

长三角一体化区域创新生态系统动态演化研究

——基于创新种群异质性与共生性视角

武翠 谭清美¹

(1. 南京航空航天大学 经济与管理学院, 江苏 南京 211106;

2. 江苏省军民融合产业发展研究中心, 江苏 南京 211106)

【摘要】: 多样化和异质性的创新种群及其高度共生性是推动长三角一体化区域创新生态系统动态演化的重要力量。在厘清创新生态系统异质性种群结构及其功能的基础上, 构建长三角一体化区域创新生态系统共生理论和博弈模型, 推演表明, 为达成多方长久协作目的, 需确保合作收益高于协作成本, 而满足该条件的重要前提是创新种群的高度共生。运用长三角“三省一市”2011—2018年相关数据, 分别采用Lotka-Volterra模型和复合系统协同度模型, 对长三角一体化区域创新生态系统中创新种群的共生性水平进行纵向和横向测算。研究表明, 上海、江苏、浙江和安徽的共生度逐年增长, 保持良好演化态势, 且空间差异逐步缩小; 长三角一体化区域创新生态系统中异质性创新种群互惠共生状态尚未完全形成, 科技中介服务能力有待加强; “三省一市”共生度发展存在不平衡现象, 上海创新引领作用不够突出, 安徽则低于平均水平。

【关键词】: 创新生态系统 种群异质性 复合系统协同度模型

【中图分类号】: F127.5 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1001-7348(2021)05-0038-10

0 引言

近年来, 新一轮科技革命和产业变革正在全世界范围内孕育兴起。美国、德国等发达国家正积极推行和实施“工业4.0”、“再工业化”等新工业创新计划, 寻找科技创新突破口, 抢占未来发展先机。中国则推出“中国制造2025”, 积极实施创新驱动发展战略。2018年, 习近平总书记在首届中国国际进口博览会上发表主旨演讲时, 宣布长江三角洲区域一体化上升为国家战略。为摆脱工业企业在全球竞争中的“低端锁定”处境^[1], 不断向更高价值链跃升, 长三角区域需提高原始创新和集成创新能力, 全面加快创新驱动转型发展。提高长三角区域集成创新能力, 需打造多主体协同共生的创新生态系统^[2]。然而, 我国创新生态系统面临创新要素孤岛化、碎片化和机械拼凑化等问题^[3], 创新各环节之间协同共生水平不高。有研究表明, 创新生态系统运行过程中, 知识创新阶段和产品创新阶段存在效率失衡, 即研发效率与转化效率不匹配^[4]。换言之, 创新价值链上游的知识创新种群未能及时获取和响应市场需求, 影响到创新成果的市场化和商业化价值; 创新链下游的产品创新种群缺乏有效的技术和人才供给, 导致产品创新效率不高; 创新价值链中游的科技中介服务机构目标模糊, 未能有效促进创新成果与现实生产力有效对接。可见, 创新生态系统

作者简介: 武翠(1989-), 女, 江苏扬州人, 南京航空航天大学经济与管理学院博士研究生, 江苏省军民融合产业发展研究中心研究员, 研究方向为产业创新管理、军民融合发展;

谭清美(1961-), 男, 山东潍坊人, 博士, 南京航空航天大学经济与管理学院教授、博士生导师, 江苏省军民融合产业发展研究中心主任, 研究方向为产业创新管理、军民融合发展。

基金项目: 国家社会科学基金重点项目(19AGL003)

的持续健康发展,既需要有贯穿创新价值链上、中、下游的异质性创新种群,更需要异质性创新种群间的高度协同共生。

因此,本文从创新种群异质性和共生性角度构建长三角一体化区域创新生态系统共生理论和博弈模型,运用 Lotka-Volterra 模型和复合系统协同度模型,分别测算长三角一体化区域创新生态系统中创新链上游知识创新种群、创新链中游科技中介服务机构种群和创新链下游产品创新种群的横向与纵向共生度。本研究对长三角区域落实创新成果同产业对接、创新项目同现实生产力对接,加速人才、科技与产业融合具有重要现实意义。

1 文献述评

创新生态系统一直是政府和学者关注与研究的重点。从概念厘清^[6]到演化运行^[6],从绩效评估^[7]到经济价值^[8],成果颇为丰富。本文主要从创新种群异质性和共生性角度梳理区域创新生态系统动态演化的研究成果。

创新种群的异质性主要从其组成结构上看,创新生态系统组成的基本要素是物种,如企业、大学、科研机构、政府等,物种联结形成各种群落,物种和群落在共生竞合的相互作用中动态演化,并形成系统整体演化^[5]。李晓锋(2018)提出要强化产业链、创新链、资金链和服务链融合,以此提升创新生态系统能级,并认为“四链”融合本质是不同创新种群,如企业、高校、科研院所、中介机构、服务机构等之间协作、协同深化的过程;张小燕和李晓娣^[9]将创新生态系统种群分为研发创新种群、应用生产种群和商业化种群;吴菲菲等^[10]在传统三螺旋理论基础上,融入社会公众,与政府、企业、高校、科研机构以及科技企业孵化器等构建了四螺旋创新生态系统。可见,多样性和异质性是创新生态系统中创新种群的重要特征。

从创新种群共生性研究上看,创新种群协同共生是创新生态系统形成的重要条件^[11],也是创新生态系统向更高阶演化的保障。创新生态系统共生性研究方法主要有 Lotka-Volterra 模型、复合系统协同度模型和演化博弈模型。欧忠辉等^[16]通过 Lotka-Volterra 模型测算出核心企业与配套组织之间的共生系数,认为互惠共生是创新生态系统共生单元演化的最佳方向,应将寄生共生和偏利共生模式转换到互惠共生模式。复杂系统的协同思想与创新生态系统要素间共生关系具有一定理论衔接性^[12]。李晓娣等(2018)采用该模型测算了我国内地 30 个省市的区域创新生态系统共生度,发现区域共生性差异较大;王旭娜等^[13]运用动态博弈方法设计了创新生态系统中企业方和研发机构方的博弈模型;魏云凤等^[14]通过演化博弈实证分析发现,主体间协同的前提是协同收益高于协同成本,主体间的信任程度和机会主义倾向会影响协同状态。综上所述,无论采用何种模型,结论均强调创新主体协同共生的重要性。但较少有学者将横向与纵向结合进行共生性测度研究。

上述文献丰富了创新生态系统共生演化研究。然而,有关创新生态系统动态演化研究仍存在以下不足:(1)大多以国家为样本,缺乏对具体区域创新生态系统动态演化的研究;(2)在研究创新生态系统动态演化时,大多重视知识创新种群和产品创新种群,而忽略二者之间的创新中介,即科技中介服务种群;(3)在创新种群共生性测度上,较少有学者将横向与纵向结合进行研究。基于此,本文以长三角一体化区域创新生态系统为研究对象,借鉴创新价值链上、中、下游划分方法^[15],将创新种群划分为创新链上游知识创新种群、创新链中游科技中介服务种群和创新链下游产品创新种群,采用 Lotka-Volterra 模型和复合系统协同度模型,对创新种群的共生性水平进行横向与纵向测算。其中,横向共生度测算是指测算不同创新种群间的共生度,纵向共生度测算是指从时间维度上测算“三省一市”创新种群整体共生度。这也是本文最为重要的创新价值。

2 长三角一体化区域创新生态系统动态演化理论模型

异质性的创新种群拥有多样化创新资源,创新资源是创新生态系统不断发展的动力源泉。例如,高校、科研院所等知识创新种群拥有人才、知识、大型科研仪器设备等资源;企业等产品创新种群拥有资金、市场需求等资源;孵化器等科技中介服务机构种群拥有各种投融资信息、创业场地、技术咨询等资源。这些异质性资源只有通过高效的互动、协同和共生才能促使区域创新生态系统不断向高阶演化^[16]。因此,本文从异质性种群结构和共生性两个角度构建长三角一体化区域创新生态系统动态演化理论模型。

2.1 长三角一体化区域创新生态系统异质性创新种群结构模型

本文借助创新价值链,将长三角创新生态系统中的创新种群分为创新生产者、创新中介者和创新消费者,分别位于价值链的上、中、下游。创新种群及其功能见图1。

创新生产者位于创新价值链上游,主要包括高校和科研院所。创新生产者拥有雄厚的智力资源、巨额的科研投入及先进的科研设备,主要承担基础研究、应用研究等研发环节工作,为创新生态系统提供原动力^[17]。创新中介者位于创新价值链中游,主要包括技术市场、科技企业孵化器、国家大学科技园等。创新中介者在创新生态系统中主要承担纽带和桥梁作用,为高校、科研院所和企业提供知识产权、技术交易等信息服务,以满足科技创新需求,促进科技成果研发、转化和产业化为目标。创新消费者位于创新价值链下游,主要包括高新技术企业、规模以上工业企业等,主要负责吸收和消化创新价值链上游的初级创新成果,实现成果的再创新和再增值,面向市场进行产品创新。



图1 异质性创新种群结构及其功能

2.2 长三角一体化区域创新生态系统创新种群共生性模型

从宏观上看,长三角一体化区域创新生态系统协同共生如图2所示。长三角一体化合作协同机制经历了从三级协作到合署办公的过程,并成立了长三角区域合作办公室,其职责之一是为区域协同创新发展提供方向引导、资金和政策支持等。创新体系是产业链、创新链和价值链“三链融合”的系统工程。本文认为,随着长三角区域一体化深度发展、“新基建”日益完善,“三条链”必然转向“三张网”,即产业网络化集成、创新网络化集成和价值网络化集成,并覆盖至长三角“三省一市”整个产业链和创新链上下游企业。“三张网”可以凭借比较优势为创新种群以较低的交易成本匹配合适的协作对象,有助于创新种群开展跨区域协作。具体来说,产品创新种群离终端市场最为接近,熟悉最新的市场产品和服务需求,由此产生新的研发需求,研发需求又通过产业网络和创新网络传递给同区域或跨区域的知识创新种群或科技中介服务种群。基于技术优势、交易成本、合作倾向、地方政府政策优惠等考虑,产品创新种群可借助科技中介服务种群寻找到合适的知识创新种群,三方签订合作协议,待技术成果发明成功后,三方进行成果转移和版税等利润分配。如果企业与高校或科研机构方有过合作基础,也可直接开展产学研合作。“三条链”向“三张网”过渡离不开体制机制、人才保障和网络信息技术支持。体制机制主要包括科研体制建设、利益分配机制、技术共享机制。其中,科研体制建设方面,允许和鼓励高校院所的研究人员去企业兼职锻炼,熟悉市场动态;利益分配机制方面,明确创新种群的利益诉求,消除行政区划壁垒,注重利益分配与保障的顶层设计,建立合理、明确的利益分配协调机制;技术共享机制方面,尤其注重重大关键技术共享机制的建设与完善,同时还包括契约等规则体系建设。人才保障主要包括以下几个方面:进行户籍制度改革,保障人才要素流通;构建开放的人才引进机制,激发人才活力,为区域创新发展注入源动力;组建跨区域创新团队,突破本土人才发展空间。“三条链”转向“三张网”发展需要网络信息技术支持,如智能生产与服务网络体系^[17]、产业平台化、

信息数据库和“新基建”，其旨在连接各类创新种群闲置的生产资料，使市场信息透明化和资源使用效率最大化，从而大大降低创新种群的信息搜寻成本，节约创新种群协作共生交易成本。

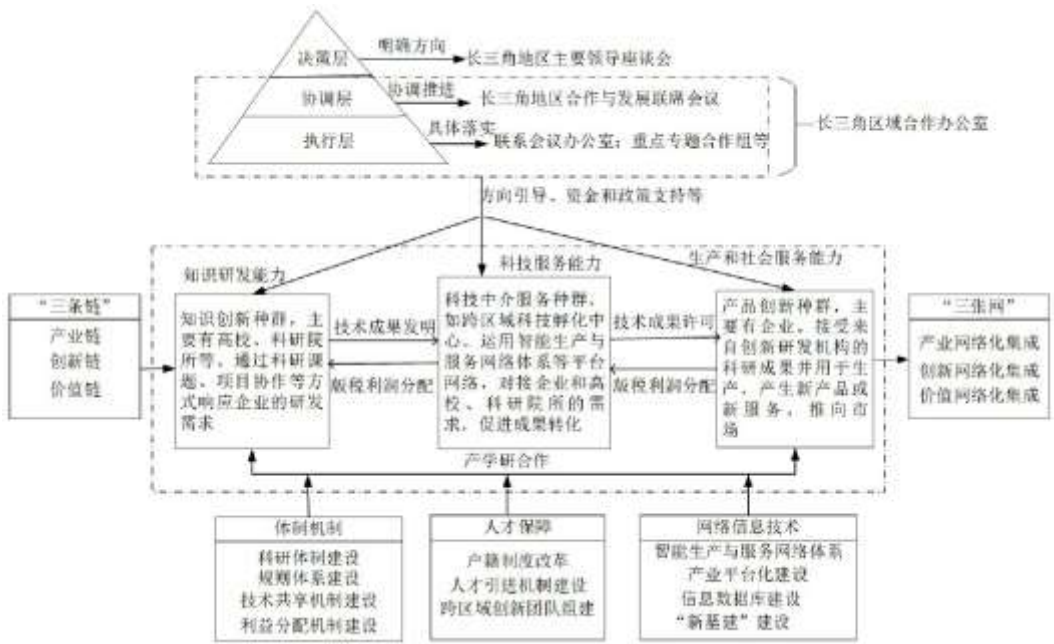


图 2 长三角一体化区域创新种群共生模型(宏观视角)

从微观上看，长三角一体化区域创新生态系统协同共生模型如图 3 所示。在单一区域内，上、中、下游创新种群并非彼此独立存在，三者之间保持人才、技术、资金等创新要素和市场研发需求流通。创新种群如高校、科技企业孵化器、高新技术企业等只能通过内部协作寻求利润最大化。该情境下必然存在着研发需求与供给不匹配、交易成本高昂等弊端。随着信息化发展，智能生产与服务网络体系逐步完善，基于比较优势和交易费用等考虑，单一区域中的各创新种群开始寻求其它区域的合作种群，以追求利润最大化，形成跨区域和跨种群创新协同。首先，对于上游创新种群而言，高校和科研院所可开展各种形式的跨区域科技合作，建立企业、高校和科研院所开放科研设施的科学运行机制^[18]。其次，对于中游创新种群而言，“三省一市”的创新中介可协作推进跨区域创新公共服务项目建设，完善跨区域、开放共享的大学科技园、科技企业孵化器等载体运行机制，提高科学资源利用效率。最后，对于下游创新种群而言，基于各个城市的资源差异与比较优势，科学定位城市间的专业化分工，形成各有侧重、互相补充、互为配套的产业布局，强化集团作战意识^[18]。随着政府相关政策推出以及创新要素集聚，区域之间的创新协作仍然会继续向外延伸，发展成为多区域、多种群协作共生模型。如上海、南京、台州、合肥等地以汽车制造业为支柱产业，常州、宁波和芜湖的汽车零部件等配套业蓬勃发展。因此，在长三角一体化区域创新生态系统中，上述城市可以实现跨区域、跨种群联动发展，加快创新要素和资源向区域特色产业集聚，形成覆盖上、中、下游的汽车产业链集群，避免重复购置和闲置浪费。

从“点线面”跨区域和跨种群演化视角看，长三角一体化区域创新生态系统协同共生模型如图 4 所示。从左至右，最左边为“点”，即区域 A 内部创新种群进行人才、技术和信息等创新资源协作，实现区域 A 内部创新生态系统共生。如上所述，此种情况下必然会存在市场研发需求与研发供给不匹配、研发周期长且费用高等问题。因此，随着信息化以及智能生产与服务网络体系的发展，区域 A 必然会基于比较优势和交易费用等因素的考虑，寻求更大范围的合作种群，开启区域之间、种群之间“线”的创新协作，以追求利润最大化。随着“三条链”向“三张网”纵深发展，创新网络、产业网络和价值网络会逐步覆盖至产业链与创新链上、中、下游各个企业。因此，“线”层面的区域间创新生态系统必然会转向“面”层面的区域间创新生态系统。长三角一体化区域创新生态系统将打通上海、江苏、浙江和安徽的创新生态系统，“同下一盘棋”，打造长三角区域创新共同体。

3 长三角一体化区域创新生态系统动态演化博弈模型

在上述理论模型基础上, 本文以创新链上游的知识创新种群和创新链下游的产品创新种群为例, 运用博弈模型^[19]刻画长三角一体化区域创新生态系统协作共生的条件。知识创新种群与科技中介服务种群、科技中介服务种群与产品创新种群两组种群博弈可参考此过程, 在此不再赘述。

本文假设: 首先, 知识创新种群和产品创新种群在创新资源与创新能力上存在一定差异, 将此博弈过程设定为非对称博弈。其次, 知识创新种群采取协作的比例是 p , 采取不协作的比例是 $1-p$; 产品创新种群采取协作的比例是 q , 采取不协作的比例是 $1-q$, 其中 $0 \leq p \leq 1, 0 \leq q \leq 1$ 。最后, 为便于计算, 设博弈双方基于各自技术优势可获得基本收益为 W_1 和 W_2 。当采取协作策略时, 在正常收益基础上增加合作收益 R , 设博弈双方收益分配系数分别为 $\lambda, 1-\lambda$, 则知识创新种群和产品创新种群分别获得 λR 与 $(1-\lambda)R$ 的收益。如有一方中途采取不协作策略, 一方采取协作策略, 则协作方仍会产生协作成本, 不协作方获得“搭便车”收益 M , 分别为 M_1 和 M_2 , 其中 $M < R$ 。双方采取协作策略时所需支付的协同成本为 C_1 和 C_2 。

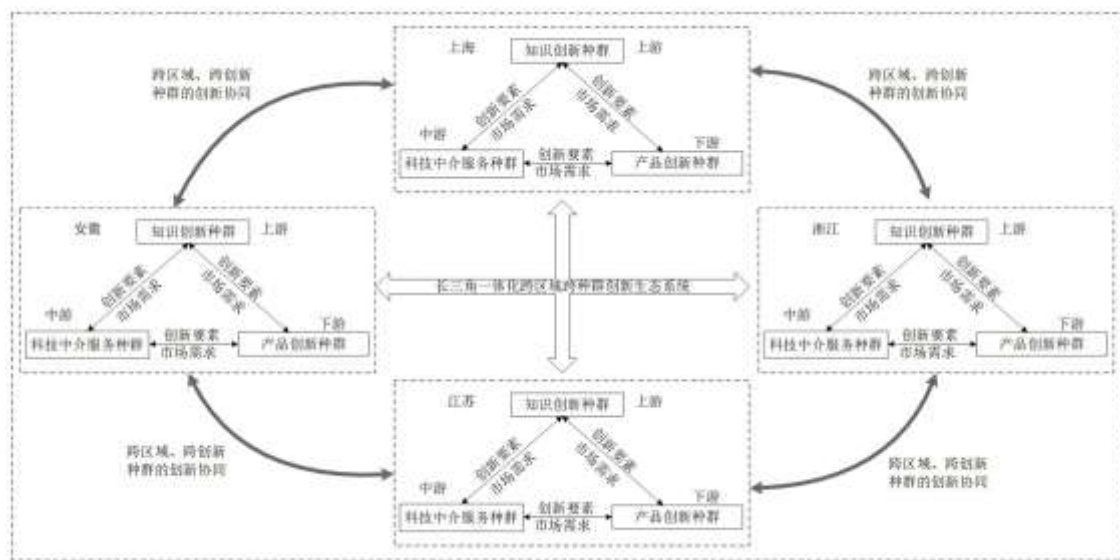


图3 长三角一体化区域创新种群共生模型(微观视角)

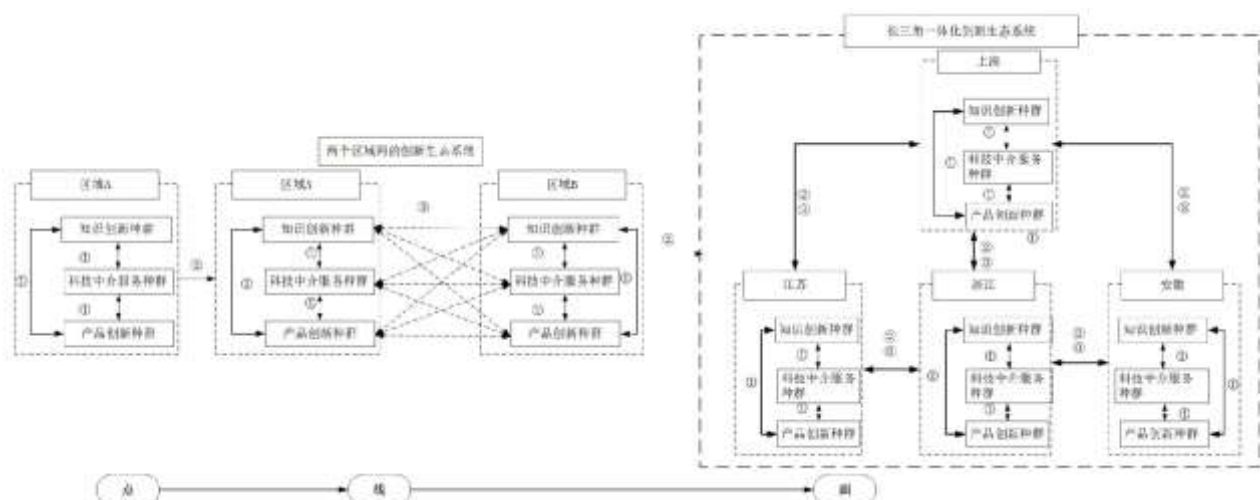


图 4 长三角一体化区域创新种群共生模型 (跨区域与跨种群演化视角)

注: (1) 表示种群间创新资源流通; (2) 表示区域开始寻求更大范围的合作种群, 开启区域间的点对点创新协作; (3) 表示跨区域且跨种群间的协作与共生

由上述收益矩阵可计算出知识创新种群位置协作和不协作两类博弈方的期望得益、群体平均期望得益分别为:

$$\mu_{11} = W_1 - C_1 + q\lambda R \quad (1)$$

$$\mu_{12} = W_1 + qM_1 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \mu_1 &= p \times \mu_{11} + (1-p) \times \mu_{12} = p(W_1 - C_1 + q\lambda R) \\ &+ (1-p)(W_1 + qM_1) \end{aligned} \quad (3)$$

同理, 可计算出产品创新种群位置协作和不协作两类博弈方的期望得益、群体平均期望得益分别为:

$$\mu_{21} = P(1-\lambda)R + W_2 - C_2 \quad (4)$$

$$\mu_{22} = PM_2 + W_2 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \mu_2 &= q \times \mu_{21} + (1-q) \times \mu_{22} = q[P(1-\lambda)R + W_2 \\ &- C_2] + (1-q)(PM_2 + W_2) \end{aligned} \quad (6)$$

基于上式, 可分别得到知识创新种群和产品创新种群的复制动态方程为:

$$\frac{dp}{dt} = p[\mu_{11} - \mu_1] = p(1-p)(q\lambda R - qM_1 - C_1) \quad (7)$$

$$\frac{dq}{dt} = q[\mu_{21} - \mu_2] = q(1-q)[p(1-\lambda)R - pM_2 - C_2] \quad (8)$$

从上述复制动态方程可知, 知识创新种群采取协作策略的变化率与博弈双方合作收益 R 、收益分配系数 λ 以及产品创新种群采取协作策略比例 q 成正比, 与协作成本 C_1 和“搭便车”收益 M_1 成反比。同理, 产品创新种群采取协作策略的变化率与博弈双方合作收益 R 、收益分配系数 $(1-\lambda)$ 以及知识创新种群采取协作策略比例 p 成正比, 与协作成本 C_2 和“搭便车”收益 M_2 成反比。

根据式 (7)、(8) 构成的二维动力系统可知, 该博弈有 5 个均衡点, 分别为 $O(0,0)$ 、 $A(1,0)$ 、 $B(0,1)$ 、 $C(1,1)$ 和 $D(C_2/[(1-\lambda)R-M_2]C_1/(\lambda R-M_1))$ 。动态演化如图 5 所示, 创新生态系统中创新种群的协作演化可能趋向于完全合作 (C 点), 也可能趋向于完全不合作 (O 点)。演化路径和演化结果受到合作收益、协作成本、收益分配系数等参数影响。当创新种群合作收益越大、协作成本越低时, $ADBC$ 部分面积就越大, 合作行为将逐渐收敛于点 C , 即选择 (协作, 协作) 策略。换言之, 为了向 (协作, 协作) 策略靠近, 必须确保合作收益高于协作成本, 而满足该条件的前提是创新种群高度共生。原因有二: (1) 高度共生的创新生态系统交易成本更低, 如信息搜寻成本、谈判成本和监督成本等; (2) 创新种群之间是一种利益共同体关系, 在利益一致性驱动下, 每个创新种群都致力于创新研发, 追求系统整体以及个体利益最大化。因此, 必须进一步研究长三角创新生态系统种群共生性发展现状, 为长三角创新生态系统共生发展提供决策依据。

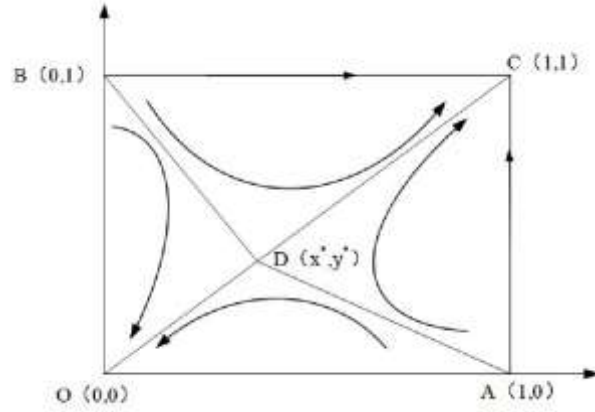


图 5 长三角一体化区域创新生态系统动态演化

4 研究设计

4.1 变量与测度

考虑到测度指标的多样性和权威性,本文借鉴创新生态理论、创新价值链理论等,参考创新价值链^[20]、科技企业孵化器^[21]等评价指标,遵循全面性、科学性和数据可得性等原则,选取长三角一体化区域创新生态系统共生性指标。

(1) 创新链上游创新生产者的知识创新种群。主要成员包括高等院校及科研机构等,选取的指标有 R&D 活动人员折合全时当量、R&D 经费内部支出、有效发明专利数和发表科技论文数量。前两者主要表示创新生产者研发人力和财力投入,后两者反映创新生产者知识创新成果。

(2) 创新链中游创新中介者的科技中介服务种群。基于数据可得性,本文选定国家级科技企业孵化器、国家大学科技园和技术市场衡量创新链中游创新中介者的科技中介服务种群。其中,国家级科技企业孵化器评价指标基于资金、人力和绩效维度,选取孵化器总收入、创业导师人数和累计毕业企业数;国家大学科技园评价指标选取孵化基金总额、年末固定资产净值和累计毕业企业数;选取技术市场合同成交金额反映技术市场发展水平。

(3) 创新链下游创新消费者的产品创新种群。主要包括规模以上工业企业及高新技术企业等。选取的指标有 R&D 活动人员折合全时当量、R&D 经费内部支出、新产品开发经费支出、技术经费支出,分别反映高新技术企业和规模以上工业企业在产品创新环节的人力、资金和技术投入,并通过新产品销售收入反映创新成果的市场化和商业化程度。其中,技术经费支出包含引进技术经费支出、消化吸收经费支出、技术改造经费支出和购买国内技术经费支出。

4.2 长三角一体化区域创新生态系统种群共生性横向测算

Lotka-Volterra 模型在生态学领域用于描述自然种群互动关系,近年来被引入创新生态管理领域,描述创新生态系统种群共生互动关系^[22]。长三角一体化创新生态系统中创新链的行为种群符合生物群落竞争共生生态特征。由于本文涉及创新链上游知识创新种群、创新链中游科技中介服务种群以及创新链下游产品创新种群,因此构建 Lotka-Volterra 三维协同竞争模型。

$$\begin{cases} \frac{ds_1(t)}{dt} = r_1 s_1 (1 - \frac{s_1}{N_1} - b_{12} \frac{s_2}{N_1} - b_{13} \frac{s_3}{N_1}) \\ \frac{ds_2(t)}{dt} = r_2 s_2 (1 - \frac{s_2}{N_2} - b_{21} \frac{s_1}{N_2} - b_{23} \frac{s_3}{N_2}) \\ \frac{ds_3(t)}{dt} = r_3 s_3 (1 - \frac{s_3}{N_3} - b_{31} \frac{s_1}{N_3} - b_{32} \frac{s_2}{N_3}) \end{cases} \quad (9)$$

其中, s_1 、 s_2 和 s_3 分别指代创新链上游知识创新种群系统、创新链中游科技中介服务种群系统以及创新链下游产品创新种群系统, r_1 、 r_2 和 r_3 分别为上述 3 个系统的内生增长率, N_1 、 N_2 和 N_3 指 3 个系统的创新极限; b_{ij} ($i \neq j$) 表示种群 i 与 j 之间的共生系数。当 $b_{ij} < 0$ 时, j 系统对 i 系统表现出正向促进作用; 当 $b_{ij} > 0$ 时, 表现为负向抑制作用; 当 $b_{ij} = 0$ 时, 表明系统间无影响。

为了方便 Lotka-Volterra 的求解, 本文借鉴 Wu&Wang^[23] 的方法, 基于灰导数与偶对数的映射关系, 运用灰色估计法将上述模型转换为式 (10)。

$$\begin{cases} \frac{ds_1(t)}{dt} = \lambda_{10} s_1 + \lambda_{11} s_1^2 + \lambda_{12} s_1 s_2 + \lambda_{13} s_1 s_3 \\ \frac{ds_2(t)}{dt} = \lambda_{20} s_2 + \lambda_{22} s_2^2 + \lambda_{21} s_1 s_2 + \lambda_{23} s_2 s_3 \\ \frac{ds_3(t)}{dt} = \lambda_{30} s_3 + \lambda_{33} s_3^2 + \lambda_{31} s_1 s_3 + \lambda_{32} s_2 s_3 \end{cases} \quad (10)$$

然后, 根据灰导数与偶对数的映射关系, 将式 (10) 的方程组进行离散化处理, 得到式 (11)。

$$\begin{cases} s_1(t+1) - s_1(t) = \lambda_{10} \frac{s_1(t+1) + s_1(t)}{2} + \lambda_{11} \left[\frac{s_1(t+1) + s_1(t)}{2} \right]^2 + \lambda_{12} \frac{[s_1(t+1) + s_1(t)] [s_2(t+1) + s_2(t)]}{4} + \lambda_{13} \frac{[s_1(t+1) + s_1(t)] [s_3(t+1) + s_3(t)]}{4} \\ s_2(t+1) - s_2(t) = \lambda_{20} \frac{s_2(t+1) + s_2(t)}{2} + \lambda_{22} \left[\frac{s_2(t+1) + s_2(t)}{2} \right]^2 + \lambda_{21} \frac{[s_1(t+1) + s_1(t)] [s_2(t+1) + s_2(t)]}{4} + \lambda_{23} \frac{[s_2(t+1) + s_2(t)] [s_3(t+1) + s_3(t)]}{4} \\ s_3(t+1) - s_3(t) = \lambda_{30} \frac{s_3(t+1) + s_3(t)}{2} + \lambda_{33} \left[\frac{s_3(t+1) + s_3(t)}{2} \right]^2 + \lambda_{31} \frac{[s_1(t+1) + s_1(t)] [s_3(t+1) + s_3(t)]}{4} + \lambda_{32} \frac{[s_2(t+1) + s_2(t)] [s_3(t+1) + s_3(t)]}{4} \end{cases} \quad (11)$$

为便于运算, 将式 (11) 转换成矩阵方程形式。

$$S_{1n} = A_1 \hat{\lambda}_1, S_{2n} = A_2 \hat{\lambda}_2, S_{3n} = A_3 \hat{\lambda}_3 \quad (12)$$

根据最小二乘准则可得式 (13)。

$$\begin{cases} \hat{\lambda}_1 = (A_1^T A_1)^{-1} A_1^T Y_{1(n)} \\ \hat{\lambda}_2 = (A_2^T A_2)^{-1} A_2^T Y_{2(n)} \\ \hat{\lambda}_3 = (A_3^T A_3)^{-1} A_3^T Y_{3(n)} \end{cases} \quad (13)$$

将 $\hat{\lambda}_n$ 系数还原至微分方程组, 即可得到二维互动关系系数。

$$b_{ij} = -\lambda_{ij} \times \frac{N_i}{r_i} (i \neq j) \quad (14)$$

为了更直观地分析长三角区域创新种群互动效应, 本文借鉴张小燕和李晓娣^[9]的方法, 构造互动共生关系指数, 用以表示种群间互动对各种群的总体影响系数。

$$\begin{cases} S_1 = b_{12} + b_{21} \\ S_2 = b_{21} + b_{23} \\ S_3 = b_{31} + b_{32} \end{cases} \quad (15)$$

4.3 长三角一体化区域创新生态系统种群共生性纵向测算

基于复杂系统的协同思想, 测算长三角区域创新生态系统共生性动态演化。参考孟庆松等^[24]提出的复合系统协调度模型, 本文将长三角一体化区域创新生态系统视为复合系统 $s=s_1, s_2, s_3$, 其中每个子系统的序参量为 $X=x_{ij}$, ($i=1, 2, 3; j=1, 2, \dots, n$)。 α_{ij} 、 β_{ij} 分别为序参量的上限和下限。若序参量为正向指标, 则其指标值越大, 系统有序程度就越高; 反之, 若为逆向指标, 则取值越大, 有序程度越低。共生要素 s_i 序参量分量的有序度为:

$$e_{ij}(x_{ij}) = \begin{cases} \frac{x_{ij} - \beta_{ij}}{\alpha_{ij} - \beta_{ij}}, j \in [1, k] \\ \frac{\alpha_{ij} - x_{ij}}{\alpha_{ij} - \beta_{ij}}, j \in [k+1, n] \end{cases} \quad (16)$$

上式 $e_{ij}(x_{ij})$ 值越大, 表明序参量分量 x_{ij} 对系统有序度贡献越大。然后, 对序参量贡献进行算术加权, 权重通过相关系数矩阵计算得到。各共生要素子系统序参量有序度为:

$$e_i(X) = \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} e_{ij}(x_{ij}), \lambda_{ij} \geq 0, \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} = 1 \quad (17)$$

最后, 假定初始时刻 t_0 与另一时刻 t_1 共生要素有序度分别为 $e_i^0(X)$ 和 $e_i^1(X)$, 则符合系统的协同度为:

$$SC = \theta * \sqrt[3]{\left| \prod_{i=1}^3 [e_i^1(X) - e_i^0(X) \neq 0] \right|}$$

$$\theta = \frac{\min_i [e_i^1(X) - e_i^0(X) \neq 0]}{\left| \min_i [e_i^1(X) - e_i^0(X) \neq 0] \right|}, i=1, 2, 3 \quad (18)$$

其中, 参数 θ 表示正负值, 即长三角创新种群共生发展方向。 $SC \in [-1, 1]$, 数值越大, 表明长三角区域创新种群共生程度越高; 只有当所有子系统 t_1 有序度高于 t_0 有序度时, 系统才处于共生演进状态, $SC > 0$ 。

4.4 数据收集与处理

本文指标数据均来源于相应年份的《中国科技统计年鉴》、《中国火炬统计年》和《中国高新技术产业统计年鉴》。由于上游创新种群高校和科研院所、下游创新种群高新技术企业和规模以上工业企业,选取的指标内涵与量纲一致,本文作了合并处理。针对 Lotka Volterra 模型,本文首先采用熵权法对 2011—2018 年“三省一市”的面板数据进行加权拟合,得到知识创新种群、科技中介服务种群和产品创新种群轨迹;针对复合系统协调度模型,本文运用相关系数法计算各序参量分量的权重。

5 实证分析

5.1 长三角一体化区域创新生态系统创新种群共生性横向分析

根据公式(9)~(15),计算得出长三角区域创新系统知识创新种群、科技中介服务种群、产品创新种群间的二维互动系数。上海、江苏、浙江和安徽创新种群互动关系见图 6。

从知识创新与科技服务种群间的互动关系看,“三省一市”中,江苏呈现出互惠共生关系;上海和浙江知识创新与科技服务种群作用系数相反,表现为寄生关系;安徽的作用系数均为正,表明知识创新与科技服务呈现为反方向抗生关系,群落间互动较差。从知识创新群落与产品创新群落间的互动关系看,上海和安徽互动作用系数为 $b_{13}<0$, $b_{31}<0$,表明呈现良好的互惠共生关系;江苏和浙江的知识创新群落与产品创新群落性质相反,为寄生关系。从科技服务群落与产品创新群落间的互动关系看,浙江的互动作用系数为 $b_{23}<0$, $b_{32}<0$,表明呈现良好的互惠共生关系,安徽呈现出寄生关系,上海和江苏则表现为反向抑制作用。从共生关系指数看,仅江苏呈现 3 种创新群落互惠共生,上海、浙江和安徽都表现出寄生关系。

5.2 长三角一体化区域创新生态系统共生性动态演化分析

首先,根据公式(16),对原始数据进行标准化处理,得到长三角区域创新种群序参量分量的有序度;然后,运用相关系数矩阵求解权重,将权重与标准化数据代入公式(17),得到各创新种群共生要素素质;最后,以 2011 年为初始年,利用公式(18)计算得到 2012—2018 年长三角区域创新生态系统共生度。

2012—2018 年共生度值显示,上海和江苏整体发展势头保持一致,共生度均值高于 0.4;2012 年浙江创新种群共生发展不佳,但后期迅速追赶上上海和江苏;安徽创新种群共生度虽保持增长态势,但共生度值低于上海、江苏和浙江。从均值看,2014—2018 年安徽共生度均低于“三省一市”平均水平,有待进一步提升。从空间差异看,变异系数可以反映出长三角“三省一市”创新生态系统共生度的空间差异,变异系数值越小,表示“三省一市”共生度差异越小。可以看出,变异系数在 2012 年达到 1.324,随后逐年下降,表明长三角创新种群共生度的空间差异正逐步缩小。

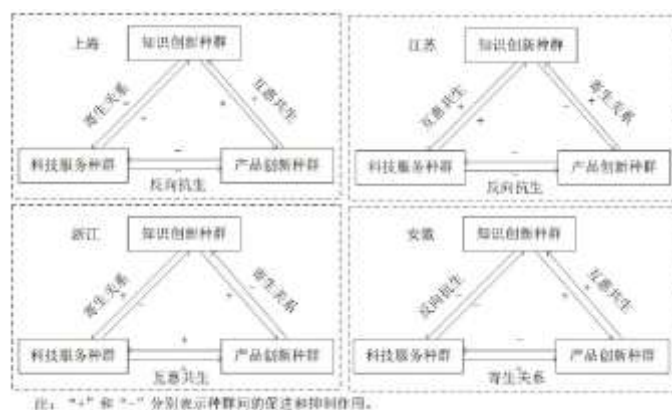


图6 “三省一市”创新种群互动关系

6 研究结论与对策建议

6.1 研究结论

本文从创新种群异质性和共生性角度构建长三角一体化区域创新生态系统动态演化理论和博弈模型,运用 Lotka-Volterra 模型和复合系统协同度模型,分别测算长三角一体化区域创新生态系统中创新链上游知识创新种群、创新链中游科技中介服务种群和创新链下游产品创新种群的横向与纵向共生度,得出以下结论:

(1)从构建的理论模型看,创新生态系统动态演化是由系统内异质性创新种群通过互动、协作和共生驱动的。异质性的创新种群主要有知识创新种群、科技中介服务种群以及产品创新种群,三者相辅相成,功能各有定位。知识创新种群主要为高校和科研院所,主要负责知识创新;科技中介服务种群有科技企业孵化器、大学产业园和技术市场等,主要负责推动知识等创新成果与现实生产力对接;产品创新种群是大型企业和高新技术企业等,主要负责创新成果的市场化和商业化,实现创新成果的再创新和再增值。动态演化博弈模型的推演结果表明,为达成多方长久协作目的,需确保合作收益高于协作成本,而满足该条件的重要前提是创新种群高度共生。

(2)从 Lotka-Volterra 模型的实证结果看,“三省一市”异质性创新种群互惠共生状态尚未完全形成。上海、江苏和浙江的知识创新种群与科技中介服务种群呈互惠、寄生关系,二维互动良好,安徽呈现为反方向抗生。“三省一市”知识创新种群与产品创新种群的二维共生生态势良好,表现为互惠共生和寄生关系。上海和江苏的产品创新种群与科技中介服务种群间的共生状况不容乐观,表现为反方向抗生;浙江和安徽的产品创新种群与科技中介服务种群表现为互惠共生和寄生关系。

(3)从复合系统协调度模型的实证结果看,上海、江苏、浙江与安徽的共生度逐年增长,共生演化在样本期内保持良好发展态势。变异系数逐年递减表明长三角创新生态系统共生度的空间差异正逐步缩小。同时,“三省一市”创新共生度发展存在不平衡现象。其中,江苏和浙江创新共生发展领先,上海创新引领作用不够突出,安徽创新共生度低于“三省一市”平均水平,创新种群共生度有待进一步提升。

6.2 对策建议

针对长三角一体化区域创新生态系统共生发展现状及问题,提出对策建议如下:

(1)针对长三角一体化区域创新生态系统中异质性创新种群互惠共生状态尚未完全形成的问题,应着力推动创新种群共生性从反方向抗生、寄生关系逐渐发展为互惠共生。首先,对于知识创新种群而言,建议“三省一市”高校和科研机构开展跨区域科研项目合作,推动创新资源优化配置。进一步整合与开放长三角区域高校、科研院所、重点实验室等科技资源,如大型仪器设备、文献信息、技术产权交易信息等。同时,要与身处创新链下游的企业保持密切联系,与市场创新需求保持有机衔接,确保研发成果具有一定市场化和商业化价值。其次,对于科技中介服务种群而言,要完善科技企业孵化器、大学科技园、技术市场等科技服务平台建设和跨区域运作机制,推动科技创新成果转化为现实生产力。同时,强化重大创新平台布局,加快科技创新平台建设,如构建覆盖长三角区域的大型仪器资源共享网络,加快长三角技术产权交易信息共享等。最后,对于产品创新种群而言,企业应与高校和科研机构通力协作,运用科技创新成果优化生产工艺和流程。利用智能生产与服务网络平台,创新链上游和中游共建连接跨区域的创新资源池,实现线下创新资源线上配置,节约交易成本。

(2)针对安徽创新种群共生发展滞后于上海、浙江和江苏,区域共生性发展不平衡的问题,应积极推动区域间科技创新合作。首先,从制度和运作机制上保障创新要素自由流动、优势互补。建议安徽核心城市科研机构、高校、高新技术企业、科技服务平

台与其它省域核心城市相应创新种群建立产业科技创新联盟,互设分支机构,同时享受两地科技公共服务资源和政府政策。其次,建议安徽与上海、浙江、江苏共建创新平台、创新机构、科技成果转化基地等,按契约规范的利益分配办法分享科技创新收益。最后,要继续深化沪皖跨区域协作,发挥沪合双城合作示范作用,充分利用两地科创资源的互补性,打造科技创新增长点。加快合芜蚌国家自主创新示范区建设,依托国家大科学工程,整合研发资源,形成前沿技术与实用技术对接的科学技术研发应用体系。

(3) 针对上海创新引领作用不够突出的问题,应充分发挥上海在长三角创新融合发展中的引擎作用。首先,上海需明确自身在长三角创新融合中的定位,努力打造成为原始创新的策源地以及技术开发、科技成果转化的排头兵。政府需为科技专业人才和企业家创新创业营造并提供良好的营商环境和制度供给。其次,深度发挥国家技术转移东部中心作用,打造“平台的平台”。国家技术转移东部中心建设在上海,要致力于打造科技成果转化创新生态体系,积极带动长三角区域技术转移要素流动,提供技术交易、科技金融、产业孵化全链条服务,打通高校、科研机构、企业之间科技成果转化通道,赋能长三角一体化协同创新发展。最后,强化张江国家自主创新示范区、张江长三角科技城等科技辐射能力,发挥上海在研究开发、集成制造等方面的龙头作用。

与已有研究相比,本文创新性地从创新种群异质性和共生性视角切入,运用理论模型和动态博弈模型推演了长三角一体化创新生态系统创新种群协作的理论框架和协作条件。同时,进一步运用 Lotka-Volterra 模型和复合系统协同度模型,分别从纵向和横向两个方面测算长三角区域创新种群共生性,这是对长三角区域创新生态系统研究的有益尝试。但本研究的不足之处在于,虽在理论模型中描述了长三角一体化创新种群的共生演化,但在实证部分由于缺乏相关区域创新协作数据,对区域一体化层面的创新种群共生性测算不足,研究深度仍有待提高。因此,未来需作进一步深入调研和研究。

参考文献:

- [1] 刘志彪. 长三角区域市场一体化与治理机制创新[J]. 学术月刊, 2019, 51(10): 31-38.
- [2] 刘兰剑, 项丽琳, 夏青. 基于创新政策的高新技术产业创新生态系统评估研究[J]. 科研管理, 2020, 41(5): 1-9.
- [3] 吕一博, 韩少杰, 苏敬勤, 等. 大学驱动型开放式创新生态系统的构建研究[J]. 管理评论, 2017, 29(4): 68-82.
- [4] 赵增耀, 章小波, 沈能. 区域协同创新效率的多维溢出效应[J]. 中国工业经济, 2015, 32(1): 32-44.
- [5] 李万, 常静, 王敏杰, 等. 创新 3.0 与创新生态系统[J]. 科学学研究, 2014, 32(12): 1761-1770.
- [6] 刘平峰, 张旺. 创新生态系统共生演化机制研究[J]. 中国科技论坛, 2020, 36(2): 17-27.
- [7] 张贵, 吕长青. 基于生态位适宜度的区域创新生态系统与创新效率研究[J]. 工业技术经济, 2017, 37(10): 12-21.
- [8] 刘洪久, 胡彦荣, 马卫民. 区域创新生态系统适宜度与经济发展的关系研究[J]. 中国管理科学, 2013, 30(21): 764-770.
- [9] 张小燕, 李晓娣. 我国区域创新生态系统共生性分类评价[J]. 科技进步与对策, 2020, 37(12): 126-135.
- [10] 吴菲菲, 童奕铭, 黄鲁成. 中国高技术产业创新生态系统有机性评价——创新四螺旋视角[J]. 科技进步与对策, 2020, 37(5): 67-76.
- [11] 李晓娣, 张小燕. 区域创新生态系统对区域创新绩效的影响机制研究[J]. 预测, 2018, 37(5): 22-28, 55.

-
- [12] 桂起权, 陈群. 从复杂性系统科学视角支持共生与协同[J]. 系统科学学报, 2014, 22(1): 9-15, 20.
- [13] 王旭娜, 盛永祥, 谭清美, 等. 基于动态博弈视角的企业与研发机构合作策略研究[J]. 管理评论, 2020, 32(2): 165-173.
- [14] 魏云凤, 史文雷, 阮平南. 基于演化博弈的企业创新网络协同行为及提升策略研究[J]. 数学的实践与认识, 2019, 49(23): 18-30.
- [15] 尤建新, 邵鲁宁, 薛奕曦, 等. 产业创新生态系统——理论与案例[M]. 北京: 清华大学出版社, 2017.
- [16] 郝斌, 任浩. 企业间关系结构及其共生演化研究[J]. 外国经济与管理, 2009, 31(11): 29-37.
- [17] 谭清美, 王磊. “智能生产与服务网络”的安全界壳体系设计[J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(1): 79-92.
- [18] 刘飞跃, 陈瑞, 邵建, 等. 长三角蓝皮书: 长三角发展报告(2016): 创新融合发展的长三角[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2016.
- [19] 谢识予. 经济博弈论(第四版)[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2017.
- [20] HANSEN T, BIRKINSHAW J. The innovation value chain[J] Harvard Business Review, 2007, 85(6): 121.
- [21] 武翠. 国家级科技企业孵化器效率及其影响因素研究——基于三螺旋创新理论[J]. 现代商贸工业, 2020, 41(2): 18-22.
- [22] SHAW R, ALLEN T. Studying innovation ecosystems using ecology theory[J] Technology Forecasting and Social Change, 2018, 136(11): 88-102.
- [23] WU L, WANG Y. Estimation the parameters of LotkaVolterra model based on grey direct modeling method and its implication[J] Expert System with Applications, 2011, 38(6): 6412-6416.
- [24] 孟庆松, 韩文秀. 复合系统协调度模型研究[J]. 天津大学学报, 2000, 2(4): 444-446.