

生物医药产业创新生态系统构建与发展对策研究

——基于系统动力学

孙亚杰¹, 王 景²

(昆明理工大学 1. 管理与经济学院; 2. 法学院, 昆明 650093)

摘要:创新对于高技术、高投入的生物医药产业的发展起着至关重要的作用。运用创新生态系统理论,参照自然生态系统构建了生物医药创新生态系统模型,并运用系统动力学方法,描绘因果关系图及存量流量图,分析影响生物医药创新发展的要素,据此为生物医药产业创新生态系统建设和发展提出完善政府政策、提高自主创新能力、加大产学研合作程度和重视知识产权的管理、运用和保护等对策建议。

关键词:生物医药产业;创新生态系统;系统动力学

中图分类号:C94 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2020)06-0057-07

自党的十八大提出实施创新驱动发展战略至中共中央、国务院印发《国家创新驱动发展战略纲要》均强调将科技创新摆在国家发展全局的核心位置。《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》中,将生物产业划分为八大战略新兴产业。生物医药作为21世纪的朝阳产业,我国生物医药行业持续高速增长,且生物医药产业具有高技术、高投入、高收益的特点,创新对于生物医药产业发展的重要性是不言而喻的。此外,我国生物医药产业普遍存在创新力度不足的问题^[1],创新问题成为制约生物医药产业发展的“拦路虎”,对于生物医药企业,创新是企业发展的出路和灵魂^[2]。本文基于系统动力学的研究方法,以创新理论指导实践,构建生物医药产业创新生态系统,剖析生物医药产业创新生态系统影响要素构成及相互关系,为推动生物医药产业创新发展提供理论和参考依据。

1 相关研究综述

随着国家鼓励创新的政策不断出台以及创新理论不断深入完善,创新生态系统的研究逐渐成为学术界和政策制定者关注的焦点问题^[3],学者们对创新生态系统的概念众说纷纭,尚未达成一致定义。在自然生态系统中,生产者种群、消费者种群、分解者种群和无机环境四个组成部分通过物质交换和能量流动构成一个完整动态平衡的生态系统。一般认为所谓创

新生态系统,就是将自然生态系统概念引入创新管理中形成一种新的创新体系^[4],即类比于自然生态系统中生产者、消费者和分解者三个种群与和生态系统外界的无机环境之间能量流动和物质交换而形成的动态平衡的系统,将不同产业中根据不同主体和其功能划分为不同的生物种群。创新生态系统的提出弥补了传统创新系统的不足,其关注要素内部之间、体系与外部环境之间的关系。

迄今为止,学者们的研究多集中高新技术产业创新系统,生物医药产业作为高新技术产业之一,专门研究生物医药产业创新系统的学者还比较少。汪锦熙认为,高新技术产业创新生态系统由创新群落和创新环境两部分构成,其中创新群落划分为技术支撑群落、人才储备群落和资金保障群落^[5];吴菲菲认为,高新技术产业创新生态系统包括产业运营子系统,政策驱动子系统,社会参与子系统,研发创新子系统和创新支持子系统^[6];胡毅结合生物医药产业的特点,分析了战略性新兴产业创新驱动发展过程中的关键要素分别是市场需求、创新投入、创新效率和创新质量^[7];宁华等人梳理和分析了影响生物医药产业创新发展的关键因素即创新主体因素,政策因素,环境因素,投入因素^[8];高宏构建出生物医药产业创新生态系统,系统包括生态系统内部和非生态系统的外部环境,划

收稿日期:2020-03-13

作者简介:孙亚杰(1994—),女,河北邯郸人,昆明理工大学管理与经济学院,硕士研究生,研究方向:知识产权与科技创新;王景(1964—),男,云南昆明人,昆明理工大学法学院,教授,研究方向:知识产权与科技创新。

分出详细的生产者、消费者、分解者种群^[9]。生物医药产业是一个从科学基础研究到产品应用实现的过程,按照其产业链发展划分主体,介于生物医药产业链上游的是科研机构,产业链中游的是生物医药产品生产企业,产业链下游的是药店、医院、销售企业和患者。下游单位将信息、资金等回流至中游的药品生产企业以及上游的科研机构,在市场需求导向、服务平台、政府政策等环境下,生物医药产业链平稳健康发展。

综合现有研究,本文认为生物医药产业创新生态系统包括四部分:①生产者种群,包括高校、科研院所、企业的研究中心等科研机构;②消费者种群,包括药品生产企业;③分解者种群,包括药店、医院、销售企业和病患;④无机环境,包括政府提供的创新管理服务平台支撑和经济、人才、药品审评审批等政策支持,以及资本和社会服务支持。生物医药产业创新生态系统与自然生态系统中成分对比如图 1 所示。

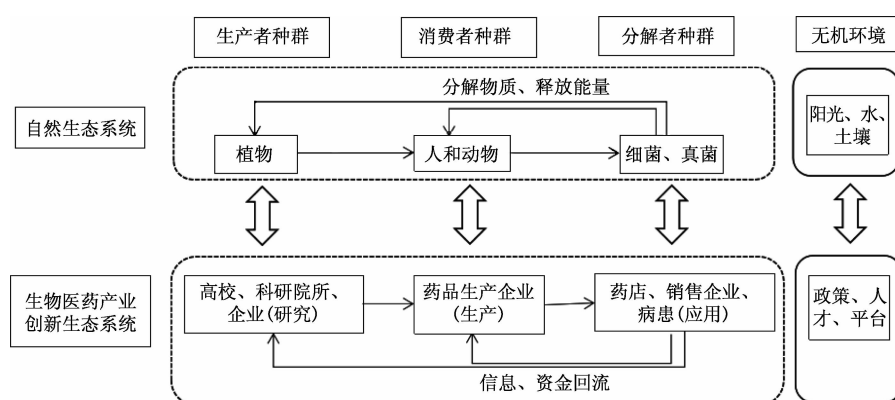


图 1 生物医药产业创新生态系统与自然生态系统中成分对比图

2 生物医药产业创新生态系统模型构建

系统动力学是一门分析研究信息反馈系统的学科,也是一门认识系统问题和解决系统问题的交叉的综合性学科。系统动力学认为,系统的行为模式特性主要地取决于其内部的动态结构与反馈机制。

2.1 生物医药产业创新生态系统边界确定

生物医药产业创新生态系统是一个复杂而庞大的系统,其本身包含了众多影响因素。要确定系统边

界,首先要明确建立模型的目的,面向怎样的问题,抓住系统重要的因素,规定哪一部分要划入模型,哪一部分不划入模型。结合生物医药产业创新发展的现状,上文中分析了生物医药产业不同种群间的物质、能量、信息的交换和流动,根据功能作用不同确定供给子系统、需求子系统和创新支持子系统三个子系统,从而确定生物医药产业创新生态系统系统边界,构建生物医药产业创新生态系统,如图 2 所示。

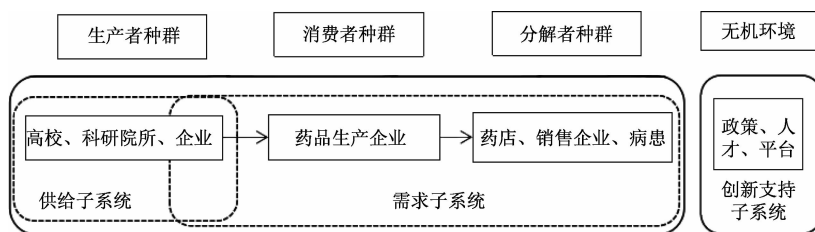


图 2 生物医药产业创新生态系统结构图

2.2 生物医药产业创新生态系统功能及要素分析

由图 1 和图 2 可知,生物医药创新生态系统包括供给子系统、需求子系统和创新支持子系统,三个子系统之间互为因果、相互影响、相互作用。

供给子系统的主体是作为生产者种群的高校、科研院所和企业的研究中心等科研机构。一般而言,作为创新主体的企业科研和创造能力远远低于高校和

科研院所。这些科研机构主要从事医药科学研究,通过基础研究和临床试验输出大量知识创新成果,是推动生物医药产业创新发展的主力军,也是生物医药产业创新生态系统的主要动力因素。

供给子系统中包括研发资本投入、研发创新能力、研发成果输出三个环节。研发资本投入阶段,当 R&D 经费总额、R&D 课题数量、新产品开发经费支

出增加、产学研联盟合作程度增强时自然过渡到第二个环节,整体产业研究创新能力和水平会增强,即项目成功数、药品质量增长率、新药研发成功率提高,新药研发周期缩短;科技创新成果等研发成果输出数量和上市新药数量会随之增加,知识创新成果能迅速投入产业化生产;科技成果转化率高,大量经费再次投入科学研究,输出科技创新成果。

需求子系统的主体为企业、药店、医院和病患。其中企业除充当少许科研角色外,大部分是作为生产、销售主体,当进行生产活动时企业扮演消费者角色;当进行销售活动时,则为分解者。企业将供给子系统中科研机构输出的知识创新成果规模化生产为各式的医药产品,成功的实现从研究到生产这一工业化流程,是实现科研成果产品化最关键的一个环节。药店、医院和销售企业负责药品、医疗器械等销售和售后工作,病患则是产业链中最后一环,是生物医药产品的最终消耗者,购买者的满意度形成了巨大的市场需求。

需求子系统中,购买者满意度、人均可支配收入直接影响市场需求,即上市新药数量越多购买者满意度高,社会经济发展水平高,人均可支配收入增多,市场需求增多;地区总人口、人口老龄化、医疗保险政策间接影响市场需求,地区总人口和人口老龄化程度越严重,市场需求越大,随着医疗保险政策的完善,市场

需求也会增加。

政府是创新支持子系统最重要的主体,政府主导的产业政策是新兴战略产业的发展关键,因此政府在系统中的作用是至关重要的。但政府不会直接干预创新行为和活动,而是会为生产者、消费者、分解者等主体以及创新活动提供各种支持,即为供给子系统和需求子系统的运作提供产业必要支持和服务平台。

创新支持子系统中包括法律法规、人才驱动、资金支持和服务平台四个方面。政府的行为会引导和支持一个产业的健康发展,对政府政策高度依赖的生物医药产业要健康良好发展需更加密切关注政府动态。第一,政府不断完善法律法规和制定各种政策,法律规章完善程度越高,保证产业运转效率,营造良好的创新环境,增强产业吸引力;第二,人才驱动方面,人才是创新的首要资源,大学生总数、研发人员本硕博比例增加会影响产业创新人才数量的增多,反之,产业创新人才数量亦会影响研发人员本硕博比例,产业创新水平随之提高;第三,合理调整产业布局,鼓励产业集聚,建立科技园区,加强产业税收支持,加大产业补助等经济政策,加大 R&D 研发投入力度,鼓励创新研发和产业发展;第四,科技创新管理服务平台等公共管理平台的建立为产业健康发展提供支持。

表 1 生物医药产业创新生态系统功能、影响因素表

系统划分	系统功能	因素大类	具体影响因素
供给子系统	进行医药科学研究,输出大量知识创新成果	研发资本投入	产学研联盟、R&D 课题数量、R&D 经费总数、新产品开发经费支出、R&D 人员支出技术改进升级经费支出
		研发创新能力	项目成功数、药品质量增加率、新药研发周期、新药研发成功率
		研发成果输出	科技成果数量、上市新药数量、科研成果转化率
需求子系统	通过市场需求刺激产业创新	市场需求	人均可支配收入、购买者满意度、人口老龄化、地区总人口
创新支持子系统	对资源进行合理配置,协调产业发展,为生物医药产业提供各种支持	法律、政策	法律完善程度、财政政策、人才政策、科技政策、药品审评审批政策、
		人才驱动	人才政策、大学生总数、产业技术人才、研发人员本硕博比例
		资金支持	财政政策、产业税收支持、产业补助政策、产业布局政策、R&D 研发投入
		服务平台	创新服务平台、科技园区数量

2.3 生物医药产业创新生态系统因果关系构建

因果关系图是从系统要素之间简单因果关系出发,建立因果链、因果回路,形成的要素之间相互制约的图表。本文研究的是生物医药产业创新生态系统

内部多个要素的反馈机制,基于 2.2 部分对于生物医药产业创新生态系统的因素分析,依据系统动力学的理论和方法建立了生物医药产业创新生态系统的因果关系模型,如图 3 所示。

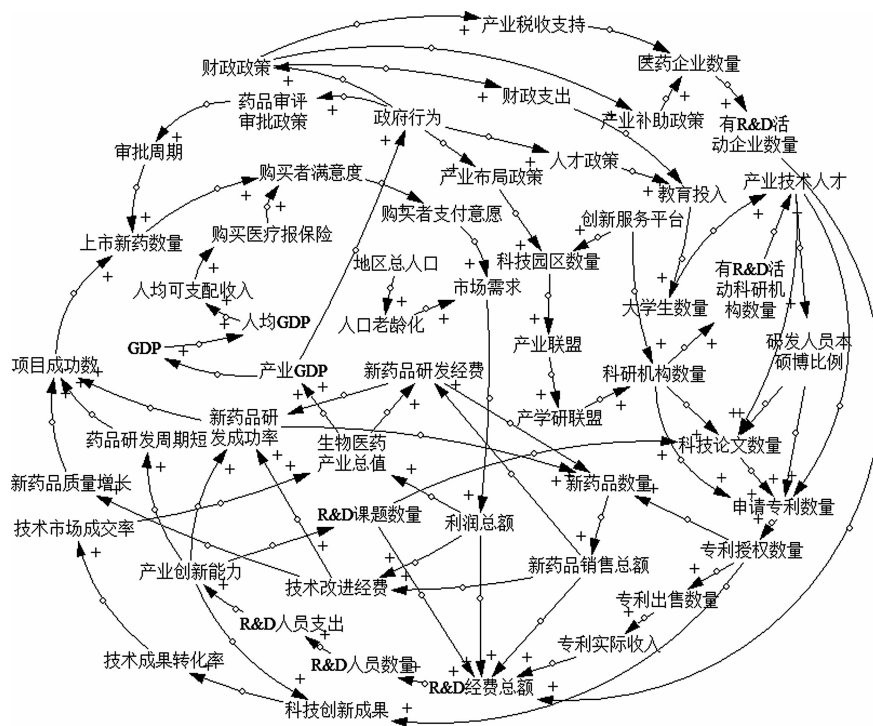


图 3 因果关系图

图中显示的主要反馈回路有:

回路 1: 科研机构数量—有 R&D 活动科研机构数量—产业技术人才—研发人员本硕博比例—科技论文数量—申请专利数量—授权专利数量—科技创新成果—技术成果转化—技术市场成交率—生物医药产业总值—产业 GDP—政府行为—产业布局政策—科技园区数量—产业联盟—产学研联盟—科研机构数量

回路 2:科技论文数量—专利申请数量—专利授权数量—专利出售数量—专利实际收入—R&D 经费总额—R&D 人员—R&D 人员支出—产业创新能力—R&D 课题数量—科技论文数量

回路:3:新药品数量—新药品销售总额—R&D经费总额—R&D人员—R&D人员支出—产业创新能力—新药研发周期短—项目成功数—上市新药数量—购买者满意度—购买者支付意愿—利润总额—生物医药产业总值—新产品研发经费—新产品数量

上述三条正反馈回路,是基于供给子系统分别从科研机构数量、知识产权成果、新药品数量三个角度阐述了科研机构输出知识创新成果的运行流程,在此环节中,知识产权则是最为关键的。一方面,科技论文、专利等科技创新成果是体现创新的重要标准;另一方面,科技创新成果的运用、转化同样可以促进创新。科研机构数量增多,产业创新能力增强可以输出

大量知识产权;而新药品等产品则是科技成果转化和运用的产物,因此在供给子系统中,不仅要重视科技成果等知识产权的创造,更要重视知识产权的运用、管理和保护。

回路 4: 购买者满意度—购买者支付意愿—市场需求—利润总额—R&D 经费总额—R&D 人员数量—R&D 人员支出—产业创新能力—新药品研发成功率—项目成功数—上市新药数量—购买者满意度

回路 5: 购买者者满意度—购买者支付意愿—市场需求—利润总额—生物医药产业总值—GDP—人均 GDP—人均可支配收入—购买医疗保险—购买者满意度

上述两条正反馈回路,从购买者满意度角度探究需求子系统。产业创新能力增强,技术改进经费增加会提高新药研发成功率,从而上市新药数量增加,会增强购买者满意程度,购买者更青睐于此类产品;人均可支配收入增加后,购买医疗保险的意愿会增强,从而也会影响购买者满意度。

回路 6: 政府行为—人才政策—教育投入—大学生数量—产业技术人才—科技论文数量—申请专利数量—专利授权数量—新药品数量—新药品销售总额—新产品开发研究经费—新药品研发成功率—项目成功数—上市新药数量—购买者满意度—购买者

支付意愿—利润总额—生物医药产业总值—产业
GDP—政府行为

回路 7: 政府行为—财政政策—产业补助政策—企业数量—有 R&D 活动企业数量—R&D 经费总额—R&D 人员—R&D 人员支出—产业创新能力—项目成功数—上市新药品数量—购买者满意度—购买者支付意愿—利润总额—生物医药产业总值—产业 GDP—政府行为

回路 8: 政府行为—药品审评审批政策—审批周期短—新药上市数量—购买者满意—购买者支付意愿—利润总额—生物医药产业总值—产业 GDP—政府行为

上述三条正反馈回路,以政府起主导作用,不断制定政策统筹产业布局、宏观调控生物医药产业,包括经济政策、人才政策以及药品审评审批政策、医保政策等,任何产业发展壮大都离不开政府政策的支持。创新支持子系统可以提供服务和支持从而保障良好的创新氛围,促进整个产业的持续发展,政府通过人才政策提供产业创新人才贡献智慧力量;通过财政政策增加科研经费的投入;通过药品审评审批政策缩短审批周期增加购买者满意度。

2.4 生物医药产业创新生态系存量流量分析

第一,供给子系统存量流量分析。供给子系统的目标是为产业创新提供不竭动力,科研机构体现创新主体,产业创新能力体现创新的动力,新药品数量体现创新成果产品化,故设三者为状态变量;科研机构数量增加、创新能力增加、新药品数量增加设为速率变量。从图4可以看出科技园区数量和产学研联盟影响科研机构数量;科研机构又会影响科技论文和专利等科技创新成果的输出;专利数量和新药品研发经费总额又会影响新药品数量;科技创新成果会影响产业创新能力。其中,产学研联盟是系统中极其重要的因素,是将高校、研究机构和企业三者关联,发挥各自优势、协同发展、相互配合,各创新要素高效组合,促进产业创新发展水平。产学研联盟有效地提升产业创新能力,加大科技创新成果输出,促使专利等科技成果快速转化为产品,实现创新、创造从科学研究到应用的过程。

第二,需求子系统存量流量分析。需求子系统的目标是通过市场需求间接刺激产业创新。市场需求是本系统中最基础、最直观的影响因素,故设市场需求为状态变量,市场需求受制于速率变量市场需求增加值。由图 5 可以看出,购买医疗保险、上市新药数量对市场需求有直接影响,人均 GDP 增加,会增加居

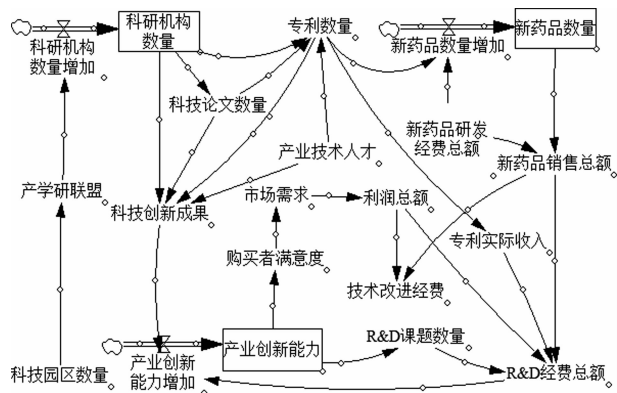


图 4 供给子系统存量流量图

民购买医疗保险意愿;市场需求和新药品销售总额会对利润总额产生影响,利润总额会影响技术改进经费和 R&D 经费总额,技术改进经费对新药品质量增长和新药品研发成功率产生影响,R&D 经费总额增加会提升产业创新能力,从而提升新药品质量增长和新药品研发成功率、缩短新药品研发周期,这三者会影响上市新药数量,制约市场需求量。其中,产业创新能力是影响市场需求量最重要的因素,市场需求亦会影响产业创新能力,通过产业创新能力实现供需系统之间物质、信息交流。

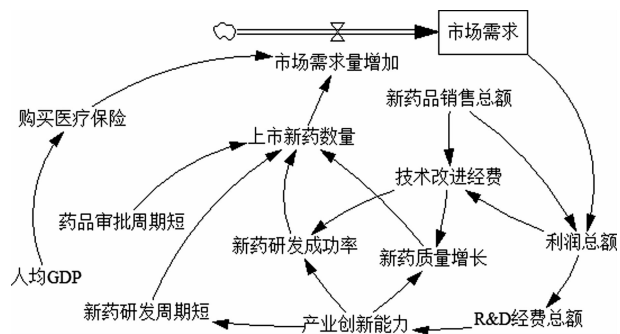


图 5 需求子系统存量流量图

第三,创新支持子系统存量流量分析。创新支持子系统目标是提供良好、有序的适合生物医药产业创新发展的环境,在系统中起保障作用。产业总值是衡量一个产业发展好坏的最直观的标准,故设生物医药产业总值为状态变量,速率变量则是产业总值增加。从图 6 中可以看出,技术市场成交率 and 市场需求影响产业总值,生物医药产业总值的增加会影响新药品研发经费;政府制定人才政策为产业发展提供人力资源,产业技术人才是科技创新成果的基本条件,将科技创新成果转化从而影响生物医药产业总值;政府制定财政政策加大 R&D 经费投入力度,R&D 经费对产业创新能力的提升产生影响,产业创新能力会影响

- [9] 高宏,茅宁莹.我国生物医药产业创新生态系统的构建研究[J].中国医药生物技术,2019,14(4):377—382.

[10] 茅宁莹,彭桂花.战略地图视角下生物医药产业政策的协同作用机制——基于系统动力学方法的研究[J].科技管理研究,2017,37(15):40—49.
- [11] 子彪,石晨晓,徐英华.科技与经济双因素下京津冀科技人才分布模型研究[J].技术与创新管理,2017,38(3):279—285,319.

[12] 丽荣.上海市生物医药企业知识产权现状实证研究[J].科技进步与对策,2011,28(3):104—109.

Research on Construction and Development Countermeasures of
Biomedical Industry Innovative Ecosystem
——Based on System Dynamics

SUN Ya-jie¹, WANG Jing²

(1. School of Management and Economics;

2. School of Law, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: Innovation plays a vital role in the development of high-tech and high-input biomedical industry. Based on the theory of innovative ecosystem and referred to the natural ecosystem, the model of biomedical innovative ecosystem is established. Causal diagram and stock-flow diagrams are depicted by using the method of system. And the factors that affect the development of biomedical innovative are analyzed. Based on this, suggestions are put forward for the construction and development of biomedical innovative ecosystem, such as perfecting government policies, improving independent innovation capability, increasing the cooperation degree of industry, university and research, and paying attention to the management, application and protection of intellectual property rights.

Key words: biomedical industry; innovative ecosystem; system dynamics