

农作物育种产学研合作网络特征及其对 种子企业技术创新绩效的影响*

——基于植物新品种权申请的合作网络分析

肖翠萍^{1,2} 李晓云¹

摘要：全面构建以企业为主体、产学研协同的种业创新体系是提升种业创新能力、建设现代化种业强国的重要组成部分。本文采用全国31个省级行政区1999—2020年植物新品种权申请的数据，研究了农作物育种产学研合作网络的特征，以及种子企业与不同类型组织合作的网络特征对种子企业技术创新绩效的差异化影响。研究发现：参与农作物育种产学研合作的组织数量不断增加，种子企业是主要参与者，而科研机构更多占据了网络核心位置。种子企业嵌入不同类型的合作网络对种子企业技术创新绩效产生了差异化的影响。种子企业与科研机构合作的网络关系强度和网络中心度正向影响种子企业技术创新绩效，网络关系广度对种子企业技术创新绩效产生倒U型影响；种子企业与企业合作的网络关系强度对种子企业技术创新绩效产生倒U型影响，网络关系广度正向影响种子企业技术创新绩效，网络中心度的影响不显著。网络结构洞数量对种子企业技术创新绩效产生倒U型影响，种子企业与企业合作在占据更少数量的网络结构洞处达到种子企业技术创新绩效的最大值。本文的研究结论对于种子企业构建科学的合作关系以及协调科研机构和种子企业在育种体系中的关系具有参考意义。

关键词：农作物育种 产学研合作 种子企业 技术创新绩效 社会网络分析

中图分类号：F273.1 **文献标识码：**A

一、引言

“国以农为本，农以种为先”，种业高质量发展是促进农业现代化、保障国家粮食安全的根本路径。鉴于种业的重要性，国家出台了一系列政策措施推动种业发展。2011年发布的《国务院关于加快

*本文是教育部哲学社会科学重大攻关项目“新形势下中国粮食安全与水资源保障重大问题研究”（编号：20JZD015）和国家重点研发计划项目“山区油菜产业高值高效关键技术集成与示范应用”（编号：2021YFD1600505）的阶段性研究成果。感谢匿名审稿人对本文提出的宝贵修改意见，但文责自负。

推进现代农作物种业发展的意见》中，明确种业是国家战略性、基础性核心产业^①；2020年中央经济工作会议提出开展种源“卡脖子”技术攻关，立志打一场种业翻身仗^②；2021年中央“一号文件”进一步强调要打好种业翻身仗^③；2022年中央“一号文件”要求大力推进种源等农业关键核心技术攻关^④；2023年中央“一号文件”要求深入实施种业振兴行动^⑤。随着种业振兴行动的深入实施，中国种子企业规模小、人才不足、育种资源稀缺等因素导致的创新能力不强问题更加突出，不利于种业振兴目标的实现（程郁等，2022）。强化合作创新有助于种子企业获取更多育种资源，属于提高技术创新绩效的重要方式。2011年发布的《国务院关于加快推进现代农作物种业发展的意见》中，明确指出产学研相结合是增强农作物种业竞争力的基本原则^⑥。

产学研合作是指企业、高校、科研机构运用各自资源相互协作进行优势互补的经济和社会活动。狭义的产学研合作指企业与高校、研究机构之间的合作。随着技术创新的难度不断提升，产学研创新主体均积极加入跨组织的合作以获取更多创新资源。产学研合作的范畴也随之扩大，既包括狭义的“产学”（企业+高校）、“产研”（企业+研究机构）和“产学研”（企业+高校+研究机构）合作，也包括“产产”（企业+企业）、“学学”（高校+高校）、“研研”（研究机构+研究机构）以及“研学”（高校+研究机构）合作。2019年中央“一号文件”、2022年全国两会政府工作报告、党的二十大都强调了产学研合作在推进关键核心技术（包括种源核心技术）攻关中的作用^⑦。因此，种子企业如何构建更加科学合理的合作关系以促进自身技术创新绩效的提升，是值得研究的问题。

种业振兴得到了众多学者的关注，但针对种子企业技术创新绩效提升的研究较少。仅有的少量研究主要从创新资源投入（李万君等，2022）、政府支持（李万君和李艳军，2018；李万君等，2019）和植物新品种保护（陈燕娟，2013）等角度进行分析。从产学研合作角度进行研究，可为促进种子企

^①参见《国务院关于加快推进现代农作物种业发展的意见》，http://www.gov.cn/zwggk/2011-04/18/content_1846364.htm。

^②参见《中央经济工作会议举行 习近平李克强作重要讲话》，http://www.gov.cn/xinwen/2020-12/18/content_5571002.htm。

^③参见《中共中央 国务院关于全面推进乡村振兴加快农业农村现代化的意见》，http://www.gov.cn/zhengce/2021-02/21/content_5588098.htm。

^④参见《中共中央 国务院关于做好2022年全面推进乡村振兴重点工作的意见》，http://www.gov.cn/zhengce/2022-02/22/content_5675035.htm。

^⑤参见《中共中央 国务院关于做好2023年全面推进乡村振兴重点工作的意见》，http://www.gov.cn/zhengce/2023-02/13/content_5741370.htm。

^⑥参见《国务院关于加快推进现代农作物种业发展的意见》，http://www.gov.cn/zwggk/2011-04/18/content_1846364.htm。

^⑦参见《中共中央 国务院关于坚持农业农村优先发展做好“三农”工作的若干意见》，http://www.gov.cn/zhengce/2019-02/19/content_5366917.htm；《政府工作报告——2022年3月5日在第十三届全国人民代表大会第五次会议上》，http://www.gov.cn/premier/2022-03/12/content_5678750.htm；《习近平：高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告》，http://www.gov.cn/gongbao/content/2022/content_5722378.htm。

业技术创新绩效的提升,提供研究和实践的新思路。众多学者强调了产学研合作在提升种子企业技术创新绩效中的重要作用(仇焕广等,2022;王以中等,2022),但在农作物育种领域,关于产学研合作的研究还较少,主要集中于产学研合作存在的问题及对策(余剑等,2016)、产学研合作模式比较分析(国亮等,2017)、育种单位和科研人员参与产学研合作的影响因素(余茜等,2017)等方面。

随着技术创新难度提升,产学研合作向多主体广泛交流与合作的网络化创新模式转变(申俊喜,2012)。企业的合作网络对其技术创新绩效的影响得到了学术界的普遍关注,产生了很多有价值的研究成果。例如,曾德明等(2021)区分了基础研究和应用研究的合作网络关系对企业创新绩效的影响机制;杨震宁和赵红(2020)从“竞合”关系视角,研究了合作网络关系对企业创新绩效的影响。然而,企业的合作网络对其技术创新绩效究竟会产生何种影响,尚未得出一致结论。究其原因,可能是既有研究忽略了企业嵌入不同类型的合作网络中,因合作组织的差异,企业可获得的同质和异质资源的数量、质量及机会不同,致使不同类型的合作网络对企业技术创新绩效产生差异化的影响(郭建杰和谢富纪,2020;高霞等,2021)。由于农作物育种产学研合作网络具有多种类型,上述影响在种子企业的合作网络中可能同样存在,也是本文关注的重点。

本文基于种子企业与学研机构合作、种子企业与企业合作所形成的多种关系,研究不同类型的合作网络对种子企业技术创新绩效的差异化影响。本文的边际贡献在于:第一,基于社会网络视角,为农作物育种产学研合作研究提供新的思路,能更好地刻画网络化创新模式下农作物育种产学研合作的特征;第二,检验种子企业与不同类型组织合作的合作网络对其技术创新绩效的差异化影响,为种子企业优化产学研合作关系提供思路。

二、研究假说

基于社会网络视角,本文着重分析种子企业与不同类型组织合作的网络关系和网络位置对种子企业技术创新绩效的影响。网络关系指成员间的联结关系,网络关系强度和广度对技术创新绩效的影响受到学术界关注。网络位置指网络成员在网络中所占据的位置,包括网络中心位置和网络中介位置,主要影响网络成员获取合作单位优质信息的能力以及对其他成员的吸引力。

(一) 产学研合作网络关系对种子企业技术创新绩效的影响

1.网络关系强度对种子企业技术创新绩效的影响。网络关系强度衡量网络成员合作关系的紧密程度。种子企业提高网络关系强度,可以提高合作单位关键信息的分享意愿(Kale et al., 2000)、降低合作成本(吴晓云和王建平,2017),有助于提高种子企业技术创新绩效。网络关系强度过高易引发知识同化和路径依赖等问题,阻碍新创意和新知识的产生(杨震宁和赵红,2020),不利于种子企业技术创新绩效的提升。综上,网络关系强度对种子企业技术创新绩效产生倒U型影响。

种子企业与学研机构在组织性质、目标、文化、资源等方面具有较大差异,与学研机构合作可以使种子企业获取更多差异性较大的知识以提升创新优势(郭建杰和谢富纪,2020)。也就是说,种子企业需要与拥有大部分育种资源的学研机构保持更紧密的合作网络关系,以减少合作分歧和获取更多育种资源。同时,随着网络关系强度提高,与种子企业与企业合作相比,种子企业与学研机构合作更不

易出现知识同质化问题。因此，种子企业与学研机构合作的最优网络关系强度更高，即种子企业与企业合作在更低的网络关系强度处就会达到种子企业技术创新绩效的最大值。由此，本文提出假说 H1a 和假说 H1b。

H1a: 种子企业与学研机构合作的网络关系强度对种子企业技术创新绩效产生倒 U 型影响。

H1b: 种子企业与企业合作的网络关系强度对种子企业技术创新绩效产生倒 U 型影响，且相较于与学研机构的合作，这种合作在更低的网络关系强度处达到种子企业技术创新绩效的最大值。

2.网络关系广度对种子企业技术创新绩效的影响。网络关系广度度量网络成员与其他成员建立合作关系的广泛程度。提高网络关系广度有利于种子企业拓宽资源获取渠道，促进其技术创新绩效的提升。但是，过高的网络关系广度会增加企业维持良好合作关系的成本，反而不利于提升自身技术创新绩效（杨震宁和赵红，2020）。因此，网络关系广度对种子企业技术创新绩效产生倒 U 型影响。

随着网络关系广度的提升，种子企业与学研机构合作所产生的协调和沟通成本比种子企业与企业合作所产生的协调和沟通成本更高。种子企业从学研机构获取的差异性较大的知识，会给企业带来创新优势（郭建杰和谢富纪，2020），但是在种子企业育种创新能力不足的情况下，消化吸收过多差异性较大的知识所产生的成本也更高。也就是说，随着网络关系广度的不断提升，种子企业与学研机构合作所获取的知识所产生的消化吸收成本，比种子企业与企业合作所产生的消化吸收成本更高。因此，种子企业与企业合作在更高的网络关系广度处达到种子企业技术创新绩效的最大值。围绕种子企业与不同类型组织合作的网络关系对技术创新绩效的差异化影响（见图 1），本文提出假说 H2a 和假说 H2b。

H2a: 种子企业与学研机构合作的网络关系广度对种子企业技术创新绩效产生倒 U 型影响。

H2b: 种子企业与企业合作的网络关系广度对种子企业技术创新绩效产生倒 U 型影响，且相较于与学研机构的合作，这种合作在更高的网络关系广度处达到种子企业技术创新绩效的最大值。

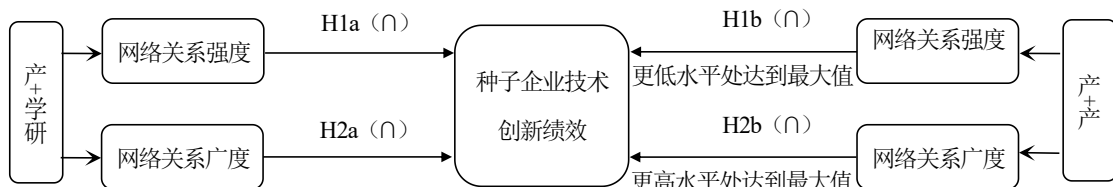


图 1 网络关系对种子企业技术创新绩效的影响

注：“∩”代表倒 U 型影响。

（二）产学研合作网络位置对种子企业技术创新绩效的影响

1.网络中心度对种子企业技术创新绩效的影响。网络中心度反映企业处于网络中心位置的程度。网络中心度越高的企业与其他组织产生的联系越多，意味着企业有更多信息资源获取渠道，更容易对外部信息进行核实，有助于提高企业信息获取的数量和质量（Lee et al., 2015）。网络中心度高的企业在合作网络中也拥有较高的地位和声誉（Lin et al., 2009；张红娟和谭劲松，2014），能够吸引更多有潜质的合作单位，减少识别和筛选潜在合作单位以及评估其资质等方面的合作成本，有助于提高种子企业技术创新绩效。据此，本文提出假说 H3a 和假说 H3b。

H3a: 种子企业与学研机构合作的网络中心度对种子企业技术创新绩效产生正向影响。

H3b: 种子企业与企业合作的网络中心度对种子企业技术创新绩效产生正向影响。

2.网络结构洞数量对种子企业技术创新绩效的影响。网络结构洞数量反映企业占据网络“中介位置”的程度。根据网络结构洞理论,若两个网络成员之间没有直接联系,二者之间的联系必须通过共同的合作单位建立,则意味着两个网络成员之间存在网络“结构洞”。占据网络结构洞的成员可以连接相互分离的网络,成为信息传递和资源流动的“阀门”,享有资源控制与获取的优势,有助于提高自身技术创新绩效(Burt, 2004; 刘善仕等, 2017)。但是,当种子企业的网络结构洞数量过多时,将不利于其技术创新绩效的提升。原因在于,网络结构洞数量过多将降低种子企业与合作单位互动的频率,这不利于形成合作的互惠机制,导致合作成本与机会主义风险增加(杨博旭等, 2019)。特别是当组织间的竞争意识较强时,利益分歧将增加机会主义风险,会阻碍种子企业技术创新绩效的提升。

相较于与学研机构的合作,当拥有相同数量的网络结构洞时,种子企业与企业合作获取的异质性创新资源更少,对育种创新的促进作用更小。此外,在种子销售环节中,种子企业同质竞争问题严重,种子企业与企业合作的利益分歧严重,过多数量的网络结构洞引致机会主义行为的风险更高,对技术创新绩效的损害更大。可见,相较于与学研机构合作,种子企业与企业合作的最优网络结构洞数量会更少,即在拥有更少数量的网络结构洞处达到其技术创新绩效的最大值。围绕种子企业与不同类型组织合作的网络位置对种子企业技术创新绩效的差异化影响(见图2),本文提出假说 H4a 和假说 H4b。

H4a: 种子企业与学研机构合作的网络结构洞数量对种子企业技术创新绩效产生倒 U 型影响。

H4b: 种子企业与企业合作的网络结构洞数量对种子企业技术创新绩效产生倒 U 型影响,相较于与学研机构的合作,这种合作在更少数量的网络结构洞处达到种子企业技术创新绩效的最大值。

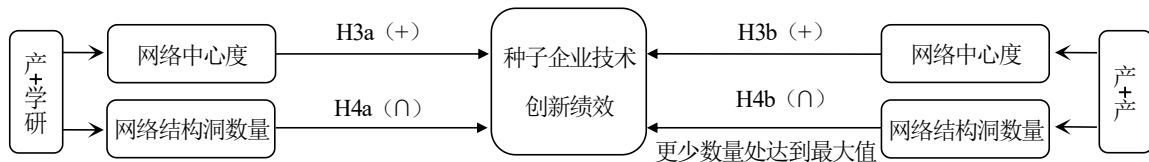


图2 网络位置对种子企业技术创新绩效的影响

注：“∩”和“+”分别代表倒U型影响和正向影响。

三、数据来源、变量选取与实证方法

(一) 数据来源与处理

植物新品种权或植物育种者权利,伴随植物领域的知识产权保护制度同步出现,故植物新品种权联合申请是农作物育种合作的最直接体现。考虑到植物新品种权从申请到公告存在一定的时间滞后性,故本文选取全国31个省级行政区(不包含港澳台)1999—2020年的数据作为分析基础。植物新品种权数据通过对农业农村部科技发展中心网站^①公布的“品种权申请公告”进行整理后得到。

^①农业农村部科技发展中心网址: http://www.nybjkjfzcx.cn/p_pzbh/pzbh.aspx。

本文在品种权申请公告中搜索“共同申请人”、“共同培育人”以及“申请人”，筛选出机构间合作申请的植物新品种权，并对数据进行了系统清理。第一，删除政府机构、国外组织参与的合作，删除研究机构与其二级附属单位的合作，删除母公司和子公司的合作。第二，定义以“公司”“集团”“合作社”等关键词结尾的申请人为企业，将不以“公司”“集团”“合作社”等关键词结尾，但具有企业属性的组织也界定为企业；将以“大学”“学院”“学校”等关键词结尾的申请人界定为高校；将以“研究院”“研究所”“科学院”“研究（技术）中心”“育种中心”“良种繁育基地”“试（实）验站”等关键词结尾，且组织属性为事业单位或社会组织的申请人定义为研究机构。第三，将各单位名称统一为现用名（若名称有变动），剔除查不到申请人信息的数据。最终，得到 3797 个产学研合作申请的植物新品种。其中，种子企业与学研机构合作申请的品种数为 2589 个，种子企业与企业合作申请的品种数为 806 个，分别占合作申请品种数总量的 68.19% 和 21.22%，属于最主要的两类合作；“研研”合作、“学学”合作以及“学研”合作数量比重合计为 10.59%。

农作物育种产学研合作网络特征分析以 1999—2020 年的数据为基础，用以反映农作物育种产学研合作的发展历程及网络特征。实证分析部分采用 2011—2020 年的数据，旨在考察中国政府 2011 年强调育种产学研合作和坚持企业的商业化育种主体地位以来，种子企业的合作网络特征对种子企业技术创新绩效的影响。

（二）变量选取及定义

1. 被解释变量：种子企业技术创新绩效。植物新品种权申请与授权是研究中国农作物育种创新活动的重要指标。考虑到植物新品种权的申请量能有效反映种子企业育种创新的活跃程度，而植物新品种授权受到的影响因素较多、经历的时间较长且具有不确定性。参考已有研究的做法（李万君等，2019；徐志刚等，2021），本文采用植物新品种权申请量表表征种子企业的技术创新绩效。

2. 核心解释变量：网络关系与网络位置。社会网络分析方法是一种从“关系”角度研究网络关系结构特征的重要方法（林春艳和孔凡超，2016）。若一个组织和其他组织联合申请了一个植物新品种权，则两个组织的联系视为一个合作关系，多于两个组织共同申请植物新品种权的合作关系被拆分成两两合作关系。由于合作是相互的，本文构建的农作物育种产学研合作网络为无向网络。

网络关系包括网络关系强度和网络关系广度。第一，网络关系强度。参考高霞等（2019）的做法，种子企业与学研机构合作的网络关系强度用种子企业与学研机构合作新品种权申请量与学研合作单位数量的比值衡量，种子企业与企业合作的网络关系强度计算方式与之类似。上述两个指标反映了种子企业与两类合作单位的平均合作次数。第二，网络关系广度。种子企业与学研机构合作、与企业合作的网络关系广度，分别用与种子企业合作的学研单位数量、企业数量表示。

网络位置包括网络中心度和网络结构洞数量。第一，网络中心度。网络中心度越高，反映网络成员越处于中心位置，对其他成员信息流动的控制能力越强。借鉴已有文献的做法（孙笑明等，2014），企业 i 的网络中心度（ BC_i ）的计算公式如下：

$$BC_i = \frac{2 \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n b_{jk}(i)}{n^2 - 3n + 2}, j \neq k \neq i, j < k \quad (1)$$

(1) 式中： i 、 j 、 k 均为网络成员； $b_{jk}(i)$ 代表网络成员 i 处于 j 和 k 之间捷径上的概率； n 是网络成员的数量。

第二，网络结构洞数量。参考已有文献的做法 (Guan et al., 2015)，企业 i 的网络结构洞数量 (SH_i) 的计算公式如下：

$$SH_i = 2 - \sum_j (p_{ij} + \sum_q p_{iq} p_{qj})^2, q \neq i, q \neq j \quad (2)$$

(2) 式中： i 、 j 、 q 均为网络成员；括号内第一项 p_{ij} 表示网络成员 i 和 j 的直接联系数量占 i 在网络中所有联系数量的比重；括号内第二项 $\sum_q p_{iq} p_{qj}$ 代表网络成员 i 和 j 的间接联系数量占 i 在网络中所有联系数量的比重。(2) 式取值越大，代表种子企业的网络结构洞数量越多。

3. 控制变量。第一，企业年龄。企业年龄越大，积累的创新资源和合作经验也越丰富，越有助于提高技术创新绩效。本文采用观测年份^①与企业成立年份之差来衡量企业年龄，为避免零值取对数无意义的问题，将其加 1 后取对数处理。第二，企业资金规模。资金规模越大的企业拥有越多的财力和资源用于投资研发，越有助于提高技术创新绩效 (Karamanos, 2016)。企业资金规模以企业注册资本的对数值衡量。第三，企业人员规模。企业人员规模用企业参保人数对数值代表。第四，企业性质。企业性质分为公有制 (包括公有或公有控股) 和非公有制。第五，企业知识积累。知识积累越多的企业，知识利用率越高，越有助于提升技术创新绩效。除企业知识积累变量外，其他控制变量数据来源为天眼查网站^②。企业知识积累采用企业进入观测年份前 3 年的论文发表量表示，并将论文发表量加 1 后取对数处理。论文发表量数据来源于中国知网，搜集论文的数据库包括“SCI 来源期刊”“EI 来源期刊”“北大核心”“中文社会科学引文索引数据库”“中国科学引文数据库”。

根据已有研究的做法 (Schilling and Phelps, 2007; Liu and Guan, 2015; 王明益等, 2023)，本文采用 3 年移动时间窗构建种子企业的合作网络，考察种子企业过去 3 年的合作网络对当年技术创新绩效的影响。例如，考察种子企业 2011—2013 年的合作网络对 2014 年技术创新绩效的影响，考察 2012—2014 年的合作网络对 2015 年技术创新绩效的影响。解释变量的数据范围为 2011—2019 年，划分为 2011—2013 年、2012—2014 年等 7 个窗口期，被解释变量的数据范围为 2014—2020 年。企业与学研机构的合作涉及 374 个种子企业，共 1074 个非平衡面板观测值；种子企业与企业的合作涉及 228 个种子企业，共 590 个非平衡面板观测值。考虑到种子企业育种周期较长，本文还采用 5 年移动时间窗构建合作网络，考察种子企业过去 5 年的合作网络对今年技术创新绩效的影响。所有变量定义及描述性统计结果见表 1。

^①本文基于 3 年时间窗、5 年时间窗构建种子企业的合作网络，以 3 年时间窗为例：当窗口期为 2011—2013 年时，观测年份指 2011 年，以此类推。5 年时间窗下观测年份选取方法与之相同。

^②天眼查网站网址：<https://www.tianyancha.com/?jsid=SEM-NEW360-PP-YR-080001>。

表 1 变量定义及描述性统计

变量类型	变量名称	变量定义	3 年时间窗		5 年时间窗	
			产+学研	产+产	产+学研	产+产
被解释变量	种子企业技术创新绩效	种子企业的植物新品种权申请量(个)	3.58 (11.52)	4.71 (12.73)	3.38 (10.90)	4.57 (12.46)
核心解释变量	网络关系强度	种子企业的植物新品种权合作申请量与合作单位数量的比值	2.26 (3.47)	2.34 (3.30)	2.33 (3.64)	2.40 (3.33)
	网络关系广度	种子企业合作单位数量(个)	1.54 (1.10)	1.26 (0.65)	1.56 (1.17)	1.29 (0.71)
	网络中心度	根据(1)式测算	41.52 (303.07)	0.39 (2.47)	53.07 (367.52)	0.54 (3.46)
	网络结构洞数量	根据(2)式测算	1.06 (0.20)	1.05 (0.17)	1.06 (0.21)	1.06 (0.18)
控制变量	企业年龄	观测年份与种子企业成立年份之差(年)	10.32 (6.60)	8.96 (6.74)	8.87 (6.31)	7.70 (6.54)
	企业资金规模	种子企业注册本金(万元)	6925.92 (15785.65)	8861.90 (20861.89)	6447.06 (14661.53)	8326.39 (20060.13)
	企业人员规模	种子企业参保人数(个)	42.89 (101.19)	49.45 (109.55)	41.31 (100.03)	47.01 (105.83)
	企业性质	种子企业性质: 公有制企业=1, 非公有制企业=0	0.25 (0.43)	0.15 (0.35)	0.24 (0.43)	0.15 (0.36)
	企业知识积累	种子企业进入观测年份前3年的论文发表量(篇)	0.82 (2.29)	0.58 (2.06)	0.70 (2.26)	0.50 (2.00)

注: ①括号外数据为平均值, 括号内数据为标准差。②企业年龄、企业资金规模、企业人员规模和企业知识积累 4 个变量在本表中展示的是原值, 在后文实证模型中使用的是对数值。

(三) 实证方法

种子企业植物新品种权申请量是任意的非负整数, 属于计数型变量, 且在 3 年时间窗和 5 年时间窗构建的合作网络中, 被解释变量的方差均大于均值, 存在被解释变量过度分散的问题, 故本文选取负二项回归模型进行实证分析。本文样本中部分种子企业技术创新绩效取值为 0, 因此还需在零膨胀负二项回归模型和标准负二项回归模型之间做出选择。Vuong 检验发现, Vuong 统计量的绝对值远小于 1.96, 不能拒绝使用标准负二项回归模型的原假设, 故本文采用标准负二项回归模型更合适。基于面板数据的实证分析还需进行固定效应模型和随机效应模型的选择。首先, 本文部分控制变量(如企业性质)在观测期内取值基本不变, 采用固定效应模型无法估计不随时间变化的变量的影响; 其次, 本文使用的是短面板数据, 采用固定效应模型会损失自由度, 致使回归结果的有效性降低; 最后, 本文的研究样本限定在种子企业, 虽然企业异质性因素也会存在, 但相较于多种类型的企业样本而言,

企业间的个体差异要小得多，采用随机效应模型即可消除个体异质性。因此，本文最终采用随机效应负二项回归模型进行实证分析。

四、农作物育种产学研合作网络特征分析

（一）农作物育种产学研合作发展历程

从产学研合作植物新品种权年均申请量的变化及其增长率特征分析，1999—2020年农作物育种产学研合作存在4个发展阶段（见图3）。第一阶段，萌芽期（1999—2002年）。自1999年原农业部受理第一个植物新品种权申请，一直到2002年，产学研合作植物新品种权年均申请量约13个，农作物育种产学研合作水平较低。第二阶段，缓慢发展期（2003—2010年）。2003年起，产学研合作植物新品种权申请量有了一定程度的增加。这可能是受益于2000年《中华人民共和国种子法》的颁布，种子的育、繁、推等环节逐步向市场开放。不过，直到2010年，产学研合作植物新品种权申请量一直呈现波动增长状态，年均申请量约64个，农作物育种产学研合作发展还较为缓慢。第三阶段，平稳发展期（2011—2015年）。产学研合作植物新品种权年均申请量达到128个，年均增长率为9.87%，农作物育种产学研合作发展较为平稳。这可能缘于2011年、2012年和2013年先后出台的《国务院关于加快推进现代农作物种业发展的意见》、《国务院办公厅关于印发全国现代农作物种业发展规划（2012—2020）的通知》和《国务院办公厅关于深化种业体制改革提高创新能力的意见》中提出要促进育种产学研合作^①。第四阶段，快速发展期（2016—2020年）。产学研合作植物新品种权年均申请量达到518个，年均增长率高达35.25%。

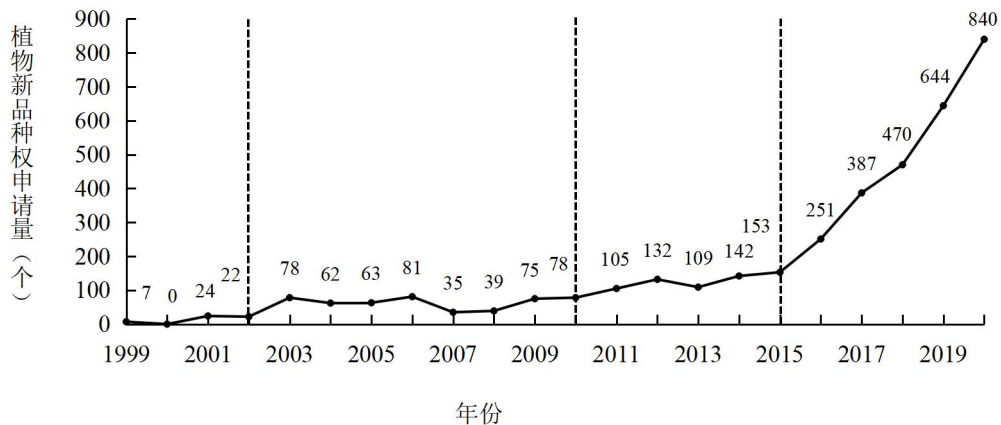


图3 产学研合作植物新品种权申请量（1999—2020年）

^①参见《国务院关于加快推进现代农作物种业发展的意见》，http://www.gov.cn/zwggk/2011-04/18/content_1846364.htm；《国务院办公厅关于印发全国现代农作物种业发展规划（2012—2020年）的通知》，http://www.gov.cn/zwggk/2012-12/31/content_2302986.htm；《国务院办公厅关于深化种业体制改革提高创新能力的意见》，http://www.gov.cn/zwggk/2013-12/25/content_2553966.htm。

(二) 农作物育种产学研合作网络关系分布特征

在农作物育种产学研合作的4个发展阶段中，有“产研”“产产”等多种类型的合作，不同产学研合作网络关系分布特征如图4所示。第一，“产研”合作是最主要的合作模式。在各发展阶段中，“产研”合作量占合作总量的比重分别达到60.38%、66.93%、68.95%和51.93%。从趋势上看，在快速发展期，“产研”合作比重下降明显，相比平稳发展期下降了17.02个百分点。第二，“产产”合作是第二大合作模式。在快速发展期，“产产”合作比重增长明显，比平稳发展期增长了11.67个百分点。“产研”合作比重的大幅下降和“产产”合作比重的激增可能由两方面因素引起：一方面，越来越多的种子企业选择与企业合作以避免异质性组织合作所引发的高额合作成本；另一方面，政府强化以企业为商业化育种主体的政策。第三，“研研”合作、“学学”合作、“研学”合作较少。在各发展阶段中，上述3类合作累计均不超过合作总量的12%，表示研究机构之间、高校之间、高校和研究机构之间的合作偏少，这会催生育种资源过度分散和重复研究等问题，不利于育种创新能力的提升。

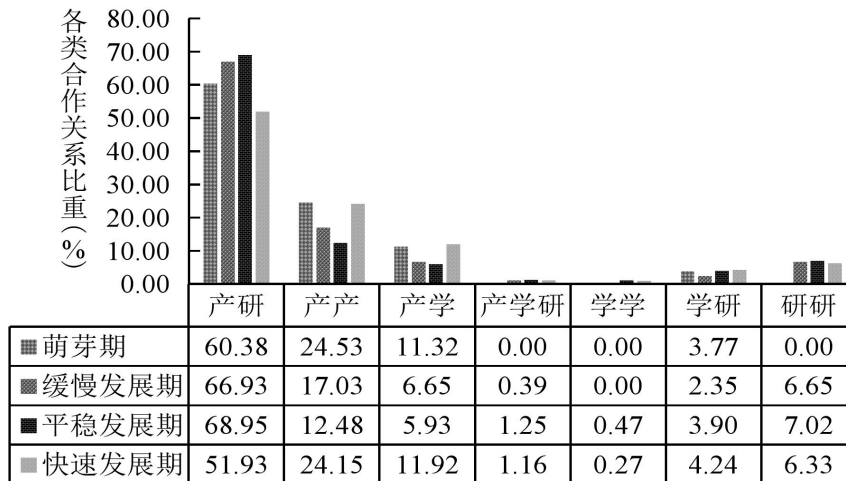


图4 农作物育种产学研合作关系分布（1999—2020年）

(三) 农作物育种产学研合作网络结构特征分析

1. 整体网络结构特征。由表2可知，农作物育种产学研合作整体网络结构表现出三点突出特征。

表2 农作物育种产学研合作整体网络结构特征

发展阶段	网络规模（个）	整体网络密度	整体网络集聚系数
萌芽期（1999—2002年）	49	0.029	0.429
缓慢发展期（2003—2010年）	342	0.004	0.077
平稳发展期（2011—2015年）	409	0.004	0.178
快速发展期（2016—2020年）	1042	0.002	0.165

注：①网络规模等于合作数组织量。②整体网络密度等于实际存在的网络关系总量与理论上最多的网络关系总量的比值。③整体网络集聚系数等于所有网络成员集聚系数的平均值，各网络成员的集聚系数等于各成员实际存在的网络关系总量与理论上最多的网络关系总量的比值。

第一，农作物育种产学研合作网络规模不断扩大。与缓慢发展期相比，平稳发展期的合作组织数量增长了 19.59%。与平稳发展期相比，快速发展期的合作组织数量增长了 154.77%。这说明越来越多的组织参与到育种产学研合作中，为网络成员提供了更多潜在的信息资源和合作机会。

第二，农作物育种产学研合作整体网络密度较低，育种组织间并未形成紧密合作的网络关系。整体网络密度可以反映网络成员合作的频繁程度，取值在 0 到 1 之间，取值越接近 0 代表网络成员间的合作联系越松散，反之则越紧密。1999 年以来，农作物育种产学研合作整体网络密度值在 0.03 以下，且呈现下降趋势。

第三，农作物育种产学研合作的整体网络集聚系数较小，不利于促进育种组织间的紧密合作。整体网络集聚系数越大，越能够促进组织间的相互信任和合作。1999 年以来，农作物育种产学研合作整体网络集聚系数较低且波动较大，这将不利于育种组织间形成紧密合作的网络关系。

2.个体网络位置特征。农作物育种产学研合作个体网络特征如表 3 所示。在各发展阶段中，超过 75%的合作组织的网络中心度为 0，说明大部分合作组织处于网络边缘位置，信息获取能力较差，育种创新资源被少数处于中心位置的组织控制。同时，网络结构洞数量的平均值与高于平均值的组织占比不断上升，表明更多组织占据了“桥”的位置。

表 3 农作物育种产学研合作的个体网络特征

发展阶段	网络中心度				网络结构洞数量	
	最小值	最大值	平均值	网络中心度为 0 的组织占比 (%)	平均值	高于平均值的组织占比 (%)
萌芽期 (1999—2002 年)	0.00	9.00	0.61	85.71	1.09	14.29
缓慢发展期 (2003—2010 年)	0.00	261.00	4.60	80.41	1.10	19.59
平稳发展期 (2011—2015 年)	0.00	2845.00	81.86	78.29	1.10	21.71
快速发展期 (2016—2020 年)	0.00	24966.90	731.71	75.43	1.12	24.86

种子企业是农作物育种产学研合作的主要参与者，但科研机构更多占据了网络核心位置。在农作物育种产学研合作的各发展阶段中，种子企业占合作组织的比重分别达到 61.22%、60.82%、55.75% 和 62.96%。然而，从创新资源获取和控制的角度分析，科研机构始终占据核心地位。2011—2015 年，网络中心度和网络结构洞数量均排在前 15%的合作组织中，种子企业所占比重仅为 34%，科研机构所占比重达到 66%。2016—2020 年，网络中心度和网络结构洞数量均排在前 10%的合作组织中，种子企业所占比重为 24.05%，科研机构所占比重高达 75.95%。

五、种子企业合作网络特征对其技术创新绩效影响的实证分析

(一) 网络特征对种子企业技术创新绩效影响的回归结果及分析

表 4 报告了种子企业的合作网络特征对其技术创新绩效影响的回归结果。具体地，(1) 列~ (2) 列展示了种子企业与科研机构合作的网络关系和网络位置对种子企业技术创新绩效影响的回归结果，(3) 列~ (4) 列展示了种子企业与企业合作的网络关系和网络位置对种子企业技术创新绩效影响的回归结果。

表 4 种子企业合作网络特征对其技术创新绩效影响的回归结果

	被解释变量：种子企业技术创新绩效			
	种子企业与学研机构合作		种子企业与合作企业	
	(1)	(2)	(3)	(4)
	3 年时间窗	5 年时间窗	3 年时间窗	5 年时间窗
网络关系强度	0.103*** (0.034)	0.073** (0.033)	0.296*** (0.107)	0.291*** (0.105)
网络关系强度的二次项	-0.001 (0.001)	-0.001 (0.001)	-0.019** (0.008)	-0.019** (0.007)
网络关系广度	0.321** (0.146)	0.594** (0.139)	0.932** (0.463)	1.009** (0.444)
网络关系广度的二次项	-0.004 (0.016)	-0.038*** (0.009)	-0.029 (0.102)	-0.061 (0.096)
网络中心度	0.000 (0.001)	0.001*** (0.000)	0.083 (0.125)	0.076 (0.099)
网络结构洞数量	13.750*** (3.685)	5.154 (3.765)	15.300** (6.053)	11.670** (5.681)
网络结构洞数量的二次项	-5.692*** (1.500)	-2.269 (1.553)	-6.416*** (2.484)	-4.938** (2.270)
企业年龄	0.018 (0.094)	-0.029 (0.090)	-0.037 (0.107)	-0.006 (0.103)
企业资金规模	0.033 (0.061)	0.039 (0.069)	-0.093 (0.079)	-0.038 (0.087)
企业人员规模	0.266*** (0.064)	0.419*** (0.074)	0.325*** (0.092)	0.344*** (0.097)
企业性质	-0.238 (0.166)	-0.106 (0.187)	-0.553** (0.280)	-0.430 (0.299)
企业知识积累	0.089 (0.098)	0.056 (0.109)	0.583*** (0.139)	0.461*** (0.167)
对数似然函数值	-1315.981	-1237.727	-739.885	-743.373
观测值	1074	1104	590	640

注：①***和**分别表示 1%和 5%的显著性水平。②括号内为标准误。

1.网络关系强度对种子企业技术创新绩效的影响。第一，种子企业与学研机构合作的网络关系强度对种子企业技术创新绩效产生显著的正向影响。在表 4 的（1）列和（2）列中，网络关系强度的一次项显著，回归系数为正，二次项不显著，说明网络关系强度对种子企业技术创新绩效产生显著的正向影响，假说 H1a 未得到验证。

第二，种子企业与合作企业的网络关系强度对种子企业技术创新绩效产生倒 U 型影响。在（3）

列和(4)列中,网络关系强度的一次项显著,回归系数为正,二次项显著,回归系数为负,说明种子企业与企业合作的网络关系强度对种子企业技术创新绩效产生倒U型影响。由于假说H1a未成立,假说H1b只能部分得到验证。2011—2019年,在基于3年时间窗、5年时间窗构建的合作网络中,网络关系强度超过倒U型曲线拐点值的种子企业比重分别为7.46%、13.60%。

2.网络关系广度对种子企业技术创新绩效的影响。第一,种子企业与学研机构合作的网络关系广度对种子企业技术创新绩效产生倒U型影响。表4的(1)列中,网络关系广度的一次项显著,回归系数为正,二次项不显著,说明网络关系广度对种子企业技术创新绩效产生正向影响。在表4的(2)列中,网络关系广度的一次项显著,回归系数为正,二次项显著,回归系数为负,说明网络关系广度对种子企业技术创新绩效产生倒U型影响。上述两个回归结果的差异,可能缘于基于5年时间窗构建的合作网络时间跨度更大,有助于反映种子企业与学研机构合作的网络关系对种子企业技术创新绩效的倒U型影响。2011—2019年,约有0.53%的种子企业的网络关系广度超过倒U型曲线的拐点值。不过,随着种子企业不断提高网络关系广度,网络关系广度超过倒U型曲线拐点值的种子企业所占比重可能会变得更高。综上,假说H2a得到验证。

第二,种子企业与企业合作的网络关系广度对种子企业技术创新绩效产生正向影响。表4的(3)列和(4)列中,网络关系广度的一次项显著,回归系数为正,二次项不显著,说明种子企业与企业合作的网络关系广度对种子企业技术创新绩效产生显著的正向影响。也就是说,假说H2b未得到验证。2011—2019年,种子企业的企业合作单位数量平均不足2个。种子企业与企业合作的网络关系广度较低可能是未展现出倒U型影响的原因。

3.网络中心度对种子企业技术创新绩效的影响。第一,种子企业与学研机构合作的网络中心度对种子企业技术创新绩效产生正向影响。在表4的(1)列中,网络中心度不显著。在(2)列中,网络中心度显著,系数为正。上述两个回归结果的差异,可能缘于基于5年时间窗构建的合作网络中心度(均值为53.07)大于基于3年时间窗构建的合作网络中心度(均值为41.52)。在种子企业与学研机构合作网络中,更长时间的跨度使种子企业的网络中心度提高,从而凸显出对自身技术创新绩效的正向影响,假说H3a得到验证。

第二,种子企业与企业合作的网络中心度对种子企业技术创新绩效的影响并不显著。在(3)列和(4)列中,网络中心度不显著,假说H3b未得到验证。2011—2019年间,在基于3年时间窗和5年时间窗构建的合作网络中,网络中心度的均值仅为0.39和0.54。种子企业与企业合作的网络中心度较低可能是网络中心度对种子企业技术创新绩效影响不显著的原因。

4.网络结构洞数量对种子企业技术创新绩效的影响。第一,种子企业与学研机构合作的网络结构洞数量对种子企业技术创新绩效产生显著的倒U型影响。在表4的(1)列中,网络结构洞数量的一次项显著,回归系数为正,二次项显著,回归系数为负,说明种子企业的网络结构洞数量对其技术创新绩效产生倒U型影响。由在(2)列可知,基于5年移动时间窗构建的种子企业合作网络中,网络结构洞数量对种子企业技术创新绩效的影响不显著。上述两个回归结果的差异,可能缘于在基于5年时间窗构建的合作网络中,更长时间的积累使种子企业的网络结构洞数量过多,反而无法有效利用网

络结构洞带来的过多异质性创新资源。可见，种子企业的网络结构洞数量存在一个阈值，当超过该阈值时，网络结构洞数量将对技术创新绩效带来不利影响，进而验证了假说 H4a。

第二，种子企业与企业合作的网络结构洞数量对种子企业技术创新绩效产生倒 U 型影响。（3）列和（4）列中，网络结构洞数量的一次项显著，回归系数为正，二次项显著，回归系数为负，说明种子企业与企业合作的网络结构洞数量对种子企业技术创新绩效产生倒 U 型影响。此外，在基于 3 年时间窗构建的合作网络中，当种子企业与学研机构合作、种子企业与企业合作的网络结构洞数量分别达到 1.21 和 1.19 时，种子企业达到技术创新绩效的最大值。可见，种子企业与企业合作在更少数量的网络结构洞处达到技术创新绩效的最大值，假说 H4b 得到验证。在种子企业与学研机构的合作网络中，种子企业可以拥有更多数量的网络结构洞以获取更多异质性创新资源。2011—2019 年，在两类合作网络中，网络结构洞数量超过倒 U 型曲线拐点值的种子企业数量比重仅为 13% 左右。

（二）稳健性检验

本文通过如下方法进行稳健性检验：第一，增加控制变量。基准回归控制了可能影响种子企业技术创新绩效的主要因素。在此，本文进一步控制种子企业所处的外部环境因素，新增整体网络密度、整体网络集聚系数和种子企业所在区域^①等控制变量，回归结果见表 5 的（1）列、（3）列、（5）列、（7）列。第二，控制年份固定效应。政府支持政策的变化，以及其他一些随时间变化但不随个体变化的因素可能会影响种子企业的技术创新绩效，因此，本文在模型中控制年份固定效应，回归结果见表 5 的（2）列、（4）列、（6）列和（8）列。

表 5 稳健性检验结果

	被解释变量：种子企业技术创新绩效							
	种子企业和学研机构合作				种子企业与企业合作			
	3 年时间窗		5 年时间窗		3 年时间窗		5 年时间窗	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
网络关系强度	0.102*** (0.034)	0.119*** (0.033)	0.069** (0.033)	0.067* (0.034)	0.291*** (0.107)	0.273** (0.113)	0.311*** (0.107)	0.298*** (0.107)
网络关系强度的二次项	-0.001 (0.001)	-0.002* (0.001)	-0.001 (0.001)	-0.001 (0.001)	-0.018** (0.008)	-0.019** (0.009)	-0.020*** (0.008)	-0.020*** (0.008)
网络关系广度	0.314** (0.148)	0.364*** (0.141)	0.587*** (0.139)	0.578*** (0.139)	0.572 (0.719)	0.771 (0.499)	1.035** (0.457)	0.952** (0.458)
网络关系广度的二次项	-0.004 (0.017)	-0.008 (0.015)	-0.037*** (0.009)	-0.036*** (0.009)	0.071 (0.172)	-0.024 (0.108)	-0.078 (0.097)	-0.062 (0.096)
网络中心度	0.000 (0.001)	0.001 (0.001)	0.001** (0.000)	0.001** (0.000)	0.061 (0.127)	0.039 (0.122)	0.087 (0.097)	0.080 (0.099)

^①整体网络密度和整体网络集聚系数的定义及计算方法见表 2。种子企业所在区域为虚拟变量，若种子企业所在省份为东部地区，变量取值为 1；若种子企业所在省份为其他地区，变量取值为 0。

表 5 (续)

网络结构洞数量	13.640*** (3.712)	15.170*** (3.688)	5.408 (3.775)	5.099 (3.799)	14.230** (6.174)	11.690* (6.537)	10.160* (5.748)	11.320* (5.949)
网络结构洞数量的二次项	-5.659*** (1.513)	-6.282*** (1.500)	-2.402 (1.558)	-2.272 (1.569)	-7.021** (2.824)	-4.887* (2.665)	-4.362* (2.278)	-4.785** (2.390)
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
年份固定效应	未控制	已控制	未控制	已控制	未控制	已控制	未控制	已控制
对数似然函数值	-1315.275	-1310.862	-1236.55	-1236.392	-738.705	-732.158	-742.012	-742.395
样本量	1074	1074	1104	1104	590	590	640	640

注：①***、**和*分别表示 1%、5%和 10%的显著性水平。②括号内为标准误。

在表 5 的 (5) 列和 (6) 列中, 网络关系广度的一次项和二次项均未通过显著性检验, 说明种子企业与企业合作的网络关系广度未对种子企业技术创新绩效产生倒 U 型影响。继续采用增加控制变量和年份固定效应的方法进行检验, 发现种子企业与企业合作的网络关系广度对种子企业技术创新绩效产生显著的正向影响^①, 这与基准回归结果一致。可见, 除 (2) 列中网络关系强度对种子企业技术创新绩效的影响与基准回归结果不一致外, 其他稳健性检验结果均与基准回归结果一致, 证明了本文实证结果的稳健性。

(三) 内生性问题的讨论

技术创新绩效高的种子企业可能会吸引更多优质的合作单位和拥有更强的合作能力, 反过来影响其在合作网络中的位置和 network 关系, 从而导致内生性问题。本文采用两种方法对内生性问题进行讨论^②。

由于被解释变量 0 值较多, 本文基于 IV-Tobit 模型进行内生性问题的检验。考虑到社会网络指标的滞后项和“省份一年度”均值是社会网络指标常用的工具变量(许和连等, 2018; 黄灿和蒋青嫄, 2021), 在两类合作网络中, 网络中心度以种子企业所在省份的网络中心度的窗口期均值作为工具变量。网络结构洞数量以种子企业所在省份的网络结构洞数量的窗口期均值及均值的平方项作为工具变量。其他解释变量均采用其滞后 1 期的量作为工具变量。工具变量法第一阶段回归结果显示, 各工具变量的系数在 1%或 5%的水平上显著, 说明不存在弱工具变量问题。Wald 检验的 p 值均大于 0.1, 意味着不能拒绝所有解释变量均为外生性的原假设。

此外, 本文还采用 2SLS 分析内生性问题。将种子企业植物新品种权申请量加 1 后取对数, 使被解释变量成为连续变量。在两类合作网络中, 网络中心度以种子企业所在省份的网络中心度的窗口期均值作为工具变量, 网络结构洞数量以种子企业所在省份的网络结构洞数量的窗口期均值及均值的平方项作为工具变量。其他解释变量均采用滞后 1 期的量作为工具变量。工具变量的第一阶段回归结果显示, 工具变量均在 1%或 5%的水平上显著, 即不存在弱工具变量问题。过度识别检验显示, Sargan

^①由于篇幅有限, 未展示线性影响的回归结果, 作者备案。

^②由于篇幅有限, 未展示内生性检验的相关结果, 作者备案。

统计量的 p 值均大于 0.31, 说明工具变量符合外生性条件。DWH 检验的 p 值均大于 0.1, 意味着不能拒绝所有解释变量均为外生性的原假设。

六、研究结论与启示

提升种子企业的技术创新绩效, 是实现种业振兴目标的必然要求。但是专门针对种子企业技术创新绩效的研究较少, 仅有少量研究从创新资源投入、政府支持和植物新品种保护等角度进行分析。本文基于社会网络视角, 采用全国 31 个省级行政区 1999—2020 年植物新品种权申请的数据, 运用负二项回归模型研究了种子企业与不同类型组织合作的网络关系和网络位置对种子企业技术创新绩效的影响。研究发现, 参与产学研合作的组织数量不断增加, 但未形成紧密合作的网络关系, 种子企业是产学研合作的主要参与者, 但科研机构却更多占据了网络核心位置。不同类型的合作网络特征对种子企业技术创新绩效存在差异化的影响: 种子企业与科研机构合作的网络关系强度和网络中心度正向影响种子企业技术创新绩效, 网络关系广度对种子企业技术创新绩效产生倒 U 型影响; 种子企业与企业合作的网络关系强度对种子企业技术创新绩效产生倒 U 型影响, 网络关系广度正向影响种子企业技术创新绩效, 网络中心度的影响不显著; 在所有类型合作网络中, 网络结构洞数量对种子企业技术创新绩效产生倒 U 型影响, 种子企业与企业合作在占据更少数量的网络结构洞处达到种子企业技术创新绩效的最大值。

基于上述结论, 本文得到如下启示: 第一, 鼓励处于网络核心位置的组织牵头推进种业领域国家重大创新平台建设。借助网络核心组织(如中国种子集团有限公司)的网络联结能力, 积极搭建创新联盟或合作创新平台, 打造网络中关键信息和知识转移、扩散的中心, 优化产学研深度融合的种业技术创新体系。第二, 在商业化育种起步阶段, 创新资源有限的种子企业应选择与少数几个科研机构开展深度合作, 占据更多数量的网络结构洞以获取更多异质性创新资源。此外, 种子企业应适当增加企业合作单位的数量并保持较为紧密的合作网络关系, 通过提升网络中心度或者选择与网络中心度较高的育种组织合作, 来获取更多种质资源和创新型知识。第三, 在商业化育种领域, 政府应对种子企业间的创新合作给予更多支持, 加快提升种子企业的技术创新绩效和强化种子企业在商业化育种中的主体地位。政府还需继续鼓励实力较强的种子企业(如育繁推一体化企业)在应用基础研究和育种技术创新等方面与科研机构开展合作, 并引导科研机构将育种基础性研究和公益性研究的成果借助种子企业完成市场转化。

参考文献

- 1.陈燕娟, 2013: 《知识产权视角下的种子企业后向一体化战略研究》, 《科技管理研究》第 9 期, 第 171-174 页。
- 2.程郁、叶兴庆、宁夏、殷浩栋、伍振军、陈凯华, 2022: 《中国实现种业科技自立自强面临的主要“卡点”与政策思路》, 《中国农村经济》第 8 期, 第 35-51 页。
- 3.高霞、曹洁琼、包玲玲, 2021: 《产学研合作开放度的异质性和企业创新绩效的影响》, 《科研管理》第 9 期,

第 112-119 页。

4.高霞、其格其、曹洁琼, 2019: 《产学研合作创新网络开放度对企业创新绩效的影响》, 《科研管理》第 9 期, 第 231-240 页。

5.郭建杰、谢富纪, 2020: 《企业合作网络位置对创新绩效的影响——以 ICT 产业为例》, 《系统管理学报》第 6 期, 第 1124-1135 页。

6.国亮、侯军岐、杨博, 2017: 《基于 AHP 法的商业化育种模式研究》, 《西北农林科技大学学报(社会科学版)》第 3 期, 第 112-119 页。

7.黄灿、蒋青嬗, 2021: 《股东关系网络与企业创新》, 《南开经济研究》第 2 期, 第 67-87 页。

8.李万君、龚璇、李艳军, 2022: 《种子企业技术创新投入产出分析: 政府支持下异质组织创新绩效的考察》, 《当代经济管理》第 7 期, 第 40-48 页。

9.李万君、李艳军, 2018: 《种业科技创新能力提升路径探析——政府支持体系优化视角》, 《管理现代化》第 1 期, 第 39-41 页。

10.李万君、李艳军、李婷婷、朱信凯, 2019: 《政府支持如何影响种子企业技术创新绩效? ——基于政策、组织和市场异质性的分析》, 《中国农村经济》第 9 期, 第 104-123 页。

11.林春艳、孔凡超, 2016: 《中国产业结构高度化的空间关联效应分析——基于社会网络分析方法》, 《经济学家》第 11 期, 第 45-53 页。

12.刘善仕、孙博、葛淳棉、王琪, 2017: 《人力资本社会网络与企业创新——基于在线简历数据的实证研究》, 《管理世界》第 7 期, 第 88-98 页、第 119 页、第 188 页。

13.仇焕广、张祎彤、苏柳方、李登旺, 2022: 《打好种业翻身仗: 中国种业发展的困境与选择》, 《农业经济问题》第 8 期, 第 67-78 页。

14.申俊喜, 2012: 《创新产学研合作视角下我国战略性新兴产业发展对策研究》, 《科学学与科学技术管理》第 2 期, 第 37-43 页。

15.孙笑明、崔文田、崔芳、董劲威, 2014: 《当前合作网络结构对关键研发者创造力的影响》, 《管理工程学报》第 1 期, 第 48-55 页。

16.王明益、陈林、张中意、姚清仿, 2023: 《自由贸易试验区的协同创新网络效应: 空间断点与地理识别》, 《世界经济》第 3 期, 第 94-124 页。

17.王以中、辛翔飞、林青宁、宋金波, 2022: 《我国畜禽种业发展形势及对策》, 《农业经济问题》第 7 期, 第 52-63 页。

18.吴晓云、王建平, 2017: 《网络关系强度对技术创新绩效的影响——不同创新模式的双重中介模型》, 《科学学与科学技术管理》第 7 期, 第 155-166 页。

19.徐志刚、余金湘、章丹, 2021: 《实质性派生品种制度对作物育种科技创新的影响研究》, 《中国软科学》第 3 期, 第 31-42 页。

- 20.许和连、成丽红、孙天阳, 2018: 《离岸服务外包网络与服务全球价值链提升》, 《世界经济》第6期, 第77-101页。
- 21.杨博旭、王玉荣、李兴光, 2019: 《“厚此薄彼”还是“雨露均沾”——组织如何有效利用网络嵌入资源提高创新绩效》, 《南开管理评论》第3期, 第201-213页。
- 22.杨震宁、赵红, 2020: 《中国企业的开放式创新: 制度环境、“竞合”关系与创新绩效》, 《管理世界》第2期, 第139-160页、第224页。
- 23.余剑、王瑜、吴琼、李翔, 2016: 《以产学研合作加速商业化育种进程——关于中种集团产学研合作的研究》, 《中国种业》第12期, 第36-39页。
- 24.余茜、李冬梅、冯莹、龙艳妮、姜心禄、李彦辉, 2017: 《种业科教单位参与科企合作实现机制研究——来自西部六省的证据》, 《科技管理研究》第16期, 第117-123页。
- 25.曾德明、赵胜超、叶江峰、杨靓, 2021: 《基础研究合作、应用研究合作与企业创新绩效》, 《科学学研究》第8期, 第1485-1497页。
- 26.张红娟、谭劲松, 2014: 《联盟网络与企业创新绩效: 跨层次分析》, 《管理世界》第3期, 第163-169页。
- 27.Burt, R. S., 2004, “Structural Holes and Good Ideas”, *American Journal of Sociology*, 110(2): 349-399.
- 28.Guan, J., J. Zhang, and Y. Yan, 2015, “The Impact of Multilevel Networks on Innovation”, *Research Policy*, 44(3): 545-559.
- 29.Kale, P., H. Singh, and H. Perlmutter, 2000, “Learning and Protection of Proprietary Assets in Strategic Alliances: Building Relational Capital”, *Strategic Management Journal*, 21(3): 217-237.
- 30.Karamanos, A. G., 2016, “Effects of a Firm’s and Their Partners’ Alliance Ego-network Structure on Its Innovation Output in an Era of Ferment”, *R&D Management*, 46(S1): 261-276.
- 31.Lee, C. Y., M. C. Wang, and Y. C. Huang, 2015, “The Double-edged Sword of Technological Diversity in R&D Alliances: Network Position and Learning Speed as Moderators”, *European Management Journal*, 33(6): 450-461.
- 32.Lin, Z., H. Yang, and B. Arya, 2009, “Alliance Partners and Firm Performance: Resource Complementarity and Status Association”, *Strategic Management Journal*, 30(9): 921-940.
- 33.Liu, N., and J. Guan, 2015, “Dynamic Evolution of Collaborative Networks: Evidence from Nano-energy Research in China”, *Scientometrics*, 102(3): 1895-1919.
- 34.Schilling, M. A., and C. C. Phelps, 2007, “Interfirm Collaboration Networks: The Impact of Large-scale Network Structure on Firm Innovation”, *Management Science*, 53(7): 1113-1126.

(作者单位: ¹华中农业大学经济管理学院;

²海南大学应用科技学院)

(责任编辑: 杨鑫)

The Characteristics of Industry-University-Institute Collaboration Networks in Crop Breeding and Their Impacts on Seed Enterprises' Technological Innovation Performance: An Analysis Based on Applications for New Plant Variety Rights

XIAO Cuiping LI Xiaoyun

Abstract: Constructing an industry innovation system for crop breeding with enterprises as the main body and industry-university-institute collaboration (IUI) is important for enhancing the innovation capacity of the seed industry to build a modern seed industry power. Using the data of new plant variety right applications from 1999 to 2020 for 31 provincial-level administrative regions in China, this paper explores the characteristics of IUI networks in crop breeding and accesses the heterogeneous impacts of network characteristics of seed enterprises' collaboration with different types of organizations on their technological innovation performance. We find that the number of organizations that involve in the IUI collaboration has been increasing, with seed enterprises being the main participants in the collaboration, while universities and research institutions are more likely to occupy the core position in the network. Seed enterprises joining different types of collaborative networks exhibit heterogeneous technological innovation performance. The relationship strength and network centrality of seed enterprises' collaboration with universities and research institutions positively influence their technological innovation performance, while the relationship breadth has an inverted U-shaped effect on technological innovation performance. The relationship strength of seed enterprises' collaboration with other enterprises has an inverted U-shaped effect on their technological innovation performance while the relationship breadth positively affects technological innovation performance, and the impact of network centrality is insignificant. The number of network structure holes has an inverted U-shaped effect on the technological innovation performance of seed enterprises, and inter-enterprise collaboration reaches its highest point of technological innovation performance with fewer network structure holes. This study provides insights for seed enterprises to build scientific partnerships. It also shows light on the coordination of the relationship among universities, research institutions, and seed enterprises within the breeding system.

Keywords: Crop Breeding; Industry University Institute Collaboration; Seed Enterprises; Technological Innovation Performance; Social Network Analysis