

基于“蜂鸣-管道”模型的中国农业科技创新合作网络及其产出研究

周贤君,向 静

(湖南农业大学 公共管理与法学学院,湖南 长沙 410000)

摘要:农业科技协调创新对改善重大原创性前沿成果较为缺稀、科技创新绩效水平不高以及农业科技投入不足等问题至关重要。因此,基于“蜂鸣-管道”模型,以2012—2023年“神农中华农业科技奖”的获奖名单为基础,构建中国31个省份的农业科技创新合作网络,通过面板负二项回归分析揭示区域内合作和跨区域合作及其交互效应对农业科技创新产出的短期和长期影响。研究发现:网络结构上,中国农业科技创新合作网络的规模在扩大、紧密程度在加深,区域内合作和跨区域合作联系也在逐步累积和增强;地区区分上,不同区域、不同省份在中国农业科技创新合作网络的空间分布规律展现出显著差异;合作网络对农业科技创新产出的影响上,区域内合作和跨区域合作均具有显著的促进作用,两者的交互效应与农业科技创新之间存在显著的负相关关系,跨区域合作的长期影响小于短期影响,区域内合作和交互效应的长期影响大于短期影响。

关键词:“蜂鸣-管道”模型;农业科技创新;合作网络;创新产出

中图分类号:G353.1;F323.3

文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.1003-8256.2026.04.003

2025年10月,党的二十届四中全会指出,农业农村现代化关系中国式现代化全局和成色^[1]。回望农业发展进程,发展农业农村现代化,必须提升农业科技创新。这一判断不仅是基于客观规律的要求,更得到了实践数据的支撑,我国农业科技进步贡献率已从2012年的不足55%提升至2024年的63.2%,迈入世界第一方阵^[2]。但是,我国农业科技创新仍然存在诸如重大原创性前沿成果较为稀缺、科技创新绩效水平不高以及农业科技投入不足等问题^[3-4],极大地限制了农业科技创新能力的有效提升。

为解决这些问题,学界进行了积极的探索,对提升农业科技创新的研究也呈现出从单一要素分析向创新生态系统综合考察的演进趋势。研究表明,数字基础设施^[5]、技术市场规模^[6]等外部条件通过优化创新环境对农业科技创新产生显著促进作用,而协同创新网络的结构特征则直接影响创新资源的配置效率^[7]。同时,国外关于农业创新体系中的“共享空间”构建^[8]与绿色创新能力培育^[9]等的研究,也揭示了创新合作的深层机制。这些研究都指向一个核心共识,农业科技创新的提升不仅需要要素投入,更依赖于多层次、多形态的创新合作网络。

通过对现有文献的梳理可以发现,学者们对农业科技创新的影响因素及提升路径的多维探讨,为本研究提供了扎实的基础,却仍存在一些不足之处。第一,对合作机制的研究缺少理论基础的支撑。现有研究主要集中于选择合理的驱动因素以建立指标体系,并进行分析,然而对机制本身的深入探讨、与相关理论的嵌入研究则明显不足。第二,动态评价机制缺失。现有研究多集中于静态分析,缺乏对农业科技创新区域合作动态变化的跟踪与评估,未能及时反映合作效果和影响因素的变化。第三,缺乏考虑区域差异的研究。已有对农业科技创新合作的研究,未考虑不同区域因政策投入、资源禀赋等固异质性而导致的区域差异,难以揭示各地区在农业科技创新合作网络中的差异化反应。

因此,本文通过引入“蜂鸣-管道”模型及相关理论,夯实理论支撑,运用2012—2023年“神农中华农业科技奖”(以下简称“神农奖”)的面板数据,开展动态分析,并基于华北、东北、华东、中南、西南、西北这六大地区^①区域差异,进行“区域内合作和跨区域合作”的农业科技创新区域合作的分析,多视角地实证研究中国农业科技创新合作网络及其对即期和滞后期产出的影响。

基金项目:湖南省哲学社会科学基金项目(18JD39);湖南省社会科学成果评审委员会项目(XSP18YBC366)

作者简介:周贤君(1985—),男,湖南长沙人,讲师,硕士生导师,研究方向:农村社会保障;(通信作者)向静(2000—),女,湖南湘西人,硕士研究生,研究方向:农业管理。

① 华北包括北京、天津、河北、山西和内蒙古;东北包括黑龙江、吉林和辽宁;华东包括上海、江苏、浙江、安徽、福建、江西和山东;中南包括河南、湖北、湖南、广东、广西和海南;西南包括重庆、四川、贵州、云南和西藏(数据中没有涉及);西北包括陕西、甘肃、青海、宁夏(数据中没有涉及)和新疆。

1 理论模型与研究假设

1.1 理论基础

农业科技创新协调创新、区域合作,涉及到地理范畴的合作网络研究,因此采用“蜂鸣-管道”模型^[10]。该模型是由 Bathelt 等^[10]在关于经济活动的空间集群及其在各种互动学习过程中知识创造的空间性之间的关系的研究中建立的,他们整理区分了两种学习过程,将在集群内部通过面对面接触、共同存在、共同定位而发生的联系称为“蜂鸣”,将通过投资建立与选定的外部伙伴的沟通渠道称为“管道”。Bathelt 等^[10]研究认为,高质量和相关性的本地蜂鸣的存在会导致一个更加活跃的集群,从而促进集群内部企业的知识学习和创造;管道的建立不仅能为公司带来新的和有价值的知识增强优势,也能促进本地蜂鸣的提升。他们还指出,蜂鸣和管道之间必须做好权衡,蜂鸣过强,理解新的外部知识可能会很困难,管道过强,内部沟通的缺口可能会阻止知识迁移和成果转化。

根据“蜂鸣-管道”模型,以中国各省级行政区(港、澳、台除外)为节点,建立中国农业科技创新合作网络,并以华北、东北、华东、中南、西南、西北这六大区域界定“集群”,提取同一集群内两省间的农业科技创新合作表示“蜂鸣”,不同集群的两省间的农业科技创新合作表示“管道”。对“蜂鸣”“管道”从强度和连通性两个维度进行测量,强度代表了合作频率,采用农业科技创新合作网络中的联系数量表示,连通性代表了合作网络的连通效率,采用农业科技创新合作网络中节点最短路径的倒数之和表示^[11-12];同时,用各省农业科技创新产出的数量以衡量“蜂鸣”“管道”的促进或阻碍效果,具体公式及其意义如表1所示。

1.2 研究假设

基于区域视角,研究区域内合作和跨区域合作对农

业科技创新产出的影响。首先,对于区域内合作,“蜂鸣-管道”模型指出,本地蜂鸣的存在会导致一个更加活跃的集群,从而促进集群内部的知识学习和创造。其作用机理在于,由于地理邻近与制度环境相似,区域内的个体更容易建立起稳定的合作网络^[13]。这种本地网络为创新要素的集聚和创新成果的迁移提供了原动力,不仅使设备、样本等物质化知识的流动更为便捷,更减少了知识、技术传递过程中的排异,从而提升农业技术研发效率与成果转化率。因此,提出假设:

H1:区域内合作(蜂鸣)会影响各省农业科技创新产出。

其次,对于跨区域合作,模型指出,管道的建立能带来新的和有价值的知识增强优势。其影响科技创新产出的核心逻辑体现为,通过分工与联动,能够突破要素固有限制,实现异质性资源的战略互补^[14];通过学习差异化的知识经验,推动本地知识基础的动态重组和迁跃提升;通过嵌入不同的技术范式、制度逻辑,使本地化的制度框架在适应与吸收外部规则的过程中得到优化与重构,最终为更高复杂性的创新突破创造条件。因此,提出假设:

H2:跨区域合作(管道)会影响各省农业科技创新产出。

此外,区域内合作与跨区域合作并非截然割裂的两种行为,而是彼此联系、相互关联的^[15]。模型指出,蜂鸣和管道之间须做好权衡,蜂鸣过强,导致知识体系趋同,理解新的外部知识可能会很困难;管道过强,内部沟通不畅,可能会阻止知识迁移和成果转化。对于科技创新而言,保持两者的动态平衡,构建互补的知识累进结构,既能从区域内合作中获得高频率、高契合度的知识互动,防止组织注意力分散和效率损耗,又能从跨区域合作中汲取异质性知识、技术与制度资源,避免认知固化与创新路径依赖,从而在利用与探索之间形成良性互

表1 相关指标及其解释

指标	公式	举例说明(以 <i>i</i> 为北京为例)
蜂鸣强度 (Buzz scale)	$BS_i = \sum_{j=1, j \neq i}^{n_p} P_{ij}$	2012—2013年,北京与同处华北地区($n_p=5$)的天津、河北、山西、内蒙古的合作数 <i>P</i> 分别为4、7、0、1,因此北京的 $BS=4+7+0+1=12$
蜂鸣连通性 (Buzz efficiency)	$BE_i = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^{n_p} \frac{1}{d_{ij}}}{n_p(n_p-1)}$	2012—2013年,北京与天津、河北、内蒙古均有直接合作,最短路径为 $d=1$,而与山西不直接合作,最短路径为“北京-河北-山西”, $d=2$ 。因此,北京的 $BE=(1/1+1/1+1/2+1/1)/5/4=0.18$
管道强度 (Pipeline scale)	$PS_i = \sum_{j=1, j \in p, q \neq p}^N P_{iq}$	2012—2013年,北京与非华北地区的各省合作数量之和即管道强度 $PS=58$
管道连通性 (Pipeline efficiency)	$PE_i = \frac{\sum_{j=1, j \in p, q \neq p}^N \frac{1}{d_{iq}}}{N}$	2012—2013年,北京与非华北地区的各省(贵州、西藏除外,共24个省)均有直接合作,最短路径均为1,贵州、四川暂无任何合作,且与因此,北京的 $PE=(1/1 \times 24)/30=0.8$
农业科技创新产出 (Output)	$Output_i = M_i$	北京的农业科技创新产出为其获得的“神农奖”数量,2012—2013年,该值为38

动,推动系统性创新能力的持续演进。因此,提出假设:

H3:区域内合作和跨区域合作(蜂鸣和管道)存在交互效应,两者的共同作用影响农业科技创新产出。

综合以上分析,提出本文的研究框架(如图1所示)。

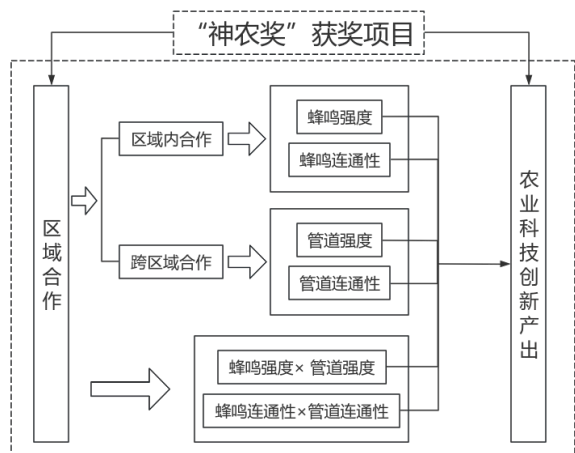


图1 “蜂鸣-管道”模型影响农业科技创新产出的理论框架

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 社会网络分析法

对中国农业科技创新合作网络进行区域化、异质性等深入分析前,先利用社会网络分析法对中国农业科技创新合作网络整体状况进行研究,并通过Gephi软件构建中国农业科技创新合作网络,合作网络中的节点、边、平均度、网络密度、模块化指数、网络聚集系数等可以反映合作网络结构特征及网络演化趋势^[16]。

2.1.2 面板回归模型

构建面板回归模型(1),以探究区域内合作、跨区域合作及两者的交互效应对农业科技创新产出的即期影响、短期作用。公式如下:

$$\begin{aligned} Output = & \alpha + \alpha_1 BS + \alpha_2 BE + \alpha_3 PS + \alpha_4 PE + \\ & \alpha_5 BS \times PS + \alpha_6 BE \times PE + \alpha_7 GMS + \\ & \alpha_8 AG + \alpha_9 RE + \alpha_{10} HR + \alpha_{11} LR + \mu + \varepsilon \end{aligned} \quad (1)$$

其中, $Output$ 为被解释变量,代表农业科技创新产出,用各省“神农奖”获奖项目数量(包括跨区域合作获奖、同区域合作获奖和独立获奖)作为反映指标; BS 、 PS 、 BE 、 PE 为核心解释变量, $BS \times PS$ 和 $BE \times PE$ 进行乘积前预先做中心化处理以减小变量间多元共线性; GMS 、 AG 、 RE 、 HR 、 LR 为控制变量,分别代表政府农业投入、农业发展水平、教育资源禀赋、农业人力资本和农业土地资本^[17-18],选用各省农林水事务支出、农林牧渔业总产值^[19]、普通高等学校数量^[20]、农林牧渔城镇单位就业人员^[21]、农作物总播种面积作为反映指标,统计数据来自于国家统计局,并均取自然对数形式; μ 为个体效应, ε 代表随机扰动项。

为了探究区域内合作、跨区域合作及两者的交互效应对农业科技创新产出是否存在长期作用,捕捉可能存

在的时间滞后效应,所有解释变量均取滞后项,滞后一期(两年),构建模型(2),公式如下:

$$\begin{aligned} l_Output = & \beta + \beta_1 BS + \beta_2 BE + \beta_3 PS + \beta_4 PE + \\ & \beta_5 BS \times PS + \beta_6 BE \times PE + \beta_7 GMS + \\ & \beta_8 AG + \beta_9 RE + \beta_{10} HR + \beta_{11} LR + \mu + \varepsilon \end{aligned} \quad (2)$$

2.2 数据来源

数据来源于中华人民共和国农业农村部颁发的“神农中华农业科技奖”相关文件,选取2012—2023年共6届的科学研究类成果一等奖、二等奖、三等奖的获奖名单作为研究样本。选择2012—2023年“神农奖”作为研究样本的原因是:第一,“神农奖”是经农业部、科技部批准设立的面向全国农业行业的综合性科学技术奖,用于奖励为我国农业科学技术进步和创新做出突出贡献的集体和个人,它是科技进步及科技创新的体现;第二,“神农奖”面向全国,获奖成果大多是不同主体、不同地区合作完成,它能反映不同地区农业科技创新的合作状况;第三,“神农奖”于2006年创办,2006—2009年每年举办一次,2010年以后变更为两年一次,且2006—2011年间文件有所缺失,因此选取举办周期一致、时间上具有连续性的2012—2023年的样本数据,对中国农业科技创新合作网络进行动态分析、因果分析等。

根据2012—2023年“神农奖”获奖项目数据(共852条),首先通过爱企查、百度百科等平台,逐一核查各完成单位所在省份,以识别项目是否为跨省合作。经统计,852个项目,由单一省份完成的项目共计335个,跨省合作项目为517个,总体省际合作产出率为60.68%(各届具体情况如图2所示)。为揭示中国农业科技创新领域的省际合作网络结构,后续分析将剔除335个非合作项目,基于剩余517个跨省合作项目展开深入研究。

3 中国农业科技创新合作网络演化特征

根据筛选后的517个“神农奖”获奖项目的单位信息,利用Gephi软件绘制2012—2023年中国农业科技创新合作网络演进表(见表2),以探索合作网络的整体演化特征。节点表示处于农业科技创新合作网络中的省份的数量;边表示农业科技创新的省际合作关系;平均度表示节点间的合作次数;网络密度表示节点间联系的紧密程度;模块化指数用于分析网络中的社区结构,解析度越小,模块越多,解析度越大,模块越少,模块化指数大于0.4,说明该网络达到一定的模块化程度;平均聚集系数表示节点的聚集程度,可用于反映网络的中心势。据表2可知:第一,网络规模,2012—2023年合作网络的边、平均度的数值均呈上升趋势,说明中国农业科技创新合作网络的规模一直在稳步扩大;第二,网络密度,2012—2023年农业科技创新合作网络连接密度从37.8%连续上升到61.1%,说明该网络结构的紧密程度有了较大幅度的提升;第三,网络稳定度,2012—2023年农业科技创新合作网络的模块化指数均小于0.4,且

整体呈下降趋势,说明中国农业创新合作网络内部并没有形成模块化结构,区域内部和区域之间的连接并没有较大差异;第四,网络中心势,从平均聚类系数可以看出,2012—2023 年中国农业创新合作网络中心势波动变化,但平均聚类系数数值在 0.683~0.777 之间,整体均具有较高的聚集效应。

3.1 中国农业科技创新区域内合作与跨区域合作的演化特征

3.1.1 中国农业科技创新区域内合作的演化特征

中国各省区域内合作及次数情况如图 3 所示。

2012—2013 年,中国农业科技创新合作的区域内合作程度呈东密西疏的态势。其中,华北地区、华东地区和中南地区区域内合作参与省份比例高、合作次数也较多,西北地区和东北地区暂时没有区域内合作的联系建立。2022—2023 年,各地区区域内合作的程度显著提升,两省之间最高合作次数从 7 增加到 15,但东密西疏的总体态势没有改变。从 2012—2013 年到 2022—2023 年,东北、西北地区的区域内合作有了从无到有的质的改变,中南、华东地区区域内合作是从有到多的量的增加,特别是华东地区,区域内合作强度要显著高

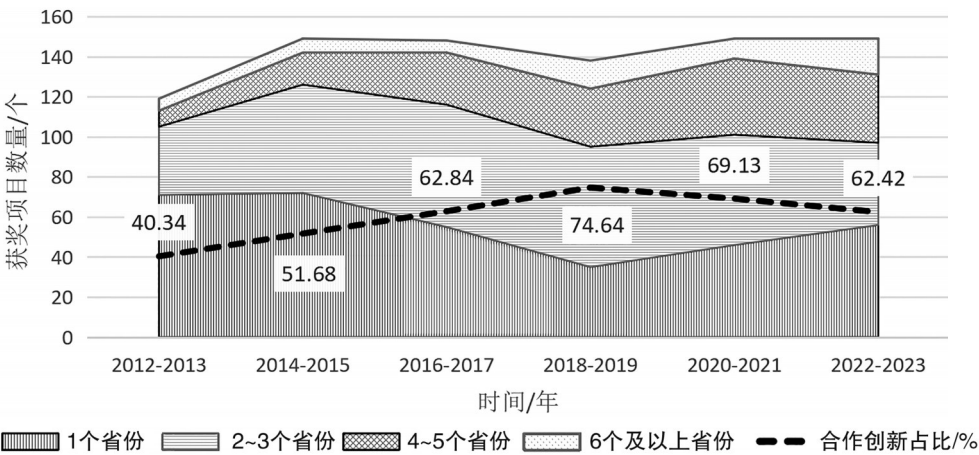
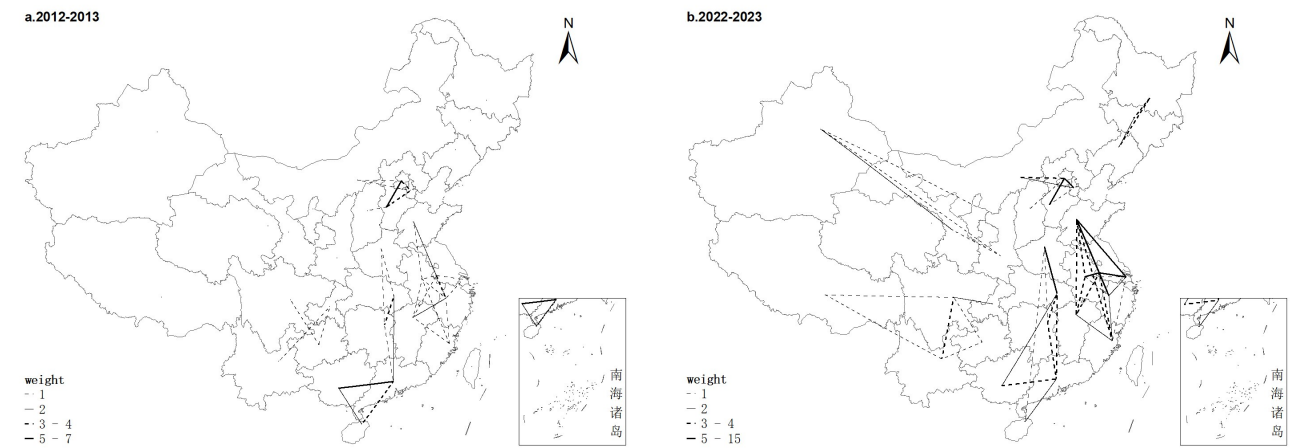


图2 2012—2023年“神农奖”获奖项目省际合作情况

表2 中国农业科技创新合作网络演进表

时间	节点	边	平均度	网络密度	模块化指数	平均聚类系数
2012—2013	28	143	10.214	0.378	0.206	0.735
2014—2015	29	178	12.276	0.438	0.098	0.683
2016—2017	30	199	13.267	0.457	0.125	0.685
2018—2019	29	229	15.793	0.564	0.111	0.762
2020—2021	29	233	16.069	0.574	0.054	0.725
2022—2023	30	266	17.733	0.611	0.047	0.777



注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2024)0650号标准地图绘制,底边界无修改。

图3 中国各省区域内合作及次数演化情况

于其他区域,区域内各省的合作创新意识和行为整体要领先全国。

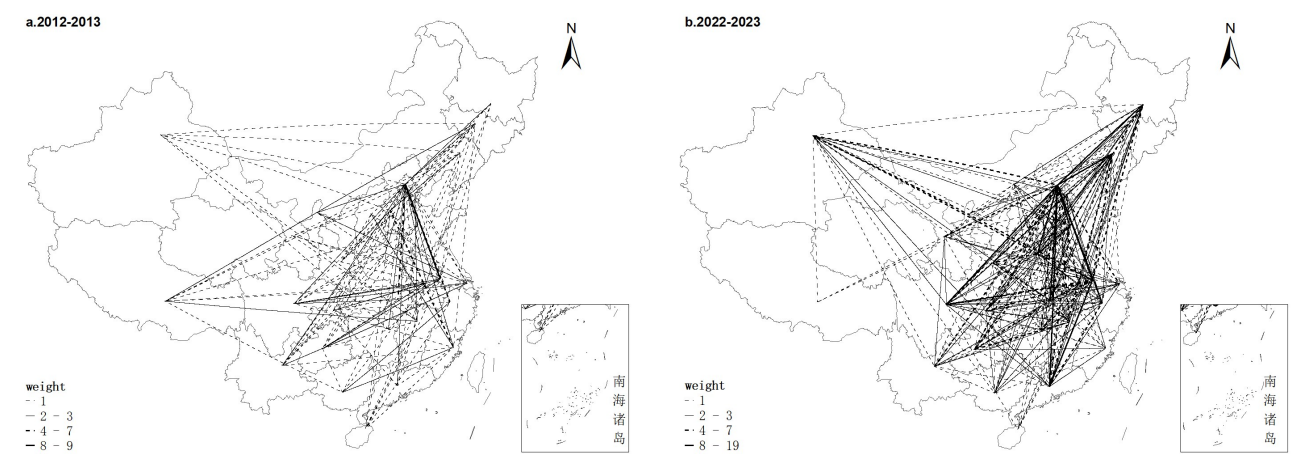
3.1.2 中国农业科技创新跨区域合作的演化特征

中国各省跨区域合作及次数情况如图4所示。由图3、图4可知,中国各省的跨区域合作要远多于区域内合作,农业科技创新资源在整个中国范围内高度流通。2012—2013年,从各区域情况来看,华北、华东和中南地区的管道最高;从各省情况来看,北京凭借其政治和文化中心属性,在跨区域合作联系通道数量和合作次数上一骑绝尘。此时段,全国跨区域合作联系通道数量虽然很多,任意两省间的合作次数却比较低,最高不过为9。到2022—2023年,全国跨区域合作水平进一步提升,跨区域的两省合作次数高于4的数量显著增加,合

作次数最高达到了19,并形成了以北京为中心,以江苏、湖北、广东、四川为次级中心的中国农业科技创新管道合作网络的格局。

3.2 中国各区域农业科技创新合作网络的描述性统计特征

全国及各区域农业科技创新合作网络蜂鸣、管道及农业科技创新产出的描述性统计分析结果如表3所示。从纵向来看,无论是全国整体还是六大区域,其农业科技创新产出、蜂鸣强度、蜂鸣连通性、管道强度及管道连通性在2012—2023年均呈现增长态势(西南地区蜂鸣连通性略有下降除外),反映出各区域创新活动活跃度与网络联结能力的普遍提升。从横向来看,2012—2013年,华北、华东、中南地区的创新产出及各项网络指标均



注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2024)0650号标准地图绘制,底边界无修改。

图4 中国各省跨区域合作及次数演化情况

表3 全国及各区域蜂鸣、管道及产出的描述性统计分析结果

地区	指标	Output		BS		BE		PS		PE	
		2012	2022	2012	2022	2012	2022	2012	2022	2012	2022
全国	Mean	7.19	13.81	3.61	9.42	0.11	0.17	11.16	36.13	0.42	0.63
	sd.	7.61	12.62	3.79	9.81	0.08	0.07	11.29	33.12	0.19	0.17
华北	Mean	12.40	16.60	6.80	8.00	0.16	0.17	17.40	48.20	0.54	0.66
	sd.	14.84	23.30	5.07	5.83	0.03	0.03	23.17	70.05	0.20	0.15
东北	Mean	6.67	12.00	0	6.00	0	0.33	9.00	36.67	0.39	0.67
	sd.	3.21	7.00	0	1.00	0	0	5.29	25.11	0.06	0.18
华东	Mean	9.14	20.71	5.14	22.00	0.12	0.13	14.86	43.29	0.55	0.68
	sd.	7.93	14.02	2.85	12.97	0.02	0.01	9.49	26.79	0.11	0.09
中南	Mean	7.50	14.17	6.00	8.67	0.12	0.13	12.00	38.00	0.49	0.67
	sd.	3.78	7.17	2.97	4.59	0.02	0.01	5.10	22.51	0.08	0.12
西南	Mean	2.60	9.80	0.80	3.60	0.17	0.16	6.00	28.80	0.25	0.63
	sd.	2.88	7.66	0.84	2.30	0.16	0.03	7.84	18.20	0.25	0.14
西北	Mean	3.80	6.00	0.40	2.00	0.03	0.17	5.20	18.80	0.24	0.48
	sd.	2.59	4.18	0.55	1.58	0.05	0.10	4.66	15.61	0.15	0.29

注:为了表格全面展示及美观,简化了表中部分指标,其中“2012”代表“2012—2013年”,“2022”代表“2022—2023年”。

高于全国平均水平,而东北、西南、西北地区则普遍低于全国均值(西南地区蜂鸣连通性除外),呈现出明显的区域分化特征。2022—2023年,创新产出方面,华北、华东、中南地区仍保持高于全国平均水平的优势地位;但在网络联结层面,区域格局发生了些许变化:华北、华东、中南地区的蜂鸣强度及蜂鸣连通性均已降至全国平均水平以下,表明其区域内合作密度相对减弱;而管道连通性方面,仅华东地区仍高于全国均值,华北、中南地区已低于全国水平。与此同时,东北地区的管道强度与管道连通性均已超越全国平均水平,显示出其在跨区域合作方面的显著提升。

4 中国农业科技创新合作网络中的地区分异

根据2012—2023年各省区域内合作和跨区域合作(蜂鸣和管道)的强度和连通性绘制了散点图(如图5、图6),以其平均值为基准,可将中国各省份分为四种类型:蜂鸣弱、管道弱,为“孤岛型”;蜂鸣弱、管道强,为“外向型”;蜂鸣强、管道弱,为“内向型”;蜂鸣强、管道强,为“网络型”^[10-11]。

中国各省蜂鸣强度与管道强度的散点图,反映了各省区域内合作和跨区域合作的频率状况。由图5可知,大部分地区集中分布在平均值附近,而山东、浙江、江苏、北京距离中心点较远,且均属于网络型。此外,从各大区域来看,华北地区孤岛型省份较多,河北属

于内向型,北京属于网络型;东北地区除孤岛型的吉林外,其他两省属于外向型;华东地区以内向型和网络型为主,其中,福建属于孤岛型;中南地区差异较大,孤岛型和网络型均占较大比例,其中,河南属于外向型;西南地区除四川属于外向型外其他各省属于孤岛型;而西北地区各省均属于孤岛型。

中国各省蜂鸣与管道连通性的散点图,反映了各省区域内合作和跨区域合作连通效率的状况。由图6可知,大部分地区集中分布在平均值附近,而青海、西藏以及东北三省距离中心点较远,青海和西藏属于强孤岛型,吉林属于强内向型,黑龙江和辽宁属于强网络型。从各大区域来看,华北地区以网络型为主,山西和天津属于弱孤岛型;东北地区有内向型和网络型;华东地区以外向型为主,福建和上海属于内向型;中南地区除海南属于内向型外,其他省均属于外向型;西南地区以内向型为主,但还有属于网络型的四川和属于内向型的西藏;西北地区以孤岛型为主,其中,甘肃属于内向型,新疆属于弱网络型。

图5和图6的地区分布相似性较差,例如新疆属于强度上的孤岛型、连通性上的网络型,四川属于强度上的外向型、连通性上的网络型,吉林属于强度上的孤岛型、连通性上的内向型,说明各省区域内合作和跨区域合作的频率和连通效率存在差异,进而说明了中国农业科技创新合作网络复杂的结构特征。

5 农业科技创新合作网络对创新产出影响的实证研究

5.1 面板负二项回归结果

探究农业科技创新合作网络对创新产出的影响,并进行量化分析。在面板回归模型的基础上,由于被解释变量农业科技创新产出是典型的非负离散计数变量,因此应选择泊松回归或者负二项回归的计量模型^[22]。但是,因为泊松回归要求被解释变量的均值与方差相同,而经过检验,农业科技创新产出的方差是其均值的二倍多,存在过度离散的情况,泊松回归的效率会下降,因此采用面板负二项回归模型。表4为模型回归结果,所有模型的 α 都显著不为0,验证了数据存在过度离散,服从负二项回归; $Pseudo R^2$ 均在0.2~0.3之间,模型拟合度较好,具有较好的解释力。

表4中,模型1a和模型1b考察了蜂鸣和管道的短期影响,其中蜂鸣和管道强度显著为正,蜂鸣连通性虽然系数为负但不显著,管道连通性显著为正,说明区域内合作和跨区域合作的频率以及跨区域合作网络的连通效率有利于促进各省农业科技创新产出,并且这种促进作用能在短期内见效。蜂鸣的各项系数低于管道,说明在促进农业科技创新产出时,跨区域合作比区域内合作有效得多。模型1c和模型1d检验了蜂鸣和管道交互效应的短期影响,结果显示,蜂鸣强度和管道强度显著

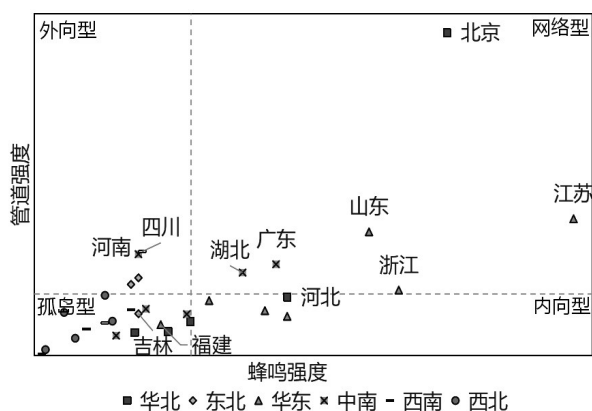


图5 中国各省蜂鸣强度与管道强度散点图

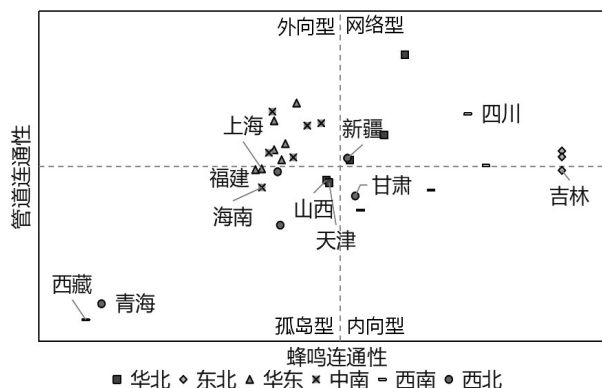


图6 中国各省蜂鸣与管道连通性散点图

为正,其交互项为负但不显著,说明区域内合作频率和跨区域合作的频率对创新产出的正向促进作用相对独立;蜂鸣连通性不显著,管道连通性显著为正,其交互项显著为负,说明区域内合作网络的连通效率和跨区域合作网络的连通效率的交互效应对创新产出具有显著的阻碍作用。

模型 2a、2b、2c、2d 评估了蜂鸣、管道及两者的交互效应的长期影响。滞后期和即期的结果基本一致,不再赘述。值得一提的是,蜂鸣连通性在短期影响是负效应,在长期影响中则为正效应,虽然均不显著,但是也说明了区域内合作网络的连通效率提高的价值。

对比即期模型与滞后期模型,蜂鸣强度系数从 0.023 到 0.024,说明区域内合作频率对农业科技创新产出的影响具有长期优势;管道强度系数从 0.012 到 0.011,管道连通性系数从 3.946 到 2.065,说明跨区域合

作对农业科技创新产出的影响是短期优势;蜂鸣和管道连通性交互项系数从-0.370 到-0.409(显著水平从 5%降为 10%),说明区域内合作网络的连通效率和跨区域合作网络的连通效率的交互效应的抑制作用在累积增强。

5.2 稳健性和内生性检验

5.2.1 稳健性检验

为检验回归结果的可靠性,采用三种方法进行稳健性检验:一是剔除特殊样本,剔除北京、上海、天津、重庆四个直辖市数据,利用剩余省份数据重新进行回归,结果见表 5 列(1);二是进行缩尾处理,为避免样本极端值对回归结果的干扰,对所有样本进行 5% 的缩尾处理,结果见表 5 列(2);三是改变模型的固定效应,在时间固定效应和地区固定效应的基础上,增加个体效应,结果见表 5 列(3)。基于上述三种方法的稳健性检验结果表明,蜂鸣和管道对农业科技创新产出的影响基本一致,

表 4 面板负二项回归结果

解释变量	即期(公式(1))				滞后期(公式(2))			
	模型 1a	模型 1b	模型 1c	模型 1d	模型 2a	模型 2b	模型 2c	模型 2d
BS	0.023*** (4.757)		0.024*** (4.736)		0.024*** (2.933)		0.024*** (2.799)	
PS	0.012*** (8.989)		0.012*** (8.706)		0.011*** (5.277)		0.010*** (5.002)	
BE		-0.386 (-0.573)		-0.454 (-0.677)		0.451 (0.619)		0.368 (0.508)
PE		3.946*** (12.591)		3.854*** (12.524)		2.065*** (5.326)		2.004*** (5.211)
BS×PS			-0.000 (-0.361)				-0.000 (-1.144)	
BE×PE				-0.370** (-2.182)				-0.409* (-1.775)
Log likelihood	-460.430	-462.548	-462.548	-458.122	-416.210	-424.830	-415.549	-423.275
Prob > chi2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pseudo R ²	0.282	0.279	0.279	0.286	0.235	0.219	0.236	0.222
alpha	0.014***	0.012***	0.012***	0.010***	0.048**	0.057**	0.049**	0.053**
Observation	186	186	186	186	155	155	155	155
地区固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是

注:***表示 $p<0.01$,**表示 $p<0.05$,*表示 $p<0.1$,下同。

本研究结果稳健。

表 5 稳健性检验结果

变量	(1)剔除特殊 样本	(2)进行缩 尾处理	(3)改变固定 效应
<i>BS</i>	0.020*** (3.496)	0.037*** (4.830)	0.283*** (5.750)
<i>BE</i>	-0.273 (-0.408)	-0.239 (-0.370)	-8.711** (-2.490)
<i>PS</i>	0.007* (1.947)	0.013*** (4.190)	0.221*** (9.720)
<i>PE</i>	2.307*** (4.951)	1.976*** (4.380)	2.402 (1.060)
<i>lnGMS</i>	0.586*** (3.549)	0.254* (1.920)	-0.139 (-0.090)
<i>lnAG</i>	0.455*** (3.428)	0.142* (1.790)	3.771* (1.800)
<i>lnRE</i>	-0.104 (-0.830)	0.167 (1.590)	-4.332 (-1.020)
<i>lnHR</i>	-0.004 (-0.105)	0.006 (0.160)	-0.705 (-1.400)
<i>lnLR</i>	-0.297*** (-3.870)	-0.164** (-2.470)	-8.756*** (-3.230)
<i>Constant</i>	-3.693*** (-5.478)	-1.407*** (-2.920)	65.627*** (2.650)
<i>Observations</i>	162	186	186
<i>Pseudo R²</i>	0.323	0.321	0.335

5.2.2 内生性检验

为了减轻内生性问题的干扰,以核心解释变量滞后两期作为工具变量,采用 Durbin-Wu-Hausman 检验进行回归。结果显示,蜂鸣强度系数为 0.689,管道强度系数为 0.934,均在 1% 的水平下保持显著,并且拒绝了工具变量识别不足和弱工具变量的检验,说明工具变量选取有效;蜂鸣连通性系数为 0.127,管道连通性系数为 0.180,在 5% 的水平下显著,拒绝了工具变量识别不足的检验,但属于弱工具变量。以上结果说明在考虑内生性问题的情况下,蜂鸣、管道对农业科技创新产出仍存在显著的促进作用。

6 结论与讨论

6.1 研究结论

(1)就网络结构而言,从 2012—2023 年,中国农业科技创新合作网络的规模和密度经历了显著的增长,合

作的渠道变得更加多样化。区域内合作和跨区域合作这两种合作模式均显著提升,区域内合作在空间分布上形成了比较稳定的“东密西疏”格局,跨区域合作在空间分布上形成了以北京为中心,以江苏、湖北、广东、四川为次级中心的中国农业科技创新管道合作网络的格局。但是总体而言,各区域合作网络建设仍有较大进步空间,存在核心节点带动力有限、区域发展不平衡等问题,尤其是西北、东北、西南地区的创新动力不足,整体合作网络仍然相对稀疏,网络集聚程度和完整性有待提升。

(2)就地区分异而言,在合作频率上,绝大多数省份表现出“孤岛型”的特征,特别是位于西北地区的省份,“网络型”“内向型”则大多为沿海经济较为发达的省份,“外向型”则主要是内陆经济较为良好的省份。在连通效率上,表现出比较强的区域差异,西北多为“孤岛型”,中南、华东多为“外向型”,西南多为“内向型”,华北、东北多为“网络型”。

(3)就合作网络的影响而言,第一,区域内合作与农业科技创新产出之间存在显著的正相关关系,这种促进作用的滞后影响大于即期影响,表明区域内合作是促进农业科技创新产出增长的长期法宝。第二,跨区域合作与农业科技创新产出之间存在显著的正相关关系,但滞后影响要小于即期影响,反映出跨区域合作对产出的促进作用在无持续推动措施下会逐渐衰减,表明了跨区域合作是一种需要持续推进、不断投入的科技创新增长方式。第三,区域内合作和跨区域合作的交互效应对农业科技创新产出有显著的抑制作用,且滞后期的抑制效果大于即期。

6.2 理论贡献

“蜂鸣-管道”模型是一个将在不同的地理尺度上的各种技术管道变成一个单一的分析框架的方法^[27],本文创新性地将其从经济地理研究领域迁移至社会网络分析新领域中,并从区域内合作及跨区域合作及其交互作用角度研究农业科技创新的动态变化,实现了创新活动从微观过程向宏观网络的尺度转换。

其理论贡献在于:第一,拓展了“蜂鸣-管道”模型的解释边界与应用场景,为其在创新系统研究中的应用提供了实证依据;第二,揭示了区域内与跨区域合作间存在复杂互动关系,挑战了各种合作越多越好的传统认知;第三,通过区分即期与滞后效应,推动了农业创新研究从静态描述向动态机制分析的演进。

6.3 管理启示

创新合作通过协同发展、资源共享、联合攻坚,促进创新主体之间的协作,从而提升整体创新能力和效率。本文研究结论可为中国农业科技创新合作网络的高质量发展提出以下管理启示:

(1)优化网络布局,强化东西互动^[23]和核心辐

射^[24]。要以华北、华东区域作为我国农业科技创新合作网络发展的有力引擎,以北京、江苏、湖北等创新强省为关键核心,充分发挥强强联合的辐射带动作用,促进区域间互动、互补,推动我国科技创新网络朝着均衡、高质量方向发展,创建国内农业科技创新大循环。

(2)破除区域孤岛,实施结对联网与能力提升。针对西北等相对封闭地区,采取引入带动策略^[25],由国家或创新强省主导,在当地直接布局跨区域联合研发项目与平台,加强本地团队建设^[26],提升技术承接与转化能力;同时开展专项联通行动,重点支持这些地区与华东等开放型地区建立稳固合作关系,逐步打破封闭状态,融入全国创新网络。

(3)因地制宜,建立主次有序的合作模式动态调整机制。要避免同一时期对区域内合作和跨区域合作的均衡投入、协同发展的过度追求,在创新启动和突破阶段,可优先利用跨区域合作显著的即期促进作用,快速获取关键技术和新知识;在技术落地和深化阶段,则着重加强区域内合作,促进知识的本地消化与迭代,以发挥其持续增长的长期效益。

6.4 不足与展望

本研究也存在一些局限性,首先,研究对象即获奖单位所在位置的最小单元为省,难以从更微观层面观察合作网络的变化;其次,研究样本仅基于“神农奖”获奖单位,未纳入未获奖但活跃的农业科技创新合作行为,存在一定选择性偏误。因此,未来的研究可以构建多尺度嵌套网络分析框架^[28],整合省、市乃至机构层面的合作数据,揭示农业科技合作的空间层级结构与跨尺度互动机制。此外,也可推动多元数据融合^[29],将获奖数据与专利、论文、科研项目等多源信息相结合,构建更有整体代表意义的样本,研究中国农业科技创新网络及其产出的时空演变。

参考文献:

- [1] 中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议[N].人民日报,2025-10-29(1).
- [2] 郁静娴.继续拓宽农民增收致富渠道[N].人民日报,2025-01-21(2).
- [3] 张佳睿,孟维福.新质生产力赋能农业经济韧性提升:理论逻辑、现实挑战与实践路径[J].改革,2024(12):51-60.
- [4] 余京洋.人才、科技赋能西部农业新质生产力的内在逻辑、实践制约与发展路径[J].当代经济管理,2025,47(5):45-55.
- [5] 赵锦春.数字基础设施能否促进数字农业科技创新?[J].现代经济探讨,2025(8):103-116.
- [6] 李兆亮,张俊飏,赖晓敏,等.技术市场规模对农业科技创新质量的影响效应及其作用机制研究[J].研究与发展管理,2024,36(4):62-74.
- [7] 王丹,赵新力,张翔玮,等.农业科技协同创新网络的理论模

- 型、结构特征与优化对策研究[J].中国科技论坛,2023(9):163-175.
- [8] FIELDSEND A F, CRONIN E, VARGA E, et al. 'Sharing the space' in the agricultural knowledge and innovation system: multi-actor innovation partnerships with farmers and foresters in Europe[J]. The Journal of Agricultural Education and Extension, 2021, 27(4): 423-442.
- [9] ABRUDAN D B, RAFI N, DAIANU D C, et al. Linking green intellectual capital with green innovation: examining the roles of green dynamic capabilities and 'motivation to achieve legitimacy' [J]. Agricultural Economics/Zemědělská Ekonomika, 2022, 68(7): 205-258.
- [10] BATHELT H, MALMBERG A, MASKELL P. Clusters and knowledge: local buzz, global pipelines and the process of knowledge creation [J]. Progress in Human Geography, 2004, 28(1):31-56.
- [11] 曹湛,戴靓,杨宇,等.基于“蜂鸣—管道”模型的中国城市知识合作模式及其对知识产出的影响[J].地理学报,2022,77(4):960-975.
- [12] 王启轩,任婕,曹湛.上海大都市圈创新网络的演化特征及其对创新产出的影响:基于“蜂鸣—管道”视角[J].经济地理,2024,44(1):107-117.
- [13] LAUVÅS T, STEINMO M. The role of proximity dimensions and mutual commitment in shaping the performance of university-industry research centres [J]. Innovation, 2021, 23(2):182-208.
- [14] RAPINI M S, CHIARINI T, STEIN A Q. Universities in inclusive regional innovation systems: academic engagement and uneven knowledge use in Brazil [J]. Journal of Regional Science, 2024, 64(1):108-135.
- [15] 胡双钰,吴和成,翁旻.区域合作对创新绩效的影响研究[J].经济经纬,2022,39(3):26-34.
- [16] 戴靓,曹湛,马海涛,等.中国城市知识合作网络结构演化的影响机制[J].地理学报,2023,78(2):334-350.
- [17] 王丹,杜旭,郭翔宇.中国省域农业科技创新能力评价与分析[J].科技管理研究,2021,41(1):1-8.
- [18] 徐维祥,王睿,刘程军,等.中国农业科技创新的时空演进特征及其影响机制研究[J].中国科技论坛,2021(8):108-119.
- [19] 杨守德,廖丹.数字技术赋能城乡产业协调发展的内在机制与实现路径[J].科技管理研究,2024,44(8):82-91.
- [20] 车树林,钱银成,贾必玉.高等教育赋能中国乡村振兴:理论机制与经验证据[J].文化产业研究,2023(4):392-408.
- [21] 王芳,曾令秋.农业全要素生产率与农业优先发展[J].财经科学,2021(2):121-132.
- [22] 李睿,张露平,王欢,等.政策不确定性与企业数字化转型:理论与实证分析[J].管理科学学报,2025,28(2):31-49.
- [23] 顾华详.数字经济赋能中国(新疆)自贸试验区发展新质生产力研究[J].新疆社会科学,2024(5):74-90.
- [24] 姚树洁,陈锡毅.科技创新与产业创新融合发展:意义、挑战与战略[J].重庆大学学报(社会科学版),2025,31(3):1-19.
- [25] 李勃昕,董雨,朱承亮,等.双向跨境投资、技术创新与生产效率[J].管理科学,2023,36(2):35-52.
- [26] 郭婷,任妮,孙艺伟,等.基于四阶段的我国智慧农业领域“卡脖子”技术识别方法研究[J].科技管理研究,2025,45(19):

- 141-154.
- [27] WANG B J, MAO W S, PIAO J X, et al. Does external linkage stimulate innovation capacity? the analysis based on "dual-pipelines" framework [J]. *Papers in Regional Science*, 2023, 102 (3):613-634.
- [28] FANG C Y, CHEN R, ZHOU L, et al. Utilizing complex networks and multi-scale analysis for spatial coordination and regional integration: insight from the Pearl River Delta, China [J]. *Habitat International*, 2025, 161:103409.
- [29] 胡洋, 赵又霖, 谢友宁, 等. 基于OAI的企业多元数据服务平台构建[J]. *情报理论与实践*, 2018, 41(5):150-154, 142.

Research on China's Agricultural Science and Technology Innovation Cooperation Network and its Output Based on the "Buzz-Pipeline" Model

ZHOU Xianjun, XIANG Jing

(College of Public Administration and Law, Hunan Agricultural University, Changsha 410000, China)

Abstract: The coordinated innovation of agricultural science and technology is very important to improve the problems of the scarcity of major original frontier achievements, the low level of scientific and technological innovation performance, and the insufficient investment in agricultural science and technology. Therefore, based on the "buzzer-pipeline" model and the list of winners of the Shennong China Agricultural Science and Technology Award from 2012 to 2023, the agricultural science and technology innovation cooperation network of 31 provinces in China was constructed, and the short-term and long-term impacts of intra-regional cooperation and cross-regional cooperation and their interaction effects on the output of agricultural science and technology innovation were revealed through panel negative binomial regression analysis. The results show that in terms of network structure, the scale and closeness of China's agricultural science and technology innovation cooperation network are expanding, and the intra-regional cooperation and cross-regional cooperation are gradually accumulating and strengthening. In terms of regional differentiation, the spatial distribution of different regions and provinces in China's agricultural science and technology innovation cooperation network showed significant differences. In terms of the impact of cooperation network on the output of agricultural science and technology innovation, both intra-regional cooperation and cross-regional cooperation have a significant promoting effect, and there is a significant negative correlation between the interaction effect of the two and agricultural science and technology innovation, and the long-term impact of cross-regional cooperation is smaller than the short-term impact, and the long-term impact of intra-regional cooperation and interaction effect is greater than the short-term impact.

Keywords: "buzz-pipeline" model; agricultural science and technology innovation; cooperation networks; innovative output