

基于系统生成的新兴产业突破性创新联盟演化分析

——以生物医药为例

刘国巍^{1,2}, 李明昊¹

(1. 桂林电子科技大学商学院, 广西 桂林 541004; 2. 宿迁学院经济管理学院, 江苏 宿迁 223800)

摘要: 针对新兴产业突破性创新联盟如何动态演化的问题,从系统生成论出发,剖析新兴产业突破性创新联盟演化机理,并开展生物医药产业的纵向单案例研究。在案例分析基础上,按照归纳和演绎交替使用的整合研究逻辑推理思路,进一步开发了两阶段演化博弈模型,探索新兴产业突破性创新联盟演化的涌现规律。研究表明:链主企业、链属企业、链外企业和学研机构构成了新兴产业突破性创新联盟核心层;联盟演化可分割为形成期和稳定期两个阶段;联盟形成阶段,收益分配系数正向影响联盟主体合作意愿,链主企业的合作意愿随知识匹配难度系数增长呈U形趋势,税率变化对意愿影响较小;联盟稳定阶段,链主企业具有稳定的积极合作意愿,链属企业容易产生“搭便车”行为,学研机构合作意愿在初期经历短暂的U形变化后转为积极合作意愿。从演化角度为培养新兴产业突破性创新联盟提供了理论支撑和实践启示。

关键词: 新兴产业; 突破性创新; 联盟; 演化; 系统生成

中图分类号: F204 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)04-0193-12

新兴产业是伴随重大技术突破和发展需求产生的新业态,关乎国家现代化产业体系建设,对于推动科技产业发展,提高国家创新水平具有重要作用。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》指出,将培育新一代信息技术产业、生物产业、高端装备制造业等9大新兴产业增长点,推动重点产业领域加快发展,突出新兴产业“突破式”创新发展的战略地位。新兴产业是典型的技术高新型和知识密集型产业,突破性创新在新产品研发方面发挥着关键作用,如生物医药产业中突破性的科学发现为治疗癌症、罕见病和传染性疾病提供新途径;基因编辑技术CRISPR-Cas9的涌现,为个性化治疗和定制药物打开了崭新的大门;数字医疗和人工智能通过大数据分析和机器学习提高了疾病理解、药物筛选效率,加速了临床试验。不难发现,突破性的创新产品是维持新兴产业核心竞争力,推动新兴产业发展的重要手段。但突破性创新具有研发周期长、风险系数高、资金投入高和知识成分密集的特点,故为了加

快产品研发,突破技术壁垒,解决共性技术难题,产业创新主体往往通过建立跨组织、跨区域、跨学科的突破性创新联盟开展联合技术攻关,降低不确定性和潜在成本。

新兴产业突破性创新联盟合作模式促进了实验设备、专业人才和研究数据等研发资源共享,但也可能导致资源分配不均、知识产权纠纷等问题。因此,产业创新主体往往基于自身战略目标和市场环境条件,既强调通过合作实现资源共享、信息传递,提高创新效率,又在信息保密程度高、合作伙伴竞争强度大的情况下,容易选择相对独立的研发策略。据《2022—2023年度产业技术创新战略联盟活跃度评价报告》显示,活跃度一般或不活跃的联盟占比达到32%。可见,新兴产业在借助创新解决产品研发等问题时,不仅形成了跨产业、跨组织的创新联盟(联盟“生”的阶段),而且创新联盟还存在不稳定的现象(联盟“成”的阶段)。因此,从系统生成视角研究新兴产业突破性创新联盟演化问题具有十分重要的理论和现实意义。

收稿日期: 2024-08-16

基金项目: 国家自然科学基金(72264007)

作者简介: 刘国巍(1985—),男,黑龙江绥化人,博士(后),教授,硕士研究生导师,研究方向为战略性新兴产业、创新管理;通信作者李明昊(1997—),男,河北保定人,硕士研究生,研究方向为创新管理。

当企业拥有突破性技术创新市场化所需的专业化附加资产时,新进企业则倾向于与之合作形成战略联盟^[1]。战略联盟是企业应对外部环境,提高创新能力,获取互补资源的重要组织形式,联盟的行动逻辑、内在规范和相互认同对突破性创新起到显著正向作用^[2]。目前,关于突破性创新联盟研究主要集中于联盟知识、联盟技术和联盟关系等方面:①突破性创新联盟知识研究聚焦于知识共享、扩散和异质性,发现知识搜索强度对知识异质性与焦点企业突破性创新关系起到正向调节作用^[3],联盟知识共享能有效降低突破性创新风险和投入^[4],集体利益捆绑、协作架构控制、知识共享的广泛性和深入性对突破性创新发挥重要作用^[5]。②突破性创新联盟技术研究聚焦于技术多元性、技术多样性和技术距离。研究表明,联盟技术多元性、联盟伙伴技术多样性对突破性创新的影响呈现倒U形趋势^[6-7],国际研发联盟伙伴的技术距离对突破性创新影响同样呈现倒U形关系^[8]。③突破性创新联盟关系研究聚焦于联盟成员规模、地理距离、关系强度等,发现联盟伙伴规模均值负向影响突破性创新,伙伴规模波动正向影响突破性创新^[9],联盟成员地理距离均值和地理距离断层正向影响突破性创新^[10],伙伴平均关系强度离散程度正向影响突破性创新^[11]。可见,学者们已开展突破性创新联盟的知识、技术等影响因素和关系联结机制研究。

此外,联盟作为重要的组织形式,其演化过程直接影响企业发展轨迹。在产业演化基础上,国内外学者进一步关注联盟演化这一重要主题,主要从联盟演化模型^[12]、联盟(网络)演化规律^[13]、联盟演化博弈、联盟演化机理等方面开展联盟演化研究,其中联盟演化博弈集中于演化形成动因与机制、利益分配与决策、协同创新与共生等方面。例如,使用三方演化博弈模型研究政府补贴和干预对国家农业科技联盟成员创新协同效果和联盟可持续发展的潜在影响^[14];引入机会主义共享策略分析大数据联盟成员在积极和消极不同状态下的博弈行为^[15];利用动态博弈模型分析产业链战略联盟企业提高核心竞争力的有效途径^[16]。而联盟演化机理对联盟形成和发展、增强联盟竞争力、降低风险、实现共同利益和目标有重要作用。例如,基于知识生态视角构建产学研联盟中知识生产者、消费者和服务者三方共生演化的动力学模型,分析三类主体之间的共生模式和

共生演化机理^[17];基于 Logistic 构建数据资源共享演化模型,发现对称性互惠共生是大数据联盟最佳共生演化机理^[18];通过构建技术联盟,企业在联盟中充分吸收知识和技术的协同效应(机理)可提高自身技术能力^[19]。可见,当前关于产业联盟的研究已相当丰富,但更多是从产、学、研等异质性主体视角出发,探讨联盟演化机理,鲜有从产业内、外部企业多样性和产学研异质性整合视角开展突破性创新联盟演化的相关研究。

综上所述,本文认为新兴产业突破性创新联盟是产业内、外部企业、大学和研究机构等创新主体以加快医药产品研发进度、提高创新效率、扩大市场份额、突破产业技术壁垒为目的,通过合作共研或者知识共享等方式开展突破性创新的组织形式,其演化过程包括联盟形成与联盟稳定两个系统生成阶段。本文旨在从系统生成视角研究新兴产业突破性创新联盟演化规律,深入理解联盟成员的合作动机、合作模式和利益协调机制,提升新兴产业突破性创新联盟可持续运行效率,主要探讨如下两个问题:一是新兴产业创新主体基于自身能力和战略部署出发,选择是否与其他创新主体结成突破性创新联盟?这些联盟主体的类型如何?二是在结成联盟进行突破性创新时,伴随研发进度深入和研发投入增加,受突破性创新特征影响,创新主体为获取最大利益,容易选择消极合作,出现“搭便车”现象,那么怎样保持联盟稳定运行?如何治理?为解决上述问题,以生物医药产业为例,结合系统生成论和两阶段演化博弈理论,系统分析新兴产业突破性创新的演化规律。

本文创新之处在于:第一,从系统生成论角度探究新兴产业突破性创新联盟存续运行的两阶段过程,剖析联盟可持续发展的主导特征,为开展联盟演化机理研究提供了新思路;第二,通过生物医药产业的案例研究和两阶段演化博弈分析,验证、探索新兴产业突破性创新联盟演化规律,进一步丰富了新兴产业和突破性创新理论。

1 新兴产业突破性创新联盟演化机理分析

由于突破性创新的形成伴随着随机性、偶然性和复杂性,单一企业已很难独自取得突破性创新成果^[20]。与跨界组织机构合作,利用联盟关系创造竞争优势并带来超额收益,已成为其新的选择。Palmie等^[21]指出突破性技术创新往往发生在创新网络层面,而非在单个企业当中。由此可知,突破性创新联盟发生在产业层面,是产业内部诸

多企业和学研机构以创新联盟为基础、合作开展突破性创新的重要组织形式。在对中国产业技术创新战略联盟(<http://www.citisa.org/>)进行不完全统计分析后发现,突破性创新联盟核心成员包括:①链主企业,是产业链的核心企业,是突破性创新联盟的核心组织者与参与者;②链属企业,一般位于产业链中下游,主要提供专业技术和设备;③链外企业,属于产业外部企业,为链主和链属企业提供专业支持;④学研机构,包括大学和研究所所在内可以提供基础研究、科学知识和实验室设施的主体。链主企业与学研机构合作进行新产品研发弥补自身知识匮乏缺点,同时与链属企业建立紧密的研发合作关系,而链外企业则为上述企业和机构提供专业技术和设备。进一步研究发现新兴产业突破性创新联盟具有如下基本特征:①跨界合作,联盟汇集了企业、大学、科研院所等研发机构的专业知识,实现了跨学科协同;②资源共享和风险共担,联盟成员通过共享专业知识、技术和设备和研发平台,共同承担高研发任务,降低单一企业的研发不确定性和风险;③政府推动,政府通过政策支持、资金补贴和平台开发等手段,推动联盟形成和发展;④不确定性,新兴产业技术更新迭代速度快,行业市场受到科技、政策等多因素影响,发展具有不确定性。

系统生成论认为,系统生成是一个整合差异的过程,由生和成两个一级分过程组成^[22]。“生”指系统从无到有,“成”指系统出生后的发育成长。“微”是介于有和无之间的一种状态,是事物从无到有的桥梁。该理论关注系统组分的制作和选择,也注重增加组分之间的联系。从系统生成论的角度,新兴产业突破性创新联盟演化阶段可以被理解为一个由从“无”到“微”、然后从“微”到“有”的系统生成过程。随着技术和市场发展,突

破性创新联盟在演化过程中出现多种形态变化。例如,新成员的加入提升了联盟规模,合作关系的调整提高了联盟密度;当成员数量和合作关系逐渐稳定时,政府政策激励和成员互惠共信共同推动联盟突破性创新。这些变化改变了联盟内部结构和功能,同时也和外部环境产生联系。基于系统生成理论和具体发展情况,新兴产业突破性创新联盟演化可以分为联盟形成阶段和联盟稳定阶段两个主要阶段。基于系统生成论的联盟演化特征如图1所示。

在突破性创新联盟形成阶段,各个主体(链主企业、链属企业、链外企业、学研机构、政府)根据自身优势和需求进入联盟,形成一种多元合作格局。链主企业通常具有较大的规模和技术实力,作为核心节点通过提供新兴产业前沿技术或关键资源的方式,在联盟中扮演引领角色。在链主企业引导下,链属企业积极参与联盟活动,为联盟提供专业技术和创新资源。链外企业提供专业算法和设备支持,扩大联盟技术和知识广度。学研机构与联盟成员共享研究成果,提供科研支持,促进联盟的创新能力。政府在此过程中扮演推动角色,通过政策、资源等手段鼓励各方合作形成联盟。当各主体合作进行突破性创新后,联盟开始进入稳定阶段,联盟成员之间形成信任和共享关系。在共享资源、共担风险、共获成果的基础上促进突破性创新。链主企业的主导作用开始分散,其他成员开始演变为合作中心节点,形成分散的联盟结构。政府通过政策引导、资金支持等手段推动突破性创新研发。

2 研究设计与案例分析

2.1 研究方法 with 样本选择

考虑新兴产业突破性创新联盟的高风险性、长周期性和创新主体的有限理性,根据归纳(基于具

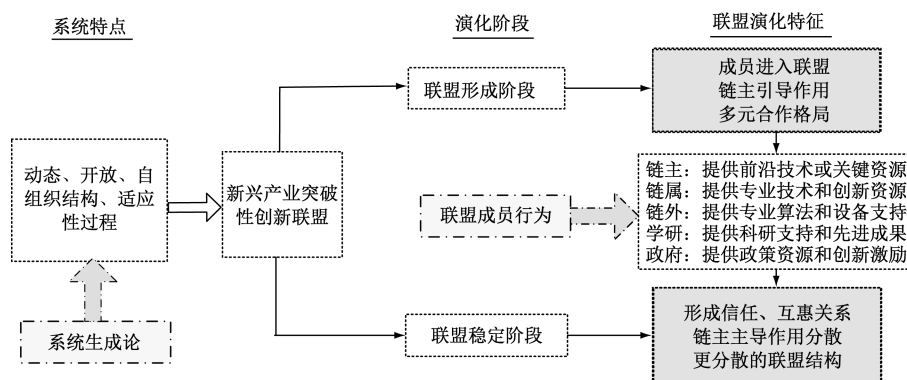


图1 基于系统生成论的新兴产业突破性创新联盟演化特征

体案例总结一般性规律或趋势)和演绎(从已知一般性规律出发推断特定结论或预测)交替使用的整合研究逻辑推理思路,以生物医药产业为研究对象,采用案例研究、演化博弈两种定性与定量相结合的研究方法,形成新兴产业突破性创新联盟的嵌入式案例研究设计。

选择生物医药产业为研究对象,主要原因:①生物医药产业创新涉及多学科领域、多区域主体和多知识要素,具有产业联盟生成的内生“本源”需求性,对突破性创新联盟的研究有助于识别和理解创新过程中的瓶颈和机遇;②生物医药产业突破性创新联盟是一项多主体协同的复杂系统工程,包含基因工程、生物信息学、生物制药、基因疗法等核心技术和治疗方法,联盟案例丰富且具有典型性;③科技部对产业技术创新战略联盟的评估结果显示,生物医药产业的创新联盟评估结果同时存在 A(成果显著)、B(存在一些不足)、C(存在较多问题)三类。可见,生物医药产业在借助创新解决药品研发等问题时,不仅形成跨产业、跨组织的创新联盟,而且创新联盟还存在不稳定的现象。本文案例数据来源于中国产业技术创新战略联盟、企业官网等平台二手数据,博弈参数则根据企业年度财报、政府公告等内容参考赋值。

2.2 案例分析:我国生物医药突破性创新联盟演化

通过总结 AI 新药研发、纳米生物医药、流感疫苗、抗生素、中药全球化等生物医药产业突破性创新联盟的建设经验,可知生物医药联盟主体(链主企业、链属企业、链外企业、科研机构)具有如下特征:①链主企业拥有独特技术和专业知识,承担新药研发、生物制药、药物生产等任务,通过巨额研发投入、整合产业资源和市场引领等方式,寻找新的药物、技术和治疗方法。链主企业具有独特的技术工艺、完备的生产设备和强大的市场地位,其创新能力与研究方向推动产业链上下游协同合作,发挥引领效应。例如,罗氏集团凭借在癌症和基因治疗领域的领先地位,成为推动生物医药产业突破性创新的链主企业。罗氏集团与信达生物达成研发战略合作关系,专注于双特异性抗体和细胞治疗产品的研究、临床开发和商业化;与宜联生物合作共同开发治疗下一代抗体偶联药物;通过 SAP Analytics Cloud 提供解决方案,提高预测准确性。②受链主企业委托,链属企业承担部分研发生产和治疗诊断任务,并通过共享信息等方式,联合应对风险,推动产业突破性创新。例如,艾苏莱作为专注生物药物

研发和注册申报服务的链属企业,在基础设施、团队组建方面具体独特优势,利用特色的生物医药质量分析和稳定性服务,成功与罗氏、诺华等链主企业合作,实现后发企业的弯道超车。③链外企业通过引入先进创新理念和智能技术,为链主和链属企业提供专业支持,包括大数据分析预测精度、AI 驱动药物发现、成像技术提高检测准确性等,以此加速突破性创新药物研发,改善工作流程。例如,Recursion 作为基于人工智能技术驱动药物发现的链外企业,与罗氏及旗下的基因泰克开展遗传变化和肿瘤细胞方向的合作,通过神经科学和机器学习算法构建数学模型并生成数据集,然后提供给罗氏进行研究,帮助确定神经科学疾病的目标疗法和肿瘤学适应证。④科研机构与生物医药产业链企业合作共同探索新的药物和治疗方法,通过技术转移的方式将研究成果转化为实际产品,共享知识成果。例如,上海交通大学作为中国高等学府,与上药控股合作构建学研链条推动生物医药创新成果转化;与辉瑞合作开展生物医药科研;与新乡市合作共建生物医药创新中心。⑤政府通过多种方式推动联盟创新和国家医疗科技发展。如提供研发资金、补贴或税收优惠等方式支持链主企业的研发活动。通过相关政策和建设科技园区等措施引导和支持生物医药产业发展;通过放宽市场准入条件等手段,支持链外企业参与生物医药市场。例如,广州通过建立专项办公室、协同资金项目、吸引高端人才、构建产业园、监管与监督、降低税收等方式推进粤港澳大湾区的生物医药产业发展工作。

本文进一步聚焦某 AI 新药研发联盟,搜集、整理某 AI 新药研发联盟的发展轨迹和重要事件,通过分析、借鉴其演化过程,阐述生物医药产业突破性创新联盟演化路径。某 AI 新药研发联盟通过聚焦重点项目,促进联合研究,推动人工智能与医学的融合,联盟成员涵盖了多个关联领域的企业、国内重点大学和研究机构。生物医药产业突破性创新存在经典的双十现象,即投入 10 亿元,成功率 10%。政府往往通过优惠政策、减免税收等方式,支持联盟研发项目,加速科技成果应用,激发联盟成员合作涌入,促进突破性创新。但风险承受能力较低企业常因担心投入回报不对等、利润分配不均等情况,选择独立研发保留充分的自主权。此外,在利益驱动下可能出现知识所有权和使用权争议,这种争议可能阻碍企业加入联盟。在某 AI 新药研发联盟形成的过程中,A 企业通过自主研发的三个

人工智能平台,提供“端到端”的技术和数据库支持,成为联盟的技术引领者,起到推动联盟形成的关键作用。B企业等链属企业响应链主号召,为联盟提供了多元化的算法和临床经验。链外企业如C企业依托百度大脑、昆仑芯等技术,为蛋白药物、小分子药物研发提供综合解决方案,构建“算力”和“智力”支持。D大学、E研究院等学研机构提供前沿科研知识和学术资源。S市政府为联盟成立提供政策和创新激励支持。这一阶段的关键特征是各主体根据自身专业能力和需求加入联盟,形成相对独立但相互关联的自组织结构。

生物医药产业突破性创新联盟形成后,链主企业、链属企业、链外企业、学研机构可以通过积极合作开展技术知识协同,促进联盟稳定运行。政府对联盟积极合作企业和机构进行税收和补贴激励激发成员合作积极性。同时,联盟制定惩罚措施规范和纠正消极合作成员,使之行为符合联盟创新目标。具体而言,联盟成员通过积极合作时产生的信任来建立牢固的合作关系。同时政府通过降税、补贴等方式为联盟成员提供政策支持,缓解了研发资金负担,鼓励了成员积极合作意愿。但是,联盟成员为了掌握和保护核心技术,降低联盟框架限制,可能会选择消极投入。政府从惩罚、制度规制等多方面建立治理机制,避免联盟成员采取消极合作策略。某AI新药研发联盟进入稳定阶段后,成员之间合作和共享资源,逐渐形成紧密的合作格局。A企业通过开展多个靶点的药物研发合作,与链属企业B企业合作开展算法验证集合药物研发工作,进一步巩固自身在联盟中的地位。链外企业C与F制药企业合作,助力药企实现数字化发展。这一阶段的关键特征是联盟成员开始互助共享资源,涌现多样的合作关系。

通过对某AI新药研发联盟分析,可以清晰地划分联盟演化阶段。联盟形成初期,成员相对独立,出现了相互适应和随机合作情况。随着时间推移,联盟成员开始信任和共享,通过共同研发和共享资源推动突破性创新。某AI新药研发联盟早期注重联盟形成和资源整合,后期注重联盟稳定和持续性,这说明可以将联盟演化阶段划分为形成期和稳定期两个阶段。

3 生物医药产业突破性创新联盟两阶段演化博弈分析

3.1 基本假设与参数赋值

参与者:链主企业、链属企业、链外企业、学研

机构和政府5类博弈主体,且主体均具有有限理性和风险中性特征。

合作策略:联盟演化包括形成和稳定两个阶段。链主企业、链属企业、链外企业、学研机构主体第一阶段策略集合为(合作,不合作),第二阶段策略集合为(积极合作,消极合作),而政府策略集合为(激励,不激励);支付收益:根据策略组合形成表1和表2所示的支付矩阵(本文仅构建了政府激励下链属、链外、学研合作的第一、二阶段五方博弈支付矩阵,考虑篇幅,其他情境下的支付矩阵不再赘述)。

其中, Q_i 、 C_{i1} 为第 i 个主体的创新收益和研发成本, $i = 1, 2, 3, 4$ (链主企业、链属企业、链外企业、学研机构); 研发成功的总成本为 $w(c_i | i = 1, 2, 3, 4) = w(c_{i1} | i = 1, 2, 3, 4) = \delta \sum_{i=1}^4 c_{i1}$, $\delta \in [0, 1]$ 为博弈主体间的知识匹配难度系数,是指评估联盟企业所拥有的知识体系、技术能力和专业技能在合作创新过程中相互匹配和融合的难易程度的指标, δ 越大,需要更多的沟通和协调来实现有为的知识共享和创新协同,联盟总体研发成本越高。第 i 个博弈主体从联盟获得的成本为 δC_{i1} ; C_{i2} 为第 i 个主体的外部交易成本,是指合作双方除了合作本身,因合作行为本身而产生的额外成本; ϵ 为博弈主体采取消极合作策略时的交易成本增长系数,主要指消极合作行为导致交易成本相对于合作理想状态增加的量化度量; 研发成功的总收益为 $v(Q_i | i = 1, 2, 3, 4) = \pi \sum_{i=1}^4 Q_i$, $\pi \in [0, 1]$ 为博弈主体合作研发成功率; a_{ij} 为第 i 个博弈主体在加入 j 个博弈主体联盟的利益分配系数, $\sum_{i=1}^4 a_{ij} = 1, j = 2, 3, 4$; λ 为各主体选择不合作策略的机会收益率(或独自研发成功率), $1 - \lambda$ 为独自研发的失败率; k 为消极合作主体的机会收益率。政府采取激励策略时,政府对联盟成员的税收系数为 h_1 , 采取不激励策略时,政府的税收系数为 h ; e 为政府对联盟成员的补贴, b_{ij} 为第 i 个博弈主体在加入 j 个博弈主体联盟时的政府补贴系数。政府对消极合作主体进行惩罚,惩罚产生的损失折算系数 μ 。突破性创新是解决“卡脖子”问题的关键路径,政府通常大力支持,不考虑短期收益,故本文在构建博弈支付矩阵和支付收益时未计算政府收益。第一阶段,链主企业、链属企业、链外企业、学研机构合作概率分别为 x 、 y 、 z 、 q , 不合作

表 1 政府激励 (m) 下链属、链外、学研合作的第一阶段五方博弈支付矩阵

链主	链主收益	链属合作 y、链外合作 z、学研合作 q		
		链属收益	链外收益	学研收益
合作	$U_{11} = a_{14}v - \delta C_{11} - h_1 a_{14}v + \epsilon b_{14}$	$U_{12} = a_{24}v - \delta C_{21} - h_1 a_{24}v + \epsilon b_{24}$	$U_{13} = a_{34}v - \delta C_{31} - h_1 a_{34}v + \epsilon b_{34}$	$U_{14} = a_{44}v - \delta C_{41} + \epsilon b_{44}$
不合作	$\lambda Q_1 - C_{11}$	$\lambda Q_2 - C_{21}$	$\lambda Q_3 - C_{31}$	$\lambda Q_4 - C_{41}$

注: $v(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4) = \pi \sum_{i=1}^4 Q_i$ 。

表 2 政府激励 (m) 下链属、链外、学研积极合作的第二阶段五方博弈支付矩阵

链主	链属积极合作 y ₁ 、链外积极合作 z ₁ 、学研积极合作 q ₁			
	链主收益	链属收益	链外收益	学研收益
积极	$U_{11} = a_{14}v - (\delta C_{11} + C_{12}) - h_1 a_{14}v + \epsilon b_{14}$	$U_{21} = a_{24}v - (\delta C_{21} + C_{22}) - h_1 a_{24}v + \epsilon b_{24}$	$U_{31} = a_{34}v - (\delta C_{31} + C_{32}) - h_1 a_{34}v + \epsilon b_{34}$	$U_{41} = a_{44}v - (\delta C_{41} + C_{42}) + \epsilon b_{44}$
消极	$V_{11} = ka_{14}v - (\delta C_{11} + \epsilon C_{12}) + (1 - \mu)\epsilon b_{14}$	$V_{21} = \epsilon b_{24} - (\delta C_{21} + C_{22})$	$V_{31} = \epsilon b_{34} - (\delta C_{31} + C_{32})$	$V_{41} = \epsilon b_{44} - (\delta C_{41} + C_{42})$

注: $v(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4) = \pi \sum_{i=1}^4 Q_i$ 。

概率分别为 $1-x, 1-y, 1-z, 1-q$; 第二阶段, 链主企业、链属企业、链外企业、学研机构积极合作概率分别为 x_1, y_1, z_1, q_1 , 不合作概率分别为 $1-x_1, 1-y_1, 1-z_1, 1-q_1$ 。

在第一、二阶段博弈支付矩阵基础上, 得到第一、二阶段不同博弈主体的期望收益。本文仅以链主企业为例, 第一阶段链主企业选择合作的期望收益为

$$E_{11} = myzqU_{11} + (1-m)y_1zqU_{11}^1 + m(1-y) \times zqU_{21} + (1-m)(1-y)zqU_{21}^1 + my(1-z)qU_{31} + (1-m)y(1-z)qU_{31}^1 + myz(1-q)U_{41} + (1-m)y_1z(1-q)U_{41}^1 + my(1-z)(1-q)U_{51} + (1-m)y(1-z)(1-q)U_{51}^1 + m(1-y)z(1-q)U_{61} + (1-m)(1-y)z(1-q)U_{61}^1 + m(1-y)(1-z)qU_{71} + (1-m)(1-y)(1-z)qU_{71}^1 + m(1-y)(1-z)(1-q)U_{81} + (1-m)(1-y)(1-z)(1-q)U_{81}^1 \quad (1)$$

第一阶段链主企业选择不合作的期望收益为

$$E_{12} = \lambda Q_1 - C_{11} \quad (2)$$

第一阶段链主企业的平均期望收益为

$$E_1 = E_{11}x + E_{12}(1-x) \quad (3)$$

第二阶段链主企业选择积极合作 x_1 的期望收益为

$$E_{11} = m[y_1z_1q_1 + (1-y_1)z_1q_1 + y_1(1-z_1)q_1 + y_1z_1(1-q_1) + y_1(1-z_1)(1-q_1) + (1-y_1)z_1(1-q_1) + (1-y_1)(1-z_1)q_1]U_{11} + (1-m)[y_1z_1q_1 + (1-y_1)z_1q_1 + y_1(1-z_1)q_1 + y_1z_1(1-q_1) + y_1(1-z_1)(1-q_1) + (1-y_1)z_1(1-q_1) + (1-y_1)(1-z_1)q_1]U_{11} + m(1-y_1)(1-z_1) \times (1-q_1)U_{81} + (1-m)(1-y_1)(1-z_1)(1-q_1)U_{81}^1 \quad (4)$$

第二阶段链主企业选择消极合作 $1-x_1$ 的期望收益为

$$E_{12} = m[y_1z_1q_1 + y_1(1-z_1)(1-q_1) + (1-y_1) \times z_1(1-q_1) + (1-y_1)(1-z_1)q_1(1-y_1)z_1q_1 + y_1(1-z_1)q_1 + y_1z_1(1-q_1) + (1-y_1)(1-z_1)(1-q_1)]V_{11} + (1-m)[y_1z_1q_1 + y_1(1-z_1)(1-q_1) + (1-y_1)z_1(1-q_1) + (1-y_1)(1-z_1)q_1(1-y_1) \times z_1q_1 + y_1(1-z_1)q_1 + y_1z_1(1-q_1) + (1-y_1)(1-z_1)(1-q_1)]V_{12} \quad (5)$$

第二阶段链主企业的平均期望收益为

$$E_1 = E_{11}x_1 + E_{12}(1-x_1) \quad (6)$$

构建演化博弈模型后, 进一步基于 Netlogo 软件仿真分析各因素对生物医药产业突破性创新联盟成员策略的影响。企业年度财报通常包括公司的财务状况、经营成果、现金流量等信息, 而创新药物收益则是公司通过研发新药物并成功推向市场后所获得的经济回报, 为保证仿真结果准确性和策略分析合理性, 结合相关文献^[23-27]并根据企业年度财报和创新药物收益得到研发收益参数值; 政府为鼓励生物医药产业的研发和创新, 通常会提供财政补贴或税收减免等激励措施, 并在官方网站上发布相应的公告和通知。根据政府官方网站公告进一步得到生物医药产业税率和政府补贴参数值; 生物医药产业报告通常由行业分析机构、市场研究公司或行业协会编制, 包含行业趋势、研发动态、市场分析等信息, 本文根据生物医药产业报告得到独立研发成功率和合作研发成功率; 占据结构洞的网络节点往往能够搜索并获取不同领域的知识和资源, 而知识搜索有利于实现与外部环境的动态匹配^[28]。

因此,参考邵云飞和谢丽^[29]关于生物医药产业突破性创新研究的文献,依据文中关于结构洞的描述和计算方式得到知识匹配系数;设置链主、链属、链外、学研的初始联盟合作意愿为 $x=y=z=q=0.5$,政府激励意愿 $m=0.5$,即生物医药内外企业对合作形成联盟保持中立态度。稳定阶段的收益分配系数、成本分配系数、独立研发收益和成本、政府激励和税率与形成阶段的参数值相同。假设链主、链属、链外、学研的积极合作意愿为 $x_1=y_1=z_1=q_1=0.5$,政府激励意愿 $m=0.5$ 。博弈模型初始参数值如表 3 所示。

3.2 结果分析

3.2.1 收益分配系数对突破性创新联盟演化的影响

联盟形成过程中可能存在两方合作、三方合作和四方合作三种情况,分别对这些情况的 a_{ij} 系数进行分析。四方合作情境下链主企业、链属企业、链外企业、学研机构的收益分配参数值设置和仿真结果如图 2(a)所示,发现当收益分配系数在一定范围内变化时,博弈主体均向“合作”策略演化,说明收益分配系数对突破性创新联盟形成产生正向影响。其中,链主企业的收敛速度明显高于链属企业、链外企业和学研机构,链属企业和链外企业的收敛速度基本保持一致,学研机构的收敛幅度最大。针对

三方和两方合作情况,如图 2(b)和图 2(c)所示,当收益分配系数在一定范围内变化时,三方或者两方合作的仿真结果与四方合作的结果基本一致,博弈主体策略均向“合作”策略演化。第二阶段,收益分配系数对突破性创新联盟演化影响,如图 2(d)所示。只有链属企业的收益分配系数由 0.14 提高到

表 3 博弈模型初始参数值

第一阶段							
参数	赋值	参数	赋值	参数	赋值	参数	赋值
a_{14}	0.78	a_{24}	0.15	a_{34}	0.05	a_{44}	0.02
a_{13}	0.82	a_{23}	0.09	a_{33}	0.09	a_{43}	0.09
a_{12}	0.86	a_{22}	0.14	a_{32}	0.14	a_{42}	0.14
b_{14}	0.80	b_{24}	0.10	b_{34}	0.08	b_{44}	0.03
b_{13}	0.90	b_{23}	0.05	b_{33}	0.05	b_{43}	0.05
b_{12}	0.95	b_{22}	0.05	b_{32}	0.05	b_{42}	0.05
Q_1	14.00	Q_2	2.75	Q_3	1.00	Q_4	0.25
C_{11}	8.00	C_{21}	1.00	C_{31}	0.80	C_{41}	0.20
h_1	0.03	h	0.15	π	0.20	λ	0.10
e	1.00	δ	0.54				

第二阶段							
参数	赋值	参数	赋值	参数	赋值	参数	赋值
a_{14}	0.78	a_{24}	0.15	a_{34}	0.05	a_{44}	0.02
b_{14}	0.80	b_{24}	0.10	b_{34}	0.08	b_{44}	0.03
Q_1	14.00	Q_2	2.75	Q_3	1.00	Q_4	0.25
C_{11}	8.00	C_{21}	1.00	C_{31}	0.75	C_{41}	0.25
C_{12}	0.15	C_{22}	0.05	C_{32}	0.05	C_{42}	0.05
e	1.00	δ	0.542	π	0.20	k	0.80
h_1	0.03	h	0.15	μ	0.5	ϵ	5.00

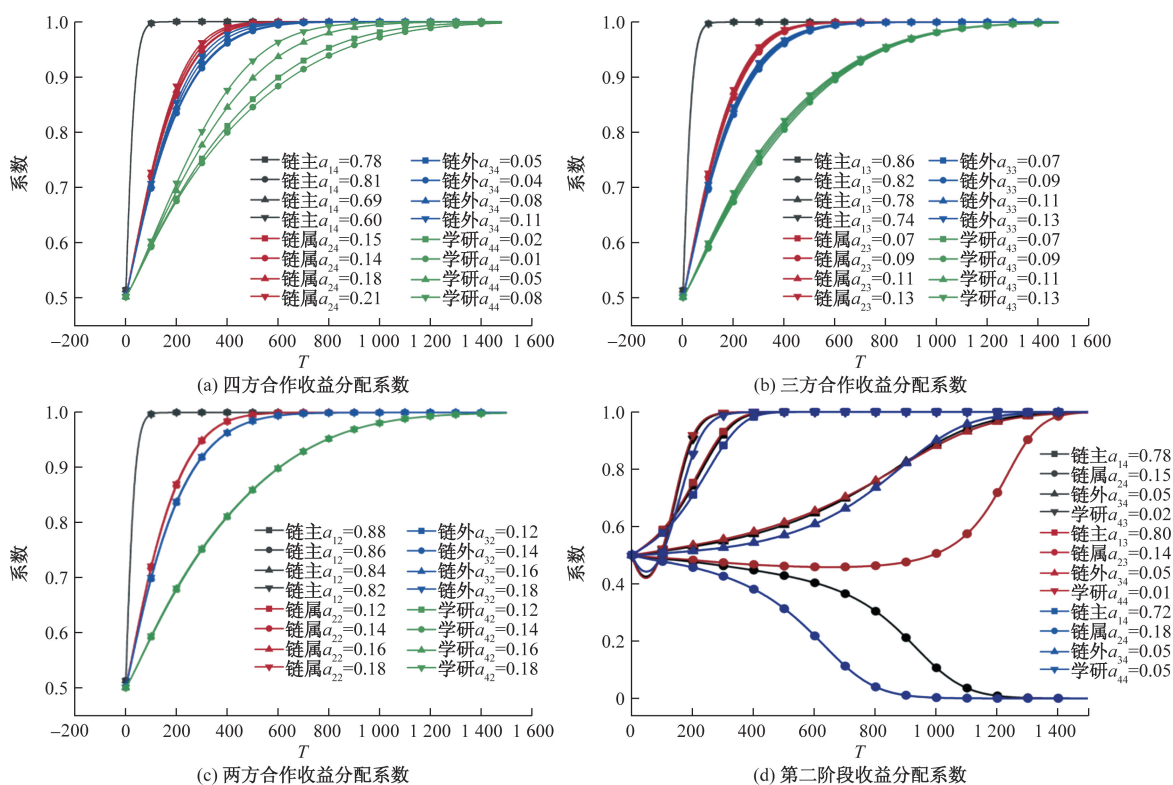


图 2 收益分配系数变化的策略演化

0.15 时,会从积极合作转为消极合作。学研的合作意愿在时间 0~100 时先下降后上升。其他主体均随收益分配系数增加,合作概率和响应速度加快,表明收益分配系数对突破性创新联盟形成和稳定发挥重要作用。

3.2.2 知识匹配系数对突破性创新联盟演化的影响

考虑链主企业、链属企业、链外企业和学研机构在知识背景和专业领域存在着巨大差异,而突破性创新联盟形成阶段的初步合作无法弥补这种差异,故将知识匹配难度系数设置为初始值的 4 倍进行对比分析。图 3 是在知识匹配系数 $\delta=2.1$ 和 $\delta=2.2$ 时博弈主体的策略变化情况。一方面,在时间 $T<400$ 时,博弈主体选择合作的概率由高到低依次为链外企业、链属企业、学研机构和链主企业。随着时间推移,链主企业和链属企业的合作概率同时反超链外企业,率先达到稳定状态。随着难度系数增加,链主和链属企业合作概率的反超时间出现滞后,且这种滞后性与难度系数呈正相关。另一方面,链主企业合作概率在时间 0~50 时出现短暂下降,随后上升,说明链主企业的合

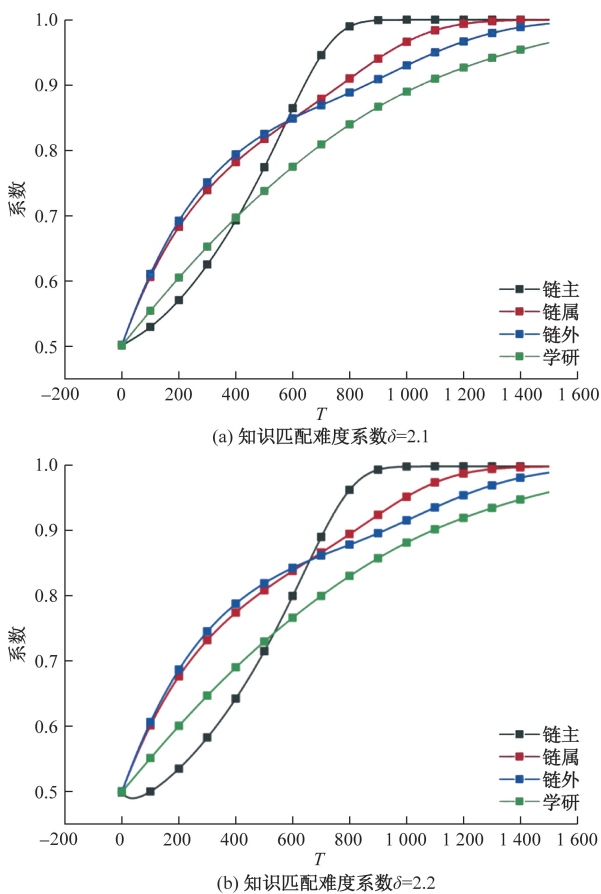


图 3 知识匹配系数策略演化

作意愿随知识匹配难度系数增长呈先下降后上升的 U 形趋势。

3.2.3 政府税率和补贴对突破性创新联盟演化的影响

对 h_1 分别赋予不同数值,得到政府激励税率对突破性创新联盟形成的影响。当 h_1 分别为 0、0.05 和 0.1 时,博弈主体策略演化情况如图 4(a)所示。从整体看,税率在 0~0.1 变化时,博弈主体的策略演化情况基本一致。原因可能是生物医药产业通常面临复杂的技术挑战和严苛的法规约束,税率波动对整体经营环境影响较为微弱。相比小幅度的税率变化,企业在选择合作策略时更可能受到创新需求、市场竞争、研发投入等因素的影响。链主对税率变化的敏感度比链属和链外企业更强。由于链主企业处于整个产业链关键地位,使得其对税率变化更为敏感,因为这可能直接关系到其贡献价值和产业的稳定发展。这说明政府降低税率,有助于激发生物医药产业的创新活力

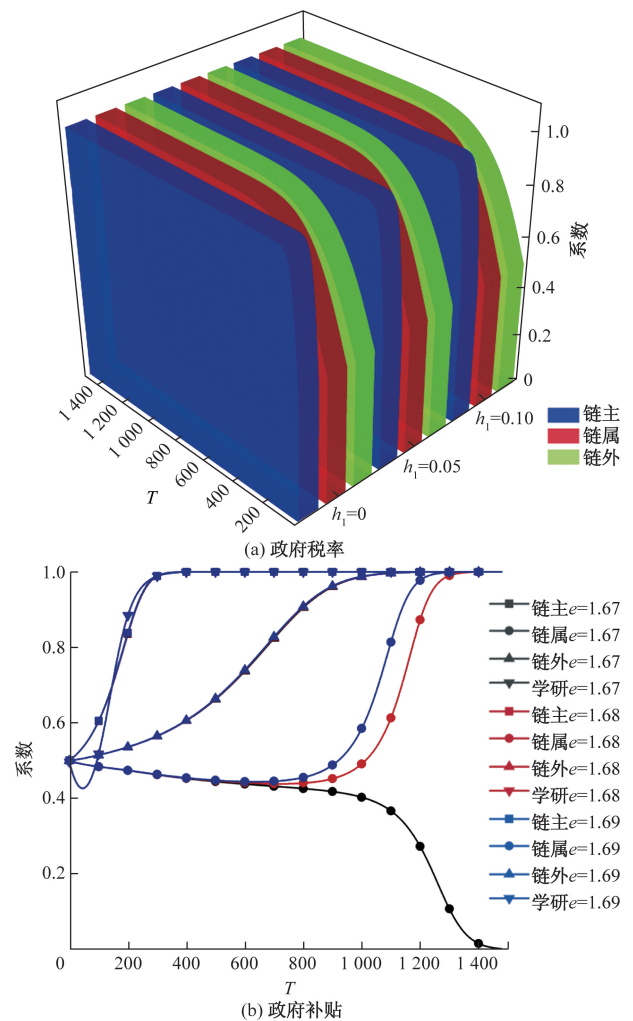


图 4 政府税率变化、政府补贴变化的策略演化

和资金流动性,推动突破性创新发展。第二阶段,对 e 赋予不同数值,得到政府补贴对突破性创新联盟演化的影响,具体如图 4(b)所示。当政府补贴由 1.67 提高到 1.69 时,链属企业在时间 $T=600$ 时由消极合作转为积极合作,其他博弈主体的合作意向不变。学研机构的合作意愿在时间 $0\sim 50$ 出现短暂下降,但随后快速提高,并与链主企业同时在 $T=300$ 时达到稳定性。链外企业的合作意愿随时间缓慢上升,并在 $T=1100$ 时达到稳定状态,表明增加补贴有利于突破性创新联盟稳定。

3.2.4 积极合作初始意愿和研发成功率对突破性创新联盟演化的影响

积极合作初始意愿对突破性创新联盟演化的影响,如图 5 所示。当积极合作初始意愿从 0.5 增长到 0.6 时,链属企业由消极合作转为积极合作,链主企业、链外企业、学研机构均选择积极合作。学研机构收敛速度最快,且受到突破性创新不确定性、资源投入成本高、合作框架不明确以及沟通问题等因素影响,在时间 $0\sim 100$ 时出现 U 形变化;链外企业受与生物医药产业的战略不匹配、风险谨慎、组织文化差异等因素影响,积极合作意愿收敛速度最慢。这说明增加积极

合作初始意愿,有助于推动突破性创新联盟稳定发展。

如图 6 所示,研发成功率 π 从 0.18 增长到 0.20 时,链主企业、链外企业、学研机构主体均均选择积极合作意愿,且收敛速度由高到低依次为学研机构、链主企业和链外企业。但研发成功率 π 从 0.18 增长到 0.19 时,链属企业由积极合作变为消极合作,说明 $0.18\sim 0.19$ 是链属积极合作意愿转折点。原因可能是,一方面,链属企业更关注合作伙伴的信任度、自身资源限制、利益分配及市场竞争压力等因素;另一方面,链属企业对突破性创新的难度更敏感,认为越不容易成功的突破性创新成果的价值越大,积极性越高。

3.2.5 消极合作搭便车对突破性创新联盟演化的影响

消极合作受到机会收益、损失折算和交易成本三方面影响。如图 7(a)所示,当机会收益率 k 发生变化时,链主企业、链外企业和学研机构的总体演化趋势基本不变,链主企业在时间 $T=400$ 时策略演化趋于稳定,学研机构在时间 $0\sim 100$ 时积极合作意愿出现 U 形变化,链外企业收敛速度最慢。机会收益率从 0.7 提高到 0.9 时,链属企业策略依次为消极合作、积极合作、消极合作,表明增加机会收益

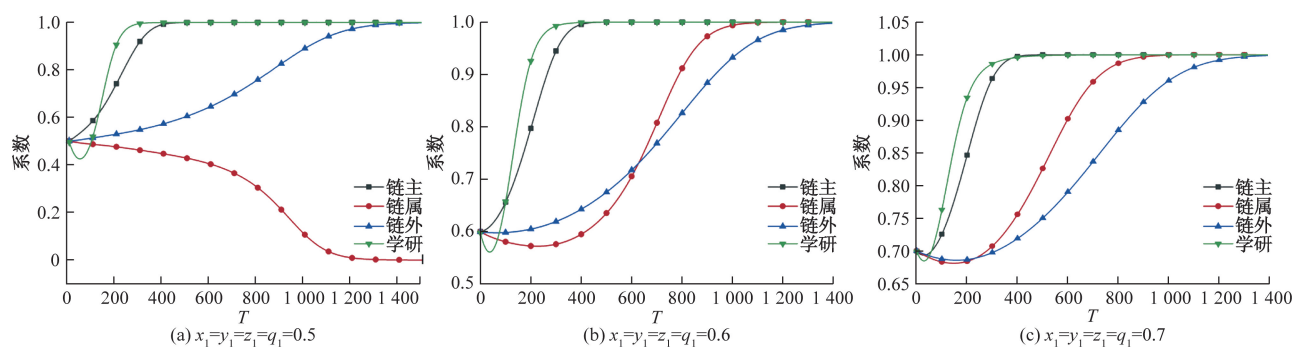


图 5 积极合作意愿变化的策略演化

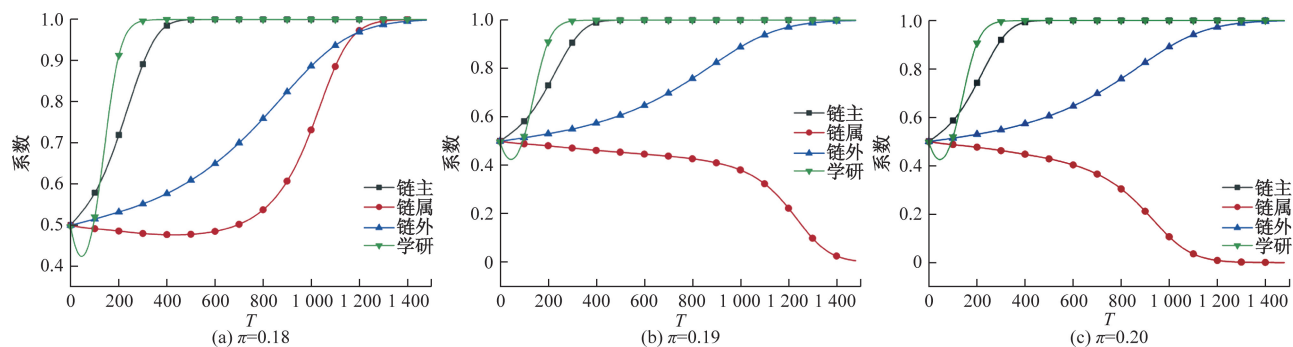


图 6 研发成功率变化的策略演化

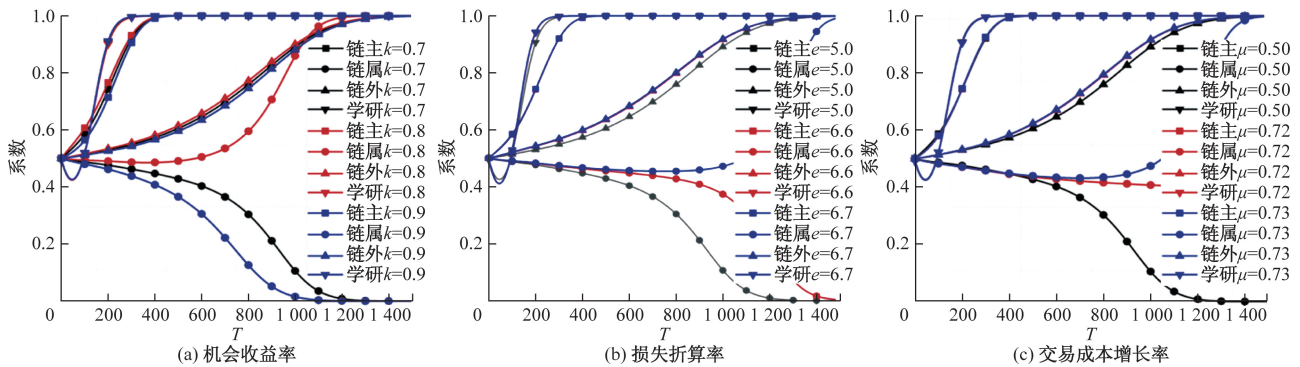


图 7 机会收益率、损失折算率和交易成本增长率变化的策略演化

不利于突破性创新联盟稳定。如图 7(b)和图 7(c)所示,损失折算率 ϵ 和交易成本增长率 μ 升高时,博弈主体的积极合作收敛速度也随之加快。当损失折算率由 6.6 提高到 6.7、交易成本增长率由 0.72 提高到 0.73 时,链属企业由消极合作变为积极合作。原因可能是当消极合作的成本过高时,会提高积极合作的稳定性和可持续性,促使各方提升合作质量、减少不确定性,确保合作关系稳固可靠。

4 结论与启示

4.1 研究结论

新兴产业突破性创新联盟具有跨界合作、政府推动、不确定性、共享资源和风险共担等特征。通过研究得出以下结论。①联盟演化过程是一个动态的、自适应的系统变化过程,基于系统生成论可划分为联盟形成和联盟稳定两个阶段。②在联盟形成阶段,收益分配系数正向影响突破性创新联盟中各主体的合作意愿;链主企业的合作意愿随知识匹配难度系数增长呈先下降后上升的 U 形趋势;税率变化对各主体的合作意愿影响较小。③在联盟稳定阶段,链主企业具有稳定的积极合作意愿,链属企业容易产生“搭便车”行为;学研机构合作意愿在初期经历短暂的 U 形变化后转为积极合作意愿;此外,当初始合作意愿提高、合作风险降低、消极合作产生的损失折算增加、交易成本增长或政府因主体积极合作而增加补贴时,链属企业最终合作意愿从消极转变为积极。

4.2 理论贡献

突破性创新联盟是实现突破性创新的重要保障。本文不仅加深了对突破性创新联盟动态的理解,还有助于提升新兴产业突破性创新能力,提高产业创新驱动动力,完善产业创新理论,同

时也为新兴产业突破性创新联盟发展提供了理论支持。首先,从动态演化的角度深入探讨创新联盟,强调了链主企业、链属企业、链外企业和学研机构等各利益相关者之间的互动。通过系统生成视角,系统地剖析了驱动联盟形成和稳定的演化机制。其次,构建的多主体演化博弈模型用于模拟和预测联盟中不同实体的行为,识别了收益分配、合作意愿和知识匹配难度等关键因素对联盟演化的影响,为提升联盟的长期稳定提供了新思路。

4.3 管理启示

本文对新兴产业突破性创新联盟的建立和维护也有一定的指导意义。管理启示如下:一是收益分配治理方面,要充分考虑生物医药产业高风险、高投资和长周期特点,构建基于创新贡献的加权收益分配模式,强化成本公摊和风险共担意识,制定绩效考核和奖惩机制,注重信息透明和互信共赢,以确保良性循环的分配机制能维持联盟稳定发展;二是资源和知识共享治理方面,通过建设共享平台、协议和维权制度、风险共担等多样共享机制,降低知识和资源匹配难度对突破性创新联盟形成的影响,为联盟成员提供了突破性创新基础;三是消极合作的治理方面,可以通过调整机会收益率、调整损失折算率和降低交易成本、加强培训引导、建立合作评估机制等方面提出治理方案。

此外,针对新兴产业的高投入、高回报、高风险特点,政府可采取多种措施支持产业突破性创新发展:①调整税收政策。一方面,政府根据联盟发展特点和成员受税收影响程度,实施专项税率和降税的方式,加快企业资金流动率和产业创新活力,从而推动产业突破性创新联盟形成。同时

对链主这种核心企业采取针对性优惠政策,提高其在联盟形成过程中的主导作用。另一方面,调整税收政策之前需要对联盟成员开展全面调研评估,评估内容可以包含成员的创新能力、合作意愿、市场规模等。②实施补贴政策。一方面,为不同类型的创新成果设立专项补贴资金,激励成员的创新意愿,降低创新经济压力,同时也鼓励采取联盟合作共研的方式进行突破性创新。另一方面,对于政府补贴的方式和数量,也需要开展全面评估和监管。

参考文献

- [1] 池军,田莉. 刍议与技术创新类型相匹配的创业战略选择[J]. 天津财经大学学报, 2009(11): 71-76.
- [2] 王思梦,井润田,邵云飞. 联盟惯例对企业双元创新能力的影响机制研究[J]. 管理科学, 2019, 32(2): 19-32.
- [3] 吴言波,邵云飞,殷俊杰. 战略联盟知识异质对焦点企业突破性创新的影响研究[J]. 管理学报, 2019, 16(4): 541-549.
- [4] 奚雷,王玲,郝世绵. 突破性创新联盟知识共享演化博弈研究[J]. 西昌学院学报(自然科学版), 2018, 32(3): 31-34.
- [5] 施锦诚,朱凌,梅景瑶. 关键共性技术攻关产学研联盟实现突破性创新的机制研究[J]. 科研管理, 2023, 44(12): 104-114.
- [6] 吴言波,邵云飞. 战略联盟技术多元性对焦点企业突破性创新的影响及机制研究[J]. 研究与发展管理, 2020, 32(3): 100-110.
- [7] 毕静煜,谢恩,魏海笑. 联盟伙伴技术多样性对企业突破性创新的影响——研发联盟组合特征的调节作用[J]. 研究与发展管理, 2021, 33(2): 41-52.
- [8] 高太山. 国际研发联盟、技术距离与企业突破性创新[J]. 当代经济管理, 2020, 42(3): 21-26.
- [9] 梁杰,刘花婷. 连续研发联盟新伙伴规模对企业突破性创新绩效的影响[J]. 河南科学, 2024, 42(1): 115-122.
- [10] 梁杰,段圆圆,赵龙峰. 研发联盟多伙伴地理距离对企业突破性创新绩效的影响研究[J]. 创新科技, 2023, 23(8): 56-68.
- [11] 毕静煜,谢恩. 研发联盟组合关系特征与企业创新: 伙伴地理多样性的调节作用[J]. 管理评论, 2021, 33(10): 103-114.
- [12] FANG W, DAI S, WANG L L. Evolutionary model and simulation research of collaborative innovation network: a case study of artificial intelligence industry[J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2018, 2018: 1-13.
- [13] LÜ L C, WU W P, HU H P, et al. An evolving regional innovation network: collaboration among industry, university and research institution in China's first technology hub[J]. The Journal of Technology Transfer, 2019, 44(3): 659-680.
- [14] 王腾,关忠诚,郑海军. 政府干预下的创新联盟协同行为演化博弈分析——基于联盟分类视角[J]. 技术经济, 2023, 42(3): 102-113.
- [15] 邢海龙,高长元,翟丽丽,等. 大数据联盟成员间数据资源共享动态演化博弈模型研究——基于共享积极性视角[J]. 管理评论, 2020, 32(8): 155-165.
- [16] 魏岑琛. 产业链战略联盟视角下企业核心竞争力的提升——基于演化博弈论的分析[J]. 商业经济, 2019(7): 39-41.
- [17] 占永志. 产学研联盟知识生态系统共生演化机理研究[J]. 新经济, 2023(3): 103-114.
- [18] 胡艳玲,翟丽丽,高长元,等. 共生视角下大数据联盟数据资源共享演化机理研究[J]. 管理评论, 2021, 33(5): 270-280.
- [19] 生延超. 基于技术能力视角的技术联盟演化机理研究[J]. 科技进步与对策, 2009, 26(23): 21-25.
- [20] 邵云飞,詹坤,吴言波. 突破性技术创新: 理论综述与研究展望[J]. 技术经济, 2017, 36(4): 30-37.
- [21] PALMIE M, WINCENT J, PARIDA V, et al. The evolution of the financial technology ecosystem: an introduction and agenda for future research on disruptive innovations in ecosystems[J]. Technological Forecasting & Social Change, 2020, 151(C): 119779-119789.
- [22] 苗东生. 系统科学精要[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2016.
- [23] 王腾,关忠诚,郑海军. 政府干预下的创新联盟协同行为演化博弈分析——基于联盟分类视角[J]. 技术经济, 2023, 42(3): 102-113.
- [24] 窦倩,杨扬. 战略性新兴产业技术联盟间竞合行为演化博弈研究[J]. 现代工业经济和信信息化, 2023, 13(5): 24-28.
- [25] 单英华,李忠富. 基于演化博弈的住宅建筑企业技术合作创新机理[J]. 系统管理学报, 2015, 24(5): 673-681.
- [26] 陈恒,杨志,祁凯. 多方博弈情景下政产学研绿色技术创新联盟稳定性研究[J]. 运筹与管理, 2021, 30(12): 108-114.
- [27] 褚伟,杜雨燕,张公让. 基于三方演化博弈的物流产业联盟协同创新机制研究[J]. 物流科技, 2023, 46(09): 22-25.
- [28] 王巍,孙笑明,崔文田,等. 外部知识搜索对内部知识扩散的影响研究[J]. 管理学报, 2019, 16(10): 1516-1524.
- [29] 邵云飞,谢丽. 网络结构嵌入对企业突破性创新绩效的影响——以生物医药上市企业为例[J]. 科技进步与对策, 2023, 40(18): 72-79.

Evolution Analysis of Radical Innovation Alliances in Emerging Industries Based on System Generation Theory: A Case Study of the Biomedical Industry

LIU Guowei^{1,2}, LI Minghao¹

(1. School of Business, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, Guangxi, China;

2. School of Management, Suqian University, Suqian 223800, Jiangsu, China)

Abstract: Addressing the issue of how breakthrough innovation alliances in emerging industries dynamically evolve, a system generation theory perspective was adopted to analyze the evolution mechanism of these alliances. A longitudinal single-case study of the biopharmaceutical industry was conducted. Based on the case analysis, utilizing a combined inductive and deductive reasoning approach, a two-stage evolutionary game model was further developed to explore the emergence patterns of breakthrough innovation alliances in emerging industries. The research indicates that leading enterprises, affiliated enterprises, external enterprises and academic research institutions constitute the core layer of these alliances. The evolution of the alliances can be divided into two stages including formation and stabilization. During the formation stage, the distribution of benefits positively influences the willingness to cooperate among alliance members. The cooperation willingness of leading enterprises follows a U-shaped trend with the increasing difficulty of knowledge matching, while tax rate changes have a minimal impact. In the stabilization stage, leading enterprises maintain a stable positive willingness to cooperate, affiliated enterprises are prone to “free-riding” behavior, and academic research institutions shift from an initial brief U-shaped fluctuation to a positive willingness to cooperate. Theoretical support and practical insights are provided for fostering breakthrough innovation alliances in emerging industries from an evolutionary perspective.

Keywords: emerging industries; radical innovation; alliances; evolution; system generation