

分类号 \_\_\_\_\_  
U D C \_\_\_\_\_

密级 \_\_\_\_\_  
编号 10741

兰州财经大学

LANZHOU UNIVERSITY OF FINANCE AND ECONOMICS

硕士学位论文

论文题目 数字普惠金融如何影响农业生态效率  
——基于空间溢出效应分析

研究生姓名: 王子源

指导教师姓名、职称: 黄恒君 教授

学科、专业名称: 应用统计

研究方向: 社会经济统计分析

提交日期: 2024 年 6 月 3 日

## 独创性声明

本人声明所提交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名： 王子源 签字日期： 2024年6月3日

导师签名： 黄恒君 签字日期： 2024年6月3日

导师(校外)签名： \_\_\_\_\_ 签字日期： \_\_\_\_\_

## 关于论文使用授权的说明

本人完全了解学校关于保留、使用学位论文的各项规定， 同意 (选择“同意” / “不同意”) 以下事项：

1. 学校有权保留本论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文；

2. 学校有权将本人的学位论文提交至清华大学“中国学术期刊(光盘版)电子杂志社”用于出版和编入 CNKI《中国知识资源总库》或其他同类数据库，传播本学位论文的全部或部分内容。

学位论文作者签名： 王子源 签字日期： 2024年6月3日

导师签名： 黄恒君 签字日期： 2024年6月3日

导师(校外)签名： \_\_\_\_\_ 签字日期： \_\_\_\_\_

**The impact of digital financial inclusion on  
agroecological efficiency: theoretical frame-  
work, mechanism analysis and spatial spillo-  
ver effects**

**Candidate : Wang Zi-yuan**

**Supervisor : Huang Heng-jun**

## 摘要

传统金融服务出于信息采集、服务门槛、风险控制等原因难以实现农户的融资需求，一定程度上阻碍了生态农业发展；而数字普惠金融拓宽了农业资本要素的获取渠道，为农业生态效率的进一步提升奠定了基础。基于此，应针对数字普惠金融对农业生态效率影响的机制、路径与模式进行研究。

文章基于农业可持续发展理论、空间计量经济学理论和极化-涓滴理论，运用超效率 DEA-SBM 模型、随机前沿分析方法、莫兰指数检验以及空间杜宾模型，剔除环境因素、随机扰动和管理无效带来的影响，进行农业生态效率测度，探究空间聚集关系、各变量间相互作用，并进行空间溢出效应分析。主要结论如下：

(1)数字普惠金融出于门槛低、效率高，减少信息不对称、促进科技进步，以及农业生产的特殊性三方面因素，对农业生态效率提升的促进作用显著，且具有空间溢出效应。

(2)中国农业生态效率表现为先上升、后下降、再上升的趋势，总体位于高水平区间，生态效率最高省份同最低省份差距较大，省际差异明显。此外，政策因素和环境因素也是导致某些省份农业生态效率与实际不符的成因，故农业生态效率虚高的省份应找准自身症结、对症下药；农业生态效率偏低的省份应排除不利因素，切实提高生态效率，将干扰因素对自身影响降到最小。

(3)数字普惠金融能有效助力本地区及其相邻省份和地区农业生态效率的提高；城镇化率、科研投入、农村人力资本和农业资源禀赋因素对农业生态效率的影响也表现出不同的直接效应和间接效应。

基于上述分析，我国应加强生态农业建设顶层设计，因地制宜解决省际差异问题，同时采取措施增强数字普惠金融的正外部性，注重数字普惠金融建设与其他因素相匹配，以促进知识与技术的流通，多角度助力生态农业发展。

**关键词：**数字普惠金融 农业生态效率 三阶段超效率SBM模型 空间溢出效应

## Abstract

Traditional financial services are difficult to meet the financing needs of farmers due to information collection, service threshold, risk control and other reasons, which hinders the development of ecological agriculture to a certain extent. Digital inclusive finance broadens the access to agricultural capital factors and lays a foundation for further improvement of agricultural eco-efficiency. Based on this, the mechanism, path and mode of the impact of digital inclusive finance on agricultural eco-efficiency should be studied.

Based on the theory of agricultural sustainable development, spatial econometrics and polarization-trickle-down theory, this paper uses super-efficiency DEA-SBM model, stochastic frontier analysis method, Moran's index test and spatial Durbin model to eliminate the influence of environmental factors, random disturbance and management inefficiency, measure agricultural eco-efficiency, explore spatial aggregation relationship and interaction among variables, and analyze spatial spillover effect. The main conclusions are as follows :

(1) Digital inclusive finance has a significant role in promoting the improvement of agricultural eco-efficiency and has a spatial spillover effect due to three factors : low threshold, high efficiency, reducing information asymmetry, promoting scientific and technological progress, and the particularity of agricultural production.

(2) China 's agricultural eco-efficiency shows a trend of rising first, then falling, and then rising again. It is generally located in a high-level interval. There is a large gap between the provinces with the highest eco-efficiency and the lowest provinces, and the inter-provincial differences are obvious. In addition, policy factors and environmental factors are also the causes of the inconsistency between the agricultural ecological efficiency and the actual situation in some provinces. Therefore, the provinces with high agricultural ecological efficiency should find their own crux and suit the remedy to the case. Provinces with low agricultural eco-efficiency should eliminate unfavorable factors, effectively improve eco-efficiency, and minimize the impact of interference factors on themselves.

(3) Digital inclusive finance can effectively help the region and its neighboring provinces and regions to improve the efficiency of agricultural ecology ; the influence of urbanization rate, scientific research investment, rural human capital and agricultural resource endowment factors on agricultural ecological efficiency also shows different direct and indirect effects.

Based on the above analysis, China should strengthen the top-level design of ecological agriculture construction, solve the problem of inter-provincial differences according to local conditions, and take measures to enhance the positive externalities of digital inclusive finance, pay attention to the matching of digital inclusive finance construction with other factors,

so as to promote the circulation of knowledge and technology, and help the development of ecological agriculture from multiple perspectives.

**Keywords:** Digital inclusive finance; Agricultural ecological efficiency; Three-stage super-efficiency SBM model; Spatial spillover effect

# 目 录

<b>1 绪 论 .....</b>	<b>1</b>
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究意义.....	1
1.3 研究综述.....	2
1.3.1 农业生态效率的测度.....	2
1.3.2 数字普惠金融助力生态农业建设机理.....	3
1.3.3 空间计量模型选择与应用.....	4
1.3.4 空间溢出效应分解.....	4
1.3.5 文献评述.....	5
1.4 研究内容与方法.....	6
1.4.1 研究内容.....	6
1.4.2 研究方法.....	7
1.4.3 技术路线.....	7
1.5 研究的创新点.....	9
<b>2 数字普惠金融对农业生态效率的影响机制分析 .....</b>	<b>10</b>
2.1 数字普惠金融与农业生态效率的概念界定.....	10
2.1.1 数字普惠金融.....	10
2.1.2 农业生态效率.....	10
2.2 理论基础.....	11
2.2.1 农业可持续发展理论.....	11
2.2.2 空间计量经济学方法.....	12
2.2.3 极化-涓滴理论 .....	12
2.3 影响路径与机理分析.....	13
<b>3 中国省际农业生态效率测算分析 .....</b>	<b>15</b>
3.1 农业生态效率测算方法.....	15
3.1.1 三阶段超效率 DEA-SBM 模型构建.....	15
3.1.2 农业生态效率评价指标体系构建.....	17
3.1.3 数据来源.....	19



3.2 农业生态效率总体特征.....	19
3.3 农业生态效率省际差异分析.....	21
3.4 本章小结.....	22
<b>4 数字普惠金融对农业生态效率的影响及空间溢出效应分析 .....</b>	<b>24</b>
4.1 研究方法.....	24
4.1.1 空间自相关检验.....	24
4.1.2 模型构建与变量选取.....	24
4.1.3 数据来源.....	26
4.2 数字普惠金融与农业生态效率的空间格局.....	26
4.3 数字普惠金融对农业生态效率的空间溢出效应分析.....	28
4.3.1 数字普惠金融对农业生态效率的基准回归.....	28
4.3.2 直接效应与空间溢出效应.....	31
4.3.3 稳健性检验.....	35
4.4 本章小结.....	36
<b>5 结论与启示 .....</b>	<b>38</b>
5.1 结论.....	38
5.2 启示.....	40
<b>参考文献 .....</b>	<b>42</b>
<b>致 谢 .....</b>	<b>47</b>

# 1 绪论

## 1.1 研究背景

乡村作为自然、社会、经济特征的地域综合体，兼具生产、生活、生态、文化等多重功能，这决定了筑牢现代化经济体系基础，必须坚持乡村振兴战略，实现百姓富、生态美的统一。我国《“十四五”数字经济发展规划》特别指出，数字化服务已成为满足人民美好生活需要的重要途径，同时期《中国数字经济发展报告(2023年)》显示，2022年中国数字经济规模占GDP比重达四成以上，是我国社会的重要经济形态。反观农业发展情况，改革开放以来中国农业产出不断提高，但农业污染和碳排放量同样居高不下，《第二次全国污染源普查公报》显示，2017年中国农业化学需氧量、总氮和总磷的排放量分别为1067.13万吨、141.49万吨和21.20万吨，农业面源污染严重、碳排放较高。因而在《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》中提出“实施金融支持绿色低碳发展专项政策”。农村产业要响应号召，实现“高产出、低污染”，一方面应发挥数字普惠金融引导社会资源更精准流向“三农”的作用，另一方面应厘清数字普惠金融是否能助力生态农业建设。

## 1.2 研究意义

本文研究目的在于首先构建一套行之有效的农业生态效率测度体系并运用三阶段超效率DEA模型进行测度，其次使用空间计量方法分析数字普惠金融是否对生态农业建设有所影响，最后探究数字普惠金融本身性质所导致的空间溢出效应是否能够助力生态农业建设。

我国《“十四五”数字经济发展规划》特别指出，数字化服务已成为满足人民美好生活需要的重要途径，“加快数字社会建设步伐”是大势所趋，数字经济是继农业经济、工业经济之后我国社会的重要经济形态，依托数字经济业态孵化的数字普惠金融，逐渐成为推动共同富裕和实现经济高质量发展的关键力量。改革开放以来我国“石油农业”得到快速发展，农业产出水平不断提高，但同样面临农业面源污染严重、碳排放高等问题。如何发展生态农业，利用数字普惠金融催化农业生态效率新业态是一个值得探究的议题。

(1)研究方式方法的意义：生态农业是一种可持续发展方式，重点在于综合投

入、期望产出、非期望产出三者之间的关系，衡量基本指标是农业生态效率。在当前背景下，“双碳”目标和高质量发展对生态农业建设提出了较高要求，因而评价农业生态效率，要兼顾资源消耗与生态保护，实现经济效益和生态效益“两手抓”。在农业非期望产出指标选择上，农业生产过程中产生的污染物主要来源是碳排放和面源污染，若忽略其中之一则可能导致效率测算不准确。因此本文将两种污染源同时纳入模型进行测算，科学计算中国省际农业生态效率。此外，学者们基于产业、社会、政策、人民生活、区位因素等角度分析提出的各类影响因素，作为数字普惠金融影响农业生态效率的发生途径时，与其直接作为影响农业生态效率的因变量时有所不同。这些变量在研究数字普惠金融对农业生态效率的空间溢出效应时无法直接基于现有研究结果作为参考，因而考察数字普惠金融影响农业生态效率的各种直接、间接效应尤为重要。

(2)政策制定完善的意义：从现实情况看，尽管我国生态农业建设卓有成效，但是资源紧缺、环境污染问题一直是制约农业发展的主要因素。本文将农业碳排放和面源污染同时纳入分析框架，运用超效率 SBM 和随机前沿分析测算中国省际农业生态效率，再根据莫兰检验结果分析指标聚集趋势，构建空间面板计量模型分析农业生态效率的空间溢出效应，以期更为准确地测算中国各省份农业生态效率，促进各地区农业部门实现资源、环境及经济的统筹兼顾，为后续制定有利于我国农业可持续发展的政策提供参考依据。

## 1.3 研究综述

研究数字普惠金融对农业生态效率的空间溢出效应主要包括三个方面，一是农业生态效率测度问题，二是数字普惠金融对农业生态效率影响路径，三是空间溢出效应分析。

### 1.3.1 农业生态效率的测度

生态效率一词最早由 Schaltegger 和 Sturm 于 1990 年提出，随后成为研究者以及企业管理者最为热衷的词汇之一(Hahn 等, 2010)。目前认为，生态效率是指通过合理配置自然、经济和社会要素，实现期望产出最大化、污染性产出最小化(唐燕、孟繁玥, 2021)，而农业生态效率则是生态效率在农业领域的引申和拓展(王宝义、张卫国, 2016)。学者们针对农业生态效率的测度最初使用的方法是

比值法(Moutinho 等, 2020), 但此方法无法应用于多种环境对生态效率的影响, 仅能胜任单一环境下农业生态效率的测度。为克服该障碍, 随后出现了生态稀缺法(吕彬、杨建新, 2006)、生命周期评价法(顾程亮等, 2016)、生态足迹法(Rees, 1992)、能值分析法(Odum, 1996), 以及随机前沿法(Aigner 等, 1977; Meeusen、Van Den Broeck, 1977)和数据包络分析法(Charnel, 1978)。这些方法各有其优缺点(聂弯、于法稳, 2017), 但其中最常用的是随机前沿分析法(SFA)和数据包络分析法(DEA)。由于数据包络分析法在处理多投入、多产出方面具有优势, 且在评价时无需预设函数关系, 很大程度上减少了研究的主观争议性, 因而成为学者评价农业生态效率最常使用的方法, 尤其适用于宏观评价。但是, 传统的径向 DEA 模型没有考虑使期望产出增加、非期望产出减少的技术变化, 使得度量值有偏, 因此 Tone 在 2001 年提出了基于投入、产出的环境效率评价模型, 即 SBM 模型(Tone, 2001), 后在 2004 年, Tone(2004)进一步提出了 SBM 拓展模型, 该模型实现了存在非期望产出的环境效率评价。在此基础上, 学者们进而使用超效率 DEA 模型(朴胜任、李健, 2019)、超效率 SBM 模型(李贝歌等, 2021)对生态效率展开研究。进一步研究发现, 农业生态效率的影响因素多种多样, 其分布也呈现出时空差异的特征。就其影响因素而言, 不同地区的生产特征、技术条件、能源结构和社会结构均对农业生态效率有所影响(田伟等, 2014), 具体而言, 农业经济水平、农业受灾率、农业机械密度、农业规模化水平、农民家庭经营收入比、财政支农水平、工业化水平、区位因素均不同程度地影响农业生态效率(王宝义、张卫国, 2018), 与农业经济、农业产业发展不同的是, 城市化水平、农林水事务支出的增加不仅不能提高农业生态效率, 反而会抑制发展(陈阳、穆怀中, 2022)。

### 1.3.2 数字普惠金融助力生态农业建设机理

数字普惠金融是数字技术与金融服务的有机结合, 具备解决传统金融服务中, 如高门槛和信息不对称等问题的潜力, 它能够为农业农村发展过程中面临的融资难题提供解决方案, 同时降低融资成本, 提高资金的可获得性。在当下, 数字普惠金融助力三农发展已经成为一个重要的议题。研究表明, 数字普惠金融能够促进农业生态化、产业化建设, 同时在改善农民生活方面也有所建树。有学者研究表明, 数字普惠金融能够推动农业农村现代化发展, 通过降低交易成本, 促进农

村经济增长(星焱, 2021), 同时创新金融服务模式(李晓园、刘雨濛, 2021), 促进农业生产经营者及涉农企业创新发展, 加强农户交流学习, 最终实现农业生态效率的提升。

### 1.3.3 空间计量模型选择与应用

Waldo Tobler 曾于 1970 年提出地物间相关性理论, 后被其总结为地理学第一定律。该理论认为地物之间存在一定的空间相关性, 一般来说距离越近则相关性越强; Anselin(1990)也曾系统论述过传统计量经济学中忽略空间因素将会导致实证偏误的可能。因此在乡村振兴阶段, 研究数字普惠金融助力农业生态效率提升的有关问题的研究应纳入空间计量模型进行考量。在空间计量视角, 学者们针对数字普惠金融助力农业农村发展进行了多方面研究。例如, 数字普惠金融可以赋能粮食体系韧性, 且不同地区作用差异显著(李明亮, 2023); 在解决相对贫困问题上, 数字普惠金融对微观家庭和宏观地区层面上均有所帮助, 同时展现出空间收敛性与空间相关性(杨鑫垚, 2023); 此外, 数字普惠金融还会影响农民收入(刘自强、张天, 2021)、促进创新发展(王洋等, 2021)、提升城镇化水平等(王永静、李慧, 2021)。这些影响均具备空间相关性, 且表现出一定的空间溢出、扩散效应。在建立空间计量模型之前, 首先应检验其空间相关性, 通过空间权重矩阵描述空间自相关的理论基础一般有三种, 分别是协方差思想(Moran's I)、减法思想(Geary's C)以及加法思想(Getis-Ord Gi), 莫兰指数检验由于其可靠性和适用性得到普遍认可。其次是构建空间计量模型, 主要为空间滞后模型、空间误差模型和空间杜宾模型, 从时间、空间或两角度结合进行分析。在数据选取方面, 虽然北京大学数字普惠金融指标体系也不能完整地反映整个中国数字普惠金融的全貌, 但就现实数据可获得性和科学性原则而言, 该数据具有一定代表性, 也是被学术界广泛认可和使用的一套数据(郭峰等, 2020)。

### 1.3.4 空间溢出效应分解

根据研究问题和选取指标的特殊性, 上述模型也会结合空间效应分解(Pace、LeSage, 2010), 从对自身内部和对外部地区两个方面进行分析, 同时搭配不同的空间权重矩阵(林光平等, 2005), 可以得到更确切的结果。有学者基于农业生态

效率时空差异进行分析发现,中国农业生态效率呈现出正向空间聚集现象(曾福生、刘俊辉,2019),同时表现出显著的空间非均衡特征和空间溢出效应。具体而言,农业生态效率高的省份具有正向空间溢出效应,农业生态效率低的省份则具有负向效应(侯孟阳、姚顺波,2019)。这一情况与数字普惠金融的特性较为相似,二者均具有空间聚集现象且表现出空间溢出效应。除此之外,空间溢出效应分解方法适用于各类具有地域间联系的指标的分析,如中国农村教育投资,发现模型中控制变量对被解释变量的直接效应(对本地区的影响)和间接效应(对邻近地区的影响)会呈现出同向或反向关系(陈鸣、姚旭兵,2020),即对本地区影响效应和对相邻地区的溢出效应均表现为促进(或削弱),或者对本地区表现为促进、对邻近地区表现为抑制作用。因而在构建空间计量模型的基础上应进一步使用空间溢出效应分解进行研究。

### 1.3.5 文献评述

综上所述,现有研究各有优点,但仍存在以下几点问题:

(1)农业生态效率测算问题。一是指标体系构建方面,学者们通过分析改革开放以来我国高投入、高产出的石油农业发展模式获知,大量使用农用机械和化肥、农药等农用化学品,一方面使我国农业获得了较高的产出,另一方面带来了较高的农业碳排放和较为严重的农业面源污染,因此,石油农业的发展有利有弊,二者间相互包含,为准确测算其为农业生态效率带来的正、负向效应,应结合上述研究的优势,正确区分农用机械、农药、化肥、农膜等农业投入带来的产出增加、碳排放增加、污染增加,通过投入-期望产出-非期望产出的逻辑进行区分,以此契合“双碳”背景下生态农业建设要求。二是模型选择方面,现有文献对农业生态效率的研究多种多样,方法、角度多元。基于学者们研究中的优点,采用三阶段超效率 DEA-SBM 模型进行测算,可以准确测算农业生态效率值、对生态有效的决策单元进行比较,同时该模型为非径向模型,该模型无需假定各项指标间同比例同方向变动,可以满足应用需求。

(2)研究内容问题。现有研究少有关于数字普惠金融对农业生态效率的影响,尤其是空间溢出效应方向,因而对该问题的研究拟分三个步骤进行。首先是模型及变量选取,综合考虑空间滞后模型、空间误差模型和空间杜宾模型的优缺点,

选取合适的空间计量模型对问题进行分析,同时结合现有文献,筛选合适的控制变量,以发现其对农业生态效率的影响是否不同于对农业经济、农业产业发展等指标的影响;其次构建空间邻接权重矩阵、地理距离空间权重矩阵和经济距离空间权重矩阵分析,探究不同空间因素下变量的影响程度和方向问题;最后进行空间效应分解和模型稳健性检验,考察解释变量和控制变量对被解释变量的影响在本地区及邻近地区上是否有所不同,并分析其成因。上述分析流程为研究数字普惠金融对农业生态效率的影响,尤其是空间计量分析方面,提供了一条较为逻辑自洽、行之有效的分析逻辑,能够较为合理且严谨地考察各指标间的影响;同时能够发现农业生态效率在受影响的因素上与其他农村农业经济、产业等指标的不同之处,为后续研究或政策的制定提供一定程度的参考。

## 1.4 研究内容与方法

### 1.4.1 研究内容

文章主体部分包含一个理论基础模块和两个实证分析模块,主要工作与研究内容如下:

(1)理论框架与机制分析。在这一部分,文章主要完成概念界定、理论梳理和机理分析。通过对农业生态效率和数字普惠金融的概念界定和理论梳理,可以整理出国内外有关学者的研究进程、研究在理论上的可行性,以及我国有关事业的发展情况;通过对研究内容影响路径和机理分析的阐述,可以明确数字普惠金融的建设与应用会直接影响农业生态效率,进而对周边地区产生溢出效应,从理论上证实了数字普惠金融对农业生态效率影响的存在,以及溢出效应产生的原因、路径及影响因素。

(2)农业生态效率测度。首先采用超效率 DEA-SBM 模型对农业生态效率进行测度,其次在第二阶段使用随机前沿分析方法,剔除数据中环境因素等带来的影响,最后对处理后的数据再次使用超效率 SBM 模型进行测度,得到剔除后的农业生态效率值。通过对决策单元的效率值进行比对,得出我国及各省份农业生态效率发展运行总体情况,实现对生态农业建设的分析。

(3)空间溢出效应分析。首先使用莫兰指数检验数字普惠金融与农业生态效率间是否存在空间相关性、用邻接标准权重矩阵下全局莫兰指数和局部莫兰指数

进行空间自相关检验,确定回归分析的合理性与必要性;其次构建空间滞后模型、空间误差模型和空间杜宾模型进行分析;最终基于回归模型结果,使用分解方法确定空间溢出效应是否存在,从而得出各项指标在数字普惠金融助力农业生态效率是否产生作用,以及作用的大小和方向。

### 1.4.2 研究方法

(1)文献研究法。通过搜集、整理、分析文献,真实完整地认识研究现状,本研究通过阅读大量文献,基本了解测算农业生态效率各种方法的优缺点,总结分析已有研究农业生态效率影响因素选取的指标,采用合适的方法进行研究,借鉴并构建研究所需的模型,并提出提升农业生态效率的对策建议。

(2)统计学与运筹学方法。本研究运用数据包络分析方法为后续的计量分析提供科学的基础。其中超效率模型可以对达到有效前沿的地区加以区分,三阶段DEA模型剔除了传统DEA模型会受到的环境因素和随机误差干扰的影响,能够贴近农业生产实际,测算更为准确。

(3)空间计量经济学方法。首先,使用空间自相关检验判断各地区的农业生态效率是否具有空间特征。其次,根据一系列计量检验,确定空间计量模型形式,并构建具体模型进行回归分析。最后,使用空间效应分解分析各变量的直接效应和间接效应。

### 1.4.3 技术路线

基于上述分析,本文研究思路主要包含三个部分,分别是选题依据的阐述,影响机制的分析,以及实证检验部分。具体而言,首先基于对相关史实、政策文件及有关研究文献的阐述梳理,确定选题;其次通过对研究有关概念的界定,及相关理论的阐述,分析数字普惠金融对农业生态效率的影响机理;最后使用空间计量模型进行实证检验,考察变量间的具体影响情况。最终基于上述三部分研究,得出结论并提出有关政策建议。



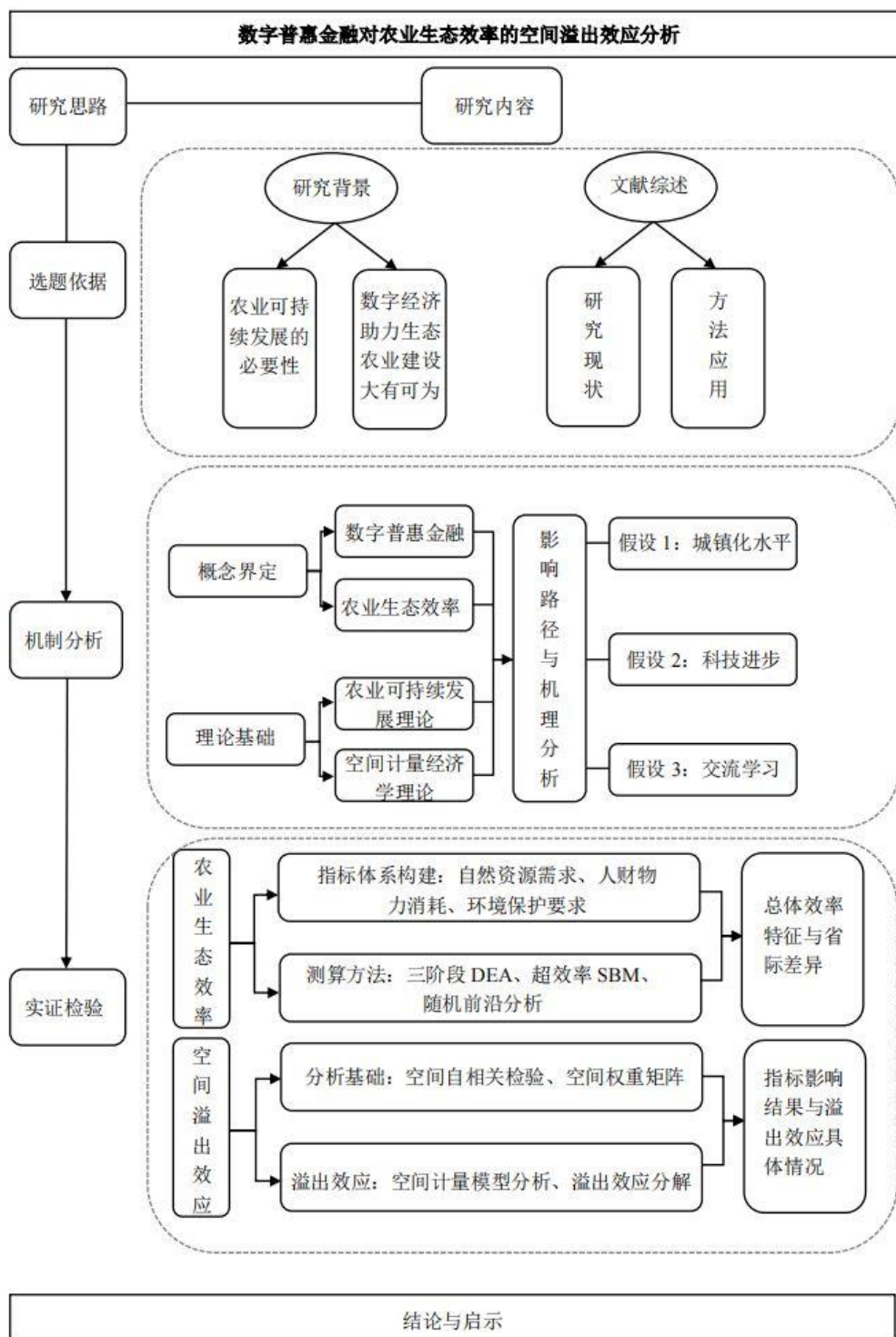


图 1.1 技术路线图

## 1.5 研究的创新点

(1)从新视角界定农业生态效率。数字普惠金融可以促进农村产业的发展,有利于低碳农业、生态农业的形成和进步。现有研究主要集中于农业生态效率水平的测度及影响因素研究,本文基于对文献的分析,明确提出农业生态效率界定的三个角度:农业生产的自然资源需求、人财物力消耗以及环境保护要求。

(2)研究新问题。数字普惠金融对农业生态效率的空间溢出效应。数字普惠金融对农业生态效率的影响可能存在一定的空间溢出效应,现有研究主要针对数字普惠金融对农业全要素生产率的空间溢出效应分析,尚未有针对数字普惠金融对农业生态效率的空间溢出效应分析。因此本文主要探究数字普惠金融对农业生态效率影响的机制与路径,研究空间溢出效应是否存在、具体效应如何。

## 2 数字普惠金融对农业生态效率的影响机制分析

本章首先对数字普惠金融和农业生态效率的概念进行界定,分析其研究现状,结合具体实践探讨数字普惠金融对农业生态效率产生影响的路径与机制,进而提出研究的三个假设;然后对农业可持续发展与空间计量经济学相关理论进行梳理,为实证分析部分奠定理论基础。

### 2.1 数字普惠金融与农业生态效率的概念界定

#### 2.1.1 数字普惠金融

数字普惠金融是依托互联网技术促进信息共享、降低金融服务门槛的新兴金融模式,其在拓宽农业生产融资渠道、降低金融资源能耗、提高环保水平等方面存在积极作用(申云、洪程程, 2023)。有学者发现,数字普惠金融可以通过促进农地流转来推动绿色农业发展(匡远配、张容, 2021);其覆盖广度和数字化程度同样对乡村产业发展有正向作用(曹守新等, 2023)。当数字普惠金融覆盖越广、数字化程度越高时,其将惠及更广大的农户,同时能够优化农业部门要素投入,为农产品产销提供新设备、新材料,促进数字技术与农业生产相结合,实现生产经营方式的转变,最终帮助农业生产者提高生产效率以及农业生态效率。此外,数字普惠金融的发展还能改善农民生活,如提高农村居民消费水平、实现回流农民工收入增长等(江红莉、蒋鹏程, 2020;谭灵芝等, 2022)。在此基础上,学者们进行地区间差异分析,发现数字普惠金融的推动效果在西部地区及粮食主产区表现为直接推动效果较强,在沿海省份或经济发展水平高的省份则表现为边际推动效果更强(付伟等, 2023)。

#### 2.1.2 农业生态效率

农业生态化隶属产业生态化范畴,旨在促进农业可持续发展,具体而言,就是在保证产出的前提下,减少农业有关资源和要素的消耗与投入,以降低环境污染(尹科等, 2012)。衡量农业生态化发展水平的基本指标是农业生态效率。为反映经济生产过程中的复杂性及不同生态环境的关联性(朱敏等, 2022),许多学者通过数据包络分析模型对农业生态效率展开研究,并在该模型基础上进行改进,

使用超效率 DEA 模型(朴胜任、李健, 2019)、超效率 SBM 模型(李贝歌等, 2021)等, 对农业生态效率进行测度; 基于测度所得数据对其影响因素进行分析发现, 农业经济水平、财政支农水平、工业化水平等农业生产外部因素, 与农业机械投入强度、受灾率和作物种植结构等内部因素均对农业生态效率有较大影响(王宝义、张卫国, 2018)。而数字普惠金融可以提供智能农业技术和信息服务, 促进农户融资, 这些优势将通过提升农业技术水平、促进生产方式变革、降低受灾率等手段对农业生态效率产生影响。此外, 学者们还发现中国农业生态效率存在明显的时空差异, 近年来, 我国农业生态效率 DEA 有效省份逐渐增多(吴梵等, 2020), 区域间效率值高低也呈现出东西部高、中部塌陷, 东西部与中部发展失衡的情况(陈菁泉等, 2020)。

## 2.2 理论基础

### 2.2.1 农业可持续发展理论

可持续发展是关于自然、科学技术、经济、社会协调发展的理论和战略, 最早出现于 1980 年国际自然保护同盟的《世界自然资源保护大纲》一文中; 1987 年, 世界环境与发展委员会出版《我们共同的未来》报告, 将可持续发展定义为: “既能满足当代人的需要, 又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”。随后在我国政府编制的《中国 21 世纪人口、资源、环境与发展白皮书》中, 首次把可持续发展战略纳入我国经济和社会发展的长远规划。农业可持续发展则是在可持续发展概念的基础上, 强调农业发展公平, 最早于 1985 年美国《可持续农业研究教育法》提出。概念表明, 可持续农业是采取合理使用与维护自然资源的方式, 实行技术变革和机制性改革, 以确保人类对农产品需求实现永续发展的农业系统; 该方式旨在管理、保护和持续利用自然资源, 调整相关制度和技术, 既满足当代人类对农产品的需求, 又不损害后代利益, 能够兼顾自然资源保护与技术、经济上的可行性, 能够被社会广泛接受。因此, 农业可持续发展包括保护自然资源、提升人类生活质量和自然环境质量等诸多内容, 涵盖了环境保护、农业生产、农业利润等诸多方面, 同时包含公众福利等多个目标, 是现代农业发展的重要方向。

### 2.2.2 空间计量经济学方法

空间计量经济学是计量经济学、空间统计学、地理信息科学等学科的重要交叉领域，最早出现于 20 世纪 70、80 年代。空间计量经济学能够基于时间和地理位置信息的空间数据，呈现出指标间空间依赖性与异质性等空间效应，打破了经典计量分析中样本的独立性和同方差性假设(古恒宇、揭阳扬, 2023)。该方法后被美国 Anselin 教授定义为：在区域科学模型的统计分析中，研究由空间引起的各种数理特性的一系列方法的总和(Anselin, 1990)。

空间计量经济学发展至今主要经历了三个阶段。早期的空间计量经济学在 Tobler “地理学第一定律” 的启发下，基于空间统计理论的空间计量方法分析地理数据的空间自相关性，较为典型的有发轫于皮尔逊相关系数的莫兰指数方法。此外，空间计量经济学最具代表性的模型是空间滞后模型和空间误差模型；后由众多学者从不同角度对空间计量模型进行拓展，如 Burridge 提出的空间杜宾模型等(Burridge, 1981)。总而言之，该时期空间计量经济学侧重对空间自相关进行有效的检验和估计，对模型的设定研究尚处于初步阶段。从 20 世纪 90 年代开始，空间计量经济学进入起步阶段。这一阶段学者们主要在模型设定、模型估计、模型检验等方面展开研究，建立了较为完善的研究体系。21 世纪以来，空间计量经济学进入成熟阶段，其估计和检验方法也取得了长足的进步，进一步拓展了空间计量的应用。

在空间效应表达方面，空间计量经济学主要采用空间权重矩阵进行描述，常见有三种矩阵。一是邻接权重矩阵，该矩阵基于地区间是否毗邻来确定空间关系；二是地理距离空间权重矩阵，通过计算两地区间地理上的实际距离来确定空间距离；三是经济距离空间权重矩阵，该矩阵基于两地区间某经济指标值的大小确定空间距离。进而在选择上述空间关系描述经济现象时，有必要通过统计学检验加以确定，如 LM 统计量检验、赤池信息准则(AIC)等(Anselin、Florax, 1995; Akaike, 1973)。

### 2.2.3 极化-涓滴理论

极化-涓滴效应由发展经济学家赫希曼提出，旨在解释经济发达区域与欠发

达区域之间的经济相互作用及影响,结果表现为涓滴效应(溢出效应)在区域经济发展中最终会大于极化效应而占据优势。在社会发展初期,各种资本要素会流向经济发达地区并产生聚集,欠发达地区也会由于资源没有得到充分利用而有碍于整体经济的发展。因此,经济发达地区出于地租等原因,最终会将资产向欠发达地区转移,以解决自身存在的城市拥挤等环境问题;国家也会通过宏观调控以实现资源的均衡配置,给欠发达地区带来发展的机会,最终结果是发达地区的先进技术、管理方式、思想观念、价值观念等进步因素向欠发达地区涓滴,对其经济和社会进步等多方面产生推动作用。

### 2.3 影响路径与机理分析

基于1970年Tobler提出的地物间相关性理论,认为地物之间存在一定的空间相关性,一般来说距离越近则相关性越强(Tobler, 1970)。地理空间因素以及事物之间的空间相关性,是进行区域间经济研究时不容忽视的问题。具体到本文而言,数字普惠金融对农业生态效率的影响具备空间溢出效应,原因主要为以下几个方面:

(1)数字普惠金融门槛低、效率高,可提升农业生态效率。

数字普惠金融有着门槛低、效率高的特点。相较于普惠金融而言,数字普惠金融不依赖银行等传统金融服务,而是利用大数据、区块链等技术,能更精准地抓取用户信息,提供高效便捷的服务,克服了普惠金融在信息获取和风险控制方面的难点。此时若加以政策引导,如采用清洁能源的农业生产者可以获得低息贷款等手段,数字普惠金融便可在农业产出和农业环保水平两端发力,共同促进农业生态效率的提升。此外,由于极化-涓滴效应的影响,数字普惠金融作为一种资本要素,会首先在城镇化水平更高的地区聚集,产生较强的极化效应;进而发展到一定程度后,城市空间愈发拥挤,生产者会将生产要素向周边欠发达地区转移,其技术、管理等方面的先进成果也会经由农业生产合作社、地区间帮扶交流组织进行扩散,数字普惠金融本身的便利性特点会加剧涓滴效应的作用,最终使溢出效应居主导地位。于上述分析,提出备择假设1。

H1: 城镇化水平会影响数字普惠金融对农业生态效率的影响及溢出效应。

(2)数字普惠金融可以减少信息不对称、促进科技进步。

对农户而言,数字普惠金融可以提供信息服务和政策指导,以便农业生产者

及时了解气候变化、土壤管理、病虫害防治等信息，从而提高农业生态效率；政府也可借由数字普惠金融推动农业环保政策的实施，增加生态农业补贴，以提高农业生态效率。对涉农企业而言，数字化交易可以为其在生产资料购买、农产品销售等方面提供便利，降低因现金持有带来的机会成本，以便于进一步扩大生产经营规模和范围；同时数字普惠金融消除信息不对称的特性会加速涉农企业的信息交流，而农业技术更为先进的企业则会在竞争中占领先机，因而数字普惠金融将促进有关行业的竞争、创新与发展，推动涉农企业发展智能农业技术，既通过科技进步的角度实现农业生态效率的提升，也在信息交流的过程中产生了空间溢出效应。基于上述分析，提出备择假设 2。

H2: 数字普惠金融将带来科技进步，进而提升农业生态效率。

(3)农业生产经验性强，溢出效应受农户人口流动影响。

对于农业生产者而言，农忙时期往往只占一年中的某几个月，由于外出务工等原因，农户的流动性较强，且相较于其他产业而言，农业生产者总结出的经验对其工作而言极为重要，因此无论是在田间地头还是务工途中，农业生产经验会随农业生产者的流动而产生外溢效应。数字普惠金融带来的影响也是如此，在数字普惠金融的推广和发展中，相关培训和教育工作不但使农户的数字金融使用能力得到提升、金融素养获得增强，同时会增强农业生产者的环保意识，加之政府推进有利于环保的农业政策，使得农户具备更强的数字化技能，更加注重使用绿色生产技术，最终会加快数字普惠金融赋能低碳农业发展，从增加农业期望产出、减少非期望产出两个角度实现农业生态效率的提升。对于农户个人而言，受教育水平更高的农户能够更快地掌握数字金融技术，并且会表现出更强的学习交流意向。因而在农业生产者外出务工时，会与其他地区农户交流分享经验，产生溢出效应。基于上述分析，提出备择假设 3。

H3: 数字普惠金融会因农户的交流学习产生溢出效应，同时提升农业生态效率。

### 3 中国省际农业生态效率测算分析

自“生态效率”这一概念提出后，诸多学者在其各自领域就生态效率展开测度，相较于其他方法而言，数据包络分析法在处理多投入、多产出方面具有优势，能够胜任非单一环境下生态效率的测度，且该方法无需预设函数关系，能减少研究的主观争议；采用三阶段超效率 DEA-SBM 模型则可以实现存在非期望产出的生态效率评价，同时能剔除环境因素、随机扰动和管理无效带来的影响，更契合农业生态效率测算的意义，使结果更接近真实情况。因此，本章将对 2011-2020 年间中国各省份农业生态效率进行测算，基于测算结果进行比较分析。

具体行文如下：首先构建用于测算农业生态效率的三阶段超效率 DEA-SBM 模型和评价指标体系，其次分析中国农业生态效率总体特征和省际差异情况，最后给出本章小结。

#### 3.1 农业生态效率测算方法

##### 3.1.1 三阶段超效率 DEA-SBM 模型构建

三阶段 DEA 模型能够在其第二阶段运用随机前沿分析法将干扰因素带来的影响剔除，使之能更加客观公正地评估决策单元效率；将超效率 DEA-SBM 模型运用到三阶段 DEA 模型中，可以使生态有效单元测度值大于 1，实现对前沿面上决策单元的排序。因此，本文使用三阶段超效率 DEA-SBM 模型对农业生态效率进行分析。

第一阶段：考虑非期望产出的超效率 SBM 模型。基于 Tone 在 2002 年提出的超效率 SBM 模型进行测算(Tone, 2002)，如式(3.1)所示：



$$\begin{aligned}
\min \rho &= \frac{1 - \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{S_m^x}{x_{m0}}}{1 + \frac{1}{N+1} \left( \sum_{n=1}^N \frac{S_n^y}{y_{n0}} + \sum_{i=1}^I \frac{S_i^u}{u_{i0}} \right)} \\
s.t. \quad &\sum_{k=1}^K z_k x_{mk} + S_m^x = x_{m0}, m = 1, 2, \dots, M \\
&\sum_{k=1}^K z_k y_{nk} + S_n^y = y_{n0}, n = 1, 2, \dots, N \\
&\sum_{k=1}^K z_k u_{ik} + S_i^u = u_{i0}, i = 1, 2, \dots, I \\
&z_k \geq 0; S_m^x \geq 0; S_n^y \geq 0; S_i^u \geq 0
\end{aligned} \tag{3.1}$$

其中， $M$ 、 $N$ 、 $I$ 分别表示每个决策单元的投入要素、期望产出和非期望产出， $m$ 、 $n$ 、 $i$ 分别表示第 $m$ 、 $n$ 、 $i$ 个元素， $S_m^x$ 、 $S_n^y$ 、 $S_i^u$ 分别表示投入产出的冗余、期望产出的不足、非期望产出的冗余， $x_{m0}$ 、 $y_{n0}$ 、 $u_{i0}$ 则分别表示每个决策单元中的投入要素指标、期望产出和非期望产出。在给定投入指标、期望产出和非期望产出后，各指标构成数个决策单元，经由超效率SBM模型测算，得到各决策单元对应的效率值，效率值大于等于1时表示为DEA有效。

第二阶段：随机前沿模型。Fried等在2002年提出使用随机前沿模型(SFA)剔除环境因素、随机误差和管理无效带来的干扰(Fried等, 2002)。为使所有决策单元调整到相同的外部环境中，该模型根据回归结果分离管理无效率，由此对投入变量数据进行调整，如式(3.2)所示：

$$\begin{aligned}
s_{ij}^- &= f^i(z_j; \beta_i^-) + v_{ij}^- + \mu_{ij}^- \\
s_{ij}^a &= f^i(z_j; \beta_i^a) + v_{ij}^a + \mu_{ij}^a \\
s_{ij}^b &= f^i(z_j; \beta_i^b) + v_{ij}^b + \mu_{ij}^b
\end{aligned} \tag{3.2}$$

在式(3.2)中， $s_{ij}^-$ 表示地区 $j$ 在第 $i$ 年投入或产出指标的松弛变量， $s_{ij}^a$ 表示省份 $j$ 在第 $i$ 年的农业生态效率期望产出指标松弛变量， $s_{ij}^b$ 则表示省份 $j$ 在第 $i$ 年非期望产出指标松弛变量， $f^i(z_j; \beta_i)$ 代表环境变量对松弛变量的影响， $z_j$ 则是各环境因素的集合， $\beta_i$ 为待估参数， $v_{ij} + \mu_{ij}$ 代表农业生态效率测度中的误差项，

二者分别表示随机扰动和管理无效带来的影响。通过随机前沿模型对第一阶段的测度结果进行调整,可去除随机扰动、管理无效和环境因素带来的影响,进而可以将调整后的数据再次进行生态效率测度,使结果更为准确。

第三阶段:调整后的超效率 SBM 模型。基于随机前沿模型调整后的数据,重复使用考虑非期望产出的超效率 SBM 模型,可得调整后的农业生态效率值。

### 3.1.2 农业生态效率评价指标体系构建

结合农业生态效率内涵及农业农村发展实际,借鉴有关学者研究成果,构建包含投入、期望产出和非期望产出三个方面共 11 个指标的评价指标体系。

(1)投入指标方面。本文拟从农业生产的自然资源需求、人财物力消耗、环境保护三个角度对农业生态效率进行界定,确定其各项指标。自然资源需求方面,基于农业生产的特点及我国农业生产的特殊性,选取土地投入和灌溉投入指标;人财物力消耗方面,主要考察农业生产的劳动力、机械设备等投入,因而选取农作物播种面积、有效灌溉面积(张展等,2022)、第一产业从业人员数(田伟等,2014)、农业机械总动力(薛选登、温圆月,2023)四个指标;环境保护方面,选取农村用电量(姜智强等,2022)、农用化肥施用量、农药使用量、农用塑料薄膜使用量(崔许锋等,2022)四个指标,原因在于上述指标既会带来农业产出的增加,也是农业碳排放和面源污染的主要来源。

上述指标中,农作物播种面积是衡量农业生产重要的自然资源禀赋指标,对农业产出有着较强的影响作用,较大的播种面积会影响农户对农用化学品的选择,使其增加化肥、农药以及农机具的投入,导致碳排放和污染增加;有效灌溉面积的提升可以减少水和能源的消耗,提升农作物产量,但其设施建设投入较大、定期维护成本较高,尤其是在地形复杂的地区,将导致难以产生较强的环境效益,因而有必要加以考量;第一产业从业人员数则体现农业生产的劳动力资源,由于农业生产活动的门槛较低,劳动力数量是其主要影响因素,充足的劳动力既可以促进农业精细化作业水平,也是农业生产发展的人力资源基础;农用机械是实现农业机械化不可缺少的重要设备,该投入可以提高生产效率,扩大生产规模,但若存在利用率不高、使用不合理的情况,会对生态农业建设造成负面影响;电力是农业生产的重要能源,应将农村用电量作为能源消耗指标,以度量其对农业生

态效率的影响；农用化肥、农药以及农用塑料薄膜使用量则反映农业生产的环境成本，各类农用化学品的投入既会带来农业产出的增加，也会导致农业碳排放和面源污染的产生，是影响农业生态效率的重要因素。因此，本文将从上述三个视角界定农业生态效率的投入指标。

(2)产出指标方面。产出指标包含期望产出与非期望产出，本文通过农业总产值表征期望产出，用农业碳排放和污染排放表征非期望产出。农业总产出指标由农业总产值衡量。农业碳排放量的计算与农业碳排放系数的选择均参考李波等(2014)的做法，从化肥、农药、农膜的生产使用，农业机械运用产生的能源消耗，农业翻耕对土壤有机碳库的影响以及灌溉过程中电能耗费四个角度对农业碳排放进行估算，具体公式为：

$$E = \sum E_i = \sum T_i \cdot \delta_i \quad (3.3)$$

式(3.3)中  $E$  为农业碳排放总量； $E_i$  表示各个碳源的碳排放量； $T_i$  为各个碳源的量； $\delta_i$  表示各碳源的碳排放系数。化肥、农药、农膜、农业机械、翻耕、灌溉的碳排放系数分别为  $0.8956 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $4.9341 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $5.18 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.5927 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $312.6 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$  以及  $25 \text{ kg} \cdot \text{Cha}^{-1}$ 。农业污染排放则主要来自自肥、农药污染和地膜残留，与现有研究中多数学者所用方法相同，本文参考吉雪强和尚杰(2021)的做法，统一用综合面源污染指数进行表征。得到农业面源污染指数计算公式为：

农业综合面源污染指数=标准化后化肥流失量×0.350+ 标准化后农药污染量×0.339+ 标准化后农膜残留量×0.311

(3)随机前沿模型环境变量选择方面。随机前沿模型是将环境因素作为解释变量进行回归分析，将决策单元调整至同一水平后再进行效率测算，此时结果更接近实际值。在这一部分，本文主要考察农村经济发展水平、政府对农业发展支持力度及科学技术水平三个因素，分别由第一产业增加值、财政支农占比和试验与发展(R&D)研究内部经费支出衡量。

### 3.1.3 数据来源

在农业生态效率测度部分，本文选取 2011-2020 年间中国 31 个省、市、自治区面板数据进行测度，农业生态效率由考虑非期望产出的超效率 DEA-SBM 模型测度所得，农业碳排放量、农业面源污染排放通过上文中对应的方法计算而来，其余变量数据来自《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国科技统计年鉴》及各省份统计年鉴。各变量含义与描述性分析如表 3.1 所示。

表 3.1 农业生态效率测度描述性统计分析

一级指标	二级指标	含义(单位)	均值	标准差
投入指标	土地投入	农作物总播种面积(千公顷)	118 7.23	248 7.85
	灌溉投入	有效灌溉面积(千公顷)	240 5.86	213 6.42
	劳动投入	第一产业从业人员年末人数(人)	130 835.10	233 867.70
	机械投入	农业机械总动力(万千瓦)	410 5.72	396 2.89
	能源投入	农村用电量(亿千瓦时)	434 47.82	426 19.70
	化肥投入	农用化肥施用量(万吨)	112.32	202.97
	农药投入	农药使用量(吨)	105 48.80	293 93.22
	农膜投入	农用塑料薄膜使用量(万吨)	7.93	6.70
期望产出	农业产出	农业总产值(亿元)	176 7.63	129 2.70
非期望产出	农业碳排放	六类主要碳源碳排放总和(吨)	515 301.30	372 582.00
	面源污染	综合面源污染指数	0.82	0.59
环境变量	经济水平	第一产业增加值(亿元)	199 3.67	138 3.07
	产业支持	财政支农资金占比(%)	0.42	0.18
	技术支撑	R&D 内部经费支出(万元)	508 113 0.00	611 573 0.00

注：六类主要碳源为上文中由化肥、农药、农膜、农业机械、翻耕、灌溉带来的碳排放。

### 3.2 农业生态效率总体特征

在这一部分，考虑到农业生态效率的提升应实现投入、非期望产出最小，期望产出最大的最优配比，因此采用非径向超效率 SBM 模型测度中国 31 个省、市、自治区农业生态效率值。同时计算 2011-2020 年间每年农业生态效率均值，作为中国农业生态效率各年份代表值。由图 3.1 可以看出，农业生态效率在第一、三阶段有所差距，可知干扰因素对农业生态效率存在一定程度的影响，为此剔除

环境因素、随机误差和管理无效的影响是必要的；且各年份第三阶段农业生态效率均值要低于第一阶段，这说明仅使用考虑非期望产出的超效率 DEA-SBM 模型所测得农业生态效率值相比于实际虚高，进而说明中国农业生态效率仍存在一定的改进空间。同时，本文参考薛选登和温圆月(2023)的划分依据，将生态效率划分为四个区间<sup>①</sup>，发现中国农业生态效率均值虽有所波动，但始终处于高效率区间，表明我国生态农业建设卓有成效。

此外，各年份在 2011-2020 年间农业生态效率均值剔除干扰因素前后，都表现为先上升后下降再上升的趋势。2010-2013 年间，中国农业生态效率不断上升，最高为 2013 年的 1.04，表明生态农业建设成果显著；但在 2014-2016 年间，农业生态效率持续下降，最低为 2016 年的 0.9，说明我国生态农业建设的成果没有很好地保持下去。整体上看，农业生态效率是在尽量减少农业投入的情况下，提高农业期望产出，同时确保非期望产出尽可能低。进而在农业生产一定投入的情况下，若农业期望产出对农业生态效率的贡献大于非期望产出的贡献时，会表现为农业生态效率提高；反之当农业期望产出对农业生态效率的贡献小于非期望产出的贡献时，则表现为农业生态效率降低。因此，分析 2011-2016 年间中国农业生态效率水平应分两阶段进行。其一，在 2010-2013 年间，得益于脱贫攻坚工作的有效推进，中国农村居民人均纯收入不断提高，农业产出水平(期望产出)持续增长，在这一阶段，相较于农业碳排放和农业面源污染而言，农业期望产出对农业生态效率的贡献更大，最终表现为其带动农业生态效率不断提升；其二，在 2014-2016 年间，农业产出仍在提高，但石油农业带来的高产出必然导致高碳排放与高面源污染的产生，使得农业非期望产出对农业生态效率的贡献不断提升，加之脱贫攻坚工作进入深水区，导致期望产出带来农业生态效率提升表现出边际报酬递减，农业生态效率水平不断下降。

自 2017 年之后，乡村振兴战略的出台为生态农业建设带来利好，产业兴旺、生态宜居、乡风文明、治理有效、生活富裕五大要求的提出，标志着农业产业由石油农业向生态农业的全面转型，中国农业生态效率稳步提升，由 2017 年的 0.9 提升到 2020 年的 0.96，逐步接近十年来我国生态农业建设的最高水平。

---

<sup>①</sup> 该方法将农业生态效率划分为四个区间，分别是：低效率(低于 0.4)，中效率(0.4-0.6 之间)，较高效率(0.6-0.9 之间)，高效率(高于 0.9)

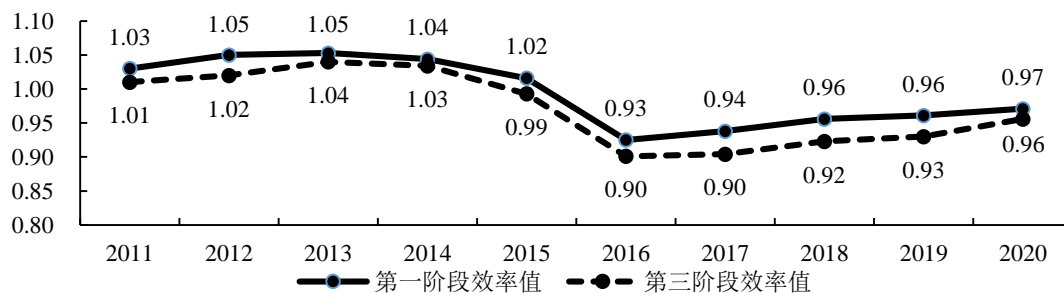


图3.1 2011-2020年各年份第一、三阶段农业生态效率均值

### 3.3 农业生态效率省际差异分析

在差异分析部分，本文先后两次使用超效率 SBM 模型对农业生态效率的测度结果分别记为第一、三阶段效率值，取均值后得到各地区 2011-2020 年间农业生态效率代表值。具体结果如表 3.2 所示。

从 2011-2020 年各省份农业生态效率均值来看，31 个省份总体上可以划分为六个梯队：第一梯队包括陕西、四川、浙江、黑龙江、海南(1.2 以上)；第二梯队包括北京、山西、天津、江苏、广东、贵州(1.1-1.2)；第三梯队包括福建、河北、内蒙古、广西、辽宁、吉林(1.0-1.1)；第四梯队包括新疆、山东、上海、西藏、重庆(0.8-1.0)；第五梯队包括宁夏、湖南、青海(0.6-0.8)；第六梯队包括甘肃、湖北、云南、河南、安徽、江西(0.6 以下)，六个梯队农业生态效率平均值分别为 1.50、1.13、1.07、0.92、0.67、0.39。根据不同农业生态效率均值，第一第二第三梯队、第四梯队、第五第六梯队可以分别被视为生态有效、生态高水平和生态中低水平三个组别。总体上看，我国共有 17 个省份表现为农业生态效率有效，最高为陕西省的 1.81；农业生态效率在“较高效率”水平(大于 0.6)及以上的省份共 25 个，表明我国八成以上省份农业生态效率水平较高，生态农业发展水平稳步提升。

具体而言，各省市 2011-2020 年间农业生态效率受干扰因素的影响程度不同，相比于第一阶段，黑龙江、山西、江苏等地区农业生态效率均值有所上升，表明环境因素、管理无效和随机误差对其存在抑制作用，各地区应因地制宜，主动发现自身生态农业建设存在问题，找准症结、对症下药，将干扰因素对自身影响降到最小。如陕西、四川、海南等地区，剔除干扰因素后农业生态效率有所下降，

说明这些省份在第一阶段较高的农业生态效率得益于经济环境、政策扶持等因素，尤其是西藏、青海等省份，前后农业生态效率水平差距过大，应在优先保护自身环境的基础上，致力于挖掘当地农业发展的内生动力，一方面维护好本地区优良环境带来的生态红利，坚持“绿水青山就是金山银山”的发展理念，杜绝走“先污染、再治理”的老路；另一方面应完善自身产业链条，坚持创新驱动发展战略，逐步摆脱对政策等外部因素的依赖，以实现环境与经济的协调发展。

表 3.2 2011-2020 年各省市第一、三阶段农业生态效率均值

省市	阶段一	阶段三	省市	阶段一	阶段三	省市	阶段一	阶段三
陕西	1.82	1.81	福建	1.08	1.09	宁夏	0.73	0.70
四川	1.69	1.65	河北	1.05	1.08	湖南	0.69	0.68
浙江	1.42	1.42	内蒙古	1.08	1.08	青海	1.05	0.63
黑龙江	1.33	1.34	广西	1.07	1.07	甘肃	0.59	0.56
海南	1.30	1.29	辽宁	1.01	1.05	湖北	0.45	0.46
北京	1.15	1.14	吉林	1.04	1.04	云南	0.41	0.41
山西	1.13	1.14	新疆	0.97	0.97	河南	0.37	0.38
天津	1.14	1.13	山东	0.96	0.96	安徽	0.27	0.27
江苏	1.09	1.12	上海	0.98	0.94	江西	0.28	0.27
广东	1.12	1.11	西藏	1.17	0.87	-	-	-
贵州	1.16	1.11	重庆	0.86	0.86	-	-	-

### 3.4 本章小结

基于上述分析可以看出，中国农业生态效率总体水平较高，但地区间差距明显，同时存在一定的提升空间。2011-2020 年间，中国农业生态效率均值呈现出波动态势，说明生态农业发展不稳定，尤其在 2014-2016 年间，农业生产边际报酬递减，石油农业带来的负面影响不断加深，加之农业政策带来的利好不断减弱，导致农业生态效率水平下降；其后我国积极推行生态农业建设，加强政策与科技创新力度，使得农业重回生态发展“主干道”。从省际差异来看，由于各地区在生态环境、经济建设、科技水平等领域发展程度不同，导致地区间农业生态效率差距较大，环境因素、随机误差和管理无效带来的影响各不相同。因此各地区在发展生态农业的过程中，要及时调整各项政策，同时积极创造良好的外部环境，

加大科技创新投入和地区间交流合作，从多角度推动农业的可持续发展。



## 4 数字普惠金融对农业生态效率的影响及空间溢出效应分析

为研究数字普惠金融对农业生态效率的空间溢出效应,本文在上一章测算了中国总体及各省份农业生态效率水平,以考察我国生态农业建设情况,及可能存在的问题。根据第三章结果,文章将在这一部分运用空间计量模型考察数字普惠金融对农业生态效率的影响程度,以及各控制变量在空间溢出效应发生时所起的作用,以期找到我国生态农业建设有关问题的解决办法。

本章具体行文思路如下:首先通过莫兰指数方法检验指标的空间自相关程度,探究其具体分布状态,确定是否能够进行空间溢出效应分析;其次通过空间计量模型分析指标间作用的方向与大小;最后通过空间效应分解探究某地区对自身和周边地区影响的具体效应。

### 4.1 研究方法

#### 4.1.1 空间自相关检验

空间相关性检验运用莫兰指数检验(Moran's I)方法进行,首先基于前文构建的邻接标准权重矩阵,使用全局莫兰空间自相关方法检验数字普惠金融指数和农业生态效率的空间相关性,再进行局部莫兰检验并绘制莫兰散点图,考察每个地区及其周边区域数字普惠金融和农业生态效率的空间差异程度。

#### 4.1.2 模型构建与变量选取

基于前文分析可知,数字普惠金融对农业生态效率的影响可能存在空间溢出效应。Anselin 曾系统论述过传统计量经济学中忽略空间因素将会导致实证偏误的可能。因此,本文将基于空间计量模型的常见形式,构建如下计量模型研究数字普惠金融对农业生态效率的空间溢出效应。

数字普惠金融影响农业生态效率的空间滞后模型(SLM)为:

$$AEE_{it} = \alpha_i + \beta_0 DIFI_{it} + \beta_1 CV_{it} + \beta_3 WAEE_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad (4.1)$$

数字普惠金融影响农业生态效率的空间误差模型(SEM)为:

$$AEE_{it} = \alpha_i + \beta_0 DIFI_{it} + \beta_1 CV_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4.2)$$

$$\varepsilon_{it} \sim N(0, \delta^2 I)$$

数字普惠金融影响农业生态效率的空间杜宾模型(SDM)为:

$$Y_{it} = \alpha_0 + \delta WY_{it} + \beta X + \theta WX + \mu_{it} \quad (4.3)$$

在式(4.1)和式(4.2)中,  $AEE_{it}$  和  $DIFI_{it}$  表示第  $i$  省  $t$  时期的农业生态效率水平和数字普惠金融指数, 同时参考现有研究, 选取城镇化率( $UR$ )、科研投入水平( $TS$ )、农业人力资本( $HUM$ )、农业资源禀赋( $ASL$ )四个变量(徐维祥等, 2021), 共同纳入模型作为控制变量  $CV_{it}$ , 具体选择依据见变量选择部分; 式(5)中  $Y_{it}$  对应被解释变量农业生态效率( $AEE_{it}$ ),  $X$  为解释变量集, 包含核心解释变量数字普惠金融指数及各项控制变量,  $WX$  和  $WY$  分别表示被解释变量和解释变量的空间滞后项, 此处  $\delta$  作为空间自回归系数, 当  $\theta$  或  $\theta + \delta\beta$  为零时, 空间杜宾模型将会退化为空间滞后模型和空间误差模型; 在式(4.1)-(4.3)中,  $W$  为空间权重矩阵,  $\beta$  和  $\theta$  则分别代表本地区及相邻地区的解释变量对被解释变量的空间溢出影响,  $\varepsilon_{it}$  为扰动项。

上述指标中, 城镇化率由当地城镇人口与总人口比值测定, 城镇化的核心是以“中心城市”较强的聚集和辐射能力, 带动周边县乡村协同发展, 不同城镇化率的地区农业生产发展在基础设施、发展方向、环境因素等诸多方面有所不同, 数字普惠金融本身具备聚集效应和溢出效应, 这将导致基础设施更加完善的“中心城市”会对数字普惠金融的外溢效应产生更大的影响, 致使农业生态效率的变化程度各不相同; 科研投入水平由各地区财政支出中用于农业科技发展的部分确定, 数字普惠金融在减少信息不对称的同时会影响多个地区间的行业竞争, 不同地区对于农业科技研发的重视程度和经费投入力度不同, 因此, 不同的科研投入水平会影响数字普惠金融对农业生态效率的作用; 农业人力资本由第一产业从业人员中高中及以上学历人口所占比例确定, 农业人力资本是生态农业发展的重要促进条件, 一般而言, 农业从业人员受教育程度越高, 劳动力素质就越高, 而较高素质的劳动力对数字金融工具的接受程度和使用能力相对较强, 同时能更好地促进相关金融知识的传播, 产生的溢出效应更加明显; 农业资源禀赋由劳均播种面积确定, 是耕地面积与第一产业从业人员数的比值, 可以较好地反映农业规模化水平, 农业规模化水平的变动会导致农民在生产过程中改变种植结构, 具体而言, 作业规模较小时有利于农业精细化管理, 但会限制规模经济的作用, 进而影

响数字普惠金融对农业生态效率的影响。

### 4.1.3 数据来源

空间计量分析部分同样选取 2011-2020 年除港澳台外中国 31 个省、市、自治区面板数据作为研究样本，其中数字普惠金融指数来源于北京大学编制的《北京大学数字普惠金融指数(2011-2020 年)》，农业生态效率为指标体系测算结果，其余变量数据来自《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国劳动统计年鉴》及各省份统计年鉴。描述性分析如表 4.1 所示。

表 4.1 回归模型描述性统计分析

变量	具体指标	含义(单位)	均值	标准差
被解释变量	农业生态效率	农业生态效率值	0.96	0.41
解释变量	数字普惠金融	数字普惠金融指数	216.24	96.87
	城镇化水平	城镇化率(%)	0.57	0.13
控制变量	科研投入	财政支出发展农业科技部分(%)	0.08	0.07
	人力资本	高中及以上学历人员占比(%)	1.63	0.22
	资源禀赋	人均耕地面积(亩/人)	4.32	2.81

## 4.2 数字普惠金融与农业生态效率的空间格局

空间计量模型的构建基础是变量间存在空间自相关。空间自相关是指分布在同一地区的观测数据之间潜在的相互依赖性，其检验方法包含莫兰指数检验(Moran's I)、空间热点分析(Getis-Ord Gi)等。莫兰指数检验由于其可靠性和适用性得到普遍认可，因而本文构建邻接标准权重矩阵<sup>②</sup>，运用全局莫兰指数和局部莫兰指数进行分析。全局莫兰指数取值范围为[-1, 1]，该值大于 0 时表示所有地区的属性值在空间上存在正相关性，更容易聚集；反之则存在负相关性，不容易聚集；该值为 0 时表示地区属性值呈随机分布，无空间相关性。局部莫兰指数用于描述单个空间单元与相邻空间单元的相关性，可以分析局部的空间聚集情况。因此运用全局莫兰空间自相关方法对数字普惠金融与农业生态效率的空间相关

<sup>②</sup>邻接标准权重矩阵的设置方法为：在地理单元(省份)相邻时取值为 1，不相邻取值为 0，同时由于海南省不与任何省份邻接，设定与其最近的广东省邻接，取值为 1。

性进行检验, 并采用局部莫兰检验分析各区域与其周边地区之间数字普惠金融和农业生态效率的空间差异程度。

表 4.2 数字普惠金融指数与农业生态效率的 Moran I 指数

年份	数字普惠金融		农业生态效率		年份	数字普惠金融		农业生态效率	
	Moran I	P 值	Moran I	P 值		Moran I	P 值	Moran I	P 值
2011	0.235 3	0.006 3	0.200 3	0.021 1	2016	0.226 9	0.011 2	0.256 5	0.003 5
2012	0.255 8	0.003 6	0.220 4	0.011 4	2017	0.327 5	0.000 4	0.256 8	0.003 4
2013	0.257 9	0.003 0	0.216 3	0.012 3	2018	0.265 5	0.003 5	0.288 1	0.001 3
2014	0.248 5	0.004 4	0.229 2	0.008 5	2019	0.209 0	0.018 5	0.292 0	0.001 1
2015	0.231 0	0.008 9	0.205 4	0.016 5	2020	0.170 3	0.048 1	0.289 5	0.001 3

注: 检验概率 P 值小于 0.1、0.05、0.01 时, 分别表示在 10%、5%、1%水平下显著。

如表 4.2 所示, 2011-2020 年间两指标全局莫兰指数均大于 0 小于 1, 且大多数年份概率 P 值小于 0.01, 全部年份概率 P 值小于 0.05, 从数理上说明了二者间存在空间相关性。图 4.1 与图 4.2 分别表示中国数字普惠金融指数和农业生态效率的莫兰散点图。由图可直观发现, 两指标在一、三象限居多, 呈现出“高高聚集”和“低低聚集”的同向聚集趋势。具体而言, 数字普惠金融发展水平较高的地区趋于数字普惠金融发展较高的地区靠近, 数字普惠金融发展水平低的地区与数字普惠金融发展水平低的地区相趋近; 农业生态效率趋近形势亦然。检验结果说明数字普惠金融在现实中会表现出一定程度的空间溢出效应, 因此, 将空间外溢特征纳入数字普惠金融影响农业生态效率的分析中是必要的。

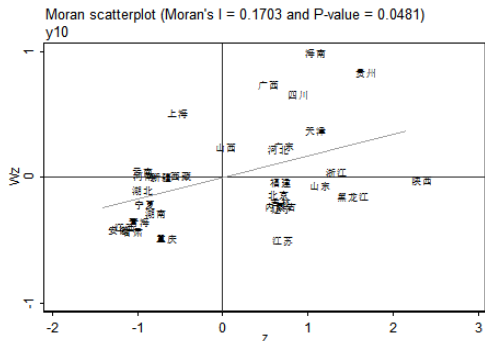


图 4.1 中国各省农业生态效率 Moran 散点图

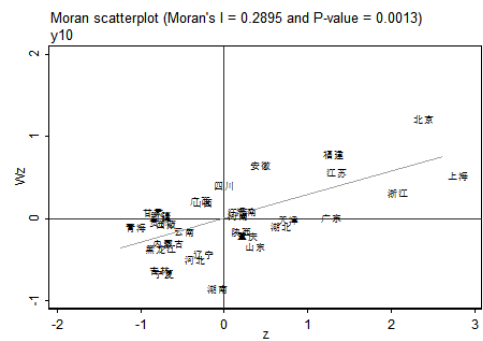


图 4.2 中国各省数字普惠金融指数 Moran 散点图

## 4.3 数字普惠金融对农业生态效率的空间溢出效应分析

### 4.3.1 数字普惠金融对农业生态效率的基准回归

机理分析和空间自相关检验均已证明,数字普惠金融对农业生态效率势必会产生影响,且会通过空间溢出效应实现。本文首先基于空间滞后模型和空间误差模型进行分析,具体结果如表 4.3 所示。

上述空间计量模型 Hausman 检验结果均在 5%水平下显著,因此使用固定效应模型进行估计。进一步对比 LM 检验结果发现,LMlag、LMerr、R-LMlag 以及 R-LMerr 的统计量及其概率 P 值均表明空间滞后模型更为合理。此外,从  $R^2$ 、似然比检验、赤池信息准则(AIC)和施瓦茨信息准则(SC)结果来看,检验结果同样表明空间滞后模型优于空间误差模型。上述两种模型的六类情形中双向固定效应下空间滞后模型的  $R^2$  最大,似然比检验结果最大,模型拟合程度最好,因此选用该模型作为参考。

模型估计结果显示,空间滞后项系数  $\rho$  通过了 5%水平下显著性检验,这说明数字普惠金融对农业生态效率的影响存在明显的空间溢出效应,且临近省份越多,省份间的空间辐射作用越大,该省农业生态效率受到邻近省份数字普惠金融发展带来的溢出效应影响就越强,当地农业生态效率提升也越快。同时,数字普惠金融与农业生态效率为同向变动关系,肯定了数字普惠金融发展在提升农业生态效率方面的正向作用,进一步印证了在空间视角下,数字普惠金融能够提升农业生态效率的理论判断。此外,控制变量中农业科技财政支出、农村人力资本和农业资源禀赋变量对农业生态效率的提升表现为促进作用,城镇化率则表现为抑制作用。因此,对于临近省份较多、经济实力较强、数字普惠金融发展水平较高的省份而言,应重视其示范和带动作用,发挥其溢出效应,提高数字普惠金融成果转化率,充分挖掘数字普惠金融助力农业生态效率提升的潜力。

表 4.3 空间面板模型结果

变量	空间滞后模型(SLM)			空间误差模型(SEM)		
	空间固定	时间固定	双固定	空间固定	时间固定	双固定
<i>DIFI</i>	0.000 4*** (0.000 1)	0.000 4*** (0.000 1)	0.003 1** (0.001 6)	0.000 5*** (0.000 1)	0.000 5*** (0.000 1)	0.003 3** (0.001 6)
<i>UR</i>	-0.183 3** (0.089 6)	-0.183 3* (0.094 4)	-0.168 9* (0.089 7)	-0.189 8** (0.091 9)	-0.189 8** (0.096 9)	-0.169 9* (0.090 2)
<i>TS</i>	-2.630 3*** (0.932 8)	-2.630 3*** (0.983 3)	3.582 1*** (1.081 4)	-2.807 5*** (0.996 0)	-2.807 5*** (1.049 9)	3.596 5*** (1.084 6)
<i>HUM</i>	0.552 6* (0.290 6)	0.552 6* (0.306 4)	0.523 5* (0.306 7)	0.538 8* (0.303 5)	0.538 8* (0.319 9)	0.524 5* (0.090 2)
<i>ASL</i>	-0.009 9** (0.004 1)	-0.009 8** (0.004 3)	0.009 2** (0.004 1)	-0.010 1** (0.004 1)	-0.010 1** (0.004 3)	0.009 2** (0.004 1)
$\rho$ 或 $\lambda$	0.161 4* (0.090 6)	0.161 4* (0.095 5)	0.234 0** (0.102 2)	0.172 4* (0.094 1)	0.172 4* (0.099 1)	0.148 0* (0.106 6)
$R^2$	0.705 0	0.682 3	0.712 4	0.704 4	0.695 8	0.703 0
LMlag	-	-	262.917 0***	-	-	-
R-LMlag	-	-	156.213 0***	-	-	-
LMerr	-	-	-	-	-	107.094 0***
R-LMerr	-	-	-	-	-	0.390 0
似然估计值	103.107 5	-151.847 6	113.567 9	103.173 0	-152.280 4	113.551 5
似然比检验	8.360 0	8.130 0	10.510 0	8.400 0	8.217 0	10.380 0
AIC	188.214 9	138.197 8	209.135 9	188.346 0	138.315 8	209.103 0
SC	154.585 8	105.516 9	175.506 7	154.716 9	105.634 9	175.473 8
Hausman		30.44 (0.000 0)			25.99 (0.038 1)	

注：除 Hausman 检验中括号外为统计量，括号内为 P 值；其余结果括号外为回归系数，括号内为标准误。

在此基础上，本文进而构建空间杜宾模型进行分析。空间滞后模型和空间误差模型解释并证实了数字普惠金融与农业生态效率的空间关联，但上述模型主要用于考察被解释变量空间溢出效应的特征，难以对解释变量和被解释变量共同产

生的影响进行分析,为探究本地区解释变量对其相关地区被解释变量的影响是否存在、影响程度为多少以及控制变量对农业生态效率的作用效果,本文参考 LeSage 和 Pace 的研究,将被解释变量和解释变量均纳入模型,构建空间杜宾模型进行分析。具体结果如表 4.4 所示。

在前文分析的基础上,本部分将空间权重矩阵进行扩展,增加地理距离空间权重矩阵和经济距离空间权重矩阵<sup>③</sup>,并采用极大似然方法进行估计。通过 Wald 检验和 LR 检验可知, Wald spatial lag 值和 LR spatial lag 值在 1%或 5%水平下拒绝了  $\theta$  为零的原假设, Wald spatial error 值和 LR spatial error 值也拒绝了  $\theta + \delta\beta$  为零的原假设,说明了空间杜宾模型构建的合理性。

综合考察表 4.4 结果中  $R^2$ 、 $Siga^2$  和  $Logl$  值,发现空间杜宾模型能够较好地拟合变量数据。比较三种空间权重矩阵下回归结果可知,核心解释变量数字普惠金融指数均通过了显著性检验,只是在数值上有所差别,这也在一定程度上验证了变量选取的合理性和模型构建的稳健性。结果显示,本省份数字普惠金融发展不仅能提升本地区农业生态效率,对毗邻省份、地理距离相近省份或经济水平相近省份的农业生态效率也存在促进作用;其他控制变量如农业科技财政支出 ( $TS$ )、农村人力资本( $HUM$ )、农业资源禀赋( $ASL$ )同样存在一定的空间溢出效应,说明这些因素也能通过空间溢出影响临近地区的农业生态效率,当一个地区对科技发展和人才兴农更加重视时,越有利于其正外部性的发挥,产生的空间外溢效应也就越高,再次证明了空间溢出效应是提升农业生态效率的一条重要渠道。

表 4.4 数字普惠金融对农业生态效率的空间杜宾模型

变量	邻接权重矩阵	地理距离权重矩阵	经济距离权重矩阵
$DIFI$	0.005 5* (0.002 9)	0.003 2** (0.001 6)	0.003 3** (0.001 6)
$UR$	0.093 5 (0.200 2)	1.624 5 (0.102 5)	0.132 6 (0.086 1)
$TS$	0.792 3 (0.970 9)	3.500 5*** (1.071 2)	3.606 8*** (1.049 9)

<sup>③</sup> 地理距离空间权重矩阵使用地理单元间距离的倒数来衡量,依据经纬度信息测量各省版图质心间的球面距离作为空间距离。经济距离矩阵参考有关学者研究,使用人均 GDP 差额测度经济距离。(林光平, 2005)

续表 4.4 数字普惠金融对农业生态效率的空间杜宾模型

变量	邻接权重矩阵	地理距离权重矩阵	经济距离权重矩阵
<i>HUM</i>	0.439 1*** (0.161 1)	0.505 6* (0.304 8)	0.405 7 (0.292 8)
<i>ASL</i>	-0.003 9 (0.009 5)	-0.008 5** (0.004 1)	-0.008 1** (0.003 9)
<i>WDIFI</i>	0.006 0** (0.005 3)	0.003 7** (0.001 6)	0.002 9* (0.001 6)
<i>WUR</i>	1.175 0** (0.462 7)	0.299 1 (1.017 7)	0.583 3*** (0.215 0)
<i>WTS</i>	6.275 6*** (2.011 8)	0.289 8* (3.699 1)	0.825 1*** (0.251 7)
<i>WHUM</i>	1.574 7*** (0.332 2)	0.450 6 (1.152 8)	2.195 5** (0.978 3)
<i>WASL</i>	-0.044 7* (0.024 4)	-0.031 5* (0.038 6)	-0.014 6* (0.008 1)
<i>WAEE</i>	0.163 0* (0.002 5)	0.136 1** (0.161 0)	0.142 3** (0.124 0)
R <sup>2</sup>	0.527 3	0.644 2	0.610 1
Siga <sup>2</sup>	0.000 0	0.000 0	0.000 0
Logl	127.647 0	104.526 8	132.971 3
Wald spatial lag	14.510 0**	34.540 0**	28.980 0***
LR spatial lag	81.300 0***	50.260 0***	15.390 0**
Wald spatial err	15.350 0**	41.370 0*	30.420 0***
LR spatial err	82.170 0***	43.800 0***	14.350 0**

注：W 表示以地理距离或经济距离设置的空间权重矩阵。

### 4.3.2 直接效应与空间溢出效应

空间杜宾模型中解释变量包含了被解释变量的变形, 违背了传统空间计量模型中解释变量严格外生的假设, 导致空间杜宾模型系数估计值不同于空间滞后模型或空间误差模型, 无法完全反映解释变量对被解释变量的影响。因此, 本文基于 Pace 和 LeSage 的偏微分求解方法, 将影响系数分解为直接效应和间接效应, 分别表示解释变量对本地区和相邻地区被解释变量的影响。结果如表 4.5 所示。



为了更清楚地阐明解释变量及控制变量对被解释变量的影响, 本文将空间溢出效应进行分解, 得出变量间存在的直接效应和间接效应。结果显示, 数字普惠金融在三种空间权重矩阵下其直接效应、间接效应和总效应均显著, 取值为正, 说明本地区数字普惠金融发展有助于当地生态农业水平进步, 而在中国各省之间, 数字普惠金融对农业生态效率存在溢出效应且同样表现为促进作用。以空间邻接权重矩阵下的溢出效应为例分析, 数字普惠金融对农业生态效率的直接影响回归系数为 0.0065, 间接影响回归系数为 0.0032, 且分别在 1%和 10%水平下显著, 意味着在其他影响因素保持恒定的情况下, 本地区数字普惠金融发展水平每增长 10%, 在平均水平上不仅会使本地区农业生态效率提高 0.065%, 同时间接带动本地区毗邻省份农业生态效率水平提高 0.032%。上述分析表明数字普惠金融的发展既会促进本地区农业生态效率的提升, 也会拉动周边地区农业生态效率水平的发展, 这与前文的分析论证是一致的。

从控制变量的角度而言, 空间杜宾模型效应分解可以更加精确地分析各变量对本地和邻近地区的影响程度。就城镇化率( $UR$ )这一控制变量而言, 三种权重矩阵下城镇化率指标总效应均显著为正, 说明在城镇化水平较高的地区, 数字普惠金融对农业生态效率的促进作用更强, 同时会影响其周边省份, 产生相似的促进作用; 邻接空间权重矩阵视角下, 城镇化率直接效应和间接效应均为正, 表明城镇化水平对于数字普惠金融助力农业生态效率提升具有正向效应, 且可以溢出至其毗邻省份, 但在地理距离和经济距离空间权重矩阵下, 城镇化率对于数字普惠金融助力农业生态效率提升时, 间接效应表现为正向效应, 直接效应则表现为负向效应, 这说明城镇化率对农业生态效率直接效应表现为抑制作用, 可能原因是部分地区城镇化进程中, 存在发展经济优先于生态农业建设的情况, 因而忽视了生产对环境的影响, 导致直接效应为负, 但其城镇化带来经济、金融、科技、人才等方面的聚集, 加之有关生态农业政策的落实, 使其周边地区生态农业快速发展, 因而导致间接效应为正。

就农业科技财政支出( $TS$ )这一控制变量而言, 三种权重矩阵下农业科技财政支出指标直接效应、间接效应及总效应均显著为正, 说明较高的农业科技财政支出水平会助力数字普惠金融对农业生态效率的促进作用, 同时作用到本地区及周边地区; 此外, 无论选取何种空间权重矩阵, 农业科技财政支出均表现为正向

效应,略有不同的是,在邻接空间权重矩阵下,该指标间接效应强于直接效应,在地理距离权重矩阵和经济距离权重矩阵下则相反,这说明在我国幅员辽阔这一前提下,单纯考虑省份间的毗邻关系并不能得出较为完善的指标间地物关系,还应切实考虑地理距离远近和经济发展水平上的差距,尤其是科技进步这一指标,从溢出效应分解视角来看,某地区农业科技财政支出的提高在促进生态农业发展时确会产生外溢效应,但在促进农业生态效率提高方面,占主导作用仍旧是科技进步带来的直接效应,因此科技赋能是生态农业发展的重要渠道,各省份应注重提升自身农科科技创新水平,致力于农业信息化建设,同时注重补链、强链,完善农业产业链条中的各个环节,充分发挥科技在农业生态化建设中的重要作用。

就农村人力资本(*HUM*)这一控制变量而言,其在各空间权重矩阵下均表现出正向的直接效应、间接效应和总效应,表明较高的农业从业人员受教育程度会在数字普惠金融影响农业生态效率提升这一过程中产生正向效应,同时影响到周边地区;与农业科技财政支出这一变量不同的是,农村人力资本指标在三种空间权重矩阵下均表现为间接效应更强,这一结果与前文所分析机理恰好吻合,农业生产者工作的特殊性会使他们产生较强的人口流动,而大多数农业生产活动也具有门槛较低、注重经验的特点,因此农民外出务工或从事其他生产活动的过程中,会导致农业生产知识、数字金融知识、环保意识、政策宣传以及数字化技能等多方面信息和能力的分享,进而产生较强的空间溢出效应,获得了知识的农户还可以继续传播给其他地区农户,产生“滚雪球”的效果,因而农业人才的培养与引进是提升农业生态效率的有效途径,其增长不仅有利于本地区生态农业的建设,也会影响到周边省份,产生明显的空间溢出效应。

就农业资源禀赋(*ASL*)这一控制变量而言,无论是基于邻接空间权重矩阵,还是地理距离空间权重矩阵和经济距离空间权重矩阵分析,其对农业生态效率均表现为抑制作用,说明人均耕地面积越大,农业生态效率下降,这种抑制作用不仅对本地区有所影响,也会导致周边地区农业生态效率水平的降低,原因在于农业资源禀赋指标是农业规模化水平的表征,农业规模化以经济效益为重点,容易忽视农业活动中的环境保护问题,当前我国生态农业建设方兴未艾,石油农业在农业生产中的比重仍占主要地位,大型农机具和农药、化肥、农膜的大规模使用仍是农业规模化生产的主要措施,故而实现农业生态效率的提升必须发挥数字普

惠金融和农业信息化的力量，通过知识普及、政策宣传、科技赋能等方式改变当前粗放的农业耕作模式，让农业资源禀赋提升的同时兼顾生态与发展，更好地为生态农业建设贡献力量。

表 4.5 空间杜宾模型的直接效应和间接效应

空间权重矩阵	变量名称	直接效应	间接效应	总效应
邻接空间权重 矩阵	<i>DIFI</i>	0.006 5*** (0.004 0)	0.003 2* (0.050 5)	0.009 7*** (0.001 0)
	<i>UR</i>	0.104 1 (0.536 0)	0.748 8** (0.011 0)	0.852 9*** (0.008 0)
	<i>TS</i>	0.401 3 (0.593 0)	4.184 7*** (0.003 0)	4.586 0*** (0.000 0)
	<i>HUM</i>	0.154 6 (0.158 0)	1.118 9*** (0.000 0)	1.273 5*** (0.000 0)
	<i>ASL</i>	-0.0116 9 (0.118 0)	-0.029 8* (0.054 0)	-0.041 5** (0.021 0)
	<i>DIFI</i>	0.002 3** (0.046 0)	0.003 5** (0.025 0)	0.005 8*** (0.008 0)
地理距离权重 矩阵	<i>UR</i>	-0.160 5 (0.123 0)	0.401 4 (0.745 0)	0.240 9 (0.852 0)
	<i>TS</i>	3.555 4*** (0.001 0)	0.173 6 (0.970 0)	3.729 1** (0.042 8)
	<i>HUM</i>	0.475 1 (0.102 0)	0.615 6 (0.671 0)	1.090 7** (0.045 8)
	<i>ASL</i>	-0.008 7** (0.035 0)	-0.035 6 (0.451 0)	-0.044 3 (0.364 0)
	<i>DIFI</i>	0.003 2** (0.047 0)	0.003 7** (0.022 0)	0.006 9*** (0.000 0)
	<i>UR</i>	-0.140 9 (0.112 0)	0.304 5 (0.239 0)	0.163 6 (0.573 0)
经济距离权重 矩阵	<i>TS</i>	3.484 5*** (0.000 0)	1.160 7 (0.671 0)	4.645 2* (0.090 0)
	<i>HUM</i>	0.290 3 (0.303 0)	2.000 9*** (0.007 0)	2.291 2*** (0.002 0)
	<i>ASL</i>	-0.006 8* (0.074 0)	-0.023 4*** (0.005 0)	-0.030 2*** (0.001 0)

### 4.3.3 稳健性检验

稳健性检验旨在评价指标是否有能力合理有效地解释被解释变量,在进行稳健性检验后,若评价指标仍然对评价结果保持较为一致的解释,则表明该模型具有稳健性。一般而言,空间计量经济学中常用以下方法进行判定:一是添加新的变量以判定模型稳健性,若添加其他变量后模型估计结果与原结果一致,则表明原结果具有稳健性(黄恒君、王子源, 2023);二是基于空间邻接矩阵判定模型稳健性,当选取空间邻接矩阵衡量地物空间关系时,其回归结果与使用地理距离空间权重矩阵或经济距离空间权重矩阵下的模型回归结果一致,则表明该模型具有稳健性(朱敏等, 2022)。基于此,本文借有关学者研究,在控制变量中添加农业市场化程度(*MKT*),该指标用以表征农业市场化程度对农业技术水平和技术配置效率产生的影响,通过农民经营性收入占农民纯收入的比重衡量(洪开荣等, 2016)。由于该指标反映农户经营所得对总收入的贡献,因而会对农业资源投入和技术效率产生作用,进而影响农民对农业生产的依赖性,使之偏好石油农业而不重视短期收益较低的生态农业模式。回归结果如表 4.6 所示。

引入该变量后,回归结果与表 4.5 中各变量系数大小、方向和显著性水平均无明显变动,表明前文实证分析结果稳健可信。此外,将空间邻接权重矩阵下溢出效应分解结果作为稳健性检验标准来看,表 4.5 与表 4.6 中核心解释变量系数存在小幅度变动,但其符号与显著性水平相较于另外两矩阵回归结果并无明显差异,控制变量系数的符号也保持一致,因此,上述空间杜宾模型通过稳健性检验。

表 4.6 稳健性检验结果

空间权重矩阵	变量名称	直接效应	间接效应	总效应
邻接空间权重 矩阵	<i>DIFI</i>	0.007 0***	0.001 2*	0.008 2***
		(0.003 0)	(0.075 0)	(0.006 0)
	<i>UR</i>	0.045 8	0.850 3***	0.896 1***
		(0.780 0)	(0.006 0)	(0.005 0)
	<i>TS</i>	0.111 8	2.626 9**	3.7387***
		(0.153 0)	(0.011 0)	(0.009 0)
<i>HUM</i>	0.255 4**	1.169 5***	1.424 9***	
		(0.030 0)	(0.000 0)	(0.000 0)

续表 4.6 稳健性检验结果

空间权重矩阵	变量名称	直接效应	间接效应	总效应
邻接空间权重 矩阵	<i>ASL</i>	-0.010 6 (0.156 0)	-0.031 2** (0.030 0)	-0.041 8** (0.013 0)
	<i>MKT</i>	-0.007 2*** (0.008 0)	0.0101** (0.031 0)	0.0029* (0.051 0)
	<i>DIFI</i>	0.009 7*** (0.000 0)	0.018 3** (0.036 0)	0.005 8*** (0.008 0)
地理距离权重 矩阵	<i>UR</i>	-0.054 6 (0.757 0)	1.854 7 (0.430 0)	1.800 1 (0.416 0)
	<i>TS</i>	12.269 3** (0.019 0)	1.715 8** (0.036 0)	13.985 1** (0.015 0)
	<i>HUM</i>	0.838 9 (0.102 0)	1.311 7 (0.312 0)	2.150 6** (0.020 0)
经济距离权重 矩阵	<i>ASL</i>	-0.006 4** (0.046 0)	-0.020 6 (0.780 0)	-0.027 0 (0.852 0)
	<i>MKT</i>	-0.011 4** (0.045 0)	-0.097 9* (0.078 0)	-0.109 3* (0.085 0)
	<i>DIFI</i>	0.005 9* (0.080 0)	0.007 3* (0.067 0)	0.013 2* (0.069 0)
经济距离权重 矩阵	<i>UR</i>	-0.074 2 (0.667 0)	0.157 7 (0.716 0)	0.231 9 (0.617 0)
	<i>TS</i>	5.069 2*** (0.007 0)	0.828 4 (0.331 0)	5.897 6** (0.032 0)
	<i>HUM</i>	0.119 4 (0.364 0)	0.369 5** (0.036 0)	0.488 9* (0.056 0)
经济距离权重 矩阵	<i>ASL</i>	-0.002 1* (0.082 0)	-0.018 2*** (0.004 0)	-0.020 3** (0.023 0)
	<i>MKT</i>	-0.001 6* (0.053 0)	-0.018 3*** (0.004 0)	-0.019 9*** (0.004 0)

#### 4.4 本章小结

研究数字普惠金融对农业生态效率的空间溢出效应，是制定农业政策，有效提升我国农业生态效率的重要前提。本部分基于第三章测算的中国农业生态效率

值,先后运用莫兰指数、空间计量模型和空间溢出效应分解方法,分析我国数字普惠金融和农业生态效率的空间关系,并基于常见的空间权重矩阵分析二者间作用关系,最终运用偏微分方法测算各变量直接效应和间接效应的具体情况。主要结论如下:

(1)莫兰指数检验表明,数字普惠金融和农业生态效率间存在空间相关性,并通过莫兰散点图直观显示出二者的同向聚集趋势,表明无论是数字普惠金融水平的发展,还是农业生态效率的提升,发展较好的地区间均会相互吸引,产生集聚现象,欠发达地区也是如此。故将空间溢出效应纳入回归分析的考量是合理且有必要的。

(2)基准回归结果表明,两种空间计量模型在时间固定、空间固定和双向固定效应下,数字普惠金融均对农业生态效率存在正向影响。结合各项统计量综合分析发现,选取双向固定效应下的空间滞后模型能获得更优的拟合效果,由此可知控制变量中城镇化水平会对数字普惠金融助力农业生态效率的提升产生负向效应,农业科技财政支出、农村人力资本及农业资源禀赋三项指标则会产生正向效应。在此基础上本文构建空间杜宾模型进行分析,旨在为空间溢出效应分解奠定基础,结果显示数字普惠金融、城镇化率、农业科技财政支出以及农村人力资本指标均会对农业生态效率产生正向作用,农业资源禀赋则会产生负向作用,这一结果在三种空间权重矩阵下的表现均相同。前后对比来看,空间杜宾模型回归结果存在与基准回归结果相左的情况,恰好说明仅通过基准回归分析变量间关系是不完善的,没有考虑到解释变量和被解释变量共同产生的影响。因此,为促进农业可持续发展,应注重数字普惠金融指数的发展,在此基础上加强科技创新与人才引进,促进农业规模化与生态化协同发展,最终实现农业生态效率的增长。

(3)空间溢出效应分解表明,数字普惠金融会对本地区农业生态效率的提升产生影响,同时会溢出到周边地区,两种效果均为正。控制变量中城镇化水平的直接效应为负,间接效应与总效应为正;农业科技财政支出和农村人力资本水平均表现出正向的直接效应和间接效应;农业资源禀赋指标则均表现为负向效应。这说明在我国生态农业建设过程中不能急于求成,应统筹好经济发展与生态保护之间的关系,使数字普惠金融更好地助力生态农业的发展。

## 5 结论与启示

### 5.1 结论

本研究基于中国农业发展现状与对生态农业建设的迫切需求,首先分析了我国农业和数字经济发展的具体情况,对其进行整体的把握,厘清研究的目的与意义,确定研究的主要内容和方法,并对有关学者的研究展开梳理,确定了行文思路。其次,研究基于相关理论和参考文献,对文章中涉及的概念进行界定,系统分析了数字普惠金融影响农业生态效率并产生溢出效应的具体路径和机理,提出可能假说。再次农业生态效率测度,在这一部分首先选取超效率 DEA-SBM 模型测度第一阶段农业生态效率值,再使用随机前沿分析方法剔除环境因素、管理无效和随机扰动带来的影响,将其结果再次代入超效率 DEA 模型,得到第三阶段农业生态效率值并进行分析,使结果更接近实际情况。最后是空间溢出效应分析,分四步进行:第一步运用全局莫兰指数方法检验空间相关性,并使用局部莫兰检验绘制散点图,考察所选指标的空间差异程度;第二步构建基准回归模型,即空间滞后模型和空间误差模型,分别考察二者在时间固定、空间固定和双向固定情况下的回归结果,进而构建空间杜宾模型,分析解释变量和被解释变量共同产生的影响;第三步是进行空间溢出效应分解,分析核心解释变量和控制变量对被解释变量的直接效应与间接效应;第四步是稳健性检验,旨在考察模型构建和估计结果是否稳健可信。具体得出如下结论。

(1)数字普惠金融对农业生态效率存在影响,且会表现出空间溢出效应,具体有三个方面原因。一是数字普惠金融本身具备的门槛低、效率高的特殊特点,且受城镇化水平影响显著,数字普惠金融能更加精准、高效、便捷地提供金融服务,克服了传统金融或普惠金融难以克服的困难,但是,其作为一种资本要素,会首先在城镇化水平更高的地区聚集,故而城镇化水平会影响数字普惠金融对农业生态效率的作用和溢出效应的发生;二是数字普惠金融可以减少信息不对称、促进科技进步,以提高农业生态效率不论是对农业生产者还是涉农企业,数字普惠金融都能从科技创新或信息化管理等角度推动生态农业建设;三是由于农业生产的特殊性,农业生产者在工作时间,劳动难度等方面导致其容易产生流动,加之农业生产存在重经验的特点,而受教育水平高的农户又会表现出更强的学习交流意

向，因而从多个方面加剧溢出效应的发生。

(2)农业生态效率总体水平较高，但存在波动频繁，省际差异大的特点，且受环境因素、管理无效和随机扰动等影响较大。从整体上看，各年份中国农业生态效率均值运行情况表现为上升-下降-上升的波动发展态势，但始终位于高水平区间；最初的上升态势得益于脱贫攻坚的持续推进，农业期望产出稳步提升，中期下降是由于助农工作边际报酬递减的影响，石油农业带来的非期望产出和期望产出对农业生态效率的贡献差距缩小，故表现为下降态势，后期农业生态效率再次上升则是由于乡村振兴战略的提出，改革的红利切实影响到生态农业建设而带来利好。从省际视角来看，中国农业生态效率各省份均值半数以上为高效率，较高效率及以上省份占八成以上，但省际差异较大，说明我国农业生态效率水平较高，但应注重省份间的协调发展；同时各省市农业生态效率实际水平受外界因素影响较大，且部分地区天然环境保护水平较高，生态资源较为丰富，进而影响农业生态效率获得提升。

(3)中国数字普惠金融发展与农业生态效率存在明显的空间相关性，且前者对后者的提升具有显著的促进作用，该作用同时存在不同程度的空间溢出效应。首先，莫兰指数检验和莫兰散点图表明，数字普惠金融和农业生态效率存在明显的空间自相关性，且表现出“高高聚集”和“低低聚集”的趋势；基准回归结果表明，无论使用何种固定效应下的空间回归模型，数字普惠金融均会对农业生态效率产生正向促进作用，同种固定效应下两种空间回归模型在各项指标的影响程度、方向及显著性大体相同，就本研究而言，双向固定效应下的空间滞后模型作为基准回归模型拟合效果最好，通过空间杜宾模型考察解释变量和被解释变量共同产生的影响发现，空间杜宾模型的拟合效果优于基准回归模型，进一步说明了该模型构建的合理性；再次，溢出效应分解表明，无论选取何种空间权重矩阵，数字普惠金融均对农业生态效率产生正向的直接效应和间接效应，说明数字普惠金融的发展不但会带动本地区农业生态效率的提升，还会对周边地区的生态农业建设产生积极作用，对于控制变量而言，城镇化率的直接效应一般表现为负，间接效应和总效应表现为正，说明城镇化水平的提升会在一定程度上抑制本地区生态农业发展，但是对周边地区有积极作用，应注意衡量城镇化进程中生态农业建设与经济发展的重要性，不能厚此薄彼，农业科技财政支出和农村人力资本指标



的直接效应和间接效应均为正,说明农业科技方面的财政投入与农村人力资本水平的提升会对生态农业建设产生积极作用,同时会助力周边地区农业生态效率的提高,科技与人才是助农惠农的重要抓手,二者对本省及周边地区生态农业建设有着重要作用,应作为制定政策和后续工作的重点,农业资源禀赋指标的直接或间接效应均为负,说明农业生产规模增加会对生态农业建设产生抑制作用,因而在农业生产过程中,过于注重农业规模化而忽视环境保护不利于本省和临近省份的农业生态效率提升;最后,稳健性检验结果表明指标选取与模型构建稳健可信,具有较好地拟合与预测效果。

## 5.2 启示

基于上述三个方面的结论,本研究拟提出以下建议。

(1)加强顶层设计,追根溯源、统筹全局。中国农业生态效率要想真正实现提升,增强其稳定性,必须坚持新旧动能转换,转变农业生产发展的方式方法,积极探索农业可持续发展的新业态。首先,我国生态农业发展水平参差不齐,省际差异较大,发展绿色农业任务艰巨,是一个漫长而又复杂的过程,因此必须保证有关政策的稳定性,防止因政策频繁变动而带来的不良影响,并建立完善的法律法规和机制体制,强化主体责任,做好监督管理工作;其次,技术进步是生态农业建设的主要推动力,应该重视农业技术创新,促进产学研融合,加大对涉农科研院所、高校相关研究的支持力度,推动相关绿色技术成果转化,切实提升农业生产技术水平;最后,政府应坚持创新驱动发展战略,引导农户和涉农企业重视绿色生产,一方面鼓励农户在生产过程中积极总结生态农业技术和数字普惠金融技术,并进行交流协作,另一方面从政策支持、资金补贴等角度推动企业加强科技创新,实现绿色技术对传统农业技术的替代,改变粗放的农业经营方式,实现农业高质量发展。

(2)我国生态农业建设成果显著,但应注重省际差异问题。我国各省、市、自治区的农业生态效率发展水平不一,各地区应不断吸收其他省份的发展经验,同时结合自身实际,制定差异化发展战略,平衡好经济发展与环境保护的关系。微观上看,解决省际差异问题应注重对农业生产者的教育工作,在基于网络、课堂、公益讲座等方式推进农户数字普惠金融技能的同时,一并推进经验学习活动,邀请专家入村指导;宏观上看,政府应积极推进跨区域生态农业合作组织活动,引

导农业可持续发展水平较低的地区积极学习陕西、四川等地的先进经验，推动生态农业建设，弥补省际农业生态效率差异。

(3)采取措施增强数字普惠金融的正外部性，促进与其有关的知识和技术在各地区各领域之间流通。应加强数字金融技术在乡村地区的推广与普及，数字普惠金融所能提供的技术支持可以帮助农业生产者减少其生产活动对环境的负面影响，如精准农业技术可以控制农用化学品的使用量；此外，通过数字金融技术提供低息贷款，惠及传统金融难以照顾的地区和群体，以帮助农户采取更环保的生产方式。同时为农业生产者提供培训和教育服务，尤其是实现种养殖大户等农业主体熟练使用数字普惠金融产品，以起到示范作用，使数字普惠金融的知识与技术影响到每一位农村居民。

(四)注重数字普惠金融建设与其他因素相匹配。首先应促进城乡融合发展、夯实互联网建设水平，数字普惠金融作为资本要素，依托互联网技术产生发展，因而要进一步发挥数字普惠金融带来的生态效益，应注重其生存发展的“土壤”；其次应注重绿色人才培养，通过开办在线课程及研讨会，增强农业生产者的环保意识与技能水平，同时加强科技创新，发挥农业研究机构的作用，将现代化工程、信息、系统调节等技术与农业相结合，逐步降低石油农业在农业规模化进程中带来的负面影响，以提升农业生态效率。

## 参考文献

- [1]Aigner D J, Lovell C A K, Schmidt P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models[J].Journal of Econometrics, 1977, 6(1): 21-37.
- [2]Akaike H.Maximum likelihood identification of Gaussian autoregressive moving average models[J].Biometrika,1973,60(2):255-265.
- [3]Anselin L, Florax R J G M. New directions in spatial econometrics: Introduction[M].Berlin Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1995: 3-18.
- [4]Anselin L. Some robust approaches to testing and estimation in spatial econometrics[J].Regional Science and Urban Economics, 1990,20(2):141-163.
- [5]Burridge P.Testing for a common factor in a spatial autoregression model[J].Environment and Planning A,1981,13(7):795-800
- [6]Charnel, A., W. W. Cooper, and L. Rhodes.Measuring the Efficiency of Decision Making Units.European Journal of Operational Research, 1978,2(6): 429-444.
- [7]Elhorst J P. Applied Spatial Econometrics: Raising the Bar[J]. Spatial Economic Analysis, 2010,5(1):9-28.
- [8]Fried H O, Lovell C A K, Schmidt S S, et al. Accounting for Environmental Effects and Statistical Noise in Data Envelopment Analysis[J]. Journal of Productivity Analysis, 2002,17(1):157-174.
- [9]Hahn T, Figge F, Liesen A, Barkemeyer R. Opportunity cost based analysis of corporate eco-efficiency: a methodology and its application to the CO<sub>2</sub>-efficiency of German companies[J].Journal of Environmental Management,2010,91(10):1997-2007.
- [10]Meeusen W, Van Den Broeck J. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error[J]. International Economic Review, 1977,18(2): 435-444.
- [11]Moutinho V, M Madaleno, P Macedo. The Effect of Urban Air Pollutants in Germany: Eco-Efficiency Analysis Through Fractional Regression Models Applied After DEA and SFA Efficiency Predictions [J]. Sustainable Cities and Society, 2020, 59: 102204.

- [12] Odum H T. Environmental Accounting: Emery and Environmental Decision Making[M]. New York: John Wiley & Sons, 1996: 20-50, 57-58, 85-86.
- [13] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. Environment and Urbanization.1992,4(2):120-130.
- [14] Schaltegger S, Rinaldi A Ö. Ansatzpunkte zur Ausgestaltung von ökologieorientierten Managementinstrumenten[J]. Die Unternehmung,1990,44 (4):273-290.
- [15] Tobler W R. A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region[J].Economic Geography, 1970,46(1):234-240.
- [16] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001,130(3):498-509.
- [17] Tone K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2002,143(1):32-41.
- [18] Tone K. Dealing with undesirable outputs in DEA: A slacks-based measure (SBM) approach[J]. Presentation At NAPW III, Toronto, 2004: 44-45.
- [19] 曹守新,孙学涛,刘泊麟.乡村振兴战略背景下数字普惠金融对农村产业发展的影响研究[J]. 金融发展研究,2023,496(4):83-88.
- [20] 曾福生,刘俊辉.区域异质性下中国农业生态效率评价与空间差异实证: 基于组合 DEA 与空间自相关分析[J].生态经济,2019(3):107-114.
- [21] 陈菁泉,信猛,马晓君,等.中国农业生态效率测度与驱动因素[J].中国环境科学,2020,40(7):3216-3227.
- [22] 陈鸣,姚旭兵.农村教育投资减缓农村贫困具有空间溢出效应吗?[J].教育与经济,2020,36(05):13-21.
- [23] 陈阳,穆怀中.中国农业生态效率测算及影响因素研究[J].统计与决策,2022,38(23):101-106.
- [24] 崔许锋,王雨菲,张光宏.面向低碳发展的农业生态效率测度与时空演变分析——基于 SBM-ESDA 模型[J]. 农业经济问题,2022,513(9):47-61.
- [25] 付伟,李龙,罗明灿,等.数字普惠金融助推农业低碳发展的实证研究[J]. 农林经济管理学报,2023,22(1):11-19.

- [26] 古恒宇,揭阳扬.西方空间计量经济学研究进展[J].地理与地理信息科学,2023,39(06):106-114.
- [27] 顾程亮,李宗尧,成祥东.财政节能环保投入对区域生态效率影响的实证检验[J].统计与决策,2016, (19):109-113.
- [28] 郭峰,王靖一,王芳,等.测度中国数字普惠金融发展:指数编制与空间特征[J].经济学(季刊), 2020,19(04):1401-1418.
- [29] 黄恒君,王子源.农村居民消费对农村经济发展的影响:基于门槛效应分析[J].贵州社会科学,2023(04):138-146.
- [30] 洪开荣,陈诚,丰超等.农业生态效率的时空差异及影响因素[J].华南农业大学学报(社会科学版),2016,15(02):31-41.
- [31] 侯孟阳,姚顺波.空间视角下中国农业生态效率的收敛性与分异特征[J].中国人口·资源与环境 2019(4):116-126.
- [32] 吉雪强,尚杰.基于三阶段 SBM 模型的中国农业生态效率研究[J].中国农业资源与区划,2021,42(7):210-217.
- [33] 江红莉,蒋鹏程.数字普惠金融的居民消费水平提升和结构优化效应研究[J].现代财经(天津财经大学学报),2020,40(10):18-32.
- [34] 姜智强,刘伊霖,曾智,等.财政环保支出对农业生态效率的影响研究——来自长江经济带发展战略的经验证据[J].经济问题,2022,514(6):113-122.
- [35] 匡远配,张容.农地流转对粮食生产生态效率的影响[J].中国人口·资源与环境,2021,31(4):172-180.
- [36] 李贝歌,胡志强,苗长虹,张佰发,康巍.黄河流域工业生态效率空间分异特征与影响因素[J].地理研究,2021,40(08):2156-2169.
- [37] 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.
- [38] 李明亮,陈德慧,余国新.数字普惠金融赋能粮食体系韧性——基于空间溢出效应视角分析[J/OL].中国农业资源与区划:1-13[2023-12-22].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.s.20230608.1515.036.html>.
- [39] 李晓园,刘雨濛.数字普惠金融如何促进农村创业?[J].经济管理,2021,43(12):24-40.

- [40]林光平,龙志和,吴梅.我国地区经济收敛的空间计量实证分析:1978—2002年[J].*经济学(季刊)*,2005(1):67-82
- [41]刘彦随,吴传钧.农业持续发展研究进展及其理论[J].*经济地理*,2000(01):63-68.
- [42]刘自强,张天.数字普惠金融对农民收入的影响及其空间溢出效应[J].*当代经济研究*,2021,316(12):93-102.
- [43]吕彬,杨建新.生态效率方法研究进展与应用[J].*生态学报*,2006,26(11):3898-3906
- [44]聂弯,于法稳.农业生态效率研究进展分析[J].*中国生态农业学报*,2017,25(09):1371-1380.
- [45]朴胜任,李健.基于超效率 DEA 模型的中国区域环境效率时空差异研究 [J].*干旱区资源与环境*,2019,32(04):1-6.
- [46]申云,洪程程.数字普惠金融与农业绿色低碳发展:水平测度和机制检验[J].*金融理论与实践*,2023,522(1):45-60.
- [47]谭灵芝,张宇争,田诺澜,等.数字普惠金融对农村回流劳动力收入影响及解释 [J].*南方人口*,2022,37(6):37-51.
- [48]唐燕,孟繁玥.“城市矿产”产业生态效率动态演变特征与影响因素[J].*中国人口·资源与环境*,2021,31(06):67-77.
- [49]田伟,杨璐嘉,姜静.低碳视角下中国农业环境效率的测算与分析——基于非期望产出的 SBM 模型[J].*中国农村观察*,2014,119(05):59-71+95.
- [50]王宝义,张卫国.中国农业生态效率的省际差异和影响因素——基于 1996~2015 年 31 个省份的面板数据分析[J].*中国农村经济*,2018,397(01):46-62.
- [51]王宝义,张卫国.中国农业生态效率测度及时空差异研究[J].*中国人口·资源与环境*,2016,26(06):11-19.
- [52]王辰璇,陈莉.小波-智能优化支持向量机模型及其对农业可持续发展的评价[J].*农业工程学报*,2023,39(04):208-216.
- [53]王洋,谢钟慧,李新月.数字普惠金融与创新发展耦合协调发展研究[J].*哈尔滨商业大学学报(社会科学版)*,2021,181(06):17-26.
- [54]王永静,李慧.数字普惠金融、新型城镇化与城乡收入差距[J].*统计与决策*,2021,37(06):157-161.

- [55] 吴梵, 高强, 刘韬. 农业科技创新、空间溢出与农业生态效率[J]. 统计与决策, 2020, 36(16): 82-85.
- [56] 星焱. 农村数字普惠金融的“红利”与“鸿沟”[J]. 经济学家, 2021(02): 102-111.
- [57] 徐维祥, 郑金辉, 李露, 等. 中国农业生态效率的空间关联及其影响因素分解[J]. 统计与决策, 2021, 37(15): 62-65.
- [58] 薛选登, 温圆月. 黄河流域农业产业集聚对农业生态效率的影响——基于 PCA-DEA 和面板 Tobit 模型的实证研究[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(7): 150-160.
- [59] 杨鑫垚, 叶家硕, 卓震宇等. 数字普惠金融、多维相对贫困及空间效应[J]. 财经科学, 2023, 422(05): 48-61.
- [60] 尹科, 王如松, 周传斌, 等. 国内外生态效率核算方法及其应用研究述评[J]. 生态学报, 2012, 32(11): 3595-3605.
- [61] 张展, 廖小平, 李春华, 等. 湖南省县域农业生态效率的时空特征及其影响因素[J]. 经济地理, 2022, 42(2): 181-189.
- [62] 朱敏, 王凯丽, 唐海云. 绿色金融发展对生态效率的空间溢出效应研究——以黄河流域资源型城市为例[J]. 金融发展研究, 2022, 484(4): 55-62.

## 致 谢

少年易老学难成，一寸光阴不可轻。三年时光如白驹过隙，倏忽而逝；求学路其曼曼，辗转四千余里；过名山、赏大川，砥砺黄河畔；在母亲河穿城而过的兰州，我度过了人生中何其重要的一段时光。三年之中，长了见识，宽了视野，增了文化，强了本领。走过中山桥，到过黄河岸，访了敦煌飞天处，又来伏羲古城边。千二百里不足惧，甘凉大地，何其壮哉；研生三年学识添，见闻如此，何其幸哉！

在本论文完成之际，我首先要向我的导师黄恒君教授表达最深切的敬意和感激。在整个研究过程中，黄老师不仅以其广博的学识和深邃的见解为我指明了研究方向，还以其严谨的学术态度和精益求精的工作风格激励我不断追求卓越。除了学术上的指导，黄恒君教授在生活上也给予了我，包括每一位弟子无微不至的关怀，尤其在疫情期间，他的鼓励和支持帮助我保持积极的心态，使我能够面对研究中的挑战和压力。其次，我有幸得到了课题组各位师兄师姐和同门的帮助与支持，他们的建议极大地丰富了我的研究视野，平时的讨论和交流，让我受益匪浅。最后，我要向我的父母表达深切的感激，他们始终给予我无条件的爱和支持，为我提供了一个充满鼓励的环境，让我能够自由地探索和学习。

在这篇论文的最后，我想对所有给予我支持和鼓励的人表示最深的感激。没有你们的帮助，我的研究之路不会如此顺利。我深知，每一份成功都离不开集体的智慧和努力，每一次进步都凝聚着你们的祝福和期待，这篇论文是我们共同努力的成果，我将永远珍惜这段经历。