

DOI:10.11686/cyxb2024494

http://cyxb.magtech.com.cn

吕毅, 夏咏, 李先东, 等. 生产性服务业对畜牧业生态效率的空间效应研究——以新疆为例. 草业学报, 2025, 34(11): 1-16.

LYU Yi, XIA Yong, LI Xian-dong, et al. Spatial effects of producer services on livestock eco-efficiency: an example from Xinjiang. Acta Prataculturae Sinica, 2025, 34(11): 1-16.

# 生产性服务业对畜牧业生态效率的空间效应研究——以新疆为例

吕毅<sup>1</sup>, 夏咏<sup>1</sup>, 李先东<sup>1,2\*</sup>, 王福红<sup>1,3</sup>, 赵兰兰<sup>1</sup>, 丁宁<sup>1</sup>

(1. 新疆农业大学经济管理学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆农业大学干旱区生态经济与畜牧业高质量发展中心, 新疆 乌鲁木齐 830052; 3. 兰州财经大学农林经济管理学院, 甘肃 兰州 730101)

**摘要:**“双碳”目标下推进畜牧业生态效率提升, 是推动畜牧业可持续发展的重要途径, 对现代畜牧业建设具有重要意义。综合运用Super-SBM模型测度2006—2020年新疆37个牧业县、半农半牧业县畜牧业生态效率, 采用核密度估计、ArcGIS软件进行时空演化特征分析, 进而建立空间杜宾模型探析畜牧业生产性服务业对畜牧业生态效率的空间效应。数据分析显示: 研究期内新疆畜牧业生态效率呈波动上升趋势, 介于0.50~0.65, 且南疆的生态效率高于北疆, 牧业县高于半农半牧业县。具体而言, 新疆畜牧业生态效率表现为区域差异性和空间集聚性, 南疆牧业县>南疆半农半牧业县>新疆整体均值>北疆牧业县>北疆半农半牧县, 呈“南高北低”的空间特征。实证结果表明, 生产性服务业能够显著提升畜牧业生态效率, 且具有一定的正向空间溢出效应。为此, 研究建议通过完善生产性服务体系, 提升畜牧业生产性服务业水平; 加强区域间的协作与沟通, 发挥畜牧业生产性服务业对区域间畜牧业生态效率水平的拉动作用, 实现畜牧业可持续发展。

**关键词:** 畜牧业生产性服务业; 畜牧业生态效率; Super-SBM模型; 空间杜宾; 溢出效应

## Spatial effects of producer services on livestock eco-efficiency: an example from Xinjiang

LYU Yi<sup>1</sup>, XIA Yong<sup>1</sup>, LI Xian-dong<sup>1,2\*</sup>, WANG Fu-hong<sup>1,3</sup>, ZHAO Lan-lan<sup>1</sup>, DING Ning<sup>1</sup>

1. College of Economics and Management, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Ecological Economy and High Quality Development Center of Animal Husbandry in Arid Region, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 3. College of Agricultural and Forestry Economics and Management, Lanzhou University of Finance and Economics, Lanzhou 730101, China

**Abstract:** Enhancing the ecological efficiency of the livestock industry in the context of achieving “dual carbon” goals is an essential prerequisite for promoting sustainable development in this sector and is very important for the modernization of livestock farming. This study employs the Super-SBM model to measure the ecological efficiency of the livestock industry in 37 pastoral and agro-pastoral counties in Xinjiang from 2006 to 2020. Utilizing kernel density estimation and ArcGIS software, we analyze the spatiotemporal industry evolution pattern, and subsequently establish a spatial Durbin model to explore the spatial effects of producer services in the livestock industry on its

收稿日期: 2024-12-19; 改回日期: 2025-02-27

基金项目: 国家社科基金项目(24XTJ003), 自治区普通高校人文社科重点研究基地项目(XJEDU2023J004), 教育部人文社会科学基金青年项目(22YJC790063)和新疆维吾尔自治区社会科学基金青年项目(22CYJ010)资助。

作者简介: 吕毅(1999-), 男, 新疆伊犁人, 在读博士。E-mail: 81001855@qq.com

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: xjxiandong@nwafu.edu.cn

ecological efficiency. The data analysis reveals that during the study period, the ecological efficiency of the livestock industry in Xinjiang exhibited a fluctuating upward trend, ranging between 0.50 and 0.65. Notably, the ecological efficiency was higher in southern Xinjiang compared to northern Xinjiang, and in purely pastoral counties compared to agro-pastoral counties. Specifically, the ecological efficiency of the livestock industry in Xinjiang demonstrates regional disparities and spatial agglomeration, with the ranking being: southern Xinjiang pastoral counties > southern Xinjiang agro-pastoral counties > overall average in Xinjiang > northern Xinjiang pastoral counties > northern Xinjiang agro-pastoral counties, reflecting a spatial pattern of “higher in the south and lower in the north”. The empirical results indicate that producer services can significantly enhance the ecological efficiency of the livestock industry and exert a positive spatial spillover effect. Therefore, based on this study we recommend improving the construction of producer service systems to elevate the level of producer services in the livestock industry. Additionally, strengthening inter-regional collaboration and communication is essential to leverage the driving role of producer services in enhancing the ecological efficiency of the livestock industry across regions, thereby achieving sustainable development in this sector.

**Key words:** producer service industry of animal husbandry; animal husbandry ecological efficiency; Super-SBM model; spatial Durbin; spillover effect

畜牧业作为践行大食物观构建多元化食物体系的重要环节和来源,是有效保障国民动物蛋白营养需要和国家粮食安全战略的基础产业。随着乡村振兴战略深入实施,畜牧业取得快速发展。但与此同时,畜牧产业仍然面临畜牧业污染、生态环境恶化等问题。根据我国发布的《中华人民共和国气候变化第三次国家信息通报》<sup>[1]</sup>,畜牧业甲烷和氧化亚氮的排放占比高达40.5%和65.4%;牛、羊等草食反刍牲畜是畜牧业温室气体排放的主要来源,排放量占畜牧业总排放量的55.2%<sup>[2]</sup>。畜牧业生产长期面临的资源与环境、数量与质量双重约束问题并未得到根本性解决。面对严峻挑战,推动畜牧业生态友好型发展、提升畜牧业生态效率成为关键路径。近年来,畜牧业生产性服务组织蓬勃发展,为促进畜牧业绿色生产提供了新思路。2021年发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》<sup>[3]</sup>中提出要加快提升农业生产性服务业发展水平。2024年中央“一号文件”<sup>[4]</sup>进一步强调加强农业基础设施建设、强化农业科技支撑以及加强农业社会化服务平台和标准体系建设等内容,均涉及农牧业生产性服务业。畜牧业生产性服务业提供的市场化中间服务贯穿于畜牧生产的整个链条,是保障畜牧业生产过程连续性、促进技术进步、产业升级和提高生产效率的关键行业。通过将优良品种、前沿技术、智能装备等生产要素精准引入畜牧业生产过程,提高传统要素使用效率<sup>[5]</sup>,能够很好地解决资源利用不合理、生态效率低下等问题。新疆作为我国重要的畜牧业养殖基地,畜牧产值占区域第一产业的21.43%,是推动边疆民族地区发展的重要依托产业,更是新时期新疆着力推动以“十大产业集群”为支撑发展格局的重要组成部分。然而新疆地处内陆欠发达地区,生态环境脆弱、水资源匮乏、经济发展基础薄弱等因素制约区域畜牧产业发展。新疆畜牧产业发展仍然面临着可持续发展问题突出,产业规模大而不强的困境。据此,明晰区域畜牧业生态效率的发展状况,探析生产性服务业对畜牧业生态效率的作用机理,对推动区域畜牧产业提质增效、绿色发展具有重要意义。

产业发展与环境的的关系是历来学术界关注的热点问题,生态效率作为衡量产业发展与环境关系的重要指标,其概念最早由学者 Schaltegger 和 Sturn 于1990年提出,集成了经济与生态双向效率的理念<sup>[6]</sup>,学界常利用此概念来测度由于发生某种变动之后所引起的经济价值变动与变动导致的环境影响之间的关系<sup>[7-8]</sup>。具体到畜牧业领域,畜牧业生态效率用于反映畜牧生产过程中资源要素投入与期望经济效益和生态环境三者之间的互动关系,以判定畜牧业高质量发展的成效<sup>[9]</sup>。随着研究的深入,学者们多从国家<sup>[10]</sup>、省域<sup>[11]</sup>、区县<sup>[11-12]</sup>等不同尺度围绕畜牧业生态效率的测度<sup>[13-14]</sup>、影响因素<sup>[15-17]</sup>、时空演化特征<sup>[10,16,18]</sup>等方面展开研究。在推动畜牧业生态效率提升方面,多数研究认为经济发展水平<sup>[10]</sup>、畜牧业劳动生产率<sup>[12]</sup>、技术发展水平<sup>[11]</sup>是驱动畜牧业生态效率提升的重要因素。

随着农业现代化发展水平的提升,生产性服务业对畜牧业生态效率的影响作用逐渐凸显<sup>[19]</sup>,相关研究表明,农业生产性服务业对农业生态效率具有明显促进作用,且存在正向溢出效应,溢出效应超出直接效应<sup>[20-21]</sup>。

综上,已有的研究取得了丰富成果,为畜牧产业的高质量发展提供重要理论支撑和参考,但仍有些不足,主要体现在:1)在理论构建层面,当前研究尚缺乏一个统一且全面的理论框架,用以系统解释与分析畜牧业生态效率。这一缺失导致理论体系的完备性不足,难以全面指导畜牧产业生态效率的提升路径与优化策略。2)在研究视角上,多数研究聚焦于区域整体层面的探讨,而对于以畜牧业为主导产业的特定区域关注相对薄弱。此外,对不同区域间畜牧业生态效率的比较研究亦显匮乏,限制了研究结果的普适性与深度。3)针对新疆这一特殊地域的考量,其地处西北内陆,生态环境极为脆弱,是维护西北生态安全的重要屏障。畜牧产业在推动新疆区域经济发展与生态保护方面扮演着举足轻重的角色。然而,现有研究成果对于新疆畜牧业生态效率的关注度显然不足,未能充分揭示该地区畜牧产业在生态效率方面的独特特征与潜在挑战,从而影响了对该地区畜牧产业可持续发展路径的深入探索。基于此,本研究以新疆37个牧业县和半农半牧业县为例,采用2006—2020年的面板数据,运用Super-SBM模型、空间计量模型等方法测度分析不同类型区域下新疆畜牧业生态效率及其时空演变特征,探析生产性服务业对畜牧业生态效率的影响机理和空间效应,以期为促进区域畜牧业可持续发展和区域生态文明建设提供理论依据和决策参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 理论分析与研究假说

畜牧业生产性服务业是指为畜牧生产和相关业务提供中间服务,以提高畜牧业生产效率、质量和管理水平的服务行业,通过提高畜牧业总产值(期望产出)和降低畜牧业碳排放、养殖污染(非期望产出)来提高畜牧业生态效率。根据古典经济学中的分工理论,生产性服务外包是分工深化与专业化程度提高的表现。亚当·斯密指出分工是效率提升的源泉,所以畜牧业生产性服务业对畜牧业生产的影响本质是养殖户劳动分工的收益<sup>[22]</sup>。一方面,畜牧业生产性服务业将部分生产环节从养殖户手中分离出来,通过服务组织的专业化分工优化了要素资源配置,提升了畜牧业生产的集约化、专业化水平。养殖户在分工中往往选择自身有优势、生产成本低的产品或环节<sup>[23]</sup>,促使养殖户能够更专注于核心养殖环节,从而提高了劳动生产率,提升了畜牧生产的期望产出。另一方面,畜牧业生产性服务业通过调整生产经营方式和养殖技术减少畜牧业碳排放和养殖污染,降低非期望产出。

畜牧业生产性服务业通过推广集约化养殖,利用先进的养殖设施和管理技术,减少动物粪便排放,降低氨气等温室气体排放。通过先进的粪污处理技术,例如厌氧消化,将粪便转化为沼气和肥料,减少碳排放,降低对生态环境的污染和扰动。通过改良饲草、改进饲养方式减少饲料转化为动物产品过程中的能量损失,间接减少碳排放<sup>[24]</sup>。据此提出本研究的假说1:

H1:畜牧业生产性服务业对畜牧业生态效率有提升作用。

根据地理学第一定律,任意事物之间均存在相互联系,且空间距离越近,关联性越强;反之,随着距离增加,联系强度逐渐减弱<sup>[25]</sup>。畜牧业生产性服务业集中了先进的技术、专业知识和信息资源,具有知识技术密集、流动性高的显著特征<sup>[26]</sup>。畜牧业生产性服务提供的技术、信息等增强了养殖户要素投入的使用效率及在市场竞争中的比较优势,基于利益驱动,生产效率低的区域或养殖户向先进区域和经营者学习以期获得自身的竞争优势。此外由于相邻地区的地理环境、经济特征、自然资源等较为相似,生产性服务业提供的技术等要素的示范效应和外溢效应更易在邻近地区发挥作用,促使畜牧绿色养殖技术、管理经验在更大范围得到交流推广应用,提升整体的绿色生产效率,可见区域生产性服务业对畜牧业生态效率的影响存在正向的空间溢出效应。据此提出本研究假说2:

H2:畜牧业生产性服务业对畜牧业生态效率具有正向的空间溢出效应。

生产性服务业对畜牧业生态效率的影响机理如图1所示。

### 1.2 研究区域概况

新疆维吾尔自治区(73°40′—96°23′ E, 34°22′—49°10′ N)地处中国西北部,总面积达166.49万km<sup>2</sup>,属于温带大陆性气候,年均日照时间为2500~3500 h,年均降水量仅约150 mm,自然环境复杂多样,高山、草原、沙漠、绿

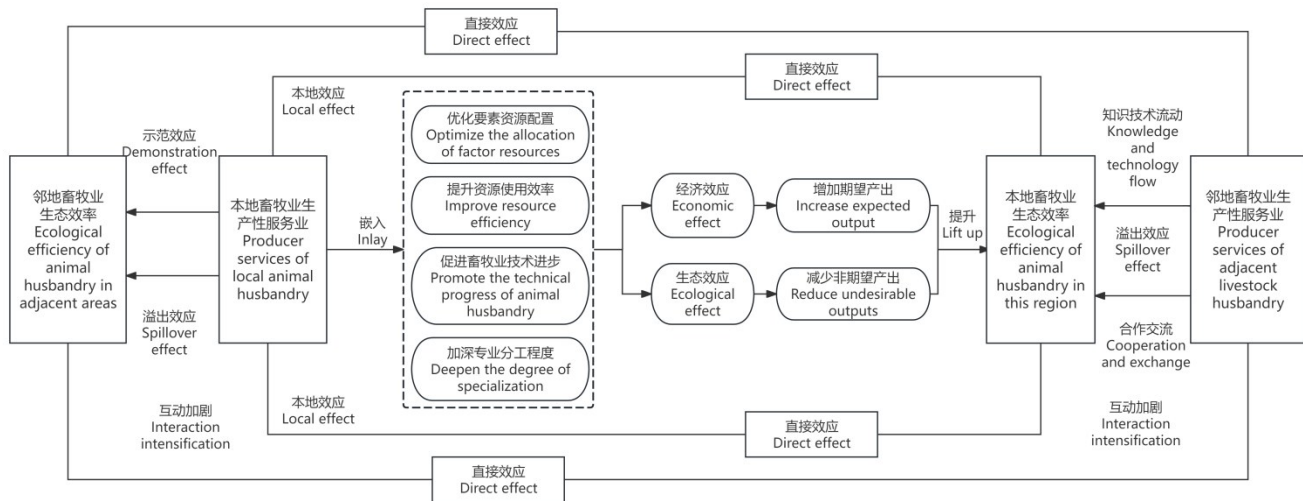


图1 生产性服务业对畜牧业生态效率的影响机理

Fig. 1 Mechanism of impact of producer services on eco-efficiency of animal husbandry

洲等多种生态系统并存。新疆作为中国重要的牧区之一,畜牧业产值在全国排名中稳居第15位,在全国五大牧区中排名第2位,西北五省区位居首位。拥有丰裕的资源禀赋优势,广袤且类型丰富的天然草原资源,涵盖山地草原、平原草原以及荒漠草原等。其草原总面积为5725.88万 $\text{hm}^2$ ,占全国草原总面积的14.6%。据第三次全国国土调查统计,新疆37个牧业县、半农半牧业县的自然草原面积为3739.1万 $\text{hm}^2$ ,占全区天然草原面积的65.2%;可利用草原面积为3131.4万 $\text{hm}^2$ ,占全区可利用草原面积的65.2%。天然打草场面积为92.2万 $\text{hm}^2$ ,占全区天然打草场的92%<sup>[27]</sup>。依附丰富的自然资源,结合传统游牧与现代舍圈养殖方式,其生产的畜产品量大、丰富、优质,在全国畜产品供应体系中占据重要地位。

新疆畜牧业涵盖多种畜牧业生产方式,其多样性能够全面反映不同生态系统、生产模式下的生态效率差异,为研究提供丰富的对比素材。因此,本研究聚焦新疆重要牧区的畜牧业生态效率状况,根据《新疆草原畜牧业转型升级规划(2023—2030年)》<sup>[28]</sup>等文件确定的畜牧产业发展重点区域,仅考虑22个牧业县和15个半牧业县的畜牧生态效率。本研究根据新疆区域划分特征,将新疆37个牧业县、半农半牧业县划分为4个区域(南疆牧业县、南疆半农半牧业县、北疆牧业县、北疆半农半牧业县),对比分析不同区域畜牧业生态效率的空间差异。

### 1.3 数据来源

本研究使用的相关数据主要来源于2007—2021年《新疆统计年鉴》<sup>[29]</sup>以及新疆各地统计年鉴和统计公报。对于城镇人口中个别年份个别区域缺失的数据,采用移动平均插值法<sup>[10]</sup>进行处理。为消除价格波动的影响,农林牧渔业总产值和畜牧业总产值等均以2006年作为基期进行平减。草原面积与耕地面积数据基于武汉大学遥感信息处理研究所(<http://irsip.whu.edu.cn/>)解译的30 m分辨率遥感影像进行提取。降水量数据来自中国科学院资源环境科学与数据平台(<https://www.resdc.cn/Default.aspx>)。净初级生产力(net primary productivity, NPP)数据来自MODIS遥感卫星的MOD17A3 v 6产品,空间分辨率为500 m。归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)数据源于MOD13Q1 v 006数据集,空间分辨率为250 m。NPP和NDVI数据均通过谷歌地球引擎(google earth engine, GEE)平台(<https://developers.google.cn/earth-earth/>)采用最大值合成法获取,并结合ArcGIS软件根据矢量边界进行分区统计。国界线和省界线等空间数据来自国家地理信息中心数据库的1:100万基础地理数据库(<https://ngcc.cn/dlxxzy/gjjcdlxxsjk/>)。

### 1.4 指标体系构建与研究方法

**1.4.1 畜牧业生态效率指标体系** 生态效率的本质反映了经营者通过最少的资源投入和最低的环境成本,实现最大的产出<sup>[30]</sup>。本研究结合新疆畜牧业生产的实际情况并考虑数据可获得性,参考文献[10—12],构建了畜牧

生态效率的评价指标体系(表1)。

1)投入指标:资本投入选择农牧业机械总动力表征,劳动力投入采用畜牧业就业人数表征,土地投入选用可利用草原面积与耕地面积之和表征,自然投入选择植物净初级生产力与归一化植被指数表征。

2)期望产出指标:产值是衡量经济产出的关键指标,将畜牧业总产值作为表征畜牧业生态效率的期望产出。为消除价格变动影响,对畜牧业生产总值进行以2006年为基期的平减处理。

3)非期望产出指标:选取畜牧业的主要污染物碳排放和牲畜粪便污染指数作为非期望产出指标。畜牧业碳排放参考顾沈怡等<sup>[31]</sup>的计算方法,采用碳排放因子法进行折换。畜牧业排污量,借鉴 Han 等<sup>[32]</sup>、张藤丽等<sup>[33]</sup>的研究思路,参照《第一次全国污染源普查畜禽养殖业产排污系数手册》<sup>[34]</sup>确定产排污系数,计算牲畜粪便中产生的化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)、总磷(total phosphorus, TP)、总氮(total nitrogen, TN)等污染物含量,然后采用均值法确定牲畜粪便污染指数(表1),计算方法如下:首先根据手册粪便污染系数计算出畜禽粪便产生量=年末各类牲畜存栏量(头)×365(d)×粪尿量日排泄系数(kg·head<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>);其次计算畜禽粪便中污染物含量=畜禽粪便产生量(t·a<sup>-1</sup>)×各类粪便污染物参数(COD, TP, TN)(kg·t<sup>-1</sup>)。

表 1 畜牧业生态效率评价指标体系

Table 1 Ecological efficiency evaluation index system of animal husbandry

类别 Category	构成 Constitute	具体指标 Specific index
投入指标 Input index	资本投入 Capital input	农牧业机械总动力(万 kW·h <sup>-1</sup> ) Total power of agricultural and animal husbandry machinery (×10 <sup>4</sup> kW·h <sup>-1</sup> )
	劳动力投入 Labor input	畜牧业就业人数(人) Number of employed persons in animal husbandry (persons)
	土地投入 Land input	可利用草原面积与耕地面积(千 hm <sup>2</sup> ) Available grassland area and cultivated land area (×10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup> )
	自然投入 Natural input	NPP 均值(反映草地生产能力) NPP mean (reflects grassland quality and productivity) NDVI 均值(反映草地覆盖状况) Average NDVI (reflects the status of grassland cover)
期望产出 Expected output	畜牧业产值 Output value of animal husbandry	以不变价计算的畜牧业总产值(亿元) Total output value of animal husbandry at constant prices (×10 <sup>8</sup> CNY)
非期望产出 Undesirable output	畜牧业碳排放 Carbon emission of animal husbandry	排放因子法测算畜牧业碳排放 CO <sub>2</sub> 当量 Estimation of CO <sub>2</sub> equivalent of carbon emissions from animal husbandry by emission factor method (t·head <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup> )
	牲畜粪便污染指数 Livestock manure pollution index	根据产污系数测算牲畜粪便中污染物含量 Measurement of pollutant content in livestock manure based on pollution production coefficient (t·head <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup> )

1.4.2 Super-SBM 模型 Super-SBM 模型是基于 SBM-DEA (slack-based measure data envelopment analysis) 模型的扩展,用于评估生产过程中的效率,尤其是存在非期望产出的情况下<sup>[35]</sup>。Tone<sup>[36]</sup>使用松弛测量法构建了 SBM-DEA 模型,Super-SBM 模型是在此基础上进行了改进,能够避免投入—产出非零松弛缺陷,并考虑到生产过程中的非期望产出。因此本研究采用 Super-SBM 模型测度畜牧业生态效率。具体模型函数形式为:

$$\min \rho = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_{ik}}{\frac{1}{l_1 + l_2} \left( \sum_{r=1}^{l_1} \frac{\bar{y}_{rk}^w}{y_{rk}^w} + \sum_{q=1}^{l_2} \frac{\bar{y}_{qk}^b}{y_{qk}^b} \right)} \quad (1)$$

$$s. t. x_{ik} \geq \sum_{j=1, \neq k}^n \lambda_j x_{ij}; y_{rk}^w \leq \sum_{j=1, \neq k}^n \lambda_j y_{rj}^w; y_{qk}^b \geq \sum_{j=1, \neq k}^n \lambda_j y_{qj}^b;$$

$$\lambda_j \geq 0, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; r = 1, 2, \dots, l_1; q = 1, 2, \dots, l_2$$

式中:ρ表示畜牧业生态效率,n为评价单元数量,各评价单元由m个投入指标构成,l<sub>1</sub>、l<sub>2</sub>分别表示期望产出指标和非期望产出指标的个数;̄x、̄y<sup>w</sup>、̄y<sup>b</sup>分别表示投入、期望产出和非期望产出的松弛变量,x<sub>ij</sub>、y<sub>rj</sub><sup>w</sup>、y<sub>qj</sub><sup>b</sup>分别表示第j个决

策单元的*i*要素投入、*r*要素的期望产出、*q*要素的非期望产出； $x_{ik}$ 、 $y_{rk}^w$ 、 $y_{qk}^b$ 分别表示经松弛变量改进后的第*k*个决策单元的*i*要素投入、*r*要素的期望产出、*q*要素的非期望产出； $\lambda$ 为权重向量。

**1.4.3 核密度估计** 核密度估计(kernel density estimation, KDE)是一种非参数方法,用于估计随机变量的概率密度函数<sup>[37]</sup>。通过对每个数据点应用核函数来实现平滑,从而将离散的样本数据转换为连续的密度估计。用连续的密度曲线代替直方图,以更好地描述变量的分布形态。假设随机变量的密度函数为 $f(x)$ ,对于随机变量*Y*有*n*个独立同分布的观测值,分别为 $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ ,则kernel密度函数的估计量为:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{y_i - x}{h}\right) \quad (2)$$

式中:*n*为研究区域个数; $y_i$ 为观测值, $y$ 表示观测值的均值;*h*为带宽; $K(\cdot)$ 为随机核函数,参考刘华军等<sup>[38]</sup>的研究,本研究选用比较常见的高斯核函数进行估计,表达式为:

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) \quad (3)$$

**1.4.4 空间相关性检验** 全局莫兰指数(global moran's I)用于反映某一地理要素在空间上的关联程度,表征其空间格局分布特征<sup>[39]</sup>。本研究采用全局莫兰指数对新疆畜牧业生态效率的空间相关性进行检验,具体计算公式为:

$$\text{Moran's I} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (Q_i - \bar{Q})(Q_j - \bar{Q})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (4)$$

式中: $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2$ 为样本方差; $Q_i, Q_j$ 分别代表第*i, j*个空间单元的属性值, $\bar{Q}$ 代表空间单元属性值的平均值; $W_{ij}$ 为空间权重矩阵。Moran's I指数的取值范围通常为-1~1。当Moran's I指数为0~1说明新疆37个县域的畜牧业生态效率存在空间正相关性,数值越接近于1,空间相关性越强。反之, Moran's I指数为-1~0说明空间负相关,当数值接近0时,说明空间数据呈随机分布,没有显著的空间自相关特征。

**1.4.5 核心解释变量与控制变量指标选取** 本研究的核心变量为畜牧业生产性服务业,选择畜牧业生产性服务业产值表征畜牧业生产性服务业。被解释变量为畜牧业生态效率,通过投入导向的非期望产出Super-SBM模型测度得出。为减小遗漏变量带来的估计偏误,控制影响畜牧业生态效率水平的其他因素。参考文献[10-12],结合当前畜牧业的发展现状以及指标数据的可获取性和可操作性,选取牲畜存栏量、畜牧业技术水平表征生产条件因素,人口城镇化率、畜牧业经济发展水平表征社会经济因素,降水量表征自然环境因素。变量描述性统计见表2。

**1.4.6 空间模型设定** 为进一步明晰生产性服务对畜牧业生态效率的影响,探究畜牧生态效率的影响因素,本研究构建空间计量模型进行实证检验分析。模型具体设定如下:

$$\begin{aligned} \ln LEE_{it} &= \alpha_0 + \rho W \ln LEE_{it} + \alpha_1 \ln LPSI_{it} + \alpha_2 \ln LI_{it} + \alpha_3 \ln LTL_{it} + \alpha_4 \ln PUR_{it} + \alpha_5 \ln LEDL_{it} \\ &\quad + \alpha_6 \ln PRE_{it} + \gamma \\ \gamma &= \lambda W \zeta_i + \mu_i \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \ln LEE_{it} &= \alpha_0 + \rho W \ln LEE_{it} + \alpha_1 \ln LPSI_{it} + \alpha_2 \ln LI_{it} + \alpha_3 \ln LTL_{it} + \alpha_4 \ln PUR_{it} + \alpha_5 \ln LEDL_{it} \\ &\quad + \alpha_6 \ln PRE_{it} + \epsilon_{it} \end{aligned} \quad (6)$$

式中: $LEE_{it}$ 表示畜牧业生态效率, $LPSI_{it}, LI_{it}, LTL_{it}, PUR_{it}, LEDL_{it}$ 及 $PRE_{it}$ 依次表示畜牧业生产性服务业、牲畜存栏量、畜牧业技术水平、人口城镇化率、畜牧业经济发展水平和降水量; $\lambda$ 为变量空间误差的系数, $\zeta_i$ 为误差向量。 $W \ln LEE_{it}$ ,表示畜牧业生态效率的空间滞后项, $\rho$ 表示邻近县域的观测样本值, $\rho W \ln LEE_{it}$ 为对其他县域观测值空间溢出方向和影响强度。 $\gamma, \epsilon_{it}$ 为随机误差项。

$$\begin{aligned} \ln LEE_{it} &= \alpha_0 \ln LEE_{it} + \alpha_1 \ln LPSI_{it} + \alpha_2 \ln LI_{it} + \alpha_3 \ln LTL_{it} + \alpha_4 \ln PUR_{it} + \alpha_5 \ln LEDL_{it} \\ &\quad + \alpha_6 \ln PRE_{it} + \gamma X_{it} + \epsilon_{it} \end{aligned} \quad (7)$$

式(7)的空间杜宾模型考虑了畜牧业生态效率的被解释变量( $LEE$ )与核心解释变量( $LPSI$ )由于空间滞后项所造

表 2 变量描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of variables

变量名称 Variable name	项目 Items	界定 Define	均值 Mean	标准差 Stan- dard deviation
被解释变量 Vari- able explained	畜牧业生态效率 Animal husbandry ecological efficiency (LEE)	由非期望产出的 Super-SBM 模型测算 Measured by Super-SBM model of non-expected output	0.588	0.468
核心解释变量 Core explanatory variable	畜牧业生产性服务业 Livestock pro- ductive services (LPSI)	畜牧业产值/农林牧渔机械总产值×农林牧渔服务业产值 Out- put value of animal husbandry/total output value of agriculture, for- estry, husbandry and fishery machinery×output value of agricul- ture, forestry, husbandry and fishery service industry	1057.520	1054.165
控制变量 Control variable	牲畜存栏量 Livestock stock (LI)	牲畜数量 Number of livestock	75.699	38.033
	畜牧业技术水平 Animal husbandry technical level (LTL)	畜牧业机械总动力/畜牧业产值 Animal husbandry machinery to- tal power/animal husbandry output value	3.181	3.098
	人口城镇化率 Urbanization rate (PUR)	城镇人口/年末常住人口 Urban population/permanent population at the end of the year	0.428	0.217
	畜牧业经济发展水平 Animal husband- ry economic development level (LEDL)	畜牧业总产值/畜牧业就业人数 Total output value of animal hus- bandry/number of employed persons in animal husbandry	4.500	3.792
	降水量 Precipitation (PRE)	降水量 Precipitation	17.418	9.864

成的空间溢出效应,  $i$  与  $t$  分别表示不同县域和时间,  $\alpha$  为邻近区域畜牧业生产性服务发展水平对畜牧业生态效率影响的空间系数, 表示邻近县域畜牧业生产性服务发展水平对畜牧业生态效率的空间溢出效应。

## 2 结果与分析

### 2.1 畜牧业生态效率时间动态演变分析

新疆畜牧业总体处于较低水平, 但整体呈波动中上升的趋势。从测度结果来看, 新疆畜牧业生态效率均值介于 0.50~0.65, 且多数县域在研究期内畜牧业生态效率低于 1, 未达到有效状态, 表明新疆畜牧业生态效率整体处于较低水平, 当前畜牧业发展的生态效率仍存在较大的改善空间。从畜牧业生态效率变化趋势来看, 新疆畜牧业平均生态效率值呈波动中上升的态势, 但增长速度较为缓慢(图 2)。

新疆四大区域的畜牧业生态效率具有明显的区域分级特征, 牧业县畜牧业生态效率高于半农半牧业县。具体表现为: 南疆牧业县 > 南疆半农半牧业县 > 新疆整体均值 > 北疆牧业县 > 北疆半农半牧县。其中, 南疆半农半牧业县、北疆牧业县、北疆半农半牧业县随时间的变化幅度相对较小, 畜牧业生态效率变化与新疆整体走势基本一致, 呈波动性上升趋势。相比之下, 南疆牧业县畜牧业生态效率变化幅度较大, 显示出较大的波动性。南疆牧业县畜牧业生态效率在 2006—2008 年呈增长态势, 2008—2018 年则呈波动性持续下降趋势, 在 2018—2020 年呈回升态势。2006—2008 年这一时期, 可能由于国家开始在试点或逐步推广生态补偿机制, 对牧民进行生态保护方面的补贴, 鼓励可持续放牧, 从而提高了畜牧业生态效率。2018—2020 年, 自治区加大了对南疆畜牧业的扶持力度, 强化了生态保护政策的执行, 并结合精准扶贫政策, 对牧民进行生态保护方面的培训和引导, 提高了其环保意识和生产技术水平, 进而使畜牧业生态效率呈回升趋势。

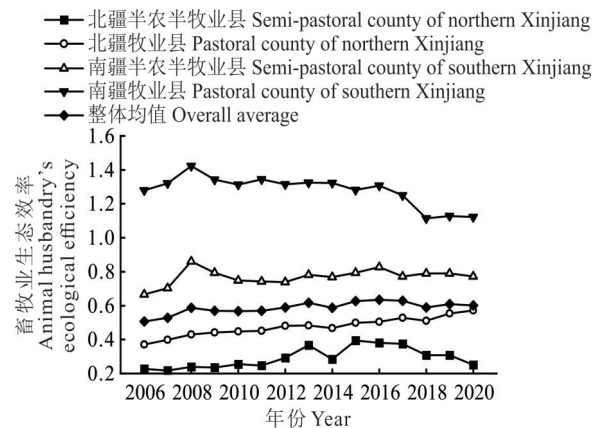


图 2 2006—2020 年新疆畜牧业生态效率变动趋势

Fig. 2 Change trend of ecological efficiency of animal husbandry in Xinjiang from 2006 to 2020

## 2.2 畜牧业生态效率区域差异分析

新疆畜牧业生态效率区域差异呈缩小的态势,且逐渐形成“南高北低”的空间特征。鉴于篇幅限制,选取2006、2011、2016和2020年新疆畜牧业生态效率的空间分布情况进行可视化分析(图3),使用自然断点法将畜牧业生态效率值分为低水平( $<0.236$ )、较低水平( $0.236\sim0.359$ )、较高水平( $0.359\sim0.614$ )和高水平( $>0.614$ )4个等级。2006年,约2/3的县域处于低、中低效率层次,民丰县、阿合奇县、尉犁县、和静县、塔什库尔干塔吉克自治县、且末县、乌恰县、伊吾县、和布克赛尔蒙古自治县为高效率水平,托里县、吉木乃县、和硕县、沙雅县为中高效率水平。彼时新疆畜牧业生态效率整体偏低且区内水平不均衡。2011年,青河县、布尔津县、吉木乃县、裕民县、精河县、乌鲁木齐县、和硕县、阿克陶县的畜牧业生态效率都有不同程度的提升,其他县域变化不大。2016年,全区畜牧业生态效率水平整体进一步提升,各地畜牧业生态效率差异逐渐缩小,“南高北低”特征逐渐显现。2020年,超过1/2的县域达到中高效率以上层次,大多数集聚在新疆南部地区,形成畜牧业生态效率水平“南高北低”的空间特征。2006—2020年新疆畜牧业生态效率高值区呈稳步增加趋势,而低值区则随着时间推移逐渐减少。从空间演化规律来看,尽管各地区自然条件、地理位置等因素存在差异,但整体差异性呈逐渐缩小的趋势。

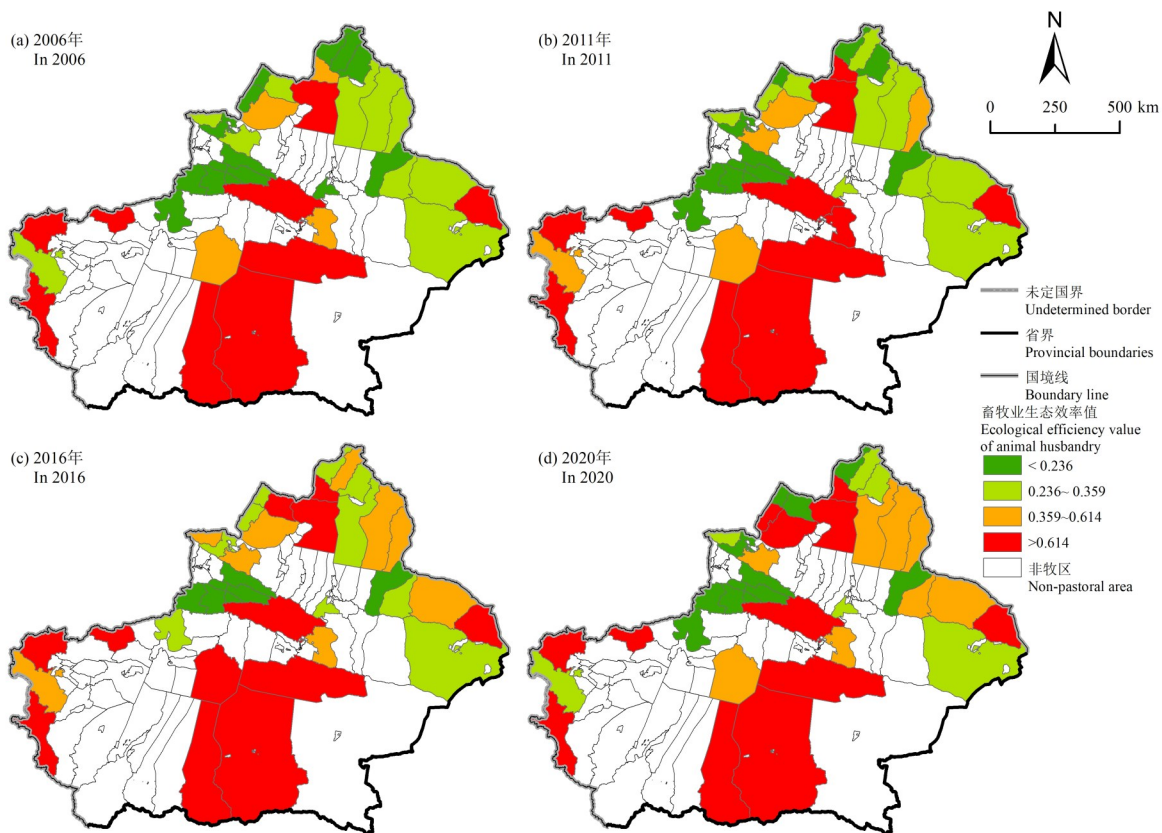


图3 新疆畜牧业生态效率空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of ecological efficiency of animal husbandry in Xinjiang

基于自然资源部标准地图服务网站(<http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/>)GS(2022)1873号标准地图制作,底图边界无修改。Based on the standard map service website of the Ministry of Natural Resources (<http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/>) No. GS (2022) 1873 standard map, the base map boundary has not been modified.

为更清晰地观测新疆畜牧业生态效率时空动态演变规律,通过Kernel密度图(图4)分析发现:1)从核密度曲线的重心位置看,畜牧业生态效率核密度重心呈右移态势。这表明在研究期间,畜牧业生态效率整体呈上升趋势。2)从波峰的形状和形态来看,分布曲线整体呈显著的“双峰”特征,且从左至右、由高到低显示出明显的极化现象。此外,曲线表现出明显的梯度效应和分化趋势。具体而言,第一波峰的生态效率值集中在0.5左右,而第二波峰则聚集在1.5左右,且第一波峰的高度明显高于第二波峰,反映出两极分化的明显存在,表明持续存在区

域内非均衡性。3)从波峰的宽度与高度来看,核密度曲线的主峰宽度逐渐收窄,而高度则不断升高,侧峰的高度先下降后上升。这一变化趋势表明,高水平 and 低水平地区的畜牧业生态效率差距先扩大后缩小,逐步形成了“高水平集聚、低水平集聚”的“俱乐部收敛”格局<sup>[40]</sup>。

### 2.3 空间效应分析

**2.3.1 空间自相关性检验结果** 本研究利用 Stata 17 分别计算 2006—2020 年新疆 37 个牧业县、半农半牧业县畜牧业生态效率的 Moran's I 值。从表 3 可知,2006—2020 年新疆畜牧业生态效率 Moran's I 值在 0.270~0.400 变动且在 1%、5% 水平下显著。研究结果通过空间自相关性检验,显示新疆畜牧业生态效率存在显著的正向空间相关性,表明样本之间存在空间依赖性,不符合样本独立性的假设。因此,需要引入空间计量模型进行进一步的估计与分析。

**2.3.2 空间计量模型的选择与回归分析** 由表 4 可知,LM 检验和稳健 LM 检验均在 1% 显著性水平下通过,表明采用空间杜宾模型是合理的选择。LR 检验统计值和 Wald 检验统计值也在 1% 显著性水平下通过,进一步表明空间杜宾模型拒绝简化为空间滞后模型或空间误差模型。Hausman 检验统计值同样通过了 1% 显著性水平,表明应选择固定效应模型。此外,空间固定效应和时间固定效应的 LR 值分别在 5% 和 1% 显著性水平上通过,应采用时空双固定效应的空间面板杜宾模型进行分析。

为综合考虑空间效应,避免普通面板模型可能带来的误差,通过对比空间杜宾模型 (spatial Durbin model, SDM)、空间滞后模型 (spatial lag model, SLM) 和空间误差模型 (spatial error model, SEM) 的回归结果,以确定最优模型。回归结果如表 5 所示。表中显示,SDM 模型的综合对数似然值 (log-likelihood) 以及决定系数 ( $R^2$ ) 均为最高,表明 SDM 模型在拟合优度方面更具优势,因而被认为是最适合的模型选择。

表 4 空间计量模型的选择检验

Table 4 Selection test of spatial metrology model

统计量 Quantity of statistics	统计值 Value of statistics	统计量 Quantity of statistics	统计值 Value of statistics
空间误差模型的拉格朗日乘数检验 LM-spatial error	8.527***	空间滞后项的沃尔德检验 Wald-spatial lag	36.510***
稳健的空间误差模型拉格朗日乘数检验 Robust LM-spatial error	4.559***	空间误差项的沃尔德检验 Wald-spatial error	36.410***
空间滞后模型的拉格朗日乘数检验 LM-spatial lag	13.661***	豪斯曼检验 Hausman	15.880***
稳健的空间滞后模型拉格朗日乘数检验 Robust LM-spatial lag	9.692***	空间固定效应似然比检验 LR test (spatial fixed effect)	20.200**
空间滞后模型的似然比检验 LR-spatial lag	35.390***	时间固定效应似然比检验 LR test (time fixed effect)	1308.620***
空间误差模型的似然比检验 LR-spatial error	35.750***		

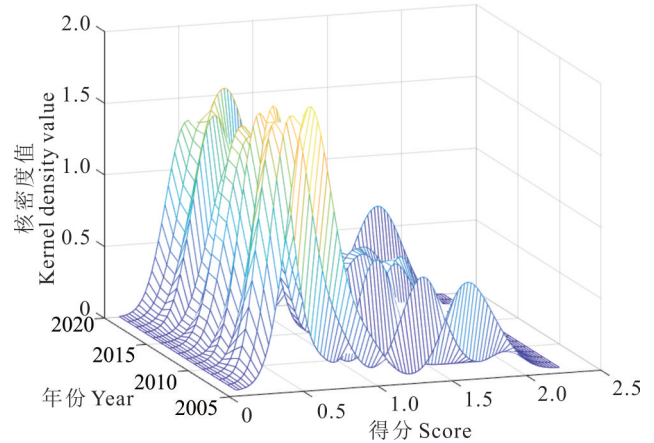


图 4 新疆畜牧业生态效率核密度估计

Fig. 4 Estimation of Kernel density of animal husbandry eco-efficiency in Xinjiang

表 3 2006—2020 年畜牧业生态效率 Moran's I 值

Table 3 Moran's I value of animal husbandry eco-efficiency from 2006 to 2020

年份 Year	Moran's I	Z 值 Z-value	年份 Year	Moran's I	Z 值 Z-value
2006	0.374***	3.272	2014	0.400***	3.483
2007	0.389***	3.394	2015	0.338***	2.975
2008	0.367***	3.210	2016	0.333***	2.938
2009	0.308***	2.729	2017	0.273***	2.448
2010	0.345***	3.032	2018	0.299***	2.657
2011	0.355***	3.114	2019	0.270**	2.418
2012	0.356***	3.118	2020	0.276***	2.471
2013	0.310***	2.751			

注: \*, \*\*, \*\*\* 分别表示在 10%、5%、1% 的水平下显著,下同。

Note: \*, \*\*, \*\*\* respectively means significant at the level of 10%, 5%, 1%, the same below.

表5 空间计量模型的回归结果

Table 5 Regression results of spatial econometric model

解释变量 Explanatory variables	空间杜宾模型 Spatial Durbin model (SDM)		空间滞后模型 Spatial lag model (SLM)		空间误差模型 Spatial error model (SEM)	
	系数	Z值	系数	Z值	系数	Z值
	Coefficient	Z-value	Coefficient	Z-value	Coefficient	Z-value
畜牧业生产性服务业 Producer services of animal husbandry (LPSI)	0.011**	2.36	0.011**	2.36	0.010**	2.28
牲畜存栏量 Livestock stock (LI)	-0.453***	-8.33	-0.451***	-8.44	-0.448***	-8.37
人口城镇化率 Urbanization rate of population (PUR)	-0.055**	-2.06	-0.048*	-1.79	-0.047**	-1.75
畜牧业技术水平 Animal husbandry technology level (LTL)	0.022***	4.50	0.023***	4.57	0.024***	4.81
畜牧业经济发展水平 Animal husbandry economic development level (LEDL)	0.054**	1.95	0.061**	2.32	0.064**	2.40
降水量 Precipitation (PRE)	0.085	1.18	-0.027	-0.61	-0.026	-0.53
空间自回归系数 Spatial rho	0.130***	2.51	0.132***	2.65		
空间误差自回归系数 Spatial lambda					0.143***	2.77
随机误差项的方差 Variance of random error term ( $\sigma^2$ )	0.025***	16.62	0.025***	16.62	0.025***	16.62
决定系数 Determination coefficient ( $R^2$ )	0.3612		0.3362		0.2990	
对数似然值 log-likelihood	230.5649		224.2621		224.5794	

由表5可见,从核心解释变量分析来看,畜牧业生产性服务业对畜牧业生态效率产生了显著的正向影响,表明在2006—2020年,新疆的畜牧业生产性服务业有效推动了畜牧业生态效率的提升。国家高度重视生产性服务业的发展,提出了“聚焦关键环节和领域,推动生产性服务业高质量发展”的战略方向,进一步促进了该领域的优化升级,同时也通过一系列的政策保障为其提供了全面的指引。畜牧业生产性服务作为畜产品生产过程中所需的中间服务,是现代畜牧产业体系的重要组成部分。具体而言,畜牧业生产性服务业是围绕畜牧业全生产过程,通过提供各类专业化服务,以促进畜牧资源的高效配置。在与牧户的有机衔接过程中,生产性服务包括产前的畜牧物资供应、贷款服务、保险服务,产中的畜牧饲养技术支持、畜禽防疫、疾病防治、屠宰技术指导,以及产后的加工包装、运输储藏、价格信息提供和收购销售等。有针对性地满足农牧民需求,提高畜牧业产业链运行效率、减少畜牧生产碳排放,进而提高畜牧业生态效率水平。

从控制变量分析来看,降水量的回归系数为正,但未达到显著性水平,表明降水量对畜牧业生态效率的正向影响并不显著。这可能与新疆特殊的地理条件密切相关。新疆大部分地区处于干旱、半干旱或极寒气候带,天然降水量稀少,风沙较多,生态系统稳定性较差。牲畜存栏量在1%的显著性水平下与畜牧业生态效率呈负相关,表明随着新疆畜牧数量的增加,会加重草地生态承载能力的负担,阻碍畜牧业生态效率的提升。人口城镇化率对畜牧业生态效率的影响在5%显著水平下通过检验,系数为负。表明城镇化进程的加快对土地、劳动力、资金资源都具有一定的“吸虹作用”,畜牧业减污降碳水平提速缓慢,但畜产品需求却不断扩大,因此不可避免地以破坏资源环境为代价来提高畜产品产量,从而对本地畜牧业生态效率产生一定负向影响。畜牧业技术水平和畜牧业经济水平对畜牧业生态效率的影响在1%和5%的显著性水平下通过检验,系数为正,表明畜牧业技术水平和经济效益的提高,可以使畜牧业发展获得较大的经济产出。畜禽粪污处理设施的有效运行可以减少养殖废弃物的排放,同时也可以使畜牧业发展以较少的资源要素投入,提高畜牧业生态效益。

**2.3.3 空间效应分析** 由于回归系数不能直接反映各变量对畜牧业生态效率的边际效应,因此进一步计算直接效应、间接效应和总效应,以准确衡量解释变量对被解释变量的影响程度。通过偏微分方程的计算,将空间效应进行分解(表6)。根据表6的结果,畜牧业生产性服务业对新疆畜牧业生态效率的直接效应显著为正,系数为0.096,表明畜牧业生产性服务业水平每提升1%,新疆畜牧业生态效率相应提高0.096%。畜牧业生产性服务业帮助农牧户实现资源的优化配置和高效利用,通过合理的饲料配方设计、科学的饲养管理和环境控制等,以提高

动物的生产性能和健康水平,从而减少资源浪费和环境污染,进一步提升养殖效益和生态效率。因此,验证了假说 1。从间接效应来看,生产性服务业对畜牧生态效率具有正向的促进作用,但未通过显著性检验,部分验证了假说 2。究其原因可能是新疆畜牧生态效率总体水平较低,各地在畜牧生产环节及产出等方面的差距较小,生产性服务业尚未形成有效规模,其相关服务衍生的示范效应不强,在推动区域畜牧生态效率方面未表现出明显的空间溢出效应。

表 6 空间计量模型的效应分解

Table 6 Effect decomposition of spatial econometric model

解释变量 Explanatory variables	直接效应 Direct effect		间接效应 Indirect effect		总效应 Total effect	
	系数	Z 值	系数	Z 值	系数	Z 值
	Coefficient	Z-value	Coefficient	Z-value	Coefficient	Z-value
畜牧业生产性服务业 Producer services of animal husbandry (LPSI)	0.096**	2.56	0.067	0.86	0.163*	1.75
牲畜存栏量 Livestock stock (LI)	-0.256***	-6.70	-0.123	-1.33	-0.379***	-3.75
人口城镇化率 Urbanization rate of population (PUR)	-0.025	-1.34	-0.053	-1.59	-0.078**	-2.06
畜牧业技术水平 Animal husbandry technology level (LTL)	0.015***	4.32	-0.016***	-2.72	-0.001	-0.17
畜牧业经济发展水平 Animal husbandry economic development level (LEDL)	0.035*	1.85	-0.072**	-2.35	-0.036	-1.09
降水量 Precipitation (PRE)	0.027	0.54	-0.103	-1.55	-0.076	-1.55

从控制变量的估计结果来看,牲畜存栏量对畜牧业生态效率直接影响和间接影响均为负。牲畜存栏量的增加会加重草地生态承载能力,对饲料、水资源等的需求也会相应增加。这可能导致土地资源的过度开发和利用,以及水资源的紧张,从而对生态环境造成压力,降低生态效率。牲畜存栏量的增加还会加剧对土地、水等自然资源的竞争。这种竞争不仅可能发生在当地畜牧业内部,还可能扩展到周边地区甚至更远的范围。资源竞争可能导致资源过度开发和浪费,进一步降低生态效率。畜牧业技术水平对畜牧业生态效率的直接效应和间接效应的系数分别为 0.015、-0.016,均在 1% 显著性水平下通过检验。表明畜牧业技术进步提高 1%,本地区生态效率提高 0.015 个百分点,而邻近地区生态效率降低 0.016 个百分点。畜牧业技术进步不仅实现资源的高效利用,而且能够减少养殖过程中的废弃物排放和环境污染,将废弃物转化为有价值的资源,实现循环经济和可持续发展。我国也加大对牧业种植和种业技术研发投入,转变牧民传统的生产方式,提高生产效率和经济效益,逐步克服“卡脖子”难题<sup>[41]</sup>,释放天然草地的内生力量,进而提高生态效率。近年来,我国大力推广和应用绿色畜牧养殖技术,显著促进了生态效率的提升。然而,由于“搭便车”效应<sup>[42]</sup>的逐渐显现,邻近地区在畜牧业科技投入上出现不足,导致相关技术水平滞后,进而抑制了这些地区生态效率的进一步提升。畜牧业经济发展水平对畜牧业生态效率的直接效应系数为 0.035,并在 10% 的显著性水平上通过检验,表明在其他条件不变的情况下,畜牧业经济发展水平每提高 1%,本地区的生态效率将提升 0.035%。间接效应系数为 -0.072,并通过了 5% 的显著性水平检验,表明畜牧业经济发展对周边地区的生态效率产生了负向影响。随着畜牧业经济发展水平的提升,畜牧业生产者有更多的资金和资源投入提高生产效率和资源利用率。例如,自动化喂养系统、智能环境控制系统高新技术的应用,不仅能显著降低劳动强度,提高生产效率,还能减少资源浪费和环境污染,从而提升畜牧业生态效率。但畜牧业经济发展过程中存在产业结构不合理,比如过度依赖某种畜种或生产方式,可能会导致资源过度集中和浪费。这种不合理的产业结构通过市场机制对周边地区产生负面影响,从而表现为空间负溢出效应。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

气候变暖是全人类共同面临的挑战,尤其是人为造成的气候变化对环境的破坏尤为显著,影响人类可持续发展,其中碳排放增加对气候变暖的影响尤为重要<sup>[43]</sup>。据《联合国气候变化框架公约》显示,全球畜牧业饲养家畜的二氧化碳总排放量大,占所有人为温室气体排放量的 14.5%。在全球变暖危机及国内“双碳”目标的背景下,如

何有效面对畜牧业生产的污染与碳排放,是如今畜牧业可持续发展面临的重要问题,亦是当前各级政府和学术界共同关注的焦点问题。因此,探索如何提升畜牧业生态效率对于减缓全球变暖和应对气候变化意义重大。近年来随着新疆政府对畜牧业的支持和投资逐年增加,畜牧业生产技术不断改进,牧民环境保护意识逐渐增强,畜牧业生产的生态环境逐渐得到改善。本研究结果表明新疆畜牧业生态效率虽整体水平较低,但呈波动中稳步上升的趋势。本研究结果与梁耀文等<sup>[10]</sup>、赵兰兰等<sup>[44]</sup>的研究趋势相似。此外,各县畜牧业生态效率差异较大,反映了区域内资源禀赋、技术水平、政策支持等方面的不均衡性。未来应重点关注生态效率较低的县域,应充分考虑区域差异性,因地制宜地推广生态畜牧业模式。通过技术引进、政策扶持等手段缩小区域差距,推动畜牧业向绿色、高效方向转型。

畜牧业生态效率是环境、经济和社会等多方面因素综合作用的结果。随着农业生产现代化水平的提升、智能化、数字化等设备和服务应用更加广泛,农业生产性服务在农业经济系统中地位不断凸显。生产性服务作为畜牧业生产过程中一种新型要素,推动了畜牧生产各环节传统投入要素的利用效率,在生产的投入端和产出端改善畜牧生产系统。乔保荣等<sup>[20]</sup>的研究也证实了生产性服务业对畜牧业生态效率、农业生态效率等方面的提升具有正向作用。本研究结果也表明生产性服务业对畜牧业生态效率具有正向影响,但空间溢出效应并不显著。这说明生产性服务业通过提供技术、信息、金融等服务,能够有效改善畜牧业生产效率,降低资源消耗和环境污染,从而提升生态效率。然而,新疆作为欠发达地区,地域广阔,现代化的畜牧产业生产体系建设仍显不足,未形成更具系统性、高效性、专业性和可持续性的畜牧发展格局。各县市之间经济联系较弱,生产性服务业的辐射范围和带动作用有限,导致其空间溢出效应不显著。未来应加强区域间的经济合作与资源共享,推动生产性服务业的跨区域联动发展,进一步发挥其对畜牧业生态效率的促进作用。

本研究从畜牧业生态效率的角度出发,探析生产性服务业对其影响机理和影响因素,研究结果可能仍存在一定的局限性。但研究结果仍可清晰地反映新疆畜牧生产的实际状况,对识别畜牧业生产过程中不同类型区域的短板和弱项具有一定的参考价值。未来研究中,还需进一步完善研究方法,提升畜牧业生态效率评价的精准度,重点考虑提升畜牧业生态效率的实现可行路径,保障区域畜牧产业高质量发展,促进人地关系和谐。

### 3.2 结论与对策启示

本研究基于2006—2020年新疆县级面板数据,运用Super-SBM模型对新疆37个牧业县和半农半牧业县的畜牧业生态效率进行测度,并分析其时空演变特征,考察生产性服务业对畜牧业生态效率的影响作用。主要结论如下:

1)新疆畜牧业生态效率均值介于0.50~0.65,未达到有效状态,整体处于较低水平;2006—2020年新疆畜牧业平均生态效率呈波动中上升的态势,但增长速度较为缓慢,且各县畜牧业生态效率差异较大。

2)本研究划分新疆为4个研究区域,分区畜牧业生态效率值呈南疆牧业县>南疆半农半牧业县>新疆整体均值>北疆牧业县>北疆半农半牧业县,形成“南高北低”的空间特征。

3)畜牧业生产性服务业对提升畜牧业生态效率具有显著的促进作用,具有正向的空间溢出效应,但并不显著,其在一定程度上推动了生态畜牧业的建设与发展。除此之外,畜牧业技术水平、畜牧业经济发展水平对畜牧业生态效率有正向影响,牲畜存栏量、人口城镇化率对畜牧业生态效率有负向影响,降水量对畜牧业生态效率影响不显著。

根据上述实证结论,结合新疆畜牧业发展目标,提出以下对策启示:

1)针对新疆畜牧业生态效率整体较低且增长缓慢的问题,首先,应加大对畜牧业技术研发和推广的支持力度,推动传统粗放型生产方式向现代化、生态化转型,提升资源利用效率。其次,优化畜牧业生产结构,合理控制牲畜存栏量,推广草地轮牧和休牧制度,减轻生态环境压力。此外,应针对各县生态效率差异较大的特点,实施差异化政策,重点扶持生态效率较低的县域,通过技术引进、资金支持和政策倾斜缩小区域差距。加强生态畜牧业示范区建设,通过典型示范带动周边地区生态效率的提升,推动新疆畜牧业实现绿色、高效、可持续发展。

2)针对新疆畜牧业生态效率区域差异较大的问题,未来政策制定应注重区域差异化发展策略。对于生态效

率较高的南疆牧业县,应进一步巩固其生态畜牧业发展成果,推广先进技术和管理经验,同时加强草地资源的可持续利用,防止过度放牧。对于生态效率较低的北疆牧业县和半农半牧业县,需加大政策扶持力度,重点改善草地退化问题,推广生态修复技术,优化畜牧业生产结构。此外,应加强南北疆区域间的协同合作,促进技术、资金和资源的跨区域流动,推动生产性服务业的均衡发展,缩小区域间生态效率差距,实现新疆畜牧业的整体协调发展。

3)积极发挥畜牧业生产性服务业对畜牧业生态效率的提升作用。应进一步强化生产性服务业的支撑作用,完善技术、信息、金融等服务体系,推动其在区域间的协同发展,以增强其空间溢出效应。

4)针对畜牧业生态效率的差异影响因素,对此,提高畜牧业生态效率应坚持从实际出发,加大对畜牧业技术研发和推广的投入,提升技术水平,促进资源高效利用和环境污染减排,找准与畜牧业生态效率关键影响因素的有效契合点,加快推进畜牧业领域新质生产力发展,赋能资源高效利用,持续提升畜牧业生态效率。此外,优化畜牧业生产结构,合理控制牲畜存栏量,避免过度放牧导致的生态压力。在城镇化进程中,需注重畜牧业劳动力的稳定供给,避免因人口城镇化率过高而影响生产效率。尽管降水量对生态效率影响不显著,但仍需关注气候变化对畜牧业的长远影响,加强生态脆弱区的适应性管理,推动生态畜牧业可持续发展。

#### 参考文献 References:

- [1] Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. The third national communication on climate change of the People's Republic of China. (2009-07-04) [2025-04-11]. <https://www.ccchina.org.cn/Detail.aspx?newsId=71956&TId=65>.  
中华人民共和国生态环境部. 中华人民共和国气候变化第三次国家信息通报. (2009-07-04)[2025-04-11]. <https://www.ccchina.org.cn/Detail.aspx?newsId=71956&TId=65>.
- [2] Sun F P, Wang L N. On the strategic orientation and focus of Qinghai province to achieve the goal of "Double Carbon". *Qinghai Social Sciences*, 2021(6): 43—52.  
孙发平, 王礼宁. 论青海实现“双碳”目标先行先试的战略导向与着力点. *青海社会科学*, 2021(6): 43—52.
- [3] The Xinhua News Agency. Outline of the 14th five-year plan for national economic and social development of the People's Republic of China and the vision goals for 2035. (2021-03-13)[2025-04-11]. [https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content\\_5592681.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm).  
新华社. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要. (2021-03-13)[2025-04-11]. [https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content\\_5592681.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm).
- [4] The Xinhua News Agency. The No. 1 document of the central committee of the People's Republic of China was released in 2024, proposing a "road map" for effectively promoting comprehensive rural revitalization. (2024-02-03)[2025-04-11]. [https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202402/content\\_6929930.htm](https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202402/content_6929930.htm).  
新华社. 2024年中央一号文件公布 提出有力有效推进乡村全面振兴“路线图”. (2024-02-03)[2025-04-11]. [https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202402/content\\_6929930.htm](https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202402/content_6929930.htm).
- [5] Mayira·Mijiti, Xie Y X. Research on the impact of agricultural productive services on the high-quality development of agriculture. *The World of Survey and Research*, 2024(6): 15—26.  
玛依拉·米吉提, 谢雨欣. 农业生产性服务业对农业高质量发展的影响研究——基于双重机器学习模型. *调研世界*, 2024(6): 15—26.
- [6] Wang G F, Qian Z Y, Shi R. Research hotspots and trends of agricultural eco-efficiency in China. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2023, 44(10): 20—31.  
王国峰, 钱子玉, 石瑞. 中国农业生态效率研究热点和趋势分析. *中国农业资源与区划*, 2023, 44(10): 20—31.
- [7] Rafat B, Jerzy B. Eco-efficiency as part of sustainable farm development. *Acta Universitatis Lodziensis Folia Oeconomica*, 2019, 341(2): 23—42.
- [8] Cheng C Y, Ren J M, Wang R S. Spatial-temporal distribution of agricultural eco-efficiency in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(1): 142—148.  
程翠云, 任景明, 王如松. 我国农业生态效率的时空差异. *生态学报*, 2014, 34(1): 142—148.
- [9] Xie K H, Xing T X. Studies on the animal species structure and ecological efficiency in animal husbandry eco-economical

- subsystem of Guanshan village. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 1993(2): 34–37, 67.
- 谢克和, 邢廷銑. 观山村畜牧业生态经济亚系统的畜种结构和生态效率. *农村生态环境*, 1993(2): 34–37, 67.
- [10] Liang Y W, Wang M L, Ma X P, *et al.* Study on the spatial and temporal characteristics and spillover effects of eco-efficiency in China's animal husbandry. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2023, 44(8): 189–201.  
梁耀文, 王明利, 马晓萍, 等. 中国畜牧业生态效率时空特征及溢出效应研究. *中国农业资源与区划*, 2023, 44(8): 189–201.
- [11] Zhao Z, Bai Y P, Hu Z M, *et al.* Evaluation of ecological efficiency and factors influencing grassland animal husbandry in the Hulunbuir region based on a super-efficiency DEA model. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(22): 7968–7978.  
赵哲, 白羽萍, 胡兆民, 等. 基于超效率DEA的呼伦贝尔地区草畜牧业生态效率评价及影响因素分析. *生态学报*, 2018, 38(22): 7968–7978.
- [12] Zhu F B, Fang Y P, Yi S H, *et al.* Eco-efficiency of grassland-based animal husbandry and its determinants in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers. *China Environmental Science*, 2017, 37(1): 310–318.  
朱付彪, 方一平, 宜树华, 等. 江河源区高寒草地畜牧业生态效率及影响因素. *中国环境科学*, 2017, 37(1): 310–318.
- [13] Ricardo R L, Lidia A M, Iriarte A, *et al.* Comparing two CF+DEA methods for assessing eco-efficiency from theoretical and practical points of view. *Science of the Total Environment*, 2019(659): 1266–1282.
- [14] Yang R. Spatial and temporal characteristics and influencing factors of agricultural eco-efficiency in Inner Mongolia. *Journal of South-Central Minzu University (Humanities and Social Sciences)*, (2024-04-10)[2025-04-11]. <https://doi.org/10.19898/j.cnki.42-1704/C.20240402.01>.  
杨蓉. 内蒙古农业生态效率的时空特征及影响因素. *中南民族大学学报(人文社会科学版)*, (2024-04-10)[2025-04-11]. <https://doi.org/10.19898/j.cnki.42-1704/C.20240402.01>.
- [15] Zheng J, Lin Y K. How does the co-agglomeration of manufacturing and producer services affect urban ecological efficiency? *Economic Survey*, 2024, 41(2): 3–16.  
郑洁, 林永康. 制造业与生产性服务业协同集聚如何影响城市生态效率? *经济经纬*, 2024, 41(2): 3–16.
- [16] Wan L L, Li H. Production service industry agglomeration, industrial structure upgrading and regional ecological efficiency improvement—Based on panel data of 30 provinces in mainland China from 2003 to 2016. *Economic Survey*, 2020, 37(2): 97–105.  
万伦来, 李浩. 生产性服务业集聚、产业结构升级与区域生态效率提升——来自2003–2016年中国30个省份的面板数据. *经济经纬*, 2020, 37(2): 97–105.
- [17] Zhu A A, Yin S K, Liu Q H. Spatial and temporal differentiation and influencing factors of agricultural ecological efficiency in northwest China. *Arid Land Geography*, 2024, 47(7): 1210–1219.  
朱媛媛, 殷颂葵, 刘琼慧. 中国西北地区农业生态效率时空分异及影响因素研究. *干旱区地理*, 2024, 47(7): 1210–1219.
- [18] Chen Q Q, Ye D M. Spatial pattern of animal husbandry industrial agglomeration in Gansu Province. *Arid Land Geography*, 2018, 41(3): 652–660.  
陈强强, 叶得明. 甘肃省畜牧产业集聚的空间格局研究. *干旱区地理*, 2018, 41(3): 652–660.
- [19] Wei X J, Li S L. Research on the relationship between China's producer services and agricultural production efficiency—Based on DEA model and provincial panel data. *Economic Survey*, 2015, 32(3): 23–27.  
魏修建, 李思霖. 我国生产性服务业与农业生产效率提升的关系研究——基于DEA和面板数据的实证分析. *经济经纬*, 2015, 32(3): 23–27.
- [20] Qiao B R, Mu J W, Yu G X. Study on spatial effect of agricultural producer services on agro-ecological efficiency. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2023, 44(6): 86–96.  
乔保荣, 穆佳薇, 余国新. 农业生产性服务业对农业生态效率的空间效应研究. *中国农业资源与区划*, 2023, 44(6): 86–96.
- [21] Yu S H, Fu R. The influence of producer services agglomeration on regional ecological efficiency in Yangtze River Delta region. *Journal of Hunan University (Social Sciences)*, 2020, 34(2): 49–56.  
喻胜华, 傅榕. 长三角地区生产性服务业集聚对区域生态效率的影响. *湖南大学学报(社会科学版)*, 2020, 34(2): 49–56.
- [22] Cai X S, Gan T W, Chen H. A new perspective of industrial upgrading: Based on the development of human-capital-intensive industry. *Journal of Industrial Technology and Economy*, 2012, 31(11): 47–54.  
蔡晓珊, 甘天文, 陈和. 产业升级的新视角: 基于人力资本密集型产业发展的思路. *工业技术经济*, 2012, 31(11): 47–54.
- [23] Zhang H, Guo X Y. Agricultural producer services, agricultural technology progress, and farmers' income growth: Analysis

- based on the mediation effect and the panel threshold model. *Research of Agricultural Modernization*, 2021, 42(4): 652–663.  
张恒, 郭翔宇. 农业生产性服务、农业技术进步与农民增收——基于中介效应与面板门槛模型的分析. *农业现代化研究*, 2021, 42(4): 652–663.
- [24] Li H P, Li Z X. Research on greenhouse gas emissions and emission reduction effects in pastoral and semi-pastoral areas of Xinjiang. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(23): 10662–10675.  
李海萍, 李子瑄. 新疆牧区半牧区温室气体排放及其减排效果. *生态学报*, 2024, 44(23): 10662–10675.
- [25] Xi Q M, Li G P, Sun Y K, *et al.* Evolutionary characteristics of science and technology cooperation network of Beijing-Tianjin-Hebei region and its influencing factors. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(6): 1359–1373.  
席强敏, 李国平, 孙瑜康, 等. 京津冀科技合作网络的演变特征及影响因素. *地理学报*, 2022, 77(6): 1359–1373.
- [26] Liu Y Q, Yan H J. Evaluation on the synergetic development status between Jing-Jin-Ji's production services and manufacturing services. *Urban Problems*, 2018(5): 53–61.  
刘亚清, 闫洪举. 京津冀生产性服务业与制造业协同发展现状评估. *城市问题*, 2018(5): 53–61.
- [27] Jiang H, Wang M L, Li T Y, *et al.* Transformation and upgrading of grassland animal husbandry in Xinjiang: Development status, realistic dilemma and realization path. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2023, 42(5): 42–52.  
江惠, 王明利, 励汀郁, 等. 新疆草原畜牧业转型升级: 发展现状、现实困境与实现路径. *华中农业大学学报*, 2023, 42(5): 42–52.
- [28] Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Government of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Notice on the issuance of Xinjiang grassland animal husbandry transformation and upgrading plan (2023–2030). (2023-03-15)[2025-04-11]. <https://www.xinjiang.gov.cn/xinjiang/zfgbml/202311/27f303027bf24221bc1c8f1e50b17865.shtml>.  
新疆维吾尔自治区人民政府农业农村部. 关于印发《新疆草原畜牧业转型升级规划(2023–2030年)》的通知. (2023-03-15)[2025-04-11]. <https://www.xinjiang.gov.cn/xinjiang/zfgbml/202311/27f303027bf24221bc1c8f1e50b17865.shtml>.
- [29] Bureau of Statistics of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Xinjiang Survey Corps of National Bureau of Statistics. *Xinjiang statistical yearbook*. Beijing: China Statistics Press, 2007–2021.  
新疆维吾尔自治区统计局, 国家统计局新疆调查总队. *新疆统计年鉴*. 北京: 中国统计出版社, 2007–2021.
- [30] Peng L N, Jiang Z D, Yan Z Y, *et al.* Effect of internet development level on agricultural ecological efficiency. *Statistics & Decision*, 2024, 40(18): 80–84.  
彭丽娜, 姜志德, 闫振宇, 等. 互联网发展水平对农业生态效率的影响. *统计与决策*, 2024, 40(18): 80–84.
- [31] Gu S Y, Qiu Z J, Zhan Y B, *et al.* Spatial-temporal characteristics and trend prediction of carbon emissions from animal husbandry in China. *Journal of Agro-Environmental Sciences*, 2023, 42(3): 705–714.  
顾沈怡, 邱子健, 詹永冰, 等. 我国畜牧业碳排放时空特征与趋势预测. *农业环境科学学报*, 2023, 42(3): 705–714.
- [32] Han Z, Han C, Yang C. Spatial econometric analysis of environmental total factor productivity of animal husbandry and its influencing factors in China during 2001–2017. *Science of the Total Environment*, 2020(723): 137726.
- [33] Zhang T L, Yan L, Wei D M. Characteristic distribution of livestock manure and warning analysis of environmental carrying capacity based on the consumption of cultivated land in China. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020, 28(5): 745–755.  
张藤丽, 焉莉, 韦大明. 基于全国耕地消纳的畜禽粪便特征分布与环境承载力预警分析. *中国生态农业学报(中英文)*, 2020, 28(5): 745–755.
- [34] Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection. Manual of pollutant discharge coefficient of livestock and poultry production for the first national pollution source survey. (2009-02-06)[2025-04-11]. <https://www.eia543.com/documents/07>.  
中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 环境保护部南京环境科学研究所. 第一次全国污染源普查畜禽养殖业产排污系数手册. (2009-02-06)[2025-04-11]. <https://www.eia543.com/documents/07>.
- [35] Zhang J X, Wang H J. Spatio-temporal evolution and drivers of carbon emission efficiency in underdeveloped regions under the “dual-carbon” goal: Heterogeneity analysis of super-efficient SBM and GTWR models. *Business Research*, 2024(2): 93–103.  
张竞雪, 王海杰. “双碳”目标下欠发达地区碳排放效率时空演变与驱动因素——超效率SBM模型测度与GTWR模型的异质性分析. *商业研究*, 2024(2): 93–103.
- [36] Tone K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 2002, 143(1): 32–41.
- [37] Li Z Q, Ji X Q, Li H H, *et al.* Research on the spatial-temporal effects and the influence pathway of population aging on

carbon emission intensity. *Inquiry into Economic Issues*, 2024(11): 58–77.

李卓群, 吉雪强, 李豪豪, 等. 人口老龄化对碳排放强度的时空效应与影响路径研究. *经济问题探索*, 2024(11): 58–77.

- [38] Liu H J, Guo L X, Qiao L C, *et al.* Spatio-temporal pattern and dynamic evolution of logistics efficiency in China. *Journal of Quantitative and Technical Economics*, 2021, 38(5): 57–74.

刘华军, 郭立祥, 乔列成, 等. 中国物流业效率的时空格局及动态演进. *数量经济技术经济研究*, 2021, 38(5): 57–74.

- [39] Shen L, Zhang H Y, Li W J. Regional differences and dynamic evolution of China's inclusive finance. *Journal of Quantitative & Technological Economics*, 2019, 36(7): 62–80.

沈丽, 张好圆, 李文君. 中国普惠金融的区域差异及分布动态演进. *数量经济技术经济研究*, 2019, 36(7): 62–80.

- [40] Lu S, Xiong J, Li W. Evolution and driving factors of spatial correlation network of agricultural eco-efficiency in the middle reaches of the Yangtze River. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(8): 3199–3212.

陆杉, 熊娇, 李雯. 长江中游地区农业生态效率空间关联网演化及驱动因素. *生态学报*, 2024, 44(8): 3199–3212.

- [41] Qian Z C, Wurihan, Zhao X Y, *et al.* Contribution rate of scientific and technological progress to the grass industry under the background of high-quality development of grassland-based livestock husbandry in Inner Mongolia. *Acta Agrestia Sinica*, 2023, 31(3): 641–648.

钱政成, 乌日汗, 赵晓园, 等. 草牧业高质量发展背景下的内蒙古草业科技进步贡献率测算. *草地学报*, 2023, 31(3): 641–648.

- [42] Zhou J H, Wu B. Pricing strategies and incentive compensation mechanism for brands pricing strategies and incentive compensation mechanism for brands. *Journal of Management*, 2023, 20(9): 1370–1379, 1408.

周建亨, 毋博. 考虑服务单双向搭便车的定价策略及品牌商激励补偿机制. *管理学报*, 2023, 20(9): 1370–1379, 1408.

- [43] Jia L, Lan J, Liu Z, *et al.* Carbon sequestration management zoning and optimization strategies of Loess Plateau, Northwest China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2024, 35(12): 3257–3266.

贾磊, 蓝菁, 刘震, 等. 黄土高原固碳增汇管理分区与优化策略. *应用生态学报*, 2024, 35(12): 3257–3266.

- [44] Zhao L L, Li X D, Xia Y. Evaluation of eco-efficiency of grassland animal husbandry in the light of rural revitalization and the influencing factors—a case of purely pastoral, semi-agricultural and semi-pastoral areas in the northern territory. *Acta Agrestia Sinica*, 2023, 31(10): 3074–3084.

赵兰兰, 李先东, 夏咏. 乡村振兴视阈下草地畜牧业生态效率评价及影响因素研究——基于北疆纯牧区、半农半牧区案例的分析. *草地学报*, 2023, 31(10): 3074–3084.