

# 中国农村碳排放区域差异演变与公平性探讨

李 贝<sup>1,2</sup>, 田 云<sup>1,2\*</sup>, 王 庆<sup>3</sup>

(1.中南财经政法大学工商管理学院,湖北武汉430073;  
2.中南财经政法大学WTO与湖北发展研究中心,湖北武汉430073;  
3.黄冈师范学院商学院,湖北黄冈438000)



**摘 要** 在完成中国及其部分省级行政区农村碳排放量测算的基础上,重点围绕其区域差异演变特征、碳排放公平性与否等问题展开了探讨。研究发现:第一,2005—2021年中国农村碳排放总量虽存在起伏但总体处于上升趋势,结合其变化特征可大致划分为“波动下降”“波动上升”“持续下降”“持续上升”四个不同阶段。各省份2021年农村碳排放量差异较大,其中湖南居首、上海最后,排在前10位的省份农村碳排放量之和占到了全国的56.35%,而后10位仅占11.26%。第二,各省份农村碳排放量差异在多数年份受经济发展水平的影响要大于农村常住人口规模,具体到粮食主产区、主销区、产销平衡区等三类区域又呈现出不同特点。从总体贡献率来看,区域内差异相比区域间差异发挥了更为重要的作用。第三,各省份农村碳排放存在着明显的非公平性特征,具体表现为:以海南为代表的13个省份相对以较多的农村常住人口抑或农业增加值引发了较少的碳排放,客观上承载了其他省份的碳排放压力,而青海等17个省份的情形则正好相反。基于人口承载系数、经济贡献系数的数值差异,可以将30个省份划分为“双高”“高-低”“低-高”“双低”等四种类型。

**关键词** 农村碳排放; 农业碳排放; 区域差异; 公平性评价; 泰尔指数

**中图分类号:**F323.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-3456(2024)03-0025-13

**DOI编码:**10.13300/j.cnki.hnwkxb.2024.03.003

2021年中央一号文件进一步强调要全面推进乡村振兴,其中产业兴旺是基石,而生态宜居则是保障,是提升乡村发展质量的关键所在。构建生态宜居的美丽乡村,除了要确保村容整洁、村内水、电、路等基础设施完善外,还需注重乡土气息的保留、乡村风貌的保存、乡村生态系统的保护以及乡村环境污染的治理。在这之中,尤以乡村环境污染治理工作最为棘手,不仅涉及到居民生活垃圾的清理、农业面源污染的整治、矿山废物的处理等,同时也面临着二氧化碳等温室气体的减排压力。近年来,随着中国农业农村现代化程度的不断提高,其对农业能源与农用物资的需求与日俱增,由此引发了大量碳排放;同时,农村居民生活水平的提高加大了对汽油、天然气、电力等能源的使用,所导致的碳排放量也不容小觑。2020年9月第七十五届联合国大会上“双碳”目标的提出,以及2021年、2022年、2023年政府工作报告对其的进一步强调,均对中国碳减排工作提出了更高要求,在这过程中,除了要将目光锁定在人口聚集、工矿企业林立的城市外,亦不可忽视农村碳减排问题。

目前,涉农领域的碳排放研究更多地聚焦于农业生产层面,且早期主要围绕农业碳排放测算及现状特征分析展开,既包括农用物资投入<sup>[1-2]</sup>、农业能源利用<sup>[3-4]</sup>、畜禽养殖<sup>[5-6]</sup>等较为单一的视角,也涉及涵盖上述一切要素并将稻田纳入进来的相对全面视角<sup>[7-9]</sup>。综合分析表明,在2015年及之前中国农业碳排放总量表现出明显的波动上升态势,而最近几年则呈现下降趋势;具体到不同省份,无论总

收稿日期:2023-10-16

基金项目:国家自然科学基金项目“巴黎协定下中国农业碳排放权省域分配及协同减排策略研究”(71903197);国家社会科学基金项目“中国农业减排固碳潜力评估、实现路径及支持政策研究”(23BGL189)。

\*为通讯作者。

量、强度还是结构均存在明显差异。在明确了一般特征之后,学者们重点围绕农业碳排放的驱动机理、效率水平及减排路径展开了探究。结果显示,经济因素是导致各省份农业碳排放增加的关键因素,而效率与结构因素在多数情景下表现出了抑制作用<sup>[10-11]</sup>;农业碳排放效率虽上升态势较为明显但仍存在较大提升空间,同时仅个别省份的效率水平达到了理想状况<sup>[12-13]</sup>;强化市场与政府的有机结合<sup>[14]</sup>、灵活调整高标准农田政策<sup>[15]</sup>、不断推进数字乡村建设<sup>[16]</sup>等措施均能助力农业碳减排。

相比较而言,将农村抑或乡村作为考察对象的研究成果整体偏少,且在早期学者们更多地将目光聚焦于低碳农村,并以理论阐述为主,实证分析相对较少。比如,陈晓春等<sup>[17]</sup>在界定低碳农村概念的基础上厘清了制约其建设的关键因素,同时结合国外先进经验提出了针对性策略。陈敏娟等<sup>[18]</sup>、郭丽英等<sup>[19]</sup>分别围绕农村低碳生活方式、低碳乡村发展战略等主题展开了深度探讨,并就如何更好地促进中国低碳农村建设给出了相关建议。而后,随着研究的逐步深入,一些学者开始致力于农村碳排放量的有效测度。不过,在具体碳源的选择上却相对聚焦于能源利用,且以农村居民生活层面的能源消耗碳排放测算为主<sup>[20-22]</sup>而较少兼顾农业能源碳排放;即便存在也缺乏对农业生产活动中其他碳排放的关注<sup>[23]</sup>。与此同时,也有学者的考察视角不局限于能源利用,如王敬敏、施婷<sup>[24]</sup>基于农林牧渔四个方面的14类碳源以及5类碳汇完成了农村碳排放统计检测指标体系的构建,韦惠兰、杨彬如<sup>[25]</sup>在农村碳排放进行测算时兼顾了能源利用、农用物资消耗等多个方面。

综合来看,截止当前有关农业碳排放的研究已相对全面、系统,涵盖了现状把握、典型特征剖析、影响机理探讨等方方面面。至于农村碳排放研究,学者们主要着眼于农村居民能源消费视角,虽然也有部分研究试图构建相对全面的测算体系,但由于碳汇的纳入抑或对畜禽养殖碳排放的忽视,致使测算结果的精度与准度均受到了一定影响。事实上,农村作为相对于城市的一个地理概念,农民与农业是其核心组成部分,考察农村碳排放时既要涉及农业生产部门,但也不可忽视农村居民日常生活消耗各类能源所引致的温室气体排放。只有将二者结合到一起进行考察,方可厘清当前中国农村碳排放的现状特征与演变规律,进而针对性地制定减排策略,为“双碳”目标的早日实现做出应有贡献。但很显然,受制于思维定式以及研究手段的不足,鲜有学者将农业碳排放与农村居民能源消费碳排放纳入到同一体系进行探讨。有鉴于此,本文尝试弥补这一不足,实际分析中将二者统筹到一起进行考察,并界定为“农村碳排放”,而后则围绕其现状特征、区域差异演变及省域农村碳排放公平性与否等一系列问题展开探讨。具体而言,首先,本文基于所构建的测算指标体系完成对中国农村碳排放的有效测度并分析其时空特征;其次,利用泰尔指数考察其区域差异并分析其演变特征;再次,构建公平性评价模型对各省份农村碳排放公平性与否进行客观评价;最后,基于研究结论提出相应对策,为加快推进中国农村碳减排步伐提供必要的理论参考与数据支撑。

## 一、研究方法与数据来源

### 1. 农村碳排放测算

本文综合多位学者研究成果<sup>[9, 26-28]</sup>,并在充分参考《省级温室气体清单编制指南》<sup>①</sup>的基础上,拟从两方面对中国农村碳排放量进行系统考察:一是农村居民能源消耗所导致的碳排放,即农村居民因日常生活需要所耗费的原煤、汽油、柴油、燃料油、液化石油气、天然气、电力等12种能源产生的温室气体排放量之和,相关排放系数的计算方法出自蒋金荷<sup>[29]</sup>、田云等<sup>[30]</sup>的研究。二是农业生产活动所引发的碳排放,具体涉及农业能源利用、农用物资投入、水稻种植、畜禽养殖等4个方面<sup>[9]</sup>。其中,农业能源种类与前述居民能源消费情况基本一致;农用物资投入碳排放主要考察化肥、农药和农膜在各自产品形成以及后续的利用过程中所导致的温室气体排放,对应的碳排放系数出自田云等<sup>[26]</sup>的研究;水稻种植碳排放主要指代水稻生长发育过程中致使稻田所产生的甲烷排放,实际测算中将借鉴王明星等<sup>[31]</sup>所使用的兼顾周期与省份差异的排放系数;畜禽养殖主要导致了甲烷与氧化亚氮排放,结合数据

① 资料来源:<http://www.tanjiaoyi.com/article-27200-1.html>.

的可得性,将重点考察牛、马、驴、骡、骆驼、羊、生猪、家禽等畜禽品种,相关碳排放系数均出自IPCC<sup>①</sup>。据此,本文构建农村碳排放测算公式如下:

$$AC_1 = \sum AC_{1c} = \sum E_{1c} \times \delta_{1c} \quad (1)$$

$$AC_2 = \sum AC_{2c} = \sum E_{2c} \times \delta_{2c} \quad (2)$$

$$AC = AC_1 + AC_2 \quad (3)$$

上式中: $AC$ 、 $AC_1$ 、 $AC_2$ 分别表示农村碳排放总量<sup>②</sup>、农村居民能源消费碳排放总量和农业生产碳排放总量; $AC_{1c}$ 、 $AC_{2c}$ (下标 $c$ 表示碳源的类别)分别表示各类碳源所引发的居民能源消费碳排放量和农业生产碳排放量; $E_{1c}$ 、 $E_{2c}$ 分别表示各类碳源的具体数量; $\delta_{1c}$ 、 $\delta_{2c}$ 则分别表示各类碳源所对应的碳排放系数。

## 2. 泰尔指数

泰尔指数最早是用于国家间收入差距的测量,而目前已成为了研究区域差异的常用方法。根据其构造原理,可被分解为区域内差异和区域间差异两部分。本文以各省份农村碳排放量作为反映农村碳排放水平的指标,并选用各省份农村常住人口数量和农业增加值为权重指标,将中国农村碳排放水平分为总体差异、区域内(粮食主产区、主销区和产销平衡区的内部)差异和区域间(粮食主产区、主销区和产销平衡区之间)差异进行研究,相关公式如下:

$$T = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{AC_i}{AC} \ln \left( \frac{AC_i/AC}{S_i/S} \right) \right] \quad (4)$$

$$T_w = \sum_{j=1}^M \frac{AC_j}{AC} \sum_{i=1}^{N_j} \left[ \frac{AC_{ij}}{AC_j} \ln \left( \frac{AC_{ij}/AC_j}{S_{ij}/S_j} \right) \right] \quad (5)$$

$$T_b = \sum_{j=1}^M \left[ \frac{AC_j}{AC} \ln \left( \frac{AC_j}{S_j/S} \right) \right] \quad (6)$$

$$T = T_w + T_b \quad (7)$$

上式中: $T$ 、 $T_w$ 、 $T_b$ 分别表示衡量中国农村碳排放水平区域差异的总泰尔指数、区域内泰尔指数与区域间泰尔指数; $AC$ 、 $S$ 分别代表农村碳排放量和农业增加值/农村常住人口数量; $M$ 、 $N$ 分别表示区域总数量和省份总数量; $j$ 、 $i$ 分别表示第 $j$ 区域和第 $i$ 省。

为进一步分析三类区域农村碳排放差异对中国总差异的影响,将泰尔指数引入到区域间和区域内差异贡献率分析中,计算公式如下:

$$Ib = T_b/T \quad (8)$$

$$Iw = 1 - Ib = T_w/T = \sum_{j=1}^M Ij \quad (9)$$

$$Ij = (X_j/X) \quad (10)$$

上式中: $Iw$ 表示区域内差异对总差异的贡献率, $Ib$ 代表区域间差异对总差异的贡献率, $Ij$ 为第 $j$ 区域内部差异对总差异的贡献率。区域贡献率的大小可以客观反映其对总体差异的影响和重要程度。

## 3. 农村碳排放公平性评价模型

(1)农村碳排放人口承载模型。该模型是将农村常住人口作为参考因子,其构建意义在于各省份一定比例的农村碳排放需对应相应比例的农村常住人口,假如某省农村碳排放所占全国比重高于其农村人口所占比重,该省则损害了其他省份利益;反之,则表明该省一定程度上分担了其他省份的

① 数据来源:《2006年IPCC国家温室气体清单指南》,https://www.ipcc.ch/。

② 为了便于对农村碳排放量进行加总,实际计算中会将甲烷与氧化亚氮统一折算成标准二氧化碳,参照IPCC第四次评估报告可知,二者的转化系数分别为25和298。

碳排放,为践行碳减排战略作出了贡献。为了更为直观地展现各省份农村碳排放人口承载的公平性,构建农村碳排放人口承载模型如下:

$$PCC = \frac{P_i}{P} / \frac{AC_i}{AC} \quad (11)$$

式(11)中, $PCC$ 表示农村碳排放人口承载系数, $P_i$ 、 $AC_i$ 分别为各省份农村常住人口数量和农村碳排放量, $P$ 、 $AC$ 分别为中国农村常住人口总量和农村碳排放总量。

(2)农村碳排放经济效率模型。该模型是将农业增加值作为参考因子,其构建意义在于各省份一定比例的农村碳排放需对应相应比例的农业增加值,倘若某省农村碳排放所占全国比重高于其农业增加值所占比重,即表明该省农业经济发展一定程度上属于“高排放、低效率”类型;反之,则揭示该省农业经济呈现“低排放、高效率”特征。据此,构建农村碳排放经济效率模型如下:

$$ECC = \frac{G_i}{G} / \frac{AC_i}{AC} \quad (12)$$

式(12)中, $ECC$ 表示农村碳排放经济效率系数, $G_i$ 、 $AC_i$ 分别为各省份农业增加值和农村碳排放量, $G$ 、 $AC$ 分别为全国农业增加值总量和农村碳排放总量。

#### 4. 数据来源与处理

测算农村碳排放所涉及各类能源消费数据均源自2006—2022年的《中国能源统计年鉴》,以当年实际数值为准;其他原始数据则主要出自2006—2022年的《中国农村统计年鉴》,其中化肥、农药、农膜投入量与水稻播种面积均以当年实际情况为准;畜禽养殖数量的核算参照闵继胜等<sup>[7]</sup>所提供的方法,结合各自年末存栏量与饲养周期差别计算其年均饲养量。农村常住人口数据源自2006—2022年的《中国统计年鉴》,具体以各省份乡村人口的实际值为准。农业增加值数据同样源自2006—2022年的《中国统计年鉴》,为了消除价格波动的影响,选择以2005年作为基期对历年数据进行修正。限于相关数据缺失较为严重,西藏及港澳台地区不在本次研究的考察之列。

## 二、结果与分析

### 1. 中国农村碳排放现状特征分析

(1)农村碳排放时序比较分析。表1列出了2005—2021年中国农村碳排放总量及强度。由表1可知,2021年中国农村碳排放总量为158942.99万吨,较2005年增加了24.33%,年均递增1.37%。其中,农村居民生活和农业生产活动所导致的碳排放量分别为62678.27万吨和96264.72万吨。2021年中国农村碳排放强度为3.56吨/万元农业增加值,较2005年降低了36.09%,年均递减2.76%。整体来看,在过去的10多年里中国农村碳排放总量虽存在一定起伏但总体处于上升趋势,结合其变化特征可大致划分为“波动下降”“波动上升”“持续下降”“持续上升”四个不同阶段。其中,2005—2008年为第一阶段,虽2006年较2005年增幅明显,但总体处于下降态势,这主要归结于大宗牲畜饲养量的减少以及畜牧养殖业产业结构的优化调整,而反观居民能源消费碳排放,却一直处于上升趋势。2008—2017年为第二阶段,除2016年略有下降外,其他各年农村碳排放量均表现出了增长态势,并于2017年达到历史次高值155925.23万吨,相比2008年增加了22.99%,农村居民对能源需求量的持续增加以及农用物资的高投入是导致该阶段农村碳排放量增长的主要因素。2017—2019年为第三阶段,虽然农村居民能源消费碳排放继续增加,但得益于国家减排战略的有力推动、农用物资利用效率的大幅提升以及役畜饲养量的不断减少,该阶段农业生产碳排放量处于明显缩减态势,由此确保了农村碳排放总量的下降。2019—2021年为第四阶段,农村居民能源消费的持续增加(可能也与疫情期间居家隔离时间增加有关)以及畜禽养殖规模特别是生猪饲养量的不断恢复导致了农村碳排放量的连续增长,并于2021年达到历史最高值158942.99万吨。相比较而言,农村碳排放强度则一直处于下降趋势,只是各个阶段的降幅存在些许差异,可见在考察期内中国农村碳减排工作也取得了一定成效。

(2)农村碳排放省际比较分析。表2列出了30个省份农村碳排放总量及强度。从中可知,2021

表1 2005—2021年中国农村碳排放总量及强度

年份	居民生活 /万吨	农业生产 /万吨	总量 /万吨	强度/(吨/万元)	年份	居民生活 /万吨	农业生产 /万吨	总量 /万吨	强度/(吨/万元)
2005	26847.81	100990.06	127837.87	5.57	2014	46097.02	103062.46	149159.48	4.36
2006	28274.48	102582.91	130857.39	5.42	2015	48980.14	103855.15	152835.29	4.30
2007	30399.30	97278.69	127677.99	5.09	2016	48451.03	103651.19	152102.23	4.14
2008	32331.41	94451.16	126782.57	4.80	2017	52983.72	102941.51	155925.23	4.09
2009	33703.07	96533.77	130236.85	4.72	2018	55314.80	97733.99	153048.80	3.88
2010	36287.31	98228.36	134515.67	4.67	2019	56201.47	94067.21	150268.67	3.70
2011	39867.43	99953.29	139820.72	4.64	2020	59506.88	93885.27	153392.15	3.67
2012	42531.69	102062.63	144594.32	4.58	2021	62678.27	96264.72	158942.99	3.56
2013	44749.21	101635.32	146384.54	4.46	年均增速/%	5.44	-0.30	1.37	-2.76

注:农村碳排放强度指每万元农业增加值所对应的碳排放量,下同。

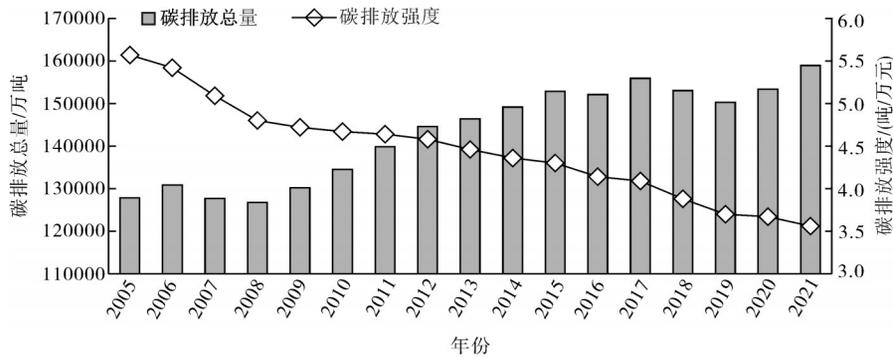


图1 2005—2021年中国农村碳排放总量及强度

年农村碳排放量排在首位的省份是湖南,高达11270.68万吨;河南紧随其后,其碳排放总量也达到了10153.86万吨,与湖南一道成为了仅有的“亿吨俱乐部”成员,广东、江苏、山东、湖北、河北、四川、安徽和江西则依次排在3~10位,所有省份碳排放量均在7000万吨以上,10地累计之和占到了全国农村碳排放总量的56.35%;相比较而言,上海最低,仅为508.81万吨,北京、天津、宁夏、海南、青海、重庆、山西、陕西和吉林顺次排在倒数2~10位,除山西、陕西、吉林三省外,其它各省份碳排放量均在3000万吨以下,10地累计之和仅占全国农村碳排放总量的11.26%。相比2005年,仅有5个省份农村碳排放量处于下降态势且以北京降幅最大达33.70%,余下4省份分别是上海、贵州、山东和重庆,其降幅依次为32.80%、10.59%、5.90%和5.46%;其他25个省份仍处于增长态势且以陕西增幅最大高达67.74%,黑龙江、广东、浙江和内蒙古紧随其后分列2~5位,其增幅均在40%以上。2021年各省份农村碳排放强度同样差异明显,其中青海排在首位,其万元农业增加值所引发的碳排放量高达12.46吨,上海、北京、山西、宁夏紧随其后分列2~5位;海南最低仅为1.51吨/万元农业增加值,山东、重庆、福建、辽宁依次排在倒数2~5位。相比2005年,除上海(增加19.21%)、浙江(增加4.79%)之外的其他28个省份农村碳排放强度均有不同程度下降且以贵州降幅最大高达63.01%。

## 2. 中国农村碳排放区域差异演变特征分析

除了对全国总体情况进行考察外,还将依次对中国粮食主产区、主销区以及产销平衡区展开分析。之所以如此考量,是因为粮食安全是关系国民经济发展、社会稳定和国家自立的全局性重大战略问题,而功能定位的不同极有可能导致各省份农村碳排放演变特征存在区别。三类区域的具体划分将在参考已有文献<sup>[32]</sup>的基础上按照国家统一标准来确定<sup>①</sup>。

① 粮食主产区包括河北、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、江苏、安徽、江西、山东、河南、湖北、湖南、四川等13个省份;粮食主销区包括北京、天津、上海、浙江、福建、广东、海南等7个省份;粮食产销平衡区包括山西、广西、重庆、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆等10个省份。

表2 30个省份农村碳排放总量及强度

省份	2005年				2021年				变动率 I/%	变化率 II/%
	居民生活 /万吨	农业生产 /万吨	总量 /万吨	强度/(吨/ 万元)	居民生活 /万吨	农业生产 /万吨	总量 /万吨	强度/(吨/ 万元)		
北京	524.52	387.13	911.65	9.30	95.08	509.34	604.42	7.84	-33.70	-15.70
天津	198.26	405.95	604.21	5.38	331.22	515.29	846.51	5.15	40.10	-4.28
河北	2184.03	4633.47	6817.50	4.54	3217.97	5330.72	8548.69	3.15	25.39	-30.62
山西	1084.32	1688.08	2772.40	10.56	1568.52	1609.17	3177.69	6.61	14.62	-37.41
内蒙古	764.76	3549.06	4313.82	7.32	4502.81	1630.69	6133.50	5.43	42.18	-25.82
辽宁	1003.87	2611.90	3615.77	4.10	2625.57	1802.59	4428.16	2.73	22.47	-33.41
吉林	483.74	2362.49	2846.23	4.55	2290.62	1059.10	3349.72	2.85	17.69	-37.36
黑龙江	402.23	3220.31	3622.54	5.29	4722.41	995.36	5717.77	3.58	57.84	-32.33
上海	257.61	499.59	757.20	9.42	310.84	197.97	508.81	11.23	-32.80	19.21
江苏	1056.44	5839.29	6895.73	4.72	5525.24	3714.70	9239.94	3.93	34.00	-16.74
浙江	1115.30	2798.59	3913.89	4.38	2089.02	3792.57	5881.59	4.59	50.27	4.79
安徽	607.94	5257.02	5864.96	6.07	5500.86	2311.12	7811.98	4.06	33.20	-33.11
福建	919.66	2541.06	3460.72	4.11	1823.63	2379.56	4203.19	2.70	21.45	-34.31
江西	555.81	4836.25	5392.06	7.41	5213.33	1846.19	7059.52	4.88	30.92	-34.14
山东	2142.25	7242.03	9384.28	4.78	4264.39	4566.13	8830.52	2.40	-5.90	-49.79
河南	2119.78	7117.70	9237.48	4.88	5669.77	4484.09	10153.86	2.74	9.92	-43.85
湖北	998.25	5628.15	6626.40	6.12	6218.59	2452.77	8671.36	3.92	30.86	-35.95
湖南	1308.06	7196.89	8504.95	6.67	7494.90	3775.78	11270.68	4.55	32.52	-31.78
广东	1708.40	4620.89	6329.29	4.43	4005.85	5552.45	9558.30	3.57	51.02	-19.41
广西	350.32	4613.92	4964.24	5.44	4022.88	1681.29	5704.17	2.83	14.91	-47.98
海南	47.86	871.83	919.69	3.06	730.27	330.93	1061.20	1.51	15.39	-50.65
重庆	545.55	2017.00	2562.55	5.53	1565.74	856.81	2422.55	2.51	-5.46	-54.61
四川	1635.67	6153.39	7789.06	5.26	5607.28	2808.22	8415.50	3.04	8.04	-42.21
贵州	1980.85	3036.24	5017.09	13.60	2350.98	2134.76	4485.74	5.03	-10.59	-63.01
云南	789.31	3420.64	4209.95	6.29	3998.04	1949.36	5947.40	3.42	41.27	-45.63
陕西	311.63	1635.83	1947.46	4.47	1694.54	1572.21	3266.75	3.34	67.74	-25.28
甘肃	699.18	1932.47	2631.65	8.54	2385.71	1051.93	3437.64	4.51	30.63	-47.19
青海	130.69	1170.25	1300.94	19.91	1458.14	263.96	1722.10	12.46	32.37	-37.42
宁夏	210.07	474.31	684.38	9.49	734.96	207.10	942.06	5.76	37.65	-39.30
新疆	711.48	3228.31	3939.79	7.73	4245.57	1296.10	5541.67	4.40	40.66	-43.08

注:①为了节省篇幅,表2仅列出各省份2005年和2021年农村碳排放量的测算结果;②变动率I为2021年农村碳排放量与2005年相比的增减变化,变化率II为2021年农村碳排放强度与2005年相比的增减变化。

(1)两种权重下农村碳排放总泰尔指数分析。基于公式(4)~(7),运用2005—2021年全国及30个省份农业增加值、农村常住人口数量、农村碳排放量数据,分别计算出以农业增加值和农村常住人口为权重的泰尔指数 $T(G)$ 和 $T(P)$ ,二者分别反映了经济发展水平、人口规模对农村碳排放量的匹配程度以及差异的影响程度。相关结果如表3所示。其中,在2019年及之前,以农业增加值为权重计算得来的指数值要高于以农村常住人口数量为权重所得到的结果,但2020年情况发生逆转并延续至2021年,由此揭示,中国各省份农村碳排放量差异在绝大多数年份更受经济发展水平的影响,而近两年农村人口规模扮演了更为重要的角色,可能的原因是,由于全国各地疫情肆虐,社会经济活动遭受极大冲击,农村人口流动受到了一定影响且相比过往表现出了更强的差异性与非均衡性。综合来看,碳排放量变化与农村人口规模波动更具相似性,匹配度更高。从变化趋势来看, $T(G)$ 在2005年为0.037,后续虽经历了频繁波动但从未低于0.030,而峰值出现于2017年,为0.041,至2021年其指数值相比初期略有提升达到0.039; $T(P)$ 2005年初始值为0.030,在2011年及其之前虽略有起伏但整体相对平稳,基本维持在0.030上下浮动,2012年降至0.027并持续至2015年,接下来除2018年表现出

下降态势外其他各年均处于上升趋势并于2021年达到最高值0.041。总体而言,中国农村碳排放量省际差异虽在早期受经济发展水平影响更大,但其趋势正在明显减弱;与此对应,人口规模差异正使得不同省份农村碳排放量差距逐步扩大,其影响程度已逐步超过前者。究其原因,一方面,2005年国务院发布《关于加快发展循环经济的若干意见》将大力推进资源高效利用、循环利用以及减少废物排放等列为重点工作并取得显著成效,从而使得经济发展水平对农村碳排放量差异程度的影响趋于稳定。另一方面,随着社会经济不断发展,大量农村人口向城镇流动,粮食主产区抑或四大牧区等种养殖重点地区机械化水平不断提升,清洁能源使用愈发普及,使得2005—2015年期间农村碳排放量差异受农村人口规模影响的变化不大;2016年国务院发布《关于完善农村土地所有权承包权经营权分置办法的意见》要求各地结合当地实际落实土地“三权分置”,一定程度上推动了各类能人返乡创业,乡村旅游市场不断开拓,农村物流与交通运输快速发展,但限于各省份资源禀赋与自然条件差异较大,致使2016—2021年期间人口规模对农村碳排放量差异程度的影响力较前期显著增强。

表3 2005—2021年全国及粮食主产区、主销区、产销平衡区农村碳排放泰尔指数

年份	全国	主产区	主销区	平衡区	年份	全国	主产区	主销区	平衡区
2005	0.037 (0.030)	0.014 (0.020)	0.023 (0.017)	0.066 (0.057)	2014	0.031 (0.027)	0.019 (0.028)	0.037 (0.002)	0.045 (0.028)
2006	0.035 (0.029)	0.014 (0.020)	0.025 (0.015)	0.063 (0.047)	2015	0.031 (0.027)	0.019 (0.028)	0.044 (0.002)	0.046 (0.029)
2007	0.035 (0.031)	0.015 (0.024)	0.032 (0.016)	0.064 (0.046)	2016	0.039 (0.035)	0.019 (0.030)	0.062 (0.038)	0.048 (0.033)
2008	0.035 (0.033)	0.021 (0.025)	0.031 (0.011)	0.057 (0.046)	2017	0.041 (0.037)	0.030 (0.041)	0.047 (0.002)	0.054 (0.036)
2009	0.037 (0.031)	0.024 (0.028)	0.034 (0.013)	0.053 (0.034)	2018	0.037 (0.033)	0.026 (0.033)	0.051 (0.004)	0.049 (0.039)
2010	0.036 (0.030)	0.022 (0.030)	0.039 (0.013)	0.048 (0.031)	2019	0.037 (0.034)	0.028 (0.036)	0.051 (0.005)	0.048 (0.034)
2011	0.035 (0.030)	0.021 (0.028)	0.040 (0.011)	0.050 (0.032)	2020	0.038 (0.039)	0.027 (0.045)	0.056 (0.006)	0.050 (0.035)
2012	0.032 (0.027)	0.020 (0.029)	0.032 (0.005)	0.049 (0.026)	2021	0.039 (0.041)	0.028 (0.048)	0.059 (0.008)	0.052 (0.036)
2013	0.030 (0.027)	0.018 (0.027)	0.036 (0.004)	0.045 (0.025)	—	—	—	—	—

注:括号内为以农村常住人口为权重的泰尔指数。

(2)两种权重下中国农村碳排放三类地区泰尔指数分析。由表3可知,粮食主产区相关泰尔指数要明显区别于全国总体情况,其以农业增加值为权重计算得来的指数值在历年均低于以农村常住人口数量为权重计算所得结果,表明人口规模相比农业经济发展水平对农村碳排放量差异的影响程度更高。具体而言, $T(G)$ 由2005年的0.014波动上升至2021年的0.028,增幅高达100%; $T(P)$ 也从2005年的0.020升至2021年的0.048,增幅高达140%。同时,二者波动趋势略有区别,前者除去峰值年份(2017年)整体表现出“先升后降再升”态势;后者则表现出了“上升—相对平稳—波动上升”的演变轨迹且于2021年达到峰值。综合来看,考察期内两类权重影响下各粮食主产省份农村碳排放量差异程度均明显扩大,且人口规模变化所导致的差异扩张作用力更大。可能的解释是,2005年《财政部关于印发中央财政对产粮大县奖励办法的通知》中提出以产量为条件对产粮大县进行重奖,显然粮食主产区符合该条件的县市更多,受此激励一些农村居民回乡投身到农业生产中,但由于低碳环保意识相对欠缺,农用物资、能源等大量使用且利用效率较低,导致碳排放量大幅增加;同时,各省份产粮大县数量差异较大,所受奖励机制的影响程度也不尽相同,加之非产粮大县碳排放量增速相对较缓,主产区内部农村碳排放量差距由此不断拉大。而到了2017年,十九大报告明确提出“要建立健全绿色低碳循环发展的经济体系”,各省份无论政府还是普通居民环保低碳意识均大幅提升,地区差异

扩大趋势由此得到一定缓解。

从粮食主销区农村碳排放泰尔指数值来看,以农业增加值为权重计算所得数值要明显高于以农村常住人口数量为权重的计算结果,表明经济发展水平是导致该类区域中省际碳排放量形成差异的主要动因。具体来看, $T(G)$ 整体呈现波动上升态势,其数值由2005年的0.023升至2021年的0.059,增幅高达156.52%;而 $T(P)$ 的情形正好相反总体表现为波动下降态势,由2005年的0.017降至2019年的0.008,累计减少了52.94%。二者峰值均出现于2016年,分别为0.062和0.038,远高于其他各年。总体而言,农业增加值和农村常住人口数量对粮食主销区农村碳排放量省际差距的影响程度表现出了明显差异,其中前者使得不同省份农村碳排放量差距不断扩大;而后者对其的影响力不断减弱甚至趋近于无。可能的解释是,粮食主销区所含省份的经济相对发达,农业生产理念与低碳技术推广效果均处于全国前列,但由于自身内部经济发展依旧存在差异,且优质劳动力多聚集于北京、上海、浙江、广东等省份,导致农业能源利用效率、低碳生产技术采纳以及居民生活能源消费结构也不尽相同,区域内农村碳排放量差异由此显现甚至发生明显变化。

从粮食产销平衡区农村碳排放泰尔指数来看,以农业增加值为权重所计算得到的数值要略高于以农村常住人口数量为权重的计算结果,可见此类区域中各省份之间碳排放量的差异程度同样受经济发展水平的影响更大。其中, $T(G)$ 由2005年的最高值0.066降至2021年的0.052,且最低值出现于2013年与2014年,均为0.045,在考察期内整体呈“下降—上升”的循环变化趋势; $T(P)$ 的演变轨迹与之相似,由2005年的最高值0.057降至2021年的0.036,其最低值出现在2013年为0.025。从中易知,经济发展水平与人口规模对粮食产销平衡区农村碳排放量省际差距的影响均在不断减弱,但前者的影响程度始终高于后者。究其原因,产销平衡区虽在2005年粮食基本实现全部自给,但到2021年除新疆、宁夏之外的其他各省份自给率都大幅下降,农业产业结构的调整与发展模式的逐步趋同一定程度上缩小了农村碳排放省际差异;但同时诸如新疆、青海等重要牧区畜牧业机械化的快速发展加剧了各类能源消耗,使得它们与其他省份之间的碳排放量差异情形仍会持续存在。

(3)两种权重下中国农村碳排放的贡献率对比分析。基于公式(8)~(10)计算出区域间差异、区域内差异以及三类区域内部差异对总差异的贡献程度,相关结果如表4所示。

表4 2005—2021年中国农村碳排放贡献率

%

年份	主产区	主销区	平衡区	区内差异	区间差异	年份	主产区	主销区	平衡区	区内差异	区间差异
2005	25.54 (40.94)	10.42 (6.83)	31.93 (47.51)	67.89 (95.29)	32.11 (4.71)	2014	39.80 (64.19)	18.39 (1.01)	28.07 (26.85)	86.26 (92.05)	13.74 (7.95)
2006	25.62 (44.39)	11.39 (6.43)	31.81 (42.33)	68.83 (93.16)	31.17 (6.84)	2015	39.49 (62.89)	20.87 (1.14)	28.37 (26.81)	88.73 (90.84)	11.27 (9.16)
2007	27.76 (47.08)	14.60 (6.56)	32.52 (38.25)	74.88 (91.88)	25.12 (8.12)	2016	32.33 (51.26)	23.63 (14.77)	23.84 (24.01)	79.80 (90.04)	20.20 (9.96)
2008	40.00 (47.50)	13.79 (4.36)	29.13 (36.15)	82.92 (88.01)	17.08 (11.99)	2017	48.51 (67.61)	17.04 (0.89)	26.39 (25.19)	91.94 (93.70)	8.06 (6.30)
2009	42.20 (55.22)	14.61 (5.29)	25.96 (28.71)	82.78 (89.22)	17.22 (10.78)	2018	46.30 (60.27)	20.45 (1.70)	26.65 (29.64)	93.40 (91.60)	6.60 (8.40)
2010	40.45 (60.62)	17.35 (5.42)	24.70 (26.06)	82.51 (92.09)	17.49 (7.91)	2019	48.17 (64.41)	20.45 (2.02)	26.29 (26.29)	94.91 (92.72)	5.09 (7.28)
2011	40.24 (58.26)	18.19 (4.96)	26.59 (27.23)	85.01 (90.45)	14.99 (9.55)	2020	46.45 (68.48)	22.03 (2.25)	27.37 (22.78)	95.86 (93.50)	4.14 (6.50)
2012	40.46 (65.01)	15.53 (2.39)	28.00 (24.51)	83.98 (91.91)	16.02 (8.09)	2021	46.52 (68.36)	22.21 (2.99)	28.18 (22.65)	96.91 (94.00)	3.09 (6.00)
2013	39.56 (63.00)	18.48 (1.78)	28.41 (24.50)	86.45 (89.28)	13.55 (10.72)	—	—	—	—	—	—

注:括号内为以农村常住人口为权重下各区域差异的贡献率。

由表4可知,中国农村碳排放的总体区域差异主要由区域内差异引起。2005—2021年,无论是农业增加值权重下还是农村常住人口权重下,所有年份区域内差异的贡献率都明显高于区域间差异,且前者比重从未低于65%,至后期甚至均超过90%。究其原因,需从三类区域的内部差异探寻,通过比较可知,当以农业增加值为权重条件时,各类区域内部差异对总体差异的贡献率表现出了一定差别,其中粮食主产区、产销平衡区的贡献率一直高于粮食主销区,且除2005—2007年外,其他所有年份均是粮食主产区贡献幅度更大。当以农村常住人口数量为权重条件时,各类区域内部差异对总体差异的贡献程度同样差别较大,除2005年之外,其他各年贡献率均遵循“粮食主产区>粮食产销平衡区>粮食主销区”,且粮食主销区的贡献率一直低于7%。三类区域各自所含省份区位较为分散,资源禀赋各异,相互之间社会经济发展状况也不尽相同,由此一定程度上影响了农业生产中的低碳技术采纳程度以及农村居民的低碳生活意识。

其中,粮食主产区结合其省份构成特点,内部又可分为长江中下游区、黄淮海区和东北区。不管处在何区,农业增产均成为了大多数农民的首要选择,为了实现增产目标,其农用物资与能源投入通常要高于其他区域;但是,由于相关省份涉及到了东中西部,各自经济发展水平、农业现代化程度存在较大差异,致使农业投入产出效率与低碳技术推广应用程度明显不同,进而导致主产区内部农村碳排放水平差异较大。产销平衡区所含各省地形地貌以山区、高原、盆地为主,农地资源聚集程度不够,如以云南、贵州为代表的西南诸省山地居多,不利于农业机械化与规模化生产,整体投入产出效率较低,农户经济效益较难得到有效保障;而青海、宁夏回族自治区等省份畜牧业占据主导地位,农业生产与农村居民生活能源消耗均较少,畜禽养殖与农用物资投入为碳排放的主要来源,因而在人口规模影响下其各省份之间农村碳排放量表现出了一定差异。粮食主销区所含各省份虽经济相对发达,但却并非农业大省抑或农业强省,农业生产活动整体较少,不过其民众素质相对较高,更为愿意选择农业低碳生产技术与各类清洁能源,客观上削弱了区域内部农村碳排放的差异程度。

区域间差异方面,2017年之前,当以农业增加值为权重时,其差异贡献率要高于以农村常住人口为权重时的情形;而从2018年开始情况发生了变化,以农村常住人口为权重的贡献率要略微高于以农业增加值为权重时的情形。但无论何种情形下,区域间差异对中国农村碳排放总体差异的贡献率均表现出削弱态势。该结果的产生可能与三类地区的农村经济发展水平、产业结构等因素紧密相关。其中,粮食主产区在区位、气候、土壤等方面相比其他区域更具优势,粮食高产量与高商品率成为了该类区域的两大显著特点,它们不仅满足了自身粮食需求,还大量供给粮食主销区甚至出口到国外。上述特点决定了粮食主产区在面临生产压力的同时还涉及到了流通压力,客观上加剧了农用物资与农业能源投入,加之多数省份种养殖业发展较为均衡,使得各省份的碳排放水平逐步趋于一致,但限于粮食作物的低经济回报率,一定程度上使得粮食主产区相比另两类区域其农村碳排放表现出更大差异。与之类似,粮食主销区和产销平衡区在功能定位与产业结构方面所呈现的“内部趋同、外部差异”特征也对各自农村碳排放水平产生了显著影响。

### 3. 中国农村碳排放公平性评价

(1)农村碳排放人口承载系数及经济效率系数比较。基于前文所构建的农村碳排放人口承载模型以及经济效率模型,并结合30个省份的农村碳排放量、农村常住人口数量以及农业增加值,分别计算其农村碳排放人口承载系数与农村碳排放经济效率系数如表5所示。从中不难发现,上海农村碳排放人口承载系数值居于全国第一位,该市对中国农村常住人口总量的贡献率是其农村碳排放贡献率的1.675倍,一定程度上分担了其他省份农村常住人口所引发的碳排放;北京以较大劣势紧随其后;排在3~10位的依次是陕西、河南、四川、山东、山西、广西、重庆和贵州。农村碳排放人口承载力最差的省份是内蒙古,系数值仅为0.399,碳排放所占全国比重相当于其农村常住人口所占全国比重的2.5倍,一定程度上损害了其他省份利益;排在倒数2~5位的省份依次是青海、黑龙江、新疆和湖南。生活方式的差异、农业重视程度的不同以及人口流动态势的非一致性是导致各省份农村碳排放人口承载系数存在区别的主要原因。海南农村碳排放经济效率系数值最高达到2.347,表明该省对中

国农业增加值的贡献率是其农村碳排放贡献率的2.347倍,农业产出效率相对较高;山东紧随其后排在第二位,但其数值相比海南差距明显;排在3~10位的省份依次是重庆、福建、辽宁、河南、广西、吉林、四川和河北。农村碳排放经济贡献率最低的省份是青海,系数值仅为0.285,表明该省对中国农村碳排放的贡献程度相当于其对全国农业增加值贡献率的近3.51倍,农业产出水平总体较低;排在倒数2~5位的省份依次是上海、北京、山西和宁夏。经济发展程度的不同、农业内部产业结构的差异以及国家功能定位属性的不同是引发各省份农村碳排放经济效率系数存在区别的重要原因。

表5 30个省份农村碳排放人口承载系数、经济效率系数及公平性综合评价结果

省份	$AC_i/AC$ /%	$P_i/P$ /%	$G_i/G$ /%	PCC		ECC		综合评价	
				数值	排名	数值	排名	数值	排名
北京	0.380	0.550	0.173	1.447	2	0.455	28	0.951	16
天津	0.533	0.419	0.368	0.786	23	0.690	24	0.738	26
河北	5.378	5.835	6.067	1.085	13	1.128	10	1.107	10
山西	1.999	2.566	1.076	1.284	7	0.538	27	0.911	19
内蒙古	3.859	1.538	2.528	0.399	30	0.655	25	0.527	29
辽宁	2.786	2.319	3.630	0.832	20	1.303	5	1.068	11
吉林	2.107	1.754	2.629	0.832	21	1.248	8	1.040	12
黑龙江	3.597	2.161	3.570	0.601	28	0.992	14	0.797	23
上海	0.320	0.536	0.101	1.675	1	0.316	29	0.996	14
江苏	5.813	4.468	5.264	0.769	25	0.906	16	0.838	22
浙江	3.700	3.605	2.869	0.974	17	0.775	21	0.875	20
安徽	4.915	5.004	4.301	1.018	16	0.875	17	0.947	17
福建	2.644	2.558	3.477	0.967	18	1.315	4	1.141	8
江西	4.442	3.510	3.238	0.790	22	0.729	22	0.760	25
山东	5.556	7.393	8.217	1.331	6	1.479	2	1.405	2
河南	6.388	8.677	8.301	1.358	4	1.299	6	1.329	4
湖北	5.456	4.222	4.951	0.774	24	0.907	15	0.841	21
湖南	7.091	5.379	5.545	0.759	26	0.782	20	0.771	24
广东	6.014	6.488	5.991	1.079	15	0.996	13	1.038	13
广西	3.589	4.562	4.512	1.271	8	1.257	7	1.264	5
海南	0.668	0.802	1.568	1.201	12	2.347	1	1.774	1
重庆	1.524	1.921	2.157	1.260	9	1.415	3	1.338	3
四川	5.295	7.119	6.190	1.344	5	1.169	9	1.257	6
贵州	2.822	3.546	1.996	1.257	10	0.707	23	0.982	15
云南	3.742	4.629	3.895	1.237	11	1.041	12	1.139	9
陕西	2.055	2.899	2.185	1.411	3	1.063	11	1.237	7
甘肃	2.163	2.343	1.706	1.083	14	0.789	19	0.936	18
青海	1.083	0.468	0.309	0.432	29	0.285	30	0.359	30
宁夏	0.593	0.496	0.366	0.836	19	0.617	26	0.727	27
新疆	3.487	2.232	2.821	0.640	27	0.809	18	0.725	28

(2)农村碳排放公平性综合评价及聚类分析。基于等权重赋值法予以农村碳排放人口承载系数和经济效率系数同等权重(均为0.5),而后以此为基础对各省份农村碳排放水平进行综合评价,来判断公平性与否,相关结果如表5所示。结果显示,有13个省份系数值超过1.0且以海南居首高达1.774,这些省份相对以较多的农村常住人口数量抑或农业增加值引发了较少的碳排放,客观上承载了其他省份的碳排放压力;余下17个省份的系数值均低于1.0且以青海最低仅为0.359,这些省份在同等农村常住人口数量抑或农业增加值的情形下导致了更多的碳排放,一定程度上损害了其他省份利益。进一步,基于人口承载系数、经济贡献系数的数值差异,可以将30个省份划分为四类:“双高”

型,即  $PCC$  与  $ECC$  均大于 1;“高一低”型,即  $PCC > 1$  且  $ECC < 1$ ;“低一高”型,即  $PCC < 1$  且  $ECC > 1$ ;“双低”型,即  $PCC$  与  $ECC$  均小于 1。具体分类结果如表 6 所示。

表 6 基于人口承载系数—经济效率系数评价矩阵的分类结果

评价系数	$ECC > 1$	$ECC < 1$
$PCC > 1$	河北、山东、河南、广西、海南、重庆、四川、云南、陕西	北京、山西、上海、安徽、广东、贵州、甘肃
$PCC < 1$	辽宁、吉林、福建	天津、内蒙古、黑龙江、江苏、浙江、江西、湖北、湖南、青海、宁夏、新疆

河北等 7 省 1 市 1 自治区属于“双高”型地区。从地理区位来看,主要集中于华北平原和西南地区,其中不少省份为传统农业大省,且不少省份以旱地作物为主,客观上降低了碳排放水平,相对较多的农村常住人口数量与较高的农业经济产出水平使得这些省份呈现出“双高”特征。北京等 5 省 2 市属于“高一低”型地区。从地域分布来看,除东北外全国各大区域均有涉及,其中多数省份的农村居民倾向于留在本地,但受限于资源禀赋以及产业结构特征农业整体发展水平较为一般,且由于农村居民能源消费量过高或者水稻种植规模较大导致各省份碳排放处于较高水平,相对较高的农村常住人口数量与较低的农业经济产出水平使得上述省份表现出“高一低”特征。辽宁等 3 省属于“低一高”型地区。从区位来看,位于中国东北和东南地区,上述省份由于农村居民能源消费量过大导致整体碳排放处于较高水准,但各自农业发展程度也处于较高水平,较少的农村常住人口数量与较高的农业经济产出水平使得上述三地呈现出“低一高”特征。天津等 7 省 1 市 3 自治区属于“双低”型地区。从地理分布来看,主要集中于华东、华中、东北以及西北地区,其中南方诸省均为中国粮食主产区且以水稻种植为主,北方各省或源于居民取暖能源消耗量过大或农业生产模式滞后能耗过高,由此表现出“双低”特征。

### 三、结论与启示

#### 1. 研究结论

本文在构建农村碳排放指标体系的基础上完成了 30 个省份农村碳排放量的有效测度并分析了其现状特征,而后围绕区域差异特点、碳排放公平性与否等问题展开了探讨,得出以下主要研究结论:

(1) 中国农村碳排放总量处于波动上升态势且省际差异明显。2021 年中国农村碳排放总量较 2005 年增加了 24.33%。结合其演变特征,可将中国农村碳排放演进过程大致划分为“波动下降”“波动上升”“持续下降”“持续上升”四个不同阶段。中国农村碳排放强度在考察期内处于持续下降态势,累计相较 2005 年降低了 36.09%。各省份 2021 年农村碳排放量差异较大,其中湖南居首上海最末;相比于 2005 年,仅有 5 省份处于下降态势且以北京降幅最大,余下省份皆为增长态势且以陕西增幅最大。农村碳排放强度方面,青海最高,海南最低。

(2) 中国各省份以及粮食主产区、主销区、产销平衡区农村碳排放量差异的成因各不相同。其中,国家层面多数年份受经济发展水平的影响要大于农村人口规模,碳排放量变化与农村人口规模波动更具相似性。具体到三类地区,粮食主产区农村常住人口规模相比农业经济发展水平对农村碳排放量差异的影响程度更高;而粮食主销区、产销平衡区的情形正好相反。

(3) 中国各省份农村碳排放存在着明显的非公平性特征。综合评价结果显示,以海南为代表的 13 省份相对以较多的农村常住人口抑或农业增加值引发了较少的碳排放,客观上承载了其他省份的碳排放压力;青海等 17 省份则在同等农村常住人口抑或农业增加值的情形下导致了更多的碳排放,一定程度上损害了其他省份利益。基于人口承载系数、经济贡献系数的数值差异,可以将 30 个省份划分“双高”“高一低”“低一高”“双低”等四种类型。

#### 2. 启 示

为了更好地促进农村碳减排并早日达成“双碳”目标,有必要在政策制度层面予以必要支持,具体可从以下三方面着手:一是精准评估各省份农村碳减排进展,科学制定未来减排计划。各省份应

在坚决贯彻“双碳”理念的基础上,对自身农村碳减排成效进行合理评估,而后参照该评估结果制定未来减排计划,务必确保目标切实可行;实践中考虑到粮食作物通常更具“高排放、低效益”特征,一定程度上应予以相关省份必要的政策倾斜。二是积极优化农村居民能源消费结构,大力发展清洁能源。农村居民能源消费碳排放的快速增加是导致农村碳排放总量增长的重要动因,而其根源在于煤、电力(中国以火电为主,同样用煤)等高耗能源的大量使用,为此应不断优化农村居民用能结构,大力发展沼气等清洁能源并鼓励农村居民广泛应用。三是着力搭建碳排放权奖惩平台,多措并举保障省际公平性。国家在总量控制的基础上,结合农村碳排放公平性综合评价结果给予各省份合理的碳排放配额,而后通过奖惩平台的搭建予以监督与管理,对于超出限额的省份实施处罚,而对保有剩余配额的省份则给予奖励。

### 参 考 文 献

- [1] WEST T O, MARLAND G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States [J]. *Agriculture, ecosystems and environment*, 2002, 91(1-3): 217-232.
- [2] 李波,张俊飏,李海鹏. 中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(8): 80-86.
- [3] 李国志,李宗植. 中国农业能源消费碳排放因素分解实证研究——基于LMDI模型[J]. *农业技术经济*, 2010(10): 66-71.
- [4] 戴小文,何艳秋,钟秋波. 中国农业能源消耗碳排放变化驱动因素及其贡献研究——基于Kaya恒等扩展与LMDI指数分解方法[J]. *中国生态农业学报*, 2015, 23(11): 1445-1454.
- [5] 陈瑶,尚杰. 四大牧区畜牧业温室气体排放估算及影响因素分解[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(12): 89-95.
- [6] 胡向东,王济民. 中国畜禽温室气体排放量估算[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(10): 247-252.
- [7] 闵继胜,胡浩. 中国农业生产温室气体排放量的测算[J]. *中国人口·资源与环境*, 2012, 22(7): 21-27.
- [8] 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(5): 29-37.
- [9] 田云,尹恣昊. 中国农业碳排放再测算: 基本现状、动态演进及空间溢出效应[J]. *中国农村经济*, 2022(3): 104-127.
- [10] 李波,张俊飏,李海鹏. 中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(8): 80-86.
- [11] 文清,田云,王雅鹏. 中国农业碳排放省域差异与驱动机理研究——基于30个省(市、区)1993—2012年的面板数据分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2015, 29(11): 1-6.
- [12] 高鸣,宋洪远. 中国农业碳排放绩效的空间收敛与分异——基于Malmquist-luenberger指数与空间计量的实证分析[J]. *经济地理*, 2015, 35(4): 142-148.
- [13] 吴昊玥,黄瀚蛟,何宇,等. 中国农业碳排放效率测度、空间溢出与影响因素[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2021, 29(10): 1762-1773.
- [14] 田云,陈池波. 市场与政府结合视角下的中国农业碳减排补偿机制研究[J]. *农业经济问题*, 2021(5): 120-136.
- [15] 陈宇斌,王森. 农业综合开发投资的农业碳减排效果评估——基于高标准基本农田建设政策的事件分析[J]. *农业技术经济*, 2023(6): 67-80.
- [16] 赵丽平,饶希,丁士军. 乡村数字化可以促进农业碳减排吗?[J]. *华中农业大学学报(社会科学版)*, 2023(5): 42-52.
- [17] 陈晓春,唐婧军,胡婷. 中国低碳农村建设探析[J]. *云南社会科学*, 2010(2): 107-112.
- [18] 陈敏娟,邓国用. 论中国农村低碳生活方式的实现[J]. *消费经济*, 2010, 26(1): 27-30.
- [19] 郭丽英,刘玉,李裕瑞. 空心村综合整治与低碳乡村发展战略探讨[J]. *地域研究与开发*, 2012, 31(1): 116-119.
- [20] YAO C S, CHEN C Y, LI M. Analysis of rural residential energy consumption and corresponding carbon emissions in China [J]. *Energy policy*, 2012, 41: 445-450.
- [21] 陈冲影,姚春生,黎明. 中国农村生活用能及其碳排放分析(2001—2010)[J]. *可再生能源*, 2012, 30(4): 121-127.
- [22] 万文玉,赵雪雁,王伟军,等. 我国农村居民生活能源碳排放的时空特征分析[J]. *生态学报*, 2017, 37(19): 6390-6401.
- [23] 田云,尹恣昊,张惠杰. 我国农村能源碳排放时空格局、影响因素及空间溢出效应[J]. *中国农业科学*, 2023, 56(13): 2547-2562.
- [24] 王敬敏,施婷. 中国农村碳排放统计监测指标体系的构建[J]. *统计与决策*, 2013(2): 34-37.
- [25] 韦惠兰,杨彬如. 中国农村碳排放核算及分析: 1999—2010[J]. *西北农林科技大学学报(社会科学版)*, 2014, 14(3): 10-15.
- [26] 田云,张俊飏. 中国省级区域农业碳排放公平性研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2013, 23(11): 36-44.
- [27] WU X R, ZHANG J B, YOU L Z. Marginal abatement cost of agricultural carbon emissions in China: 1993—2015 [J]. *China agricultural economic review*, 2018, 10(4): 558-571.
- [28] 彭璐璐,李楠,郑智远,等. 中国居民消费碳排放影响因素的时空异质性[J]. *中国环境科学*, 2021, 41(1): 463-472.
- [29] 蒋金荷. 中国城镇住宅碳排放强度分析和用能政策反思[J]. *数量经济技术经济研究*, 2015, 32(6): 90-104.
- [30] 田云,陈池波. 中国碳减排成效评估、后进地区识别与路径优化[J]. *经济管理*, 2019, 41(6): 22-37.
- [31] 王明星,李晶,郑循华. 稻田甲烷排放及产生、转化、输送机理[J]. *大气科学*, 1998(4): 218-230.
- [32] 马林静,王雅鹏,吴娟. 中国粮食生产技术效率的空间非均衡与收敛性分析[J]. *农业技术经济*, 2015(4): 4-12.

## Evolution of Regional Differences and Equity of Rural Carbon Emissions in China

LI Bei, TIAN Yun, WANG Qing

**Abstract** Based on the calculation of rural carbon emissions in China and its some provincial administrative regions, this paper focuses on the evolution characteristics of regional differences and the equity of carbon emissions. The findings of the are as follows: First, from 2005 to 2021, the total amount of rural carbon emissions in China is generally on the rise with occasional fluctuations, which can be roughly divided into four stages: “luctuating decline - fluctuating rise - continuous decline- continuous rising”. In 2021, rural carbon emissions vary widely among provinces and regions, with Hunan ranking first and Shanghai last, and the top 10 provinces account for 56.35% of the country’s total rural carbon emissions, while the bottom 10 only account for 11.26%. Second, the difference of rural carbon emissions among different regions in China is more affected by the level of economic development than by the size of rural resident population during most years. Specific characteristics are observed in three types of regions: major grain-producing areas, major grain-selling areas, and areas with balanced grain production and grain sales. In terms of overall contribution rate of carbon emission, intra-regional differences play a more important role than inter-regional differences. Third, there are obvious unfair characteristics in rural carbon emissions in various provinces of China. For example, 13 provinces represented by Hainan with relatively more permanent rural residents or agricultural added value, generate less carbon emissions, thus indirectly bearing the pressure of carbon emissions from other regions, while for 17 provinces represented by Qinghai, the situation is just the opposite. Based on the numerical differences in population carrying capacity coefficient and economic contribution coefficient, the 30 provincial administrative regions can be divided into four types: “double high”, “high-low”, “low-high” and “double low”.

**Key words** rural carbon emissions; agricultural carbon emissions; regional differences; equity evaluation; theil index

(责任编辑:金会平)