

基于不同时空尺度的知识溢出网络结构特征研究

李丹丹^{1,2}, 汪 涛³, 周 辉⁴

(1.中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008; 2.中国科学院大学, 北京 100049;
3.南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210023; 4.聊城市国土资源局, 山东 聊城 252000)

摘要: 知识溢出的多空间尺度耦合、空间知识溢出的测度以及空间知识溢出的机制是近期国内外有关知识溢出地理效应研究的主要新动向。借助科学计量学追踪知识溢出的方法, 以2000~2009年被国际ISI及国内重庆维普数据库收录的, 中国大学和科研院所等机构在生物技术领域合作发表科学论文的信息为数据源, 从社会网络的视角, 运用社会网络分析和GIS空间分析方法, 分别以国家、省份和城市为单元, 从国际、国家和长三角层面(区域), 分析2000年以来, 中国大学和科研院所知识溢出网络的拓扑结构和空间结构变动特征, 并从地理距离、社会距离、认知距离、组织距离等方面探讨影响知识溢出效应的机理。研究发现: ① 2003~2004年为知识溢出网络发展的拐点期; ② 国际和国家层面网络接近小世界网络, 长三角层面的网络体现出更多的随机网络特征; ③ 知识在国际层面的空间溢出具有明显的路径依赖性, 主要受到社会距离和组织距离的影响; ④ 在国家层面呈现由三角形向钻石形发展的趋势, 随着网络发育的日益成熟, 地理距离的影响逐步减弱, 社会距离和组织距离的影响得以加强; ⑤ 在长三角层面总体上呈现三点一线特征, 地理距离在区域尺度的影响最为显著, 知识溢出既遵循了等级扩散的规律, 也体现了距离衰减的特点。

关键词: 知识溢出; 社会网络; 科学计量学; 创新政策

中图分类号: F224 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2013)10-1180-08

1 知识溢出地理效应研究的新动向

知识溢出的提出最早可以追溯到马歇尔(Marshall)对外部性的讨论, 自西方新经济地理学的关系和演化等转向以来, 知识溢出更多地被看作是一种空间相互作用的过程, 成为研究区域经济增长、产业集群创新等领域不可缺少的变量^[1-3]。关于知识溢出效应的研究主要从2个方面展开: 一是从宏观上探讨知识溢出对区域及城市的生产力和城市发展规模的影响作用^[4-7]; 二是从微观上讨论知识传播机制, 知识溢出与网络、空间距离及研发之间的互动关系等^[8-10]。

从国内外文献来看, 近年来经济地理学界关于知识溢出地理效应的研究主要出现3个新动向。

首先是知识溢出的多空间尺度耦合。知识生

产力的实证研究表明知识产出具有空间尺度, 区位与地理空间是解释区域和城市创新与经济增长的关键因素^[11]。空间衰减是研究知识流动与传播过程中不可避免的议题, 但知识溢出并不局限于区域层面, 也会发生在国家甚至国际范围内^[12-14]。尤其是随着计算机网络和通信技术的快速发展, 以学术论文、学术专著以及专利等形式表现出来的大学和科研院所知识的扩散不再受到空间局限, 能够在跨越行政区甚至跨越国界的空间范围内实现。因此为避免实证研究时选取空间尺度的不同而导致分析结论的不具可比性, 经济地理关系学派从本地互动(Local Buzz)和全球管道(Global Pipelines)入手, 从理论上探索知识溢出在多空间尺度的耦合问题^[15], 演化学派则运用网络分析方法, 进行实证分析^[16]。

收稿日期: 2013-01-06; **修订日期:** 2013-06-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971069, 41130750, 41329001)、国家软科学项目(2013GXS4D116)、江苏软科学项目(BR2013079)和ISTIC-THOMSON科学计量学联合实验室开放基金资助。

作者简介: 李丹丹(1988-), 女, 河南焦作人, 博士研究生。主要从事产业集聚、区域创新与知识网络研究。E-mail: ddli@niglas.ac.cn

通讯作者: 汪 涛, 教授。E-mail: wangtao@njnu.edu.cn

其次是空间知识溢出的测度。知识溢出测度是知识溢出研究的另一关键议题,目前主要采用知识生产函数法(间接测量法)和文献跟踪法(直接测量法)^[17]。依据知识溢出载体的性质,可以将知识溢出的机制划分为2种类型:一类是通过学术出版物等非嵌入性知识载体实现的知识溢出;另一类是通过知识主体作为嵌入性知识载体而实现的知识溢出,即需要通过知识主体间面对面的交流与互动(如人力资本流动、商品贸易、FDI、合作研发、合作科学论文、合作专利、非正式交流等活动)才能实现^[18]。尽管知识溢出是无意识的行为,但知识在流动中留下了可追溯的痕迹。社会网络分析方法及科学计量学研究方法的引入,拓展了从微观上探索知识空间溢出效应的研究方法^[19-22]。

第三是空间知识溢出的机制。由于大部分研究是通过一些表征知识溢出结果的变量来间接检验知识溢出,知识溢出并没有留下很明显的痕迹和直接的证据,因此揭示空间知识溢出发生机制具有一定的难度,特定地理空间范围内的知识溢出发生机制仍是亟待打开的理论“黑箱”^[23]。在解释空间知识溢出发生机制时,地理邻近性成为重要的考量因素^[16,24],但地理邻近性并非是空间知识溢出发生的必要或充分条件,近年来关于包含认知邻近、组织邻近、社会邻近和制度邻近等在内的多维临近性的作用日益受到重视^[25]。

中国处于经济发展路径的转型期,生产技术的升级迫在眉睫。大学和科研院所在中国知识创造体系中占有重要的地位,它们的知识溢出是在整个经济部门建立区域创新的先决条件。本文运用社会网络分析方法和科学计量学方法,从知识网络的视角,分别从国际、国家和区域层面,分析2000年以来,中国大学和科研院所在生物技术领域知识溢出的空间变化特征,及影响空间知识溢出的机理,提出国家和区域创新系统建设的建议,以为政府协调科技资源布局、制定科技政策等提供依据,并探索空间知识溢出的测度方法。选择生物技术领域的知识溢出为研究对象,主要是基于两方面的考虑:首先生物技术是中国目前重点发展的高新技术之一,其研究成果能给医药、化学、食品、农业、环境保护等产业带来深刻的变革,知识和技术的溢出效应明显;其次,生物技术领域对大型仪器设备、高端实验室、高级科研人员等的需求较高,随着研究深度的提高,越来越多的成果

需要2个以上研究单位协作完成,因此知识主体面对面的交流与互动程度很高^[26],易于从合著论文信息中追溯知识流动的痕迹。

2 数据来源和指标构建

本文数据来源于科学论文的合作发表信息。科学论文的合作发表揭示了作者间存在知识交流,若合作作者分属于不同的机构(大学、研究所、企业等),则说明机构间出现了知识流动,这些机构间的知识流动整合到一定的地理范围内,组成了区域间(区域内)知识溢出。以不同空间层次知识溢出的最小单元为节点,合作的篇数为节点间联系的次数,这样众多节点间的联系就构成了知识溢出网络,网络中存在节点间的直接关联,也存在节点通过邻里效应而产生的间接关联。节点间的直接关联刻画了知识溢出网络中已经发生的知识交流,而潜在的知识交流则由间接关联表达出来。

文中合作发表折科学论文信息来自于Thompson R ISI Web of Knowledge数据库(简称ISI)和中文科技期刊数据库即重庆维普数据库(简称VIP)。数据筛选的标准:① 论文必须由属于2个或以上机构的作者合作发表,并且其中至少有1个为中国的机构。② 论文的检索范围限定于生物技术领域(包含仿生学、细胞工程、酶工程以及生物工程应用)。③ 论文检索年限为2000~2009年,这是因为虽然VIP数据库中生物技术类的论文收录可回溯至1989年,但1989~1999年的很多论文未记录作者所在的单位,无法提取空间属性。筛选后从2个数据库中获得9 192条合作论文的信息,对涉及的大学及科研院所分支单位作如下处理:隶属于同一大学,且处于同一城市的学院和科研单位均视为同一机构;处于不同城市的同一大学,视为不同的机构,以它们的所在地区划分;大型科研院所(如中国科学院)的二级分支单位视为不同的机构。处理后从ISI数据中获得1 527个机构,VIP数据中获得2 259个机构,经匹配,395个机构在2个数据库中均出现,合并后得到3 391个机构,其中国内的机构为2 495个(以大学和科研院所为主体,占53.7%),以这些机构为基本点,分别以国家、省级行政区和城市为节点构建网络,运用UCINET和ArcGIS软件进行社会网络分析和空间分析。分析过程中涉及到如下网络结构指标。

网络规模(S):指网络中所有节点数目。

密度(D):指实际存在的关系总数除以理论上可能存在的关系总数。关系总数指节点间的联系次数,本文中知识溢出网络为无向网络,节点间的联系是双向的。

平均路径长度(P):如果一个线路中的各条线和各个点都没有重复,这样的线路叫做路径,路径的长度指的是构成该路径的线的条数。在给定的两点之间可能存在长短不一的多条路径,两点之间长度最短的路径叫做测地线,测地线的长度则为测地线距离,或称为最短路径长度。平均路径长度指的是两点间最短路径长度的平均值。

度数中心势(C_d)和中间中心势(C_b):中心势反映的是网络结构的密集程度、信息的流畅程度和节点分布的疏密程度。前者指网络所有节点与其它节点的联系紧密程度,表征网络中节点的集中趋势;后者则刻画了所有节点处于其他点对的捷径(最短途径)上频率,揭示信息在网络传递过程中对某些重要节点的依赖程度。

核密度:运用ArcGIS中的核密度算法,输入节点的空间属性和关系链的数值及走向,得到网络的空间分布图。核密度方法的几何意义在于,密度分布在每个中心处最高,向外不断降低,当距离中心达到一定的阈值范围处密度值为0。

3 不同尺度知识溢出网络结构变动特征

3.1 网络拓扑结构变动特征

国际层面网络(N1)是以国家为单元的;国家层面(仅包含中国大陆、香港和澳门,不包含台湾)(N2)以省级行政区为单元,将国内的机构按省别属性归并到同一节点;城市作为知识溢出发生的主要场所,也是理解知识溢出机制与效应的重要空间尺度^[27],所以本文又以长三角16个城市为单元,将机构按所在城市属性归并到同一节点,构建区域层面的网络(N3),再运用社会网络分析软件,计算3个网络的拓扑结构变动情况。选择长三角作为区域层面的代表,一方面是因为2000~2009年长三角16个城市的度数^①占城市总度数的比例在15%~24%之间,是中国生物技术主要区域;另一方面除上海、南京、杭州等长三角城市将生物技术作为发展高技术产业的重要方面外,长三角生物技

术产业发展论坛、上海市生物医药行业协会、南京生物医药产业联盟、杭州生物医药科技园等的建立都为生物技术的发展提供了良好平台,因此以长三角为区域尺度代表具有一定典型性。

比较2000~2009年间3个网络的拓扑结构特征值变动情况(表1),可以发现2003~2004年为知识溢出网络发展的拐点期,这一时期正是中国进入建设创新型国家的开端期^[28],首次于“十五”计划中明确提出推进高技术研究,重点攻克生物芯片、遗传改良动植物、基因工程药物及疫苗等生物技术。拐点期之后N2和N3的规模维持稳定,N1的规模处于持续增长状态,说明随着中国大学和科研机构与国外合作的加强,知识溢出网络在国际层面的范围不断扩大;N1和N2的密度呈现直线增加,与此同时,N1的平均路径长度稳定在1.5~2之间,而N2的平均路径长度明显下降,反映出小世界网络(small world)的拓扑结构的特性,即与随机网络(Random Network)相比,有些节点与大量的其他节点连结,形成一个个集散中心,节点间集聚程度较高、平均距离较低,而且国家层面知识溢出的通畅性高于国际层面;N3的密度呈波浪型上升,平均路径长度波动于1~2.13之间,2008年之后其平均路径长度均高于N1和N2,相对于国际和国家层面,长三角层面的知识溢出网络体现出更多的随机网络特征;N2和N3的度数中心势和中间中心势总体上出现波动性下降,N1则表现出平稳下滑态势,相对于N2和N3,N1的度数中心势最低,但中间中心势最高,表明国际层面网络中的节点分为多个小团体而且过于依赖某一个节点传递关系,该节点在网络中处于极其重要的地位。

3.2 网络空间结构变动特征

知识在国际层面的空间溢出具有明显的路径依赖性(图1),早期与中国有合作的机构集中于美国、日本、德国、英国等全球生物技术最为发达的国家^[29],随着时间的推移,这些国家仍然是中国知识溢出的优先链接区,表现出知识扩散的空间粘着特征^[30]。2000~2004年中国的合作伙伴局限于发达国家,且多为双边合作关系。2006年之后越来越多的发展中国家加入中国的知识溢出网络,三边合作、多边合作显著加强,但直至2009年美国仍处于结构洞的地位,网络限制度较大。

① 度数指与节点存在直接联系的次数。

表1 国际、国家及区域层面知识溢出网络拓扑结构特征

Table 1 Topology structure of knowledge spillover network at international, national, regional level

年份 (年)	国际层面(N1)					国家层面(N2)					长三角区域层面(N3)				
	S	D	P	C _{in} (%)	C _{in} (%)	S	D	P	C _{in} (%)	C _{in} (%)	S	D	P	C _{in} (%)	C _{in} (%)
2000	17	0.79	1.83	17.11	92.84	25	0.27	2.62	12.23	31.66	5	1.00	1.00	20.83	0.00
2001	19	1.26	1.84	14.98	90.7	25	0.58	2.12	20.87	26.79	5	1.60	2.00	29.17	41.7
2002	21	1.62	1.84	12.25	90.03	27	0.91	1.85	27.98	35.87	6	2.13	2.13	28.33	34.00
2003	17	2.53	1.82	14.80	90.23	32	1.03	1.92	25.04	34.03	11	1.09	1.09	21.90	44.9
2004	21	2.24	1.86	12.71	91.42	32	1.55	1.86	22.85	26.3	12	1.18	1.18	17.05	29.4
2005	22	3.16	1.79	10.73	67.77	32	2.34	1.72	27.31	12.66	14	1.08	2.10	19.23	37.9
2006	27	3.00	1.83	7.51	72.12	32	3.33	1.60	22.72	6.01	12	1.58	1.85	19.17	52.2
2007	28	3.90	1.82	7.20	69.21	33	4.42	1.54	20.17	9.52	11	2.65	1.75	20.19	52.00
2008	31	4.09	1.82	6.63	65.90	33	5.25	1.51	22.86	7.53	15	1.56	1.91	13.87	21.9
2009	33	4.52	1.80	6.75	59.85	32	5.79	1.43	20.16	9.68	14	2.18	1.91	13.04	32.4

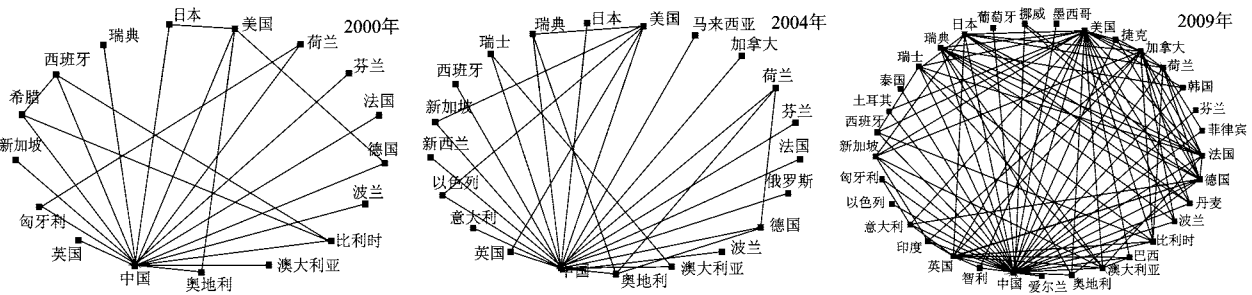


图1 国际层面知识溢出网络节点分布

Fig. 1 Node distribution of knowledge spillover network at international level

国家层面的知识溢出网络空间分布呈现由三角形向钻石形发展的趋势(图2)。从核密度可以看出,2000年存在3个明显的核心区,即北京、上海、广州,形成三角形结构,其次南京、武汉、成都的核密度也较高;2004年北京-西安联系的核密度增加,北京-上海、上海-西安连线的辐射范围也增加,南京、济南、天津等地的核密度值增加,钻石形空间结构出现雏形;2009年随着西安与长三角、珠三角联系的加强,钻石形结构愈加明显,而且钻石边缘的辐射范围也在不断增加,合肥、郑州、长沙等地的核密度均有所提高。总体上看,网络的空间结构由等级式向扁平式转变,网络中的小团体越来越多,网络稳定性得以加强。

长三角层面知识溢出网络的空间布局总体上呈现出三点一线特征(图3),即上海、南京、杭州三点及沪宁沿线城市为网络的核心区域。2000年区域内城市间知识溢出极为罕见,大部分的合作存在于城市内部;2004~2009年知识溢出的城市间网络逐步形成,相对于浙江省,上海与江苏省城市的

联系更为紧密,这种现象与浙江省大学和科研院所集中于杭州,而江苏省科研资源分布较为均匀有关。

3.3 不同空间尺度知识溢出的影响因素

知识主体在地理距离、认知距离、社会距离及组织距离等方面的落差导致了主体间产生知识溢出,但不同空间尺度上主导因素是有差异的。如前所述,2004年为知识溢出网络发展的拐点期,故选择2004和2009年为考察年度,定量分析4类距离对知识溢出的影响(这里以节点间的合作次数表征知识溢出)。

目前尚未有统一的度量各种距离的方法。本文中地理距离以知识溢出节点间的空间距离表示,国际、国家、区域层面网络节点的空间位置分别落实到首都、省会、市政府所在地。社会距离以节点在以往年份网络中的合作次数表示,即将2000~2009年分为2000~2004年、2005~2009年2个阶段,以2000~2003年、2005~2008年的合作次数分别表示2004年、2009年的社会距离(认知距离与

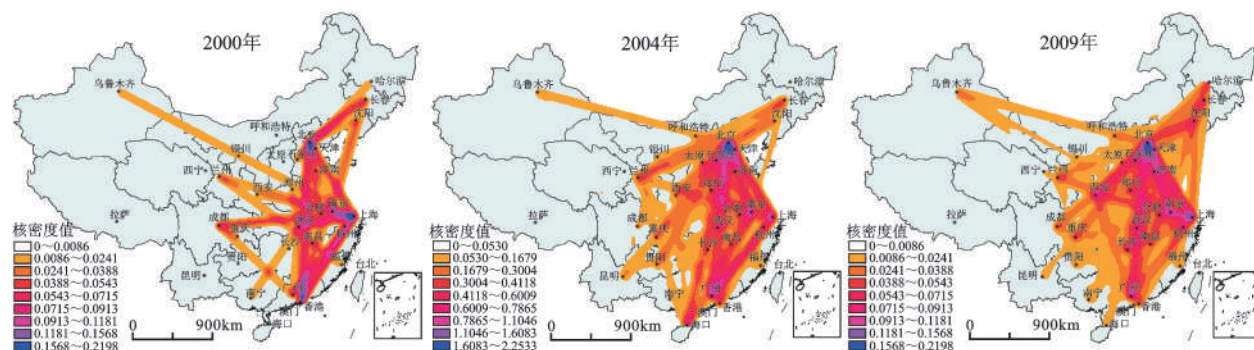


图2 国家层面知识溢出网络核密度

Fig.2 Kernel density of knowledge spillover network at national level

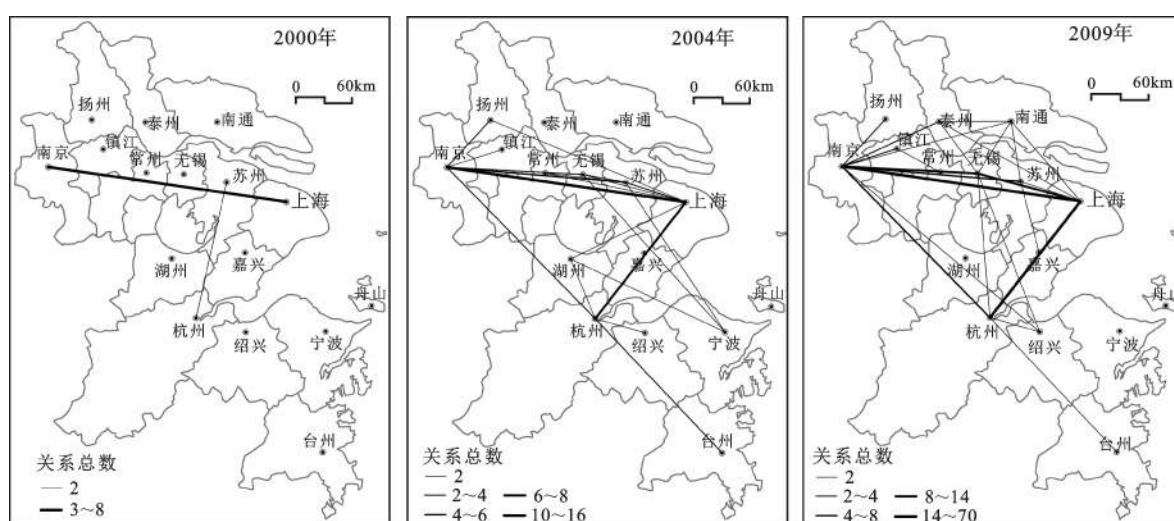


图3 长三角区域层面知识溢出网络空间分布

Fig.3 Spatial distribution of knowledge spillover network at the Yangtze Delta

组织距离的度量亦如此划分)。认知距离以节点在以往年份网络中的测地线距离(Geo-distance)表示,即连接2个节点的最短路径长度。组织距离以节点在以往年份网络中与同类型机构合作的次数表示,即将所有机构分为学术机构(大学、研究所)和非学术机构(企业、医院等),如果参与合作2个机构类型相同则为1,反之为0。表2为QAP^①(Quadratic Assignment Procedure,二次指派程序)^[31]分析后,2004年、2009年合作次数矩阵与2000~2003年、2005~2009年社会距离、地理距离、认知距离、组织距离矩阵的相关性, R^2 为以2004年、2009年合作次数矩阵为因变量,2000~2003年、2005~2009年社会距离、地理距离、认知距离、组织距离矩阵为自变量回归分析后的判定系数。

表2 合作次数与知识溢出影响因素相关性分析

Table 2 Correlation between influence factors of knowledge spillovers and cooperation times

三级层面	年份 (年)	社会 距离	地理 距离	认知 距离	组织 距离	R^2
国际层面	2004	0.985	0.366	-0.411	0.971	0.975
	2009	0.997	0.224	-0.225	0.997	0.995
国家层面	2004	0.838	0.527	-0.499	0.806	0.749
	2009	0.952	0.188	-0.338	0.931	0.908
区域层面	2004	0.917	0.761	-0.494	0.9	0.943
	2009	0.956	0.542	-0.302	0.957	0.920

国际层面上,知识溢出主要受到社会距离和组织距离影响。社会距离的影响表现为网络节点

① QAP是一种对2个方阵中各个格值的相似性进行比较的方法,即它对方阵的各个格值进行比较,给出2个矩阵之间的相关系数,同时对系数进行非参数检验。

的优先链接性,也就是说随着网络规模的增大,某些节点在网络中具备了一定的声誉和地位,其他节点在选择合作伙伴时会优先选择连接度较高的节点;组织距离的影响则表现在机构在选择合作对象时,倾向于选择与自己同类型的机构(以大学与大学之间的合作为主),这样可避免不同组织模式造成的摩擦。地理距离对国际层面合作的影响较小,且这种相关性呈下降趋势。

国家层面上,网络发展的初期,知识流动的通路较少,平均路径较长,知识的联系和流动往往发生在地理距离较近的节点,但随着网络发育的日益成熟,拓扑结构趋向稳定,知识得以广泛交流,地理距离的影响逐步减弱,社会距离和组织距离的影响得以加强。社会距离的影响表现为,北京、上海、广东等生物技术研究机构丰富的地区在网络中属于重要节点,塑造着网络的形态;组织距离的影响表现为非同城或同省区的节点间,由于有一定组织上、制度上的渊源而产生知识流动,例如高校之间、农林科技大学与农业科学院之间、中国科学院各分院之间、军医大学和军事医学科学院与解放军医院之间等,组织邻近能够减小不确定性和机会主义倾向。

区域层面上,亦主要受社会距离和组织距离的影响,不同的是地理距离在区域层面的作用远高于国际与国家层面,说明区域层面的知识溢出既遵循了等级扩散的规律,也体现了距离衰减的特点。首先,长三角的上海、南京、杭州属于生物技术知识基础雄厚的城市,三者间的知识联系十分紧密,但南京与杭州间的联系明显低于它们与上海的交流,这不仅与南京和杭州间交通距离较长有关,行政区划上的分割也起着一定的作用;第二,上海、南京、杭州生物技术研究机构间的同城合作现象明显,城市内的知识溢出远高于城市间的溢出;第三,交通时间距离短的沪宁沿线形成知识溢出密集带,并向扬州、泰州、嘉兴、绍兴等城市辐射。

认知距离在三级层面与知识溢出均呈负相关,即知识主体间的测地线距离越大,知识溢出的难度就越大。当然,除了本文给出的社会距离、地理距离、认知距离与组织距离之外,经济距离、需求差异等因素也可能影响知识溢出,而从回归分析的判定系数 R^2 看出,除2004年国家层面的判定系数为0.749之外,社会距离、地理距离、认知距离

与组织距离可解释90%以上不同层面知识溢出的影响。

4 结 论

区域经济联系一直是研究区域间相互作用的热点和着眼点。然而随着社会由工业经济向知识经济的转型,区域间知识联系的研究显得益发重要。本文以生物技术的知识溢出为例,从国际、国家和区域(长三角)3个层面,在探讨不同时空尺度上知识溢出网络拓扑和空间结构演变特征基础上,分析不同空间尺度知识溢出的影响因素。研究发现:① 从网络的拓扑结构来看,3个层面的网络规模逐年增加,密度呈波浪上升。国际层面的平均路径长度稳定在1.5~2之间;国家层面的平均路径长度下降1.19;区域层面的平均路径长度则在1~2.13间波动。② 从网络的空间结构来看,国际层面知识溢出具有明显的路径依赖性,中国知识溢出具有明显的优先链接对象;国家层面由最初的北京、上海、广州的三足鼎立结构逐渐向多边结构过渡;区域层面上海、南京、杭州及沪宁沿线城市是网络的核心区域。③ 社会距离与3个层面,尤其是国际层面知识溢出的相关性很高(0.838~0.997),说明3个层面上知识溢出均体现不同程度路径依赖和空间知识扩散的粘着性;地理距离对国际层面的影响较小,对国家与区域层面的影响较大;组织距离与知识溢出网络的高度相关表明知识在同类机构间合作要远多于非同类机构间的合作;认知距离在3个层面均呈负相关性,且负相关性有所下降,说明不同层面节点合作对象的多样性增加,网络的复杂性上升。通过回归分析的判定系数 R^2 可知,社会距离、地理距离、组织距离和认知距离可解释不同层面的知识溢出变化的90%以上(国家层面2004年为74.9%)。

本文研究结果可以丰富知识溢出的研究内容:首先在方法上,利用社会网络分析方法,从“关系”的角度,追溯知识溢出的痕迹,将社会学与地理学分析方法相结合,丰富了知识溢出的研究方法;其次是理论方面,从国际、国家和区域3个层面的多空间尺度的耦合探究知识溢出,证实知识溢出在跨行政边界和跨界间存在,且不同空间尺度知识溢出呈现出不同的特征;最后是影响机制上,借鉴传统的地理邻近,结合社会邻近、组织邻近和认知邻近4方面揭示多空间尺度知识溢出的发生

机制。研究结论为定量分析知识溢出及探究知识溢出机制提供参考。在未来研究中,将从更微观的角度(区域政策、制度、机构等)对知识溢出的影响机制进行分析,探究关键点(守门人、中心城市等)对网络结构的影响。

参考文献:

- [1] Breschi S, Lissoni F. Localised knowledge spillovers vs. innovative milieux: knowledge 'tacitness' reconsidered[J]. *Papers in Regional Science*, 2001, **80**(3): 255-273.
- [2] Boschma R A, Iammarino S. Related variety, trade linkages and regional growth[J]. *Economic Geography*, 2009, **85**: 289-311.
- [3] Barde S. Knowledge spillovers, black holes and the equilibrium location of vertically linked industries[J]. *Journal of Economic Geography*, 2010, **11**(3): 27-53.
- [4] Lucas R E. On the mechanics of economic development[J]. *Journal of Monetary Economics*, 1988, **12**: 3-42.
- [5] Duranton G. Urban evolution: the fast, the slow, and the still[J]. *American Economic Review*, 2007, **97**: 197-221.
- [6] 滕丽, 蔡砥, 吕拉昌. 经济一体化背景下的区域溢出分析[J]. *人文地理*, 2010, **22**(2): 116-119.
- [7] 滕丽, 蔡砥, 王铮. 区域知识溢出的计算分析[J]. *地理科学*, 2008, **28**(4): 478-482.
- [8] Rosenthal S S, Strange W C. Geography, industrial organization, and agglomeration[J]. *The Review of Economics and Statistics*, 2003, **85**(2): 377-393.
- [9] Parent O, Lesage J P. Using the variance structure of the conditional autoregressive spatial specification to model knowledge spillovers[J]. *Journal of Applied Econometrics*, 2008, **23**: 235-256.
- [10] Faria P D, Sofda W. Knowledge protection strategies of multinational firms — A cross-country comparison[J]. *Research Policy*, 2010, **38**(7): 956-968.
- [11] Audretsch D B, Feldman M P. Knowledge spillovers and the geography of innovation[C]//Henderson J V, Thisse J F. *Handbook of regional and urban economics*. Amsterdam: Elsevier, 2004.
- [12] McKelvey M, Alm H, Riccaboni M. Does co-location matter for formal knowledge collaboration in the Swedish biotechnology-pharmaceutical sector?[J]. *Research Policy*, 2003, **32**(3): 483-501.
- [13] Fisher M, Scherngell T, Jansenberger E. The geography of knowledge spillovers between high-technology firms in Europe[J]. *Geographical Analysis*, 2006, **38**(3): 288-309.
- [14] Ponds R, van Oort F G, Frenken K. The geographical and institutional proximity of research collaboration[J]. *Papers in Regional Science*, 2001, **86**(3): 423-443.
- [15] 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.
- [16] Glueckler J. Economic geography and the evolution of networks[J]. *Journal of Economic Geography*, 2007, **7**(5): 619-634.
- [17] 盛垒. 西方空间知识溢出研究进展探析与展望[J]. *外国经济与管理*, 2010, **32**(10): 2-9.
- [18] 马艳艳. 面向企业的大学知识溢出机制与效应研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2011.
- [19] Ter Wal A, Boschma R. Applying social network analysis in economic geography: framing some key analytic issues[J]. *The Annals of Regional Science*, 2009, **43**: 739-756.
- [20] Liefner I, Hennemann S. Structural holes and new dimensions of distance: the spatial configuration of the scientific knowledge network of China's optical technology sector[J]. *Environment and Planning A*, 2011, **43**(4): 810-829.
- [21] Hennemann S, Wang T, Liefner I. Measuring regional science networks in China: a comparison of international and domestic bibliographic data sources[J]. *Scientometrics*, 2011, **88**(2): 535-554.
- [22] Graf H. Inventor networks in emerging key technologies: information technology vs. semiconductors[J]. *Journal of Evolutionary Economics*, 2012, **22**: 459-480.
- [23] Feldman M P. Location and innovation: the new economic geography of innovation, spillovers, and agglomeration[C]//Clark G, Feldman M P, Gertler M. *Oxford handbook of economic geography*. Oxford: Oxford University Press, 2000.
- [24] 陈傲, 柳卸林, 程鹏. 空间知识溢出影响因素的作用机制[J]. *科学学研究*, 2011, **29**(6): 883-889.
- [25] Eriksson R H. Localized spillovers and knowledge flows: how does proximity influence the performance of plants?[J]. *Economic Geography*, 2011, **87**(2): 127-152.
- [26] Wang Y, Wu Y S, Pan Y T, Ma Z, Rousseau R. Scientific collaboration in China as reflected in co-authorship[J]. *Scientometrics*, 2005, **62**(2): 183-198.
- [27] 陈旭, 陶小马, 谭婧. 城市背景下的知识溢出研究述评[J]. *城市规划学刊*, 2011, (5): 48-54.
- [28] Ratchford J T, Blanpied W A. Paths to the future for science and technology in China, India and the United States[J]. *Technology in Society*, 2008, **30**: 211-233.
- [29] Zhang F Z, Cooke P, Wu F L. State-sponsored research and development: a case study of China's biotechnology[J]. *Regional Studies*, 2011, **45**(5): 575-595.
- [30] Ernst D. A new geography of knowledge in the electronics industry? Asia's role in global innovation network[R]. Honolulu: East-West Center, 2009.
- [31] Krackhardt D. QAP partialling as a test for spuriousness[J]. *Social Networks*, 1987, **9**(2): 171-186.

The Structural Characteristics of Knowledge Spillover Networks Based on Different Spatial and Temporal Scales

LI Dan-dan^{1,2}, WANG Tao³, ZHOU Hui⁴

(1. *Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China;*

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. School of Geography Science,

Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu 210023, China; 4. Liaocheng Municipal Bureau of

Land and Resources, Liaocheng, Shandong 252000, China)

Abstract: In recent years, there are some trends in the research field of geographical effect of knowledge spillovers, such as coupling of knowledge spillovers between various space scales, measuring the space track of knowledge spillovers, and exploration the mechanism of spatial knowledge spillovers. By using the metrology of tracking knowledge spillovers from Scientometrics, this article takes statistical data of the scientific papers published in cooperation about the biotechnology both in the database of Thompson R ISI Web of Knowledge (ISI) and Chinese Scientific and Technical Journals (Journal of Chongqing VIP) from 2000 to 2009 as data source. From the perspective of social network, using countries, provinces and cities as nodes, the knowledge spillover networks is constructed respectively at international, national and regional (the Yangtze Delta) levels. By using the Social Network Analysis (SNA) and the GIS spatial analysis method, this article analysis the topological and spatial structure characteristics of the knowledge spillover networks since 2000, and study the Influence factors of knowledge spillover effects from the perspective of geographic distance, cognitive distance, social distance and organization distance. The results show that: 1) The period of 2003-2004 is the turning period of the development of knowledge spillover network; 2) The networks are more like small-world networks at international and national level, but at the Yangtze Delta level, the characteristics of networks are closed to random network; 3) The spatial spillovers of knowledge are path dependence at international level, and mainly affected by the social distance and organizational distance; 4) At the national level, the spatial distribution of network present the trend from triangle form to diamond form. With the maturity of network, the influences of geographical distance gradually diminishing, on the contrary, the influences of social distance and organizational distance gradually strengthen; 5) At the regional level of the Yangtze Delta, the spatial distribution of network appears three point and one line features, and geographical distance plays a significant impact at the regional scale, which means knowledge spillovers not only follow the law of hierarchical diffusion, but also reflect the characteristics of distance decay.

Key words: knowledge spillover; social network; scientometrics; innovation policy