

基于创新链中知识溢出效应的产学研 R&D 合作对象识别方法研究

许海云^{1,2}, 王超^{2,3}, 董坤^{2,3}, 隗玲^{2,3}, 庞弘燊⁴

(1. 中国科学技术信息研究所, 北京 100038; 2. 中国科学院成都文献情报中心, 成都 610041;
3. 中国科学院大学, 北京 100190; 4. 深圳大学图书馆, 深圳 518060)

摘要 本文基于创新链理论的知识扩散规律, 结合产学研合作之中的经济因素, 运用“知识位势”和“知识溢出”理论分析产学研合作形成的动力和条件, 并构建识别潜在产学研 R&D 合作对象的方法: 采用多源数据、定性与定量方法实现已有机构合作的网络核心分析和机构在创新链中的竞争力分析, 由此识别产学研合作对象。通过对基因工程疫苗领域的产学研潜在合作机构识别的实证分析考察方法的可行性。实证表明, 面向创新链中知识溢出效应的产学研合作对象识别方法可纵观不同机构的创新技术在创新链上的分布特征, 识别机构间的互补性特征, 从而更有效地识别潜在的产学研合作对象。

关键词 产学研合作; 机构合作; 合作网络; 创新链

Methods to Identify Potential Industry-University-Research Institutions Cooperation Partners Based on the Knowledge Spillovers Effects in the Innovation Chain

Xu Haiyun^{1,2}, Wang Chao^{2,3}, Dong Kun^{2,3}, Wei Ling^{2,3} and Pang Hongshen⁴

(1. *Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing* 100038;
2. *Chengdu Library of Chinese Academy of Sciences, Chengdu* 610041;
3. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100190;
4. *Library, Shenzhen University, Shenzhen* 518060)

Abstract: According to the law of scientific research cooperation, combining the economic factors in Industry-University-Research institutions collaboration (IURC), and applying the theory of knowledge potential and knowledge spillovers effects, this paper analyzes the dynamics and conditions in the process of IURC and constructed methods to identify potential IURC partners based on innovation chain theory: utilizing multi-source data, qualitative analysis, and quantitative analysis to achieve the network core of the existing collaboration network and institutions' competitiveness in the innovation chain. Empirical analysis in the field of genetic engineering vaccine shows that analysis based on innovation chains can determine the distribution characteristics of creative technologies from different institutions and thus can find more complementarities between institutions; therefore, it is a suitable method to identify potential IURC partners.

收稿日期: 2016-12-12; 修回日期: 2017-04-05

基金项目: 中国博士后科学面上基金资助项目(2016M590124), 广东省省级科技计划项目(2016A040403098), 中国科学院青年创新促进会(2016159)。

作者简介: 许海云, 女, 1982年生, 博士, 副研究员, 研究方向为情报计量学的理论与实践, E-mail: xuhy@clas.ac.cn; 王超, 男, 1988年生, 博士研究生, 研究方向为竞争情报分析; 董坤, 女, 1990年生, 博士研究生, 研究方向为专利情报分析; 隗玲, 女, 1981年生, 博士研究生, 研究方向为情报计量学的理论与实践; 庞弘燊, 男, 1983年生, 博士, 副研究馆员, 研究方向为情报计量学的理论与实践。

Key words: industry-university-research institutions cooperation; institutions collaboration; collaboration network; innovation chain

1 引言

产学研合作是指企业、高等院校和科研院所之间基于技术创新而进行合作，是为了社会经济发展的战略性目的，协同各自拥有的资源、资本、人力、技术，对科学技术及相应产品或服务的共同开发。中国创新驱动发展战略的实施和建设创新型国家目标的提出，对加快推进建立“以企业为主体、市场为导向、产学研相结合”的技术创新体系提出了更高的要求。在创新驱动发展的形势下，各类创新实体不仅要加快创新要素的扩散和应用速度，更需要协同创新。当前，中国企业的研发能力普遍较弱，而科研院所和大学的研究成果转化率又相对较低，因此加强产学研有效合作的需求尤为迫切。主动有效识别潜在的产学研合作对象，对于推动科技成果转化与实施将具有非常重要的意义。

已有关于产学研合作对象识别的定量研究多从机构研发技术的相似性入手。黄速建团队在实际调研统计基础上，发布了《中国产业集群创新发展报告（2011-2012）——集群网络中的学习机制》^[1]。报告显示当前中国产业集群呈现“重聚合、轻联合”的特点，集群内部产业链分工程度不高，企业间缺乏有效的合作，难以发挥集群效应，也说明集群中还没有形成较完整的、互补性强的产业链，未形成产业关联的外溢机制和协同效应，价值链整合度不够。报告指出集群创新绩效的决定因素在于知识的溢出，知识溢出效应是产业集群的追求目标。因此，技术相似但不趋同是集群创新和产学研合作的一个重要因素，因此要产生合作应该是有着更多互补性特征的机构，单纯从技术相似性入手难以有效识别合作对象。

本研究应用创新链理论，根据创新链中的知识溢出条件，从创新扩散的规律出发，考虑影响产学研合作的多个重要变量，采用多源数据和定量化研究方法识别产学研合作对象。

2 产学研合作对象识别方法研究现状

2.1 产学研协同创新理论

在知识经济时代，创新活动由企业或研究机构为主的单一创新主体模式逐渐演变成了政府-产业-

研究机构三者共同参与的格局。“三螺旋”（Triple Helix）创新模式由美国的 Etzkowitz 和荷兰的 Leydesdorff 于 1995 年提出^[2]，描述了大学-产业-政府三者间的协同创新关系（University-Industry-Government Relationship）。协同度高的国家或地区可以促成高效的创新产出，且可以促进创新成果的有效转移、转化，形成创新活动的良性循环。三螺旋模型是表征这种协同创新关系的代表模型，利用此模型对政府-产业-研究机构三方在创新活动中的协同度进行监测和分析，能够为科技创新管理提供重要参考和依据。

2.2 已有的产学研 R&D 合作对象定量识别方法

学术界关于产学研合作创新问题的研究中，主要集中在产学研合作的主体、机制和组织模式等理论层面。涉及产学研合作的研究主要包括产学研合作创新的主体^[3]、合作模式^[4]、动力机制^[5-8]、合作中利益的分配^[9-11]、制约因素^[12-15]及合作绩效评价^[16]等六个方面的问题。研究发现企业在选择 R&D 合作伙伴更侧重考虑自身的制度、战略目标、技术兼容性和接受能力、知识产权的归属以及以往的合作经验，而大学和研究所等研究机构更多考虑对方的研发经验、研究成果的可转移性，双方或多方共有的知识背景等^[17-18]。同时，以往合作对象的识别主要依靠主观判断，但随着科技数据及其分析方法的不断丰富，基于科技文献数据如专利、产业经济数据识别产学研合作对象的方法日益增多。

Yoon 等^[19]将合作对象识别方法归为三类：基于人工智能的方法^[20]，线性加权方法^[21]和数学规划法^[22]。他们认为专利信息分析是识别创新合作伙伴的最有效手段，通过文本分析、应用形态分析（Morphology analysis-MA）和生成拓扑图（Generative topology map-GTM）系统地识别技术的配置和可视化收集的专利信息来处理创新活动。许海云等^[23-24]综合使用了多个指标进行产学研协同创新态势的评估和合作对象识别，通过扩展多模数据分析，综合考虑产学研机构的技术关联分析、机构间竞争地位分析、合作网络中机构间核心边缘分析以及机构类型辅助识别领域产学研潜在合作对象。Park 等^[25]利用专利信息识别政产学研的 R&D 合作伙伴，利用网络分析方法识别专利权人的技术相似度作为合作对象，并提出两种具体可操作的方法：基于专利引文关系的文

献耦合分析和基于专利文本语义相似度分析的潜在语义分析。Wang 等^[26]运用基于 SAO 分析的 R&D 合作伙伴识别方法,通过提取专利文献标题及摘要中的 SAO 结构,绘制涵盖材料、技术与组件,以及目标等三个维度的 SAO 结构图,通过挖掘具有相似研发目标的机构,分析其互相合作的可能性及可能的合作方向。

2.3 已有产学研合作对象识别方法存在的问题

首先,当前的产学研合作研究多借鉴战略联盟及虚拟企业合作伙伴选择研究,集中于企业合作伙伴的选择。研究内容多集中于探讨合作过程中可能出现的问题及矛盾,如运用博弈论方法分析双方对合作模式的选择,或是利益分配与风险共担机制的设计。但产学研的 R&D 合作在具备形成合作的一般条件的同时,既区别于仅考虑经济利益最大化的战略联盟合作,也不同于纯粹的科研合作。当前缺少从 R&D 的创新扩散过程深入挖掘产学研合作形成的原因和动力学的分析。

其次,R&D 合作伙伴的选择是个多目标选择问题,目前对合作对象的识别研究多采用单一影响变量,识别过程缺乏综合考虑,尤其是没有较为透彻地分析产学研机构的技术关联,仅从技术角度入手考虑了技术的相似度。虽然从机构研发技术的相似性入手,能够在技术层面发现一些可能的潜在产学研合作机会,但仅仅基于技术相似度的方法并不能有效识别产学研合作对象,因为产学研合作在关注创新的同时,也关注技术创新要素在不同创新及扩散环节的扩散和应用。

本研究将应用创新链理论,根据创新链中的知识溢出条件,从创新扩散的规律出发,构建基于创新链的产学研合作对象识别的关键假设和识别模型,并进一步考虑影响产学研合作的多个重要变量,采用多源数据和量化研究方法识别产学研合作对象。只有有效把握合作产生的动机和规律,认识合作的影响因素,才能更准确地识别产学研合作对象。下文将应用创新链理论、“知识位势”和“知识溢出”理论分析产学研合作形成的动力和条件。

3 产学研合作的“知识溢出”效应及形成条件

3.1 产学研 R&D 合作动机分析

产学研合作是一种跨组织现象,各参与主体具

有不同的偏好与合作动机,这在客观上造成合作双方的信息不对称,如果合作意愿、研发能力等信息的传递不畅,极有可能会动摇彼此间的信任,甚至对合作绩效产生极大的负面影响。产学研合作属于复杂的社会行为,只有机构的需求和目标实现了某种程度的契合,继而产生共同利益,并相信合作研究能够带给他们更大的效率和效益,才会产生合作的动机,当动机足够强烈时就会转化为实际的合作行为。

科学创新成果在转化为具体的应用成果之前就具备相应的知识创新价值。一方面,知识的待接受方由于自身知识储备的不足可能难以承接知识提供方的前沿技术;另一方面,知识提供方只有感受到接受方提供了对等的交换条件才愿意提供自身的创新成果。在这种逻辑下,整个产业之中,产学研机构之间通过良好知识传播渠道,让创新成果迅速流动并得以实施,才得以形成“知识溢出”效应。

在运作良好的产学研合作中,合作为双方的能力转换和创造提供了一条有效途径。高校和研究生的期望是将自己的科技创新和发明推向市场,最终发挥科学技术推动经济发展的功效,并从中获得进一步研发的资金;企业的期望是获取先进技术,使产品升级换代,甚至是实现对整个市场的颠覆性创新,由此获取市场竞争优势。高校、研究所和企业的这种对创新的推动和需求属于“知识位势”现象,本质上是知识扩散中的“推”和“拉”效应^[27]。正是由于“知识位势”的存在,产学研机构间才形成了创新扩散的动力。具体而言,借助“知识位势”,高校和研究所将自身的创新成果有偿提供给企业,在给企业提供技术支持的同时,自身的研发成果也得以转化和实施,一定意义上,实现了个人的价值,并获取进一步研发的资金支持,而企业通过新技术的实施,提高了抵御风险和收益的能力。

3.2 创新链理论在产学研分析中的应用

3.2.1 创新链理论的相关研究

创新链是科学知识、技术知识经过技术创新转移转化从而实现商业化、产业化的过程^[28-29]。现有研究依据创新职能对创新链的结构进行划分,一般将创新链分为三部分,如 Timmers^[30]将创新链分为基础研究、技术开发、应用部署三部分,Turkenburg^[31]认为创新链涉及研究、示范和扩散三个阶段。Sen^[32]指出创新链包含创新思想、发明、研究论文、许可、产品。Larson 等^[33]认为创新链从宏观的角度涵盖三

大环节，首先是将理论知识转化为实际应用，其次把应用转移到企业中去，最后将企业利益及用户对对象由地方扩张到整个国家。后来，有学者对创新链进行了更为细致的划分，从微观的角度来看，Bamfield^[34]认为创新链由试探研究、工艺开发、试制、市场、生产销售五个阶段构成。

因此，创新链涵盖了将问题设想转化为科学理论、将科学理论转化为实际应用、将实际应用转化为可生产产品、将产品转化为商品、将商品转化为产业化生产的一系列有序创新目标集合的链式流程。根据这些创新活动的目标，可以将创新链条分为基础研究、应用研究、转移转化、商品化和产业化五个环节的创新活动，不同的创新活动环节有不同的创新目标，这些创新目标之间是上下衔接的，通过这种衔接，将创新活动串联起来。

3.2.2 创新链中的知识扩散研究

梁意敏^[35]从知识性质理论、交易费用理论、竞争力理论和创新理论四个角度出发分析了创新链形成的动因。首先，创新链上的参与主体是围绕获取隐性知识这一目的而聚集形成链式结构；其次，为了减少机会主义，参与主体必须参与创新，而为了规避高风险和高成本，参与主体之间相互联系、相互合作，创建创新链；再次，企业参与创新链，可以共享资源，减少资源投入，压缩研发周期，提高企业的竞争力；最后，技术飞速发展，单纯的自主创新并不能满足需求，各个创新主体要相互合作，综合利用各自的资源优势，形成满足不同需求的功能力链节结构。

综上所述，创新链思想是通过系统分析优化创新过程，其本质即是分析创新要素如何在创新主体间扩散和转化。基于创新链思想的分析可纵观不同机构的创新技术在创新链上的分布特征，由此寻找机构之间的互补性，因此，创新链分析适用于产学研合作对象的识别过程。

3.3 创新链视角下的产学研合作动力与条件

本文基于创新链理论^[36]和产学研合作的“知识溢出”效应及形成条件，提出四项产学研合作的关键假设。

首先，产业创新链中的空间分布不同的机构合作的潜力更大。大学和科研机构与企业的竞争相比企业之间小得多，存在更大的合作可能，这是影响产学研合作的最重要的因素。

该假设来自创新链中空间不同的机构之间的能

力异质性带来的合作潜力。一般性合作的首要选择是合作对象能否提供某种优势和专长，具有投入互补性资源的能力，以达到凭借自身条件无法实现的目的^[37]。Kogut 等^[38]指出在基于资源观的公司合作行为中，资源的互补性是跨组织合作的关键驱动因素。Laursen 等^[39]认为技术能力技术的快速发展使企业的业务模式特别是高科技行业的业务模式更加开放，技术更依赖于外部来源。顾兴燕^[40]借鉴战略联盟及虚拟企业合作伙伴选择的相关方法，认为产学研三方正是由于其优势能力的异质性导致了产学研合作创新的存在。

其次，竞争力大的机构具有更多的合作机会。在基础研究、应用研究、转移转化、商品化和产业化五个环节中，如果在某个环节中具备较强的竞争力，那么更容易成为合作对象。

该假设来自于机构在选择合作对象中的择优机制。已有研究也表明市场的知识容量和市场覆盖率等竞争力因素很重要，合作伙伴选择中更倾向于具有更多专利及专利许可、商标的机构^[41]。

再次，空间地理位置接近的机构合作机会更大，但空间地理位置在目前网络和交通发达的情况下已经不是决定性因素。

该假设来自于空间地理优势可以减少合作成本。温芳芳^[42]使用计量方法对专利合作模式进行了系统的计量研究，通过发明人和专利权人之间合作关系与合作模式以及伴随着专利合作而产生的知识交流情况的计量分析，发现空间地理位置接近的机构专利合作机会更大。另外，在区域经济发展中地方政府更加想促成本地域的产学研合作，跨地域的合作尚存在一些阻碍因素^[43]。

除此以外，如果以前就有合作，且在合作网络里面很突出，说明是开放型的机构，合作的潜力更大。这是因为机构以往的合作可以增加信任，让合作更加顺畅，容易促成合作^[41]。

4 基于创新链的产学研合作对象识别

4.1 基于创新链的产学研合作对象识别模型

根据创新链中不同创新活动的目标，将创新链条分为基础研究、应用研究、转移转化、商品化和产业化五个环节的创新活动（图 1）。不同的创新活动环节有不同的创新目标，这些创新目标之间上下衔接，通过这种衔接，将创新活动串联起来。各个环节的创新活动被划分为若干功能节点，各环节相

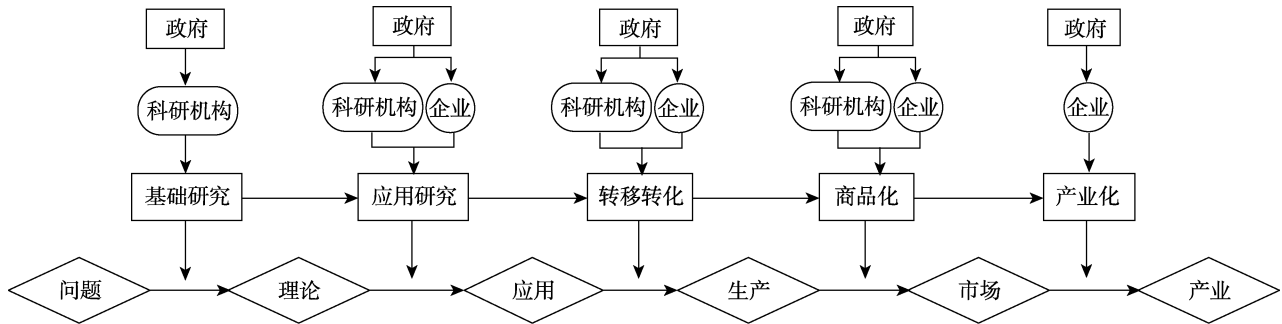


图1 创新链模型示意图

互作用最终完成创新。企业、科研机构（研究所和高校）、政府、创新活动参与人员，以及其他创新要素，只要对各环节的创新活动产生相应功能作用的，都应纳入节点的范畴内。

研究拟将产学研合作识别立足于创新全过程，具体包括将问题设想转化为科学理论、将科学理论转化为实际应用、将实际应用转化为可被生产的产品、将产品转化为市场待售的商品、将商品实现产业化生产的一系列有序创新目标。具体分析内容如下：

（1）基础研究环节将科学问题设想转化为科学理论，主要以论文为成果评判指标。

（2）应用研究环节是将科学理论转化为实际应用，以专利为成果评判指标。基础研究和应用研究环节均属于技术范畴，以高校和科研院所为代表的科研机构是该环节当前的主要参与者，少数科研实力强大的企业也会有较多的基础研究和应用研究。

（3）转移转化环节的目标是将实际应用转化为可被生产的产品，属于技术范畴，在该阶段企业开始与科研机构一起参与该环节，以科技成果转化数量为成果评判指标。

（4）商品化环节将产品转化为市场待售的商品，主要以商品数量为成果评判指标。

（5）产业化环节的目标是实现产业化，以产业规模为成果评判指标。其中，商品化和产业化环节都属于经济范畴，企业为主要参与者。

在基于创新链的产学研潜在合作对象识别研究中，我们在分析机构间技术关联度的同时，关注机构在创新链中的分布差异，并侧重机构间的技术互补性。按照不同创新链模式的特点分别比较产业竞争机构在基础研究、应用研究、转移转化、商品化和产业化五个环节中的技术相似性和互补性，充分了解产学研对象的各自技术特长和机构间竞争地位，由此发掘潜在产学研合作对象。

4.2 产学研合作对象识别方法

基于创新链的潜在产学研合作对象的识别过程主要分为两个模块：已有机构合作的网络核心分析和机构在创新链中的竞争力分析。

4.2.1 已有机构合作的网络核心分析

机构合作网络属于复杂网络，复杂网络的节点数据非常庞大，但是它的“核心”节点相对于整个复杂网络的节点数目来说非常少。从复杂网络的结构上来看，这些核心节点之间联系非常紧密，而其他的非核心节点仅仅通过少数几条边与这些核心节点相连。

寻找复杂网络的核心，可以通过找出复杂网络图中所有的 k -核心网络 (k -core)。一个网络，如果其中任何一个节点至少有 k 个邻居仍然在这个网络中，则这个网络就是一个 k -核心网络。复杂网络中的 k -核心网络^[44-45]是复杂网络中的核心节点， k -core 分析常被用于网络核心成员的挖掘。本研究利用 k -core 网络分析基础研究和应用研究领域内核心合作机构。

4.2.2 基于创新链的机构竞争力分析指标体系

研究拟将基础研究、应用研究、转移转化、商品化和产业化作为机构竞争力分析的潜在分析变量和一级指标。为保证综合指标体系的完整性、科学性和数据的可获得性，研究将各环节的参与主体作为各指标的分析对象，将论文、专利和产业经济数据等各环节的代表成果作为产业竞争力分析的二级分析指标及测度指标（表1）。利用二级分析指标细分情报分析内容，通过不同层级的分析指标，提高机构竞争力分析的全面性和准确性。

参照表1基于创新链的机构竞争力分析指标，本节筛选了可行的测度指标，由此深入分析领域的创新链布局和竞争力大小。

表1 基于创新链的机构竞争力分析指标

一级指标	创新目标	范畴	参与主体	二级指标	数据来源
基础研究	问题→理论	技术	高等院校、科研院所	论文	国内外学术数据库
应用研究	理论→应用	技术	高等院校、科研院所	专利	国内外专利数据库
转移转化	应用→生产	技术	高等院校、科研院所、企业	科技成果转化数量	政府部门网站、行业协会网站、经济数据库
商品化	生产→市场	经济	企业	商品数量	政府部门网站、行业协会网站、经济数据库
产业化	市场→产业	经济	生产主体、销售主体	产业规模	政府部门网站、行业协会网站、经济数据库

(1) 基础研究分析

获取学术资源数据库中的相关论文，分析这些论文的数量特征、影响力以及发文机构间的关系，以判断基础研究成果数量、影响力以及基础研究领域内核心机构间的关系。

影响力分析拟采用引用量和学科规范化的引文影响力(CNCI)分析^[46]，CNCI是汤森路透公司InCitesTM数据库中的一个相对性评价指标，CNCI是排除了学科领域、出版年与文献类型影响的无偏影响力指标，用它可以进行不同规模、不同学科混合的论文集的影响力比较。如果CNCI的值等于1，表明该组论文的被引表现与全球平均水平相当；大于1，表明高于全球平均水平；小于1，则低于全球平均水平。若CNCI等于N(N≥2)，表明该组论文的被引表现为全球平均水平的N倍。

(2) 应用研究分析

检索专利数据库获取相关专利，分析专利数量特征、论文发文重要机构的专利数量特征和专利机构间关系，以判断应用研究成果数量、基础研究领域内核心机构的应用研究水平和应用研究领域内核心机构间的关系。

专利数量特征分析也包括各类型专利机构及不同地域的专利数量特征分析。论文发文重要机构的专利数量特征分析采用对比分析法，主要对比分析基础领域核心机构论文和专利数量特征，以此衡量同机构的基础研究和应用研究水平。

(3) 转移转化、商品化和产业化分析

检索政府部门网站、行业协会网站、经济数据库，获取研究对象相关的转移转化、商品化和产业化数据。转移转化分析侧重可生产产品数量特征的研究，通过对比应用研究成果与可生产产品数量的关系，判断应用研究成果转移转化的程度；商品化分析主要研究可生产产品转化为可被市场销售商品的程度，通过对比可生产产品数量与可被市场销售的商品数量关系，判断商品化的程度；产业化分析主要以产业规模为分析指标，产业规模可以进一步细分为产业生产主体和销售主体，通过对生产主体

和销售主体的数量特征和地域分布分析，判断产业化程度。

5 实证分析

5.1 数据来源与分析工具

基因工程疫苗(gene engineered vaccine)也称遗传工程疫苗(genetically engineered vaccine)，是指使用重组DNA技术克隆并表达保护性抗原基因，利用表达的抗原产物，或重组体本身制成的疫苗^[47]。疫苗行业是生物医药领域的一个子产业，也是生物医药领域中比较高端的细分领域，具有较高的技术壁垒、资金壁垒和政策壁垒^[48]，而基因工程疫苗是新型疫苗类型的主要组成部分，也是生物医药领域的重点发展分支之一。疫苗行业关乎国家的战略安全，受到了各国的广泛关注。因此，本文选择国内基因工程疫苗领域的主要研究机构进行产学研合作识别，以期获取该领域产学研合作态势并识别潜在合作机构，推动基因工程疫苗领域专利技术的实施和利用率，促进该领域的技术创新发展。

本文数据来源于ISI Web of Knowledge知识平台中的SCI论文数据库和德温特创新专利索引(DII)数据库^[49]。通过背景技术调研对基因工程疫苗领域进行了技术主题要素分解，构建了详细的检索式，检索日期截至2015年6月。由于检索式较为繁杂，在此省略。通过检索共获取3962篇论文，999项专利中国专利申请，采用TDA(Thomson Data Analyzer)^[50]进行文本数据分析，清洗并识别主要的专利权人、技术主题词、机构类型和名称作为数据分析基础，并最终获取机构180家。

5.2 已有机构合作的网络核心分析(k-核分析)

图2为共现次数大于等于3的论文机构k核网络，从网络中可以发现，涉及国内研究机构的合作网络有3个：上海交通大学、复旦大学与中国科学院，军事医学科学院与中国农业科学院，中国医学科学院(北京协和医学院)与俄罗斯医学科学院。

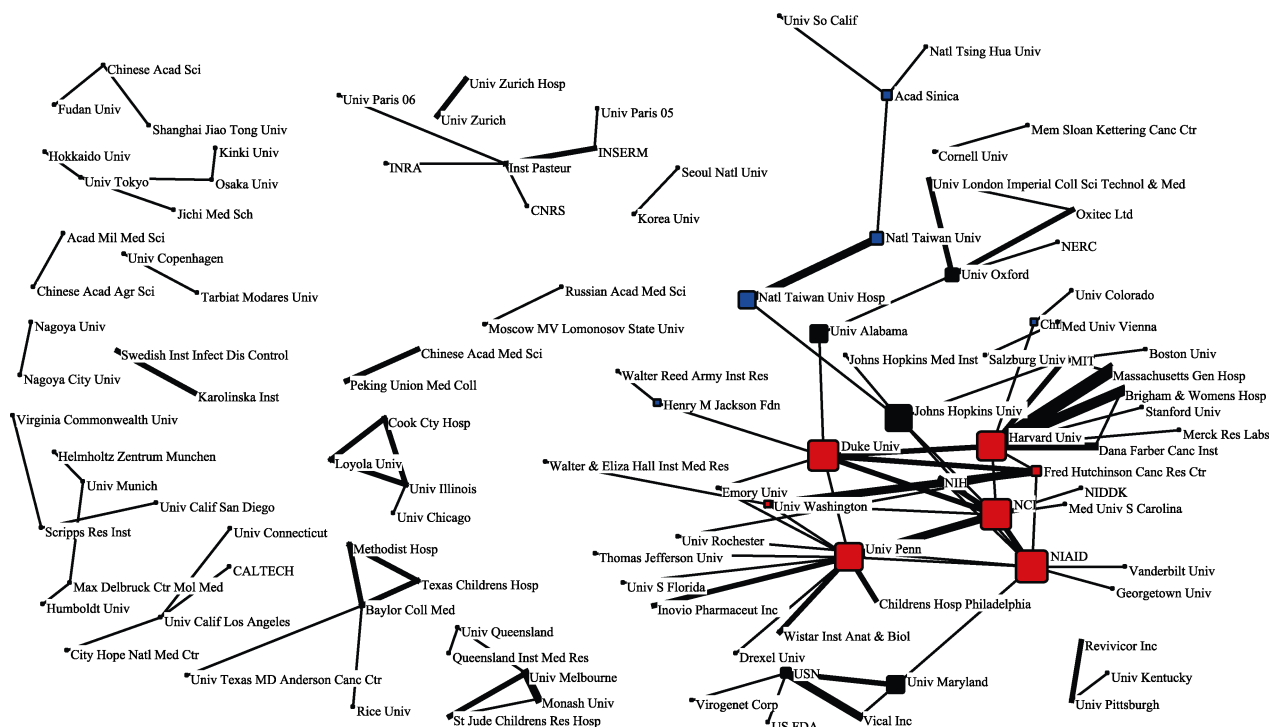


图2 国内基因工程疫苗领域论文发表机构 K 核网络

这说明上海交通大学、复旦大学、中国科学院、军事医学科学院、中国农业科学院和中国医学科学院（北京协和医学院）是国内基因工程疫苗基础研究领域内的核心合作机构，并且上海交通大学、复旦大学和中国科学院之间，军事医学科学院与中国农业科学院之间，中国医学科学院（北京协和医学院）与俄罗斯科学院之间合作密切，同时，科研院所开展的合作研究较多，高等院校相对较少。

5.3 机构在创新链中的竞争力分析

5.3.1 基础研究分析

国内基因工程疫苗领域 SCI 论文排名前 19 位的机构中（表 2），包括科研院所 5 所（占 26.3%），其论文总量为 72 篇（占 44.4%），篇均引用量为 10.36，表明国内基因工程疫苗领域研究的科研院所数量虽然较少，但是其基础研究成果数量多，具备较高影响力，是基因工程疫苗领域的基础研究的中坚力量。除 5 所科研院所外的 14 所高等院校中，华中农业大学、华南农业大学、吉林农业大学和中国农业大学的论文总量为 16 篇（占 9.9%），篇均引用量为 12.65，表明这些农业类院校虽然论文数量很少，但是其研究影响力高，这 4 所农业类院校在国内基因疫苗领域基础研究中发挥重要的作用。另外，其余的高校

多数为国内科研实力较强的国家重点院校，因此这些高校也是基因工程疫苗研究的主要力量。

在基因工程疫苗领域 SCI 论文排名前 19 位的机构中，有 4 家机构的 CNCI 超过 1，包括 2 所科研院所和 2 所农业类院校，这 4 家的论文被引表现超过全球水平，研究影响力大。其中，中国科学院国家纳米科学中心的 CNCI 为 6.23，其论文的被引表现是全球平均水平的 6.23 倍；有 15 家机构（占 78.9%）的 CNCI 低于 1，说明绝大多数机构的论文影响力并不大。

5.3.2 应用研究分析

分析拥有 10 件以上基因工程疫苗相关专利的国内机构（表 3）发现，国内共有 31 所机构（科学院具体到各个研究所）拥有 10 件以上基因工程疫苗相关的专利，共有专利 539 件。这些机构可分为三类：高等院校、科研院所和企业。其中，高等院校 14 所（占 45.2%），拥有专利 270 件，占 31 所机构专利总量的 50%；科研院所 12 所（占 38.7%），拥有专利 200 件（占 37.1%）；企业 5 家（占 16.2%），专利 69 件（占 12.8%）。这表明国内基因工程疫苗应用研究的主要参与者仍是高等院校和科研院所，但是较之基础研究，企业专利数量占据了一定的比重，企业开始应用研究中发挥作用。

表2 国内基因工程疫苗领域 SCI 论文发文量 top19 机构

序号	机构	地区	论文数量	引用次数	篇均引用数	CNCI 值
1	中国科学院	京	26	240	9.23	0.96
2	中国农业科学院	京	25	219	8.76	0.87
3	中国军事医学科学院	京	12	124	10.33	0.69
4	第四军医大学	陕	12	68	5.67	0.39
5	华中科技大学	鄂	10	79	7.90	0.48
6	上海交通大学	沪	9	91	10.11	0.41
7	浙江大学	浙	9	67	7.44	0.93
8	中国科学院上海生命科学研究院	沪	8	109	13.63	1.07
9	四川大学	川	8	37	4.63	0.36
10	北京大学	京	7	52	7.43	0.52
11	第二军医大学	沪	7	42	6.00	0.71
12	华中农业大学	鄂	5	58	11.60	0.73
13	中国医科大学	辽	5	38	7.60	0.73
14	华南农业大学	粤	4	51	12.75	1.53
15	吉林农业大学	吉	4	47	11.75	1.45
16	中南大学	湘	4	42	10.50	0.6
17	中国农业大学	京	3	46	15.33	0.7
18	重庆医科大学	渝	3	38	12.67	0.49
19	中国科学院国家纳米科学中心	京	1	54	54.00	6.23

表3 拥有 10 件以上基因工程疫苗相关专利的国内机构

序号	专利机构	地区	专利数	序号	专利机构	地区	专利数
1	复旦大学	沪	51	17	梅里亚有限公司	赣	13
2	第三军医大学	渝	45	18	普莱柯生物工程有限公司	豫	13
3	中国农业科学院兰州兽医研究所	甘	39	19	上海人类基因组研究中心	沪	13
4	中国农业科学院哈尔滨兽医研究所	黑	29	20	华南农业大学	粤	13
5	军事医学科学院微生物流行病研究所	京	21	21	武汉大学	鄂	12
6	华中农业大学	鄂	21	22	中国科学院微生物研究所	京	11
7	南京农业大学	苏	19	23	中国农业大学	京	11
8	第四军医大学	陕	18	24	厦门大学	闽	11
9	安万特巴斯德公司	粤	17	25	浙江大学	浙	11
10	军事医学科学院基础医学研究所	京	17	26	中国医学科学院医药生物技术研究所	京	10
11	江苏省农业科学院	苏	17	27	原伦生物科技有限公司	渝	10
12	北京凯因生物技术有限公司	京	16	28	中国疾病预防控制中心寄生虫病预防控制所	沪	10
13	吉林大学	吉	16	29	军事医学科学院军事兽医研究所	吉	10
14	第二军医大学	沪	16	30	中国农业科学院上海兽医研究所	沪	10
15	四川农业大学	川	16	31	中山大学	粤	10
16	中国医学科学院医学生物学研究所	京	13				

5.3.3 转移转化分析

疫苗作为一种特殊的商品，国家食品药品监督管理局（CFDA）对其生产、销售等各个环节进行严格管控，企业通过 CFDA 的审核批准后才具备生产、销售疫苗的资质，CFDA 数据库提供所有符合资质企业的备案信息。因此，通过对 CFDA 数据库中数据查询

和采集，可以获得国内所有疫苗企业的相关数据。

通过查询和采集 CFDA 数据库，国内现具备疫苗生产资质的企业有 58 家，基因工程疫苗生产企业有 10 家，已经上市的基因工程疫苗仅有 5 种，占 5%（表 4）。相比国内基因工程疫苗专利的数量，基因工程疫苗专利转化为产品的数量非常低。

表4 国内基因工程疫苗种类

序号	生产厂商	基因工程疫苗	省份
1	北京天坛生物制品股份有限公司	重组乙型肝炎疫苗(酿酒酵母)	北京市
2	深圳康泰生物制品股份有限公司	重组乙型肝炎疫苗(酿酒酵母)	广东省
3	华兰生物疫苗有限公司	重组乙型肝炎疫苗(汉逊酵母)	河南省
4	大连汉信生物制药有限公司	重组乙型肝炎疫苗(汉逊酵母)	辽宁省
5	北京华尔盾生物技术有限公司	重组乙型肝炎疫苗(CHO细胞)	北京市
6	兰州生物制品研究所有限责任公司	重组乙型肝炎疫苗(CHO细胞)	甘肃省
7	华北制药金坦生物技术股份有限公司	重组乙型肝炎疫苗(CHO细胞)	河北省
8	武汉生物制品研究所有限责任公司	重组乙型肝炎疫苗(CHO细胞)	湖北省
9	厦门万泰沧海生物技术有限公司	重组戊型肝炎疫苗(大肠埃希菌)	福建省
10	上海联合赛尔生物工程有限公司	重组B亚单位/菌体霍乱疫苗(肠溶胶囊)	上海市

当前国内拥有基因工程疫苗专利的疫苗生产企业有4家,其中,生产基因工程疫苗的企业仅1家(表5),这也说明疫苗生产企业将其所有专利转化为基因工程疫苗的水平很低。

表5 拥有相关专利的企业基因工程疫苗生产情况

疫苗生产企业	基因工程疫苗专利	基因工程疫苗
辽宁成大生物股份有限公司	2	0
辽宁依生生物制药有限公司	3	0
厦门万泰沧海生物技术有限公司	3	1
长春百克生物科技股份公司	2	0

5.3.4 商品化和产业化分析

我国疫苗实行批签发制度,即疫苗在出厂上市或进口时由CFDA强制检验、审核,符合标准者准予上市或进口,在批签发制度下,疫苗的批签发数量可以等同于疫苗商品化规模。此部分数据获取相对困难,因此,仅统计分析数量特征。如表6所示,国内商品化的疫苗有5类,其中,商品化规模比重最大的为重组乙型肝炎疫苗(酿酒酵母),占61.9%,

表明重组乙型肝炎疫苗(酿酒酵母)已成为国内最成熟、使用最广泛的基因工程疫苗。

国内实现基因工程疫苗商品化的企业有10家,与上表比较分析发现,有两家符合基因工程疫苗生产资质的企业:兰州生物制品研究所有限责任公司和武汉生物制品研究所有限责任公司,没有生产任何基因工程疫苗,说明这两家企业没有实现基因工程疫苗的商品化。

国内实现基因工程疫苗商品化的10家企业中,深圳康泰、北京天坛生物、大连汉信、华北制药金坦的基因工程疫苗商品化程度高,占90.4%,这表明国内基因工程疫苗商品化集中程度高。其中,葛兰素史克和博尔纳生物为国外企业,商品化规模总量比重仅占4.3%。这表明本国企业是当前国内基因工程疫苗的商品化、产业化的主要力量。

5.4 潜在合作对象识别结果

通过分析国内基因工程疫苗产业的特点发现,基因工程疫苗产业的创新链模式为综合型创新链,由此可以判断该模式下的产学研合作中,产学研机构之间存在合作的可能性较大。

表6 2007-2015年国内各类基因工程疫苗商品化规模总量比重(单位:%)

序号	疫苗生产企业	基因工程疫苗	规模比重	地区(国家)
1	深圳康泰	重组乙型肝炎疫苗(酿酒酵母)	33.7	广东省
2	北京天坛生物	重组乙型肝炎疫苗(酿酒酵母)	24.3	北京市
3	大连汉信	重组乙型肝炎疫苗(汉逊酵母)	19.7	辽宁省
4	华北制药金坦	重组乙型肝炎疫苗(CHO细胞)	12.7	河北省
5	葛兰素史克	重组乙型肝炎疫苗(酿酒酵母)	3.9	比利时
6	华兰生物	重组乙型肝炎疫苗(汉逊酵母)	2.5	河南省
7	上海联合赛尔	重组B亚单位/菌体霍乱疫苗(肠溶胶囊)	1.8	上海市
8	北京华尔盾	重组乙型肝炎疫苗(CHO细胞)	0.9	北京市
9	博尔纳生物	重组乙型肝炎疫苗(汉逊酵母)	0.4	瑞士
10	厦门万泰沧海	重组戊型肝炎疫苗(大肠埃希菌)	0.1	福建省

从机构类型上看（表 7），基础研究的机构主要有三类：科研院所、农业类高校和国家重点高校，企业开始加入到应用研究机构中，转移转化、商业化和产业化的机构类型以企业为主。综合性创新链模式需要产学研各主体协同创新，目前基础研究并无企业参与，说明企业未来参与研究的可能性大。基因工程疫苗应用研究领域较具实力的企业有安万特巴斯德公司、北京凯因生物技术有限公司、梅里亚有限公司、普莱柯生物工程有限公司、原伦生物科技有限公司 5 家公司，这 5 家公司在应用研究领域拥有数量较多的基因工程疫苗相关专利，但是，这 5 家公司不具备 CFDA 批准生产疫苗的资质，而且国内 58 家符合资质的疫苗生产企业拥有的专利数量较少。所以，在转移转化环节，出于知识转化和能力互补的考虑，这 5 家公司与 58 家符合资质的疫苗生产企业在基因工程研究结果转移转化方面具有

较大的合作可能性。

创新链流程的空间分布来看（表 8），机构间的技术主题关联大、互补性强，地理位置较近，机构类型不同，那么机构之间将具备较大的合作潜力。广东、北京和上海分布有完整的基因工程疫苗产学研主体，3 地内创新链流程上各机构间的互补性就强，说明广东、北京和上海这三个地域内的产学研主体之间具备较大的合作潜力。其中，较之广东和上海两地，北京地域内的产学研主体多，主体机构类型多，产学研主体之间相互可选择的合作对象就多，同时机构间的位置较近，因而北京地域内的基因工程疫苗产学研合作潜力更大。

（1）在广东，华南农业大学、安万特巴斯德公司、中山大学和深圳康泰之间的合作可能性大，其中，华南农业大学的基础研究和应用研究实力较强，而作为商品化和产业化机构的深圳康泰在基础研究和应用研究中实力较弱。鉴于地缘关系的便利及能力的互补，华南农业大学和深圳康泰之间合作的可能性大。

（2）在北京，首先根据组织特点，中国科学院国家纳米科学中心与中国科学院微生物研究所同属于中国科学院系统，而中国医学科学院医学生物学研究所也是科研实力雄厚的国家级医学研究机构，

表 7 创新链模式中的产学研合作主体类型

基础研究	应用研究	转移转化	商业化、产业化
科研院所	科研院所	企业	企业
农业类高校	农业类高校	无	无
国家重点高校	国家重点高校	无	无
无	企业	无	无

表 8 基于创新链的基因工程疫苗产学研主体地域空间分布

地区	基础研究机构	应用研究机构	商品化和产业化机构
广东省	华南农业大学	安万特巴斯德公司 华南农业大学 中山大学	深圳康泰
北京市	中国科学院 ^① 中国军事医学科学院 ^② 中国农业科学院 北京大学 中国科学院国家纳米科学中心	军事医学科学院微生物流行病学研究所 军事医学科学院基础医学研究所 北京凯因生物技术有限公司 中国医学科学院医学生物学研究所 中国科学院微生物研究所 中国农业大学 中国医学科学院医药生物技术研究所	北京天坛生物 北京华尔盾
辽宁省	中国医科大学	无	大连汉信
河北省	无	无	华北制药金坦
河南省	无	普莱柯生物工程有限公司	华兰生物
上海市	上海交通大学 中国科学院上海生命科学研究院 第二军医大学	复旦大学 第二军医大学 上海人类基因组研究中心 中国疾病预防控制中心寄生虫病预防控制所 中国农业科学院上海兽医研究所	上海联合赛尔
福建省	无	厦门大学	厦门万泰沧海

① 在基础研究部分，中国科学院是指除中国科学院国家纳米科学中心和中国科学院上海生命科学研究院以外的所有中国科学院院所的总称。

② 在基础研究部分，中国军事医学科学院和中国农业科学院也是各下属院所的总称。

鉴于组织关系及地缘关系的便利,这3家单位在基因工程疫苗的基础研究和应用研究中合作的可能性大。同样,军事医学科学院微生物流行病学研究所和军事医学科学院基础医学研究所之间的合作可能性也较大。其次,地缘关系的便利以及能力的互补,研究实力相对较弱的北京天坛生物和北京华尔顿2家公司可以选择研究实力较强的军事医学科学院和中国科学院合作。其中,从科研成果的用途来看,中国科学院的研究成果侧重于民用,而军事医学科学院的研究成果侧重于军用,所以相比较而言,中国科学院与企业开展基因工程疫苗研究的可能性要更大一些。

(3) 在上海,第二军医大学的基础研究和应用研究实力较强,而作为商品化和产业化机构的上海联合赛尔研究实力较弱,所以鉴于地缘关系的便利以及能力的互补,第二军医大学与上海联合赛尔的合作可能性要大一些。

生产同种类型疫苗的企业之间竞争能力大,合作的可能性较小。从表9产品类型来看,深圳康泰、北京天坛生物和葛兰素史克都生产重组乙型肝炎疫苗(酿酒酵母),所以他们之间合作的可能性较小。同样,华兰生物、大连汉信和博尔纳生物之间,华北制药金坦和北京华尔盾之间生产的基因工程疫苗类型相同,所以这些企业间的合作可能性也较小。

表9 不同疫苗类型的生产企业

基因疫苗种类	生产企业
重组乙型肝炎疫苗 (酿酒酵母)	深圳康泰、北京天坛生物、 葛兰素史克
重组乙型肝炎疫苗 (汉逊酵母)	华兰生物、大连汉信、博尔 纳生物
重组乙型肝炎疫苗 (CHO细胞)	华北制药金坦、北京华尔盾
重组B亚单位/菌体霍乱疫苗 (肠溶胶囊)	上海联合赛尔
重组戊型肝炎疫苗(大肠埃希菌)	厦门万泰沧海

在基础研究和应用研究中,中国科学院、中国农业科学院和中国军事医学科学院是较为核心的研究机构,并且属于开放型的核心研究机构,这3所科学院之间以及各自内部之间开展相关合作的可能性较大,鉴于空间关系的便利,这3所科学院与北京的企业(北京天坛生物、北京华尔盾)在转移转化、商品化和产业化方面的合作可能较大。同时,毗邻北京的河北省内没有实力较强的基因工程基础研究和应用研究单位,所以地处河北境内的基因工

程疫苗产生企业——河北制药金坦可能会向北京地区寻求相关研究合作,而且有较大的可能选择3所开放型的科学院。

但上述分析结果是合作机会或进行合作的参考选择,而在实际研发和生产中,各机构是否真正进行合作,还受多种因素的影响。

6 结论

本文根据科研合作规律,结合产学研合作之中的经济因素,运用“知识位势”和“知识溢出”理论分析产学研形成的动力和条件,并基于创新链理论构建了识别潜在产学研合作对象的方法。创新链理论关注技术链的同时,也关注技术创新要素在不同创新及扩散环节的扩散和应用,基于创新链的产业竞争情报分析立足于创新活动的全过程,包括产业分析和技术创新分析,兼顾定性分析和定量分析,可以更全面、系统地分析产业活动全过程。通过对基因工程疫苗领域的产学研潜在合作机构的识别考察方法的可行性。实证结果表明,与以往研究相比,本研究更加贴近了产学研合作的真实条件,可以更好地揭示科技创新合作规律,更有效识别潜在的产学研合作对象,得出结论将具有更高参考价值。

需要说明的是,本研究将论文、专利和产业经济数据作为对一级指标的操作化指标存在不完善之处。论文和专利作为显性知识是基础研究和应用研究成果的重要但并不是全部的成果,还有以隐形知识形式存在于机构R&D人员的大脑中,且已有研究表明,相比于隐性知识,显性知识只是冰山一角^[51]。科技成果转化数量、商品数量和产业规模也仅是转移转化、商品化和产业化一级指标的几个重要评估指标,但除此之外还有行业营业收入和利润等重要经济数据。本文重点考虑了数据的可获取性和可操作性。未来随着各类数据的进一步丰富和规范,采用更多的数据源和相应的可操作化指标,预期可进一步提高识别的准确性。

同时,未来产学研合作研究迫切需要更多地关注实践过程中微观层面的合作行为现象,以得出具有可行性和可操作性的、更加具体和深入的优化策略。

参 考 文 献

- [1] 黄速建. 中国产业集群创新发展报告2011~2012——集群网络中的学习机制[M]. 北京: 经济管理出版社, 2014.
- [2] Leydesdorff L, Etzkowitz H. Emergence of a triple helix of university—industry—government relations[J]. Science and Public

- Policy, 1996, 23(5): 279-286.
- [3] 李文辉, 王楚鸿, 安宁. 创新体系下产学研合作的主客体关系及其模式探析[J]. 科技管理研究, 2008, 28(6): 4-5.
- [4] Inzelt A. The evolution of university-industry-government relationships during transition[J]. Research Policy, 2004, 33(6): 975-995.
- [5] Santoro M D, Gopalakrishnan S. The institutionalization of knowledge transfer activities within industry-university collaborative ventures[J]. Journal of Engineering & Technology Management, 2000, 17(3-4): 299-319.
- [6] Cohen W M, Nelson R R, Walsh J P. Links and impacts: the influence of public research on industrial R&D[J]. Management Science, 2002, 48(1): 1-23.
- [7] Slotte V, Tynjälä P. Industry-university collaboration for continuing professional development[J]. Journal of Education and Work, 2003, 16(4): 445-464.
- [8] D'Este P, Patel P. University-industry linkages in the UK: What are the factors underlying the variety of interactions with industry?[J]. Research Policy, 2007, 36(9): 1295-1313.
- [9] 谢科范, 刘海林. 产学研合作共建研发(R&D)实体的博弈分析[J]. 科学与科学技术管理, 2006, 27(10): 27-30, 109.
- [10] 雷永. 产学研联盟利益分配机制研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2008.
- [11] 郑月龙. 基于演化博弈论的企业共性技术合作研发形成机制研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2015.
- [12] Mohnen P, Hoareau C. What type of enterprise forges close links with universities and government labs? Evidence from CIS 2[J]. Managerial and Decision Economics, 2003, 24(2-3): 133-145.
- [13] Arundel A, Geuna A. Proximity and the use of public science by innovative European firms[J]. Economics of Innovation and New Technology, 2004, 13(6): 559-580.
- [14] Laursen K, Salter A. Searching low and high: What types of firms use universities as a source of innovation?[J]. Research Policy, 2004, 33(8): 1201-1215.
- [15] Bruneel J, D'Este P, Salter A. Investigating the factors that diminish the barriers to university-industry collaboration[J]. Research Policy, 2010, 39(7): 858-868.
- [16] 曹静, 范德成, 唐小旭. 产学研结合技术创新绩效评价研究[J]. 科技进步与对策, 2010, 27(7): 114-118.
- [17] Barbolla A M B, Corredera J R C. Critical factors for success in university-industry research projects[J]. Technology Analysis & Strategic Management, 2009, 21(5): 599-616.
- [18] Manotungvorapun N, Gerdri N. From literature to practice: Selection criteria for industry-university partners[C]// 2016 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET), 2016: 420-428.
- [19] Yoon B, Song B. A systematic approach of partner selection for open innovation[J]. Industrial Management & Data Systems, 2014, 114(7): 1068-1093.
- [20] Fischer M, Jähn H, Teich T. Optimizing the selection of partners in production networks[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2004, 20(6): 593-601.
- [21] Wang T C, Chen Y H. Applying consistent fuzzy preference relations to partnership selection[J]. Omega, 2007, 35(4): 384-388.
- [22] Solesvik M Z, Encheva S. Partner selection for interfirm collaboration in ship design[J]. Industrial Management & Data Systems, 2010, 110(5): 701-717.
- [23] 许海云, 齐燕, 岳增慧, 等. 三螺旋模型在协同创新管理中的计量方法和应用研究[J]. 情报学报, 2015, 34(3): 236-246.
- [24] 许海云, 隗玲, 庞鸿桑, 等. 产学研潜在合作对象识别方法研究[J]. 情报学报, 2016, 35(5): 521-529.
- [25] Park I, Jeong Y, Yoon B, et al. Exploring potential R&D collaboration partners through patent analysis based on bibliographic coupling and latent semantic analysis[J]. Technology Analysis & Strategic Management, 2015, 27(7): 759-781.
- [26] Wang X F, Wang Z N, Huang Y, et al. Identifying R&D partners through Subject-Action-Object semantic analysis in a problem & solution pattern[J]. Technology Analysis & Strategic Management, 2017: 1-14
- [27] 岳增慧, 许海云, 方曙. 基于个体行为的科研合作网络知识扩散建模研究[J]. 情报学报, 2015, 34(8): 819-832.
- [28] 蔡翔, 肖岳峰, 曾繁荣. 知识创新链浅议[J]. 软科学, 2001, 15(1): 2-4, 8.
- [29] 蔡翔. 创新、创新族群、创新链及其启示[J]. 研究与发展管理, 2002, 14(6): 35-39.
- [30] Timmers P. Building effective public R&D programs[C]// Proceedings of Portland International Conference on Management of Engineering and Technology. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1999: 591-597.
- [31] Turkenburg W C. The innovation chain: policies to promote energy innovations[R]//Energy for Sustainable Development. New York: UNDP, 2002: 137-172.
- [32] Sen N. Innovation chain and CSIR[J]. Current Science, 2003, 85(5): 570-574.
- [33] Larson E V, Brahmakulam I T. Building a new foundation for innovation: Results of a workshop for the National Science Foundation[M]. Santa Monica: Rand Corporation, 2001.
- [34] Bamfield P. Research and development in the chemical and pharmaceutical industry[M]. John Wiley & Sons, 2006: 233-254.
- [35] 梁意敏. 打造双向创新链[D]. 广州: 暨南大学, 2007.
- [36] Perkmann M, Walsh K. University-industry relationships and open innovation: Towards a research agenda[J]. International Journal of Management Reviews, 2007, 9(4): 259-280.
- [37] 傅家骥. 技术创新学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998: 177-183.

- [38] Kogut B, Chang S J. Technological capabilities and Japanese foreign direct investment in the United States[J]. *The Review of Economics and Statistics*, 1991, 73(3): 401-413.
- [39] Laursen K, Salter A. Open for innovation: the role of openness in explaining innovation performance among U.K. manufacturing firms[J]. *Strategic management journal*, 2006, 27(2): 131-150.
- [40] 顾兴燕, 银路. 基于能力异质性的产学研合作创新对象选择[J]. *技术经济*, 2010, 29(11): 24-29.
- [41] Barber M J. Modularity and community detection in bipartite networks[J]. *Physical Review E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 2007, 76(2): 066102.
- [42] 温芳芳. 专利合作模式的计量研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2012.
- [43] 卿涛, 刘爽. 成都市产学研协同创新体系的构建[J]. *中国商论*, 2016(29): 135-137.
- [44] Newman M E. The structure and function of complex networks[J]. *SIAM Review*, 2003, 45(2): 167-256.
- [45] Baxter G J, Dorogovtsev S N, Goltsev A V, et al. *k*-core organization in complex networks[M]// *Handbook of Optimization in Complex Networks*. Boston: Springer, 2012, 57: 229-252.
- [46] Incites. InCitesTM 数据库快速使用指南[EB/OL]. [2016-7-4]. http://ipscience.thomsonreuters.com.cn/media/incites_qrc_cn_20150604.pdf.
- [47] 唐艳林, 宋桂才, 梁文昌. 畜禽基因工程疫苗的研究进展及应用前景[J]. *吉林畜牧兽医*, 2005, 26(12): 18-20.
- [48] Clements C J, Wesselingh S L. Vaccine presentations and delivery technologies—what does the future hold?[J]. *Expert Review of Vaccines*, 2005, 4(3): 281-287.
- [49] Reuters T. Derwent innovations index[EB/OL]. [2017-5-23]. <http://www.thomsonscientific.com.cn/productservices/derwentinnovationsindex/>.
- [50] Reuters T. Thomson data analyzer[EB/OL]. [2015-9-12]. <http://www.thomsonscientific.com.cn/productservices/TDA/>.
- [51] 李长玲. 隐性知识共享的障碍及其对策分析[J]. *情报理论与实践*, 2005, 28(2): 129-131.

(责任编辑 车尧)