

动物源性食品中非法使用药物残留检测方法的 研究进展

张振宇¹, 李明^{1*}, 柴磊²

(1. 济源市畜产品质量检测检验中心, 济源 459000; 2. 焦作市畜产品质量安全监测中心, 焦作 45400)

摘要: 动物性食品可为人类提供丰富的蛋白质、脂肪、矿物质和维生素, 是人类饮食中不可缺少的部分。随着人类生活水平的逐步提高, 人们对动物源性食品的安全问题也越来越重视, 而非法使用药物残留也一直是重要的影响因素之一。药物残留不仅会给消费者带来潜在危害, 残留毒性和耐药性也会对食物和环境有显著影响。故本文综述了当前国内外关于动物源性食品中非法使用药物残留的原因、危害和药物种类, 介绍了药物残留的常用检测方法, 以期为加大动物源性食品中非法使用药物残留检测的力度和精度, 以及从源头控制动物源性食品安全提供一定的理论指导依据。

关键词: 动物源性食品; 非法使用药物残留; 检测方法

Research progress in detection methods of illegal drug residues in animal derived foods

ZHANG Zhen-Yu¹, LI Ming^{1*}, CHAI Lei²

(1. Jiyuan Animal Product Quality Inspection Center, Jiyuan 459000, China; 2. Jiaozuo City Animal Products Quality and Safety Monitoring Center, Jiaozuo 454003, China)

ABSTRACT: Animal derived food can provide human with rich protein, fat, mineral and vitamin, which is an indispensable part of human diet. With the gradual improvement of human living standards, people pay more and more attention to the safety of animal-derived foods, and the illegal use of drug residues has always been an important factor. Drug residues not only pose potential hazards to consumers, but residual toxicity and resistance also have a significant impact on food and the environment. Therefore, this paper summarized the causes, hazards and drug types of illegal use of drug residues in animal derived food at home and abroad, introduced the commonly used detection methods of drug residues, in order to increase the strength and accuracy of the detection of illegal use of drug residues in animal derived food, and provide a theoretical basis for controlling the safety of animal derived food from the source.

KEY WORDS: animal derived food; illegal use of drug residues; detection method

1 引言

动物源性食品, 是指来源于猪、马、牛、羊、禽等动

物的可食用的组织、蛋、奶制品和副产品, 以及水生动物产品, 为人类提供丰富的营养物质^[1]。而在畜牧养殖的过程中, 饲养员有可能会非法使用药物, 这些药物主要用于

基金项目: 河南省济源市科技攻关项目(18021009、19023027)

Fund: Supported by Jiyuan City, Henan Province Science and Technology Project(18021009, 19023027)

*通讯作者: 李明, 主要研究方向为畜产品质量安全。E-mail: g90349@163.com

*Corresponding author: LI Ming, Jiyuan Animal Product Quality Inspection Center, Jiyuan 459000, China. E-mail: g90349@163.com

预防和治疗畜禽及鱼类的感染性疾病以及促进畜禽的生长, 以保证动物源性食品的供应^[2]。随着人们生活水平的逐步提高, 对动物源性食品的安全问题也越来越重视, 而非法使用药物残留也一直是重要的影响因素之一^[3]。药物残留不仅会给消费者带来潜在危害, 残留毒性和耐药性也会对食物和环境有显著影响^[4,5]。故本文通过对当前国内外关于动物源性食品中非法使用药物残留检测方法的应用研究进行综述, 讨论了动物源性食品中非法使用药物残留的原因、危害和药物种类, 以及非法使用药物残留的常用检测方法, 以期对动物源性食品中非法使用药物残留的检测提供一定的理论指导依据。

2 动物源性食品中非法使用药物残留的现状

2.1 非法使用药物残留的原因

在饲养家畜的过程中, 为了预防家畜的疾病, 有可能会使用违禁药物, 或者不遵守使用剂量和用药周期, 使动物不能正常有效的将药物代谢排出体外, 从而导致动物源性食物中药物残留过多^[6]。同时, 在经济利益的驱使下, 抗生素、激素等被广泛的用于饲料添加剂中, 也会因此导致动物源性食物中非法使用药物残留超标^[7]。目前, 我国农业农村部为加强兽药使用管理, 根据《兽药管理条例》, 已经发布了《兽药停药期规定》^[8]和《动物源性食品中兽药最高残留限量》等相关法规^[9], 但不执行休药期的相关严格规定, 非法使用违禁药物, 兽药使用不规范、不科学仍

是造成动物源性食物中非法使用药物残留超标的主要原因, 也是目前急需解决的问题^[10]。

2.2 非法使用药物残留的危害

非法使用药物残留是指添加的药物在动物体内所有可食用部分或副产品(如鸡蛋、奶品、肉制品、内脏等)所含的药物原型或代谢产物, 包括与药物有关的杂质残留^[11]。动物源性食物中药物残留量很少, 对人体造成的危害具有一定的潜伏性, 但是如果长期食用, 也会对人体健康以及生态环境造成实质性和不可逆的影响, 具体的残留危害为: (1) 微生物的抗药性增加^[12]; (2) 部分人群会导致药物超敏反应^[13]; (3) 长期摄入含有非法使用药物残留的动物源性食物会导致“三致”作用, 即致癌、致畸以及致突变^[14]; (4) 会引起人体的生理紊乱^[15]; (5) 对生态环境造成污染和破坏^[16]。

2.3 非法使用药物的种类

目前, 在动物源性食品常见的非法使用药物残留有以下几种药物^[17-22], 见表 1。

3 动物源性食品中非法使用药物残留的检测方法

目前国内外检测动物源性食品中非法使用药物残留的技术手段主要有: 气相色谱-质谱法^[23]、高效液相色谱法^[24]、高效液相色谱-串联质谱法^[25]、超高效液相色谱-串联质谱法^[26]、酶联免疫反应方法^[27]。

表 1 非法使用药物的种类
Table 1 The types of drugs used illegally

非法使用主要药物类型	具体药物品种	在家畜养殖中的作用	引发危害
β -兴奋剂类	克伦特罗、沙丁胺醇、西马特罗等	提高瘦肉比率, 即“瘦肉精”	恶心、头晕等中毒症状, 长期食用会诱发恶性肿瘤
性激素类	雌三醇、雌酮、孕酮、己烯雌酚、己烷雌酚、双烯雌酚等	促生长的作用	影响生殖健康、致癌
磺胺类	磺胺、磺胺嘧啶等	用于预防和治疗细胞感染性疾病, 用作饲料添加剂	细菌耐药性、过敏反应
硝基咪唑类	呋喃唑酮、呋喃它酮、呋喃西林、呋喃妥因等	具有抗菌消炎的作用	潜在致癌和致基因突变
硝基咪唑类	甲硝唑、地美硝唑、洛硝达唑等	具有抗菌作用	潜在致癌和致基因突变
氯霉素类	氯霉素、甲砒霉素、氟苯尼考等	对革兰氏阴、阳性细菌均有抑制作用	可导致人和动物的再生障碍性贫血
催眠镇静剂类	氯丙嗪、地西洋(安定)、安眠酮等	对家畜有镇静作用	引起人体生理紊乱
四环素抗生素类	四环素、金霉素、土霉素、多西霉素等	具有抗菌消炎的作用	致病菌产生耐药性
大内环脂抗生素类	罗红霉素、阿奇霉素、克拉霉素、地红霉素等	具有抗菌消炎的作用	致病菌产生耐药性

3.1 气相色谱-质谱法

气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)是一种可以有效地分离和定量分析挥发性有机物的气相色谱与可以准确鉴定化合物的质谱相结合的技术,该方法可以提供丰富的结构信息和具体的定量结果^[28]。目前,GC-MS已经广泛地应用在临床医学检测以及药物的研究、分析和生产中^[29]。Zhao等^[30]采用气相色谱-串联质谱法,建立了一种新的验证分析法,可同时提取、清除和检测二硝基甲酰胺及其代谢产物,且验证参数符合中国农业部、欧盟和美国食品药品监督管理局兽药残留检测要求。Costa等^[31]在强化基质去除脂质的基础上,加入CaCl₂冷冻,建立了动物源性食品的23种有机氯农药的分析方法,在定量限为0.005 mg/kg时,回收率在70%~120%之间,对200份样品进行了分析,结果良好,仅得到1%的阳性结果。但是对于沸点高、极性大的动物源性食物,GC-MS在药物残留分析中的应用是受限制的^[32]。

3.2 高效液相色谱法

高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)是最早也是目前最常用的动物源性食品中非法使用药物残留的检测方法^[33]。该方法可以快速、灵敏的分析检测出沸点高、热稳定性差、强极性的药物残留^[34]。其原理是对于不同极性的混合物质,通过固定相与流动相的选择,将待测物质与干扰物质从复杂混合物中加以分离^[35]。Peres等^[36]建立同时检测蜂蜜中土霉素、四环素和金霉素残留量的高效液相色谱-荧光检测方法,检测限和定量限分别为8 μg/kg和25 μg/kg。Moudgil等^[37]建立了同时测定磺胺嘧啶、磺胺甲恶唑、土霉素、强力霉素、四环素的高效液相色谱-二极管阵列检测方法,结果表明,抗生素的回收率在83.3%~111.8%之间,相对标准偏差在3.5%~16.2%之间,除了氯霉素以外,这些抗生素的定量极限低于最大残留限量,使得该方法适合于进行常规分析。

3.3 高效液相色谱-串联质谱法

高效液相色谱-串联质谱法(high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS)是以高效液相色谱为分离系统,质谱为检测系统,是目前在药物残留检测中应用最为广泛的方法^[38]。其中,质谱作为检测系统,可以消除采用荧光检测器时内源性荧光物质的干扰问题,使检测结果更为准确可靠^[39]。Li等^[40]建立了一种同时测定猪肉中22种常见头孢菌素的HPLC-MS/MS分析方法,22种头孢菌素的线性范围为0.06~100.0 μg/L,相关系数良好($r^2 > 0.992$),其中检测限和定量限分别为0.04~3.0 μg/L和0.06~10.0 μg/kg,平均回收率为83.6%~113.0%,结果表明,该方法准确、灵敏、样品预处理最少、方便实用。Song等^[41]建立了以分子印迹固相萃取

-HPLC-MS/MS测定猪、牛、鸡肌肉样品中10种大环内酯类药物残留量的方法,用硼酸钠缓冲液和乙酸乙酯提取样品,其中分析物的回收率为60.7%~100.3%,相对标准偏差小于14%,检测限为0.1~0.4 μg/kg,证明该方法可用于动物肌肉中大环内酯类药物残留的常规监测。

3.4 超高效液相色谱-串联质谱法

超高效液相色谱-串联质谱联用技术(ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)是基于高效液相色谱的理论及原理,增加了分析的通量、灵敏度及峰容量,从而形成了分离时间更短、效率更高的检测方法,成为了在药物残留检测领域中更加具有发展前景的检测分析技术^[42]。Li等^[43]采用UPLC-MS/MS,建立了一种简便、快速的同时测定牛奶中多种药物残留的分析方法,研究了25种典型的非法使用药物,包括β-内酰胺类、喹诺酮类、β-激动剂、氯霉素类、糖皮质激素和硝基咪唑等,该法的线性、回收率、精密度和基体效应得到了充分验证。Valera等^[44]采用超高效液相色谱-三联四极杆串联质谱建立了同时测定海产品中4种硝基咪唑代谢物的新方法。Rizzetti等^[45]则采用UPLC-MS/MS法建立了牛肝、肾、肌肉中兽药含量的快速、简便的多类检测方法,该方法根据欧盟委员会第2002/657号决定进行了验证,对牛肝脏中的69种兽药和牛肌肉、肾脏中的68种化合物给出了令人满意的结果。

3.5 酶联免疫分析法

免疫分析法是基于抗原和抗体的特异性为核心反应的新型分析方法,适合于复杂基体检测中痕量成分的快速分离,该技术操作简单、速度快、费用低廉,但是假阳性率较高^[46],其中应用最为广泛的为酶联免疫分析法(enzyme linked immunosorbent assay, ELISA)^[47]。Chen等^[48]制备了针对甲氧苄氨嘧啶的特异性单克隆抗体,并建立了基于单克隆抗体的间接竞争酶联免疫吸附试验,以检测牛奶、蜂蜜和鱼样本中的甲氧苄氨嘧啶残留量。Lin等^[49]制备了一种灵敏的抗氟尼辛葡甲胺单克隆抗体2H4,并用于间接竞争酶联免疫吸附法和免疫层析条带法检测牛奶中的氟尼辛葡甲胺。Peng等^[50]同样建立了快速、灵敏的间接竞争性酶联免疫吸附试验,用来检测鸡肌肉中的利巴韦林。

4 结论

综上所述,动物源性食品中非法使用药物残留的检测技术复杂多样,GC-MS法操作简单,但受检测物质沸点、极性影响较大;ELISA法适用于具有抗原抗体反应的快速检测;HPLC-MS/MS法则轻松地解决了目标物定性和定量问题,消除了基质的干扰和假阳性确证问题,使检测结果更加准确、可靠。因此,在进行分析检测时,应尽可能的选择灵敏度高、特异性好、简便快速的检测方法。同

时, 随着人们对食品安全和环境保护的日益重视, 开发快速、高自动化、高灵敏度、高通量、高准确度的检测多残留技术有着广阔的发展前景。随着检测技术的不断优化, 将最大限度地保障动物源性食品的安全, 同时也为动物源性产品的进出口贸易提供技术保障。

参考文献

- [1] 姚文生, 万建青, 王利永, 等. 关于我国动物源性食品安全监管问题的思考[J]. 中国动物检疫, 2009, 26(5): 25–26.
Yao WS, Wan JQ, Wang LY, *et al.* Reflections on the safety supervision of food of animal origin in China [J]. *Chin J Anim Health Insp*, 2009, 26(5): 25–26.
- [2] 魏法山, 盖圣美, 谢文佳, 等. 动物源性食品中硝基呋喃类兽药残留检测方法的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(6): 2289–2295.
Wei FS, Gai SM, Xie WJ, *et al.* Progress in the detection methods of nitrofurans veterinary drug residues in animal-derived foods [J]. *J Food Saf Qual*, 2016, 7(6): 2289–2295.
- [3] Reig M, Toldrà F. Veterinary drug residues in meat: Concerns and rapid methods for detection [J]. *Meat Sci*, 2008, 78(1–2): 60–67.
- [4] Mund MD, Khan UH, Tahir U, *et al.* Antimicrobial drug residues in poultry products and implications on public health: A review [J]. *Int J Food Properties*, 2017, 20(7): 1433–1446.
- [5] Seri HI. Introduction to veterinary drug residues: hazards and risks [C]. Workshop of Veterinary Drug Residues in Food Derived From Animal, 2013: 26–27.
- [6] 阎姣姣, 阎培安, 杨金宝. 兽药残留与抗生素的使用注意事项[J]. 现代畜牧科技, 2019, (1): 139–140.
Yan JJ, Yan PA, Yang JB. Veterinary drug residues and matters needing attention in the use of antibiotics [J]. *Mod Anim Husband Technol*, 2019, (1): 139–140.
- [7] Paige JC, Tollefson L, Miller MA. Health implications of residues of veterinary drugs and chemicals in animal tissues [J]. *Veter Clin North Am: Food Anim Pract*, 1999, 15(1): 31–43.
- [8] 农业部. 中华人民共和国农业部公告第 278 号[EB/OL]. [2003–05–22]. <http://www.moa.gov.cn/nygb/2003/snqi/201711/t20171126-5919564.htm>.
Ministry of Agriculture. Announcement No 278rd of the Ministry of a agriculture of the People's Republic China [EB/OL]. [2003–05–22]. <http://www.moa.gov.cn/nygb/2003/snqi/201711/t20171126-5919564.htm>.
- [9] 农业部. 中华人民共和国农业部公告第 235 号[EB/OL]. [2002–12–24]. <http://www.moa.gov.cn/zwillm/nygb/2002/200803/t20080304-1028649.htm>.
Ministry of agriculture. Announcement No 235rd of the Ministry of a agriculture of the People's Republic China [EB/OL]. [2002–12–24]. <http://www.moa.gov.cn/zwillm/nygb/2002/200803/t20080304-1028649.htm>.
- [10] Hu Y, Cheng H. Health risk from veterinary antimicrobial use in China's food animal production and its reduction [J]. *Environ Poll*, 2016, 219: 993–997.
- [11] 梁飞燕, 卢日刚. 动物源性食品中多兽药残留检测方法的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(26): 50–51.
Liang FY, Lu RG. Research progress on detection methods of many veterinary drug residues in animal derived foods [J]. *Anhui Agric Sci*, 2016, 44(26): 50–51.
- [12] Beyene T. Veterinary drug residues in food–animal products: its risk factors and potential effects on public health [J]. *J Veter Sci Technol*, 2016, 7(1): 1–7.
- [13] Riedl MA, Casillas AM. Adverse drug reactions: types and treatment options [J]. *Am Family Phys*, 2003, 68(9): 1781–1794.
- [14] Biswas AK, Kondaiah N, Anjaneyulu ASR, *et al.* Food safety concerns of pesticides, veterinary drug residues and mycotoxins in meat and meat products [J]. *Asian J Anim Sci*, 2010, 4(2): 46–55.
- [15] Wang X, Tong Q. Pretreatment of rapid detection of veterinary drug residue in eggs [C]. 2015 Asia–Pacific Energy Equipment Engineering Research Conference. Atlantis Press, 2015.
- [16] 贺家亮, 李开雄, 于见亮, 等. 动物性食品中兽药残留现状及对策[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(6): 176–178.
He JL, Li KX, Yu JL, *et al.* Current situation and countermeasures of veterinary drug residues in animal food [J]. *Food Res Dev*, 2006, 27(6): 176–178.
- [17] Kinsella B, O'Mahony J, Malone E, *et al.* Current trends in sample preparation for growth promoter and veterinary drug residue analysis [J]. *J Chromatogr A*, 2009, 1216(46): 7977–8015.
- [18] 薛雨, 陈宇瑛. 头孢菌素类抗生素的最新研究进展[J]. 中国抗生素杂志, 2011, 36(2): 86–92.
Xue Y, Chen YY. Recent advances in cephalosporins [J]. *Chin J Antibiotics*, 2011, 36(2): 86–92.
- [19] De Beer TRM, Vergote GJ, Baeyens WRG, *et al.* Development and validation of a direct, non-destructive quantitative method for medroxyprogesterone acetate in a pharmaceutical suspension using FT–Raman spectroscopy [J]. *European J Pharm Sci*, 2004, 23(4–5): 355–362.
- [20] Storey JM, Clark SB, Johnson AS, *et al.* Analysis of sulfonamides, trimethoprim, fluoroquinolones, quinolones, triphenylmethane dyes and methyltestosterone in fish and shrimp using liquid chromatography–mass spectrometry [J]. *J Chromatogr B*, 2014, 972: 38–47
- [21] Wang J. Determination of five macrolide antibiotic residues in honey by LC–ESI–MS and LC–ESI–MS/MS [J]. *J Agric Food Chem*, 2004, 52(2): 171–181.
- [22] 李妍, 闫蕊, 王孝研, 等. 动物源性食品中氟喹诺酮类抗生素残留检测方法的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(10): 2918–2928.
Li Y, Yan R, Wang XY, *et al.* Research advances on detection of fluoroquinolones residues in animal-derived products [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(10): 2918–2928.
- [23] Kikuchi H, Sakai T, Teshima R, *et al.* Total determination of chloramphenicol residues in foods by liquid chromatography–tandem mass spectrometry [J]. *Food Chem*, 2017, 230: 589–593.
- [24] Kim DH, Choi JO, Kim JS, *et al.* Determination of sulfonamides in meat by liquid chromatography coupled with atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry [J]. *Bull Korean Chem Soc*, 2002, 23(11): 1590–1594.
- [25] Li C, Jin F, Yu Z, *et al.* Rapid determination of chlormequat in meat by dispersive solid phase extraction and hydrophilic interaction liquid chromatography (HILIC) electrospray tandem mass spectrometry [J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(27): 6816–6822.
- [26] Moreno–González D, García–Campaña AM. Salting–out assisted liquid–liquid extraction coupled to ultra–high performance liquid chromatography–tandem mass spectrometry for the determination of

- tetracycline residues in infant foods [J]. *Food Chem*, 2017, 221: 1763–1769.
- [27] 张弛, 潘家荣, 帅瑞琪, 等. 动物性食品中硝基咪唑类兽药多残留酶联免疫检测方法的建立[J]. *核农学报*, 2016, 30(2): 323–331.
Zhang C, Pan JR, Shuai RQ, *et al.* Research on enzyme linked immunosorbent assay for multi-residues of nitroimidazoles in foods of animal origin [J]. *J Nucl Agric Sci*, 2016, 30(2): 323–331.
- [28] Mondello L, Tranchida PQ, Dugo P, *et al.* Comprehensive two-dimensional gas chromatography-mass spectrometry: A review [J]. *Mass Spectrometry Rev*, 2008, 27(2): 101–124.
- [29] Hadi MY, Hameed IH. Uses of Gas Chromatography–mass spectrometry (GC–MS) technique for analysis of bioactive chemical compounds of *lepidium sativum*: A review [J]. *Res J Pharm Technol*, 2017, 10(11): 4039–4042.
- [30] Zhao X, Wang B, Xie K, *et al.* Determination of dinitolmide and its metabolite 3–ANOT in chicken tissues via ASE–SPE–GC–MS/MS [J]. *J Food Compos Anal*, 2018, 71: 94–103.
- [31] Costa LS, Martínez PR, Sala MM. Determination of 23 organochlorine pesticides in animal feeds by GC–MS/MS after QuEChERS with EMR–lipid clean–up [J]. *Anal Methods*, 2018, 10(43): 5171–5180.
- [32] 林维宣, 董伟峰, 陈溪, 等. 气相色谱–质谱法同时检测动物组织中多种激素类兽药的残留量[J]. *色谱*, 2009, 27(3): 294–298.
Lin WX, Dong WF, Chen X, *et al.* Simultaneous determination of multiple hormone veterinary drug residues in animal tissues by gas chromatography–mass spectrometry [J]. *Chin J Chromatogr*, 2009, 27(3): 294–298.
- [33] 樊惠民, 余实, 谭远方. 液相色谱在食品检测方面的应用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2011, 2(3): 174–177.
Fan HM, Yu S, Tan YF. Application of liquid chromatography in food testing [J]. *J Food Saf Qual*, 2011, 2(3): 174–177.
- [34] 刘佟, 王浩, 苗雨田, 等. 高效液相色谱法同时测定食品中 7 种防腐剂[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015, 6(4): 1148–1153.
Liu T, Wang H, Miao YT, *et al.* Determination of 7 preservatives in food using high performance liquid chromatography [J]. *J Food Saf Qual*, 2015, 6(4): 1148–1153.
- [35] Aulakh JS, Malik AK, Kaur V, *et al.* A Review on solid phase micro extraction—high performance liquid chromatography (SPME–HPLC) analysis of pesticides [J]. *Crit Rev Anal Chem*, 2005, 35(1): 71–85.
- [36] Peres GT, Rath S, Reyes FGR. A HPLC with fluorescence detection method for the determination of tetracyclines residues and evaluation of their stability in honey [J]. *Food Control*, 2010, 21(5): 620–625.
- [37] Moudgil P, Bedi JS, Aulakh RS, *et al.* Validation of HPLC multi-residue method for determination of fluoroquinolones, tetracycline, sulphonamides and chloramphenicol residues in bovine milk [J]. *Food Anal Methods*, 2019, 12(2): 338–346.
- [38] 郭亚文, 卜晓娜, 刘楚君, 等. 动物源性食品中氟喹诺酮类药物残留色谱质谱检测技术研究进展[J]. *中国兽药杂志*, 2019, 53(1): 64–76.
Guo YW, Bu XN, Liu CJ, *et al.* Research status on chromatographic and mass spectrometry analytical methods for the detection of fluoroquinolones residues in animal food [J]. *Chin J Veter Drug*, 2019, 53(1): 64–76.
- [39] Dzumana Z, Zachariasova M, Veprikova Z, *et al.* Multi-analyte high performance liquid chromatography coupled to high resolution tandem mass spectrometry method for control of pesticide residues, mycotoxins, and pyrrolizidine alkaloids [J]. *Anal Chim Acta*, 2015, 863: 29–40.
- [40] Li W, Shen H, Hong Y, *et al.* Simultaneous determination of 22 cephalosporins drug residues in pork muscle using liquid chromatography–tandem mass spectrometry [J]. *J Chromatogr B*, 2016, 1022: 298–307.
- [41] Song X, Zhou T, Liu Q, *et al.* Molecularly imprinted solid–phase extraction for the determination of ten macrolide drugs residues in animal muscles by liquid chromatography–tandem mass spectrometry [J]. *Food Chem*, 2016, 208: 169–176.
- [42] 金明. UPLC–MS/MS 测定牛肝中七种磺胺类药物的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2008.
Jin M. UPLC–MS/MS determination of seven sulfonamides in bovine liver [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2008.
- [43] Li J, Ren X, Diao Y, *et al.* Multiclass analysis of 25 veterinary drugs in milk by ultra–high performance liquid chromatography–tandem mass spectrometry [J]. *Food Chem*, 2018, 257: 259–264.
- [44] Valera–Tarifa NM, Plaza–Bolaños P, Romero–González R, *et al.* Determination of nitrofurans metabolites in seafood by ultra high performance liquid chromatography coupled to triple quadrupole tandem mass spectrometry [J]. *J Food Compos Anal*, 2013, 30(2): 86–93.
- [45] Rizzetti TM, De Souza MP, Prestes OD, *et al.* Optimization of sample preparation by central composite design for multi–class determination of veterinary drugs in bovine muscle, kidney and liver by ultra–high–performance liquid chromatographic–tandem mass spectrometry [J]. *Food Chem*, 2018, 246: 404–413.
- [46] 谢会玲. 牛奶中头孢类抗生素的免疫层析试纸条和 ELISA 试剂盒检测方法研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
Xie HL. Immuno-chromatographic strips and ELISA kits for detection of cephalosporins in milk [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.
- [47] Zhang H, Wang S. Review on enzyme–linked immunosorbent assays for sulfonamide residues in edible animal products [J]. *J Immunol Methods*, 2009, 350(1–2): 1–13.
- [48] Chen Y, Liu L, Song S, *et al.* Establishment of a monoclonal antibody–based indirect enzyme–linked immunosorbent assay for the detection of trimethoprim residues in milk, honey, and fish samples [J]. *Food Agric Immunol*, 2016, 27(6): 830–840.
- [49] Lin L, Jiang W, Xu L, *et al.* Development of IC–ELISA and immuno-chromatographic strip assay for the detection of flunixin meglumine in milk [J]. *Food Agric Immunol*, 2018, 29(1): 193–203.
- [50] Peng S, Song S, Liu L, *et al.* Rapid enzyme–linked immunosorbent assay and immuno–chromatographic strip for detecting ribavirin in chicken muscles [J]. *Food Agric Immunol*, 2016, 27(4): 449–459.

(责任编辑: 王 欣)

作者简介

张振宇, 主要研究方向为畜产品质量安全。

E-mail: e87234@163.com

李明, 主要研究方向为畜产品质量安全。

E-mail: g90349@163.com