

低碳背景下川南地区农业碳排放效率及影响因素研究

李梦莲*, 王艳红

四川轻化工大学经济学院 四川自贡

【摘要】近年来,川南地区积极响应国家绿色发展的号召,致力于农业低碳发展。本文先对川南地区 2012-2022 年间农业碳排放量进行测算,后借助超效率 SBM 模型计算其碳排放效率,并运用 Tobit 模型从不同维度剖析效率的影响因素。计算结果表明,11 年间川南地区农业碳排放总量呈现下降趋势,宜宾降幅最大,自贡碳排最少,泸州最多,内江逐渐告别榜首位置;效率虽总体呈增长态势,但仍未达到有效状态,自贡与内江先于 2021 年实现有效,随后宜宾也迈入有效行列且其涨幅最大,泸州效率最低且仍然无效;此外,农业经济发展水平和城镇化率对提升农业碳排放效率起到了积极的推动作用。基于以上结果,本文提出优化产业结构、发展有机农业、推广节能环保机械等建议。

【关键词】低碳;农业碳排放;川南地区;超效率 SBM 模型

【基金项目】四川轻化工大学研究生创新基金资助项目“低碳背景下川南地区农业碳排放效率及影响因素研究”(Y2024163);自贡市哲学社会科学重点研究基地产业转型与创新研究中心项目“双碳目标下四川民族地区农业低碳化发展研究”(CZ23C03)

【收稿日期】2024 年 8 月 10 日

【出刊日期】2024 年 9 月 20 日

【DOI】10.12208/j.aes.20240016

Study on agricultural carbon emission efficiency and influencing factors in south Sichuan under low-carbon background

Menglian Li*, Yanhong Wang

School of Economics, Sichuan University of Light Chemical Engineering, Zigong, Sichuan

【Abstract】In recent years, south Sichuan region actively responds to the national call for green development and devotes itself to the low-carbon development of agriculture. In this paper, we first calculated the agricultural carbon emissions from 2012 to 2022 in southern Sichuan, and then calculated the efficiency of agricultural carbon emissions with super-efficiency SBM model. The results show that the total amount of agricultural carbon emissions in southern Sichuan has been decreasing over the past 11 years, with the largest decrease in Yibin, the smallest in Zigong and the largest in Luzhou, zigong and Neijiang became effective in 2021, followed by Yibin, which gained the most, and Luzhou, which was the least efficient and still ineffective, the level of agricultural economic development and the rate of urbanization have played a positive role in promoting the efficiency of agricultural carbon emissions. Based on the above results, the paper puts forward some suggestions, such as optimizing industrial structure, developing organic agriculture, popularizing energy-saving and environmental protection machinery, etc.

【Keywords】Low carbon; Agricultural carbon emissions; South Sichuan; Super-efficiency SBM model

全球变暖作为当前全球公认的危机之一,已对生态环境和人类社会造成了深远影响。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)在第六次评估报告

中指出人类活动已使全球平均气温较上个世纪上升 1.1℃,并提出调整粮食、电力、土地使用等可以减少温室气体排放^[1]。农业不仅是温室气体排放的重

*通讯作者:李梦莲(2001-)女,汉族,四川德阳,在读硕士,四川省自贡市

要来源之一,同时也是受气候变化影响最为显著的领域之一^[2]。我国作为农业大国,农业碳排放问题不仅关乎着环境质量,也直接关系到我国“双碳”目标的实现。为有效应对挑战,四川省农业农村厅与发展改革委于2023年联合推出《四川省农业农村减排固碳实施方案》。该方案提出了种植业节能减排、农田土壤固碳等六大关键任务,并介绍了化肥减量化、农机绿色节能及科技创新支撑等十项重要举措^[3],旨在推动农业农村低碳可持续发展。川南地区,作为四川省南部重要的农业区域,由自贡、泸州、内江、宜宾四地组成。其中,宜宾、泸州两市粮食产量均位居全省前列,展现出丰富的农业资源与巨大的潜力。为促进该区域的可持续、低碳农业发展,本文对其农业碳排放效率以及影响因素进行了计算和分析。

1 文献综述

目前,农业碳排放的研究重心主要聚焦于碳源与碳排放量的精确测算、效率评估及其影响因素的深入剖析。在碳源层面,通常被细化为农作物种植、农用物资投入、畜禽养殖^[4]以及秸秆焚烧^[5]这四种。碳排放量的核算则涵盖了模型模拟法^[6]、实测法^[7]、投入产出法^[8],以及广泛采纳的碳排放系数法^[9]。其中,碳排放系数法依托 IPCC 等权威机构的推荐值或调整后的计算结果,精准地衡量农业生产、畜禽养殖等活动所产生的碳排放量。

农业碳排放效率作为衡量农业减排潜力的关键指标,其测算方法亦丰富多样,主要包括随机前沿分析(SFA)^[10]、数据包络分析(DEA)^[11]、综合评价法^[12]等。其中,DEA模型使用范围最广,然而传统的DEA模型在处理生产过程中涉及的非期望产出和松弛度时存在局限。为此,学者们不断探索新方法,如分解产出指标、融合动静分析,提出SBM^[13]、DEA-Malmquist^[14]、超效率SBM^[15]、SBM-Undesirable^[16]、EBM-GML^[17]等模型,以更全面地评估农业碳排放效率。

农业碳排放效率的影响因素错综复杂,分析手段亦呈现多元化趋势。黄和平等人利用LMDI模型揭示了地区经济发展水平的提升和城镇化率的增长对农业碳排放量的增长具有显著推动作用^[18]。沈艳阳等人则运用Tobit模型深入探讨了农业机械化水平对农业碳排放效率的正向影响^[19]。吉雪强等人则

通过QAP回归分析法发现经济发展水平、创新水平、能源消费结构、环境规制、产业结构等因素显著影响土地利用碳排放空间关联网络的形成^[20]。此外,空间杜宾模型、中介效应模型^[21]、博弈论组合赋权法^[22]等方法也为研究提供了丰富的分析视角。

综上所述,多数研究倾向于采用排放系数法计算农业碳排放量,而数据包络分析法则成为评估农业碳排放效率的主流方法。鉴于此,本文拟采用IPCC法计算川南地区2012-2022年间的农业碳排放量,并在此基础上,运用超效率SBM模型对农业碳排放效率进行评估,同时借助Tobit模型深入剖析其影响因素。

2 研究方法

2.1 IPCC 法

结合川南地区各市的实际情况,采用IPCC法来精确计算该地区的农业碳排放总量。具体的计算公式如下:

$$C = \sum C_i = \sum E_i \times \delta_i$$

式中, C 为农业碳排放总量, C_i 为第 i 种碳源产生的碳排放量, E_i 为第 i 种碳排放源的具体数量, δ_i 为第 i 种碳排放源对应的碳排放系数。鉴于当前畜禽养殖碳排放的统计数据和核算方法尚未形成统一标准,且存在局限性,因此本文主要聚焦于种植业碳排放源,主要包括化肥、机械、农药、农膜、灌溉五个方面碳源。其对应的碳排放系数分别为895.6kg/t、0.18kg/kW、4934kg/t、5180kg/t、266.48kg/km²。

2.2 超效率 SBM 模型

目前关于农业碳排放效率的测算方法较多,其中由Charnes和Cooper提出的DEA方法^[23]在效率评价中被广泛使用,但其具有一定的局限性。而超效率SBM模型不仅能处理非期望产出,还能有效规避由于径向和角度差异导致的要素“拥挤”或“松弛”现象。

因此,本文选用超效率SBM模型测算农业碳排放效率。公式如下:

$$\min \rho = \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{m=1}^M (\frac{s_x^m}{x_t^m})}{1 - \frac{1}{q+h} (\sum_{q=1}^Q (\frac{s_q^y}{y_{tq}^y}) + \sum_{h=1}^H (\frac{s_h^b}{b_{th}^b}))}$$

s. t.

$$\sum_{j=1, j \neq 0}^n x_{jm}^t \lambda_j^t + S_m^x \leq x_{jm}^t$$

$$\sum_{j=1, j \neq k}^n y_{jq}^t \lambda_j^t - S_q^y \leq y_{jq}^t$$

$$\sum_{j=1, j \neq k}^n b_{jh}^t \lambda_j^t - S_h^b \leq b_{jh}^t$$

$$\lambda_j \geq 0, S_m^x \geq 0, S_q^y \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$$

其中, ρ 为农业碳排放效率; n 为决策单元个数; λ 为权重向量; m 、 q 、 h 分别为投入、期望产出和非期望产出要素的个数; S_m^x 、 S_q^y 、 S_h^b 分别为投入、期望产出和非期望产出的松弛变量; x_j^t 、 y_j^t 、 b_j^t 分别为决策单元在 t 时期的投入、期望产出和非期望产出值。

当 $\rho \geq 1$ 时, 决策单元表示是有效的; 当 $\rho < 1$ 时, 决策单元则是无效的, 需在投入产出方面进行改进。投入项的松弛值大于零, 表示投入需要减少量, 产出项的松弛值大于零, 表示产出需要增加量, 非期望产出项的松弛值大于零, 表示非期望产出需要减少量。

本文在选取指标时遵循科学性、目的性和可用性原则, 并借鉴田云等^[24]学者的研究成果, 最终选取 6 个投入指标和 2 个产出指标构建农业碳排放效率评价体系。投入主要包括化肥施用量、农药使用量、农膜使用量、耕地灌溉面积、农业机械总动力以及农业从业人员六个部分, 产出则分为农业总产值期望产出和农业碳排放量非期望产出。

2.3 Tobit 模型

为进一步探寻川南地区农业碳排放效率, 本文借鉴徐丽杰等^[25]学者的研究成果, 从农业产业结构、农业经济发展水平、农业机械密度、城镇化率、化肥施用率五个方面分析影响因素。其中, 农业产业结构取农业产值占农林牧渔业总产值之比, 简称 AIS; 农业经济发展水平取农业总产值占农业劳动力之比, 简称 AED; 农业机械密度取农业机械总动力占农作物总播种面积之比, 简称 AMD; 城镇化率取城市人口占总人口之比, 简称 UR; 化肥施用率取化肥施用量占农作物总播种面积之比, 简称 FAR。具体公式如下:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 AIS_{it} + \beta_2 AED_{it} + \beta_3 AMD_{it} + \beta_4 UR_{it} + \beta_5 FAR_{it} + \mu_{it}$$

其中, i 和 t 分别为地区和年份; Y_{it} 为被解释变量, 即农业碳排放效率; β_0 为常数项; β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 、 β_5 为各解释变量的待估系数; μ_{it} 为随机误差项。

3 计算结果及分析

3.1 农业碳排放总量分析

根据川南地区各种农业碳排放源施用量及相应的碳排放系数, 计算出川南地区 2012-2022 年间农业碳排放总量, 详细数据参见表 1。由表 1 可知, 川南地区农业碳排放量总体呈现波动下降的趋势。农业碳排放总量从 2012 年的 52.453 万吨下降到 2022 年 43.130 万吨, 减少了 9.323 万吨。尽管 2014-2015 年间川南地区农业碳排放总量出现一段短暂的小幅增长, 通过回顾和分析先前收集的农业碳排放源数据, 可归因于农膜使用量大幅增长。但从 2016 年起, 农业碳排放总量便开始大幅下降, 且自此环比增长率连年呈现负值, 标志着农业碳排放减少趋势的确立与稳固。这一积极转变背后, 反映了“禁塑令”等一系列绿色发展政策的积极效果以及环境督察行动的严格执行。这些举措有力推动了川南地区农业向低碳模式的发展, 农业碳排放控制工作取得了初步成效。

从地区分布来看, 川南地区各城市间的农业碳排放总量虽有一定差距, 但总体差异并不显著。泸州、宜宾作为四川粮食产量前六的城市, 两者在农业生产方面所需农药、农膜、灌溉面积和机械等数量较大, 农业碳排放量较高。然而二者相比, 宜宾在农业科技投入和经济发展水平方面更具优势, 更能有效调控农业生产的碳足迹, 这使得其农业碳排放总量低于泸州, 从而使泸州成为川南地区农业碳排放总量最多的地方。而宜宾近几年着力于高质量发展, 在环境治理方面做出许多努力, 其农业碳排放量在过去几年实现了显著下降, 是四地中下降幅度最大的地区, 差值达到了 2.987 万吨。自贡相较于川南地区其他粮食生产更为丰饶的区域, 其粮食产量相对较少, 这一现状也直接反映在其农业碳排放量上, 是川南地区排放量最少的地区。自贡的农业碳排放量不仅基数较低, 而且其下降趋势也较为温和, 降幅不甚显著。2013-2016 年内江市连续四年农业碳排放量均超越 14 万吨, 稳居四地碳排放量之首。但

是, 面对日益严峻的环境保护挑战和积极引导的政策, 内江积极行动, 开始逐步寻求农业生产与环境保护之间的和谐。

3.2 农业碳排放效率分析

基于超效率 SBM 模型, 利用 SBMRUN 软件对川南地区 2012-2022 年农业碳排放效率水平进行计算, 结果如表 2 所示。结果显示, 川南地区农业碳排放效率总体虽呈增长态势, 但平均碳排放效率仍旧低于 1, 说明农业生产体系仍然处于无效状态, 投入产出尚存较大的调整空间。纵观历年各项投入产出松弛量的平均值, 发现投入项的松弛值和非期望产出项的松弛值均大于零, 这意味着化肥、农药、农膜、灌溉、机械和劳动力六个投入指标需依据松弛量大小适当减少投入量, 同时非期望产出的农业碳排放量也需尽可能降低。可见, 川南地区整体在改善农业碳排放方面仍需持续努力。

从各个地区来看, 自贡和内江的农业碳排放效

率先于 2021 年达到有效, 随后宜宾于 2022 年实现农业碳排放效率超过 1, 三个地区的农业碳排放效率均转为有效状态, 且地区间效率差距较小, 效率总体水平良好。其中, 宜宾在农业碳排放效率提升方面取得尤为显著的进步, 效率增涨幅度最大, 极差达到 0.802。然而, 反观泸州, 其农业碳排放效率在川南地区中相对滞后, 是唯一一个 2022 年农业碳排放效率仍未超过 1 的地区, 且该地区效率水平上涨幅度最小。并且, 由前文计算所得的农业碳排放总量可知, 泸州农业碳排放总量不仅位居川南地区之首, 而且农业机械总动力和农业碳排放总量的松弛量也明显高于其他三地, 这意味着泸州在农业生产过程中仍然存在较为明显的资源利用效率不高、碳排放过度等问题。因此, 泸州在农业碳排放方面面临着较大的挑战, 应继续加大力度对相关投入与产出进行调整, 继续推进减排工作, 以实现农业低碳发展。

表 1 川南地区 2012-2022 年农业碳排放量/万吨

	自贡	泸州	内江	宜宾	总和	环比增长
2012	11.823	13.113	13.910	13.608	52.453	0.003
2013	12.169	13.824	14.244	13.495	53.731	0.024
2014	12.460	13.871	14.442	12.809	53.581	-0.003
2015	12.526	13.947	14.618	12.543	53.633	0.001
2016	12.498	13.943	14.774	12.273	53.489	-0.003
2017	11.739	13.781	13.893	12.106	51.520	-0.037
2018	11.224	13.574	13.592	12.007	50.397	-0.022
2019	10.994	12.964	12.838	11.178	47.973	-0.048
2020	10.222	12.430	12.035	10.956	45.644	-0.049
2021	10.037	11.918	11.430	10.793	44.178	-0.032
2022	9.906	11.596	11.007	10.621	43.130	-0.024

表 2 川南地区 2012-2022 年农业碳排放效率

	自贡	泸州	内江	宜宾	均值
2012	0.266	0.268	0.386	0.270	0.297
2013	0.280	0.311	0.386	0.310	0.322
2014	0.282	0.317	0.412	0.327	0.334
2015	0.299	0.338	0.453	0.352	0.361
2016	0.339	0.349	0.493	0.369	0.387
2017	0.387	0.364	0.551	0.403	0.426
2018	0.441	0.396	0.572	0.445	0.463
2019	0.585	0.464	0.638	0.569	0.564
2020	0.755	0.531	0.714	0.691	0.673
2021	1.003	0.621	1.003	0.836	0.866
2022	1.037	0.705	1.054	1.072	0.967

3.3 农业碳排放效率影响因素分析

农业经济发展水平和城镇化率对农业碳排放效率产生了显著的正向效应,并通过了 1%的显著性检验。农业经济发展水平的提升也意味着农业生产规模的扩大和农业产业结构的优化,这有助于农业资源的合理利用和配置,减少浪费和冗余,从而降低碳排放。随着农村人口不断向城市转移,农业生产方式和结构逐渐发生变化,这种变化包括农业生产规模的扩大、农业技术的创新以及农业管理水平的提升,这些都有助于提高农业碳排放效率。并且,在这一进程中,人们的环保和可持续发展意识也会逐渐提高,农业生产者会采用更环保的生产方式,从而提高农业碳排放效率。

化肥施用率与农业碳排放效率呈显著的负相关。过量的化肥使用不仅不能提高作物产量,反而可能导致土壤污染、水体富营养化等环境问题,导致生

态系统失衡,增加碳的排放源,降低碳的固定能力。并且化肥生产、运输和使用的过程都需要消耗能源,这些能源的消耗会直接导致二氧化碳、氮氧化物等排放。

农业机械化密度对也对农业碳排放效率具有显著的负向影响。农业机械化水平的提升虽然能够促进粮食产量的提高,但农业机械密度的增加也会使农业碳排放效率下降。在使用农业机械的过程中,会消耗大量的燃料,这同时也会增加温室气体的排放,对环境产生负外部性影响。

农业产业结构虽与农业碳排放效率呈反比,却未通过显著性检验。近些年,农业在农林牧渔中的占比虽有所减少,但相较于牧业、渔业,其需要的农药、农膜、化肥等生产资料更多,以至于农业碳排放的增加。综合看来,对农业碳排放效率的影响显著性不强。

表 3 回归分析结果

变量	系数	标准误差	z-统计量	P 值
常数	0.36456	0.23228	1.57	0.117
AIS	0.07916	0.15203	0.52	0.603
AED	0.00002***	1.27e-06	12.41	0.000
AMD	-0.07183***	0.02409	-2.98	0.003
UR	0.00896***	0.00345	2.60	0.009
FAR	-1.94255***	0.28524	-6.81	0.000

注: *、**、***分别表示在 10%、5%、1%水平下显著。

4 结论与建议

本文通过选取 2012-2022 年川南地区四个市 11 年农业碳排放相关指标数据为数据来源,借鉴 IPCC 法对农业碳排放总量进行计算,并应用超效率 SBM 模型对该区域农业碳排放效率进行测算,利用 Tobit 模型分析影响因素,研究所得结论如下:

第一,川南地区农业碳排放量总体呈现下降趋势,宜宾下降幅度最为显著,自贡排放量保持在相对较低的水平,泸州排放量相对较高,位居三地之首,内江农业碳排放排名逐渐告别榜首的位置,农业低碳发展正稳步进行。

第二,川南地区效率总体虽呈增长态势,但平均效率小于 1,尚未达到理想的有效状态,到 2022 年自贡、内江、宜宾碳排放效率均突破 1,农业减碳效果显著,但泸州农业碳排放效率仍处于相对较低且尚未达到有效的状态,相关农业投入产出仍需进

一步优化。

第三,川南地区农业碳排放效率主要有四个影响因素显著,其中,农业经济发展水平的提升与城镇化进程的加快均对提升该区域的农业碳排放效率展现出积极的正向效应。农业经济发展水平、城镇化率与农业碳排放效率正相关,化肥施用率以及农业机械化密度呈负相关。

根据川南地区的碳排放计算结果,为有效减少区域农业碳排放量并提升农业碳排放效率,提出以下针对性建议:

其一,优化部分农业产业结构和农产品品种结构。适当减少碳排放较大作物的种植比例,积极发展酿酒专用粮、茶、竹、油樟等特色农业产业,它们不仅具有独特的市场竞争优势,而且其碳排放量相对较低,有助于实现农业的低碳发展。

其二,发展有机农业和绿色农业。鼓励农民使

用有机肥替代化肥,这不仅能有效减少化肥的施用量,降低农业生产对环境的压力,还能提升农产品的品质和口感,满足消费者对健康、环保食品的需求。

其三,推广节能环保型农业机械。采用先进的农业机械设备和技術,可以减少化石燃料的消耗和温室气体的排放,这不仅有助于提高农业生产效率,还能为农民带来实实在在的经济效益。

其四,积极推动低碳农业的发展。政府应制定和完善相关政策,为农民和农业企业提供必要的支持和引导,激励他们参与降低碳排的行动,提高农业碳排放效率,同时,还应加强农业碳排放的监测和评估工作,为制定更加科学合理的政策提供数据支持。

参考文献

- [1] 水煮花生.联合国政府间气候变化专门委员会第六次综合评估报告发布[J].科学,2023,75(03):10.
- [2] 张晓萱,秦耀辰,吴乐英,等.农业温室气体排放研究进展[J].河南大学学报(自然科学版),2019,49(06):649-662+713.
- [3] 阚莹莹.四川印发农业农村减排固碳实施方案 明确六大重点任务十项重大行动[N].四川日报,2023-07-28(02).
- [4] 袁馨,闫述乾.西北地区农业碳排放时空特征与达峰分析[J].自然资源情报,2023(10):30-37.
- [5] 宁静,李亚洁,王震等.中国粮食主产省区农业碳排放特征及影响因素[J].水土保持研究,2024,31(01):450-459.
- [6] 赵苗苗,邵蕊,杨吉林等.基于 DNDC 模型的稻田温室气体排放通量模拟[J].生态学杂志,2019,38(04):1057-1066.
- [7] 刘明达,蒙吉军,刘碧寒.国内外碳排放核算方法研究进展.热带地理,2014,34(2):248-258.
- [8] 王彬.全球价值链视角下数字经济对中国碳排放的影响[J].资源科学,2023,45(09):1899-1911.
- [9] 吕剑平,乔宇佳.甘肃省农业碳排放时空演变及影响因素研究[J].中南林业科技大学学报(社会科学版),2023,17(05):52-64.
- [10] 杨龙,徐明庆,蒲健美等.农业碳排放效率及影响因素研究[J].中国经贸导刊(中),2020(06):101-105.
- [11] 孙英彪,苏雄志,许皞.河北省耕地集约利用水平与碳排放效率的相关性[J].农业工程学报,2016,32(19):258-267.
- [12] 金书秦,林煜,牛坤玉.以低碳带动农业绿色转型:中国农业碳排放特征及其减排路径[J].改革,2021(05):29-37.
- [13] 冯浩,夏国峰,尤显平.基于非期望产出 SBM 模型和重心模型的重庆市农业生态效率测评[J].湖北农业科学,2024,63(03):177-182.
- [14] 王梦晨.湖北省农业碳排放效率测度及其影响因素研究[D].中南财经政法大学,2022.
- [15] 马爱玲,王建平,谈存峰.甘肃省农业碳排放效率测算及提升对策研究[J].国土与自然资源研究,2022(06):74-77.
- [16] 侯宇,张宏胜,杨尚钊等.粮食主产区农业碳排放效率时空演变及影响因素研究[J].新疆农垦经济,2023(04):53-65.
- [17] 钱力,金雨婷.农业碳排放效率测度及空间溢出效应[J].安庆师范大学学报(社会科学版),2023,42(04):100-108.
- [18] 黄和平,李紫霞,黄璇等.“双碳”目标下江西省农业碳排放量测算、影响因素分析与预测研究[J].生态与农村环境学报,2024,40(02):179-190.
- [19] 沈艳阳,吴越,那晓红等.农业机械化对我国农业碳排放效率的影响——基于 Super-SBM-Tobit 模型[J].环境生态学,2023,5(10):53-61.
- [20] 吉雪强,刘慧敏,张跃松.中国省际土地利用碳排放空间关联网络结构演化及驱动因素[J].经济地理,2023,43(02):190-200.
- [21] 李宽,史磊.农村产业融合对农业碳排放的影响:机制路径及空间溢出效应分析[J/OL].中国农业资源与区划:1-16[2024-03-27].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20231113.1542.018.html>.
- [22] 陈文婷,张紫涵,王静.基于集对云物元模型的云南省农田碳减排能力综合评估[J].中国农村水利水电,2024(01):37-47+55.
- [23] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 1979(2):429-444.
- [24] 田云,林子娟.中国省域农业碳排放效率与经济增长的耦合协调[J].中国人口·资源与环境,2022,32(04):13-22.
- [25] 徐丽杰,董珍溪.黄河流域农业碳排放时空特征及空间效应分析[J].华北水利水电大学学报(社会科学版),2023,39(02):9-18.