹泻甚至抑郁等中毒症状^[16]。

2 主要检测方法

目前,“新型瘦肉精”的检测方法主要有高效液相色谱法、气相色谱-质谱法、毛细管电泳法等仪器检测方法以及酶联免疫法、免疫层析法、电化学发光免疫法等免疫分析方法。

2.1 高效液相色谱法 高效液相色谱法根据样品中各成分极性不同,在色谱柱内将其分离,分别进入检测器中进行检测,从而实现了对样品的分析^[17]。Kountourellis等^[18]采用高效液相色谱法检测尿液中盐酸赛庚啉含量,总回收率为76.16%,检测线为15 ng/mL,操作简单,灵敏度高,结果可靠。吴荷琴等^[19]建立一种高效液相色谱法用于检测动物性食品中盐酸赛庚啉,检测线为0.019~0.022 mg/kg,回收率为98%~100%,重复性RSD为5.5%($n=6$),该方法灵敏度高,重复性好,能准确检测出动物性食品中盐酸赛庚啉药物残留。樊宇飞等^[20]在高液相色谱法基础上引入二极管阵列检测器(PDA),在对饲料中苯乙醇胺A的检测中,检测线为0.06 mg/kg,回收率高于90.36%,变异系数低于5.98%,该法通过对检测部件和条件的优化,极大地降低了检测限,提高了方法的灵敏度,从而可迅速、准确检测出饲料中苯乙醇胺A药物残留。

在高效液相色谱法基础上发展起来的液相色谱-串联质谱法兼具色谱技术高效的快速分离能力以及质谱技术超高的灵敏度,可在多种物质共同存在条件下对特定物质进行定性和定量分析,且能够实现超痕量物质的最低检测。Feás等^[21]建立了一种快速检测药物样品中盐酸赛庚啉的液相色谱-串联质谱法,检测限为0.86 ng/mL,定量限为0.98 ng/mL,可用于7种不同药物制剂中盐酸赛庚啉检测分析。Mendes等^[22]采用高效液相色谱-串联质谱法测定人血浆中盐酸赛庚啉含量,将检测限降低为0.05 ng/mL,检测灵敏度大大提高。许秀琴等^[23]同样采用高效液相色谱串联质谱法测定猪毛中盐酸可乐定和盐酸赛庚啉,其检测限均为0.2 μg/kg,相对标准偏差(RSD)小于10%,该方法检测限较低,但回收率范围偏宽,为85%~110%。吴剑平等^[24]在基础方法上建立一种超高液相色谱-串联质谱法来检测猪尿中盐酸赛庚啉药物残留,检测限为0.05 μg/kg,回收率范围为90.2%~109.7%,相比于液相色谱-串联质谱法,该方法检测限更低,回收率范围有所减小,且具有更高的准确度和精密密度。

2.2 气相色谱-质谱法 气相色谱-质谱法是气相色谱分离组分后,质谱再对各组分进行定性、定量分析的一种检测方法。气相色谱分离效率高,分离能力强,而质谱技术在鉴定化合物方面非常准确,两种技术结合起来使得检测效率以及精确度更高,且可控性强,操作方便。杨正慧^[25]采用气相色谱-质谱法对食品中苯乙醇胺A进行检测,检测限为3.8 ng/mL,但当苯乙醇胺A浓度过低时,存在离子碎片相对丰度不稳定的现象,影响试验结果。Ye等^[26]采用直接浸入

式固相萃取技术与气相色谱-质谱法连用来检测猪肉中的盐酸赛庚啉,检测限为3.6 ng/g,回收率为97.4%~105.7%,与传统的方法相比,该方法检测限低、回收率范围小、成本低、检测速度快,且已经成功应用于市场上猪肉样品的分析与检测。

2.3 毛细管电泳法 毛细管电泳法根据样品中各成分之间的淌度以及分配能力,以高压电场作为驱动力,以毛细管作为分离通道,从而实现对样品的分离和分析鉴定。该方法柱效率高,分离速度快,选择性强,样品和试剂消耗少。李志业等^[27]建立高效毛细管电泳法测定盐酸赛庚啉片中盐酸赛庚啉含量。该方法采用熔融石英毛细管柱,醋酸盐作为运行缓冲液,其检测限为0.002 g/L,最低定量限为0.007 g/L,该方法重复性较好且操作简便。曹丽伟等^[28]通过毛细管电泳法结合激光诱导荧光技术建立一种新的联合检测方法来检测血清中的巴氯芬含量,检测限为 6×10^{-10} mol/L,回收率为95.8%~101.0%,该方法引入荧光素进行标记,使得灵敏度和检测效率大大高。

2.4 酶联免疫法 酶联免疫法(Enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)是一种可以进行定性和定量分析的免疫分析方法,在食品安全检测领域占有非常重要的地位^[29-30]。利用ELISA方法对小分子危害物进行检测时多采用其间接竞争模式,如图2所示,它利用抗原对抗体的特异性结合能力以及酶对底物的催化显色作用,最后根据颜色反应深浅和酶标仪所测吸光度值来进行定量或定性分析,操作简单、灵敏度高、成本低廉且不需要专业的操作人员以及昂贵的仪器设备,可实现现场大批量样品的快速检测^[31],目前在一些“新型瘦肉精”药物的快速检测中已经初步用到了此项技术。Wang等^[32]研发了一种间接竞争ELISA试剂盒用于检测猪肉样品中苯乙醇胺A残留,该试剂盒检测限低于0.008 μg/kg,半数抑制浓度(IC₅₀)为0.32 ng/mL,已成功应用于屠宰后禽畜肉样的检测。顾文龙等^[33]采用ELISA方法测定了猪尿中赛庚啉残留,检测限为169 ng/L,回收率为85.7%~95.4%,相对标准偏差为0.87%~3.54%,该方法重复性好,回收率高。万宇平等^[34]同样采用ELISA方法测定了动物组织中赛庚啉残留,IC₅₀为0.23 μg/L,检测限为0.3 μg/L,但回收率范围偏宽,为85.1%~114.5%。黄士新等^[35]基于单克隆抗体建立一种测定动物尿液中赛庚啉留量的间接ELISA检测试剂盒,该试剂盒检测限为0.158 μg/L,IC₅₀为0.316 μg/L,回收率在80%~110%,该试剂盒不但操作简便,而且能够完成多个样品的同时检测。

2.5 胶体金免疫层析法 胶体金免疫层析法是基于抗原抗体的特异性结合和胶体金标记技术建立的一种快速免疫分析检测方法^[36]。胶体金免疫层析试纸主要由样品垫、胶体金结合垫、检测线、质控线、吸水垫等组成,其结构如图3所示。在对样品进行检测时,可根据层析膜上检测线和质控线呈现的特征颜色判定结果。与ELISA相比,该方法敏感度高,对操作人员要求低,且不需要昂贵的仪器设备,而且可实现多残留检测^[37]。聂雯莹等^[38]基于单克隆抗体研制了快速检

测苯乙醇胺 A 残留的胶体金免疫层析试纸,试纸检测限为 $5 \mu\text{g/L}$,假阳性率和假阴性率均为 0,且在在对动物尿样进行检测时,检测结果和 ELISA 测定结果没有差异,但回收率范围偏大,为 $75\% \sim 105\%$ 。Dai 等^[39]同样利用单克隆抗体研制了一种胶体金免疫层析试纸,在对猪尿中的苯乙醇胺 A 进行检测时,该试纸的 IC_{50} 为 0.52 ng/mL ,检测限为 0.188 ng/mL ,定

量为 0.263 ng/mL ,该试纸在特异性和灵敏度方面均有所提高。李明心^[40]结合表面增强拉曼光谱和胶体金免疫层析技术研发了一种新型的免疫层析试纸,在对动物组织尿液中苯乙醇胺 A 进行检测时, IC_{50} 为 0.06 ng/mL ,检测限为 0.32 pg/mL ,相对于其他免疫分析方法,灵敏度提高了 $1 \sim 3$ 个数量级。

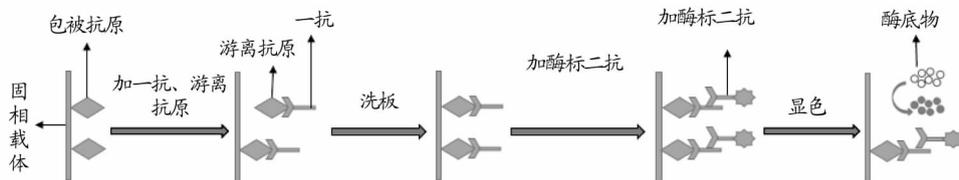


图2 间接竞争 ELISA 原理

Fig.2 Schematic diagram of indirect competitive ELISA

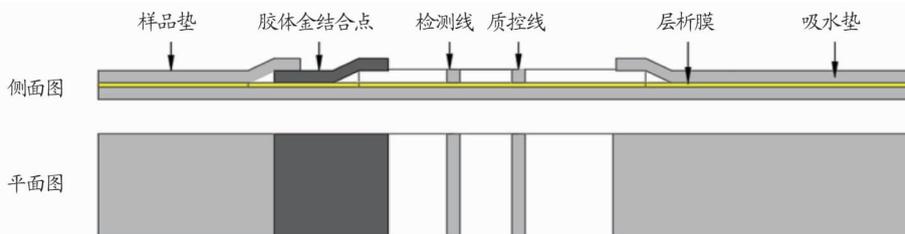


图3 胶体金免疫层析试纸结构图

Fig.3 Structure diagram of immunochromatographic strip

2.6 电化学发光免疫法 电化学发光免疫法运用了免疫分析方法和电化学发光检测技术^[36]。它与酶联免疫吸附实验的不同之处在于将电化学发光反应试剂标记在抗原或抗体上,通过与待检靶标物质发生免疫反应所产生的前后电化学发光信号的变化,并借助相关仪器放大显示出来,以此来实现灵敏特异检测。该方法无放射性污染,操作简单,特异性强,灵敏度高^[41]。与酶联免疫吸附实验相比,其灵敏度有所提高,与胶体金免疫层析法相比,其结果表现更加直观,目前,已经广泛应用于临床诊断、环境监测、药物分析等领域^[42]。济南大学张勇等^[43]研发了一种无标记电化学发光免疫传感器,在对动物性食品中苯乙醇胺 A 残留进行检测时,回收率为 $93.5\% \sim 105\%$,结果相对偏差 (RSD) 小于 3.3% ,灵敏度高、特异性强、结果准确。汤庆会^[44]以 L-半胱氨酸为稳定剂,在水相中合成 CdSe 量子点,所构建的电化学发光免疫传感器对样品中苯乙醇胺 A 残留进行检测时,检测线为 0.015 ng/mL ,线性相关系数为 0.9976 ,原理如图 4 所示。而闫盼盼^[45]则以巯基乙酸为稳定剂,所构建的电化学发光免疫传感器同样对食品中的苯乙醇胺 A 残留进行检测时,最低检测限为 0.0084 ng/mL ,相比汤庆会等所构建的方法检测限降低了一半,并且具有更好的稳定性和重现性。

3 小结与展望

“新型瘦肉精”的出现以及在禽畜养殖中的违规滥用,导致其在动物源性食品中大量的残留,严重威胁人体健康,因此,相关监管部门必须加大对这类药物的监管力度。同时为提高检测效率以及检测的精准度,建立快速、灵敏、特异的“新型瘦肉精”检测方法尤为必要。目前,高效液相色谱法、

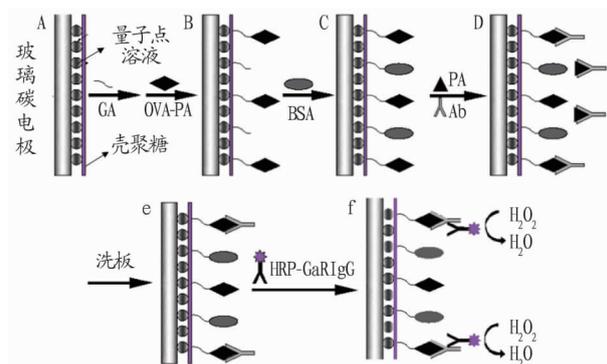


图4 电化学发光免疫传感器原理

Fig.4 Schematic diagram of electrochemiluminescence immunosensor

气相色谱-质谱法等仪器检测方法已经成熟应用于“新型瘦肉精”残留检测,且因其选择性强、分辨率高、假阳性低等优点而被广泛应用,但存在仪器昂贵、样品前处理复杂、不适合大批量现场筛查等局限,已不能满足实际现场监控的需要。相比之下,免疫分析方法利用高亲和力和抗体对抗原进行特异性识别,灵敏度高、特异性强且可实现现场筛选和大批量样品快速分析检测。但免疫分析方法容易出现假阴性与假阳性结果,因此在特异性抗体的制备方面还需进一步优化和完善。随着免疫分析方法的发展,现已形成包括酶联免疫分析、胶体金免疫分析、化学发光免疫分析、荧光免疫分析、放射免疫分析等在内的免疫分析体系,而今后针对“新型瘦肉精”免疫分析方法的研究也将不断深入,为我国动物源性食品安全提供更好的技术支撑。

参考文献

- [1] 张改平,王选年,肖肖.瘦肉精的毒害作用及其试纸快速检测技术[J].中国动物检疫,2011,28(5):1-6.
- [2] BI S Y, PANG B, WANG T J, et al. Investigation on the interactions of clenbuterol to bovine serum albumin and lysozyme by molecular fluorescence technique[J]. Spectrochimica acta part A: Molecular & biomolecular spectroscopy, 2014, 120(24): 456-461.
- [3] YANG J W, WANG Z N, ZHOU T, et al. Determination of cyproheptadine in feeds using molecularly imprinted solid-phase extraction coupled with HPLC[J]. Journal of chromatography B, 2015, 990: 39-44.
- [4] KONISHI H, IGA I, NAGAI K. Underestimation of rat serum vancomycin concentrations measured by an enzyme-multiplied immunoassay technique and the strategy for its avoidance[J]. Drug testing & analysis, 2014, 6(4): 350-356.
- [5] CHEN D, YANG M, ZHENG N J, et al. A novel aptasensor for electrochemical detection of ractopamine, clenbuterol, salbutamol, phenylethanolamine and procaterol[J]. Biosensors & bioelectronics, 2016, 80: 525-531.
- [6] PAPICH M G. Cyproheptadine hydrochloride [M]//PAPICH M G. Saunders handbook of veterinary drugs. 4th ed. St. Louis: W. B. Saunders, 2016: 197-198.
- [7] FIELDING S, LAL H. Clonidine: New research in psychotropic drug pharmacology[J]. Medicinal research reviews, 1981, 1(1): 97-123.
- [8] HEETLA H W, STAAL M J, PROOST J H, et al. Clinical relevance of pharmacological and physiological data in intrathecal baclofen therapy[J]. Archives of physical medicine & rehabilitation, 2014, 95(11): 2199-2206.
- [9] 刘佳. β -受体激动剂在肉牛体内代谢及残留规律研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2017.
- [10] 庄宏, 杨红建, 曹兵海. 盐酸克伦特罗在牛体不同组织中的代谢和残留分析综述[J]. 中国农业大学学报, 2010, 15(2): 35-39.
- [11] 汤超华, 张军民, 李励军. 莱克多巴胺在反刍动物体内代谢及残留规律研究进展[C]//中国毒理学会兽医毒理学与饲料毒理学学术讨论会暨兽医毒理专业委员会第4次全国代表大会会议论文集. 北京: 中国毒理学会, 2012.
- [12] MIYAZAKI T, NAKATA K, NISHIMURA T, et al. Identification of 2-phenylethanol with a rose-like odor from anal sac secretions of the small Indian mongoose (*Herpestes auropunctatus*) [J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2018, 82(2): 232-237.
- [13] VON MÜHLENDAHL K E, KRIENKE E G. Toxicity of cyproheptadine. Side effects and accidental overdose[J]. Monatsschrift für Kinderheilkunde, 1978, 126(3): 123-126.
- [14] 王汉斌, 熊锡山, 孙成文, 等. 北京怀柔“4.23”急性可来定中毒事件临床救治体会[J]. 中国科学: 生命科学, 2011, 41(10): 1043-1047.
- [15] SEGER D L. Clonidine toxicity revisited[J]. Journal of toxicology clinical toxicology, 2002, 40(2): 145-155.
- [16] 王霞, 康海燕. 中枢性肌松剂巴氯芬临床应用及不良反应[J]. 临床医学, 2011, 31(2): 114-115.
- [17] WALDRON K W, PARR A J, NG A, et al. Cell wall esterified phenolic dimers: Identification and quantification by reverse phase high performance liquid chromatography and diode array detection[J]. Phytochem Anal, 1996, 7(6): 305-312.
- [18] KOUNTTOURELLIS J E, OBETE K O. Reversed-phase high performance liquid chromatographic determination of cyproheptadine from urine by solid-phase extraction[J]. J Chromatogr B, 1995, 664(2): 468-471.
- [19] 吴荷琴, 陈朝霞. 高效液相色谱法测定盐酸赛庚啶的有关物质[J]. 药学实践杂志, 2017, 35(1): 60-63, 69.
- [20] 樊宇飞, 苏晓鸡, 刘萌. 超高效液相色谱测定猪配合饲料中苯乙醇胺 A 的研究[J]. 中国畜牧兽医, 2013, 40(5): 225-228.
- [21] FEÁS X, YE L, HOSSEINI S V, et al. Molecularly imprinted polyallylamine hydrogels: Another reassessment[J]. Polymer international, 2010, 59(1): 11-15.
- [22] MENDES G D, ARRUDA A, CHEN L S, et al. Quantification of cyproheptadine in human plasma by high-performance liquid chromatography coupled to electrospray tandem mass spectrometry in a bioequivalence study[J]. Biomedical chromatography: BMC, 2015, 26(1): 129-136.
- [23] 许秀琴, 杨挺, 赵健, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定猪毛中盐酸可来定和盐酸赛庚啶[J]. 中国兽药杂志, 2015, 49(7): 47-51.
- [24] 吴剑平, 张鑫, 顾欣, 等. 分散液相微萃取/超高效液相色谱-串联质谱法检测猪尿中盐酸赛庚啶残留量的研究[J]. 分析测试学报, 2013, 32(7): 834-839.
- [25] 杨正慧. 气相色谱-质谱法检测 β -受体激动剂残留量的方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2012.
- [26] YE D R, WU S S, XU J Q, et al. Rapid determination of clenbuterol in pork by direct immersion solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of chromatographic science, 2016, 54(2): 112-118.
- [27] 李志业, 张军. 高效毛细管电泳法测定盐酸赛庚啶的含量[J]. 郑州大学学报(医学版), 2009, 44(4): 849-850.
- [28] 曹丽伟, 胡杨. 毛细管电泳分离-激光诱导荧光检测血清中的巴氯芬[J]. 光谱实验室, 2011, 28(4): 1659-1662.
- [29] QU X L, LIN H, DU S Y, et al. Development of a nano-gold capillary immunochromatographic assay for rapid and semi-quantitative detection of Clenbuterol residues[J]. Food analytical methods, 2016, 9(9): 2531-2540.
- [30] LI Z Z, WANG Y, LI D M, et al. Development of an indirect competitive enzyme-linked immunosorbent assay for screening ethopabate residue in chicken muscle and liver[J]. RSC Advance, 2017, 7: 36072-36080.
- [31] LIU Z, ZHI A M, ZHAO L N, et al. Development of an ELISA for detection of Sudan I in food samples using monoclonal antibody[J]. Food and agricultural immunology, 2014, 25(4): 556-568.
- [32] WANG X M, LIUFU T L, BELOGLAZOVA N V, et al. Development of a competitive indirect enzyme-linked immunosorbent assay for screening phenylethanolamine A residues in pork samples[J]. Food analytical methods, 2016, 9(11): 3099-3106.
- [33] 顾文龙, 王静, 端礼钦, 等. 酶联免疫法检测猪尿中赛庚啶[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2013(23): 80-81.
- [34] 万宇平, 罗晓琴, 郝小妹, 等. 动物组织中赛庚啶竞争酶联免疫法的建立[J]. 中国酿造, 2014, 33(10): 130-132.
- [35] 黄土新, 李丹妮, 顾欣, 等. 赛庚啶 ELISA 检测试剂盒的研制及其性能评价[J]. 中国兽药杂志, 2016, 52(11): 44-48.
- [36] DZANTIEV B B, BYZOVA N A, URUSOV A E, et al. Immunochromatographic methods in food analysis [J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2014, 55(55): 81-93.
- [37] ZHANG G P, WANG X N, YANG J F, et al. Development of an immunochromatographic lateral flow test strip for detection of β -adrenergic agonist Clenbuterol residues[J]. Journal of immunological methods, 2006, 312(1/2): 27-33.
- [38] 聂雯莹, 罗晓琴, 李金超, 等. 动物尿液中苯乙醇胺 A 胶体金快速检测方法建立[J]. 中国农业科学, 2015, 48(19): 3931-3940.
- [39] DAI M Y, GONG Y F, LIU A M, et al. Development of a colloidal gold-based lateral-flow immunoassay for the rapid detection of phenylethanolamine A in swine urine[J]. Analytical methods, 2015, 7(10): 4130-4137.
- [40] 李明心. 基于贵金属纳米颗粒的表面增强拉曼散射免疫层析分析方法的研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2015.
- [41] 付志锋, 魏伟, 李翠芳, 等. 电化学发光免疫传感技术在生物药物分析中的研究进展[J]. 中国科学: 化学, 2011, 41(5): 773-784.
- [42] WANG H J, YUAN R, CHAI Y Q, et al. An ultrasensitive peroxydisulfate electrochemiluminescence immunosensor for *Streptococcus suis* serotype 2 based on l-cysteine combined with mimicking bi-enzyme synergetic catalysis to in situ generate coreactant[J]. Biosensors & bioelectronics, 2013, 43(15): 63-68.
- [43] 张勇, 马洪敏, 魏琴, 等. 无标记电致化学发光瘦肉精免疫传感器的制备方法和应用: CN104502429A [P]. 2015-04-08.
- [44] 汤庆会. 低毒性量子点和 CdSe@SiO₂ 的合成及用于电化学发光免疫检测小分子物质[D]. 苏州: 苏州大学, 2015.
- [45] 闫盼盼. 基于量子点和胶体金电化学发光免疫传感器的构建及应用[D]. 苏州: 苏州大学, 2014.