

畜禽养殖中抗菌药物减量化使用关键技术及其对细菌耐药性的影响评估

雷殿祥¹ 薛菲² 燕海林³

1. 乌审旗苏力德苏木综合保障和技术推广中心 内蒙古 鄂尔多斯 017300

2. 乌审旗嘎鲁图镇综合保障和技术推广中心 内蒙古 鄂尔多斯 017300

3. 乌审旗动物疫病预防控制中心 内蒙古 鄂尔多斯 017300

摘要: 抗菌药物曾对保障畜禽健康、推动畜牧业发展意义重大,但其滥用引发的细菌耐药性(AMR)问题,已成为威胁人类、动物健康及全球公共卫生安全的重大挑战。本文系统梳理畜禽养殖领域抗菌药物减量化(“减抗”)的核心技术路径,评估其对遏制细菌耐药性蔓延的积极影响。先阐述抗菌药物滥用致耐药性的机制与现状,再从生物安全、精准诊疗、替抗产品、营养调控、智能化管理、种源净化等维度剖析减抗关键技术。通过理论与实证研究,论证减抗措施在降低耐药菌丰度、阻断耐药基因传播、改善食品及环境微生物安全等方面的成效。研究表明,系统性减抗技术体系是破解AMR困局、推动畜牧业绿色发展的必由之路。

关键词: 畜禽养殖; 抗菌药物减量化; 细菌耐药性; 替抗技术; 生物安全; 精准用药

引言

21世纪,全球人口增长与膳食升级使优质动物蛋白需求大增,推动畜禽养殖规模化发展。抗菌药物作为防病促生长工具被大量使用,WHO估计全球超70%抗菌药物用于畜牧业。过度依赖虽短期提升效益,却加速细菌耐药性演化蔓延。细菌耐药性使抗菌药物失效,耐药菌可通过多种途径传给人类,导致治疗失败、成本上升,甚至引发“超级细菌”感染。联合国将细菌耐药性(AMR)列为全球性危机,“同一个健康”理念强调一体化治理,畜禽养殖“减抗”是关键。我国是畜禽生产大国,高度重视抗菌药物规范与减量,农业农村部出台多项政策明确减抗目标。在此背景下,深入研究推广科学减抗技术,对保障国家食品安全、公共卫生安全和畜牧业高质量发展意义重大,本文将就此展开探讨。

1 抗菌药物滥用与细菌耐药性的形成机制及现状

1.1 耐药性的生物学基础

细菌耐药性的产生是一个复杂的自然选择过程。当环境中存在抗菌药物时,敏感菌株被抑制或杀死,而那些因基因突变或获得外源耐药基因而具备抵抗能力的菌株则得以存活并大量繁殖,最终成为优势种群。耐药机制主要包括:一是靶点修饰:细菌改变抗菌药物作用的靶位点结构,使药物无法结合。二是药物外排:通过膜上的外排泵将进入细胞内的药物主动排出。三是药物灭活:产生酶类(如 β -内酰胺酶)分解或修饰药物,使其失活。四是通透性降低:改变细胞膜或壁的通透性,阻

止药物进入。其中,耐药基因(ARGs)的水平基因转移(HGT)是耐药性快速扩散的核心驱动力。质粒、转座子、整合子等可移动遗传元件(MGEs)能够像“快递”一样,在不同种类甚至不同属的细菌之间传递ARGs,使得耐药性在短时间内跨越物种屏障,形成广泛的耐药网络。

1.2 养殖场:耐药性的“温床”与“放大器”

集约化养殖场为耐药性的产生与传播提供了理想条件:(1)高密度饲养:动物间密切接触,一旦有耐药菌出现,极易在群体内快速传播。(2)预防性用药:为防止疫病爆发,常在饲料或饮水中长期、低剂量添加抗菌药物,这恰恰是最易筛选出耐药菌的用药模式。(3)环境污染:含有未代谢完全药物及其代谢产物、耐药菌和ARGs的粪便被排放到环境中,污染土壤和水源,形成巨大的环境耐药基因库,并通过各种途径回流至人类社会。目前,多重耐药(MDR)、泛耐药(XDR)甚至全耐药(PDR)菌株在养殖场中屡见不鲜,如耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA)、产超广谱 β -内酰胺酶(ESBLs)的大肠杆菌等,其检出率远高于自然环境或野生动物群体。这不仅威胁着养殖业自身的生物安全,更构成了对公共健康的直接威胁。

2 畜禽养殖抗菌药物减量化关键技术体系

2.1 构建坚固的生物安全体系

生物安全体系是畜禽养殖抗菌药物减量化的根本前提与首道防线。它通过物理、化学和管理措施,阻止外

部病原微生物侵入,控制内部病原扩散。建设该体系,首先要科学选址、合理布局。养殖场远离人口密集区、主干交通线及其他养殖单元,内部严格划分净区与污区,人员、物资和动物单向流动,避免交叉回流。日常运营中,对进出人员、车辆及物资严格清洗、消毒与隔离,设标准化消毒通道^[1]。推行“全进全出”模式,每批次动物清栏后,彻底清扫、冲洗、干燥、多轮消毒并空栏,消灭残留病原。引种环节,从官方认证无特定疫病种源场引进动物,隔离检疫观察不少于三周,确保种源健康。同时,做好虫鼠害防控,鼠类、苍蝇和蚊虫等是病原重要传播媒介。周密且执行到位的生物安全体系,能切断疾病传入传播链条,降低动物发病率,大幅减少预防性和治疗性抗菌药物的使用。

2.2 推行精准诊断与科学用药

疾病突破生物安全防线时,盲目、经验性用药会加剧耐药性,推行基于精准诊断的科学用药是减抗关键。养殖者要摒弃粗放用药模式,转向以实验室诊断为依据的个体化、靶向化治疗。借助现代快速诊断技术,像PCR、LAMP、免疫层析试纸条、MALDI-TOFMS等,短时间内就能准确鉴定致病病原种类,再通过药敏试验明确其对抗菌药物的敏感谱。这些信息为临床选药提供科学依据,让兽医避开无效或低效药物,精准选最敏感、合适的方案。给药方式上,要从传统群体混饲或饮水给药,转为针对确诊患病个体的单独治疗,做到“该用则用,用则用好”^[2]。同时,严格遵守国家规定的药物使用剂量、疗程和休药期,保证治疗效果,彻底清除病原,防止因用药不足诱导耐药突变株产生,或因休药期不足致药物残留超标。精准用药既是对动物福利负责,也是延缓细菌耐药性发展的理性选择,对畜禽养殖健康发展意义重大。

2.3 开发与应用安全高效的替抗产品

减少传统抗菌药物使用,开发应用安全、高效、绿色的替抗产品,是减抗技术体系的重要支撑。益生菌以口服方式引入有益微生物,如乳酸菌、芽孢杆菌,能在动物肠道定植,通过竞争排斥抑制有害病原菌生长,调节宿主免疫系统增强抗病力。益生元是不易被宿主消化却能被有益菌利用的物质,如低聚果糖、甘露寡糖,可作为益生菌“专属食物”促其增殖,益生菌与益生元复合制成的合生元能协同增效。植物提取物,尤其是富含酚类、醛类活性成分的植物精油,如百里香酚、香芹酚,有天然抗菌、抗炎和抗氧化特性,可改善肠道健康、提高饲料转化效率。有机酸如甲酸、柠檬酸,能降低消化道pH值,营造不利于病原菌生存的酸性环境,

激活消化酶促进营养吸收。抗菌肽是生物体先天免疫系统的一部分,有广谱杀菌活性且不易诱导细菌耐药;噬菌体是能特异性裂解目标细菌的病毒,是精准“生物武器”。替抗产品应用需根据动物种类、生长阶段和健康状况,科学配伍组合,形成动态优化的综合方案。

2.4 优化营养与饲养管理

动物自身健康与免疫力是抵御疾病的强大武器,科学营养供给与精细化饲养管理是锻造该武器的根本。精准营养需依据动物不同生理阶段,如幼龄、育肥、妊娠、泌乳等,定制营养均衡日粮。要确保蛋白质、氨基酸、维生素(A、E、C等)及微量元素(锌、硒等)充足且平衡,它们是免疫细胞发育、抗体合成和炎症调控的物质基础。合理添加功能性饲料添加剂,如酵母细胞壁、 β -葡聚糖等免疫增强剂,或高效霉菌毒素吸附剂,能全方位支持动物健康。为动物提供舒适稳定的生活环境也极为关键。精确调控舍内温度、湿度、通风换气率和光照周期,可减少环境波动引发的应激反应,而应激是多种疾病的常见诱因。尊重动物自然行为需求,保障充足清洁饮水、合理饲养密度和适当活动空间,能提升动物福利、维持身心健康。“养重于防,防重于治”理念,通过全面提升动物整体健康水平,从源头筑牢抵御疾病防线,减少对外源性药物干预的依赖。

2.5 智能化与数字化管理赋能

信息技术为畜禽养殖减抗实践带来强大动能。智能化与数字化管理以数据驱动,实现从被动应对到主动预防的转变。智能环控系统可7×24小时监测舍内环境参数,依预设模型自动调控风机、湿帘、供暖等设备,为动物营造最佳生长微环境。基于个体识别的健康监测技术更为前沿,给每头(只)动物佩戴RFID耳标或可穿戴智能设备,能实时采集体温、活动量、采食和饮水行为等关键生理数据。借助人工智能算法深度学习与模式识别海量数据,系统可敏锐捕捉细微异常,在临床症状出现前发出疾病预警,实现早发现、早隔离、早治疗。将生产、健康、用药、环境等多维度数据汇聚到统一大数据平台,能构建养殖场数字孪生模型^[3]。管理者可基于虚拟镜像模拟推演、风险评估、决策优化,动态调整生物安全、营养和用药等策略,让减抗体系运行更精准、高效、经济。数字化管理不仅是技术工具升级,更是养殖理念与管理模式的深刻变革。

2.6 种源净化与抗病育种

种源净化是这一战略的第一步,通过对核心种畜禽群进行定期、全面的病原学检测,尤其是针对那些能够通过垂直传播(如经蛋、精液或胎盘)的病原(如沙门

氏菌、支原体、某些病毒），及时淘汰阳性个体，逐步建立起一个高度健康的种源基础，从而确保后代从出生起就拥有一个洁净的健康起点。在此基础上，现代抗病育种技术则着眼于从基因层面赋予动物更强的固有抵抗力。利用高通量测序和基因组选择技术，科学家可以鉴定出与特定重要疫病（如非洲猪瘟、禽流感）抗性相关的遗传标记，并以此为依据进行精准选育。更为革命性的是基因编辑技术（如CRISPR-Cas9）的应用，它有望在未来直接对关键抗病基因进行定向改造，创造出对特定病原具有天然免疫力的新品系。尽管抗病育种是一个投入大、周期长的系统工程，但其一旦成功，所带来的效益将是全局性和持久性的，能够从根本上改变人、畜与病原之间的博弈格局。

3 减抗关键技术对细菌耐药性的影响评估

3.1 降低养殖场内耐药菌负荷

多项实证研究表明，实施系统性减抗方案后，养殖场内耐药菌的流行率和丰度显著下降。例如，一项针对欧洲多个减抗示范猪场的研究发现，在停止使用促生长抗生素并强化生物安全和营养管理后，猪粪便中对四环素、磺胺类和大环内酯类药物的耐药大肠杆菌比例在一年内平均下降了30%-50%。在中国的减抗试点鸡场，通过使用益生菌和有机酸替代抗生素，鸡肠道内ESBLs大肠杆菌的检出率也大幅降低。这直接证明了减少药物选择压力是控制耐药菌最直接有效的手段。

3.2 阻断耐药基因（ARGs）的传播链

减抗措施不仅减少了耐药菌的数量，更重要的是削弱了ARGs的传播动力。（1）减少HGT机会：通过改善环境卫生、降低动物密度，减少了不同细菌间接触的机会，从而抑制了ARGs通过MGEs进行水平转移^[4]。（2）改变肠道菌群结构：益生菌、益生元等替抗产品能重塑健康的肠道微生态，增加有益菌的比例，挤压了携带ARGs的潜在致病菌的生存空间，降低了ARGs的宿主丰

度。（3）源头削减：精准用药和减少预防性用药，直接从源头上减少了环境中抗菌药物残留的浓度，降低了对ARGs的持续选择压力。

3.3 改善动物源性食品安全与环境健康

耐药性的降低直接惠及终端消费者和生态环境。（1）食品安全：动物产品（肉、蛋、奶）中耐药菌的污染风险随之降低，消费者通过食物链暴露于耐药菌的风险大大减小。（2）环境安全：施用减抗养殖场的粪肥后，土壤和水体中的ARGs污染水平更低，有助于保护环境微生物组的稳定性和功能，维护生态平衡。这体现了“同一个健康”理念下，减抗行动对人类、动物和环境三方健康的协同增益效应。

4 结语

畜禽养殖中抗菌药物减量化不仅是应对细菌耐药性危机的迫切需要，更是推动畜牧业迈向绿色、健康、可持续发展的内在要求。以生物安全为基础，以精准诊疗为核心，以替抗产品为支撑，以营养管理和智能技术为保障，以种源净化为长远目标的综合性技术体系，已被证明是有效降低养殖场耐药菌负荷、阻断耐药基因传播、保障食品安全与环境健康的成功路径。面对当前存在的挑战，唯有通过技术创新、政策引导、产业协同和公众参与，方能将减抗理念真正转化为产业实践，为守护“同一个健康”的美好未来贡献坚实力量。

参考文献

- [1]吴倩,钱剑雄.兽用抗菌药物减量技术与应用分析研究[J].畜牧业环境,2023,(11):11-12.
- [2]孙冰清,姜芹,张好,等.规模养殖场兽用抗菌药物使用减量化养殖模式初探[J].中国兽药杂志,2022,56(09):1-6.
- [3]程海元,项欣,陈尧,等.鄂州市兽用抗菌药物减量行动的调查[J].中国畜牧业,2024,(14):28-29.
- [4]陈萌萌,肖红波.国外兽用抗菌药物减量化经济学研究现状[J].动物医学进展,2021,42(10):114-118.