

孟中印缅科技合作演化博弈研究

邓磊

云南师范大学, 云南 昆明
Email: 2695035716@qq.com

收稿日期: 2021年4月15日; 录用日期: 2021年5月19日; 发布日期: 2021年5月26日

摘要

受古代丝路之路思想影响, 孟中印缅经济走廊的科技合作从2013年后就逐渐被提上了议程。本文主要采用研究孟中印缅科技合作的演化博弈路径。首先, 根据前提假设建立适应度函数, 进一步得出复制动态方程。其次对各国进行综合的演化均衡分析, 并探究在不同初始概率下各国科技合作演化博弈的情形。然后通过仿真模拟的方式对该系统的演化博弈路径进行分析, 并采用例证方式来验证该算法的可行性。最后, 给出孟中印缅经济走廊科技合作的政策建议。

关键词

孟中印缅科技合作, 复制动态方程, 演化均衡, 演化博弈, 仿真模拟

A Study on the Evolutionary Game of BCIM Science and Technology Cooperation

Lei Deng

Yunnan Normal University, Yunnan Kunming
Email: 2695035716@qq.com

Received: Apr. 15th, 2021; accepted: May 19th, 2021; published: May 26th, 2021

Abstract

Influenced by the ancient Silk Road thought, the science and technology cooperation of BCIM economic corridor has been put on the agenda since 2013. This paper mainly uses the evolutionary game path to study the science and technology cooperation of BCIM. Firstly, according to the premise hypothesis, the fitness function is established, and the complex dynamic equation is further obtained. Secondly, the evolution equilibrium of each country is analyzed comprehensively, and the evolution of science and technology cooperation under different initial probabilities is ex-

explored. Then the evolutionary game path of the system is analyzed by simulation, and the feasibility of the algorithm is verified by examples. Finally, the policy suggestions of science and technology cooperation in the BCIM economic corridor are given.

Keywords

BCIM Science and Technology Cooperation, Replication Dynamic Equation, Evolutionary Equilibrium, Evolutionary Game, Analogue Simulation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

合作现象一直贯穿于动物群体和人类社会中。在动物层面，有狼的群体捕猎活动，犀牛鸟与犀牛之间的合作以及蜜蜂集体采蜜行为等等。演化博弈理论[1] [2]，即将经典的博弈理论和生物进化论相结合的桥梁。演化博弈理论并不要求局中人完全理性，也不要求完全信息条件，即有限理性论[3] [4]。

近年来国内外对演化博弈论的研究成为新的热点。演化思想的萌芽要追溯到 20 世纪中叶，马歇尔指出，演化的概念比博弈静态分析更复杂[5]。阿尔钦建议在经济分析中用自然选择代替收益最大化，随后发展到纳什均衡[6] [7]，为演化博弈论的发展提供了全新的思路。纳什的“群体行为解释”被认为是最早的演化博弈思想理论成果[8] [9]。温布尔系统完整地总结了演化博弈论[10] [11]。巴苏研究了城市居民的规范和演化之间的关系，认为规范的长期存活依赖于演化过程和自然选择[12]。

而国内学者对演化博弈论方面的研究较少，孙庆文等对不完全信息条件下演化博弈均衡的稳定性进行了分析[13]。吴昊，杨梅英等对合作竞争博弈中的复杂性与演化均衡的稳定性进行了探讨[14]。张良桥论述了经典博弈理论与进化博弈理论之间的关系[15]。汪勇杰研究政府补贴机制下的演化博弈系统，发现策略跃迁的临界值[16]。孙文娟、王宏宇等研究了我国在国际市场上能源合作的演化博弈理论[17] [18]，提出了国际能源合作动态演化过程的非线性特征。

中国与孟加拉国、印度和缅甸在地域、资源、文化等方面有着良好的合作优势，近年来随着中国与这些国家在经贸合作领域的不断深入，合作规模持续扩大，双边数字化经济合作日益密切。因此，也受到众多国内学者的青睐。李新燕从孟中印缅经济走廊地缘角度来考虑国家间的经济合作问题[19]。张剑波，李常有等人以“一带一路”为背景，对云南省近年开展的一系列科技创新行动进行研究[20]。

本文主要研究了孟中印缅科技合作的演化博弈趋势和可能性的应用，主要通过建立复制动态方程，有针对性地对演化过程进行稳定性分析，进而探究国家间科技合作的博弈路径，随后分析影响孟中印缅 4 个国家科技合作发展前景的因素，并用 python 进行数值模拟，以验证分析结论的合理性。

2. 适应度函数

为了方便研究，先对所涉及的国家间科技合作策略做离散化处理，采用二分法策略，即{合作，不合作}。将第一个国家记为国别 A，另一个国家记为国别 B。基于有限理性理论，对该博弈问题进行分析之前，先作出一些基本假设。

假设 1：将孟中印缅任意取出两国分为两个类别，即国别 A 和国别 B，构建一个二维的合作主体博弈，假设任何国家进入该博弈系统都可选择两种策略，即合作和非合作，且参与者都是有限理性的。

假设 2: 设 U_A 和 U_B 分别为两国采取合作策略时的收益, E_A 和 E_B 分别为两国采取不合作策略时的收益。设 I_A 和 I_B 分别为两国独立开展科技活动的成本, 记两国的内生能力系数分别为 k_A 和 k_B ($k_A, k_B > 0$)。用 $V_i (V_i = I_i k_i, i \in A, B)$ 表示国家科技创新收益。

假设 3: 两国进行科技合作时, 记 c_A 和 c_B 科技合作成本科技成本系数; C_i 为选择合作策略的国家预合作成本, 且 $C_i = c_i I_i (i \in A, B)$; 设 r_A 和 r_B ($r_A, r_B > 0$) 分别为科技合作收益系数, 取 Q 表示参与科技合作的额外收益, 且 $Q_i = r_i I_i (i \in A, B)$ 。

假设 4: 记 $G_i (i \in a, b)$ 为选择不合作策略的国家所得到的惩罚。设两国科技合作时的合作风险为 $D_i (i \in A, B)$, 一般用合作风险系数和信任水平刻画合作风险。可记合作风险系数为 $l_i (i \in A, B)$, 信任水平 $t_{ij} (t_{ij} \in [0, 1], (i, j \in A, B), i \neq j)$, 易得两国的合作风险分别表示为

$$D_A = (1 - t_{AB}) l_A r_A I_A, \quad D_B = (1 - t_{BA}) l_B r_B I_B.$$

根据上述假设, 进一步得到适应度函数, 见表 1。

Table 1. Fitness function
表 1. 适应度函数

		国别 B	
		合作	不合作
国别 A	合作	$V_A + U_A + Q_A - C_A - D_A,$ $V_B + U_B + Q_B - C_B - D_B$	$U_A + V_A - C_A,$ $V_B + E_B - G_B$
	不合作	$V_A + E_A - G_A,$ $U_B + V_B - C_B$	E_A, E_B

3. 复制动态方程

假设国别 A 选择进行合作概率为 p , 选择进行非合作概率为 $1 - p$; 国别 B 选择合作概率为 q , 选择不合作概率为 $1 - q$, 且上述概率均表示时间的函数。

根据表 1 适应度函数知, 国别 A 选择合作策略时能够获得的预期收益为

$$F_{A\text{合作}} = q(V_A + U_A + Q_A - C_A - D_A) + (1 - q)(V_A + U_A - C_A)$$

相应的国别 A 选择不合作时能够获得的预期收益为

$$F_{A\text{不合作}} = q(V_A + E_A - G_A) + (1 - q)E_A$$

平均收益则为

$$\bar{F}_A = pF_{A\text{合作}} + (1 - p)F_{A\text{不合作}}$$

整理得到

$$\bar{F}_A = pq(Q_A + G_A - D_A - V_A) + p(V_A + U_A - C_A - E_A) + q(V_A - G_A) - E_A$$

同理, 可分别计算出国别 B 采取合作和不合作的策略的期望函数:

$$F_{B\text{合作}} = p(V_B + U_B + Q_B - C_B - D_B) + (1 - p)(V_B + U_B - C_B)$$

$$F_{B\text{不合作}} = p(V_B + E_B - G_B) + (1 - p)E_B$$

平均收益为

$$\begin{aligned} \bar{F}_B &= qF_{B\text{合作}} + (1-q)F_{B\text{不合作}} \\ &= pq(Q_B + G_B - D_B - V_B) + q(V_B + U_B - C_B - E_B) + p(V_B - G_B) - E_B \end{aligned}$$

根据复制动态方程 $\frac{dp}{dt} = p(F_i - \bar{F}_i)$ ，国别 A 选择合作策略的复制动态方程为

$$\frac{dp}{dt} = p(1-p)[q(Q_A + V_A - D_A - G_A) + V_A + U_A - C_A - E_A] \tag{1}$$

同理，国别 B 选择合作策略时的复制动态方程为

$$\frac{dq}{dt} = q(1-q)[p(Q_B + V_B - D_B - G_B) + V_B + U_B - C_B - E_B] \tag{2}$$

令(1), (2)两式为零，即选择该策略的变化率为 0 时，表明演化过程达到相对的稳定状态，解得 5 个局部均衡点，分别为(0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1), (x^{\wedge}, y^{\wedge}) 。其中，

$$\begin{aligned} p^{\wedge} &= \frac{C_B + E_B - V_B - U_B}{Q_B + V_B - D_B - G_B}, \\ q^{\wedge} &= \frac{C_A + E_A - V_A - U_A}{Q_A + V_A - D_A - G_A}. \end{aligned}$$

4. 演化均衡分析

记上述演化博弈复制动态方程的 Jacobian 矩阵为 J ，再记 $G_1 = \frac{dp}{dt}$ ， $G_2 = \frac{dq}{dt}$ ，那么

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial G_1}{\partial p} & \frac{\partial G_1}{\partial q} \\ \frac{\partial G_2}{\partial p} & \frac{\partial G_2}{\partial q} \end{vmatrix}$$

其中

$$\frac{\partial G_1}{\partial p} = (1-2p)[q(Q_A + V_A - D_A - G_A) + V_A + U_A - C_A - E_A];$$

$$\frac{\partial G_2}{\partial p} = q(1-q)[Q_B + V_B - D_B - G_B];$$

$$\frac{\partial G_1}{\partial q} = p(1-p)[Q_A + V_A - D_A - G_A];$$

$$\frac{\partial G_2}{\partial q} = (1-2q)[p(Q_B + V_B - D_B - G_B) + V_B + U_B - C_B - E_B].$$

令 $W_i = Q_i + V_i - D_i - G_i$ ， $Z_i = V_i + U_i - C_i - E_i$ ， $(i \in A, B)$

得到关于的行列式 $\det J$ 和迹 $\text{tr} J$

$$\det J = (1-2p)(qW_A + Z_A)(1-2q)(W_B + Z_B) - pq(1-p)(1-q)W_A W_B$$

$$\text{tr} J = (1-2p)(qW_A + Z_A) + (1-2q)(pW_B + Z_B)$$

上述两式只需确定符号，便可对博弈稳定性进行探究。

见表 2， $H_2(0,1)$ ， $H_3(1,0)$ ， $H_4(1,1)$ 代表 3 个局部稳定点，对应的策略是演化稳定策略(ESS)，即

演化博弈后两国最终要么选择完全合作策略, 要么选择完全不合作策略; $H_1(0,0)$ 则表示临时的平稳状态, 其对应的策略选择是不稳定的, 容易受到其他因素的影响, 从而向其它稳定状态演化; $H_5(p^{\wedge}, q^{\wedge})$ 表示鞍点, 代表博弈过程的一个临界状态点。

Table 2. Analysis of local stability of evolution between countries
表 2. 国家间演化局部稳定性分析

局部均衡点	det J	tr J	结果
$H_1(0,0)$	+	+	不稳定点
$H_2(0,1)$	-	+	ESS
$H_3(1,0)$	-	+	ESS
$H_4(1,1)$	+	-	ESS
$H_5(p^{\wedge}, q^{\wedge})$	-	0	鞍点

见图 1, 由于选择参加合作的初始概率的不同, 将会影响演化博弈模型稳定性运行。图中的辅助线可将该相位图大致分开, 其交点表明两国科技合作的概率演化过程存在临界值(鞍点), 该点明显是不稳定的, 双方合作的概率最终会向稳定点(0, 0)和(1, 1)演化。

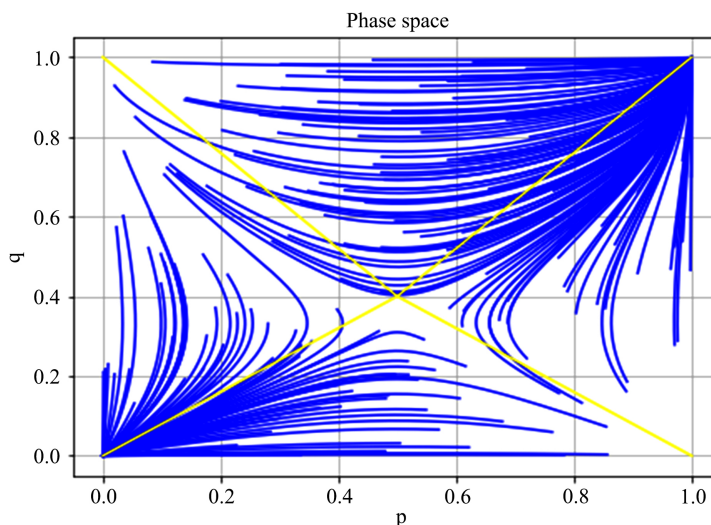


Figure 1. Phase diagram
图 1. 相位图

5. 演化博弈仿真模拟

5.1. 不同初始概率下科技合作的系统演化情形

假设其他参数不变, 设定演化博弈双方的初始参与意愿相等, 且对双方不同参与意愿变化下的策略选择进行仿真。对于 4.3 中涉及到的(1)和(2)两式, 可用 python 统计软件进行微分拟合, 讨论孟中印缅科技合作演化的发展过程。为了简化计算, 令

$$M_A^1 = Q_A + V_A - D_A - G_A, \quad M_A^2 = V_A + U_A - C_A - E_A;$$

$$M_B^1 = Q_B + V_B - D_B - G_B, \quad M_B^2 = Q_B + V_B - D_B - G_B.$$

设定两国合作次数为 720 步(时间), 拟合两国在不同的初始合作概率条件下的演化博弈结果。合作得以维持的前提是双方合作产生剩余获利, 取上述参数分别为 $M_A^1 = 6$, $M_A^2 = -2$, $M_B^1 = 4$, $M_B^2 = -2$ 。给定两国初始合作概率, 系统演化结果如下:

见图 2, 这表明两国科技合作在不同初始合作概率情况下选择的策略也不尽相同。一般而言, 初始合作概率越高, 越有利于双方稳定开展科技合作, 而初始合作概率亦会影响演化路径长度。

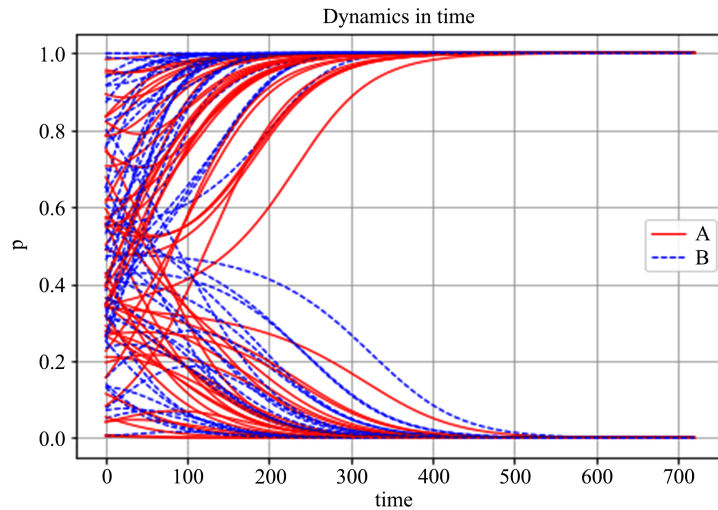


Figure 2. Game process of system evolution
图 2. 系统演化博弈过程

见图 3, 双方初始参与意愿无论处于何种状态, p, q 均收敛于 1, 最终达到稳定状态(1, 1)。增加国家 B 初始参与与合作意愿概率, q 收敛于 1 的速度变快, 降低国家 A 初期合作概率, 相应的 q 收敛于 1 的速度变慢。这表明不同的初始概率会导致不同的演化博弈趋于不同的稳定状态。

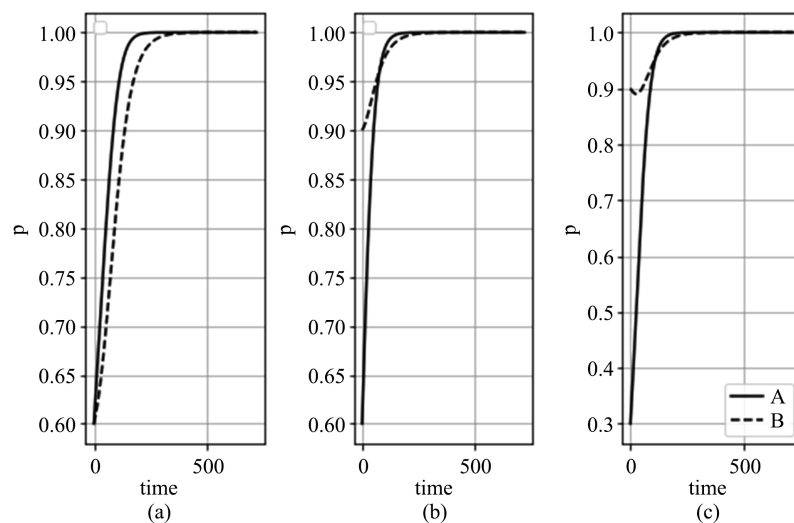


Figure 3. The evolution of different initial probabilities
图 3. 不同初始概率的演化情况

5.2. 中国与孟加拉国、印度以及缅甸的合作演化博弈路径

有合作的地方，就必然存在风险。因此，各个国家就会根据实际风险情况来评估是否参与合作。假设前期合作成本相同，由于孟中印缅 4 个国家文化差异十分明显，可用 6-维 Hofstede 的文化距离 CD_j 来刻画初始合作意愿，文化距离反映两国之间的文化差异程度。其表达式为

$$CD_j = \sum_{i=1}^6 \left\{ (I_{ij} - I_{iu})^2 / V_i \right\} / 6$$

其中， u 表示母国， CD_j 表示母国与 j 国的文化距离， I_{ij} 表示 j 国在第 i 个文化维度的得分， I_{iu} 代表母国在第 i 个文化维度的得分， V_i 是第 i 个文化维度的方差。其表达式为

$$T_{ij} = \frac{CD_j * k_i}{D_{ij}}$$

其中， D_{ij} 代表两国的地理距离， k_i 表示各国科技知识获取量化得分。

关于文化距离维度的数据来源于百度文库。具体计算方法是先根据收集到的 6-文化维度得分计算相应维度的方差，并与文化维度得分合并计算出文化距离。将上述文化距离加上地理距离和科技知识获取得分进行综合计算信任指数，结果见表 3:

Table 3. The cultural distance between China and other countries
表 3. 中国与各国的文化距离

国别 \ 指数	与中国的文化距离	中国与 A 国的合作信任指数	A 国与中国的合作信任指数
中国	—	—	—
孟加拉国	2.02	0.41	0.35
印度	2.04	0.61	0.56
缅甸	1.87	0.57	0.46

定义两国科技合作的信任指数，并以上表计算得到的信任指数作为初期合作概率，并以 720 步作为时间，分别画出中国与其他三个国家进行科技合作演化博弈时路径图。

中国与孟加拉国科技合作的初期概率不高，均低于 0.5，说明两国合作意愿不够强烈，经过一段时间后发展为稳定的不合作状态，见图 4。文化差异也比较大，孟加拉国综合国力比较弱，而在近半个世纪来双方的合作关系已经得到了迅速发展，于 1978 年签订了科技合作协定，但受限于印度的影响，中孟科技合作没有得到更深层次的发展。

中印两国的初期合作概率较高，均大于 0.5，并在较短的时间段内达到博弈的稳定状态，见图 5。这是两国基于经济利益最大化的考虑，长时间共同协商争取到的有利于两国和平发展的结果。众所周知，两国文化的差异巨大，使得中印关系历来都是比较微妙的。但是随着中国改革开放后的高速发展，本国的综合国力和经济实力不断提升，让中印关系逐渐缓和，各方面的合作计划逐渐被提上日程。2010 年，由美国高盛公司提出的，发展到 2010 年由巴西、俄罗斯、印度、中国和南非组成的“金砖五国”概念，预示着中印合作意识进一步提高。

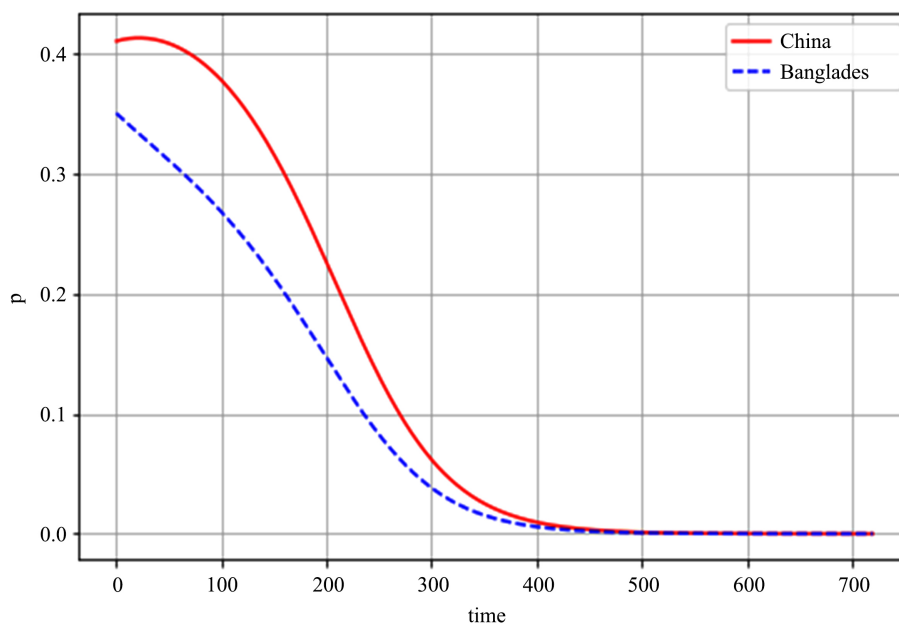


Figure 4. Evolutionary game chart of China and Bangladesh

图 4. 中国与孟加拉国的演化博弈图

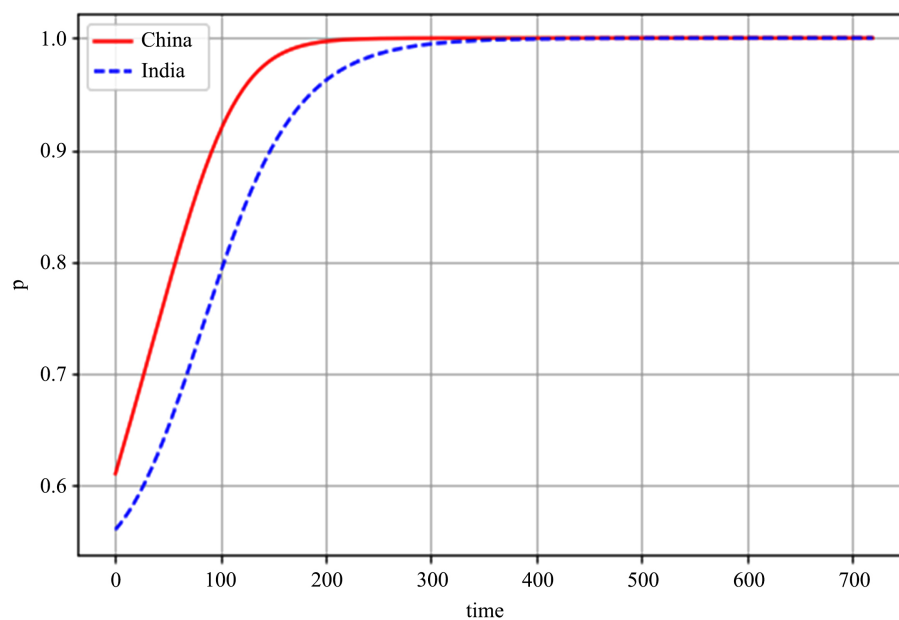


Figure 5. Evolutionary game diagram of China and India

图 5. 中国与印度的演化博弈图

中缅两国科技合作初期合作概率差异明显，一个在 0.5 之上，一个在 0.5 之下，但也能在一段时间内达到合作博弈的稳定状态，见图 6。中缅两国于 1950 年 6 月 8 日正式建交，并于 2000 年在缅甸仰光签订了科学技术合作协定，近年来的内外压力促使缅甸政府考虑政策调整，迫切需要有力外援来改善缅甸的经济状况。中国一直积极欢迎缅甸参与“一带一路”经济发展热潮，2017 年 11 月中国外长出访缅甸期间提出“共建中缅经济走廊”倡议，得到缅方积极响应。

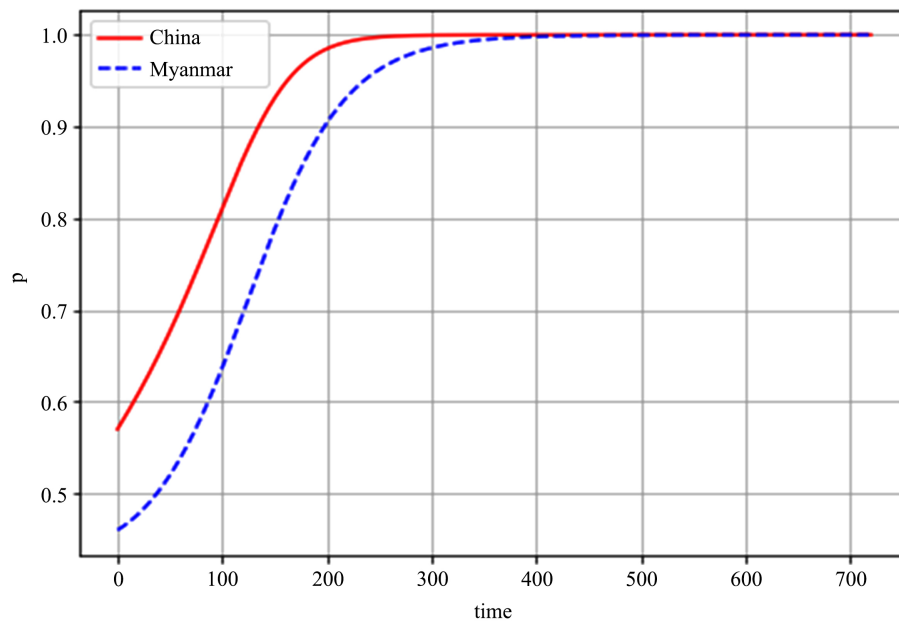


Figure 6. Evolutionary game chart of China and Myanmar
图 6. 中国与缅甸的演化博弈图

6. 结论与建议

本文主要研究的是基于演化博弈在孟中印缅科技合作的应用，具体为结合所给假设建立适应度函数，进一步得到复制动态方程，再针对演化博弈进行稳定性分析，最后通过仿真模拟的方法验证了两国进行科技合作的演化博弈路径，并以文化距离刻画信任指数做变量，探究中国与孟加拉国、印度和缅甸的演化路径，为孟中印缅经济走廊的科技合作研究提供理论支撑。

在孟中印缅的科技合作上，首先要深度发掘科技创新点，积极发挥我国的科技优势，拓展中国与各国之间的合作领域，依托各国产业特点形成不同合作领域上的多层次互补。此外还需逐步提升政府的引领作用，建立及完善对外科技合作体系以减少博弈过程所面临的阻碍，降低博弈临界值。同时还要选择相对科技优势领域、合作收益优势项目开展合作并大力推进实用科学技术在南亚、东南亚国家间的示范应用与推广，引发这些国家在科技方面的合作积极性，突破博弈前期的不合作均衡。最后不断创新多边科技合作的稳定发展，以实现中国与孟加拉国、印度和缅甸 3 个国家的长期稳定的互利互惠、共同发展的局面。

参考文献

- [1] Bauso, D. (2016) Game Theory with Engineering Applications. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia. <https://doi.org/10.1137/1.9781611974287>
- [2] Garde, R., Ewald, J., Kovács, Á.T. and Schuster, S. (2020) Modelling Population Dynamics in a Unicellular Social Organism Community Using a Minimal Model and Evolutionary Game Theory. *Open Biology*, **10**, Article ID: 200206. <https://doi.org/10.1098/rsob.200206>
- [3] Hsee, C.K., Zeng, Y., Li, X. and Imas, A. (2021) Bounded Rationality in Strategic Decisions: Undershooting in a Resource Pool-Choice Dilemma. *Management Science*, **2**, 3814-3849. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2020.3814>
- [4] Li, X. and Li, J. (2021) A Freight Transport Price Optimization Model with Multi Bounded-Rational Customers. *Transportation*, **48**, 477-504. <https://doi.org/10.1007/s11116-019-10064-0>
- [5] Marshall, A. (1948) Principles of Economics. 8th Edition, Macmillan, London.
- [6] Zou, Y., Huang, B., Meng, Z. and Ren, W. (2021) Continuous-Time Distributed Nash Equilibrium Seeking Algorithms

- for Non-Cooperative Constrained Games. *Automatica*, **127**, Article No. 109535. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2021.109535>
- [7] Liu, L.P. and Jia, W.S. (2021) An Intelligent Algorithm for Solving the Efficient Nash Equilibrium of a Single-Leader Multi-Follower Game. *Mathematics*, **9**, Article No. 454. <https://doi.org/10.3390/math9050454>
- [8] 韩帅, 陈红, 龙如银. 基于 PT-MA 理论的煤矿安全群体行为演化博弈分析[J]. 运筹与管理, 2017, 26(11): 77-86.
- [9] 王元卓, 于建业, 邱雯, 沈华伟, 程学旗, 林闯. 网络群体行为的演化博弈模型与分析方法[J]. 计算机学报, 2015, 38(2): 282-300.
- [10] Zhang, R., Wei, Z., Gu, H. and Qiu, S. (2021) Behavior Evolution of Multi-Group in the Process of Pedestrian Crossing Based on Evolutionary Game Theory. *Sustainability*, **13**, Article No. 2009. <https://doi.org/10.3390/su13042009>
- [11] Tao, Z., Wang, B. and Shu, L. (2021) Analysis on the Procurement Cost of Construction Supply Chain based on Evolutionary Game Theory. *Arabian Journal for Science and Engineering*, **46**, 1925-1940. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-05261-4>
- [12] Kaushik, B. (1995) Civil Institutions and Evolution: Concepts, Critique and Models. *Journal of Development Economics*, **46**, 19-33. [https://doi.org/10.1016/0304-3878\(94\)00046-F](https://doi.org/10.1016/0304-3878(94)00046-F)
- [13] 孙庆文, 陆柳, 严广乐, 车宏安. 不完全信息条件下演化博弈均衡的稳定性分析[J]. 系统工程理论与实践, 2003, 23(7): 11-16.
- [14] 吴昊, 杨梅英, 陈良猷. 合作竞争博弈中的复杂性与演化均衡的稳定性分析[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 24(2): 90-94.
- [15] 张良桥, 冯从文. 理性与有限理性: 论经典博弈理论与进化博弈理论之关系[J]. 世界经济, 2001, 24(8): 74-78.
- [16] 汪勇杰, 陈通, 邓斌超. 政府补贴机制下研发外包的演化博弈分析[J]. 管理工程学报, 2017, 31(2): 137-142.
- [17] 孙文娟. 中亚能源合作演化博弈分析[J]. 开发研究, 2011(3): 133-136.
- [18] 王宏宇. 中国新能源企业对外直接投资研究[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古财经大学, 2014.
- [19] 李新燕. 孟中印缅经济走廊地缘经济合作研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 云南师范大学, 2019.
- [20] 张剑波, 李常有, 孙吉红, 周正, 沈颖鸣, 蔡名飞, 张乾隆. “一带一路”创新合作背景下云南科技创新合作行动方案研究——以孟中印缅科技创新合作为例[J]. 经济师, 2018(11): 135-137.