

引用格式:李梦,田增瑞,陆羽中.绿色创新生态系统共生演化与培育机制[J].技术经济,2024,43(4):132-142.

LI Meng, TIAN Zengrui, LU Yuzhong. Symbiotic evolution and cultivation mechanism of green innovation ecosystem [J]. Journal of Technology Economics, 2024, 43(4): 132-142.

绿色创新生态系统共生演化与培育机制

李梦¹, 田增瑞¹, 陆羽中²

(1. 东华大学旭日工商管理学院, 上海 200051; 2. 苏州科技大学商学院, 苏州 215009)

摘要: 构建绿色创新生态系统是应对全球生态问题最有效的方法之一, 准确把握绿色创新生态系统共生演化规律和培育机制, 对绿色创新水平提升、经济社会可持续发展具有重大意义。因此基于生态系统理论、共生理论和演化博弈理论, 对绿色创新生态系统共生演化模式、过程、稳定性及运行机制进行研究, 旨在为企业和相关部门制定促进绿色创新发展战略和政策提供理论支撑和决策参考。研究表明: 绿色创新生态系统两种群共生演化模式和稳定性, 受两种群相互作用的共生系数和各自种群规模上限影响。绿色创新生态系统共生演化达到均衡状态时会形成不同的共生模式, 其中互惠共生模式是系统共生演化最理想的状态。绿色创新生态系统共生发展以信任机制为基础, 在共享机制、竞合机制、伙伴选择机制和价值分配机制的作用下, 实现共生循环。

关键词: 绿色创新生态系统; 绿色价值共创; 共生演化; 共生培育机制

中图分类号: F414; F205 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-980X(2024)04-0132-11

DOI: 10.12404/j.issn.1002-980X.J23120207

一、引言

近年来, 为应对气候变化全球治理问题, 世界各国均提倡绿色低碳发展模式。在此背景下, 绿色创新成为全球学者们重点关注和探讨的热点话题之一。中国既是绿色创新的倡导者, 也是实践者。中国主动提出了“碳达峰碳中和”战略目标。此外, 党的二十大报告进一步强调“推动绿色发展, 促进人与自然和谐共生”。可见, 推动绿色创新生态系统建设对人与自然和谐共生、社会经济永续发展、人类实现美好生活具有重大意义。准确把握绿色创新生态系统共生演化的规律和作用机制, 将有助于相关企业和政府部门制定促进绿色创新的战略和政策, 实现经济社会高质量增长的目标。

现有文献较多的关注创新生态系统, 少数学者将绿色发展理念融入创新生态系统的研究中, 研究内容主要集中于绿色创新生态系统的概念、特点、影响因素和作用等, 为本文的研究提供了一些基础, 但现有研究尚存在一些不足和值得深入探讨之处。一是对绿色创新生态系统的研究视角多为绿色创新网络和供应链, 对系统内部主体之间共生演化机制的研究较少; 二是对绿色创新生态系统作用机理的探讨多为学理性分析, 缺乏模拟仿真分析; 此外对不同情境下绿色创新生态系统演化路径的分析也较少。为了填补现有研究的空缺, 结合共生理论和演化博弈理论, 对绿色创新生态系统共生演化规律及作用机制进行研究, 并通过计算机对其共生演化过程和均衡状态进行模拟仿真分析, 试图解开绿色创新生态系统演化“黑箱”, 为绿色创新实践和进一步的研究提供理论支撑。

创新点和贡献如下: 一是将绿色创新融入创新生态系统中, 探讨绿色创新生态系统的共生演化问题, 拓展了绿色创新的研究视角, 丰富了绿色创新生态系统的研究内容; 二是对绿色创新生态系统的共生演化过程进行仿真分析, 深入剖析绿色创新主体之间共生演化的规律和形成的原因, 助力绿色价值共创进程, 同时

收稿日期: 2023-12-02

基金项目: 2023年度教育部人文社会科学研究青年基金“创业投资赋能企业绿色发展的路径和机制研究——基于ESG视角”(23YJC630128)

作者简介: 李梦, 东华大学旭日工商管理学院博士研究生, 研究方向: 金融科技与企业绿色创新; (通信作者) 田增瑞, 博士, 东华大学旭日工商管理学院教授, 研究方向: 创新创业管理; 陆羽中, 博士, 苏州科技大学商学院讲师, 研究方向: 创业投资与ESG。

为绿色创新实践和进一步的研究提供理论支撑;三是深入分析绿色创新主体之间形成共生关系的机制,以及不同机制之间的关系,为相关企业和政府部门制定绿色创新促进政策提供决策参考,助力经济社会绿色转型和高质量发展。

二、文献述评与理论基础

在创新生态系统研究方面,现有研究成果较为丰富,研究内容主要集中于创新生态系统的构建和形成机理、价值创造和合作过程、共生演化与实现路径等方面。在构建和形成机理方面,Sultana 等^[1]以人工智能生态系统为例探索了创新生态系统形成的潜在机制。韩少杰等^[2]通过多案例研究探讨了创新生态系统的构建逻辑及形成机理。邵云飞等^[3]通过案例研究探讨了数字化赋能企业创新生态系统的构建过程。在价值创造和合作过程方面,Sultana 等^[4]研究结果表明创新生态系统中参与者之间的合作过程是一个由中介机构推动的迭代过程。王倩等^[5]从创新生态系统视角分析企业跨界创新中价值共创机制和模式。孙元等^[6]研究发现创新生态系统演化不同阶段对应不同的价值共创模式。在共生演化与实现路径方面,Wu 等^[7]研究了智能汽车产业创新生态系统的共生演化模式和机制。杨伟等^[8]研究了数字创新生态系统的演化模式和特征。宁连举等^[9]明确了数字创新生态系统的三个主体单元,模拟仿真了其多主体共生演化过程。于超等^[10]通过案例对比分析探讨了平台生态系统如何通过创新扩散机制实现可持续发展。

在绿色创新生态系统研究方面,现有研究成果相对较少,研究内容集中于探讨其概念与内部结构关系、构建与生成机制、影响因素与演化过程等问题。在概念与内部结构关系方面,Fan 等^[11]构建了绿色创新生态系统概念模型。Zhang 等^[12]研究了绿色创新生态系统的空间组织模式及其关联网络在耦合效应下的结构演化和自组织模式。李华晶等^[13]提出绿色创业生态系统的概念,认为学科交叉与情境嵌入是其内涵体系建立的基础。在构建与生成机制方面,Chin 等^[14]研究发现区块链技术能够驱使企业生成绿色创新生态系统。林艳等^[15]构建了绿色创业生态系统的时间和空间模型。张兰等^[16]通过案例研究揭示了绿色创新政策赋能企业创新生态系统的构建机理。在影响因素与演化过程方面,郑玉雯等^[17]分析了影响区域绿色创新生态系统能级提升的多重因素及关键路径。Li 等^[18]分析了双重环境规制下企业绿色技术创新主体相互作用的演化过程。Qin 等^[19]探讨了绿色制造创新生态系统中二元创新演进过程中主体和系统的激励策略。

综上所述,学者们对创新生态系统和绿色创新生态系统分别进行了有益探讨,为本文的研究提供了理论支撑。然而将绿色创新融入创新生态系统,探究绿色价值共创模式及演化机制的研究相对较少。绿色创新是实现经济社会高质量发展的必由之路,绿色创新生态系统是与时俱进的象征;绿色创新在创新的基础上考虑环境和社会效益,绿色创新生态系统价值创造具有独特性。此外,消费者和公众对绿色创新的关注也越来越多,多主体参与绿色价值共创正成为一种趋势。因此,本文将基于生态系统理论、共生理论和演化博弈理论,探讨绿色创新生态系统共生演化模式、过程、稳定性及机制,旨在为绿色创新实践和学术研究提供理论支撑和借鉴意义,为企业和相关部门制定促进绿色创新发展战略和政策提供决策参考。

三、绿色创新生态系统共生演化模型

(一) 绿色创新生态系统共生演化的概念模型

1935年 Tansley^[20]提出生态系统的概念,随后该概念被引入到创新管理等领域,逐渐形成创新生态系统的概念。创新生态系统理论认为创新主体通过相互合作来实现多赢并促进系统演化升级^[21]。例如,Ander^[22]认为创新生态系统中的核心主体通过与供应链中上下游企业合作,共享异质性互补资源,实现价值共创。绿色创新生态系统在创新生态系统的基础上,考虑节约资源和环境保护行为,与当前世界各国为应对全球生态问题提倡的绿色低碳发展理念相契合。本文对绿色创新生态系统的定义为:在特定时空范围内,由核心企业和配套组织构成,以绿色价值创造为导向,通过整合创新资源,实现绿色价值共创的一种动态演化生态系统。

共生理论在生物学中是指不同种属通过某种联系,形成相互协作、共生进化的关系^[23]。中国学者袁纯清将共生理论引入到经济管理学科中,提出共生关系的三维理论分析框架,即共生单元、共生界面、共生模式^[24]。本文构建绿色创新生态系统共生演化概念模型,如图1所示,系统中存在众多共生单元,共生单元在

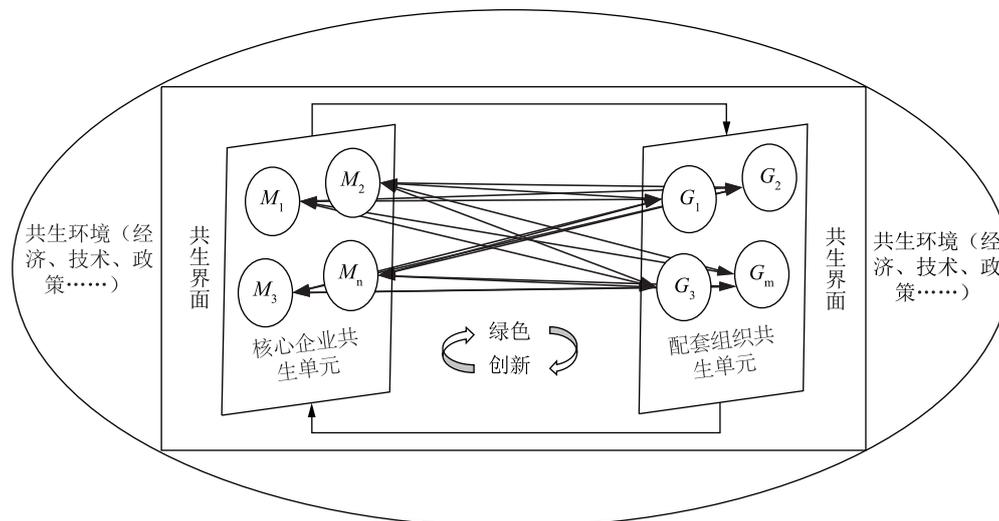


图 1 共生视角下绿色创新生态系统概念模型

特定的共生环境中通过知识、技术、资金、产品、服务等跨界流动,产生交互作用,形成不同共生模式,在共生界面上进行绿色价值创造。

共生单元是共生关系形成的基础单位,是共生活活动开展、绿色价值创造的主体^[25]。绿色创新生态系统由核心企业共生单元(环保企业、绿色企业等)和配套组织共生单元(政府、高校、科研机构、金融投资机构、上下游企业、中介组织、消费者、公众等)构成。核心企业单元处于核心主导地位,在共生演化的过程中具有支配权力;配套组织单元处于辅助从属地位,在共生演化过程中提供互补性技术、新产品和其他增值服务^[26]。共生界面是绿色创新主体共生关系存在和发展的载体,主要包括绿色创新平台、绿色技术标准、绿色技术交易市场、技术接口等。共生环境是绿色创新主体进行绿色价值共创的外部生态环境,主要有经济社会环境、绿色技术市场环境、绿色创新政策制度环境等。共生模式主要有寄生共生、偏利共生、互惠共生等模式^[24]。寄生共生模式是指一方依托另一方的互补资源,不断壮大,创造更多价值;而另一方对其依赖性不断增强,所获得的价值越来越少。偏利共生模式是指一方依托另一方的互补资源,规模逐渐发展壮大,价值创造能力越来越强;而另一方价值获取量无变化。互惠共生模式是指双方通过整合异质性互补资源、并合理配置资源,使各自价值创造和获取量均不断增加。若双方价值创造和获取增量相同,则为对称性互惠共生模式;若双方价值创造和获取增量不同,则为非对称性互惠共生模式。

(二) 绿色创新生态系统共生演化的 Lotka-Volterra 模型

1. 研究假设

Lotka-Volterra 模型是 Logistic 模型的扩展模型,能够较好地描绘生态系统中两个及以上种群竞合共生的演化规律^[27]。本文采用 Lotka-Volterra 模型,可以准确描述绿色创新主体之间的共生关系,以及主体之间的相互影响作用。

假设 1: 绿色创新生态系统由 i 个核心企业 $M_i (i=1, 2, \dots, n)$ 和 j 个配套组织 $G_j (j=1, 2, \dots, m)$ 构成,两种群规模都受到人才、技术、资金等资源及制度环境等客观因素的限制,其种群规模不会无线增长。

假设 2: 以核心企业 M_i (配套组织 G_j) 的规模变化表示其成长过程,规模越来越大说明其发展良好,其对绿色创新生态系统中的核心技术和创新资源的获取和占有几率越大,因此价值创造和获取量越多;其规模越来越小,则与上述情况刚好相反;当核心技术和创新资源的获取和占有几率为零时,表示核心企业 M_i (配套组织 G_j) 消亡。

假设 3: 核心企业 M_i (配套组织 G_j) 的成长过程均服从 Logistic 成长规律。当其边际产出等于边际投入时,种群规模达到最大值。

假设 4: 在理想条件下,核心企业 M_i (配套组织 G_j) 的自然增长率始终不变。

2. 模型构建

设 $y_1(t)$ 、 $y_2(t)$ 分别为核心企业和配套组织的规模, r_1 和 r_2 分别为其自然增长率, N_1 、 N_2 分别为其规模的最大值。则绿色创新生态系统两主体演化的 Lotka-Volterra 模型为

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = r_1 y_1 \left(1 - \frac{y_1}{N_1} \right), & y_1(0) = y_{10} \\ \frac{dy_2}{dt} = r_2 y_2 \left(1 - \frac{y_2}{N_2} \right), & y_2(0) = y_{20} \end{cases} \quad (1)$$

其中: y_{10} 、 y_{20} 分别为核心企业和配套组织的初始种群规模; $r_1 y_1$ 和 $r_2 y_2$ 分别为其自身成长趋势; $1 - y_1/N_1$ 和 $1 - y_2/N_2$ 为 Logistic 系数。

然而,绿色创新生态系统中各主体种群增长率还会受到种群间相互作用的影响。因此引入共生系数来反映主体间相互作用的影响,在共生条件下,绿色创新生态系统两主体共生演化的 Lotka-Volterra 模型为

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = r_1 y_1 \left(1 - \frac{y_1}{N_1} + \alpha_{12} \frac{y_2}{N_2} \right), & y_1(0) = y_{10} \\ \frac{dy_2}{dt} = r_2 y_2 \left(1 - \frac{y_2}{N_2} + \alpha_{21} \frac{y_1}{N_1} \right), & y_2(0) = y_{20} \end{cases} \quad (2)$$

其中: α_{ij} ($i \neq j, i = 1, 2; j = 1, 2$) 为主体 j 对主体 i 的共生系数。

四、绿色创新生态系统共生演化分析

(一) 共生演化模式及稳定性分析

绿色创新生态系统两主体共生演化模式取决于共生系数的大小和符号,即随着共生系数的不同取值组合的变化,其演化呈现不同的模式^[28],具体如表 1 所示。

为了进一步探讨绿色创新生态系统的动态演化过程,需要对两主体演化的平衡点和稳定条件进行分析,为此对式(2)的平衡点进行稳定性分析。令 $\frac{dy_1}{dt} = 0$, $\frac{dy_2}{dt} = 0$, 求解得到 4 个局部均衡点为 $E_1(0, 0)$,

$E_2(0, N_2)$, $E_3(N_1, 0)$, $E_4\left[\frac{N_1(1 + \alpha_{12})}{1 - \alpha_{12}\alpha_{21}}, \frac{N_2(1 + \alpha_{21})}{1 - \alpha_{12}\alpha_{21}}\right]$ 。该动态演化系统的 Jacobian 矩阵为

$$J = \begin{bmatrix} r_1 \left(1 - \frac{2y_1}{N_1} + \alpha_{12} \frac{y_2}{N_2} \right) & \frac{r_1 \alpha_{12} y_1}{N_2} \\ \frac{r_2 \alpha_{21} y_2}{N_1} & r_2 \left(1 - \frac{2y_2}{N_2} + \alpha_{21} \frac{y_1}{N_1} \right) \end{bmatrix} \quad (3)$$

当 Jacobian 矩阵 J 的行列式 $\text{Det}(J) > 0$ 、迹 $\text{Tr}(J) < 0$ 时,对应的均衡点为系统稳定均衡点^[29]。均衡点及稳定条件如表 2 所示。

此外,共生演化模式与均衡点的对应关系如表 3 所示。绿色创新生态系统中两主体单元共生演化均衡点与共生模式相关,受两主体共生系数大小以及各自种群规模上限影响。

表 1 绿色创新生态系统演化模式

α_{12}, α_{21} 取值组合	两主体演化模式
$\alpha_{12} = 0, \alpha_{21} = 0$	独立共存模式,两个主体互不影响,独立成长
$\alpha_{12} < 0, \alpha_{21} < 0$	竞争模式; $\alpha_{12} = \alpha_{21}$, 为平等竞争; $\alpha_{12} \neq \alpha_{21}$, 且任一系数小于 -1, 为恶性竞争
$\alpha_{12}\alpha_{21} < 0$	寄生共生模式,共生系数为正的主体受益,共生系数为负的主体受损
$\alpha_{12} > 0, \alpha_{21} = 0$ 或 $\alpha_{12} = 0, \alpha_{21} > 0$	偏利共生模式,共生系数大于 0 的主体受益,共生系数等于 0 的主体不受影响
$\alpha_{12} > 0, \alpha_{21} > 0$	互惠共生模式; $\alpha_{12} = \alpha_{21}$, 为对称互惠模式; $\alpha_{12} \neq \alpha_{21}$, 为非对称互惠模式

表 2 绿色创新生态系统共生演化均衡点及稳定条件

均衡点	Det(J)	Tr(J)	稳定性条件
$E_1(0,0)$	$r_1 r_2$	$r_1 + r_2$	不稳定
$E_2(0, N_2)$	$-r_1 r_2(1 + \alpha_{12})$	$-r_2 + r_1(1 + \alpha_{12})$	$\alpha_{12} < -1$
$E_3(N_1, 0)$	$-r_1 r_2(1 + \alpha_{21})$	$-r_1 + r_2(1 + \alpha_{21})$	$\alpha_{21} < -1$
$E_4 \left[\frac{N_1(1 + \alpha_{12})}{1 - \alpha_{12}\alpha_{21}}, \frac{N_2(1 + \alpha_{21})}{1 - \alpha_{12}\alpha_{21}} \right]$	$\frac{r_1 r_2(1 + \alpha_{12})(1 + \alpha_{21})}{1 - \alpha_{12}\alpha_{21}}$	$\frac{r_1(-1 - \alpha_{12}) + r_2(-1 - \alpha_{21})}{1 - \alpha_{12}\alpha_{21}}$	$\alpha_{12} > -1, \alpha_{21} > -1$

表 3 绿色创新生态系统共生演化模式及均衡点

α_{12}, α_{21} 取值组合	核心企业与配套组织种群共生演化模式	稳定均衡点
$\alpha_{12}\alpha_{21} < 0$	寄生共生模式	E_2, E_3, E_4
$\alpha_{12} > 0, \alpha_{21} = 0$ 或 $\alpha_{12} = 0, \alpha_{21} > 0$	偏利共生模式	E_4
$\alpha_{12} > 0, \alpha_{21} > 0, \alpha_{12} = \alpha_{21}$	对称性互惠共生模式	E_4
$\alpha_{12} > 0, \alpha_{21} > 0, \alpha_{12} \neq \alpha_{21}$	非对称性互惠共生模式	E_4

(二) 共生演化仿真分析

为更好地展现绿色创新生态系统共生演化过程, 将对该系统共生演化理论模型式(2)进行仿真分析。参考现有主流文献做法^[9,26], 设绿色创新生态系统中核心企业与配套组织种群的自然增长率 $r_1 = 0.1, r_2 = 0.05$, 初始值 $y_1(0) = 100, y_2(0) = 100$, 有限资源制约下两种群规模的最大值 $N_1 = 1000, N_2 = 1000$, 仿真周期 $t = 800$ 。利用软件 MATLAB R2022a 进行模拟仿真, 并结合产业实践经验分析总结绿色创新生态系统共生演化的规律。

(1) 绿色创新生态系统两主体独立共存模式如图 2 所示, 核心企业种群与配套组织种群互不干扰、独立演化发展, 此时共生系数为零。两种群按照自然内禀增长率发展, 当两种群达到平衡状态时, 其规模达到最大值。

(2) 绿色创新生态系统两主体恶性竞争模式如图 3(a) 和图 3(b) 所示, 当核心企业种群与配套组织种群相互竞争、且竞争能力不同时, 即共生系数都小于零, 且一方对另一方的共生系数 < -1 时, 获得竞争优势, 逐渐侵蚀另一方, 直到自身种群规模达到最大值, 另一方消亡。图 3(a) 反映的是核心企业获得竞争优势, 通过利用配套组织的互补性资源得以生存发展, 配套组织由于自身资源被大量消耗而逐渐消亡。图 3(b) 正好相反, 反映的是配套组织获得竞争优势, 通过获得核心企业的资金和技术支持等不断发展壮大, 而核心企业由于资源被大量消耗逐渐衰亡。图 4 反映的是在平等竞争条件下, 两种群规模发展趋势, 可以看出在两种群竞争力相当的情况下, 其种群规模上限均小于各自独立发展时的最大值。

(3) 绿色创新生态系统两主体寄生共生模式如图 5(a) 和图 5(b) 所示, 当两种群相互作用的共生系数符号相反时, 符号为正的一方寄生在符号为负的另一方中, 依托另一方的异质性互补资源不断发展壮大, 规模突破独立发展时的最大值; 而被寄生的另一方刚好相反。图 5(a) 反映的是核心企业寄生在配套组织中, 依托配套组织的资源逐渐发展壮大。在绿色创新实践中则表现为: 绿色创新核心主体, 如环保企业和绿色企业等, 在绿色创新相关政策的指导下, 借助配套组织的异质性互补资

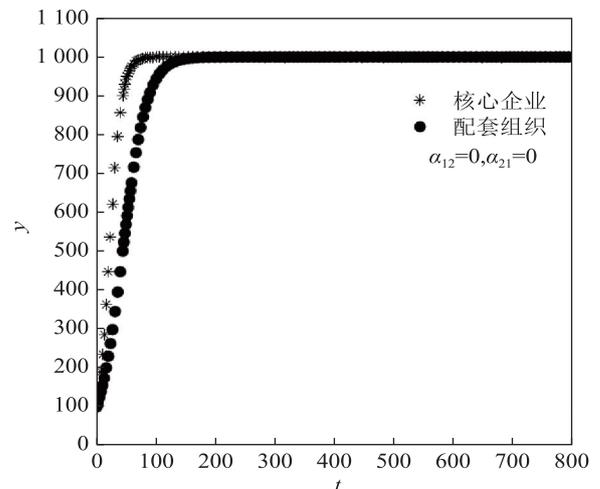


图 2 独立共存模式

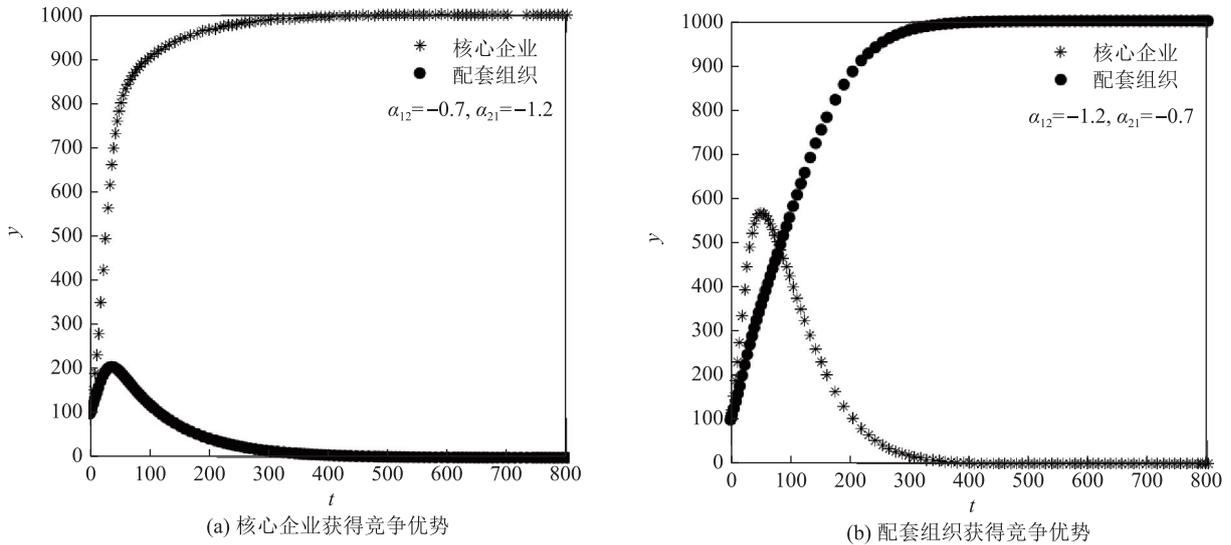


图3 恶性竞争模式

源,例如银行等金融机构的绿色金融支持、政府的环保补贴和税收减免等,进行绿色创新,规模逐渐发展壮大,当系统达到平衡状态时,核心企业的规模突破其独立发展时的上限,而配套组织则相反。图5(b)反映的是配套组织寄生在核心企业中,依托核心企业的资金和技术支持不断发展壮大。在绿色创新实践中则表现为:配套组织如高校、科研院所利用核心企业的资金进行绿色协同创新;上下游企业利用核心企业的绿色技术支持进行创新发展;然而由于绿色创新通常周期较长、收益较低,因此投资机构在绿色项目的投资上往往比较谨慎,使得核心企业获得的绿色创新资源受限;当系统处于平衡状态时,配套组织的规模大于独立发展时的最大值,而核心企业与之相反。

(4) 绿色创新生态系统两主体偏利共生模式如图6(a)和图6(b)所示,此时两种群相互作用的共生系数一个大于零、一个等于零,大于零的种群受益,等于零的种群不受影响。图6(a)反映的是核心企业受益于配套组织的互补性绿色创新资源,其种群逐渐壮大,系统平衡时,规模超过独立发展时的最大值;配套组织则独立发展,不受核心企业的干扰。图6(b)反映的是配套组织受益于核心企业的绿色技术、绿色产品等,其种群规模越来越大,系统平衡时,种群规模大于独立发展时的最大值;核心企业则独立发展,不受配套组织的影响。

绿色创新生态系统的目的是通过整合系统中异质性互补绿色创新资源,并合理配置这些资源,使系统中各主体在资源利用价值最大化的基础上,实现更广泛层面上的绿色价值共创。而上述偏利共生模式,虽然其中一方的发展未受到影响,但从长远来看,依然会对绿色创新生态系统的整体发展产生消极影响。可能的原因在于:一是绿色创新生态系统未能实现资源的合理配置,导致系统绿色协同创新的机制未能有效运行。二是针对其中一方独立发展的情形,配套组织独立发展时,其自身的资源被整合到系统中供核心企业使用,然而核心企业在进行绿色创新的过程中,受到创新周期长、环境不确定性、投资收益低等风险因素的影响,未能实现绿色价值创造和分配;核心企业独立发展时,如若系统不存在资源配置不合理的情况,则可能是由于配套组织能够提供的部分互补性资源不足,导致部分核心企业进一步发展壮大所需的资源无法通过系统内部获得,自身独立发展同时向系统贡献价值,使得配套组织在系统中获利。

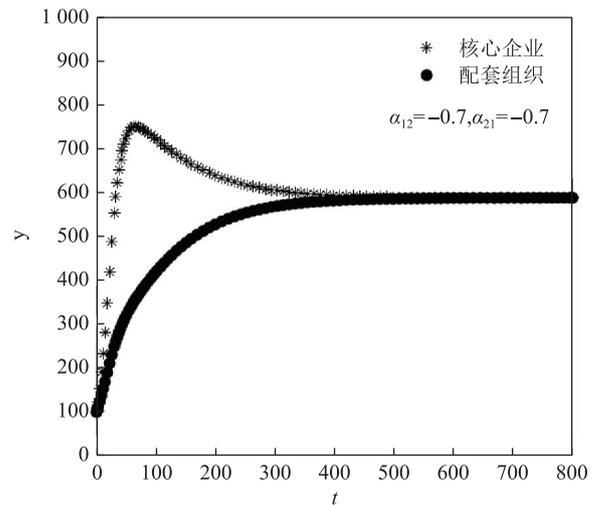


图4 平等竞争模式

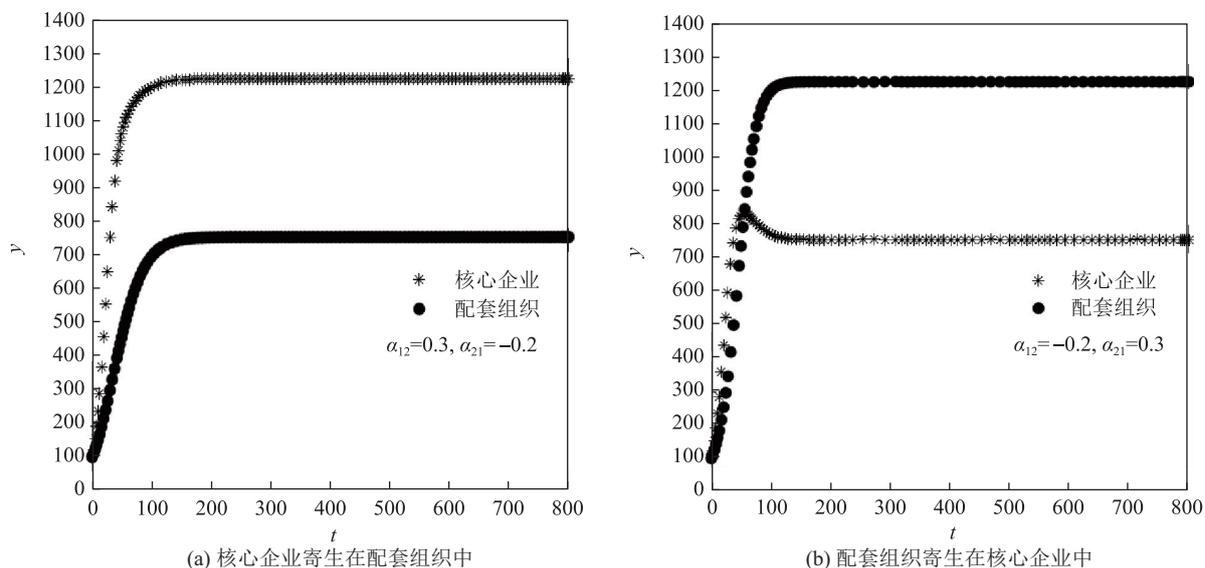


图 5 寄生共生模式

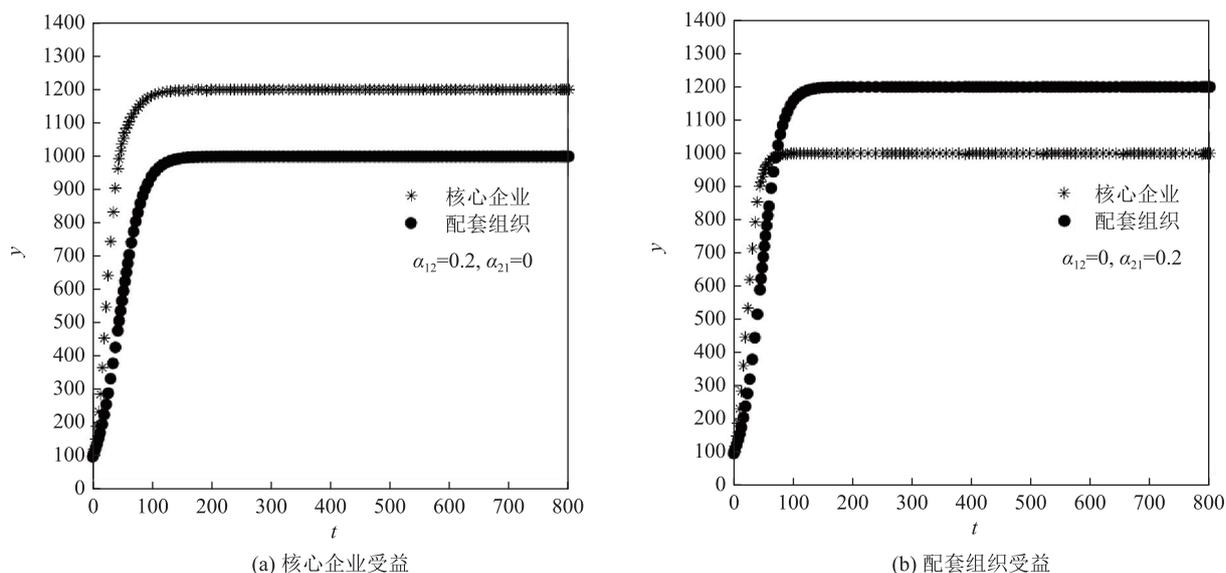


图 6 偏利共生模式

(5)绿色创新生态系统两主体互惠共生模式如图 7(a)和图 7(b)所示,此时两种群相互作用的共生系数均大于零,两种群互惠互利,系统平衡时,其规模均大于独立发展时的最大值,且平衡状态下种群规模的最大值与共生系数的大小相关。图 7(a)反映的是核心企业和配套组织互惠互利的程度相同,即共生系数相等,表现为对称性互惠共生。图 7(b)反映的是核心企业和配套组织互惠互利的程度不同,即共生系数不相等,共生系数越大受益程度越大,表现为非对称性互惠共生。

由以上分析可以,绿色创新生态系统共生演化达到均衡状态时会形成不同的共生模式,分别对应不同的绿色创新发展实践。其中互惠共生模式是绿色创新生态系统共生演化最理想的状态;寄生共生模式反映了一方过度依赖另一方,使得另一方的发展提前衰减;偏利共生模式从长远来看不利于绿色创新生态系统的整体发展。因此,相关企业和部门应通过制定相应的战略和政策,致力于打造互惠共生的绿色创新生态系统。

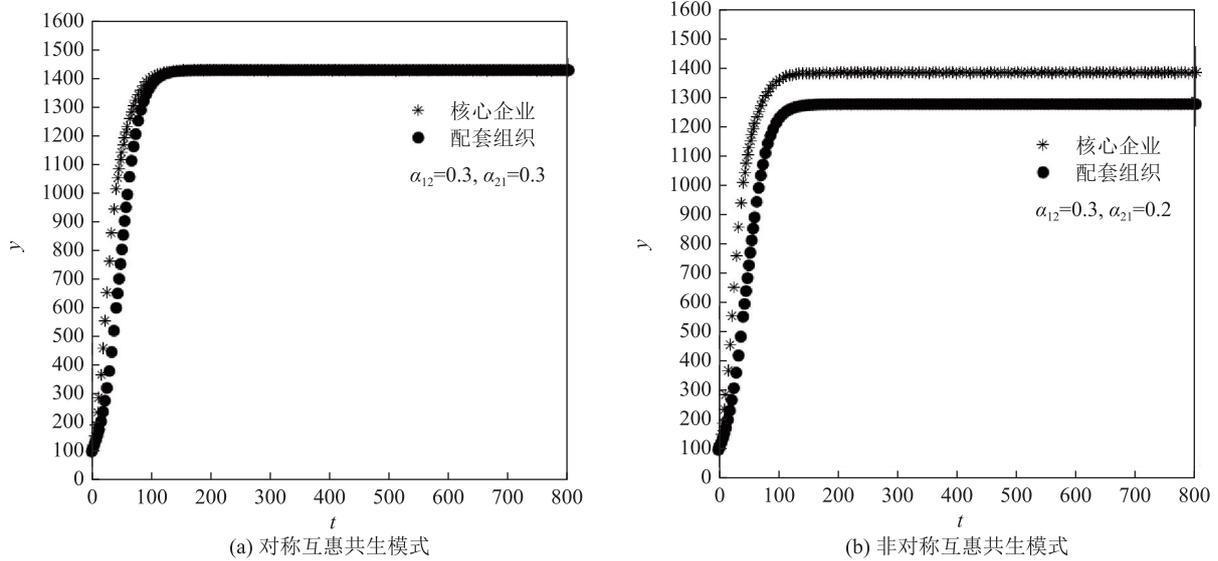


图 7 互惠共生模式

五、绿色创新生态系统的共生培育机制

绿色创新生态系统共生演化最理想的状态是实现连续性互惠互利,然而系统在演化升级的过程中难免会遇到一些阻碍因子,影响系统演化升级的最优路径。因此为了促进绿色创新生态系统朝着最有利的方向发展,需要充分调动系统中各主体的主观能动性,使各主体积极主动展开协同与联动,实现绿色价值共创。此外,绿色创新生态系统需要有效发挥系统整体的统一协调作用,降低绿色创新成本、提升绿色治理效率、改善绿色创新绩效,使系统整体利益最大化,实现系统演化升级。基于此,本文提出绿色创新生态系统共生机制,如图 8 所示。核心企业种群和配套组织种群通过绿色生产、制造、经营等创新活动产生联系,逐渐形成绿色创新生态系统,各绿色创新主体在系统中通过信息共享、竞争与合作、利益分配等活动进行共生演化,演化过程中形成不同的共生状态。

当绿色创新主体之间展开合作,其中一方依托另一方提供的异质性互补绿色创新资源不断发展壮大,却未产生新价值,此时系统形成寄生共生模式。当绿色创新主体之间由于偶然一次机遇,在某一时刻内产生一次性临时合作,合作间产生的新价值仅分配给其中一方,另一方未获得新价值,也未受到损害,此时系统形成偏利点共生模式。当绿色创新主体之间由于特定任务、短期目标一致,在某一段时间内产生间断性多次合作,合作间产生的新价值仅分配给其中一方,另一方未获得新价值,也未受到损害,此时系统形成偏利间歇共生模式;当系统对新价值的分配进行协调,使合作间产生的新价值在各主体之间进行差额分配时,偏利间歇共生模式演化为非对称互惠间歇共生模式。当绿色创新主体之间由于战略目标一致、资源互补性较强,在较长一段时间内产生连续性多次、多方面合作,合作间产生的新价值在各主体之间进行差额分配,此时系统形成非对称互惠连续共生模式;当系统发挥其统一协调作用,使合作间产生的新价值在各主体之间进行等额分配时,非对称互惠连续共生模式演化为对称互惠连续共生模式。在对称互惠连续共生状态下,绿色

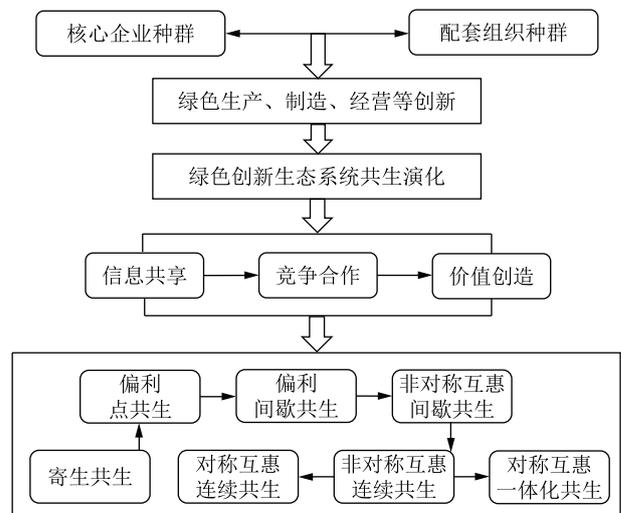


图 8 绿色创新生态系统共生机制

创新主体之间合作的时间间隔连续缩短,系统逐渐演化为对称互惠一体化共生模式。

可见,一体化共生是连续共生的特例,并非常态。点共生和间歇共生反映的是绿色创新主体之间联系的不确定性和不稳定性,不利于系统的稳定有序运行;连续共生反映的是绿色创新主体之间联系的稳定性和长期性,有利于系统不断演化升级。因此绿色创新生态系统共生演化最理想的状态是实现连续性互惠互利。

绿色创新生态系统共生机制之间的逻辑关系,如图9所示。

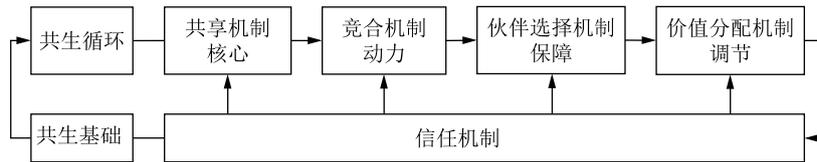


图9 绿色创新生态系统共生机制逻辑图

(1)信任机制。信任是核心企业种群与配套组织种群共生发展的基础,信任机制贯穿绿色创新生态系统共生演化的全过程。绿色创新生态系统各主体共生发展是一个相互选择、动态博弈的过程,各主体面临绿色创新的高风险性和系统的脆弱性,需要各方在相互信任的基础上具有超越契约关系的默契,才能克服共生演化过程中遇到的各类阻碍因子,最终实现互惠互利的共生模式。信任机制的建立通过系统中各主体长期的交流、互动和重复性的交易合作产生。因此,可以通过加强绿色创新主体之间的联系,如组织企业沙龙、搭建企业合作交易平台等来培育绿色创新生态系统的信任机制。

(2)共享机制。共享是核心企业种群与配套组织种群共生发展的核心,共享机制是绿色创新生态系统最重要的共生演化机制。绿色创新生态系统中单个主体很难具备绿色创新所需的全部资源,需要通过系统来整合各主体的异质性互补绿色创新资源,然后合理分配给绿色创新核心企业,来实现绿色价值共创。可见,资源共享对绿色创新生态系统共生演化的重要性。共享机制是指绿色创新生态系统中各种群内部及各种群之间共享人才、技术、信息、政策等资源。共享机制有益于绿色创新生态系统中各主体之间信息流、知识流、技术流的畅通无阻,有益于实现系统整体利益最大化。

(3)竞合机制。竞争与合作是核心企业种群与配套组织种群共生发展的动力,竞合机制对绿色创新生态系统的共生演化具有重要推动作用。共生关系同时具有竞争与合作的特征。竞争主要是指种群内部主体之间的竞争关系,合作主要是种群内部及种群之间主体之间的合作关系。绿色创新生态系统中种群内部主体之间的竞争,有利于绿色创新主体不断提升自身的绿色创新能力,从而促进系统持续稳定的运行。绿色创新生态系统中种群内部及种群之间主体之间的合作,有利于各主体协同创新,从而促进系统整体运行效率。可见,竞合机制不断推动绿色创新生态系统的演化升级。

(4)伙伴选择机制。伙伴是核心企业种群与配套组织种群共生发展的保障,伙伴选择机制对绿色创新生态系统的演化升级非常重要。共生主体在选择共生伙伴时,首先需要考虑战略目标是否一致;其次需要考虑技术、知识、资金等资源是否形成优势互补;最后需要考虑企业信誉、社会声誉等是否良好。伙伴选择机制可以保障绿色创新主体与优质的伙伴进行合作共生。优质伙伴能够使绿色创新生态系统保持创新活力,避免“搭便车”现象,提升系统运行效率和效果。当绿色创新主体处于非优质伙伴行列时,将会被绿色创新生态系统淘汰,以保证系统朝着连续互惠互利的方向演化升级。

(5)价值分配机制。价值分配机制的目的是为了调节核心企业种群与配套组织种群共生发展过程中物质和能量分配不均的问题。价值分配机制对绿色创新生态系统稳定发展具有重要调节作用。绿色创新生态系统中共生主体通过绿色创新合作,产生新的价值,新价值在共生主体之间得到公平合理分配,才能维持信任关系、促进共生发展的循环,实现系统稳定可持续发展。因此,价值分配机制需要遵循公平合理、公开透明的原则。此外,还应考虑互惠互利原则,在共生发展中处于支配地位的绿色创新核心企业,不能仅追求自身利益最大化,还应兼顾其他企业的利益,以保证系统可持续发展。

六、结论与讨论

(一) 研究结论与启示

本文基于生态系统理论、共生理论和演化博弈理论,从共生演化的视角来研究绿色创新生态系统,构建了绿色创新生态系统共生演化概念模型和 Lotka-Volterra 模型,分析了绿色创新生态系统共生演化的模式和稳定性,模拟仿真绿色创新生态系统共生演化过程和均衡状态,提出了绿色创新生态系统共生培育机制,解开了绿色创新生态系统共生演化的“黑箱”。研究的主要结论和启示如下:

(1)绿色创新生态系统两种群共生演化模式和稳定性,受两种群相互作用的共生系数和各自种群规模上限影响。因此,相关部门在绿色创新生态系统共生培育的实践中,应注重共生环境的优化,使共生主体处于信息通畅的环境中,增强相互作用的共生关系,避免因信息不对称造成共生关系恶化等问题,从而导致系统运行不稳定。

(2)绿色创新生态系统共生演化达到均衡状态时会形成不同的共生模式,其中互惠共生模式是系统共生演化最理想的状态,寄生共生模式和偏利共生模式均不利于系统的稳定持续运行。因此,相关企业和部门应通过制定相应的战略和政策,避免寄生共生模式和偏利共生模式的长期存在,致力于打造互惠共生的绿色创新生态系统。

(3)绿色创新生态系统共生发展以信任机制为基础,在共享机制、竞合机制、伙伴选择机制和价值分配机制的作用下,实现共生循环。因此,相关企业和部门都应注重信任机制的建立和维护;此外,还要注重培育共享、竞合、伙伴选择和价值分配共生机制,使绿色创新生态系统始终保持创新活力,实现连续性互惠互利共生发展。

(二) 讨论

本文从共生演化视角研究了绿色创新生态系统共生演化的规律和机制,得出了相应的结论。但本文的研究仍存在一些不足和未来值得进一步改善之处。

(1)本文对绿色创新生态系统共生演化的过程进行了数值仿真分析,较好地展现了不同共生环境下绿色创新生态系统共生演化规律,但并未采用实践中的数据进行验证。未来可随着绿色创新生态系统发展实践的丰富,从种群间的信息共享、知识流动、竞争与合作等视角实证检验绿色创新生态系统共生演化的机制。

(2)本文对绿色创新生态系统共生演化的模式与运作机制进行了理论探讨,揭示了绿色创新生态系统共生演化的一般规律,但缺少对绿色创新生态系统共生培育机制实际案例的研究。未来可对不同地区绿色创新生态系统共生演化的案例进行分析,探究异质性政策、经济、文化等情境下,其共生培育机制的差异性。

参考文献

- [1] SULTANA N, TURKINA E, COHENDET P. The mechanisms underlying the emergence of innovation ecosystems: The case of the AI ecosystem in Montreal[J]. *European Planning Studies*, 2023(3): 1-23.
- [2] 韩少杰, 苏敬勤. 企业中心型开放式创新生态系统的构建逻辑形成机理研究[J]. *管理评论*, 2023, 35(6): 335-352.
- [3] 邵云飞, 周湘蓉, 杨雪程. 从 0 到 1: 数字化如何赋能创新生态系统构建? [J]. *技术经济*, 2022, 41(6): 44-58.
- [4] SULTANA N, TURKINA E. Collaboration for sustainable innovation ecosystem: The role of intermediaries [J]. *Sustainability*, 2023, 15(10): 7754.
- [5] 王倩, 柳卸林. 企业跨界创新中的价值共创研究: 基于生态系统视角[J]. *科研管理*, 2023, 44(4): 11-18.
- [6] 孙元, 吴梅丽, 苏芳. 基于技术资源的创新生态系统演化及价值共创过程研究——以科大讯飞为例[J/OL]. *南开管理评论* [2023-1-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1288.F.20230423.0955.004.html>.
- [7] WU B, NEGASSI S. Symbiotic evolution mechanism of the digital innovation ecosystem for the smart car industry[J]. *Sustainability*, 2023, 15(20): 14939.
- [8] 杨伟, 刘健. 基于生态流量的数字创新生态系统演化模式——人工智能行业的探索性研究[J]. *技术经济*, 2021, 40(9): 34-44.
- [9] 宁连举, 刘经涛, 肖玉贤, 等. 数字创新生态系统共生模式研究[J]. *科学学研究*, 2022, 40(8): 1481-1494.
- [10] 于超, 许晖, 王亚君. 生态“树”源: 平台生态系统的创新扩散机制研究——卡奥斯与科大讯飞平台的双案例对比分析[J]. *南开管理评论*, 2023, 26(3): 15-29.
- [11] FAN X, SHAN X, DAY S, et al. Toward green innovation ecosystems: Past research on green innovation and future opportunities from an ecosystem perspective[J]. *Industrial Management & Data Systems*, 2022, 122: 2012-2044.

- [12] ZHANG R, LIU J, CAO Z. Green innovation ecosystems: Spatial organization mode and associated network renewal under coupling effect[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 422: 138539.
- [13] 李华晶, 倪嘉成. 绿色创业生态系统的概念内涵与研究进路[J]. *研究与发展管理*, 2021, 33(4): 54-68.
- [14] CHIN T, SHI Y, SINGH S K, et al. Leveraging blockchain technology for green innovation in ecosystem-based business models: A dynamic capability of values appropriation[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022, 183: 121908.
- [15] 林艳, 张晴晴, 李慧. 基于时空观的绿色创业生态系统共生演化仿真研究[J]. *学习与探索*, 2018(11): 110-116.
- [16] 张兰, 任杏, 梁毕明. 绿色创新政策赋能企业创新生态系统的构建——基于比亚迪汽车的案例研究[J]. *科学学与科学技术管理*, 2023, 44(11): 111-128.
- [17] 郑玉雯, 张青芬. 共生视角下国家高新区绿色创新生态系统能级提升路径研究[J/OL]. *科技进步与对策*[2023-1-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1224.g3.20231027.1658.008.html>.
- [18] LI Y, SHI Y. Dynamic game analysis of enterprise green technology innovation ecosystem under double environmental regulation[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(17): 11047.
- [19] QIN H, ZOU H, SUN J. Incentive strategy of dual innovation balance in green manufacturing innovation ecosystem: Based on hierarchical structure of innovation subject[J]. *Plos One*, 2023, 18(9): e0291811.
- [20] TANSLEY A G. The use and abuse of vegetational concepts and terms[J]. *Ecology*, 1935, 16(3): 284-307.
- [21] ADNER R, KAPOOR R. Value creation in innovation ecosystems: How the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations[J]. *Strategic Management Journal*, 2010, 31(3): 306-333.
- [22] ADNER R. Match your innovation strategy to your innovation ecosystem[J]. *Harvard Business Review*, 2006, 84(4): 98.
- [23] 吴洁, 彭晓芳, 盛永祥, 等. 专利创新生态系统中三主体共生关系的建模与实证分析[J]. *软科学*, 2019, 33(7): 27-33.
- [24] 袁纯清. 共生理论——兼论小型经济[M]. 北京: 经济科学出版社, 1998.
- [25] 张影, 高长元, 王京. 跨界创新联盟生态系统共生演化模型及实证研究[J]. *中国管理科学*, 2022, 30(6): 200-212.
- [26] 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[J]. *科研管理*, 2017, 38(12): 49-57.
- [27] VOLTERRA V. Fluctuations in the abundance of a species considered mathematically[J]. *Nature*, 1926, 118(2972): 558-560.
- [28] 胡艳玲, 翟丽丽, 高长元, 等. 共生视角下大数据联盟数据资源共享演化机理研究[J]. *管理评论*, 2021, 33(5): 270-280.
- [29] 段文奇, 李辰, 惠淑敏. 基于 Lotka-Volterra 模型的众创空间生态系统共生模式研究[J]. *审计与经济研究*, 2021, 36(3): 107-116.

Symbiotic Evolution and Cultivation Mechanism of Green Innovation Ecosystem

Li Meng¹, Tian Zengrui¹, Lu Yuzhong²

(1. Glorious Sun School of Business and Management, Donghua University, Shanghai 200051, China;

2. School of Business, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215009, China)

Abstract: The construction of green innovation ecosystem is one of the most effective ways to deal with global ecological problems. Accurately grasping the symbiotic evolution law and cultivation mechanism of green innovation ecosystem is of great significance to improve the level of green innovation and sustainable economic and social development. Therefore, the symbiotic evolution model, process, stability and operation mechanism of green innovation ecosystem are studied based on ecosystem theory, symbiosis theory and evolutionary game theory. The aim is to provide theoretical support and decision-making reference for enterprises and related departments to formulate strategies and policies to promote the development of green innovation. The results show that the symbiotic evolution model and stability of the two populations in the green innovation ecosystem are affected by the symbiotic coefficient of the interaction between the two populations and the upper limit of their respective population size. When the symbiosis evolution of green innovation ecosystem reaches equilibrium, different symbiosis models will be formed, among which the reciprocal symbiosis model is the most ideal state of system symbiosis evolution. The symbiotic development of green innovation ecosystem is based on trust mechanism, and realizes symbiotic cycle under the action of sharing mechanism, competition and cooperation mechanism, partner selection mechanism and value distribution mechanism.

Keywords: green innovation ecosystem; green value co-creation; symbiotic evolution; symbiotic cultivation mechanism