



王如玉, 肖海峰. 种养结合能否提升肉羊养殖环境技术效率? ——基于不同种养结合模式的MTE模型分析[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(03): 260-273.  
WANG Ruyu, XIAO Haifeng. Can the combination of planting and breeding improve the environmental technical efficiency of mutton sheep breeding? MTE model analysis based on different combination modes of planting and breeding[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(03): 260-273.  
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.03.22

## 种养结合能否提升肉羊养殖环境技术效率? ——基于不同种养结合模式的MTE模型分析

王如玉<sup>1,2</sup> 肖海峰<sup>1\*</sup>

(1. 中国农业大学 经济管理学院, 北京 100083;

2. 天津市农业科学院 农村经济与区划研究所, 天津 300192)

**摘要** 为探究不同种养结合模式能否提升肉羊养殖环境技术效率, 本研究基于超效率SBM模型测算了肉羊养殖环境技术效率, 并基于多元处理效应模型探究了不同种养结合模式对肉羊养殖环境技术效率的影响及影响机制, 结果表明: 1) 种养结合能够提高肉羊养殖环境技术效率, 且内循环种养结合模式对肉羊养殖环境技术效率提升作用强于外循环种养结合模式; 2) 内循环种养结合模式通过降低饲草料费用、降低劳动力投入、减少面源污染及碳排放来提升肉羊养殖环境技术效率, 而外循环种养结合模式主要通过降低面源污染和增加肉羊出栏活重来提升肉羊养殖环境技术效率; 3) 内循环种养结合模式更有利于提高小规模肉羊养殖环境技术效率, 而外循环种养结合模式仅对大规模肉羊养殖环境技术效率有提升作用。

**关键词** 种养结合模式; 肉羊养殖; 环境技术效率; 多元处理效应模型; 面源污染

中图分类号 F326.3 文章编号 1007-4333(2024)03-0260-14 文献标志码 A

## Can the combination of planting and breeding improve the environmental technical efficiency of mutton sheep breeding? MTE model analysis based on different combination modes of planting and breeding

WANG Ruyu<sup>1,2</sup>, XIAO Haifeng<sup>1\*</sup>

(1. College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Institute of Rural Economics and Regionalization, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300192, China)

**Abstract** In order to explore whether different modes of combination of planting and breeding can improve environmental technical efficiency of mutton sheep breeding, the environmental technical efficiency of mutton sheep breeding was measured based on Super-SBM model in this study. The influence of different combination modes of planting and breeding on the environmental technical efficiency of mutton sheep breeding and its influence path were monitored based on multiple treatment effect model (MTE model). The results show that: 1) The combination of planting and breeding can improve the environmental technical efficiency of mutton sheep breeding. The internal cycle combination of planting and breeding mode has a stronger improvement effect on the environmental technical efficiency of mutton sheep breeding than the external cycle combination of planting and breeding mode; 2) The internal circulation model improves the

收稿日期: 2023-05-16

基金项目: 农业农村部和财政部项目(CARS-39-22)

第一作者: 王如玉(ORCID:0009-0007-8528-2949), 助理研究员, 主要从事农业经济研究, E-mail: ruyu\_wang@163.com

通讯作者: 肖海峰(ORCID:0009-0006-4863-1209), 教授, 主要从事农产品市场与政策研究, E-mail: haifengxiao@cau.edu.cn

environmental technical efficiency of mutton sheep breeding by improving the technical efficiency of breeding and reducing non-point source pollution and C emissions, while the external circulation model mainly improves the environmental technical efficiency of mutton sheep breeding by reducing non-point source pollution; 3) The internal circulation model is more conducive to improving the environmental technical efficiency of small-scale mutton sheep breeding, while the external circulation model only improves the environmental technical efficiency of large-scale mutton sheep breeding.

**Keywords** the combination of cultivation with breeding; sheep breeding; environmental technical efficiency; MTE model; non-point source pollution

当前中国畜牧业发展正由数量扩张向质量提升转变,提高环境技术效率,由传统粗放型转变为绿色高效模式<sup>[1]</sup>,是落实“绿色”发展理念和破解畜牧业供给侧结构性矛盾的重要发展路径。中央一号文件及政府文件多次提出“促进种养循环,推进生态循环农业发展”。理论上,种植业产生的饲草料能够有效调节饲草料供求市场,畜牧业产生的粪肥还田是改善耕地质量不可或缺的措施之一<sup>[2]</sup>。与其他畜禽粪污相比处理更为简单的羊粪不仅蕴含着丰富的肥力、适用面广,而且其肥力温和持久、不易招致肥害。因此,随着政府高度重视,肉羊产业种养结合模式也呈多样化发展。那么,这些种养结合模式是否能够有效提高养殖户肉羊养殖环境技术效率呢?

一种观点认为种养结合不仅具有经济价值,而且具备较高的生态价值和社会价值,种养结合农牧系统内部可实现“物质循环与利用”,改善资源利用率、降低生产成本、提高经济效益<sup>[3-4]</sup>。已有研究发现种养结合的环境友好性具体表现为“低开采、高利用、低排放”,通过种养系统内部的资源循环,不仅实现畜禽粪肥代替化肥,而且提供沼气等清洁能源;同时,科学技术的发展与创新是实现种养结合的关键,种养结合直接增加了就业机会、促进了社会进步<sup>[5-7]</sup>。另一种观点认为在养殖户管理水平没有得到相应提升的背景下,经营多元化会使得正常的生产行为被扰乱,降低养殖场专业化水平,进而导致生产绩效降低<sup>[8]</sup>。已有关于种养结合绩效的文献为本研究提供了一定基础,但仍存在以下两点不足:一是较多文献分析了单一种养结合模式的影响,而不同种养结合模式可能会产生不同影响效果,研究结果可能因归并而出现偏误;二是现有研究大多没有将不可观测因素对养殖户种养结合模式选择的影响考虑在内,而养殖户种养结合模式选择是一种自选择行为,忽视不可观测因素的影响可能会导致内生性问题。

鉴于此,本研究拟采用多元处理效应模型将不同种养结合模式纳入同一框架,探究不同种养结合模式对肉羊养殖环境技术效率的影响及影响路径,以期为进一步优化种养结合模式、持续推进肉羊产业绿色发展提供理论支撑和现实依据。

## 1 模式界定与理论分析

### 1.1 模式界定

种养结合是将畜禽养殖产生的粪便和有机物加工制作有机肥,以满足种植业有机肥需求,同时种植业生产的农作物又给畜禽养殖提供食源的一种有机结合模式。本研究将羊粪用作有机肥,同时该施用羊粪饲草料地种植的饲草料用作肉羊饲料的养殖场户定义为种养结合户。2017年农业农村部根据各地自然资源条件、种养结构特点以及环境承载能力等因素,将全国种养结合示范工程按照北方平原区、南方平原水网区和南方丘陵多雨区遴选出5类种养结合模式在各区域范围内推广;也有研究按照粪污处理方式将种养结合分为“养殖—贮存—农田”模式、“养殖—沼气—农田”模式和“养殖—堆肥+沼气—农田”模式<sup>[9-10]</sup>。就种养结合发展而言,确保物质流、能量流的循环只是一个必要条件,任何模式的实践应用终将落实到参与主体上<sup>[11]</sup>。为深入了解肉羊种养结合模式,国家肉羊监测预警团队2018—2021年赴山西省岢岚县,贵州省毕节地区赫章县和威宁县,陕西省榆林市靖边县、横山区和榆阳区,四川省凉山彝族自治州冕宁县、会东县和盐源县,内蒙古乌审旗、敖汉旗和克什克腾旗,河北省宽城满族自治县和青龙自治县,新疆昌吉州奇台县和甘肃省金昌市永昌县对当地肉羊产业及种养结合循环农业较为熟悉的工作人员及不同种养结合模式下经营主体负责人等进行了深入的调研。基于调研了解到,肉羊种养结合主要包括养殖场户内部自循环模式、“养殖场户+种植户”模式、“养殖场

户+合作社+种植户”模式、“养殖场户+企业+种植基地”模式、“养殖场户+合作社+企业+种植基地”模式和“养殖场户+社会化服务组织+种植户”模式<sup>①</sup>。本研究在已有研究的基础上,结合实际调研情况,将肉羊种养结合归纳为养殖场户内部自循环种养结合模式(以下简称“内循环种养结合模式”)、主体间链条循环种养结合模式(以下简称“外循环种养结合模式”)两大类。其中,内循环种养结合模式即在养殖场户内部,围绕种养结合进行相关生产活动,资源在种养结合的不同环节间顺畅流动,形成养殖场户的内部循环链条。外循环种养结合模式指两个或多个主体利用自身优势围绕种养结合进行专业化生产,资源在种养结合不同主体间顺畅流动,形成的外部循环链条。

## 1.2 理论分析及研究假说

对于不同种养结合模式对肉羊养殖环境技术效率影响的理解,综合考虑多种经济理论,其中包括范围经济理论、规模经济理论和交易成本理论。关于内循环种养结合模式对环境技术效率的影响,一种观点认为养殖场户采用内循环种养结合模式能够达到农牧业集约经营和资源循环利用等目的,会促进环境技术效率提升<sup>[12-15]</sup>。一方面,通过共享生产资料和充分利用劳动力能充分利用生产要素的生产价值,进而降低生产成本;另一方面,生产相关多元化产品可以实现要素的更合理配置,可以通过分散农牧业经营有效降低市场风险及自然风险;多元化经营可使得养殖场户实现规模经济。另一种观点则认为养殖场户采用内循环种养结合模式会阻碍环境技术效率的提升<sup>[8]</sup>。一方面,养殖户的管理水平较低,随着经营多元化(即同时经营肉羊养殖与饲草料种植),正常生产行为会被扰乱,导致养殖户专业化水平降低;另一方面,现阶段养殖户的技能水平不足以支撑其用于不同种类农牧业生产,与经济组织(如合作社)合作能够有效地实现种养环节的有机联结,可以为专业化养殖场户带来更

高效益。关于外循环种养结合模式对环境技术效率的影响,一种观点认为外循环种养结合模式能够实现规模经济<sup>[16]</sup>。一方面,养殖场户可以通过对土地、劳动力、资本等生产要素的合理配置实现农业废弃物资源利用率和资源产出率的提升;另一方面,外循环种养结合模式可以实现公共基础设施的完善、产业的集聚、采购大量原材料的折扣优惠、更多的政策信贷支持、养殖场管理成本的降低等。另一种观点认为外循环种养结合模式由于涉及不同的主体,会产生搜寻购销信息费用、讨价还价及责任确定、交易履行、监督等交易费用,而且在市场交易过程中,各主体往往存在信息不对称,会产生道德风险,一定程度上会造成资源浪费,外循环种养结合模式的规模经济会被削弱,反而会制约环境技术效率的提升<sup>[17-18]</sup>。综上,从养殖场户的角度来看,种养结合在一定程度上减少了粪便等非期望产出的排放,增加期望产出的同时也改变了养殖场户生产要素配置,进而影响环境技术效率。

基于此,本研究提出如下假说:

假说1:与非种养结合模式相比,内循环种养结合模式、外循环种养结合模式均可以改变肉羊养殖环境技术效率,且内循环种养结合模式、外循环种养结合模式对肉羊养殖环境技术效率的作用程度存在差异。

假说2:与非种养结合相比,内循环种养结合模式及外循环种养结合模式通过肉羊养殖要素配置、期望产出及非期望产出来影响其环境技术效率。

内循环种养结合模式下,当肉羊养殖规模较小时,养殖场户的生产能力和管理能力都相对较弱,不能够有效分配资源,从而无法实现范围经济,因此肉羊养殖环境技术效率提升主要依赖于专业化生产。随着养殖规模的扩大,养殖场户有了富余生产能力,这时生产要素能够在肉羊养殖与饲草料种植的过程中合理配置,联合生产成本降低<sup>[19]</sup>,合理组织化对肉羊养殖环境技术效率的提升作用超过

<sup>①</sup>“养殖场户+种植户”模式即养殖场户把肉羊养殖产生粪污用于其他种植户的饲草料种植,种植户的秸秆或饲草料为养殖场户肉羊养殖饲草料来源,肉羊养殖与饲草料种植“联姻”变废为宝循环发展。“养殖场户+合作社+种植户”模式是养殖场户、种植户等按照合作社法共同发起成立合作社,在合作社内部形成种植与养殖结合。“养殖场户+企业+种植基地”模式是由契约约束的具有明确分工的种养结合模式,养殖场户依据企业技术规范处理粪污,按照合同缴售粪污,企业与养殖场户之间形成了一种产销关系,进而带动养殖场户实现种养结合。由于肉羊养殖规模相对较小,资金实力较弱,“养殖场户+合作社+企业+种植基地”模式主要为养殖场户自办合作社与企业对接形成种养结合。“养殖场户+社会化服务组织+种植户”模式在政府的指导下,由一些龙头企业牵头,建立以生态链为基础、纵向拓展产业链、横向联动相关产业的农业产业化循环运营体系,随着产业链的不断发展,上下游参与者数量也增多,利益关系更加紧密,最终形成一个覆盖区域的多主体互相联系、各产业相互融合发展的生态循环网络系统。

了纯养殖养殖场中的专业化作用。外循环种养结合模式下,由于在与第三方合作中小规模养殖户往往处于弱势地位,双方市场权利并不均衡。一方面,较高的交易成本使得第三方不愿意与小规模养殖户合作,且与大规模养殖户相比,小规模养殖户违约成本更低,其机会主义倾向更高<sup>[20]</sup>;另一方面,第三方在提供服务方面更多地面向养殖大户,如为其供应生产资料赊购、技术支持等,可以缓解养殖大户在种养结合过程中可能面临的瓶颈。

基于此,本研究提出如下假说:

假说3:与小规模养殖户相比,内循环和外循环种养结合模式均对大规模肉羊养殖环境技术效率提升作用更强。

## 2 研究设计

### 2.1 研究方法

#### 2.1.1 肉羊养殖环境技术效率的测算——超效率SBM模型(Super-SBM模型)

在计算上,环境技术效率是指在指定的投入要素和技术水平下,沿着某个方向增加经济产值等期望产出,同时减少环境污染等非期望产出的效率。有学者对比了投入法、双曲线法、倒数换算法、方向性距离函数、转换向量法和SBM模型测算环境技术效率的6种方法,并得出前5种本质上为径向或角度的DEA度量方法的结论<sup>[21-22]</sup>。而径向DEA模型会使得结果被高估,角度的DEA模型仅关注特定一个方面,使得测算结果有偏。Tone<sup>[23]</sup>于2001年提出基于松弛测度的SBM模型,该模型克服了上述缺陷。在计算上,SBM模型将投入和产出的松弛量直接纳入目标函数,有效剔除了松弛所造成的非效率因素;此外,SBM模型能避免量纲不同和角度选择的差异带来的偏差<sup>[24]</sup>,解决了非期望产出存在的生产效率评价问题。

假设肉羊养殖过程中有 $n$ 个决策单元,每个决策单元均有投入、期望产出和非期望产出向量,这3个向量分别为 $x \in R^m$ 、 $y^g \in R^{s_1}$ 、 $y^b \in R^{s_2}$ ,可定义矩阵 $X$ 、 $Y^g$ 、 $Y^b$ 如下:

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n] \in R^{m \times n} > 0$$

$$Y^g = [y_1^g, y_2^g, \dots, y_n^g] \in R^{s_1 \times n} > 0$$

$$Y^b = [y_1^b, y_2^b, \dots, y_n^b] \in R^{s_2 \times n} > 0$$

那么生产可能集 $p$ 可定义为:

$$p = \{(x, y^g, y^b) | x \geq X\lambda, y^g \leq Y^g\lambda, y^b \leq Y^b\lambda, \lambda \geq 0\}$$

将非期望产出考虑在内的可变规模报酬Super-SBM分式规划式为:

$$\rho^* = \min \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{x_i^-}{x_{i0}}}{\frac{1}{s_1 + s_2} \left( \sum_{r=1}^{s_1} \frac{y_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{l=1}^{s_2} \frac{y_l^b}{y_{l0}^b} \right)} \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \bar{x} \geq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j x_j, \bar{y}_r^g \leq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j y_j^g, \bar{y}_r^b \leq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j y_j^b,$$

$$\bar{x} \geq x_0, \bar{y}_r^g \leq y_0^g, \bar{y}_r^b \geq y_0^b, \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j = 1, \bar{y}_0^g \geq 0, \lambda \geq 0$$

式中: $\rho^*$ 为肉羊养殖环境技术效率值,且 $\rho^*$ 值越大该决策单元越有效; $X$ 为投入; $y^g$ (含 $y_{r0}^g$ )为期望产出; $y^b$ (含 $y_{l0}^b$ )为非期望产出; $\lambda$ 为权重向量;下脚标“0”表示被评价决策单元。

#### 2.1.2 种养结合对环境技术效率的影响——多元处理效应模型(MTE模型)

本研究使用Deb等<sup>[25]</sup>提出的多元处理效应模型来探究种养结合模式选择对养殖场户肉羊养殖环境技术效率的影响:

此模型采用两步估计方法,其中,第一步即养殖场户选择方程,用混合多项Logit模型:

$$P(D_i = j | Z_i) = \frac{\exp(\alpha + \beta_j Z_i)}{1 + \exp(\alpha + \beta_j Z_i)} \quad (2)$$

式中: $P(D_i = j | Z_i)$ 为养殖场户选择种养结合 $j$ 的概率; $D_i$ 为养殖场户种养结合模式选择变量,并决定于潜变量 $D_i^*$ 的值; $Z_i$ 为外生变量; $\alpha$ 和 $\beta$ 为待估计系数。

第二步环境技术效率估计方程,用OLS估计方程:

$$Y_i = X_i \alpha + D_i \gamma + \rho \sigma_\epsilon \lambda_i \quad (3)$$

式中: $Y_i$ 为养殖场户肉羊养殖环境技术效率; $X_i$ 为养殖场户养殖特征、个体特征、外部环境特征等外生变量; $\lambda_i$ 为个体 $i$ 的风险; $\rho \sigma_\epsilon$ 为 $\lambda_i$ 的系数估计值,如果估计结果显著,则说明存在不可观测因素引起的内生性问题; $\alpha$ 、 $\gamma$ 、 $\beta$ 为待估系数; $\epsilon_i$ 与 $\mu_i$ 为随机误差项。

在基于MTE模型进行估计时,变量 $Z_i$ 至少包含一个变量不在 $X_i$ 中,可将其视为工具变量。在其他变量选取方面,本研究基于已有研究的做法<sup>[19,26]</sup>,基于选择方程选取变量。

## 2.2 数据来源及分布

2021年课题组采用多阶段随机抽样法进行调研,具体方案如下:首先,根据全国肉羊产业发展状

况,结合优势区域规划以及种养结合的情况,选择了内蒙古、辽宁、新疆、四川、山西和河北6个主产省份。其次,在每个主产省份,随机抽取1~3个不等的肉羊产业优势县,共计10个县。最后,在各县中选取不同种养结合模式能够辐射的村,并随机抽取养殖场户,按照不同的种养结合模式进行分组,与养殖户进行面对面的访谈。通过对上述6个省份的实地调研,共得到241份有效问卷。有效问卷的区域分布具体为:新疆维吾尔自治区51份,内蒙古自治区56份,四川省16份,河北省51份,辽宁省48份,山西省19份。本研究将大规模养殖场户定义为养殖规模大于样本平均值的养殖场户,将小规模养殖场户定义为养殖规模低于样本平均值的养殖场户。其中,内循环种养结合模式中大规模养殖场户和小规模养殖场户占比分别为25.93%和74.07%,外循环种养结合模式中大规模养殖场户和小规模养殖场户占比分别为26.92%和73.08%。

## 2.3 变量说明及描述性统计

### 2.3.1 被解释变量

养殖场户肉羊养殖环境技术效率。本研究基于MAXDEA 8软件测算肉羊养殖环境技术效率。在测算肉羊养殖环境技术效率过程中包括期望产出、非期望产出和投入3部分。期望产出为肉羊产值。非期望产出包括面源污染和温室气体排放2部分。其中,面源污染指未经过处理直接排放到环境中的肉羊粪便所形成的污染;肉羊养殖过程中温室气体排放采用IPCC计算方法。投入包括幼畜购进费、精饲料费(包括玉米、油葵、豆粕、麸皮和配合饲

料等费用)、饲草费(包括秸秆、小麦秆、苜蓿、干草等费用)、劳动力投入和其他费用。

### 2.3.2 核心解释变量

种养结合模式。判断养殖场户为何种种养结合模式问卷题项为“您家肉羊粪便当前的处理方式?若出售/赠予,您家羊粪出售/赠予对象为?该对象是否为您提供饲草料?”若肉羊粪便自用且自种饲草料,则为内循环种养结合模式;若回答为出售或赠予,且出售或赠予对象提供饲草料则该模式为外循环种养结合模式。具体模型构建中,由于非种养结合模式不能实现种养结合,因此在模型中将其赋值为0作为参照组,将“内循环”“外循环”模式依次赋值为1和2进行对比分析。

### 2.3.3 控制变量

参照已有研究<sup>[20,27-29]</sup>,并综合考虑肉羊养殖特点,本研究在探究种养结合对肉羊养殖环境技术效率的影响时分别选取了养殖户个人特征、肉羊养殖特征及外部环境3类变量作为控制变量。其中个人特征包括户主年龄和户主文化程度;肉羊养殖特征包括养殖专业化程度、养殖规模、劳动力人口数、固定资产投资、养殖肉羊年限、养殖规模、耕地禀赋、是否加入肉羊养殖合作社/协会和技术培训;外部环境包括养殖场距乡政府距离、是否位于农区和环境规划。

### 2.3.4 工具变量

借鉴相关研究成果,本研究选择养殖户参与种养结合前对种养结合认知情况作为工具变量<sup>[20,26]</sup>。具体变量定义与描述性统计见表1。

## 3 结果与分析

表1 变量定义与描述性统计

Table 1 Definition of variables and descriptive statistics

变量名称 Variable	变量定义 Definition	样本 均值 Mean	非种养结合模	内循环种养结合	外循环种养结合
			式均值 Mean of non- breeding combined mode	模式均值 Mean of internal circulation combination model	模式均值 Mean of external circulation combination model
环境技术效率 Environmental technical efficiency	肉羊养殖环境技术效率	0.804	0.639	0.870	0.725
种养结合模式 Model of combination of planting and breeding	采用何种种养结合模式: 非种养结合模式=0;内 循环种养结合模式=1; 外循环种养结合模式=2				

表1(续)

变量名称 Variable	变量定义 Definition	样本 均值 Mean	非种养结合模 式均值 Mean of non- breeding combined mode	内循环种养结合 模式均值 Mean of internal circulation combination model	外循环种养结合 模式均值 Mean of external circulation combination model
户主年龄 Age of the household head	户主实际年龄/岁	52.195	54.434	50.784	56.423
户主文化程度 Education level of the household head	户主受教育程度:小学以 下=1,小学=2,初中= 3,中专及高中=4,大专 及以上=5	2.805	2.830	2.833	2.577
养殖专业化程度 Specialization degree of aquaculture	肉羊养殖收入在家庭总 收入的占比/%	0.581	0.679	0.735	0.444
养殖规模 Breeding scale	肉羊实际养殖数量/只	62.119	87.716	58.776	30.765
劳动力人口数 Labor force population	家庭劳动力人口数量	2.378	2.264	2.414	2.385
固定资产投资 Investment in fixed assets	固定资产投资额自然对 数/万元	10.912	10.758	10.992	10.727
耕地禀赋 Cultivated land endowment	养殖户自有耕地面积/ 0.067 hm <sup>2</sup>	27.976	28.764	24.386	48.731
养殖肉羊年限 Years of raising mutton sheep	养殖户养殖肉羊年限/年	18.336	16.623	18.969	17.885
技术培训 Technical training	户主接受肉羊养殖技术 培训次数	1.083	1.283	1.074	0.731
是否参与合作社/协会 Whether participate in cooperatives/ associations	是否参与肉羊合作社或 协会等:否=0,是=1	0.290	0.264	0.333	0.077
是否位于农区 Whether locate in rural area	养殖场是否位于农区: 否=0,是=1	0.535	0.434	0.617	0.231
养殖场距乡政府距离 Distance between the farm and the township government	养殖场与政府的距离: 0~5 km=1, >5~10 km =2, >10~15 km=3, >15~20 km=4, >20 km=5	2.900	2.509	2.975	3.231
环境规制 Environmental regulation	当地政府对肉羊养殖的 环境监管力度:非常弱= 1,较弱=2,一般=3,较 强=4,非常强=5	2.855	2.887	2.784	3.231
种养结合认知 Cultivation combined with cognition	采用该种养结合模式前 对其了解程度:非常弱= 1,较弱=2,一般=3,较 强=4,非常强=5	2.552	2.283	2.586	2.885

### 3.1 种养结合对肉羊养殖环境技术效率的影响

不同种养结合模式对肉羊养殖环境技术效率影响的估计结果如表2所示。Wald检验结果(Prob>chi<sup>2</sup>=0.00)显示零假设被拒绝。从环境技术效率估计方程上看, $\lambda_2$ 在1%水平上显著,表明养殖场户种养结合模式选择与肉羊养殖环境技术效率之间存在内生关系,因此需要通过选择方程纠正选择偏差; $\lambda_2$ 显著为负,表明未观测到的促使养殖场户选择内循环种养结合模式的因素与肉羊养殖环境技术效率负相关<sup>[25]</sup>。MTE模型估计结果显示:内循环种养结合模式以及外循环种养结合模式均能显著提升肉羊养殖环境技术效率,影响系数分别为0.475和0.214,此结论验证了假说1。一方面说明与非种养结合模式相比,种养结合可以提升肉羊养殖环境技术效率;另一方面说明与外循环种养结合模式相比,内循环种养结合模式对肉羊养殖环境技术效率的提升更强。究其原因,其一,种养结合解决羊粪随意排放造成的面源污染,化解了农牧经营主体分离条件下的粪肥还田成本问题,同时也实现了种地与养地结合;其二,内循环种养结合模式将农牧结合转化为家庭内部的制度安排,其提高肉羊生产技能水平的内在动力更强,同时投入到肉羊生产的精力也越多,进而表现出与外循环

种养结合模式相比更有效率;其三,受制于经营特性和道德风险约束,外循环种养结合模式较高的交易费用大于分工带来的收益<sup>[17]</sup>,进而使得对环境技术效率增长的提升作用较弱。一般情况下,虽然养殖场户并未直接得到第三方提供服务,双方可通过协作降低市场风险<sup>[30]</sup>。通过调研了解到,目前国家通过不同资金渠道,相继开展了有机肥加工厂建设、沼气工程建设、养殖场标准化建设等项目,但由于缺乏长效运营机制、资源利用主体带动能力不高等原因,外循环种养结合模式各主体间联系并不紧密,较高的信息搜寻成本及交易成本使其技术无效率,因此对肉羊养殖环境技术效率的提升作用不强。根据《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》<sup>①</sup>中的技术标准,种植10 hm<sup>2</sup>玉米可消纳300只肉羊产生的粪肥。调研发现,小规模养殖场户平均肉羊养殖规模为22.50只,自有耕地面积平均为1.91 hm<sup>2</sup>,可见,小规模养殖场户在不增加土地经营规模的前提下,就能实现种养结合,不仅可以保障肉羊高品质饲草料来源,而且还能实现肉羊粪肥直接还田,进而培肥地力、消纳肉羊养殖产生的面源污染,达到保护环境的作用。此外,对比OLS估计结果可以看出,若不考虑不可观测因素的影响会导致误导性因果推断。

表2 不同种养结合模式对肉羊养殖环境技术效率影响的估计结果

Table 2 Results of effects of different combination of planting and breeding modes on environmental technical efficiency of mutton sheep breeding

变量 Variable	多元处理效应模型 MTE model			最小二乘法 OLS method
	选择方程(1) Selection equation (1)	选择方程(2) Selection equation (2)	效率方程 Efficiency equation	
内循环种养结合模式 Internal circulation combination model			0.475*** (5.01)	0.229*** (3.00)
外循环种养结合模式 External circulation combination model			0.214* (1.72)	0.166 (1.48)
是否位于农区 Whether locate in rural area	1.972*** (3.48)	0.945 (1.07)	0.012 (0.15)	0.061 (0.77)
养殖肉羊年限 Years of raising mutton sheep	0.034* (1.86)	-0.004 (-0.15)	0.003 (1.24)	0.005* (1.83)
户主年龄 Age of head of household	-0.060** (-2.40)	-0.006 (-0.17)	-0.002 (-0.63)	-0.005 (-1.47)

①2018年1月农业农村部制定《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》,http://www.moa.gov.cn/gk/tzgg\_1/tfw/201801/t20180122\_6135486.htm?ivk\_sa=1024320u

表2(续)

变量 Variable	多元处理效应模型 MTE model			最小二乘法 OLS method
	选择方程(1) Selection equation(1)	选择方程(2) Selection equation(2)	效率方程 Efficiency equation	
家庭劳动力人口数 Number of working population in a household	0.248 (1.12)	0.032 (0.10)	0.055* (1.83)	0.067** (2.24)
技术培训次数 Number of technical training	-0.524*** (-2.64)	-0.485 (-1.56)	0.069** (2.40)	0.055* (1.92)
政府规制 Government regulation	-0.204 (-1.18)	0.014 (0.05)	-0.006 (-0.32)	-0.009 (-0.46)
固定资产投资额 Investment in fixed assets	0.271 (1.32)	0.504 (1.60)	-0.041 (-1.40)	-0.034 (-1.16)
户主文化程度 Education level of the household head	-0.029 (-0.12)	-0.105 (-0.29)	-0.035 (-1.01)	-0.030 (-0.85)
是否参与合作社/协会 Whether participate in cooperatives/associations	0.226 (0.44)	-1.090 (-1.12)	-0.033 (-0.47)	-0.022 (-0.31)
肉羊养殖规模 Mutton sheep farming scale	-0.003 (-1.51)	-0.003 (-0.86)	0.001*** (4.32)	0.001*** (3.87)
牧业收入占比 Proportion of animal husbandry income	-0.056 (-0.06)	-2.219* (-1.67)	-0.087 (-0.67)	-0.068 (-0.52)
与乡政府距离 Distance from township government	0.502*** (3.19)	0.411* (1.87)	-0.007 (-0.34)	0.005 (0.23)
耕地禀赋 Cultivated land endowment	-0.002 (-0.35)	0.007 (0.85)	-0.000 (-0.51)	-0.001 (-0.68)
种养结合认知 Cultivation combined with cognition	0.558*** (2.69)	0.405 (1.35)		
常数项 Constant term	-1.977 (-0.65)	-6.573 (-1.43)	0.906** (2.05)	1.033** (2.37)
Insigma			-1.141*** (-6.00)	
$\lambda_2$			-0.298*** (-4.16)	
$\lambda_3$			-0.047 (-0.60)	
对数似然值 Loglikelihood		-303.589		
$P > \chi^2$ 检验值 Prob > chi <sup>2</sup>		0.000		

注: MTE模型影响系数下方括号内为 $z$ 值; OLS回归影响系数下方为 $t$ 值; \*\*、\*和\*分别表示在1%、5%和10%的显著水平上统计显著,下同。

Note:  $z$  value is in square brackets under the influence coefficient of MTE model.  $t$  value is under the influence coefficient of OLS regression. \*\*\*, \*\* and \* are statistically significant at the significance level of 1%, 5% and 10%, respectively. The same below.

### 3.2 种养结合影响肉羊养殖环境技术效率的机制

不同种养结合模式对肉羊养殖饲草料费用、劳动力投入、出栏羊活重和非期望产出(面源污染、碳排放)的影响如表3所示。MTE估计结果显示:第一,内循环种养结合模式是通过降低饲草料费用、劳动力投入、肉羊面源污染及碳排放来提升肉羊养殖环境技术效率。第二,外循环种养结合模式通过提升肉羊出栏活重、降低肉羊面源污染来提升肉羊

养殖环境技术效率。对于大规模养殖户而言,通过外循环再次实现的“种养结合”是未来的发展趋势<sup>[11]</sup>。我国农村土地实行了“三权分置”之后,土地流转速度加快,出现了一些专业大户,同时各种新型合作组织发展也大大加快,这些发展趋势都为外循环种养结合发展提供了非常有益的条件。理论上来看,外循环种养结合模式可实现分工效应,促使不同劳动单位在种养结合生产环节发挥不同的比较优势,形成专业化分工优势,但现阶段由于缺

表3 不同种养结合模式对肉羊养殖环境技术效率影响机制的估计结果

Table 3 Results of influence mechanism of different combination of planting and breeding modes on environmental technical efficiency of mutton sheep breeding

假设 Hypothesis	变量 Variable	饲草料费用 Forage cost	劳动力投入 Labor input	出栏羊活重 Sheep live heavy	面源污染 Non-point source pollution	碳排放 Carbon emission
内生 MTE Endogenous MTE	内循环种养结合 模式 Internal circulation combination model	-93.490*** (-77.82)	-0.388*** (-90.35)	-0.051 (-0.42)	-2.456*** (-65.59)	-8.334*** (-2.88)
	外循环种养结合 模式 External circulation combination model	13.142*** (8.84)	0.077*** (13.73)	10.272*** (83.58)	-0.787*** (-20.43)	7.818** (2.32)
	控制变量 Control variable	控制	控制	控制	控制	控制
	常数项 Constant term	19.050** (2.37)	2.473*** (110.45)	41.199*** (77.08)	4.342*** (30.41)	41.979*** (3.58)
	Insigma	0.933*** (5.44)	-4.414*** (-30.69)	-1.491*** (-12.06)	-2.695*** (-22.37)	2.098*** (9.04)
	$\lambda_2$	47.405*** (83.82)	0.615*** (318.76)	-1.418*** (-27.75)	-1.060*** (-105.65)	3.628 (1.46)
	$\lambda_3$	-74.648*** (-187.33)	-0.404*** (-248.05)	-7.316*** (-261.55)	-1.932*** (-222.15)	-8.055*** (-3.66)
	内循环种养结合 模式 Internal circulation combination model	-44.619*** (-3.14)	0.091 (0.74)	-0.025 (-0.02)	-3.305*** (-8.67)	-5.323** (-2.56)
	外循环种养结合 模式 External circulation combination model	-38.903* (-1.86)	-0.182 (-1.01)	4.165** (2.29)	-3.130*** (-5.58)	1.462 (0.48)
	控制变量 Control variable	控制	控制	控制	控制	控制
外生 OLS Exogenous OLS	常数项 Constant term	13.265 (0.16)	2.315*** (3.30)	40.227*** (5.69)	5.461** (2.50)	41.099*** (3.46)

乏长效运营机制、资源利用主体带动能力不高等原因并不能有效提升环境技术效率。因此,政府需出台相关政策以促进种养结合能够持续运作下去。第三,对比来看,内循环种养结合模式对面源污染的影响要强于外循环种养结合模式的影响。究其原因:1)由于内循环种养结合模式下,肉羊养殖饲草料一般来源于自种,而外循环种养结合模式通过第三方购买饲草料,中介费用的提高使其对饲草料费用有显著的正向影响。2)内循环种养结合模式下随着经营范畴扩大,使得富余劳动力得到合理配置。3)种养结合饲草料质量较高且养殖环境较好会增加肉羊产出,

但由于内循环种养结合模式下,养殖场户会分散更多的精力在饲草料种植,所以对出栏肉羊活重的影响并不显著。4)种养结合作为粪污处理的一种方式,可以将肉羊粪便转化为种植业的有机肥料,进而减少肉羊养殖面源污染的产出,且由于内循环种养结合模式将农牧结合转化为家庭内部的制度安排,对肉羊粪污收集的更为有效。综合来看,上述结论验证了假说2。

### 3.3 异质性分析

种养结合对肉羊养殖环境技术效率的异质性影响如表4所示。小规模养殖场户估计方程中 $\lambda_2$ 在

表4 种养结合对不同规模肉羊养殖环境技术效率影响的估计结果

Table 4 Results of effects of combination of planting and breeding on environmental technical efficiency of different scale mutton sheep breeding

假设 Hypothesis	变量 Variable	小规模组 Small-scale group	大规模组 Large-scale group	
内生 MTE Endogenous MTE	内循环种养结合模式 Internal circulation combination model	0.434*** (3.21)	0.078*** (162.47)	
	外循环种养结合模式 External circulation combination model	0.019 (0.11)	0.105*** (159.42)	
	控制变量 Control variable	控制	控制	
	常数项 Constant term	1.425** (2.44)	0.444*** (148.70)	
	Insigma	-0.956*** (-6.09)	-6.935*** (-57.36)	
	$\lambda_2$	-0.198* (-1.78)	-0.144*** (-907.97)	
	$\lambda_3$	0.150 (1.24)	-0.034*** (-117.22)	
	外生 OLS Exogenous OLS	内循环种养结合模式 Internal circulation combination model	0.262** (2.59)	0.064 (0.48)
		外循环种养结合模式 External circulation combination model	0.098 (0.66)	0.090 (0.47)
		控制变量 Control variable	控制	控制
常数项 Constant term		1.586** (2.64)	-0.628 (-0.75)	

10%显著水平上显著,大规模养殖场户估计方程中术效率提升水平较低;3)小规模养殖场户更依赖于经验进行独立性生产,而大规模养殖场户由于生产规模更大会面临更大的自然风险,有更高的积极性寻求多方合作规避风险,因此会产生较高的交易成本。第二,外循环种养结合模式仅对大规模组肉羊养殖环境技术效率有显著的提升作用。此结论基本验证了假说3。可见,外循环种养结合模式找到了与规模经济的“交集”,提高了种养结合各环节的运行效率,促进了资源的高效配置,提高了肉羊养殖环境技术效率,但如何进一步释放外循环种养结合提升小规模养殖场户肉羊养殖环境技术效率的作用还有待深入探讨。

### 3.4 稳健性检验

本研究分别选择牧区半牧区组和低龄组为样本对模型估计结果进行稳健性检验(表5)。第一,牧区半牧区组,与非种养结合相比,内循环种养结合模式及外循环种养结合模式对肉羊养殖环境技术效率均有显著的正向影响,且内循环种养结合模式对肉羊养殖环境技术效率的提升较强。第二,与非种养结合相比,内循环种养结合模式对低龄组肉羊养殖有显著的正向影响,外循环种养结合模式对低龄组肉羊养殖环境技术效率影响并不显著。总体来看,核心解释变量的估计结果与全部样本的估计结果较为一致,前述实证结果较为稳健。

表5 种养结合对牧区半牧区组及低龄组环境技术效率影响的估计结果

Table 5 Results of effects of combination of planting and breeding on environmental technical efficiency in semi-pastoral group and younger age group

变量 Variable	牧区半牧区组 Semi-pastoral group	低龄组 Younger age group
内循环种养结合模式 Internal circulation combination model	0.309*** (77.50)	0.413*** (3.19)
外循环种养结合模式 External circulation combination model	0.011*** (4.56)	-0.034 (-0.20)
控制变量 Control variable	控制	控制
常数项 Constant term	0.664*** (36.42)	0.479 (1.08)
Insigma	-5.531*** (-34.81)	-1.090*** (-5.20)
$\lambda_2$	-0.070*** (-56.66)	-0.225** (-2.02)
$\lambda_3$	0.255*** (35.09)	0.104 (0.92)
对数似然值 Loglikelihood	-44.300	-166.232
$P > \chi^2$ 检验值 Prob > $\chi^2$	0.000	0.000

## 4 结论与政策建议

本研究基于6省份肉羊养殖场户调研数据,采用Super-SBM模型测算了肉羊养殖环境技术效率,并基于MTE模型回答了何种种养结合模式对肉羊

养殖环境技术效率的提升作用更为有效,得出以下结论:第一,种养结合户肉羊养殖环境技术效率均值大于非种养结合户,且内循环种养结合户肉羊养殖环境技术效率高于外循环种养结合户肉羊养殖环境技术效率。第二,与非种养结合模式相比,内循

环种养结合模式及外循环种养结合模式均对肉羊养殖环境技术效率有显著的正向影响,且内循环种养结合模式对环境技术效率的提升作用要强于外循环种养结合模式。第三,与非种养结合模式相比,内循环种养结合模式通过降低饲草料费用、降低劳动力投入、减少面源污染及碳排放来提升肉羊养殖环境技术效率,而外循环种养结合模式主要通过降低面源污染和增加肉羊出栏活重来提升肉羊养殖环境技术效率。第四,与大规模组相比,内循环种养结合模式对小规模组肉羊养殖环境技术效率的提升作用更强;外循环种养结合模式仅能提升大规模组肉羊养殖环境技术效率,并不能提升小规模组肉羊养殖环境技术效率。

基于以上结论,本研究提出以下政策建议:第一,因地制宜推广种养结合模式。对于耕地配套条件较好的养殖场户,政府应对其进行一定的种养结合补贴,如粪污处理设施补贴、饲草料种植补贴等,促使其积极采用内循环种养结合模式;对于不能实现内循环种养结合模式的养殖场户,政府应积极推广外循环种养结合模式,如在土地流转给予政策支持或建立大型的有机肥厂与其配套。第二,加大新型经营主体培育力度。除大力发展家庭农场等新型种养结合单体外,应继续大力培育新型农业经营主体,破除养殖场户参与外循环种养结合模式的现实约束。如扶持一批资金实力雄厚、带动能力强的“龙头”企业,加大对养殖专业合作社的引导和扶持,采用引入第三方参与、建立风险保障制度等构建更为完善的利益联结机制。第三,积极推进肉羊适度规模经营。采用鼓励养殖场户转变肉羊养殖方式、提供资金支持、技术推广和培训及建立示范基地等政策,适当提高养殖场户的规模化程度,充分发挥种养结合对肉羊养殖环境技术效率的促进作用。

## 参考文献 References

- [1] 葛鹏飞,王颂吉,黄秀路. 中国农业绿色全要素生产率测算[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(5): 66-74  
Ge P F, Wang S J, Huang X L. Measurement for China's agricultural green TFP[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(5): 66-74(in Chinese)
- [2] 郭庆海. 渐行渐远的农牧关系及其重构[J]. 中国农村经济, 2021, 441(9): 22-35  
Guo Q H. The fading relationship between agriculture and animal

- husbandry and its reconstruction[J]. *Chinese Rural Economy*, 2021, 441(9): 22-35(in Chinese)
- [3] 朱冠楠,李群. 明清时期太湖地区的生态养殖系统及其价值研究[J]. 中国农史, 2014, 33(2): 133-141, 77  
Zhu G N, Li Q. Ecological breeding system and its value of Taihu lake area in Ming and Qing dynasties[J]. *Agricultural History of China*, 2014, 33(2): 133-141, 77 (in Chinese)
- [4] 王善高,田旭. 种养结合能提高小规模生猪养殖的环境效率吗:基于江苏省生猪养殖户的分析[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(2): 199-210  
Wang S G, Tian X. Can the integrated crop-livestock production improve the environmental efficiency of small-scale hog farming: Analysis of hog farmers in Jiangsu Province[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(2): 199-210 (in Chinese)
- [5] 金晶,曲福田. 循环农业经济体系的内涵及其构建[J]. 中国人口·资源与环境, 2006(6): 57-61  
Jin J, Qu F T. Connotation and development of circular agriculture economic system[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2006(6): 57-61 (in Chinese)
- [6] 李小健. 新世纪河北省市域农业循环经济建设综合评价及对策[J]. 农业现代化研究, 2013, 34(3): 367-371  
Li X J. Comprehensive evaluation and development strategies of agro-recycling economy of city field in Hebei Province in the new century[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2013, 34(3): 367-371 (in Chinese)
- [7] 李谷成. 中国农业的绿色生产率革命:1978—2008年[J]. 经济学(季刊), 2014, 13(2): 537-558  
Li G C. The green productivity revolution of agriculture in China from 1978 to 2008[J]. *China Economic Quarterly*, 2014, 13(2): 537-558 (in Chinese)
- [8] 周炜. 多元化经营背景下家庭农场水稻生产效率:基于全国农村固定观察点的实证研究[J]. 南京农业大学学报:社会科学版, 2017, 17(5): 132-137, 155-156  
Zhou Y. An analysis of rice production efficiency on family farm under the background of diversified management: An empirical study based on national rural fixed observing point[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2017, 17(5): 132-137, 155-156 (in Chinese)
- [9] 田慎重,郭洪海,姚利,宫志远,董亮,边文范,罗加法,张玉凤. 中国种养业废弃物肥料化利用发展分析[J]. 农业工程学报, 2018, 34(S1): 123-131  
Tian S Z, Guo H H, Yao L, Gong Z Y, Dong L, Bian W F, Luo J F, Zhang Y F. Development analysis for fertilizer utilization of agricultural planting and animal wastes in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(S1): 123-131 (in Chinese)
- [10] 贾伟,臧建军,张强,李德发. 畜禽养殖废弃物还田利用模式发展战略[J]. 中国工程科学, 2017, 19(4): 130-137  
Jia W, Zang J J, Zhang Q, Li D F. Development strategies for utilization models for returning livestock and poultry manure to the land[J]. *Strategic Study of CAE*, 2017, 19(4): 130-137 (in Chinese)
- [11] 唐佳丽,金书秦. 中国种养结合研究热点与前沿:基于1998年以来的文献分析[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(11): 24-31  
Tang J L, Jin S Q. Research of hotspots and frontiers for the combination of planting and breeding in China: Based on literature analysis since 1998[J].

- Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(11): 24-31 (in Chinese)
- [12] 孙芳, 王荣荣, 丁满臣. 家庭牧场规模经营的一种有效模式: 基于日本北海道的调查[J]. 农村经济, 2016, 402(4): 120-124  
Sun F, Wang R R, Ding M C. An effective model for family ranching scale operations: Based on a survey in Hokkaido, Japan [J]. *Rural Economy*, 2016, 402(4): 120-124 (in Chinese)
- [13] 袁斌, 谭涛, 陈超. 多元化经营与家庭农场生产绩效: 基于南京市的实证研究[J]. 农林经济管理学报, 2016, 15(1): 13-20  
Yuan B, Tan T, Chen C. Diversification and family farms' production performance: A study based on research in Nanjing [J]. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2016, 15(1): 13-20 (in Chinese)
- [14] 王楠. 家庭农场多元化经营与收入的相关性研究: 以H市家庭农场为例[J]. 农业经济与管理, 2020, 59(1): 34-43  
Wang N. Research on correlation between diversified managements of family farm and income: Taking H city family farm as an example [J]. *Agricultural Economics and Management*, 2020, 59(1): 34-43 (in Chinese)
- [15] 高思涵, 吴海涛. 典型家庭农场组织化程度对生产效率的影响分析[J]. 农业经济问题, 2021(3): 88-99  
Gao S H, Wu H T. Analysis on the influence of organizational degree to production efficiency in typical family farm [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2021(3): 88-99 (in Chinese)
- [16] 员学锋, 姚一晨, 宋成军, 刘天池, 董强, 田宜水. 基于物质流和能量流分析的循环农业园产业链优化[J]. 农业工程学报, 2018, 34(15): 228-237  
Yuan X F, Yao Y C, Song C J, Liu T C, Dong Q, Tian Y S. Industrial chain optimization of circular agricultural garden based on analysis of material flow and energy flow [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(15): 228-237 (in Chinese)
- [17] 蔡荣, 蔡书凯. 农业生产环节外包实证研究: 基于安徽省水稻主产区的调查[J]. 农业技术经济, 2014, 228(4): 34-42  
Cai R, Cai S K. An empirical study on agricultural production outsourcing: Based on a survey of major rice producing areas in Anhui province [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2014, 228(4): 34-42 (in Chinese)
- [18] 崔艺凡. 种养结合模式及影响因素分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2017  
Cui Y F. Analysis on the models and key factors of combination with corn planting and cow breeding [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2017 (in Chinese)
- [19] 郭熙保, 陈燕赟. 中等收入阶段的收入分配: 格局与机制的跨国比较[J]. 财经科学, 2019, 373(4): 48-63  
Guo X B, Chen Y Y. Income distribution of middle-income stage and international comparison of its formation mechanism [J]. *Finance & Economics*, 2019, 373(4): 48-63 (in Chinese)
- [20] 丁存振, 肖海峰. 交易特性、农户产业组织模式选择与增收效应: 基于多元Logit模型和MTE模型分析[J]. 南京农业大学学报: 社会科学版, 2019, 19(5): 130-142, 159  
Ding C Z, Xiao H F. Transaction characteristics, farmers' industrial organization model selection and income growth: An analysis based on multivariate logit model and MTE model [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2019, 19(5): 130-142, 159 (in Chinese)
- [21] 刘勇, 李志祥, 李静. 基于SBM-NS模型的绿色全要素生产率评价[J]. 数学的实践与认识, 2009, 39(24): 25-30  
Liu Y, Li Z X, Li J. Environmental efficiency assessment based on SBM-NS model [J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2009, 39(24): 25-30 (in Chinese)
- [22] 王兵, 杨华, 朱宁. 中国各省份农业效率和全要素生产率增长: 基于SBM方向性距离函数的实证分析[J]. 南方经济, 2011(10): 12-26  
Wang B, Yang H, Zhu N. Agricultural efficiency and total factor productivity growth in China's provincial economies: An empirical analysis based on SBM directional distance function [J]. *South China Journal of Economics*, 2011(10): 12-26 (in Chinese)
- [23] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis [J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 498-509
- [24] 胡达沙, 李杨. 环境效率评价及其影响因素的区域差异[J]. 财经科学, 2012, 289(4): 116-124  
Hu D S, Li Y. Assessment of environmental efficiency and regional distinction of its influencing factors [J]. *Finance & Economics*, 2012, 289(4): 116-124 (in Chinese)
- [25] Deb P, Trivedi P K. Maximum simulated likelihood estimation of a negative binomial regression model with multinomial endogenous treatment [J]. *The Stata Journal*, 2006(6): 246-255
- [26] 陈雪婷, 黄炜虹, 齐振宏, 冯中朝. 生态种养模式认知、采纳强度与收入效应: 以长江中下游地区稻虾共作模式为例[J]. 中国农村经济, 2020, 430(10): 71-90  
Chen X T, Huang W H, Qi Z H, Feng Z C. Farmers' cognition, adoption intensity and income effect of ecological breeding mode: A case study of rice-shrimp co-cultivation mode in the middle and lower reaches of Yangtze River [J]. *Chinese Rural Economy*, 2020, 430(10): 71-90 (in Chinese)
- [27] 李谷成, 冯中朝, 占绍文. 家庭禀赋对农户家庭经营技术效率的影响冲击: 基于湖北省农户的随机前沿生产函数实证[J]. 统计研究, 2008(1): 35-42  
Li G C, Feng Z C, Zhan S W. An empirical analysis about the effect of household endowments on the technical efficiency of farmer's household management: Evidence from the farmers of Hubei Province [J]. *Statistical Research*, 2008(1): 35-42 (in Chinese)
- [28] 刘春鹏, 肖海峰. 禁牧政策、养殖规模与技术效率: 基于五省区绒毛用羊养殖户的微观研究[J]. 农业现代化研究, 2019, 40(1): 138-144  
Liu C P, Xiao H F. Grazing ban policy, breeding scale and technical efficiency: A case study of sheep farmers from five provinces [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2019, 40(1): 138-144 (in Chinese)
- [29] 何忠伟, 韩啸, 余洁, 刘芳. 我国奶牛养殖户生产技术效率及影响因素分析: 基于奶农微观层面[J]. 农业技术经济, 2014(9): 46-51  
He Z W, Han X, Yu J, Liu F. Analysis on production technical efficiency and influencing factors of Chinese dairy farmers: Based on dairy farmers microlevel [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2014(9): 46-51 (in Chinese)
- [30] 孙致陆, 肖海峰. 农牧户羊毛生产技术效率及其影响因素研究: 基于内蒙

- 古、新疆等5省份农牧户调查数据的分析[J]. 农业技术经济, 2013, 214(2): 86-94
- Sun Z L, Xiao H F. Technical efficiency and its influencing factors of farmers' cashmere production: Based on the survey data of farmers[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2013, 214(2): 86-94(in Chinese)
- [31] 刘春香. 浙江农业“机器人”的成效、问题与对策研究[J]. 农业经济问题, 2019(3): 11-18
- Liu C X. On the effect, problems and countermeasures of Zhejiang agricultural machine replacement [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2019(3): 11-18(in Chinese)
- [32] 陈菲菲, 张崇尚, 王艺诺, 仇焕广. 规模化生猪养殖粪便处理与成本收益分析[J]. 中国环境科学, 2017, 37(9): 3455-3463
- Chen F F, Zhang C S, Wang Y N, Qiu H G. Patterns and cost-benefit analysis of manure disposal of scale pig production in China [J]. *China Environmental Science*, 2017, 37(9): 3455-3463(in Chinese)

责任编辑: 王岩



**第一作者简介:** 王如玉, 2023年6月在中国农业大学经济管理学院获得博士学位, 现为天津市农业科学院农村经济与区划研究所助理研究员, 研究领域主要包括农产品市场与政策、农业资源与环境、农产品贸易等。在校期间多次获得学业一等奖学金和三好学生荣誉称号, 并获得2023届夏季优秀研究生毕业生(校级)。在校期间参与农业农村部研究项目(A170302)、农业农村部和财政部研究项目((CARS-39-22)。参编《2021中国绒毛用羊产业发展与政策研究报告》《中国绒毛用羊产业经济研究(第八辑)》《2021年畜牧业发展形势及2022年展望报告》《2022年畜牧业发展形势及2023年展望报告》等著作。以第一作者在《干旱区资源与环境》《中国农业大学学报》《世界农业》等期刊发表文章8篇。



**通讯作者简介:** 肖海峰, 博士, 中国农业大学经济管理学院教授、博士生导师, 主要研究方向为畜牧业经济、农产品市场与政策。先后主持完成国家自然科学基金项目、农业部软科学项目、农业部、财政部等部委项目、中德合作、FAO项目等40余项。出版著作及教材近20部, 在《中国农村经济》《农业经济问题》等杂志上发表论文200余篇。多项政策建议获得党和国家领导人批示。获得北京市“四个一批”人才、全国农业推广硕士优秀论文指导教师、中国农业大学十大优秀博士论文指导教师等奖励。自2011年起, 被农业部、财政部聘为国家绒毛用羊产业技术体系产业经济研究室主任、产业经济岗位专家。从2012年开始, 被农业部聘为肉羊产业监测与预警首席专家。