

我国生物科技知识网络结构演化影响因素研究

王贝贝^{1,2}, 汪涛¹

(1.南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210023; 2.北京国脉互联信息顾问有限公司, 中国 上海 201203)

摘要: 利用国际 ISI 数据库中 2000-2010 年我国学者发表于生物科技领域的合著论文为数据源, 将社会网络分析和地理空间分析相结合, 剖析了知识网络结构演化的空间特点以及影响因素。结果表明: 我国生物科技知识网络结构的区域差异性逐渐缩小, 西部城市逐渐参与到知识交流中; 优先连接和网络闭合机制均会促使节点结网, 这在后期阶段尤其显著; 组织邻近性是影响知识合作对象选择的最主要因素, 社会邻近性次之, 而地理邻近性作用微弱且不断下降, 地理因子在认知邻近性和科学合作之间起到了显著的正向调节作用。

关键词: 知识网络结构; 演化; 影响因素; 生物科技

中图分类号: Q81 **文献标识码:** A

1 引言

随着知识经济时代的到来, 知识网络在知识交流、创新等方面的作用越来越受到西方国家政府和学术界的关注, 对其演化研究成为一个热点。国外学者主要从节点属性、结构效应和邻近性角度分析影响知识网络结构演化的因素, 其中节点属性指的是网络中节点的个体特征, 包括规模、经验、认知能力^①等。Boschma & Ter Wal 对意大利巴列塔鞋类产业的知识网络做了研究, 发现组织的规模影响到他们在网络中的位置^[1]; Giuliani^[2]则发现了认知能力的门槛效应, 即, 只有当机构的认知能力达到某一临界值时, 才会产生新联系。结构效应主要解释目前的网络结构是如何影响其未来发展的, 其中最重要的是闭合机制^②和优先连接机制^③。Giuliani 分析了智利啤酒集群网络结构演化, 结果显示网络闭合机制是重要驱动力^[错误!未定义书签。]; Ter Wal 研究发现, 闭合机制在产业生命周期中的作用越来越大^[3]。学者们对邻近性的数量和概念还没有达成共识, 使用较多的是 Boschma^[4]的划分方法, 分为认知邻近性、地理邻近性、社会邻近性、组织邻近性和制度邻近性五类。基于多维邻近性研究知识网络结构演化, 将经济地理学理论视角拓展到制度、文化、关系等方向, 也是该学科理论发展的必然趋势。

收稿日期: 2015-01-05;

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41471103); ISTIC-Thomson Reuters 科学计量学联合实验室开放基金 (IT2012003); 国家软科学项目 (2013GXS4D116)

作者简介: 王贝贝 (1988-), 女, 山东泰安人, 南京师范大学硕士研究生。

通讯作者: 汪涛 (1970-), 女, 安徽池州人, 南京师范大学教授。

① 认知能力指的是节点在吸收、理解和挖掘外部知识方面的能力。

② 假设有三个节点 A, B, C。A 与 B, B 与 C 都有联系, A 与 C 无联系, 这时形成了未闭合三角形。随着时间演化, 在共同合作者 B 的作用下, 这样的三角形倾向于闭合, 称为网络闭合机制。

③ 优先连接指的是新进入的节点倾向于同高连接度节点合作。

Audretsch & Feldman 对英国创新活动所做的实证研究发现, 随着产业生命周期中隐性知识的重要性下降, 地理邻近性的作用也在逐渐降低^[5], Ter wal 对德国生物科技知识网络演化的研究证实了这一观点^[6]; Balland 的研究发现组织邻近性的正向作用随时间逐渐地降低^[7], 可能是因为随着时间推移, 企业集团倾向于多样化; 认知邻近性在知识交流和创新过程中变得越来越大, 甚至有研究指出在所有邻近性维度中, 认知邻近性的作用最大^[8], 且随时间逐渐增强^[7]。

国内学者对知识网络结构演化的研究更多地集中于模型模拟和理论阐述, 其中模型模拟大多是物理学和系统动力学领域的专家, 采用基于多智能体或系统动力学的仿真方法, 基于优先连接机制进行模拟分析。利用理论阐述知识网络结构演化的大致集中在社会学领域, 基于耗散结构理论^[9]、扎根理论^[10]等进行理论探讨。当然也有学者开始关注邻近性在促进知识网络结构演化中的作用, 这一部分研究中更多地是关注地理因子的作用, 汪涛等对南京化工知识网络的分析发现知识流动在区域层面上既遵循了等级扩散的规律, 也体现了距离衰减的特点^[11]; 梁立明等以 985 高校为研究对象, 在大区、省份、城市的层面上分析了其合作模式, 结果发现了极强的同省、同城倾向^[12]。也有学者从其他的邻近性视角进行研究, 刘宏鲲等提出了共同邻居数目、第三产业产值、人口、地理、GDP 四种邻近性, 实证研究了其对我国城市航空网络形成的影响^[13]。总的来说, 目前国内学者在知识网络演化的研究方面, 还存在以下的不足: (1)在方法层面, 大多是使用模型模拟的方法, 但没有实证检验。(2) 基于多维邻近性解释知识网络结构演化的较少, 且仅限于对地理因子作用进行静态分析。

鉴于此, 本文以国际 ISI 数据库中 2000-2010 年我国学者发表于生物科技领域的合著论文为数据源, 采用社会网络分析软件 UCINET 和地理信息系统软件 ArcGis, 结合社会学和地理学的相关理论, 分析了我国生物科技知识网络空间结构演化特征及规律, 同时从网络结构和邻近性角度分析了影响知识网络结构演化的因素, 以期丰富我国区域间知识网络演化研究, 同时也为推动我国区域科技协调发展提供相关政策参考。

2 数据处理与研究方法

2.1 数据来源与处理

在国际 ISI 数据库中提取出 2000-2010 年我国学者发表于生物科技领域的合著论文, 紧接着对数据做如下处理:

(1) 提取出每一篇文章中的机构: 隶属于同一大学, 且处于同一城市的学院视为同一机构; 大学和它的附属医院视为不同的机构; 处于不同城市的同一大学为不同的机构, 用它们所在城市区分; 科研院所(如中科院)的二级分支单位视为不同的机构。

(2) 提取出每篇文章中机构所在地级及以上城市, 出现在县级市的机构将其整合到所隶属的低级市中。

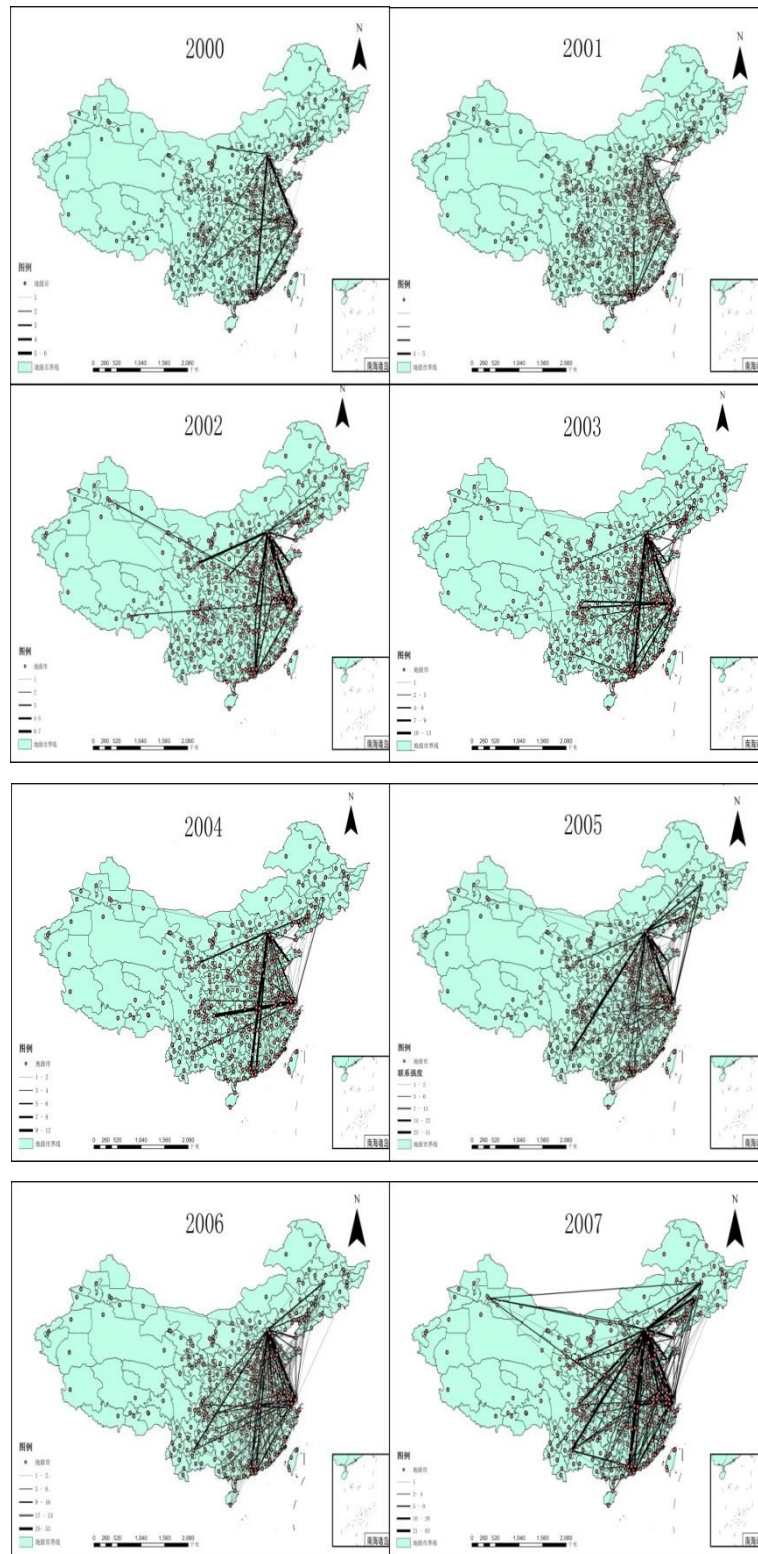
(3) 利用 C++编程和 UCINET 软件生成合作矩阵, 该矩阵为对称矩阵, 本研究不考虑同城合作, 故对角线上的数值为 0。

2.2 研究方法与步骤

社会网络分析方法不仅能解释各种虚拟网络的微观结构和内在关系, 在探究整体网络的地理特征和空间效应研究中亦有广泛的用处^[14], 应用该方法可以直观地观察到我国城际知识网络中各节点之间的相互关系以及知识网络的空间属性等。本文的研究思路如下: 首先, 构造我国城际知识网络数据, 结合地理空间分析方法, 将社会网络关系可视化, 并概括出我国城际知识网络结构演化的空间特点; 其次, 分别从网络结构效应和多维邻近性角度探析影响知识网络结构演化的因素及其变化机制, 并得出相关结论。

3 知识网络结构空间演化特征

利用 ArcGIS9.2 软件中的空间分析功能分析各城市间的联系, 作出知识网络结构空间演化图 (图 1), 图中线的粗细表示联系强度, 线越粗, 联系越强。



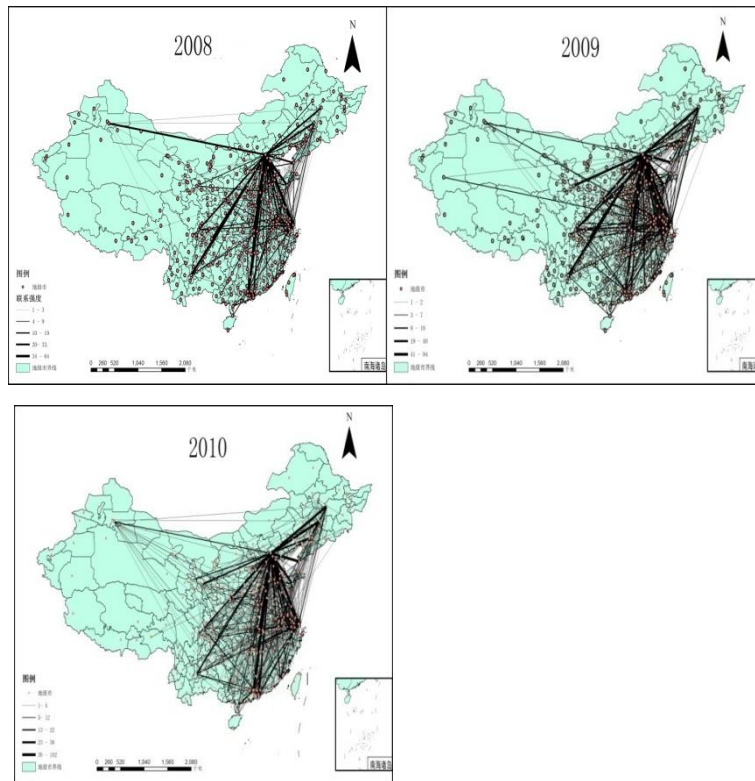


图 1 2000-2010 年生物科技知识网络结构空间演化进程

从上图可以发现：2000-2003 年生物科技知识网络呈现由三个核心节点——上海、北京和广州所组成的三角形结构，联系主要集中在东部沿海；从 2004 年开始出现区域中心，三角形结构逐步向西部延伸，到 2006 年形成了明显的“个”字结构，三个主线分别是北京-上海、北京-广州、北京-昆明。2007-2008 年知识网络进一步稠密化，成都、哈尔滨同北京的联系增强，成长为网络的两大主轴。2009-2010 年全国知识网络形成了较明显的“四棱锥”结构，顶点是北京市，底面的四个顶点是上海、广州、成都、昆明，结构内部联系错综复杂，此外，兰州与北京的联系得到加强，也成为一大轴线，至此网络中共有六大主轴。几大中心开始发挥辐射带动作用，每个主轴的两端向外都有许多辐射，形成了类似“车轮”的模式。根据“车轮”的范围大小，将 6 大主轴分为强轴和弱轴两大类：北京-上海、北京-广州、北京-哈尔滨强力辐射全国，为强轴；北京-兰州、北京-成都、北京-昆明的辐射力有限，主要的辐射方向是中部和东部，对西部地区的带动作用不足，为弱轴。

综上所述，随着时间推移，生物科技知识网络中东西部差异不断改善，西部城市参与合作的次数逐渐增加；区域次级中心城市逐渐形成，这些城市将会充当所在区域的知识守门人，拓宽知识流通的渠道；知识网络结构经历了从“三角形”向“个”字型，最终形成“四棱锥”结构的转变过程，几大强轴向其他地区的扩散消弱了区域间发展的不平衡，为加速知识的转移提供了机会，有利于实现区域的均衡发展，缩小区域差距。

4 知识网络结构演化的影响因素分析

基于以上对知识网络空间结构的演化研究，存在以下几个值得深入研究的问题：推动我国生物科技知识网络不断演化的驱动力是什么？影响节点知识合作对象的主要因素是什么？理清这些问题将有助于我们理解我国生物科技知识网络形成和演化的内在机理，为促进区域科技协调发展提供政策建议。

4.1 节点结网的驱动力分析

网络发展的主要动力来自于节点之间关系的建立,而节点间结网一般包含两种方式:一种是原有关系的强化,另一种是原有节点与其他节点之间形成的新关系,而后一种方式是推动网络不断复杂化和成熟化的关键因素^[14]。

4.1.1 优先连接机制

根据图1中所显示的节点和边数,将研究年份前一年的节点依据其联系总数分为10组,然后再计算新联系在每一组的分配比例,以解释优先连接机制在网络演化中的作用。表1中列出了2002-2003年,2004-2005年,2007-2008年,2009-2010年四个时段的分析结果。

表 1 知识网络演化中优先连接机制检验

分组	2002-2003 年	2004-2005 年	2007-2008 年	2009-2010 年
0—10	0.74	0.33	0.23	0.22
10—20	—	—	0.07	0.05
20—30	0.02	0.17	0.06	0.10
30—40	0.00	0.03	0.07	0.06
40—50	0.14	0.00	0.07	0.03
50—60	0.00	0.00	0.03	0.06
60—70	0.00	0.00	0.04	0.04
70—80	0.00	0.00	0.06	0.00
80—90	0.13	0.00	0.00	0.00
90—100	0.00	0.10	0.04	0.00
>100	0.00	0.38	0.33	0.44

注: —表示该分组中的节点联系总数是降低的,其值为负。

2002-2003年,74%的新联系分布在0-10这一组节点中,此后,这一比例逐渐下降,到2010年降至22%;与此同时,分布在高连接度节点中的新联系逐渐增加,以>100这一组为例,2003年该组没有新联系产生,到2010年分布比例达到44%,相当于0-10这一组比例值的2倍。这说明,网络刚形成时,优先连接机制作用不大,这可能与刚开始的网络规模较小有关,网络中节点的连接度普遍较低。随着网络规模的逐渐增大,某些节点已经具备了一定的声誉和地位,这时优先连接机制开始发挥作用,新进驻节点在寻求合作伙伴时,会优先选择连接度较高的节点,以降低交易成本和风险性。

4.1.2 网络闭合机制

网络闭合其实就是节点对在网络中的距离由2变成1的过程^④,为了验证该机制在节点成网中的作用,本文除构建出研究年份的知识网络外,还构建出前五年的知识网络^⑤,利用

^④ 两节点在网络中的距离是指它们联系所经过的最短的路径长度,距离为1说明两节点直接联系,距离为2说明两节点联系的最短路径只需通过一个节点。

^⑤ 之所以选择五年是因为:选择的时间跨度不能太小,这样可能会丧失一些重要信息,并且带有一定的偶然因素;同时跨度又不能太大,会涵盖过时的合作信息。

Ucinet软件分别计算出这两个网络中共有的城市对之间的距离, 观察其从前五年到研究年份的变化情况。结果如表2所示, 表的第一行是指距离从2变成1的联系占有新联系的比例, 第二行表示由距离大于2变成1的比例。

表 2 网络闭合机制分析

距离变化	2000	2001	2002	2003	2004	2006	2007	2008	2009	2010
2—1	0.26	0.56	0.83	0.96	0.84	0.97	0.66	0.92	0.93	0.96
>2-1	0.74	0.44	0.17	0.04	0.16	0.03	0.37	0.08	0.07	0.04

注: 2005年无新联系产生

表 3 前五年知识网络的平均路径

前五年时间段	网络平均路径	研究年份
1995-1999	3.8	2000
1996-2000	3.2	2001
1997-2001	2.6	2002
1998-2002	2.5	2003
1999-2003	2.5	2004
2000-2004	2.5	2005
2001-2005	2.5	2006
2002-2006	2.4	2007
2003-2007	2.3	2008
2004-2008	2.4	2009
2005-2009	2.4	2010

2000年网络闭合机制作用并不显著, 在表格中表现为第二行的比例远远大于第一行的比例, 而自2001年起, 网络闭合机制逐渐显现出来, 尤其是2002-2010年, 在网络闭合机制下形成的联系均占到了新联系的80%以上, 俨然已成为促使节点结网的重要驱动力。

表3列出了研究年份前五年的知识网络平均路径^⑥变化。对比表2和表3可发现, 网络闭合机制作用大小同前五年网络的平均路径密切相关, 具体关系为网络平均路径越大, 闭合机制在新联系形成中的作用越小。如: 2000年仅有26%的新联系是由原网络中距离为2的节点对形成的, 与此同时, 1994-1999年知识网络的平均路径为最大值3.8, 即网络中两节点联系平均要经过3.8个路径长度; 2001年距离由2变成1的联系比例为56%, 在所有年份中排名倒数第二, 相应地, 1995-2000年知识网络的平均路径为3.2, 仅次于2000年; 自2002年起闭合机制作用一直较大且稳定, 对应的前五年知识网络的平均路径有所下降, 稳定维持在2.3-2.6之间。出现这种关系的原因在于: 距离为2的节点之间有一个或几个共同合作者, 这些共同合作者充当了中介人, 可为两节点提供彼此的信息以减少不确定性和不信任性, 前五年知识网络的平均路径越小, 表明网络越紧密, 节点之间互通消息的速度越快, 故距离为2

^⑥ 网络平均路径是指网络中所有节点对之间最短路径长度的平均值。

的节点对可以更快更全面地掌握对方信息，在下一年直接联系的可能性越大。

4.2 知识合作对象选择的影响因素

4.2.1 多维邻近性的衡量方法

网络中节点之间的邻近性是影响知识合作关系选择和建立的重要因素之一。一般来说，邻近性效应包括地理邻近性、认知邻近性、社会邻近性、组织邻近性、认知邻近性等。由于本文研究我国内部的合作，认为所有的机构之间制度邻近，故不考虑制度邻近性。鉴于相关文献的梳理和特定的研究区域，我们对影响我国城际知识合作对象选择的主要因素进行了假设，即认为地理邻近性、认知邻近性、社会邻近性、组织邻近性是影响其知识合作选择的主要因素。采用以下方法对四种维度的邻近性进行衡量：

(1) 地理邻近性。地理邻近性是城市在地理空间上的接近程度。本文利用 ArcGis 中的 point distance 功能生成每两个城市之间的空间距离，并利用公式 1 求解地理邻近性，求出的数值从 0 到 1 变动，同城的邻近性为 1，距离最远的城市之间的邻近性为 0。

$$\text{Geoprox}=1-\ln(d_{ij})/\ln(\text{MAX}_{d_{ij}}+1) \quad (\text{公式 1})$$

公式 1 中， d_{ij} 为 ArcGis 软件计算出的城市 i 和城市 j 之间的距离， $\text{MAX}_{d_{ij}}$ 为所有城市对之间的最大距离，之所以取对数是考虑到随着地理距离的增大，旅行成本的增长率在减少。同时由于同城距离为 0，为了避免对 0 取对数，将所有距离都加 1。

(2) 社会邻近性。社会邻近性指的是城市之间人员的交流互动程度。本文对社会邻近性的衡量类似于网络闭合机制，正如 Boschma & Frenken 所说，社会邻近性在促使网络关系形成中起作用的主要方式是“闭合”^[15]。本文借鉴 Breschi & Lissoni 的方法，构建过去五年的节点知识网络，以两节点间最短距离的倒数来衡量社会邻近性^[16]。数值从 0 到 1 变化，前五年知识网络中没有出现过的城市对的社会邻近性为 0，有过直接联系的城市对的社会邻近性为 1。

(3) 认知邻近性。要衡量认知邻近性，先度量认知距离，本文从知识基础差异性和知识储量差异性两方面来衡量。

1) 知识基础差异性：将所有论文的 WOS 学科分类号提取出来，构建代表每个城市的论文在所有学科分类中分布情况的“学科向量”，每两个向量之间的差异性即是知识基础差异性。

2) 知识储量差异性：

$$G_{ij} = |\ln(N_i/N_j)| \quad (\text{公式 2})$$

其中， G_{ij} 代表城市 i 和城市 j 在知识存储量上的差异性， N_i 代表城市 i 所发表的论文总量（包括合著和独著）， N_j 代表城市 j 所发表的论文总量， $||$ 表示求绝对值。

3) 认知距离：知识基础的差异性加上知识存储量的差异性。

4) 认知邻近性：

$$\text{Cogprox}=1-(\text{认知距离}/\text{MAX}) \quad (\text{公式 3})$$

MAX 为最大认知距离。所生成的认知矩阵数值从 0 到 1 变动，认知邻近性为 1 说明两城市在认知上极其相似，数值为 0 说明两城市认知上较远。

(4) 组织邻近性。本文在机构层次上定义了组织邻近性，若两个机构同属于一个组织，

就认为他们组织邻近, 如: 中国科学院的不同所, 大学及其附属医院等。

组织邻近性计算公式为:

$$\text{Orgprox} = A_{ij} / \text{MAX}_{A_{ij}} \quad (\text{公式 4})$$

其中, A_{ij} 指的是城市 i 和城市 j 之间属于同一组织的机构对数, $\text{MAX}_{A_{ij}}$ 为 A_{ij} 的最大值。

4.2.2 QAP 多元回归分析

社会关系是社会网络研究的核心内容之一, 在研究节点之间关系的时候, 需要特定的方法, QAP 就是方法之一。在 Ucinet 中, QAP 是一类关系-关系层次的假设检验, 它包含三类: (1) 矩阵相关分析(QAP correlation); (2) 矩阵关系列联表分析(QAP relational Crosstabs); (3) 矩阵回归分析(QAP regression)。本文主要利用了 QAP 回归分析。

基于最小二乘法(OLS)的多元回归要求各变量相互独立, 并不适用于对矩阵形式的关系数据进行统计分析, 原因在于矩阵中存在结构性的自相关会使基于 OLS 的多元回归方法的变量显著性检验失效^[17]。与 OLS 回归不同, QAP 多元回归是一种非参数检验。在回归过程中, 由于矩阵数据的结构性自相关, OLS 会有统计偏误, 其误差程度与自相关程度有关, 而 QAP 方法的统计结果则相对无偏。QAP 多元回归的目的在于研究多个矩阵和一个矩阵之间的回归关系, 且对判定系数 R^2 的显著性进行评价。在具体计算中要经过两步。首先, 针对自变量矩阵和因变量矩阵对应的长向量元素进行常规的多元回归分析; 其次, 对因变量矩阵的各行和各列进行随机置换, 然后重新计算回归, 保存所有的系数值以及判定系数 R^2 值, 重复这个步骤几百次, 以便估计统计量的标准误。

现有的文献通常只关注某个邻近性的作用, 或者假设各邻近性之间相互独立。然而, 各维度的邻近性之间可以相互替代或补充。如, Agrawal et al 发现距离较远的公司之间传播知识主要依靠那些具有相同工作经历的员工(社会邻近性高)^[18]。Singh 以专利数据为研究对象, 发现地理邻近性对于建立跨学科之间的(认知邻近性低)合作关系尤为重要, 然而, 工作在相同领域的发明者(认知邻近性高)之间进行合作的平均地理距离较大^[19]。本文侧重于研究地理邻近性同认知邻近性之间的相互关系, 为了深入考察地理因子是否具有调节效应, 将地理距离每隔 100km 划分为一个等级, 同时还将地理等级同认知邻近性的交互项作为自变量纳入 QAP 回归模型中, 多元回归方程为:

$$\text{CopM} = \alpha_1 + \beta_1 \text{SocialM} + \beta_2 \text{CogM} + \beta_3 \text{GeoM} + \beta_4 \text{OrgM} + \beta_5 \text{Geo} * \text{CogM} + \mu_1 \quad (\text{公式 5})$$

其中: CopM 为因变量——合作矩阵; SocialM、CogM、GeoM、OrgM 分别为自变量社会邻近性矩阵、认知邻近性矩阵、地理邻近性矩阵和组织邻近性矩阵; Geo*CogM 是地理等级和认知邻近性的交互项; α_1 为截距项, 反映不随时间和个体变化的因素; β_1 - β_5 为自变量的系数, 表明在其他自变量保持不变的情况下该自变量对因变量的影响; μ_1 为误差项, 表示与自变量无关的其他因素造成的影响。

根据公式 5, 对矩阵数据进行分析, 经 2000 次置换, 得到回归结果表 4。模型一是四种邻近性对合作强度的主效应模型, 模型二是包含交互项的全效应模型。

表 4 QAP 多元回归分析结果

变量	2000		2001		2002		2003	
	模型一 系数	模型二 系数	模型一 系数	模型二 系数	模型一 系数	模型二 系数	模型一 系数	模型二 系数
截距	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
社会邻近性	0.18***	0.18***	0.27***	0.28***	0.15***	0.16***	0.16***	0.16***
认知邻近性	0.07*	0.04	0.02	-0.01	-0.03	-0.07	-0.03	(-0.07)*
地理邻近性	0.08*	0.12*	0.15***	0.19**	0.05	0.12**	0.08***	0.15***
组织邻近性	0.35***	0.35***	0.28***	0.28***	0.49***	0.49***	0.34***	0.35***
地理等级*认知邻		0.05		0.06		0.10		0.09*
R-square	0.20	0.20	0.23	0.23	0.32	0.32	0.19	0.20
Adj R-Sqr	0.20	0.20	0.23	0.23	0.32	0.32	0.19	0.19

表 4 (续) QAP 多元回归分析结果

变量	2004		2005		2006		2007	
	模型一 系数	模型二 系数	模型一 系数	模型二 系数	模型一 系数	模型二 系数	模型一 系数	模型二 系数
截距	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
社会邻近性	0.16***	0.16***	0.29***	0.29***	0.09***	0.09***	0.05***	0.05***
认知邻近性	-0.02	-0.02	0.06***	0.04**	0.01	0.00	0.01	-0.01
地理邻近性	0.07***	0.08**	0.04***	0.1***	0.06***	0.01***	0.05***	0.11***
组织邻近性	0.47***	0.47***	0.56***	0.56***	0.67***	0.67***	0.74***	0.74***
地理等级*认知邻		0.01		0.07**		0.04		0.07**
R-square	0.30	0.30	0.48	0.48	0.48	0.48	0.56	0.56
Adj R-Sqr	0.30	0.30	0.48	0.48	0.48	0.48	0.56	0.56

变量	2008		2009		2010	
	模型一 系数	模型二 系数	模型一 系数	模型二 系数	模型一 系数	模型二 系数
截距	0	0	0	0	0	0
社会邻近性	0.13***	0.13***	0.08***	0.08***	0.13***	0.13***
认知邻近性	(-0.02)**	(-0.02)**	0	-0.01	-0.01	(-0.02)*
地理邻近性	0.06***	0.05***	0.05***	0.08***	0.04***	0.06***
组织邻近性	0.72***	0.72***	0.75***	0.75***	0.74***	0.74***
地理等级*认知邻		-0.01		0.04**		0.03**
R-square	0.59	0.59	0.59	0.59	0.61	0.61
Adj R-Sqr	0.59	0.59	0.59	0.59	0.61	0.61

注：***表示通过1%水平的检验，**表示通过5%水平的检验，*表示通过10%水平的检验

从模型一可以看出, 拟合度在不断提升, 2000 年调整的决定系数(Adj R-Sqr)为 0.20, 2005 年该值升为 0.48, 到 2010 年四个邻近性矩阵可以解释合作矩阵变异的 61%。除 2002 年外, 其余年份的地理邻近性均在 $p < 0.01$ 的水平上对节点合作起到显著促进作用, 这说明地理并没有死亡, 地理邻近性在促进合作方面还发挥重要作用, 对论文合作而言, 由于涉及到研究的思想、方法、实验数据、试验结果的交流, 面对面交流对合作效果的影响最佳^[20]。组织邻近性的回归系数一直为正且显著, 一方面是由于拥有共同的组织文化, 沟通较为方便, 另一方面在于人员的流动较频繁。社会邻近性一直在 $p < 0.01$ 的水平上起到显著正作用, 这是由于节点之间的社会邻近性越大, 表明它们在先前网络中的距离较小, 可以通过较短的路径相互联系, 彼此更为了解, 因此合作的可能性也较大。认知邻近性的作用并不显著, 仅在 2000、2005 和 2008 年显著性水平小于 0.1, 其作用系数分别为 0.07、0.06、-0.02。

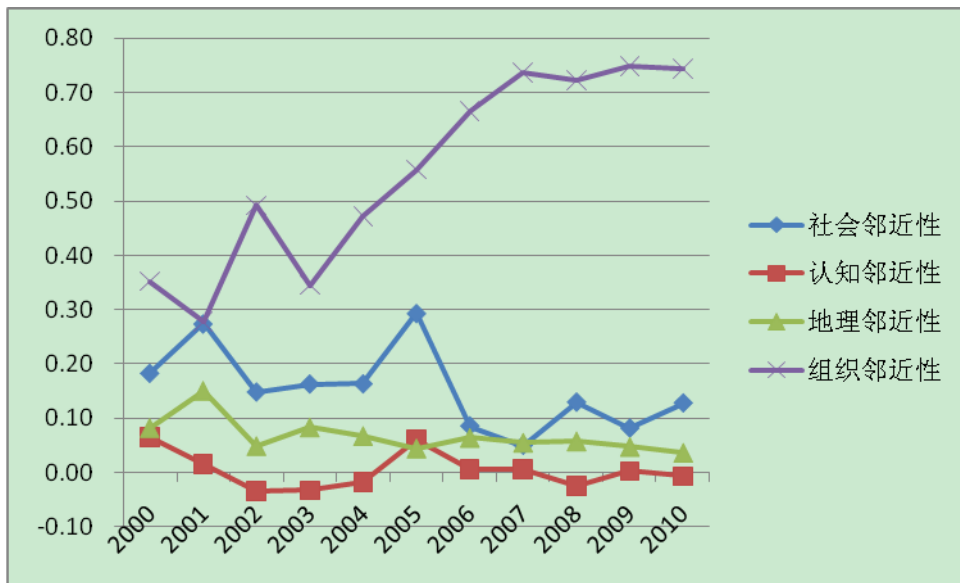


图 2 邻近性作用变化趋势

比较四种邻近性作用的大小可发现, 组织邻近性作用力最大, 其次为社会邻近性, 地理邻近性作用排名第三。动态来看, 从 2003 年开始组织邻近性作用一直呈现上升趋势, 2003-2007 年增速最快, 增长了将近 1.2 倍, 此后趋于平缓, 维持在 0.75 左右。社会邻近性作用变化较复杂, 除 2001 和 2005 年作用力较大外, 其余年份基本维持在 0.10-0.30 之间。地理邻近性作用总体处于下降趋势, 由 2001 年最大值 0.15 降至 2004 年的 0.07, 此后基本维持在 0.04-0.06, 这是由于不同区域之间的合作成本非常高, 及时性也不强, 而信息技术和通讯手段的发达使得合作交流对地理邻近性的依赖性逐步下降, 人们可利用可视电话会议、电子邮件等方式随时沟通联系, 同时, 生物科技知识的不断编码化也使得地理邻近性作用有所下降。

从模型二来看, 地理等级对认知邻近性的正向调节作用从 2005 年开始显著, 具体关系如下图所示:

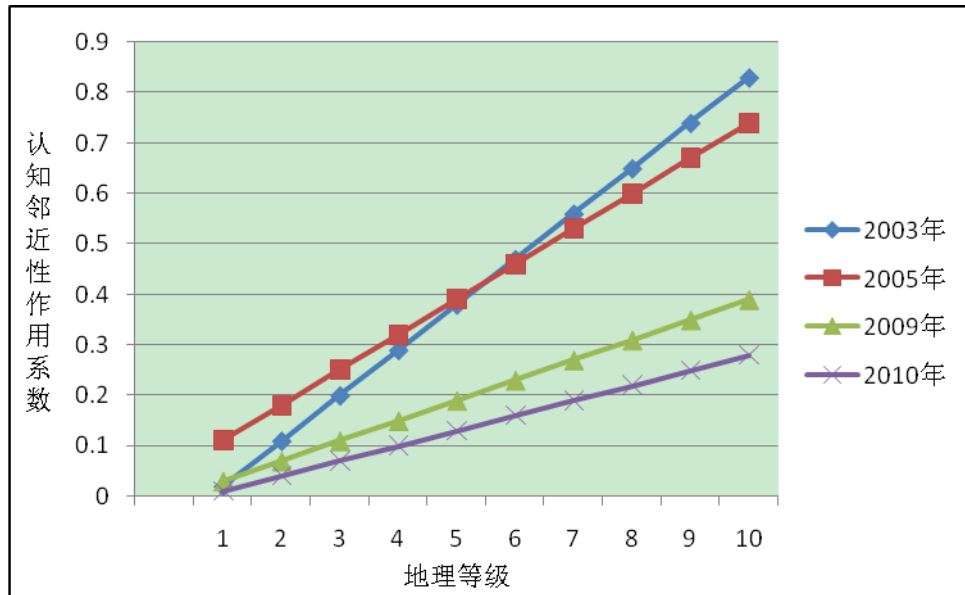


图 3 认知邻近性作用随地理等级的变化

地理等级为 0 即是同城，本文的研究不考虑同城合作。当地理等级较低时，认知邻近性对科学合作仅起到了微弱的促进作用。随着地理等级的升高，认知邻近对合作的正向影响呈上升趋势，此时认知邻近性在节点选择合作对象时格外重要，节点倾向于选择同自己知识基础等方面极其相似的节点合作以弥补地理邻近性的缺失，这说明地理邻近性和认知邻近性之间为相互补充关系。该分析所具有的政策含义是企业在选择合作对象时，不应只寻求本地内的合作者，更应关注机构的组织、认知背景，长距离合作时候，尽量选取认知上邻近的机构合作。

5 结论

5.1 我国生物科技知识网络结构的时空差异性在逐渐缩小

生物科技知识网络早期阶段的“三角形”结构主要是由东部城市的紧密合作形成的，此时知识网络结构的时空差异性较大。随着时间演化，这种差异性逐渐缩小。自 2004 年以来越来越多的西部城市参与到知识网络中，几大强轴也开始发挥辐射带动作用，中后期阶段网络的“个”字型和“四棱锥”结构均将拥有联系较多的西部城市纳入其中。

5.2 优先连接和网络闭合机制均会促使节点结网

在知识网络的早期阶段，由于网络规模过小，优先连接机制作用有限，随着时间演化，某些节点的连接度逐步提升，从而成为其他节点优先选择的合作对象。网络闭合作用大小与先前知识网络的平均路径长度密切相关，随着先前知识网络的平均路径逐步下降，闭合机制成为节点结网的重要驱动力。

5.3 多维邻近性对知识网络结构演化起到不同作用

近年来，随着产业集群理论取得了巨大的成功，“地理邻近”的作用也得到了西方国家以及我国的一致认可。政府在布局高科技产业园区时，过度重视地理邻近性的作用，“空间集聚”、“提高高科技园区内科研单位密度”已经成为政府部门空间决策的“基本惯例”。而本文的研究则表明：地理邻近性在科学合作中所起作用较小且不断下降，而社会邻近性和组织邻近性的作用较大；当地理距离较远时，认知邻近性的作用格外重要，可以弥补地理邻近性的缺失。所以，政府部门在制定相关决策时，不仅应考虑到制定促进“地理邻近”的措施，更应该

重视促进科研单位间“组织、社会邻近”的措施, 要积极引导企业有针对性地寻求合作伙伴, 提高合作成功的概率。

参考文献

- [1] BOSCHMA R.A, TER WAL A.L.J. Knowledge networks and innovative performance in an industrial district: The case of a footwear district in the south of Italy[J]. *Industry & Innovation*, 2007, 14(2):177-199.
- [2] GIULIANI E. Network dynamics in regional clusters: The perspective of an emerging economy[J]. *Papers in Evolutionary Economic Geography*, 2010, (10): 1-14.
- [3] TER WAL A, BOSCHMA R. Co-evolution of firms, industries and networks in space[J]. *Regional Studies*, 2011, 45(7): 919-933.
- [4] BOSCHMA R A. Proximity and innovation: A critical assessment[J]. *Regional Studies*, 2005, 39(1): 61-74.
- [5] AUDRETSCH D.B, FELDMAN M. R&D spillovers and the geography of innovation and production[J]. *American Economic Review*, 1996, 86(3): 630-640.
- [6] TER WAL A, BOSCHMA R. Co-evolution of firms, industries and networks in space[J]. *Regional Studies*, 2011, 45(7): 919-933.
- [7] BALLAND P A, DE VAAN M, BOSCHMA R. The dynamics of interfirm networks along the industry life cycle: The case of the global video game industry, 1987–2007[J]. *Journal of Economic Geography*, 2013, 13(5): 741-765.
- [8] MARROCU E, PACI R, USAI S. Proximity, networks and knowledge production in Europe[J]. *Networks and Knowledge Production in Europe*, 2011, 11(1):1-22.
- [9] 郝云宏, 李文博. 基于耗散结构理论视角的企业知识网络演化机制探析[J]. *商业经济与管理*, 2009, 4: 23-28.
- [10] 李文博, 林云, 张永胜. 集群情景下企业知识网络演化的关键影响因素-基于扎根理论的一项探索性研究[J]. *研究与发展管理*, 2011, 23(6): 17-24.
- [11] 汪涛, 任瑞芳, 曾刚. 知识网络结构特征及其对知识流动的影响[J]. *科学学与科学技术管理*, 2010, 31(005): 150-155.
- [12] 梁立明, 沙德春. 985 高校校际科学合作的强地域倾向[J]. *科学学与科学技术管理*, 2008, 11: 112-116.
- [13] 刘宏鲲, 吕琳媛, 周涛. 利用链路预测推断网络演化机制[J]. *中国科学:物理学 力学 天文学*, 2011, 41(7): 816-823.
- [14] 胡晓辉, 杜德斌, 龚利. 长三角区域知识合作网络演化的空间特征[J]. *地域研究与开发*, 2012, 31(6): 22-27.
- [15] BOSCHMA R, FRENKEN K. The spatial evolution of innovation networks: a proximity perspective[M]. *The Handbook of Evolutionary Economic Geography*, 2009.
- [16] BRENCHI S, LISSONI F. Mobility and social networks: localised knowledge spillovers revisited[A].

Milan: University Bocconi, CESPRI Working Paper, 2003 (142).

[17] 向希尧, 蔡虹, 裴云龙. 跨国专利合作网络中 3 种接近性的作用[J]. 管理科学, 2010, 23(5): 43-52.

[18] AGRAWAL A, COCKBURN I, MCHALE J. Gone but not forgotten: knowledge flows, labor mobility, and enduring social relationships[J]. Journal of Economic Geography, 2006, 6(5): 571-591.

[19] SINGH J. Collaborative networks as determinants of knowledge diffusion [J]. Management Science, 2005, 51(5): 756-770.

[20] 王贤文. 基于 GIS 的区域科技发展空间结与合作网络分析[D]. 大连: 大连理工大学, 2009.

Influencing Factors of Chinese Biotechnology Knowledge Network Structure's Evolution

WANG Bei-bei^{1, 2}, WANG Tao¹

(1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2. Beijing Govmade Information Consulting Co., Ltd, Shanghai 201203, China)

Abstract: This paper analyzes the spatial characteristics and influencing factors of knowledge network structure's evolution combined with social network analysis and geospatial analysis by using co-authorships of Chinese research publications in 2000–2010 from international ISI database in the field of biotechnology as data sources. The results shows that: The spatial difference of Chinese biotechnology knowledge network structure is gradually reducing and the western cities are gradually involved; Preferential attachment and network closure mechanism will prompt node to connect, which is particularly significant in the late stages; Organizational proximity is the most important influencing factor in choosing knowledge partners, followed by social proximity. The effect of geographical proximity is weak and declining, geographical factor plays a significant positive regulatory role between cognitive proximity and scientific cooperation.

Key Words: knowledge network structure; evolution; influencing factor; biotechnology