

# 医药制造业产学研专利合作模式与网络演化研究<sup>△</sup>

闫娟娟<sup>1,2\*</sup>, 胡安霞<sup>1,2</sup>, 裴中阳<sup>1,2</sup> (1. 山西中医药大学健康服务与管理学院, 山西 晋中 030619; 2. 山西中医药大学山西中医药发展研究中心, 山西 晋中 030619)

中图分类号 R95 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2021)13-1549-08

DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2021.13.03

**摘要** 目的:研究我国医药制造业产学研专利合作模式与网络演化特征,为我国医药创新合作提供决策依据。方法:采用社会网络分析方法,基于1998—2019年医药制造业产学研合作专利数据,构建我国医药制造业专利合作网络,计算结构参数并分析其演化规律。结果:我国医药制造业产学研合作专利明显受药物创新政策影响;医药制造业创新网络规模日益扩大,网络密度逐渐降低,不具备典型的小世界特性。结论:应加大对高校和研究所等核心创新主体的科技扶持,鼓励其与企业的联合研发;优化药物创新政策环境,鼓励更多的创新主体参与到药物研发过程中;搭建产学研协同创新平台,构建促进产学研合作的药物研发机制,减少合作中间人数,优化药物研发资源配置,促进企业合作创新。

**关键词** 医药制造业;产学研;创新;专利;社会网络

## Study on Industry-university-research Cooperation Model and Network Evolution of Pharmaceutical Manufacturing Industry

YAN Juanjuan<sup>1, 2</sup>, HU Anxia<sup>1, 2</sup>, PEI Zhongyang<sup>1, 2</sup> (1. College of Health Service and Management, Shanxi University of Chinese Medicine, Shanxi Jinzhong 030619, China; 2. Center for Shanxi TCM Research, Shanxi University of Chinese Medicine, Shanxi Jinzhong 030619, China)

**ABSTRACT** OBJECTIVE: To study industry-university-research cooperation model and network evolution characteristics of pharmaceutical manufacturing industry in China, and to provide decision-making basis for pharmaceutical innovation cooperation. METHODS: Using social network analysis method, based on industry-university-research cooperation patent data of pharmaceutical manufacturing industry during 1998-2019, the patent cooperation network of pharmaceutical manufacturing industry in China was established, and the structural parameters were calculated and evolution regularity of the network were analyzed. RESULTS: Industry-university-research cooperation patents in the pharmaceutical manufacturing industry were affected by drug innovation policies. The scale of innovation network in pharmaceutical manufacturing industry was expanding day by day; the density of innovation network was decreasing gradually; it was not characterized with typical small world features. CONCLUSIONS: It is suggested to strengthen the scientific and technological support to the core innovation subjects (universities and research institutions), and improve the cooperation with enterprises; optimize the drug innovation policy environment, encourage more innovation subjects to participate in the drug R&D process; construct a platform for industry-university-research collaborative innovation, build drug R&D mechanism which can promote industry-university-research cooperation, reduce the number of intermediaries in cooperation, optimize the allocation of drug R&D resources and promote cooperative innovation of enterprises.

**KEYWORDS** Pharmaceutical manufacturing industry; Industry-university-research; Innovation; Patent; Social network

作为知识密集型产业,医药制造业的创新能力对于产业发展至关重要。然而,我国医药制造业技术创新能力薄弱、研发投入不足、科研转化效率较低。核心竞争力是企业持续竞争优势的关键来源<sup>[1]</sup>。随着竞争的不断加剧,企业难以通过自身资源获得核心竞争力,产学研合作成为企业寻求竞争优势的主要途径<sup>[2]</sup>。产学研合作在满足各创新主体利益的基础上,形成相互合作、互相制约、利益共享、风险共担的合作创新组织,通过创新网

络可有效实现创新主体间的知识共享、优势互补,促进科技成果转化,提高产业创新能力<sup>[3]</sup>。

Etzkowitz等<sup>[4]</sup>提出的“官-产-学”三螺旋创新模型为产学研合作研究奠定了理论基础。后续学者从不同角度对产学研合作进行了研究,大体分为三类:(1)产学研协同创新相关理论研究。众多学者对产学研协同创新的互惠协同、共享行为、知识转移、创新联盟和创新路径等开展基础研究,为实证研究提供参考<sup>[5-9]</sup>。(2)产学研合作网络结构特性及演化研究。学者们以单一产业专利数据为分析对象,如卫星及应用产业、水环境治理产业、微电子行业、芯片产业和石油企业等,从静态和动态视角探讨创新网络的拓扑结构及演化规律,结果显示,

<sup>△</sup> 基金项目:山西省高等学校人文社会科学重点研究基地项目 (No.2017338)

\* 副教授,硕士生导师,博士。研究方向:卫生管理、药物政策。电话:0351-3179853。E-mail:yanjuanjuan79@163.com

创新网络整体规模不断增大、网络密度不断下降<sup>[3,10-13]</sup>。由于医药制造业创新投入占比最高,而产学研合作创新对产业发展发挥着重要作用,故逐渐受到学者的关注。王黎莹等<sup>[14]</sup>以信息通信技术(ICT)产业和制药产业在中小板和创业板上市的591家科技型中小企业为研究对象,分析地理接近性、社会接近性、技术接近性对不同模式专利合作网络的合作创新程度的影响及差异。吴慧等<sup>[15]</sup>采用二次指派程序(QAP)方法研究上海市医药制造业数据,结果显示,产学研合作创新网络的行动者属性与产学研合作创新关系、集群企业创新绩效呈正相关,网络的小世界特性与产学研合作创新关系、集群企业创新绩效呈负相关。李树祥等<sup>[16]</sup>基于长江经济带医药企业数据对区域医药产业与城市的产业关联性进行分析,结果显示,长江经济带医药产业的空间分布以长江三角洲城市群为主,成渝城市群医药产业显现出重要影响力。(3)产学研合作网络结构对创新绩效的影响。陈钰芬等<sup>[17]</sup>基于浙江省ICT产业合作网络进行分析,结果显示,网络密度对创新绩效有促进作用,网络中心性对创新绩效有抑制作用。晁艺璇等<sup>[18]</sup>以全国ICT产业专利为研究对象,结果显示,网络中心性对创新绩效有显著的促进作用,聚集系数对此作用有进一步的提升作用,结构洞则起抑制作用。罗鄂湘等<sup>[19]</sup>以集成电路产业企业合作网络为例进行研究,结果显示,结构洞与企业技术创新能力存在倒U型关系。闫艺等<sup>[20]</sup>以我国信息技术产业授权专利数据为例进行研究,结果显示,较短的产学研合作网络平均路径可促进企业创新,网络聚集系数与企业创新水平呈倒U型关系。

已有研究为基于社会网络分析医药制造业产学研合作网络奠定了基础,但仍存在以下不足:(1)在研究视角方面,大多数研究或基于中药制药企业进行产学研合作,或基于某一区域制药企业进行产学研合作,而缺乏从医药制造业整个产业层面的探讨。(2)大部分研究时间节点主要在2013年以前,2013年后我国药物研发政策发生了重大变化,即进一步鼓励药物创新,而医药制造业产学研合作创新网络的相关研究还未开展。(3)大部分研究从静态角度来分析产学研合作创新,未以动态视角解释产学研合作网络的演化机制,更难以说明产业政策阶段变化对创新网络的影响。

基于以上研究背景,本文利用社会网络分析方法,以我国医药制造业为研究对象,基于1998—2019年产学研合作发明专利数据,构建产学研创新网络,分析创新网络拓扑结构,计算创新网络结构参数,并依据医药创新政策发展不同阶段动态分析其结构变化,以期为我国医药制造业创新合作提供决策依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 数据来源

合作发明专利是知识共享和创新合作的有效方式,并被越来越多的学者应用于创新网络研究,可反映网络中节点之间的合作创新情况。根据国家知识产权局发布的《国际专利分类与国民经济行业分类参照关系表(2018)》,医药制造业包含化学药品原料药制造、化学药品制剂制造、中药饮片加工、中成药生产、生物药品制品制造<sup>[21]</sup>。本研究根据医药制造业对应的国际专利分类(IPC)代码,通过国家知识产权局专利检索及分析系统检索已申请并授权的发明专利数据(选择授权专利为数据来源是因为其表明合作取得了实质性进展,更具有代表意义)。本研究检索起止日期为1998年1月—2019年12月,专利检索式为:申请(专利权)人=“大学”OR“学院”OR“公司”OR“集团”OR“企业”OR“厂”OR“医院”OR“研究院”OR“研究所”。通过清洗、筛选和去重,保留与研究相关的专利,最终获得104 501项专利。进一步筛选申请人数量为2个及以上的产学研合作专利,对不符合条件的产学研合作专利数据进行剔除,例如删除大学与其所属企业、企业与其所属研究机构以及只有1个申请单位但有2个不同的关键词等不符合条件的数据<sup>[3]</sup>,最终获得4 680项产学研合作专利。

### 1.2 研究方法

专利合作网络是由多个行动者和他们之间的关系组成的复杂系统,而社会网络分析是研究社会复杂系统的有效理论方法。不同于常规统计学处理的属性数据,社会网络分析处理的是关系数据,分析单位是关系,是对节点和边的分析(其中,点是指社会网络中的行动者,边是指行动者之间的关系)<sup>[22]</sup>。本文基于社会网络分析方法,运用UCINET 6.681软件构建我国医药制造业专利合作网络,分析该网络的结构参数和演化规律。

## 2 我国医药制造业产学研合作模式演化研究

### 2.1 我国医药制造业授权专利整体情况分析

1998—2019年,以大学/企业/研究所为申请人的制造业授权专利总量为104 501项,总体呈持续增长趋势,如图1所示。1998—2006年期间,专利数量较少,且增长缓慢,原因在于缺乏鼓励创新的药物研发政策,国家对医药制造业不够重视,具备药物研发能力的大学、企业和科研院所数量较少且整体研发能力较弱。2007—2013年,专利数量增长迅速,2013年后出现小幅度降低,然后从2017年开始逐步攀升。这一变化的主要原因有:自2013年国家食品药品监督管理局发布《关于深化药品审评审批改革进一步鼓励创新的意见》起,就拉开了我国药品审评审批制度的改革帷幕,如开展药物临床试验

数据核查、新药和仿制药报批政策的改革等,都对药物研发提出了更高要求;2017年中共中央办公厅和国务院办公厅印发《关于深化审评审批制度改革鼓励药品医疗器械创新的意见》,明确了药品审评审批改革要向纵深发展,使药物研发成为企业可持续发展的关键路径。

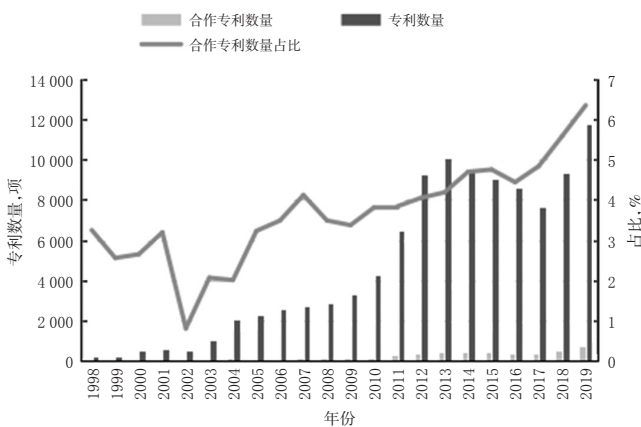


图1 医药制造业授权专利及合作专利数量变化趋势  
Fig 1 Development trend of the number of authorized patents and cooperative patents in pharmaceutical manufacturing industry

1998—2019年,产学研合作专利有4 680项,占医药制造业授权专利总量的4.48%。1998—2002年,医药制造业产学研合作专利较少,数量在1 000项以下。从2002年开始,产学研合作专利占比逐渐增加,虽然经历了2007—2011年间的持续小幅下降,但总体呈增长趋势,在2012年之后开始持续快速增长。

获得授权专利数量最多的前10名申请人分别为浙江大学、江南大学、中国农业大学、华中农业大学、南京农业大学、中山大学、中国人民解放军第二军医大学、复旦大学、上海交通大学和山东大学,如图2所示。在前20名申请人中,有1个申请者为制药企业,3个为研究所,其余均为大学,反映出大学在医药研发中具有较强的创新能力。

## 2.2 我国医药制造业产学研合作模式演化分析

技术创新主体是合作模式的重要决定因素。根据专利申请人职能定位,从大学、企业、研究所3个维度划分,将技术创新主体合作类型分为企业-企业(I-I)合作、大学-企业(U-I)合作、企业-研究所(I-R)合作、大学-大学(U-U)合作、大学-研究所(U-R)合作、研究所-研究所(R-R)合作、企业-大学-研究所(U-I-R)合作。医院同时承担大量医药领域的研究,其中大学附属医院由于同时承担人才培养和科学研究,故将其定位为大学;其他医院以科学研究为主,则定位为研究院。

为进一步分析我国医药制造业产学研合作创新网络的变化,将研究时期分为3个阶段,即1998—2006年、2007—2012年和2013—2019年(1998年前,因医药制造

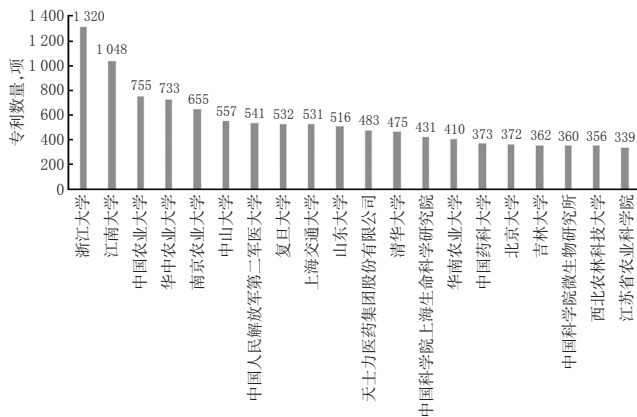


图2 授权专利数量排名前20名的申请人分布情况  
Fig 2 Distribution of the top 20 applicants for the number of authorized patents

业专利申请数量少,故不纳入分析范围)。1998—2006年,大学-企业合作占比最高,为35.14%,其次是研究所-研究所合作和企业-研究所合作,均占20%以上。这表明,此阶段合作模式主要以大学和研究所的合作为核心,而企业研究能力较弱,参与药物创新的动力不足。2007—2012年,研究所-研究所合作占比从1998—2006年的23.42%下降到7.77%,企业-企业合作占比从1998—2006年的5.41%上升到23.67%,反映出我国医药制造业产学研合作模式在2007—2012年期间起发生了明显变化,即大学和研究所参与药物创新的优势逐渐弱化,而企业在一系列科技政策和药物创新政策推动下,研发动力和实力都不断增强,逐渐成为产学研合作的主导。2013—2019年,企业-企业合作占比持续上升,达到31.77%,企业-研究所合作占比下降到10.86%,进一步体现出企业作为创新主体的优势逐渐增强。1998—2019年我国医药制造业分阶段产学研合作专利数量及比例见表1。

表1 1998—2019年我国医药制造业分阶段产学研合作专利数量及比例[项(%)]

Tab 1 Number and proportion of industry-university-research cooperation patents in different stages in pharmaceutical manufacturing industry from 1998 to 2019[item(%)]

阶段	合作类型						
	U-I	U-R	I-R	U-U	I-I	R-R	U-I-R
1998—2006年	39(35.14)	13(11.71)	23(20.72)	3(2.70)	6(5.41)	26(23.42)	1(0.90)
2007—2012年	84(29.68)	41(14.49)	57(20.14)	10(3.53)	67(23.67)	22(7.77)	2(0.71)
2013—2019年	169(27.39)	90(14.59)	67(10.86)	31(5.02)	196(31.77)	56(9.08)	8(1.30)

由上述变化可知,医药制造业产学研合作模式逐渐由以大学、研究所为核心转变为以企业为主导,与其他产业发展趋势相同<sup>[23]</sup>。这一趋势可能的原因主要有:一是国家科技体制改革支持鼓励企业成为技术创新主体;二是国家大力支持创新药物研发,推动医药产业由仿制为主向自主创新为主的战略性转变,药物创新也成为企

业可持续发展发展的必然选择。

### 3 我国医药制造业产学研合作网络结构演化

#### 3.1 合作网络拓扑结构演化

基于医药制造业产学研合作专利数据,分别构建1998—2006年、2007—2012年和2013—2019年3个阶段的机构间原始合作矩阵,利用UCINET 6.681软件呈现专利合作网络,如图3~图5所示。各图中节点均表示参与专利合作的机构(由于节点较多,仅显示度数中心度最大的10个机构名称);节点之间的连线表明相应两机构间存在专利合作关系,且度数中心度越大则节点面积越大。

从产学研专利合作网络拓扑结构来看,1998—2019年我国医药制造业产学研合作网络规模不断扩大,创新主体数量日益增多。1998—2006年,合作网络中创新主体较少,行动者之间的合作关系也较少。2007—2012年,创新主体及合作次数日渐增多,中国科学院上海药物研究所、上海医药工业研究院、中国药科大学、复旦大学等与其他创新主体间合作频繁。2013—2019年,合作网络规模迅速扩大,创新主体间合作更为频繁,深圳华大基因科技有限公司、浙江大学、中国药科大学、清华大学等创新主体重要性逐渐凸显。

#### 3.2 网络整体指标演化分析

本研究选取网络规模、网络密度、网络度数中心势、平均路径长度和集聚系数等指标对我国医药制造业产

学研3个阶段的合作网络的整体状况进行描述。其中,网络规模是指网络中包含的全部行动者的数量,一般整体网的规模越大,结构越复杂;网络密度是网络中存在的合作关系数量与理论上可能存在的合作关系数量之比,反映了网络中各个节点之间连接的紧密程度,体现了网络的凝聚水平;网络度数中心势反映了网络的总体整合度,即整个网络的凝聚力能够在多大程度上围绕某些特定点组织起来;平均路径长度是网络中连接任何两个点之间最短途径的平均长度,反映了整体网络的可达性;集聚系数反映了网络节点的聚集程度,是所有节点集聚系数的平均值,集聚系数越大,代表网络联系越紧密<sup>[20]</sup>。小世界网络被认为是客观世界众多复杂网络运动中最为有效的信息传递方式,一般具有较小的平均路径长度和较大的集聚系数<sup>[24]</sup>。测量结果如表2所示。

医药制造业专利合作的网络规模从1998—2006年的335个上升至2013—2019年的2364个,说明随着时间的推移,越来越多组织机构间形成了专利合作关系。从网络密度来看,随着网络规模的扩大,网络密度反而呈现出逐步下降的趋势,说明机构间联系的增长速度小于整体网络规模的增长速度,也反映出新机构的进入导致潜在连接边数远大于实际连接边数。以2007—2012年为例,网络平均路径长度为6.875,意味着从一个行动者到另一个行动者的平均最短距离为6.875,即两节点间最少需要6.875步才能产生合作;网络集聚系数为

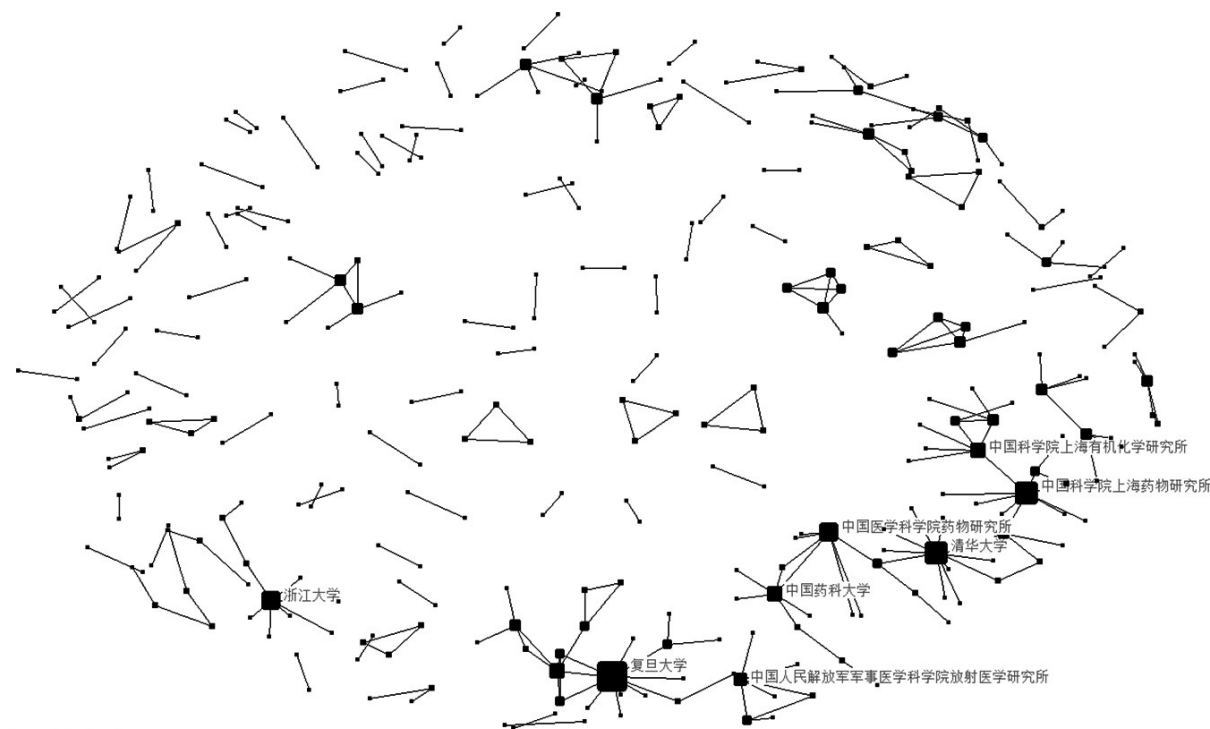


图3 1998—2006年医药制造业产学研合作网络结构

Fig 3 Industry-university-research cooperation network of pharmaceutical manufacturing industry from 1998 to 2006

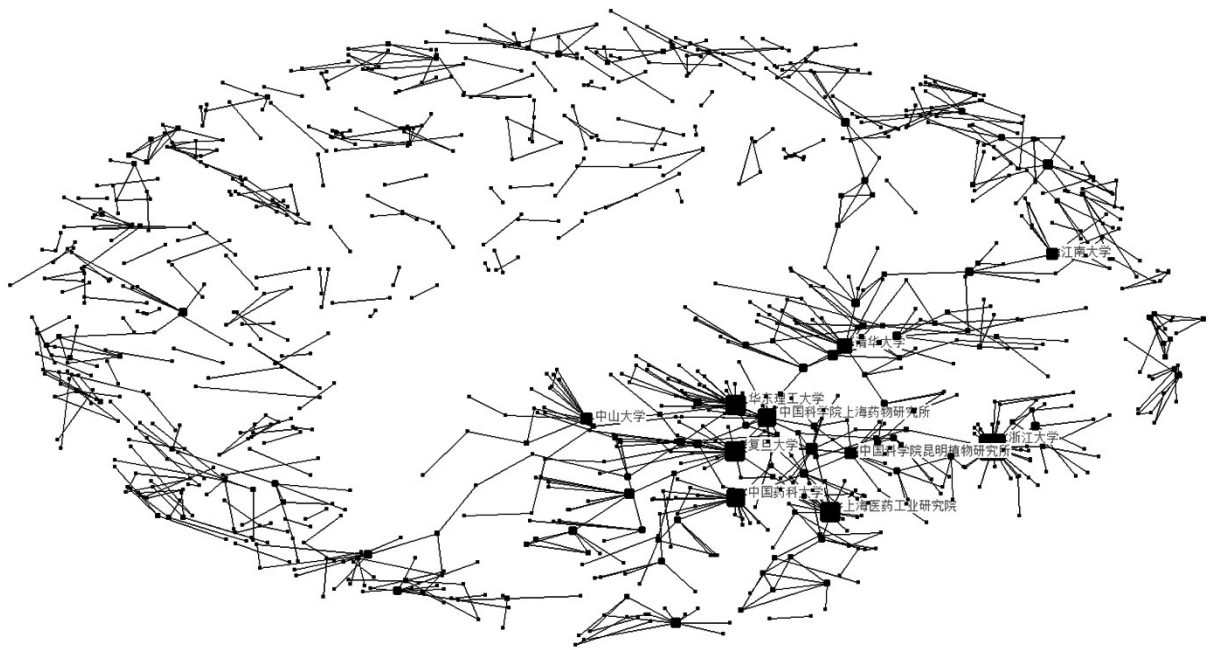


图4 2007—2012年医药制造业产学研合作网络结构

Fig 4 Industry-university-research cooperation network of pharmaceutical manufacturing industry from 2007 to 2012

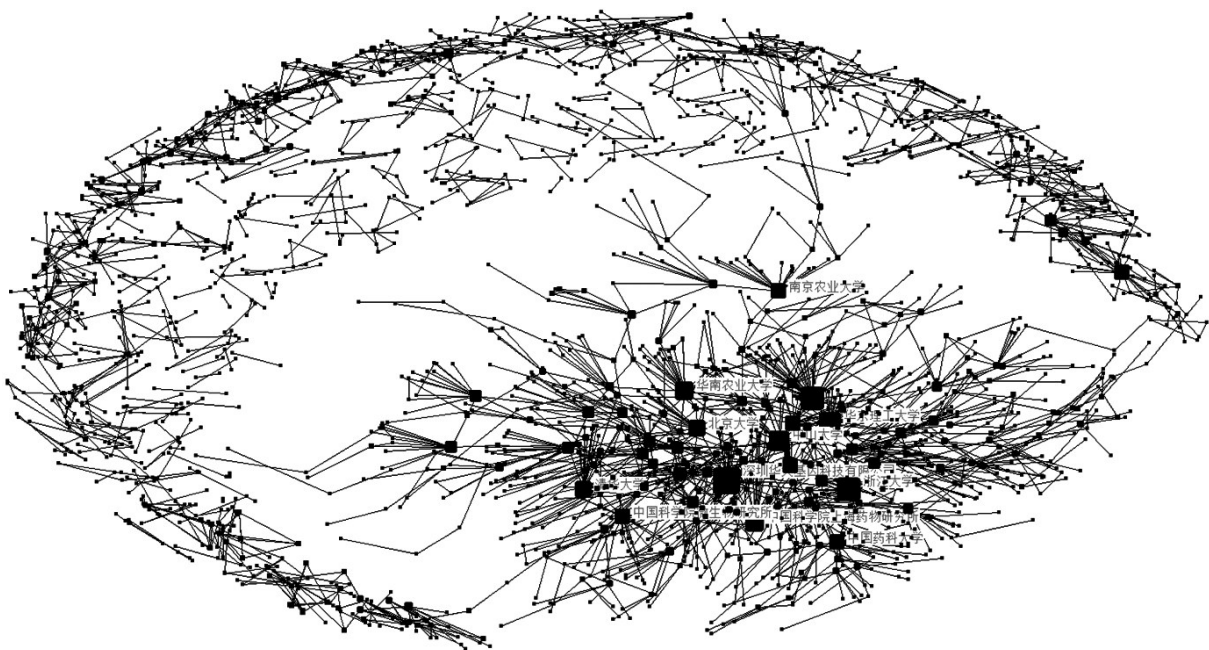


图5 2013—2019年医药制造业产学研合作网络结构

Fig 5 Industry-university-research cooperation network of pharmaceutical manufacturing industry from 2013 to 2019

表2 医药制造业专利合作网络总体特征

Tab 2 General characteristics of patent cooperation network in pharmaceutical manufacturing industry

阶段	网络规模,个	网络密度	网络度数中心势,%	平均路径长度	集聚系数
1998—2006年	335	0.006 0	0.421	2.622	0.730
2007—2012年	1 064	0.002 4	0.300	6.875	0.793
2013—2019年	2 364	0.001 4	0.070	6.463	1.279

0.793,与最大值1相比系数值差距较大,说明网络的整体凝聚力不高,不同节点间集聚的趋势不明显,也说明此阶段产学研合作网络不具备典型的小世界特性<sup>[25]</sup>,机构间没有实现自由合作,专利合作网络的流通性和可达性还有待进一步提高。

### 3.3 网络个体指标演化分析

#### 3.3.1 网络中心度分析 网络中节点的中心度反映了

行动者在网络中的实际权力。其中,度数中心度是与行动者直接相连的节点数,代表行动者自身的影响力和交易能力;中间中心度反映行动者在多大程度上处于其他节点交流路径上,体现了节点的控制能力<sup>[22]</sup>。为了消除网络规模效应,本研究采用了中心度的相对值。由表3可知,从相对度数中心度排序前10位的创新主体看,大学、研究所和企业均有较高的相对度数中心度。随着时间的推进,各创新主体的相对度数中心度下降,虽然创新主体间的合作次数增加,但相对于整个网络来说,主体间的合作越来越稀疏。1998—2006年,清华大学、中国科学院昆明植物研究所、复旦大学和中国人民解放军第三军医大学相对度数中心度居前,表明其在产学研合作中交易能力强;2007—2012年,上海医药工业研究院、复旦大学、华东理工大学、中国科学院上海药物研究所相对度数中心度居前,这4个创新主体均位于上海市,反映出上海逐步在生物医药研发领域占有区域优势;2013—2019年,深圳华大基因科技有限公司、中国科学院上海药物研究所、清华大学、上海医药工业研究院和江南大学相对度数中心度位居前5位,与前两个阶段相比,此阶段各创新主体的相对度数中心度都大幅降低,深圳华大基因科技有限公司最高仅为0.078,表明随着医药创新竞争的加剧,各创新主体的影响力在下降。

从相对中间中心度来看,2007—2012年期间各创新

主体的相对中间中心度较1998—2006年均有所上升,而2013—2019年该指标则较2007—2012年略有下降,如表4所示。从整个发展阶段来看,大学和研究所合作网络中控制或影响专利合作的能力强;但在2013—2019年期间,深圳华大基因科技有限公司相对中间中心度最高,为4.615,表明该企业发挥着创新合作中“中间人”角色,对整个创新网络影响最大。

3.3.2 网络结构洞分析 网络中个体并不都是直接相连的,而是通过某个体或某些个体来达到与其他个体相连的状态,这就形成了一种关系中断的情况,即结构洞<sup>[24]</sup>。评价结构洞的指标主要包含有效规模、效率、限制制度和等级度,其中限制制度最为重要。有效规模是行动者的个体网规模减去网络的冗余度,是网络中的非冗余因素;效率是网络节点的有效规模与实际规模之比;限制制度是网络节点在个体网中行动者拥有的运用结构洞的能力;等级度是反映限制性在多大程度上集中在一个行动者身上<sup>[24]</sup>。如表5所示,1998—2006年期间,复旦大学在产学研合作网络中的限制制度最低,说明节点占据了网络中的结构点位置,掌控结构洞的能力较强,具有竞争优势。这一情况可能的原因是复旦大学在临床医学、药理学和毒理学学科具有较强的全球学术影响力,具有人才和资源优势。在2007—2012年间,浙江大学处于网络的核心位置,对资源获取、分配等具有较强的调控能

表3 1998—2019年合作专利的相对度数中心度排名前10位的机构

Tab 3 Top 10 institutions in terms of relative point centrality of cooperation patent from 1998 to 2019

1998—2006年		2007—2012年		2013—2019年	
主体	相对度数中心度	主体	相对度数中心度	主体	相对度数中心度
清华大学	0.479	上海医药工业研究院	0.316	深圳华大基因科技有限公司	0.078
中国科学院昆明植物研究所	0.389	复旦大学	0.316	中国科学院上海药物研究所	0.067
复旦大学	0.389	华东理工大学	0.308	清华大学	0.062
中国人民解放军第三军医大学	0.389	中国科学院上海药物研究所	0.299	上海医药工业研究院	0.059
苏州市巴微医药开发研究所有限公司	0.389	浙江大学	0.299	江南大学	0.055
中国科学院上海药物研究所	0.329	清华大学	0.291	浙江大学	0.055
中国科学院上海有机化学研究所	0.269	上海复星医药(集团)股份有限公司	0.239	华东理工大学	0.048
中国科学院昆明动物研究所	0.240	中国药科大学	0.231	迪沙药业集团有限公司	0.048
浙江大学	0.240	北京诺赛基因组研究中心有限公司	0.171	中国医学科学院药用植物研究所	0.044
北京博奥生物芯片有限责任公司	0.240	中国科学院上海生命科学研究院	0.162	中国医药工业研究总院	0.043

表4 1998—2019年合作专利的相对中间中心度排名前10位的机构

Tab 4 Top 10 institutions in terms of relative betweenness centrality of cooperation patent from 1998 to 2019

1998—2006年		2007—2012年		2013—2019年	
主体	相对中间中心度	主体	相对中间中心度	主体	相对中间中心度
复旦大学	0.327	中国科学院上海药物研究所	5.243	深圳华大基因科技有限公司	4.615
中国科学院上海药物研究所	0.327	中国科学院生物物理研究所	4.253	中国科学院上海药物研究所	4.014
中国医学科学院药物研究所	0.327	清华大学	4.118	华东理工大学	3.132
中国人民解放军总医院	0.29	河南天方药业股份有限公司	4.083	浙江大学	3.045
清华大学	0.281	华东理工大学	3.765	上海交通大学	2.533
中国科学院上海有机化学研究所	0.234	复旦大学	2.771	中国科学院上海生命科学研究院	2.497
中国药科大学	0.216	浙江大学	2.537	南开大学	2.352
中国科学院上海生物化学研究所	0.21	浙江医药股份有限公司新昌制药厂	2.298	中山大学	2.038
中国科学院昆明植物研究所	0.136	中国科学院遗传与发育生物学研究所	2.131	清华大学	1.886
上海中药制药技术有限公司	0.079	上海医药工业研究院	1.986	中国科学院微生物研究所	1.755

力,反映出浙江大学广泛地与科研机构、企业合作,而且其有效规模也最大,在网络中占绝对突出位置。2013—2019年间,江南大学广泛开展校企合作,与大型制药企业签署战略合作框架协议,实现了药物研发技术与市场需求的对接,使其处于结构洞的位置,具有相对优势。

表5 我国医药制造业3个阶段中产学研合作网络结构洞测量指标

Tab 5 Structural hole measurement indicators of industry-university-research cooperation network in three stages of pharmaceutical manufacturing industry

阶段	核心单位	有效规模	效率	限制度	等级度
1998—2006年	复旦大学	11.538	0.962	0.120	0.066
	浙江大学	7.000	1.000	0.156	0.102
	中国科学院上海药物研究所	8.773	0.975	0.157	0.134
	中国医学科学院药物研究所	6.714	0.959	0.194	0.040
	中国药科大学	5.667	0.944	0.236	0.045
	中国科学院上海有机化学研究所	5.778	0.963	0.241	0.171
	中国科学院动物研究所	4.000	1.000	0.250	0
	武汉大学	4.000	1.000	0.278	0.139
	北京大学	4.000	1.000	0.280	0.168
	清华大学	9.000	1.000	0.281	0.736
2007—2012年	浙江大学	28.829	0.994	0.052	0.154
	中国药科大学	18.852	0.992	0.077	0.167
	华东理工大学	20.801	0.991	0.088	0.292
	上海医药工业研究院	20.784	0.990	0.102	0.359
	复旦大学	21.613	0.982	0.112	0.335
	中国科学院上海生命科学研究院	11.886	0.990	0.119	0.164
	中国科学院上海药物研究所	18.705	0.984	0.122	0.339
	上海交通大学	8.833	0.981	0.156	0.169
	江南大学	9.625	0.962	0.156	0.100
	中国科学院昆明植物研究所	10.729	0.975	0.161	0.251
2013—2019年	江南大学	30.886	0.996	0.054	0.240
	南京农业大学	20.000	1.000	0.059	0.119
	中国科学院微生物研究所	18.818	0.990	0.072	0.109
	华南理工大学	15.000	1.000	0.073	0.071
	浙江大学	32.264	0.978	0.078	0.259
	华东理工大学	28.552	0.985	0.080	0.197
	深圳华大基因科技有限公司	36.378	0.983	0.080	0.324
	中国药科大学	18.833	0.991	0.084	0.202
	中山大学	25.459	0.979	0.087	0.301
	华南农业大学	23.494	0.979	0.088	0.178

#### 4 讨论与建议

本文以我国医药制造业产学研合作专利为样本,构造了产学研专利合作网络,采用社会网络分析方法,对网络的整体结构和个体结构特征及其演化情况进行了分析。研究结果如下:(1)我国医药制造业产学研合作专利明显受药物创新政策影响。合作专利占比除经历了2007—2011年的持续小幅下降外,整体呈增长趋势,与2007年《药品注册管理办法》修订及2013年药品审评审批制度改革的启动有关。1998—2019年间,我国医药制造业创新主体的核心由研究所变为企业,企业的创新能力进一步增强;大量的医药制造业联合研发专利来源

于清华大学、浙江大学、复旦大学、江南大学等,企业通过与大学的合作,获得了大学核心节点的知识溢出。(2)从合作创新网络结构演化过程来看,我国医药制造业的合作网络规模日益扩大,表明创新主体数量不断增多;合作网络密度逐渐降低,表明网络结构趋于松散;网络具有较大的平均路径长度和较小的集聚系数,说明不具备典型的小世界特性。(3)从网络结构洞来看,以企业为主体的产学研合作体系还未完全形成。在3个不同阶段,大学和研究所均占据了网络中结构洞位置,具有较强的掌控能力,竞争优势明显,可能与大学和研究院的人才优势有关。

通过对我国医药制造业产学研合作模式演化和网络特征分析发现,当前医药制造业创新合作较为松散,企业主体作用发挥还有待提高、创新效率不高。基于上述结论,笔者提出以下建议:(1)产学研创新网络中存在少数核心节点,占据着网络中的结构洞位置,如清华大学、浙江大学、复旦大学、江南大学等,在产业整体创新能力提升中发挥着重要作用<sup>[26]</sup>。政府应合理制定科技政策,优化资源配置,鼓励更大空间区域范围内的大学及科研院所联合开展医药基础和理论研究<sup>[27]</sup>;同时,企业应充分对接市场需求,推进产学研深度融合,加快建立以企业为主体、产学研相结合的医药创新和产业化体系。(2)药物创新过程需要大学、企业和科研院所的相互协作和知识共享<sup>[28]</sup>,以发挥不同创新主体的知识优势。网络规模对企业创新产出具有正向调节作用<sup>[29]</sup>,因此政府应不断优化药物创新政策环境,鼓励更多的创新主体参与到药物研发过程中。此外,提高网络节点的中心度能有效促进绩效产出<sup>[30]</sup>,故对于中心度较高的创新主体应集中资源和优势,提高其中心度。(3)产学研合作网络平均路径长度与集聚程度影响着企业的创新产出。一方面,越短的平均路径长度越有利于提高创新绩效,因此政府应搭建产学研协同创新平台,构建促进产学研合作的药物研发机制,调动各创新主体的参与积极性,减少合作中间人数,缩短合作平均路径长度,促进企业创新;同时,创新平台有利于信息交流,减少由高密度产生的重复联系,缩短交流时间,促进有效合作。另一方面,集聚程度也应控制在合适范围内,企业过度聚集会影响知识信息交流,形成利益团体,不利于医药创新。因此,企业应适时评估自身所在的合作网络,避免陷入到过度集中的产学研合作网络;同时也要根据自身资源条件,优化配置合作网络节点,使网络结构保持在相对稳定的集聚程度,促进企业创新能力的提升<sup>[19]</sup>。

#### 参考文献

- [1] 喻登科,严红玲.核心竞争力与竞争优势形成路径:知识资本与组织性格整合视角的解释[J].科技进步与对策,

- 2019,36(1):128-137.
- [2] 申俊喜.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[J].科学与科学技术管理,2012,33(2):37-43.
- [3] 李培哲,营利荣,刘勇.卫星及应用产业产学研专利合作网络结构特性及演化分析:基于社会网络视角[J].情报杂志,2018,37(11):55-61.
- [4] ETZKOWITZ H, LEYDESDORFF L. The endless transition: a "triple helix" of university-industry-government relations[J]. *Minerva*, 1998, 36(3):203-208.
- [5] 钱敏,高璐,常光辉,等.我国产学研互惠性协同的系统性思考[J].科技管理研究,2020,40(22):251-256.
- [6] 陈伟,王秀锋,曲慧,等.产学研协同创新共享行为影响因素研究[J].管理评论,2020,32(11):92-101.
- [7] 方刚,顾莉莉.基于SECI拓展模型的产学研协同创新知识转化行为研究[J].软科学,2019,33(6):24-30.
- [8] 张根明,张曼宁.基于演化博弈模型的产学研创新联盟稳定性分析[J].运筹与管理,2020,29(12):67-73.
- [9] 张羽飞,原长弘,王涛,等.产学研深度融合演化路径分析:基于浙江清华长三角研究院的纵向案例研究[J].中国科技论坛,2020,1(7):87-98.
- [10] 陈国鹰,孙进书,张爱国,等.水环境治理产业产学研合作模式与网络演化实证研究[J].科技管理研究,2020,40(7):139-149.
- [11] BALCONI M, LABORANTI A. University-industry interactions in applied research: the case of microelectronics[J]. *Res Policy*, 2006, 35(10):1616-1630.
- [12] 陈瑾宇,马丽仪,陶秋燕,等.我国芯片产业专利合作网络的结构特征[J].科技管理研究,2020,40(8):102-111.
- [13] 邵强,耿红悦.基于社会网络分析的石油企业协同创新网络研究:以BE石油企业为例[J].科技管理研究,2017,37(7):136-143.
- [14] 王黎莹,张迪.不同模式科技型中小企业专利合作网络构建及影响因素研究[J].科研管理,2019,40(4):203-212.
- [15] 吴慧,顾晓敏.产学研合作创新绩效的社会网络分析[J].科学学研究,2017,35(10):1578-1586.
- [16] 李树祥,庄倩,褚淑贞.社会网络分析视角下的长江经济带医药产业空间分布与关联网络分析[J].中国药房,2020,31(1):1-6.
- [17] 陈钰芬,姚天娇,胡思慧.浙江省ICT产业产学研合作创新网络动态演化分析[J].技术经济,2019,38(10):65-73.
- [18] 晁艺璇,王崇锋,刘欣荣,等.基于合作创新网络视角的创新策略选择研究[J].软科学,2018,32(6):39-44.
- [19] 罗鄂湘,韩丹丹.合作网络结构洞对企业技术创新能力的影响研究:以我国集成电路产业为例[J].工业技术经济,2018,37(3):44-50.
- [20] 闫艺,韩军辉.产学研合作网络小世界性、知识基础与企业创新[J].科技管理研究,2017,37(19):139-146.
- [21] 国家知识产权局.关于印发《国际专利分类与国民经济行业分类参照关系表(2018)》的通知[EB/OL].(2018-10-08)[2021-05-23].[https://www.cnipa.gov.cn/art/2018/10/8/art\\_75\\_131968.html](https://www.cnipa.gov.cn/art/2018/10/8/art_75_131968.html).
- [22] 刘军.社会网络分析导论[M].北京:社会科学文献出版社,2004:14-15,106.
- [23] 高霞,陈凯华.基于SIPO专利的产学研合作模式及其合作网络结构演化研究:以ICT产业为例[J].科学与科学技术管理,2016,37(11):34-43.
- [24] 刘军.整体网络分析讲义 UCINET 软件实用指南[M].上海:上海人民出版社,2009:168,194-204.
- [25] 赵巧芝,闫庆友.中国能源消费地区关联网络的统计性质及结构特征测度[J].统计与决策,2018,34(7):96-100.
- [26] PEREIRA C G, SILVA R R D, PIGOLA A, et al. Technological cooperation network in biotechnology: analysis of patents with Brazil as the priority country[J]. *Inn Man Rev*, 2018, 15(4):416-434.
- [27] YOKURA Y, MATSUBARA H, STERNBERG R. R&D networks and regional innovation: a social network analysis of joint research projects in Japan[J]. *Area*, 2013, 45(4):493-503.
- [28] CHENG F, MA Y, UZZI B, et al. Importance of scientific collaboration in contemporary drug discovery and development: a detailed network analysis[J]. *BMC Biol*, 2020, 18(1):1-10.
- [29] 魏守华,王英茹,汤丹宁.产学研合作对中国高技术产业创新绩效的影响[J].经济管理,2013,35(5):19-30.
- [30] CHAN J H T, AU A K M, KO A. Linking network centrality to performance revisit: understanding and dealing with simultaneity in the creation of soft innovation[J]. *PIEB*, 2019, 19(1):16-32.

(收稿日期:2020-11-19 修回日期:2021-05-27)

(编辑:罗 瑞)