



创新生态系统内部耦合的区域差异及动态机制分析

廖凯诚, 张玉臣, 杜千卉
同济大学 经济与管理学院, 上海 200092

摘要: 培育和发展创新生态系统是创新驱动发展战略的重要内容, 能为创新型国家建设提供有力支撑。已有对创新生态系统的研究主要以自然生态系统和共生原理为逻辑, 忽视了创新生态主体与创新生态环境具有耦合特征的事实, 且鲜有研究讨论两者的耦合协调机制, 而创新生态系统内部耦合协调机制是维系整个创新生态动态平衡的基础。

以社会生态系统为逻辑起点, 融合自然生态系统与社会生态系统的运行特点, 类比出新的创新生态系统概念, 据此构建创新生态系统的指标评价体系; 从耦合视角构建创新生态系统内部耦合协调模型, 采用综合指标评价、耦合协调模型、Dagum 基尼系数和面板向量自回归模型等方法, 实证分析 2007 年至 2018 年中国创新生态系统内部耦合协调的区域差异及动态机制。

研究表明, ①目前创新生态主体系统和创新生态环境系统的综合发展水平普遍较低, 两者的耦合协调等级大部分处于失调阶段, 整体上正经历从低级向高级、从失调向协调的演化过程, 在地理空间上表现出由东向西递减的阶梯型特征。②创新生态主体系统、创新生态环境系统和耦合协调水平的总体基尼系数的波动幅度均较小, 其中, 创新生态主体系统的总体基尼系数最高, 其次为创新生态环境系统和耦合协调水平, 而创新生态主体系统、创新生态环境系统和耦合协调水平的区域差异主要来自于组间差异。③东部地区的创新生态主体系统与创新生态环境系统互为格兰杰因果关系, 且两者均存在独立的自我增强机制; 其他各地区的创新生态主体系统与创新生态环境系统仅存在单向的格兰杰因果关系, 均表现为创新生态主体系统对创新生态环境系统的促进作用。

研究结果在理论上丰富了当前仅以共生视角为主的创新生态系统研究, 从耦合视角拓展了创新生态系统运行机制研究, 有助于加深对创新生态系统动态演化过程内在逻辑的理解, 为政府及其相关机构制定政策缩小区域差异、实现区域协调发展提供指导建议。

关键词: 创新生态系统; 自然生态系统; 社会生态系统; 耦合协调模型; Dagum 基尼系数; 面板向量自回归模型

中图分类号: F207 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1672-0334.2023.03.006

文章编号: 1672-0334(2023)03-0081-19

收稿日期: 2020-11-30 修返日期: 2021-11-06

基金项目: 国家自然科学基金 (71972148)

作者简介: 廖凯诚, 同济大学经济与管理学院博士研究生, 研究方向为金融与创新等, 代表性学术成果为“地方政府经济与社会投资效率的区域差异分解及动态效应评价”, 发表在 2019 年第 12 期《数量经济技术经济研究》, E-mail: liaokaicheng@163.com

张玉臣, 管理学博士, 同济大学经济与管理学院教授, 研究方向为技术经济及管理、创新创业管理等, 代表性学术成果为“研发联合体: 基于交易成本和资源基础理论视角”, 发表在 2019 年第 8 期《科研管理》, E-mail: zhang99111@tongji.edu.cn

杜千卉, 同济大学经济与管理学院博士研究生, 研究方向为技术经济及管理、创新创业管理等, 代表性学术成果为“高新技术企业研发投入失效现象及成因分析”, 发表在 2017 年第 S1 期《科研管理》, E-mail: 1710035@tongji.edu.cn

引言

随着人们对创新规律认识的逐步深化,学界对创新生态系统的研究热度持续上涨,已成为全球创新管理领域的研究热点^[1]。2020年《“十四五”规划建议》和《国务院政府工作报告》均强调,坚持创新驱动发展战略,增强科技创新支撑能力,以及营造鼓励创新的科研环境。可见,实践界也将创新生态作为支持创新型国家建设的重要基础。因此,在创新驱动发展的宏观背景下,对创新生态系统进行评价具有重要的研究意义。

在已有创新生态系统评价的研究中,主要基于生态系统理论^[2]、自然生态系统理论^[3]或社会生态系统理论^[4],并在此基础上界定创新生态系统内涵,以此构建相关指标评价体系。虽然自然生态系统与社会生态系统在理论内涵上相互交叉,但社会生态系统中特有的人为特征和社会环境特质,使自然生态系统与社会生态系统在结构和功能上又有显著的差异性^[5],仅从其中一种系统理论构建创新生态系统研究框架,会导致其在完备性上存在局限。已有研究视角也主要基于共生理论,忽视了创新生态主体与创新生态环境具备耦合特征的事实,也因此忽略了创新生态主体与创新生态环境的相互作用机制。而创新生态主体与创新生态环境之间的相互作用和共同演化是维系整个生态系统动态平衡的基础,故对创新生态系统内部耦合协调机制的研究至关重要。

综上,本研究认为,创新生态系统应体现为自然生态系统与社会生态系统的交融整合,既包含二者相似、共有的部分,也包含双方独有的特质。换言之,既保障其构建行为遵循自然演化规律,同时也纳入社会环境因素;既在其运作中充分突出人的作用,同时也不违背自然本源。因此,需兼论自然和社会两个生态系统理念对创新生态系统的内涵、机制和评价等进行全面的理论补充,还需基于耦合机制重新构建综合性的评价指标体系。此外,由于不同区域在自然、经济、区位优势和政策条件等方面具有差异,考虑到区域资源禀赋差异的影响,创新生态系统内部耦合协调状态也存在一定程度的空间不均衡性。因此,需针对这种不均衡性的空间特征进行探讨。鉴于此,本研究兼论自然生态系统与社会生态系统理念,从耦合视角对创新生态系统的内涵和机制进行重新阐释;并在此基础上构建创新生态系统的综合评价指标体系,重点研究创新生态系统内部结构的协调度、空间特征及其区域差异的形成机制。一方面希冀丰富创新生态理论的研究,另一方面也为政府及相关机构制定政策提供理论依据。

1 相关研究评述

1.1 创新生态系统

在创新生态系统的研究中,其内涵与外延并未形成统一界定,但研究层次却已涉及到国家^[6]、区域^[7]、产业^[8]、企业^[9]等多个方面。虽然有关创新生态系统的研究取得了丰富的成果,为本研究提供了较大的

参考价值,但大量研究普遍以生态系统论的共生关系为基础^[10-12],解释创新生态主体之间的相互关系^[13-15];或讨论创新环境对创新主体从事创新活动的影响^[16-17],忽视了创新生态系统内部结构的耦合特征,即创新生态主体系统与创新生态环境系统之间的相互作用及发展阶段。共生理念来源于自然生态系统的共生原理,主要强调不同物种之间的互利关系;而耦合理念强调发展和协调,即系统从低级向高级、从无序向有序的演化过程^[18],以及系统之间或系统内部各要素之间相互依赖、相互促进的程度^[19]。由此可见,在创新生态系统中不仅存在共生关系,也具有耦合关系。因此,以共生关系为基础探讨创新生态系统所得到的结论是不完备的,创新生态系统需置于耦合关系背景下重新审视。

1.2 耦合关系

已有关于耦合对创新影响的研究主要集中在微观企业层面,研究创新主体之间的耦合关系^[20],包括产学研合作耦合^[21-22]以及上下游创新企业之间因产品和技术相互依赖形成的耦合关系^[23-24]等。已有研究将耦合定义为网络中节点之间的联系强度^[25-26],或理解为知识领域共同利用的程度^[27]。谭劲松等^[28]用耦合理论讨论关键核心技术突破规律,认为理解不同参与者之间的耦合模式是核心企业解决不同创新问题的关键。不难发现,微观企业层面的耦合研究主要关注主体之间的联系,忽视了主体与环境之间的相互作用,同时也缺乏对区域层面创新生态系统内部耦合机理的认识。与微观企业层面的耦合不同,区域创新生态系统内部结构的耦合特征强调创新主体与创新环境相互独立却又彼此依赖。这是因为区域创新生态系统是特定区域内创新资源与各创新主体之间以及创新主体与创新环境之间通过物质、能量和信息流动相互联系、相互依赖的复杂系统^[29-30],因此,需要从系统耦合的视角剖析区域创新生态系统内部结构之间的相互作用关系。

1.3 已有研究的不足

通过对已有研究的梳理可以发现,①虽然有关创新生态系统的研究成果颇丰,但已有研究主要基于单一系统理论构建创新生态系统的指标评价体系,从共生理论视角关注创新生态主体之间的相互作用关系,忽视了创新生态系统具有自然生态系统与社会生态系统的交叉性特点。因此,仅从其中一种系统理论构建创新生态系统研究框架,将导致其在完备性上存在局限。②目前缺乏区域创新生态系统内部耦合协调机制的研究。因此,有必要在已有共生视角研究的基础上进一步挖掘耦合协调机制,揭示创新生态系统内部子系统及主体、要素间如何进行耦合,以及这种耦合如何作用于整个系统运行等。

2 创新生态系统的内涵及耦合协调机理分析

2.1 创新生态系统的内涵界定

生态系统是生物群落与非生物环境相互作用的自然系统,具有开放性、稳定性和演化性等特征。创

新生态系统是由创新生态主体群落和创新生态环境相互作用的复杂系统,具有自然生态系统与社会生态系统交叉性的特点。因为创新生态是一个仿生的概念,且创新活动是社会生态系统的重要组成部分,因此,可以仿照自然生态系统和社会生态系统构建创新生态系统。

自然生态系统是由生物群落及其赖以生存的物理环境共同组成的动态平衡系统^[31]。社会生态系统是由生物、地理等自然元素以及相关社会行为者和社会体制共同形成的、具有适应性和一定空间或功能界限的复杂系统^[32],自然、经济和文化是其关键资源^[33]。自然界中存在多种多样的生态系统,但不同类型的生态系统都是由两大部分构成,即生物群落和物理环境,或称之为生命系统和环境系统。与自然生态系统类似,创新生态系统由创新生态主体系统 (innovation-actor-subecosystems, IAS) 和创新生态环境系统 (innovation-environment-subecosystems, IES) 两大部分构成,两者彼此之间相互依存、相互影响。图1给出创新生态系统的构建过程,创新生态环境对创新生态主体的作用就好比自然生态系统中水和氧气等必备生存要素对人生存的作用一样,主体必须依赖于环境生存,环境为主体提供活动空间,支撑主体的发展。按照自然生态系统和社会生态系统的运行特点,本研究归纳总结了一个生态系统必须包含的3个方面:一是用具有共同特征的若干子系统展示生

态系统的结构,二是通过描述子系统之间的动态平衡关系展示生态系统的功能,三是展示生态系统演化的动态平衡过程。据此,本研究可以清晰地描述创新生态系统:在一个创新生态系统里,生命系统体现为创新生态主体系统,包括:①创新主体,有企业、科研机构、高校和其他组织;②创新活动的消费者,主要指各种用户和消费主体,事实上企业、高校等机构也有可能是消费者;③创新活动的分解者,主要包括中介组织和政府机构。创新生态主体系统的发展表现为创新主体、创新活动的消费者和创新活动的分解者对创新活动的影响。创新生态环境系统则体现为创新生态主体赖以生存的环境,包括市场环境、要素环境、文化环境、服务环境、制度环境、信用环境等6个方面。本研究认为创新生态主体系统根植于创新生态环境系统,创新生态环境系统构成了创新生态主体系统的生存条件、演变方式和发展方向;创新生态环境系统能有效地影响创新生态主体系统的发展,而且在不同阶段影响创新主体的因素不同。同时,创新生态主体系统可以通过要素配置、信用体系构建和创新文化输出等功能反过来影响并优化创新生态环境系统的各个方面。

综上所述,本研究将创新生态系统定义为:以自然生态系统为机制运行的、以社会生态系统为逻辑构建的交叉性系统,以实现创新生态主体发展为目标、以创新生态环境为基础,并以创新主体为产出、

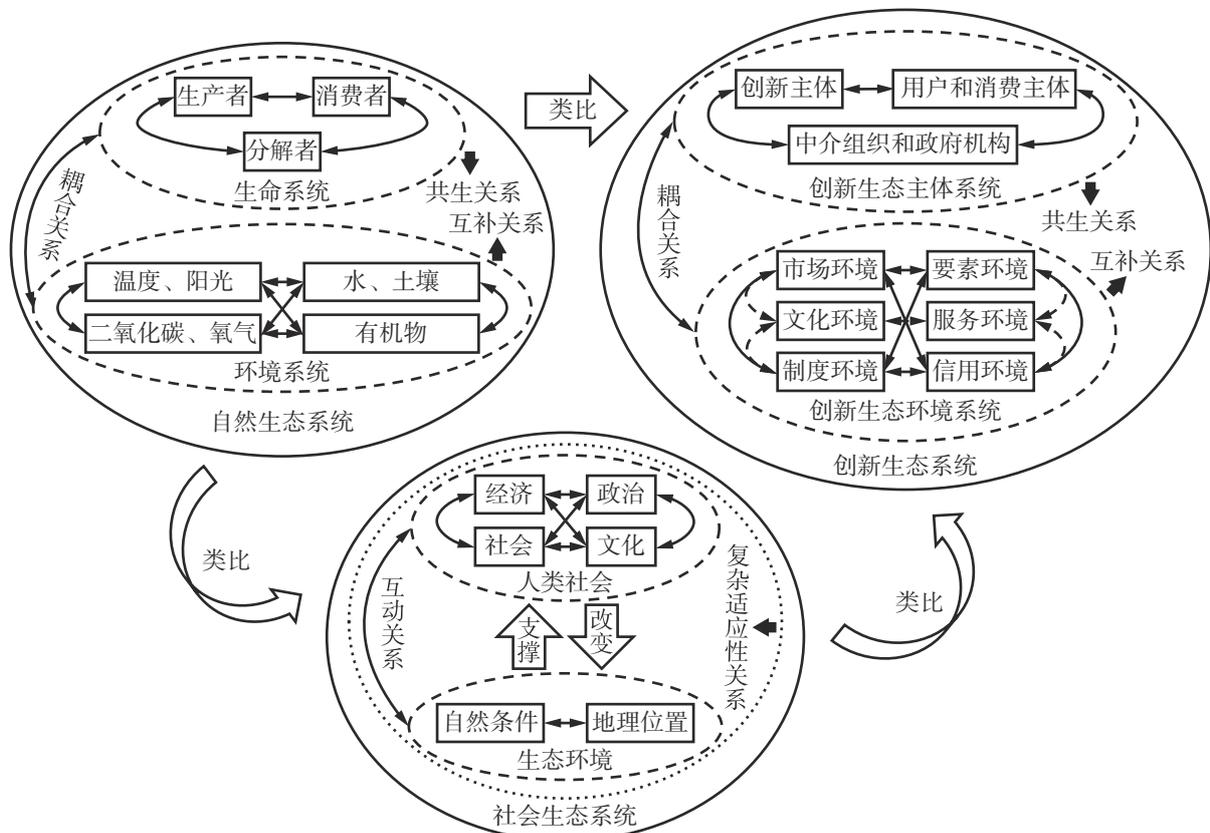


图1 创新生态系统的构建过程

Figure 1 Process of Constructing Innovation Ecosystems

以创新生态环境为投入,由创新生态主体和创新生态环境两个子系统构建的互相联系、互相影响、耦合协调的动态平衡系统。从定义可知,不同于创新系统,创新生态系统突出了生态特征,是从生态角度分析创新活动。创新系统与创新生态系统的区别主要体现在:①创新系统本质上是由创新主体构建的线性的、机械的静态系统;创新生态系统则突出了创新主体与创新环境不断相互作用的动态关系,是有活力的、非线性的、非机械的动态系统。②创新系统更多表现为一个网络^[34-35],各主体在该网络中互动以催生新知识、新技术、新产品^[36];创新生态系统不是单个网络,而是包含子系统的多样复杂生态网络,且网络之间存在更为复杂的交互联系。③创新系统不具备动态演化的生态特征,更多体现为构成要素、资源配置等静态结构特征;创新生态系统具有明显的动态演化特征^[37],更强调内部构成之间的动态作用机制以及整个系统的生长和演化过程。

2.2 创新生态系统的内部结构及耦合协调机理分析

图2给出创新生态系统的内部结构及耦合协调机理的作用关系。在创新生态系统中,①创新生态主体系统内部呈现共生关系,表现为不同创新主体之间相互作用而形成的共同生存、协同进化的群居现象。共生关系来源于自然生态系统的共生原理,主要强调不同物种之间的互利关系,在创新生态主体系统中则强调具有行为主动性的主体之间的相互作用^[16-17]。共生关系的相互作用具体体现在,创新主体在创新活动中发挥主动性作用,企业和科研机构等创新主体制造的产品被产品市场和技术市场的企业进行加工、销售,而中介市场和政府可以帮助企业

提高生产和销售产品的效率。总之,以产品创新为中心,各主体的活动均与其他主体活动紧密相连、相互依存,各类创新主体各司其职、互利共生。②创新生态环境系统内部各要素呈现互补关系,即指各要素在创新活动过程中发挥的作用。具体而言,各类环境要素分别从不同方面影响创新主体活动,而创新活动的正常进行依赖于各种环境要素的综合作用,缺少任何一种环境要素都会影响创新产出。因此,在创新生态环境系统中,各环境要素相互补充,营造适合创新发展、能够支撑创新活动的生态环境。③创新生态主体系统与创新生态环境系统呈现耦合关系,表现为两个系统之间或各系统要素之间相互作用。

从上述分析可知,共生理念和耦合协调思想并不是一个硬币的正反面,而是两种不同视角下的互动方式,二者不是对立关系,而是存在一定的交叉。共生关系更强调创新主体之间互利共赢,但它忽视了文化和服务等这一类非生命体要素对物种的影响,且强调环境要素嵌入在共生关系中,并只关注创新环境对创新主体的单方面贡献,忽略了生态主体与环境客体之间的相互作用;而耦合关系更强调创新生态主体系统与创新生态环境系统之间的发展和协调,环境是独立出来的,其在作用机制中包含了共生作用,却比共生作用更为丰富和全面。

创新生态系统沿袭了自然生态系统的基本特征,主体系统与环境系统之间具有相互适应性,彼此间通过人力、资金和信息等要素流动实现相互影响、相互作用、共同演化,并在互动过程中,双方的属性和特征等也随之变化,呈现明显的耦合特征。一方

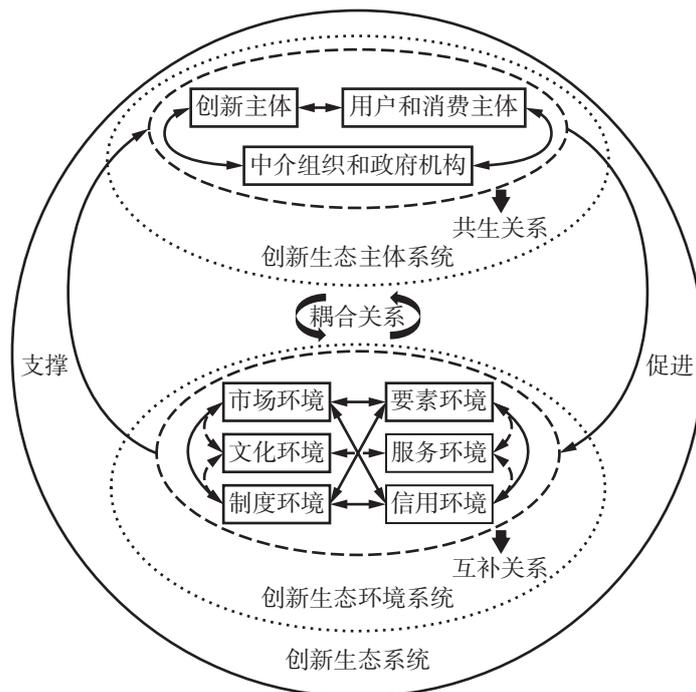


图2 创新生态系统的内部结构及耦合协调机理分析

Figure 2 Analysis of Internal Structure and Coupling Coordination Mechanism of Innovation Ecosystems

面, 创新生态主体活动受制于外部环境^[38], 良好的外部环境有助于推动创新活动以及创新成果市场价值的实现^[39], 创新生态环境为创新主体活动提供所需资源和空间支撑^[17]。例如, 创新生态环境中的市场环境可为创新活动提供平台和媒介; 制度环境为创新活动提供规范和保障^[40]; 要素环境提供人力、物力和财力等直接创新资源和创新要素; 信用环境会直接影响整个生态环境知识、信息和技术等要素的流通效率; 文化环境影响创新主体的态度、信仰和价值等内生动力^[41]; 服务环境通过政府的公共服务和中介机构等提供社会服务, 将各系统及要素紧密连接。可见, 创新生态主体的资源获取和价值功能实现均取决于创新生态环境^[42]。另一方面, 创新生态主体系统也反作用于创新生态环境系统, 引导环境为适应主体需求而不断调整演化^[43]。这是因为创新主体会不断提出改变市场环境、规则和制度等新需求, 通过要素配置、信用体系构建和创新文化输出等, 不断推动创新环境系统更新和优化。对于创新活动的生产者, 创新主体之间的合作对环境提出新要求, 推动环境动态演化, 如技术变革引起制度环境和信用环境等相应调整。对于创新活动的消费者, 创新需求会影响创新生态的市场环境, 决定要素环境和信用环境的构建, 如新产品的开发会衍生出新的创新业态, 并对外部的创新环境提出新的要求。对于创新活动的分解者, 释放创新要素以供创新主体使用, 优化要素配置, 提升市场等环境发展效率。如科技中介机构推进创新主体之间的知识创造和技术转移, 而创新活动专业化增大了创新主体对科技中介机构的依赖性^[44], 中介机构可以向市场提供创新信息、创新产品、创新机遇等, 影响市场等环境系统的发展。由上述分析可知, 创新生态环境系统对创新生态主体系统有支撑作用, 而创新生态主体系统又反向影响创新生态环境系统。换言之, 两者之间表现出相互作用、相互依赖和耦合协调的关系。虽然, 创新生态主体系统与创新生态环境系统之间相互依赖, 但由于两者都是独立存在的系统, 其在发展速度上存在一定差异, 因此, 两者之间的相互影响会随着时间的变化呈现强弱之分, 进而演化成各种各样的耦合协调形态, 由低到高形成了从极度失调到优质协调等多种协调等级, 这就呈现出创新生态系统内部耦合协调状态的演化特征。

3 研究设计

3.1 数据来源

本研究以2007年至2018年中国30个省份为研究对象, 由于西藏自治区的数据缺失较多, 而台湾省、澳门特别行政区和香港特别行政区的数据难以获取, 且统计口径存在差异, 因此暂不考虑上述地区。所需数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国火炬统计年鉴》《中国文化和旅游统计年鉴》《中国文化文物统计年鉴》《中国工业统计年鉴》《中国教育统计年鉴》《中国劳动统计年鉴》和地方统

计年鉴及公报, 部分数据来源于相关部门的官网。对于缺失性数据, 采用线性拟合法、平滑指数法和线性加权法等方法补充。

3.2 构建创新生态系统内部耦合协调模型

与传统实证方法不同, 耦合协调模型是基于系统的思想来刻画系统或子系统之间的协同变动情况, 涵盖了发展和协调两个方面^[19,45], 发展强调系统从低级向高级、从无序向有序演化的过程^[18], 协调强调系统之间以及系统内部各要素之间相互依赖、相互促进的程度^[19]。可见, 在有别于仅考虑变量之间因果关系的模型中, 耦合协调模型更适用评价两个系统之间在发展演化过程中的相互作用程度。基于这一思想, 本研究采用耦合协调模型实证检验创新生态主体系统与创新生态环境系统在发展演化过程中的协调状况, 具体测量步骤及模型构建如下。

(1) 计算创新生态主体系统和创新生态环境系统的综合发展水平

①先对原始数据进行规范化处理, 具体公式为

$$Y_{i,j,t} = \begin{cases} \frac{y_{i,j,t} - m_{i,j,t}}{M_{i,j,t} - m_{i,j,t}}, & \text{当 } y_{i,j,t} \text{ 为正指标} \\ \frac{M_{i,j,t} - y_{i,j,t}}{M_{i,j,t} - m_{i,j,t}}, & \text{当 } y_{i,j,t} \text{ 为逆指标} \end{cases} \quad (1)$$

其中, i 为样本, $i = 1, 2, \dots, n$, n 为样本总数; j 为指标, $j = 1, 2, \dots, q$, q 为指标总数; t 为年; $Y_{i,j,t}$ 为原始数据标准化后的数据; $y_{i,j,t}$ 为 i 样本 j 指标 t 年的数据; $m_{i,j,t}$ 为 i 样本 j 指标在 t 年的最小值; $M_{i,j,t}$ 为 i 样本 j 指标在 t 年的最大值。

②采用线性加权法测量创新生态主体系统和创新生态环境系统的综合发展水平, 具体公式为

$$U_{a,t} = \sum_{j=1}^q \omega_{a,j} y_{i,j,t}, \quad \sum_{j=1}^q \omega_j = 1 \quad (2)$$

其中, a 为创新生态系统的子系统, 即创新生态主体系统和创新生态环境系统; $U_{a,t}$ 为创新生态系统子系统的综合发展水平, 分别为创新生态主体系统的综合发展水平 U_{IE} 和创新生态环境系统的综合发展水平 U_{EE} ; $\omega_{a,j}$ 为创新生态系统子系统 j 指标的权重, 为了权重的客观性, 采用熵值法计算。

(2) 构建耦合协调模型

借用物理学中的容量耦合系数模型测量 U_{IE} 与 U_{EE} 之间的相互依赖和相互促进程度, 构建模型为

$$C_t = \frac{2\sqrt{U_{IE,t} \cdot U_{EE,t}}}{U_{IE,t} + U_{EE,t}} \quad (3)$$

其中, C_t 为 U_{IE} 与 U_{EE} 在 t 年的耦合度, $C_t \in [0, 1]$ 。当 C_t 越接近 1, 说明 U_{IE} 与 U_{EE} 两者呈现出有序发展、相互促进和协调, 反之则表示两者呈无序发展、相互制约。然而上述模型会出现伪评价结果, 当 U_{IE} 和 U_{EE} 的值都较低且相近时会出现较高的耦合度, 这显然不符合实际。因此, 为了准确测量 U_{IE} 与 U_{EE} 的协调度, 需要对上述模型进一步优化, 构建耦合协调度模型, 具体模型为

$$T_t = \alpha U_{IE,t} + \beta U_{EE,t}, \quad \alpha + \beta = 1 \quad (4)$$

$$UD_t = \sqrt{C_t \cdot T_t} \quad (5)$$

其中, T_t 为反映创新生态主体系统与创新生态环境系统整体协同效应的综合评价指数; UD_t 为 U_{IE} 与 U_{EE} 在 t 年的耦合协调度; α 和 β 为待定系数, α 为 U_{IE} 对创新生态系统内部耦合协同作用的重要程度, β 为 U_{EE} 对创新生态系统内部耦合协同作用的重要程度。对于 α 和 β 的测量, 本研究借鉴唐晓华等^[45]的研究方法, 采用典型相关分析进行测量^[46-47], 结果表明, α 和 β 的权重分配比均为 0.5。

3.3 耦合协调区域差异的测量

目前测量区域差异的模型有传统基尼系数法、泰尔指数法和 Dagum 基尼系数分解法, Dagum 基尼系数分解法能够克服泰尔指数受对数底和数据分布影响的缺陷, 且具有比传统基尼系数法更高的精度。因此, 本研究借鉴 DAGUM^[48] 的基尼系数及其子群分解方法测量创新生态系统内部耦合协调度的区域差异, 将研究区域分为东部、东北部、中部和西部四大经济区。Dagum 基尼系数的测量公式为

$$G = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{g=1}^K \sum_{h=1}^{n_k} \sum_{z=1}^{n_g} |u_{k,h} - u_{g,z}|}{2n^2\mu} \quad (6)$$

其中, G 为总体基尼系数, 表示 30 个省份创新生态系统内部耦合协调度的差异; K 为划分的经济区个数, $K=1,2,3,4$; k 和 g 为 K 经济区的不同经济区, h 和 z 为不同省份; $u_{k,h}$ 为第 k 个经济区中第 h 个省份创新生态系统内部耦合协调度的真实水平; $u_{g,z}$ 为第 g 个经济区中第 z 个省份创新生态系统内部耦合协调度的真实水平; μ 为全国各省份创新生态系统内部耦合协调度的均值; n 为所有省份的个数, $n=1,2,\dots,30$; n_k 为第 k 个经济区内省份个数; n_g 为第 g 个经济区内省份个数。

Dagum 基尼系数可分解为地区内差异 G_w 、地区间差异 G_{rb} 、超变密度 G_t , $G = G_w + G_{rb} + G_t$ 。地区内差异是指经济区内创新生态系统内部耦合协调度的分布差异; 地区间差异是指不同经济区之间创新生态系统内部耦合协调度的分布差异; 超变密度是指不同经济区之间创新生态系统内部耦合协调度的交叉重叠对总体基尼系数产生的影响, 其等于 0 时表示不同经济区之间创新生态系统内部耦合协调度不存在交叉重叠。Dagum 基尼系数的分解公式为

$$G_w = \sum_{k=1}^K \lambda_k s_k G_{k,k} \quad (7)$$

$$G_{rb} = \sum_{k=2}^K \sum_{g=1}^{k-1} (\lambda_k s_k + \lambda_g s_g) G_{k,g} D_{k,g} \quad (8)$$

$$G_t = \sum_{k=2}^K \sum_{g=1}^{k-1} (\lambda_k s_k + \lambda_g s_g) G_{k,g} (1 - D_{k,g}) \quad (9)$$

其中, λ_k 为第 k 个经济区内省份数量的百分比, $\lambda_k = \frac{n_k}{n}$; s_k 为第 k 个经济区创新生态系统内部耦合协调度的百分比, $s_k = \frac{\lambda_k \mu_k}{\mu}$, μ_k 为第 k 个经济区创新生态

系统内部耦合协调度的均值; $G_{k,k}$ 为第 k 个经济区的

基尼系数, $G_{k,k} = \frac{\sum_{h=1}^{n_k} \sum_{z=1}^{n_k} |u_{k,h} - u_{k,z}|}{2n_k^2 \mu_k}$; λ_g 为第 g 个经济区

内省份数量的百分比, $\lambda_g = \frac{n_g}{n}$; s_g 为第 g 个经济区创新生态系统内部耦合协调度的百分比, $s_g = \frac{\lambda_g \mu_g}{\mu}$, μ_g 为第 g 个经济区创新生态系统内部耦合协调度的均值; $G_{k,g}$ 为第 k 个经济区与第 g 个经济区的区间基尼

系数, $G_{k,g} = \frac{\sum_{h=1}^{n_k} \sum_{z=1}^{n_g} |u_{k,h} - u_{g,z}|}{n_k n_g (\mu_k + \mu_g)}$; $D_{k,g}$ 为第 k 个经济区创新

生态系统内部耦合协调度与第 g 个经济区创新生态系统内部耦合协调度的相对差异, $D_{k,g} = \frac{d_{k,g} - p_{k,g}}{d_{k,g} + p_{k,g}}$, $d_{k,g}$

为第 k 个经济区与第 g 个经济区之间创新生态系统内部耦合协调度的差值, $p_{k,g}$ 为超变一阶矩。在 $\mu_k > \mu_g$ 时, $d_{k,g}$ 是在 $u_{k,h} > u_{g,z}$ 条件下的所有省份创新生态系统内部耦合协调度差异 ($u_{k,h} - u_{g,z}$) 的加权平均数, $p_{k,g}$ 是在 $u_{k,h} < u_{g,z}$ 条件下的所有省份创新生态系统内部耦合协调度差异 ($u_{g,z} - u_{k,h}$) 的加权平均数。对于连续的密度分布函数 $f_k(u)$ 和 $f_g(u)$, $d_{k,g}$ 可以表示为

$$d_{k,g} = \int_0^\infty df_k(u_k) \int_0^u (u-x) df_g(u_g) \quad (10)$$

$p_{k,g}$ 可以表示为

$$p_{k,g} = \int_0^\infty df_g(u_g) \int_0^u (u-x) df_k(u_k) \quad (11)$$

其中, u_k 为第 k 个经济区耦合协调度, u_g 为第 g 个经济区耦合协调度。

3.4 构建评价指标体系和设定耦合协调评价标准

3.4.1 创建创新生态系统评价指标体系

本研究选取指标严格围绕创新生态系统的定义, 兼顾系统性、代表性、层次性、适应性和可操作性原则, 具体指标见表 1。根据前文思想, 本研究从创新生态主体和创新生态环境两个维度构建创新生态系统的指标评价体系。创新生态主体系统主要是由具有行动能力的主体构成, 即企业和政府机构等。已有研究对创新生态主体的确认已经基本明确, 因此在选取指标上借鉴已有研究成果^[11,49], 从生产者、消费者和分解者 3 个维度, 选取 27 个指标。消费者是指各种客户及需求主体, 由于相关数据难以获取, 本研究只能以市场交易额测量消费值; 用创新分解者的行为数据测量分解者。

与自然生态系统类比, 无机环境指包含阳光以及其他所有构成生态系统的基础物质。创新生态环境系统体现为创新生态主体赖以生存和发展的各种基础, 故从市场环境、制度环境、要素环境、信用环境、文化环境和服务环境 6 个维度对其进行评价。市场环境由影响创新活动的市场要素构成, 制度环境由保障创新活动进行的制度要素构成, 要素环境由参与创新活动的直接创新资源构成, 信用环境由与创新活动相关的信用因素构成, 文化环境由影响创新

表1 创新生态系统的指标评价体系
Table 1 Index Evaluation System of Innovation Ecosystems

系统	子系统	一级指标	二级指标	三级指标	
创新生态主体系统	生产者	企业	规模以上工业企业数量(个, +)		
		科研机构	科研机构数量(个, +)		
		高等院校	高等院校数量(个, +)		
		其他组织	学会数(学会、协会、研究会)(个, +)		
	消费者	技术市场	技术市场份额(万元, +); 输出技术合同数(项, +); 输出技术成交额(亿元, +); 吸纳技术合同数(项, +); 吸纳技术成交额(亿元, +)		
		产品市场	产品市场的发育程度评分(+); 新产品销售收入(万元, +); 新产品开发项目数(项, +); 优等品率(% , +); 产品质量损失率(% , -)		
	分解者	政府	企业研发补贴(万元, +); 高校研发补贴(万元, +); 科研机构研发补贴(万元, +); 人均一般公共服务支出(元, +); 人均科学技术支出(元, +); 人均节能环保支出(元, +); 人均教育支出(元, +); 人均商业服务业支出(元, +)		
		中介市场	市场中介组织的发育(+); 生产力促进中心规模(千元, +); 生产力促进中心服务企业数量(个, +); 国家高新区数量(个, +); 高新技术产业园区规模(千元, +)		
	创新生态系统	经济结构	经济结构	产业结构优化(% , +)	
			经济基础	人均全社会固定资产投资额(元, +); 地区人均GDP(元, +); 单位GDP能耗(吨标准煤/万元, -); 公路网络密度(km/平方米, +); 铁路网络密度(km/平方米, +); 金融发展水平(+)	
经济活力			非国有经济的发展评分(+); 新创企业增长率(% , +); 专利授权量(个, +); 15岁~65岁人口占比(% , +); 股票市价总值占GDP比重(% , +); 失业率(% , -)		
居民消费			居民消费水平(元, +); 人均社会消费品零售额(元, +); 城镇单位就业人员平均工资(元, +)		
市场环境		企业消费	企业资产规模(万元, +); 进出口总额(千美元, +); 规模以上工业企业出口交货值(亿元, +)		
		政府消费	人均地方财政一般预算支出(元, +)		
制度环境		市场化程度	市场化指数(+)		
		国际化程度	实际利用外商直接投资额(万美元, +); 外商投资企业数(户, +); 外商投资企业投资额(万美元, +); 外方注册资本(万美元, +)		
		法律完善程度	法律制度环境评分(+); 知识产权保护力度(+); 律师人数(人, +)		
		政府效率	人均行政管理费支出(元, +); 政府与市场的关系(+)		
要素环境	创新活动内部要素环境	地区研发人员全时当量(人年, +); 地区研发经费内部支出(万元, +); 高等学校R&D人员(人, +); 高等学校R&D经费内部支出(万元, +); 企业R&D人员(人, +); 企业R&D经费内部支出(万元, +); 科研机构R&D人员全时当量(人年, +); 科研机构R&D经费内部支出(万元, +)			
	创新活动外部要素环境	要素市场发育程度(+)			
信用环境	个人信用	每十万人人口高等学校平均在校学生数(人, +); 人口平均受教育年限			
	企业信用	银行不良贷款率(% , -); 规模以上工业企业资产负债率(% , -)			
	社会信用	上期末结案案件数(件, +); 当期案件受理数(件, -)			
	政府信用	腐败程度之职务犯罪(件, -)			
文化环境	文化包容性	版权合同登记数(份, +); 图书出版种数(种, +); 数字电视用户数(万户, +); 娱乐场所的营业利润(千元, +); 方言多样性(+)			
服务环境	服务质量	科技馆数量(个, +); 年度科普经费筹集额(万元, +); 孵化器数量(个, +); 建立劳动争议调解委员会的基层工会(个, +); 人均拥有公共图书馆藏量(册/人, +); 互联网宽带接入端口(万个, +); 职业技能鉴定机构数(个, +); 地区基层工会组织数(个, +); 各地区失业保险基金支出(亿元, +)			

注: 括号内逗号前为单位, +为该指标是正向指标, -为该指标是负向指标; 除特别写有币种外, 其他均为人民币。知识产权保护力度为合成指标, 为各省知识产权的立法强度与执法力度相乘。

活动的文化要素构成,服务环境由与创新活动相关的公共服务要素构成。选取测量创新生态系统各环节要素的指标主要以《全球创新指数报告》和《国家创新指数报告》为基础,并结合已有研究成果^[7,50-52],最终选取60个指标。

3.4.2 设定创新生态主体系统与创新生态环境系统之间的耦合协调评价标准

为了更加直观反映创新生态主体系统与创新生态环境系统的耦合协调状态,参考唐晓华等^[45]的研究方法,本研究将创新生态主体系统与创新生态环境系统的耦合协调度划分为10个等级,具体划分标准见表2。

4 实证结果分析

4.1 创新生态主体系统与创新生态环境系统的耦合协调评价

4.1.1 各地区创新生态主体系统和创新生态环境系统的综合发展水平

表3给出2007年至2018年四大综合经济区创新生态主体系统和创新生态环境系统的综合发展平均水平,各地区 U_{IE} 和 U_{EE} 的平均水平普遍较低,但整体呈现上升趋势,且存在较强的区域性阶梯特征,即东部地区 U_{IE} 和 U_{EE} 的整体平均水平要远高于其他区域。对于 U_{IE} ,东部地区整体平均水平最高,其数值从2007年的0.104增长至2018年的0.273,年均增长率为9.117%;中部地区的整体平均水平为0.095,从2007年的0.050增长至2018年的0.141,年均增长率为9.774%;东北地区和西部地区的整体平均水平分别为0.085和0.064,年均增长率分别为5.410%和

11.167%。对于 U_{EE} ,东部地区整体平均水平也最高,年均增长率为5.520%;中部地区的整体平均水平为0.105,年均增长率为5.350%;东北地区和西部地区的整体平均水平分别为0.096和0.074,年均增长率分别为3.486%和6.508%。综上可知,2007年至2018年四大综合经济区 U_{IE} 和 U_{EE} 的整体发展水平普遍较低,发展较好的地区均处于东部沿海城市, U_{IE} 的发展速度要优于 U_{EE} 的发展速度。

4.1.2 各地区创新生态主体系统与创新生态环境系统耦合协调度

表4给出2007年至2018年各省份创新生态主体系统与创新生态环境系统的耦合协调度及其年均增长率,可以发现,除海南以外,东部地区各省份耦合协调度的平均水平普遍高于东北、中部和西部地区的其他省份;从整体均值看,在东部地区,北京、江苏、广东的耦合协调度均值最高,处于勉强协调发展阶段;其次是上海、浙江、山东,处于濒临失调衰退阶段;天津和福建则处于轻度失调衰退阶段;河北和海南的耦合协调度均值最低,处于中度失调衰退阶段。在东北地区,辽宁、吉林、黑龙江的耦合协调度均值介于轻度失调衰退与中度失调衰退之间。在中部地区,耦合协调度均值最高的省份是湖北(0.374),其次是安徽(0.329)、河南(0.312)和湖南(0.309),最后是江西(0.281)和山西(0.249),可见中部地区各省份的耦合协调度也介于轻度失调衰退与中度失调衰退之间。在西部地区,各省市的耦合协调度均值跨越了3个阶段,分别为轻度失调衰退、中度失调衰退和严重失调衰退。

从年均增长率看,各地区的耦合协调度逐步提高,

表2 创新生态主体系统与创新生态环境系统之间的耦合协调评价标准

Table 2 Coupling Coordination Evaluation Criteria of IAS and IES

协调度	协调等级	区间	协调度	协调等级	区间	协调度	协调等级	区间		
(0.9, 1]	优质协调发展型(X)	协调 区间	(0.5, 0.6]	勉强协调发展型(VI)	过渡 区间	(0.3, 0.4]	轻度失调衰退型(IV)	(0.1, 0.2]	严重失调衰退型(II)	
(0.8, 0.9]	良好协调发展型(IX)					(0.2, 0.3]	中度失调衰退型(III)		(0, 0.1]	极度失调衰退型(I)
(0.7, 0.8]	中级协调发展型(VIII)					(0.4, 0.5]	濒临失调衰退型(V)			
(0.6, 0.7]	初级协调发展型(VII)									

表3 各地区创新生态主体系统和创新生态环境系统的综合发展平均水平

Table 3 Average Level of Comprehensive Development of the IAS and IES in Various Regions

	U_{IE}				U_{EE}			
	东部地区	东北地区	中部地区	西部地区	东部地区	东北地区	中部地区	西部地区
2007年	0.104	0.055	0.050	0.032	0.166	0.085	0.084	0.054
2018年	0.273	0.098	0.141	0.104	0.300	0.123	0.149	0.108
均值	0.184	0.085	0.095	0.064	0.215	0.096	0.105	0.074
年均增长率/%	9.117	5.410	9.774	11.167	5.520	3.486	5.350	6.508

表4 各省份创新生态主体系统与创新生态环境系统耦合协调度的平均水平
Table 4 Average Level of Coupling Coordinated Degree of IAS and IES in All Provinces and Cities

区域	省份	均值	年均增长率/%	区域	省份	均值	年均增长率/%	区域	省份	均值	年均增长率/%
东部地区	北京	0.597	3.539	东北地区	辽宁	0.355	1.627	西部地区	内蒙古	0.246	2.979
	天津	0.358	3.472		吉林	0.263	3.163		广西	0.250	3.140
	河北	0.296	3.047		黑龙江	0.269	2.246		重庆	0.278	4.130
	上海	0.485	3.251		东北地区	0.296	2.275		四川	0.350	4.525
	江苏	0.534	3.956	中部地区	山西	0.249	2.482		贵州	0.228	4.701
	浙江	0.457	3.354		安徽	0.329	4.190		云南	0.231	3.890
	福建	0.330	3.231		江西	0.281	3.703		陕西	0.341	4.776
	山东	0.435	3.597		河南	0.312	3.169		甘肃	0.220	3.580
	广东	0.551	3.898		湖北	0.374	4.165		青海	0.195	4.758
	海南	0.202	3.669		湖南	0.309	3.646		宁夏	0.203	4.802
东部地区	0.424	3.534	中部地区	0.309	3.615	新疆	0.237	4.970			
						西部地区	0.253	4.220			

东部各省份的年均增长率介于3.047%~3.956%之间, 增长幅度排前3的省份分别为江苏(3.956%)、广东(3.898%)和海南(3.669%), 说明这3个省份的创新生态主体系统与创新生态环境系统耦合协调发展的增速较快。东北地区各省份的年均增长率介于1.627%~3.163%之间, 处于全国低位水平。中部地区各省份的年均增长率介于2.482%~4.190%之间, 增幅排在前3位的省份分别为安徽(4.190%)、湖北(4.165%)和江西(3.703%), 这是因为与其他地区相比, 安徽省和湖北省相继在2013年和2016年成为“国家创新型省份”试点基地, 为省内创新型企业的发展提供了良好的契机, 而江西省整体发展水平较低, 导致增幅较快。西部地区的耦合协调度增长最快, 各省份的年均增长率介于2.979%~4.970%之间, 增幅超过4%的省份有7个, 依次为新疆(4.970%)、宁夏(4.802%)、陕西(4.776%)、青海(4.758%)、贵州(4.701%)、四川(4.525%)、重庆(4.130%)。这是因为在西部地区, 四川和陕西同样被选入“国家创新型省份”试点省份, 为创新生态主体的发展提供了良好的契机; 而其他省份的增速提升主要原因在于整体发展水平较低, 要素投入产生边际效应较大。

4.2 创新生态主体系统与创新生态环境系统耦合协调度的区域差异及其贡献来源

前文分析了各地区创新生态主体系统与创新生态环境系统的综合发展水平以及二者的耦合协调度的时空变化规律, 本研究进一步探讨各地区的区域差异及其贡献来源。

4.2.1 创新生态主体系统、创新生态环境系统及两者协调度的区域差异分析

图3给出2007年至2018年创新生态主体系统的

基尼系数 (G_{UIE})、创新生态环境系统的基尼系数 (G_{UEE}) 和二者的耦合协调度的基尼系数 (G_{UD}) 的变化趋势。①由 G_{UIE} 的变化趋势可知, 2007年至2018年整体波动较为平缓, 数值由2007年的0.375上升至2018年的0.392, 年均增长率为0.404%, 说明中国各省 G_{UIE} 的差异基本维持不变; 从年际变化看, G_{UIE} 在2012年至2015年一直处于观察期最低点, 数值介于0.364~0.368之间。②由 G_{UEE} 的变化趋势可知, 2007年至2018年整体波动呈现下降趋势, 基尼系数由2007年的0.346下降至2018年的0.332, 年均增长率为-0.375%, 说明中国各省 G_{UEE} 的差异基本维持不变; 从年际变化看, G_{UEE} 的波动呈现出升-降-升-降-升的演化规律。③由 G_{UD} 的变化趋势可知, 2007年至2018年 G_{UD} 的整体波动较为平缓, 基尼系数由2007年的0.181下降至2018年的0.178, 年均增长率为-0.152%, 说明中国各省 G_{UD} 的差异同样基本维持不变; 年际变化趋势同样显示出升-降-升的演化规律。综上可知, G_{UD} 的波动与 G_{UIE} 的演化规律基本一致, 说明 G_{UIE} 的波动是导致 G_{UD} 波动的主要原因, 换句话说, 在创新生态系统的演化过程中, 相对于创新生态环境系统的发展对创新生态系统的作用而言, 创新生态主体系统的空间差异才是导致区域生态主体与生态环境协调发展空间差异的主要原因。

4.2.2 创新生态主体系统、创新生态环境系统和二者耦合协调度的组内差异

表5给出2007年至2018年四大经济区的 G_{UIE} 、 G_{UEE} 和 G_{UD} , 4个地区的 G_{UIE} 、 G_{UEE} 和 G_{UD} 的波动趋势具有明显差异。具体而言, ①从 G_{UIE} 看, 在2007年至2018年, G_{UIE} 均值最高的地区为东部(0.313), 其次为西部(0.250), 最后分别为中部(0.180)和东北(0.159);

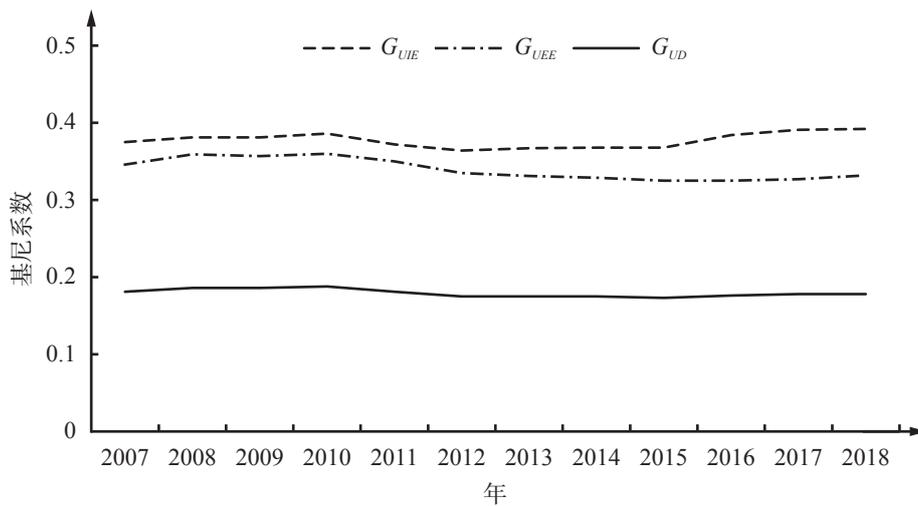


图3 创新生态主体系统、创新生态环境系统和耦合协调度的总体基尼系数的变化趋势
Figure 3 Change Trends in the Overall Gini Coefficients of IAS, IES, and Coupling Coordination Degree

表5 创新生态主体系统、创新生态环境系统、耦合协调度的组内差异
Table 5 Within-group Differences in IAS, IES and Coupling Coordinated Degree

	G_{UE}				G_{UEE}				G_{UD}			
	东部地区	东北地区	中部地区	西部地区	东部地区	东北地区	中部地区	西部地区	东部地区	东北地区	中部地区	西部地区
2007年	0.298	0.146	0.124	0.241	0.285	0.194	0.087	0.172	0.160	0.083	0.053	0.103
2018年	0.349	0.124	0.220	0.288	0.274	0.110	0.104	0.190	0.169	0.058	0.081	0.108
均值	0.313	0.159	0.180	0.250	0.266	0.138	0.099	0.184	0.160	0.072	0.069	0.104
年均增长率/%	1.447	-1.474	5.350	1.633	-0.357	-5.027	1.636	0.909	0.499	-3.206	3.931	0.432

从年际变化看,东部、中部和西部的 G_{UE} 的波动呈上升趋势,分别从2007年的0.298、0.124和0.241增长至2018年的0.349、0.220和0.288,年均增长率分别为1.447%、5.350%和1.633%,说明在观察期内,东部、中部和西部 U_{IE} 的差异在逐步扩大。东北地区 G_{UE} 的波动呈下降趋势,年均增长率为-1.474%,说明在观察期内,东北地区的 U_{IE} 差异在逐步缩小。②从 G_{UEE} 看,在2007年至2018年, G_{UEE} 均值最高的地区为东部(0.266),其次为西部(0.184),最后分别为东北(0.138)和中部(0.099);从年际变化看,东部和东北 G_{UEE} 的波动呈下降趋势,年均增长率分别为-0.357%、-5.027%;中部和西部 G_{UEE} 的波动呈上升趋势,年均增长率分别为1.636%和0.909%。说明从横向比较看,东部和东北的 U_{EE} 的组内差异在逐渐缩小,中部和西部的 U_{EE} 的组内差异在逐步扩大。③从 G_{UD} 看,2007年至2018年,东部 UD 的组内差异普遍高于其他地区,变化趋势并不明显,年均增长率仅为0.499%;东北和中部 UD 的组内差异最低,均值分别为0.072和0.069,年均增长率分别为-3.206%和3.931%,说明东北和中部各省之间 U_{IE} 和 U_{EE} 的协调等级差异较小。西部的

UD 组内差异的整体均值为0.104,波动较为平缓。

综上所述,① U_{IE} 、 U_{EE} 、 UD 三者的组内差异在空间结构上的表现存在一定的差异性, U_{IE} 的组内差异的空间结构表现为:东部地区 > 西部地区 > 中部地区 > 东北地区, U_{EE} 和 UD 的组内差异的空间结构均表现为:东部地区 > 西部地区 > 东北地区 > 中部地区;②就区域各指标的组内差异而言,创新生态主体系统的差异性 > 创新生态环境系统的差异性 > 耦合协调度的差异性;③从年际变化看, U_{IE} 和 UD 的组内差异的演化规律为东部、中部、西部呈现差异逐步扩大趋势,东北呈现差异逐步缩小趋势; U_{EE} 的组内差异的演化规律为中部和西部呈现差异逐步扩大趋势,东部和东北呈现差异逐步缩小趋势。产生上述现象的原因在于,创新生态主体系统的差异来源于原有地区产业结构的差异,而创新生态环境系统是后天培育的,随着改革开放的逐步深入,沿海东部地区的基础设施建设逐渐完善,导致各省份的创新生态环境也得到了改善;同时随着互联网的逐步发展,东部沿海地区的智能化程度也高于内陆地区,这进一步导致了东部沿海地区各省份创新生态环境差异

的缩小。

4.2.3 创新生态主体系统、创新生态环境系统和二者耦合协调度的组间差异

表6给出2007年至2018年四大经济区的 G_{UIE} 、 G_{UEE} 和 G_{UD} 组间差异的波动趋势,各地区之间的差异处于不同水平,呈现出不同的演变趋势。①从 G_{UIE} 看,东部与西部之间的 G_{UIE} 最大,均值为0.417,且从年际变化视角看, G_{UIE} 一直稳定在0.417~0.423之间,波动幅度很小,年均增长率仅为0.017%;东部与东北之间的 G_{UIE} 均值为0.342,波动呈现上升趋势,年均增长率为1.781%;东部与中部之间的 G_{UIE} 均值为0.339,波动幅度较小,年均增长率为0.933%;东北与中部之间的 G_{UIE} 最小,均值为0.186,波动呈现出逐步增长的趋势,从2007年的0.139增长至2018年的0.218,年均增长率为4.186%。②从 G_{UEE} 看,东部与西部之间的 G_{UEE} 最大,介于0.370~0.390,但从年际变化看, G_{UEE} 的变动也不明显,年均增长率为-0.498%;东部与东北之间的 G_{UEE} 均值为0.306,年均增长率为0.096%;东部与中部之间的 G_{UEE} 均值为0.302,年均增长率为-0.073%;东北与中部之间的 G_{UEE} 最小,均值为0.125,年均增长率为-1.617%。③从 G_{UD} 看,整体上,东部与西部之间的 G_{UD} 仍然是最大,均值为0.206,年均增长率为-0.416%;东部与东北之间的 G_{UD} 均值为0.173,年均增长率为0.901%;东部与中部之间的 G_{UD} 均值为0.166,年均增长率为0.460%;中部与西部之间的 G_{UD} 均值为0.111,年均增长率为0.314%;东北与西部之间的 G_{UD} 均值为0.109,年均增长率为-1.272%;东北与中部之间的 G_{UD} 均值为0.076,年均增长率为1.811%。

综上所述,①创新生态主体系统、创新生态环境系统和二者耦合协调度三者的组间差异在空间结构上的表现存在一定相似性,创新生态主体系统和耦合协调度组间差异的空间结构表现为:东部与西部组间差异>东部与东北组间差异>东部与中部组间差异>中部与西部组间差异>东北与西部组间差异>东北与中部组间差异,创新生态环境系统的组间差异的空间结构表现为:东部与西部组间差异>东部与东北组间差异>东部与中部组间差异>东北与西部组间差异>中部与西部组间差异>东北与中部组间差异。②就地区各指标的组间差异而言,创新生态主体系统的差异性>创新生态环境系统的差异性>耦合协调度的差异性。

4.2.4 U_{IE} 、 U_{EE} 、 U_D 的区域差异来源及分解

表7给出 U_{IE} 、 U_{EE} 、 U_D 的差异来源及贡献。①从 U_{IE} 看,在2007年至2018年,组间差异 G_{rb} 一直是导致各地区 U_{IE} 差异的主因,贡献率介于59.634%~69.816%;组内差异 G_w 和超变密度 G_t 的贡献率分别介于20.728%~24.380%和9.456%~15.986%,贡献占比不高;从年际变化看, G_{rb} 、 G_w 、 G_t 三者的波动幅度较小,年均增长率依次是-1.423%、1.486%、4.889%。②从 U_{EE} 看, G_{rb} 一直是导致各地区 U_{EE} 差异的主因,贡献率介于71.649%~75.123%; G_w 和 G_t 的贡献率分别介

于19.177%~20.918%和5.700%~7.539%,贡献占比不高;从年际变化看, G_{rb} 、 G_w 、 G_t 三者的波动幅度较小,年均增长率依次是-0.093%、0.377%、-0.129%。③从 U_D 看, G_{rb} 一直是导致各地区 U_D 差异的主因,贡献率介于63.397%~69.808%; G_w 和 G_t 的贡献率分别介于19.933%~22.226%和10.259%~14.377%,贡献占比不高;从年际变化看, G_{rb} 、 G_w 、 G_t 三者的波动幅度较小,年均增长率依次是-0.809%、0.871%、2.919%。

5 创新生态主体系统与创新生态环境系统的动态机制分析

前文分析了创新生态主体系统和创新生态环境系统的协调发展状态及地区差异的空间结构、特征和来源,从描述性统计视角研究了创新生态主体系统和创新生态环境系统的静态关系,但并不能解释二者之间的动态关系以及在不同地区的差异性。鉴于此,本研究采用面板向量自回归(panel vector autoregression, PVAR)模型检验创新生态主体系统与创新生态环境系统之间的动态机制。在进行PVAR模型分析前,需要对各变量进行平稳性检验、协整检验和格兰杰因果检验。

5.1 变量的平稳性检验、协整检验和格兰杰因果检验

平稳性检验结果表明,各变量存在二阶单整,因此,可以对一阶差分数据进行协整检验。协整检验结果表明, ΔU_{IE} 和 ΔU_{EE} 之间存在长期均衡关系,因此,可以对一阶差分数据进行建模分析。格兰杰因果检验结果表明,在东部地区,拒绝了 U_{EE} 增长的变动不是引起 U_{IE} 增长变动的原因为,也拒绝了 U_{IE} 增长的变动不是引起 U_{EE} 增长变动的原因为,说明东部地区 U_{IE} 的增长变动与 U_{EE} 的增长变动互为因果,两者相互促进协调发展。其他各地区均接受了 U_{EE} 增长的变动不是引起 U_{IE} 增长变动的原因为,但拒绝了 U_{IE} 增长的变动不是引起 U_{EE} 增长变动的原因为,说明除东部地区以外,其他地区的 U_{EE} 与 U_{IE} 之间的互动关系并不存在,仅表现出 U_{IE} 促进 U_{EE} 的增长,而 U_{EE} 对 U_{IE} 增长变动的的影响并不显著,这也进一步证实了为何除东部地区外,其他各地区的 U_{IE} 与 U_{EE} 耦合协调度均处于失调状态。

5.2 创新生态主体系统与创新生态环境系统的PVAR模型估计

本研究分样本对创新生态主体系统和创新生态环境系统进行PVAR模型系统OLS估计,检验结果见表8。从东部地区样本看,当 ΔU_{IE} 作为被解释变量时,滞后1期的 ΔU_{IE} 估计系数显著为正,说明 U_{IE} 存在不断自我增强的机制;滞后1期的 ΔU_{EE} 估计系数也显著为正,说明 U_{EE} 的增长变动会促进 U_{IE} 的增长变动。当 ΔU_{EE} 作为被解释变量时,滞后1期的 ΔU_{EE} 估计系数显著为正,说明 U_{EE} 存在不断自我增强的机制;滞后1期的 ΔU_{IE} 估计系数也显著为正,说明 U_{IE} 的增长变动会促进 U_{EE} 的增长变动。从其他地区的样本看,当 ΔU_{IE} 作为被解释变量时,滞后1期的 ΔU_{IE}

表 6 创新生态主体系统、创新生态环境系统、耦合协调度的组间差异
Table 6 Differences between Groups in IAS, IES, and Coupling Coordination Degree

	G_{UIE}												G_{UID}					
	1→2	1→3	1→4	2→3	2→4	3→4	1→2	1→3	1→4	2→3	2→4	3→4	1→3	1→4	2→3	2→4	3→4	
2007年	0.320	0.330	0.422	0.139	0.261	0.239	0.314	0.304	0.390	0.146	0.209	0.188	0.169	0.163	0.211	0.069	0.117	0.109
2018年	0.389	0.366	0.423	0.218	0.267	0.284	0.317	0.301	0.370	0.122	0.181	0.188	0.187	0.171	0.202	0.084	0.102	0.113
均值	0.342	0.339	0.417	0.186	0.256	0.258	0.306	0.302	0.379	0.125	0.193	0.186	0.173	0.166	0.206	0.076	0.109	0.111
年均增长率/%	1.781	0.933	0.017	4.186	0.205	1.578	0.096	-0.073	-0.498	-1.617	-1.306	0.005	0.901	0.460	-0.416	1.811	-1.272	0.314

注: 1为东北地区, 2为中部地区, 3为西部地区, 4为东部地区, 1→2对应的数据表示东部地区与东北地区的组间差异, 以此类推。

表 7 创新生态主体系统、创新生态环境系统、耦合协调度的区域差异来源及分解
Table 7 Source and Decomposition of Regional Differences in IAS, IES, and Coupling Coordination Degree

	U_{IE} 的差异来源和分解												U_{ID} 的差异来源和分解											
	贡献值						贡献率(%)						贡献值						贡献率(%)					
	G_w	G_{rb}	G_t	G_w	G_{rb}	G_t	G_w	G_{rb}	G_t	G_w	G_{rb}	G_t	G_w	G_{rb}	G_t	G_w	G_{rb}	G_t	G_w	G_{rb}	G_t			
2007年	0.078	0.262	0.035	20.728	69.816	9.456	0.069	0.250	0.026	20.070	72.390	7.539	0.037	0.126	0.019	20.203	69.321	10.476						
2008年	0.080	0.262	0.039	20.957	68.686	10.357	0.069	0.269	0.020	19.177	75.123	5.700	0.037	0.130	0.019	19.933	69.808	10.259						
2009年	0.080	0.258	0.042	21.032	67.813	11.155	0.070	0.266	0.021	19.571	74.634	5.795	0.038	0.129	0.020	20.178	69.132	10.690						
2010年	0.082	0.260	0.044	21.342	67.245	11.413	0.071	0.268	0.021	19.780	74.486	5.734	0.038	0.129	0.020	20.353	69.014	10.633						
2011年	0.081	0.245	0.046	21.661	65.937	12.402	0.069	0.260	0.021	19.707	74.407	5.886	0.037	0.124	0.020	20.460	68.398	11.142						
2012年	0.081	0.236	0.047	22.147	64.897	12.956	0.066	0.247	0.022	19.668	73.670	6.663	0.036	0.118	0.021	20.725	67.287	11.988						
2013年	0.082	0.238	0.047	22.344	64.756	12.901	0.066	0.242	0.024	19.821	73.005	7.173	0.036	0.117	0.021	20.824	66.897	12.279						
2014年	0.082	0.236	0.050	22.293	64.148	13.559	0.065	0.240	0.024	19.681	73.036	7.283	0.036	0.117	0.022	20.642	66.716	12.642						
2015年	0.084	0.231	0.054	22.672	62.784	14.543	0.065	0.237	0.024	19.868	72.788	7.345	0.036	0.113	0.024	21.030	65.180	13.790						
2016年	0.087	0.247	0.050	22.579	64.394	13.027	0.065	0.237	0.023	20.093	72.794	7.114	0.037	0.117	0.022	21.011	66.340	12.649						
2017年	0.090	0.247	0.054	23.074	63.204	13.721	0.067	0.237	0.024	20.399	72.356	7.245	0.038	0.116	0.023	21.351	65.464	13.185						
2018年	0.096	0.234	0.063	24.380	59.634	15.986	0.070	0.238	0.025	20.918	71.649	7.433	0.040	0.113	0.026	22.226	63.397	14.377						
均值	0.084	0.246	0.048	22.101	65.276	12.623	0.068	0.249	0.023	19.896	73.362	6.743	0.037	0.121	0.021	20.745	67.246	12.009						
年均增长率/%	1.906	-1.022	5.489	1.486	-1.423	4.889	0.131	-0.446	-0.356	0.377	-0.093	-0.129	0.711	-0.985	2.892	0.871	-0.809	2.919						

表8 PVAR模型的OLS估计结果
Table 8 OLS Estimation Results of PVAR Model

地区	ΔU_{IE} 方程		ΔU_{EE} 方程		地区	ΔU_{IE} 方程		ΔU_{EE} 方程	
	变量	系数	变量	系数		变量	系数	变量	系数
东部地区	$\Delta U_{IE}(-1)$	0.487*** (0.106)	$\Delta U_{IE}(-1)$	0.342*** (0.077)	中部地区	$\Delta U_{IE}(-1)$	0.221 (0.140)	$\Delta U_{IE}(-1)$	0.134*** (0.042)
	$\Delta U_{EE}(-1)$	0.195** (0.095)	$\Delta U_{EE}(-1)$	0.169** (0.069)		$\Delta U_{EE}(-1)$	0.072 (0.137)	$\Delta U_{EE}(-1)$	0.103** (0.041)
东北地区	$\Delta U_{IE}(-1)$	0.238 (0.187)	$\Delta U_{IE}(-1)$	0.158** (0.063)	西部地区	$\Delta U_{IE}(-1)$	0.094 (0.184)	$\Delta U_{IE}(-1)$	0.151*** (0.049)
	$\Delta U_{EE}(-1)$	-0.059 (0.203)	$\Delta U_{EE}(-1)$	0.039* (0.068)		$\Delta U_{EE}(-1)$	0.159 (0.189)	$\Delta U_{EE}(-1)$	0.153*** (0.050)

注: 括号内数据为标准误差; ***为在1%水平上显著, **为在5%水平上显著, *为在10%水平上显著; Δ 为一阶差分; 变量列中的(-1)为滞后1期。

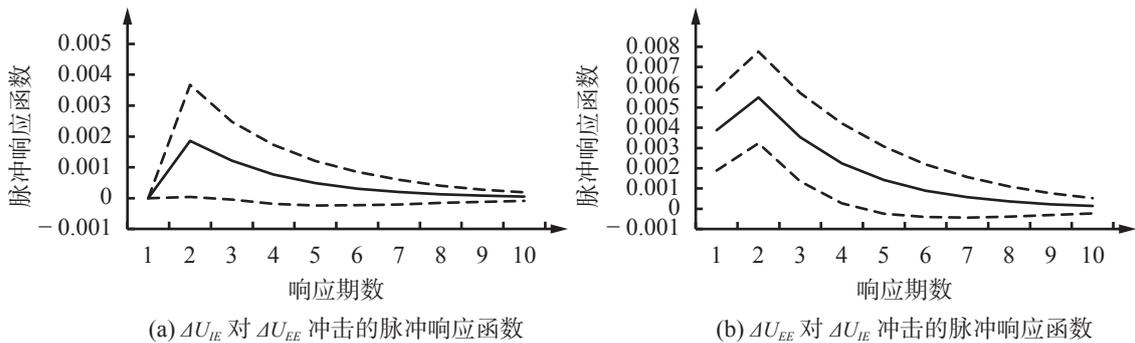


图4 东部地区创新生态主体系统与创新生态环境系统的脉冲响应结果
Figure 4 Results of Impulse Response of IAS and IES in the Eastern Region

和 ΔU_{EE} 的估计系数均不显著, 说明在经济欠发达地区, 创新生态主体系统的增长对创新生态环境系统的影响并不明显, 且创新生态环境系统的自我增强机制较弱。当 ΔU_{EE} 作为被解释变量时, 滞后1期的 ΔU_{EE} 和 ΔU_{IE} 估计系数均显著为正, 说明在经济欠发达地区, 创新生态主体的发展一方面来自于不断自我增强的机制, 另一方面也依托于创新生态环境的改善。

5.3 创新生态主体系统和创新生态环境系统的脉冲响应和方差分解

5.3.1 创新生态主体系统和创新生态环境系统的脉冲响应

脉冲响应和方差分解是在PVAR模型回归的基础上进一步挖掘被解释变量与解释变量之间的动态关系。其中, 脉冲响应可以帮助了解被解释变量应对解释变量在受到随机扰动项单位冲击时的反应速度和强度; 方差分解可以帮助了解被解释变量或解释变量的波动, 多少是由自身或系统中其他扰动因素造成的。图4给出东部地区创新生态主体系统与

创新生态环境系统的脉冲响应结果, 横坐标为冲击作用的响应期数, 设定为10期, 由于PVAR模型的最优阶数是1阶, 且原始数据不平稳, 在模型回归中本研究使用差分一期的数据, 所以回归样本仅为10期。纵坐标为被解释变量的脉冲响应程度, 中间的实线代表脉冲响应函数, 上下的虚线分别代表95%和5%分位点的估计值。

由图4(a)可知, 在第1期内给 ΔU_{EE} 一个正向冲击, ΔU_{IE} 产生正向效应, 并呈上升趋势, 在第2期达到峰值, 之后开始下降, 到第6期影响效应逐渐趋近于0; 说明短期内 ΔU_{EE} 对 ΔU_{IE} 产生持续、稳定、正向的影响。同样, 图4(b)表明, 在第1期内给 ΔU_{IE} 一个正向冲击, ΔU_{EE} 产生正向效应, 并呈上升趋势, 在第2期达到峰值, 之后持续下降, 到第10期正向效应减为0, 说明 ΔU_{IE} 对 ΔU_{EE} 的影响比 ΔU_{EE} 对 ΔU_{IE} 的影响更大, 且持续时间要长。

与东部地区脉冲响应不同的是, 东北、中部、西部3个地区 ΔU_{EE} 对 ΔU_{IE} 的脉冲响应结果基本相同, 均表现为在滞后1期内给 ΔU_{EE} 一个正向冲击, ΔU_{IE}

的变化基本为0,说明这3个地区 ΔU_{EE} 对 ΔU_{IE} 的影响并不显著。同样,3个地区 ΔU_{IE} 对 ΔU_{EE} 的脉冲响应结果也基本相同,表现为在滞后1期内给 ΔU_{IE} 一个正向冲击, ΔU_{EE} 会立即产生正向效应,但正向效应的变化趋势在不同样本中存在一定差异。具体地,在东北地区,在滞后1期内给 ΔU_{IE} 一个正向冲击, ΔU_{EE} 会立即产生一个持续减弱的正向效应,到第6期影响效应减为0;在中部地区和西部地区,在滞后1期内给 ΔU_{IE} 一个正向冲击, ΔU_{EE} 会先产生一个持续上升的正向效应,第2期达到波峰,之后开始下降,到第6期影响效应减为0。以上结果说明 ΔU_{IE} 对 ΔU_{EE} 会产生显著正向的影响。

生显著正向的影响。

综上可知,①仅有东部地区的 U_{EE} 与 U_{IE} 形成了良好的互动关系,其他地区均表现出单向作用,即 U_{IE} 可以有效促进 U_{EE} 的改善,但 U_{EE} 对 U_{IE} 的作用并不明显。② U_{IE} 对 U_{EE} 促进作用的持续性具有明显的地区特征,在东部地区, U_{IE} 对 U_{EE} 正向影响具有较长的持续性,而在其他各地区则表现出短期促进效果。

5.3.2 创新生态主体系统和创新生态环境系统的方差分解

表9给出四大经济区的 ΔU_{IE} 和 ΔU_{EE} 的方差分解

表9 各地区创新生态主体系统和创新生态环境系统的方差分解
Table 9 Variance Decomposition of IAS and IES in Each Region

期	东部地区						东北地区					
	创新生态主体系统			创新生态环境系统			创新生态主体系统			创新生态环境系统		
	标准误	ΔU_{IE}	ΔU_{EE}									
1	0.014	100	0	0.010	14.240	85.760	0.009	100	0	0.003	29.724	70.276
2	0.016	98.689	1.311	0.012	32.736	67.264	0.009	99.974	0.026	0.003	43.429	56.571
3	0.017	98.285	1.715	0.012	38.141	61.859	0.009	99.972	0.028	0.003	44.141	55.859
4	0.017	98.142	1.858	0.013	40.044	59.956	0.009	99.972	0.028	0.003	44.170	55.830
5	0.017	98.088	1.912	0.013	40.767	59.233	0.009	99.972	0.028	0.003	44.171	55.829
6	0.017	98.066	1.934	0.013	41.050	58.950	0.009	99.972	0.028	0.003	44.171	55.829
7	0.017	98.058	1.942	0.013	41.163	58.837	0.009	99.972	0.028	0.003	44.171	55.829
8	0.017	98.055	1.945	0.013	41.207	58.793	0.009	99.972	0.028	0.003	44.171	55.829
9	0.017	98.053	1.947	0.013	41.225	58.775	0.009	99.972	0.028	0.003	44.171	55.829
10	0.017	98.053	1.947	0.013	41.232	58.768	0.009	99.972	0.028	0.003	44.171	55.829
期	中部地区						西部地区					
	创新生态主体系统			创新生态环境系统			创新生态主体系统			创新生态环境系统		
	标准误	ΔU_{IE}	ΔU_{EE}									
1	0.009	100	0	0.003	7.334	92.666	0.012	100	0	0.003	7.169	92.831
2	0.009	99.959	0.041	0.003	24.004	75.996	0.012	99.839	0.161	0.004	31.847	68.153
3	0.009	99.955	0.045	0.003	25.343	74.657	0.012	99.829	0.171	0.004	32.921	67.079
4	0.009	99.954	0.046	0.003	25.447	74.553	0.012	99.828	0.172	0.004	33.006	66.994
5	0.009	99.954	0.046	0.003	25.456	74.544	0.012	99.828	0.172	0.004	33.013	66.987
6	0.009	99.954	0.046	0.003	25.456	74.544	0.012	99.828	0.172	0.004	33.013	66.987
7	0.009	99.954	0.046	0.003	25.456	74.544	0.012	99.828	0.172	0.004	33.013	66.987
8	0.009	99.954	0.046	0.003	25.456	74.544	0.012	99.828	0.172	0.004	33.013	66.987
9	0.009	99.954	0.046	0.003	25.456	74.544	0.012	99.828	0.172	0.004	33.013	66.987
10	0.009	99.954	0.046	0.003	25.456	74.544	0.012	99.828	0.172	0.004	33.013	66.987

结果。在东部地区创新生态主体系统的方差分解中, ΔU_{IE} 第1期受自身波动冲击100%的影响, ΔU_{EE} 对 ΔU_{IE} 的冲击在第2期才开始显现, 但冲击效果较小, 只有1.311%, 随着时间的增长, 冲击效果逐渐增强, 但仍然维持在较低水平1.947%, 说明 ΔU_{EE} 对 ΔU_{IE} 的影响持续、长期、较弱等特点。在创新生态环境系统的方差分解中, ΔU_{IE} 对 ΔU_{EE} 的冲击在第1期就得到显现, 作用强度为14.240%, 随后冲击强度有所增强, 最后达到41.232%。在其他地区创新生态主体系统的方差分解中, ΔU_{IE} 同样第1期受到自身波动冲击100%的影响, ΔU_{EE} 对 ΔU_{IE} 的冲击从第2期开始, 冲击强度极小, 东北地区、中部地区和西部地区的冲击强度分别介于0.026%~0.028%、0.041%~0.046%和0.161%~0.172%, 说明在这些地区内 ΔU_{EE} 对 ΔU_{IE} 的影响不显著。然而, 在创新生态环境系统的方差分解中, ΔU_{IE} 对 ΔU_{EE} 的冲击在第1期就得到显现, 作用强度具有较大的区域异质性, 但冲击强度也逐渐增强, 东北地区的冲击介于29.724%~44.171%, 中部地区的冲击介于7.334%~25.456%, 西部地区的冲击介于7.169%~33.013%, 说明东北地区 ΔU_{IE} 对 ΔU_{EE} 的影响最大, 其次是西部地区, 影响最小的是中部地区。

综上可知, ①各地区 U_{IE} 的演化是起源于自身的发展, 但 U_{EE} 的发展一部分来自于 U_{IE} 的贡献, 另一部分则来源于其他因素的贡献。②在东部地区和东北地区, U_{IE} 对 U_{EE} 的冲击强度很大, 贡献率均超过了40%, 而中部地区和西部地区 U_{IE} 对 U_{EE} 的冲击强度相对较弱, 贡献率低于35%。③在不同地区的样本中, U_{EE} 对 U_{IE} 的冲击强度均较弱, 东部地区稳定在1.947%, 其他区域均低于1%。

6 结论

6.1 研究结果

本研究探讨中国创新生态系统内部耦合的区域差异分解及动态机制, 选取2007年至2018年为样本期间, 采用综合指标评价、耦合协调模型、Dagum基尼系数和PVAR模型进行实证分析。研究结果如下:

(1)2007年至2018年中国创新生态主体系统和创新生态环境系统整体发展水平较低, 创新生态主体系统和创新生态环境系统发展较好的地区均处于东部沿海城市, 创新生态主体系统的发展速度要优于创新生态环境系统的发展速度。此外, 除海南省以外, 东部地区其他省份创新生态主体系统与创新生态环境系统的耦合协调水平普遍高于东北地区、中部地区和西部地区的其他省份; 经济发达地区的耦合协调等级介于濒临失调衰退阶段与勉强协调发展阶段之间, 欠发达地区的耦合协调等级则处于严重失调衰退阶段与轻度失调衰退阶段之间。

(2)在地区差异方面, 创新生态主体系统、创新生态环境系统和二者耦合协调度的基尼系数波动的幅度较小, 创新生态主体系统的基尼系数最高, 其次是创新生态环境系统和耦合协调度。就地区各指标的组内差异和组间差异而言, 创新生态主体系统的差

异性 > 创新生态环境系统的差异性 > 耦合协调度的差异性; 组内差异在空间结构上呈现出东部和西部普遍高于中部和东北的U形结构。无论是基尼系数, 还是组内差异和组间差异, 创新生态主体系统的变动都是导致耦合协调度变动的主要原因。在贡献率的表现上, 组间差异是导致创新生态主体系统、创新生态环境系统、耦合协调度存在差异的主要原因, 该结果适用于本研究的所有样本及观察期间。

(3)在创新生态系统的内部结构分析中, 只有东部地区的创新生态主体系统与创新生态环境系统形成了良好的互动关系, 其余地区均表现为创新生态主体系统促进创新生态环境系统的单向作用关系。此外, 仅有东部地区的创新生态主体系统和创新生态环境系统都具有一定的自我增强机制, 其余地区的创新生态环境系统存在一定的自我增强机制但强度较低。在创新生态主体系统与创新生态环境系统的互动中, 创新生态主体系统对创新生态环境系统促进作用的持续性具有明显的地区特征, 在东部地区, 创新生态主体系统对创新生态环境系统的正向影响具有较长的持续性, 而在其他各地区则表现出短期促进效果。从长期看, 在东部地区和东北地区, 创新生态主体系统对创新生态环境系统的冲击强度很大, 贡献率均超过40%, 而中部地区和西部地区, 创新生态主体系统对创新生态环境系统的冲击强度相对较小, 贡献率低于35%。在不同地区的样本中, 创新生态环境系统对创新生态主体系统的冲击强度均较小, 东部地区稳定在1.947%, 其他地区均低于1%。

6.2 理论贡献

(1)以社会生态系统为逻辑起点, 融合自然生态系统与社会生态系统的运行特点, 演化类比构建出创新生态系统的指标评价体系, 并从耦合的视角研究创新生态系统内部结构的耦合协调状况。本研究证实了从耦合的视角研究创新生态系统内部结构的发展状况有助于厘清创新生态系统的演化过程, 使创新生态系统的研究更加全面。从耦合协调视角切入展开研究, 一方面, 能够为创新生态系统研究提供新的视角, 并丰富创新生态系统研究体系; 另一方面, 有助于打开创新生态系统内部结构作用机制的“黑箱”, 并深化对创新生态系统内部结构间的耦合协调机制的认识, 为未来创新生态系统内部结构的研究奠定理论基础。

(2)揭示了创新生态系统耦合协调度的区域差异来源和创新生态系统内部结构的动态机制。在已有评价创新生态系统区域差异的研究中, 常采用传统基尼系数和泰尔指数等方法, 但考虑到传统基尼系数法的精度不高, 泰尔指数大小又受对数底和数据分布的影响, 本研究采用Dagum基尼系数分解法克服上述缺陷。而在其他评价区域创新生态系统的研究中, 并未涉及创新生态系统内部结构的动态机制分析, 本研究通过构建PVAR模型研究创新生态系统内部结构的动态机制, 弥补已有研究的不足。一方

面,本研究采用新的方法提高了评价结果的精度;另一方面,本研究不仅扩展了已有创新生态系统区域差异研究的成果,也丰富和完善了有关创新生态系统研究的相关理论。

6.3 实践启示

(1) 重视区域创新主体多元化发展,持续优化创新生态环境,增强创新生态环境对创新生态主体的支撑能力

本研究结果表明,除东部地区外,中部地区、东北地区和西部地区创新生态环境系统对创新生态主体系统的支撑作用并未得到体现。原因在于这些地区的产业结构单一,创新资源匮乏,创新资源配置水平较低^[53],产学研用一体化程度不高,科技成果转化率低^[54];产业整体水平不高,缺少大型的创新型领军企业和富有活力的伴生型、服务型中小微企业^[55];创新型企业群落和创新文化尚未形成,创新氛围也不浓厚。对此,这些地区在重视创新主体多元化发展的同时,需完善各地市场环境、制度环境、要素环境、信用环境、文化环境和服务环境等创新生态环境系统内部要素的建设,增强区域创新生态环境系统综合发展水平,形成创新生态主体系统与创新生态环境系统协调发展、相互促进的动态平衡系统。

(2) 重视创新生态系统区域协调发展,缩小各地区创新生态系统空间发展的区间差异

本研究结果表明,组间差异是导致创新生态主体系统、创新生态环境系统和耦合协调度差异的主要原因。对此需重视创新生态系统区域协调发展,缩小各地区创新生态系统空间发展的区间差异。一方面,需重视区域协调发展战略,充分发挥国家创新型试点省份的比较优势,推动区域周边省份地区在广度和深度两方面实现资源优化配置。另一方面,需重视区域一体化平台建设,建设产业集群,推动跨区域间的产业联动,实现省域创新生态主体的互动性发展。

6.4 研究不足

虽然本研究以社会生态系统为逻辑起点,将自然生态系统与社会生态系统的运行特点融合演化类推出了新的创新生态系统概念,并据此定义重新构建创新生态系统的指标评价体系,但研究区域为省际层面,使研究结果过于宏观。因此,未来研究可以考虑以城市层面为基础,研究城市群的创新生态系统内部耦合机制,以推动创新生态系统相关理论的发展。

参考文献:

- [1] DE VASCONCELOS GOMES L A, FACIN A L F, SALERNO M S, et al. Unpacking the innovation ecosystem construct: evolution, gaps and trends. *Technological Forecasting and Social Change*, 2018, 136: 30–48.
- [2] 李佳颖. 基于密切值法的我国区域创新生态系统健康性评价. *工业技术经济*, 2019, 38(11): 94–100.
- [3] LI Jiaying. Health evaluation of regional innovation ecosystem in China based on osculating value method. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2019, 38(11): 94–100.
- [3] SHAW D R, ALLEN T. Studying innovation ecosystems using ecology theory. *Technological Forecasting and Social Change*, 2018, 136: 88–102.
- [4] JUCEVIČIUS G, GRUMADAITĖ K. Smart development of innovation ecosystem. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2014, 156: 125–129.
- [5] 马道明, 李海强. 社会生态系统与自然生态系统的相似性与差异性探析. *东岳论丛*, 2011, 32(11): 131–134.
- [5] MA Daoming, LI Haiqiang. Analysis on the similarity and difference between social ecosystem and natural ecosystem. *Dongyue Tribune*, 2011, 32(11): 131–134.
- [6] 陈劲, 尹西明. 建设新型国家创新生态系统加速国企创新发展. *科学学与科学技术管理*, 2018, 39(11): 19–30.
- [6] CHEN Jin, YIN Ximing. Building a new national innovation ecosystem to accelerate the innovation and development of state-owned enterprises. *Science of Science and Management of S.&T.*, 2018, 39(11): 19–30.
- [7] 王展昭, 唐朝阳. 区域创新生态系统耗散结构研究. *科学学研究*, 2021, 39(1): 170–179.
- [7] WANG Zhanzhao, TANG Zhaoyang. Study on dissipative structure of regional innovation ecosystem. *Studies in Science of Science*, 2021, 39(1): 170–179.
- [8] 谭劲松, 宋娟, 陈晓红. 产业创新生态系统的形成与演进: “架构者”变迁及其战略行为演变. *管理世界*, 2021, 37(9): 167–191.
- [8] TAN Justin, SONG Juan, CHEN Xiaohong. The formation and evolution of industrial innovation ecosystem: “Architect” transition and the evolution of its strategic behavior. *Journal of Management World*, 2021, 37(9): 167–191.
- [9] 郑帅, 王海军. 模块化下企业创新生态系统结构与演化机制: 海尔集团2005-2019年的纵向案例研究. *科研管理*, 2021, 42(1): 33–46.
- [9] ZHENG Shuai, WANG Haijun. Structure and evolution mechanism of the enterprise innovation ecosystem in terms of modularity: a longitudinal case study on Haier group from 2005-2019. *Science Research Management*, 2021, 42(1): 33–46.
- [10] 金治州, 陈宏权, 曾赛星. 重大工程创新生态系统共生逻辑及治理. *管理科学学报*, 2022, 25(5): 29–45.
- [10] JIN Zhizhou, CHEN Hongquan, ZENG Saixing. Logic of symbiosis in the megaproject innovation ecosystem and relevant governance. *Journal of Management Sciences in China*, 2022, 25(5): 29–45.
- [11] 李晓娜, 张小燕. 我国区域创新生态系统共生及其进化研究: 基于共生度模型、融合速度特征进化动量模型的实证分析. *科学学与科学技术管理*, 2019, 40(4): 48–64.
- [11] LI Xiaodi, ZHANG Xiaoyan. Research on regional innovation ecosystem symbiosis and its evolution in China: an empirical analysis based on the symbiotic degree model and evolution momentum model which fuses speed characteristic. *Science of Science and Management of S.&T.*, 2019, 40(4): 48–64.
- [12] 欧忠辉, 朱祖平, 夏敏, 等. 创新生态系统共生演化模型及仿真研究. *科研管理*, 2017, 38(12): 49–57.
- [12] OU Zhonghui, ZHU Zuping, XIA Min, et al. The symbiotic evolution model of the innovation ecosystem and its simulation analysis.

- Science Research Management*, 2017, 38(12): 49–57.
- [13] FENG N P, FU C, WEI F F, et al. The key role of dynamic capabilities in the evolutionary process for a startup to develop into an innovation ecosystem leader: an indepth case study. *Journal of Engineering and Technology Management*, 2019, 54: 81–96.
- [14] CARNABUCI G. The ecology of technological progress: how symbiosis and competition affect the growth of technology domains. *Social Forces*, 2010, 88(5): 2163–2188.
- [15] LI X B. China's regional innovation capacity in transition: an empirical approach. *Research Policy*, 2009, 38(2): 338–357.
- [16] SHENG S B, ZHOU K Z, LESSASSY L. NP speed vs. innovativeness: the contingent impact of institutional and market environments. *Journal of Business Research*, 2013, 66(11): 2355–2362.
- [17] EGE A, EGE A Y. How to create a friendly environment for innovation? A case for Europe. *Social Indicators Research*, 2019, 144(1): 451–473.
- [18] 葛鹏飞, 韩永楠, 武宵旭. 中国创新与经济耦合协调性测度与评价. *数量经济技术经济研究*, 2020, 37(10): 101–117.
GE Pengfei, HAN Yongnan, WU Xiaoxu. Measurement and evaluation of the coupling coordination between innovation and economic development in China. *Journal of Quantitative & Technological Economics*, 2020, 37(10): 101–117.
- [19] 逯进, 周惠民. 中国省域人力资本与经济增长耦合关系的实证分析. *数量经济技术经济研究*, 2013, 30(9): 3–19, 36.
LU Jin, ZHOU Huimin. Empirical analysis of coupling relationship between human capital and economic growth in Chinese provinces. *Journal of Quantitative & Technological Economics*, 2013, 30(9): 3–19, 36.
- [20] ADOMAVICIUS G, BOCKSTEDT J C, GUPTA A, et al. Technology roles and paths of influence in an ecosystem model of technology evolution. *Information Technology and Management*, 2007, 8(2): 185–202.
- [21] SERRANO V, FISCHER T. Collaborative innovation in ubiquitous systems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2007, 18(5): 599–615.
- [22] 肖振红, 范君荻. 区域R&D投入、产学研耦合协调度与科技绩效. *系统管理学报*, 2020, 29(5): 847–856.
XIAO Zhenhong, FAN Jundi. Regional R&D investment, industry-university-research coupling coordination and scientific and technological performance. *Journal of Systems & Management*, 2020, 29(5): 847–856.
- [23] ADNER R, KAPOOR R. Value creation in innovation ecosystems: how the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations. *Strategic Management Journal*, 2010, 31(3): 306–333.
- [24] 张利飞. 创新生态系统技术种群非对称耦合机制研究. *科学学研究*, 2015, 33(7): 1100–1108.
ZHANG Lifei. The asymmetric coupling mechanisms of technology populations of innovation ecosystem. *Studies in Science of Science*, 2015, 33(7): 1100–1108.
- [25] ORTON J D, WEICK K E. Loosely coupled systems: a reconceptualization. *Academy of Management Review*, 1990, 15(2): 203–223.
- [26] BRUSONI S, PRENCIPE A. The organization of innovation in ecosystems: problem framing, problem solving, and patterns of coupling. *Advances in Strategic Management*, 2013, 30: 167–194.
- [27] YAYAVARAM S, SRIVASTAVA M K, SARKAR M B. Role of search for domain knowledge and architectural knowledge in alliance partner selection. *Strategic Management Journal*, 2018, 39(8): 2277–2302.
- [28] 谭劲松, 宋娟, 王可欣, 等. 创新生态系统视角下核心企业突破关键核心技术“卡脖子”: 以中国高速列车牵引系统为例. *南开管理评论*, 2022(网络首发).
TAN Justin, SONG Juan, WANG Kexin, et al. Breakthrough of key core technology “neck-jamming” by focal firm from innovation ecosystem perspective: a case study of Chinese high-speed train traction system. *Nankai Business Review*, 2022(Online).
- [29] COOKE P. Regional innovation systems: competitive regulation in the new Europe. *Geoforum*, 1992, 23(3): 365–382.
- [30] XU G N, WU Y C, MINSHALL T, et al. Exploring innovation ecosystems across science, technology, and business: a case of 3D printing in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 2018, 136: 208–221.
- [31] PICKETT S T A, CADENASSO M L. The ecosystem as a multidimensional concept: meaning, model, and metaphor. *Ecosystems*, 2002, 5(1): 1–10.
- [32] GLASER M, DIELE K. Asymmetric outcomes: assessing central aspects of the biological, economic and social sustainability of a mangrove crab fishery, *Ucides cordatus* (Ocypodidae), in North Brazil. *Ecological Economics*, 2004, 49(3): 361–373.
- [33] REDMAN C L, GROVE J M, KUBY L H. Integrating social science into the long-term ecological research (LTER) network: social dimensions of ecological change and ecological dimensions of social change. *Ecosystems*, 2004, 7(2): 161–171.
- [34] RAKAS M, HAIN D S. The state of innovation system research: what happens beneath the surface?. *Research Policy*, 2019, 48(9): 103787–1–103787–26.
- [35] YAQUB M Z, SREČKOVIĆ M, CLIQUET G, et al. Network innovation versus innovation through networks. *Industrial Marketing Management*, 2020, 90: 79–89.
- [36] ARGYRES N, RIOS L A, SILVERMAN B S. Organizational change and the dynamics of innovation: formal R&D structure and intrafirm inventor networks. *Strategic Management Journal*, 2020, 41(11): 2015–2049.
- [37] 曾国屏, 苟尤判, 刘磊. 从“创新系统”到“创新生态系统”. *科学学研究*, 2013, 31(1): 4–12.
ZENG Guoping, GOU Youzhao, LIU Lei. From innovation system to innovation ecosystem. *Studies in Science of Science*, 2013, 31(1): 4–12.
- [38] 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. *工业技术经济*, 2017, 36(10): 12–21.
ZHANG Gui, LYU Changqing. Research on regional innovation ecosystem and innovation efficiency based on niche adaptability. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2017, 36(10): 12–21.
- [39] 马志强, 吴昊. 高新技术企业自主创新社会服务环境评价体系研究. *企业经济*, 2012, 31(2): 45–48.
MA Zhiqiang, WU Hao. Research on the evaluation system of the social service environment for the independent innovation of high-tech enterprises. *Enterprise Economy*, 2012, 31(2): 45–48.
- [40] WU J, MA Z Z, LIU Z Y, et al. A contingent view of institutional environment, firm capability, and innovation performance of emer-

- ging multinational enterprises. *Industrial Marketing Management*, 2019, 82: 148–157.
- [41] KASHAN A J, WIEWIORA A, MOHANNAK K. Unpacking organisational culture for innovation in Australian mining industry. *Resources Policy*, 2021, 73: 102149-1–102149-13.
- [42] 雷雨嫣, 刘启雷, 陈关聚. 网络视角下创新生态位与系统稳定性关系研究. *科学学研究*, 2019, 37(3): 535–544.
LEI Yuyan, LIU Qilei, CHEN Guanju. A study on the relationship between system stability and innovation niche in network perspective. *Studies in Science of Science*, 2019, 37(3): 535–544.
- [43] 潘雄锋, 马运来. 城市创新生态评价研究. *大连理工大学学报(社会科学版)*, 2011, 32(2): 7–11.
PAN Xiongfeng, MA Yunlai. Research on the evaluation of urban innovation ecosystem. *Journal of Dalian University of Technology (Social Sciences)*, 2011, 32(2): 7–11.
- [44] 蒯雷, 吴家喜, 王萍. 科技中介服务链与创新链的共生耦合: 理论内涵与政策启示. *技术经济*, 2014, 33(6): 7–12, 25.
LIN Lei, WU Jiaxi, WANG Ping. Symbiosis and coupling between S&T intermediary service chain and innovation chain: theory building and policy implication. *Journal of Technology Economics*, 2014, 33(6): 7–12, 25.
- [45] 唐晓华, 张欣珏, 李阳. 中国制造业与生产性服务业动态协调发展实证研究. *经济研究*, 2018, 53(3): 79–93.
TANG Xiaohua, ZHANG Xinyu, LI Yang. Dynamic coordination development in China's manufacturing and manufacturing-related service industries. *Economic Research Journal*, 2018, 53(3): 79–93.
- [46] ANDREW G, ARORA R, BILMES J, et al. Deep canonical correlation analysis. *International Conference on Machine Learning*, 2013, 28(3): 1247–1255.
- [47] MICHAELI T, WANG W R, LIVESCU K. Nonparametric canonical correlation analysis. *International Conference on Machine Learning*, 2016, 48: 1967–1976.
- [48] DAGUM C. A new approach to the decomposition of the Gini income inequality ratio. *Empirical Economics*, 1997, 22(4): 515–531.
- [49] 唐开翼, 欧阳娟, 甄杰, 等. 区域创新生态系统如何驱动创新绩效? 基于31个省市的模糊集定性比较分析. *科学学与科学技术管理*, 2021, 42(7): 53–72.
TANG Kaiyi, OUYANG Juan, ZHEN Jie, et al. How does regional innovation ecosystem drive innovation performance? A fuzzy set qualitative comparative analysis based on 31 provinces. *Science of Science and Management of S.&T.*, 2021, 42(7): 53–72.
- [50] 柳卸林, 朱浪梅. 中国区域创新全要素生产率的演变动态: 追赶还是落后?. *科学学与科学技术管理*, 2021, 42(12): 99–12.
LIU Xielin, ZHU Langmei. The dynamics of regional innovation total factor productivity in China: catching up or falling behind?. *Science of Science and Management of S.&T.*, 2021, 42(12): 99–12.
- [51] 柳卸林, 胡志坚. 中国区域创新能力的分布与成因. *科学学研究*, 2002, 20(5): 550–556.
LIU Xielin, HU Zhijian. The pattern of China regional innovation capability and its implication. *Studies in Science of Science*, 2002, 20(5): 550–556.
- [52] 孟凡蓉, 陈子韬, 袁梦. 科技创新、科技资源与经济成长的耦合研究. *科学学与科学技术管理*, 2019, 40(9): 63–74.
MENG Fanrong, CHEN Zitao, YUAN Meng. Research on coupled-mode relationship of S&T innovation, S&T resource and economic growth. *Science of Science and Management of S.&T.*, 2019, 40(9): 63–74.
- [53] 张治河, 焦贝贝, 李怡, 等. 科技资源匮乏地区创新驱动发展路径研究. *科研管理*, 2018, 39(2): 46–59.
ZHANG Zhihe, JIAO Beibei, LI Yi, et al. A research on the path of innovation-driven development in regions lacking S&T resources. *Science Research Management*, 2018, 39(2): 46–59.
- [54] 余泳泽, 刘大勇. 创新价值链视角下的我国区域创新效率提升路径研究. *科研管理*, 2014, 35(5): 27–37.
YU Yongze, LIU Dayong. The study on the path of improvement in China's regional innovation efficiency from the perspective of innovation value chain. *Science Research Management*, 2014, 35(5): 27–37.
- [55] 曹海霞. 营造中西部地区良好创新生态. *经济日报*, 2019-08-07(16).
CAO Haixia. Create a good innovation ecology in the central and western regions. *Economic Daily*, 2019-08-07(16).

Analysis of Regional Differences and Dynamic Mechanisms of Coupling within Innovation Ecosystems

LIAO Kaicheng, ZHANG Yuchen, DU Qianhui

School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China

Abstract: Cultivating and developing an innovation ecosystem is an important part of an innovation-driven development strategy and may support the construction of an innovative country. However, previous studies of innovation ecosystems, which were primarily based on the theory of natural ecological system and symbiotic logic, ignored the innovation ecological actors and the ecological environment has coupling characteristics of facts, and there is little literature about both coupling co-

ordination mechanism, coordination mechanism and internal innovation ecosystems coupling is to maintain the basis of the whole innovation ecological dynamic balance.

This study takes social ecosystem as the logical starting point, combines the operation characteristics of natural ecosystem and social ecosystem, simulates the new concept of innovation ecosystems, and constructs the index evaluation system of innovation ecosystems. This study constructs a coupling coordination model within the innovation ecosystems from the perspective of coupling. Using comprehensive index evaluation, coupling coordination model, Dagum Gini coefficient and panel vector autoregression model, this study empirically analyzes the regional differences and dynamic mechanism of coupling coordination within the innovation ecosystems in China from 2007 to 2018.

Our study finds that: ① The current comprehensive development level of innovation-actor-subecosystems and innovation-environment-subecosystems is generally low, most of the coupling and coordination levels of the two are in the stage of imbalance, and the overall evolution from low-level to high-level, from imbalance to coordination the process, exhibiting a “stepped” characteristic of decreasing from east to west in geographical space. ② The fluctuation range of the overall Gini coefficient of innovation-actor-subecosystems, innovation-environment-subecosystems, and coupling coordination level is relatively small. Among the highest is the innovation-actor-subecosystems, the overall Gini coefficient, followed by the innovation-environment-subecosystems and the coupling coordination level. In addition, it is also found that the gap between groups is the main reason for the gap between the innovation-actor-subecosystems, the innovation-environment-subecosystems, and the level of coupling coordination. ③ Only the innovation-actor-subecosystems and innovation-environment-subecosystems in the eastern region are Granger causality with each other, and both have independent self-enhancement mechanisms; while the innovation-actor-subecosystems and innovation-environment-subecosystems in other regions only have one-way the Granger causality of both shows that the the innovation-actor-subecosystems the innovation-environment-subecosystems.

This study theoretically enriches the current study on innovation ecosystems that only focus on symbiosis and expands the study on the operating mechanisms of innovation ecosystems from a coupling perspective. It helps to deepen the understanding of the internal logic of the dynamic evolution of innovation ecosystems, to provide guidance and suggestions for the government and related agencies to formulate policies to narrow regional gaps and achieve coordinated regional development.

Keywords: innovation ecosystems; natural ecosystem; social ecosystem; coupling coordination model; Dagum Gini coefficient; panel vector autoregression model

Received Date: November 30th, 2020 **Accepted Date:** November 6th, 2021

Funded Project: Supported by the National Natural Science Foundation of China (71972148)

Biography: LIAO Kaicheng is a Ph.D candidate in the School of Economics and Management at Tongji University. His research interest focuses on finance and innovation. His representative paper titled “Regional difference decomposition and dynamic effect evaluation of Chinese local government investment efficiency—based on the perspective of economic and social efficiency” was published in the *Journal of Quantitative & Technical Economics* (Issue 12, 2019). E-mail: liaokaicheng@163.com

ZHANG Yuchen, doctor in management, is a professor in the School of Economics and Management at Tongji University. His research interests include technical economics and management, innovation and entrepreneurship management. His representative paper titled “R&D cooperation: a perspective based on transaction cost and resource-based theory” was published in the *Science Research Management* (Issue 8, 2019). E-mail: zhang99111@tongji.edu.cn

DU Qianhui is a Ph.D candidate in the School of Economics and Management at Tongji University. Her research interests include technical economics and management, innovation and entrepreneurship management. Her representative paper titled “An analysis of technological innovation efficiency losses of R&D input in high-tech enterprises” was published in the *Science Research Management* (Issue S1, 2017). E-mail: 1710035@tongji.edu.cn □

(责任编辑: 刘思宏)