

Research on the Characteristics of the Industry-University-Research Cooperation Innovation Network Structure of the Pharmaceutical Manufacturing Industry in China's Four Economic Zones

Jiang Su Wan^{1,a}, Sheng Yong Xiang^{1,b}

¹ Jiangsu University of Science and Technology, zhenjiang, jiangsu, china

² Jiangsu University of Science and Technology, zhenjiang, jiangsu, china

^a 1245929538@qq.com

^b 2448120992@qq.com

ABSTRACT

With the strategic emerging industry—the pharmaceutical manufacturing industry as the background, provide relevant information for the pharmaceutical manufacturing industry based on the characteristics and development trends of the industry-university-research patent cooperation network in the four major economic zones. Use social network analysis to construct a cooperative innovation network of industry, university and research in China's four major economic regions from 2003 to 2018, With the help of ucinet and netdraw tools, the overall density, average path length, agglomeration coefficient, node intermediary and temporal evolution of the network are analyzed. Loose networks in the four major economic regions; Small cosmopolitanity has not appeared in the east, central and northeast, and small cosmopolitanity has only appeared in the west for a few years; The networks of the four major economic regions show varying degrees of density from the time dimension; The eastern, central, and western regions present a star-shaped network, that is, "small groups" in a kinship patent cooperation model.

Keywords: *Social network analysis, Pharmaceutical manufacturing, Industry-University-Research, Four major economic zones*

中国四大经济区内医药制造业产学研合作创新网络结构特征研究

蒋苏皖^{1,a}, 盛永祥^{1,b}

¹ 江苏科技大学经济管理学院, 镇江, 江苏, 中国

² 江苏科技大学经济管理学院, 镇江, 江苏, 中国

^a 1245929538@qq.com

^b 2448120992@qq.com

摘要

以战略性新兴产业——医药制造业为背景, 根据研究四大经济区产学研专利合作网络特征以及发展趋势为医药制造业提供相关情报。用社会网络分析法构建了 2003–2018 年中国四大经济区产学研合作创新网络, 借助 ucinet 和 netdraw 工具分析了网络的整体密度、平均路径长度、集聚系数、节点中介性以及时空演化。四大经济区的网络松散; 东部、中部、东北部还没有出现

小世界性，西部也仅有几年出现过小世界性；四大经济区网络从时间维度上呈现不同程度的密集；东部、中部、西部以亲缘性的专利合作模式呈现星型网络形态即“小团体”。

关键词：社会网络分析；医药制造业；产学研；四大经济区

1. 前言

党的十九大报告明确提出实施区域协调发展战略，我国“十三五”中提出战略性新兴产业发展要实现“产业规模持续壮大，成为经济社会发展的新动力”、“创新能力和竞争力明显提高，形成全球产业发展新高地”的目标。医药制造业是我国战略性新兴产业的重要领域，在国民健康、公共卫生及国民经济方面起到重要的作用^[1]，我国医药制造业的产业规模和总产值迅速上升，产业结构进一步优化，但是我国医药制造业的整体水平在全球处在中低端，拥有核心且价值高的药品专利较少^[2]，所以通过协同创新提升我国医药制造业的自主创新能力是改变现状的主要途径，产学研合作创新成为协同创新的主流模式。产学研合作创新网络是指企业、高校和科研院所三大主体利用各自的互补优势进行合作^[3]，在合作的过程中随着主体以及合作次数的增加而逐渐形成的社会关系网络。

目前对于产学研合作创新网络，国内外学者进行了不同程度和角度的研究。产学研的合作形式多种多样，比如：技术转让、论文发表、研发专利等，其中联合研发的专利能更敏捷的识别产业的核心技术信息的变化^[4]，而专利中的发明专利具有较高的科技水平^[5]。Tomasello 等搜集了 1986-2009 年制造业企业共同研发产品的数据，利用 24 年间的对制造业网络的稳定性进行了分析^[6]，陈伟等基于装备制造业在 2000-2009 年的合作发明专利数据，对网络中心性和结构洞进行研究，发现中心性和结构洞对创新产出具有正向作用^[7]。高梁州等以京津冀地区的产学研合作创新为背景，研究网络的结构特征，发现京津两地高校及能源央企对产学研合作起到很大的作用^[8]。王璐璐等着重研究了江苏省高校合作专利网络，并根据高校占据结构洞的位置提出相对于的策略^[9]。李新等选取哈长城市群产学研合作专利作为研究数据，发现两所高校占据结构洞的优势位置，缺少掌握核心资源的企业^[10]。唐恒等研究了京津冀专利合作网络结构的时空演化，发现三地在多个行业呈现多个星型网络形态^[11]。Lee 等发现美国小范围的城市群内进行创新合作使得网络中的主体关系更容易变得亲密^[12]。

中国地域广阔，各经济区医药制造业的发展水平，专利质量、核心技术的落后程度等均存在一定的差距，需要根据各经济区实际情况出发，制定出

与本经济区实际契合的策略来调动产学研合作创新积极性，高效率的产学研合作创新才能推动各经济区医药制造业的发展。因此，本文以 2003-2018 年四大经济区医药制造业产学研合作发明专利为研究对象，分析合作网络中网络密度、小世界性、节点中介性等结构特征以及时空演化，发现不足，并提出针对各经济区现状的建议。有助于各经济区医药制造业三大主体更加明确各自所处位置，各地政府针对性的制定相应的政策。

2. 研究设计

2.1 数据获得及清洗

本文以东部、中部、西部、东北部内部城市中三大主体在医药制造业交叉联合申请的发明专利为样本，样本中的数据来源于 Patsnap 专利检索平台，在对四大经济区的数据获得中除了省份的限定不一致，其他均一致，故本文介绍东北部的数据的获取的过程。发明专利的申请日限定在[20030101 TO 20181231]；医药制造业在国民经济行业分类号是 c27，将发明专利限定在 c27；由于本文研究的是合作专利，当前申请（专利权）人数限定在 2 人以及 2 人以上；东北部包括黑龙江、吉林、辽宁三个省份，当前申请（专利权）人地址限定在黑龙江 OR 吉林 OR 辽宁。对获取到的数据在进一步处理，剔除非交叉合作的发明专利以及个人专利权人，一个发明专利包含三个及三个以上的专利权人，本文将不同类型的专利权人拆解成两两合作，然后按照年份把专利划分为：2003 年、2004 年、2005 年等 16 个阶段。

由于医药制造业的特殊性，故本文对于创新主体的界定标准如下，申请人包含字段“公司”、“厂”、“株式会社”、“集团”为企业；申请人包含字段“实验室”、“研究院”、“研究所”、“xx 医院”为科研院所；申请人包含字段“大学”、“学院”、“xx 附属医院”为学校。

2.2 研究方法

社会网络分析法能够量化社会网络中的节点以及节点间的关系，从而揭示网络结构特征。本文运用社会网络分析法分析中国四大经济区在医药制造业领域中企业、学研机构间发明专利的合作关系。

四大经济区内医药制造业产学研协同创新网络中的三大主体分别为企业、学校、科研院，把它们作为节点，它们之间的发明专利的合作作为节点间的关系，由此分别构建出四大经济区的社会网。

首先，用 Pathy 软件将三个主体之间的关系转化为邻接矩阵，在构建邻接矩阵中，如果两个主体存在共同申请专利的情况，那么在邻接矩阵相对应的位置填写共同申请专利的个数，否则为 0。然后，利用 ucinet6.0 软件计算出产学研协同创新网络结构特征的相关指标。最后，ucinet6.0 软件中的 Netdraw 对网络进行可视化处理。

3. 四大经济区内医药制造业产学研合作创新网络结构分析

3.1 整体网络结构分析

本文从整体网络密度、整体中间中心度、集聚系数以及平均路径长度四个指标来分析四大经济区内医药制造业产学研合作创新整体网络结构。

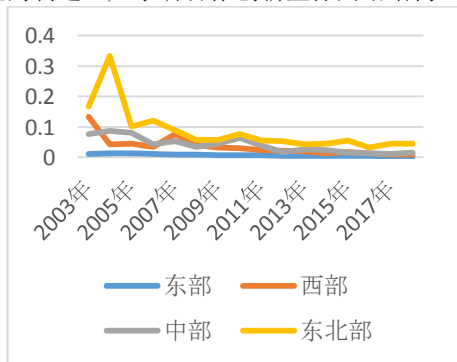


图 1 整体网络密度

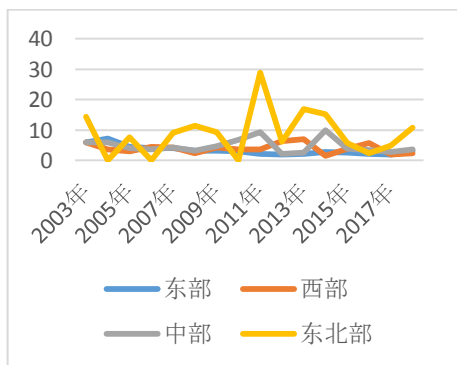


图 2 整体中间中心度

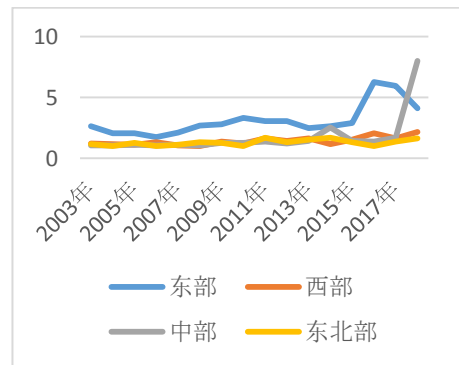


图 3 平均路径长度

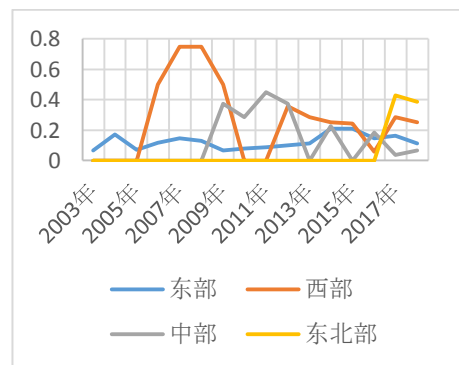


图 4 集聚系数

(1) 整体网络密度。网络密度可以测量合作网络中各节点之间关系的紧密度。东部、西部、中部、东北部地区 16 个阶段的网络密度区间分别为 [0.00380 0.0135]、[0.0093 0.1324]、[0.015 0.0877]、[0.045 0.3333]。

(2) 整体中间中心度。中间中心度反映的是某个节点影响其他节点之间的合作以及控制其他节点与自己合作的能力。东部、西部、中部、东北部地区 16 个阶段的中间中心度区间分别为 [1.98% 7.14%]、[1.63% 6.42%]、[2.16% 9.92%]、[0 16.84%]。

(3) 集聚系数、平均路径长度。网络的小世界性用这两个指标衡量。平均路径长度是指所有任意两个节点之间进行联系的最短路径的平均值。集聚系数反映的是在与某个节点有合作的所有的节点中，它们之中彼此也进行合作的概率。东部、西部、中部、东北部地区 16 个阶段的平均路径长度区间分别为 [1.758 6.295]、[1.2 2.17]、[1.056 8.032]、[1 1.723]，集聚系数区间分别为 [0.067 0.208]、[0 0.75]、[0 0.375]、[0 0.429]。

表 1 网络规模

	东部	西部	中部	东北部
2003 年	179	17	19	9
2004 年	166	27	19	4
2005 年	151	34	24	13
2006 年	168	41	29	12
2007 年	192	22	24	13

	东部	西部	中部	东北部
2008年	206	40	33	19
2009年	300	47	40	23
2010年	316	53	28	14
2011年	340	70	53	26
2012年	384	92	86	32
2013年	432	124	68	43
2014年	510	114	99	34
2015年	536	98	98	34
2016年	591	133	115	43
2017年	648	188	163	37
2018年	700	200	200	45

图 1、2、3、4 中，东北部异常表现主要是由于东北部的网络规模在 16 个年度中一直是四大经济区中最小的，最大也只有 45 个节点。四大经济区的网络密度均较低，说明四大经济区的合作网络中的三大创新主体合作偏少，相关专利信息和资源共享程度低，从图 2 可以看出四大经济区的密度均呈下降趋势，其中东北部地区下降幅度最大但是其始终在其他经济区之上。原因可能在于网络规模增加的速度大于合作网络中三大主体的合作关系的增加速度，值得注意的是，其他经济区与东北部的差距逐渐缩小，说明东北部网络规模增加的速度和合作网络中三大主体的合作关系的增加速度的差距是经济区中最大的，三大创新主体很少参与网络，并且参与进来的主体也多是与单个主体进行合作，这可能解释了东三省药材资源丰富，产值在全国占有重要比重但创新产出低的现象。由图 3 可知，除了东部地区呈缓慢下降的趋势外，其他地区均上下波动，尤其东北部地区上下波动幅度巨大，数值偏低，说明在 16 个年度中经济区的创新合作网络均没有出现能够掌控网络中的资源并在网络中有绝对的优势。即便东部地区网络规模大增加迅速，但仍没有出现强而有力掌控全局的创新主体。从网络的小世界性

分析，东部平均路径长度总体上升，2016 年达到顶峰随后下降，集聚系数在 [0.067 0.208] 之间上下波动，近几年合作网络中信息传递不顺畅，主体之间接收或传递信息需要很大的时间以及沟通成本，2018 年情况有所好转但路径依然很长，东部地区网络没有呈现小世界性。西部平均路径长度比较稳定，并且数值不高，但集聚系数 2003-2011 年动荡数值差距较大。西部合作网络中的主体在 16 个年度中信息交流、知识共享通畅，2006-2009 年网络呈现小世界性，但随着网络规模的增加以及主体之间合作交叉性小，小世界性微弱。中部平均路径长度除 2018 年之外其他 15 个年份很小，集聚系数有 8 个年度为 0，其余数值不大。中部合作网络中的主体信息交流通畅，但是合作网络中主体交叉合作程度特别低。

3.2 网络中节点的位置分析

创新网络中 A、B 两节点是通过 C 节点进行专利合作，那么 C 节点就是中介节点，节点的中介性衡量节点在这个网络中拥有的资源以及控制其他节点的能力。本文用结构洞以及中间中心性指标测量节点的中介性。结构洞有四个测量指标，限制度是最重要的一个测量指标，它表示的是某个节点利用结构洞为自己带来利益的能力，限制度是逆向指标，限制度越小，受到其他创新主体依赖度越小，更容易与其他创新主体直接合作。如果网络中很多节点的合作都要经过 C 节点来完成，并且 C 节点处在两个节点的最短路径上，那么 C 节点处在最短路径上条数即为其中间中心度，值越大，其对其他创新主体的约束性强。东部取前 20，西部、中部、东北部取前 15 的过程中，如果创新主体出现上述现象剔除。由于四大经济区的数据较多，本文只放东部 2003 年、2018 年的数据。

表 2 东部结构洞限制度和中间中心度排名前 20 的创新主体

排名	东部							
	2003 年				2018 年			
	创新主体	结构洞限制度	创新主体	中间中心度	创新主体	结构洞限制度	创新主体	中间中心度
1	复旦大学	0.083	清华大学	352	南京农业大学	0.097	江南大学	2189
2	清华大学	0.083	复旦大学	310	清华大学	0.103	浙江大学	1762
3	上海医药工业研究院	0.125	中国科学院生物化学与细胞生物学研究所	259	浙江大学	0.116	山东大学	1532
4	中国科学院上海药物研究所	0.25	上海医药工业研究院	223	浙江工业大学	0.134	江苏恒瑞医药股份有限公司	1392
5	中国科学院生物化学与细胞	0.25	国家人类基因组南方研究中心	203	中山大学	0.16	中国人民解放军总医院	1390

6	生物学研究所 国家人类基因组南方研究中心	0.265	深圳万基药业有限公司	98	上海交通大学	0.167	北京市肿瘤防治研究所	1331
7	浙江大学	0.333	浙江普洛康裕制药有限公司	98	复旦大学	0.167	山东隆科特酶制剂有限公司	1298
8	中国医学科学院药物研究所	0.333	北京诺塞基因组研究中心有限公司	64	华南理工大学	0.174	山东大学深圳研究院	1188
9	中国人民解放军第二军医大学	0.36	同济大学	60	北京大学	0.176	南京农业大学	904
10	中国药科大学	0.36	国家质量监督检验检疫总局动植物检疫实验所	42	中国人民解放军军事科学院军事医学研究院	0.18	兴化格林生物制品有限公司	783
11	北京诺塞基因组研究中心有限公司	0.36	上海和黄药业有限公司	37	江南大学	0.184	南京工业大学	738
12	天津吉盛畜牧业有限责任公司	0.36	上海第二医科大学附属瑞金医院	37	华东理工大学	0.189	中国科学院上海生命科学研究院	729
13	中国人民解放军第二军医大学药学院	0.375	中国科学院上海药物研究所	30	深圳华大生命科学研究院	0.195	中国农业科学院作物科学研究所	651
14	广州市医药工业研究所	0.5	中国医学科学院基础医学研究所	24	中国科学院上海生命科学研究院	0.2	中国科学院大学	596
15	中国疾病预防控制中心病毒预防控制所	0.5	上海博星基因芯片有限责任公司	23	中国科学院上海药物研究所	0.222	北京大学	566
16	华东理工大学	0.5	正大天晴药业集团股份有限公司	15	扬州大学	0.235	中国科学院微生物研究所	556
17	中国科学院上海药物研究所	0.5	中国药科大学	14	山东农业大学	0.239	中国人民解放军军事科学院军事医学研究院	554
18	华东师范大学	0.5	中国人民解放军第二军医大学药学院	12.5	中国科学院大学	0.256	上海大学	554
19	南京大学	0.5	天津吉盛畜牧业有限责任公司	12	华南农业大学	0.257	中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所	510
20	厦门大学	0.5	上海先导药业有限公司	11	中国石油化工股份有限公司	0.258	清华大学	500

公司

虽然东部地区结构洞限制度和中间中心度排名前 20 的创新主体类型占比有些许差别,但总体上可以看出学校数量居多,企业的数量较少,复旦大学、清华大学、浙江大学、北京大学四所高校在 16 个年度中排名稳定且靠前,四所高校均是“985”“211”院校,上海医药工业研究院在 2003-2009 年均排名靠前,但排名前 20 的企业不固定,目前东部医药制造业高校人占据较多结构洞,成为网络中知识共享的枢纽,但仍没有出现强有力的企业掌握网络中的信息与资源,究其原因,“985”“211”高校有较高素质研究人员、先进的技术设备并且申请到水平较高的国家级项目,医药制造业产学研联盟多数以高校主导,企业和科研院所通过它们取得合作,企业在过程中处于被动地位。从整体来看,中间中心度指数总体呈上升趋势,尤其近三年爆发式增长,说明排名前 20 的创新主体与网络中其他创新主体合作增多,并且影响力显著增强,但结构洞限制度没有明显的下降说明网络中的大部分创新主体没有跨越结构洞的能力。

西部地区 2003-2012 年满足条件的创新主体不足 15,但是满足创新主体的数量总体呈上升趋势。排名前 20 的三大创新主体类型占比中虽然企业比高校和研究所少,但差距不大,高校和科研院所不相上下。2003-2005、2008-2009 年没有出现企业。可能是因为,2003-2009 年网络规模较小,西部政府以及创新主体没有意识到医药制造业产学研合作的重要性,高校和科研院所参与进来多是相应国家号召。虽然 16 个年度中排名前 20 的企业数目可观但多位于四川、云南、重庆,究其原因三个省市的经济相对靠前,陕西省虽经济靠前,但地理距离太远。结构洞限制度的下降以及中间中心度的提升使得四川农业大学成为合作创新网络的核心主体。

中部地区 2003-2008 内各年度满足条件的创新主体仅 1-2 个,之后缓慢上升,直至 2014 年到达 15 个。主要原因是参与合作创新网络的主体很少,没有形成一定的规模,网络的核心主体在业界的信誉

度还没有达到一定程度,随着关系网的扩散,核心主体的实力以及信誉度得到认可。华中农业大学在 2009-2018 年一直处于前列。安徽农业大学、武汉大学、中国科学院合肥物质科学研究院均是有 3-4 年处于前 20,其余年未在列。说明创新网络不断有新的核心主体但核心主体的位置在变化。从整体来看,剔除中间中心度 2018 年的值,结构洞限制度以及中间中心度没有明显的增加趋势。原因可能是 2018 年创新主体的合作类型比较全面,网络节点较少,一个或者较少的大学多与科研院所交叉合作。

东北部地区 2003-2018 年网络规模很小并且没有明显的增加趋势。达到标准的创新主体在 4 个左右。

从整体看,四大经济区的医药制造业的产学研合作仍处于上升趋势,有很大的发展空间尤其是东北部,东北部医药制造业的总产值占全国总产值比重较大,但总体水平较低。结构洞限制度总体从小到大依次是东部、西部、中部、东北部。四大经济区排名前 20 的三大主体中企业相对较少。西部、中部近几年慢慢形成规模,但较东部地区仍存在很多问题,东北部发展缓慢。

4. 四大经济区内医药制造业产学研合作创新网络演化分析

NetDraw 是一个可视化的社会网绘图软件,可用于绘制社会网络图谱,本文利用 NetDraw 绘制了四大经济区内医药制造业产学研合作创新网络各年度图谱,由于东部地区创新主体较多,故用数字代替创新主体名称,为了统一格式。西部、中部、东北部创新主体也用数字代替。图中按中心度标识节点的大小,按主体的合作次数标识节点之间连线的粗细。

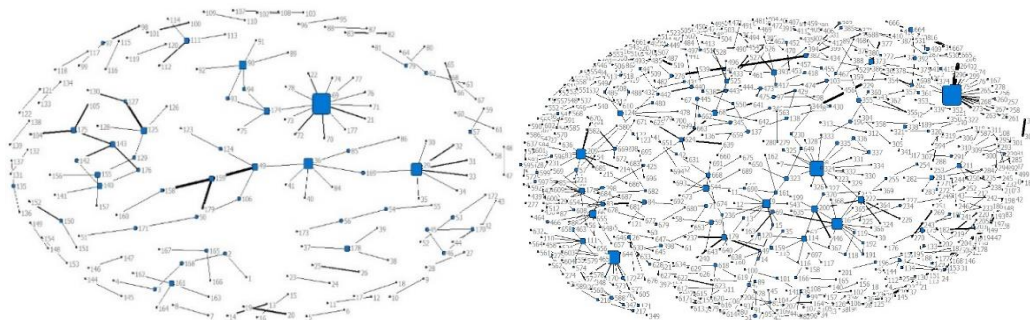


图 5 东部 2003 年、2018 年网络图

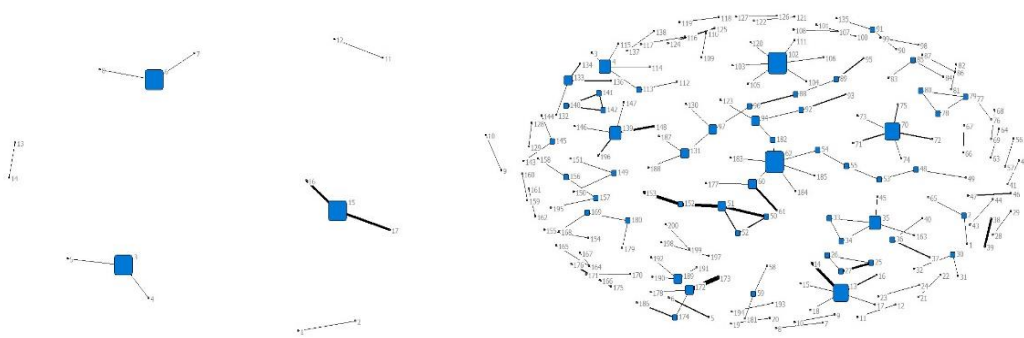


图6 西部 2003 年、2018 年网络图

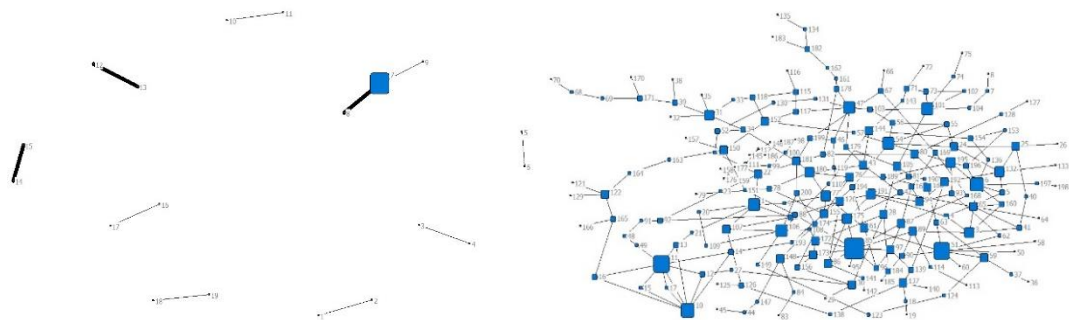


图7 中部 2003 年、2018 年网络图

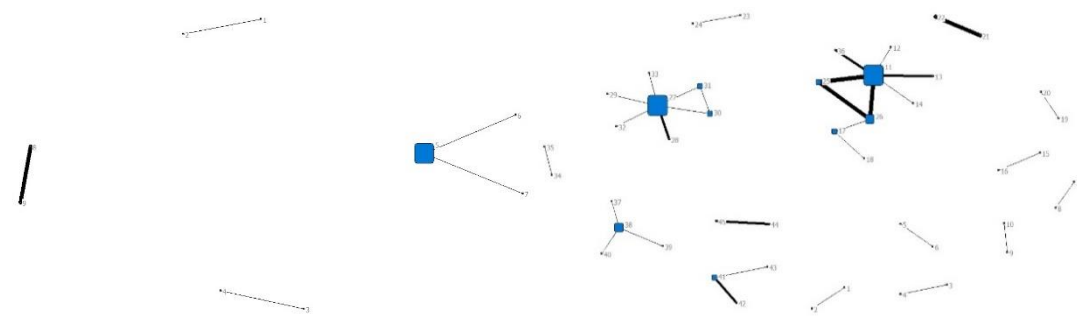


图8 东北部 2003 年、2018 年网络图

从图 1、图 2、图 3 可以看出东部在 2003 年就初具规模了，东部、西部在近几年初具规模，东北部还没有达到规模。它们网络中的较大的节点越来越多。东部的节点之间的连线变多，节点之间较粗的连线越来越多，即创新主体之间的专利合作以及合作专利数量变多，2003 年网络中出现小团体现象，2009 年的小团体越来越多，并且小团体之间的联系较少，2018 年的小团体虽然数目较之前更多，但是小团体之间的联系增加，这也就解释了 2018 年结构洞限制度变小。西部的之间节点的连线越来越多，节点之间较粗的连线的比例偏少，即创新主体与多个不同的创新主体之间进行专利合作，但创新主体之间合作专利数量比例偏少，在 2003 年、2009 年节点很少，没有出现类似于东部的小团体现象，2018 年才开始显现，但是没有出现东部网络中一个节点联系十个以上节点的团体。中部 2003、2009、2017 合作网络与西部类似，但 2018 年网络是其他三个地区没有出现过的，网络中仅两个节点之间单独合作的现象特别少，节点大小比较均匀，没有明显的小

团体现象。东北部网络中节点少，多是两两合作。

5. 结论与建议

本文基于 2003-2018 年四大经济区医药制造业内企业、高校、科研院所合作的发明专利数量的数据，研究了四大经济区医药制造业产学研创新合作网络的结构以及时空演化，总结出 3 个结论。

(1) 从四大经济区医药制造业产学研创新网络整体结构来看，东部网络中创新主体及合作专利数目增长很快，中部西部增长缓慢，东北部创新主体及合作专利依旧很少，四大经济区 16 个年度的网络密度都偏低，没有明显的小世界性，说明东部医药制造业发展快速，三大主体积极合作，但是总体来看三大主体合作仍然偏少，信息交流不顺畅，中部西部发展缓慢，三大主体积极性不高，知识交流较少，东北部没有太大进展。

(2) 从四大经济区医药制造业产学研网络节点

的中介性来看,东部总体结构洞限制度小,结构洞限制度小的节点多为高校,西部、中部创新网络开始满足本文中中介性条件的节点不足15个,近几年才开始增多,但中间中心度不高,西部满足条件的主体类型比较均衡,中部还是以高校为主,东北部16个年度中满足条件的节点较少,结构洞限制度偏高、中间中心度较小,说明高校是推动东部、中部医药制造业三大主体合作的主力军,能推动中部、西部医药制造业发展的主体增多,东北部直到目前能推动医药制造业产学研合作的创新主体比较少。

(3)从四大经济区医药制造业产学研网络时空演化来看,东部2003-2009年发明专利合作水平较低,数量上下浮动,出现一定数量的小团体。2010-2018年发明稳步快速增长,发明专利水平提升,网络中的小团体增加,并且团体与团体之间后期知识共享频繁。西部、中部虽然2003-2018年合作专利数量增加但仍没超过200个,2003-2016年还没有达到东部地区2003年水平。东北部2003-2018年合作专利数量、网络空间演化均没有变化。

根据以上对四大经济区合作网络的分析,本文提出一些个人建议。

(1)东部虽然近几年发展比较快速,但是合作专利数量、网络密度等还达不到理想水平。网络中的核心节点多为高校,处在核心点的高校应利用研发人员水平高、实验设备先进、国家项目多等优势,积极的带动科研院所、企业创新积极性,比如联合建立实验室、联合培养专项人才。产、学、研积极合作创新也离不开政府的支持,东部地区政府积极推动构建合作创新服务平台、加大政策支持力度、引导中介金融服务机构,充分发挥地理优势。

(2)西部地区目前处于起步阶段,相较于东部各方面都还不成熟,节点较少、相互之间联系较少,地域面积最大,但地理优势不明显。网络中的核心节点类型比例比较均衡,企业积极的参与进来,占据较多结构洞,在合作创新网络中企业发挥着重要的作用,积极的将需求反馈给高校、科研院所,三方及时的根据市场需求合作创新,西部地区政府应开展相关活动,了解三大主体现状以及普及合作创新的重要性,及时的解决现实问题让三大主体积极的参与进来,根据西部地区自有特性对东部发展经验进行改动。

(3)中部地区的发展现状与西部类似,但在地理位置上更靠近发展比较好的东部,网络中的核心节点多为高校,如何推动核心节点高校更积极的参与和到企业合作创新中来值得深思,中部地区政府多与临近东部地区政府深入交流,寻求与东部三大主体的可能性合作,注入资金,鼓励创新。

(4)和其他三大经济区相比较东北部发展迟缓,医药制造业产学研合作没有起色,但是东北部医药制造业高额的总产值说明东北部合作创新存在巨大的潜力,无论是当地政府还是国家政府都应该重视起来,国家政府应制定精准的帮扶政策,东部帮扶东北部,积极促进两大经济区之间合作,拨入资金,

当地政府加大科研投入力度,推动中介服务机构的参与。

REFERENCES

- [1]Qu W., Li J. Evaluation of International Competitiveness of Chinese Pharmaceutical Manufacturing [J]. *Technology China*,2018(04):43-52.
- [2]Huang L.J., Yang Y., Lu H.F. Development Trend and Strategy Analysis of my country's Pharmaceutical Manufacturing Industry [J]. *Beijing Financial Review*,2019(04):93-100.
- [3]Cao X., Liu G.W. Research on the Relationship between Industry-University-Research Cooperation Innovation Network Scale, Connection Mechanism and Innovation Performance—Based on the Perspective of Multi-agent Simulation and Dynamic System Theory [J]. *Operations Research and Management*,2015,24(02):246-254.
- [4]Zvi Griliches. Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey. 1990, 28(4):1661-1707.
- [5]Sun Z.R., Chang H.J. Research on Shandong Province Industry-University-Research Patent Cooperation Network [J]. *Science and Management*,2019,39(02):12-18.
- [6]Mario V. Tomasello, Nicola Perra, Claudio J. Tessone, et al. The role of endogenous and exogenous mechanisms in the formation of R&D networks. 2014, 4(4):477-492.
- [7]Cheng W., Zhang Y.C., Tian S.H. An Empirical Study on the Innovation Network of Industry-University-Research Cooperation in Regional Equipment Manufacturing—Based on the Perspective of Network Structure and Network Clustering [J]. *China Soft Science*,2012(02):96-107.
- [8]Gao L.Z., Tang Z., Liu G.F. Research on the Evolution Characteristics of the Patent Cooperation Network Structure of Industry-University-Research Institutes in Beijing-Tianjin-Hebei Universities[J]. *Library and Information Research*,2019,12(01):96-105
- [9]Wang L.L., Zhang Z., Liu Y.X. The Structural Characteristics and Optimization Strategy of Jiangsu Industry-University-Research Cooperation Innovation Network[J]. *Science and Technology Management Research*,2018,38(08):94-99.
- [10]Li X., Li B.Z. Research on the Structural Hole and Intermediary of the Collaborative Innovation Network of Harbin-Changzhou Urban Agglomeration—A

two-dimensional measurement of the industry-university-research network and the inter-city relationship network based on patent data[J].*Science and Technology Progress and Countermeasures*,2020,37(14):66-75.

[11]Gao L.Z. Research on the Spatio-temporal Evolution Characteristics of the Patent Cooperation Network of Industry-University-Research in Beijing-Tianjin-Hebei[D].Jiangsu University,2017.

[12]LEE D.S.The changing structures of coinvention networks in american urban areas [J].*Procedia Computer Science*,2016(96):1075-1085.