

# 畜禽产品中多种抗生素残留同步检测

起萌<sup>1</sup> 赵春燕<sup>2</sup> 刘俊杰<sup>1\*</sup>

1 楚雄彝族自治州检验检测认证院 2 楚雄彝族自治州乡村建设服务中心

DOI:10.12238/as.v8i11.3408

**[摘要]** 畜禽产品中的抗生素残留问题是当前全球食品安全领域面临的重大挑战之一。随着集约化养殖模式的快速发展,抗生素在疾病防治与生长促进方面的应用日益广泛,由此带来的残留问题对消费者健康构成潜在威胁。本文系统研究了畜禽产品中多种抗生素残留同步检测的技术体系,重点分析了实施同步检测的必要性与紧迫性,并对主流检测技术的原理机制、优势局限及实际应用进行了全面评估。文章详细探讨了检测流程中的关键技术环节与质量控制策略,旨在为提升检测工作的精准性与效率、保障畜禽产品质量安全提供理论支持与实践指导。研究表明,同步检测技术的创新与应用对于构建完善的食品安全监管体系具有重要战略意义。

**[关键词]** 畜禽产品; 抗生素残留; 同步检测; 色谱质谱联用; 免疫分析; 生物传感; 质量控制  
**中图分类号:** O213.1 **文献标识码:** A

## Simultaneous detection of multiple antibiotic residues in livestock and poultry products

Meng Qi<sup>1</sup> Chunyan Zhao<sup>2</sup> Junjie Liu<sup>1\*</sup>

1 Chuxiong Yi Autonomous Prefecture Inspection, Testing and Certification Institute

2 Rural Construction Service Center of Chuxiong Yi Autonomous Prefecture

**[Abstract]** The issue of antibiotic residues in livestock and poultry products is one of the major challenges currently faced in the global food safety field. With the rapid development of intensive breeding models, the application of antibiotics in disease prevention and control as well as growth promotion is becoming increasingly widespread. The residue problems brought about by this pose a potential threat to consumers' health. This paper systematically studies the technical system for the synchronous detection of multiple antibiotic residues in livestock and poultry products, with a focus on analyzing the necessity and urgency of implementing synchronous detection. It also conducts a comprehensive assessment of the principles, mechanisms, advantages, limitations, and practical applications of mainstream detection technologies. The article elaborately discusses the key technical links and quality control strategies in the detection process, aiming to provide theoretical support and practical guidance for enhancing the accuracy and efficiency of detection work and ensuring the quality and safety of livestock and poultry products. Research shows that the innovation and application of synchronous detection technology are of great strategic significance for building a complete food safety supervision system.

**[Key words]** Livestock and poultry products Antibiotic residue; Synchronous detection Chromatography-mass spectrometry Immunoassay Biosensing Quality control

现代畜禽养殖业的规模化发展使得抗生素的使用变得不可或缺,然而这种依赖也带来了严重的残留问题。据统计,全球每年约有数万吨抗生素被用于畜禽养殖,其中约30%可能通过不同形式残留在最终产品中。抗生素的不规范使用,包括超剂量添加、随意扩大适用范围及忽视休药期规定等现象,导致畜禽产品中抗生素残留问题日益复杂化。这些残留物不仅可能影响产品品质,更严重的是,它们可通过食物链进入人体,引发过敏反应、肠道菌群失调,并加速细菌耐药性的产生与传播。世界卫生组织

已将抗生素耐药性列为21世纪公共卫生面临的重大挑战之一。因此,开发能够一次性高效、精准分析多种抗生素残留的同步检测技术,对于建立有效的监控体系、保障食品供给安全具有至关重要的意义。

### 1 畜禽产品中抗生素残留现状与同步检测的价值

#### 1.1 抗生素使用与残留概况

在当前的集约化养殖模式下,抗生素的使用已成为保障动物健康和提高生产效率的重要手段。然而,这种依赖也带来了严

重的残留问题。根据近年来的监测数据显示, 畜禽产品中抗生素残留超标率在不同国家和地区存在较大差异, 但普遍维持在3%~8%的水平。这些残留物种类繁多, 主要包括 $\beta$ -内酰胺类、四环素类、喹诺酮类、大环内酯类、磺胺类等主要抗生素家族<sup>[1]</sup>。

值得关注的是, 残留抗生素在食品中的存在不仅影响产品本身的食用品质, 更重要的是可能对消费者健康造成多重危害。长期摄入低剂量的残留抗生素可能导致人体肠道菌群失调, 降低免疫力, 并诱发细菌耐药性的产生。

### 1.2 实施同步检测的战略价值

传统的单一抗生素检测方法存在明显的局限性, 包括分析效率低、成本高、覆盖范围有限等问题, 难以满足现代食品安全监管对多残留检测的需求。相比之下, 多种抗生素残留同步检测技术展现出显著优势: 首先, 该技术能够在单次检测中同时测定数十种甚至上百种目标物, 大大提高了检测效率, 降低了单位检测成本; 其次, 同步检测能够提供更全面的残留谱图, 有助于监管部门掌握抗生素使用的整体情况, 为风险评估和预警提供科学依据。

从监管角度看, 同步检测技术的应用使得大规模筛查和监测成为可能, 有助于建立从养殖到销售的全程可追溯体系。同时, 该技术也为企业自控提供了有效工具, 促进养殖环节的规范用药。从消费者角度看, 同步检测技术的普及应用增强了食品安全保障的透明度, 提升了消费信心。

## 2 多种抗生素残留同步检测的主要技术方法及其评析

### 2.1 色谱与质谱联用技术

#### 2.1.1 高效液相色谱-串联质谱法

HPLC-MS/MS技术凭借其卓越的分离能力和检测灵敏度, 已成为实验室进行多残留分析的黄金标准。该技术的核心优势在于其能够同时实现高效分离和精准鉴定。在方法建立过程中, 色谱条件的选择尤为关键。常用的C18色谱柱配合甲醇-水或乙腈-水流动相体系, 通过优化梯度洗脱程序, 可以实现大多数抗生素的有效分离。质谱参数的选择同样重要, 包括电离模式、去簇电压、碰撞能等都需要根据目标物的化学特性进行系统优化<sup>[2]</sup>。

近年来, 超高效液相色谱与高分辨率质谱的联用进一步提升了检测性能。UPLC系统的工作压力可达1000bar以上, 显著提高了分离效率和分辨率。而高分辨率质谱如Q-TOF、Orbitrap等的应用, 使得检测限可达ng/kg级别, 同时能够进行非靶向筛查和未知物鉴定。这些技术进步极大拓展了同步检测的应用范围和能力。

#### 2.1.2 气相色谱-质谱联用技术

GC-MS技术特别适用于挥发性和半挥发性抗生素的分析。与液相色谱相比, 气相色谱具有更高的分离效率, 但其应用受限于目标物的挥发性。对于大多数极性较强、沸点较高的抗生素, 必须经过衍生化处理才能进行分析。常用的衍生化方法包括硅烷化、酰基化等, 这些过程虽然提高了检测灵敏度, 但也增加了前处理的复杂度和潜在误差来源。

近年来, GC-MS/MS技术的应用在一定程度上克服了传统GC-MS的局限性。通过多反应监测模式, 可以有效降低基质干扰, 提高检测的选择性和灵敏度。然而, 衍生化步骤的复杂性仍然限制了GC-MS在复杂多残留分析中的广泛应用。目前, 该技术主要适用于某些特定类别的抗生素分析, 如部分磺胺类药物等。

### 2.2 免疫分析技术

#### 2.2.1 酶联免疫吸附测定法

ELISA技术以其高灵敏度和操作相对简便的特点, 在快速筛查领域发挥着重要作用。技术的核心是基于抗原-抗体特异性反应原理。在竞争ELISA模式中, 包被抗原与样品中的目标物竞争结合有限量的酶标抗体, 通过酶催化底物显色的强度来间接测定目标物含量。现代ELISA技术通过单克隆抗体、重组抗体等的应用, 显著提高了检测的特异性和稳定性。

然而, ELISA技术在多残留同步检测方面仍面临挑战。传统的ELISA一次只能检测一种或少数几种结构相似的化合物, 要实现真正的多残留检测, 需要开发抗体混合物或使用多孔板阵列技术。近年来, 新型的微阵列ELISA和多重荧光免疫分析技术在一定程度上解决了这一问题, 但方法的复杂度和成本也相应增加。

#### 2.2.2 胶体金免疫层析技术

这种快速检测技术因其操作简便、快速直观的特点, 在基层和现场检测中广泛应用。胶体金免疫层析试纸条通常可在5~15分钟内给出检测结果, 无需复杂设备, 非常适合大规模初筛。现代胶体金技术通过优化金标抗体的制备工艺和膜材料的选择, 显著提高了检测的稳定性和重现性<sup>[3]</sup>。

然而, 该技术也存在明显局限性。首先是灵敏度相对较低, 通常只能达到 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 级别; 其次是定量能力有限, 多数产品只能进行半定量或定性判断; 此外, 环境因素如温度、湿度等可能影响检测结果的稳定性。这些限制使得胶体金免疫层析技术主要适用于基层筛查, 阳性结果仍需用实验室方法进行确认。

### 2.3 新兴传感器技术

#### 2.3.1 电化学传感器

电化学传感器通过检测目标物在电极表面发生的电化学信号变化来实现定量分析。近年来, 随着纳米材料和修饰技术的发展, 电化学传感器的性能得到显著提升。石墨烯、碳纳米管、金属纳米粒子等新型材料的应用, 大大增加了电极的比表面积和电子传输效率, 提高了传感器的灵敏度和选择性。

现代电化学传感器正朝着微型化、集成化和智能化的方向发展。通过结合微流控技术, 可以实现样品的自动前处理和检测; 通过与无线传输技术的结合, 可以实现检测数据的实时传输和远程监控。这些进步使得电化学传感器在现场快速检测领域展现出广阔的应用前景。

#### 2.3.2 生物传感器

生物传感器将生物识别元件与信号转换器有机结合, 实现了对目标物的高特异性识别和信号转换。根据识别元件的不同, 生物传感器可分为酶传感器、免疫传感器、适配体传感器、分

子印迹传感器等。其中,适配体传感器因其高特异性、易修饰性和稳定性受到广泛关注。

现代生物传感器的发展呈现出多元化的趋势。一方面,新型识别元件的开发提高了传感器的性能,如核酸适配体的体外筛选技术可以获得高亲和力的识别分子;另一方面,新型信号转换技术的应用提升了检测灵敏度,如表面等离子体共振、场效应晶体管等。这些技术进步推动了生物传感器在抗生素多残留检测中的应用。

### 3 同步检测流程的核心环节与质量控制体系

#### 3.1 样品前处理技术

##### 3.1.1 提取方法优化

样品提取是检测流程中的关键第一步,其效率直接影响最终结果的准确性。现代提取技术已从传统的液液萃取发展为更加高效环保的方法。QuEChERS方法因其快速、简便、成本低的特点得到广泛应用,该方法通过乙腈提取结合分散固相萃取净化,能够同时处理多种类型的抗生素。此外,加压液体萃取、微波辅助萃取等新技术也显示出良好的应用前景。

在提取过程中,需要考虑以下几个关键因素:首先是提取溶剂的选择,需根据目标物的极性和溶解度进行优化;其次是pH值的控制,不同的抗生素在不同pH条件下的提取效率差异显著;此外,提取温度、时间等参数也需要系统优化<sup>[4]</sup>。现代提取方法越来越注重环保和高效,如减少有机溶剂用量、缩短提取时间等。

##### 3.1.2 净化技术进展

净化过程的目的是去除样品基质中的干扰物质,提高检测的选择性和灵敏度。固相萃取仍然是应用最广泛的净化技术,新型吸附剂的开发不断拓展了其应用范围。例如,亲水-亲脂平衡型吸附剂可用于同时提取极性和非极性化合物,而混合模式吸附剂则通过多种作用机制的协同提高净化效果。

近年来,新型净化技术不断涌现。磁性固相萃取通过磁性吸附剂简化了操作步骤,提高了处理效率;在线净化技术与分析仪器的联用实现了自动化和高通量处理;而基于分子印迹聚合物的净化材料则显示出优异的选择性。

#### 3.2 全过程质量控制措施

##### 3.2.1 方法验证要求

检测方法的验证是确保结果可靠性的基础。完整的验证过程应包括特异性、线性范围、检测限、定量限、准确度、精密度、稳健性等指标的评价。其中,准确度通常通过加标回收率实验来评估,要求不同浓度水平的平均回收率在70%~120%之间,相对标准偏差符合相关标准要求。

方法验证过程中需要特别注意基质效应的研究。由于畜禽产品基质的复杂性,可能对检测结果产生显著影响。通过使用基质匹配标准曲线、同位素内标法等措施,可以有效校正基质效应,提高定量的准确性。此外,方法验证还应该在实验室间进行比对,以评估方法的适用性和重现性。

##### 3.2.2 质量保证体系构建

建立完善的质量保证体系是确保检测数据可靠性的关键。实验室应该建立包括人员培训、设备管理、标准物质管理、检测过程控制等在内的全面质量管理体系。内部质量控制措施包括使用控制样、空白样、加标样等进行过程监控,定期开展内部审核和管理评审<sup>[5]</sup>。

外部质量评估同样重要。实验室应该积极参与能力验证计划和实验室间比对,通过与其他实验室的结果比较,及时发现和纠正系统误差。此外,实验室还应该建立完善的数据管理和追溯体系,确保检测过程的透明度和结果的可追溯性。这些措施共同构成了保证检测质量的多层次防护体系。

## 4 结论与展望

#### 4.1 结论

本研究系统探讨了畜禽产品中抗生素多残留同步检测的技术体系。研究证实,与传统单一检测相比,同步检测技术在效率提升和成本控制方面优势显著,为食品安全监管提供了更全面的数据支撑。目前,色谱-质谱技术以其卓越的灵敏度成为实验室主流检测方法,免疫分析在快速筛查领域地位稳固,而新兴传感器技术则展现出良好的现场应用潜力。然而,现有技术仍面临样品前处理复杂、基质干扰明显、检测特性难以兼顾等挑战。

#### 4.2 展望

未来该领域将呈现智能化、微型化的发展趋势。样品前处理技术创新将成为重点突破方向,新型纳米材料和自动化系统的应用有望显著提升处理效率。多技术集成化检测平台的开发将成为主流,特别是微流控技术与多种检测方法的有机结合,可实现检测流程的一体化。人工智能与大数据的深度融合将推动检测数据分析的智能化转型,通过建立预测模型实现未知物的快速识别与风险评估。这些进展将为畜禽产品安全监管提供更强大的技术支撑。

## 【参考文献】

- [1]苏霞,王绪根,李云,等.畜禽产品中四环素类抗生素残留检测方法研究进展[J].今日畜牧兽医,2022,38(07):8-9.
- [2]杨晓伟.畜禽产品抗生素残留的危害及控制[J].中国动物保健,2019,21(08):50-51.
- [3]郑颜,范丽霞,董燕婕,等.畜禽产品中兽用抗生素残留检测技术研究[J].农产品质量与安全,2019,(03):65-69.
- [4]李斌,吉增涛.畜禽产品中抗生素残留主要检测技术及应对策略[J].家禽科学,2019,(02):50-56.
- [5]代美纯子,戴春桃.农村养殖业抗生素使用现状与应对措施——以张家界市为例[J].现代农业科技,2016,(18):246-250.

## 作者简介:

起萌(1991—),女,彝族,云南牟定人,本科,农艺师,研究方向:农产品、畜产品、水产品、粮油产品、农业环境检测。

## \*通讯作者:

刘俊杰(1982—),男,汉族,河北安国人,本科,农艺师,研究方向:农产品、畜产品、水产品、粮油产品、农业环境检测。