

doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20210118

• 问题研究 •

我国肉牛养殖环境效率及影响因素分析*

高海秀, 王明利*, 石自忠

(中国农业科学院农业经济与发展研究所, 北京 100081)

摘要 [目的] 当前我国正处在食物消费结构转型升级背景下, 牛肉需求量持续上升, 同时环保约束日益趋紧、牛肉进口量不断攀升等使得我国肉牛产业面临严峻挑战。因此提升肉牛养殖环境效率、探究影响环境效率的关键因素, 对稳定牛肉市场供给、促进肉牛产业的健康持续发展十分关键。[方法] 文章利用1997—2017年投入产出数据, 借助考虑非期望产出的超效率SBM模型对黑龙江、河南、宁夏、陕西和新疆5省区肉牛养殖环境效率进行测算, 分析其时空分布特征, 探究影响肉牛养殖环境效率的重要因素。[结果] 1997—2017年我国肉牛养殖的环境效率均值为0.9547, 不同地区的环境效率存在显著差异, 河南、黑龙江和宁夏处在高值区域, 而陕西和新疆处在低值区域。物质劳动生产率、疫病风险以及饲料结构均对肉牛养殖环境效率具有显著影响。[结论] (1) 肉牛养殖的环境效率存在一定的空间差异, 因此在全省区在贯彻执行中央政府统一政策部署的条件下, 应当根据自身实际, 因地制宜制定有利于提高当地肉牛养殖环境效率的相关政策。(2) 物质劳动生产率对肉牛养殖环境效率具有显著正向影响, 而疫病风险和饲料结构对其产生显著的负向影响, 因此鼓励提高物质劳动生产率、防范并降低疫病风险、科学改善饲料结构将有利于提升肉牛养殖的环境效率。

关键词 肉牛养殖 环境效率 养殖粪污 SBM模型 影响因素

中图分类号:F326.3 文献标识码:A 文章编号:1005-9121[2021]01-0153-07

0 引言

全球对食物和能量的需求推动农业部门不断增加生产, 加剧了生态系统的压力^[1]。一些投入品, 如肥料、杀虫剂和灌溉水以及育种技术的发展带来了生产效率的大幅度提升, 降低了农产品生产成本, 进而保证了大多数人都能够支付得起食物价格; 伴随着低成本和食物供给充足的趋势, 20世纪末被称为“畜牧业革命”, 这场革命主要驱动力是对动物源食品的强烈需求; 但近几十年畜牧生产成本上涨了很多倍, 而销售价格基本无变化, 加之对肉蛋奶食品的强烈需求导致了集约化的畜牧生产大量出现; 在欧洲, 畜牧业生产从农牧混合系统走向更大的专业化^[2]。畜禽养殖密度大、集约化增加了畜牧养殖系统对环境的影响^[3, 4]。近年来畜禽养殖造成的环境污染问题已成为行业研究和国家政策关注的焦点议题, 推进农业绿色发展是农业发展观的一场深刻革命^[5, 6]。国外学术界对畜牧业的环境影响问题展开了详细的研究。研究表明, 生产1kg肉类产品的环境影响高于生产1kg蛋奶类产品, 因为后者的含水量高; 肉类产品中, 生产1kg牛肉使用的土地和能源最多且对全球变暖的潜力值最高, 其次是生产1kg的猪肉、鸡肉、鸡蛋和牛奶; 造成这些畜产品对环境的影响不同的原因主要包括养殖效率的差异、单胃动物和反刍动物肠道排放甲烷(CH₄)的差异以及繁殖率的差异^[7]。

我国近年来对畜禽养殖造成的环境污染问题关注度大幅度提升。肉牛作为第一大产粪畜种, 是家畜中个体生产对环境的影响最大的类型, 是猪的2~3倍, 鸡的5~20倍^[8], 如何提高其养殖环境效率, 是当前畜

收稿日期: 2019-05-10

作者简介: 高海秀(1992—), 女, 内蒙古呼伦贝尔人, 博士生。研究方向: 畜牧业经济与政策

※通讯作者: 王明利(1968—), 男, 内蒙古丰镇人, 研究员。研究方向: 畜牧业经济与政策。Email:wangmingli@caas.cn

*资助项目: 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-35-22); 中国农业科学院科技创新工程项目(ASTIP-IAED-2019-01)

牧业经济研究重要选题之一。国内学术界对畜禽养殖环境效率问题展开了大量研究。从估算环境效率所使用的方法看,主要包括随机前沿分析法(SFA)和数据包络分析方法(DEA)^[9-11]。从研究对象看,主要集中于行业整体及蛋鸡、生猪、奶牛等部门。2000—2013年我国内陆的畜牧业环境效率整体处于中等水平,其中1997—2011年畜牧业环境全要素生产率低于传统全要素生产率^[9],且随着污染情况加重两者差距愈大。2004—2013年我国蛋鸡规模养殖场环境效率呈“U”型,环境全要素生产率低于传统全要素生产率^[11]。同时期全国规模生猪养殖环境技术效率年均增长率为0.15%,累计增幅为1.38%,且不同规模生猪养殖场环境效率不同,养殖小区的环境效率最高^[12-13]。不同规模奶牛养殖场的环境效率也存在显著差异^[10, 14]。从影响环境效率的因素看,奶牛日单产水平和每单位劳动力创造的产值是影响我国奶牛养殖环境效率的主要因素^[10];禀赋结构、劳动力受教育程度对畜牧业环境效率有显著正向影响,畜牧业经济发展水平、产业结构、牛和猪的饲养量对畜牧业环境效率有显著负向影响,羊、家禽的饲养量对畜牧业环境效率没有显著性影响^[15]。

已有研究取得了大量有价值的成果,但仍缺乏对一些重要产业部门,如肉牛产业环境效率的测算及其影响因素的探究,因而现有研究成果也就无法对肉牛产业的健康持续发展做出相对准确地指导。此外,虽然有学者对我国的肉牛养殖的技术效率进行了测算^[16-17],但其并未考虑非期望产出。鉴于此,文章基于1997—2017年黑龙江、河南、陕西、宁夏、新疆等5省区的投入产出面板数据,采用DEA方法系统测算我国肉牛养殖环境效率,把握其时空分布特征,探究影响肉牛养殖环境效率的关键因素,以期为畜禽养殖环境效率的深入研究提供基础,为相关部门制定行业政策提供决策参考。该文的可能创新点在于考虑非期望产出的条件下计算我国肉牛养殖效率,将环境因素纳入肉牛养殖效率的分析框架,得出的结果相对客观全面,区别于以往仅从经济角度计算肉牛养殖投入产出效率。因此,该文将有助于丰富这一领域的研究成果。

1 模型构建与数据说明

1.1 模型构建

肉牛养殖除了产生牛肉等期望产出外,还会产生环境污染这样的非期望产出。DEA方法中的方向距离函数模型和SBM模型均可处理包含非期望产出的效率问题,即用来测算环境效率。但方向距离函数模型的生产可能集并非凸多面体,且不符合单调性,可能会出现被评价决策单元(DMU)增加非期望产出后效率反而提升的不合理结果^[18-19]。同时,为解决有效决策单元的效率高低无法进一步区分的问题,该文选择包含非期望产出的超效率SBM模型来测算我国肉牛养殖的环境效率,并将非期望产出设置为强可处置性^[19]。该文以主要肉牛养殖省区为决策单元来构造肉牛养殖环境效率的生产可能集。

假设有 n 个决策单元,每个决策单元均包含投入、期望产出和非期望产出3类指标,分别表示为: $x \in R_m$, $y \in R_{q_1}$, $b \in R_{q_2}$,定义矩阵 X 、 Y 和 B 分别为 $X = [x_1, \dots, x_n] \in R^{m \times n}$, $Y = [y_1, \dots, y_n] \in R^{q_1 \times n}$ 和 $B = [b_1, \dots, b_n] \in R^{q_2 \times n}$ 。

根据肉牛生产实际,可假设 $X > 0$, $Y > 0$, $B > 0$,则SBM生产可能集为: $P = \{(x, y, b) | x \geq X\lambda, y \leq Y\lambda, b \leq B\lambda, \lambda \geq 0\}$,其中 $\lambda \in R^n$,为权重向量。据此,该文所使用的包含非期望产出的超效率SBM模型表达式为:

$$\min \rho = \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_i s_i^- / x_{ik}}{1 - \frac{1}{q_1 + q_2} \left(\sum_{r=1}^{q_1} s_r^+ / y_{rk} + \sum_{i=1}^{q_2} s_i^- / b_{rk} \right)}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \leq x_{ik} \quad \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{ij} \lambda_j + s_r^+ \geq y_{rk}$$

$$\sum_{j=1, j \neq k}^n b_{ij} \lambda_j - s_i^{b-} \leq b_{ik} \quad 1 - \frac{1}{q_1 + q_2} \left(\sum_{r=1}^{q_1} s_r^+ / y_{rk} + \sum_{t=1}^{q_2} s_t^{b-} / b_{rk} \right) > 0 \quad (1)$$

式 (1) 中, s^- 、 s^+ 、 s^{b-} 分别是投入、期望产出和非期望产出的松弛量。 ρ 即为测算的效率值, 若 $\rho \geq 1$, 说明被评价决策单元为强有效; 当 $\rho < 1$, 表示决策单元存在效率损失。

在测定各省区环境效率的基础上, 该文进一步探究影响肉牛养殖环境效率的关键因素。借鉴已有研究成果^[10, 16], 该文选取养殖规模、疫病风险、饲料结构、饲养天数、物质劳动生产率、非生态化行为等 6 个因素, 构建计量经济模型进行实证分析。所建计量模型具体如下:

$$EEF_{it} = \phi_0 + \phi_1 \ln DIS_{it} + \phi_2 \ln INV_{it} + \phi_3 \ln NEB_{it} + \phi_4 \ln MLP_{it} + \phi_5 \ln FSE_{it} + \phi_6 \ln DAY_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式 (2) 中, EEF_{it} 为第 i 个省区第 t 时期的肉牛养殖环境效率 ($i=1, 2, \dots, 5; t=1997, 1998, \dots, 2017$), 效率值源于上述包含非期望产出的超效率 SBM 模型的测算结果; DIS_{it} 表示第 i 个省区第 t 时期肉牛的疫病风险, 用肉牛养殖医疗防疫费与死亡损失费占单位总成本的比重来衡量; INV_{it} 表示第 i 个省区第 t 时期肉牛的养殖规模, 用各省区年末牛存栏量表示; NEB_{it} 表示第 i 个省区第 t 时期非生态化行为, 由各省区单位有效灌溉面积化肥施用量来表示^[10]; MLP_{it} 为第 i 个省区第 t 时期肉牛养殖的物质劳动生产率, 用主产品产量除以每头肉牛用工天数表示, 即每个劳动工日所产出的主产品产量; FSE_{it} 为饲料结构, 用精饲料投入费用占饲料投入总费用的比重来表示; DAY_{it} 表示第 i 个省区第 t 时期饲养天数; ϕ 为待估系数; ε_{it} 为随机误差项。

1.2 数据来源与处理

为测算我国肉牛养殖环境效率及影响因素, 考虑到数据的可获得性和准确性, 该文选取 1997—2017 年黑龙江、河南、陕西、宁夏、新疆等 5 省区的投入产出数据。基于肉牛生产投入产出特征, 结合前人研究^[10, 11, 14, 16], 该文选取肉牛主产品产值和污染物产量分别作为肉牛养殖的期望产出和非期望产出, 投入指标选取物质费用和人工成本, 用以测算肉牛养殖环境效率。在此基础上, 使用养殖规模、饲料结构、物质劳动生产率等 6 个变量建模估计影响肉牛养殖环境效率的关键因素, 各变量的统计特征如表 1 所示。

表 1 主要变量的描述性统计分析

变量名称	单位	均值	标准差	最小值	最大值
疫病风险(DIS)	%	0.91	0.67	0.13	3.55
存栏量(INV)	万头	464.39	385.87	49.90	1 496.20
物质劳动生产率(MLP)	kg/劳动工日	25.47	14.58	4.68	69.13
非生态化行为(NEB)	g/hm ²	908.44	360.78	416.52	1 997.87
饲料结构(FSE)	%	72.94	12.24	25.89	100.00
饲养天数(DAY)	d	242.74	72.99	103.59	365.00

该文所用基础数据来源于《全国农产品成本收益资料汇编》(1998—2018 年)、《中国统计年鉴》(1998—2018 年)、《中国畜牧业统计》(1997—2017 年) 和《畜禽养殖业源产排污系数手册》。为剔除物价影响, 对涉及价格的相关指标用相应的价格指数进行平减。投入指标方面, 头均物质与服务费用和人工成本分别通过以 1997 年为基期的各省区农业生产资料价格指数和商品零售价格指数进行平减, 然后乘以出栏量得到每个省区的总物质费用和总人工成本。产出指标方面, 期望产出, 即主产品产值通过以 1997 年为基期的农产品生产价格指数进行平减, 然后乘以出栏量得到每个省区的主产品总产值; 非期望产出, 即肉牛养殖产生的环境污染量, 《手册》指出畜禽养殖产生的污染物主要包括化学需氧量 (COD)、全氮 (TN)、全磷 (TP)、铜 (Cu)、锌 (Zn) 等, 该文借鉴已有研究成果, 在根据排污系数确定每种污染物产生量的基础上, 加总各项污染物量整合为 1 个总量再乘以所在省区饲养量得到该省区肉牛养殖的非期望产

出总量，投入和产出指标的统计特征如表2所示。

表2 投入产出指标描述性统计分析

指标	单位	均值	标准差	最小值	最大值
期望产出(output-good)	万元	929 000.00	886 000.00	25 986.98	3 500 000.00
非期望产出(output-bad)	万t	250.04	2 182.35	1.61	22 395.18
物质费用(input1)	万元	592 000.00	551 000.00	14 668.91	2 000 000.00
人工费用(input2)	万元	124 000.00	157 000.00	975.90	654 000.00

2 结果与分析

2.1 肉牛养殖环境效率分析

表3展示的是1997—2017年黑龙江、河南、陕西、宁夏、新疆等5省区肉牛养殖环境效率。从时间趋势看，黑龙江肉牛养殖环境效率呈现出上升态势，从1997年的1.14增长到2017年的1.19，年均增长率分别为0.23%；河南肉牛养殖环境效率相对稳定，1997年和2017年均均在0.85左右；宁夏、陕西、新疆肉牛养殖环境效率呈现出不同程度的下降，1997年3省区肉牛养殖环境效率分别为1.09、1.17和1.48，此后不断波动，至2017年环境效率分别为1.02、1.05和0.68。虽然该3省区肉牛养殖环境效率在超效率SBM模型下略有下降，但在SBM模型中大多数年份仍是强有效的决策单元，尤其是宁夏和陕西，2017年2省区肉牛养殖环境效率大于1，即为强有效决策单元。

从空间分布看，不同省区肉牛养殖环境效率存在显著差异。从1997—2017年肉牛养殖环境效率均值看，黑龙江、河南、宁夏、陕西和新疆5省区分别为1.15、0.76、1.05、0.86和0.89，黑龙江肉牛养殖环境效率最高，其次为宁夏，新疆和陕西排在第3位和第4位，河南肉牛养殖环境效率值最低。

从不同年份各省区差异看，1997年新疆肉牛养殖环境效率值最高，陕西次之，黑龙江排在第3位，宁夏和河南排在最后；2017年肉牛养殖环境效率黑龙江最高，新疆最低，宁夏、河南和陕西处在中间位置。根据超效率SBM模型环境效率的排序结果，1997—2017年的21年中，黑龙江、河南和宁夏肉牛养殖环境效率排名均有所上升，陕西基本保持不变，新疆下降幅度最大。

总体来看，我国肉牛养殖环境效率增长较为缓慢且空间差异大。究其原因：一是该文所使用的基础数据源于肉牛散户的投入产出表，反映的是传统散养模式下的环境效率情况。长久以来，散户肉牛养殖技术、管理水平以及环保观念等均未得到显著提升和改善^[10]，在一定程度上抑制了肉牛养殖环境效率的增长。二是我国地域广阔，不同省区自然条件、经济发展水平和技术进步速度存在差别，从而引致环境效率在空间上呈现出较大差异。如黑龙江和宁夏，2省区肉牛养殖环境效率较高，可能的原因在于其处在肉牛养殖传统优势区且环境承载力相对较高、资源禀赋较好；而新疆近年来肉牛养殖环境效率跌幅较为明显，可能的原因在于其产出的增长速度较慢，如其牛肉单产比山东低17.1%，养牛业的经济效益至少比内蒙古低30%左右^[20]。

表3 1997—2017年5省区肉牛养殖环境效率变化趋势

年份	黑龙江	河南	宁夏	陕西	新疆
1997	1.14	0.85	1.09	1.17	1.48
1998	1.27	0.81	1.12	1.23	1.42
1999	1.37	0.42	1.02	1.00	1.16
2000	1.30	0.46	1.28	0.55	1.15
2001	1.16	1.01	1.29	0.62	1.14
2002	1.28	1.06	1.23	0.64	1.12
2003	1.17	0.47	1.40	1.06	0.55
2004	1.34	1.04	1.13	0.52	1.01
2005	1.13	0.70	1.13	0.52	1.05
2006	1.01	0.89	1.08	1.11	1.04
2007	1.12	0.45	1.24	0.48	1.03
2008	1.08	0.74	0.78	1.10	0.93
2009	1.18	1.08	1.01	0.67	0.74
2010	1.15	1.04	1.05	0.92	0.74
2011	1.28	0.70	1.06	1.06	1.01
2012	1.29	0.68	1.00	1.10	0.66
2013	1.25	0.73	1.01	1.09	0.73
2014	1.16	0.84	1.02	1.04	0.72
2015	1.23	1.00	1.03	1.02	0.66
2016	1.25	0.91	1.02	1.03	0.65
2017	1.19	0.85	1.02	1.05	0.68

2.2 肉牛养殖环境效率影响因素分析

该文采用双向固定效应模型分析肉牛养殖环境效率的影响因素,使用面板校正标准误(PCSE)进行估计,估计结果见表4。模型整体的P值为0.00, Wald chi(12)为85.94,模型拟合效果较好。从表4可知,疫病风险、物质劳动生产率及饲料结构对肉牛养殖环境效率具有显著影响,养殖规模、非生态化行为、饲养天数的影响并未通过显著性检验。

物质劳动生产率对肉牛养殖环境效率具有显著正向影响,说明肉牛养殖物质劳动生产率越高,其环境效率也越高。主要原因在于,其一,肉牛养殖的一个刚性约束条件是必然伴随着非期望产出的产生,根据肉牛生物学特性,每头牛非期望产出的产生量是基本稳定的,而物质劳动生产率的提高可大幅度增加期望产出的数量,因此在其他条件不变的情况下,物质劳动生产率的提高会显著提升肉牛养殖环境效率;其二,物质劳动生产率在一定程度上代表了养殖户在生产管理和技术应用等方面的水平,因此,较高的物质劳动生产率水平说明养殖户的技术水准和管理水平较高,进而有助于提高肉牛养殖环境效率。

疫病风险和饲料结构对肉牛养殖的环境效率产生显著的负向影响,说明疫病的发生越多以及日粮结构中过多使用精饲料均会显著降低肉牛养殖环境效率。疫病的发生必然会影响到肉牛的生长,严重情况下会造成肉牛死亡,带来经济和效率的损失。饮食影响排泄物的构成,国外一些养殖场会通过管理饲料结构来干预粪污的构成,以降低其对环境的影响^[9]。而当前我国肉牛养殖理念仍以“精料+秸秆”为主,饲料管理的理念尚未普及,若仍是一味在日粮中过多地使用粮食等精饲料,超过一定的比例,势必会影响到肉牛的各项生理机能,甚至诱发疫病,进而拉低环境效率;在调研中了解到,大多数散养户均没有对饲料成分进行专门的科学配比,包括相关政府部门和第三方社会服务公司,对通过管理动物饮食进而达到间接降低环境影响的观念尚未有完整清晰的认识。考虑到畜禽粪污是土壤重金属污染的重要来源之一,欧盟降低了动物饲料中铜(Cu)和锌(Zn)的准许含量水平以降低它们对环境的影响^[4]。动物饮食中矿物质和蛋白质含量远超过其实际需求,只有一小部分被吸收,通常田间施用的粪肥提供的营养物质比作物实际能够吸收的多,因此应该重新平衡饲料中的营养比例。因为粪污与消纳土地的不平衡,所以营养物质和抗生素从土壤渗入地里和水表,对水质造成严重影响,促使藻类生产,加速富营养化,促进对抗生素有抗药性的细菌扩散^[19]。因此,保障牲畜本身的健康,全力预防并尽量减少疫病带来的损失,同时科学调整肉牛饲料配比,将有助于提高肉牛养殖环境效率。

3 结论与政策建议

环境效率的测算结果表明,我国散户肉牛养殖的环境效率水平较高,近年来增速放缓且空间差异显著,说明散户养殖肉牛的环境效率的进一步提升遇到严峻挑战。据统计数据,2017年我国肉牛养殖散户占比54.85%,散户养殖在未来一段时期内仍将是主体,且随着环保约束日益趋紧,相关决策部门应当深刻意识到提升肉牛环境效率的迫切性和重要性。同时,肉牛养殖的环境效率存在一定的空间差异,因此,在各省区在贯彻执行中央政府统一部署的条件下,应当根据自身实际,因地制宜制定有利于提高当地肉牛养殖环境效率的相关政策。此外,物质劳动生产率对肉牛养殖环境效率具有显著正向影响,而疫病风险和饲料结构对其产生显著的负向影响,因此鼓励提高物质劳动生产率、防范并降低疫病风险、科学改善饲料结构将有利于提升肉牛养殖的环境效率。由于不同的生产和管理系统生产牛肉对环境造成的影响是不同的,而征税又不可能针对不同的生产和管理系统生产的牛肉价格征收不同的税;牛肉作为高级蛋白质来源,需求价格弹性较高,受收入水平、替代品价格、自身价格影响较大,减轻牛肉生产的环

表4 肉牛养殖环境效率影响因素估计结果

变量名称	估计系数值	面板校正标准误	Z统计量	P值
常数项	7.25**	3.655	1.99	0.05
疫病风险	-0.09*	0.05	-1.74	0.08
养殖规模	-0.09	0.25	-0.38	0.71
物质劳动生产率	0.08**	0.03	2.22	0.03
非生态化行为	-0.06	0.07	-0.80	0.42
饲料结构	-0.13**	0.06	-2.24	0.02
饲养天数	-0.00	0.01	-0.07	0.95

注: **、*分别表示在5%、10%水平下通过显著性检验

境影响要么限制牛肉消费,如通过价格上涨和征税等手段,要么从肉牛养殖端入手^[21]。过去几十年的规模化畜牧业生产方式导致了对畜牧业环境污染问题社会关注度不断上升,这也使得适当的粪污管理越来越重要,一个社会可接受的粪污管理系统要达到环境友好的目标的同时平衡农民的经济福利以及社会整体的需要^[22-23],发展精准畜牧业可以作为降低畜禽养殖环境风险的潜在策略^[24]。鉴于此,该文提出如下政策建议。

(1) 提升养殖者环保意识,鼓励发展种养结合模式。加强对养殖者的环保观念的宣传工作,提升其环保意识,助力畜禽养殖粪污资源化利用的顺利推进,提升我国肉牛养殖环境效率。可以通过定期举办环保政策培训班的形式强化养殖者的观念,培训班不一定是让农民走入到县乡政府听取大班授课,可以是相关政府部门工作人员与科技人员从机关单位走出去,亲临养殖一线,与养殖者进行交谈,让其充分认识到环保的重要性,及时了解政策要求,不断规范自己的行为。在养殖模式选择上,应当鼓励种养结合,尤其是种草与养畜相结合的模式,养殖粪污还田,优质牧草养畜,推动肉牛养殖环境效率提高。

(2) 统筹设计的同时重视政策精准发力。鉴于肉牛养殖环境效率存在空间差异,对于近年来环境效率相对较低、增长乏力的省区,要着力加强对肉牛养殖环节的扶持力度,努力推动环境效率提升;针对环境效率较高的地区应当继续加大对肉牛产业的关注和支持力度,同时注重发挥示范效应,带动全国肉牛养殖环境效率的提升。此外,各省区在贯彻执行中央统一政策部署时,应根据自身实际,因地制宜制定有利于提高当地肉牛养殖环境效率的相关政策。

(3) 加大科学技术研发支持力度,注重产学研紧密结合。物质劳动生产率的增长离不开技术水平的提升,促进技术进步可有效提升肉牛养殖环境效率。建议充分利用农业类高校和科研院所研究成果,加快科研成果转化速度,将产学研紧密结合起来,加速提升行业素质,及时防范和降低疫病风险。重视饲料配比的管理,颁布行业标准限制重金属物质的含量,适当增加优质牧草等青粗饲料含量,科学改善草食家畜日粮结构。借助科技力量发展精准畜牧业,包括注重良种的引进和繁育,对饲料结构进行科学的配比管理,监测繁殖动态和健康指标等方面的信息,及时掌握畜群整体情况,提升生产效率。

参考文献

- [1] Verge X. Synergistic effects of complementary production systems help reduce livestock environmental burdens. *Journal of Cleaner Production*, 2018(200): 858-865.
- [2] Martinez J. Livestock waste treatment systems for environmental quality food safety and sustainability. *Bioresource Technology*, 2009(100): 5527-5536.
- [3] 孙炜琳,王瑞波,姜茜,等.农业绿色发展的内涵与评价研究. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(4): 14-21.
- [4] 郑绸,冉瑞平,陈娟.畜禽养殖废弃物市场化困境及破解对策——基于四川邛崃的实践. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(3): 70-77.
- [5] Annika S. Reducing agricultural nutrient surpluses in a large catchment—Links to livestock density. *Science of the Total Environment*, 2019 (648): 1549-1559.
- [6] Petersen S O. Recycling of livestock manure in a whole-farm perspective. *Livestock Science*, 2007(112): 180-191.
- [7] Devries M, Boer I J M. Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock Science*, 2010 (128): 1-11.
- [8] Qian Y, Song K H. Environmental status of livestock and poultry sectors in China under current transformation stage. *Science of the Total Environment*, 2018: 702-709.
- [9] 易青,李秉龙,耿宁.基于环境修正的中国畜牧业全要素生产率分析. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(S3): 121-125.
- [10] 李翠霞,曹亚楠.中国奶牛养殖环境效率测算分析. *农业经济问题*, 2017, 38(3): 80-88, 111-112.
- [11] 朱宁,秦富.畜禽规模养殖场环境效率与环境全要素生产率分析——以蛋鸡为例. *农业技术经济*, 2015(9): 86-98.
- [12] 左永彦,彭珏,封永刚.环境约束下规模生猪养殖的全要素生产率研究. *农村经济*, 2016(9): 37-43.
- [13] 张晓恒,周应恒,张蓬.中国生猪养殖的环境效率估算——以粪便中氮盈余为例. *农业技术经济*, 2015(5): 92-102.
- [14] 崔姘,王明利.温室气体排放约束下奶牛规模养殖环境效率及全要素生产率分析. *农村经济*, 2017(12): 30-36.
- [15] 邹洁,项朝阳.中国大陆畜牧业环境效率测算及影响因素研究. *环境污染与防治*, 2016, 38(1): 90-96.
- [16] 石自忠,王明利,胡向东,等.我国肉牛养殖效率及影响因素分析. *中国农业科技导报*, 2017, 19(2): 1-8.

- [17] 杨春, 王明利. 基于 Malmquist 指数的农户肉牛养殖全要素生产率研究. 农业经济与管理, 2013(3): 69-75, 89.
- [18] Chen C M. A critique of non-parametric efficiency analysis in energy economics studies. Energy Economics, 2013(38): 146-152.
- [19] 成刚. 数据包络分析方法与 MaxDEA 软件. 北京: 知识产权出版社, 2014.
- [20] 巴特尔. 对加快新疆肉牛产业发展问题的思考. 中国畜牧业, 2013(22): 30-33.
- [21] Emanuela T, Alerto F. Review : Environmental impact of livestock farming and precision livestock farming as a mitigation strategy. Science of the Total Environment, 2019(650): 2751-2760.
- [22] Dave C. Manure management : Implication for greenhouse gas emission. Animal Feed Science and Technology, 2011(166-167): 514-531.
- [23] 周晶, 青平, 颜廷武. S 技术进步、生产方式转型与中国生猪养殖温室气体减排. 华中农业大学学报(社会科学版), 2018(4): 38-45, 167.
- [24] Susan S. Global environmental cost of beef production. Ecological Economics 1999(30): 79-91.

ANALYSIS ON ECO-EFFICIENCY AND INFLUENCING FACTORS OF BEEF CATTLE IN CHINA*

Gao Haixiu, Wang Mingli*, Shi Zizhong

(Institute of Agricultural Economics and Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract China is in the context of the transformation and upgrading of food consumption structure. The demand for beef continues to rise. At the same time, the increasingly tight environmental protection constraints and the continuous increase in beef imports have made China's beef cattle industry face severe challenges. Therefore, improving the efficiency of beef cattle breeding environment and exploring the key factors affecting environmental efficiency are crucial to stabilize the supply of beef market and promote the healthy and sustainable development of the beef cattle industry. Using the input-output data from 1997 to 2017, the super-efficiency SBM model considering unexpected output was used to measure the environmental efficiency of beef cattle breeding in Heilongjiang, Henan, Ningxia, Shaanxi and Xinjiang (autonomous regions), and analyzed its spatial and temporal distribution characteristics to explore the influencing factors affecting the environmental efficiency of beef cattle breeding. The results showed that the average environmental efficiency of beef cattle breeding in China from 1997 to 2017 was 0.954 7. There were significant differences in environmental efficiency in different regions. Henan, Heilongjiang and Ningxia were in high value areas, while Shaanxi and Xinjiang were in low value areas. Material labor productivity, disease risk and feed structure had a significant impact on the environmental efficiency of beef cattle breeding. In conclusion, there are some spatial differences in the environmental efficiency of beef cattle farming, so under the conditions of the implementation of the unified policy of central government in the provinces / autonomous regions, relevant policies should be formulated according to their own reality, which are conducive to improving the environmental efficiency of beef cattle farming in the region. In addition, material labor productivity has a significant positive effect on the environmental efficiency of beef cattle culture, and the risk of epidemic disease and feed structure have a significant negative impact on it, so encouraging to improve material labor productivity, prevent and reduce the risk of disease, scientific improvement of feed structure will be conducive to improving the environmental efficiency of beef cattle.

Keywords beef cattle breeding; eco-efficiency; livestock manure; SBM model; influencing factors