



张园园, 崔傲然. 兽用抗菌药有序减量的理论分析、实证测度与实现路径研究[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(10): 239-250.

ZHANG Yuanyuan, CUI Aoran. Theoretical analysis, empirical measurement and realization path of orderly reduction of veterinary antibiotics[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(10): 239-250.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.10.21

兽用抗菌药有序减量的理论分析、实证测度与实现路径研究

张园园 崔傲然

(山东农业大学 经济管理学院, 山东 泰安 271001)

摘要 为进一步明确兽用抗菌药减量路径, 助推畜牧业绿色低碳转型与高质量发展, 基于山东省702家生猪养殖企业的调查数据, 通过构建损害控制模型测度兽用抗菌药的最优使用量, 并进一步分析当前生猪养殖过程中兽用抗菌药的用药种类和用药结构, 提出兽用抗菌药的有序减量路径。结果表明: 1) 兽用抗菌药减量符合生猪养殖主体利润最大化的根本诉求, 是生猪产业高质量发展的重要内涵, 也是国家生态文明建设的重要体现; 由于生猪疫病的危害程度不同、兽用抗菌药的功能差异以及兽用抗菌药的药物替代选择, 应开展兽用抗菌药有序减量。2) 当前受访企业兽用抗菌药投入的边际生产率接近于0, 最优使用量为9.53元/头, 超量使用7.21元/头, 且四环素类、 β -内酰胺类、氨基糖苷类与磺胺类兽用抗菌药使用占比较高, 促生长类兽用抗菌药和广谱抗菌药使用较为普遍。3) 兽用抗菌药有序减量应优先减少疗效不佳、轻症疫病的过度保健用药, 优先减少促生长类兽用抗菌药使用量, 优先减少可中药替代的兽用抗菌药使用量。因此, 应着力提升利益相关主体的兽用抗菌药减量能力、加快产业链转型升级、加大兽用抗菌药使用风险点的监督监测。本研究为推进兽用抗菌药减量提供理论借鉴和政策参考。

关键词 生猪养殖; 兽用抗菌药; 损害控制模型; 有序减量

中图分类号 F323

文章编号 1007-4333(2024)10-0239-12

文献标志码 A

Theoretical analysis, empirical measurement and realization path of orderly reduction of veterinary antibiotics

ZHANG Yuanyuan, CUI Aoran

(College of Economics and Management, Shandong Agricultural University, Tai'an 271001, China)

Abstract In order to further clarify the reduction path of veterinary antimicrobials and promote the green and low-carbon transformation and high-quality development of animal husbandry, based on the survey data of 702 pig breeding enterprises in Shandong Province, a damage control model was constructed to measure the optimal usage of veterinary antibiotics. Furthermore, the types and structure of veterinary antibiotics used in the current pig breeding process were analyzed, and an orderly reduction path of veterinary antimicrobials was proposed. The results showed that: 1) The reduction of antimicrobial drugs for veterinary use is in line with the fundamental demand of maximizing the profit of pig breeding subjects, which is an important connotation of the high-quality development of pig industry and an important embodiment of national ecological civilization construction. Due to the varying degrees of harm caused by pig diseases, the functional differences of alternatives for veterinary antibiotics, it is necessary to carry out orderly reduction of veterinary antibiotics. 2) At present, the marginal productivity of the input of veterinary antimicrobials in the surveyed enterprises is close to 0, with an optimal usage rate of 9.53 yuan/head and

收稿日期: 2024-02-18

基金项目: 国家社会科学基金青年项目(20CGL029)

第一作者: 张园园(ORCID:0009-0004-9349-8932), 副教授, 主要从事农业生态补偿研究, E-mail: keyneee@sdau.edu.cn

the excessive usage rate of 7.21 yuan/head. The use of tetracycline, β -lactam, aminoglycoside and sulfonamides for veterinary antimicrobials is relatively high, and the use of growth-promoting veterinary antimicrobials and broad-spectrum antimicrobials is more common. 3) Orderly reduction of veterinary antimicrobials should prioritize the reduction of overuse of health care drugs with poor efficacy and mild diseases. Priority should be given to reducing the use of growth promoting veterinary antibiotics, and the use of veterinary antibiotics that can be replaced by traditional Chinese medicine should be prioritized. Therefore, efforts should be made to improve the ability of stakeholders to reduce veterinary drugs, accelerate the transformation and upgrading of the industrial chain, and increase the supervision and monitoring of the risk points of veterinary drug use. The paper aims to provide theoretical reference and policy reference for promoting the reduction of veterinary antimicrobials.

Keywords pig breeding; veterinary antimicrobial drugs; damage control model; orderly reduction

2024年《中共中央国务院关于学习运用“千村示范、万村整治”工程经验有力有效推进乡村全面振兴的意见》围绕加强农村生态文明建设谋篇布局^①，“推进兽用抗菌药使用减量化行动”也被首次写入中央一号文件。兽用抗菌药主要由抗生素和人工合成抗菌药组成，可用于预防和治疗细菌性疾病，是畜禽养殖健康发展的重要保障。受长期以来传统用药习惯的影响，加之近年来畜禽养殖规模化和集约化发展，畜禽产品高频次调运和远距离运输，畜禽养殖面临的疫病风险和外源性污染风险越来越多，兽用抗菌药滥用、超标以及耐药性等问题日益凸显，在生态环境、食品安全、公共卫生等方面产生的威胁日益增加。据农业农村部统计，2018—2021年的畜禽养殖兽用抗菌药使用量分别为2.98万t、3.09万t、3.28万t和3.25万t，较2017年的4.18万t有所下降^②，但违禁抗菌药滥用、联合用药不规范等问题仍然存在^③。尤其是，兽用抗菌药被广泛用于促进畜禽生长，使得药物残留风险极大增加：有证据表明在3.09万t兽用抗菌药使用量中，1.49万t用于促生长，占比高达48.12%^③。为规避养殖风险，养殖主体通常以“宁过勿缺”的心理投入兽用抗菌药，导致其边际生产率降低^[2-3]，这显然与畜牧业高质量发展的要求相悖离。因此，推进兽用抗菌药减量使用，是加快畜牧业绿色低碳转型的基本要求，也是践行农业强国战略的重要内容。

国内外学者探究了畜禽养殖中兽用抗菌药使用量的影响因素。比如，养殖主体的年龄、性别、受

教育程度等特征^[4-5]，兽药使用认知、药物疗效认知、安全风险认知等生态素养^[6-7]，以及养殖年限、养殖规模、养殖密度、休药期遵从等生产经营特征^[8-9]都显著影响养殖主体兽用抗菌药使用量。有研究发现兽医作为兽药产品处方第一责任人，可以通过评估动物健康、提供减少疾病的饲养实践信息来规范甚至是减少兽用抗菌药使用量^[10]，从这个角度出发，建立独立于药品销售的收入补偿机制有利于减少兽用抗菌药销售量^[11]。近年来，欧盟陆续从加强兽药监管、养殖户培训、兽药使用强制记录等方面出台一系列措施来减少兽用抗菌药使用量^[12-13]，并取得了显著成效^[14]。

综上，国内外研究成果在兽用抗菌药减量上形成强烈共识，对兽用抗菌药减量的复杂影响因素进行了梳理、挖掘和检验，并开始了减量实现方式的探索性研究，为兽用抗菌药减量提供了丰富的经验证据。但是目前对于兽用抗菌药减量标准测算和减量实现路径的研究严重不足，难以引导广大畜禽养殖主体的有效参与，成为制约兽用抗菌药减量化行动的瓶颈因素。因此，本研究将基于山东省702家生猪养殖企业的调查数据，通过构建损害控制模型测度兽用抗菌药的最优使用量，从而厘定减量标准；通过进一步分析当前生猪养殖过程中兽用抗菌药的用药种类和用药结构，提出兽用抗菌药的有序减量路径，旨在为推进兽用抗菌药减量提供理论借鉴和政策参考。

①《中共中央 国务院关于学习运用“千村示范、万村整治”工程经验有力有效推进乡村全面振兴的意见》，https://www.gov.cn/zhengce/202402/content_6929934.htm

② https://www.sohu.com/a/507787074_120956920, https://www.moa.gov.cn/xw/zwdt/202212/t20221219_6417297.htm

③《2019年中国兽用抗菌药使用情况报告》，https://www.sohu.com/a/500358350_299363

1 兽用抗菌药有序减量的理论分析

1.1 兽用抗菌药减量

兽用抗菌药是指抑制或杀灭细菌、且在兽医临床上用于预防和治疗动物细菌性感染的一类药物。当病原微生物侵入抵抗力较弱的动物体内时,需要及时使用抗菌药,否则病原容易在动物群体中扩散,导致产品质量下降并降低产量;当动物感染了多种病原微生物时,需要联合用药,2种兽用抗菌药相辅相成,可以起到“事半功倍”的效果。比如临床上青霉素与链霉素联用能使链霉素更易进入细菌发挥作用,从而扩大抗菌谱,这在药理上通常称为药物的协同作用;反之,若联合用药不当,药物之间可能出现拮抗作用,从而降低药效,甚至诱发毒性。比如氨基糖苷类药物如链霉素、庆大霉素、大观霉素等联合使用会出现耳毒性和肾毒性。因此,兽用抗菌药使用量并非越多越好,是存在最优使用量的。在新发展背景下,亟需切实推进减量。

1.1.1 生猪养殖主体利润最大化的根本诉求

作为理性经济人,养殖主体通常根据利润最大化目标做出兽用抗菌药的使用量决策。兽用抗菌药使用的利润最大化要求边际收益等于边际成本:兽用抗菌药的边际产品价值是每增加一单位兽用抗菌药投入所带来的生猪养殖收益,兽用抗菌药的价格即兽用抗菌药使用的边际成本,当最后一单位兽用抗菌药使用所带来的边际收益恰好等于兽用抗菌药的价格时,表明达到了最优使用量。而且兽用抗菌药超量使用对生猪养殖行业带来的不利影响也印证了兽用抗菌药边际收益递减的事实,因此在经济学角度,兽用抗菌药是存在最优使用量的。然而囿于当前生物防控技术薄弱、养殖主体兽药知识欠缺以及职能部门监督不力等现实障碍,兽用抗菌药实际用量会偏离利润最大化的最优使用量,这显然与生猪养殖主体的利润最大化诉求矛盾。

1.1.2 生猪产业高质量发展的重要内涵

2018年农业农村部发布的《兽用抗菌药使用减量化行动试点工作方案(2018—2021年)》重点关注了我国药物残留以及动物源细菌耐药问题,并首次

提出兽用抗菌药“零增长”目标^①;2020年国务院发布的《促进畜牧业高质量发展的意见》中进一步突出了动物源细菌耐药问题,其中提到要加强兽用抗菌药综合治理,实施动物源细菌耐药性监测^②,这表明细菌耐药问题是影响兽用抗菌药超量使用的重要原因,养殖主体滥用药物的行为会导致细菌耐药程度加剧;紧接着2021年农业农村部再次发布新一轮兽用抗菌药减量方案,即《全国兽用抗菌药使用减量化行动方案(2021—2025年)》,其中更加明确地指出“到2025年末50%的养殖场实施减抗行动”,并提供了减量指导原则^③。由此可见,在兽用抗菌药使用普遍超量的基本事实下,国家层面兽用抗菌药减量政策的强度不断加大、行动逐渐细化^[15]。养殖水平、饲养管理水平和诊疗水平等多种方式都可以减少兽药使用量,保障动物的健康生长是生猪产业高质量发展的重要科学内涵。

1.1.3 国家生态文明建设的重要体现

全面建设社会主义现代化国家必须深入贯彻新发展理念,加快构建新发展格局。习近平总书记指出,必须完整、准确、全面贯彻新发展理念,保持加强生态文明建设的战略定力,促进经济社会发展全面绿色转型,推动经济发展质量变革、效率变革、动力变革,推动经济社会发展建立在资源高效利用和绿色低碳发展的基础之上^[16]。兽用抗菌药超量使用甚至是滥用会危害我国动物源性食品安全、公共卫生安全和生物安全,与我国生态文明建设的根本大计相悖。因此,严格控制药物使用,尤其是兽用抗菌药使用量,降低肉源性食品中抗菌药残留,是国家生态文明建设的重要体现。

1.2 兽用抗菌药减量的有序性

兽用抗菌药减量并非在养殖过程中完全放弃该类药物使用,而是突出规范使用、合理配伍。依据农业农村部发布的兽用抗菌药减量化指导原则,兽用抗菌药有序减量是指养殖主体优先从最该减、易于减的兽用抗菌药入手,逐步调整用药种类和用药结构,提高兽用抗菌药整体使用效率,最终达到兽用抗菌药减量的目的。

①《农业农村部关于印发〈全国兽用抗菌药使用减量化行动方案(2021—2025年)〉的通知》, https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-10/25/content_5644815.htm

②《国务院办公厅关于促进畜牧业高质量发展的意见》, https://www.gov.cn/zhengce/content/2020-09/27/content_5547612.htm

③《农业农村部关于印发〈全国兽用抗菌药使用减量化行动方案(2021—2025年)〉的通知》, https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-10/25/content_5644815.htm

1.2.1 生猪疫病的危害程度不同

由于生猪疫病的危害、发生率、可控性等存在差异,对疫病用药的必要性需要谨慎考虑。在生猪养殖过程中,常见生猪疫病包括传染性疫病和非传染性疫病2种类型。非传染性疫病防治恰当便能基本治愈,而传染性疫病对生猪的危害较为严峻,发病后若没有第一时间进行隔离,便会在极短时间内进行大范围传播。因此在用药方面,面对传染性疫病时,不仅要在发病时合理使用兽用抗菌药控制疫病规模,而且需要通过药物预防从源头切断传播途径,尽可能将疫病控制在初始阶段,比如蓝耳病和猪传染性胸膜肺炎等传染性和致死率极强的生猪疫病,在养殖过程中可以使用泰万菌素、多西环素和氟苯尼考等抗菌药加以预防;而面对非传染性疫病时,由于此类疫病可控性高,对猪群整体危害相对较低,在可控范围内应优先减少此类疾病的预防用药。

1.2.2 兽用抗菌药的功能差异

因化学结构、作用机理、抗菌谱等差异,兽用抗菌药功能呈现多样性。首先,从抑制或杀灭病原微生物的范围看,兽用抗菌药分为广谱抗菌药和窄谱抗菌药:广谱抗菌药抗菌作用范围广,对革兰氏阳性、阴性菌有抗菌作用,对支原体、衣原体、立克次氏体等也有抑制作用;窄谱抗菌药作用范围小,仅作用于单一菌种。其次,从用途看,兽用抗菌药分为促生长类和治疗类:促生长类主要包括四环素类抗生素,治疗类主要包括 β -内酰胺类、磺胺类、大环内酯类、酰肼醇类和氨基糖苷类等药物。在生猪养殖过程中,兽用抗菌药使用种类繁多且用药结构复杂,要依据实际情况优先减少使用药效低、毒副作用大的药物,尽量减少联合用药。

1.2.3 兽用抗菌药的药物替代选择

兽用抗菌药的药物替代主要考虑耐药性问题和中兽药替代。兽用抗菌药耐药性是细菌对某种抗菌药产生抵抗的特性,使得杀灭该细菌的抗菌药用量增多,耐药性的产生与兽用抗菌药使用时间以及超量使用密切相关,若不了解当前生猪养殖的耐药环境而继续盲目用药,很容易因用药无效导致兽用抗菌药持续超量使用,产生恶性循环。因而从耐药性角度,应减少使用耐药性较强的兽用抗菌药,并尽可能用其他药物替代。随着中兽药的研发使用,中兽药、微生态制剂等绿色兽药都是纯天然药物,毒副作

用小,对于症状较轻的一般生猪疫病,使用中兽药治愈的可实现性较大,应优先使用并替代部分低效、休药期长、易残留的兽用抗菌药品种。

2 基于损害控制模型的兽用抗菌药最优使用量测度

最优使用量测度是兽用抗菌药减量的依据。从理性经济人的角度出发,生猪养殖主体是从自身利益出发做出兽用抗菌药使用决策,而非产业转型或国家生态战略的需要。因而,本研究借鉴已有研究,选用成本—收益视角的损害控制模型来测度经济学意义上兽用抗菌药的最优使用量^[17]。

2.1 损害控制模型

在畜禽养殖过程中,兽用抗菌药与常规生产要素不同,其使用并不能直接增加畜禽产量,而是通过防治动物细菌性疾病来规避养殖风险,从而保障畜禽产量。据此,本研究将兽用抗菌药引入C-D生产函数,并在此基础上构建损害控制模型来研究兽用抗菌药超量使用水平。本研究以生猪养殖兽用抗菌药使用为例,将兽用抗菌药对生猪产量的影响分为2个阶段:

第一阶段,兽用抗菌药能够显著抑制革兰氏阳性、阴性菌、支原体、立克次氏体等病原微生物生长;假设在没有兽用抗菌药作用下病原微生物数量为 Z_0 ,兽用抗菌药投入量为 Q ,并以 $C(Q)$ 的形式对病原微生物数量产生影响,则病原微生物控制函数可以表示为:

$$Z = Z_0[1 - C(Q)] \quad (1)$$

式中:通常假定 $C(Q)$ 为 $[0, 1]$ 区间内的累计分布函数,当 $C(Q)=0$ 时, $Z=Z_0$,表明在未使用兽用抗菌药情况下,病原微生物数量不受影响;当 $C(Q)=1$ 时, $Z=0$,表明当兽用抗菌药使用量过大时,病原微生物被完全抑制。未得到抑制的病原微生物数量随着兽用抗菌药使用量提升而单调递减。

第二阶段,未被抑制的病原微生物对生猪产量造成影响。假设 Y 为生猪实际产量, $F(X)$ 为未受到病原微生物影响的生猪潜在产量,其中 X 表示仔猪、饲料、劳动力等生产要素投入量, α 表示病原微生物对生猪产量的影响比例,病原微生物以 $D(Z)$ 的形式对生猪产量造成影响,则损失函数的表达式为:

$$Y = (1 - \alpha)F(X) + \alpha F(X)[1 - D(Z)] \quad (2)$$

式中:当 $D(Z)=0$ 时, $Y=F(X)$,表示病原微生物没

有影响生猪产量,生猪实际产量等于潜在产量;当 $D(Z)=1$ 时, $Y=(1-\alpha)F(X)$,表示病原微生物造成了 α 比例生猪潜在产量的完全损失,生猪实际产量达到最低水平。将式(1)代入式(2)中可得兽用抗菌药作为损害控制投入的生产函数:

$$Y=(1-\alpha)F(X)+\alpha F(X)[1-D\{Z_0[1-C(Q)]\}] \quad (3)$$

在实际研究过程中,令 $G(Q)=1-D\{Z_0[1-C(Q)]\}$,将 $G(Q)$ 定义为一个不失一般性的消减函数,常用的分布形式为Exponential分布、Pareto分布、Weibull分布、Logistic分布,由于帕累托分布的损害控制模型中隐含产出弹性不变的特点,无法准确反映实际情况,故下文不予以考虑。

2.2 数据说明

本研究所用数据是 2023 年 5—8 月对山东省

702 家生猪养殖企业的实地调研所得。调查方式有 3 种:一是课题组在宁阳县、滨城区、招远市、费县等地实地走访调研;二是在山东农业大学征集具有调查条件的省内在校大学生,组织他们在暑假期间对家乡及其周边生猪养殖企业开展问卷调查;三是委托有合作关系的基层畜牧单位对辖区内生猪养殖企业的问卷调查。为克服样本偏差,课题组开展了 2 项工作:一是组织开展调查员的培训,规范调研过程,以避免调查员偏差;二是事前播放讲解视频,向受访者讲解兽用抗菌药减量使用的现实背景和政策涵义,以避免信息偏差。此次调研共发放问卷 800 份,回收 739 份,剔除关键数据缺失以及数据失真样本后最终得到有效问卷 702 份,问卷有效率为 87.75%。企业及受访者的基本特征如表 1 所示。

表 1 企业及受访者基本特征
Table 1 Basic characteristics of firms and respondents

指标 Index	类别 Indicator category	比例/% Percentage	指标 Index	类别 Indicator category	比例/% Percentage
年龄 Age	≤30 岁 ≤30 years old	10.11	性别 Gender	男 Male	86.32
	31~40 岁 31~40 years old	29.77		女 Female	13.68
	41~50 岁 41~50 years old	39.32	养殖年限 Years of breeding	≤5 年 ≤5 years	33.05
	51~60 岁 51~60 years old	20.09		6~10 年 6 to 10 years	29.06
	≥61 岁 ≥61 years old	0.71		11~20 年 11 to 20 years	32.05
				≥21 年 ≥21 years	5.84
受教育程度 Education	小学及以下 Elementary school and below	2.99	养殖环境 Breeding environment	很差 Very poor	0.74
	初中 Junior high school	32.05		比较差 Relatively poor	3.25
	高中或中专 High school or technical secondary school	27.07		一般 Intermediate level	23.21
	大专及以上 College degree or above	37.89			

表1(续)

指标 Index	类别 Indicator category	比例/% Percentage	指标 Index	类别 Indicator category	比例/% Percentage
减量技术认知 Degree of knowledge of reduction techniques	很低 Not Knowledgeable	3.65	比较好 Relatively good		32.86
	比较低 Slightly Knowledgeable	4.47			39.94
	一般 Moderately knowledgeable	31.73	养殖规模 Breeding scale	100头及以下 100 heads or less	14.96
	比较高 Very knowledgeable	38.72		101~1 000头 101 to 1 000 head	52.99
	很高 Extremely knowledgeable	21.43		1001~5 000头 1001 to 5 000 head	22.94
				5001~10 000头 5001~10 000 head	7.69
安全用药认知 Awareness of safe medication	很低 Not knowledgeable	18.81		10 001头及以上 10 001 head and above	1.42
	比较低 Slightly knowledgeable	19.56	兽药选择 Veterinary drug selection	兽用抗菌药 Veterinary antibiotics	90.03
	一般 Moderately knowledgeable	33.53		驱虫类兽药 Repellent veterinary drugs	73.93
	比较高 Very knowledgeable	12.18		其他兽药 Others	45.58
	很高 Extremely knowledgeable	15.92			

如表1所示,男性受访者占比高居86.32%,年龄集中在41~50岁,大专及以上学历占比最高为37.89%;37.89%的受访企业具备10年以上生猪养殖经验,养殖规模相对集中在101~1 000头。60.15%的决策者“比较了解”或“非常了解”兽药减量技术,但其安全用药认知有待提高。90.03%的受访企业使用兽用抗菌药,因此兽用抗菌药减量时生猪养殖企业的有效参与尤为关键。

2.3 模型构建

在生产要素投入对畜禽产品影响的研究中,多数学者通常采用C-D生产函数模型,即:

$$Y = \alpha [\prod_{i=1}^n (X_i)^{\beta_i}] Q^{\beta} \tag{4}$$

式中:Y是生猪产量,Q是兽用抗菌药使用量,X_i是仔猪投入、饲料投入、劳动力投入等其他生产要素投入量,α、β_i、β为待估系数。但兽用抗菌药并不直接影响生猪产量,而是属于损害控制投入,即通过减少生猪疫病造成的产量损失间接影响产量,若将兽用抗菌药直接代入C-D生产函数中会导致兽用抗菌药的边际生产率被高估^[18]。因此,本研究将兽用抗菌药作为损害控制投入,构建损害控制模型如下:

$$Y = \alpha [\prod_{i=1}^n (X_i)^{\beta_i}] \times G(Q)^{\gamma} \tag{5}$$

式中： $G(Q)$ 为损害控制部分，为计量识别，令参数 $\gamma=1$ 。

畜牧业生产经济效益的函数关系通常有 2 种表现形式：一是要素投入量与产出量之间的关系，二是投入成本与生产收益之间的关系。由于兽用抗菌药种类繁多、剂型差异较大，较难计算兽用抗菌药投入量，而且考察单一品种的兽用抗菌药难以反映生猪养殖过程中兽用抗菌药使用的实际情况。因此，本研究选择生猪养殖收益与各种生产要素投入成本作为变量来进一步估计兽用抗菌药边际生产率并测度其超量使用水平。

根据式(4)和式(5)，分别构建 C-D 生产函数模型和损害控制模型的对数回归方程：

$$\ln(Y_n)=\alpha+\sum\beta_i\ln X_{in}+\sum\delta_jE_{jn}+\beta\ln Q_n+\epsilon_n \quad (6)$$

$$\ln(Y_n)=\alpha+\sum\beta_i\ln X_{in}+\sum\delta_jE_{jn}+\ln G(Q_n)+\epsilon_n \quad (7)$$

式中： Y_n 为第 n 个生猪养殖企业的生猪养殖收入， X_i 为除兽用抗菌药外的其他生产要素投入成本， E_j 为

环境变量， Q 为兽用抗菌药投入成本。对 C-D 生产函数模型采用简单 OLS 进行估计，而由于损害控制模型为非线性，所以采用极大似然法进行估计。

将式(6)和式(7) 两边分别对 Q 求偏导，可得 C-D 生产函数模型和损害控制模型估计的兽用抗菌药边际生产率(Marginal value product, MVP)的计算公式：

$$MVP(Q)=\frac{\partial Y}{\partial Q}=\beta\frac{Y}{Q} \quad (8)$$

$$MVP(Q)=\frac{\partial Y}{\partial Q}=\frac{Y}{G(Q)}\times\frac{\partial G(Q)}{\partial Q} \quad (9)$$

当兽用抗菌药的 MVP 等于 1 时可以计算出生猪养殖企业经济意义上的兽用抗菌药最优使用量 Q^* ，而兽用抗菌药超量使用水平 Q_0 为实际使用量 Q_n 与最优使用量 Q^* 的差值，表示为：

$$Q_0=Q_n-Q^* \quad (10)$$

本研究涉及的相关变量定义与赋值见表 2。

表 2 产出变量与投入变量的统计特征
Table 2 Statistical characteristics of output and input variables

变量类别 Type of variable	变量 Variable	变量定义与赋值 Variable definition and assignment	均值 Mean
产出变量 Output variable	生猪养殖收入 Income from pig farming	生猪产值/(元/头)	1 628.76
	仔猪投入 Piglet input	仔猪投入费用/(元/头)	291.08
	饲料投入 Feed inputs	饲料及加工投入费用/(元/头)	1 355.31
投入变量 Input variable	水电设施投入 Hydropower facilities are invested	水费、电费、设备维修费和固定资产折旧费用/(元/头)	23.16
	劳动力投入 Labor input	饲养生猪的劳动力成本/(元/头)	172.94
	技术服务投入 Input in technical services	养殖培训等技术服务投入费用/(元/头)	10.78
	兽用抗菌药投入 Veterinary antimicrobial input	兽用抗菌药使用成本/(元/头)	16.74
环境变量 Environment variable	养殖环境 Breeding environment	养殖场环境：很差=1；较差=2；一般=3；较好=4；很好=5	3.68
	养殖保险 Farming insurance	是否购买养殖保险：否=0；是=1	1.41

2.4 测度结果分析

借鉴已有研究,本研究选用C-D生产函数模型和Weibull分布的损害控制模型进行估计,得到结果见表3。仔猪投入、饲料投入、水电设施投入、劳动力投入在2个模型中的系数均为正且显著,表明在其他条件不变的情况下,仔猪投入、饲料投入、水电设施投入、劳动力投入增加了生猪产量,提高了生猪养殖企业养殖收入。兽用抗菌药投入在2个模型中的系数均为正且分别在5%和1%的统计水平上显著,表明兽用抗菌药能够有效减少病原微生物造成的产量损失,提高养殖收入。根据表3估计结果,将生猪养殖收入、兽用抗菌药投入的平均值代入公式(8)和(9)。结果显示,通过分

布函数为Weibull分布的损害控制模型估计结果计算的兽用抗菌药边际生产率接近于0,即每增加1元兽用抗菌药投入带来每头猪的产值接近于0,表明生猪养殖企业在经济意义上已经超量使用兽用抗菌药。通过C-D生产函数模型估计结果测度的兽用抗菌药边际生产率为4.56,对比可得C-D生产函数模型确实高估了兽用抗菌药边际生产率。

为进一步计算兽用抗菌药超量使用水平,令兽用抗菌药边际生产率为1,根据表3的估计结果,计算出生猪养殖企业兽用抗菌药平均使用量为16.74元/头,最优使用量为9.53元/头,超量使用7.21元/头,即在当前兽用抗菌药平均实际使用量

表3 C-D生产函数模型与损害控制模型估计结果

Table 3 Estimation results of C-D production function model and damage control model

变量 Variable	C-D生产函数模型 C-D production function model		Weibull分布的损害控制模型 Damage control model of Weibull distribution	
	系数 Coefficient	标准误 Standard error	系数 Coefficient	标准误 Standard error
常数项 Constant	3.722 8***	0.637 2	4.257 3***	0.792 8
仔猪投入 Piglet input	0.059 7***	0.018 2	0.063 1***	0.016 6
饲料投入 Feed input	0.103 3***	0.035 9	0.125 3**	0.060 2
水电设施投入 Input in hydropower facilities	0.072 1*	0.042 7	0.064 5*	0.034 4
劳动力投入 Labor input	0.250 3**	0.126 4	0.276 4***	0.091 7
技术服务投入 Input in technical service	0.001 6	0.001 3	0.008 1	0.007 8
兽用抗菌药投入 Veterinary antimicrobial input	0.046 9**	0.020 1	—	—
养殖环境 Breeding environment	0.002 1**	0.001 0	0.003 5*	0.001 9
养殖保险 Farming insurance	0.013 8	0.008 7	0.009 4	0.005 4
c	—	—	0.009 8***	0.002 3
R ²	0.59		0.63	
F-statistic	191.386 4		—	
—2LL	—		40.614 2	

中,超量使用占比为 43.07%。结合受访企业的调查数据,高于兽用抗菌药最优使用量的生猪养殖企业占比为 66.67%,等于或低于兽用抗菌药最优使用量的企业占比为 33.33%。并进一步统计了受访企业兽用抗菌药用药类别和用药结构(表 4),便于厘定超量使用的兽用抗菌药类别。

由表 4 可知,从兽用抗菌药使用类别来看,受访企业中四环素类、β-内酰胺类、氨基糖苷类与磺胺类兽用抗菌药在受访企业中的使用占比较高。具体而言,在兽用抗菌药使用占比前三名中,多西环素使用率最高,占比达到 81.70%;其次是青霉素和头孢噻吩,占比分别为 72.15% 和 69.81%;另外,金霉素、阿莫西林、氟苯尼考、磺胺嘧啶、磺胺间甲氧嘧啶、泰乐菌素、替米考星、链霉素、庆大霉素和泰妙菌素使用率也在 50% 以上,这表明当前兽用抗菌药

使用种类丰富,对每种兽用抗菌药的优劣判断能有效促进兽用抗菌药减量使用。从兽用抗菌药使用结构来看,首先在用途方面,受访企业使用兽用抗菌药既用于疫病防治也用于促生长,其中促生长类兽用抗菌药包括金霉素和土霉素,使用占比分别为 63.24% 和 18.50%,表明受访企业中促生长类兽用抗菌药使用问题仍较为严重;其次在抗菌谱方面,使用占比 50% 以上的 13 种兽用抗菌药中,窄谱抗菌药仅有青霉素和链霉素 2 种,表明当前兽用抗菌药使用以广谱抗菌药为主。结合前文计算结果,兽用抗菌药的超量使用部分可优先从使用占比较高的药物中考虑,从疗效、用途等方面分析超量使用的可能性,比如青霉素和链霉素使用占比较高,但其通常用于治疗非传染性或传染性较低的细菌感染,且耐药问题严重,不宜将其作为预防用药;再如

表 4 2022 年生猪养殖企业的兽用抗菌药使用情况
Table 4 Use of veterinary antimicrobials in pig breeding enterprises in 2022

类别 Category	名称 Name	比例/% Percentage	类别 Category	名称 Name	比例/% Percentage
β-内酰胺类 β-lactams	青霉素 Penicillin	72.15	四环素类 Tetracyclines	多西环素 Doxycycline	81.70
	头孢噻吩 Ceftiofur	69.81		金霉素 Aureomycin	63.24
	阿莫西林 Amoxicillin	67.57		土霉素 Oxytetracycline	18.50
	头孢喹肟 Cefquinime	32.25	酰氨醇类 Aminophils	氟苯尼考 Florfenicol	52.11
磺胺类 Sulfonamides	磺胺嘧啶 Sulfadiazine	65.04		甲砜霉素 Thionomycin	14.47
	磺胺间甲氧嘧啶 Sulfamethoxine	57.71	大环内酯类 Macrolides	泰乐菌素 Tylosin	56.61
	磺胺氯达嗪钠 Sulfalclodazine sodium	19.30		替米考星 Timicosin	51.28
氨基糖苷类 Aminoglycosides	链霉素 Streptomycin	61.18		泰万菌素 Tyvancin	39.10
	庆大霉素 Gentamicin	53.02	林可胺类 Lincoamines	林可霉素 Lincomycin	27.33
	卡那霉素 Kanamycin	30.21	双萜烯类 Diterpenes	泰妙菌素 Tymycin	56.71
	新霉素 Neomycin	26.55	氟喹诺酮类 Fluoroquinolones	恩诺沙星 Enrofloxacin	48.27
	大观霉素 Spectinomycin	21.37		环丙沙星 Ciprofloxacin	10.42
多肽类 Peptides	粘杆菌素 Colistin	44.68	喹噁啉类 Quoxalines	乙酰甲喹 Acetylmequine	47.65

金霉素广泛用于促生长,且与多西环素之间会形成交叉耐药性,降低多西环素作用效果,需减少促生长类兽用抗菌药使用。

3 兽用抗菌药有序减量路径

基于兽用抗菌药超量使用的基本事实以及用药类别、用药结构的整体分析,本研究提出兽用抗菌药有序减量的路径如下。

3.1 优先减少疗效不佳、轻症疫病的过度预防用药

从生猪疫病的危害程度不同出发,兽用抗菌药有序减量应首先淘汰疗效不佳以及轻症疫病的过度预防用药。提高兽用抗菌药的使用效率是实现减量的关键所在。对于生猪疫病预防,应优先关注传染性强、致死率高和可控性差的疫病,如蓝耳病、猪传染性胸膜肺炎、猪口蹄疫等,此类疫病发生不仅会减少养殖收益,也会影响养殖企业内部的正常运行;而对于传染性弱、可控性强的轻症疫病,因其发病时对猪群整体威胁相对较小,及时用药即可治愈,对此类疫病进行预防用药不仅会增加兽用抗菌药超量使用的可能性,还会提高耐药菌株产生的概率,不利于后续的治疗用药,所以对此类疫病使用兽用抗菌药预防的必要性微乎其微。具体而言,青霉素和链霉素通常用于生猪的杀菌消炎,相较于大多数生猪严重疫病,在青霉素和链霉素治疗范围内的疫病大多症状较轻,可控性强,而且经过多年使用两者的耐药问题已经十分严重,作为预防用药使用不仅效果难以保障,而且进一步加深了耐药问题,因此需减少诸如此类的兽用抗菌药使用。

3.2 优先减少促生长类兽用抗菌药使用量

根据兽用抗菌药的功能差异,兽用抗菌药减量主要针对的是具有促生长作用的抗菌类药物^①。在生猪养殖过程中,促生长类兽用抗菌药使用随意性强,养殖主体通常不考虑疫病发生与否,习惯性的在饲料中添加促生长类兽用抗菌药,并且是长期的低剂量饲喂,严重导致兽用抗菌药超量使用,缺乏用药的科学性。这种用药方式不仅使生猪体内产生耐药细菌,降低发病时兽用抗菌药的治疗效果,而且猪肉经人食用,会使人体肠道微生物也产生耐药性,最终危害人体健康。2019年7月农业农村部发布的第194号公告中提出的“停止生产含有促生

长类药物饲料添加剂(中药类除外)的商品饲料”指示,已经明确显现出促生长类兽用抗菌药的减量趋势。在促生长类兽用抗菌药中,金霉素的使用最典型^[19]:2020年我国用于促生长的兽用抗菌药占比28.69%,仅金霉素占比高达22.66%^②。更为关键的是,金霉素一旦滥用会严重影响其他兽用抗菌药的疗效,因而以金霉素为代表的广谱抗菌药亟需减量,防止促生长药物的持续滥用。

3.3 优先减少可以中兽药替代的兽用抗菌药使用量

中兽药凭借其独特的自然特性和药物原理,展现出高安全性和高效性,推动了生猪养殖业的健康有序发展^[20-21]。2007年《农业科技发展规划(2006—2020年)》中首次提出研发中兽药试剂,建立兽药安全评价体系;2016年《关于促进兽药产业健康发展的指导意见》中进一步强调要支持中兽药产业发展,加大传统中兽药传承和现代中兽药创新研究,并扶持饲用抗生素替代产品创制。由此可见,中兽药替代是推进兽用抗菌药减量化行动的有效途径。中兽药不仅可以促进生猪生长,还能直接增强生猪抗病能力,抵御细菌感染。基于此,首先,中兽药可以替代金霉素、土霉素等促生长类兽用抗菌药,例如白术可以益脾健胃,提高饲料转化率;陈皮具有消食、缓解消化不良等功效,也可提高饲料转化率,促进生猪生长;其次可以替代耐药性较严重的青霉素和链霉素使用,例如黄芪多糖可以提高仔猪免疫力,也可以抑制细菌等病原微生物的繁殖,在治疗仔猪细菌感染时,也可逐步使用黄芪多糖配合青霉素和链霉素使用,从而增强仔猪机体免疫力,减少细菌感染发生率。

4 讨论

兽用抗菌药有序减量的本质是“择优使用”,即在不影响生猪养殖必要的疫病预防和治疗基础上,依据药物特性、用药环境以及作用效果做出用药决策。当前,兽用抗菌药减量化行动是在政策规制、技术改进、服务提升和监督评价等复杂因素发展变化过程中逐步推进的,涉及畜禽养殖场户、兽医、兽药企业、消费者以及政府监管部门等众多主体。整体而言,兽用抗菌药减量应从投入总量控制和投入结构调整2个角度明确减量路径。首先,在基于投入总量的兽用抗菌药减量过程中,要科学回答投入

①沈建忠院士:科学认识合理使用兽药, <https://news.cau.edu.cn/mtndnew/770467.htm>

②《2020年中国兽用抗菌药使用情况报告》, https://www.sohu.com/a/500358350_299363

总量是多少,鉴于研究条件限制,难以有效规避数据偏差、指标量化主观以及药品品类繁多等弊端,用药总量的精确测算仍明显欠缺。本研究基于实地调研数据进行了一次有益尝试。其次,在基于投入结构调整的兽用抗菌药有序减量过程中,兽用抗菌药精准投入和中兽药替代是最关键的环节。通过改良用药方式、升级用药机械、规范用药操作等方式逐步提升精准用药程度,如前文提到的优先减少疗效不佳、轻症疫病的过度预防用药和优先减少促生长类兽用抗菌药使用量,都是精准用药的表现。在中兽药替代过程中,质量标准不统一、研发能力不足、药材原料成本较高等制约因素仍比较多,未来如何大力发展中兽药产品,切实发挥其毒副作用小、无药物残留、不易产生耐药性、对生态环境无污染等优点,也是值得深入研究的课题。

5 研究结论与政策建议

5.1 研究结论

“推进兽用抗菌药使用减量化行动”被首次写入中央一号文件,标志着我国进入了兽用抗菌药减量的新阶段。本研究首先理论阐述了兽用抗菌药有序减量的依据,然后基于实地调查数据构建损害控制模型测度了兽用抗菌药的最优使用量,并进一步分析了当前生猪养殖过程中兽用抗菌药的用药种类和用药结构,最后提出了兽用抗菌药有序减量路径。研究结论有:1)兽用抗菌药减量符合生猪养殖主体利润最大化的根本诉求,是生猪产业高质量发展的重要内涵,也是国家生态文明建设的重要体现;由于生猪疫病的危害程度不同、兽用抗菌药的功能差异以及兽用抗菌药的药物替代选择,应开展兽用抗菌药有序减量。2)当前受访企业兽用抗菌药投入的边际生产率接近于0,最优使用量为9.53元/头,超量使用7.21元/头,且四环素类、 β -内酰胺类、氨基糖苷类与磺胺类兽用抗菌药使用占比比较高,促生长类兽用抗菌药和广谱抗菌药使用较为普遍。3)兽用抗菌药有序减量应优先减少疗效不佳、轻症疫病的过度保健用药,应优先减少促生长类兽用抗菌药使用量,应优先减少可以中药替代的兽用抗菌药使用量。

5.2 政策建议

根据上述结论,本研究提出如下政策建议:

1)加强教育培训,切实提升利益相关主体的兽药减量能力。兽用抗菌药减量涉及兽药企业、兽

医、养殖场户等诸多利益相关主体,应从政策宣传、示范案例、考核评估等方面开展教育培训,提升相关主体的兽用抗菌药减量意识和能力。例如,常见病的兽药选择、耐药性问题等知识的培训,有助于改善养殖主体的用药操作,保障用药效果,进而推进其兽用抗菌药减量。

2)完善产业政策,加快生猪产业链相关行业的转型升级。推进兽用抗菌药减量化行动实际上伴随着对产业链相关行业的改造升级,政府应着眼于行业绿色转型进一步完善产业扶持政策。比如,通过提高兽药研发补贴引导兽药企业开展低毒高效、休药期短、低残留的新产品研发,并推动中兽药产业振兴;持续推进标准化规模化生猪养殖,切实提升养殖场户的生物安全管理水平等;有序推进兽用抗菌药减量的生态补偿,引导兽医、养殖场户积极参与减量;推进减量标签的产品认证,通过终端销售倒逼产业链绿色转型。

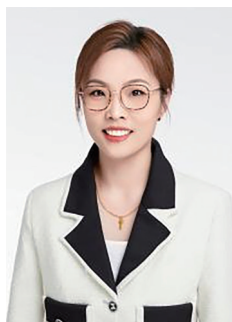
3)强化政策落实,加大兽用抗菌药使用风险点的监测力度。继续开展当前兽用抗菌药使用的现状摸排,从休药期、药物残留等技术和管理等角度进一步厘清兽用抗菌药减量标准;加强对兽药生产、兽医处方、养殖场户用药、药残监测等风险点的监督监测,有条件地推进兽用抗菌药减量的评级和奖惩;运用质量追溯搭建兽用抗菌药减量的长效倒逼机制,动态推进兽用抗菌药减量。

参考文献 References

- [1] 司瑞石,余璇,刘明月,陆迁. 休药期制度能够降低中国兽用抗菌药过量使用吗:基于冀鲁豫鄂4省生猪养殖户的实证研究[J/OL]. 农业技术经济, 1-18[2024-04-25]. <https://doi.org/10.13246/j.cnki.jae.20230620.001>.
Si R S,
Si R S, Yu X, Liu M Y, Lu Q. Can the drug withdrawal period system reduce the overuse of veterinary antimicrobials in China: An empirical study based on pig farmers in four provinces of Hebei, Shandong, Henan and Hubei [J/OL]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 1-18[2024-04-25](in Chinese)
- [2] 王常伟,顾海英. 市场VS政府,什么力量影响了我国菜农农药用量的选择[J]. 管理世界,2013(11):50-66,187-188
Wang C W, Gu H Y. The market vs. the government: What forces affect the selection of amount of pesticide used by China's vegetable grower? [J]. *Management World*, 2013(11):50-66,187-188 (in Chinese)
- [3] 浦华,白裕兵. 养殖户违规用药行为影响因素研究[J]. 农业技术经济, 2014(3):40-48
Pu H, Bai Y B. Study on influencing factors of illegal drug use behavior of farmers [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2014(3):40-48 (in Chinese)
- [4] 王建华,邓远远,朱淀. 生猪养殖中兽药投入效率测度:基于损害控制模型

- 的分析[J]. 中国农村经济, 2018(1): 63-77
- Wang J H, Deng Y Y, Zhu D. Economic efficiencies of antimicrobial use in pig production: An analysis based on a damage control model [J]. *Chinese Rural Economy*, 2018(1): 63-77 (in Chinese)
- [5] 王萌, 沈鑫琪, 乔娟. 食品可追溯体系对养殖户用药行为的影响: 对信息传递、政策情境机制的检验[J]. 南京农业大学学报: 社会科学版, 2021, 21(4): 168-178
- Wang M, Shen X Q, Qiao J. The impact of food traceability system on the drug use behavior of farmers: a test of information transmission and policy situation mechanism [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2021, 21(4): 168-178 (in Chinese)
- [6] 何坪华, 毛成兴. 安全风险认知与抗生素违规使用: 来自山东省畜禽养殖户的实证检视[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2018, (4): 20-29, 166
- He P H, Mao C X. Safety risk awareness and illegal use of antibiotics: An empirical study from livestock and poultry farmers in Shandong Province [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2018(4): 20-29, 166 (in Chinese)
- [7] 刘浩, 韩晓燕, 薛莹, 朴慧兰, 吕杰. 社会网络、环境素养对农户化肥过量施用行为的影响: 基于东北三省741个玉米种植农户的调查数据[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(7): 250-263
- Liu H, Han X Y, Xue Y, Piao H L, Lv J. Influence of social network and environmental literacy on farmers' excessive application of chemical fertilizer: Based on survey data from maize farmers of the three provinces in Northeast China [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(7): 250-263 (in Chinese)
- [8] Ren Z. Effects of risk perception and agricultural socialized services on farmers' organic fertilizer application behavior: Evidence from Shandong Province, China [J]. *Frontiers in Public Health*, 2023, 11: 1056678
- [9] Kim K R, Owens G, Kwon S I, So K H, Lee D B, Ok Y S. Occurrence and environmental fate of veterinary antibiotics in the terrestrial environment [J]. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2011, 214(1): 163-174
- [10] St-Hilaire S, Chan S C H, Lim K Z, MacKinnon B, Cheng T H, Cheng K P F, Leung A C F, Lam S H Y, Bhardwaj V, Chan O S K. Subsidized veterinary extension services may reduce antimicrobial resistance in aquaculture [J]. *Scientific Reports*, 2023, 13(1): 10118
- [11] Léger A, Lechner I, Pont J, Kaske M, Feldmann M, Stärk K D C. Income compensation options and partial budget analysis following a reduction of antimicrobial sales at the veterinary practice level [J]. *Preventive Veterinary Medicine*, 2021, 192: 105372
- [12] Centner T J. Recent government regulations in the United States seek to ensure the effectiveness of antibiotics by limiting their agricultural use [J]. *Environment International*, 2016, 94: 1-7
- [13] Ekakoro J E, Caldwell M, Strand E B, Okafor C C. Drivers, alternatives, knowledge, and perceptions towards antimicrobial use among Tennessee beef cattle producers: A qualitative study [J]. *BMC Veterinary Research*, 2019, 15(1): 16
- [14] 董金朋, 刘灵芝. 环境规制对肉鸭养殖户兽药减量行为的影响: 基于10省份调研数据[J]. 农业现代化研究, 2022, 43(4): 616-626
- Dong J P, Liu L Z. The impact of environmental regulations on the reduction of veterinary drugs by meat duck farmers: Based on a survey data from 10 provinces [J]. *Research on Agricultural Modernization*, 2022, 43(4): 616-626 (in Chinese)
- [15] 张灵静, 王济民. 我国兽药监管制度问题研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2021(10): 8-11
- Zhang L J, Wang J M. Research on problems of veterinary drug regulatory system in China [J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2021(10): 8-11 (in Chinese)
- [16] 习近平. 以美丽中国建设全面推进人与自然和谐共生的现代化[J]. 环境保护, 2023, 51(24): 8-10
- Xi J P. Promoting the modernization of harmonious coexistence between man and nature in an all-round way with the construction of beautiful China [J]. *Environmental Protection*, 2023, 51(24): 8-10 (in Chinese)
- [17] 孙若愚, 周静. 基于损害控制模型的农户过量使用兽药行为研究[J]. 农业技术经济, 2015(10): 32-40
- Sun R Y, Zhou J. Study on excessive use of veterinary drugs by farmers based on damage control model [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2015(10): 32-40 (in Chinese)
- [18] 刘铮, 周静, 宋宝辉. 肉鸡养殖户兽药减量使用行为及其影响因素分析[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2019(3): 79-87, 162
- Liu Z, Zhou J, Song B H. Broiler farmers' behavior of decreasing veterinary drug use and its causal analysis [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2019(3): 79-87, 162 (in Chinese)
- [19] 程兆康, 杨金山, 吕敏, 罗小三. 我国畜禽养殖业抗生素的使用特征及其环境与健康风险[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(6): 1253-1262
- Cheng Z K, Yang J S, Lv M, Luo X S. Antibiotics used in livestock and poultry breeding and its environmental and health risks in China: A review [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, 39(6): 1253-1262 (in Chinese)
- [20] 崔东安, 王胜义, 王磊, 王慧, 刘永明. 中兽药临床疗效评价研究及其关键科学问题[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(3): 116-121
- Cui D A, Wang S Y, Wang L, Wang H, Liu Y M. Key research priorities for clinical efficacy evaluation of veterinary herbal medicines [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(3): 116-121 (in Chinese)
- [21] 罗侦, 林天骄, 王熙然, 林俊杰, 廖柳玮, 张洁莹, 刘晓曦. 中兽药在肉鸡养殖中的应用研究进展[J]. 饲料研究, 2021, (22): 134-136
- Luo Z, Lin T Y, Wang X R, Lin J J, Liao L W, Zhang J Y, Liu X X. Progress in the application of traditional Chinese medicine in broiler breeding [J]. *Feed Research*, 2021, 44(22): 134-136 (in Chinese)

责任编辑: 秦梅



第一作者简介: 张园园, 博士, 山东农业大学经济管理学院副教授、硕士生导师, 山东省生猪产业技术体系产业经济岗位专家, 山东省首批哲学社会科学青年人才团队学术带头人。主要研究方向为农业清洁生产、生态补偿、农业低碳政策。主持完成国家社会科学基金项目、山东省自然科学基金、山东省社科规划项目等10余项, 在《中国农村经济》《农业技术经济》等杂志发表论文70余篇, 并获山东省高等学校人文社科成果奖、泰安市社科优秀成果奖等若干。