

动物源性食品中氯霉素残留免疫分析技术研究进展

范素菊^{1,2} 李 嘉¹ 杨兴东^{2*}

1. 周口职业技术学院农牧工程学院, 河南周口 466000;

2. 周口师范学院食品药品检验检测中心, 河南周口 466001

摘要 氯霉素(CAP)作为一种动物性食品中国际禁用的抗菌素,其残留物不仅会通过进入食物链而危害人类健康,而且还会引起耐药菌的传播,因此,开发对其残留的检测技术尤为重要。本文综述了近10年来常用的检测动物源性食品中CAP残留的技术,重点介绍了免疫分析法(ELISA、侧流免疫分析法)和核酸适配体技术,并对当前和今后该技术的发展情况进行了客观分析。

关键词 氯霉素;氯霉素残留物;免疫分析;ELISA;侧流免疫检测;核酸适配体

氯霉素(Chloramphenicol, CAP)是一种抗菌类药物,因其作用谱广,价格低廉,广泛应用于我国的动物生产中,防止各种动物疾病的感染^[1-2]。大量的研

究表明,CAP进入动物体内并造成残留,CAP在人体的残留会抑制人体造血机能、增强细菌耐药性和引起机体的菌群失调等,甚至会引起致命的“灰婴

收稿日期:2021-05-15

基金项目:河南省高等学校重点科研项目(20B230010);河南省科技攻关项目(212102110094)。

*通讯作者

范素菊,女,1981年生,硕士,讲师。

起的腹泻,一般主要采取支持疗法,纠正水和电解质的失衡,须注意不可滥用抗生素。

传统的食品中大肠杆菌检测方法有滤膜法、平板计数法等^[8],而新的方法则有自动化仪器检测技术、免疫荧光技术等^[9]。目前,我国在检测食品中大肠杆菌时使用的技术主要还是传统方法,其有很大局限性,例如准确率不高,效率偏低等,但在科学技术迅速发展的今天,越来越多的新兴检测技术正被研究者们开发应用,对于检测食品中大肠杆菌给予了极大的帮助,也让人们的食品安全更有保障。

参 考 文 献

[1] 毕振强. 病原性大肠杆菌研究进展[C]//中华预防医学学会. 华东地区第七届流行病学学术交流会议论文集. 北京:中华预防医学学会,2004:30-34.

[2] 魏恒,李娟娟,王伟华. 猪大肠杆菌病的病因及防控措施[J]. 陕西农业科学,2018,64(12):92-95.

[3] 殷泽禄,万虎. 大肠杆菌的研究综述[J]. 甘肃畜牧兽医,2019,49(5):33-35.

[4] 王克恭. 重新正确认识大肠杆菌[J]. 内蒙古兽医,1998(1):24-25.

[5] 张琳. 致病性大肠杆菌感染[J]. 实用乡村医生杂志,2003,10(3):6-7.

[6] 宦海霞,张科. 大肠杆菌致病因子研究进展[J]. 中国家禽,2010,32(23):45-48.

[7] 刘栓奎,李明,党荣理,等. 致病性大肠杆菌和出血性大肠杆菌研究进展[J]. 现代预防医学,2011,38(24):5123-5124.

[8] 罗旋. 探讨食品中大肠杆菌检测方法[J]. 食品安全导刊,2018,9(27):155.

[9] 林庭庭,周广红. 食品中大肠杆菌生物检测方法探讨[J]. 食品安全导刊,2019(12):84.

【责任编辑:刘少雷】

综合征”^[3]。因此,包括中国在内的许多国家均明确规定在动物源性食品中禁止使用CAP,我国农业部规定动物源性食品中CAP的最高残留限量为不得检出。但在实际的动物生产中CAP的滥用仍然存在,监控动物源性食品中CAP残留是不可避免的^[4]。目前,常用的检测动物源性食品中CAP残留的方法主要包括色谱分析法(Chromatographic analysis)和免疫分析法(Immunoassay)。

1 色谱分析法

在气相色谱(Gas chromatography, GC)^[5]、气质联用(GC-mass spectrometry, GC-MS)色谱^[6]分析时,由于CAP不易挥发,在测定前需进行衍生化。因CAP有很强的紫外吸收,可直接采用液相色谱(High performance liquid chromatography, HPLC)及液质联用(HPLC-MS)进行测定^[7-8]。色谱分析虽然具有很高的灵敏度,但是其具有测定程序繁琐、专业性强和检测费用高等缺点。Jian等^[9]开发并验证了一种通过HPLC-MS测定肉中CAP的简单、环保、可靠的方法。首先用乙二胺四乙酸-McIlvaine's缓冲液萃取样品,然后使用新型核-壳聚苯胺/聚丙烯腈纳米纤维垫通过固相萃取进行纯化,该法的检测限为0.01 $\mu\text{g}/\text{kg}$,可用于对猪肉、鸡肉和牛肉中CAP残留的测定,结果与中国国家标准方法相吻合,证明了该方法的可靠性和实用性。

2 免疫分析法

免疫分析的核心是基于抗原(Antigen, Ag)、抗体(Antibody, Ab)特异性反应^[10]。其中,目前应用最为广泛的免疫分析方法是酶联免疫法(Enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)和侧流免疫检测法(Lateral flow immunoassay, LFIA)。近年来,基于核酸适配体建立的分析技术为快速检测的进一步发展注入了新的活力。

2.1 抗CAP抗原的合成和抗体的制备

免疫分析方法的基础是获得优质、高效的抗体,而抗体又从抗原免疫动物所得。CAP的相对分子质量只有323.14,仅有反应原性,没有免疫原性,需与载体蛋白结合才能成为完全抗原(免疫原)。杨艳艳等^[11]利用琥珀酰酐改造CAP为半抗原(Hapten)CAP半琥珀酸酯(CAP-HS),以混合酸酐法(Mixed anhydride method, MA)将半抗原与载体蛋白

偶联获得免疫原CAP-HS-BSA,免疫BALB/c小鼠后,采用细胞融合技术得到抗CAP单克隆抗体(CAP mAb),效价和半数抑制浓度(Half maximal inhibitory concentration, IC_{50})分别为 1.28×10^5 、7.54 ng/mL;张红星等^[12]采用重氮化法合成抗原,免疫大白兔后,所得抗体的效价和 IC_{50} 分别为 8.1×10^3 、9.0 ng/mL;罗舜菁等^[13]运用对氯甲基苯甲酸(CBA)、对氯甲基苯甲酸甲酯(MCB)分别对CAP进行改造,再用MA法将半抗原与载体蛋白合成为免疫原、检测原,结果显示,后者的灵敏度优于前者;陆蕾等^[14]运用重氮化法得到的抗体的效价为 1.28×10^5 ,优化建立的间接竞争ELISA(Indirect competitive ELISA, ic-ELISA)方法,其 IC_{50} 为0.26 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。杨伟群等^[15]利用重氮法合成CAP免疫原(CAP-BSA),免疫家兔后获得抗CAP多克隆抗体(CAP polyclonal antibody, CAP pAb),经ELISA鉴定该抗血清具有良好的特异性, IC_{50} 值为13.65 ng/mL,检测限(limit of detection, LOD)为1.01 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。李昊、李佳仪等^[16-17]用重氮化法合成抗原,免疫小鼠后,所获得抗体效价分别为 2.187×10^5 、 1.28×10^5 ,前者抗体的竞争性为20.48%。

2.2 酶联免疫吸附法

ELISA用酶标记Ag或Ab,适用于医学实验室、体外诊断产品制造商、监管机构、外部质量评估和能力测试机构,主要类型包括间接法、双抗夹心法、竞争法,分别用于测定Ab、大分子Ag和小分子Ag,竞争法特别适用于食品安全分析,该法又可分为直接竞争ELISA(Direct competition ELISA, dc-ELISA)和ic-ELISA。

1)直接竞争ELISA法。张立辰等^[18]以CAP mAb为基础,建立了dc-ELISA,该方法 IC_{50} 为0.54 ng/mL, LOD为0.10 ng/mL,将该法用于测定鳕鱼和虾样品中CAP的残留,加标回收率为62.6%~120.0%,CV范围为0.94%~13.52%。刘姚等^[19]以CAP mAb为基础,建立了蜂蜜中CAP dc-ELISA检测法,对其6个影响因素进一步优化,蜂蜜样品的LOD和定量限(Quantification Limit, LOQ)分别为0.15 ng/g和0.33 ng/g,加标回收率为97.58%~100.94%,批内、批间CV均小于11.0%。张连彦等^[20]为了检测动物源性食品中CAP的非法添加,在优化了反应条件和前处理方法的基础上,建立了dc-ELISA法,其LOD为1.0 mg/kg,添加回收率为81.0%~112.0%,批内和批间变异系数(Coefficient of variation, CV)均小于10.0%。

2) 间接竞争 ELISA 法。*ic*-ELISA 的检测原理主要是利用样品中游离的待测物、ELISA 板的孔底部已包被待测物与已标记的抗体发生竞争。胡拥明等^[21]利用碳二亚胺法(EDC)和 MA 法制备了 CAP 的完全抗原和检测原,免疫新西兰大耳白兔后得到 pAb,以此抗体为基础建立检测 CAP 残留的 *ic*-ELISA,改法的 IC_{50} 值为 7.275 ng/ml,与其他结构类似物的交叉反应率(Cross reaction rate, CR)均小于 0.1%。齐宁利等^[22]利用试剂盒检测了鱼、虾水产品中 CAP 的残留,该法的精密密度为 1.28%,LOD 为 6.25 ng/kg,添加回收率为 83.67%~87.06%。杜兵耀等^[23]检测了 CAP ELISA 可视化微阵列芯片检测试剂盒的特性,结果显示该试剂盒在检测范围内,其线性回归具有良好的相关性,且与结构类似物的 CR 均小于 1.0%,批间 CV 小于 20.0%,牛奶样品中的平均回收率为 108.5%,LOD 为 0.067 μ g/L。Doan^[24]从 Afyonkarahisar 的 14 个不同销售点收集了总共 82 尾鱼样本,使用 ELISA 方法分析样品中的 CAP。结果显示,高达 18.3% 的样品被 CAP 污染,在阳性鱼肉样品中,CAP 残留浓度范围为 0.54~10.6 ng/kg,阳性样品中的 CAP 残留平均含量为 4.25 \pm 2.78 ng/kg。CAP 是禁止在水产养殖中使用的抗生素,但鱼肉样品中可检测到的 CAP 残留表明该抗生素的非法使用。

2.3 化学发光免疫分析法

化学发光免疫分析法(Chemiluminescence immunoassay, CLIA)的灵敏度和特异性优于传统的 ELISA,也可用于大规模样品的筛选。萨仁托雅等^[25]用 CLEIA 法检测水产品中 CAP 的残留,其 LOD 为 0.016 ng/g,线性范围为 0.025~6.400 ng/g,批内 CV 在 5.5%~11.3% 之间,批间 CV 在 12.3%~20.9% 之间。任帅等^[26]将免疫原 CAP-HS-BSA 免疫新西兰大白兔,得到 CAP pAb,以此为基础建立了检测实际牛奶样品中 CAP 残留的基于 iPDMS 膜的化学发光芯片免疫检测法,该法的 IC_{50} 为 263.0 ng/mL,线性范围为 1~5000 ng/mL,LOD 为 1 ng/mL,牛奶中 CAP 的添加回收率为 77.0%~100.5%,RSD<15%。

2.4 侧流免疫检测法

侧流免疫检测法是在 mAb、免疫层析技术和标记技术的基础上发展起来的快速检测方法。大多数以胶体金、荧光素或荧光微球标记 Ab,基于 Ag、Ab 的特异性结合。该法将胶体金标记的 Ab 交联到试纸条的结合垫,在试纸条硝酸纤维素膜(NC)上喷

涂有显示结果的测试线(test line, T line)及控制线(control line, C line),样品中抗原与抗体结合后,胶体金可使该区域显示一定的颜色,通过与控制线颜色的对比实现快速检测。

Bai 等^[27]首次制备了一种新的荧光免疫色谱条,用于检测鸡肌肉中的 CAP 残留。应用 CAP-BSA 结合物,抗 CAP 的 PAb、mAb 构成荧光免疫层析条。通过电荷耦合装置扫描仪检测荧光强度,并将其转换为数字值。CAP 线性工作范围为 0.1~20 ng/mL,在 10 min 内 LOD 为 0.1 ng/mL。将该试剂盒的性能与市售 ELISA 试剂盒进行了比较,相关系数为 0.99,表明该新型试剂盒具有良好的 CAP 定量能力。Zhou 等^[28]开发了一种胶体金免疫色谱分析法(GICA),用于快速检测水产品中的 CAP 残留。NC 膜被用作载体,CAP pAb 被用作标记蛋白,制备的胶体金纳米颗粒(colloidal gold nanoparticles, AuNPs)的平均直径约为 20 nm,胶体金溶液的最佳 pH 值和 CAP 抗体的量分别为 8.0 和 7.2 μ g/mL,纯化后将 CAP 抗体固定在结合垫上,将 CAP 偶联物和山羊抗兔 IgG 包被在 NC 膜上,用 1% BSA 封闭非特异性位点,标准溶液中 CAP 的最低可检测浓度为 0.5 ng/mL,具有良好的重现性。对于在背肌中注射单剂量 CAP 的鲫鱼的真实样品,CAP 残留物的最低可检测浓度为 0.5 μ g/kg,色谱分析时间少于 10 min,并且该条在不同温度下具有 90 d 以上的长存储寿命,该试纸条提供了一种快速检测水产品中 CAP 残留的方法。

丁乔棋等^[29]利用羧基化 CdTe/ZnSe 量子点荧光微球标记 CAP mAb 获得荧光探针,将 CAP 免疫原(CAP-HS-BSA)、羊抗鼠二抗(Goat anti-mouse HRP-labeled immunoglobulin, GaMIg-HRP)分别喷涂 NC 膜上,并保持一定距离,形成 T 线、C 线,完成 CAP 试纸条的装配。用该试纸条测定牛奶样品中 CAP 的残留,用时不超过 15 min,线性范围在 0.1~100.0 ng/mL 之间,LOD 值为 0.1 μ g/L。牛奶样品 CAP 的添加回收率在 93.3%~97.9% 之间,相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)为 4.9%~6.9%。刘广源等^[30]制备了牛奶中抗菌素的快速检测试纸,并对其各个反应条件进一步优化,利用该试纸检测了市售散装及袋装牛奶中 CAP 的残留,其测定结果与国标法基本相同。崔乃元等^[31]用羧基化钬微球标记 CAP mAb, CAP 抗原及 GaMIg-HRP 分别

包被于 NC 膜上作为 T 线和 C 线;用所建立的时间分辨荧光免疫层析法检测水产品(鱼、虾、蟹)中 CAP 的残留, LOQ 为 $0.1 \mu\text{g}/\text{kg}$, 添加回收率为 73.5% ~ 114.2%, CV 为 3.9% ~ 11.5%, 满足了水产品中 CAP 残留测定的要求。汤轶伟等^[32]将 GSH-Mn-ZnS QD 与 CAP mAb 偶联制备荧光探针并对其各个组件的包被量进行了优化, 制备出 CAP 荧光免疫层析试纸条, 优化后该试纸条的 LOD 可达 $100 \text{ ng}/\text{mL}$, 该试纸条灵敏度高、特异性好、可应用于鳗鱼样品中 CAP 的残留测定。

3 核酸适配体技术

免疫分析检测法虽然具有操作简便、检测时间短、成本低等优点, 但其所用的核心材料为 Ab, Ab 易受温度、时间、pH 等外界环境的制约而出现变性^[33]。鉴于此, 探寻新的动物源性食品中 CAP 高效检测方法势在必行。核酸适配体(Aptamer, Apt)又被称为“化学抗体”, 是通过指数富集配体系统进化技术(System antievolution of ligands by exponential enrichment, SELEX)从随机序列文库中分离得到的一段 DNA 或 RNA 序列, Apt 能识别对应的靶标并与其特异性结合, 与常用的 Ab 相比具有性质稳定, 特异性、灵敏性均强等优点, 成为分子生物学、分析化学、医学等领域关注热点之一。

吴彩叶等^[34]将 Fe_3O_4 磁珠标记 CAP 适配体(CAP Apt)获得捕获探针, 用 MOF(Fe-MOF)标记该 Apt 的互补链到作为纳米示踪剂(MOF-cDNA), 将两者偶联后可得到铁磁性仿生复合探针, 完成了仿生比色传感器的构建, 改法的检测范围为 $0.01 \sim 10 \text{ ng}/\text{mL}$, LOD 为 $0.3 \text{ pg}/\text{mL}$ (S/N=3), 实际样品的加标回收率为 86.9%~93.5%。高慧菊等^[35]构建了基于 Apt-聚合酶螯合物-氧化钯纳米颗粒(Apt-En Vision-PdO, cDNA-EV-PdO)复合物进行双重信号放大的比色 Apt 传感器方法来测定 CAP 的残留, 该方法检测范围为 $0.02 \sim 150 \text{ ng}/\text{mL}$, LOD 为 $0.01 \text{ ng}/\text{mL}$, 用该方法检测了鱼肉和鹅肉中的 CAP 的残留, 其结果与 ELISA 法相同。Duan 等^[36]基于 CAP 特异性适体和实时荧光定量 PCR(qRT-PCR)设计了一种新颖的 CAP 检测灵敏方法: 首先将 CAP Apt 与生物素修饰的互补探针杂交, 然后通过生物素固定在链霉抗生物素蛋白缀合的磁珠上。当添加 CAP 时, Apt 将通过形成发夹结构而与 CAP 特异性结合, 并从磁珠中释放出来

以通过 qRT-PCR 进行 CAP 检测。优化了影响该基于适体的检测系统的测定精度的因素(即探针链长度, 适体浓度, NaCl 浓度和孵育时间)。在最佳条件下, 该检测系统对 CAP 表现出高灵敏度, LOD 为 $0.1 \text{ ng}/\text{mL}$ (线性范围为 $0.1 \sim 20 \text{ ng}/\text{mL}$)。该检测系统用于检测实际加标牛奶中的 CAP, 加标牛奶样品中 CAP 的回收率为 94.0%~102.0%。

4 结语

动物源性食品中 CAP 残留带来的食品安全问题引起了公众的广泛关注, 氯霉素的检测技术在不断的发展。目前, 色谱分析可以作为确证检测, 相对成熟的免疫分析技术, 如 ELISA、胶体金试纸条等可以用于大规模检测样品的筛选, 综合利用上述两类检测方法是当前切实可行的措施。针对这两类方法的缺陷, 开发出新型的检测方法势在必行, 如基于核酸适配体建立的免疫分析技术、生物传感器等, 以便更好地为食品安全保驾护航。

参考文献

- [1] 陈涛, 倪建秀, 陈桂芳, 等. 超高效液相色谱-串联质谱检测鸡蛋、鸡肉和猪肉中酰胺醇类药物残留[J]. 畜牧与兽医, 2020, 52(6): 66-75.
- [2] 劳哲, 江思源, 朱国强. 在线凝胶渗透色谱-气相色谱串联质谱法测定动物源性食品中氯霉素[J]. 分析实验室, 2020, 39(6): 726-730.
- [3] DU X J, ZHOU X N, LI P, et al. Development of an immunoassay for chloramphenicol based on the preparation of a specific singlechain variable fragment antibody[J] J Agr Food Chem, 2016, 64(14): 2971-2979.
- [4] 张连彦, 王亚芳, 李应超, 等. 兽药制剂中氯霉素的 ELISA 检测方法的研究[J]. 中国兽医杂志, 2020, 56(2): 85-88.
- [5] 王鹏思, 李嘉欣, 石上梅, 等. GC 法测定市售动物源性中药材地龙、水蛭中 3 种氯霉素类药物的残留量[J]. 中国兽药杂志, 2017, 51(3): 65-69.
- [6] 薛良辰, 蔡勤仁, 郑璇, 等. QuEChERS-GPC-GC/MS 同时测定鱼肉中 9 种羟基类兽药残留[J]. 质谱学报, 2017, 38(6): 655-663.
- [7] 曹丽丽, 张书芬, 邢家深, 等. 超高效液相色谱-串联质谱结合谱库检索快速测定鸡蛋中氯霉素、氟苯尼考和甲砒霉素残留[J]. 食品工业科技, 2020, 41(14): 197-203.
- [8] 李艳明. 超高效液相色谱-串联质谱法测定鸡蛋中多

- 种药物残留[J]. 食品科技, 2020, 45(7): 356-363.
- [9] JIAN N, LI R, LI J, et al. Simple, efficient, and eco-friendly sample preparation for simultaneous determination of paracetamol and chloramphenicol in meat[J]. J Sep Sci, 2019, 42(16): 2696-2705.
- [10] HORNBECK P V. Enzyme-Linked immunosorbent assays [J]. Curr Protoc Immunol, 2015(110): 211-213.
- [11] 杨艳艳, 张改平, 王自良, 等. 氯霉素单克隆抗体的研制及其免疫学特性鉴定[J]. 中国农学通报, 22(5): 7-12.
- [12] 张红星, 韩景丽, 陈静文, 等. 人工合成氯霉素抗原免疫血清效价的比较及多克隆抗体的制备[J]. 中国农学通报, 2010, 26(6): 43-46.
- [13] 罗舜菁, 陈婷婷, 刘成梅, 等. 对甲基苯甲酸连接的氯霉素全抗原合成与鉴定[J]. 食品工业科技, 2011, 32(3): 200-203, 207.
- [14] 陆蕾, 刘娜, 倪庚, 等. 氯霉素人工抗原的合成及多克隆抗体的制备[J]. 中国食品学报, 2011, 11(2): 177-184.
- [15] 杨伟群, 管月清. 氯霉素人工多克隆抗体的制备、纯化与特性分析[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(1): 192-196.
- [16] 李昊, 韩乐. 氯霉素人工抗原合成的优化及多克隆抗体的制备[J]. 中国食品学报, 2013, 13(5): 177-184.
- [17] 李佳仪, 栗慧, 张岩蔚, 等. 氯霉素人工抗原的合成及其抗体的制备[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2018(19): 203-205.
- [18] 张立辰, 生威, 胡高爽, 等. 基于氯霉素单克隆抗体的 ELISA 方法的建立[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(24): 127-130.
- [19] 刘姚, 韦倩妮, 王弘, 等. 直接竞争 ELISA 法检测蜂蜜中氯霉素残留[J]. 食品科学, 2018, 39(16): 336-342.
- [20] 张连彦, 王亚芳, 李应超, 等. 兽药制剂中氯霉素的 ELISA 检测方法的研究[J]. 中国兽医杂志, 2020, 56(2): 85-88.
- [21] 胡拥明, 梁沙莉, 徐丽广, 等. 氯霉素免疫检测方法的建立[J]. 食品科学, 2009(20): 416-420.
- [22] 齐宁利, 周慧玲, 李涛, 等. 酶联免疫法测定水产品中氯霉素残留[J]. 食品工业, 2015, 36(6): 273-275.
- [23] 杜兵耀, 文芳, 臧长江, 等. 氯霉素 ELISA 可视化微阵列芯片检测试剂盒评价研究[J]. 中国乳品工业, 2017, 45(5): 47-50.
- [24] DOAN Y N, PAMUK S, GURLER Z. Chloramphenicol and sulfonamide residues in sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fish from aquaculture farm [J]. Environ Sci Pollut Res Int. 2020, 27(33): 41248-41252.
- [25] 萨仁托雅, 张峰, 郑有虎, 等. 化学发光免疫分析与酶联免疫分析法检测水产品药物残留的比较研究[J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(5): 486-491.
- [26] 任帅, 丁乔棋, 李丽, 等. 新型氯霉素化学发光芯片免疫检测方法的建立及应用[J]. 分析化学, 2018, 46(10): 1581-1587.
- [27] BAI Z, LUO Y, XU W, et al. Development of a new fluorescence immunochromatography strip for detection of chloramphenicol residues in chicken muscles [J]. J Sci Food Agric, 2013, 93(15): 3743-3747.
- [28] ZHOU C, ZHANG X, HUANG X, et al. Rapid detection of chloramphenicol residues in aquatic products using colloidal gold immunochromatographic assay[J]. Sensors (Basel), 2014, 14(11): 21872-21888.
- [29] 丁乔棋, 李丽, 范文韬, 等. 基于新型量子点荧光微球的氯霉素免疫层析试纸条的制备和应用[J]. 分析化学, 2017, 45(11): 1686-1693.
- [30] 刘广源, 胡端羽, 潘怡诺, 等. 牛奶中抗生素快速检测试纸的研制[J]. 辽宁化工, 2019(2): 110-111.
- [31] 崔乃元, 赵义良, 马立才, 等. 水产品中氯霉素时间分辨荧光免疫层析定量检测方法[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(24): 241-245.
- [32] 汤铁伟, 崔芷萌, 刘欢, 等. 鳗鱼中氯霉素荧光免疫层析快速检测方法研究[J]. 渤海大学学报(自然科学版), 2020, 41(2): 112-118.
- [33] 王鑫, 刘河冰, 陶晓奇. 基于核酸适配体检测动物性食品中氯霉素残留的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(18): 254-262.
- [34] 吴彩叶, 缪养宝, 朱云云, 等. 基于磁性金属有机框架化合物-适配体探针的氯霉素仿生比色传感器研究[J]. 分析化学, 2016, 44(12): 1820-1827.
- [35] 高慧菊, 潘道东, 孙杨赢, 等. 鱼肉和鹅肉中氯霉素的比色适配体传感器快速检测[J]. 现代食品科技, 2016, 32(5): 315-321.
- [36] DUAN Y, WANG L, GAO Z, et al. An aptamer-based effective method for highly sensitive detection of chloramphenicol residues in animal-sourced food using real-time fluorescent quantitative PCR [J]. Talanta, 2017(165): 671-676.

【责任编辑:刘少雷】