

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 财政支农、农业经营规模与农业碳排放

研究生姓名: 秦昊

指导教师姓名、职称: 朱前涛 副教授

学科、专业名称: 应用经济学 财政学

研究方向: 财政理论与政策

提交日期: 2024年5月26日

独创性声明

本人声明所呈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：秦昊

签字日期：2024.05.26

导师签名：朱新海

签字日期：2024.05.26

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：秦昊

签字日期：2024.05.26

导师签名：朱新海

签字日期：2024.05.26

Financial support to agriculture, scale of agricultural operations and agricultural carbon emissions

Candidate: Qin Hao

Supervisor: Zhu Qiantao

摘要

2020年9月,中国政府在第75届联合国代表大会上正式提出2030年实现“碳达峰”、2060年实现“碳中和”的“双碳”目标。“碳”作为全球气候变化和治理的关键要素之一,已经引起学界及政界的共同关注。已有研究表明,人类活动产生的碳排放是全球气候变暖的主要原因,而作为全球80亿人生存发展的基础性产业,农业是全球碳排放的重要来源之一。据统计,农业部门碳排放量占全球碳排放总量的比重已超13%,具体到我国,农业部门碳排放量占全国总碳排放的比重已超15%。农业碳减排问题已然成为学界的研究热点。

财政支农作为我国政府调节农业生产的主要手段,对促进农业产业结构转型、推动绿色新型农业发展有较强的导向作用,环境友好型农业的规划绕不开财政支农;另一方面,在农村空心化、老龄化不断加剧的背景下,农业生产要素禀赋结构跟随农业经营规模的变化而变化的趋势愈发明显。在此基础上,开展财政支农与农业经营规模对农业碳排放的影响及空间效应研究,探索农业发展的低碳路径,对我国“双碳”目标的实现具有重要的现实意义。

文章分六大部分进行讨论。首先是绪论。介绍文章的研究背景与意义、研究内容与方法、研究思路与框架。其次是文献综述、概念界定与理论基础。基于主要研究对象,综合阐述目前国内外在该方向的研究现状及发展趋势,随后在此基础上对财政支农、农业经营规模及农业碳排放进行概念界定,并介绍其相关理论基础。第三部分是对农业碳排放的测算。第四部分,财政支农、农业经营规模影响农业碳排放的理论机制分析并在此基础上提出假设。第五部分是文章的核心部分,将进行实证分析来验证前文的假设。第六部分,结论与建议。总结概括出前文的研究结论,并根据结论给出相应的建议。

文章的主要结论有:(1)我国各地区农业碳排放呈现先上升、后减少的倒“U”型趋势,各地区均取得了一定的农业碳减排成效,但不同地区的减碳差异性较大;(2)财政支农政策存在空间自相关性,对其他地区的农业碳排放存在显著的负向空间溢出效应;(3)在不同水平的农业经营规模区间中,财政支农对农业碳排放的影响存在单一门槛效应。(4)农业经营规模存在空间自相关性,对其他地区的农业碳排放存在显著的正向空间溢出效应。

关键词: 财政支农 农业经营规模 农业碳排放 空间杜宾模型

Abstract

In September 2020, the Chinese government formally proposed the "dual carbon" goal of achieving "carbon peak" by 2030 and "carbon neutrality" by 2060 at the 75th United Nations General Assembly. "Carbon" Carbon, as one of the key elements of global climate change and governance, has attracted the common and widespread attention of the academic and even political sectors. It has been shown that carbon emissions from human activities are the main cause of global warming, and as a basic industry for the survival and development of 8 billion people in the world, agriculture is one of the important sources of global carbon emissions. According to statistics, carbon emissions from the agricultural sector accounted for more than 13% of the total global carbon emissions, and specifically in China, carbon emissions from the agricultural sector accounted for more than 15% of the country's total carbon emissions. The issue of agricultural carbon emission reduction has become a research hotspot in the academic world.

Financial support for agriculture, as the main means for our government to regulate agricultural production, has a strong guiding role in promoting the transformation of the agricultural industrial structure and promoting the development of new green agriculture, and the planning of environmentally friendly agriculture cannot bypass the financial support for agriculture; on the other hand, in the context of rural hollowing out and aging, the structure of the endowment of agricultural factors of production follows the changes in the scale of agricultural operations and the trend of change is more and more obvious. On this basis, it is of great practical significance to investigate the influence and

spatial effect of financial support to agriculture and the scale of agricultural operation on agricultural carbon emission, and to explore the low-carbon path of agricultural development, which is of great practical significance to the realization of China's "double-carbon" goal.

The article is divided into five main parts for discussion. The first part is the introduction. It introduces the research background and significance, research content and methodology, and research ideas and framework. Second is the literature review, concept definition and theoretical foundation. Based on the main research object, it comprehensively describes the current research status and development trend in this direction at home and abroad, and then defines the concepts of financial support for agriculture, agricultural scale of operation and agricultural carbon emission on this basis and introduces its relevant theoretical basis. The third part is the measurement of agricultural carbon emissions. In the fourth part, the theoretical mechanisms of financial support to agriculture and agricultural business scale affecting agricultural carbon emissions are analyzed and hypotheses are put forward on this basis. The fifth part is the core part of the article, and empirical analysis will be conducted to verify the hypotheses of the previous article. Part VI, Conclusion and Recommendation. Summarize and summarize the research conclusions of the previous article and give corresponding recommendations according to the conclusions.

The main conclusions of the article are: (1) China's agricultural carbon emissions in all regions of the inverted "U" trend of the first rise, followed by a decrease in the various regions have achieved a certain degree of agricultural

carbon emission reduction, but the carbon reduction in different regions of the greater variability; (2) the existence of spatial autocorrelation of financial support policies for agriculture, there is a significant negative spatial spillover effect on agricultural carbon emissions in other regions; (3) the financial support policies for agriculture, there are significant spatial spillover effects on agricultural carbon emissions. Negative spatial spillover effect; (3) In different levels of agricultural business scale intervals, there is a single threshold effect of financial support for agriculture on agricultural carbon emissions. (4) There is spatial autocorrelation in the scale of agricultural operation, and there is a significant positive spatial spillover effect on agricultural carbon emissions in other regions.

Keywords: financial support to agriculture; agricultural operation scale; agricultural carbon emission; spatial Durbin modeling

目 录

1 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	2
1.2 研究内容与方法	2
1.2.1 研究内容	2
1.2.2 研究方法	5
2 概念界定、文献综述与理论基础	6
2.1 概念界定	6
2.1.1 财政支农	6
2.1.2 农业经营规模	6
2.1.3 农业碳排放	7
2.2 文献综述	7
2.2.1 财政支农与农业绿色生产的有关文献	7
2.2.2 财政支农影响农业碳排放的有关文献	8
2.2.3 农业规模影响农业碳排放的有关文献	9
2.2.4 文献述评	9
2.3 理论基础	10
2.3.1 公共产品理论	10
2.3.2 农业规模经济理论	11
2.3.3 农业外部性理论	11
2.3.4 可持续发展理论	12
3 农业碳排放的测算与时空变化趋势分析	13
3.1 农业碳排放的测算设定	13
3.2 农业碳排放的时空变化趋势分析	14
3.2.1 全国各区域的农业碳排放变化趋势	14
3.2.2 各省（市、自治区）的农业碳排放变化趋势	16
4 影响机制分析与假设的提出	17
4.1 财政支农对农业碳排放的影响机制分析	17
4.1.1 支农资金的激励与约束效应	17
4.1.2 财政支农对农业碳排放的间接影响	17
4.2 农业经营规模对农业碳排放的影响机制分析	18
4.2.1 农业经营规模的调节作用机制分析	18
4.2.3 农业经营规模的门槛作用机制分析	19
4.3 财政支农与农业经营规模对农业碳排放的空间影响机制分析	20

4.3.1 财政支农对农业碳排放的空间影响机制分析.....	20
4.3.2 农业经营规模对农业碳排放的空间影响机制分析.....	20
5 实证检验及分析	21
5.1 变量选取和数据来源.....	21
5.1.1 变量选取.....	21
5.1.2 样本数据来源.....	22
5.2 实证主要模型设定.....	22
5.2.1 基准回归模型.....	22
5.2.2 空间自相关检验.....	23
5.2.3 空间权重矩阵.....	23
5.2.4 门槛效应模型.....	24
5.3 模型检验.....	24
5.3.1 多重共线性检验.....	24
5.3.2 单位根检验与协整检验.....	25
5.3.3 空间自相关检验.....	26
5.3.4 空间计量模型的选择.....	28
5.4 回归结果分析.....	29
5.5 空间效应分解.....	32
5.6 稳健性检验.....	33
5.7 门槛效应检验.....	35
6 结论与建议	37
6.1 研究结论.....	37
6.2 政策建议.....	38
6.2.1 实行差异化的碳减排政策.....	38
6.2.2 减排重点转向优化功能减排.....	38
6.2.3 持续优化现有的财政支农政策.....	39
6.2.4 加强区域交流合作, 促进区域协同减排.....	39
参考文献	40
附录	45
致谢	47

1 绪论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

温室气体过度排放导致的全球气候变化已经成为了阻碍人类生存与发展的严肃问题，引起了世界各国的广泛关注。我国政府秉承人类命运共同体的可持续发展观，积极承担温室气体减排责任，2020年9月明确提出了2030年实现“碳达峰”、2060年实现“碳中和”的“双碳”目标，彰显了我国的治理智慧与大国担当。尽管第二、三产业碳减排是我国实现“双碳”目标的工作重心，但农业碳排放问题仍然值得引起各界的重视：据统计，我国农业源温室气体排放量约占全国温室气体排放量的17%，明显高于世界平均水平。2021年10月颁布的《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》提出了加速农业绿色减排、促进农业固碳、提升生态农业碳汇等要求，这也意味着对于农业碳排放研究的重要性和必要性已经达到了新高度。

农业碳排放是指农业生产过程中，通过使用化学肥料、处理废物、燃烧化石燃料等活动直接或间接产生的温室气体排放。随着现代农业技术的进步，化肥和农药的广泛应用、农业机械化程度的提高等因素导致了农业碳排放量的持续上升。在我国，农业从传统模式向现代化转变的过程中，面临诸如化肥和农药使用量大但效率低、农业污染加剧、耕地面积缩减以及土地质量下降等挑战，这些问题共同推高了农业的总碳排放量，且短期内难以有效解决。此外，受到农村人口减少和人口老龄化的影响，农业生产依旧依赖高碳排放的方式，农业碳排放面临着严峻的减排困难。因此，探索有效的农业碳减排策略显得尤为重要。

适度的农业规模经营被视为推动现代农业发展的关键。政府层面已经发布了一系列指导性文件来鼓励农业规模适度经营，如2023年的中央一号文件强调了土地经营权有序流转和农业规模化经营的重要性，为农业规模经营创造了积极的政策环境。通过优化经营规模，不仅可以促进农业的现代化，还能克服小规模经营的局限性。在农村人口减少和老龄化的背景下，农业生产要素的结构正在随着经营规模的调整而变化，这种变化有望通过多种路径影响农业的碳排放水平。

财政支农制度作为我国政府调节农业生产的重要手段，对推动农业产业结构升级、促进绿色新型农业发展有着较强的导向作用。在农地经营规模逐渐成为我国未来农业发展趋势的背景下，理清财政支农与农业碳排放的影响关系，对我国财政支农政策的完善

以及农村“双碳”目标的实现具有重要的现实意义。同时，已有证据表明财政支农与农业碳排放均存在显著的空间自相关性（朱前涛、秦昊，2023），因此展开研究时无法忽视其空间特征。基于此，文章试图从空间视角出发，通过理论分析与实证分析探究财政支农、农业经营规模以及两者的交互作用对农业碳排放的影响关系，为财政支农政策的完善与农业碳减排的实现提供部分建议。

1.1.2 研究意义

（1）理论意义。本研究旨在基于现有学术成果，系统分析和探讨财政支农、农业经营规模以及农业碳排放之间的影响关系及其理论基础。具体是通过构建一个理论分析框架，深入理解财政支农和农业经营规模影响农业碳排放的具体机制，并进一步拓展这些因素对农业碳排放产生影响的理论基础。同时，考虑到农业碳减排措施在不同区域的实施可能存在协同作用，本研究也致力于从空间角度出发，综合分析农业碳排放的区域联动现状，明确不同地区间财政支农、农业经营规模对农业碳排放的影响关系及空间效应，为各区域间的绿色财政实施以及农业经营规模的合理调整提供部分理论支持。

（2）现实意义。环保与绿色是实现农业经济可持续发展的必要条件，而由于其公共物品的属性使得有效的环境治理难度较大，“用脚投票”现象、收入与环保的“两难命题”屡屡出现。财政支农作为农村公共物品的主要提供方式，是解决农业发展过程中各种市场失灵问题的主要抓手。另一方面，农业经营规模水平的变化可以直接影响土地资源的利用模式，而土地资源在不同利用方式下均表现出碳“汇”与碳“源”职能，农业经营规模对碳排放的影响不容忽视。因此，理清财政支农、农业经营规模对农业碳排放的影响关系以及空间效应，对于我国“双碳”目标的实现与农业高质量发展有着重要的现实指导意义。

1.2 研究内容与方法

1.2.1 研究内容

文章从以下六个部分进行研究：

第一章，绪论。介绍文章的研究背景与意义、研究内容与方法、研究思路与框架。

第二章，文献综述、概念界定与理论基础。基于财政支农对农业绿色生产效率以及农业碳排放的影响、农业经营规模对农业生产和农业碳排放的影响这一思路，综合阐述目前国内外在该方向的研究现状及发展趋势，随后在此基础上对财政支农、农业经营规模及农业碳排放进行概念界定，并介绍其相关理论基础。

第三章，农业碳排放的测算。首先，构建碳排放计算模型，并收集了十一种农业碳源系数及其绝对量，对我国 2011-2020 年 30 个省市（因数据原因除去港澳台、西藏）的农业碳排放总量进行测算；其次，结合图表分析各省市农业碳排放的变化趋势；最后，把观测的 30 个省市划分为东、中、西部地区，分地区分析农业碳排放的变化趋势。

第四章，财政支农、农业经营规模影响农业碳排放的理论机制分析。首先分别分析了财政支农和农业经营规模对农业碳排放的影响机制，提出了本文的第一个假设：财政支农与农业碳排放之间存在负向影响关系；其次，分析了财政支农与农业经营规模的交互作用对农业碳排放的影响机制，提出了本文的第二个假设：财政支农与农业经营规模的交互作用会显著促进农业碳排放提升；再次，进行门槛效应的分析，提出第三个假设：不同农业经营规模水平下财政支农政策对农业碳排放表现出门槛特征；最后，进行空间效应的分析，并提出第四与第五个假设：财政支农、农业经营规模均存在显著的空间自相关性，对邻近地区的农业碳排放存在显著的空间溢出效应。

第五章，财政支农、农业经营规模与农业碳排放的实证分析。首先进行本研究主要模型以及空间权重矩阵的设定；随后进行空间自相关检验，验证核心变量的空间自相关效应；再次进行模型前验，排除可能存在的多重共线性与伪回归现象；再次进行模型回归，分析财政支农、农业经营规模与农业碳排放之间的空间关系，同时替换空间权重矩阵进行稳健性检验，并进行空间效应分解验证前文假设；最后进行门槛效应的检验。

第六章，结论与建议。总结概括出前文的研究结论，并根据结论给出相应的建议。本研究的技术路线见图 1.1。

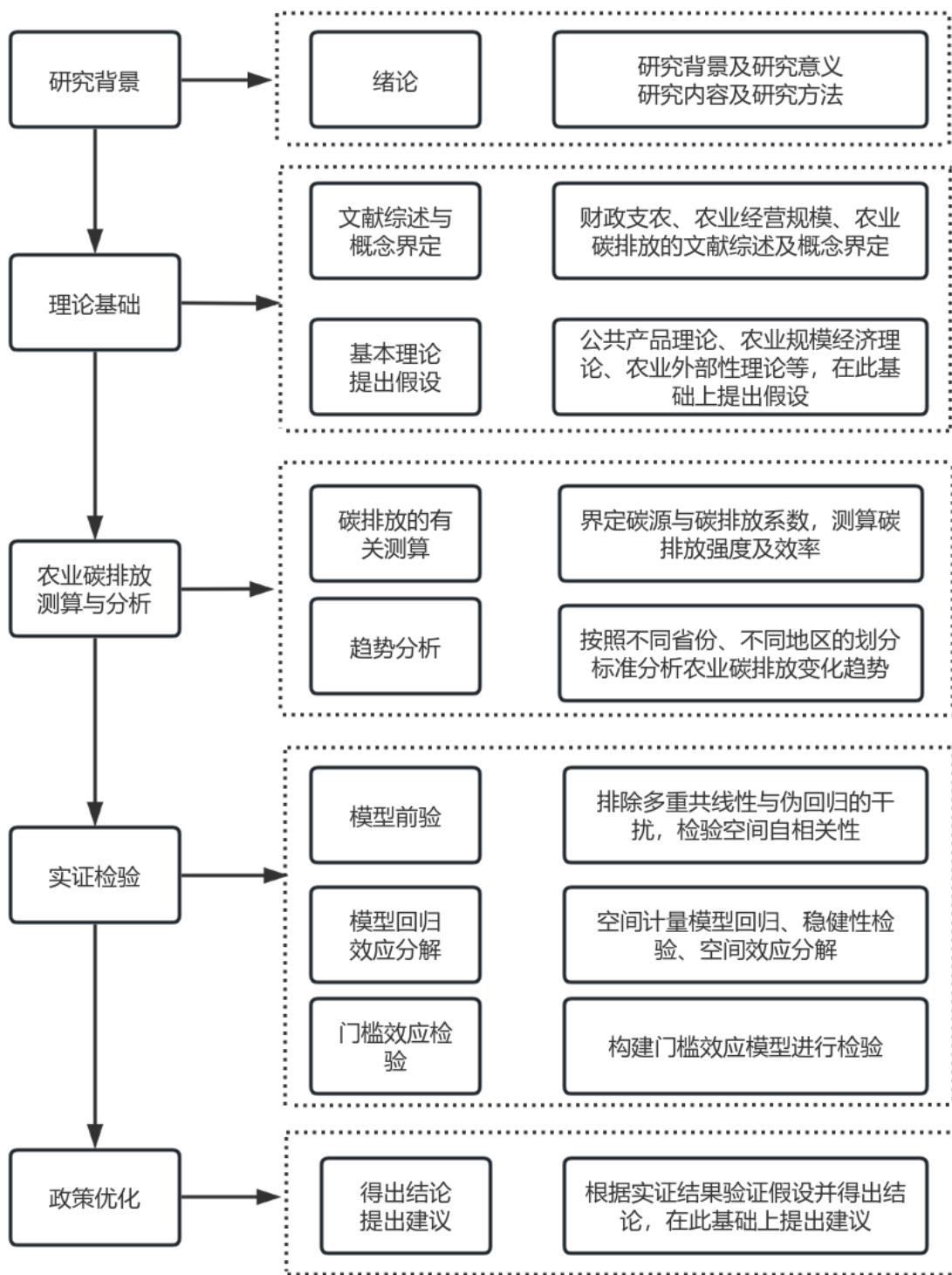


图 1.1 技术路线图

1.2.2 研究方法

一是文献研究法。文献综述旨在详尽阐述研究问题的理论根基与价值所在，深入剖析并细致描绘了其他学者在该领域内取得的丰硕研究成果。这一过程不仅是对前人研究的回顾与总结，更是为后续深入探究提供了坚实的支撑与有益的参考。文章对财政支农、农业经营规模与农业碳排放的有关文献研读后进行总结和归纳，为后续的理论假设提供已有的文献支持。

二是实证研究法。首先通过对农业碳源数据的搜集与测算，得到农业碳排放的一手数据，为实证分析提供有力支撑。再次通过空间计量模型和门槛效应模型的构建与运算分析，得出实证结果来验证假设，进而得出结论与政策建议。

三是探索性空间数据分析法。探索性空间数据分析方法主要聚焦于同一空间维度下不同研究对象间的相互作用。该方法最初在环境问题的研究中得到了广泛应用，然而，随着交叉学科的蓬勃兴起与深度融合，这种分析方法的应用范围已逐渐扩展到多个领域，显示出其强大的适应性和广泛的应用前景。我国各地区碳减排的保持需要各地区协同发展，同时由于地区间的“晋升锦标赛”与“优等生效应”等，财政政策的区域溢出效应愈发明显，因此需要从空间视角考虑财政支农、农业经营规模与农业碳排放的互动。

2 概念界定、文献综述与理论基础

2.1 概念界定

2.1.1 财政支农

农业不仅是国家经济的基石，还具备资源、经济、社会和政治等多维属性。农业发展的社会效益显著，但投资回报率相对较低，这导致私人资本较少投向农业领域。在这种背景下，政府对农业的财政补贴成为了全球许多国家支持农业发展的常见做法。财政支农应该被称为“财政支持农业”，其作为国家支持农村发展的关键政策工具，根据经济发展阶段和国际环境的变化而调整，主要作用在于通过宏观调控促进农业发展。随着时间的推移，财政支农的含义已经发生了变化，现在更广泛地指向支持“三农”（即农业、农村、农民）的发展，涵盖了资金投入、制度建设和优惠政策等多个方面。

财政支农支出在“农林水事务”这一大类下进行分类，主要包括农业、林业、水利等方面的支出。而农业支出不仅限于种植业，还涵盖畜牧业、渔业、农业机械化、农业综合开发等多个领域，反映了对农业广泛支持的财政政策。这种广义上的财政支农，体现了政府对包括种植业、畜牧业、渔业等多个农业相关行业和活动的全面支持。

2.1.2 农业经营规模

经营规模这一概念脱胎于规模经济理论，其核心在于探讨在特定禀赋条件下，通过适度扩大经营规模，使得多种生产要素的投入具有效率，进而实现农业经营整体效益的提升。在早期研究中，国内学者多聚焦于狭义上的土地或农耕地的经营规模。例如，有学者认为在适当的范围内，农地面积与农业生产效率之间存在正向关系（夏永祥，2002）。这一观点为学界深入理解经营规模与农业生产效率之间的关系提供了有益的参考。然而，土地规模的增加并不总是效率提升的保证，这还需根据地区的生产能力和资源禀赋来确定。目前的学术界普遍认同，农业经营规模的扩大可以通过两个主要路径来实现：一是扩大土地经营规模，二是发展服务经营规模。前者注重传统生产要素的整合与优化投入，旨在提升生产效率与产出效益；而后者则运用资本和技术的投入来弥补劳动力与土地等生产要素的不足，以促进经营规模的拓展（罗必良，2017；谢飞等，2021）。通过这种双轨并行的策略，农业经营规模得以有效扩大，从而适应现代农业发展的需要。关于探寻规模经营的最优实现路径，学术界尚未达成共识。有部分观点认为土地分散是制约规模经营实现的关键因素。芦千文等学者（2021）则进一步强调，我国农业当前面临的核

心挑战在于土地资源不能匹配庞大的人口规模，这在一定程度上影响了规模经营的推进。因此，要达成有效的规模经营，需深入剖析当前农业资源分布状况，并探索合理的土地集中与利用方式。土地流转作为扩大土地经营规模的重要途径，尽管在理论上具有显著优势，但在实际操作过程中却面临着一系列制度性障碍，使得规模化经营在短期内难以实现。刘守英和王瑞民（2019）发现其他国家单纯扩大耕地面积并不足以实现规模经营。杨广亮和王军辉（2022）认为尽管明确土地产权可以促进土地流转，但其对土地规模化经营的直接影响并不显著，这主要归因于土地流转意愿的不足以及劳动力供应的数量和质量下降。因此，要提升农业经营绩效，必须优化资源配置，实现要素的有效组合。此外，杨子等（2019）和刘洋、余国新（2022）的研究还显示，农业社会化服务在解决小规模农户面临的劳动力和技术瓶颈方面发挥了积极作用，有助于鼓励他们扩大经营规模，从而实现农业的规模经济效益。这些研究为我们深入理解土地流转及其在土地规模化经营中的作用提供了重要参考。

2.1.3 农业碳排放

农业碳排放指的是在农业生产过程中，通过资源（如能源）的使用、作物及畜牧生长以及各种废弃物的处理产生的排放活动。根据田云等（2014）和 Su&Thomson（2017）的研究，中国农业碳排放的主要来源包括农地使用、水稻种植、反刍动物养殖、农业机械使用中的柴油消耗、以及棉花、小麦和玉米秸秆的处理等。为了准确计算农业碳排放量，不应仅限于种植业碳源，因此本研究采用丁宝根等（2022）和胡向东等（2010）的分类标准，分别对六类种植业和五类畜牧业碳排放量进行测算，并将其汇总以得出整体农业碳排放数据。

2.2 文献综述

2.2.1 财政支农与农业绿色生产的有关文献

截止当前，国际上已有较多有关财政支农影响农业绿色生产的研究。通过对财政支农政策的深入探究，Oskam（1991）揭示了其在推动绿色农业发展中的积极作用，为后来的研究奠定了坚实的理论基础。Chazdon 等人（2008）经过深入研究后发现，财政支农不利于农业生产者审慎地权衡经济效益与生态环境保护之间的关系。Matsuyama（1992）和 Repetto 等（1997）的研究指出，财政支持可能导致生产者在生产过程中过度使用农药和化肥等化学品，降低了农业的绿色生产率。Lei M（2012）使用实证方法分析发现，直接的农业补贴政策不利于低污染的农用化学品推广。Brady 等人（2009）深入探究了

欧洲各国财政农业支出对环境的潜在影响，其研究结果显示，非特定目标的补贴措施有可能对当地的生态环境带来不利影响，因此实施具有针对性的农业补贴政策有一定必要性。

相较之下，国内众多学者认为财政支农对农业绿色生产具有积极效应。韩海彬（2013）指出财政支农在完善农村公共产品、拉动技术进步等方面扮演者关键角色，显著提升了农业环境效率。张淑辉（2017）则进一步提出，财政支农一定程度补偿了农业存在的弱质性，对于环境效率的提升以及科学化生产具有较强的带动作用。叶初升和惠利（2016）观察到，尽管财政支农可能会诱使生产者增加农用化学品的使用，但其仍有助于改善农村生态环境并减少粗放式生产。李兆亮（2017）的研究也发现，我国财政支农对多区域农业绿色生产发挥了积极效应。

然而，也有一些学者认为财政支农对农业生态具有负面效果。葛继红等（2011）认为财政支农可能通过多维度间接导致环境污染加剧。潘丹（2014）的研究结果表明，财政支农支出与生态效益、农业经济等变量之间并未呈现出严格的线性关系，随着支出规模的扩张，甚至会损害农业生态。沈能和张斌（2015）认为，财政支农会诱使农业从业者改变生产方式，这种行为可能会加大环境的压力。沈费伟等（2016）的研究发现，财政支农与农业绿色生产率之间的影响关系反方向变动，由于涉及多种利益主体及其各自多样的需求，导致财政支持农业可能产生非预期的环境影响。王宝义和张卫国（2018）指出，我国倾向于直接补贴农用化学品，一定程度上导致了化学品的过量使用，反而限制了农业绿色生产率的提升。

2.1.2 财政支农影响农业碳排放的有关文献

当前学界中把研究范围界定为财政支农与农业碳排放之间的关系的文献大致可以分为两类，其中多数学者认为财政支农对农业碳排放存在抑制作用。

张广胜等（2014）的研究揭示，农业公共投资对农业碳排放及其强度均展现出明显的抑制效果。随后，黄伟华等（2023）通过实证分析中国 1994 年至 2019 年的省级面板数据，得出结论：财政支农投入不仅对农业碳排放总量具有直接的显著抑制作用，而且还能通过推动农业技术进步来进一步降低农业碳排放量。同样，刘琼与肖海峰（2020）也指出，在农业适度规模经营条件下，财政支农政策对农业碳减排存在显著的效果。此外，Serra 等（2010）的研究发现，脱钩农业补贴会有效抑制碳排放。胡川等（2018）进一步指出，支农政策不会通过直接效应与中介变量多维度影响到农业碳排放，具体表

现为抑制作用。

然而，也有部分学者对此持不同观点。他们认为财政支农会通过资金导向改变农户之前的生产模式与生产习惯，刺激农户增加化学品使用，从而间接促进农业碳排放量的增加。例如，吴伟伟（2019）就提出，支农政策通过资本化率的变化，一定程度上改变了农业生产模式，加剧了农业面源污染及温室气体的排放。朱前涛与秦昊（2023）认为财政支农会通过提供“碳足迹优惠”促进农业碳排放增加。张军伟等（2020）发现农业补贴会通过收入效应和替代效应刺激化肥农药的投入增加而导致农业碳排放强度提高。这些不同的观点为我们全面理解财政支农政策对农业碳排放的影响提供了多元化的视角。

2.1.2 农业规模影响农业碳排放的有关文献

当前已有证据表明多种外部因素可以影响到农业碳排放，而土地流转作为扩大土地经营规模的关键环节，其推进与农村劳动力外流密切相关，导致农业生产要素投入结构发生显著变化，也是影响农业碳排放的主要因素之一。Pranay 等（2019）指出在这一过程中，农户往往只在乎短期收益而过度开发耕地，导致农地污染问题频出。同时，耕地集约化程度与作物种植碳排放之间存在紧密的耦合关系（王剑等，2019），土地经营规模的扩大会直接改变农户的生产行为与要素投入模式，进而影响到碳排放水平（刘琼和肖海峰，2020）。此外，Wu 等发现经营规模的改变将影响到化肥的使用频率及效率，最终表现为农业碳源总量的变化。同时，达到规模经营的生产者具有绿色生产的技术优势，更有实现低碳式环境友好生产。周迪等（2019）发现农业碳排放与农地的利用及开发程度密不可分，虽然农地具有巨大的碳减排潜力（Mayer，2018），但从我国的实际情况来看，耕作方式、农用化学品及土壤破坏均会提升农业碳排放量（戴小文等，2015）。

2.1.3 文献述评

基于上述文献梳理发现，国内外学者在财政支农、农业经营规模对农业碳排放等方面的研究取得了较为丰硕的研究成果。在财政支农对农业碳排放的影响方面，大多学者认为财政支农会抑制农业碳排放的提高，但仍有少数学者持反对观点，似乎在不同研究背景下两种结论都有存在的可能性。同时，有关农业经营规模对农业碳排放的影响的研究较少，学界尚无较为权威的结论。此外，多数学者是通过固定效应模型、面板分位数模型等计量方法研究财政支农支出与农业规模对某地区农业碳排放产生的直接影响，而忽视了财政支农、农业经营规模及农业碳排放的空间特征。鉴于此，为更加全面评估财

财政支农及农业经营规模对农业碳排放的作用效果，本研究选择空间杜宾模型，并且引入财政支农与农业经营规模的交互项去验证交互作用对碳排放的影响及其空间溢出效应，避免了传统的回归模型以空间均质性假设为前提所带来的估计偏差，最后通过构建门槛效应模型，探究农业经营规模在不同区间下对财政支农碳减排效应的影响，最终总结全文并提出自己的政策建议。

2.3 理论基础

2.3.1 公共产品理论

公共产品这一概念由经济学家萨缪尔森在 1954 年首次提出，具体是指那些全社会成员都能共同享用的产品。根据产品的不同特性，它们可以被分类为四种类型。其中，既不会因为消费而导致供给减少的非竞争性产品，又不会因为某些人使用而排除其他人使用的非排他性产品，被称作纯公共产品，如国防服务。另一类是准公共产品，它们要么具有非排他性但是资源有限导致的竞争性，如自然资源；要么是俱乐部产品，即尽管一个人的消费可能会影响到另一个人对该公共产品的消费，但整体上仍能被群体共享，例如公园及其设施。私人产品则是另一类，具备明显的竞争性和排他性。大多数公共产品的特点是非竞争性和非排他性，使得每个人理应能够使用这些公共产品，然而，有些人可能在不支付应有费用的情况下享用这些公共产品，即“搭便车”，在这种情况下，市场机制难以实现资源的帕累托最优分配。这就需要政府介入，以其“看得见的手”来提供这些公共产品，以期达到资源的有效配置。

农业作为一个易受外部条件影响的产业，其脆弱性显著，且伴随着农业活动的展开，污染问题也凸显出其公共属性的特征。由于农业深受自然因素的制约，农产品市场往往面临信息不对称的困境，导致市场机制的调节作用在农业发展中时常出现“失灵”现象。鉴于此，政府的宏观调控作用变得尤为重要，需要加大对农业绿色发展的扶持力度，有效利用财政资金的导向功能，以推动农业朝着绿色、可持续发展的方向发展。

表 2.1 产品种类

	非竞争性	竞争性
非排他性	纯公共产品	准公共产品（公共资源）
排他性	准公共产品（俱乐部产品）	私人产品

2.3.2 农业规模经济理论

农业规模经济理论，作为一种经济学理论分支，深入探讨了农业生产过程中规模化的经济效益。这一理论的起源可追溯至西方经济学的奠基人亚当·斯密，他对劳动分工的深入研究为规模经济理论奠定了基础。斯密从劳动分工和专业化的角度出发，揭示了规模化经营与经济效益之间的内在逻辑联系。通过这一理论，能够更好地理解农业生产中规模扩大如何带来经济效益的提升，进而为农业生产的优化与发展提供理论支持。在工业化初期，美国率先提出了大规模生产的经济性规模理论，这一理论经过发展，最终演化为现今的规模经济理论。其中，马歇尔（1961）对规模经济进行了细致的划分，将其分为内部与外部两部分。他进一步阐释，内部规模经济主要源自企业通过高效利用资源，进而提升组织和经营效率，从而实现经营规模的扩大；而外部规模经济则依赖于多个生产同类或上下游商品的企业通过合理的分工与联合，实现地区布局的优化。农业规模经济理论则是规模经济理论在农业领域的具体应用。其理论基础在于农业规模报酬的递增递减规律以及生产要素的不可分割性（彭群，1999）。此后，经济学家们不断深入研究农业规模经济理论，并在此基础上创新性地提出了农业经济学、农业经济结构理论、农业经济空间理论等诸多新理论，进一步丰富了农业经济学的理论体系。

2.3.2 农业外部性理论

外部性理论，最初由经济学家马歇尔提出，并由其学生庇古进一步发展，逐渐成为经济学研究的一个重点领域。外部性描述了一个人或企业的活动如何影响其他人或企业的福利状况，这种影响既可以是正面的（外部经济），也可以是负面的（外部不经济）。外部经济指的是个体或企业的活动为社会其他成员带来好处，而活动本身的执行者无法获得相应的补偿；而外部不经济则指的是个体或企业活动导致的社会成本，无需由该个体或企业承担。农业生产过程中的污染便是一种外部不经济的体现，农业生产者为了提高产量和经济效益，可能会过度使用农药和化肥等农用化学品。这种使用方式虽然能够短期内提升生产效率和产出，但却可能引发土壤退化、水质污染等环境问题，这些问题的成本在社会层面上是巨大的，远超过农业生产者个人所承担的成本。因此，虽然农业生产者可能从其行为中获得经济利益，但他们的活动实际上增加了社会的边际成本，造成了资源配置的不效率。这种情况下，单个农业生产者在决策时往往不会考虑其活动对环境和社会造成的外部成本，导致农业外部不经济现象的普遍存在。为了解决这一问题，可能需要政府或其他社会组织介入，通过制定相应的政策和措施（如环保法规、农药和

化肥使用标准、绿色生产激励机制等），来内部化这些外部成本，即让农业生产者在决策时考虑到其行为对环境和社会福利的影响，从而引导农业生产朝着更加可持续和环境友好的方向发展。通过这种方式，旨在实现农业生产的社会成本与私人成本之间的平衡，推动实现环境保护与农业发展的双赢。

2.3.4 可持续发展理论

在 1991 年，国际生态学联合会（INTECOL）与国际生物科学联合会（IUBS）共同主办了关于可持续发展议题的专题研讨会，该研讨会深化了对可持续发展这一概念的理解。可持续发展是一个涵盖经济、社会、环境、文化和技术多个领域的综合性理论，旨在阐明经济发展与环境保护、资源保存之间的内在联系。其核心目标在于实现一个协调、平等、多元和高效的发展模式。随后的 1992 年，中国启动《中国世纪议程》的编制工作，结合国家实际情况，制定了一个旨在促进经济、社会、资源、环境、人口和教育全面协调发展的可持续发展策略，这一策略标志着可持续发展成为中国经济发展战略的核心部分，并在后续的各个五年规划中得到了持续实施。到了 1997 年，中共十五大将可持续发展战略明确为中国社会主义现代化建设中的一项核心战略。可持续发展代表了人类发展观念的一次根本性转变，它强调在发展过程中需要平衡经济效益、生态平衡和社会公正三者之间的关系，注重当前行为对未来影响的考量，以期实现人的全面发展。党的十九大报告将可持续发展战略确定为全面建成小康社会过程中必须坚定执行的七大战略之一。作为经济增长、环境保护和社会进步协调一致的体现，可持续发展在农业领域的应用要求降低环境污染，提升农业生产效率，改善地区及全球的温室气体排放状况，以满足社会对农业持续发展的需求。

3 农业碳排放的测算与时空变化趋势分析

3.1 农业碳排放的测算设定

文章中，农业碳排放由种植业碳排放和禽畜养殖碳排放的绝对量构成。当前学界倾向于将种植业碳排放定义为生产全过程中由人类活动造成的各类碳源产生的 CO₂、N₂O 和 CH₄ 等温室气体（丁宝根等，2022），因此要将农业生产过程产生的温室气体折算成 CO₂ 当量进行碳排放计算与汇总。参考学界已建立的核算体系与方法，在选取柴油、农药、化肥、农膜、灌溉、翻耕六类种植业碳源的基础上，考虑到禽畜养殖温室气体排放已经超过交通运输业，成为了不可忽视的一类碳源（师帅等，2017），并且我国农村地区长期保留家庭禽畜养殖与厂区规模化养殖的传统，因此，文章将禽畜养殖（猪、牛、奶牛、羊、禽）碳排放也划归为农业碳排放。

表 3.1 农业碳排放的碳源及碳排放系数

碳源	碳排放系数	参考来源
柴油	0.59kg/kg	IPCC2007
农药	4.93kg/kg	美国橡树岭国家实验室
化肥	0.89kg/kg	
农膜	5.18kg/kg	南京农业大学农业资源与生态环境研究所
灌溉	266.48kg/hm ²	段华平等（2011）
翻耕	312.60kg/hm ²	李波等（2012）
牛（非奶牛）	1731.00kg/（头*年）	胡向东等（2010）
羊	271.30kg/（头*年）	
奶牛	2398.00kg/（头*年）	
猪	270.40kg/（头*年）	
家禽	6.46kg/（头*年）	

$$\text{碳排放量计算公式为: } E = \sum E_i = \sum (T_i \delta_i) \quad (3-1)$$

对于六类种植业碳源来说， E 为农业碳排放总量； E_i 为各类碳源的碳排放量； T_i 分别为柴油、农药、化肥、农膜的实际使用量以及实际灌溉面积、农作物实际播种面积； δ_i 为各类碳源的碳排放系数（见表 3.1）。

对于禽畜养殖碳源来说， E 为农业碳排放总量； E_i 为各类碳源的碳排放量； T_i 表示

平均饲养数量，为了科学计算，文章参考张金鑫（2020）的做法，设置饲养周期超过一年的牛、奶牛、羊的 $T_i = (\text{今年年末存栏量} + \text{上年年末存栏量}) / 2$ ，设置饲养周期未达一年的猪、禽的 $T_i = (\text{生命周期} / 365 \times \text{年末出栏量})$ ，其中猪、禽的生命周期定为 200、55。 δ_i 为各类碳源的碳排放系数（见表 3.1）。需要说明的是，各类碳源的使用数据来自《中国统计年鉴》、《中国农村统计年鉴》、《中国畜牧兽医统计年鉴》，农业碳排放的测度时间范围为 2011 至 2020 年。

3.2 农业碳排放的时空变化趋势分析

3.2.1 全国各区域的农业碳排放变化趋势

将碳源数据结合公式 (3-1) 与表 3.1 的碳源数据进行计算。按照国家统计局对我国区域的划分标准，将文章观测的 30 个省划分为东中西部地区，各区域 2011-2020 年的平均农业碳排放量如表 3.2 所示，各区域平均农业碳排放的变化趋势如图 3.1 所示。

表 3.2 2011-2020 年东中西部平均农业碳排放量（单位：万吨）

时间	东部地区	中部地区	西部地区	全国
2011	2890.36	3297.81	3576.01	3250.42
2012	2766.85	3115.35	3644.92	3181.74
2013	2802.69	3158.03	3700.87	3226.78
2014	2848.19	3208.79	3785.28	3287.95
2015	2866.08	3232.52	3837.42	3319.95
2016	2842.65	3214.18	3833.06	3304.88
2017	2710.57	3060.78	3716.91	3172.95
2018	2558.00	2881.39	3799.58	3227.82
2019	2388.88	2702.64	3401.52	2843.85
2020	2389.19	2714.97	3458.71	2868.22

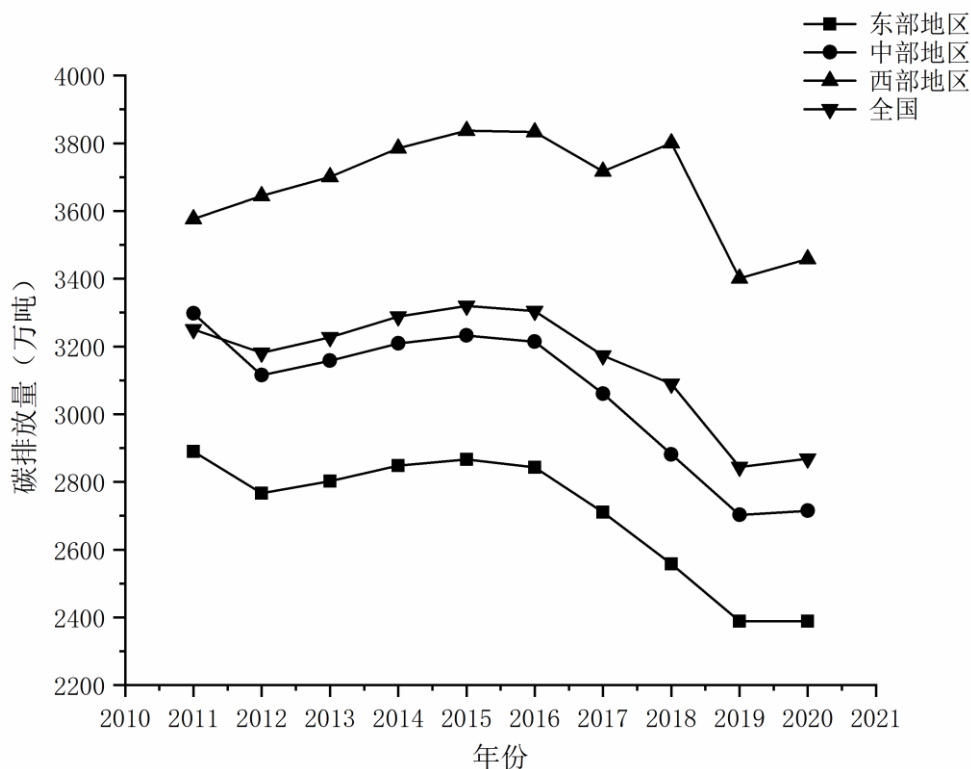


图 3.1 各区域平均碳排放量变化趋势

如图 3.1 与表 3.2 所示,我国平均农业碳排放量在 2015 年前呈总体上升的趋势,并在 2015 年达到了排放量顶峰,此后持续下降,但在 2020 年略有回升,这也与其他学者预测结果一致(黄晓慧等, 2022)。2015 年后农业碳排放量的降低与国家在当年推行实施的农药化肥零增长等一系列低碳农业政策有直接关系,这说明农业碳排放具有一定程度的政策敏感性,因此我国仍需持续贯彻落实低碳农业政策,防止在未来发生碳排放反弹。按地区来分析,农业碳排放量呈现出“西部>中部>东部”的典型特征,原因在于:西部地区除了种植业以外,畜牧业发展规模远超全国其他地区,该产业具有分散性、模糊性、潜伏性等特点(李云燕等, 2021),较难直接治理,且畜牧业的碳排放强度与碳足迹均高于种植业(师帅等, 2017),所以西部地区的农业碳排放高于其他地区。中部地区包括了河南、黑龙江、湖北、湖南等几个传统农业大省,在观测时间之初和西部地区的平均农业碳排放差距不大,但中部地区随着低碳政策的实施与农业生产方式的调整获得了良好农业减碳效果,中西部农业碳排放量差距持续拉大。而东部作为我国的发达地区,在农业产业结构转型以及农业生产率的提升中处于全国领先地位,因此农业碳排放量低于中西部地区。若从 2011-2020 年的农业碳减排绝对量来分析,中部地区减排

582.84 万吨，超出全国平均值 200.64 万吨；东部地区减排 501.17 万吨，超出全国平均值 118.97 万吨；西部地区减排 117.3 万吨，与全国平均值还有 264.9 万吨的减排差距。因此，在接下来我国碳减排工作的重心要向西部地区的农牧业倾斜，并合理制定各地区的农业碳减排政策。

3.2.1 各省（市、自治区）的农业碳排放变化趋势

根据农业碳排放计算结果分析（见附录表 3.3、表 3.4），2011-2020 年全国各省（市、自治区）农业碳排放大致呈现出先增加、后减少的倒“U”型趋势，其中，2011 年全国农业碳排放总量最高的是山东省，达到了 5114 万吨，农业碳排放总量最低的是上海市，仅有 104 万吨，最高值与最低值相差了 50 倍，可见我国农业碳排放的地区分布存在较为明显的差异。2012-2016 年，全国农业碳排放量最高的省份是河南省，2017-2020 年全国农业碳排放量最高的省份则是内蒙古自治区，在 2011-2016 年间传统种植业大省（山东、河南）的农业碳排放量高于全国其他地区，而在 2017 年至观测期结束则是传统畜牧业大省（内蒙古）的农业碳排放总量登顶。出现这种情况的原因可能是因为国家在 2015 年推行实施的农药化肥零增长政策直接影响了传统种植业大省的农用要素投入方式，使得当地碳排放总量出现了大规模降低，而传统畜牧业大省对“零增长”政策的敏感程度不高，碳减排进展缓慢。2011-2018 年，上海市的农业碳排放总量持续排名末位，而在 2019-2020 年则是北京市农业碳排放总量排名末位，上海市与北京市分别是我国经济、政治中心城市，并非传统意义上的农业产区，随着我国区域协同与产业集聚的不断加深，上海与北京地区的第一产业结构调整与转移速度加快，两地的农业碳排放不断减少，并持续位于全国各省市农业碳排放的末位。

2011 年-2020 年，全国各省域农业碳减排最多的是山东，突破了 2000 万吨，农业碳增排最多的是新疆，增排了 800 万吨。农业碳减排绝对量排名前五的有山东、河南、湖北、河北、江苏，可以发现都是东部或中部的种植业大省，而这几个省份观测初始的农业碳排放量也较高，似乎存在一种“基数论”，即农业碳排放量高的省份农业碳减排绝对量也较高，但这种假设在一些中西部地区的省份不成立：新疆、云南、四川、甘肃等省份农业碳排放量同样处于高位，但在观测期内并未取得减碳成效，农业碳排放总量反而提升了。正如前文所分析，出现这种情况可能是因为种植业的碳减排阻力小于畜牧业，导致西部地区多数省份的农业碳排放持续处于高位，甚至出现农业碳减排的反弹现象，因此要加大对西部地区的农业碳减排政策倾斜力度，合理控制与引导农业碳减排。

4 影响机制分析与假设的提出

4.1 财政支农对农业碳排放的影响机制分析

4.1.1 支农资金的激励与约束效应

作为弱质性产业，农业在生产过程中具有周期长、回报见效慢等特点，使其难以内生性地解决资金供应等问题，因此农业发展需要政府的支持和引导。当前，我国财政支农项目涵盖多种补贴类型，依据其功能特性，可主要划分为两大类。一类是为了补偿我国城乡二元体制下“大国小农”现状的补贴，旨在加速农业科技的发展与现代化，如农业科研补贴、农业技术推广与服务补贴、畜禽粪污资源化利用补贴等。此外，特别设立了碳达峰碳中和科技创新专项资金，以推动低碳农业机械的研发和农业科技创新。这一专项资金为环境友好型农业带来了重要帮助，有利于减少农业碳排放。

另一类补贴则侧重于改善农业生产与保护生态环境，包括农业支持保护补贴、农机补贴以及化学品减量增效补贴等。农业支持保护补贴由原有的农业“三项补贴”演变而来，目前分为耕地地力保护补贴与粮食适度经营规模补贴，农户利用这些资金来更新土地耕作方式、提升生产效率，一定程度上减少了粗放式生产和过度开发导致的农业碳排放。农机补贴则鼓励农民在农业生产中增加技术投入，购置绿色高效的农业机械设备，实现精准施药、高效施肥和节水灌溉等目标，进而提升农业资源利用效率，减轻生态环境压力。化学品减量增效补贴，如测土配方施肥补贴、缓控释肥补贴和高效双低新农药补贴等，则旨在激励农户采用绿色农业技术，减少农药、化肥的使用量，提升使用效率，从而改善农业生态环境，推进污染防治。

然而，值得注意的是，若支农资金未能得到充分利用，支农力度不足，或甚至引导农户加剧化学类要素的投入，将对农业环境造成负面影响。例如，有研究表明，国家对化肥行业的管制与财政补贴政策改变了化肥要素的市场化运行轨道，刺激了污染物的排放（葛继红等，2011）。因此，在实施财政支农项目时，需确保资金的有效利用与合理引导，以促进农业的可持续发展。

4.1.2 财政支农对农业碳排放的间接影响

首先，有研究表明财政支农通过推动技术创新对区域农业碳排放具有重要影响（黄伟华等，2023）。鉴于农业技术升级与应用所产生的积极外部效应，政府需采取策略性措施加以支持和引导。农业财政补贴的实施能够影响农业生产中各要素的价格比例，从

而促进农业技术结构的优化和升级。在此过程中，政府不仅提供了必要的资金支持，还发挥了关键的引导作用，推动了农业科技的进步与应用，为农业的持续发展奠定了坚实基础。依据诱致性技术变革理论，农民会响应这些价格比例的变化，追求利润最大化，进而促进生产技术向更高科技含量和生产力水平的方向发展，并更广泛地采用这些生产要素。内生增长理论指出，技术进步减少了资源的低效率浪费，进而减少了温室气体的排放（Romer, 1986）。一方面，农业技术的提升可以通过增加农用化学品的使用效率并提高生态固碳效率，减少了碳排放；另一方面，还可以通过优化农业生产要素的投入比例与结构间接减少碳排放。

刘琼与肖海峰（2020）提出，农业碳排放受农地经营规模的影响，而财政对农业的支持在此过程中起着显著的调节作用。从财政补贴对化学品使用的影响视角进行分析，多项补贴措施能够有效减少化学品的不合理施用，促进农户提升农用化学品的使用效率（唐汉等，2019），显著降低了由化学品投入所导致的温室气体排放及面源污染。

同时，财政支农还会通过影响农用机械水平影响到碳排放。一方面，农机购置补贴促进了农机的普及与使用，但可能引发柴油、汽油等农业碳源的使用量提升，进而导致碳排放的增加。但另一方面，低碳农业科技研发专项资金的设立，显著推动了节能环保型农机的开发与应用，对于降低农业碳排放起到了积极作用（熊冬洋，2017）。此外，财政支农涉及到粮食种植面积的专项补贴，引导种植结构合理化，保证了基本粮食作物的产量安全，而粮食作物比经济作物碳排放量低，因此该补贴也会影响到碳排放水平。

结合上述分析，可以得知当前多数研究成果认为财政支农会通过多维途径影响到农业碳排放，其中最为关键的是财政支农资金的“有导向的收入效应”，通过划定支农资金的不同用途，从而引导农业生产者走上绿色生产的道路。虽然在这一过程中可能存在“用脚投票”导致财政支农出现碳促排现象（葛继红、周曙东，2012；朱前涛、秦昊，2023），但是随着我国农业技术进步与资源禀赋的耦合程度提高可以减弱支农财政的碳促排效应（吴伟伟，2019）。基于此，提出本文的第一个假设：

假设 1：财政支农能够显著抑制农业碳排放。

4.2 农业经营规模对农业碳排放的影响机制分析

4.2.1 农业经营规模的调节作用机制分析

一方面，有学者认为在农田利用方式转型的背景下，财政支农为了促进我国农业发展、缩小城乡二元差距，会鼓励农户增加生产过程中资本要素的投入，导致碳排放的提

升（吴伟伟，2019）。如农资综合补贴、农机购置补贴、良种补贴等政策显著促进了农药、化肥和农业机械的投入，而农业生产经营主体多元化、农业规模化经营增强了支农财政对农业资本要素投入的激励效应，支农财政会向农业从业者提供“碳足迹优惠”，导致农业碳排放的提高（朱前涛、秦昊，2023）。此外，在农村老龄化、空心化与兼业化趋势不断加深的背景下，为了将农业的经营规模向满足农业生产需要的方向调整，财政支农会通过“收入效应”与“替代效应”弥补人工的缺失，使得农用化学品对生态环境产生更高的压力，削弱了财政支农的碳减排效果。

另一方面，在农业经营规模的调整过程中，财政支农也有可能降低农业碳排放强度。财政支农可以通过针对耕地保护的农业补贴影响到耕地利用强度、种植结构、轮休模式等途径影响碳排放足迹和碳排放量。因此，在规模经营的主要导向下，财政支农与农业经营规模协同性政策产生合力，在推动农业产出增长的同时能够降低农业碳排放。因此，可以预测在交互作用下，财政支农可能会随着农业经营规模的扩大而产生增加农业资本要素投入的激励效应，导致农业碳排放提升，反之亦然。已有的研究成果表明（刘琼、肖海峰，2020；陈宇斌、王森，2022；吉雪强等，2023），现阶段我国农业经营规模对农业碳排放的增量效应已经逐步显现。根据上述分析，提出假设 2。

假设 2：财政支农与农业经营规模的交互作用会促进农业碳排放提升。

4.2.3 农业经营规模的门槛作用机制分析

财政支农对农业碳排放的影响并非一成不变，根据边际效用递减规律，财政支农资金投入到达一定规模后其初始碳减排效应可能会减弱，有学者指出财政支农资金对农业生态效率存在非线性关系（黄志斌、杨建州，2022）。同时，由 4.2.2 部分的分析可以得知，在农业经营规模的调节作用下，财政支农对农业碳排放的影响可能会发生改变。若从门槛效应的视角来推理，对于农业经营规模而言，当其处于较为合理的区间范围时，财政支农对农业碳排放的抑制效果可能达到最优，这是因为在这一阶段的经营规模尚在农业从业者的管控能力之内，能够较为合理地解决要素的投入配比关系。而当农业经营规模扩大到合理区间之外时，此时的财政支农政策可能会导致农用要素呈现出不合理的配比关系，存在劳动力投入过少而化肥、农药以及农机等投入过多的情况，这种不合理的要素投入比例削减了财政支农的碳减排效果。此时，普通线性关系可能无法完全阐释清楚财政支农、农业经营规模与农业碳排放之间的复杂联系。因此，在农业经营规模动态演进的背景下，探寻不同农业经营规模水平区间下财政支农对农业碳排放影响的异质

性具有重要意义。结合上述分析，提出假设 3。

假设 3: 不同农业经营规模水平区间下财政支农对农业碳排放的影响存在门槛特征。

4.3 财政支农与农业经营规模对农业碳排放的空间影响机制分析

4.3.1 财政支农对农业碳排放的空间影响机制分析

Anselin 等（2001）认为事物之间均存在着联系，距离越近关系就越密切，且空间因素是研究环境问题不可忽视的重要因素。财政支农投入存在着较强的地理相关性和空间溢出效应，某区域财政支农投入变化不仅会影响本地的农业碳排放总量，而且会由于区域之间竞合动态关系的改变而影响邻域的农业碳排放总量（叶初生、惠利，2016）。对于某一区域来说，财政支农作为地方政府支持“三农”发展的主要手段，在摒弃了“唯 GDP”的政绩评价标准后，若该地区政府能在农村环境治理领域取得良好成果，则会吸引周边乃至全国范围的官员自发学习。此外，在发展责任、考核压力与与政绩的“倒逼”下，邻近省份政府官员也倾向于进行支农政策效仿，“学习效应”、“优等生效应”与“晋升锦标赛”会激励地方政府改进财政支农政策与加大资金支持力度，进而影响到该地区的农业碳排放。基于上述分析，提出假设 4：

假设 4: 财政支农存在空间自相关性，对其他地区的农业碳排放存在空间溢出效应。

4.3.2 农业经营规模对农业碳排放的空间影响机制分析

农业经营规模作为影响农业收入的重要因素，是农民长期关心、持续关注的内容。随着通信与交通等基础设施建设的进步，各地区的农业部门之间必然呈现空间关联度逐渐增强的趋势，若经济发达地区在农业经营规模变动过程中，凭借部分生产、技术或管理优势取得了生产率的进步，会通过“涓滴效应”与“学习效应”辐射到邻近地区，进而改变邻近地区农业技术、生产思路、经营管理等模式。上述各种可能性的改变不仅会作用于农业经营规模，还会影响到农业碳排放，最终形成区域间碳排放的联动与响应。由上述分析可知，土地生产率存在空间上的相关性，同时会对其他地区的农业碳排放量产生影响。基于上述分析，提出假设 5。

假设 5: 农业经营规模存在空间自相关性，对其他地区的农业碳排放存在空间溢出效应。

5 实证检验及分析

上一章节从理论层面分析了财政支农、农业经营规模与农业碳排放的影响机制，并为接下来的实证研究奠定了理论基础。在本章节中，将对我国财政支农、农业经营规模与农业碳排放进行实证分析，验证前文提出的假设并对实证结果进行检验和解释说明。

5.1 变量选取和数据来源

5.1.1 变量选取

被解释变量：本文的被解释变量为农业碳排放（*carbon*），由六类种植业碳排放及五类禽畜养殖业碳排放的绝对量构成。各碳源系数的来源与测算方法见前文 3.1。

核心解释变量：（1）财政支农政策（*fesa*）。反映财政支农的政策强度较为直观的方法是计算支农资金支出占比，这种计算方法可以消除各地区由于农业规模、农业经济水平和农民人数不同导致的财政支出绝对规模的差异，客观反映各省域财政对三农的支持强度。考虑到我国财政支农资金项目种类繁多，且各地区农村发展情况不同，使用单一支农资金科目不能如实反映财政支农强度，因此，本文借鉴刘琼和肖海峰（2020）的指标选取思路，采用财政对农业部门支出之和与农林牧渔业总产值的比值来作为财政支农政策的代理变量。

（2）农业经营规模（*scale*）。借鉴莫亚琳等（2021）的指标选择思路，使用农作物播种面积与第一产业就业人数的比值作为农业经营规模的代理变量。

（3）财政支农政策（*fesa*）及农业经营规模（*scale*）的交互项（*interaction*）。为了验证农业经营规模（*scale*）的调节作用，将财政支农政策（*fesa*）及农业经营规模（*scale*）标准化处理后进行交乘。

控制变量：（1）农业机械化程度（*mach*）。农业机械化水平的高低会通过影响化石能源的消耗程度和生产行为的频率，进而影响农业碳排放。选取农业机械总动力与耕地面积之比作为其代理变量。

（2）种植结构（*stru*）。已有研究指出（郭旋等，2016），粮食作物对农药、化肥和农膜等农资的需求量相对经济作物来说更少，因此，粮食种植占比的提高可能会促使化学农资消耗的减少，进一步促使碳排放量。采用粮食作物播种面积与农作物总播种面积比重来表示种植结构。

（3）耕地占有率（*land*）。耕地占用面积会通过多维途径影响到农业碳排放（丁宝根等，2022），选择耕地面积与农村人口的比值来表示耕地占有率。

(4) 土地生产率 (lp)。土地生产率不仅可以直接影响到农业碳排放,还可以通过空间途径影响到邻近地区碳排放(朱前涛、秦昊, 2023)。选择农业总产值与农作物播种面积之比来作为其代理变量。

(5) 农村居民恩格尔系数 ($engle$)。周京奎等(2020)运用恩格尔系数作为衡量贫困水平的工具,而农村贫困水平可能会影响到农业生产要素的资本化率进而影响到碳排放。

(6) 城乡协调系数 ($urcc$)。城乡协调发展有助于缩小城乡收入差距、促进第一产业升级转型(刘涛、杜思梦, 2021),有可能会影响到农业碳源基数及排放强度,因此选择其为控制变量。计算方法为第一产业比较劳动生产率与第二、三产业比较劳动生产率之比。

门槛变量:选择农业经营规模 ($scale$) 作为门槛变量,检验财政支农对农业碳排放的影响是否存在门槛效应。

5.1.2 样本数据来源

文章以 2011-2020 年中国 30 个省级行政区(因数据缺失除去港澳台、西藏)面板数据为根据,选取 11 个农业碳源测算农业碳排放,通过构建实证模型来验证文章的五个假设。被解释变量、核心解释变量、控制变量以及门槛变量计算中需要的一切数据,均来源于各省(市、自治区)历年统计年鉴和调查资料以及《中国统计年鉴》、《中国农村统计年鉴》、《中国农业机械工业年鉴》、《中国财政年鉴》、《中国畜牧兽医年鉴》。

需要说明的是,各变量的计算中若有涉及到的价格数据,均采用 2011 年不变价格,以消除通货膨胀与价格波动的影响。同时,对所有变量取对数并进行 1%缩尾处理,以消除异方差和极端数值对实证结果的影响。

5.2 实证主要模型设定

5.2.1 基准回归模型

遵循一般到特殊的建模思路,首先选择构建双向固定效应模型如下:

$$Incarbon_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Infesa_{it} + \alpha_2 Inscale_{it} + \alpha_3 Ininteraction_{it} + \alpha_4 InX_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (5-1)$$

式 (5-1) 中, i 表示地区, t 表示时间, $carbon$ 表示被解释变量农业碳排放, $fesa$ 表示核心解释变量财政支农政策, $scale$ 表示农业经营规模, $interaction$ 表示财政支农政策与农业经营规模的交互项, X_{it} 表示各控制变量, α_0 、 α_1 等为常数项, μ_i 为个体固定效应, ν_t 为时间固定效应。

根据前文分析, 财政支农与农业经营规模及其交互作用可能会对农业碳排放产生空间效应, 所以模型应涉及到地区间的空间互动。因此构建静态空间杜宾模型如下:

$$\begin{aligned} \ln carbon_{it} &= \alpha_0 + \rho W \ln carbon_{it} + \beta \ln X_{it} + \theta W \ln X_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \\ \varepsilon_{it} &\sim N(0, \sigma^2 I_n) \end{aligned} \quad (5-2)$$

式 (5-3) 中, β_0 为常数项, i 表示地区, t 表示时间, $carbon$ 为被解释变量农业碳排放, X_{it} 为包括交互项以及财政支农政策在内的解释与控制变量, W 为空间权重矩阵, ε_{it} 为随机扰动项, μ_i 为个体固定效应, ν_t 为时间固定效应, ρ 、 β 、 θ 为待估系数。

5.2.2 空间自相关检验

对变量进行空间相关性分析之前, 首先要确定其是否存在空间效应。文章选择计算全局莫兰指数 (Moran's I) 来证实研究对象的空间效应。模型如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5-3)$$

上式中, I 表示全局莫兰指数, n 表示测度省份的个数; x_i 、 x_j 分别为省份 i 和 j 的财政支农政策 ($fesa$)、农业经营规模 ($scale$) 与农业碳排放; \bar{x} 为样本的平均值; w_{ij} 表示空间权重矩阵。全局 Moran's I 指数的取值范围为 $[-1, 1]$, 当 $I=0$ 或是趋近于 0 时, 说明变量间不存在空间相关性, 在空间上随机分布; 当 $I<0$ 时, 表示存在空间负相关, 呈现分散的特征; 当 $I>0$ 时, 代表存在空间正相关, 呈现集聚的特征。

5.2.3 空间权重矩阵

空间权重矩阵 W 选用邻接空间矩阵和地理距离权重矩阵, 其中 W_1 代表邻接空间矩阵, 即当两个城市相邻时 W_1 取值为 1, 当两个城市不相邻时 W_1 取值为 0; 同时因为邻接空间权重矩阵无法衡量一个地区与不相邻地区之间的影响和作用程度, 构建地理距离权重矩阵 (两地质心距离倒数的平方) 来把握更远距离省际的空间作用影响。在后续实证分析中, 将以地理距离权重矩阵 (W_2) 作为主要回归矩阵, 邻接空间矩阵 (W_1) 作为稳健性检验矩阵。

5.2.4 门槛效应模型

参考 Hansen (1997) 的门槛效应理论, 把农业碳排放作为被解释变量, 财政支农政策 (*fesa*) 作为核心解释变量, 农业经营规模 (*scale*) 作为门槛变量, 构建门槛回归模型如下:

$$\begin{aligned}
 Incarbon = & \omega_0 + \alpha_1 control_{it} + \beta_1 fesa \cdot D(scale < \theta_1) + \beta_2 fesa \cdot D(\theta_1 \leq scale < \theta_2) \\
 & + \dots + \beta_n fesa \cdot D(\theta_{n-1} \leq scale < \theta_n) + \beta_{n+1} fesa \cdot D(scale > \theta_n) + \mu_{it}
 \end{aligned}
 \tag{5-4}$$

上式中, θ_1 到 θ_n 表示 n 个不同水平的门槛值; *control* 表示控制变量; $D(\cdot)$ 为指标函数, 如果括号内为真, 则 D 取 1, 否则取 0; μ_{it} 为随机扰动项。

5.3 模型检验

5.3.1 多重共线性检验

为避免变量间的多重共线性对实证结果造成严重影响, 文章使用 Pearson 相关系数法与 VIF 检验对各变量进行多重共线性检验, 检验结果见表 5.1。Pearson 相关系数法规定了若变量之间不存在严重的多重共线性, 则相关系数不超过 0.7, 而文章设定的各变量间 Pearson 相关系数绝对值均小于 0.7。VIF 检验假设若不存在多重共线性, 则各变量的 VIF (方差膨胀因子) 介于 (1, 10) 区间, 且 VIF 的均值大于 1。如表 5.1 所示, 各变量中 VIF 最大值为 3.33, VIF 平均值为 2.05, 满足不存在严重多重共线性的两个条件。因此, 结合 Pearson 相关系数与 VIF 检验结果可以说明各变量间不存在严重多重共线性。

表 5.1 各变量的 Pearson 相关系数与 VIF 检验结果

	<i>lnfesa</i>	<i>lnscale</i>	<i>lnmach</i>	<i>lnland</i>	<i>lnstru</i>	<i>lnlp</i>	<i>lnurcc</i>	<i>lnengle</i>
<i>lnfesa</i>	1							
<i>lnscale</i>	0.056	1						
<i>lnmach</i>	0.008	-0.323***	1					
<i>lnland</i>	-0.186***	0.397***	0.036	1				
<i>lnstru</i>	-0.086	0.604***	-0.308***	0.518***	1			
<i>lnlp</i>	0.181***	-0.456***	0.237***	-0.601***	-0.686***	1		
<i>lnurcc</i>	-0.250***	-0.435***	-0.253***	-0.366***	-0.403***	0.163***	1	
<i>lnengle</i>	-0.030	0.133**	0.062	-0.130**	-0.078	0.257***	-0.001	1
<i>VIF</i>	1.23	2.55	1.59	1.91	3.33	2.61	1.99	1.22

5.3.2 单位根检验与协整检验

对模型设定中的各变量进行单位根检验与协整检验，旨在验证回归结果的真实性，防止出现伪回归。其中，运用 HT、IPS、LLC 检验对变量的单位根进行检验。检验结果如表 5.2 所示。

表 5.2 各变量的单位根检验结果

变量	HT 检验		IPS 检验		LLC 检验		平稳性
	Statistic	P	Statistic	P	Statistic	P	
<i>lncarbon</i>	0.1075*	0.0013	-4.7271	0.0000	-4.7271	0.0000	平稳
<i>lnfesa</i>	0.0411*	0.0000	-2.6143	0.0000	-7.7377	0.0000	平稳
<i>lnscale</i>	-0.4329**	0.0000	-4.7781*	0.0000	-1.8216	0.0343	平稳
<i>lnmach</i>	0.0343*	0.0000	-2.6467	0.0041	-55.3897	0.0000	平稳
<i>lnland</i>	0.1816*	0.0256	-2.2199	0.0132	-6.5695	0.0000	平稳
<i>lnstru</i>	0.2481	0.0259	-2.6561	0.0040	-22.5843	0.0000	平稳
<i>lnlp</i>	-0.1540	0.0000	-4.5469	0.0000	-1.6554	0.0489	平稳
<i>lnurcc</i>	0.1617	0.0005	-3.3169	0.0005	-19.7067	0.0000	平稳
<i>lnengle</i>	-0.1020	0.0000	-3.0212**	0.0000	-12.7071*	0.0000	平稳

注：**、*分别表示对变量取二阶、一阶差分。

表 5.3 变量的协整检验结果

检验类别		Statistic	P
Pedroni test	MPP test	11.4804	0.0000
	PP test	-20.5830	0.0000
	ADF test	-20.6969	0.0000
Kao test	MDF test	-10.6386	0.0000
	DF test	-14.7759	0.0000
	ADF test	-7.8509	0.0000
Westerlund test	VR	9.5785	0.0000

根据表 5.2 可以得知，各变量均通过了单位根检验，表现出变量的平稳性，但因对部分变量进行了一阶和二阶差分处理，而在原始模型中仍旧使用原序列进行回归，因此需对面板数据模型进行协整检验，所得结果如表 5.3 所示。协整检验结果显示各检验均高

度显著通过协整检验。综合单位根检验和协整检验结果,说明变量存在长期均衡关系,不存在伪回归情况。结合多重共线性检验、单位根检验、协整检验结果可以得知,文章建立的模型较为平稳,不存在多重共线性与伪回归现象,回归结果基本可靠。

5.3.3 空间自相关检验

运用 stata16.0 软件对公式(5-3)进行估计,其中所使用的空间权重阵为地理距离矩阵,得出农业碳排放(*carbon*)与财政支农政策(*fesa*)的全局莫兰指数,如表4所示。2011-2020年农业碳排放、财政支农强度和农业经营规模的全局 Moran's *I* 指数均通过了1%水平的显著性检验,且全为正值,表明三者均存在显著全局正向空间相关性,并呈现集聚的特征,部分验证了假设4与假设5。从时间趋势来看,农业碳排放的全局 Moran's *I* 指数严格递增,表明其空间关联性与集聚程度在逐渐增强。

表 5.4 2011-2020 年农业碳排放和财政支农政策的全局 Moran' s *I* 指数及检验结果

年份	<i>carbon</i>		<i>fesa</i>		<i>scale</i>	
	Moran's <i>I</i>	Z 值	Moran's <i>I</i>	Z 值	Moran's <i>I</i>	Z 值
2011	0.1360**	1.8133	0.1727**	2.1822	0.055***	2.830
2012	0.1411**	1.8702	0.1403*	1.8493	0.065***	3.244
2013	0.1502***	1.9692	0.1794**	2.2713	0.068***	3.360
2014	0.1597***	2.0717	0.1979*	2.4823	0.070***	3.397
2015	0.1747***	2.2359	0.2063***	2.6120	0.067***	3.307
2016	0.1835***	2.3353	0.1609**	2.1291	0.062***	3.109
2017	0.1924***	2.4354	0.1612**	2.1562	0.058***	2.955
2018	0.2038***	2.5672	0.1667**	2.2194	0.058***	2.913
2019	0.2167***	2.7178	0.1448**	1.9828	0.053***	3.002
2020	0.2226***	2.7813	0.1198*	1.7284	0.061***	3.102

注:***、**、*分别表示在1%、5%、10%水平上显著

Moran's *I* 散点图可形象地表现出各地区之间的空间相关性,其含义为第一象限内的省份农业碳排放较高,形成了高高集聚;第二象限内的省份自身水平较低而周边水平较高,形成了低高聚集;第三象限内的省份自身水平较高而周边水平较低,形成了高低聚集,第四象限内的省份自身水平较低的同时周边水平同样较低,形成了低低聚集。为了进一步验证农业碳排放的集聚特点,绘制出2011年与2020年的农业碳排放的局部莫兰

散点图。由图 5.1、5.2 可知，全国位于第一象限（高高集聚）与第三象限（低低集聚）属于空间正相关的省份由 2011 年的 16 个增长至 2020 年的 18 个，随着中国区域协同发展战略的不断深化，农业要素投入和农产品区域转移渠道更加通畅，农业碳排放区域关联性也有所加强。其中，中西部省域大多呈现出高高集聚的特点，而东部发达地区如北京、上海、天津、浙江等省域则表现出低低集聚的特点。

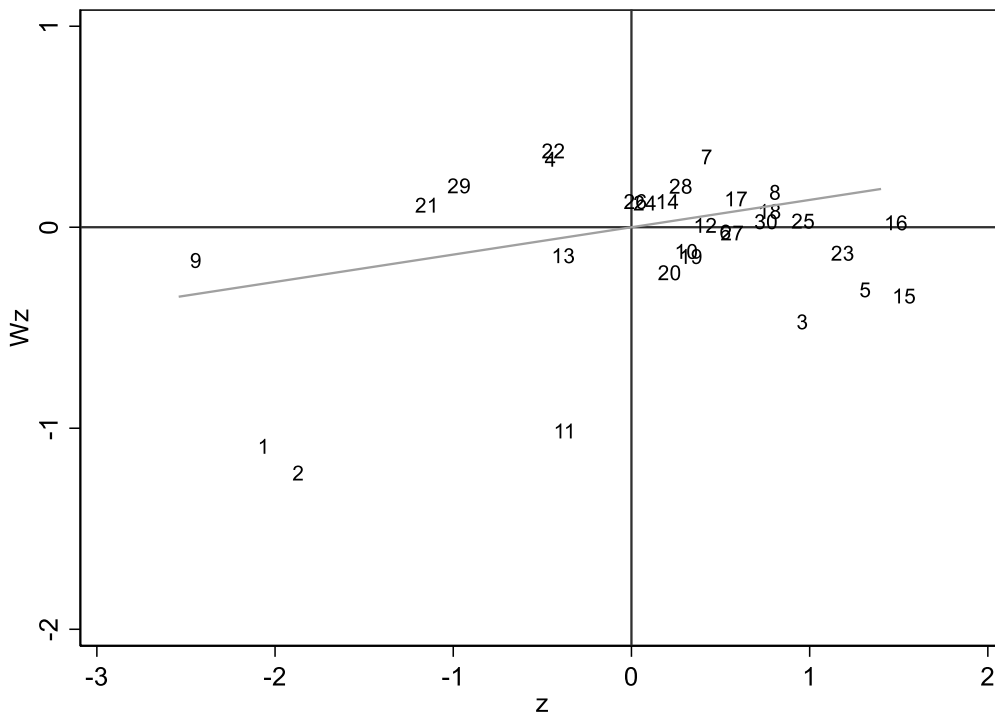


图 5.1 2011 年农业碳排放的局部 *moran* 散点图

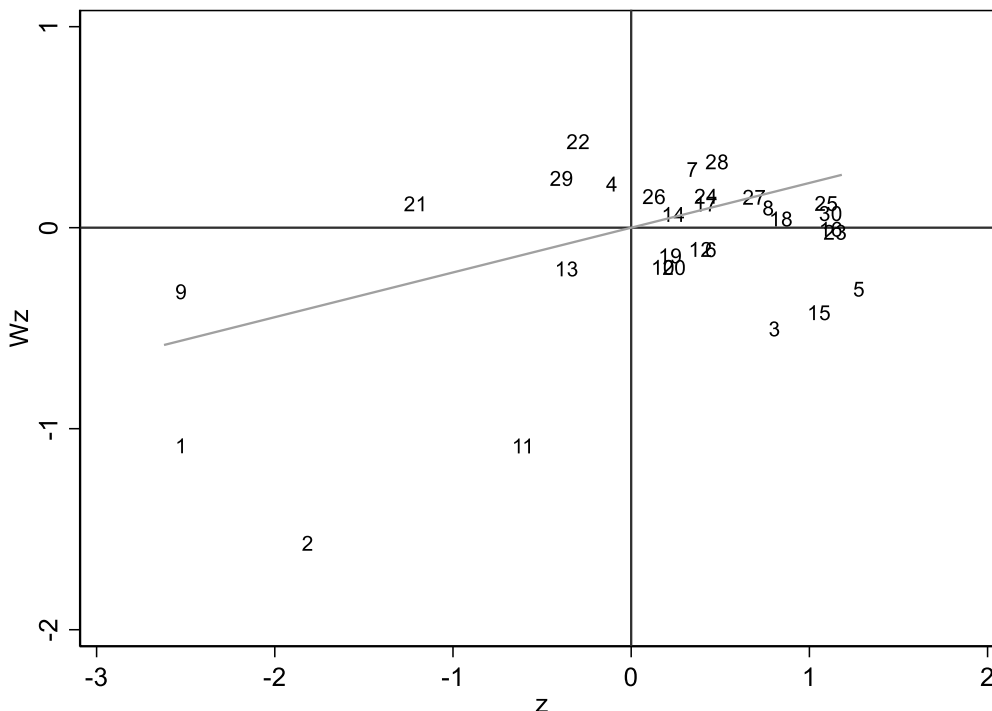


图 5.2 2020 年全国农业碳排放的局部 *moran* 散点图

注：1-京，2-津，3-冀，4-晋，5-蒙，6-辽，7-吉，8-黑，9-沪，10-苏，11-浙，12-皖，13-闽，14-赣，15-鲁，16-豫，17-鄂，18-湘，19-粤，20-桂，21-琼，22-渝，23-川，24-贵，25-云，26-陕，27-甘，29-青，29-宁，30-新

5.3.4 空间计量模型的选择

空间计量模型主要包括空间杜宾模型 (SDM)、空间滞后模型 (SAR)、空间误差模型 (SEM)。其中，空间滞后模型在学界通常用于分析变量是否存在区域外溢出效应；空间误差模型可以分析因位置差异而引起的区域间相互作用形式的差异；空间杜宾模型不仅能够分析划定的区域内变量关系，还能考察该区域与邻域的滞后变量对该地区的影响，并可退化为空间滞后模型与空间误差模型，较另外两个空间模型具有全面性与灵活性等优势。具体是要以模型的 LM 检验、LR 检验与 Wald 检验结果来判断空间杜宾模型是否会退化为空间滞后模型或空间误差模型，再根据 Hausman 检验的结果来判断随机效应与固定效应模型的选用。

变量通过全局莫兰指数检验后，要依据拉格朗日乘子 (LM) 检验、Hausman 检验、似然比 (LR) 检验、Wald 检验的结果来确定空间计量模型。

表 5.5 LM、LR、Wald、Hausman、联合显著性检验结果

检验方法	W ₁	W ₂
	统计量	统计量
LM (error) test	30.933***	19.091***
Robust LM (error) test	21.050***	25.703***
LM(lag)test	90.476***	110.957***
Robust LM(lag)test	62.126***	117.570***
LR (sdm&sar)test	76.60***	73.07***
LR (sdm&sem)test	71.40***	61.69***
Wald (sdm&sar)test	28.19***	17.72**
Wald (sdm&sem) test	14.47***	15.53**
Hausman test	38.10***	49.13***
联合显著性检验	(ind) 28.11***	(ind) 35.38***
	(time) 1224.77***	(time) 1206.38***

注：***、**、*分别表示在 1%、5%、10%水平上显著，ind 为个体固定效应，time 为时间固定效应。

上文中全局 Moran's I 指数的显著说明了变量存在空间相关性，可以进一步分析空间计量模型的选择。依次进行 LM、LR、Wald、Hausman、联合显著性检验，考虑到后续要引入邻接空间矩阵进行稳健性检验，因此对地理距离矩阵与邻接空间矩阵同时开展检验。检验结果如表 5.5 所示，邻接空间矩阵 (W_1) 地理距离矩阵 (W_2) 与均通过了 LM 检验，说明模型存在空间交互效应，且空间滞后模型更加显著； W_1 与 W_2 的 LR、Wald 检验结果均在 1%与 5%水平上通过了显著性检验，说明拒绝了原假设，即 SDM 不会退化为 SAR 或 SEM。Hausman 检验与联合显著性检验的结果说明个体固定效应、时间固定效应与双固定效应均在 1%水平上显著，因此应选择双固定效应空间杜宾模型。

5.4 回归结果分析

参照上文设定的计量公式 (5-1) 与 (5-2)，对变量进行回归估计。结果见表 5.6。其中，模型 (1) 列是运用模型 (5-1) 且不加入交互项 (*interaction*) 的回归结果，即固定了时间与个体的回归估计。模型 (2) 列是在模型 (1) 的基础上加入了交互项 (*interaction*)，模型 (3) 列是未加入交互项 (*interaction*) 并运用地理距离矩阵的双固定空间杜宾模型回归结果，模型 (4) 列是在 (3) 的基础上加入了交互项 (*interaction*)。

表 5.6 基准回归结果

<i>main</i>	模型 (1)	模型 (2)	模型 (3)	模型 (4)
<i>lnfesa</i>	-0.213*** (-5.18)	-0.155*** (-4.21)	-0.171*** (-5.25)	-0.084** (-2.48)
<i>lnscale</i>	0.221*** (3.74)	0.130** (2.45)	0.109** (2.29)	0.457*** (6.62)
<i>lninteraction</i>		0.299*** (8.57)		0.219*** (6.54)
<i>lnmach</i>	-0.137*** (-3.30)	-0.091** (-2.48)	-0.165*** (-5.08)	-0.121*** (-3.82)
<i>lnstru</i>	-0.415*** (-3.40)	-0.443*** (-4.12)	-0.127 (-1.31)	-0.172* (-1.90)
<i>lnland</i>	0.285*** (6.51)	0.170*** (4.16)	0.163*** (4.61)	0.093*** (2.72)
<i>lnlp</i>	-0.027 (-0.88)	0.046 (1.63)	-0.009 (-0.40)	0.035 (1.56)
<i>lnengle</i>	-0.129 (-1.22)	-0.259*** (-2.74)	-0.106 (-1.32)	-0.165** (-2.19)
<i>lnurcc</i>	-0.065*** (-3.85)	-0.079*** (-5.25)	-0.043*** (-2.74)	-0.052*** (-3.63)
<i>_cons</i>	7.475*** (15.93)	7.198*** (17.34)		
<i>rho</i>			0.414*** (6.06)	0.411*** (5.81)
<i>R²</i>	0.994	0.996	0.393	0.336

注：***、**、*分别表示在 1%、5%、10%水平上显著；rho 为被解释变量空间自相关系数；括号内为 t 值。

模型 (1) - (4) 的核心解释变量财政支农政策的系数均为负，且通过了显著性检验，可以说明财政支农对农业碳排放存在显著的抑制作用，验证了前文提出的假设 1。这可能是因为财政支农投入促进了节能减排等绿色技术的进步（叶初生、惠利，2016），

同时多项支农补贴发挥了“有导向的收入效应”，促进了农业科技创新，为农业绿色发展提供了技术支持。此外，农业“三项补贴”与农机补贴有助于进行农业生产技术的改进、绿色高效农业机械设备的普及、环境友好作物的引进和耕地土壤的改良等，改善了农业生产条件，逐步实现科学轮休土地、精准施用化学品、绿色高效生产，减少了农业资源的浪费与粗放式生产的频率，推进环境污染防治，缓解了农村生态压力，促进农业绿色发展。总体上来看，财政支农政策对农业碳排放有着显著的抑制作用。

模型（1）-（4）的核心解释变量农业经营规模均通过了显著性检验，且系数为正，说明现阶段农业经营规模的扩大会提高农业碳排放总量。正如其他学者的分析（刘琼、肖海峰，2020；陈宇斌、王森，2022；吉雪强等，2023），现阶段我国农业经营规模对农业碳排放的增量效应已经逐步显现。随着经营规模的扩大，势必要投入更多的农用化学品，同时对农田的过度开发与使用也会导致土壤自身的固碳能力被破坏，这些因素会导致农业碳排放的持续走高。

模型（2）、（4）是在模型（1）、（3）的基础上加入了交互项后的回归结果，可以发现交互项系数为正，且通过了1%的显著性检验，说明农业经营规模表现出了正向的调节作用。出现这种情况可能是因为在农业经营规模动态演进的作用下，财政支农对农业资本要素投入的激励效应被增强了，支农财政会向农业从业者提供“碳足迹优惠”，变相鼓励了“要素拥挤”的生产方式，导致农业碳排放的提高。此外，在农村老龄化、空心化与兼业化趋势不断加深的背景下，为了将农业的经营规模向满足农业生产需要与预期收益的方向调整，财政支农会通过“收入效应”与“替代效应”为农业从业者弥补人工的缺失，使得农用化学品对生态环境产生更高的压力，扭曲了财政支农的碳减排效果，最终财政支农与农业经营规模的交互作用表现为正向影响农业碳排放。上述分析验证了假设2的成立。

在控制变量方面，农业机械化水平的回归系数在模型（1）-（4）中均显著为负，即对农业碳排放存在显著的抑制作用，可见节能高效农业机械的使用减少了碳排放。种植结构回归系数为负且显著，这是因为粮食作物对农药、化肥和农膜等农资的需求量相对经济作物来说更少，因此，粮食种植占比的提高可能会促使化学农资消耗的减少，进一步促使碳排放。耕地占有率的回归系数均为正，同时通过了1%的显著性检验，可能是因为“替代效应”的存在，使得人均耕地面积的扩大的同时越来越多化学品被投入使用、替代人工，导致农业碳排放的提升。农村居民恩格尔系数在模型（2）（4）中通过了显著性检验，值得关注的是其系数为负数，说明农村贫困程度与农业碳排放反向变动，

似乎是出现了环境效益与农民收入的“悖论”，马晓薇等（2019）指出提高居民收入、缩小收入差距从而促进人均间接碳排放量降低的共赢局面很难实现，因此要实行差异化的碳减排政策。城乡协调系数在四个模型中均通过了 1% 的显著性检验且为负数，这可能是因为城乡协调发展有助于加强区域联动、传播绿色技术、提高农业从业者的综合素质，最终实现农业碳减排。

5.5 空间效应分解

需要注意的是，在表 5.6 中，模型（3）与模型（4）的空间杜宾模型回归结果中只展示了变量对本地区的影响系数（ main ），而并没有展示变量对其他地区的溢出系数（ Wx ），这是因为在模型（3）与（4）的空间自相关系数 ρ 显著且不为 0，此时根据 LeSage 和 Pace（2009）的观点，若沿用类似于非空间模型的方法直接解释空间模型中的系数，将会引起偏误甚至得出误导性的结论和政策，因此采用偏微分法将模型（4）的回归结果分解为直接效应、间接效应和总效应。直接效应表示本区域内变量间的影响关系和本区域自变量对其他区域因变量产生影响后反馈给本区域因变量的影响之和，间接效应显示了其他区域的自变量对本区域因变量的影响，总效应为自变量对因变量的总影响。空间效应分解后的结果见表 5.7。

财政支农政策的直接效应与总效应均通过了 1% 水平的显著性检验，且系数均为负，说明财政支农政策对农业碳排放具有空间上的溢出效应，某一地区的财政支农政策不仅会显著影响到本地的农业碳排放，还会影响到其他地区的碳排放，并且会对本地区存在效应反馈。总体来说，财政支农政策能显著影响本省与邻省的农业碳排放，具有一定的空间溢出效应，且表现为财政支农政策与农业碳排放反向变化，这也证明了假设 4 成立。

农业经营规模的直接、间接与总效应均通过了显著性检验，且系数为正，说明在当前发展格局下，不同地区的农业信息与生产要素之间的交流沟通水平得到了加强，某一地区的农业经营规模不仅会影响本地区的农业碳排放水平，还会把这种影响传播到其他地区，同时其他地区的农业碳排放的变化驱动也会对本地区的农业经营规模产生反馈效应，表现为空间上的溢出。该结果验证了假设 5 的成立。

表 5.7 空间杜宾模型的效应分解

变量	直接效应	间接效应	总效应
<i>lnfesa</i>	-0.095** (-2.54)	-0.168 (-1.52)	-0.264** (-2.00)
<i>lnscale</i>	0.487*** (6.54)	0.404* (1.93)	0.891*** (3.48)
<i>lninteraction</i>	0.231*** (7.23)	0.141* (1.76)	0.373*** (4.22)
<i>lnmach</i>	-0.150*** (-4.67)	-0.375*** (-3.05)	-0.525*** (-3.83)
<i>lnstru</i>	-0.294*** (-3.27)	-1.655*** (-5.17)	-1.949*** (-5.39)
<i>lnland</i>	0.113*** (3.29)	0.250** (2.52)	0.363*** (3.29)
<i>lnlp</i>	0.026 (1.03)	-0.123* (-1.82)	-0.097 (-1.18)
<i>lnengle</i>	-0.178** (-2.35)	-0.125 (-0.50)	-0.303 (-1.10)
<i>lnurcc</i>	-0.056*** (-4.19)	-0.070* (-1.84)	-0.126*** (-3.34)

注：***、**、*分别表示在 1%、5%、10%水平上显著；括号内为 t 值。

从控制变量的显著水平来看，农业机械化水平、种植结构与城乡协调系数的直接、间接与总效应均负向显著；财政支农政策与农业经营规模的交互项的直接、间接与总效应均正向显著；耕地占有率的直接、间接与总效应均正向显著。数个控制变量表现出对农业碳排放的正向或逆向的空间溢出性，这说明了农业要素投入和农产品区域转移渠道更加通畅，农业碳排放区域关联性也有所加强，“学习效应”与“涓滴效应”在农业生产方面的作用更加凸显。

5.6 稳健性检验

为了验证上述实证结果是否可靠，需要进行稳健性检验。首先，从表 5.6 的模型(1)

- (4) 的回归结果可以看出, 更换模型对主要变量的显著性、系数符号没有影响, 说明回归结果具有一定程度的稳健性, 在此基础上, 选择更换空间权重矩阵, 并进行效应分解, 进一步验证模型的稳健性。使用邻接空间矩阵进行效应分解, 首先观测其空间自相关系数 ρ 为 0.338, 通过了 1% 的显著性检验, 其结果显著且不为 0, 有进行空间效应分解的实际意义。邻接空间矩阵的效应分解结果见表 5.8。

对比表 5.7 与表 5.8 的空间效应分解结果, 可以得知各变量在地理距离矩阵下与邻接空间矩阵下的空间效应分解结果基本一致, 主要变量的系数符号与显著性并未发生明显变化, 可以说明模型的设定与回归结果具有一定的稳健性。

表 5.8 邻接空间矩阵回归结果效应分解

变量	直接效应	间接效应	总效应
<i>lnfesa</i>	-0.089** (-2.44)	-0.307** (-2.08)	-0.396** (-2.41)
<i>lnscale</i>	0.482*** (6.65)	0.189 (0.84)	0.671** (2.52)
<i>lninteraction</i>	0.250*** (8.56)	0.238** (2.33)	0.488*** (4.44)
<i>lnmach</i>	-0.144*** (-4.66)	-0.471*** (-3.52)	-0.615*** (-4.28)
<i>lnstru</i>	-0.341*** (-3.81)	-1.735*** (-4.45)	-2.076*** (-4.86)
<i>lnland</i>	0.131*** (3.77)	0.418*** (2.86)	0.549*** (3.47)
<i>lnlp</i>	0.000 (0.02)	-0.241** (-2.40)	-0.241** (-2.10)
<i>lnengle</i>	-0.199*** (-2.66)	-0.926*** (-2.78)	-1.125*** (-3.17)
<i>lnurcc</i>	-0.037** (-2.43)	-0.093** (-2.36)	-0.130*** (-3.67)

注: **、*、*分别表示在 1%、5%、10%水平上显著; 括号内为 t 值。

5.7 门槛效应检验

根据前文的分析,当农业经营规模处于不同区间时,财政支农对农业碳排放的影响程度可能会发生改变,需要考虑到存在非线性关系的情况。因此选用面板门槛模型进行检验。首先,选择农业经营规模作为门槛变量,运用 Boot strap 重复自举抽样 300 次的方法进行检验,结果如表 5.9 所示。可以发现农业经营规模的三重门槛和双重门槛均不显著,但是单一门槛结果显著。这表明在农业经营规模的动态演进下,财政支农政策对农业碳排放的影响存在单一门槛。因此,将公式(5-4)设置为单一门槛模型,并对面板数据进行门槛回归,结果如表 5.10 所示。

表 5.9 门槛效应检验结果

门槛检验	F 值	临界值		
		10%	5%	1%
单一门槛	29.74**	28.3073	36.5067	51.6181
双重门槛	19.80	22.7620	28.3726	43.0472
三重门槛	13.07	32.4870	42.4536	51.5119

注:***、**、*分别表示在 1%、5%、10%水平上显著

表 5.10 门槛效应回归结果

变量及参数	农业碳排放
$lnfesa(lnscale \leq -0.056)$	-0.3453*** (-5.14)
$lnfesa(lnscale > -0.056)$	-0.2754*** (-4.84)
控制变量	是
R^2	0.6004
N	300

注:***、**、*分别表示在 1%、5%、10%水平上显著

经计算,农业经营规模的门槛值为 0.9451,当农业经营规模低于 0.9451 时,此时财政支农政策对农业碳排放的影响系数为-0.3453,通过 1%的显著性检验。而当农业经营

规模超过了 0.9451 时，财政支农政策对农业碳排放的影响系数变为-0.2754，通过 1%的显著性检验。具体而言，当农业经营规模越过“拐点”后，财政支农政策对农业碳排放的抑制效果被削弱了，出现这种现象可能是因为农业经营规模水平上升后，人均播种面积与耕作面积随之上升，为了维持固有产量甚至实现农业增产的目标，需要农用化学品替代劳动力的空缺，过量的化肥、农膜以及农机等投入形成了对劳动力的“替代效应”，而这种现象扭曲了支农补贴资金原有的绿色生产导向作用，使得财政支农政策对农业碳排放的抑制作用被削弱了。因此，在未来的财政支农政策调整中，要充分考虑到农业经营规模的门槛影响，寻求支农资金的最优使用区间。门槛效应的存在验证了假设 3 的成立。

6 结论与建议

6.1 研究结论

本文的研究主题是“财政支农、农业经营规模与农业碳排放”，首先通过文献综述详细梳理和总结了学者们的研究，并在此基础上界定财政支农、农业经营规模、农业碳排放的概念，同时阐述了相关理论基础。其次是对我国各地区的农业碳排放进行了测算，并对其时空变化趋势进行了分析。随后，进一步探究了财政支农、农业经营规模与农业碳排放的理论机制，提出本文的五个假说：（1）财政支农能够显著抑制农业碳排放；（2）财政支农与农业经营规模的交互作用会显著影响农业碳排放；（3）不同农业经营规模水平区间下财政支农对农业碳排放的影响存在门槛特征；（4）财政支农存在空间自相关性，对其他地区的农业碳排放存在显著的空间溢出效应；（5）农业经营规模存在空间自相关性，对其他地区的农业碳排放存在显著的空间溢出效应。接下来以2011-2020年我国省级平衡面板数据为样本，在理论分析的基础上，通过构建模型，实证检验了财政支农、农业经营规模与农业碳排放之间的关系，在经过效应分解、稳健性检验、门槛效应检验后，验证了本文提出的五个假说。具体来看，本文主要得出以下结论：

第一，2011-2020年间，全国平均农业碳排放量先增加后减少，在2015年达到了顶峰，随后开始缓慢下降，在2020年略有起伏。分区域来看，我国东部、中部、西部地区的农业碳排放均呈现先上升后下降的波动下降趋势，西部地区2011-2020年平均农业碳排放量领先于中东部地区，且高于全国平均农业碳排放水平。从碳减排层面来看，中部地区的农业碳减排效果最为显著，东部地区次之，西部地区碳减排效果最差。从省域级别分析，传统种植业大省如山东、河南、江苏等已取得良好的农业碳减排成效，但新疆、甘肃、云南、内蒙古等养殖业大省仍需要寻找农业碳减排的合适路径。总体来说，我国农业碳减排取得了一定成效，但仍需进一步稳固减排成果。

第二，财政支农政策、农业经营规模与农业碳排放的全局 Moran's I 指数均为正并全部通过显著性检验，表明三者均存在显著全局正相关；同时，财政支农、农业经营规模及两者的交互作用均会显著影响到农业碳排放，并在空间上表现出对其他地区的溢出效应。具体来说，财政支农政策能够抑制农业碳排放，而在农业经营规模的调节作用下，表现出对农业碳排放的正向促进。

第三，在不同农业经营规模水平下，财政支农政策对农业碳排放表现出门槛特征。

当农业经营规模低于 0.9451 时,此时财政支农政策对农业碳排放的影响系数为-0.3453,并通过 1%的显著性检验。而当农业经营规模超过了 0.9451 时,财政支农政策对农业碳排放的影响系数变为-0.2754,通过了 1%的显著性检验。具体而言,当农业经营规模越过“拐点”后,财政支农政策对农业碳排放的抑制效果被削弱了。

6.2 政策建议

结合本文提出的全部假设以及实证结果来看,财政支农仍是我国未来解决农业面源污染、实现农业“双碳”目标的主要抓手,结合我国当前农业碳排放的实际情况,本文提出以下结论:

6.2.1 实行差异化的碳减排政策

我国国土幅员辽阔,各地区农业资源禀赋存在显著差异,不能用一致化的标准要求各地区实现农业碳减排。对于农业欠发达且畜牧产业为重的西部地区,要意识到碳减排的艰难性,通过财政的合理支持和引导,妥善配置、利用和发挥其资源禀赋优势,促进西部农业碳减排。对于经济发达的东部地区,要坚持“先富带动后富”、积极发挥“涓滴效应”在中部和西部地区的经济发展及农业碳减排中的作用。对我国粮食主要产地的中部地区,要在保证我国粮食安全与耕地红线的基础上,探索低碳农业的有效模式,开拓中部地区农业发展活力与农业碳减排并重的农业“双驱动”发展良好局面。

6.2.2 减排重点转向优化功能减排

对于农业碳排放而言,农业碳排放总量并不是唯一的衡量标准。如何保证高质量、高效率的碳减排发展,是农业减排过程中亟待解决的重要任务。因此,随着国家财政支持和政府各项扶持政策的推出和颁布,我国各个省份应逐步将减排重点从减少碳排放总量转向优化功能减排上来。首先,要促进农业碳减排和固碳技术的推广,包括清洁生产技术和生态循环技术的应用,降低或杜绝传统粗放式生产对农村生态环境造成破坏的现象发生,改善农产品产地生态环境。其次,要推广土壤少耕与免耕技术,增加土壤有机碳储量。一方面,可以通过减少土地耕作范围和强度来提高土壤稳定性,降低翻耕过程中土地碳排放量;另一方面,土壤少耕或免耕技术的推广会降低化石能源的使用量,进而减少碳排放。最后,通过植树造林、保护森林资源和加强土地管理等举措,促进碳固定,同时推进清洁能源的利用,如加强农村能源建设和农业机械节能、扩大新型能源在农村的使用范围等。通过以上措施的优化功能减排,可以推动农业碳减排工作的持续、高效和优质发展,促进农村经济增长与碳减排同步实现。

6.2.3 持续优化现有的财政支农政策

优化升级现有的财政支农政策，合理解决农村“用脚投票”的状况。一是充分考虑当前农民生产的窘迫境况与实际诉求，避免出现“一刀切”的情况，将财政支农资金用在能满足绿色农业生产需要、促进农业碳减排的刀刃上。二是坚持全国上下一盘棋，做好各省份农业生产与碳减排的协调规划、统筹安排，充分发挥我国财政支农的特点与优势。三是持续加大对低碳农业的研发与补贴力度，让低碳农用品逐步替代高污染农用品，降低“要素挤兑”式农业生产方式对碳排放的影响，让财政补贴落到实处，使农民群体在碳减排过程中真正受益，引导农民群体自愿走上绿色生产的道路，实现财政支农“四两拨千斤”的减碳效果。同时，意识到财政支农促进农业碳减排是螺旋上升的过程，充分考虑支农政策的历时性与共时性问题。实证结论表明财政支农与农业经营规模的交互作用存在对农业碳排放的正向激励，但不能就此否定支农财政的生态建设功能，作为强有力的政策工具，财政支农取得了一系列的辉煌成就，但也有一定的时代适应性与局限性。要在每个节点考虑发展环境的变化，充分考虑农民群体的发展诉求与农业碳减排的困难所在，两者并非予舍予求的矛盾问题，而是在当前发展阶段辅车相依的时代目标。当前的财政支农也许不能实现显著的农业碳减排，但财政支农的未来一定能兼顾农村增收与绿色环保等多方诉求。在这个过程中，更需要政策制定者及时调整、合理规划，以期实现财政支农促进碳减排的螺旋式上升。

6.2.4 加强区域交流合作，促进区域协同减排

首先，要合理调整并优化财政支农资金的区域配置结构，建立低碳农业发展协同监管机制以促进低碳农业协同发展。构建地区之间技术、人才和资金的互联互通渠道，根据各区域的资源禀赋和发展情况开展结对帮扶行动，整合各区域的优势资源，建立农业绿色低碳生产共性技术的研发联合体、成果共享体。其次，要健全技术买卖制度，完善技术转移程序，鼓励涉农企业和协会等加强区域之间的交流，在技术和信息方面互通有无，使技术溢出途径更通顺。具体来说，可通过构建低碳技术中介服务机构和低碳生产技术示范基地等交流平台来打破地区间的技术壁垒，扩大并充分利用低碳生产技术的外溢效应，争取实现“以点带面”的农业碳减排空间溢出。同时，积极发挥“涓滴效应”将先进技术与生产模式传播、引入到发展相对滞后的区域，实现各区域碳减排模式共享，在“全国一盘棋”思路下充分运用财政支农的空间溢出效应，引导多地区协同优化农业生产模式与生产技术，形成农业碳减排的合力，促进我国“双碳”目标的尽快实现。

参考文献

- [1] Allegra M, Zeke H, Andrew D J, et al. The potential of agricultural land management to contribute to lower global surface temperatures[J]. *Science Advances*, 2018, 4(8).
- [2] Anselin L. Spatial Effects in Econometric Practice in Environmental and Resource Economics [J] . *American Journal of Agricultural Economics*, 2001, 83(3):705—710.
- [3] Bin Su, Elspeth Thomson, China's carbon emissions embodied in(normal and processing)exports and their driving forces,2006—2012,*Energy Economics*, Volume 59,2016.
- [4] Brady M, Kellermann K, Sahrbacher C et al. Impacts of Decoupled Agricultural Support on Farm Structure, Biodiversity and Landscape Mosaic: Some EU Results[J]. *Journal of Agricultural Economics*, 2009:60(3):563-585.
- [5] Chazdon R L. Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands[J]. *Science*, 2008, 320(5882):1458.
- [6] HANSEN B E. Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference[J]. *Journal of Econometrics*, 1999, 93(2):345—368
- [7] Lei M. Can grain subsidies impede rural-urban migration in hinterland China? Evidence from field surveys[J]. *China Economic Review*, 2012:23(3):729-741.
- [8] LESAGE J, PACE R K. Introduction to Spatial Econometrics[M]. Boca Raton: CRC Press, 2009. 77-116.
- [9] Matsuyama and Kimiori. Comparative advantage of Agricultural Productivity and Economic growth[J]. *Journal of Economic Theory*, 1992:58(2):317-334.
- [10] Oskam Linda, Hillenga Dirk J., Venema Gerard, Bron Sierd. The large Bacillus plasmid pTB19 contains two integrated rolling-circle plasmids carrying mobilization functions[J]. *Academic Press*, 1991:26(1)
- [11] Pranay R, Chloe B W, Francis R E, et al. Understanding barriers and opportunities for adoption of conservation practices on rented farmland in the US[J]. *Land Use Policy*, 2019, 80.
- [12] Romer P M. Increasing Returns and Long-run Growth [J] . *Journal of Political Economy*, 1986, 94(5):1002—1037.
- [13] Serra T, Zilberman D, Goodwin B K, et al. Replacement of Agricultural Price Supports

by Area Payments in the European Union and the Effects on Pesticide Use [J]. American Journal of Agricultural Economics, 2010, 87(4):870—884.

[14] TRISHITA R B, MANASH R G. Public expenditures, environment, and economic growth[J]. Journal of Public Economic Theory, 2010(6): 1109-1134.

[15] Wu Y, Xi X, Tang X, et al. Policy distortions, farm size, and the overuse of agricultural chemicals in China.[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2018, 115(27).

[16] 陈飞, 翟伟娟. 农户行为视角下农地流转诱因及其福利效应研究[J]. 经济研究, 2015, 50(10): 163-177.

[17] 仇焕广, 刘乐, 李登旺, 张崇尚. 经营规模、地权稳定性与土地生产率——基于全国 4 省地块层面调查数据的实证分析[J]. 中国农村经济, 2017, (06): 30-43.

[18] 戴小文, 漆雁斌, 唐宏. 1990-2010 年中国农业隐含碳排放及其驱动因素研究[J]. 资源科学, 2015, 37(08): 1668-1676.

[19] 丁宝根, 赵玉, 邓俊红. 中国种植业碳排放的测度、脱钩特征及驱动因素研究[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(05): 1-11.

[20] 段华平, 张悦, 赵建波, 卞新民. 中国农田生态系统的碳足迹分析[J]. 水土保持学报, 2011, 25(05): 203-208.

[21] 葛继红, 周曙东. 农业面源污染的经济影响因素分析——基于 1978~2009 年的江苏省数据[J]. 中国农村经济, 2011, (05): 72-81.

[22] 郭旋, 张良茂, 胡荣桂, 宋明伟. 华中地区种植业生产碳排放驱动因素分析[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(05): 695-701.

[23] 韩海彬, 赵丽芬. 环境约束下中国农业全要素生产率增长及收敛分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(03): 70-76.

[24] 胡川, 韦院英, 胡威. 农业政策、技术创新与农业碳排放的关系研究[J]. 农业经济问题, 2018, (09): 66-75.

[25] 胡向东, 王济民. 中国畜禽温室气体排放量估算[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 247-252.

[26] 华坚, 潘雪晴. 农业科技创新对粮食产业高质量发展的影响——基于 30 个省份面板数据分析[J]. 华东经济管理, 2022, 36(07): 55-64.

[27] 黄伟华, 祁春节, 聂飞. 财政支农、技术溢出与农业碳排放[J]. 软科

学, 2023, 37(02):93-102.

[28]黄晓慧, 杨飞, 陆迁. 城镇化、空间溢出效应与农业碳排放——基于 2007—2019 年省级面板数据的实证分析[J]. 华东经济管理, 2022, 36(04):107-113.

[29]黄志斌, 杨建州. 财政支农资金对农业生态效率的影响——基于系统动态广义矩估计和门槛效应检验[J]. 林业经济, 2022, 44(10):5-24.

[30]李波, 张俊飏. 基于投入视角的我国农业碳排放与经济发展脱钩研究[J]. 经济经纬, 2012, (04):27-31.

[31]李云燕, 崔涵, 朱启臻. 从碳达峰碳中和目标愿景看乡村环境治理的困境与出路[J]. 行政管理改革, 2021, (08):32-38.

[32]李兆亮, 罗小锋, 薛龙飞, 张俊飏. 中国农业绿色生产效率的区域差异及其影响因素分析[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(10):203-212.

[33]刘琼, 肖海峰. 农地经营规模与财政支农政策对农业碳排放的影响[J]. 资源科学, 2020, 42(06):1063-1073.

[34]刘守英, 王瑞民. 农业工业化与服务规模化:理论与经验[J]. 国际经济评论, 2019, (06):9-23+4.

[35]刘涛, 杜思梦. 基于新发展理念的农业高质量发展评价指标体系构建[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(04):1-9.

[36]刘洋, 余国新. 农业社会化服务对土地规模经营的影响——基于棉花产业的实证研究[J]. 经济问题, 2022, (01):93-100.

[37]芦千文, 苑鹏. 农业农村现代化中的小农户发展动态与衔接机制研究[J]. 江淮论坛, 2021, (04):60-67.

[38]罗必良. 论服务规模经营——从纵向分工到横向分工及连片专业化[J]. 中国农村经济, 2017, (11):2-16.

[39]马晓微, 陈丹妮, 兰静可, 李川东. 收入差距与居民消费碳排放关系[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2019, 21(06):1-9.

[40]莫亚琳, 苏城艺, 覃焕, 黄奕涵. 农地流转如何提升农业全要素生产率——基于我国省级面板数据的实证检验[J]. 广西社会科学, 2021, (09):80-88.

[41]潘丹. 考虑资源环境因素的中国农业绿色生产率评价及其影响因素分析[J]. 中国科技论坛, 2014, (11):149-154.

[42]彭群. 国内外农业规模经济理论研究述评[J]. 中国农村观察, 1999, (01):41-45.

- [43]沈费伟,刘祖云.农村环境善治的逻辑重塑——基于利益相关者理论的分析[J].中国人口·资源与环境,2016,26(05):32-38.
- [44]沈能,张斌.农业增长能改善环境生产率吗?——有条件“环境库兹涅茨曲线”的实证检验[J].中国农村经济,2015,(07):17-30.
- [45]师帅,李翠霞,李媚婷.畜牧业“碳排放”到“碳足迹”核算方法的研究进展[J].中国人口·资源与环境,2017,27(06):36-41.
- [46]唐汉,王金武,徐常塑,周文琪,王金峰,王秀.化肥减施增效关键技术研究进展分析[J].农业机械学报,2019,50(04):1-19.
- [47]唐一帆,吴波.财政支农促进了农业绿色发展吗?——基于PVAR模型的实证检验[J].湖南农业大学学报(社会科学版),2022,23(06):46-54.
- [48]田云,张俊飏,尹朝静,吴贤荣.中国农业碳排放分布动态与趋势演进——基于31个省(市、区)2002-2011年的面板数据分析[J].中国人口·资源与环境,2014,24(07):91-98.
- [49]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,(01):46-62.
- [50]王剑,薛东前,马蓓蓓,宋永永.西北5省耕地集约利用与农业碳排放时空耦合关系研究[J].环境科学与技术,2019,42(01):211-217.
- [51]吴伟伟.支农财政、技术进步偏向的农田利用碳排放效应研究[J].中国土地科学,2019,33(03):77-84.
- [52]夏永祥.农业效率与土地经营规模[J].农业经济问题,2002,(07):43-47.
- [53]谢地,李梓旗.“三权分置”背景下农村土地规模经营与服务规模经营协调性研究[J].经济学家,2021,(06):121-128.
- [54]熊冬洋.促进低碳农业发展的财政政策研究[J].经济纵横,2017,(05):112-117.
- [55]许彩华,党红敏,余劲.农户非农就业的代际分工对农地流转行为的影响——基于农业生产服务外包的中介效应分析[J].西北农林科技大学学报(社会科学版),2022,22(01):141-150.
- [56]杨广亮,王军辉.新一轮农地确权、农地流转与规模经营——来自CHFS的证据[J].经济学(季刊),2022,22(01):129-152.
- [57]杨子,张建,诸培新.农业社会化服务能推动小农对接农业现代化吗——基于技术效率视角[J].农业技术经济,2019,(09):16-26.

- [58] 杨子砚, 文峰. 从务工到创业——农地流转与农村劳动力转移形式升级[J]. 管理世界, 2020, 36(07):171-185.
- [59] 叶初升, 惠利. 农业财政支出对中国农业绿色生产率的影响[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版), 2016, 69(03):48-55.
- [60] 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(07):18-26+110.
- [61] 张金鑫, 王红玲. 中国畜牧业碳排放地区差异、动态演进与收敛分析——基于全国31个省(市)1997—2017年畜牧业数据[J]. 江汉论坛, 2020, (09):41-48.
- [62] 张军伟, 费建翔, 徐永辰. 金融支持对绿色农业发展的激励效应[J]. 中南财经政法大学学报, 2020, (06):91-98.
- [63] 张淑辉. 异质性农村人力资本对农业绿色生产率的影响——基于中国省级面板数据[J]. 山西大学学报(哲学社会科学版), 2017, 40(05):127-138.
- [64] 赵向豪, 陈彤, 姚娟. 认知视角下农户安全农产品生产意愿的形成机理及实证检验——基于计划行为理论的分析框架[J]. 农村经济, 2018, (11):23-29.
- [65] 周迪, 李楚潼, 于童. 碳减排潜力地区差异及影响因素: 基于新视角下碳减排潜力的重新估算[J]. 环境科学与技术, 2019, 42(10):217-228.
- [66] 周京奎, 王文波, 龚明远, 黄征学. 农地流转、职业分层与减贫效应[J]. 经济研究, 2020, 55(06):155-171.
- [67] 朱前涛, 秦昊. 财政支农强度、农业碳排放及空间溢出效应[J]. 天津商业大学学报, 2023, 43(06):10-18.
- [68] 朱前涛, 秦昊. 土地生产率与农业碳排放: 非线性关系及空间溢出[J]. 农林经济管理学报, 2023, 22(06):770-779.
- [69] 朱前涛, 秦昊, 刘璐. 西北内陆型城市城乡融合发展水平测度——以兰州市为例[J]. 陇东学院学报, 2023, 34(05):27-34.
- [70] 朱前涛, 秦昊, 张启龙. “直播助农”模式下主体责任及其产业拓展能力的分析[J]. 甘肃高师学报, 2023, 28(02):131-136.

附录

表 3.3 2011-2015 年全国各省域农业碳排放量测算结果（单位：万吨）

年份 地区	2011	2012	2013	2014	2015
北京	148.0285175	146.1884331	142.5741436	137.5692516	129.7734402
天津	176.7579361	181.163525	180.7941536	181.3983429	178.704779
河北	2331.643808	2394.133504	2410.157747	2469.041004	2479.290223
山西	642.7585748	685.8603455	729.8226595	767.484657	791.1746831
内蒙古	3216.982464	3222.714033	3223.28164	3327.307167	3488.630182
辽宁	1573.500642	1571.587546	1560.532667	1563.284198	1575.218845
吉林	1429.736075	1453.320175	1478.227934	1500.156363	1526.032925
黑龙江	2027.400278	2071.950357	2073.693254	2080.841586	2106.68562
上海	104.6761371	101.4802429	100.7944464	98.72555873	95.10514517
江苏	1249.121018	1276.563898	1255.081619	1251.098997	1227.013844
浙江	673.0090681	674.966772	667.1464551	637.8511704	573.9453313
安徽	1376.488668	1395.584859	1431.092584	1448.766382	1446.656167
福建	665.5711518	696.2339631	716.4979887	713.6828788	685.7776175
江西	1134.034008	1194.468722	1234.447946	1274.138653	1282.96448
山东	5114.533895	3176.334456	3195.504486	3195.530298	3191.060685
河南	3651.118383	3687.323324	3740.021324	3824.594547	3871.559056
湖北	1611.552222	1693.365737	1761.215703	1807.371733	1799.702526
湖南	1911.975363	2021.040776	2096.865027	2179.507973	2198.608823
广东	1277.739536	1304.441503	1305.719171	1334.226591	1343.135584
广西	1146.238042	1189.70174	1222.932084	1239.361	1235.616215
海南	331.0708997	296.9167014	303.1755366	298.1007729	300.1946686
重庆	632.6107941	652.8616814	674.2506595	698.1243899	714.323275
四川	2779.910833	2811.333059	2820.775359	2884.637778	2918.232948
贵州	1011.038491	988.5350139	992.8780613	1054.617708	1154.438658
云南	2269.850266	2351.090492	2391.095405	2465.118535	2526.553113
陕西	962.514559	1026.447149	1045.328721	1073.545969	1111.299499
甘肃	1580.226069	1598.283116	1622.406277	1686.284353	1722.907254
青海	1214.63973	1194.013385	1204.444383	1227.964002	1224.980198
宁夏	390.5255387	402.0613945	417.1609824	436.6995684	445.8323178
新疆	1878.242618	2041.532953	2174.991475	2336.539574	1582.43116

表 3.3 2016-2020 年全国各省域农业碳排放量测算结果（单位：万吨）

年份 地区	2016	2017	2018	2019	2020
北京	118.9201617	101.0571127	76.22431518	45.92627769	40.33381452
天津	177.1822997	158.1509146	139.8019822	127.0736456	128.1353743
河北	2392.243181	2299.005254	2169.205384	2048.569594	2024.080412
山西	800.3518597	770.1337681	739.5791837	721.6141732	774.1746931
内蒙古	3480.102095	3440.568852	3354.35583	3285.968436	3334.797449
辽宁	1596.937284	1520.139685	1375.066039	1362.982757	1390.727518
吉林	1526.645085	1436.586026	1315.464155	1280.638373	1245.94883
黑龙江	2105.877112	2071.440302	1974.610483	1878.394134	1951.597142
上海	86.9888841	79.63309958	72.01449739	62.81189342	58.55806284
江苏	1194.965547	1187.90499	1160.565356	1037.671648	1010.440598
浙江	544.2181457	521.5880182	495.5085489	456.8522191	443.8514267
安徽	1429.525863	1381.321018	1318.872986	1253.256298	1261.211289
福建	722.234597	640.5206558	588.0832599	571.511313	571.9918875
江西	1277.381422	1224.510825	1162.26578	1091.128971	1074.75126
山东	3187.05579	3081.189607	2941.35011	2623.528672	2542.773608
河南	3789.278605	3321.430816	2941.901492	2702.282705	2727.176158
湖北	1781.735986	1666.954905	1533.05188	1353.200157	1300.970905
湖南	2190.132945	2142.351696	2078.425445	1939.246641	2030.764893
广东	1334.546095	1277.993322	1218.163202	1101.218314	1054.716171
广西	1224.24774	1198.064249	1202.323278	1079.497421	1079.990409
海南	308.605379	295.6938145	281.121921	254.3205202	234.134285
重庆	716.6455975	690.2578766	656.8020901	611.5554895	612.139555
四川	2880.934494	2871.3551	2896.200598	2627.383558	2797.7741
贵州	1221.43891	1207.021417	1206.487774	1214.266547	1303.39377
云南	2572.872645	2631.350141	2625.823839	2591.551986	2654.140887
陕西	1113.93187	1056.483191	1012.338987	964.4119366	959.0582312
甘肃	1700.106949	1643.509372	1619.083562	1654.420351	1733.917958
青海	1239.530216	1318.596943	1342.879742	1283.507231	1391.588262
宁夏	448.8457537	456.4497992	466.9805363	493.9409632	554.7796621
新疆	2488.880336	2523.111961	2576.517952	2641.135606	2724.611419

致谢

尚未配妥剑，转眼便江湖。行文至此，回首往昔，怎能不让人感慨万千？三年前孑身一人从中原西北求学，内心充满了对未来的期待，但又害怕自己资质平庸、碌碌无为，那种激动而又焦虑的复杂滋味，伴随我度过了整个研究生时代。硕士三年，我经历过否定与认可、沮丧与振奋、困惑与开悟、失败与成功，最终这些经历在我的灵魂深处留下了深深的烙印，并成为了我的西北旅途中最珍贵的收获。三年来，我得到了很多帮助，因此在我硕士论文的结尾，我想一一致谢。

一谢家人，养育之恩。感谢我平凡而又伟大的父母，给予我生命，养育我成长。春晖寸草，难以回报。在我的漫漫求学路上，父母从未让我承受过任何生活压力，总是把最好的留给我，让我可以顺利完成学业。感谢我的姥姥和我的姐姐，你们是我求学路上坚强有力的帮助，是我取得成绩时最喜悦的聆听者。亲爱的家人们，是你们让我感受到家庭的温馨，充当我最后的避风港。

二谢恩师，涓涓师恩。感谢我的导师朱前涛副教授，教诲如春风，师恩似海深。朱老师带领我进入学术的大门，从细节上督促我做好，从思维上带动我创新。老师严谨的治学态度、深厚的学术造诣和无私的奉献精神，让我受益匪浅。在老师的悉心指导下，我成功发表了数篇论文，获得了国家奖学金，考取了博士研究生。我会永远感谢老师。

三谢伴侣，携手共进。感谢我的女朋友刘宇翔，初见乍惊欢，久处仍怦然。在我受挫时，是你给予了我贴心的安慰，鼓励我继续往前走；在我取得进步时，是你由衷为我高兴，为我准备了种种惊喜。是你收藏我难以向他人诉说的脆弱，给我温柔的陪伴与鼓励，让我成为了更好的自己。我们一起在兰州度过的时光，是我最甜蜜的回忆。

四谢挚友，互帮互助。感谢我的挚爱亲朋，在我迷茫时为我伸出援助之手，在我困顿时给予我宝贵经验，在我喜悦时共同高高举杯，何其有幸，得此益友！每每忆起同行之挚友，温暖的感觉自在心头。思年少青春岁月，怀逸兴，畅聊彻夜至天明，携清风，共赏人间山河远阔。十分感谢我的朋友们，祝愿你们都在自己的道路上一切顺利。

五谢自己，不忘初心。当初十几岁的少年，坐在窗边畅想未来时，是否会想过自己能够硕士毕业，并将去攻读博士？在无数次被拒稿时，在无数次数据分析失败时，在无数个对未来焦虑而失眠的夜里，感谢我自己的坚持，没有轻易放弃心中的理想。

再见了，段家滩路 496 号，我们后会有期。