

动物性食品中兽药残留的检测技术与风险评估

赞德玛

内蒙古阿拉善盟阿左旗农牧业综合行政执法大队超格图呼热中队 内蒙古 阿拉善盟阿拉善左旗 750300

【摘要】动物性食品安全关乎公众健康，兽药在畜禽养殖中作用关键，但不合理使用导致的残留问题成为食品安全突出隐患。本文梳理常见残留种类及现状，阐述传统与新型检测技术特点，分析风险评估方法及防控措施。研究表明，色谱-质谱联用技术为主流检测手段，生物传感器、纳米技术等新型技术凭借快速、灵敏的优势逐渐推广，风险评估通过量化膳食暴露水平，为食品安全监管提供了科学依据。未来需完善检测体系、优化评估模型、强化全链条防控以保障动物性食品质量安全。

【关键词】动物性食品；兽药残留；检测技术；风险评估；食品安全

DOI:10.12417/3041-0630.26.01.081

动物性食品（包括畜禽肉、蛋、奶、水产品等）作为人类膳食的重要组成部分为人体提供优质蛋白质、维生素和矿物质等必需营养素，随着集约化养殖业的发展，兽药在疾病防治、促进生长等方面发挥着关键作用，其种类主要包括抗菌药、抗寄生虫药及激素类等，但养殖过程中存在的超范围、超剂量用药或未遵守休药期等问题导致兽药残留现象频发，不仅可能引发人体过敏反应、肠道菌群紊乱、细菌耐药性增强乃至“三致”毒性等健康风险，还会对生态环境造成污染。为保障食品安全，各国陆续建立了严格的兽药残留限量标准和监管体系，我国已发布《GB31650-2019》及《GB31650.1-2022》等国家标准，明确各类兽药在动物性食品中的最大残留限量^[1]。据此，发展高效、精准的检测技术并开展系统的风险评估已成为管控兽药残留风险、促进养殖业规范化和保障消费者健康的核心手段，本文旨在综述动物性食品中兽药残留的检测与评估方法，为相关监管决策与行业实践提供参考。

1 动物性食品中兽药残留的种类及现状

1.1 常见兽药残留种类

动物性食品中检出的兽药残留种类丰富，按功能及化学结构可分为多类：喹诺酮类包括恩诺沙星、环丙沙星等，具有广谱抗菌活性，广泛用于治疗畜禽细菌性疾病，过量使用易在动物组织中残留；四环素类如土霉素、强力霉素等，抗菌谱广且价格低廉，常用于畜禽疫病的预防与治疗，残留主要集中在肌肉、肝脏、肾脏等组织；酰胺醇类以氟苯尼考、氟苯尼考胺为代表，对革兰氏阳性菌、阴性菌均有抑制作用，在鸡肉、鸡蛋中检出率较高；硝基咪唑类包括甲硝唑、替硝唑等，主要用于治疗厌氧菌感染，部分品种已被禁止在食品动物中使用；抗球虫类如地克珠利、托曲珠利等，用于预防和治疗畜禽球虫病，在禽蛋、禽肉中残留风险较高；激素类如己烯雌酚、睾酮等，

曾被用于促进动物生长，因具有强致癌性，已被多数国家禁用。

1.2 兽药残留现状

全球范围内，动物性食品中兽药残留已是一个普遍存在的食品安全问题，不同地区和食品种类的残留情况差异显著。从国内情况看，我国通过建立健全兽药残留监控体系整体残留控制水平呈现出持续向好、稳步提升的态势，但部分兽药品种的残留问题，特别是喹诺酮类与四环素类抗生素等因其使用广泛依然是日常监测与风险管理的重点领域，监测数据显示养殖环节与市场流通渠道中仍能发现此类药物的残留，表明在规范科学用药、严格执行休药期等方面仍需加强监管力度与宣传教育^[2]。在国际层面，各主要发达国家与地区均将兽药残留监控置于食品安全体系的重要位置，构建了严格的法规标准与检测网络，尽管如此，从牛奶到畜肉等各类动物性产品中检出兽药残留并导致产品召回的事件仍时有发生，显示出该问题贯穿于从生产到销售的整个供应链，并可能对国际贸易构成潜在的非关税阻碍与信誉风险。

2 兽药残留检测技术

2.1 传统检测技术

(1) 色谱法：色谱法是兽药残留检测应用最为广泛的传统技术，有分离效率高、定量准的优势，具体包括高效液相色谱法(HPLC)、气相色谱法(GC)以及色谱-质谱联用技术(LC-MS/MS, GC-MS/MS)。高效液相色谱法用于测定热稳定性差、极性的兽药时较为合适，它是以色谱柱作为色谱分离部件，并与检测器配套进行目标物的分离及定量分析，在进行样品测定过程中对其前处理要求高且容易受到基质的影响^[3]；气相色谱法适宜测定易挥发性或热稳定性良好的兽药，需要对非挥发性的兽药先进行衍生化处理才能进行检测，因而检测效率

作者简介:姓名：赞德玛，出生年:1978年，性别:女，民族:蒙古族，籍贯：内蒙古自治区阿拉善盟阿左旗，职称：高级兽医师，学历：本科，主要研究方向：兽医专业。

和应用范围均较低；而色谱—质谱联用技术则将色谱法分离能力与质谱法定性优势相融合，成为目前兽药残留检测的金标准，包括液相色谱—串联质谱(LC—MS/MS)和气相色谱—串联质谱(GC—MS/MS)，其中前者灵敏度高、专属性强、可实现多组分的同时检测，适合于复杂基质下的检测，后者适宜于挥发性兽药的检测。

(2) 免疫分析法：免疫分析法基于抗原与抗体的特异性结合反应，具有快速、简便、成本低的优势，适用于大批量样品的快速筛查，主要包括酶联免疫吸附法(ELISA)和胶体金免疫层析法(GICA)，其中ELISA是应用广泛的免疫分析技术，通过酶标记抗原或抗体并利用酶催化底物显色定量，灵敏度高(检出限可达ng级)，适用于喹诺酮类、四环素类等兽药残留筛查，但特异性受抗体质量影响较大，易出现假阳性；GICA以胶体金为标记物，通过层析作用实现抗原-抗体反应，几分钟内即可出结果且无需专业设备，适用于现场快速检测，市面上已有针对恩诺沙星、氟苯尼考等兽药的检测试纸条，但定量准确性较低。该类方法多用于初步筛查，阳性结果需经色谱法进一步确证。

2.2 新型检测技术

(1) 生物传感器技术：生物传感器技术将生物识别元件(如抗体、酶、核酸)与物理化学传感器结合，通过生物识别元件与目标兽药的特异性反应，将化学信号转化为电信号、光信号等，实现快速检测。该技术具有响应速度快、灵敏度高、可实时监测的优势，在兽药残留检测中应用前景广阔^[4]。根据信号转换方式，生物传感器可分为电化学生物传感器、光学生物传感器、压电生物传感器等。电化学生物传感器通过检测反应过程中产生的电流、电位变化定量目标化合物，如基于抗体修饰的电化学传感器检测牛奶中四环素类残留，检出限可达0.1μg/L。光学生物传感器则利用荧光、紫外-可见吸收等光学信号变化进行检测，如荧光免疫传感器检测鸡肉中恩诺沙星残留。

(2) 纳米技术：纳米技术凭借纳米材料的高比表面积、高反应活性等特性与检测技术结合可显著提升检测灵敏度和特异性，在兽药残留检测中纳米材料主要用于样品前处理、信号放大等环节，纳米材料辅助样品前处理技术可提高目标化合物的提取效率，如采用纳米二氧化硅、纳米石墨烯等作为吸附剂用于复杂样品中兽药残留的富集与净化。纳米探针技术则通过将纳米材料与抗体、核酸等结合构建高灵敏度的检测体系，如量子点荧光探针检测鸡蛋中地克珠利残留，检出限较传统方法降低一个数量级。

(3) 分子生物学技术：分子生物学技术基于核酸杂交、聚合酶链反应(PCR)等原理，可通过检测细菌耐药基因间接

反映兽药残留情况，或直接检测兽药相关的特异核酸序列，适用于监测兽药滥用导致的细菌耐药性传播为风险评估提供科学参考，其中实时荧光定量PCR(qPCR)技术凭借高灵敏度和高特性的优势能快速检测样品中耐药基因的拷贝数，进而反映细菌耐药性水平，例如通过检测鸡肉中大肠杆菌的喹诺酮类耐药基因(qnrA、qnrB)可间接评估喹诺酮类兽药的滥用情况，不过该技术的局限性在于无法直接检测兽药残留浓度，因此实际应用中需与色谱法结合，以实现更全面准确的检测。

2.3 检测技术对比与应用场景

不同检测技术在灵敏度、特异性、检测速度、成本等方面存在显著差异，适用场景也各不相同(见表1)。

表1 常见兽药残留检测技术对比

检测技术	灵敏度	特异性	检测速度	成本	适用场景
LC-MS/MS	高(ng/kg级)	高	中等(2~4h)	高	确证检测、多组分检测
HPLC	中(μg/kg级)	中等	中等(1~3h)	中	常规定量检测
ELISA	中(ng/kg级)	中等	快(30~60min)	低	大批量样品筛查
胶体金免疫层析	中(μg/kg级)	中等	极快(5~10min)	低	现场快速筛查
生物传感器	高(ng/kg级)	高	快(10~30min)	中	快速定量检测、实时监测
纳米探针技术	极高(pg/kg级)	高	中等(30~60min)	中高	痕量残留检测

在实际应用中需根据检测目的选择合适的技术，基层监管部门开展大批量样品筛查时，可采用ELISA、胶体金免疫层析法；实验室进行确证检测或痕量残留分析时，应选用LC-MS/MS、GC-MS/MS等色谱-质谱联用技术；现场快速监测则可优先考虑生物传感器、胶体金试纸条等技术。

3 兽药残留风险评估

3.1 风险评估的核心意义

兽药残留风险评估是指将毒理学、流行病学和食品科学的数据融合起来，全面分析并定量评估兽药残留对人类健康可能产生的影响的过程，目的是为了保证食品安全，制定科学合理的限量标准；确定不同的食品中兽药残留的风险级别，有利于

监管部门制订具有针对性的检查、抽查以及预警等一系列监管措施；可以客观传达风险信息给消费者，让群众能有明明白白地消费，正确引导群众，还可以规范畜禽养殖业合理使用兽药。

3.2 风险评估的主要方法

兽药残留风险评估主要方式为点评估和概率评估两种。点评估将残留浓度均值、食品消费量等代表性的参数代入到计算公式中，得到膳食暴露量/安全限值（如：食品安全指数IFS）比值的一种方法，计算简单方便，适用于初筛；而概率评估则是基于建立的关键参数概率分布模型，用蒙特卡罗等方法计算风险发生概率的手段，其能够更加充分地体现风险的变异性及不确定性，评估结果也更加精确可靠，不过这会对大量数据和运算带来较高的要求。

3.3 风险评估的关键流程

兽药残留风险评估遵循“危害识别-危害特征描述-暴露评估-风险特征描述”的核心流程：①危害识别：明确动物性食品中可能存在的兽药残留种类，分析其毒理学特性，确定潜在危害（如致敏性、致癌性、耐药性等）。例如，硝基咪唑类兽药具有潜在致癌性，喹诺酮类可能诱导细菌耐药；②危害特征描述：通过毒理学试验确定兽药的每日允许摄入量（ADI）、急性参考剂量（ARfD）等关键参数，建立剂量-反应关系。ADI是指终身每日摄入该兽药而不产生健康危害的最大剂量，是风险评估的核心指标；③暴露评估：计算不同人群通过食用动物性食品摄入兽药残留的总量。需结合食品中兽药残留浓度监测数据、人群食品消费量数据、人群体重等参数，采用点评估法或概率评估法计算 EDIC；④风险特征描述：整合危害特征描述与暴露评估结果，量化风险水平，判断风险是否可接受，并提出风险管理建议，例如当膳食暴露量低于 ADI 时风险通常可接受，反之，则需建议加强监管、规范用药。

4 兽药残留的危害与综合防控

兽药残留威胁人类健康和生态环境安全，健康的危害是急性和慢性的，短期大量服用会出现胃肠道、神经系统症状以及过敏症状；长时间服用会有血液系统损害、内分泌干扰、诱发癌症的风险，并且会使细菌产生耐药，使抗生素失去临床效用，尤其是抗菌药物致使耐药细菌大量出现以及广泛传播，严重危

害着人类的生命健康。而通过粪便排泄进入自然环境中的兽药残留物质会对环境造成污染，污染后的土壤和水体会逐渐产生持久性残留物质(例如，四环素半衰期约 180 天)，久而久之破坏了微生物生态群落、降低了土壤肥力、破坏了水生生物、沿食物链传递累积进而毒害野生动物、破坏生物多样性，同时将抗性基因赋予野生生物种，促进环境耐药菌的产生以及耐药基因库的扩大。系统为应对上述风险应建设全链条防控体系，在法规标准上，根据允许量进行动态调整残留限量标准和打击违禁药物，并实现国际标准互认；养殖端，要大力推行科学用药、严格遵守休药期制度，并通过开展生态养殖、使用益生菌等绿色替代药品从源头减药，同时要建立健全全程追溯体系并落实好相应责任；监管部门要加强对基层的检测能力建设，布局全国监测网，加大高风险产品抽查力度和处罚力度^[5]；要加大对公众的科普宣传工作，形成以行业自律为基础的社会共治格局，保障动物性食品安全。

5 结论

动物性食品中兽药残留问题是关乎人民健康、产业运行和国际贸易的重要食品安全问题，做好风险防控工作需要依赖检测技术的进步和风险评估科学化发展。现阶段色谱—质谱联用技术仍然是兽药残留确证检测的主流技术手段，但是随着近年生物传感器、纳米技术等新技术快速发展，在一定程度上弥补了传统技术现场快速筛查及痕量分析方面的不足，“筛查—确证—监测”的多元检测技术体系正在逐渐形成和完善。风险评估采用标准流程(危害识别—特征描述—暴露评估—风险特征描述)进行残留限量标准的制定和精准监管的风险防控依据和风险管控制度，是风险管控的重点措施。我国动物性食品兽药残留控制水平不断提高，法规标准体系建设取得突破性进展，但仍存在部分兽用抗生素类药物的残留问题没有根本解决，细菌耐药性传播、环境污染等问题仍然存在。下一步要完善全链条防控，强化从养殖源头到终端消费全过程精准监管，推进各项防控技术更加有效的应用落地，推进各项标准的落地实施，并实施和完善精细化、精准化监管的标准，在日常监管的基础上提高风险发现能力，健全完善灵敏的跨部门联动执法机制和适应我国国情的国际标准互认互通机制，在加强基础科研的同时不断开发适于我国情况的技术创新。

参考文献：

- [1] 陈苏蒙,薛毅,赵程祥,贾曼,张宏达,陈刚.恩诺沙星和环丙沙星在肉鸡体内残留与代谢研究进展[J].中国兽药杂志,2022,56(3):72-79.
- [2] 冯雪英,王桂强,郑重,陈友霞,宫春波.2010—2024 年我国食品安全风险监测研究热点及趋势可视化分析[J].食品安全质量检测学报,2025,16(17):290-298.
- [3] 李荷丽,李立,赵程铭,韩世鹤.国内外食品安全抽检数据统计分析概况[J].粮油食品科技,2025,33(4):132-140.
- [4] 余红伟,邓惠丹,杨华,肖英平,丁向英,吉小凤.动物源性食品中兽药残留检测技术及兽药残留污染状况分析[J].浙江农业学报,2025,37(1):203-216.
- [5] 张丽.动物源食品中兽药残留检测方法的影响因素分析[J].畜牧兽医科技信息,2025(7):230-233.