

多维度视角下探析低空经济与农业高质量发展：水平测度与影响效应

王荫鹏

上海理工大学管理学院，上海

收稿日期：2025年6月27日；录用日期：2025年7月31日；发布日期：2025年8月11日

摘要

低空经济作为新兴经济领域，对农业高质量发展起到了积极推动作用。通过促进农业智能化、精准化与高效化发展，低空经济为农业生产提供了先进技术与解决方案。本文以2011年至2023年全国数据为研究样本，构建了水平测度综合指标体系，通过熵权法测算低空经济发展水平，运用DEA方法评估农业绿色发展效率，进一步采用岭回归模型实证检验低空经济对农业高质量发展的影响及作用路径。研究发现，低空经济发展水平与农业高质量发展呈正向关系，通用民航、技术发展、无人器械制造和政府四个维度对农业高质量发展具有显著促进作用，其中技术发展行业的影响最为突出。最后，基于研究结论，提出了相应的政策建议，强调技术创新与政府监管对推动农业高质量发展的关键作用。

关键词

低空经济，农业高质量发展，水平测度，DEA，岭回归

Analyzing the Relationship between Low-Altitude Economy and High-Quality Agricultural Development from a Multidimensional Perspective: Level Measurement and Impact Effects

Yinpeng Wang

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Jun. 27th, 2025; accepted: Jul. 31st, 2025; published: Aug. 11th, 2025

文章引用：王荫鹏. 多维度视角下探析低空经济与农业高质量发展：水平测度与影响效应[J]. 运筹与模糊学, 2025, 15(4): 334-347. DOI: 10.12677/orf.2025.154218

Abstract

Low-altitude economy, as an emerging economic sector, has played a positive role in promoting high-quality agricultural development. By fostering intelligent, precise, and efficient agricultural practices, it provides advanced technologies and solutions for agricultural production. Using nationwide data from 2011 to 2023, this study constructs a composite index system for level measurement; applies the entropy method to quantify the development level of the low-altitude economy; employs DEA to assess agricultural green development efficiency; and further utilizes a ridge regression model to empirically examine the impact and transmission mechanisms of the low-altitude economy on high-quality agricultural development. The results indicate a positive relationship between the low-altitude economy and high-quality agricultural development: general aviation, technological advancement, unmanned machinery manufacturing, and government support all exert significant promoting effects, with technological advancement being the most influential. Finally, policy recommendations are offered, emphasizing the critical roles of technological innovation and governmental regulation in driving high-quality agricultural development.

Keywords

Low-Altitude Economy, High-Quality Agricultural Development, Level Measurement, DEA, Ridge Regression

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

农业作为国民经济的基础，其高质量发展对于保障国家粮食安全、促进农村经济发展、提升农民生活水平具有重要意义。然而，当前农业发展面临着一系列问题，如生产效率低下、资源利用不合理、生态环境压力大、农产品质量安全问题等。这些问题严重制约了农业的可持续发展，因此，探索农业高质量发展的新路径和新模式势在必行。作为 2021 年 2 月，首次被写入国家规划；2024 年，首次被写入国务院政府工作报告的低空经济有助于我们探索出一条高效的、创新的、绿色的、可持续的农业高质量发展道路。低空经济在农业领域的应用主要体现在智能农业、精准农业方面。无人机等低空飞行器可以用于农作物监测、植保、施肥、灌溉等环节，大大提高了农业生产的智能化和精准化水平。

“农业高质量发展”的概念是在 2017 年党的十九大报告中首次提出的；“低空经济”的概念于 2021 年首次被写入《国家综合立体交通网规划纲要》。相对于农业高质量发展，低空经济的发展在我国还处于初步探索阶段，出台的相关政策较少，但两者的发展都是非常重要的。实现农业高质量发展有助于保障国家粮食安全，促进农业增收，推动农业现代化、实现持续发展等；促进低空经济的发展有助于促进经济结构转型升级、区域协调发展，优化空域资源管理，加强国家安全与国防，增强国际竞争力等。为了探究低空经济与农业高质量发展之间的关系，以及低空经济是如何驱动农业高质量发展的？本文从以下方面进行研究：首先，从低空经济定义、农业高质量发展定义、低空经济对农业高质量发展的作用这三方面，对相关文献进行整理评述；其次，构建指标体系测算出 2011~2023 (13 年)，低空经济以及农业高质量发展水平，并对它们的发展现状进行分析；再次，构建岭回归模型实证检验低空经济对农业高质量发展的影响；最后，针对研究结论提出有针对性的政策建议。

2. 文献综述

低空经济概念在 2009 年提出, 2021 年写入国家规划, 2023 年底列为战略性新兴产业。其内涵普遍理解为依托低空空域、以飞行活动为核心、辐射带动相关领域融合发展的经济形态。郭辰阳等[1]视其为以低空飞行活动为牵引的综合性形态, 通用航空是主体, 无人机是未来方向; 郭辰阳等[2]将其构成划分为有人机产业、无人机产业和其他产业; 覃睿[3]强调其以航空技术工具、低空空域场域、飞行活动产出为特征; 林然[4]则视其为低空飞行与产业融合的新型形态。低空经济测度研究较少, 本文参考数字经济发展测度思路。冯超[5]曾用多要素指标测度通用航空; 王珏和李子成[6]从市场和政府维度构建指标体系结合熵权 TOPSIS 法; 郭辰阳等[1]从通用航空、无人机及政务飞行三方面分析; 邱小剑等[7]用企业、航空器、飞行时间、机场数量描述通航及无人机产业。

农业高质量发展概念于 2017 年党的十九大报告首次提出, 标志着转向追求质量和效益。黄修杰等[8]认为其核心是结构调整、布局优化、高效优质生产、人才培养、竞争力提升、农民增收及绿色发展; 张默和孙科[9]将其内涵概括为经济结构、社会形态、技术成果及人力资本高质量; 张发明等[10]指出微观体现为更少投入更优产品, 宏观是五位一体创新协调绿色开放共享发展。其测度方法主要分为三类: 基于新发展理念五个维度; 基于内涵总结维度; 选用单一指标代表。黄修杰等[8]构建 7 维度 23 指标结合熵值法; 黎新伍和徐书彬[11]基于新发展理念五维度结合熵权法; 吕小刚和高丹丹[12]建立 5 方面体系运用熵值法和综合评价指数法; 王善高[13]采用 DEA 测算农业绿色全要素生产率代表。

现有文献表明, 低空经济作为综合经济形态, 能通过技术创新、产业融合、基础设施完善、市场拓展与内需增长及政策法规健全等路径驱动农业高质量发展。然而, 相关研究仍较少, 集中于概念、现状、技术与政策层面, 缺乏对低空经济发展水平的量化测度及对农业高质量发展影响的实证分析。为此, 本文拟从通用航空、技术行业、无人机制造、政府支持四个维度构建指标体系测度低空经济发展水平, 并选取农业绿色发展效率(DEA 模型求解)代表农业高质量发展水平, 通过计量模型实证检验低空经济对农业高质量发展的影响及作用路径。

3. 研究框架

本研究以中国整体为研究对象, 旨在探究低空经济对农业高质量发展的影响。研究框架与技术路线如下: 首先, 通过文献综述法梳理文献与报道, 界定低空经济与农业高质量发展的核心概念, 并归纳其影响的理论机制与作用路径; 其次, 基于文献构建指标体系(涵盖通用航空行业发展、技术发展行业、无人机器制造行业发展、政府支持四个维度)并运用熵权法测度低空经济发展水平, 同时使用 SEM-DEA 方法测算农业绿色发展效率以代表农业高质量发展水平, 对两者发展现状进行统计分析; 然后, 基于测度结果, 构建以农业高质量发展水平为因变量、低空经济发展水平各维度指标为自变量的岭回归模型, 实证检验低空经济对农业高质量发展的影响及作用路径; 最后, 根据实证分析结果展开评价, 总结研究结论, 并为促进低空经济驱动农业高质量发展提出对策建议。整体框架如图 1 所示。

4. 低空经济与农业高质量发展水平测度分析

4.1. 低空经济发展水平测度分析

4.1.1. 低空经济发展水平指标体系构建

本文依照前文对低空经济内涵与测度的文献研究, 从通用民航行业、技术发展、无人机器制造业和政府支持, 这 4 个维度这 4 个维度选取指标构建测度低空经济发展水平的指标体系, 以我国 2011~2023 年的低空经济为研究对象, 选取 9 个一级指标和 35 个二级指标构建测度指标体系, 具体的指标如表 1 低空经济发展水平指标体系所示。

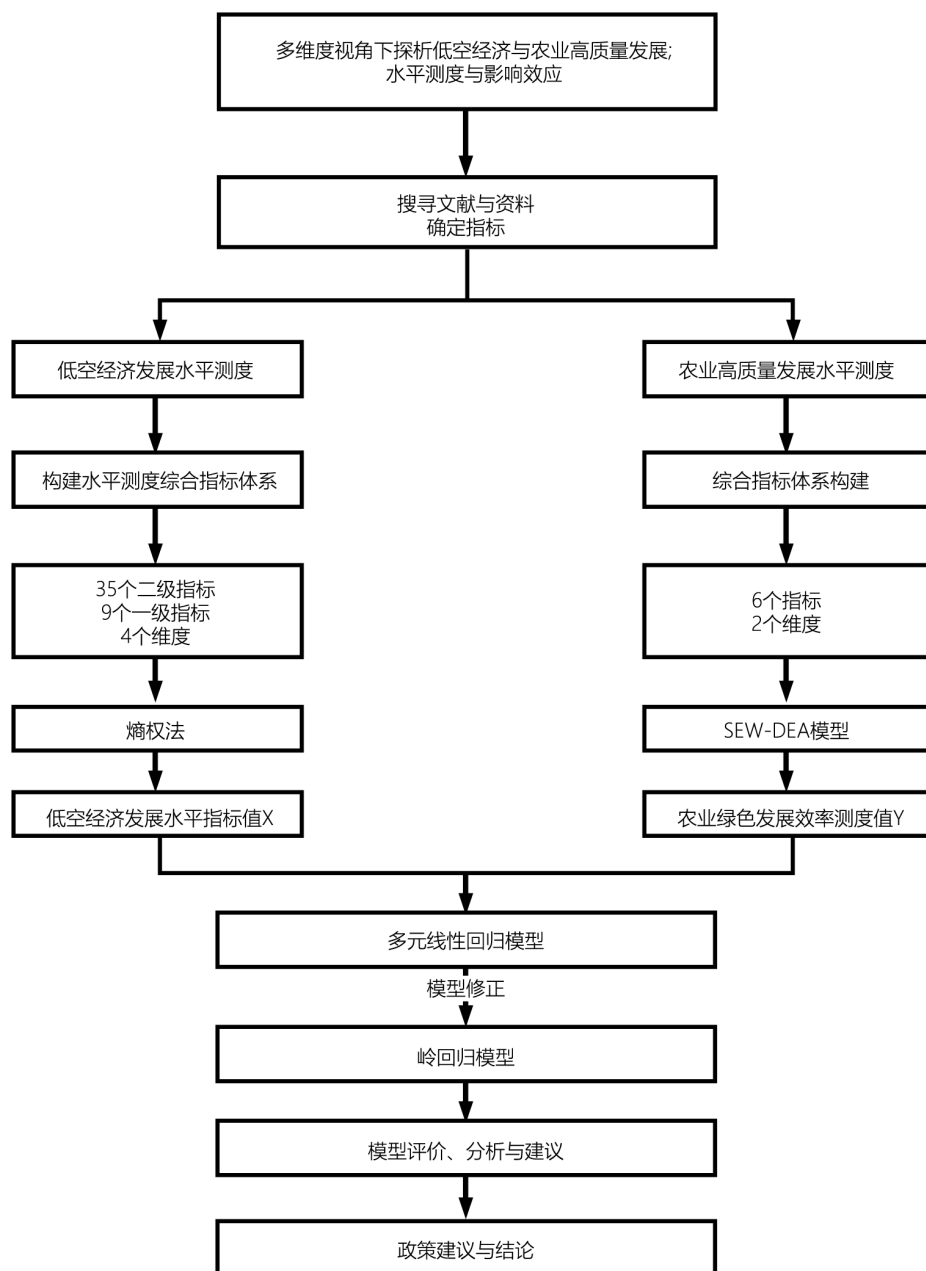


Figure 1. Technology roadmap

图 1. 技术路线图

Table 1. Low-altitude economic development level indicator system

表 1. 低空经济发展水平指标体系

指标测度对象	维度	一级指标	二级指标	单位
低空经济发展水平 指标测度	通用民航发展	无人机市场发展现状	植保无人机保有量	万架
			植保无人机销量	万台
			植保无人机市场规模	亿元
			植保无人机作业飞行时间	小时

续表

	无人机管理与监管情况	企业无人机拥有者注册单位用户	万个	
		全行业无人机有效驾驶员执照	万本	
		全行业注册无人机数量	万架	
		无人机经营性飞行活动时间	万小时	
	通用航空发展情况	通用类航空器数量	架	
		通用航空企业业务收入	万元	
		民航从业人员人数	个	
		对外开放机场数量	个	
	技术发展	航用通信导航 定向设备	企业个数	个
			本年生产量	部
全年销售量			部	
农林牧渔 专用仪器制造		企业个数	个	
		亏损企业个数	个	
		主营业务成本	万元	
		主营业务收入	万元	
		利润总额	万元	
无人机器械制造业	锂离子电池市场 发展情况	企业个数	个	
		亏损企业个数	个	
		主营业务成本	万元	
		主营业务收入	万元	
		利润总额	万元	
	电子通信设备研发实力与 投入情况	R&D 机构数	个	
		R&D 人员折合全时当量	人年	
		R&D 经费支出	万元	
		新产品开发经费支出	万元	
		旋翼无人飞行器制造情况	企业个数	个
本年生产量	台			
全年销售量	台			
政府支持	民航财政拨款与支出	一般公共预算拨款	万元	
		政府性基金预算拨款	万元	
		科学技术支出	万元	

4.1.2. 低空经济发展水平现状分析

本文使用熵权法，对 35 个二级指标进行标准化处理确定指标权重，并通过线性加权法求和来计算四个维度的指标得分，以此代表低空经济发展水平。经过上述熵权法计算后，得出 2011~2023 年通用民航、技术发展、无人机械制造业和政府支持四个维度的指标得分与行业占比以及低空经济指标得分如表 2 所示。

Table 2. Scores for each dimension indicator, weighting, and low-altitude economy indicator score table
表 2. 各个维度指标得分与比重占比和低空经济指标得分表

时间	通用民航	技术发展	无人器械制造业	政府支持	低空经济
2011	0.0088 (11.27%)	0.0167 (21.40%)	0.0233 (29.87%)	0.0293 (37.45%)	0.0781
2012	0.0166 (16.24%)	0.0256 (24.93%)	0.0342 (33.36%)	0.0261 (25.47%)	0.1025
2013	0.0137 (12.83%)	0.0295 (27.68%)	0.0397 (37.24%)	0.0237 (22.26%)	0.1067
2014	0.0277 (21.87%)	0.0315 (24.92%)	0.0468 (37.00%)	0.0205 (16.21%)	0.1265
2015	0.0773 (37.25%)	0.0507 (24.45%)	0.0579 (27.89%)	0.0216 (10.42%)	0.2075
2016	0.0954 (35.25%)	0.0538 (19.87%)	0.0765 (28.25%)	0.0450 (16.62%)	0.2707
2017	0.1207 (39.51%)	0.0636 (20.83%)	0.0918 (30.06%)	0.0293 (9.60%)	0.3055
2018	0.1549 (43.14%)	0.0707 (19.68%)	0.1018 (28.34%)	0.0317 (8.84%)	0.3591
2019	0.1691 (42.48%)	0.0643 (16.64%)	0.1217 (30.56%)	0.0431 (10.83%)	0.3982
2020	0.2284 (44.46%)	0.0993 (19.32%)	0.1509 (29.37%)	0.0352 (6.85%)	0.5138
2021	0.3033 (48.91%)	0.1172 (18.90%)	0.1851 (29.86%)	0.0144 (2.33%)	0.6200
2022	0.3610 (48.48%)	0.1339 (17.98%)	0.2223 (29.85%)	0.0275 (3.69%)	0.7446
2023	0.4329 (48.48%)	0.1500 (16.80%)	0.2705 (30.30%)	0.0395 (4.43%)	0.8929
全年占比	42.53%	19.19%	30.10%	8.19%	100%

结合表 2 不难看出,在 2011 年~2023 年的发展历程中,四个维度的指标得分均呈现逐步增长的趋势。对于图 2 可以发现,通用民航领域在低空经济的指标占比最高,达 42.53%。随着我国航空工业集团在低空经济的不断投入与打造,实现了电动飞机和氢能源动力固定翼无人机完成飞行试验等一系列成就,通用民航行业为低空经济在规模化的商业运营打下基础,也是未来低空经济实现市场大规模的重要基石。此外可以看到,虽然政府在民航行业的财政投入与支出占总体的指标比重较低,为 8.19%,可能是受到了疫情的影响,在 2019 年及以后我国的经济发展与民航财政收入和支出都受到了一定的制约,从整体上拉低了比重。不过,随着我国对疫情的高效处理与应对,并且近些年各个省份的政府工作报告对发展低空经济纷纷作出相关部署,相信未来政府会在低空经济领域加大投入与建设,促进低空经济的市场规模与行业发展高增长。

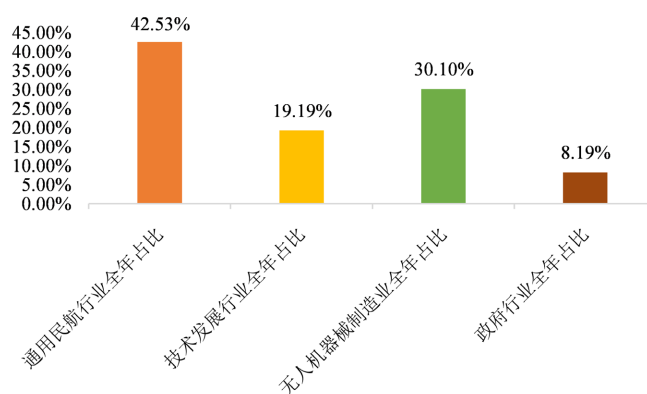


Figure 2. Low-altitude economy: Four-dimensional annual indicator score distribution chart

图 2. 低空经济下四个维度全年指标得分占比图

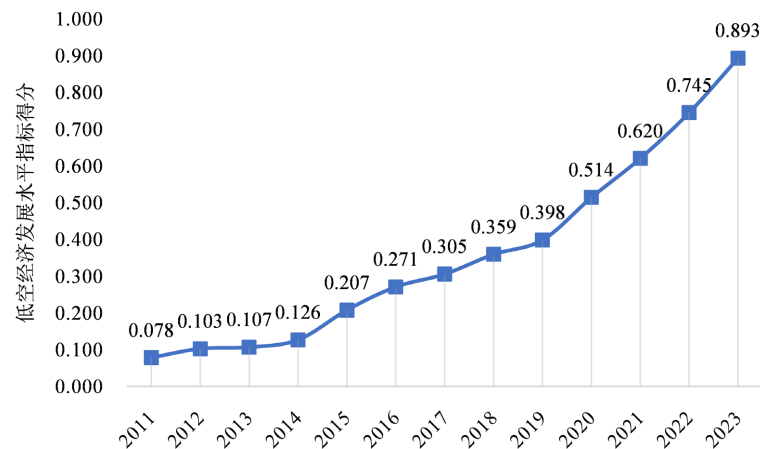


Figure 3. Line graph showing the development level of China’s low-altitude economy from 2011 to 2023
图 3. 2011~2023 年中国低空经济发展水平折线图

由图 3 可知我国在近十余年间低空经济发展水平指标得分从 0.078 到 0.893，得到了大幅度的增长。从 2020 年开始，低空经济发展水平得到了较大幅度的增长，并且在 2020 年往后的同比增长率都在 20% 左右。在 2021 年 2 月，低空经济首次被写入《国家综合立体交通网规划纲要》。2023 年 12 月，中央经济工作会议提出，“打造生物制造、商业航天、低空经济等若干战略性新兴产业”。因此，在各省份政府的推动下，如今低空经济已然成为我国关注的重点行业，近些年我国低空经济的发展水平得到了明显增长。

4.2. 农业高质量发展测度分析

4.2.1. 农业高质量发展水平测度指标体系构建及模型方法

(1) 农业高质量发展水平测度指标体系构建

基于以往的研究，本文开发了一个系统的、可量化的指标体系。具体的农业高质量发展水平测度指标体系，如表 3 农业绿色发展效率评价指标所示。

Table 3. Agricultural green development efficiency evaluation indicators
表 3. 农业绿色发展效率评价指标

类别	主指标	二级指标	单位
输入指标	土地投入	粮食播种面积	千公顷
	劳动投入	农用机械总动力	万千瓦
	化肥投入	农用化肥施用量	万吨
	机械投入	农业从业人员数	万人
输出指标	期望产出	农林牧渔总产值	亿元
	非期望产出	农业污染物排放总量	万吨

(2) 农业绿色发展效率研究方法

数据包络分析法(DEA)由 Farrell 提出并由 Charnes 和 Cooper 应用，现已成为农业生态效率测度的主流方法。DEA 通过线性规划消除单位差异，避免主观误差，能处理复杂指标体系并分析农业绿色发展效

率的时空差异。

本文采用 DEA 方法来测算农业绿色发展效率。具体而言，基于 DEA 方法，将投入、期望产出、非期望产出纳入同一个核算框架。结合农业生产实际，选取如下指标测度农业绿色发展效率：(1) 投入指标：① 土地投入：用农作物播种面积表示。② 劳动投入：用乡村农林牧渔业从业人员数表示。③ 化肥投入：用农用化肥施用量表示。④ 机械投入：用农业机械总动力表示。(2) 期望产出：用农林牧渔业总产值表示。(3) 非期望产出：用农业污染物排放总量表示。基于上述指标，利用 Dearun Tools 软件中的 SBM 模型即可计算出农业绿色发展效率。

4.2.2. 农业高质量发展水平测度

(1) 指标描述性统计分析

本文主要以 2011~2023 年全国整体作为研究区域，以时序数据为主要研究对象，对部分缺失数据进行了预测，并对其进行了补充分析。对有关指数的最大值、最小值、平均值、标准偏差等进行了统计分析，并将其统计特性如下表 4 所示。

Table 4. Descriptive statistics of input-output indicators for 2011~2023
表 4. 2011~2023 年投入产出指标的描述性统计

指标	单位	平均值	标准偏差	最小值	最大值
土地投入：粮食播种面积	千公顷	166069.460	3051.368	159859.000	170692.000
机械投入：农用机械总动力	万千瓦	104599.128	5296.075	97245.600	112850.040
化肥投入：农用化肥施用量	万吨	5696.200	354.176	5079.200	6155.500
劳动投入：农业从业人员数	万人	208.670	105.744	68.165	359.500
期望产出：农林牧渔总产值	亿元	116794.038	27465.738	78837.000	166034.290
非期望产出：农业污染物排放总量	万吨	1473.396	390.011	628.904	2089.158

(2) 农业绿色发展效率测算及结果分析

本文利用 Dearun 软件来进行农业绿色发展效率测度，选取 SBM-DEA 模型，对 2001~2023 年全国整体农业绿色发展效率进行测度。由于 SBM-DEA 并不能对时间序列数据进行处理运算，参考已有研究，将整体 13 年的时序数据分别当做截面数据中的 DMU 进行处理。计算效率结果如下表 5 所示。

Table 5. Agricultural green development efficiency value from 2011 to 2023
表 5. 2011~2023 年农业绿色发展效率值

时间	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
值	0.36	0.41	0.45	0.48	0.53	1.00	0.70	0.62	0.71	0.82	0.87	0.92	1.00

根据表格的数据，总体都呈现了上升趋势，符合农业生产活动的实际情况。从 2011 年到 2013 年，农业绿色发展效率值呈现逐年增长的趋势，增长速度逐渐加快。在 2014 年到 2016 年之间，效率值从 0.48 增长到 1.00，增幅较大。2016 年出现了大幅度上升的主要原因在于国家将生态环境保护提升到了战略性位置。之后在 2017 年至 2018 年间，效率值有所下降，主要原因在于政策执行不到位、外部环境因素影响、技术应用不足、资源管理不当以及市场需求变化等多方面因素综合作用的结果。但在 2019 年又有所回升。从 2020 年开始，效率值再次呈现稳步增长的趋势，直至 2023 年达到 1.00。主要原因可能是，在

这期间国家加大了对农业领域技术创新的投入，并出台了一系列支持农业绿色发展的政策。

5. 低空经济对农业高质量发展影响的实证分析

5.1. 变量选取与数据说明

本文以我国 2011~2023 年的数据作为研究样本进行分析。数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国农业统计年鉴》《中国劳动统计年鉴》《中国电子信息产业统计年鉴》、生态环境统计年报、第二次全国污染源普查公报、国家统计局官网、中国民用航空局官网和前瞻数据库等。需要说明的是，在统计数据的过程中，对于缺失的数据，我们采用了线性插值法和回归预测法进行填补。

结合前文的低空经济发展水平指标体系构建，我们选取通用民航、技术发展、无人器械制造业和政府支持这 4 个维度测算出的指标，作为模型的 4 个自变量，来探寻低空经济与农业高质量发展之间的关系。

5.2. 低空经济对农业高质量发展的影响分析

5.2.1. 多元线性回归建模与模型检验

为了探究通用民航、技术发展、无人器械制造业和政府支持这四个低空经济的自变量与农业高质量发展的关系，本文选择建立多元线性回归方程模型。

经过整理，本文用于低空经济对农业高质量发展的因素分析的标准化数据如下表 6。应用 SPSS25.0 软件，对所示的模型和表 6 的标准化数据使用 OLS 检验多元线性回归，回归结果见表 7 和表 8。

Table 6. 2011~2023 low-altitude economy and high-quality agricultural development standardised data
表 6. 2011~2023 年低空经济与农业高质量发展标准化数据

时间	y	x_1	x_2	x_3	x_4
2011	0.3646	0.0088	0.0167	0.0233	0.0293
2012	0.4062	0.0166	0.0256	0.0342	0.0261
2013	0.4550	0.0137	0.0295	0.0397	0.0237
2014	0.4830	0.0277	0.0315	0.0468	0.0205
2015	0.5262	0.0773	0.0507	0.0579	0.0216
2016	1.0000	0.0954	0.0538	0.0765	0.0450
2017	0.6957	0.1207	0.0636	0.0918	0.0293
2018	0.6244	0.1549	0.0707	0.1018	0.0317
2019	0.7066	0.1691	0.0643	0.1217	0.0431
2020	0.8245	0.2284	0.0993	0.1509	0.0352
2021	0.8657	0.3033	0.1172	0.1851	0.0144
2022	0.9204	0.3610	0.1339	0.2223	0.0275
2023	1.0000	0.4329	0.1500	0.2705	0.0395

由表 7 可知，模型中调整的 R^2 为 0.787，F 检验值为 12.07，p 值为 0.002，回归方程模型通过了显著性检验，拟合程度较好。但对于各个自变量来说，其回归系数效果不佳。可以发现 x_1 、 x_2 和 x_3 均没有通过显著性检验，其 p 值均大于 0.1，并且此三个自变量的 VIF 都大于 10，存在着明显的多重共线性问题，

最高达到了 291.772，这表明使用 OLS 进行参数的无偏估计不适用于本文所考察的数据。为了得到更加精确且可靠的拟合结果，需要消除变量之间多重共线性的影响。

Table 7. Model fitting results

表 7. 模型拟合结果

	R	R ²	调整后 R ²	F 统计量	Sig.
	0.926	0.858	0.787	12.07	0.002
a 预测变量: $\beta_0, x_1, x_2, x_3, x_4$					
b 因变量: y					

Table 8. Ordinary least squares regression results

表 8. 普通最小二乘法回归结果

	系数	标准误	标准系数	t 统计量	Sig.	VIF
β_0	-0.133	0.237		-0.561	0.59	
x_1	-2.911	3.669	-1.806	-0.793	0.45	291.772
x_2	14.359	6.399	2.74	2.244	0.055	83.916
x_3	-0.518	5.338	-0.178	-0.097	0.925	190.131
x_4	10.779	3.713	0.433	2.903	0.02	1.25
a 因变量: y						

为解决多元线性回归中的多重共线性问题，常用的方法包括主成分分析法、偏最小二乘法和岭回归。虽然前两种方法能降低变量维度并提高预测性能，但缺乏因变量的解释性。岭回归通过引入 L2 范数正则化项，提高模型泛化能力，并有效分析自变量与因变量的关系，弥补了前两者的不足。因此，本文选择岭回归解决多重共线性问题。

5.2.2. 岭回归建模与模型检验

具体来说，岭回归的优化目标是最小化残差平方和与正则化项的和，即：

$$\min \|Y - X\beta\|^2 + K\|\beta\|^2 \quad (1)$$

其中， Y 为因变量， X 为自变量矩阵， β 为系数向量， K 为正则化参数，亦称岭回归系数。通过调节的大小，可以控制正则化的程度，进而影响模型的复杂度和泛化能力。因此，在式(1)的基础上，建立岭回归模型：

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + K \sum_{i=1}^4 \beta_i^2 + \varepsilon \quad (2)$$

结合上述模型，不妨设 K 的取值在(0,1)之间，步长为 0.01，得到岭迹图(图 4)以及可决系数 R^2 随着正则化参数 K 变化的趋势图(图 5)。由图 4 可以看出，当 $K \geq 0.4$ 时，岭迹图的变化趋于平稳，各自变量的回归系数和 R^2 的变化逐渐稳定。此外，由图 5 可以发现，当 K 值在 0~1 之间时， R^2 始终大于 0.725。这表明不论岭回归系数如何取值，四个自变量对因变量的解释力均大于 0.725，模型具有较好的解释力，拟合效果较好。因此，本文取 $K = 0.4$ 来作为岭回归的拟合结果，进而确立岭回归方程模型。

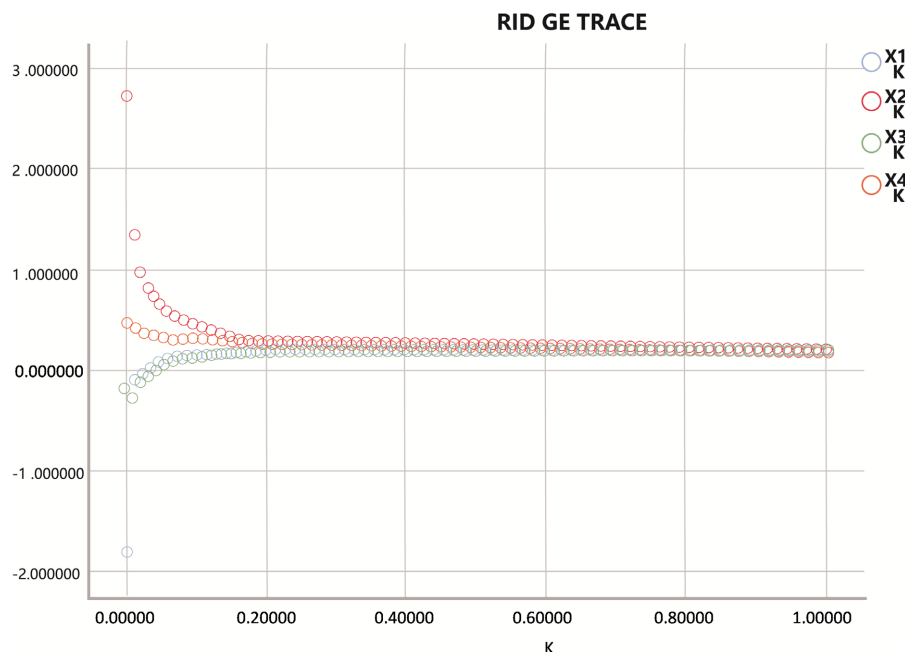


Figure 4. Landscape plot of four independent variables

图 4. 四个自变量的岭迹图

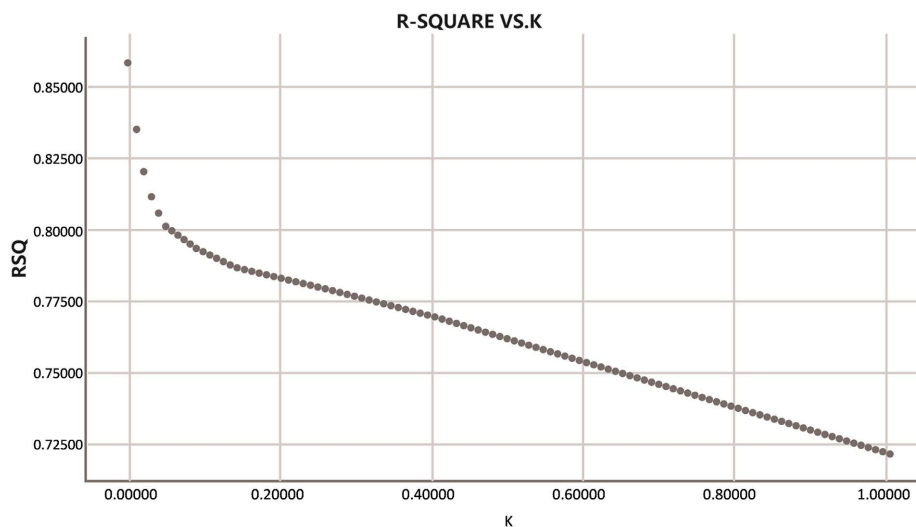


Figure 5. Scatter plot of the determination coefficient R^2 and the regularisation parameter

图 5. 可决系数 R^2 与正则化参数的散点图

对 $K = 0.4$ 时的岭回归方程进行检验, 检验结果见表 9 和表 10。由表 9 可知, 当岭回归系数 $K = 0.4$ 时, 可决系数 $R^2 = 0.769$, 调整后的 $R^2 = 0.654$, 并且方差分析中可知 F 统计量为 6.667, 对应的 p 值为 0.012 小于 0.05, 说明回归方程在 5% 的显著水平上通过了检验, 可以认为使用岭回归估计后的模型拟合效果良好, 模型通过了显著性检验。

表 10 给出了各自变量的岭回归结果, 可以发现各变量 t 检验的 p 值均小于 0.1, 可以认为除了 x_4 以外, 其他自变量的岭回归系数均在 5% 的显著性水平上通过检验, x_4 则可以认为在 10% 的显著性水平上通过检验。并且各个自变量的系数和标准系数均为正数, 符合经济指标。因此, 可以得到岭回归方程为:

Table 9. Results of ridge regression model fitting and analysis of variance
表 9. 岭回归模型拟合结果与方差分析

<i>R</i>	<i>R</i> ²	调整后 <i>R</i> ²			
0.877	0.769	0.654			
模型	自由度	平方和	均方	<i>F</i>	<i>p</i> 值
回归	4	0.469	0.117	6.677	0.012
残差	8	0.140	0.018		

Table 10. Results of ridge regression for each variable when *K* = 0.4
表 10. *K* = 0.4 时各自变量岭回归结果

	系数	标准误	标准系数	<i>t</i> 统计量	Sig.
β_0	0.287	0.104		2.769	0.024
x_1	0.340	0.086	0.211	3.964	0.004
x_2	1.445	0.318	0.276	4.550	0.002
x_3	0.598	0.163	0.206	3.658	0.006
x_4	5.939	3.031	0.238	1.959	0.086

$$y = 0.340x_1 + 1.445x_2 + 0.598x_3 + 5.939x_4 + 0.287$$

(3)

标准化岭回归方程为：

$$y = 0.211x_1 + 0.276x_2 + 0.206x_3 + 0.238x_4$$

(4)

5.3. 结果分析

- (1) 通用民航对农业高质量发展影响效应分析
- 在低空经济的指标中，通用民航行业对农业高质量发展的影响为 21.1%，弹性系数为 0.34。这意味着增加 1 单位的投资，农业发展水平可提高 0.34 单位。民航行业中植保无人机的应用提高了农业生产的精准度和效率，帮助农民更好地管理农田和作物，为农业提供可靠的技术支持。通用航空的进步促进了农业航空技术的发展，提升了农业生产的智能化和效率，进一步推动农业高质量发展。
- (2) 技术发展对农业高质量发展影响效应分析
- 技术发展对农业高质量发展的影响最大，为 27.6%，弹性系数为 1.445，意味着投入 1 单位技术发展，农业发展水平可提高 1.445 单位。中国过去技术相对滞后，缺乏高效农业机械化设备，但随着航用通信导航设备和农林牧渔专用仪器制造技术的进步，农业生产的精准度和效率大幅提高。技术突破打破了过往壁垒，推动了农业高质量发展，技术发展在低空经济中占据重要地位。
- (3) 无人机器械制造对农业高质量发展影响效应分析
- 无人机器械制造行业对农业高质量发展的影响为 20.6%，弹性系数为 0.598，意味着每投入 1 单位，农业发展水平可提高 0.598 单位。锂离子电池的发展提高了植保无人机的续航能力，延长了飞行时间，为农业提供了更多技术支持。先进的电子通信设备提高了无人机的通信稳定性和控制精度，促进了精准喷洒、监测和勘测的实施，提升了农业生产的智能化水平，为高质量发展奠定了基础。
- (4) 政府对农业高质量发展影响效应分析
- 政府行业对农业高质量发展的影响为 23.8%，弹性系数最大，为 5.939，意味着每投入 1 单位资金，

农业发展水平可提高 5.939 单位。2021 年之前, 政府政策未倾斜到低空经济, 财政支出较低。自 2021 年起, 政府政策支持加大, 低空经济得到了显著发展, 财政投入迅速增加。因此, 政府的财政支持为农业提供了先进技术和设备, 推动了农业生产向高质量发展转型, 政府的影响效应在低空经济中尤为突出。

6. 研究结论与对策建议

6.1. 研究结论

首先, 低空经济对农业高质量发展具有积极的影响。通过岭回归分析发现, 低空经济的发展水平与农业高质量发展呈正向关系。具体来说, 通用民航发展、技术发展、无人器械制造业和政府支持这四个维度对农业高质量发展都有一定的促进作用。特别是技术发展的影响, 其为农业高质量发展提供了重要支持。

其次, 研究结果表明, 低空经济的发展对农业高质量发展的影响路径主要体现在技术创新、产业融合、基础设施建设、市场拓展和政策法规支持等方面。低空经济的兴起推动了农业生产的智能化和精准化水平, 提高了农业生产效率。同时, 低空经济的发展也为农业提供了新的市场需求和内需, 促进了农业产业的升级和转型。政策法规的支持为低空经济的健康发展提供了坚实的制度保障, 为农业高质量发展奠定了基础。

最后, 通过研究结论, 可以从低空经济发展视角为企业与政府提出促进农业高质量发展的对策建议。

6.2. 对策建议

1. 提升农业航空技术水平, 建立深度农航合作机制

加大农业从业人员的无人机操作培训, 提高其技术应用能力, 推动农业生产智能化和精准化。建设技术支持平台, 为农业生产者提供持续的技术咨询和支持服务。同时, 推动农业与通用民航行业合作, 促进资源共享与技术交流, 提升农业航空技术的应用水平。

2. 加大科研项目建设支持, 推动多方产学研用合作

增加农业航空技术的科研资金支持, 设立科研项目资助计划, 鼓励产学研合作。加强农业企业、科研机构和高校之间的合作, 推动农业航空技术的创新和科研成果转化, 促进新技术的推广应用, 提升农业技术水平。

3. 不断优化低空产品性能, 加深安全质量监督认证

根据农业需求定制和优化无人机产品, 提高其适用性和性能。加强对产品质量的监管, 确保符合国家标准和行业要求, 保障农业生产安全。通过建立质量认证机构, 加强监管, 确保农业航空技术的安全性和合法性, 促进产业健康发展。

参考文献

- [1] 郭辰阳, 敖万忠, 吕宜宏. 充分把握发展机遇, 加快推进低空经济高质量发展[J]. 财经界, 2022(25): 36-38.
- [2] 郭辰阳, 敖万忠, 吕宜宏. 低空经济与通用航空、无人机、UAM 的关系分析[J]. 财经界, 2023(28): 30-32.
- [3] 覃睿. 再论低空经济: 概念定义与构成解析[J]. 中国民航大学学报, 2023, 41(6): 59-64.
- [4] 林然. 低空经济开启发展元年关注 eVTOL 产业进展[J]. 股市动态分析, 2024(2): 52-53.
- [5] 冯超. 中国通用航空发展空间与产业链[J]. 中国流通经济, 2014, 28(5): 117-121.
- [6] 王珏, 李子成. 低空经济对新质生产力的作用机制与因素分析——基于金融发展与企业集聚的调节效应[J]. 湖北经济学院学报, 2024, 22(3): 86-100.
- [7] 邱小剑, 阮津, 吴静, 等. 通用航空产业发展、产业融合与区域消费升级[J]. 宏观经济管理, 2024(1): 78-84+92.
- [8] 黄修杰, 蔡勋, 储霞玲, 等. 我国农业高质量发展评价指标体系构建与评估[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(4):

124-133.

- [9] 张默, 孙科. 农业高质量发展理论内涵、水平测度及评价研究[J]. 农业经济, 2021(5): 6-8.
- [10] 张红阳, 张玉露. 农业高质量发展评价指标体系构建和评估——以北京市为例[J]. 中国国情国力, 2022(12): 65-68.
- [11] 黎新伍, 徐书彬. 基于新发展理念的农业高质量发展水平测度及其空间分布特征研究[J]. 江西财经大学学报, 2020(6): 78-94.
- [12] 吕小刚, 高丹丹. 农业高质量发展评价指标体系研究[J]. 农业经济, 2024(4): 3-6.
- [13] 王善高. 数字经济与农业高质量发展: 影响效应与作用路径[J]. 统计与决策, 2024, 40(6): 21-26.