

# 生猪养殖中兽药投入效率测度\*

## ——基于损害控制模型的分析

王建华<sup>1,2</sup> 邓远远<sup>1</sup> 朱淀<sup>3</sup>

**摘要：**本文基于中国 4 省份 397 个生猪养殖户调查数据，引入损害控制模型（damage control model），分析了生猪养殖户使用兽药的边际生产率。本文建立兽药使用的回归模型，将由此回归模型得到的兽药使用成本预测值代入 Cobb-Douglas 生产函数及损害控制模型以处理内生性，所得回归分析结果显示：病害预期损失、兽药平均价格以及养殖规模对兽药使用成本具有显著的正向影响；对不同类型兽药的使用成本而言，养殖监管水平、参与养殖技术培训情况以及养殖信息获取便捷程度对保健类兽药的使用成本具有显著的负向影响，而对治疗类兽药的使用成本并无显著影响；对于治疗类兽药来说，损失厌恶是导致其使用成本上升的主要原因，其他相关因素影响较小。此外，根据损害控制模型的估计结果，本文发现，兽药的边际生产率接近于 0，表明所调查地区生猪养殖户已经过量使用兽药。

**关键词：**生猪养殖 兽药使用 边际生产率 损害控制模型

**中图分类号：**F224 **文献标识码：**A

### 一、引言

兽药作为当前畜禽养殖过程中不可或缺的投入品，不仅可以降低动物性食品的生产成本，还能够显著增加畜禽产量（Cromwell, 1991），在防治动物疫病和提高畜禽生产性能方面发挥着重要作用。然而，随着兽药的长期大量使用，一系列负面效应开始显现，并对人类健康和环境构成威胁（Catry et al., 2003）。相关研究发现，养殖户在生猪养殖过程中超过说明书标准用量使用兽药的现象普遍存在（Dang et al., 2013）。农业生产者出于规避收益风险的需要，倾向于“宁过无缺”的心理状态投入生产要素（王常伟、顾海英，2013）。但也有研究表明，控制要素投入数量，提高要素投入生产率

\*本文系国家自然科学基金面上项目“农业生产者安全生产政策的实验评估及其组合设计：以病死猪无害化处理为例”（项目批准号：71673115）、国家自然科学基金项目“病死猪流入市场的生猪养殖户行为实验及政策研究”（项目批准号：71540008）与国家自然科学基金面上项目“考虑农户行为偏好的农产品供应链协调机制设计研究”（项目批准号：71371086）的阶段性研究成果。感谢匿名评审专家的修改意见，但文责自负。

有利于养殖户收入水平的提高 (Fafchamps et al., 2001)。因此, 需要进一步探讨兽药投入对生猪生产的经济影响, 为养殖户是否理性使用兽药提供一个经济解释。在不影响生猪养殖户收入的前提下, 探索是否存在减少兽药使用的空间就显得尤为重要。特别是通过提升兽药边际生产率的方式, 减少兽药使用的同时稳定或增加养殖户收益, 更具有实践价值与经济可行性。

中国作为生猪生产和消费大国, 猪肉的质量安全对保障中国食品安全具有重要意义。兽药使用的规范情况与猪肉质量安全水平密切相关。对于养殖户来说, 净收益最大化是其行为决策的最终目标。相比于增税手段, 引导其提高要素投入效率的政策往往更有利于提高农业生产者的积极性 (Karagianis et al., 2005)。但是, 由于缺乏对要素投入效率信息的掌握, 养殖过程中的兽药过量与滥用问题一直未得到很好的解决。基于这些认识, 本文将重点考察兽药使用对生猪生产的经济影响, 试图阐述兽药使用动因和机理。

## 二、文献综述

关于兽药使用对生猪生产的影响, 国外很多学者展开了相关研究。在兽药使用对生猪生产性能的影响方面, 学者普遍认为, 兽药使用有利于提高日增重、饲料转化率等 (Cromwell, 2002), 并可以减少生产风险 (Liu et al., 2005), 进而提高生产效率, 因而会对生猪生产产生积极影响。但也有部分学者持相反观点, 认为兽药使用对生猪生产的影响是不确定的。从生猪生产阶段来看, 抗菌类兽药对断奶仔猪生长的影响较大, 而对育肥阶段的生猪生长没有明显影响 (Dritz et al., 2002)。从不同种类的兽药使用来看, 兽药发展至今可用于多种目的, 例如治疗、预防、促进生长和其他 (Beyene and Tesega, 2014), 因而用于不同目的的兽药对生猪生产会有不同的影响。

另外, 有学者从研究方法方面进行了优化, 认为较多关于兽药使用的研究忽略了样本选择偏差问题, 造成估计结果多是有偏而非一致的。事实上, 兽药使用决策是养殖户综合多方面的素 (如养殖户自身特征、养殖环境等) 而做出的行为选择。一般来说, 养殖环境较差和管理粗放的养殖户多倾向于依赖兽药使用来保障生产, 如果利用简单线性回归模型来估计兽药的生产率, 往往会低估。对此, 一些学者主张采用样本选择模型来解决由样本选择偏差引致的估计偏差问题 (McBride et al., 2008; Key and McBride, 2014)。

综合来看, 既有研究对兽药要素本质的忽略, 可能使得对兽药生产率的测算结果并不可靠。兽药作为生猪生产中的可控投入, 只有病害发生时才会发挥作用, 在没有病害发生的情况下, 使用兽药只会增加冗余成本, 生产者可以通过调整兽药投入来降低生产风险和提高生产效益。因此, 显然在损害控制模型 (damage control model) 框架下估算兽药生产率更为合适 (Lansink and Carpentier, 2001; Karagianis et al., 2005)。但目前学界在兽药使用方面引入损害控制模型的研究并不多, 而农药施用方面的相关研究或许可为此类研究的开展提供思路和方法借鉴。如 Lichtenberg and Zilberman (1986) 指出, 与土地、劳动和资本等常规生产要素对粮食产量影响的方式不同, 农药施用并不会直接提高粮食产出, 仅是在给定现有投入和技术水平条件下实现最大产出。对此, 他们进一步把农

药定义为损害控制投入，并指出把农药视为直接生产要素会高估其边际生产率，因此提出将损害控制函数（damage abatement function）与传统的 Cobb-Douglas（C-D）生产函数相结合来估算农药边际生产率。此后，许多经济学家将这一方法应用于实证研究。Babcock et al.（1992）利用美国北卡罗莱纳州（North Carolina）苹果生产者的调查数据，将考虑了损害控制的 C-D 生产函数与传统 C-D 生产函数的估计结果进行对照分析，发现利用传统 C-D 生产函数高估了农药生产率。Huang et al.（2002）利用该方法估计了转基因抗虫棉品种的使用和农药使用对棉花生产的影响，发现利用损害控制模型估计的结果比利用传统 C-D 生产函数估计的结果更加合理。

基于以上分析，本文尝试引入损害控制模型来分析生猪养殖户使用兽药的边际生产率。本文可能的贡献在于：第一，在考虑客观现实的基础上，将兽药作为损害控制要素投入；第二，基于兽药使用的不同情境，将兽药分为保健类兽药和治疗类兽药，引入分布函数为指数（exponential）分布的损害控制模型，深入考察不同类型兽药对生猪生产的影响及其差异；第三，运用工具变量处理模型的内生性问题，以解决其所引致的估计偏差，从而得到较为可靠的估计结果。

### 三、模型构建

#### （一）理论分析

考虑到兽药与畜雏、饲料和劳动等常规投入对畜产品产量影响的方式不同，兽药是通过对疾病的治疗、预防以减少自然或人为因素导致的产量损失，从而规避市场风险，据此，本文在 C-D 生产函数的基础上引入损害控制分析框架，构建损害控制模型来研究兽药生产率。

此部分参照 Fox and Weersink（1995）将农药投入引入生产函数的研究思路。以生猪养殖过程中的兽药使用为例，把兽药使用对生猪产量的影响分为两个阶段。第一阶段，兽药通过其自身的药理作用对病害形成、发展和流行过程进行控制。假设自然条件下初始病害侵染程度为  $Z_0$ ，兽药的使用量为  $T$ ，并以  $C(T)$  的形式对病害造成影响，则病害侵染程度  $Z$  的表达式为：

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

通常假定控制函数  $C(T)$  为  $[0, 1]$  区间内的累积分布函数。当  $C(T)=0$  时，病害没有受到任何影响（ $Z = Z_0$ ）；当  $C(T)=1$  时，病害被彻底消除。未得到有效控制的病害随着病害控制水平的提高而单调下降。

第二阶段，未得到有效控制的病害对产量造成影响。假设  $Y$  为生猪实际产量， $Y_0$  为不受病害影响时的潜在产量。 $D(Z)$  代表病害侵染程度  $Z$  下产量受到影响的比列，则损害函数的表达式为：

$$Y = Y_0 [1 - D(Z)] \quad (2)$$

与控制函数一样，假设损害函数同样具有累积概率分布的属性。当没有病害时， $D(Z)=0$ ，实际产量等于潜在产量。随着病害水平接近正无穷，产量损失比例接近于 1，实际产量达到最低点。

将 (1) 式代入 (2) 式得到将兽药作为损害控制投入的生产函数:

$$Y = Y_0 \left[ 1 - D \left\{ Z_0 \left[ 1 - C(T) \right] \right\} \right] \quad (3)$$

在实际研究过程中, 令  $G(X_p) = 1 - D \left\{ Z_0 \left[ 1 - C(T) \right] \right\}$ , Lichtenberg and Zilberman (1986) 将其定义为一个不失一般性的消减函数 (abatement function), 它有以下分布形式:  
指数 (Exponential) 分布:

$$G(X_p) = \left( 1 - e^{-\lambda X_p} \right) \quad (4)$$

逻辑 (Logistic) 分布:

$$G(X_p) = \left[ 1 + e^{(\mu - \sigma X_p)} \right]^{-1} \quad (5)$$

威布尔 (Weibull) 分布:

$$G(X_p) = \left( 1 - e^{-X_p^c} \right) \quad (6)$$

帕累托 (Pareto) 分布:

$$G(X_p) = \left( 1 - K^\lambda X_p^\lambda \right) \quad (7)$$

(4) ~ (7) 式中,  $G(\bullet)$  是具有累积分布特性的损害消减函数,  $X_p$  为兽药使用量,  $\lambda$ 、 $\mu$ 、 $\sigma$ 、 $c$  和  $K$  为待估参数。尽管指数分布形式被广泛使用, 但仍没有确切的理论依据表明哪种形式是最好的, 可依据数据的性质来选择 (Jha and Regmi, 2009)。

## (二) 建立损害控制模型

在早期的要素投入生产率研究中, 多数学者主要采用标准的 C-D 生产函数形式, 即:

$$Y = \alpha \left[ \prod_{i=1}^n (X_i)^{\beta_i} \right] (X_p)^\beta \quad (8)$$

(8) 式中,  $Y$  是生猪产量,  $X_p$  是兽药使用量,  $X_i$  是除兽药以外影响生猪产量的第  $i$  种生产要素投入量, 例如仔猪投入、饲料投入和劳动力投入等,  $\alpha$ 、 $\beta_i$ 、 $\beta$  为待估系数且为正值。标准的 C-D 生产函数忽略了兽药投入并不能直接增加产量, 而是通过减少由病害造成的产量损失来影响产量。在考虑现实的基础上, 本文将兽药作为损害控制投入, 基于 (8) 式建立以下模型:

$$Y = \alpha \left[ \prod_{i=1}^n (X_i)^{\beta_i} \right] \times G(X_p)^\gamma \quad (9)$$

(9) 式中,  $G(X_p)$  为损害控制部分。为了计量识别, 令式中参数  $\gamma=1$  (Carrasco-Tauber and Moffitt, 1992)。在生猪养殖过程中, 分别有保健类和治疗类两类兽药被用以保障生猪生产。受 Pemsil et al. (2005) 的启发, 本文构建了包含两项损害控制剂的生产函数。出于计算简便、易于理解、对数据拟合度较好的原则 (Babcock et al., 1992), 损害消减函数采用指数分布形式:

$$G(X_p) = 1 - \exp(-\lambda_1 X_{p1} - \lambda_2 X_{p2} - \lambda_3 X_{p1} X_{p2}) \quad (10)$$

农业生产经济效果的函数关系一般有两种表现形式: 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。由于兽药品种纷繁复杂, 价格千差万别, 且兽药的剂型有固体和针剂, 难以合计兽药投入量, 因此, 本文以收益和各种投入成本作为变量, 以估计两类兽药的生产率。为了便于对比和分析, 本文根据 (8) 式和 (9) 式分别构建了 C-D 生产函数模型和损害控制模型的对数回归方程:

$$\ln(Y_n) = \alpha + \sum \beta_i \ln(X_{in}) + \sum \rho_j M_{jn} + \beta \ln(X_p) + V_n \quad (11)$$

$$\ln(Y_n) = \alpha + \sum \beta_i \ln(X_{in}) + \sum \rho_j M_{jn} + \ln(G(X_p)) + V_n \quad (12)$$

(11)、(12) 式中,  $Y_n$  为第  $n$  户养殖户的生猪产值,  $\alpha$ 、 $\beta_i$ 、 $\beta$ 、 $\rho_i$  为待估参数,  $V$  为随机误差项,  $X_i$  为除兽药以外的其他投入成本,  $M_j$  代表环境变量。对 C-D 生产函数模型, 本文采用简单 OLS 回归进行估计。由于损害控制模型为非线性, 本文采用极大似然法来估计。

### (三) 兽药边际生产率测算

(11) 式和 (12) 式两边分别对  $X_p$  求偏导, 则基于 C-D 生产函数模型和损害控制模型估算的兽药边际生产率 (marginal value product, MVP) 的计算式分别为 (13) 式和 (14) 式:

$$MVP(X_p) = \frac{\partial Y}{\partial X_p} = \beta \frac{Y}{X_p} \quad (13)$$

$$MVP(X_p) = \frac{\partial Y}{\partial X_p} = \frac{Y}{G(X_p)} \times \frac{\partial G(X_p)}{\partial X_p} \quad (14)$$

## 四、数据来源与样本特征分析

### (一) 数据来源

本文所使用的数据主要来自于江南大学食品安全研究基地 2017 年 1~2 月组织的调查, 所调查

的情况包含 2016 年的相关信息。本文首先关注河南、山东等生猪养殖密集省份<sup>①</sup>，为了能够大体了解全国主要生猪养殖区域内不同层次与不同规模生猪养殖户的兽药使用情况，然后以江西、贵州等地的抽样调查作为补充，以此来尽可能使本文所使用的样本具有较好的代表性。本文所使用的调查数据通过分层抽样的方法采集。首先，确定第一阶段样本容量。对于样本容量的计算公式，本文研究参考了侯建昀、霍学喜（2016）的研究，变异系数取值为 0.25，抽样估计精度取值为 0.8。由此可得在保证抽样精度的情况下，第一阶段样本容量应当至少在 6 个以上。具体的抽样方法为概率与规模成比例抽样方法，由此方法所确定的样本市（县）包括：洛阳市、开封市、新郑市、安阳县、菏泽市、临沂市、毕节市、上饶市。其次，确定第二阶段样本容量（即样本养殖户数）。成数方差用极大值 0.25 代替，抽样误差控制在 5% 以内，可得农户层面的样本容量至少为 275。样本养殖户的具体抽样方法为：先从每个样本市（县）分别选取若干个村（镇），然后在每个样本村（镇）随机选取参与调查的养殖户。为保证问卷的有效性，在正式调查前，本文研究课题组先在河南省新郑市进行了小规模预调查，并在此基础上修改了一些不清晰、有歧义或令受访者不愿意回答的问题。为确保调查结果真实可靠，正式调查开始前对调查员进行了培训。实地调查中采用访谈与问卷调查相结合的方式，调查对象为直接对生猪养殖发挥决策作用的家庭成员，以保证问卷填写正确率与回应率。本次调查实际收回问卷 480 份，剔除关键数据缺失和作答不真实的问卷，最终获得有效问卷 397 份。

本文实证分析模型所涉及的变量及其描述性统计结果如表 1 所示。

表 1 模型变量说明

变量类别	变量名	变量定义与赋值	均值
产出变量	生猪养殖收入	生猪产值（元/头）	2050.68
生产性投入变量	仔猪投入	仔猪投入成本（元/头）	533.61
	饲料投入	饲料投入成本（元/头）	776.50
	劳动力投入	养殖生猪的劳动力成本（元/头）	282.82
	水电和燃料投入	水电和燃料投入成本（元/头）	16.08
	设施投入	猪舍、机械等设施投入成本（元/头）	15.98
损害控制投入变量	技术服务投入	养殖技术、医疗技术服务费（元/头）	12.92
	保健类兽药投入	保健类兽药购买和使用支出（元/头）	40.48
	治疗类兽药投入	治疗类兽药购买和使用支出（元/头）	15.68
环境变量	是否参加产业化组织	没参加=0；参加=1	0.36
	垂直协作紧密程度	松散的市场交易方式=0；较紧密的垂直协作和销售方式=1	0.11

<sup>①</sup>2015 年，山东省和河南省生猪出栏量分别为 4836.1 万头和 6171.2 万头。两省均是生猪出栏量位居全国前十的省份。贵州省和江西省 2015 年生猪出栏量分别为 1795.3 万头与 3242.5 万头。参见《中国农业统计资料 2015》（中华人民共和国农业部编，中国农业出版社出版，2016 年）。

(二) 样本特征分析

1. 养殖户基本特征。受访者中，男性的比例明显更高（占比 59.2%）；受访者以中老年人为主，72.5%的受访者年龄介于 41~60 岁之间。受访者的受教育程度普遍较低，以初中及以下学历为主，占总数的 81.4%。调查样本中生猪散养户占比为 27.7%，专业化养殖户占比为 64.5%，规模化养殖户占比为 7.8%，养殖户规模各不相同<sup>①</sup>，样本分布较为合理。另外，在调查过程中，规模化养殖户的数据获取较为困难，在一定程度上造成规模化养殖户的占比较低。需要指出的是，养殖户家庭收入中主要来自生猪养殖的比例偏低，具体而言，家庭总收入中来自养猪收入的比例在 50% 以下的养殖户占 43.8%，有 68.8% 的样本养殖户表示他们有非养殖来源收入。

2. 养殖户生猪生产投入和产出情况的统计特征。如表 2 所示，从产出的角度看，生猪出栏销售价格平均为 17.83 元/公斤，生猪出栏重量平均为 115.06 公斤，单位生猪的收入平均为 2050.68 元，生猪出栏量平均为 212 头。从投入的角度看，生猪养殖中各项投入的占比，由低到高依次为技术服务投入（0.76%），治疗类兽药投入（0.93%），设施投入（0.94%），水电和燃料投入（0.95%），保健类兽药投入（2.39%），劳动力投入（16.69%），仔猪投入（31.50%）和饲料投入（45.84%）。

表 2 受访养殖户生猪生产投入和产出的统计特征

养殖投入与产出情况		最小值	最大值	平均值	标准差
产出	生猪出栏重量（公斤/头）	95	131	115.06	7.95
	生猪出栏销售价格（元/公斤）	14	20	17.83	1.41
	生猪产值（元/头）	1400	2500	2050.68	207.56
	生猪出栏量（头）	5	2000	212	274.24
投入	仔猪投入（元/头）	250	920	533.61	139.23
	饲料投入（元/头）	480	1050	776.50	75.86
	水电和燃料投入（元/头）	5	25	16.08	3.10
	技术服务投入（元/头）	6	23	12.92	3.15
	设施投入（元/头）	5	25	15.98	3.11
	劳动力投入（元/头）	150	450	282.82	87.83
	保健类兽药投入（元/头）	15	69	40.48	11.17
	治疗类兽药投入（元/头）	11	23	15.68	2.76

3. 养殖户对兽药使用的认知。个体进行决策时，风险和收益会促使其进行认真的理性思考。他会搜集信息，从成本收益的视角对各种备选方案进行评估，以选择较有利的方案。因此，了解养殖户对兽药使用的认知是理解其兽药使用行为的重要途径。养殖户对兽药使用的认知情况见表 3。

<sup>①</sup>借鉴孙世民（2008）的研究，生猪养殖规模的划分标准为：年出栏生猪数小于 50 头为散养户，50~500 头为专业化养殖户，大于 500 头的为规模化养殖户。

表 3 养殖户对兽药使用的认知

题项	分类指标	样本数	百分比 (%)
一般情况, 是否按照推荐剂量使用兽药	否	220	55
	是	177	45
疫情紧急情况下, 是否按照推荐剂量使用兽药	否	287	72
	是	110	28
兽药残留对人体健康的危害程度	没有任何危害	6	2
	一般	228	57
	比较严重	163	41
兽药残留是否会影响生猪的市场收益	不会有影响	26	7
	有一些影响	258	65
	影响较大	113	28
是否参加过政府(组织)提供的养殖技术培训	否	317	80
	是	80	20
对保健类兽药挽回损失的估计	小于 60%	320	81
	大于等于 60%	77	19
对治疗类兽药挽回损失的估计	小于 60%	150	38
	大于等于 60%	247	62
倾向于如何防范动物疫病风险	事先打疫苗	360	91
	事后治病	37	9

## 五、实证分析结果与讨论

### (一) 模型内生性讨论

早期关于兽药的研究在生产函数设定方面均存在样本选择偏差和异质性问题 (McBride et al., 2008), 可能导致估计结果是有偏而非一致的。异质性可能来源于可观测因素, 如受教育水平、是否参与过养殖技术培训、猪场管理条件和养殖环境; 也可能来源于不可观测因素, 如养殖户的养殖经验、风险偏好等。猪舍环境差和管理粗放, 更易诱发疾病, 进而提高兽药使用量, 同时对生猪产量造成损失, 因此, 不考虑异质性的简单回归估计将低估兽药生产率。在标准的损害控制模型中, 所有投入都被视为外生的。兽药的使用受到病害压力的影响, 而病害压力本身也会直接影响产出。病害压力是不可观测因素, 这就带来了遗漏变量的内生性问题。对此, 本文借鉴 Huang et al. (2002) 的研究, 寻找合适的工具变量, 采用两阶段最小二乘回归方法处理内生性问题。其基本思想是, 利用两阶段最小二乘第一阶段的回归结果, 得到兽药使用支出的预测值, 然后将其代替真实的兽药使用支出, 代入 C-D 生产函数和损害控制模型, 估计兽药边际生产率。

### (二) 内生性处理

合适的工具变量一般需要满足三个条件: ①工具变量与内生变量(兽药使用)高度相关, 即该



变量要能够解释各类兽药使用的差异；②工具变量在生产函数方程中符合外生性的要求，与扰动项无关，即该工具变量只能通过兽药使用间接影响产出，而不能通过其他途径影响产出；③工具变量的个数要大于等于内生变量的个数（樊欢欢等，2011）。综合现有文献，本文在兽药使用回归模型中加入了个人特征（性别、年龄、受教育程度、参与养殖技术培训情况）、生产经营特征（养殖规模）、环境特征（养殖监管水平、养殖信息获取便捷程度）等作为控制变量。不同的性别、年龄、受教育程度使得养殖户的社会经历和生活经验也千差万别，对事物的认知也存在着较大的差异。因此，个人特征或直接影响兽药使用或通过对兽药使用的认知间接影响兽药使用。养殖规模越大，养殖户生猪质量控制的努力程度越高（王瑜、应瑞瑶，2007）。除此之外，基于理性经济人的经济学假设，净收益最大化是生产者的行为目标，养殖户兽药使用行为受到预期成本与预期收益的影响。本文将病害预期损失和兽药平均价格作为工具变量来代替预期成本与预期收益。如果兽药价格低廉，为追求风险最小化和利润最大化，养殖户可能采用低效率用药行为（周曙东、张宗毅，2013）。同时，病害预期损失和兽药平均价格影响内生变量兽药使用，而不直接影响产出，是适当的工具变量。

基于上述讨论，本文最终设定如下养殖户兽药使用计量经济模型：

$$cost = a_0 + a_1 loss + a_2 price + \sum_{m=1}^M \gamma_m X_m + \mu \quad (15)$$

(15) 式中，被解释变量 *cost* 表示兽药使用成本；*loss*、*price* 为工具变量，分别表示病害预期产量损失和兽药平均价格； $X_m$  表示控制变量，包括年龄、性别、受教育程度、养殖监管水平、养殖规模、参与养殖技术培训情况和养殖信息获取便捷程度； $\mu$  为随机扰动项； $a_1$ 、 $a_2$ 、 $\gamma_m$  为待估系数， $a_0$  为常数项。表4显示了模型相关变量的具体度量方法和统计特征。

表4 变量统计特征

变量	变量定义与赋值	均值
被解释变量		
保健类兽药使用成本	连续变量；单位：元	40.48
治疗类兽药使用成本	连续变量；单位：元	15.68
解释变量		
病害预期损失 1	未使用保健类兽药，造成的产量损失比例（20%以下=1，20%~40%=2，40%~60%=3，60%~80%=4，80%~100%=5）	2.55
病害预期损失 2	未使用治疗类兽药，造成的产量损失比例（20%以下=1，20%~40%=2，40%~60%=3，60%~80%=4，80%~100%=5）	3.61
保健类兽药平均价格	连续变量；单位：元/千克	66.74
治疗类兽药平均价格	连续变量；单位：元/千克	138.21
年龄	受访养殖户年龄（20~30岁=1，31~40岁=2，41~50岁=3，51~60岁=4，61岁及以上=5）	3.23
性别	虚拟变量；女=1，男=0	0.25
受教育程度	受访养殖户受教育程度为初中及以上=1，养殖户受教育程度为小学	0.21

生猪养殖中兽药投入效率测度

养殖监管水平	及以下=0 相关政府部门对养殖过程的监管水平（很低=1，低=2，一般=3，高=4，很高=5）	2.59
养殖规模	2016年生猪出栏量（50头以下=1，50~100头=2，100~200头=3，200~500头=4，500头以上=5）	1.95
参与养殖技术培训情况	是否参加过养殖技术培训（是=1，否=0）	0.24
养殖信息获取便捷程度	获得生猪养殖法律政策、操作规范方面信息的便捷程度（非常困难=1，比较困难=2，一般=3，比较便捷=4，很便捷=5）	2.77

基于表 4 中的变量设置，兽药使用回归模型估计结果见表 5。估计结果显示：

第一，病害预期损失对兽药投入具有显著的正向影响。病害预期损失在保健类兽药投入和治疗类兽药投入模型中的系数均为正，并在 1% 水平上显著，表明认为病害对产量造成的损失越大的养殖户兽药投入越多。许多涉及病害预期损失的研究表明，农户对于病害的知觉错误往往导致农药的过量施用（黄季焜等，2008；Rola and Pingali，1993）。

第二，兽药平均价格对兽药投入具有显著的正向影响，其中，保健类兽药的平均价格变动对兽药投入的影响更大。表现在相同的价格变动水平上，保健类兽药投入显著高于治疗类兽药投入。至此，两个工具变量的系数都达到了较高的显著性水平，验证了本文工具变量的有效性。

第三，养殖户年龄对保健类兽药投入和治疗类兽药投入都具有显著的负向影响。表明其他条件不变的情况下，养殖户年龄越大，兽药投入越少。可能的原因是，养殖户年龄越大，养殖经验越丰富，养殖方法越科学，能够在技术层面上较好的控制兽药的使用量。

第四，养殖规模对兽药投入具有显著的正向影响。养殖规模越大，兽药投入越多。可能是因为生猪的饲养、防疫以及管理水平并没有随着养殖规模增大而提升，一些养殖户在扩大生猪养殖规模时，忽视了生猪养殖管理的加强，使得生猪潜在病害发生的概率加大，致使兽药投入增多。

第五，养殖监管水平对保健类兽药投入具有显著的负向影响，而对治疗类兽药投入的影响不显著。可能的解释是，养殖监管水平越高，对随意使用保健类兽药的行为约束力越大，从而减少了该类兽药投入，而治疗类兽药较低的使用频次使得养殖监管的效果不明显。参与养殖技术培训情况对保健类兽药投入具有显著的负向影响，意味着参与过养殖技术培训能显著降低保健类兽药投入。养殖信息获取便捷程度对保健类兽药投入具有显著的负向影响，养殖信息获取便捷程度越高，保健类兽药投入越少。

表 5 兽药使用模型的估计结果

变量	保健类兽药使用成本	治疗类兽药使用成本
截距	14.6655*** (2.2077)	8.7550*** (0.5190)
病害预期损失	0.7161*** (0.2653)	0.7440*** (0.0780)
兽药平均价格	0.4695*** (0.0137)	0.0574*** (0.0020)
年龄	-0.8238** (0.3216)	-0.2661** (0.0833)
性别	-0.5578 (0.5279)	-0.0909 (0.1378)

受教育程度	0.0731 (0.6046)	-0.0290 (0.1420)
养殖监管水平	-0.6332** (0.2467)	-0.1062 (0.0650)
养殖规模	0.7024*** (0.2696)	0.2974*** (0.0728)
参与养殖技术培训情况	-1.7025** (0.6794)	-0.0462 (0.1771)
养殖信息获取便捷程度	-0.9407*** (0.2892)	-0.0295 (0.2892)
R <sup>2</sup>	0.7956	0.7728
调整的 R <sup>2</sup>	0.7909	0.7675

注：括号中数字是估计的标准误；\*\*\*、\*\*分别表示在 1%、5%的水平上显著。

### （三）兽药边际生产率估计

本文对 C-D 生产函数模型与分布函数为指数形式的损害控制模型的估计结果进行分析。表 6 显示，C-D 生产函数模型和指数分布的损害控制模型所估计出来的变量系数大小接近，仔猪投入、劳动力投入、水电和燃料投入、设施投入、垂直协作紧密程度均为显著变量。其中，劳动力投入、设施投入、垂直协作紧密程度对生猪产值具有显著的正向影响，仔猪投入与水电和燃料投入对生猪产值具有显著的负向影响。其中值得关注的是，仔猪投入对生猪产值具有显著的负向影响。这与 Praneetvatakul et al. (2002) 发现的在泰国水稻生产中种子投入对水稻产值呈正相关的研究结论不相符，其原因可能是，优良品种对于产量具有直接的促进作用，养殖户在实际购买仔猪的过程中对于品种的选择较为固定，仔猪投入的增加很大程度上是对仔猪市场供求关系的反映，而不是因为品种的差异，以至于降低了生猪产值。保健类兽药投入对生猪产值有显著的正向影响。这一结果与 Grovermann et al. (2013) 的研究结论相似。Grovermann et al. (2013) 指出，预防性地喷洒农药对蔬菜产值具有显著的正向影响。而治疗类兽药投入对生猪产值的影响虽为正向，但没有通过显著性检验。这一方面可能是由于治疗类兽药的使用量和使用成本低，这与实际调查情况相吻合；另一方面可能是由于治疗类兽药质量参差不齐，价格变化区间大。

从模型估计结果来看，两种生产函数模型都在不同程度上共同验证了兽药使用对生猪产值具有正向影响。这一结果说明，兽药投入减少了生猪产量损失，增加了养殖收入。此外，采用指数分布形式的损害控制模型的判定系数高于 C-D 生产函数模型的判定系数，因此，指数分布形式的损害控制模型的估计结果较 C-D 生产函数模型更为合理。

表 6 C-D 生产函数模型与损害控制模型估计结果

变量	C-D 生产函数模型		损害控制模型	
	系数	标准误	系数	标准误
常数项	6.6773***	0.2983	6.9670***	0.2931
仔猪投入	-0.0336***	0.0127	-0.0251**	0.0122
饲料投入	0.0523	0.0441	0.0413	0.0437
劳动力投入	0.1100***	0.0108	0.1038***	0.0109
水电和燃料投入	-0.1896**	0.0917	-0.1997**	0.0907
设施投入	0.2108**	0.0916	0.2185**	0.0908

技术服务投入	0.0048	0.0179	0.0055	0.0177
是否参加产业化组织	0.0065	0.0094	0.0093	0.0092
垂直协作紧密程度	0.0268*	0.0143	0.0292**	0.0141
预测的保健类兽药投入	0.0449***	0.0167	—	—
预测的治疗类兽药投入	0.0246	0.0300	—	—
损害控制模型参数估计				
$\lambda_1$	—	—	0.0268	0.0143
$\lambda_2$	—	—	0.0450*	0.0167
$\lambda_3$	—	—	0.0246*	0.0300
R <sup>2</sup>	0.2866		0.3062	
调整的 R <sup>2</sup>	0.2681		0.2863	
F 值	15.5055		15.4436	
Log likelihood	406.9214		412.4443	

注：\*\*\*、\*\*、\*分别表示在 1%、5%、10%的水平上显著。

本文最终以表 6 中的估计结果为依据，利用 (13) 式、(14) 式，代入受访养殖户相关变量的平均值如生猪产值、兽药支出的平均值，求得兽药的边际生产率。通过分布函数为指数分布的损害控制模型估计结果计算的保健类兽药和治疗类兽药的边际生产率都接近于 0，即每增加 1 元兽药投入所增加的生猪产值接近于 0，养殖户过量使用兽药。而通过 C-D 生产函数模型计算的保健类兽药和治疗类兽药的边际生产率分别为 3.2 和 2.3。对比由 C-D 生产函数模型和损害控制模型所测算的兽药边际生产率，发现 C-D 生产函数模型高估了兽药的边际生产率。这与 Lichtenberg and Zilberman (1986)、Babcock et al. (1992) 的研究结论一致。需要指出的是，本文在测算兽药边际生产率的过程中，由于不考虑兽药残留造成的农产品品质问题、生态危害等社会福利损失，所测得的兽药边际生产率有可能是高估的。

对于兽药边际生产率接近于 0，本文认为，可能的原因有以下几点：①养殖户在使用兽药时较少受到成本的影响，对兽药的需求缺乏弹性；②对病害造成的损失过于敏感或做出过高估计，想通过增加兽药使用量来规避病害可能造成的产量风险和市场风险；③养殖户对于规定条件下兽药是否能有效抑制病害存在信任偏差，因而以过量使用兽药来规避药效不确定所带来的收益风险；④养殖户在生猪疫病防治中对兽药的效果做出过度估计，从而对兽药过度依赖。

## 六、主要结论与政策启示

本文以四省 397 个生猪养殖户为样本，利用损害控制模型的分析框架，探讨了生猪养殖户兽药使用的边际生产率。研究表明，当前样本养殖户的兽药使用边际生产率近乎为 0，即兽药已经使用过量，在不影响养殖生产和养殖户收入的前提下存在减少兽药使用的空间。与此同时，为处理样本偏差和兽药使用的内生性问题，本文首先建立了兽药使用成本的回归模型，然后将基于该模型得到的兽药使用成本预测值代入 C-D 生产函数模型和损害控制模型，以估计兽药边际生产率。结果

表明,病害预期损失、兽药平均价格、养殖规模对兽药使用成本有正向影响;除此之外,参与养殖技术培训情况、养殖监管水平和养殖信息获取便捷程度对保健类兽药使用成本具有显著的负向影响,但对治疗类兽药使用成本的影响并不显著。由此可见,治疗类兽药的使用成本不容易受到外界因素的影响。这一方面是由于生猪疾病发生时,养殖户更多地是求助于兽医;另一方面是因为当生猪疾病发生时,养殖户考虑更多的是疾病对生猪产量的影响,当损失较大时,他们就投入大量的药物,即损失厌恶是影响治疗类兽药使用成本的主要因素。

基于上述研究结论,相应的政策启示是:第一,应逐步建立科学合理的要素投入参考系统,充分发挥其示范和引领作用,从而避免养殖户错误的要素投入期望,促进兽药的规范使用。第二,构建完善的疫病防治体系,转变养殖户对兽药过度依赖的心理。需要指出的是,本文研究仍存在一些局限性:第一,本文没有细分养殖户的饲养模式,以进一步探究饲养模式与兽药边际生产率之间的关系,这有待于后续的研究深化。第二,在损害控制模型框架下,病害防治投入的数量或产出价值简化了生物学视角的输入—输出过程。

#### 参考文献

- 1.樊欢欢、李嫣怡、陈胜可, 2011:《EViews 统计分析与应用》,北京:机械工业出版社。
- 2.黄季焜、齐亮、陈瑞剑, 2008:《技术信息知识、风险偏好与农民施用农药》,《管理世界》第 5 期。
- 3.侯建昀、霍学喜, 2016:《信贷可得性、融资规模与农户农地流转——以专业化生产农户为例》,《中国农村观察》第 6 期。
- 4.王瑜、应瑞瑶, 2007:《契约选择和生产者质量控制行为研究——基于农户风险偏好视角》,《经济问题》第 9 期。
- 5.周曙东、张宗毅, 2013:《农户农药施药效率测算、影响因素及其与农药生产率关系研究——对农药损失控制生产函数的改进》,《农业技术经济》第 3 期。
- 6.孙世民, 2008:《养猪专业户(场)加盟优质猪肉供应链意愿影响因素分析——基于对山东等 7 省的 534 份问卷调查》,《中国农村经济》第 12 期。
- 7.王常伟、顾海英, 2013:《市场 VS 政府,什么力量影响了我国菜农农药用量的选择?》,《管理世界》第 11 期。
- 8.Babcock, B. A., E. Lichtenberg, and D. Zilberman, 1992, "Impact of Damage Control and Quality of Output: Estimating Pest Control Effectiveness", *American Journal of Agricultural Economics*, 74(1): 163-172.
- 9.Beyene, T., and B. Tesega, 2014, "Rational Veterinary Drug Use: Its Significance in Public Health", *Journal of Veterinary Medicine & Animal Health*, 6(12): 302-308.
- 10.Carrasco-Tauber, C., and L. J. Moffit, 1992, "Damage Control Econometrics: Functional Specification and Pesticide Productivity", *American Journal of Agricultural Economics*, 74(1): 158-162.
- 11.Catry, B., H. Laevens, L. A. Devriese, G. Opsomer, and A. De Kruijf, 2003, "Antimicrobial Resistance in Livestock", *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 26(2): 81-93.
- 12.Cromwell, G. L., 1991, "Antimicrobial agents", in Miller, E. R., D. E. Ullrey, and A. J. Lewis (eds.), *Swine Nutrition*,

Stoneham, MA: Butterworth-Heinemann, pp. 297-314.

13. Cromwell, G. L., 2002, "Why and How Antibiotics Are Used in Swine Production", *Animal Biotechnology*, 13(1): 7-27.
14. Dang, P. K., C. Saegerman, C. Douny, T. V. Dinh, B. H. Xuan, and B. D. Vu, N. P. Hong and M. L. Scippo, 2013, "First Survey on the Use of Antibiotics in Pig and Poultry Production in the Red River Delta Region of Vietnam", *Food & Public Health*, 3(5): 247-256.
15. Dritz, S. S., M. D. Tokach, R. D. Goodband, and J. L. Nelssen, 2002, "Effects of Administration of Antimicrobials in Feed on Growth Rate and Feed Efficiency of Pigs in Multisite Production Systems", *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 220(11): 1690-1695.
16. Fafchamps M, F. Teal., and J. Toye, 2001, "Towards A Growth Strategy for Africa", CSAE working paper REP/2001-06, <http://www.macua1.org/rep2001-06.pdf>.
17. Fox, G., and A. Weersink, 1995, "Damage Control and Increasing Returns", *American Journal of Agricultural Economics*, 77(1): 33-39.
18. Grovermann, C., P. Schreinemachers, and T. Berger, 2013, "Quantifying Pesticide Overuse from Farmer and Societal Points of View: An Application to Thailand", *Crop Protection*, 53(11): 161-168.
19. Huang, J., R. Hu, S. Rozelle, F. Qiao, and C. E. Pray, 2002, "Transgenic Varieties and Productivity of Smallholder Cotton Farmers in China", *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 46(3): 367-387.
20. Jha, R. K., and A. P. Regmi, 2009, "Productivity of Pesticide in Vegetable Farming in Nepal", SANDEE Working Paper No. 43-09, <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/41849/129488.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
21. Karagianis, G., E. Tsionas, and V. Tzouvelekas, 2005, "Efficiency in Damage Control Inputs: A Stochastic Production Frontier Approach", Paper presented at the XIth Congress of the EAAE (European Association of Agricultural Economists): The Future of Rural Europe in the Global Agri-Food System, Copenhagen, Denmark.
22. Key, N., and W. D. McBride, 2014, "Sub-therapeutic Antibiotics and The Efficiency of U.S. Hog Farms", *American Journal of Agricultural Economics*. 96(3): 831-850.
23. Lichtenberg, E., and D. Zilberman, 1986, "The Econometrics of Damage Control: Why Specification Matters", *American Journal of Agricultural Economics*, 68(2): 261-273.
24. Liu, X., G. Y. Miller, and P. E. Mcnamara, 2005, "Do Antibiotics Reduce Production Risk for U.S. Pork Producers?" *Journal of Agricultural & Applied Economics*, 37(3): 565-575.
25. McBride, D., N. Key, and K. H. Mathews, 2008, "Subtherapeutic Antibiotics and Productivity in U.S. Hog Production", *Review of Agricultural Economics*, 30(2): 270-288.
26. Lansink, A. O., and A. Carpentier, 2001, "Damage Control Productivity: An Input Damage Abatement Approach", *Journal of Agricultural Economics*, 52(3): 11-22.
27. Pemsil, D., H. Waibel, and A.P. Gutierrez, 2005, "Why Do Some Bt-Cotton Farmers in China Continue to Use High Levels of Pesticides?", *International Journal of Agricultural Sustainability*, 3(1): 44-56.

28.Praneetvatakul, S., D. Kuwattanasiri, and H. Waibel, 2002, "The Productivity of Pesticide Use in Rice Production of Thailand: A Damage Control Approach", paper for the International Symposium on "Sustaining Food Security and Managing Natural Resources in Southeast Asia: Challenges for the 21st Century", Chiang Mai, Thailand.

29.Rola, A. C., and P. L. Pingali, 1993, "*Pesticides, Rice Productivity, and Farmers' Health: An Economic Assessment*", Philippines: International Rice Research Institute and World Resources Institute.

(作者单位: <sup>1</sup>江南大学商学院;

<sup>2</sup>江南大学食品安全风险治理研究院;

<sup>3</sup>苏州大学东吴商学院)

(责任编辑: 午言)

## **Economic Efficiencies of Antimicrobial Use in Pig Production: An Analysis Based on a Damage Control Model**

Wang Jianhua Deng Yuanyuan Zhu Dian

**Abstract:** This article applies survey data in 2017 from four provinces in China to a damage control model to measure antimicrobial use productivity. The study establishes a regression model of antimicrobial use, and applies the predicted drug cost of antimicrobial use to a C-D production function and the damage control model to avoid the endogeneity and sample selection bias. The results show that factors such as swine breeders' perception of yield loss, unit value price of veterinary drugs, production scale, lead to a significant increase in the drug cost of antimicrobial use. Factors such as technical training attendance, the easiness of obtaining policy information concerning pig breeding and standard operation, lead to a significant decrease in the cost of prophylactic drug use. But they exert no significant influence on the cost of therapeutic veterinary drugs. The study demonstrates that a loss aversion constitutes an important cause to the rising cost of therapeutic veterinary drugs for pig breeders. The estimation results from the damage control model show that marginal productivity of antimicrobial use is close to zero. That demonstrates an overuse of veterinary drugs. On the basis of the conclusions, it puts forward three countermeasures.

**Key Words:** Pig Production; Antimicrobial Use; Marginal Productivity; Damage Control Model