

# 跨区科研网络的技术创新效应

——来自中国农业专利匹配数据的证据

马宇贝 展进涛 熊航\*

**摘要:** 本文研究了跨区科研网络对中国农业技术创新的影响,并构建纳入公共部门的科研网络模型,讨论了公共部门在网络中的重要作用。我们通过农业专利文本数据中的研发合作关系构建了跨区科研网络,并基于网络拓扑和微观研发互动策略构造工具变量矩阵以识别其对技术创新的影响。结果表明,中国省域间形成了技术偏向性的农业科研网络。资源禀赋和技术偏向匹配的跨区科研网络可促进农业技术创新,尤其是创新质量改善,并缓解了创新效率下降。

**关键词:** 农业科研网络;技术创新;创新效率

**DOI:** 10.13821/j.cnki.ceq.2025.02.06

## 一、引言

农业技术创新是保障国家粮食安全的基础支撑,提高农业竞争力、实现农业强国战略的必然选择。中国高度重视农业科技创新,建立了世界最庞大的农业科研体系并不断改革完善,“农、科、教”、“产、学、研”相结合等微观运行机制日益形成(黄季焜,2018);公共农业科研投资持续增加,由 2010 年的 40.21 亿元增加至 2018 年的 98.31 亿元,年均增长率达 12%<sup>①</sup>。中国农业专利申请量急剧增长,尤其是 2015 年后超过国外总和。农业技术创新能力的不断增强,为国家粮食安全保障、消费结构转型、农业绿色发展提供了重要支撑。然而,与此相对的是,在中国农业科研投资稳步提升、农业专利申请数量剧增、农业科技贡献率不断突破的背后,是农业科研投资的结构失衡和科技质量的止步不前。中国市场虽具备有利于企业创新的规模优势,但农业领域的技术创新仍主要依赖于公共部门(农业科研院所)。公共农业科研投资占比过高、农业基础研究不足<sup>②</sup>、高价值农业创新成果较少<sup>③</sup>、成果转化率等问题长期未得到有效解决(Hu et al., 2011),而区域间农业科技创新能力失衡、整体创新效率下降等问题日益突出(Bloom et al., 2020)。

\* 马宇贝、展进涛、熊航,南京农业大学经济管理学院。通信作者及地址:展进涛,江苏省南京市玄武区南京农业大学,210095;电话:13675103642;E-mail:jintao.zhan@njau.edu.cn。作者感谢本刊匿名审稿专家的建设性意见,以及国家社会科学基金重点项目(21AZD007)、国家自然科学基金面上项目(72073069)、教育部哲社重大专项(2024JZDZ061)和江苏高校哲社实验室“大食物安全治理与政策智能实验室”的资助。

① 数据来源为 2011—2019 年《全国农业科技统计资料汇编》。

② 《全国农业科技统计资料汇编》显示,近年来农业基础研究持续增加,但占比不超过 15%。

③ 我国农业高价值专利占比较少, TOP5% 的高价值专利仅占 2.1%,远低于美国(39.3%)。相关数据由作者根据全球农业专利整理所得,来源为 PatSnap 全球专利数据库。

为应对创新成本的上升和成功的不确定性,创新者之间的研发互动和合作逐渐成为必要条件。部分学者开始尝试从创新过程的微观视角揭示创新的“黑匣”,并提出通过科研网络来降低研发成本、优化科研资源、提升知识前沿面,从而缓解创新的“捕鱼效应”(fishing-out effect)<sup>①</sup>(Goyal and Moraga Gonzalez, 2001; König et al., 2019)。就中国宏观层面来看,面对国内粮食安全压力和核心农业技术对外依赖的双重挑战,须积极推动跨区域科研合作、构建高效农业科研网络,促进农业科技要素流动进而实现区域农业均衡发展。已有研究发现我国区域间农业生产率由于发达地区的技术扩散存在条件收敛的现象(Zhan et al., 2017),并指出在资源禀赋、生产结构更相似的区域溢出效应更大(龚斌磊,2022; Zhan et al., 2022)。然而,这些研究多聚焦于单一区域或单一机制,尚未充分揭示跨区域农业科研合作的全貌,农业技术如何在区域间扩散仍是未解之谜。

鉴于此,本文基于2001—2020年60万余条农业专利文本数据,构建中国跨区域农业科研网络,刻画出区域间农业科研网络的动态变化与演变特征,并在此基础上使用网络拓扑和微观研发互动策略构造工具变量(IV)矩阵,精准识别跨区农业科研网络对技术创新、创新效率的因果效应。研究发现,中国区域间形成了技术偏向性的农业科研网络,并主要集中在作物育种和病虫害防治领域,近年来逐渐密集并趋于稳定。跨区合作可促进农业技术创新尤其是创新质量改善,缓解了中国农业技术创新效率的下降。反事实量化分析的结果表明,农业科研网络对全国各地区的农业全要素生产率(TFP)增长均产生了不同程度的正向作用。本文的结论为优化农业科研资源配置加快创新、以高水平创新引领农业高质量发展提供依据。

相较于现有研究,本文贡献主要体现在以下三个方面:第一,本文构建了包含公共部门的科研网络模型,拓展了科研网络相关的研究。技术创新是私人部门(企业)降低生产成本、提高生产率、获取超额利润的重要途径(Romer, 1990; Grossman and Helpman, 1991; Aghion and Howitt, 1992)。特别是,Goyal and Moraga-Gonzalez(2001)开创性地将企业间通过双边协议形成的、以实现利润最大化为目的的、非排他性的研发合作关系的集合定义为科研网络,并详细介绍了在科研网络引起外部性影响下的战略古诺寡头博弈。由于制度因素和市场特征,对于科研网络的后续理论探讨和实证研究大多局限于在私人部门内部(如 Westbrock, 2010; Bloom et al., 2013; Zaccchia, 2020)。然而,中国的科研合作模式及投入结构与发达国家大不相同,且在农业领域尤为明显。一个最重要的区别在于,发达国家的科研合作更多地发生在私人部门内部,且两个部门的R&D结构相对均衡,而中国的科研合作则主要集中在公共部门内部,公共部门和私人部门之间的合作总体较少。本文立足于中国农业科研领域的特殊背景,率先构建了纳入公共部门的科研网络模型,尤其是突出了不同部门间的科研合作,为解释中国区域间农业技术创新的溢出效应提供了理论基础。

第二,本文对创新溢出效应的微观路径识别进行了拓展。目前关于技术创新溢出的研究主要集中在技术相似(Jaffe, 1986; Bloom et al., 2013)、生产结构相似(Zhan et al., 2022)、地理邻近(Jaffe, 1989)、生产网络(陈胜蓝和刘晓玲,2021)和研发要素流动(白俊

<sup>①</sup> 捕鱼效应是指随着创新前沿面的不断提升,创新成本不断增加,创新效率会不断下降(Bloom et al., 2020)。

红等,2017)等渠道,并在宏观层面先验地假定存在溢出效应。尽管这类研究能够对假定的溢出效应进行检验和测算,但缺乏从微观层面观测和识别具体的溢出路径,也难以提供针对性的政策启示。而本研究基于专利文本数据,从微观层面观测具体的研发合作关系,并聚合至宏观区域层面形成区域间的科研网络,在控制因生产结构相似和技术相似而产生的间接技术溢出效应的同时,精准捕捉科研网络产生的直接溢出效应,为优化区域间农业(乃至其他领域)科研资源配置、缓解创新的“捕鱼效应”提供了全新的见解。

第三,本文在科研网络所产生的创新溢出效应的因果识别方法上进行了拓展。以往研究对于科研网络所产生的效应很难做出因果解释。一方面,通过科研网络产生的溢出效应可能受推动研发和创新等其他不可观测因素的影响(Griliches, 1998)。另一方面,科研合作关系本身是一个内生行为,König et al.(2019)提出可以通过两阶段 IV-Logistic 估计处理其内生性问题,但在实践中往往受到很大限制<sup>①</sup>。本文在 Zacchia(2020)提出的基于网络拓扑和微观研发互动策略构造 IV 矩阵的基础上,将研发合作关系聚合至宏观区域层面构造区域间科研网络的 IV 矩阵,有效地处理了科研网络自身内生性,进而通过两阶段泊松控制函数有效识别科研网络的因果效应。

## 二、理论分析与研究假说

考虑到公共部门内部或公共部门与私人部门之间科研网络的差异,本文在 König et al.(2019)和 Zacchia(2020)基础上,分别构建了公共部门和私人部门之间、公共部门内部的科研网络理论模型,以此探讨公共部门在科研网络中如何发挥作用以及发挥何种作用。

### (一) 公共部门和私人部门之间的科研网络模型

假定在古诺寡头垄断博弈中,存在  $N = \{1, \dots, n\}$  个农业企业、 $M_m = \{1, \dots, m\}$  个异质性产品市场和  $K = \{1, \dots, k\}$  个公共农业科研机构,采用 Singh and Vives(1984)的消费者效用函数,假定代表性消费者的效用函数如下:

$$\bar{U}_m(\{q_i\}_{i \in M_m}) = \alpha_m \sum_{i \in M_m} q_i - \frac{1}{2} \sum_{i \in M_m} q_i^2 - \frac{\rho}{2} \sum_{i \in M_m} \sum_{j \in M_m, j \neq i} q_i q_j, \quad (1)$$

其中,  $\alpha_m$  表示市场规模的异质性;  $\rho \in [0, 1)$  用以衡量产品间的可替代性。 $\{q_i\}_{i \in M_m}$  表示消费者对  $M_m$  市场中企业  $i$  产品的需求。消费者净效用函数可以表示为  $U_m = \bar{U}_m - \sum_{i \in M_m} p_i q_i$ , 其中  $p_i$  表示企业  $i$  产品的价格。因此,企业  $i$  的逆需求函数可以表示为

$p_i = \bar{\alpha}_i - q_i - \rho \sum_{j \in M_m, j \neq i} q_j$ , 其中  $\bar{\alpha}_i = \sum_{m=1}^M \alpha_m \mathbf{Z}_{1\{i \in M_m\}}$ 。企业进行生产的边际成本为:

$$c_i = \bar{c}_i - e_i - \lambda \sum_{k=1}^k \kappa_{ik} r_k - \varphi \sum_{j=1}^n a_{ij} e_j, \quad (2)$$

<sup>①</sup> 这种方法存在三个主要问题:第一,对于存在大量不可观测因素的情况,第一阶段的估计结果很难做到有效预测,最终导致第二阶段的估计结果产生较大偏误(Blackwell and Glynn, 2018; Imai et al., 2023);第二,估计难度随矩阵维度的增加大幅提升;第三,该方法仅能构建二元的“0-1”矩阵,无法构造差异化矩阵以识别复杂的合作情况。

其中,  $\bar{c}_i$  表示企业  $i$  固定的边际成本,  $e_i$  表示企业  $i$  的研发投入,  $r_k$  表示公共部门  $k$  的研发投入,  $\kappa_{ik} \in \{0, 1\}$ ,  $a_{ij} \in \{0, 1\}$ 。当公共部门  $k$  或企业  $j$  与企业  $i$  形成研发合作关系时,  $\kappa_{ik}$  或  $a_{ij}$  等于 1, 否则为 0。  $\lambda \geq 0$  且  $\varphi \geq 0$ , 表明研发合作存在正向溢出效应。假定研发的边际成本为  $\frac{1}{2}e_i^2$ , 这意味着随着研发投入的增加, 成本将以递增的速率增加, 则企业利润为:

$$\begin{aligned} \pi_i &= (p_i - c_i)q_i - \frac{1}{2}e_i^2 \\ &= (\bar{\alpha}_i - \bar{c}_i + \lambda \sum_{k=1}^n \kappa_{ik} r_k)q_i - q_i^2 - \rho \sum_{j=1}^n b_{ij} q_i q_j + q_i e_i + \varphi q_i \sum_{j=1}^n a_{ij} e_j - \frac{1}{2}e_i^2, \quad (3) \end{aligned}$$

其中,  $b_{ij} \in \{0, 1\}$ , 当企业  $j$  与企业  $i$  在同一产品市场时,  $b_{ij}$  等于 1, 否则为 0。企业  $i$  的利润除了受到企业间研发合作以及产品市场竞争的影响, 还受到企业与公共部门研发合作的影响。

**命题 1** 当  $\varphi \geq 0$ ,  $\rho \in [0, 1)$ ,  $\bar{\alpha}_i - \bar{c}_i + \lambda \sum_{k=1}^n \kappa_{ik} r_k = \mu \geq 0$  时, 若  $\varphi = 0$  或  $\varphi \lambda_{\max}(\mathbf{A}) + \rho \lambda_{\max}(\mathbf{B}) < 1$ , 则所有企业存在唯一纳什均衡, 对于企业的研发投入  $e^*$  和产品产量  $q^*$ , 满足  $e^* = q^* = (\mathbf{I}_n + \rho \mathbf{B} - \varphi \mathbf{A})^{-1} \boldsymbol{\mu}$ , 企业的利润为  $\pi_i^* = (q_i^*)^2 / 2$ 。<sup>①</sup>

命题 1 突出了公共部门与企业研发合作所产生的影响和企业间研发合作产生的影响差异。公共部门与企业研发合作作用于  $\boldsymbol{\mu}$ , 而企业间研发合作作用于  $(\mathbf{I}_n + \rho \mathbf{B} - \varphi \mathbf{A})^{-1}$ , 企业间研发合作的影响与企业间的研发战略互动有关, 并且很大程度上受限于矩阵  $\mathbf{I}_n + \rho \mathbf{B} - \varphi \mathbf{A}$  的特征值, 而公共部门与企业研发合作的影响则没有类似的限制。

特别的, 当企业整体的研发投入较低时, 企业间的研发互动很难对企业创新、生产率和利润产生较大的影响, 并且还可能由于产品间的同质化产生较大的负向影响从而降低研发投入, 相反, 企业与公共部门间的研发合作则不用担心挤出效应 (Dasaratha, 2023)。此外, 企业与公共部门间科研网络所产生的效应受两方面因素影响: 一是参数  $\lambda$ , 二是科研网络的属性结构  $\sum_{k=1}^n \kappa_{ik} r_k$ 。

## (二) 公共部门内部的科研网络模型

假定公共部门创新所需无形要素的生产(如知识)符合 C-D 函数的形式:

$$\bar{S}_i = S_i^\gamma \left( \prod_{j=1}^N S_j^{g_{ij}} \right)^\delta, \quad (4)$$

其中,  $\bar{S}_i$  表示公共科研机构  $i$  的知识总量,  $S_i$  表示公共科研机构  $i$  的创新投入;  $g_{ij} \in \{0, 1\}$ , 当公共科研机构  $i$  和  $j$  存在合作关系时,  $g_{ij}$  为 1, 否则为 0; 参数  $\gamma \in (0, 1)$  且

<sup>①</sup>  $\mathbf{A}$  和  $\mathbf{B}$  分别表示  $\sum_{j=1}^n a_{ij}$  和  $\sum_{j=1}^n b_{ij}$  对应的矩阵,  $\lambda_{\max}(\mathbf{A})$  和  $\lambda_{\max}(\mathbf{B})$  表示  $\mathbf{A}$  和  $\mathbf{B}$  中的最大特征值, 证明见附录 I。尽管企业研发投入  $e^*$  和产品产量  $q^*$  随之变化, 但并非由参数  $\boldsymbol{\mu}$  所引起, 因此本节仅讨论命题 1 中的一般情况且不会影响到特殊情况的结论。限于篇幅, 附录未在正文列示, 感兴趣的读者可在《经济学》(季刊) 官网 (<https://ceq.ccer.pku.edu.cn>) 下载。

$\delta \in (0, 1)$ 。公共部门的创新生产函数同样为 C-D 函数的形式:

$$Y_i(X_{i1}, \dots, X_{iQ}; S_1, \dots, S_N) = \left( \prod_{q=1}^Q X_{iq}^{\beta_q} \right) S_i^\gamma \left( \prod_{j=1}^N S_j^{g_{ij}} \right)^\delta e^{\omega_i}, \quad (5)$$

其中,  $X_{iq}$  表示其他投入要素, 如研发仪器、设备等 (Bloom et al., 2020); 参数  $\beta_q \in (0, 1)$ ;  $\omega_i \in \mathbf{R}$  表示影响创新的随机冲击。创新的成本为  $\omega(S_i, \bar{\omega}_i) = e^{\omega_i} S_i$ , 其中,  $\bar{\omega}_i \in \mathbf{R}$  表示与科研网络属性相关的随机变量。公共科研机构  $i$  的创新利润函数<sup>①</sup>为:

$$\pi_i(X_{i1}, \dots, X_{iQ}; S_1, \dots, S_N) = \left( \prod_{q=1}^Q X_{iq}^{\beta_q} \right) S_i^\gamma \left( \prod_{j=1}^N S_j^{g_{ij}} \right)^\delta e^{\omega_i} - \sum_{q=1}^Q \xi_q X_{iq} - e^{\bar{\omega}_i} S_i, \quad (6)$$

其中,  $\xi_q$  表示要素  $X_{iq}$  的价格。公共科研机构  $i$  的创新利润既由自身创新投入所决定, 也会受到机构间科研合作的影响。

**命题2** 当  $(\omega, \bar{\omega})$  有界支持 (bounded support),  $\gamma + \sum_{q=1}^Q \beta_q < 1$ , 且  $\vartheta \equiv \frac{\delta}{1 - \gamma - \sum_{q=1}^Q \beta_q} < \left[ \max_i \left( \sum_{j=1}^N g_{ij} \right) \right]^{-1}$  时, 则所有公共科研机构存在唯一贝叶斯纳什均衡,

对于公共科研机构  $i$  的创新投入  $S_i^*$ , 满足  $S_i^* = \left( \mathbf{E} \left[ \prod_{j=1}^N S_j^{g_{ij}} \mid \Omega_i^* \right] e^{\mu + \omega_i - (1 - \sum_{q=1}^Q \beta_q) \bar{\omega}_i} \right)^{\frac{\delta}{\vartheta}}$ ,

其中  $\mu \equiv \log \gamma + \sum_{q=1}^Q \beta_q (\log \beta_q - \log \xi_q - \log \gamma)$ ,  $\Omega_i$  表示  $(\omega_i, \bar{\omega}_i)$ 。<sup>②</sup>

尽管公共部门和私人部门无论在生产函数还是目标函数上都存在差异, 但相同部门的科研网络却表现出一致的影响 (Zacchia, 2020)。同样, 公共部门之间科研网络所产生的效应也受两方面因素影响: 一是参数  $\delta$ , 二是科研网络的拓扑结构  $b_i^*(G; \vartheta)$ 。前者意味着不同机构间的农业科研网络可能表现出显著的异质性影响, 而后者表明农业科研网络的属性对公共部门的创新和效率也存在影响。

### (三) 聚合至宏观区域层面

由于区域间自然资源禀赋和农业生产结构的差异, 诱致性技术创新可能导致区域间存在技术创新层面的比较优势 (Dollar, 1993), 区域间往往存在优势技术的互补。根据内生增长理论的基本假设, 技术进步与研发投入间存在正相关关系 (如 Romer, 1990; Aghion and Howitt, 1992), 进而引入科研网络的空间溢出效应。从宏观层面看, 区域  $l$  的技术进步可以表示为:

$$\dot{N}_l(t) = \kappa_l \left[ \frac{N_w(t)}{N_l(t)} \right]^{\Omega_l} \cdot R\&D_l(t). \quad (7)$$

区域  $l$  的技术进步除了受到本地区农业科研投资  $R\&D_l(t)$  的影响, 还受到因科研网络而产生的空间溢出效应  $\left[ \frac{N_w(t)}{N_l(t)} \right]^{\Omega_l}$  的影响;  $\kappa_l > 0$ , 表示农业科研投资的创新效率;  $\Omega_l \in (0, 1)$ , 表示区域  $l$  对技术的吸收能力, 与自然禀赋和农业生产结构相关;  $N_w(t)$  表

① 尽管公共部门在创新领域的回报无法用市场价值准确衡量, 但不可否认的是, 受各种因素 (如学科评级、声誉等) 的影响, 每个公共科研机构在其科研资源 (尤其是科研经费) 的分配上仍存在某些权衡。

② 证明见附录 II。

示与区域  $l$  构建科研网络的其他所有区域的农业技术存量。

创新资源的配置主要集中于替代稀缺生产要素或具有较大市场需求的技术(Lin, 1991),而当前农业技术创新(如机械、病虫害防治)主要集中在对劳动力的替代,以促进技术效率的提升,以增产、优质为目的的作物育种创新则往往需要更长的周期。因此,自然资源禀赋和农业生产结构的差异直接影响了科研网络的参数,而互补性间接影响了科研网络的拓扑结构,最终形成技术偏向性的农业科研网络。

因此,本文提出以下假设:(1)农业资源禀赋和生产结构的差异会导致区域间形成技术偏向性的农业科研网络;(2)跨区域的农业科研合作越紧密,越有利于促进技术创新且改善创新效率。

### 三、研究方法、变量界定和数据来源

#### (一) 科研网络构建与计量模型

##### 1. 农业科研网络构建与可视化分析

参照 König et al.(2019)和 Zacchia(2020)的方法,本文首先利用农业上市企业和公共农业科研机构/涉农高校的农业专利合作数据构建农业科研合作矩阵,聚合机构间的科研合作关系至省域层面,从而形成省域间的农业科研网络,进而通过 Circos 软件以和弦图的形式将其可视化,以考察 2001—2020 年中国区域间农业科研网络的动态演变特征。

##### 2. 实证模型

参照 Zacchia(2020)和 Zhan et al.(2022)的研究,本文构建以下基础模型来考察农业科研网络对区域农业技术创新和创新效率的影响:

$$Y_{it} = \alpha_0 + \gamma \text{AgR\&D\_stock}_{it} + \delta \sum_{j=1}^N g_{(ij)t} \text{AgR\&D\_stock}_{jt} + \beta \mathbf{X}_{it} + \mu_t + \lambda_i + u_{it}, \quad (8)$$

其中,  $Y_{it}$  表示  $t$  年  $i$  省(自治区、直辖市)的农业技术创新,  $\text{AgR\&D\_stock}_{it}$  表示农业研发投入存量,  $\sum_{j=1}^N g_{(ij)t} \text{AgR\&D\_stock}_{jt}$  表示科研网络加权的农业研发投入存量(后文用  $\text{AgR\&D\_spillovers}$  表示科研网络的溢出效应)。为进一步定量捕捉由于网络密集度造成的差异化效应,本文将这种关系通过以下函数形式表示:

$$c_{(ij)t}^f = f\left(\frac{\# \text{inv.s of } i \text{ connected to } j \text{ at } t + \# \text{inv.s of } j \text{ connected to } i \text{ at } t}{\# \text{inv.s of } i \text{ at } t + \# \text{inv.s of } j \text{ at } t}\right), \quad (9)$$

其中,分子表示  $t$  时间  $i$  省与  $j$  省合作创新的数量与  $t$  时间  $j$  省与  $i$  省合作创新的数量之和,而分母表示  $t$  时间  $i$  省的创新总量与  $t$  时间  $j$  省的创新总量之和。显然,该值随时间在 0 到 1 之间变化,且根据假定,函数  $f(\cdot)$  随合作密度的增加而增加。不同于其他生产要素的流动往往受到区域间要素价格差异、边际生产率差异等因素的影响(龚六堂和谢丹阳,2004),研发要素的流动本质上是潜在的知识和技术溢出。除了直接的研发人员或研发资本流动外,还可以通过科研网络的形式直接使得潜在的知识和技术大范围传播,而创新的载体不需要进行空间上的移动(Zacchia, 2020)。此外,知识和技术的溢出可能

不随合作密度的增加而单调变化,且知识要素的扩散壁垒远小于其他生产要素,即使是单次合作也可能使得大量知识信息广泛传播并造成深远的影响。因此,本文参照 Zacchia (2020),通过平方根函数  $g_{(ij)t}$  构建捕捉差异化效应的网络形式,来进一步讨论跨区农业科研网络对创新和创新效率的影响:

$$g_{(ij)t} = c_{(ij)t}^f = \sqrt{\frac{\# \text{inv.s of } i \text{ connected to } j \text{ at } t + \# \text{inv.s of } j \text{ connected to } i \text{ at } t}{\# \text{inv.s of } i \text{ at } t + \# \text{inv.s of } j \text{ at } t}}. \quad (10)$$

## (二) 内生性问题与工具变量选择

由于区域间的农业科研合作本质上是微观的机构合作在宏观层面的体现,而机构间形成科研合作关系本身是一个内生行为,因此,公式(8)中科研网络加权的研发投入存量可能是一个内生变量,且该变量的内生性是由内生科研网络矩阵导致。本文采用 Zacchia (2020)提出的基于网络拓扑和研发互动策略的方法构造 IV 矩阵<sup>①</sup>,将研发互动距离设置为 2 和 3,并以此构建两个 IV 矩阵。

## (三) 变量界定和数据来源

### 1. 农业技术创新

参照大量已有文献(如 Aghion et al., 2019),本研究选择农业上市企业和公共农业科研机构/涉农高校的农业专利数据作为农业技术创新的衡量指标。发明专利相较于实用新型专利和外观设计专利往往更具有价值,能够直接反映创新能力,并且在国际研究中也更具有可比较性(Boeing and Mueller, 2019)。

对于创新质量的衡量,本文参照常用方法(如 Dechezleprêtre et al., 2017; Aghion et al., 2019),从权利要求数、被引专利数量、3年内被引数量、5年内被引数量和同族专利数量这五个指标衡量农业发明专利的质量,且主要使用同族专利作为技术创新质量的主要衡量指标。为充分获得农业上市企业和公共农业科研机构/涉农高校的农业专利数据,本文使用农业上市企业(405家)和公共农业科研机构/涉农高校(1061个)的现用名称、简称、所有曾用名以及英文名称,在 PatSnap 数据库进行搜索匹配,共获得 600133 条农业专利文本数据。

### 2. 技术创新效率

对于技术创新效率(也称为研发生生产率),Bloom et al.(2020)基于内生增长理论构造创新生产函数直接刻画创新投入与创新产出的关系。然而,全要素生产率的增加率作为创新产出的指标存在以下问题:一是使用全要素生产率的绝对增量  $\dot{A}_t$  还是相对增量  $\dot{A}_t/A_t$  值得商榷(Bloom et al., 2020);二是全要素生产率的变化除了受研发投入的影响外,还可能受其他因素的影响,尤其是生产要素配置扭曲、生产要素结构变化、生产方式转变等(Oberfield and Raval, 2021);三是随着时间的推移,全要素生产率的绝对增量和

① 具体构造方法参考附录 III。

相对增量都可能为负值,而创新生产函数要求研发产出为正(Growiec et al., 2022)。因此,本文参照 Growiec et al.(2022)的做法,将专利(流量)作为创新产出代入创新生产函数计算各地区农业技术创新效率。

### 3. 核心解释变量

本文的核心解释变量分别是农业研发投入( $AgR\&D\_stock$ )和使用农业科研网络加权的农业研发投入( $AgR\&D\_spillovers$ ,系数 $\delta$ 反映了农业科研网络的溢出效应)。参考 Chai et al.(2019)的方法,本文将农业上市企业的研发投入和公共农业科研机构/涉农高校的农业研发投入按照所属的省(自治区、直辖市)聚合到相应的地区,数据来源为《全国农业科技统计资料汇编》、中国经济金融研究数据库(CSMAR)和国家自然科学基金委员会数据库。在得到所有地区的农业科研投资存量后,将每年的农业科研网络矩阵与对应区域的农业科研投资存量列向量相乘,进而得到各年所有区域加权后的农业科研投资存量,以反映其他区域对该区域影响的总和。

### 4. 控制变量

本文参考 Jaffe(1986)、Bloom et al.(2013)和 Zhan et al.(2022)的方法,采用专利文本数据中 109 个 IPC 主分类号大类构建区域间的 Jaffe 技术溢出矩阵,并根据 28 个农产品分类构建区域间的 Jaffe 生产溢出矩阵,随后将之与所有地区的农业研发投入存量加权,以识别因技术相似或生产结构相似而产生的潜在溢出效应。

其他控制变量还包括农业 GDP 占比、人均 GDP 增长率、农业科研人员数量和第一产业人员人力资本。相关数据来源为《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《全国农业科技统计资料汇编》以及各省、自治区、直辖市的统计年鉴。附录 IV 展示了所有变量的描述性统计和说明。

## 四、跨区农业科研网络：特征事实与技术偏向

### (一) 跨区科研网络的特征事实

通过 Circos 可视化的和弦图发现<sup>①</sup>,第一阶段(2001—2010年)由较少科研合作转变为“创新集聚区协同”为主的科研网络特征。2001—2005年间,农业科研网络贡献度前三名的地区分别是北京、上海和湖北,其中,北京在农业科研网络中辐射全国的定位和作用已初步显现;上海的农业科研网络主要集中在东部的长三角地区;湖北在整个农业科研网络中的贡献度与上海相当,但其农业科研合作仅集中在北京和广东。2006—2010年,北京辐射全国的定位和作用进一步强化,而江苏、上海和浙江在农业科研网络中的贡献度逐渐提升。该阶段中国省域间的农业科研网络密度总体较为稀疏,极少数省份合作贡献度较大。

第二阶段(2011—2020年)呈现出“创新集聚区协同”“创新资源与自然禀赋互补”以及“创新薄弱区联盟”并存的合作格局。2011—2015年,中国省域间农业科研网络高速发

<sup>①</sup> 参见附录 V。



展,网络贡献度前三名的地区依然是北京、江苏和上海。其中,北京辐射全国的趋势不断强化,并呈现网络中心化和合作区域多样性特征;江苏、上海和浙江在加强本区域内部合作的基础上,逐渐辐射全国。2016—2020年,中国省域间农业科研网络在保持各地区贡献度基本不变的格局下继续强化。长三角地区在农业科研网络的贡献度已完全超过北京,并且辐射全国的态势日益明显;广东除了加强与华东、华北地区的合作外,已成为华南地区的辐射中心;此外,其他一些农业技术创新能力稍弱的地区之间也形成了“创新薄弱区联盟”属性的科研合作网络。这个阶段,中国省域间农业科研网络的合作密度和合作数量稳步提升,北京(中国农业科学院等国家级研究机构所在地)发挥着科研网络的重要桥梁作用,而长三角地区在全国农业科研网络中逐渐成为最重要的辐射中心之一。

## (二) 跨区科研网络的技术偏向

为了进一步探究农业资源禀赋和生产结构差异对农业科研网络形成的影响,本文考察了作物育种、病虫害防治、土壤改良和农业机械四个领域的科研网络。<sup>①</sup>

从总量上看,省域间的农业科研合作主要集中在作物育种和病虫害防治领域,且两个领域的科研网络结构高度重合。该结果表明,尽管高产优质一直是中国作物育种的重要方向,但2001—2020年跨区科研合作的方向主要集中在病虫害防治(包括其他抗逆性),如稻瘟病、稻飞虱等生物胁迫和盐碱、干旱、高温、低温等其他非生物胁迫。这种趋势既可能是受到经济因素的影响,即劳动力成本上升导致的诱致性技术变迁,也可能受到气候变化对农业生产的冲击等自然因素影响(Chen and Gong, 2021)。从结构上看,作物育种和病虫害防治领域的科研网络主要以北京、江苏、上海、浙江、山东、广东等地区为核心,向粮食主产区和病虫害高发区扩散。可见,作物育种和病虫害防治领域的科研网络形成取决于各地区的农业创新能力,也与农业自然资源禀赋和生产结构相关。而土壤改良领域的省域科研网络主要集中在北京、江苏等农业科技高地和土壤沙化、盐碱化、酸化严重的地区(如新疆、内蒙古等);而农业机械领域的省域科研网络则集中在北京、江苏、上海等农业科技创新能力较强的地区或机械化程度较高的作物主产区。

总体而言,中国在区域层面已形成了技术偏向性的农业科研网络,通过技术溢出缓解了农业科研资源在空间上的不平衡,间接促进了创新资源在地区间再配置。

## 五、实证结果与分析

### (一) 对农业技术创新的影响估计

表1展示了农业科研网络对农业技术创新影响的IV估计结果。其中,第(1)列的因变量是专利数量,用以衡量创新数量,而第(2)—(6)列的因变量分别为权利要求数加权的专利数量、被引加权的专利数量、3年内被引加权的专利数量、5年内被引加权的专利数量和同族专利数量,用以衡量创新质量。检验表明,距离为2的IV矩阵通过了弱工具

<sup>①</sup> 根据世界知识产权组织(WIPO)的IPC分类号进行划分。参见附录V。

变量检验并满足严格外生性的假定(Wooldridge, 2014)。总体而言,选择距离为 2 的 IV 矩阵进行回归能够准确识别农业科研网络对区域农业技术创新的因果影响。因此,第一阶段回归中,所有列均选择距离为 2 的 IV 矩阵进行估计。

表 1 回归结果表明,本地区的农业科研投入不仅对本地区农业技术创新数量和创新能力均产生显著的正向影响,还通过农业科研网络对其他地区产生了显著的正向溢出效应。通过省域间的农业科研网络连接程度(0.165)可以计算得到边际社会回报与边际私人回报的比值(Marginal Social Return/Marginal Private Return, MSR/MPR)在 101.1%—101.3%之间<sup>①</sup>,即跨区农业科研网络对技术创新产生了 1.1%—1.3%的正外部效应。即便如此,由于省域间的网络连接程度较低,最终产生的正外部性仍被大幅缩小。

表 1 农业科研网络对农业技术创新影响的 IV 估计结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>AgR&amp;D_stock</i>	0.115*** (0.040)	0.104** (0.045)	0.125** (0.050)	0.172*** (0.052)	0.151*** (0.052)	0.103*** (0.034)
<i>AgR&amp;D_spillovers</i>	0.010** (0.004)	0.011*** (0.004)	0.013*** (0.005)	0.014*** (0.005)	0.014*** (0.005)	0.009** (0.004)
<i>Jaffe_tech_proximity</i>	0.145 (0.149)	0.105 (0.109)	0.152 (0.138)	0.318 (0.266)	0.244 (0.258)	0.070 (0.120)
<i>Jaffe_prod_proximity</i>	-0.429* (0.258)	-0.473 (0.309)	-0.250 (0.315)	-0.293 (0.252)	-0.224 (0.278)	-0.516** (0.263)
<i>Residuals</i>	0.033 (0.022)	0.025 (0.024)	0.004 (0.032)	0.024 (0.037)	0.012 (0.034)	0.030 (0.019)
1st Stage F-Tests	11 599.86	11 599.86	11 599.86	11599.86	11 599.86	11 599.86
Pseudo R <sup>2</sup>	0.969	0.981	0.950	0.969	0.965	0.973
Observations	570	570	570	570	570	570
$\bar{g}$	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165
MSR/MPR	101.4%	101.7%	101.7%	101.3%	101.5%	101.4%
Control	是	是	是	是	是	是
Province	是	是	是	是	是	是
Year	是	是	是	是	是	是

注: *AgR&D\_stock*、*AgR&D\_spillovers*、*Jaffe\_tech\_proximity* 和 *Jaffe\_prod\_proximity* 均滞后 1 期;所有列均采用高维固定效应面板泊松模型进行估计,且均控制了省域固定效应和时间固定效应。括号中是在省域层面聚类的标准误,网络元素的形式为平方根函数;\*  $p < 0.1$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.01$ ;下同。

① 参见 Zacchia(2020),  $MSR/MPR = (\gamma + \delta \cdot \bar{g}) / \gamma$ 。

## (二) 对技术创新效率的影响估计

表2展示了农业科研网络对农业技术创新效率影响的IV估计结果。其中,第(1)列的因变量是以专利数量计算的创新效率,而第(2)—(6)列的因变量分别是以权利要求数加权的专利数量、被引加权的专利数量、3年内被引加权的专利数量、5年内被引加权的专利数量和同族专利数量计算的创新效率。检验表明,IV矩阵通过不可识别、弱识别以及过度识别检验,同时选择距离为2和3的IV矩阵进行回归能够准确识别农业科研网络对区域创新效率的因果影响。因此,对技术创新效率影响估计的第一阶段回归中,所有列均同时选择距离为2和3的IV矩阵进行估计。

所有列中  $AgR\&D\_stock$  的系数均显著为负,表明尽管省域的农业科研投资和农业技术创新均显著提升,但两者的趋势并不一致,研发投入的增长率明显大于研发产出的增长率。这意味着在宏观层面,中国和全球范围内的趋势一致,在农业科研领域也存在着创新效率不断下降的问题(Bloom et al., 2020)。该结果实际上支持了半内生增长理论的观点,创新的“捕鱼效应”可能远大于“规模效应”(Jones, 1995)。所有列中  $AgR\&D\_spillovers$  的系数显著为正,表明农业科研网络能够显著提升区域的农业技术创新效率。值得注意的是,尽管各列数值无法直接比较,但在一定程度上表明农业科研网络对创新质量效率提升的影响大于数量效率。此外,省域间的农业技术相似性所产生的间接正向技术溢出在一定程度上提升了创新效率,而农业产业相似度所产生的间接负向溢出并未对创新效率产生显著影响。

表2 农业科研网络对技术创新效率影响的IV估计结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$AgR\&D\_stock$	-0.737*** (0.065)	-0.736*** (0.062)	-0.681*** (0.074)	-0.699*** (0.082)	-0.687*** (0.080)	-0.737*** (0.065)
$AgR\&D\_spillovers$	0.012** (0.005)	0.011* (0.006)	0.016*** (0.006)	0.020*** (0.006)	0.020*** (0.007)	0.012** (0.005)
$Jaffe\_tech\_proximity$	0.043** (0.019)	0.059** (0.022)	0.050 (0.041)	0.026 (0.032)	0.033 (0.024)	0.042 (0.034)
$Jaffe\_prod\_proximity$	-0.342 (0.331)	-0.309 (0.393)	-0.133 (0.403)	-0.549 (0.387)	-0.266 (0.438)	-0.370 (0.356)
1st Stage F-Tests	5 280.94	5 280.94	5 130.81	5 523.28	5 509.69	5 280.94
Kleibergen-Paap rk LM statistic	26.30	26.30	26.37	26.37	26.46	26.30
Cragg-Donald Wald F statistic	10 165.72	10 165.72	9 945.73	9 641.18	9 881.65	10 165.72
P value of Hansen J statistic	0.076	0.297	0.098	0.184	0.227	0.057
$R^2$	0.532	0.481	0.456	0.439	0.429	0.521
Observations	568	568	561	546	557	568

(续表)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Control	是	是	是	是	是	是
Province	是	是	是	是	是	是
Year	是	是	是	是	是	是

注:  $AgR\&D\_stock$ 、 $AgR\&D\_spillovers$ 、 $Jaffe\_tech\_proximity$  和  $Jaffe\_prod\_proximity$  均滞后 1 期; 所有列均控制了省域固定效应和时间固定效应。

为了检验识别策略的有效性, 本文使用非平方根函数形式构造了额外的 IV 矩阵。结果表明, 通过网络拓扑和研发互动策略的方法设定 IV 矩阵能够有效识别农业科研网络对农业技术创新和创新效率的因果影响。此外, 为了检验农业科研网络对农业技术创新的影响是否仅局限于合作研发, 本文将本地区自主研发(独立研发)的农业专利剥离进行估计。结果表明, 即使不考虑跨区合作产生的直接影响, 农业科研网络也能够间接促进区域农业自主创新能力的提升。附录 VI 展示了稳健性检验的结果。

### (三) 进一步讨论

#### 1. 农业科研网络缓解“捕鱼效应”的异质性

为进一步探究农业科研网络是否有利于促进整体技术创新水平的均衡提升, 本文对创新效率进行分位数回归。<sup>①</sup> 我们发现, 科研网络对创新效率的边际影响为正且随分位点的增加缓慢下降, 而科研投入对创新效率的边际影响为负且随分位点的增加迅速提升。该结果表明创新的“捕鱼效应”在创新效率更高的地区更为显著, 而科研网络能够有效缓解“捕鱼效应”导致的创新效率下降。此外, 创新的间接技术溢出效应仅在较高分位点产生显著的正向影响, 且仅显著提升了创新数量效率, 而对创新质量效率没有显著影响。这意味着省域间通过科研合作难以实现创新质量效率的提升。这些结果共同表明, 农业科研网络是提升区域创新效率、缓解“捕鱼效应”的重要路径, 但技术创新水平和创新效率均较低的地区往往更难从科研网络中获益。

#### 2. 农业科研网络的效应是否存在“索洛悖论”

尽管通过科研网络促进技术创新和创新效率提升已得到检验, 但其是否对农业生产率的提升同样产生显著影响值得进一步分析, 即是否存在“索洛悖论”<sup>②</sup>的检验。本文基于农业科研网络对区域农业全要素生产率(TFP)增长率影响的 IV 估计结果, 假定不存在省域间的农业科研网络测算反事实的农业生产率。<sup>③</sup> 图 1 展示了农业科研网络对农业 TFP 增长影响的反事实量化分析。从全国层面看, 2001—2009 年真实的农业 TFP 增长率和反事实的农业 TFP 增长率并未表现出显著差异, 但在 2010 年之后, 两者的差异逐渐体现并开始扩大。该结果一方面是由于省域间农业科研网络的密度在该时期内迅速提升, 另一方面也受到农业科研投资快速增加的影响。

<sup>①</sup> 附录 VII 展示了以数量计算和质量计算的创新效率结果。

<sup>②</sup> “索洛悖论”最早出现于 IT 领域, 后在制造业等其他领域也发现了类似的现象, 即研发投入和技术的提升并未带来生产率的增长(Acemoglu et al., 2014)。

<sup>③</sup> 限于篇幅, 农业科研网络对区域农业 TFP 增长率影响的 IV 估计结果并未给出。

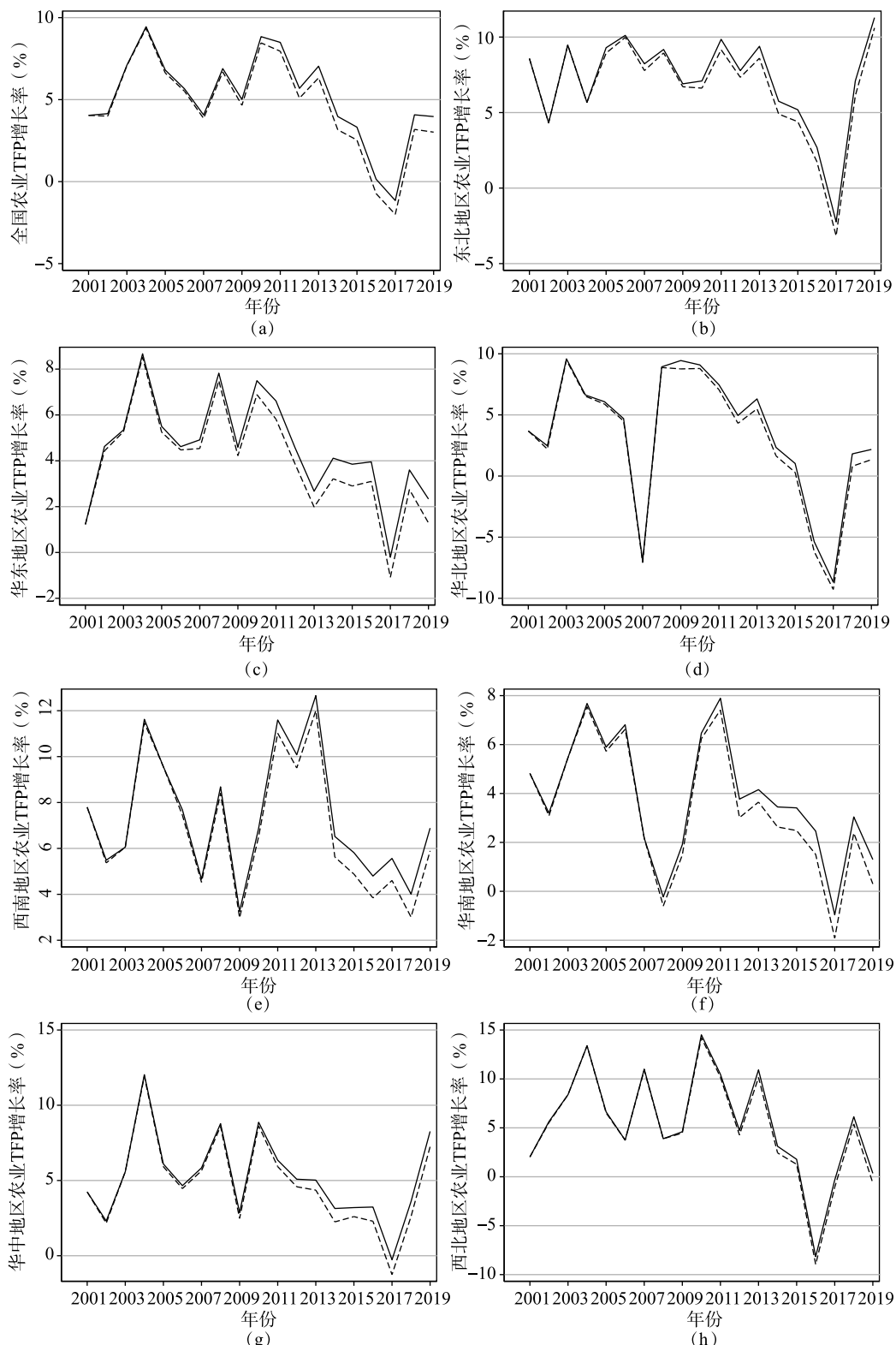


图 1 农业科研网络对农业 TFP 增长影响的反事实量化分析

注：实线表示真实的农业 TFP 增长率，虚线表示没有省域间农业科研网络的农业 TFP 增长率。

### 3. 微观层面的证据

为进一步识别科研网络的作用机制,本节分别检验了公共部门和私人部门的农业科研网络对私人部门创新的影响,以及公共部门内部的农业科研网络对公共部门创新的影响。<sup>①</sup> 广义精确匹配的估计结果显示,公共部门与私人部门的农业科研网络使农业上市企业的专利数量提升了7%,同族专利数量提升了3.8%;而公共部门内部的农业科研网络使公共科研机构的专利数量提升了23.4%,同族专利数量提升了22.6%。该结果提供了一种农业技术在省域间扩散的全新机制,即区域间的农业科研网络可以实现农业技术的跨区溢出,并且不再局限于单一部门内部,而是充分发挥公共部门和私人部门的互补作用,从而缓解当前科研资源在部门间的配置扭曲。但同时也应注意到,尽管公共部门与私人部门的农业科研网络以及公共部门内部的农业科研网络均显著增加了创新数量和质量,但这两种影响的大小存在显著差异,农业科研网络的存在可能扩大了公共部门与私人部门创新能力的差距。因此,在关注跨区农业科研网络促进区域间创新能力提升的同时,还应平衡农业科研网络在部门间的影响,应注重发挥市场配置创新资源的本源作用。

## 六、政策含义与未来研究方向

本文对于跨区科研网络创新效应的研究结论具有较强的政策含义。在全球范围内研发生产率下降、科研合作成为趋势的大背景下,尽管中国政府高度重视农业科技创新,并持续增加农业科研投资,但中国农业科研投资结构失衡、农业科技创新质量止步不前等问题依然突出。结合本文的研究结论,提出以下政策建议:根据先天要素禀赋优势和后天创新能力差异,统筹规划,分工协作,构建多元协同的区域嵌套式农业科研网络,促进区域间农业科研合作,实现自然资源和科研资源的双向互补,持续提升农业技术创新的质量和效率;通过设立农业区域专项的科研投资形式,鼓励并引导区域间的农业科研合作,以解决区域间的农业共性问题,从而充分发挥区域间农业科研网络的溢出效应;根据生态特征和产业结构,协同构建区域特色农业实验室体系,布局建设区域农业基础学科研究中心,超前部署新型农业科研信息化基础平台,促进区域间农业科研资源互惠共享,引导科研强省合作参与解决科研弱省的农业科技难题,促进科研资源配置效率改善而实现增长。

正如公共部门和私人部门科研投资的复杂关系一样,不同部门间的农业科研网络同样存在类似的效应,公共部门内部的科研网络可能对私人部门的创新产生抑制作用。在公共部门内部的科研合作占主导地位的背景下,如何强化公共部门与私人部门的合作,并平衡私人部门内部的合作,促进私人部门创新水平和创新效率的提升,最终构建以私人部门为主体的农业技术创新体系,是未来的重要研究方向。

<sup>①</sup> 相关结果参见附录Ⅷ。

## 参考文献

- [1] Acemoglu, D., D. Autor, D. Dorn, G. H. Hanson, and B. Price, "Return of the Solow Paradox? IT, Productivity, and Employment in US Manufacturing", *American Economic Review*, 2014, 104(5), 394-399.
- [2] Aghion, P., and P. Howitt, "A Model of Growth Through Creative Destruction", *Econometrica*, 1992, 60(2), 323-351.
- [3] Aghion, P., U. Akcigit, A. Bergeaud, R. Blundell, and D. Hémous, "Innovation and Top Income Inequality", *The Review of Economic Studies*, 2019, 86(1), 1-45.
- [4] 白俊红、王钺、蒋伏心、李婧, "研发要素流动、空间知识溢出与经济增长", 《经济研究》, 2017年第7期, 第109—123页。
- [5] Blackwell, M., and A. N. Glynn, "How to Make Causal Inferences with Time-series Cross-sectional Data under Selection on Observables", *American Political Science Review*, 2018, 112(4), 1067-1082.
- [6] Bloom, N., M. Schankerman, and J. Van Reenen, "Identifying Technology Spillovers and Product Market Rivalry", *Econometrica*, 2013, 81(4), 1347-1393.
- [7] Boeing, P., and E. Mueller, "Measuring China's Patent Quality: Development and Validation of ISR Indices", *China Economic Review*, 2019, 57, 101331.
- [8] Bloom, N., C. I. Jones, J. Van Reenen, and M. Webb, "Are Ideas Getting Harder to Find?", *American Economic Review*, 2020, 110(4), 1104-1144.
- [9] Chai, Y., P. G. Pardey, C. Chan-Kang, J. Huang, K. Lee, and W. Dong, "Passing the Food and Agricultural R&D Buck? The United States and China", *Food Policy*, 2019, 86, 101729.
- [10] Chen, S., and B. Gong, "Response and Adaptation of Agriculture to Climate Change: Evidence from China", *Journal of Development Economics*, 2021, 148, 102557.
- [11] 陈胜蓝、刘晓玲, "生产网络中的创新溢出效应——基于国家级高新区的准自然实验研究", 《经济学》(季刊), 2021年第5期, 第1839—1858页。
- [12] Dasaratha, K., "Innovation and Strategic Network Formation", *The Review of Economic Studies*, 2023, 90(1), 229-260.
- [13] Dechezleprêtre, A., Y. Ménière, and M. Mohnen, "International Patent Families: from Application Strategies to Statistical Indicators", *Scientometrics*, 2017, 111, 793-828.
- [14] Dollar, D., "Technological Differences as a Source of Comparative Advantage", *The American Economic Review*, 1993, 83(2), 431-435.
- [15] 龚斌磊, "中国农业技术扩散与生产率区域差距", 《经济研究》, 2022年第11期, 第102—120页。
- [16] 龚六堂、谢丹阳, "我国省份之间的要素流动和边际生产率的差异分析", 《经济研究》, 2004年第1期, 第45—53页。
- [17] Goyal, S., and J. L. Moraga-Gonzalez, "R&D Networks", *Rand Journal of Economics*, 2001, 686-707.
- [18] Griliches, Z., "R&D and Productivity: The Econometric Evidence", National Bureau of Economic Research, 1998.
- [19] Grossman, G. M., and E. Helpman, "Quality Ladders in the Theory of Growth", *The Review of Economic Studies*, 1991, 58(1), 43-61.
- [20] Growiec, J., P. McAdam, and J. Muck, "Are Ideas Really Getting Harder to Find?: R&D Capital and the Idea Production Function", Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, 2022.
- [21] Hu, R., Q. Liang, C. Pray, J. Huang, and Y. Jin, "Privatization, Public R&D Policy, and Private R&D Investment in China's Agriculture", *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2011, 416-432.
- [22] 黄季焜, "四十年中国农业发展改革和未来政策选择", 《农业技术经济》, 2018年第3期, 第4—15页。

- [23] Imai, K., I. S. Kim, and E. H. Wang, "Matching Methods for Causal Inference with Time-series Cross-sectional Data", *American Journal of Political Science*, 2023, 67 (3), 587-605.
- [24] Jaffe, A. B., "Technological Opportunity and Spillovers of R&D: Evidence from Firms' Patents, Profits, and Market Value", *American Economic Review*, 1986, 76 (5), 984-1001.
- [25] Jaffe, A. B., "Real Effects of Academic Research", *American Economic Review*, 1989, 957-970.
- [26] Jones, C. I., "R&D-based Models of Economic Growth", *Journal of Political Economy*, 1995, 103 (4), 759-784.
- [27] König, M. D., X. Liu, and Y. Zenou, "R&D Networks: Theory, Empirics, and Policy Implications", *Review of Economics and Statistics*, 2019, 101 (3), 476-491.
- [28] Lin, J. Y., "Hybrid Rice Innovation in China: A Study of Market-demand Induced Technological Innovation in a Centrally-planned Economy", *The Review of Economics and Statistics*, 1992, 14-20.
- [29] Oberfield, E., and D. Raval, "Micro Data and Macro Technology", *Econometrica*, 2021, 89 (2), 703-732.
- [30] Romer, P. M., "Endogenous Technological Change", *Journal of Political Economy*, 1990, 98 (5), S71-S102.
- [31] Singh, N., and X. Vives, "Price and Quantity Competition in a Differentiated Duopoly", *The Rand Journal of Economics*, 1984, 546-554.
- [32] Westbrock, B., "Natural Concentration in Industrial Research Collaboration", *The RAND Journal of Economics*, 2010, 41 (2), 351-371.
- [33] Wooldridge, J. M., "Quasi-maximum Likelihood Estimation and Testing for Nonlinear Models with Endogenous Explanatory Variables", *Journal of Econometrics*, 2014, 182 (1), 226-234.
- [34] Zacchia, P., "Knowledge Spillovers through Networks of Scientists", *The Review of Economic Studies*, 2020, 87 (4), 1989-2018.
- [35] Zhan, J., X. Tian, Y. Zhang, X. Yang, Z. Qu, and T. Tan, "The Effects of Agricultural R&D on Chinese Agricultural Productivity Growth: New Evidence of Convergence and Implications for Agricultural R&D Policy", *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie*, 2017, 65 (3), 453-475.
- [36] Zhan, J., Y. Ma, W. Hu, C. Chen, and Q. Lu, "Enhancing Rural Income through Public Agricultural R&D: Spatial Spillover and Infrastructure Thresholds", *Review of Development Economics*, 2022, 26(2), 1083-1107.

## Technological Innovation Effects of Cross-Regional R&D Networks: Evidence from Matched Chinese Agricultural Patent Data

MA Yubei ZHAN Jintao\* XIONG Hang  
(Nanjing Agricultural University)

**Abstract:** We examine the impact of cross-regional R&D network on agricultural innovation in China, constructing an R&D network model that includes the public sector to highlight its crucial role. The model was built with agricultural patent collaboration text data. An IV matrix is constructed based on

---

\* Corresponding Author: ZHAN Jintao, College of Economics and Management, Nanjing Agricultural University, Weigang No.1, Nanjing, Jiangsu 210095, China; Tel: 86-13675103642; E-mail: jintao.zhan@njau.edu.cn.



network topology and micro-level strategies to identify the network's impact on innovation. The results indicate that a technology-biased agricultural R&D network has formed across provinces in China. Cross-regional cooperation, when resource endowment aligns with technological bias, significantly enhances agricultural innovation, particularly improving innovation quality and alleviating the decline in China's agricultural innovation efficiency.

**Keywords:** agricultural R&D network; technological innovation; innovation efficiency

**JEL Classification:** Q16, O33, R11