

DOI: 10.3969/j.issn.1673-713X.2019.04.017

· 调查与研究 ·

我国生物医药产业创新生态系统的构建研究

高宏, 茅宁莹

生物医药产业作为我国经济的重要组成部分,在提高国民健康,稳定经济发展方面发挥着积极作用,更是衡量一个国家科技和经济整体实力的重要表现。

进入 21 世纪后,我国生物医药产业发展迅速,2015 年行业销售收入为 2978.83 亿元,2016 年为 3299.28 亿元,2017 年为 3417.19 亿元,一直处于稳步增长状态。目前生物医药产业具备良好的基础与发展前景,但我国生物医药产业转型升级中仍存在有效供给不足的问题,究其原因我国生物医药产业自主创新能力较低,与欧美等发达国家仍有一定差距。生物医药产业自主创新能力的培育与发展是产业界与学术界共同关注与探索的焦点,我国学者近年来从“点、线、面”三个角度对生物医药产业创新进行了研究。一部分学者关注单一要素如创新资金、技术等对生物医药产业绩效的影响^[1-3]。另一部分学者从创新动力的角度关注产业链、创新链等研究,认为生物医药产业创新是一个线性的过程^[4-5]。还有学者从系统角度进行分析,如产学研合作、创新联盟等,但主要关注生物医药产业系统内要素的静态联系,忽略了各要素之间的相互作用,以及外部环境与系统内部的相互影响^[6-8]。现有创新研究均为医药产业发展提供了重要的参考价值,但关于生物医药产业的创新研究仍可深度挖掘。

创新生态系统的提出弥补了创新系统的不足,其关注要素之间、体系与外部环境之间的相互协同、共同演化。在生物医药产业创新的研究问题上,还少有学者引入“创新生态系统”的理念,因此,本文以生态学为隐喻,结合生物医药产业的特点,类比自然生态系统,提出生物医药产业创新生态系统模型,并分析其运行机制,使生物医药产业形成系统化的竞争优势,实现可持续的生态化发展模式,提高我国生物医药产业的创新性和竞争力。

1 创新生态系统的内涵诠释

“创新生态系统”的起源要归结于 2004 年美国总统科技顾问委员会发表的两份研究报告^[9-10],报告指出创新不再是简单的线性过程,而是各种资源、要素、主体相互作用建立一种新的关系,即创新生态系统。之后达特茅斯大学塔克商学院 Adner 教授^[11]在 2006 年首次明确提出了“创新生态系统”的概念,认为单个企业已经无法完成整个创新任务,必须大家协同合作,才能真正为顾客提供良好的产品和

服务。目前国外对创新生态系统的研究主要集中在商业创新生态系统方面^[12],Moore^[13]将企业市场竞争与自然生态系统的捕食关系做类比,提出了商业创新生态系统的概念。

国内学者也越来越认识到创新生态系统的重要性,对其进行了一系列探索,大多从生态学与创新系统的对应关系起步进行研究。类比自然生态系统,李万等^[14]认为创新生态系统是创新系统发展的新范式,是在一定区域内,各种创新群落与创新环境通过物质流、能量流等形成的动态开放的、具有学习与发展功能的复杂系统。林婷婷^[15]从可持续发展的角度,认为产业技术创新生态系统是由内部企业、政府、高校等创新群落与外部市场、资源等环境要素通过物质循环、能量流动和信息反馈所形成的相互作用、相互依存的开放复杂系统。刘沙^[16]认为产业创新生态系统由政府、金融机构、企业等创新主体和经济、文化等外部环境组成。虽然创新生态系统目前还没有统一的定义,但大多数学者都认为创新生态系统是从系统、协同的角度来看待产业创新,由企业、政府、中介机构、科研院校和外部环境等主体构成,各主体不断交流,并与外部环境相互作用促进产业的发展。

创新生态系统是创新发展的新范式,本质上属于创新系统(体系)的一种,具备创新系统复杂性、系统性等特点,但又与其不同。创新系统从“工程学”的视角强调系统内部要素的构成、资源配置的情况以及政府的主导作用,追求“管理绩效”,本身是静态的模型^[17]。创新生态系统是从生态的角度来研究创新系统,强调系统内部各创新主体间的动态联系,以及独特的外部环境对系统创新的重要性,认为政府在整个生态系统中起重要的引导作用,而非主导整个系统的发展。

综合现有研究,本文认为创新生态系统包含高等院校、科研院所、企业、各中介机构、政府等多个主体,各个创新主体之间以及系统与外部环境之间以协同创新为目的,不断进行着资金、信息、能量等的交流,是一个结构完整,协同高效,兼顾系统性和开放性的自组织演化系统。

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(15ZDB167); 中国药科大学“双一流”学科创新团队建设项目(CPU2018GY39)

作者单位: 211198 南京,中国药科大学国际医药商学院

通信作者: 茅宁莹, Email: mny523@126.com

收稿日期: 2019-03-18

2 生物医药产业创新的特点

药物从最初的实验室研究到最终上市销售实现商业化价值是一个复杂的过程,大致可以分为基础研究、应用研究、药品生产上市和售后服务等阶段,具体过程如图 1 所示,包含以下特点:

(1)投资高,周期长,风险大,主体繁杂。药物从最初的实验室研究到上市销售历经药物发现、临床前研究、新药临床研究申请、临床研究(临床 I 期:耐受性和安全性、临床 II 期:临床疗效观察、临床 III 期:确证阶段)、新药申请、批准上市等多个环节,也是创新活动的整个过程。新药研发需要高质量的厂房和设备,在初始阶段就需要一次性投入大量的资金,由于技术的时效性,使以后的每个阶段都需要源源不断的资金投入,一旦资金中断就可能半途夭折,整个过程大约需投入 66 亿人民币,平均花费 12 年的时间,而上市成功的可能性只有 0.1%。投资大,周期长,再加上结果的不可预期性,使融资企业不愿意冒险进行投资。而在新药产生的各个环节中,涉及高校、科研机构、医院等不同主体,整个创新过程需要主体的协同合作才能高效的完成。

(2)对政府政策依赖性大。生物医药产业的发展不仅能为社会经济发展创造财富,更与人民的身体健康、生命安全息息相关,关乎国计民生,因此我国生物医药产业对政府政策导向的依赖性远高于其他产业,产业发展能否不断壮大和政府制订的政策密切相关。出于药品安全性考虑,政府在药品生命周期的各个环节都颁发了相关的政策来规范产业的发展,比如在药品临床研究阶段,药品要通过全部 III 期临床评价才能上市,任何一步出现问题,都会以失败告终。在药品生命周期的各个阶段,都可能接受药品飞行检查,很多药品虽然可以研发成功,但可能无法通过药品质量管理规范检验,无法生产,最终失败。由于药品投资大、周期长等特点,使创新药品更需要知识产权政策来维护创新主体的利益,对知识产权政策依赖大。

考虑到创新药物研发周期长、风险高、主体繁杂,对政策高度依赖等特点,单一的主体、政策已经不能支撑生物医药产业的创新,建立一个完善的生物医药产业创新生态系统显得十分必要。综合上述分析,本文类比自然创新生态系统,构建了我国生物医药产业创新系统模型。

3 生物医药产业创新生态系统模型的构建

3.1 生物医药产业生态系统生物种群构成

一般认为,自然视角下的生态系统是在一定时间和空间范围内,有机群落与无机环境通过能量流动、物质交换而形成的动态平衡的系统,其中有机群落分为生产者、消费者和分解者。与自然生态系统类似,生物医药产业中涉及的高等院校、科研机构、生产企业、销售企业、政府、医院等实体也可以根据其功能不同划分为不同的种群。

自然生态系统中,绿色植物作为生产者通过光合作用合成有机物,在供给自身成长发育的同时,也为消费者和分解者提供营养物质和能量;人和动物等消费者不能直接依靠自身获得成长发育需要的物质,只能直接或间接地以绿色植物为食获得所需要的物质和能量;自然界中的分解者通常是指真菌、细菌等,它们进行物质分解,释放能量供生产者再利用,是生物群落与无机环境之间的桥梁,使生态系统完成循环。在生物医药产业创新生态系统中,各创新主体通过知识、信息等的流动而连接起来。本文将负责信息、资金等引入的高等院校、科研院所作为生产者;将创新成果产业化的药品生产企业作为消费者,本文不认为药店、医院或者患者是消费者,因为他们并不直接享受高等院校的创新成果;将负责药品市场化以及信息反馈的销售企业、医院等作为分解者。具体分析如下:

3.1.1 生产者种群 高等院校、科研院所以及企业中的研发机构是作为生物医药创新生态系统的生产者,拥有大量的研究设备和实验场所,主要从事基础科学、药物发现等方面的研究,是知识创新成果的输出者。他们获取资源,通过反复的实验研究,得到科研成果,而在这个过程中,将信息流、资金流等引入系统中,同时通过人才输出、科研成果转让等促进种群之间物质和能量的转化,促使整个系统完成从知识创新到产品产业化到最终实现产品商业化价值的过程。

一般而言,企业是创新的主体,但目前我国生物医药企业的研发能力较低,大多数企业依然倾向于从事仿制药的生产,只有少数大型医药企业有自己的科研部门负责专门的研究工作,高等院校依然是我国生物医药产业技术创新的主力军,是知识和人才密集区域,提供创新成果的同时也提供大量优秀的人才。高等院校和科研院所的知识创新成果能否顺利到达药品生产企业使其产业化、市场化是判断生物医药产

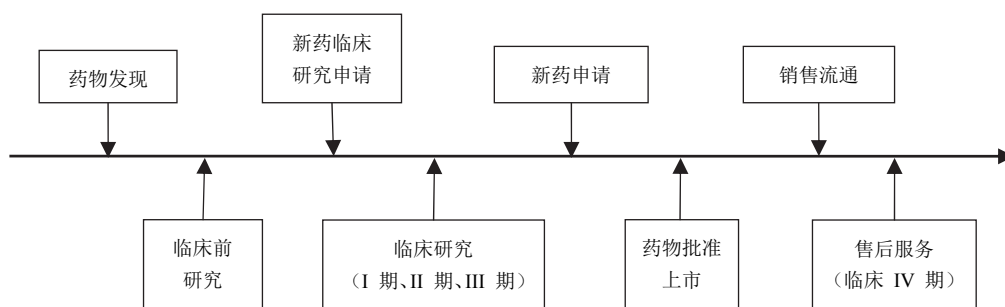


图 1 药物创新过程图

业创新能力的重要标志。但目前生物医药产业的科技转化率和市场化程度很低,究其原因在于我国知识创新成果和产业化没有形成合力,成果转化具有一定的滞后性;另一方面,高校从事基础研究,专注于知识的创新,很少关注市场,对市场需求了解少。

3.1.2 消费者种群 自然界中的消费者,一般指食草或食肉动物,它们通过捕食和寄生关系来传递能量。在生物医药产业创新生态系统中,按照知识、资金等的流动方向,消费者指的是进行生产加工的药品生产企业,负责药品生命周期中的临床前研究、临床试验、产业化生产等环节。

高等院校、科研院所以及研发企业将知识创新成果输送给药品生产企业,生产企业通过临床研究和试验使产品不断改进和升级,最终大规模生产,从而使研发成果产业化,是产业链的关键部分。企业可以和高等院校建立战略联盟,深化产学研合作,使创新成果和产业化形成合力以促进科技成果转移。在新药上市前,要经过 I 期、II 期、III 期临床研究,所需时间长,较近年来,一些大型企业将临床研究中科技含量较低的且不涉及专利问题的环节交给专业性的小企业,从而形成了一种新的行业——研发服务外包行业(CRO)。制药巨头企业从而可以集中精力于核心业务,利用外部资源和技术,降低企业的管理费用,控制成本,并大大缩短时间,提高效率。

3.1.3 分解者种群 生物医药产业创新生态系统中的分解者包括药品、医院、销售企业等,负责药品的销售与售后服务工作,并向生产者种群和消费者种群进行信息反馈,同时使资金回流,完成整个产业创新生态系统的循环。生产企业将药品生产完成后,将从销售企业、医药和药店等实体中进入到患者手里,是药品的市场化过程,实现了药品的商业化价值。

创新药物最终的使用者是患者,患者并不是从生产者或者消费者那里直接获得药品,而是从医院或者药店等主体中得到,因此分解者更加了解市场需求,可以及时将信息反馈,使生产者和消费者种群对市场情况和需求更加了解,快速锁定有待解决的问题,及时进行更加有效的创新。另一方面,

由于药品行业的特殊性,生物医药产业在药品售后服务阶段不同于其他产业,药品销售后,要时刻注意药品安全问题,密切关注使用者是否有不良反应或研发生产时未预测到的副作用,一旦发现要及时召回,事关人民生命健康,须高度重视,当然一旦被召回也意味着创新的彻底失败。

朱迪·埃斯特琳^[18]认为任何创新生态系统都离不开国家和世界创新环境的支持,将创新生态系统中的不同栖息者从功能的角度划分为研究、开发和运用三大群落。本文通过类比自然生态系统,对生物医药产业创新生态系统中的生物成分进行划分,从其功能来看和朱迪·埃斯特琳划分的三大群落可以相互对应。生物医药产业创新生态系统中的生产者对应的功能是研究,消费者对应的功能是开发,而分解者对应的功能是运用。在这里需要说明,一些大型制药企业,可能既有药品研发机构,又有生产部门,还有销售部门,职能边界不是很明确,为便于研究,本文将医药企业分为药品研发企业、生产企业和销售企业。自然环境生态系统与生物医药产业创新生态系统生物成分对应关系如图 2 所示^[19]。

3.1.4 创新服务支持种群 很多学者认为生物医药产业创新生态系统中,除了与自然生态系统相类似的生产者种群、消费者种群和分解者种群,还应包括为创新提供服务支持的辅助创新种群——不直接参与创新活动,但为生产者、消费者、分解者以及各个创新活动提供各种支持^[20]。郭燕青和何地^[21]把汽车产业创新生态系统中为创新提供指导、资金以及信息和服务的金融机构、孵化器称为创新生存因子。综合现有研究本文认为生物医药产业还有其独有的创新服务支持群落,包括政府、行业协会以及金融机构、人才机构、产权中介等各种中介机构。

政府是各种“游戏规则”的制定者,对于资源的合理配置、协调产业的发展起着重要的作用,任何产业的健康发展都离不开政府的支持,对政府政策高度依赖的生物医药产业更是如此。生物医药行业协会加强政府与企业之间的交流,是企业和政府进行沟通的桥梁,行业协会在欧美等市场经济完善的发达国家拥有重要的影响力,是企业的代言人,在行政上不受政府约束,国家在制订或者改变某项政策、法律时

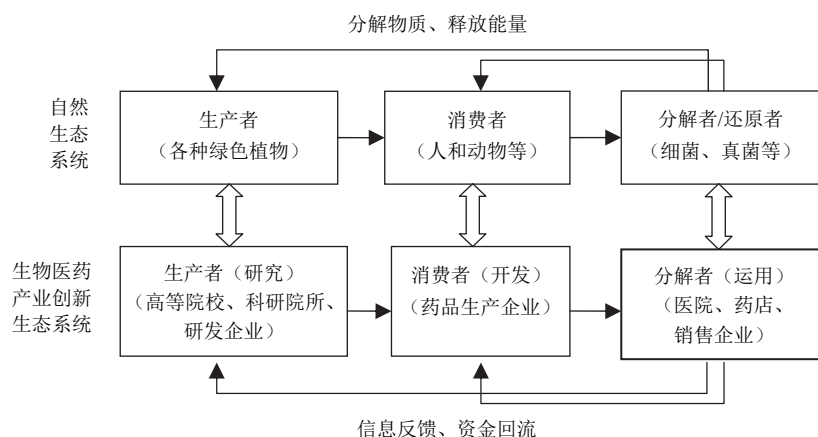


图 2 自然生态系统与生物医药产业创新生态系统的生物成分对比

会向行业协会征询意见。但在我国,生物医药行业协会并未发挥重要的作用,政府作风依然强势,企业的需求得不到满足,企业间的沟通较少,无法做到协同创新。随着市场经济的发展,政府应加大扶持生物医药行业协会,提高其地位。中介机构可以为创新主体提供各种服务,比如产权中介可以实现知识产权的流动功能,知识创新成果从生产者到消费者的过程,一般需要产权机构的参与,它的职能是提供政策咨询、组织交易、股权交易等。人才中介可以实现人才的流动,使各个企业得到自己需要的人才。金融机构可以提供研发所需资金,但一般金融机构更加青睐于投资技术成熟的企业,对生物医药产业的投资较少。

3.2 生物医药产业创新生态系统非生物外部环境

自然生态系统中的非生物成分,即无机环境,包括阳光、氧气和水等为生物群落的生长提供各种养料。自然生态系统之所以处于动态平衡的状态,是因为内部群落与外部环境之间始终进行着能量、信息等的流动,不断输入输出,进行反馈与调节。生物医药产业创新生态系统与自然生态系统类似,与生物医药产业发展相关的政策环境、法律制度、资金状况等,如同自然界中的阳光、空气、雨露和土地等无机环境,为生物医药产业的生存和发展提供各种资源。创新生态系统是创新全要素资源的协调系统,良好的创新生态系统必然是多个创新主体的有机融合,但是与外部环境的合力作用也必不可少,只有拥有良好的外部环境,才能实现系统的持续发展。本文认为生物医药产业创新生态系统的外部环境包

括政策环境、市场环境、法律制度、公共服务平台等。

政策环境可以保障良好的发展氛围,促进整个产业的发展,包括资金政策、人才政策以及药品上市政策、药品价格政策、医保政策等,任何产业发展壮大都离不开政策的支持。良好的市场环境可以促进创新药品的产业化、市场化进程,人口数量、市场需求、药品准入政策等市场环境对创新均有促进作用。

公共服务平台可以为产业的发展提供各种专业服务,如提供人才培训服务、管理咨询服务、科技成果评价服务、进行政策的收集与发布,促进资源共享等。例如,南京在 2018 年成立了南京药谷-生物医药公共技术服务平台,包括科技信息平台以及技术转化平台等子平台。新疆在 2016 年也创立了新疆生物医药创新创业园公共技术服务平台,提升新疆乃至中亚地区医药产业的公益研究服务能力和科技成果转化能力。但目前我国创新服务平台的利用率不高,究其原因创新平台的信用机制不完善,企业对创新服务平台的信赖度低,政府应该制订政策完善信用承担机制,使企业信赖服务平台,发挥平台应有的优势。

3.3 生物医药产业技术创新生态系统结构

本文结合生物医药产业的特点,类比自然生态系统,通过对系统内不同主体在外部环境的影响下按照类似于食物链关系所形成的价值转化、信息反馈以及资金回流过程的分析即基于对系统要素、系统关系以及系统功能的分析构建了生物医药产业创新生态系统结构模型,如图 3 所示。

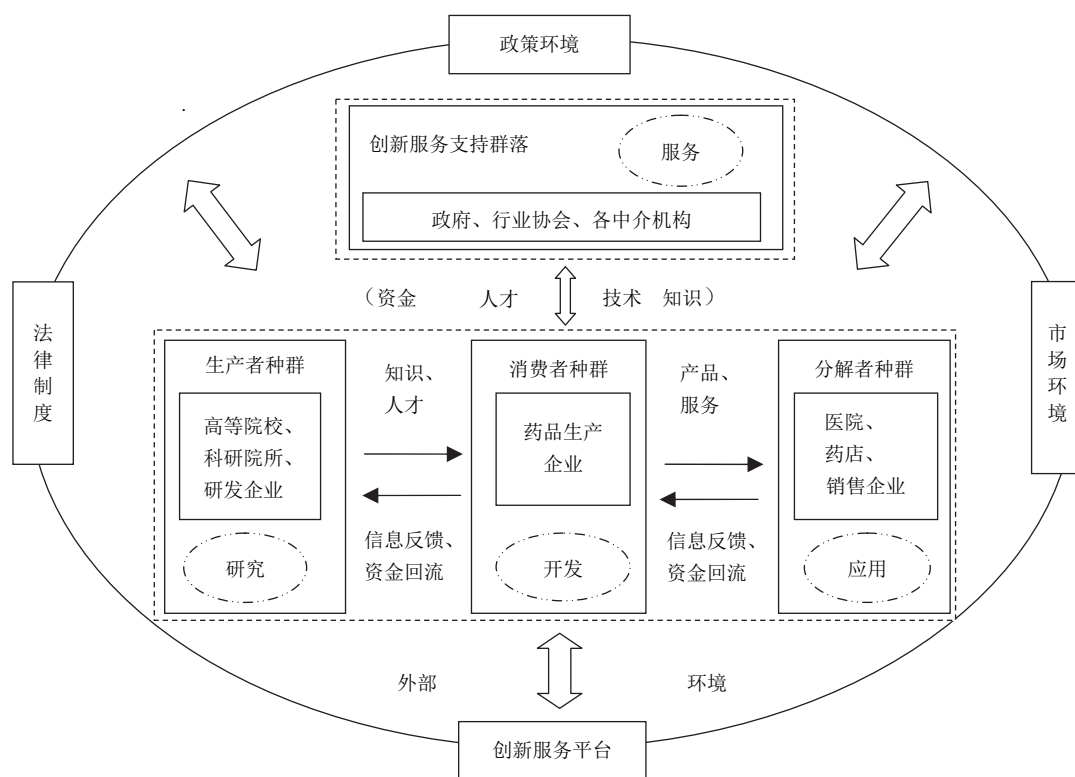


图 3 生物医药产业创新生态系统结构模型

3.4 生物医药产业创新生态系统的运行机制

合理的运行机制是生物医药产业创新生态系统良好运行的保障,也是系统演化规划的基础。有效的运行机制对创新生物系统持续成长与发展有着举足轻重的作用。本文认为生物医药产业创新生态系统的运行机制有以下几种。

3.4.1 开放式创新机制 开放式创新是创新生态系统良好运行的基础。封闭式创新指企业在内部完全依靠自身的资源独自进行研发,创新的动力来自于技术推动和需求拉动两个方面。由于技术的发展,创新产品与创新过程的复杂性不断增大,封闭式的创新已经不能满足创新的需求,需要一种开放、协同的创新形式。开放式创新强调各创新主体从开放的视角主动地进行相互合作,从系统的角度来看待创新,通过整合生态系统中的资源来实现共同的目标。在以往的创新模式中,往往存在“拉郎配”的现象,系统中的成员缺乏合理的分工和协同,最终的创新效果并不好,还浪费了投入的资源。只有进行开放式创新,创新生态系统内的各个创新主体才能进行知识共享、信息流动,彼此协作共同完成创新。

3.4.2 协同共生机制 生物医药产业创新生态系统中的各个创新种群之间以及种群内都存在着相互合作,与自然生态系统中的共生类似。由于资金、规模的不同,各创新主体处在不同的生态位。合作往往发生在处于不同生态位或生态位重合度较低的种群中。处于弱势地位但在技术、销售方式等方面有相对优势的创新主体会和大企业建立创新联盟,通过信息交流、资源共享等方式,共同抵御外部环境变化所带来的风险,提高创新的成功率,如合同生产组织(CMO)、合同销售组织(CSO)的出现。而需要同一资源或占据同一空间即处在同一生态位的创新种群为了避免生态位的重叠,会不断提升自身能力,寻找新的生态位。各个创新种群在实现整体利益最大化的同时,也实现了自身利益的提升,相互依存、协同共生,共同推动产业创新的发展。

3.4.3 自组织演化机制 创新生态系统是一个自我学习、自我更新的自组织生态系统,内部各个要素(物种、种群、群落、食物链等)相互联系、相互协调而自发地形成系统,不受外界的干扰。各个创新主体在竞争与合作中共同发展,使创新生态系统从无序到有序,具有自己维持生存、进行发展的能力。创新生态系统可以不断促进优势新物种的成长,而处于劣势位置的物种,如果不寻求改变、提高自己的能力使自己产生相对优势,则会被淘汰,和自然生态系统中“物竞天择、适者生存”的原理一致。在这一过程中,整个生态系统不断进行演化、自我超越。生物医药产业创新生态系统自组织演化的本质即是依靠自己内部的力量发展壮大自己。

3.4.4 环境匹配机制 创新主体的一切创新活动都不可能离开外部创新环境的支撑,良好的环境是创新活动成功的保障。有学者认为硅谷的不可复制性正是由于其根植于独特的外部环境中。外部的政策、条例、法规、制度等政策环境都引导着生物医药产业创新活动的方向,影响着系统的资源配置;资源、气候、土地等基础设施也直接影响到创新的条件。生物医药产业涉及多项科学技术,如产业内部的基因工程技

术、干细胞技术等,与其他产业相关联的计算机技术、纳米技术等,各创新主体通过与外部环境不断进行信息、资金和人才的交流得到完成各项技术所需要的资源,这个过程中,创新主体、要素和环境之间相互依赖、交互共生,实现产业的创新。

4 关于我国生物医药产业创新生态系统建设与发展思考与建议

我国生物技术正处于高速发展的阶段,面临的首要任务就是进行创新,创新并不是靠单个或几个主体或要素就可以完成的。因此,本文根据生物医药产业的特点,类比自然生态系统,构造了一个多创新主体协同,以及创新主体与环境交互共生的生物医药产业创新生态系统模型。在充分理解创新生态系统的要素、结构与功能后,从要素发展和系统运行的视角,为生物医药产业创新生态系统的发展提出以下几点建议:

4.1 以政府为引导,营造良好的创新环境

良好的创新环境是生物医药产业创新生态系统发展的保障,创新环境的营造离不开政府的支持。政府是生物医药产业发展重要的创新服务支撑种群,协调资源配置,提供各种政策服务,引导创新的发展,由于生物医药产业对政府政策的依赖性远高于其他产业,使政府和创新生态系统中扮演着重要的角色。但在生物医药产业创新生态系统中,政府并非要强势干预,主导产业的发展,而是以引导为主,为系统发展营造良好的环境。比如,目前我国创新药物面临的一个重大问题是与创新技术的产生和成果转化相关的政策没有起到充分地激励创新药物研发、上市的作用,影响了创新药物的研发积极性,降低了研发成功率,延缓了新药上市进程,影响了我国创新药物的可及性。因此,政府应努力在人才激励措施、资金筹集、财政税收、知识产权保护制度、成果转化机制等方面制订更加合理有效的政策。

4.2 促进创新主体、种群间的协同合作

促进创新主体间和创新种群间的协同合作对生物医药产业创新生态系统良好运行起着关键性作用。在生物医药产业创新生态系统中,要形成以高等院校、科研机构及企业等创新主体、政府及各中介机构等为辅助创新主体的模式。例如,人才的引进与培养是发展产业创新生态系统必不可少的,高等院校是知识密集区,为整个生态系统培养大量的人才,并促进技术和知识的转移;而企业拥有雄厚的资金实力,可以为高校解决资金上的困难,也可以为学生提供实习基地,使学生可以理论和实践相结合,两者做到取长补短、互利互惠。另一方面,在新药上市前,要经过临床研究,所以生物创新药物所需的专家人才,除了研发人员,还应包括医院临床专家、教授,他们拥有大量的临床经验,能够更直接地了解新药临床应用的效果,有一手的临床经验和数据,能够对新药的进一步研究和开发提供反馈信息。各创新主体协同合作,发挥创新的最大的成效。而在整个过程中,由于技术、信息等的不对称,则需要发挥中介机构的沟通作用。各

创新主体之间及创新种群之间的协同合作、互利共生,使得生物医药产业创新生态系统变得“大而强”,从而实现生物医药产业的可持续创新。

参考文献

- [1] Li B, Sun LH. Discussion on economies of scale on domestic pharmaceutical enterprises. *Chin J Pharm*, 2018, 49(4):533-536. (in Chinese)
李波, 孙利华. 国内制药企业规模经济探讨. *中国医药工业杂志*, 2018, 49(4):533-536.
- [2] Yan JZ, Wang MY, Shao R. Research on policy environment of pharmaceutical industry innovation under reform of the supply front base on American experience. *Chin J New Drugs*, 2017, 26(6):626-630. (in Chinese)
颜建周, 王梦媛, 邵蓉. 供给侧改革下的医药产业创新政策环境研究——基于美国经验. *中国新药杂志*, 2017, 26(6):626-630.
- [3] Zhang XZ, Wang CY. Important factors leading to successful biological pharmacy manufacturers. *J Dalian Univ Technol (Soc Sci)*, 2002, 23(4):47-51. (in Chinese)
张醒洲, 王春艳. 生物制药企业成功要素. *大连理工大学学报(社会科学版)*, 2002, 23(4):47-51.
- [4] Liu GD, Ding J, Wu B. Research on China's high-tech industry cluster upgrading based on global value chain — A case study of biomedical industrial cluster. *Soft Sci*, 2011, 25(3):36-41. (in Chinese)
刘光东, 丁洁, 武博. 基于全球价值链的我国高新技术产业集群升级研究——以生物医药产业集群为例. *软科学*, 2011, 25(3):36-41.
- [5] Li J, Jiang KJ, Wang YH. Analyzing the upgrading mode of bio-pharmaceutical industry cluster in view of industry value chain. *Chin Health Serv Manag*, 2017, 34(12):884-887, 894. (in Chinese)
李洁, 蒋凯杰, 王永辉. 基于产业价值链视角生物医药产业集群升级模式探析. *中国卫生事业管理*, 2017, 34(12):884-887, 894.
- [6] Deng N, Ao Y, Guan ZH, et al. Prospect of building the strategic alliances of technical innovation in China biomedical industry. *Prog Biochem Biophys*, 2012, 39(7):631-639.
- [7] Su Y, Guan ZH, Liu XB, et al. Strategic alliance of technology innovation in bio-pharmaceutical industry. *China Biotechnol*, 2010, 30(7):112-115. (in Chinese)
苏月, 关镇和, 刘先宝, 等. 浅谈生物医药产业技术创新战略联盟. *中国生物工程杂志*, 2010, 30(7):112-115.
- [8] Mao RY, Zeng G. Study innovation network modes based on mechanism of collective learning — Based on the pudong biotechnology industry innovation network. *Econ Geography*, 2010, 30(9):1478-1483. (in Chinese)
毛睿奕, 曾刚. 基于集体学习机制的创新网络模式研究——以浦东新区生物医药产业创新网络为例. *经济地理*, 2010, 30(9):1478-1483.
- [9] The President's Council of Advisors on Science and Technology. Sustaining the nation's innovation ecosystems -- Information technology manufacturing and competitiveness. Washington DC: (2004-01-30) [2019-03-01]. <https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-04-itreport.pdf>.
- [10] The President's Council of Advisors on Science and Technology. Sustaining the nation's innovation ecosystem -- Maintaining the strength of our science & engineering capabilities. Washington DC: (2004-06-25) [2019-03-01]. <https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-04-sciengcapabilities.pdf>.
- [11] Adner R. Match your innovation strategy to your innovation ecosystem. *Harv Bus Rev*, 2006, 84(4):98-107, 148.
- [12] Iansiti M, Richards GL. The information technology ecosystem: structure, health, and performance. *Antitrust Bull*, 2006, 51(1):77-109.
- [13] Moore JF. Predators and prey: a new ecology of competition. *Harv Bus Rev*, 1993, 71(3):75-86.
- [14] Li W, Chang J, Wang MJ, et al. Innovation 3.0 and innovation ecosystem. *Stud Sci Sci*, 2014, 32(12):1761-1770. (in Chinese)
李万, 常静, 王敏杰, 等. 创新 3.0 与创新生态系统. *科学学研究*, 2014, 32(12):1761-1770.
- [15] Lin TT. Study on industrial technological innovation ecosystem. Harbin: Harbin Engineering University, 2012. (in Chinese)
林婷婷. 产业技术创新生态系统研究. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2012.
- [16] Liu S. Construction and governance research of industrial innovation ecosystem. Tianjin: Hebei University of Technology, 2015. (in Chinese)
刘沙. 产业创新生态系统的构建及治理研究. 天津: 河北工业大学, 2015.
- [17] Zhang RK. Study on the evolution of Shanghai city innovation ecosystem: in the 3D perspective of element - relation - function. Shanghai: East China Normal University, 2016. (in Chinese)
张仁开. 上海创新生态系统演化研究——基于要素·关系·功能的三维视阈. 上海: 华东师范大学, 2016.
- [18] Estrin J. Closing the innovation gap: reigniting the spark of creativity in a global economy. Lyu J, Weng YF, translation. Beijing: China Machine Press, 2010. (in Chinese)
Estrin J. 美国创新在衰退? 阎佳, 翁翼飞, 译. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [19] Li L, Guo YQ. The study on the innovation ecosystem construction of China's new energy automotive industry. *Sci Technol Manag Res*, 2014, 34(23):59-63. (in Chinese)
李磊, 郭燕青. 我国新能源汽车产业创新生态系统构建研究. *科技管理研究*, 2014, 34(23):59-63.
- [20] Wu L, Dai WH, Sun T. Study on the mode of self-innovation ecological community for China's biomedicine industry. *R&D Manag*, 2007, 19(2):42-49. (in Chinese)
邬亮, 戴伟辉, 孙涛. 我国生物医药产业自主创新的生态群落模式研究. *研究与发展管理*, 2007, 19(2):42-49.
- [21] Guo YQ, He D. Industrial innovation ecosystem of new energy vehicle industry from the perspective of embedded network relationship. *Sci Technol Manag Res*, 2017, 37(22):134-140. (in Chinese)
郭燕青, 何地. 新能源汽车产业创新生态系统研究——基于网络关系嵌入视角. *科技管理研究*, 2017, 37(22):134-140.