

地理分区视角下的农业碳效应驱动机理研究

田 云¹,张 君²

(1.中南财经政法大学 工商管理学院,湖北 武汉 430073;
2.北京石油化工学院 人文社科学院,北京 102617)



摘 要 在科学评估我国七大区域农业碳效应的同时对其碳排放的公平性与否进行了综合评价,并在此基础上运用 LMDI 模型剖析了各地区农业碳效应的驱动机理。研究表明:①七大区域均表现出了农业净碳汇特征,其中以华东地区净碳汇量最大,西北地区最少;所有区域相比 2000 年均有较大提升且以东北地区增幅最大,西南地区增幅最小。②东北地区农业碳排放生态承载能力居于全国第一位,高达 1.680,而华南地区农业碳排放经济贡献系数最高,为 1.241;各区域所呈现的演变轨迹集中表现为波动上升、波动下降、先升后降、轻微下降等几类形态;根据各自农业碳排放生态承载能力与经济贡献能力的数值差异可将七大区域划分为“高一高”“高一低”“低一高”“低一低”等四种类型。③经济因素、效率因素以及劳动力因素在影响农业净碳汇量变化方面发挥了更为显著的作用,且经济因素为驱动因素,效率因素、劳动力因素为抑制因素;而结构因素具有两面性特征且作用力度较小。

关键词 农业碳汇; 农业碳排放; 农业碳效应; LMDI 模型; 驱动机理

中图分类号:F 323.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-3456(2020)02-0078-10

DOI 编码:10.13300/j.cnki.hnwkxb.2020.02.010

近年来,气候变化所导致的一系列不利影响(诸如海平面上升、各种极端天气频发等)已引起了世界各国的高度关注,其问题本身也超出了一个国家或地区的范畴,而成为了公认的全球性难题。为了更好地应对全球气候变化,先后达成了《联合国气候框架公约》《京都议定书》以及《巴黎协定》等一系列具有法律约束力的协定。其中,2015 年所达成的《巴黎协定》系统构建了全球应对气候变化威胁的总目标,而后依次召开的马拉喀什、波恩和卡托维茨气候会议则就《巴黎协定》的程序性议题、具体实施模式等细节问题达成一致。作为勇于担当的发展中大国和世界第二大经济体,中国一直积极参与全球气候治理,且早在巴黎气候大会召开之前就已确定了未来减排目标,即 2030 年左右使 CO₂ 排放达到峰值且确保单位 GDP 碳排放量较 2005 年下降 60%~65%。虽然第二、第三产业是导致碳排放增加的主要动因,但快速发展的农业也在一定程度上起到了助推作用^[1]。有鉴于此,在 2016 年 10 月国务院所印发的《“十三五”控制温室气体排放工作方案的通知》中,我国政府明确提出要大力发展低碳农业,并切实增加生态系统碳汇。在此背景下,我们不仅要着力解决二、三产业的高能耗与高排放问题,还需大力推进农业生产低碳转型。

为了更好地探索低碳农业发展之路,越来越多的国内外学者围绕农业碳问题展开研究,主要集中在三个方面:一是关于农业碳排放的研究。其中,国外学者主要着眼于农业碳排放测算指标体系的构建与具体测度,如 Johnson 等认为农业碳排放主要源于农业废弃物的非正常处理、畜禽肠道发酵与粪

收稿日期:2019-07-29

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);中南财经政法大学中央高校基本科研业务费专项资金资助项目“碳排放权分配视域下的中国农业碳减排补偿机制与支持政策研究”(2722020JCT020)。

作者简介:田 云(1986-),男,博士;研究方向:农业资源与环境经济、低碳经济与低碳农业。

通讯作者:张 君(1984-),女,讲师,博士;研究方向:人力资源管理和公共服务政策。

便管理、农业能源利用、水稻生长以及生物燃烧等 5 个方面,并据此对美国农业碳排放量进行了测度,结果表明,其中约半数与农地利用活动有关^[2]。Wisniewski 等系统评估了波兰农业部门所引发的碳排放量,发现其对该国碳排放总量的贡献率为 14%^[3]。国内学者则在系统考察中国农业碳排放现状及典型特征^[4-5]的基础上,借助 kaya 恒等式、LMDI 模型等分析方法厘清了导致其数量变化的关键性因素^[6]。与此同时,还有不少学者围绕农业碳排放绩效评价^[7]、农业碳减排潜力^[8]以及农业产业发展与农业碳排放的关系^[9-10]等问题展开探讨。二是关于农业碳效应的研究。部分学者聚焦于单一的碳汇问题研究,主要着眼于农业碳汇的产生机理剖析与精准测算,以及农业碳汇的价值实现路径探索与实践。其中,前者聚焦于农田生态系统碳汇与林业碳汇的测算与分析^[11-12],后者主要包含碳汇定价对社会公共福利的影响^[13]、碳汇信用体系的构建与完善^[14]以及农业净碳汇补偿金额的测算与补偿方式的选择^[15]等。其他学者则将农业碳汇与农业碳排放纳入到同一分析框架而考察其净碳效应抑或净排效应,并以中国以及一些省区为例展开了相关实证分析^[16-17]。三是关于低碳农业的研究。一方面,在厘清低碳农业相关概念^[18]的基础上,有学者通过构建相关指标体系完成了对其发展水平的综合测度。曾大林等、陈儒等先后探究了中国低碳农业发展水平,发现省域间差异明显,绝大多数地区存在较大的提升空间^[19-20]。另一方面,一些学者则聚焦于低碳农业实现路径的探讨。综合研究表明,政府层面的高度认知与宏观政策引导是实现低碳农业发展的基本前提^[21-22],各类激励机制的逐步完善是保障^[23],同时还需辅以必要的措施,如实行产业链互动与立体农业生产模式^[24],推动系列低碳生产技术的有序集成^[25]等。

纵览文献可知,目前关于农业碳问题的研究已形成了极为丰硕的研究成果,具体到切入视角,农业碳排放、农业碳效应以及低碳农业等各个方面均有涉及。但同时,也需正视现有研究所存在的不足,主要表现在两个方面:一是对农业碳问题的探讨更多地着眼于国家、省级甚至市级层面,较少有学者基于地理分区视角下的七大区域进行探究,并立足于公平性视角分析其差异。二是对农业碳效应的研究基本停留在定量测算与时空特征分析层面,而鲜有学者如同探讨农业碳排放问题那般展开因素分解而剖析其驱动机理。有鉴于此,本文将在科学评估七大区域农业碳效应的基础上对各自碳排放的公平性与否进行综合评价,同时还将借助 LMDI 模型完成对各地区农业碳效应的因素分解,以此明晰其内在驱动机理。

一、理论探讨与分析框架构建

众所周知,农业兼有碳汇与碳源的双重属性:一方面,农作物在其生长发育过程中因为光合作用的需要吸收了大量的二氧化碳,客观上发挥了碳汇作用;另一方面,农业生产活动中,伴随着各类农用物资的投入使用以及畜禽排泄物的产生,也导致了大量的温室气体排放。为了更好地厘清两者间的相互关系,本文尝试提出了农业碳效应概念,它是指农业碳汇与农业碳排放之间的差值,倘若农业碳汇量高于碳排放量,则界定为农业净碳汇,反之则命名为农业净碳排。在过往研究中,农业净碳汇抑或净碳效应的提法更为普遍,但这基于一个前提,即碳汇量必须高于碳排放量;而考虑到现实中可能存在碳汇低于碳排的情形,故本文放弃使用“净碳效应”这一概念。基于省域抑或市域层面的农业碳效应研究已较为普遍,但切入点主要聚焦于农业净碳汇测算、时序演变规律与空间分异特征探讨,以及地区差距的动态演进分析等方面。而少有学者以我国七大区域作为研究对象,并围绕农业碳效应问题展开更为深入的研究。

长期以来,学者对于我国一般社会经济问题的探究都习惯于省级维度或者三大区域层面的比较,而少有学者基于七大地理分区视角进行思考。不可否认,传统的区域分析模式得到了广大学者的一致认同,所获取的相关结论也为问题的进一步深入奠定了坚实基础,但各自仍存在一定局限性。其中,基于省级维度进行探讨虽较为细致,却也过于强调各个地区的现实表征特征,不利于政策的协同构建;从三大区域进行考量虽然有助于对各个研究对象展开深度分析,但每一区域由于所辖省份数量

较多,其内部在社会、经济、文化等维度也存在一定差异。为了更好地推进农业生产低碳转型,增汇减排将会成为未来的主要路径选择,而所有省级行政区各自为战显然不利于这一工作的高效开展;相比较而言,将那些特征相似的省区归为一类,并统一制定策略,而后各类区域相互协调,必然更利于增汇减排工作的顺利实施。而不同于东、中、西部分区,将我国分为七大地理地区^①正是基于地形、人文、经济、政治等多角度统筹考虑的结果,这一划分也便于国家进行地理、气候、经济、行政等方面的研究和管理。

有鉴于此,本文将以七大区域作为突破口,围绕各自农业碳效应现状及特征进行探讨,而后则引入 LMDI 模型,尝试对其进行因素分解,分别厘清各因素对七大区域农业碳效应的作用方向及程度。具体而言,首先在科学构建农业碳汇、碳排放测算指标体系的基础上,完成对我国七大区域农业碳汇、碳排放的测算工作,进而评估各自农业碳效应并分析其特征。其次,通过构建农业碳排放生态承载模型与经济效率模型,完成对各地区农业碳排放的公平性评价,同时基于两类系数的数值差异对七个地区进行聚类分组。然后,利用 LMDI 模型从效率、结构、经济、劳动力等方面对各区域农业碳效应进行因素分解并展开系统分析。最后,基于研究结论提出具有较强针对性的策略建议(见图 1)。

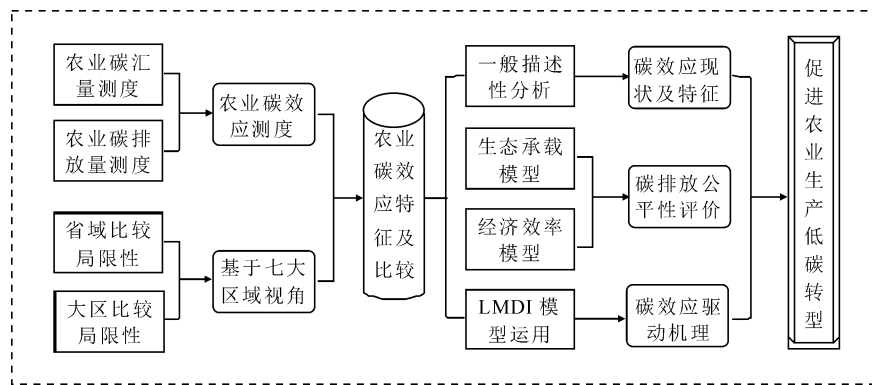


图 1 研究框架

二、研究方法 with 数据来源

1. 农业碳效应评估方法

准确评估农业碳效应的关键在于农业碳汇与农业碳排放测算指标体系的构建与完善,为此,接下来将重点对二者的测算方法进行介绍。

(1) 农业碳汇测算方法。农业碳汇主要考察农作物生长全生命周期中的碳吸收,而不考虑碳汇效应同样突出的林地和草地。究其原因,主要归结于两点:一是关于林地、草地碳汇的测算目前尚未形成相对统一的标准,不同机构所提供的系数值差异较大;二是相比农作物种植,林地、草地受人类活动的干预明显要弱一些^[16]。据此,构建农业碳汇测算公式如下:

$$S = \sum_i^k S_i = \sum_i^k s_i \cdot Y_i \cdot (1 - r) / HI_i \quad (1)$$

式(1)中, S 为农业碳汇总量; S_i 为某种农作物的碳汇; k 为农作物种类数; s_i 为各类农作物的碳汇系数; Y_i 为各类农作物的经济产量; r 为作物经济产品部分的含水量; HI_i 为各类农作物的经济系数。考虑到数据的可获取性,将涉及水稻、小麦、玉米、豆类、油菜籽、花生、棉花、薯类、甘蔗、甜菜、蔬菜、瓜类、烟草以及其他作物等具体农作物品种,各自所对应的碳汇系数与经济系数均出自韩召迎

^① 通常的划分标准如下:华北地区包括北京、天津、河北、山西、内蒙古等 2 省 2 市 1 自治区,东北地区包括辽宁、吉林、黑龙江等 3 省,华东地区包括上海、江苏、浙江、安徽、福建、江西、山东、台湾等 7 省 1 市;华中地区包括河南、湖北、湖南等 3 省;华南地区包括广东、广西、海南、香港、澳门等 2 省 1 自治区 2 特别行政区,西南地区包括重庆、四川、贵州、云南、西藏等 3 省 1 市 1 自治区;西北地区包括陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆等 3 省 2 自治区。限于数据难以获取,港澳台地区不在本次研究的考察之列。

等^[26]与田云等^[16]的相关文献。

(2)农业碳排放测算方法。综合多位学者研究成果^[6,15],本文将着重从三个方面对农业碳排放量进行测度:一是化肥、农药、农膜、农用柴油以及农业灌溉投入所引发的碳排放,相关碳排放系数出自田云等的研究^[6];二是水稻在生长发育过程中所产生的甲烷(CH₄)排放,其排放系数出自闵继胜等的研究^[5]。三是畜禽养殖所导致的 CH₄ 和一氧化二氮(N₂O)排放,具体涉及牛、马、驴、骡、骆驼、猪、羊以及家禽等畜禽品种,所有排放系数均出自联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)。需要说明的是,本文未将农作物种植破坏土壤表层所导致的 N₂O 排放纳入到农业碳排放测算体系中,究其原因,主要源于其系数多为实验数据而与常规性分析较难匹配。据此,构建农业碳排放测算公式如下:

$$C = \sum C_i = \sum T_i \times \delta_i \quad (2)$$

式(2)中, C 表示农业碳排放总量, C_i 表示各类碳源所导致的碳排放量, T_i 、 δ_i 分别表示各类碳源的具体数量及其所对应的排放系数。为了方便对农业碳排放量进行加总,依据 IPCC 第四次评估报告将 CH₄、N₂O 统一置换成标准碳(C),其转换系数分别为 6.82 和 81.27。

2. 农业碳排放公平性评价模型

通过构建生态承载模型与经济效率模型对碳排放公平性进行评价始于能源碳排放^[27],而后逐步延伸到农业碳排放^[28]、农业碳收支^[29]以及农田生态系统碳排放^[30]领域。其中,生态承载模型主要着眼于碳吸收与碳排放之间的比例关系;而经济效率模型则重点考察 GDP 与碳排放之间的相互关系。鉴于相关模型已得到了较为广泛地运用,本文也将尝试以此来考察各区域农业碳排放的公平性与否。具体模型构建方法如下:

(1)农业碳排放生态承载模型。该模型是将农业碳汇量作为参考因子,其构建意义在于各区域一定比例的农业碳排放需对应同等比例的农业碳汇,倘若某一区域的农业碳排放所占全国比重高于其碳汇所占份额,表明该地的生态承载能力相对较弱,让其他区域承担了过多的温室气体(含二、三产业碳排放)吸收任务;反之,则说明该区域具有更强的生态承载能力,可以分担其他区域过多的碳排放。为了更为直观地展现各区域农业碳生态容量贡献的公平性,基于已有相关文献^[27-28]构建农业碳排放生态承载系数(ESC)如下:

$$ESC = \frac{S_i / C_i}{S / C} \quad (3)$$

式(3)中, S_i 为各区域农业碳汇量, S 为中国农业碳汇总量; C_i 为各区域农业碳排放量, C 为中国农业碳排放总量。若 $ESC > 1$, 表明该地区农业碳汇所占全国比重高于其碳排放,其农业碳生态承载能力较强,能带给其他区域正外部效应;反之,则说明该区域的农业碳生态承载能力较弱,可能需要其他区域承担更多的碳吸收任务,利益受到损害。

(2)农业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,其构建意义在于各区域一定比例的农业碳排放需对应同等比例的农业增加值,倘若某一区域农业碳排放所占全国比重高于其农业增加值所占份额,表明该区域的农业发展属于“高耗低效率”类型;反之,则说明该区域的农业发展为“低耗高效率”类型。据此,基于已有相关文献^[28-29]构建农业碳排放经济贡献系数(ECC)如下:

$$ECC = \frac{G_i / C_i}{G / C} \quad (4)$$

式(4)中, G_i 为各区域农业增加值, G 为中国农业增加值; C_i 为各区域农业碳排放量, C 为中国农业碳排放总量。若 $ECC > 1$, 表明该区域农业经济的贡献率要大于农业碳排放,其农业生产效率处于较高水平;反之,则说明该区域农业经济的贡献率小于农业碳排放,其农业生产效率呈现较低水平,损害了其他区域利益。

3. 农业碳效应的影响因素分解

采用对数平均 D 式指数分解法(LMDI 模型)对七大区域的农业碳效应进行因素分解。该方法

能使加总之后的分部门效应与总效应保持一致,极其适用于多层次分析。遵循 LMDI 分析框架,借鉴已有文献成果^[31,6]并结合农业碳效应实际情况,可运用以下基本公式表示农业碳效应:

$$C_x = \frac{C_x}{PGDP} \times \frac{PGDP}{AGDP} \times \frac{AGDP}{AL} \times AL$$

$$EI = \frac{C_x}{PGDP}, CI = \frac{PGDP}{AGDP}, SI = \frac{AGDP}{AL} \quad (5)$$

式(5)中, C_x 、 $PGDP$ 、 $AGDP$ 、 AL 分别表示农业碳效应、农业(种植业)总产值、农林牧渔总产值和农业从业劳动力总量。 EI 、 CI 、 SI 分别为效率因素、结构因素和经济因素。其中,鉴于种植业具有碳汇与碳排的双重属性,对最终农业碳效应的方向归属(净碳汇或者净排放)能产生较大影响,因此在模型构建过程中有必要将其单独列出。对于式(5)所示模型,设基期农业碳效应总量为 C_x^0 , T 期总量为 C_x^t ,用下标 tot 表示农业碳效应的总体变化。采用加和分解,将差分分解为:

$$\Delta C_{x\ tot} = C_x^t - C_x^0 \quad (6)$$

各分解因素贡献值的表达式分别为:

$$\Delta EI = \sum \frac{C_x^t - C_x^0}{\ln C_x^t - \ln C_x^0} \ln \frac{EI^t}{EI^0}; \Delta CI = \sum \frac{C_x^t - C_x^0}{\ln C_x^t - \ln C_x^0} \ln \frac{CI^t}{CI^0}$$

$$\Delta SI = \sum \frac{C_x^t - C_x^0}{\ln C_x^t - \ln C_x^0} \ln \frac{SI^t}{SI^0}; \Delta AL = \sum \frac{C_x^t - C_x^0}{\ln C_x^t - \ln C_x^0} \ln \frac{AL^t}{AL^0} \quad (7)$$

总效应为:

$$\Delta C_{x\ tot} = C_x^t - C_x^0 = \Delta EI + \Delta CI + \Delta SI + \Delta AL \quad (8)$$

4. 数据来源及处理

农业碳汇与碳排放量测算所需原始数据均出自 2000—2017 年《中国农村统计年鉴》,其中,各类农作物的经济产量、各类农用物资投入与水稻种植面积均以当年实际数据为准。而牲畜、家禽由于饲养周期存在差异,其年均饲养量需根据各自出栏率进行科学调整,具体调整思路参照闵继胜等^[5]所提供的方法,在此不做具体阐述。此外,第一产业(大农业)生产总值、农业(种植业)总产值、农林牧渔总产值等数据也均源自《中国农村统计年鉴》,为了消除物价影响,在实际分析中将依照 2000 年不变价对其进行修正。至于农业劳动力数据,主要出自各省(市、自治区)的统计年鉴,且以当年实际数值为准。

三、研究结果与分析

1. 七大区域农业碳效应现状及特征

测算七大区域历年农业碳汇量与碳排放量,并完成对各自农业碳效应的评估,限于篇幅,仅列出 2000 年、2016 年的相关结果如表 1 所示。结果表明,2016 年华东地区农业碳汇量与碳排放量均居于七大地区之首,分别为 17 525.91 万吨和 7 481.46 万吨,占到了全国的 23.46% 和 26.59%;华中地区则均排在第二位,但与华东地区相比存在一定差距;而碳汇量与碳排放量排在第三位的分别是东北地区和西南地区。与之对应,西北地区碳汇量最少,仅为 6 519.25 万吨,而华南地区碳排放量最低,只有 2 622.61 万吨。与 2000 年相比,各区域农业碳汇量均有不同程度的增加且以东北地区增幅最大,高达 115.76%;西北、华北地区增幅分列第二、三位;而西南地区增幅最小,仅为 17.19%,甚至不及东北地区的六分之一。农业碳排放量方面,除华南地区总体下降外,其它六大区域均表现出了上升趋势且东北、西北和华北同样排在前三位。具体到农业碳效应,七大区域均表现出了净碳汇特征,其中以华东地区净碳汇量最大,高达 10 044.46 万吨,东北和华中地区分列第二、三位;西北地区数量最少,仅为 3 684.64 万吨,只相当于华东地区三分之一略强的水平。从变化趋势来看,所有区域相比 2000 年均均有较大幅度提升,其中以东北区域增幅最大,高达 141.10%;西北和华南地区紧随其后,依次排在第二、三位;与此对应,西南地区农业净碳汇增长幅度最小,仅为 22.02%,与其他六大区域相比差距较为明显。

表 1 七大区域农业碳汇量、碳排放量与碳效应

万吨

地区	2000 年			2016 年			变化率/%		
	碳汇	碳排放	碳效应	碳汇	碳排放	碳效应	I	II	III
华北	5 842.49	2 397.94	3 444.55	9 125.06	2 896.10	6 228.96	56.18	20.77	80.84
东北	5 480.75	1 675.87	3 804.88	11 825.21	2 651.71	9 173.50	115.76	58.23	141.10
华东	14 741.68	7 398.65	7 343.03	17 525.91	7 481.46	10 044.46	18.89	1.12	36.79
华中	10 320.55	4 650.15	5 670.39	13 656.53	5 417.72	8 238.81	32.32	16.51	45.30
华南	5 211.48	2 728.87	2 482.60	7 272.34	2 622.61	4 649.73	39.54	-3.89	87.29
西南	7 483.94	3 765.29	3 718.64	8 770.29	4 232.74	4 537.55	17.19	12.41	22.02
西北	3 836.61	1 960.11	1 876.51	6 519.25	2 834.61	3 684.64	69.92	44.62	96.36
全国	52 917.49	24 576.89	28 340.60	74 694.60	28 136.95	46 557.65	41.15	14.49	64.28

注:变化率I、变化率II和变化率III分别指各区域 2016 年农业碳汇量、农业碳排放量以及农业碳效应相比 2000 年的增减变化情况。

2.七大区域农业碳排放公平性评价及特征

依据前文所构建的农业碳排放生态承载模型以及经济效率模型,并结合七个区域的农业碳排放量、碳汇量以及农业增加值,分别计算出各自 2000 年、2004 年、2008 年、2012 年和 2016 年的农业碳排放生态承载系数与经济贡献系数如表 2 所示。

表 2 七大区域农业碳排放生态承载系数(ESC)、经济贡献系数(ECC)及其演变趋势

地区	2000 年					2004 年				
	C_i/C	S_i/S	G_i/G	ESC	ECC	C_i/C	S_i/S	G_i/G	ESC	ECC
华北	9.76	11.04	10.35	1.132	1.061	10.89	11.50	11.21	1.056	1.029
东北	6.82	10.36	8.45	1.519	1.239	7.83	12.95	9.24	1.654	1.180
华东	30.10	27.86	32.85	0.925	1.091	28.42	26.28	30.83	0.924	1.084
华中	18.92	19.50	17.85	1.031	0.943	19.24	18.64	18.37	0.969	0.955
华南	11.10	9.85	11.44	0.887	1.031	10.16	10.15	11.09	0.999	1.092
西南	15.32	14.14	13.31	0.923	0.869	15.04	13.16	13.32	0.875	0.886
西北	7.98	7.25	5.75	0.909	0.721	8.41	7.32	5.93	0.870	0.705
地区	2008 年					2012 年				
	C_i/C	S_i/S	G_i/G	ESC	ECC	C_i/C	S_i/S	G_i/G	ESC	ECC
华北	10.52	11.83	10.36	1.124	0.985	10.16	12.18	10.80	1.199	1.063
东北	8.53	13.89	9.81	1.628	1.150	9.25	15.54	10.85	1.680	1.173
华东	27.81	24.83	29.51	0.893	1.061	27.02	23.66	28.59	0.876	1.058
华中	19.51	18.85	19.13	0.966	0.980	19.44	18.26	18.37	0.939	0.945
华南	9.58	10.95	11.46	1.144	1.197	9.60	10.22	10.94	1.065	1.140
西南	15.21	11.83	13.40	0.778	0.881	15.35	11.51	13.11	0.750	0.854
西北	8.84	7.83	6.33	0.886	0.716	9.18	8.63	7.35	0.940	0.800
地区	2016 年					总体趋势/%		类型		
	C_i/C	S_i/S	G_i/G	ESC	ECC	ESC	ECC			
华北	10.29	12.22	9.84	1.187	0.956	波动上升(4.86)	波动下降(-9.90)	高一低		
东北	9.42	15.83	9.97	1.680	1.058	波动上升(10.60)	波动下降(-14.61)	高一高		
华东	26.59	23.46	28.36	0.882	1.067	波动下降(-4.65)	轻微下降(-2.20)	低一高		
华中	19.25	18.28	18.11	0.949	0.941	波动下降(-7.95)	先升后降(-0.21)	低一低		
华南	9.32	9.74	11.57	1.044	1.241	先升后降(17.70)	波动上升(20.37)	高一高		
西南	15.04	11.74	14.61	0.780	0.971	波动下降(-15.49)	波动上升(11.74)	低一低		
西北	10.07	8.73	7.54	0.866	0.749	波动下降(-4.73)	波动上升(3.88)	低一低		

注:“()”中数字为各区域 2016 年农业生态承载系数与经济贡献系数相比 2000 年的增减变化情况。

由表 2 可知,2016 年东北地区农业碳排放生态承载系数最高,该区域对我国农业碳汇的贡献率是其农业碳排放贡献率的 1.680 倍,表明其农业生态容量较强,有效分担了其他区域的碳排放;华北、华南依次排在第二、三位,其生态承载系数值分别为 1.187 和 1.044,虽相比东北地区存在较大差距,但也表现出了一定的生态功能,为其他区域分担了碳排放压力。除此之外的四大区域农业碳排放生态承载系数值均小于 1,表明他们农业生态容量较低,让其他区域承担了更多的碳吸收任务。其中西南地区的生态承载能力最弱,其系数值仅为 0.780,不及东北地区的 50%。至于农业碳排放的经济贡献情况,华南地区居于第一位,其系数值达到了 1.241,表明该地对我国农业生产总值的贡献率是其农业碳排放贡献率的 1.241 倍,农业产出效率相对较高。华东、东北依次排在第二、三位,其经济贡献系数值分别为 1.067 和 1.058,两地较为接近。其他四个区域的系数值均小于 1,表明这些区域农业产出效率相对较低,未能实现农业碳排放与经济增长的均衡贡献,在一定程度上损害了其他地区利益。其中西北地区农业碳排放的经济贡献能力最弱,其系数值仅为 0.749。

结合不同时间节点的数值差异可知,各地区农业碳排放的生态承载能力与经济贡献能力均呈现出了一些变化。其中,农业碳排放生态承载能力方面,华北、东北两地呈现波动上升态势,其 2016 年系数值分别较 2000 年提升了 4.86% 和 10.60%;华东、华中、西南、西北等四地表现为波动下降趋势,虽经历了一定起伏但总体下降趋势明显,且以西南地区降幅最大,其系数值较 2000 年减少了 15.49%;华南地区则经历了“先升后降”但总体提升的变化轨迹,其 2016 年系数值较 2000 年增加了 17.70%,增幅居于七大地区之首。农业碳排放的经济贡献力方面,华南、西南、西北等三地呈现波动上升趋势,且以华南上升幅度最大,其系数值较 2000 年提升了 20.37%;华北、东北二地表现为波动下降趋势,且总体下降幅度较大,系数值分别较 2000 年减少了 9.90% 和 14.61%,表明上述两地农业生产经济比较优势正逐步丧失;华东地区总体起伏较小,与基期相比其系数值略有降低;华中地区经历了“先升后降”的演变轨迹,但最终系数值与基期相比几无差异。综合来看,2000 年以来,各区域农业碳排放的生态承载能力与经济贡献能力所呈现的演变轨迹集中表现为波动上升、波动下降、先升后降、轻微下降等几类形态。

基于各大区域 2016 年农业碳排放生态承载系数与经济贡献系数的数值差异,可将七个地区划分为四类:“高一高”型,即生态承载系数与经济贡献系数值均大于 1;“高一低”型,生态承载系数大于 1 而经济贡献系数小于 1;“低一高”型,生态承载系数小于 1 但经济贡献系数大于 1;“低一低”型,两类系数值均小于 1。具体分类结果如表 2 所示。其中,东北和华南属于“高一高”型地区,表明两地在农业生态容量抚育与农业生产节能减排方面均取得了较为显著的成效,客观分担了其他区域部分碳减排责任。华北属于“高一低”型地区,具有较强的农业生态容量,但农业碳排放经济贡献系数却低于全国平均水平,究其原因,主要源于该地区的农业种植结构与农地构成特点:一方面,作为粮食主产区,该地水稻种植面积较少,由此既保证了农业碳汇的高产出还有效降低了碳排放强度;另一方面,此处多为中低产田,且多种植经济回报率较低的粮食作物,一定程度上影响了农业经济产出。华东属于“低一高”型地区,农业碳排放的生态承载能力较弱但经济贡献能力较强,该区域是我国农业现代化水平最高、农业综合实力最强的地区,但受限于较为突出的人地矛盾,仍热衷于传统的“高投入—高产出”生产模式,加之水稻种植面积较大,虽然保证了农业产出水平,但也导致了农业碳排放强度较高。华中、西南和西北均属于“低一低”型地区,但是,导致三个地区生态承载能力较弱的原因却不尽相同:华中地区主要受制于水稻种植面积较大,西南地区源于较为脆弱的生态环境,而西北地区则归结于以畜牧业为主导的农业生产结构;经济贡献系数较低主要受各自农业产业结构以及自身农业发展水平等因素的共同制约。

3. 七大区域农业净碳汇变化的驱动机理探析

基于 LMDI 模型以及所搜集的各区域农业(种植业)总产值、农林牧渔总产值、农业从业劳动力数据,并结合所评估的农业净碳汇量,得到七大区域农业净碳汇因素分解结果如表 3 所示。

表 3 七大区域农业净碳汇变化因素分解结果(2000—2016 年)

地区	效率因素		结构因素		经济因素		劳动力因素		总效应	
	数量/万吨	变化率/%	数量/万吨	变化率/%	数量/万吨	变化率/%	数量/万吨	变化率/%	数量/万吨	变化率/%
华北	-203.22	-5.90	-205.98	-5.98	3 622.88	105.18	-429.26	-12.46	2 784.42	80.84
东北	-423.19	-11.12	12.76	0.34	6 225.80	163.63	-446.75	-11.74	5 368.62	141.10
华东	-1 998.93	-27.22	-462.30	-6.30	9 029.87	122.97	-3 867.21	-52.67	2 701.43	36.79
华中	-2 158.79	-38.07	-356.84	-6.29	7 014.64	123.71	-1 930.60	-34.05	2 568.42	45.30
华南	-782.84	-31.53	20.69	0.83	3 416.10	137.60	-486.82	-19.61	2 167.12	87.29
西南	-1 820.00	-48.94	-323.12	-8.69	3 936.10	105.85	-974.07	-26.19	818.91	22.02
西北	-774.89	-41.29	20.35	1.08	2 668.73	142.22	-106.05	-5.65	1 808.13	96.36

由表 3 可知,经济因素是促使各地区农业净碳汇量增长的关键性因素。分解结果表明,在 2000—2016 年里,得益于农业经济的快速发展,七大区域与基期(2000 年)相比均实现了超过 100% 的净碳汇增量,其中华东地区所提升的绝对数量最高,达 9 029.87 万吨,而东北地区的相对增幅最大,高达 163.63%。效率因素和劳动力因素均在一定程度上抑制了各地区农业净碳汇量的增长,但其作用力度因地而异:华中、华南、西南、西北等 4 地效率因素对农业净碳汇量的抑制作用更强,相比基期分别导致了 38.07%、31.53%、48.94% 和 41.29% 的净碳汇损失;而华北、东北、华东等 3 地情形正好相反,其劳动力因素的制约作用更为明显,分别引发了 12.46%、11.74% 和 52.67% 的净碳汇损失。结构因素具有两面性特征,一方面促使东北、华南、西北等 3 地较基期实现了少量的农业净碳汇增量,而另一方面却抑制了华北、华东、华中以及西南等 4 地的农业净碳汇量增长;但无论是驱动还是抑制,其作用力度都要明显弱于其他三类因素。综合来看,经济因素、效率因素以及劳动力因素在影响农业净碳汇量变化方面发挥了更为显著的作用,且经济因素为驱动因素,效率因素、劳动力因素为抑制因素;而结构因素作用力度较小且作用方向并非完全一致。该结论与中国农业碳排放量变化的因素分解结果基本一致;但由于净碳汇属于期望产出,而碳排放属于非期望产出,正常情形下,二者结论相反才属合理,结果类似反而折射出一定的悖论。究其原因,这可能与当前我国盛行的农业发展模式有关,即总体呈现高投入、高排放与高碳汇的“三高”格局,在经济发展的驱动下,所引发的碳汇增量甚至要高于农业碳排放增幅,由此确保了农业净碳汇能一直处于较高水平。已有研究也很好印证了这一点,即农业碳汇增长主要源于农业现代化的不断推进与农业经济水平的提升,且其增速要明显快于农业碳排放增速^[32]。

四、结论与启示

1. 结 论

(1) 农业碳效应评估结果表明,七大区域均表现出了净碳汇特征,其中以华东地区净碳汇量最大,高达 10 044.46 万吨,东北地区和华东地区分列第二、三位;西北地区最少,仅为 3 684.64 万吨,只相当于华东地区三分之一略强的水平。从变化趋势来看,所有区域相比 2000 年均有较大提升,其中东北地区增幅最大;西北地区和华南地区紧随其后,依次排在第二、三位;西南地区增幅最小,与其他六大区域相比差距较为明显。

(2) 东北地区农业碳排放生态承载系数居于全国第一位,高达 1.680,华北地区、华南地区依次排在第二、三位,而西南地区农业碳排放生态承载能力最弱,仅为 0.780;华南地区农业碳排放经济贡献系数最高,为 1.241,华东地区、东北地区紧随其后,分列第二、三位,而西北地区农业碳排放的经济贡献能力最弱,仅为 0.749。2000 年以来,各区域农业碳排放的生态承载能力与经济贡献能力所呈现的演变轨迹集中表现为波动上升、波动下降、先升后降、轻微下降等几类形态。

(3) 基于农业碳排放生态承载能力与经济贡献能力的数值差异,可将七个区域划分为四类:东北、

华南属于“高一高”型地区,农业生态容量较高且节能减排成效明显,客观分担了其他地区的碳减排责任;华北属于“高-低”型地区,农业生态容量较高但碳排放的经济贡献系数较低;华东属于“低-高”型地区,农业碳排放的生态承载能力较弱但经济贡献能力较强;华中、西南和西北属于“低-低”型地区,其生态承载能力与经济贡献能力均处于较低水平,减排压力较大。

(4)因素分解结果表明,经济因素是促使各地区农业净碳汇量增长的关键性因素,七大区域与基期相比均实现了超过 100%的净碳汇增长量;效率因素和劳动力因素均在一定程度上抑制了各地区农业净碳汇量的增长,但其作用力度因地而异;结构因素具有两面性特征,但无论是驱动还是抑制,其作用力度都要明显弱于其他三类因素。

2. 启 示

研究结论揭示了当前我国七大区域农业碳排放存在一定非公平性,且种植业并未表现出高效特征,其对农业净碳汇的驱动能力总体偏弱。这要求政府相关职能部门在农业碳减排政策的制定上应避免“一刀切”思想,而应根据各地实际境况构建差异化策略。具体可从以下几方面着手:一是强化农业净碳汇目标约束,确保区域公平性。国家应在充分考虑各地区农业碳排放、碳汇现状以及农业发展特点的基础上,明确各大区域的农业净碳汇发展目标并实施阶段性考核,对于未能达到预期目标的区域将施以必要处罚,其罚金则转移支付给目标完成较好地区,以此确保区域公平性。二是完善区域内统筹,逐步平衡内部省域差异。考虑到每个区域都下辖 3 个及以上的省级行政区,且它们在农业资源禀赋构成、产业发展结构及特点等方面都表现出了极大的趋同性,但却受限于各自农业发展水平的参差不齐以及发展思路的不同,导致各区域内部也未完全解决好自身的农业碳排放公平性及农业净碳汇发展目标问题;为此,各大区域应针对所辖省级行政区设立协同机构,然后立足于公平性原则明晰各地区的农业碳排放目标约束,同时在农业净碳汇发展战略的推进上也应通过针对性策略的制定来实现省区间水平差异缩小的目的。三是优化农业产业结构,提高农资利用效率。其中,华北、华东、华中以及西南等 4 区域应进一步优化农业产业结构,在保证粮食安全的前提下逐步向高碳汇、低排放型经济作物倾斜;同时,考虑到效率因素对所有区域的农业净碳汇增长都产生了抑制作用,因此应全面提升农用物资的利用效率,且以华中、华南、西北、西南等 4 区域任务最为紧迫。

参 考 文 献

- [1] NORSE D. Low carbon agriculture: objectives and policy pathways [J]. *Environmental development*, 2012(1): 25-39.
- [2] JOHNSON J M F, FRANZLUEBBERS A J, WEYERS S L. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions [J]. *Environmental pollution*, 2007, 150(1): 107-124.
- [3] WISNIEWSKI P, KISTOWSKI M. Assessment of greenhouse gas emissions from agricultural sources in order to plan for needs of low carbon economy at local level in Poland [J]. *Geografisk tidsskrift-danish journal of geography*, 2018, 118(2): 123-136.
- [4] 谭秋成. 中国农业温室气体排放: 现状及挑战 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(10): 69-74.
- [5] 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.
- [6] TIAN Y, ZHANG J B, HE Y Y. Research on spatial-temporal driving factor of agricultural carbon emissions in China [J]. *Journal of integrative agriculture*, 2014(6): 1393-1403.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] OWUSU P A, ASUMADU-SARKODIE S. Is there a causal effect between agricultural production and carbon dioxide emissions in Ghana? [J]. *Environmental engineering research*, 2017, 22(1): 40-54.
- [10] 周晶, 青平, 颜廷武. 技术进步、生产方式转型与中国生猪养殖温室气体减排 [J]. *华中农业大学学报(社会科学版)*, 2018(4): 38-45, 167.
- [11] BARITZ R, SEUFERT G, MONTANARELLA L, et al. Carbon concentrations and stocks in forest soils of Europe [J]. *Forest e-*

- ecology and management, 2010, 260(3): 262-277.
- [12] LIN C, LIN C H. Comparison of carbon sequestration potential in agricultural and afforestation farming systems[J]. Scientia agricola, 2013, 70(2): 93-101.
- [13] ERNETO G E, RODRIGUEZ L C, WALEN V K, et al. Carbon sequestration and farm income in west Africa: identifying best management practices for smallholder agricultural systems in northern Ghana [J]. Ecological economics, 2008, 67(3): 492-502.
- [14] HUGH B. Carbon banking: creating flexibility for forest owners [J]. Forest ecology and management, 2009, 257(1): 378-383.
- [15] XIONG C H, YANG D G, HUO J W, et al. Agricultural net carbon effect and agricultural carbon sink compensation mechanism in Hotan Prefecture, China[J]. Polish journal of environmental studies, 2017, 26(1): 365-373.
- [16] 田云, 张俊飏. 中国农业生产净碳效应分异研究[J]. 自然资源学报, 2013, 28(8): 1298-1309.
- [17] 李波, 刘雪琪, 梅倩, 等. 湖北省农地利用方式变化的碳效应特征与空间差异[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(10): 62-70.
- [18] 赵其国, 黄国勤, 钱海燕. 低碳农业[J]. 土壤, 2011, 43(1): 1-5.
- [19] 曾大林, 纪凡荣, 李山峰. 中国省际低碳农业发展的实证分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(11): 30-35.
- [20] 陈儒, 姜德志. 中国低碳农业发展绩效与政策评价[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2017, 16(5): 28-40.
- [21] 许广月. 中国低碳农业发展研究[J]. 经济学家, 2010(10): 72-78.
- [22] CARLOS J, LAL R, LORENZ K, et al. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security[J]. Environment international, 2017(98): 102-112.
- [23] 杨果, 陈瑶. 新型农业经营主体参与低碳农业发展的激励机制设计[J]. 中国人口·资源与环境, 2016(6): 94-99.
- [24] 刘静暖, 于畅, 孙亚南. 低碳农业经济理论与实现模式探索[J]. 经济纵横, 2012(6): 64-67.
- [25] 陈儒, 姜志德, 姚顺波. 低碳农业联合生产的绩效评估及其影响因素分析[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2018(3): 44-55, 154-155.
- [26] 韩召迎, 孟亚利, 周治国, 等. 区域农田生态系统碳足迹时空差异分析——以江苏省为案例[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(5): 1034-1041.
- [27] 卢俊宇, 黄贤金, 戴靓, 等. 基于时空尺度的中国省级区域能源消费碳排放公平性分析[J]. 自然资源学报, 2012, 27(12): 2006-2017.
- [28] 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.
- [29] 罗红, 罗怀良, 李朝艳, 等. 泸州市农业碳收支时空变化及公平性评价[J]. 生态与农村环境学报, 2019, 35(4): 409-418.
- [30] 刘欣铭, 孙丽, 王康, 等. 中国省域农田生态系统碳排放时空差异及公平性研究[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2019, 42(2): 23-30.
- [31] 李俊杰. 民族地区农地利用碳排放测算及影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(9): 42-47.
- [32] 曹志宏, 秦帅, 郝晋珉. 河南省农业生产碳汇的演变趋势及其集聚特征分析[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(9): 1283-1290.

(责任编辑:毛成兴)