

DOI: 10.12357/cjea.20240087

石志恒, 王瑞霞. TOE 框架下我国省域农业碳排放影响因素组态分析——NCA 与 fsQCA 方法相结合[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2024, 32(9): 1566–1577

SHI Z H, WANG R X. Configuration analysis of factors influencing carbon emissions from provincial agriculture in China under the TOE framework: Combining NCA and fsQCA methods[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2024, 32(9): 1566–1577

TOE 框架下我国省域农业碳排放影响因素组态分析^{*}

——NCA 与 fsQCA 方法相结合

石志恒¹, 王瑞霞²

(1. 兰州财经大学农林经济管理学院 兰州 730020; 2. 兰州财经大学统计与数据科学学院 兰州 730020)

摘 要: 发展低碳农业是实现农业可持续发展的必然要求, 而探索农业碳排放影响因素的联动效应是发展低碳农业的必经之路。为厘清我国省域农业碳排放影响因素的复杂因果关系, 本研究基于“技术—组织—环境”(TOE) 框架构建了我国省域农业碳排放影响因素的理论框架, 采用投入产出模型核算 2017 年我国 30 个省(自治区、直辖市, 不包括中国香港、澳门、台湾和西藏) 农业碳排放总量, 并将必要条件分析(NCA) 与模糊集定性比较分析(fsQCA) 相结合对 2017 年我国各省农业碳排放的影响因素展开组态分析。结果表明: 1) 单个因素并不是实现农业低碳排放的必要条件, 只有技术、组织和环境三方因素相互促进才能实现农业低碳排放; 2) 驱动农业低碳排放的影响路径可总结为 3 条: 机械主导型、机械-结构协同型与结构-环境协同型, 由此可见, 各省农业低碳发展呈多元化驱动路径; 3) 导致农业非低碳排放的影响路径可总结为两条: 机械-结构缺失型和机械-环境缺失型。综合农业低碳排放和非低碳排放的影响路径来看, 农业机械化、农业产业结构合理化和环境规制是影响农业碳排放的关键因素, 若对其充分利用或持续优化, 一定会对发展低碳农业起到至关重要的作用。本研究扩充了 TOE 框架的使用领域, 研究结论为我国各省发展低碳农业提供了多元化的驱动路径。

关键词: 农业碳排放; 影响因素; TOE 框架; 投入产出模型; 必要条件分析; 模糊集定性比较分析

中图分类号: F323.22

Configuration analysis of factors influencing carbon emissions from provincial agriculture in China under the TOE framework: Combining NCA and fsQCA methods^{*}

SHI Zhiheng¹, WANG Ruixia²

(1. College of Agriculture and Forestry Economic and Management, Lanzhou University of Finance and Economics, Lanzhou 730020, China;
2. School of Statistics and Data Science, Lanzhou University of Finance and Economics, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Developing low-carbon agriculture is an inevitable requirement for achieving sustainable agricultural development, and assessing the linkage effect of factors influencing agricultural carbon emissions is a necessary approach for developing low-carbon agriculture. Herein, on the basis of the “Technology–Organization–Environment” framework, we constructed a theoretical framework of factors influencing carbon emissions from Chinese provincial agriculture, with the aim of clarifying the complex causal relationships among these factors. Having calculated the total agricultural carbon emissions of Chinese provinces (autonomous regions and municipalities, excluding Hong Kong, Macao, Taiwan and Xizang) in 2017 using an input-output method, and subsequently calculating the

^{*} 国家社会科学基金项目(20BJY083)资助

石志恒, 主要研究方向为资源经济与区域发展、不动产评估。E-mail: shzh@lzufe.edu.cn

收稿日期: 2024-02-27 接受日期: 2024-05-29

^{*} This study was supported by the National Social Science Foundation of China (20BJY083).

Corresponding author, SHI Zhiheng, E-mail: shzh@lzufe.edu.cn

Received Feb. 27, 2024; accepted May 29, 2024

intensity of agricultural carbon emissions in these provinces, we analyzed the necessity of single factors for agricultural low-carbon emissions or non-low-carbon emissions based on Necessary Condition Analysis, and analyzed the adequacy of multi-factors for agricultural low-carbon emissions or non-low-carbon emissions by performing fuzzy set Qualitative Comparative Analysis (fsQCA), which enabled us to assess the complex configuration relationships between influencing factors and agricultural carbon emissions. By combining Necessary Condition Analysis (NCA) with fsQCA, we accordingly established that agricultural mechanization, agricultural financial support, agricultural technician, environmental regulation, and rationalization of the agricultural industrial structure are non-essential conditions for agricultural low-carbon emissions or non-low-carbon emissions. On the basis of fsQCA, we identified three influencing pathways for generating agricultural low-carbon emissions, which are summarized as machinery leading, machinery and structure collaborating, and structure and environment collaborating types, as determined by summing up core factors. The solution coverage of the three influencing pathways was found to be 0.611, which indicates that more than half of the provinces with agricultural low-carbon emissions can be explained. In addition, we identified two influencing pathways contributing to agricultural non-low-carbon emissions, which are summarized as machinery and structure absenting, and machinery and environment absenting types, as determined by summing up core factors. The solution coverage of the two influencing pathways was 0.427, which indicates that almost half of the provinces with agricultural non-low-carbon emissions can be explained. Finally, on the basis of a comprehensive assessment of the pathways influencing agricultural low-carbon emissions and non-low-carbon emissions, we established that agricultural mechanization, rationalization of the agricultural industrial structure, and environmental regulations are key factors influencing agricultural carbon emissions. The three influencing pathways for generating agricultural low-carbon emissions include at least one of the three key influencing factors, and the two influencing pathways contributing to non-low-carbon emissions lack two of the three key influencing factors. Consequently, our findings indicate that the development of low-carbon agriculture can only be achieved by ensuring the mutual promotion of technology, organization, and environment. These findings provide a new perspective for examining carbon emissions, and expand the scope of the “Technology-Organization-Environment” framework. Moreover, our findings highlight the diverse approaches that can be adopted to develop low-carbon agriculture in the Chinese provinces.

Keywords: Agricultural carbon emissions; Influencing factor; TOE framework; Input-output method; Necessary Condition Analysis (NCA); Fuzzy set Qualitative Comparative Analysis (fsQCA)

当前,二氧化碳等温室气体排放导致的全球变暖给人民生活和经济发展带来较大负面影响,虽然工业是碳排放的主要源头,但我国属于传统农业大国,农业碳排放问题不容小觑。围绕农业碳排放,学者主要展开了碳排放核算以及影响因素的研究。

目前,农业碳排放核算方法主要有联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)碳排放因子法和投入产出法,前者核算了农业生产过程中的直接碳排放,后者更全面地核算了农业生产过程中的直接和间接碳排放,即完全碳排放。

围绕农业碳排放影响因素,学术界主要采用两种模式进行探索:第一,采用 Kaya^[1]碳排放恒等式结合对数平均迪氏指标分解法将多个因素纳入同一模型下分析各因素对农业碳排放的影响^[2-3];第二,利用计量经济学模型分别研究各因素对农业碳排放的影响机制。相较而言,第二种模式的研究成果较丰富,根据各影响因素的属性,可将各因素归类为技术、组织与环境3个层面。1)技术因素对农业碳排放的影响。农业技术有广义和狭义之分,广义视角下用农业科技进步贡献率度量,狭义视角下用农业机械化水平度量。基于不同视角,学界采用不同的度量指标研究了农业技术进步对农业碳排放的影响,结

论一致,即农业技术进步在很大程度上能够抑制农业碳排放^[4-7]。2)组织因素对农业碳排放的影响。已有文献主要研究了农业财政支持对农业碳排放的影响,并得出相同结论:无论在国家层面还是省级层面,农业财政支持都具有明显的农业碳减排效应^[8-9]。3)环境因素对农业碳排放的影响。影响农业低碳发展的环境因素较多,但研究成果主要集中在环境规制和农业产业结构两方面。环境规制是农业碳排放的重要影响因素^[10],但需要建立合理的环境规制标准才能降低农业碳排放^[11];同样,合理的农业产业结构有助于农业碳减排,但农业产业结构合理化的衡量标准各不相同,吴贤荣等^[12]和程琳琳等^[13]认为种植业的碳排放最严重,在确保粮食安全的情况下,农业产业结构应由以种植业为主向农、林、牧、渔业协调发展转变,并适当发展林业,从而更好地发挥林业的固碳功能。

现有研究对农业碳排放影响因素的探讨对本研究具有重要的参考意义,但仍有以下改进空间:首先,农业碳排放受多种因素影响,Kaya碳排放恒等式只基于经济规模、人口规模以及能源结构等构造指标,无法将农业机械化、农业财政支持、农业技术扩散以及环境规制等对降低农业碳排放发挥重要作用的

因素纳入模型来分析;其次,计量经济学模型只在控制其他因素的前提下,研究特定因素对农业碳排放的平均效应,但现实往往是多因素相互依赖共同影响农业碳排放,并且可能存在多条等效影响路径,虽然计量经济学模型也能通过机制分析研究多个因素对农业碳排放的影响,但无法识别多条等效影响路径;最后,现有文献对农业碳排放影响因素都是零散研究,而各因素之间存在内在联系,将其纳入同一理论框架下研究更为合理。因此,本研究基于“技术—组织—环境”(TOE)框架,采用投入产出模型核算 2017 年我国各省农业碳排放总量,同时,将必要条件分析(NCA)与模糊集定性比较分析(fsQCA)两种方法相结合,从技术、组织与环境 3 个层面选取影响因素,分析各因素对农业低(非低)碳排放的必要性,与多因素组态对农业低(非低)碳排放的充分性两类因果关系^[14],探究农业碳排放各影响因素的复杂组态关系,以期为各省农业低碳发展寻找多元化的等效路径。

1 农业碳排放影响因素的 TOE 框架

“技术—组织—环境”(TOE)框架是由美国学者 Tornatzky 等^[15]提出,它是分析技术特征、技术与组织匹配性以及组织所处环境等的综合性理论框架,技术、组织以及环境指标的选择根据研究对象和所属领域来细化和拓展^[16]。低碳发展是“低碳”与“发展”的有机结合^[17],要在发展的同时降低碳排放,就需要用先进生产技术代替传统生产技术,而先进生产技术的研发和扩散,最终转化为现实生产力,都离不开政府、社会以及群众的支持,同时,先进技术的应用免不了受环境因素的影响。综上,TOE 框架适合分析低碳发展问题,并且已有文献采用该框架分析了地区碳减排问题^[18]。因此,本研究基于 TOE 框架,结合当前农业碳排放影响因素的研究成果,尝试构建农业碳排放影响因素的理论框架。

技术因素:农业机械化。农业技术进步有狭义和广义之分,狭义的技术进步主要指农业机械装备水平的提高,广义的技术进步还包括农业生产经营管理方法的改进和生产规模的合理化等,借鉴现有成果^[5],本研究从狭义角度讨论农业机械化对农业碳排放的影响。农业机械化主要通过资源优化配置来影响农业碳排放。一方面,机械设备代替劳动力,提高劳动生产率,减少作业时间,使多余劳动力转为非农就业^[19],增加非农收入,降低农民对农业收入的依赖性,提高农民风险承受能力,敢于尝试先进生产技术,

减少化肥和农药等使用,有助于降低农业碳排放;另一方面,农业机械化促进农业规模经营,种粮大户和农业合作社等新型生产主体逐渐代替小农业生产模式,不仅提高农业生产效率^[20],而且加快了先进技术的扩散,虽然大量农机的高耗能会增加农业碳排放,但农业机械化的规模经营和技术进步带来的减碳效应在很大程度上可以抵消使用大量农机导致的增碳效应。

组织因素:农业技术人员和农业财政支持。发展低碳农业,必须以农业技术进步为保障,但农业生产自然再生产和经济再生产相互交织的特点决定了农业技术进步具有很强的地域性^[21],农业科技成果转化为生产力的实现,以及将先进生产力在区域间进行推广,必然离不开农业技术扩散,而农业技术扩散需要一定的“网络通道”。当前,我国农业技术扩散仍然主要依靠“人力”,即依靠国家的农村科技特派员和农业技术推广人员进行逐步扩散^[22],通常情况下,农业技术人员越多,越有利于农业技术扩散,由技术进步带来的减碳效应越明显。

财政支农是农业技术变革的重要保障,是政府实施宏观调控的重要手段,不仅通过“四项补贴”直接支持,还通过提高绿色农产品统购价格,降低农业生产资料购买价格,鼓励农民购买农业保险等间接支持^[23]。政府通过良种补贴和粮食直补来引导农民种什么,使生产要素重新配置,投入产出结构趋于合理,有利于提高农业碳生产效率;通过农机购置补贴提高农业机械化水平,在一定程度上可以降低农业碳排放;通过农资综合补贴推动农业科技研发及推广,提高农民生态环境保护意识,鼓励农民低碳生产。除直接补贴的农业减碳效应,政府还通过间接补贴减轻农民低碳生产负担,降低低碳生产风险,提高农民低碳生产积极性。可见,财政支农有助于农业碳减排,并且现有研究成果^[9]也证明了这一结论。

环境因素:环境规制和农业产业结构合理化。环境规制是政府通过干预农业生产者的环境污染行为来降低农业碳排放。我国农业生产者主要分为两大类,即农业生产企业和小农户。对于农业生产企业而言,“波特假说”认为合理的环境规制可以刺激生产技术创新^[24],当环境规制水平较高时,高强度的惩罚压力和高额的污染治理成本刺激农业生产企业通过加大清洁生产技术研发来降低环境污染,以减少环境治理支出,但是,过于严苛的环境规制从长远来看并不能降低农业碳排放^[11];对于小农户而言,环境规制通过刺激小农户对清洁生产技术的使用,以及约束小农户对化肥和农药等高污染排放生产要素

的投入,来抑制环境污染,这对降低农业碳排放具有一定作用。

产业结构优化是生产要素在不同产业部门间的合理配置,并以此提高整体经济效率^[25]。农业内部各产业的生产效率存在差异,农业产业结构合理化使农业生产要素在农、林、牧、渔各产业间合理配置,以达到农业部门整体经济效率最高,农业产业结构

合理化也能提高农业各部门的能源利用效率,有助于降低农业碳排放^[5]。

基于上述理论分析,最终选取技术层面的农业机械化、组织层面的农业财政支持和农业技术人员、环境层面的环境规制和农业产业结构合理化 5 个影响因素,分析产生农业低碳排放和非低碳排放的组态路径,理论分析框架如图 1 所示:

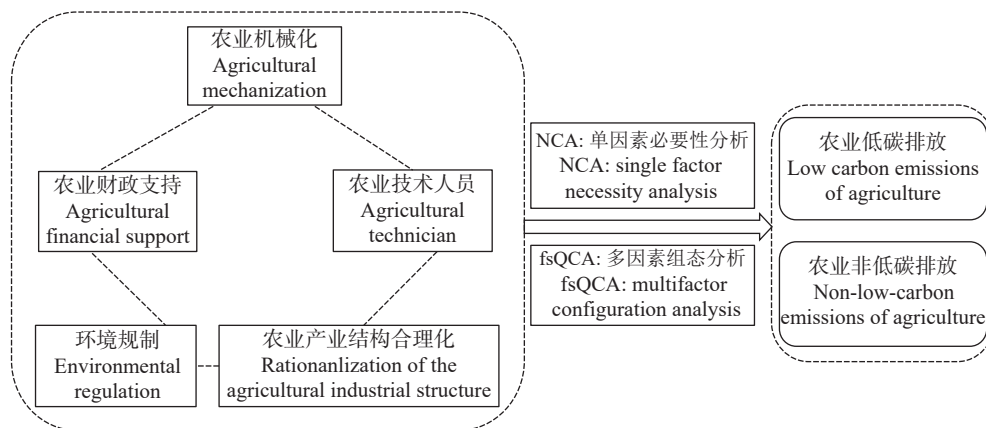


图 1 农业碳排放影响因素的“技术—组织—环境”(TOE)框架

Fig. 1 “Technology–Organization–Environment” (TOE) framework for factors influencing agricultural carbon emissions

2 研究方法与数据

2.1 主要方法

本研究使用了 3 种研究方法:投入产出模型、模糊集定性比较分析与必要条件分析。

1) 投入产出模型

投入产出模型分为单区域投入产出模型和多区域投入产出模型。单区域投入产出模型侧重分析某地区内各部门间生产活动的经济联系以及对社会和环境等产生的影响,可用于核算地区内碳排放;多区域投入产出模型除分析地区内各部门间经济联系之外,还可分析地区间各部门的经济联系^[26],主要用于研究碳排放的责任分配。本研究核算农业碳排放量主要为了分析各省农业碳排放的影响因素,暂不考虑农业碳排放转移以及在各省之间的分配,因此,权衡以上方法,采用单区域投入产出模型,从消费端核算各省农业生产过程中所产生的直接和间接碳排放量,即农业完全碳排放,本研究中称为农业碳排放总量。

2) 模糊集定性比较分析与必要条件分析

社会科学研究通常采用定量研究方法,即回归分析法,在控制一系列变量的前提下,分析自变量 X 对因变量 Y 的净效应。回归分析基于权变视角,最多分析 3 个变量之间的交互效应,并且要求自变量间不存在严重的多重共线性,因此,回归方法适合分

析前因变量间弱相互依赖性的社会现象^[27]。定性比较分析(QCA)基于组态理论,整合“定性”(案例导向)与“定量”(变量导向)研究方法的优点,致力于分析多因并发和殊途同归的因果复杂性社会现象,是一种执果索因的研究方法。本研究选择 QCA 方法主要基于以下 3 个理由:

首先,农业碳排放受多种因素影响,回归方法虽可将多因素纳入同一模型,但分析时必须控制其他因素,只分析特定因素对农业碳排放的影响,虽能深入分析农业碳排放的影响机制,但不能将农业机械化、农业财政支持和环境规制等多因素作为一个整体,置于同一理论体系下进行组态分析,而 QCA 可将本研究选取的 5 个影响因素纳入同一理论框架下进行组态分析。

其次,各省发展低碳农业的多样性表明,单因素往往不会导致农业低(非低)碳排放,需要多因素组合共同影响,并且可能存在多条导致农业低(非低)碳排放的“等效”因果链^[28],虽然回归分析可通过定义中介变量或调节变量来分析本研究选取的影响因素对农业碳排放的不同影响方式,但所有影响因素在解释农业碳排放时只是替代关系或累加关系,并非完全等效关系^[29],QCA 可识别产生农业低(非低)碳排放的不同影响因素组态,且各组态具有完全等效性^[30]。

最后,本研究分析的是 2017 年我国 30 个省(自治区、直辖市,不包括中国香港、澳门、台湾和西藏,下同)的农业碳排放,属于中等样本,回归方法主要基于大样本展开分析,QCA 对样本量没有限制,只在使用时需要根据样本量来权衡影响因素的数量,通常情况下,当样本量为 10~40 时,影响因素选择 4~7 个,否则会带来有限多样性问题。

QCA 分析法有清晰集(csQVA)、多值集(mv-QCA)以及模糊集(fsQCA) 3 种类型,本研究分析的结果和 5 个影响因素均兼有类别变化和程度变化,所以更适合采用 fsQCA。另外,组态分析之前需进行单因素的必要性分析,QCA 只能从定性角度粗略地分析单因素的必要性,而 NCA 是专门分析单因素必要性的方法,可定性判断某因素是否是结果产生的必要条件,还能从程度上对必要条件做出精细识别^[31]。为保证分析结论的稳健性,本研究将 NCA 与 fsQCA 相结合来分析单因素的必要性。

2.2 数据来源

我国通常在逢 2 和逢 7 年份编制全国和各省投入产出表,目前公布最新的是 2017 年投入产出表,因此,本研究根据 2017 年 30 个省的投入产出表计算各省农业碳排放总量,各省分行业碳排放清单来源于中国碳核算数据库(CEADs),具体可参见 Shan 等^[32]发表的论文。农业技术人员与环境规制数据分别来源于《中国科技统计年鉴》和《中国环境年鉴》,其余数据均来自各省统计年鉴。鉴于各省投入产出表是 42 部门,而 CEADs 提供的各省分行业碳排放清单为 45 部门(不包括城市和农村居民消费碳排放),因此,本研究参照《国民经济行业分类》将两套数据的行业分类进行整合匹配,最终调整为 17 部门,具体为:1 农林牧渔业,2 采矿业,3 食品和烟草,4 纺织、服装、鞋及皮革羽绒制品,5 木材加工、家具、造纸印刷和文教工美用品,6 石油、炼焦产品和核燃料加工品,7 化工产品,8 非金属矿物制品,9 金属冶炼、加工及其制品,10 机械设备、交通运输设备、电子电气及其他设备,11 其他制造业,12 电力、热力及燃气生产和供给业,13 水的生产和供应业,14 建筑业,15 交通运输、仓储和邮政业,16 批发零售、住宿和餐饮业,以及 17 其他服务业。

2.3 测量与校准

1) 农业碳排放强度

现有文献研究结论表明,农业经济发展水平越高,农业碳排放总量越大,为消除农业经济发展水平的影响,本研究采用农业碳排放强度衡量农业碳排

放,各省农业碳排放总量采用单区域投入产出模型核算,具体核算过程如下:

首先,通过投入产出模型如式(1):

$$X = AX + Y \quad (1)$$

推导得出式(2):

$$X = (I - A)^{-1}Y \quad (2)$$

式中: X 为部门总产出列向量; A 为直接消耗系数矩阵,本研究为 17×17 的矩阵; Y 为最终需求列向量; I 为 A 的同阶单位矩阵; $(I - A)^{-1}$ 为列昂惕夫逆矩阵。通过列昂惕夫逆矩阵求出完全消耗系数矩阵,提取出农林牧渔业对中间投入部门的完全消耗系数列向量,如式(3):

$$B = (I - A)^{-1} - I \quad (3)$$

式中: B 为完全消耗系数矩阵。

然后,完全消耗系数列向量乘以基于各省分行业碳排放清单计算的碳排放系数得到完全碳排放系数,再乘以相应部门的最终需求,最终得到农业碳排放总量,包括直接排放和间接排放。

最后,利用农业碳排放总量与农业增加值的比值计算出农业碳排放强度。

2) 影响因素

技术因素:农业机械化。农业机械化测量借鉴陈银娥等^[5]的方法,采用农业机械总动力来衡量各省农业机械化。

组织因素:农业技术人员和农业财政支持。农业技术人员用 2017 年末各省农业技术人员数量来衡量;参照田云等^[9]研究,农业财政支持用各省农林水事务支出占财政总支出的比例来衡量。

环境因素:环境规制和农业产业结构合理化。借鉴马国群等^[33]研究,用 2017 年全年各省制定并实施的与农业污染防控和环境保护相关的政策数量来度量环境规制;干春晖等^[34]对泰尔指数重新定义,用于度量产业结构合理化,同样,泰尔指数也可用于度量农业内部产业结构的合理性,具体计算公式为:

$$TL = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_i}{Q} \right) \ln \left(\frac{\frac{Q_i}{L_i}}{\frac{Q}{L}} \right) \quad (4)$$

式中: TL 为泰尔指数,该值接近于 0,农业产业结构越合理; Q 和 L 分别为农林牧渔业总产值和总从业人数; i 为农林牧渔各部门; n 为总部门数; Q_i 和 L_i 分别为农林牧渔各部门产值和从业人数。 $\frac{Q_i}{Q}$ 表示农业

各部门产出结构,等于农林牧渔各部门产值占农林牧渔业总产值的比重; $\frac{Q}{L}$ 表示农业部门生产率; $\frac{Q_i}{L_i}$ 表示农林牧渔各部门生产率,由于农林牧渔各部门的从业人数无法获得,所以借鉴马玉婷等^[25]方法,用农林牧渔各部门增加值(V_i)与中间消耗(Z_i)的比值来度量各部门生产率。最终泰尔指数用式(5)表示:

$$TL = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_i}{Q} \right) \ln \left(\frac{\frac{V_i}{Z_i}}{\frac{Q}{L}} \right) \quad (5)$$

3) 校准

fsQCA 在进行必要性和充分性分析之前必须要完成对影响因素和结果的数据校准。农业碳排放没有形成统一的核算方法,各种方法测算的结果差距较大,目前没有参考标准来定义农业低碳排放和非低碳排放,因此本研究采用直接校准法,把结果和 5 个影响因素的测量数据校准为模糊集,参照 Fiss^[30]和杜运周等^[35]的方法,将样本描述性统计的上四分位数、中位数和下四分位数分别设定为结果和 5 个影响因素的完全隶属、交叉点和完全不隶属锚点。影响因素和结果校准锚点与描述性统计如表 1 所示。

3 数据分析与实证结果

3.1 单因素必要条件分析

本研究采用 R 语言里安装的 NCA 包,使用上限回归 (CR) 和上限包络 (CE) 两种方法分析单因素的必要性,分别得到两种方法下的精确度、上限区域、范围、效应值以及 P 值,具体结果如表 2 所示。

参照已有文献的判断标准:当单个因素的效应值大于 0.1,且 $P < 0.05$ 时,认为该因素是结果的必要

条件^[31]。从 NCA 分析结果来看,农业机械化、农业财政支持与农业技术人员的 P 值均大于 0.05,即必要性效应均不显著,以上 3 个影响因素均不可单独构成产生农业低碳排放的必要条件;环境规制和农业产业结构合理化的 P 值虽然小于 0.05,但是效应值均小于 0.1,两者也均不可单独构成农业低碳排放的必要条件。进一步分析单因素的瓶颈水平(表 3)发现,农业低碳排放需多种影响因素共同作用才能实现。例如,要实现 80% 的农业低碳排放水平,至少需要 1.3% 的农业财政支持水平、7.1% 的环境规制水平和 18.3% 的农业产业结构合理化水平;要实现 90% 的农业低碳排放水平,至少需要 2.9% 的农业财政支持水平、28.6% 的环境规制水平和 26.5% 的农业产业结构合理化水平;两种情况下,农业机械化和农业技术人员均不存在瓶颈水平。若要实现 100% 的农业低碳排放水平,5 个影响因素均存在瓶颈水平。

同时,本研究还采用 fsQCA 分析了农业碳排放影响因素中单因素的必要性,分析结果如表 4 所示,单个影响因素对农业低(非低)碳排放的必要条件一致性均较低,普遍小于 0.9,表明 5 个影响因素中不存在产生农业低(非低)碳排放的必要条件,与 NCA 分析结果一致。

3.2 影响因素组态分析

本研究采用 fsQCA4.1 软件分别分析形成农业低碳排放和非低碳排放的影响因素组态,不同的影响因素组态表示实现农业低(非低)碳排放的不同因素组合,同时根据每条组态的核心条件对不同组态进行命名。借鉴 fsQCA4.1 默认设置将原始一致性阈值设定为 0.800;根据普遍可接受标准^[36],将 PRI (proportional reduction in inconsistency) 一致性设定为

表 1 数据校准和描述性统计
Table 1 Data calibration and descriptive statistics

集合 Set	模糊集校准 Fuzzy set calibration			描述性分析 Descriptive analysis			
	完全不隶属 Not affiliated at all	交叉点 Intersection	完全隶属 Complete affiliation	均值 Mean	标准差 Standard deviation	最大值 Maximum	最小值 Minimum
农业碳排放强度 Agricultural carbon emission intensity	0.085	0.036	0.020	0.146	0.325	1.386	0.010
农业机械化 Agricultural mechanization	1358.530	2360.190	4398.000	3275.342	2656.371	10144.050	121.840
农业财政支持 Agricultural financial support	0.094	0.116	0.137	0.116	0.033	0.178	0.048
农业技术人员 Agricultural technician	1.343	2.239	3.032	2.235	1.281	5.428	0.289
环境规制 Environmental regulation	3.000	4.000	5.000	3.900	1.248	6.000	1.000
农业产业结构合理化 Rationalization of agricultural industrial structure	-1.100	-0.643	-0.424	-0.813	0.526	-0.141	-2.320

农业碳排放强度在原始数据基础上扩大了100倍。Agricultural carbon emission intensity has increased by 100 times on the basis of original data.

表 2 必要条件分析 (NCA) 对单因素的必要性分析
Table 2 Necessity analysis of single factor by Necessary Condition Analysis (NCA)

影响因素 Influencing factor	方法 Method	精确度 Accuracy (%)	上限区域 Ceiling zone	范围 Scope	效应值 Effect size	P值 P value
农业机械化 Agricultural mechanization	CR	100.0	0.000	0.99	0.000	0.414
	CE	100.0	0.000	0.99	0.000	0.423
农业财政支持 Agricultural financial support	CR	96.7	0.006	0.99	0.006	0.122
	CE	100.0	0.006	0.99	0.006	0.165
农业技术人员 Agricultural technician	CR	100.0	0.000	0.99	0.000	0.463
	CE	100.0	0.000	0.99	0.000	0.463
环境规制 Environmental regulation	CR	93.3	0.058	0.99	0.058	0.032
	CE	100.0	0.025	0.99	0.026	0.080
农业产业结构合理化 Rationalization of agricultural industrial structure	CR	93.3	0.073	0.99	0.073	0.004
	CE	100.0	0.080	0.00	0.081	0.000

CR: 上限回归; CE: 上限包络。影响因素采用校准后的模糊集隶属度值。 P 值采用置换检验所得, 重复采用次数为10000。CR: Ceiling Regression; CE: Ceiling Envelopment. The influencing factors are measured by the fuzzy set membership degree values. P value obtained through permutation test, and repeated adoption frequency is 10 000.

表 3 必要条件分析 (NCA) 对单因素必要性瓶颈水平分析
Table 3 Bottleneck level of single factor necessity by Necessary Condition Analysis (NCA)

农业碳排放强度 Agricultural carbon emission intensity	农业机械化 Agricultural mechanization	农业财政支持 Agricultural financial support	农业技术人员 Agricultural technician	环境规制 Environmental regulation	农业产业结构合理化 Rationalization of the agricultural industrial structure
0	NN	NN	NN	NN	NN
10	NN	NN	NN	NN	NN
20	NN	NN	NN	NN	NN
30	NN	NN	NN	NN	NN
40	NN	NN	NN	NN	NN
50	NN	NN	NN	NN	NN
60	NN	NN	NN	NN	1.9
70	NN	NN	NN	NN	10.1
80	NN	1.3	NN	7.1	18.3
90	NN	2.9	NN	28.6	26.5
100	3.0	4.5	4.0	50.0	34.7

瓶颈水平分析采用上限回归方法, NN表示不必要。Bottleneck level was analyzed by Ceiling Regression, and NN indicates unnecessary.

表 4 模糊集定性比较分析 (fsQCA) 对单因素的必要性分析
Table 4 Necessity analysis of single factor by fuzzy set Qualitative Comparative Analysis (fsQCA)

影响因素 Influencing factor	结果 Result	
	农业低碳排放 Low-carbon emissions of agriculture	农业非低碳排放 Non-low-carbon emissions of agriculture
农业机械化 Agricultural mechanization	0.742	0.431
非农业机械化 Non-agricultural mechanization	0.389	0.705
农业财政支持 Agricultural financial support	0.549	0.558
非农业财政支持 Non-agricultural financial support	0.539	0.533
农业技术人员 Agricultural technician	0.571	0.488
非农业技术人员 Non-agricultural technician	0.507	0.592
环境规制 Environmental regulation	0.674	0.499
非环境规制 Non-environmental regulation	0.423	0.601
农业产业结构合理化 Rationalization of agricultural industrial structure	0.722	0.364
非农业产业结构合理化 Non-rationalization of agricultural industrial structure	0.374	0.736

0.750; 根据案例数量, 将案例频数阈值设定为 1。由于没有充分的证据和理论证明某个影响因素一定导致农业低碳排放或非低碳排放, 因此遵从谨慎性原则, 在反事实分析时, 假设单个影响因素的存在与缺失均可贡献农业低碳排放或非低碳排放。通过中间解和简约解的嵌套关系对比来识别每个解的核心条件和边缘条件: 即在中间解和简约解中都出现的影响因素为该解的核心条件, 只在中间解中出现的影响因素为边缘条件^[35]。组态分析结果如表 5 所示。

1) 农业低碳排放的组态分析

组态分析结果 (表 5) 显示, 农业低碳排放的影响路径有 4 条 (组态 1、组态 2a、组态 2b 和组态 3), 其一致性分别为 0.887、0.969、0.991 和 0.982, 均高于 0.800, 总体一致性为 0.938, 说明 4 条影响路径均为形成农业低碳排放的充分条件, 其中组态 2a 和组态 2b 的核心条件相同, 构成了二阶等价组态^[30], 归并为一类。遵循组态命名的简洁性原则, 根据驱动农业低碳排放的核心条件将 4 条影响因素组态命名为: 机械主导型 (组态 1)、机械—结构协同型 (组态 2a 和 2b) 以及结构—环境协同型 (组态 3)。下面结合典型案例详细分析影响农业低碳排放的每条影响因

素组态。

机械主导型。组态 1 说明以高机械化水平和非高农业财政支持为核心条件, 互补高农业技术人员和高环境规制为边缘条件的影响因素组合可充分形成农业低碳排放。该组态的原始覆盖度为 0.283, 唯一覆盖度为 0.086, 说明农业低碳排放的案例中 28.3% 的省份能被该组态解释, 其中 8.6% 的省份只能被这条组态解释, 典型案例为江苏、河南以及四川。农业机械化通过资源合理配置来降低农业碳排放, 加之农业技术人员较多, 便于先进生产技术扩散。同时, 比较严苛的环境规制督促农业生产者提高环保意识, 更有利于降低农业碳排放。比如, 河南作为我国农业大省, 2017 年末农业机械总动力 10 038 万 kW·h, 全国排名第 2, 农业技术人员 3 万人, 高水平的农业机械化代表先进生产技术, 相应比较多的农业技术人员使先进生产技术快速扩散, 加之较严苛的环境规制, 为发展低碳农业奠定良好条件。

机械—结构协同型。组态 2a 以高农业机械化水平和高农业产业结构合理化为核心条件, 非高农业财政支持和非高农业技术人员为边缘条件, 原始覆盖度为 0.202, 唯一覆盖度为 0.058, 说明农业低碳排

表 5 农业碳排放影响因素的组态结果

Table 5 Configuration results of factors influencing agricultural carbon emissions

影响因素 Influencing factor	农业低碳排放 Low-carbon emissions of agriculture				农业非低碳排放 Non-low-carbon emissions of agriculture		
	组态1 Configuration 1	组态2a Configuration 2a	组态2b Configuration 2b	组态3 Configuration 3	组态4a Configuration 4a	组态4b Configuration 4b	组态5 Configuration 5
	Configuration 1	Configuration 2a	Configuration 2b	Configuration 3	Configuration 4a	Configuration 4b	Configuration 5
农业机械化 Agricultural mechanization	●	●	●		⊗	⊗	⊗
农业财政支持 Agricultural financial support	⊗	⊗			⊗		●
农业技术人员 Agricultural technician	●	⊗		⊗		⊗	●
环境规制 Environmental regulation	●		●	●	●	●	⊗
农业产业结构合理化 Rationalization of agricultural industrial structure		●	●	●	⊗	⊗	●
一致性 Consistency	0.887	0.969	0.991	0.982	0.850	0.874	0.851
原始覆盖度 Raw coverage	0.283	0.202	0.425	0.257	0.179	0.202	0.066
唯一覆盖度 Unique coverage	0.086	0.058	0.080	0.043	0.046	0.069	0.031
总体一致性 Solution consistency		0.938				0.926	
总体覆盖度 Solution coverage		0.611				0.427	

●表示核心条件存在, ⊗表示核心条件缺失, ●表示边缘条件存在, ⊗表示边缘条件缺失, 空白表示该条件可存在也可缺失。对影响农业非低碳排放真值表进行标准化分析时, 需要对质蕴涵项选择, 本研究选择“非农业机械化×农业技术人员×非环境规制”, “×”表示“且”。● indicates existence of core conditions, ⊗ indicates absence of core conditions, ● indicates existence of edge conditions, ⊗ indicates absence of edge conditions, and blank indicates that the condition can exist or be missing. When conducting standardized analysis on truth tables that affect non-low-carbon emissions of agriculture, we need select prime implicant. The prime implicant in this study is “non-agricultural mechanization × agricultural technician × non-environmental regulation”, and “×” indicates “and”.

放的案例中 20.2% 的省份能被该组态解释, 其中 5.8% 仅能被该组态解释, 典型案例为安徽、湖北和广东。组态 2b 以高农业机械化水平和高农业产业结构合理化为核心条件, 高环境规制为边缘条件, 原始覆盖度为 0.425, 唯一覆盖度为 0.080, 说明农业低碳排放的案例中 42.5% 的省份能被该组态来解释, 其中 8% 仅能被该组态解释, 典型案例为广西、云南与湖南。比较组态 2a 和 2b 发现, 两者的核心条件相同, 只是边缘条件不同。可见, 只要高水平的农业机械化与较合理的农业产业结构同时存在, 即使农业财政支持力度不强、农业技术人员数量不够, 也能驱动农业低碳排放结果的产生, 若再以稍严苛的环境规制作为辅助, 农业碳减排效应更明显。以安徽省为例, 2017 年安徽省农业机械总动力 6313 万 kW·h, 全国排名第 4, 泰尔指数-0.59, 林业产值占农林牧渔业总产值的 6.9%, 明显高于全国平均水平, 高水平的农业机械化和较合理的农业产业结构相互促进, 共同抑制农业碳排放。

结构—环境协同型。组态 3 指出以非高农业技术人员、高环境规制和高农业产业结构合理化为核心条件的影响因素组合可形成农业低碳排放。该组态的原始覆盖度为 0.257, 唯一覆盖度为 0.043, 说明农业低碳排放的案例中 25.7% 的省份能被该条组态解释, 其中仅有 4.3% 只能被该组态解释, 典型案例为福建和江西。当农业产业结构合理化程度高时, 农林牧渔各部门之间资源配置合理, 本就有助于降低农业碳排放, 再加之严苛的环境规制, 进一步促进了农业产业结构合理化的减碳效应。比如福建省, 2017 年末泰尔指数为-0.80, 林业产值占农林牧渔业总产值的 8.3%, 全国排名第 4, 充分发挥了林业的固碳效应, 并且环境规制水平较高, 约束农业生产者采用高污染和高排放的生产方式。

2) 农业非低碳排放的组态分析

表 5 显示, 农业非低碳排放的影响路径有 3 条(组态 4a、组态 4b 和组态 5), 其一致性分别为 0.850、0.874 和 0.851, 均高于 0.800, 总体一致性为 0.926, 说明 3 条影响路径都是导致农业非低碳排放的充分条件, 3 条路径中组态 4a 和组态 4b 的核心条件相同, 构成了二阶等价组态, 归并为一类。根据导致农业非低碳排放的核心条件将影响因素组态命名为: 机械—结构缺失型(组态 4a 和 4b) 和机械—环境缺失型(组态 5), 下面结合典型案例详细分析影响农业非低碳排放的每条影响因素组态。

机械—结构缺失型。组态 4a 以非高农业机械化

水平和非高农业产业结构合理化为核心条件, 非高农业财政支持和高环境规制为边缘条件, 原始覆盖度为 0.179, 唯一覆盖度为 0.046, 说明农业非低碳排放的案例中 17.9% 的省份能被该组态解释, 其中有 4.6% 仅能被该组态解释, 典型案例为陕西。组态 4b 的核心条件与组态 4a 相同, 边缘条件为非高农业技术人员和高环境规制, 原始覆盖度为 0.202, 唯一覆盖度为 0.069, 表明农业非低碳排放的案例中 20.2% 的省份能被该组态解释, 其中 6.9% 只能被该组态解释, 典型案例为天津、宁夏和辽宁。结合组态 4a 与 4b 来看, 即使环境规制比较严苛, 但农业机械化水平低且农业产业结构合理化程度低, 仍然会导致农业非低碳排放。当农业机械化水平低, 并且农业产业结构不合理时, 两者相互制约, 农业生产效率低, 加之农业技术人员较少, 或农业财政支持力度不够, 农业技术创新与推广均比较困难, 即使比较严苛的环境规制对降低农业碳排放也无济于事。比如, 辽宁省 2017 年末农业机械总动力才达到 2215 万 kW·h, 泰尔指数为-1.43, 发展低碳农业的两个关键条件均缺失, 致使辽宁省农业碳排放强度处于全国前十。

机械—环境缺失型。组态 5 以非高农业机械化水平、高农业技术人员和非高环境规制为核心条件, 高农业财政支持和高农业产业结构合理化为边缘条件, 原始覆盖度为 0.066, 唯一覆盖度为 0.031, 说明农业非低碳排放的案例中仅有 6.6% 的省份能被该组态解释, 并且其中仅有 3.1% 的省份只能被该组态解释, 典型案例为山西。农业机械化水平本就较低, 加之环境规制压力小, 致使农业生产经营者技术创新动力不足, 无法改变农业机械化水平低的现状, 但是农业技术人员较多, 导致技术资源与人力资源不匹配, 严重阻碍低碳农业发展, 即使大力度的财政支农和较合理的农业产业结构也无法抵消农业机械化水平低和环境规制松散对低碳农业发展的阻力。2017 年末山西省农业机械总动力为 1376 万 kW·h, 但农业技术人员超过 2 万人, 技术资源与人力资源匹配不合理, 此外该省以降低工业碳排放为主导, 农业环境规制水平较低, 其农业碳排放强度居全国第 6 位, 与农业发展水平严重失衡。

3.3 稳健性检验

本研究已采用两种方法分析了单因素的必要性(具体结果见本文电子版附件: <http://www.ecoagri.ac.cn/article/doi/10.12357/cjca.20240087>), 结果比较稳健, 下面对影响因素组态分析的稳健性进行检验。QCA 分析是一种集合论方法, 若改变部分参数产生的结

果间存在子集合关系,不改变实质性结论时,视为结果稳健,通常通过改变原始一致性阈值、PRI 一致性或案例数量等方法进行稳健性检验^[37]。分别将原始一致性由原来的 0.80 调高到 0.85, PRI 由原来的 0.75 调低到 0.70,两种稳健性检验方法得到的影响因素组态与原组态一一对应,表明农业碳排放影响因素的组态分析结果具有很好的稳健性。

4 结论与建议

4.1 结论

本研究基于 TOE 框架,结合投入产出模型、fsQCA 以及 NCA 分析方法,对农业碳排放影响因素展开组态分析,并得到下列结论: 1) 采用 NCA 与 fsQCA 相结合的方法对单因素必要性进行分析发现,农业机械化、农业财政支持、农业技术人员、环境规制以及农业产业结构合理化 5 个影响因素均非产生农业低(非低)碳排放的必要条件。2) 采用 fsQCA 进行组态分析发现 4 条形成农业低碳排放的影响路径,概括核心因素总结为机械主导型、机械-结构协同型以及结构-环境协同型,4 条影响路径的总体覆盖度为 0.611,能解释 50% 以上的农业低碳排放案例省份;同时,发现 3 条导致农业非低碳排放的影响路径,概括核心因素总结为机械-结构缺失型和机械-环境缺失型,总体覆盖度为 0.427,可解释近 50% 的农业非低碳排放案例省份。3) 综合农业低碳排放与非低碳排放的影响路径来看,农业机械化、农业产业结构合理化和环境规制是影响农业碳排放的关键因素。农业低碳排放的 4 条影响路径中,至少包含 3 个因素中的 1 个,农业非低碳排放的 3 条影响路径中,均缺失 3 因素中的 2 个因素。

4.2 建议

单一因素并不是发展低碳农业的必要条件,只有技术、组织和环境相互促进才能实现农业低碳发展,各省应基于整体视角,有针对性地制定促进农业低碳发展的联动机制。具体而言: 第一,农业资源禀赋较好的省应大力推动农业低碳技术创新,拓展技术扩散渠道,同时制定适度的环境规制措施,以技术创新为主导,技术扩散与环境规制为辅助来推动农业低碳发展;技术创新与扩散难度较大的省应优化农业产业结构,使农林牧渔业协同发展,在保证粮食充分安全的情况下,适度发展林业,以充分发挥林业的固碳效应,同时加强环境规制,实现农业产业结构合理化与环境规制耦合,共同促进农业低碳发展。第二,农业机械化、产业结构与环境规制是影响农

业碳排放的关键因素,政府应优化农机购置与应用补贴政策,推进农机化作业服务平台建设,提高农业耕种收机械化水平;积极制定相关政策,引导农业产业结构持续优化;完善农业碳排放监管制度,约束农业生产者采用高污染和高排放的生产方式。第三,政府应积极宣传农业低碳发展政策,开展农业低碳生产技术培训交流活动,让农业生产经营主体,尤其是小农户了解什么是低碳农业,如何使用农业低碳生产技术;同时,加大农业财政支持力度,鼓励农业科研机构与新型农业经营主体积极研发并推广农业低碳技术,推动农业低碳发展。

文中附件见电子版资源附件: <http://www.ecoagri.ac.cn/cn/article/doi/10.12357/cjea.20240087>。

参考文献 References

- [1] KAYA Y. Impact of Carbon Dioxide Emission on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios[R]. Paris: Presentation to the Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, IPCC, 1989
- [2] 韩岳峰, 张龙. 中国农业碳排放变化因素分解研究——基于能源消耗与贸易角度的 LMDI 分解法[J]. 当代经济研究, 2013(4): 47–52
HAN Y F, ZHANG L. Decomposition of agricultural carbon emissions in China — LMDI decomposition method based on energy consumption and trade[J]. Contemporary Economic Research, 2013(4): 47–52
- [3] 吴贤荣, 张俊飏. 中国省域农业碳排放: 增长主导效应与减排退耦效应[J]. 农业技术经济, 2017(5): 27–36
WU X R, ZHANG J B. Agricultural carbon emissions at provincial level in China: growth leading effect and decoupling effect of emission reduction[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2017(5): 27–36
- [4] 鲁钊阳. 省域视角下农业科技进步对农业碳排放的影响研究[J]. 科学学研究, 2013, 31(5): 674–683
LU Z Y. The influence from the progress of agricultural science and technology to agricultural carbon emission based on provincial point[J]. Studies in Science of Science, 2013, 31(5): 674–683
- [5] 陈银娥, 陈薇. 农业机械化、产业升级与农业碳排放关系研究——基于动态面板数据模型的经验分析[J]. 农业技术经济, 2018(5): 122–133
CHEN Y E, CHEN W. A study on the relationship among agricultural mechanization, industrial upgrading and agricultural carbon emission — The empirical research based on dynamic panel data model[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2018(5): 122–133
- [6] 张颂心, 王辉, 徐如浓. 科技进步、绿色全要素生产率与农业碳排放关系分析——基于泛长三角 26 个城市面板数据[J]. 科技管理研究, 2021, 41(2): 211–218
ZHANG S X, WANG H, XU R N. Analysis on the relationship

- between science and technology progress, green total factor productivity and agricultural carbon emission: based on Pan Yangtze River Delta 26 city panel data[J]. *Science and Technology Management Research*, 2021, 41(2): 211–218
- [7] 吉雪强, 刘慧敏, 张跃松. 中国农地流转对农业碳排放强度的影响及作用机制研究[J]. *中国土地科学*, 2023, 37(2): 51–61
- JI X Q, LIU H M, ZHANG Y S. Study on the influence of rural land transfer on agricultural carbon emission intensity and its mechanism in China[J]. *China Land Science*, 2023, 37(2): 51–61
- [8] 张广胜, 王珊珊. 中国农业碳排放的结构、效率及其决定机制[J]. *农业经济问题*, 2014, 35(7): 18–26, 110
- ZHANG G S, WANG S S. China's agricultural carbon emission: structure, efficiency and its determinants[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2014, 35(7): 18–26, 110
- [9] 田云, 张俊飏, 陈池波. 中国低碳农业发展的空间异质性及影响机理研究[J]. *中国地质大学学报(社会科学版)*, 2016, 16(4): 33–44, 156
- TIAN Y, ZHANG J B, CHEN C B. Research on the regional differences and influencing mechanism of low-carbon agricultural development in China[J]. *Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition)*, 2016, 16(4): 33–44, 156
- [10] 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
- TIAN Y, YIN M H. Re-evaluation of China's agricultural carbon emissions: basic status, dynamic evolution and spatial spillover effects[J]. *Chinese Rural Economy*, 2022(3): 104–127
- [11] 姚增福. 环境规制、农业投资与农业环境效率趋同——“波特假说”和投资调整成本整合框架的分析[J]. *统计研究*, 2020, 37(8): 50–63
- YAO Z F. Environmental regulation, agricultural investment and the convergence of agricultural environmental efficiency — An analysis of the integrated framework of “Porter Hypothesis” and investment adjustment cost[J]. *Statistical Research*, 2020, 37(8): 50–63
- [12] 吴贤荣, 张俊飏, 田云, 等. 中国省域农业碳排放: 测算、效率变动及影响因素研究——基于 DEA-Malmquist 指数分解方法与 Tobit 模型运用[J]. *资源科学*, 2014, 36(1): 129–138
- WU X R, ZHANG J B, TIAN Y, et al. Provincial agricultural carbon emissions in China: calculation, performance change and influencing factors[J]. *Resources Science*, 2014, 36(1): 129–138
- [13] 程琳琳, 张俊飏, 田云, 等. 中国省域农业碳生产率的空间分异特征及依赖效应[J]. *资源科学*, 2016, 38(2): 276–289
- CHENG L L, ZHANG J B, TIAN Y, et al. The spatial variation characteristics and dependency of agricultural carbon productivity in China[J]. *Resources Science*, 2016, 38(2): 276–289
- [14] RAGIN C C. *Redesigning Social Inquiry: Fuzzy Sets and Beyond*[M]. Chicago: University of Chicago Press, 2008
- [15] TORNATZKY L G, FLEISCHER M. The processes of technological innovation[J]. *The Journal of Technology Transfer*, 1991, 16(1): 45–46
- [16] 邱泽奇. 技术与组织: 多学科研究格局与社会学关注[J]. *社会学研究*, 2017, 32(4): 167–192, 245–246
- QIU Z Q. Technology and organization: themes and theoretical trends in sociology and other disciplines[J]. *Sociological Studies*, 2017, 32(4): 167–192, 245–246
- [17] 厉以宁, 朱善利, 罗来军, 等. 低碳发展作为宏观经济目标的理论探讨——基于中国情形[J]. *管理世界*, 2017(6): 1–8
- LI Y N, ZHU S L, LUO L J, et al. Theoretical discussion on low-carbon development as macro-economic goal — Based on the situation in China[J]. *Management World*, 2017(6): 1–8
- [18] 闫华飞, 牛兰兰, 肖静. TOE 框架下地区碳减排的组态路径研究[J]. *管理科学*, 2023, 36(3): 35–48
- YAN H F, NIU L L, XIAO J. Research on the configuration path of regional carbon emission reduction under the framework of TOE[J]. *Journal of Management*, 2023, 36(3): 35–48
- [19] TAKESHIMA H. Mechanize or exit farming? Multiple-treatment-effects model and external validity of adoption impacts of mechanization among Nepalese smallholders[J]. *Review of Development Economics*, 2018, 22(4): 1620–1641
- [20] BENIN S. Impact of Ghana's agricultural mechanization services center program[J]. *Agricultural Economics*, 2015, 46(S1): 103–117
- [21] 龚斌磊. 中国农业技术扩散与生产率区域差距[J]. *经济研究*, 2022, 57(11): 102–120
- GONG B L. Technology diffusion and regional productivity gaps in China's agricultural sector[J]. *Economic Research Journal*, 2022, 57(11): 102–120
- [22] 常向阳, 韩园园. 农业技术扩散动力及渠道运行对农业生产效率的影响研究——以河南省小麦种植区为例[J]. *中国农村观察*, 2014(4): 63–70, 96
- CHANG X Y, HAN Y Y. A research about effects of agricultural technology diffusion power and channel operation on farmers' production efficiency — Based on the data of Henan wheat planting area[J]. *China Rural Survey*, 2014(4): 63–70, 96
- [23] 公茂刚, 李汉瑾. 百年探索: 中国共产党财政支农政策演进逻辑与趋势[J]. *地方财政研究*, 2021(8): 47–57, 85
- GONG M G, LI H J. A century's exploration: the evolution logic and trend of the Communist Party of China's fiscal policy of supporting agriculture[J]. *Sub National Fiscal Research*, 2021(8): 47–57, 85
- [24] PORTER M E, LINDE C V D. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship[J]. *Journal of Economic Perspectives*, 1995, 9(4): 97–118
- [25] 马玉婷, 高强, 杨旭丹. 农村劳动力老龄化与农业产业结构升级: 理论机制与实证检验[J]. *华中农业大学学报(社会科学版)*, 2023(2): 69–79
- MA Y T, GAO Q, YANG X D. Aging of rural labor force and the upgrading of agricultural industrial structure: theoretical mechanism and empirical test[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2023(2): 69–79
- [26] 徐丽笑, 王亚菲. 我国城市碳排放核算: 国际统计标准测度与方法构建[J]. *统计研究*, 2022, 39(7): 12–30
- XU L X, WANG Y F. City carbon emission accounting in China: international statistical standards measurement and methodology construction[J]. *Statistical Research*, 2022, 39(7): 12–30

- 12-30
- [27] 杜运周, 刘秋辰, 陈凯薇, 等. 营商环境生态、全要素生产率与城市高质量发展的多元模式——基于复杂系统观的组态分析[J]. *管理世界*, 2022, 38(9): 127-145
- DU Y Z, LIU Q C, CHEN K W, et al. Ecosystem of doing business, total factor productivity and multiple patterns of high-quality development of Chinese cities: a configuration analysis based on complex systems view[J]. *Journal of Management World*, 2022, 38(9): 127-145
- [28] 陶克涛, 张术丹, 赵云辉. 什么决定了政府公共卫生治理绩效? ——基于 QCA 方法的联动效应研究[J]. *管理世界*, 2021, 37(5): 128-138, 156
- TAO K T, ZHANG S D, ZHAO Y H. What dose determine performance of government public health governance? A study on co-movement effect based on QCA[J]. *Management World*, 2021, 37(5): 128-138, 156
- [29] 王凤彬, 江鸿, 王聰. 央企集团管控架构的演进: 战略决定、制度引致还是路径依赖? ——一项定性比较分析 (QCA) 尝试[J]. *管理世界*, 2014(12): 92-114, 187-188
- WANG F B, JIANG H, WANG C. The evolution of the control framework China's central SOEs: is it strategy determined, institution driven, or dependence on the path? — An attempt of a quality comparative analysis[J]. *Management World*, 2014(12): 92-114, 187-188
- [30] FISS P C. Building better causal theories: a fuzzy set approach to typologies in organization research[J]. *Academy of Management Journal*, 2011, 54(2): 393-420
- [31] DUL J. Necessary condition analysis (NCA): logic and methodology of 'necessary but not sufficient' causality[J]. *SSRN Electronic Journal*, 2015, 19(1): 10-52
- [32] SHAN Y L, HUANG Q, GUAN D B, et al. China CO₂ emission accounts 2016-2017[J]. *Scientific Data*, 2020, 7: 54
- [33] 马国群, 谭砚文. 环境规制对农业绿色全要素生产率的影响研究——基于面板门槛模型的分析[J]. *农业技术经济*, 2021(5): 77-92
- MA G Q, TAN Y W. Impact of environmental regulation on agricultural green total factor productivity — Analysis based on the panel threshold model[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2021(5): 77-92
- [34] 干春晖, 郑若谷, 余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. *经济研究*, 2011, 46(5): 4-16, 31
- GAN C H, ZHENG R G, YU D F. An empirical study on the effects of industrial structure on economic growth and fluctuations in China[J]. *Economic Research Journal*, 2011, 46(5): 4-16, 31
- [35] 杜运周, 刘秋辰, 程建青. 什么样的营商环境生态产生城市高创业活跃度? ——基于制度组态的分析[J]. *管理世界*, 2020, 36(9): 141-155
- DU Y Z, LIU Q C, CHENG J Q. What kind of ecosystem for doing business will contribute to city-level high entrepreneurial Activity? A research based on institutional configurations[J]. *Management World*, 2020, 36(9): 141-155
- [36] SCHNEIDER C Q, WAGEMANN C. Set-Theoretic Methods for the Social Sciences[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2012
- [37] 张明, 杜运周. 组织与管理研究中 QCA 方法的应用: 定位、策略和方向[J]. *管理学报*, 2019, 16(9): 1312-1323
- ZHANG M, DU Y Z. Qualitative comparative analysis (QCA) in management and organization research: position, tactics, and directions[J]. *Chinese Journal of Management*, 2019, 16(9): 1312-1323