中国农业大学学报 2026,31(11):14-33
Journal of China Agricultural University http://zgnydxxb.ijournals.cn

张翔玮,钱佰慧,逯一哲,王丹.基于三螺旋理论的农业政产学研协同创新三方演化博弈分析[J].中国农业大学学报,2026,31(11):14-33.
ZHANG Xiangwei, QIAN Baihui, LU Yizhe, WANG Dan. Tripartite evolutionary game analysis of government-industry-university collaborative innovation in agriculture based on the Triple Helix Theory[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2026, 31(11): 14-33.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2026.11.02

基于三螺旋理论的农业政产学研协同创新三方演化博弈分析

张翔玮[1,2] 钱佰慧[3] 逯一哲[2,4] 王 丹[2,5*]

(1.国家信息中心,北京 100045;
2.东北农业大学 经济管理学院,哈尔滨 150030;
3.哈尔滨商业大学 经济管理学院,哈尔滨 150028;
4.大庆师范学院 经济管理学院,大庆 163712;
5.东北农业大学 现代农业发展研究中心,哈尔滨 150030)

摘 要 为揭示农业政产学研协同创新中政府、涉农企业与学研机构三方主体策略选择的演化规律,基于三螺旋理论,运用三方演化博弈方法,从协同成本、协同收益、协同激励和违约惩罚4个方面探究其对三方主体间农业政产学研协同创新关系演化的影响。结果表明:1)创新成本及其分摊比例是影响协同稳定性的关键因素,涉农企业对此高度敏感,而学研机构响应滞后;风险成本在未超过阈值时非影响主体决策的核心变量,三方主体更关注确定性成本与收益。2)三方主体对协同收益的诉求存在差异,政府发挥维持协同稳定的宏观调控作用,涉农企业注重短期经济效益,学研机构更注重非经济因素。3)相较于正向激励系数,协同创新次数的增加对促进协同具有更显著的影响,政府的资金与政策激励需针对涉农企业与学研机构的不同响应模式进行差异化设计。4)违约金水平较低时主要依赖政府干预维持稳定,涉农企业对自身违约金高度敏感,学研机构同时关注双方违约金约束,且收益折损与项目进度的影响呈现阶段性特征。综上,农业政产学研协同创新的稳定运行有赖于合理分摊创新成本、协调主体收益诉求,并根据不同主体和协同阶段实施差异化激励与约束。

关键词 农业政产学研;协同创新;三螺旋理论;三方演化博弈;策略选择
中图分类号 F323.3;F204 **文章编号** 1007-4333(2026)11-0014-20 **文献标志码** A

Tripartite evolutionary game analysis of government-industry-university collaborative innovation in agriculture based on the Triple Helix Theory

ZHANG Xiangwei[1,2], QIAN Baihui[3], LU Yizhe[2,4], WANG Dan[2,5*]

(1. State Information Center, Beijing 100045, China;
2. School of Economics and Management, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;
3. School of Economics and Management, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China;
4. School of Economics and Management, Daqing Normal University, Daqing 163712, China;
5. Modern Agricultural Development Research Center, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract To identify the evolutionary dynamics of strategic decision-making among three parties-government, agriculture-related enterprises, and university-in the context of agricultural collaborative innovation integrating government, industry, and university, this study employed a tripartite evolutionary game model based on the

收稿日期:2025-10-23;接受日期:2026-05-12
基金项目:国家社会科学基金项目(23AJY016)
第一作者:张翔玮(ORCID:0009-0006-9721-9704),博士后,主要从事农业科技创新研究,E-mail:zhangxw0317@126.com
通讯作者:王丹(ORCID:0000-0002-4256-0474),副教授,主要从事农业科技创新研究,E-mail:wangdanjlu@126.com

Triple Helix Theory to investigate the impacts of collaboration costs, benefits, incentives, and breach penalties on the evolution of relationships among the three parties in agricultural government-industry-university collaborative innovation. The results indicate that: 1) Innovation costs and their allocation are key factors affecting collaborative stability. Agribusinesses show high sensitivity to these costs, whereas academic institutions are less responsive. Risk costs remain secondary unless the threshold is exceeded, as all parties prioritize deterministic costs and benefits. 2) The three parties differ in their demands for collaborative benefits. The government exerts macro-regulatory influence to sustain collaboration, agribusinesses focus on short-term economic benefits, while academic institutions emphasize non-economic factors. 3) Compared to the positive incentive coefficient, the increase in the frequency of collaborative innovation exerts a more significant promoting effect on synergy innovation. The government's financial and policy incentives should be differentially designed according to the distinct response patterns of agribusinesses and academic institutions. 4) When penalty levels are low, system stability depends heavily on government oversight. Agribusinesses are particularly sensitive to penalties targeting themselves, while academic institutions are influenced by penalties applied to both sides. Furthermore, the effects of benefit loss and project progress display distinct phase-dependent characteristics. Taken together, stable government-industry-university collaborative innovation in agriculture requires a reasonable allocation of innovation costs, the reconciliation of parties' benefit expectations, and differentiated incentives and constraints across actors and stages of collaboration.

Keywords　agricultural government-industry-university; collaborative innovation; Triple Helix Theory; tripartite evolutionary game; strategy selection

2025年1月，中央一号文件明确提出“推进农业科技力量协同攻关”的重点任务[1]，旨在打通农业科技创新堵点、理顺创新资源配置关系，夯实农业现代化科技底座。然而，当前中国农业科技创新体系仍长期面临农业科技与产业“两张皮”、关键核心技术“卡脖子”、农业科技创新机制不健全等困境[2-4]。在中央一号文件专项部署落地推进的背景之下，破解上述问题的现实紧迫性愈发凸显，亟须通过制度创新打破农业科技创新要素流动壁垒，提升农业科技创新体系整体效能。农业政产学研协同创新作为农业科技创新管理的新模式，是解决教育、科技与经济社会发展联系不紧密问题的首要选择，已成为国内外农业科技创新管理研究的新焦点。然而，中国的农业政产学研协同创新实践中仍存在目标认知差异、机会主义行为、利益联结松散等深层制度性障碍[5-6]。破解这些障碍，需回归农业政产学研协同创新的本质属性，即多元有限理性主体间的协同互动[7-8]。对这一本质属性的深入剖析，需要同时把握其宏观制度结构和微观行为机理。

三螺旋理论是宏观层面研究政府、产业与大学之间关系的重要理论。该理论认为，政府、产业与大学在创新过程中以经济发展需求为纽带，通过正式与非正式合作持续互动，形成相互交叉影响、螺旋上升的“三重螺旋”关系[9]。已有研究基于该理论，或分析政产学研合作模式，提出应重点发展“组建研发实体”等高级模式[10]；或利用申请发明专利数据测度政府、产业与大学之间关系的紧密程度[11]；或探讨组织实践对三螺旋创新模式转型的促进或阻碍作用[12]；或分析制度变迁对各主体合作互动关系的影响[13]；或构建动态演化模型分析中国不同地区政产学研协同创新的演化路径[14]。目前，三螺旋理论已被应用于3D打印技术、纳米科学等具体研究领域，但农业领域的相关研究较为有限，仅杨阳等[15]利用中国农业科技31年的专利数据，揭示城市尺度农业政产学研机构间合作创新的网络特征及其演化机理。

三方演化博弈方法是研究微观层面有限理性的多元主体在长期重复博弈中策略动态变化的工具，能够有效刻画主体有限理性、策略动态调整与系统均衡演进的特征。Leydesdorff等[16]将该方法引入三螺旋理论，推动其从新制度主义的网络关系模型向新演化模型拓展。目前，仅有少量研究基于三螺旋理论并采用三方演化博弈方法开展初步探索[17-19]，关注主体异质性与复杂环境对策略选择的影响，并注重动态仿真分析。吴洁等[5]发现政府、企业与大学受彼此参与意愿的影响程度不同，企业对惩罚力度和收益分配更加敏感。何寿奎等[20]进一步指出，政府监管意愿对企业策略选择影响更显

著,而学研方对政府奖惩措施和消极合作机会损失更敏感。Zan等[21]引入代理耦合度与群体规模变量,发现企业与大学规模均衡时群体规模效应更显著,且政府激励措施比惩罚更有效。Li等[22]从空间博弈视角证明,增加协同收益、提升收益分配公平性与违约惩罚可巩固合作关系。Zhong等[23]结合模糊理论,发现声誉收益与绿色技术创新联盟稳定性呈正相关,产品绿色化、政府补贴与长期利益等会加速联盟演化。然而,现有研究多聚焦于一般性创新情境,针对农业领域的研究较少,仅Hou等[24]基于中国农业现状,分析涉农主体参与意愿、参与成本与违约金对协同创新的影响。

综上,现有研究虽为剖析政产学研协同创新提供了重要基础,但仍存在以下3点不足:一是农业政产学研协同创新作为重要分支,尚处于研究初级阶段,成果相对匮乏,在理论应用、方法创新与现实问题回应上仍存不足;二是三螺旋理论的既有研究多聚焦宏观层面主体互动关系,以质性研究为主,难以捕捉微观主体策略的动态变化与复杂行为逻辑;三是三方演化博弈方法的现有研究普遍停留在“协同”和“不协同”的简单二元假设,未将中途违约、协同激励与风险成本等要素纳入模型,难以如实反映政产学研协同创新的复杂情况。因此,本研究基于三螺旋理论,运用三方演化博弈方法,从协同成本、协同收益、协同激励和违约惩罚4个方面探究其对主体间协同创新关系演化的影响,旨在厘清三方主体决策机理、识别协同创新制约因素,以期平衡多方主体的利益诉求、化解多方主体间的协同壁垒,为政策制定提供理论参考与决策依据。

与既有研究相比,本研究可能的边际贡献在于:一是结合三螺旋理论与三方演化博弈方法,构建兼具理论整合性与场景针对性的农业政产学研三方主体演化博弈模型,突破“宏观理论与微观行为脱节”和“通用模型与农业特性割裂”的双重困境;二是在传统模型静态策略选择的基础上,结合农业科技创新多环节、长周期的复杂情境,选择“继续协同”和“中途违约”2种策略,并注重策略调整的动态性,克服现有模型中“一刀切”式违约假设的局限;三是结合农业科技创新的特殊性,优化现有模型对风险成本的简化处理、引入政府资金投入的挤出效应、考虑多元联动对协同收益的放大机制,使模型设定更贴近现实情境。

1 农业政产学研协同创新三方演化博弈模型构建

1.1 理论分析

农业政产学研协同创新是涉农企业和学研机构在政府参与下,依托自身资源与能力,以优势互补、合作共赢、风险共担为原则,围绕农业农村科技发展需求,打破部门、区域、学科界限,打通多元主体合作路径,推动农业科技创新要素自由流动与高效整合的农业科技创新管理新范式[25]。本研究基于平衡型三螺旋理论模型,结合农业政产学研协同创新内涵,创新性地构建了农业政产学研协同创新理论模型,见图1。

政府、涉农企业和学研机构在保持自身固有属性的基础上,通过持续互动形成政企、政学和企学3个二元协同机制。一是政企协同机制。政府通过规划引导、政策激励和公共服务,为企业创新明确方向并降低制度性交易成本;涉农企业依据市场需求组织技术开发和成果应用,同时将产业需求与实施效果反馈至政府,推动政策供给与市场变化相互适应。二是政学协同机制。政府围绕农业公共需求和关键科技问题配置科研资源,为科研活动提供制度与经费支持;学研机构通过基础研究、技术攻关和决策咨询,为政府识别科技需求、制定创新政策和改进公共治理提供专业支撑。三是企学协同机制。涉农企业将生产经营中的技术需求转化为研发任务,并提供资金、数据、试验基地和应用场景;学研机构发挥知识与人才优势开展联合攻关,推动科研成果在企业验证和转化,企业的应用反馈又促进技术持续改进。

缺乏协同时,系统处于单螺旋隔离状态。三方固守各自的组织边界,农业科技创新资源难以跨主体流动,政府规划、产业运行与学研活动彼此分离。协同若仅局限于2个主体,系统将陷入双螺旋失稳状态,具体表现为政企协同缺少智力支持、政学协同脱离产业需求和企学协同缺乏政府引导。无论是单螺旋隔离还是双螺旋失稳,均难以充分释放协同效益,进而制约农业科技创新体系整体效能。要实现系统效能帕累托最优,需要构建三方主体深度融合的三重螺旋创新系统。基于三螺旋理论,三方主体间的协同互动构成政策链、产业链与创新链互相交织、螺旋上升的三重螺旋创新系统。三者间的互动融合关

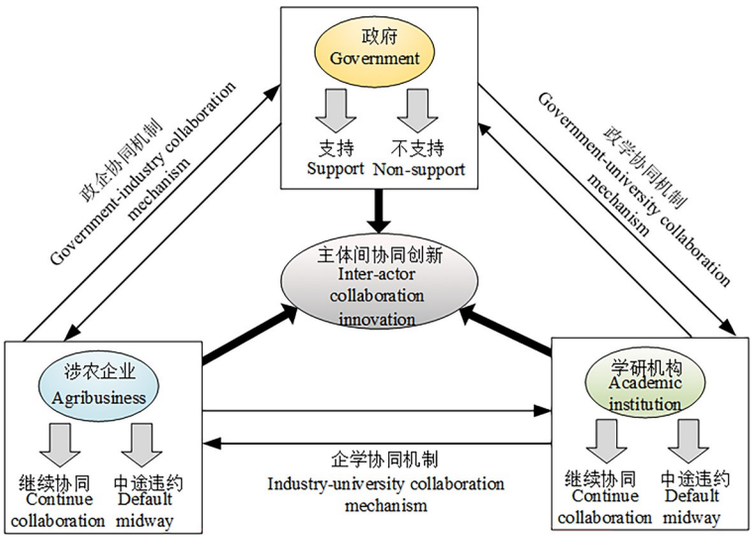


图 1　基于三螺旋理论的农业政产学研协同创新理论模型

Fig. 1　Theoretical model of government-industry-university collaborative innovation in agriculture based on the Triple Helix Theory

系越紧密，政策引导力、产业转化力与知识创新力的耦合效应越显著，越有利于知识、技术、人才和资金等异质性农业科技创新资源的不断整合和农业科技创新系统的螺旋上升。由此形成的协同合力有助于跨越农业科技成果转化中的“死亡之谷”和“达尔文海”，并依托知识溢出与技术创新，推动农业政产学研科技创新从浅层合作转向深度融合，使政策目标、产业需求与学术研究在互动中调适，为农业强国建设提供持续的创新动力。

1.2　模型基本假设

政府、产业和大学的三重螺旋关系是一种具有转移效用的三方合作博弈。基于博弈论视角，本研究构建农业政产学研协同创新理论模型，仿真参数定义见表1，假设如下：

假设1：农业政产学研协同创新博弈包括政府、涉农企业与学研机构3类有限理性主体，且主体间信息不对称。各主体在追求自身利益最大化时，会依据费米规则动态调整自身合作策略，寻求最优解。其中，政府可选择支持或不支持策略，记为(A_1,A_2)；涉农企业和学研机构可选择继续协同或中途违约策略，分别记为(B_1,B_2)和(C_1,C_2)。

假设2：考虑到资金投入对创新研发可能产生挤出效应[26]，当双方均继续协同时，二者收益分别为$\alpha E(1-E/Z)$和$(1-\alpha)E(1-E/Z)$；当涉农企业继续协同而学研机构中途违约时，涉农企业的收益为$\alpha E(1-\alpha E/Z)$；反之，学研机构的收益为$(1-\alpha)E[1-(1-\alpha)E/Z]$。式中：$E\leqslant Z$，$\alpha\in[0,1]$。

假设3：当双方均继续协同时，若政府支持，创新成本分别为$\varpi(C-S)$和$(1-\varpi)(C-S)$，反之，创新成本分别为ϖC和$(1-\varpi)C$；当涉农企业或学研机构中途违约时，若政府支持，创新成本分别为$\upsilon\varpi(C-S)$和$\upsilon(1-\varpi)(C-S)$，反之，创新成本分别为$\upsilon\varpi C$和$\upsilon(1-\varpi)C$。式中：ϖ和υ均$\in[0,1]$。

假设4：当双方均继续协同时，若政府支持，风险成本分别为$\beta\gamma\pi$和$(1-\beta)\gamma\pi$，反之，风险成本分别为$\beta\pi$和$(1-\beta)\pi$；当涉农企业或学研机构中途违约时，若政府支持，风险成本分别为$\upsilon\beta\gamma\pi$和$\upsilon(1-\beta)\gamma\pi$，反之，风险成本分别为$\upsilon\beta\pi$和$\upsilon(1-\beta)\pi$。式中：$\gamma\in(0,1)$，$\beta\in[0,1]$。

假设5：当双方均继续协同时，考虑到协同创新的正向激励作用，协同收益分别为$\mu\triangle R(1+\eta)^{n-1}$和$(1-\mu)\triangle R(1+\eta)^{n-1}$。式中：$\mu$和$\eta$均$\in[0,1]$，$n\geqslant1$。当涉农企业中途违约时，三者的效益分别为$\lambda_1R$、$\upsilon\mu\lambda_1\triangle R$和$(1-\mu)\lambda_1\triangle R$；当学研机构中途违约时，三者的效益分别为$\lambda_2R$、$\mu\lambda_2\triangle R$和$\upsilon(1-\mu)\lambda_2\triangle R$；当双方均中途违约时，三者的效益分别为$\lambda_3R$、$\upsilon\mu\lambda_3\triangle R$和$\upsilon(1-\mu)\lambda_3\triangle R$。式中：$0<\lambda_3<\lambda_1<\lambda_2<1$。

假设6：农业创新主体在开展农业政产学研协同创新时，易受到合作伙伴隐瞒信息、强制修改合同、转移风险或逃避责任等机会主义行为的威胁，导致成本上升、收益降低、周期延长和项目终止。为避免涉农企业和学研机构出现违约情况，应对违

表1 三方演化博弈模型的仿真参数定义

Table 1 Definition of the simulation parameters in the tripartite evolutionary game model

序号 Number	定义 Definition	符号 Symbol
1	政府政策制定与监督实施的成本,百万	G
2	政府给予涉农企业和学研机构的资金投入,百万	E
3	政府给予涉农企业和学研机构的最大资金投入,百万	Z
4	涉农企业和学研机构投入的人财物等资源所产生的创新成本,百万	C
5	涉农企业和学研机构在政府政策支持下减少的创新成本,百万	S
6	涉农企业和学研机构在农业政产学研协同创新过程中的风险成本,百万	π
7	农业政产学研协同创新为政府带来的经济收益和社会效益,百万	R
8	涉农企业和学研机构开展农业政产学研协同创新时二者的协同收益,百万	$\triangle R$
9	地方政府因提升科技水平、推动经济发展和改善社会民生等获得的上级政府奖励,百万	Q
10	涉农企业中途违约向学研机构支付的违约金,百万	K
11	学研机构中途违约向涉农企业支付的违约金,百万	P
12	涉农企业对政府资金投入的分摊比例(学研机构为$1-\alpha$),%	α
13	涉农企业对创新成本的分摊比例(学研机构为$1-\varpi$),%	ϖ
14	涉农企业或学研机构中途违约时农业政产学研协同创新项目的进度,%	υ
15	政府对农业政产学研协同创新风险成本的作用系数,%	γ
16	涉农企业对风险成本的分摊比例(学研机构为$1-\beta$),%	β
17	涉农企业对协同收益的分摊比例(学研机构为$1-\mu$),%	μ
18	农业政产学研协同创新的正向激励系数,%	η
19	主体之间开展农业政产学研协同创新的次数,次	n
20	涉农企业中途违约时协同收益的折损系数,%	λ_1
21	学研机构中途违约时协同收益的折损系数,%	λ_2
22	涉农企业和学研机构双方均中途违约时协同收益的折损系数,%	λ_3
23	政府支持的概率(政府不支持的概率为$1-x$),%	x
24	涉农企业继续协同的概率(涉农企业中途违约的概率为$1-y$),%	y
25	学研机构继续协同的概率(学研机构中途违约的概率为$1-z$),%	z

约方进行惩罚来补偿合作方的损失。当涉农企业中途违约时,需向学研机构支付违约惩罚K,$K>\upsilon\mu\lambda_1\triangle R$;当学研机构中途违约时,需向涉农企业支付违约惩罚$P$,$P>\upsilon(1-\mu)\lambda_2\triangle R$。

1.3 支付矩阵构建

在农业政产学研协同创新演化博弈过程中,三方主体会依据自身意愿进行策略选择。初始意愿x、y和z均$\in[0,1]$。可得到8种策略下农业政产学研协同创新三方主体的博弈支付矩阵,如表2所示。

2 农业政产学研协同创新三方演化博弈模型分析

2.1 政府的策略稳定性分析

基于上述分析,可得到政府的复制动态方程$F(x)$:

$$F(x)=x(1-x)\left[Q-G-y\alpha E-z(1-\alpha)E\right] \tag{1}$$

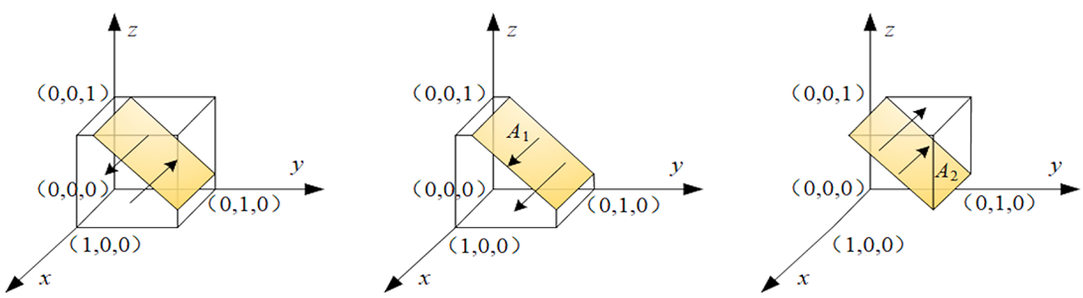
令$G(y,z)=Q-G-y\alpha E-z(1-\alpha)E$。根据微分方程稳定性定理,政府选择支持和不支持的概率处于稳定状态必须满足:$F(x)=0$且$dF(x)/dx<0$。由$G(y,z)=0$,可得$z^*=(Q-G-y\alpha E)/(1-\alpha)E$。由$dG(y,z)/dz=-(1-\alpha)E$,可以看出该函数是减函数。当$z=z^*$时,$F(x)=0$,$dF(x)/dx=0$,此时$x$取任意值政府都处于演化稳定状态;当$z<z^*$时,$F(1)=0$,$dF(1)/d1<0$,故$x=1$为政府的演化稳定策略(Evolutionarily stable strategy, ESS);当$z>z^*$时,$F(0)=0$,$dF(0)/d0<0$,故$x=0$为政府的ESS。由于z^*是关于y的减函数,所以y越小,z^*

表 2　农业政产学研协同创新三方主体的博弈支付矩阵

Table 2　Game pay-off matrix of the three parties of government-industry-university collaborative innovation in agriculture

策略 Strategy	博弈策略组合 Strategy profile	政府 Government	涉农企业 Agribusiness	学研机构 Academic institution
I	(A_1,B_1,C_1)	$R+Q-G-E$	$\alpha E(1-E/Z)+\mu\triangle R(1+\eta)^{n-1}-[\varpi(C-S)+\beta\gamma\pi]$	$(1-\alpha)E(1-E/Z)+(1-\mu)\triangle R(1+\eta)^{n-1}-[(1-\varpi)(C-S)+(1-\beta)\gamma\pi]$
II	(A_1,B_1,C_2)	$\lambda_2R+Q-G-\alpha E$	$\alpha E(1-\alpha E/Z)+\mu\lambda_2\triangle R+P-[\varpi(C-S)+\beta\gamma\pi]$	$\upsilon(1-\mu)\lambda_2\triangle R-P-\upsilon[(1-\varpi)(C-S)+(1-\beta)\gamma\pi]$
III	(A_1,B_2,C_1)	$\lambda_1R+Q-G-(1-\alpha)E$	$\upsilon\mu\lambda_1\triangle R-K-\upsilon[\varpi(C-S)+\beta\gamma\pi]$	$(1-(1-\alpha)E[1-(1-\alpha)E/Z]+(1-\mu)\lambda_1\triangle R+K-[(1-\varpi)(C-S)+(1-\beta)\gamma\pi]$
IV	(A_1,B_2,C_2)	λ_3R+Q-G	$\upsilon\mu\lambda_3\triangle R-K+P-\upsilon[\varpi(C-S)+\beta\gamma\pi]$	$\upsilon(1-\mu)\lambda_3\triangle R+K-P-\upsilon[(1-\varpi)(C-S)+(1-\beta)\gamma\pi]$
V	(A_2,B_1,C_1)	R	$\mu\triangle R(1+\eta)^{n-1}-(\varpi C+\beta\pi)$	$(1-\mu)\triangle R(1+\eta)^{n-1}-[(1-\varpi)C+(1-\beta)\pi]$
VI	(A_2,B_1,C_2)	λ_2R	$\mu\lambda_2\triangle R+P-(\varpi C+\beta\pi)$	$\upsilon(1-\mu)\lambda_2\triangle R-P-\upsilon[(1-\varpi)C+(1-\beta)\pi]$
VII	(A_2,B_2,C_1)	λ_1R	$\upsilon\mu\lambda_1\triangle R-K-\upsilon(\varpi C+\beta\pi)$	$(1-\mu)\lambda_1\triangle R+K-[(1-\varpi)C+(1-\beta)\pi]$
VIII	(A_2,B_2,C_2)	λ_3R	$\upsilon\mu\lambda_3\triangle R-K+P-\upsilon(\varpi C+\beta\pi)$	$\upsilon(1-\mu)\lambda_3\triangle R+K-P-\upsilon[(1-\varpi)C+(1-\beta)\pi]$

越大，则$z<z^*$的概率越大，x向1演化的概率越大，这意味着涉农企业选择中途违约的概率越大，政府选择支持策略的概率越大。政府的策略演化相位图见图2。



(a) 政府始终处于演化稳定状态的条件$z=z^*$
(a) The condition for government to remain in an evolutionary stable state $z=z^*$

(b) 政府演化稳定策略为支持的条件$z<z^*$
(b) The condition for government to evolve stable strategies for support $z<z^*$

(c) 政府演化稳定策略为不支持的条件$z>z^*$
(c) The condition for government to evolve stable strategies for non-support $z>z^*$

x、y、z轴分别为政府支持的概率、涉农企业和学研机构继续协同的概率。下同。z^*为政府策略发生转向的临界阈值；A_1部分的体积V_{A_1}为政府支持的概率；A_2部分的体积V_{A_2}为其不支持的概率。

Axes x, y, z denote the probability of government support and the respective probabilities of continue collaboration of agribusiness and academic institution. The same applies below. z^* is the critical threshold at which the government's strategy switches. V_{A_1} (volume of region A_1) is the probability of support by the government, while V_{A_2} (volume of region A_2) indicates their probability of non-support.

图 2　政府的策略演化相位图

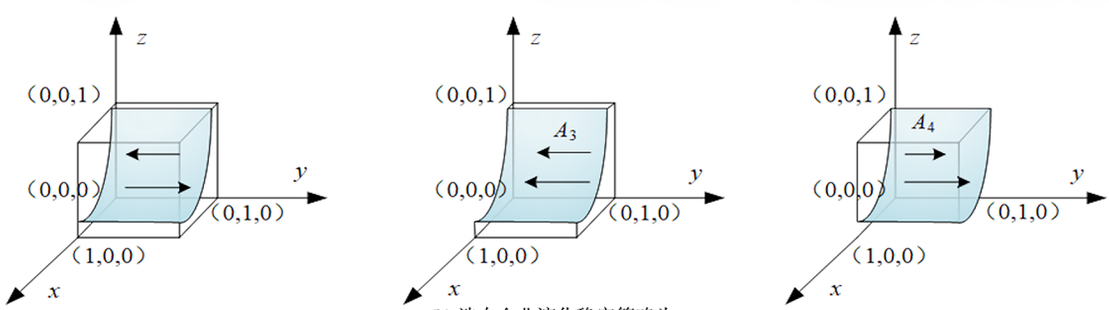
Fig. 2　Evolutionary phase diagram of the government's strategies

2.2　涉农企业的策略稳定性分析

基于上述分析，可得到涉农企业的复制动态方程$F(y)$：

$$F(y)=y(1-y)\left\{x\left\{\alpha E(1-\alpha E/Z)+(\upsilon-1)\left[(\gamma-1)\beta\pi-\varpi S\right]\right\}+z\left\{\mu\triangle R\left[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_1-\lambda_2+\upsilon\lambda_3\right]\right\}+xz\left[\alpha(\alpha-1)E^2/Z\right]+\mu\triangle R(\lambda_2-\upsilon\lambda_3)+(\upsilon-1)(\varpi C+\beta\pi)+K\right\} \tag{2}$$

令 $G(x,z)=\{x\{\alpha E(1-\alpha E/Z)+(\upsilon-1)[(\gamma-1)\beta\pi-\varpi S]\}+z\{\mu\triangle R[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_1-\lambda_2+\upsilon\lambda_3]\}+xz[\alpha(\alpha-1)E^2/Z]+\mu\triangle R(\lambda_2-\upsilon\lambda_3)+(\upsilon-1)(\varpi C+\beta\pi)+K\}$。根据微分方程稳定性定理,涉农企业选择继续协同和中途违约的概率处于稳定状态必须满足:$F(y)=0$且$dF(y)/dy<0$。由$G(x,z)=0$,可得$x^*=\{z\{\mu\triangle R[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_1-\lambda_2+\upsilon\lambda_3]\}+\mu\triangle R(\lambda_2-\upsilon\lambda_3)+(\upsilon-1)(\varpi C+\beta\pi)+K\}/-\{\alpha E(1-\alpha E/Z)+(\upsilon-1)[(\gamma-1)\beta\pi-\varpi S]+z\alpha(\alpha-1)E^2/Z\}$。由$dG(x,z)/dx=\alpha E(1-\alpha E/Z)+(\upsilon-1)[(\gamma-1)\beta\pi-\varpi S]+z\alpha(\alpha-1)E^2/Z$,可以看出该函数是减函数。当$x=x^*$时,$F(y)=0$,$dF(y)/dy=0$,此时$y$取任意值涉农企业都处于演化稳定状态;当$x<x^*$时,$F(0)=0$,$dF(0)/d0<0$,故$y=0$为涉农企业的ESS;当$x>x^*$时,$F(1)=0$,$dF(1)/d1<0$,故$y=1$为涉农企业的ESS。由于$x^*$是关于$z$的减函数,所以$z$越大,$x^*$越小,则$x<x^*$的概率越小,$y$向1演化的概率越大,这意味着学研机构选择继续协同的概率越大,涉农企业选择继续协同的概率越大。涉农企业的策略演化相位图见图3。



(a) 涉农企业始终处于演化稳定状态的条件$x=x^*$
(a) The condition for agribusiness to remain in an evolutionary stable state $x=x^*$

(b) 涉农企业演化稳定策略为中途违约的条件$x<x^*$
(b) The condition for agribusiness to evolve stable strategies for default midway $x<x^*$

(c) 涉农企业演化稳定策略为继续协同的条件$x>x^*$
(c) The condition for agribusiness to evolve stable strategies for continue collaboration $x>x^*$

x^*为涉农企业策略发生转向的临界阈值;A_3部分的体积V_{A_3}为涉农企业中途违约的概率;A_4部分的体积V_{A_4}为其继续协同的概率。

x^* is the critical threshold at which the agribusiness's strategy switches. V_{A_3} (volume of region A_3) is the probability of default midway by agribusiness, while V_{A_4} (volume of region A_4) indicates its probability of continue collaboration.

图3 涉农企业的策略演化相位图

Fig. 3 Evolutionary phase diagram of the agribusiness's strategies

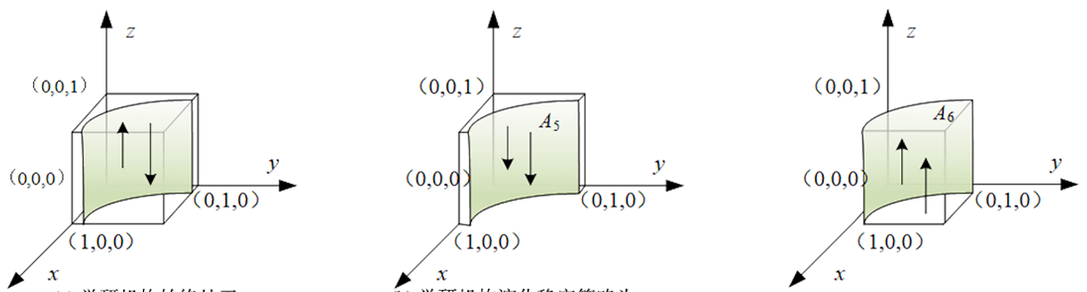
2.3 学研机构的策略稳定性分析

基于上述分析,可得到学研机构的复制动态方程$F(z)$:

$$F(z)=z(1-z)\left\{x\left\{(1-\alpha)E\left[1-(1-\alpha)E/Z\right]+(\upsilon-1)\left[(\gamma-1)(\beta-1)\pi-(1-\varpi)S\right]\right\}+y\left\{(1-\mu)\Delta R\left[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_2-\lambda_1+\upsilon\lambda_3\right]\right\}+xy\left[\alpha(\alpha-1)E^2/Z\right]+(1-\mu)\Delta R(\lambda_1-\upsilon\lambda_3)+(\upsilon-1)\left[(1-\varpi)C+(1-\beta)\pi\right]+P\right\} \tag{3}$$

令$G(x,y)=x\{(1-\alpha)E[1-(1-\alpha)E/Z]+(\upsilon-1)[(\gamma-1)(\beta-1)\pi-(1-\varpi)S]\}+y\{(1-\mu)\triangle R[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_2-\lambda_1+\upsilon\lambda_3]\}+xy[\alpha(\alpha-1)E^2/Z]+(1-\mu)\triangle R(\lambda_1-\upsilon\lambda_3)+(\upsilon-1)[(1-\varpi)C+(1-\beta)\pi]+P$。根据微分方程稳定性定理,学研机构选择继续协同和中途违约的概率处于稳定状态必须满足:$F(z)=0$且$dF(z)/dz<0$。由$G(x,y)=0$,可得$y^*=\{x\{(1-\alpha)E[1-(1-\alpha)E/Z]+(\upsilon-1)[(\gamma-1)(\beta-1)\pi-(1-\varpi)S]\}+(1-\mu)\triangle R(\lambda_1-\upsilon\lambda_3)+(\upsilon-1)[(1-\varpi)C+(1-\beta)\pi]+P\}/-\{(1-\mu)\triangle R[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_2-\lambda_1+\upsilon\lambda_3]+y[\alpha(\alpha-1)E^2/Z]\}$。由$dG(x,y)/dy=(1-\alpha)E[1-(1-\alpha)E/Z]+(\upsilon-1)[(\gamma-1)(\beta-1)\pi-(1-\varpi)S]+y\alpha(\alpha-1)E^2/Z$可知,该函数为减函数。当$y=y^*$时,$F(z)=0$,$dF(z)/dz=0$,此时$z$取任意值学研机构都处于演化稳定状态;当$y<y^*$时,$F(0)=0$,$dF(0)/d0<0$,故$z=0$为学研机构的ESS;当$y>y^*$时,$F(1)=0$,$dF(1)/d1<0$,故$z=1$为学研机构的ESS。

由于y^*是关于x的减函数，所以x越大，y^*越小，则$y<y^*$的概率越小，z向1演化的概率越大，这意味着政府选择支持策略的概率越大，学研机构选择继续协同的概率越大。学研机构的策略演化相位图见图4。



(a) 学研机构始终处于演化稳定状态的条件$y=y^*$
(a) The condition for academic institution to remain in an evolutionary stable state $y=y^*$

(b) 学研机构演化稳定策略为中途违约的条件$y<y^*$
(b) The condition for academic institution to evolve stable strategies for default midway $y<y^*$

(c) 学研机构演化稳定策略为继续协同的条件$y>y^*$
(c) The condition for academic institution to evolve stable strategies for continue cofor continue collaboration $y>y^*$

y^*为学研机构策略发生转向的临界阈值；A_5部分的体积V_{A_5}为学研机构中途违约的概率；A_6部分的体积V_{A_6}为其继续协同的概率。

y^* is the critical threshold at which the academic institution's strategy switches. V_{A_5} (volume of region A_5) is the probability of default midway by academic institution, while V_{A_6} (volume of region A_6) indicates its probability of continue collaboration.

图4　学研机构的策略演化相位图

Fig. 4　Evolutionary phase diagram of the academic institution's strategies

2.4　系统均衡点的策略稳定性分析

在此基础上，本研究进一步分析三方主体演化博弈系统均衡点的稳定性。将式(1)～(3)联立，得到复制动力系统。由于非对称动态博弈中混合策略均衡一定不是演化稳定均衡，因此只对演化博弈系统的纯策略均衡点进行分析。令$F(x)=F(y)=F(z)=0$，可得演化博弈系统存在8个纯策略均衡点，分别为$E_1(0,0,0)$，$E_2(0,0,1)$，$E_3(0,1,0)$，$E_4(0,1,1)$，$E_5(1,0,0)$，$E_6(1,0,1)$，$E_7(1,1,0)$，$E_8(1,1,1)$。按照Friedman[27]提出的方法，可得到该系统的雅可比矩阵$\boldsymbol{J}$：

$$\boldsymbol{J}=\begin{pmatrix} J_a & J_b & J_c \\ J_d & J_e & J_f \\ J_g & J_h & J_i \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} \partial F(x)/\partial x & \partial F(x)/\partial y & \partial F(x)/\partial z \\ \partial F(y)/\partial x & \partial F(y)/\partial y & \partial F(y)/\partial z \\ \partial F(z)/\partial x & \partial F(z)/\partial y & \partial F(z)/\partial z \end{pmatrix}=$$

$$\begin{pmatrix} (1-2x)\left[Q-G-y\alpha E-z(1-\alpha)E\right] & x(x-1)(-\alpha E) & x(x-1)\left[-(1-\alpha)E\right] \\ y(1-y)\left\{\alpha E(1-\alpha E/Z)+(\upsilon-1)\left[(\gamma-1)\beta\pi-\varpi S\right]\right\}+z\left[\alpha(\alpha-1)E^2/Z\right] & (1-2y)\left\{x\left\{\alpha E(1-\alpha E/Z)+(\upsilon-1)\left[(\gamma-1)\beta\pi-\varpi S\right]\right\}+z\left\{\mu\Delta R\left[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_1-\lambda_2+\upsilon\lambda_3\right]\right\}+xz\left[\alpha(\alpha-1)E^2/Z\right]+\mu\Delta R(\lambda_2-\upsilon\lambda_3)+(\upsilon-1)(\varpi C+\beta\pi)+K\right\} & y(1-y)\left\{\mu\Delta R\left[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_1-\lambda_2+\upsilon\lambda_3\right]+x\left[\alpha(\alpha-1)E^2/Z\right]\right\} \\ z(1-z)\left\{(1-\alpha)E\left[1-(1-\alpha)E/Z\right]+(\upsilon-1)\left[(\gamma-1)(\beta-1)\pi-(1-\varpi)S\right]+y\left[\alpha(\alpha-1)E^2/Z\right]\right\} & z(1-z)\left\{(1-\mu)\Delta R\left[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_2-\lambda_1+\upsilon\lambda_3\right]\right\}+x\left[\alpha(\alpha-1)E^2/Z\right] & (1-2z)\left\{x\left\{(1-\alpha)E\left[1-(1-\alpha)E/Z\right]+(\upsilon-1)\left[(\gamma-1)(\beta-1)\pi-(1-\varpi)S\right]\right\}+y\left\{(1-\mu)\Delta R\left[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_2-\lambda_1+\upsilon\lambda_3\right]\right\}+xy\left[\alpha(\alpha-1)E^2/Z\right]+(1-\mu)\Delta R(\lambda_1-\upsilon\lambda_3)+(\upsilon-1)\left[(1-\varpi)C+(1-\beta)\pi\right]+P\right\} \end{pmatrix} \tag{4}$$

将8个均衡点分别代入到式(4)中，可得到各均衡点所对应的雅可比矩阵的特征值，结果见表3。

为便于分析不同均衡点所对应特征值的符号，且不失一般性，假设$Q-G-E>0$；$\alpha E-\alpha E^2/Z+$

表3 雅可比矩阵的特征值

Table 3 Characteristic values of the Jacobian matrix

均衡点 Equilibrium point	特征值λ_1 Eigen value λ_1	特征值λ_2 Eigen value λ_2	特征值λ_3 Eigen value λ_3
$E_1(0,0,0)$	$Q-G$	$\mu\triangle R(\lambda_2-\upsilon\lambda_3)+(\upsilon-1)(\varpi C+\beta\pi)+K$	$(1-\mu)\triangle R(\lambda_1-\upsilon\lambda_3)+(\upsilon-1)[(1-\varpi)C+(1-\beta)\pi]+P$
$E_2(0,0,1)$	$Q-G-(1-\alpha)E$	$\mu\triangle R[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_1]+(\upsilon-1)(\varpi C+\beta\pi)+K$	$-\{(1-\mu)\triangle R(\lambda_1-\upsilon\lambda_3)+(\upsilon-1)[(1-\varpi)C+(1-\beta)\pi]+P\}$
$E_3(0,1,0)$	$Q-G-\alpha E$	$-[\mu\triangle R(\lambda_2-\upsilon\lambda_3)+(\upsilon-1)(\varpi C+\beta\pi)+K]$	$(1-\mu)\triangle R[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_2]+(\upsilon-1)[(1-\varpi)C+(1-\beta)\pi]+P$
$E_4(0,1,1)$	$Q-G-E$	$-\{\mu\triangle R[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_1]+(\upsilon-1)(\varpi C+\beta\pi)+K\}$	$-\{(1-\mu)\triangle R[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_2]+(\upsilon-1)[(1-\varpi)C+(1-\beta)\pi]+P\}$
$E_5(1,0,0)$	$-(Q-G)$	$\alpha E(1-\alpha E/Z)+(\upsilon-1)[\gamma\beta\pi+\varpi(C-S)]+\mu\triangle R(\lambda_2-\upsilon\lambda_3)+K$	$(1-\alpha)E[1-(1-\alpha)E/Z]+(\upsilon-1)[(1-\varpi)(C-S)-(1-\beta)\gamma\pi]+(1-\mu)\triangle R(\lambda_1-\upsilon\lambda_3)+P$
$E_6(1,0,1)$	$-[Q-G-(1-\alpha)E]$	$\alpha E-\alpha E^2/Z+(\upsilon-1)[\varpi(C-S)+\gamma\beta\pi]+\mu\triangle R[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_1]+K$	$-\{(1-\alpha)E[1-(1-\alpha)E/Z]+(\upsilon-1)[(1-\varpi)(C-S)-(1-\beta)\gamma\pi]+(1-\mu)\triangle R(\lambda_1-\upsilon\lambda_3)+P\}$
$E_7(1,1,0)$	$-[Q-G-\alpha E]$	$-\{\alpha E(1-\alpha E/Z)+(\upsilon-1)[\gamma\beta\pi+\varpi(C-S)]+\mu\triangle R(\lambda_2-\upsilon\lambda_3)+K\}$	$(1-\alpha)E-(1-\alpha)E^2/Z+(\upsilon-1)[(1-\varpi)(C-S)-(1-\beta)\gamma\pi]+(1-\mu)\triangle R[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_2]+P$
$E_8(1,1,1)$	$-[Q-G-E]$	$-\{\alpha E-\alpha E^2/Z+(\upsilon-1)[\varpi(C-S)+\gamma\beta\pi]+\mu\triangle R[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_1]+K\}$	$-\{(1-\alpha)E-(1-\alpha)E^2/Z+(\upsilon-1)[(1-\varpi)(C-S)-(1-\beta)\gamma\pi]+(1-\mu)\triangle R[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_2]+P\}$

$(\upsilon-1)[\varpi(C-S)+\gamma\beta\pi]+\mu\triangle R[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_1]+K>0$;$(1-\alpha)E-(1-\alpha)E^2/Z+(\upsilon-1)[(1-\varpi)(C-S)-(1-\beta)\gamma\pi]+(1-\mu)\triangle R[(1+\eta)^{n-1}-\upsilon\lambda_2]+P>0$,即各主体在其他主体选择继续协同策略时选择继续协同策略获得的净收益大于选择中途违约策略时获得的净收益。由于模型中的参数数量较多且公式设计复杂,本研究分以下3种情形对演化博弈稳定策略进行讨论[①],各均衡点的局部稳定性见表4。

情形1:当$\alpha E(1-\alpha E/Z)+(\upsilon-1)[\gamma\beta\pi+\varpi(C-S)]+\mu\triangle R(\lambda_2-\upsilon\lambda_3)+K<0$且$(1-\alpha)E[1-(1-\alpha)E/Z]+(\upsilon-1)[(1-\varpi)(C-S)-(1-\beta)\gamma\pi]+(1-\mu)\triangle R(\lambda_1-\upsilon\lambda_3)+P<0$时,即在政府选择支持策略时,任意一个主体在其他主体中途违约时继续协同获得的净收益小于该主体选择中途违约策略获得的净收益。此时,由表1可以看出均衡点$E_5(1,0,0)$和$E_8(1,1,1)$所对应的雅可比矩阵的特征值均是非正的,可见此情形下演化系统具有2个稳定点,其对应的演化策略为(支持,中途违约,中途违约)和(支持,继续协同,继续协同)。

情形2:当$\mu\triangle R(\lambda_2-\upsilon\lambda_3)+(\upsilon-1)(\varpi C+\beta\pi)+K>0$且$(1-\mu)\triangle R(\lambda_1-\upsilon\lambda_3)+(\upsilon-1)[(1-\varpi)C+(1-\beta)\pi]+P>0$时,即在政府选择不支持策略时,任意一个主体在其他主体中途违约时继续协同获得的净收益大于该主体中途违约获得的净收益。此时,由表1可以看出均衡点$E_8(1,1,1)$所对应的雅可比矩阵的特征值都是非正的,可见此情形下演化系统具有一个稳定点,其对应的演化策略为(支持,继续协同,继续协同)。

情形3:当$\mu\triangle R(\lambda_2-\upsilon\lambda_3)+(\upsilon-1)(\varpi C+\beta\pi)+K<0$且$\alpha E(1-\alpha E/Z)+(\upsilon-1)[\gamma\beta\pi+\varpi(C-S)]+\mu\triangle R(\lambda_2-\upsilon\lambda_3)+K>0$,$(1-\mu)\triangle R(\lambda_1-\upsilon\lambda_3)+(\upsilon-1)[(1-\varpi)C+(1-\beta)\pi]+P<0$且$(1-\alpha)E[1-(1-\alpha)E/Z]+(\upsilon-1)[(1-\varpi)(C-S)-(1-$

①根据李雅普诺夫第一判别法,利用系统雅可比矩阵符号可以判断渐进稳定性:当雅可比矩阵的所有特征值均具有负实部时,均衡点为渐进稳定点,对应的策略组合为ESS;当3个特征值均为正时,均衡点为非稳定点;当1个或2个特征值为正时,均衡点为鞍点。

表 4　均衡点局部稳定性

Table 4　Local stability of the equilibrium point

均衡点 Equilibrium point	情形 1 Situation 1		情形 2 Situation 2		情形 3 Situation 3	
	特征值 Eigen value ($\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3$)	属性 Attribute	特征值 Eigen value ($\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3$)	属性 Attribute	特征值 Eigen value ($\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3$)	属性 Attribute
$E_1(0,0,0)$	(+,−,−)	鞍点	(+,+,+)	非稳	(+,−,−)	鞍点
$E_2(0,0,1)$	(+,−,+)	鞍点	(+,+,−)	鞍点	(+,−,+)	鞍点
$E_3(0,1,0)$	(+,+,−)	鞍点	(+,−,+)	鞍点	(+,+,−)	鞍点
$E_4(0,1,1)$	(+,+,+)	非稳	(+,−,−)	鞍点	(+,+,+)	非稳
$E_5(1,0,0)$	(−,−,−)	ESS	(−,+,+)	鞍点	(−,+,−)	鞍点
$E_6(1,0,1)$	(−,+,+)	鞍点	(−,+,−)	鞍点	(−,+,+)	鞍点
$E_7(1,1,0)$	(−,+,+)	鞍点	(−,−,+)	鞍点	(−,−,−)	ESS
$E_8(1,1,1)$	(−,−,−)	ESS	(−,−,−)	ESS	(−,−,+)	非稳

注：$E_i(x,y,z)$为系统均衡点；“+”代表特征值实部>0；“−”代表特征值实部<0；ESS为演化稳定策略。

Note: $E_i(x, y, z)$ stands for system equilibrium points, + means positive real part of eigenvalue, − means negative real part, and ESS refers to evolutionarily stable strategy

$\beta)\gamma\pi]+(1-\mu)\triangle R(\lambda_1-\upsilon\lambda_3)+P>0$时，即在政府选择支持策略时，任意一个主体在其他主体中途违约时继续协同获得的净收益大于该主体中途违约获得的净收益，但在政府选择不支持策略时，该主体继续协同获得的净收益小于中途违约获得的净收益。此时，由表3可以看出均衡点$E_7(1,1,0)$所对应的雅可比矩阵的特征值均是非正的，可见此情形下演化系统具有一个稳定点，演化策略为（支持，继续协同，中途违约）。

3　农业政产学研协同创新三方演化博弈模型仿真

关于仿真模型的数值选择问题，Sterman[28]认为仿真模型最重要的是模型结构的正确性和有用性，旨在揭示事物变化规律的程度。演化博弈系统初始值设置一定程度上决定该系统演化的相对幅度与速度，并不会改变整体走向[26]。由于农业政产学研协同创新涉及的主体和相关维度比较复杂，相关数据难以全部在现实中获取。为保证仿真参数设置的合理性和数值仿真结果的可靠性，本研究借鉴了陶丹等[29]、臧欣昱等[30]以及吴洁等[5]的参数赋值范围及设定规律方法，并结合不同类型农业创新主体的实地调研与深度访谈（包括北大荒垦丰种业股份有限公司等农业企业、东北农业大学和黑龙江省农业科学院等学研机构），以及管理科学与农业经济领域的专家建议，适当地对模型中的参数设定进行调整，使其更加吻合现实情形。仿真参数的赋值如下：G为1.50，E为8.00，Z为30.00，C为10.00，S为5.00，π为4.00，R为14.96，$\triangle R$为13.30，Q为10.00，K为4.40，P为2.93，α为0.50，ϖ为0.50，υ为0.50，γ为0.50，β为0.50，μ为0.50，η为0.30，n为1.32[①]，λ_1为0.35，λ_2为0.70，λ_3为0.20，x为0.50，y为0.50，z为0.50。

通过上述分析和初始值的设置，本研究运用MATLABR2023b软件仿真政府、涉农企业与学研机构不同初始状态下策略选择的动态演化过程，根据仿真结果，对农业创新主体的协同成本、协同收益、协同激励和违约惩罚等参数进行讨论，探究各参数对各主体决策行为的影响。

3.1　初始演化路径的仿真分析

在上述的参数赋值下，初始演化路径见图5。可知三方主体的策略收敛于点(1,1,1)，可见数值仿真模拟与理论分析结果具有一致性。在该演化策略中，政府给予涉农企业和学研机构一定的资金

①合著论文网络中589个农业创新主体开展了1 630次农业政产学研协同创新；合作专利网络中4 312个农业创新主体开展了5 023次农业政产学研协同创新；共同品种网络中673个农业创新主体开展了704次农业政产学研协同创新。综上，令$n=(1\,630+5\,023+704)/(589+4\,312+673)=1.32$。

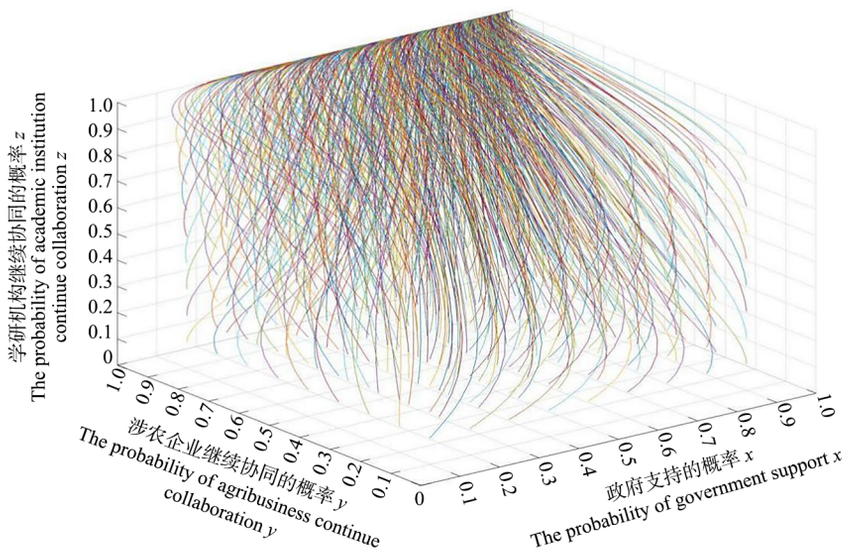


图 5 初始演化路径图

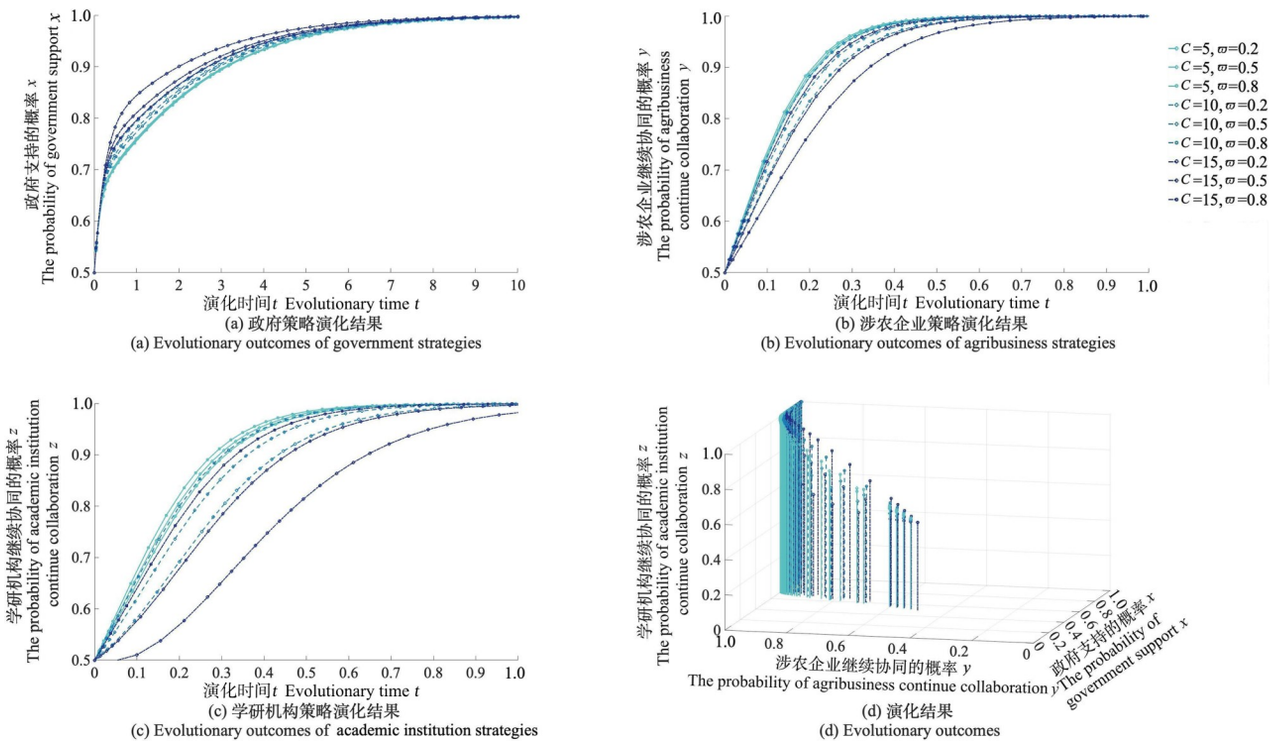
Fig. 5 Initial evolution path

和政策支持，为农业政产学研协同创新提供良好的资源支撑体系和政策制度环境，能够激发各主体的协同积极性。与此同时，政府也能从农业政产学研协同创新带来的经济和社会效益提升中看到成效，进而继续采取支持策略；涉农企业通过参与农业政产学研协同创新，能够借助学研机构的技术优势，在降低研发成本的同时，提升自身创新能力和产品竞争力，开拓新的市场空间，实现经济效益的增长。从发展与盈利的角度，涉农企业愿意继续协同；对于学研机构来说，与政府和涉农企业开展协同创新，既为学研机构的科研成果转化提供渠道，实现科研价值的最大化，又能使学研机构获取更多资源用于科研和人才培养，提升自身实力和影响力，因此，倾向于继续协同。

3.2 协同成本对协同创新关系演化的影响

如图 6 所示，政府初始参与意愿的收敛速度随着创新成本与学研机构创新成本分摊比例增加而加快，于 $t=10$ 时收敛于点(1,1,1)；涉农企业初始参与意愿的收敛速度随着创新成本与涉农企业创新成本分摊比例降低而加快，于 $t=0.8$ 时收敛于点(1,1,1)；学研机构初始参与意愿的收敛速度随着创新成本与学研机构创新成本分摊比例降低而加快，于 $t=1$ 时收敛于点(1,1,1)。这表明，当创新成本与学研机构创新成本分摊比例提高时，学研机构面临更大的资源压力与退出风险，政府为保障协同项目持续运行，会强化宏观干预与资金支持，因而初始参与意愿的收敛速度加快；当涉农企业承担的创新成本及其分摊比例下降时，其资金负担减轻、预期收益提升，参与协同的动机显著增强，初始参与意愿的收敛速度随之提升；当学研机构在自身创新成本及其分摊比例降低时，也会因合作吸引力上升而更快趋向协同。从主体差异来看，涉农企业作为利益导向的市场主体，对创新成本变动极为敏感，小幅的创新成本下调即可显著激励其参与行为；学研机构的策略选择虽同样受创新成本影响，但策略调整稍显滞后。

如图 7 所示，政府初始参与意愿的收敛速度随着风险成本与学研机构风险成本分摊比例增加而加快，于 $t=10$ 时收敛于点(1,1,1)；涉农企业初始参与意愿的收敛速度随着风险成本与涉农企业风险成本分摊比例降低而加快，于 $t=0.8$ 时收敛于点(1,1,1)；学研机构初始参与意愿的收敛速度随着风险成本与学研机构风险成本分摊比例降低而加快，于 $t=1$ 时收敛于点(1,1,1)。这一结果表明，当风险成本与学研机构风险成本分摊比例提高时，协同项目不确定性增强，政府为维持协同稳定、防范创新中断，会主动强化政策干预与风险补偿力度，因而初始参与意愿的收敛速度加快；涉农企业与学研机构则对自身所承担的风险份额更为敏感，当风险成本及其分摊比例下降时，直接风险减少，协同意愿显著增强，初始参与意愿的收敛速度随之提升。整体看来，图中曲线形态较为紧凑，表明在一



演化时间 t 为无量纲演化时间，不对应具体物理时间单位。

Evolutionary time t denotes dimensionless evolutionary time and does not correspond to any specific physical unit of time.

图 6　创新成本 C 及其分摊比例 ϖ 对协同创新关系演化的影响

Fig. 6　Influence of innovation cost C and its allocation ratio ϖ on the evolution of collaborative innovation relationships

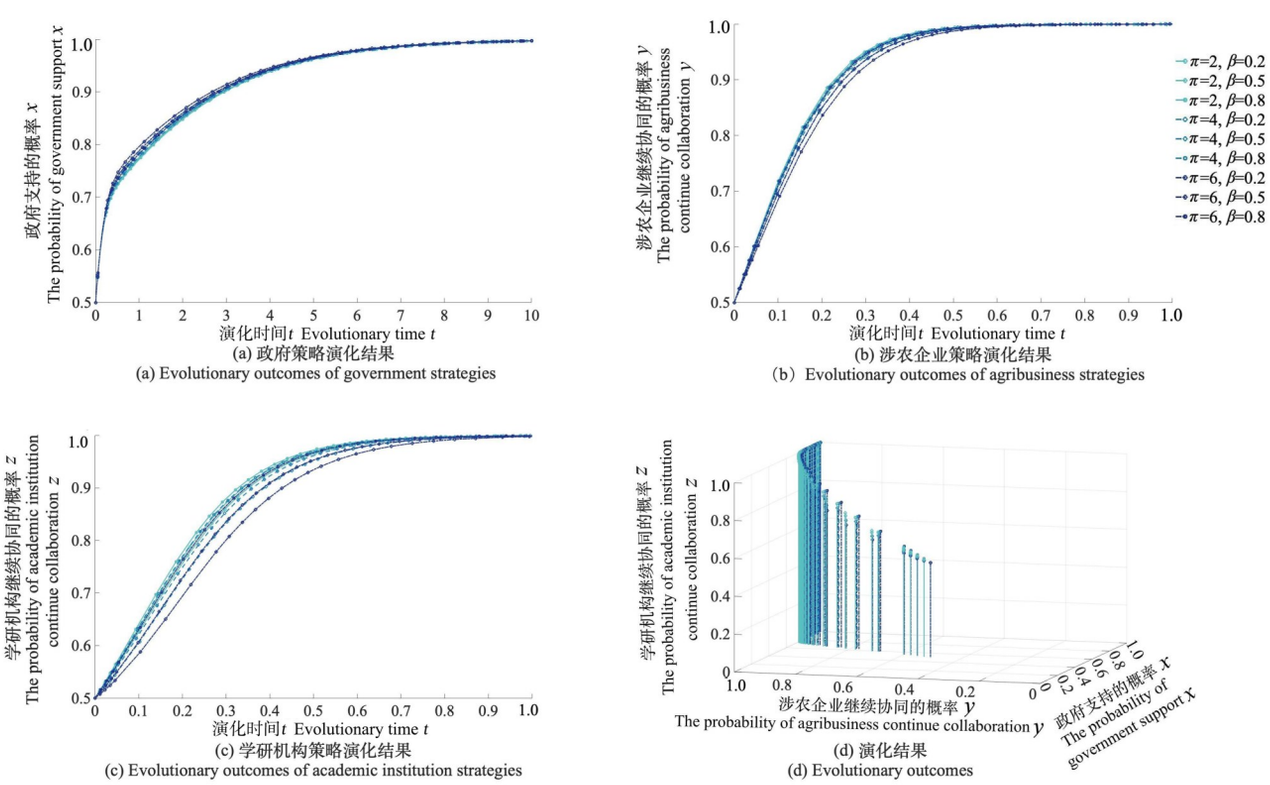


图 7　风险成本 π 及其分摊比例 β 对协同创新关系演化的影响

Fig. 7　Influence of risk cost π and its sharing ratio β on the evolution of collaborative innovation relationships

定幅度内变动风险成本及其分摊比例，3类农业科技创新主体对其敏感度相对有限，反映出风险成本在未超过承受阈值时并非核心决策变量，主体行为更易受确定性成本与收益信号影响。

3.3 协同收益对协同创新关系演化的影响

如图8所示，政府初始参与意愿的收敛速度随着协同收益与学研机构协同收益分摊比例减小而加快，于 t=10时收敛于点(1,1,1)；涉农企业初始参与意愿的收敛速度随着协同收益及其分摊比例增加而加快，于 t=1时收敛于点(1,1,1)。学研机构初始参与意愿的收敛速度虽同样因协同收益及其分摊比例增加而加快，但对协同收益的敏感度不如涉农企业。可见，政府作为宏观调控者，其策略选择呈现补偿性干预特征，当学研机构收益降低可能影响其协同意愿时，政府会主动强化资金与政策供给以维持协同稳定；涉农企业作为市场化主体，其策略选择具有经济理性并呈现短期收益导向，对协同收益及其分摊比例高度敏感，协同收益的轻微提升即可极大激发其合作动力；学研机构虽重视协同收益，但其策略选择机制更为复杂，其在关注经济回报的同时，更注重制度性保障、研发可持续性、知识转化的社会效益等非货币化因素影响，故对纯收益激励的敏感度不及涉农企业。

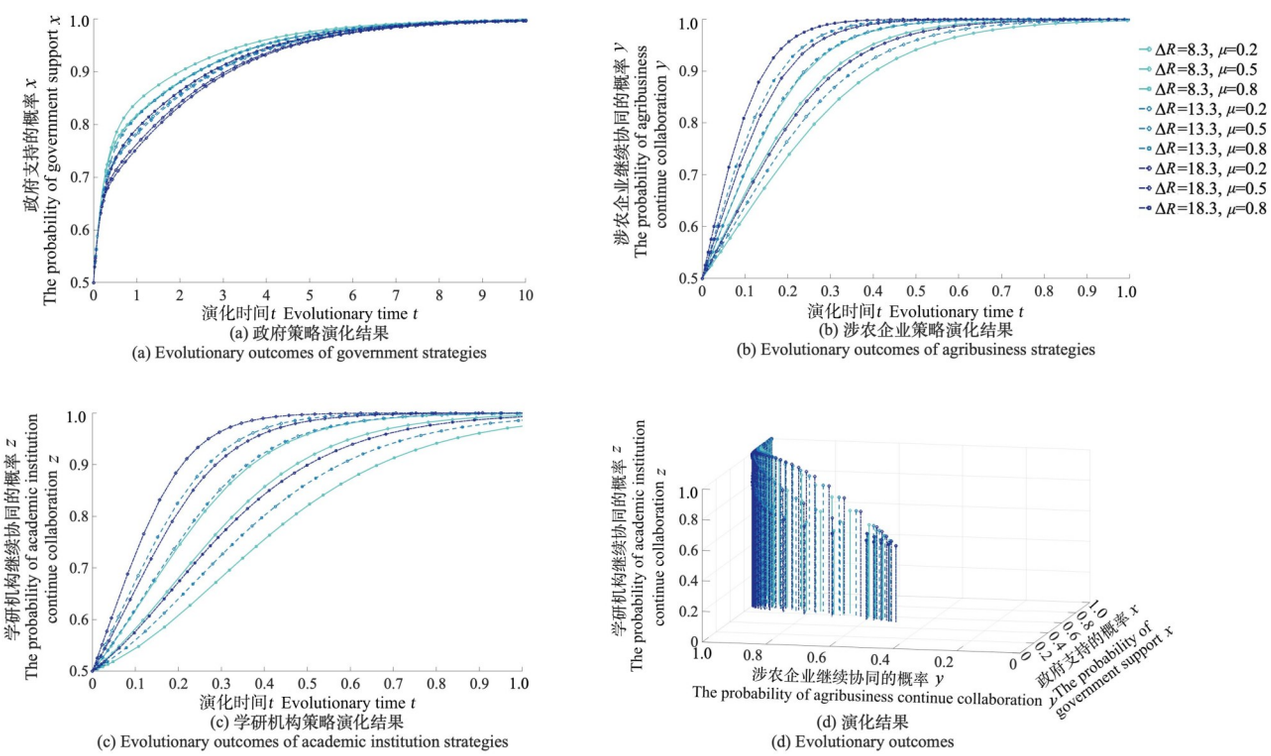


图8 协同收益$\triangle R$及其分摊比例μ对协同创新关系演化的影响

Fig. 8 Influence of synergistic benefit $\triangle R$ and its sharing ratio μ on the evolution of collaborative innovation relationships

3.4 协同激励对协同创新关系演化的影响

如图9所示，政府初始参与意愿的收敛速度随着正向激励系数与协同创新次数降低而加快，于 t=10时收敛于点(1,1,1)；涉农企业与学研机构初始参与意愿的收敛速度均随着正向激励系数与协同创新次数增加而加快，分别于 t=0.6和 t=1时收敛于点(1,1,1)。其中，相较于正向激励系数，协同创新次数对涉农企业与学研机构策略选择的影响更为显著。可见，若系统内生合作动力不足，政府倾向主动补位，实施补偿性干预，防范协同中断的风险；若系统内合作活跃，政府则多依赖市场自我调节，不急于介入。涉农企业与学研机构均对正向激励系数与协同创新次数表现出正向响应。其中，前者作为市场主体，对短期收益高度敏感，其策略调整较为迅速；而学研机构多依赖长期合作所积累的信任，响应相对滞后。值得注意的是，主体间的多次合作有助于信任累积、降低交易成本，协同创新次数对二者策略选择的影响比正向激励系数更为突出。

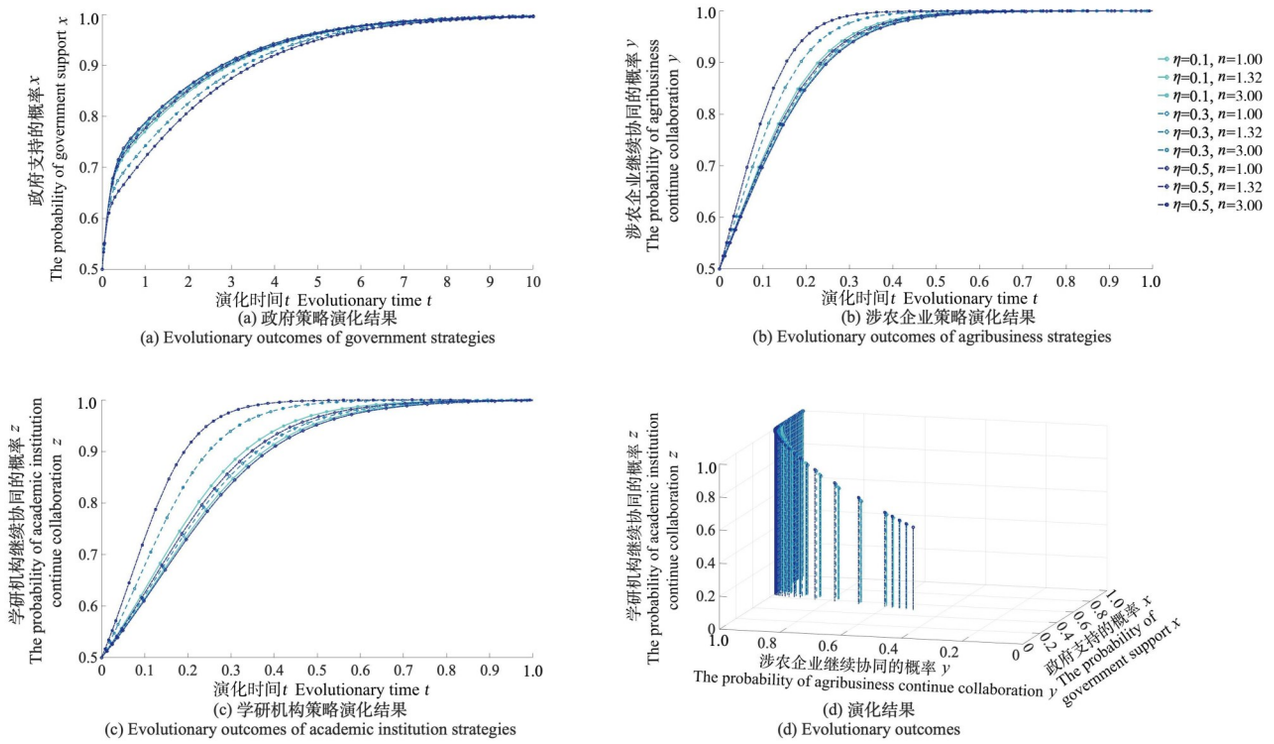


图 9　正向激励系数 η 和协同创新次数 n 对协同创新关系演化的影响

Fig. 9　Influence of positive incentive coefficient η and the number of collaborative innovations n on the evolution of collaborative innovation relationships

如图 10 所示，在政府资金投入低于实际值时，无论资金如何分配，政府都会积极支持农业产学研协同创新，于 $t=1$ 时收敛于点(1,1,1)；在政府资金投入等于实际值时，政府初始参与意愿的收敛速度随着涉农企业分摊比例降低而加快，于 $t=10$ 时收敛于点(1,1,1)；在政府资金投入高于实际值时，政府倾向选择不支持策略。涉农企业与学研机构初始参与意愿的收敛速度均随着政府资金投入及其分摊比例增加而加快，分别于 $t=0.6$ 和 $t>1$ 时收敛于点(1,1,1)。其中，涉农企业的策略选择对政府资金投入的敏感度更高，学研机构对政府资金投入分摊比例的敏感度更高。可见，投入不足时，政府出于社会责任与风险防范考量会主动补位；投入适中时，政府策略选择聚焦于资金配置效率，尤其关注涉农企业分摊比例对合作动力的影响；投入过高时，政府则会出于财政资源配置效率与边际效用递减的考量，降低支持意愿。涉农企业作为市场化运营主体，其策略选择对政府资金投入更为敏感。这主要源于政府资金可直接弥补其创新成本、改善短期现金流，并对冲协同过程中的不确定性风险。学研机构作为知识、技术供给方，更关注资金分配的稳定性和分摊比例。其原因在于研发活动具有周期长、资产专用性高和成果转化滞后等特征，需持续资源保障。

如图 11 所示，政府初始参与意愿的收敛速度随着创新成本减少量降低和风险成本作用系数增加而加快，于 $t=10$ 时收敛于点(1,1,1)。相较于风险成本作用系数，创新成本减少量对政府策略选择的影响更大。涉农企业与学研机构初始参与意愿的收敛速度随着创新成本减少量增加和风险成本作用系数降低而加快，分别于 $t=0.6$ 和 $t=0.8$ 时收敛于点(1,1,1)。与学研机构相比，涉农企业对创新成本的降低幅度和风险成本作用系数的变动更加敏感。原因在于，对于政府而言，创新成本降低幅度会伴随政策支持力度减弱而变小，进而抬高合作项目的准入门槛，且风险成本作用系数上升在一定程度上会增加项目的不确定性，二者均会促使政府加快介入以促进合作稳定展开。涉农企业和学研机构的策略选择与成本和收益相关。创新成本减少量提高会降低其资源投入负担，风险成本作用系

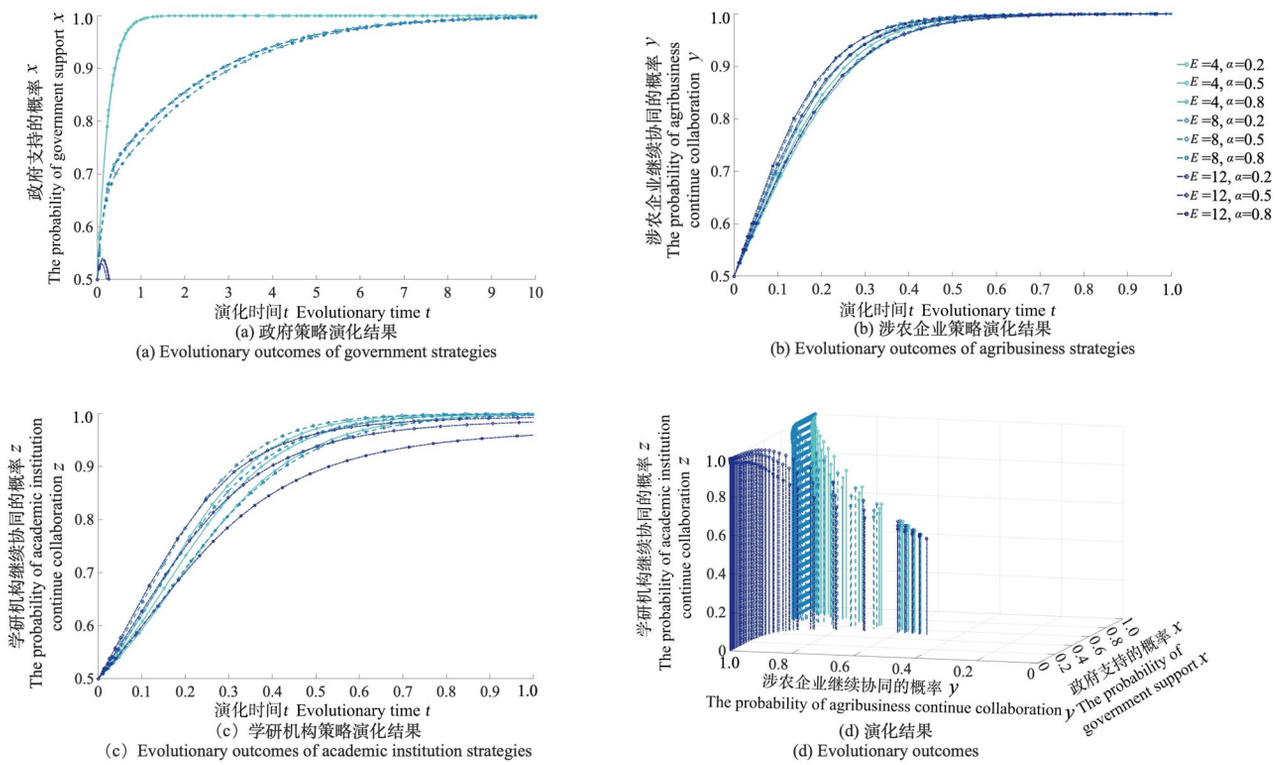


图 10 政府资金投入 E 及其分摊比例 α 对协同创新关系演化的影响

Fig. 10 Influence of government funding E and its sharing ratio α on the evolution of collaborative innovation relationships

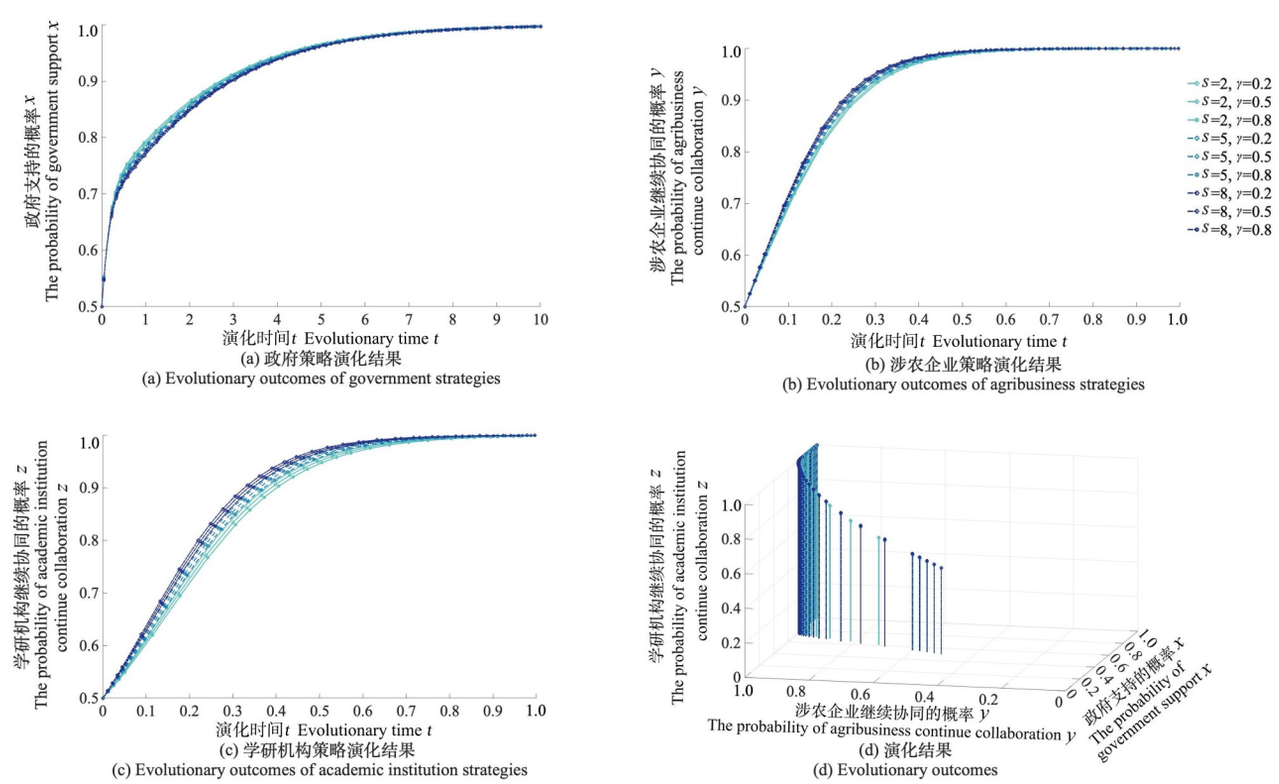


图 11 创新成本减少量 S 和风险成本作用系数 γ 对协同创新关系演化的影响

Fig. 11 Influence of innovation cost reduction S and risk cost effect coefficient γ on the evolution of collaborative innovation relationships

数下降会增加项目开展确定性，二者共同提升协同创新的预期收益，有利于主体选择积极策略。其中，涉农企业对成本与风险的变动更为敏感；而学研机构因研究周期长、依赖制度保障，敏感度较低。

3.5　违约惩罚对协同创新关系演化的影响

如图 12 所示，政府初始参与意愿的收敛速度随着涉农企业与学研机构的违约金降低而加快，于 t=10 时收敛于点(1,1,1)。涉农企业初始参与意愿的收敛速度随着涉农企业的违约金增加而加快，于 t=1 时收敛于点(1,1,1)，但学研机构的违约金变化对其策略选择的影响较弱；学研机构初始参与意愿的收敛速度随着涉农企业与学研机构的违约金增加而加快，于 t=1 时收敛于点(1,1,1)。可见，当违约金水平较低时，协同稳定性更多依赖外部干预而非契约约束，政府为防范合作破裂风险会主动强化监管与补偿职能，因而收敛行为加快。涉农企业作为经济理性主体，对自身违约金高度敏感，而对学研机构的违约金的敏感度较低。说明涉农企业的策略选择更侧重于规避确定性损失，而非依赖对方违约所带来的潜在补偿。学研机构的策略选择同时受自身与他方违约金约束，可见其参与意愿既需规避自身违约带来的经济损失，也重视涉农企业的承诺可信度，反映出学研机构在协同合作中对互惠承诺与制度约束的较强需求。

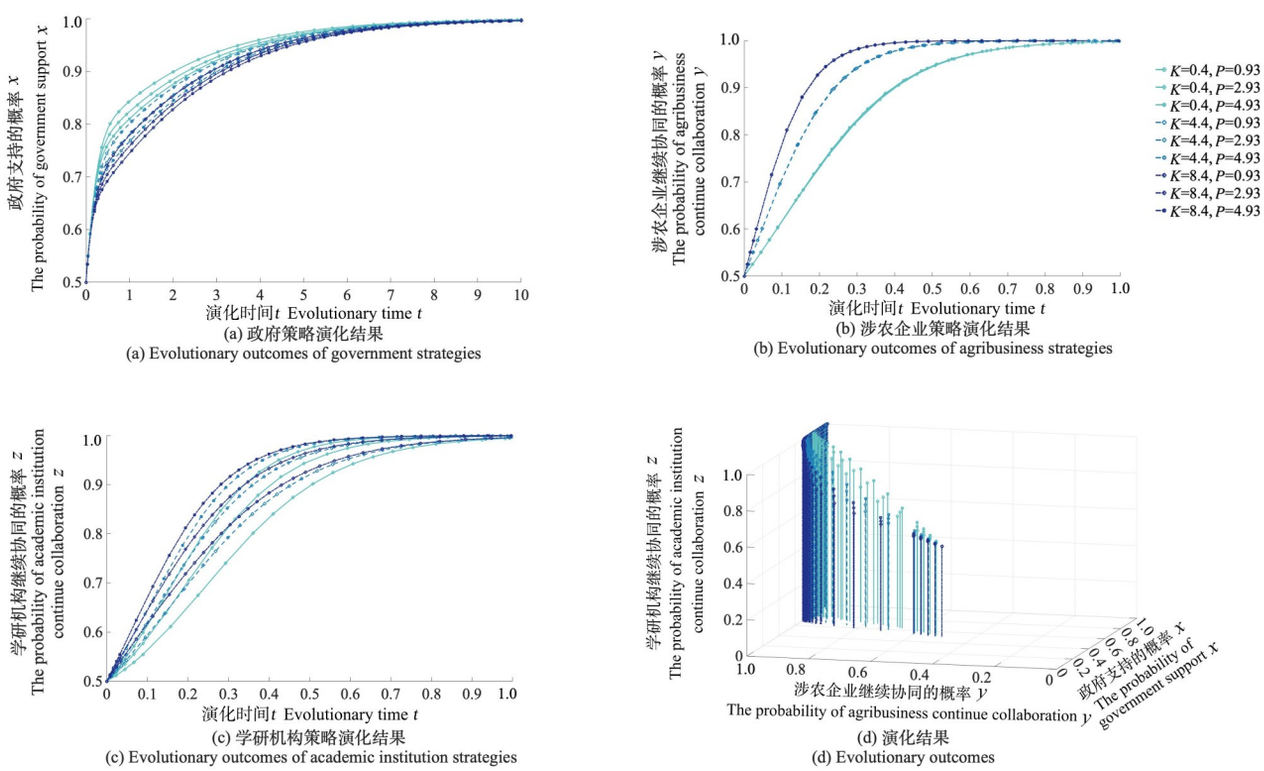


图 12　涉农企业的违约金 K 和学研机构的违约金 P 对协同创新关系演化的影响

Fig. 12　Influence of breach penalty K of agribusiness and breach penalty P of academic institution on the evolution of collaborative innovation relationships

如图 13 所示，政府初始参与意愿的收敛速度对收益折损系数的敏感度较低，但随着中途违约时的项目进度降低而加快，于 t=10 时收敛于点(1,1,1)；涉农企业与学研机构初始参与意愿的收敛速度均随着收益折损系数和中途违约时的项目进度增加而加快，分别于 t=0.6 和 t=0.9 时收敛于点(1,1,1)。但是，学研机构初始参与意愿的收敛速度在收益折损系数低于实际值时，随着中途违约时的项目进度增加而减慢。政府在选择策略时，会倾向合作项目的整体存续与公共价值。初期合作阶段，关系破裂对项目的影响较小，政府往往不急于干预；但项目中后期，关系破裂会导致资源浪费和社会效益损失，政府为防范风险会加快介入速度。涉农企业的策略选择符合经济理性特征，收益折损系数降

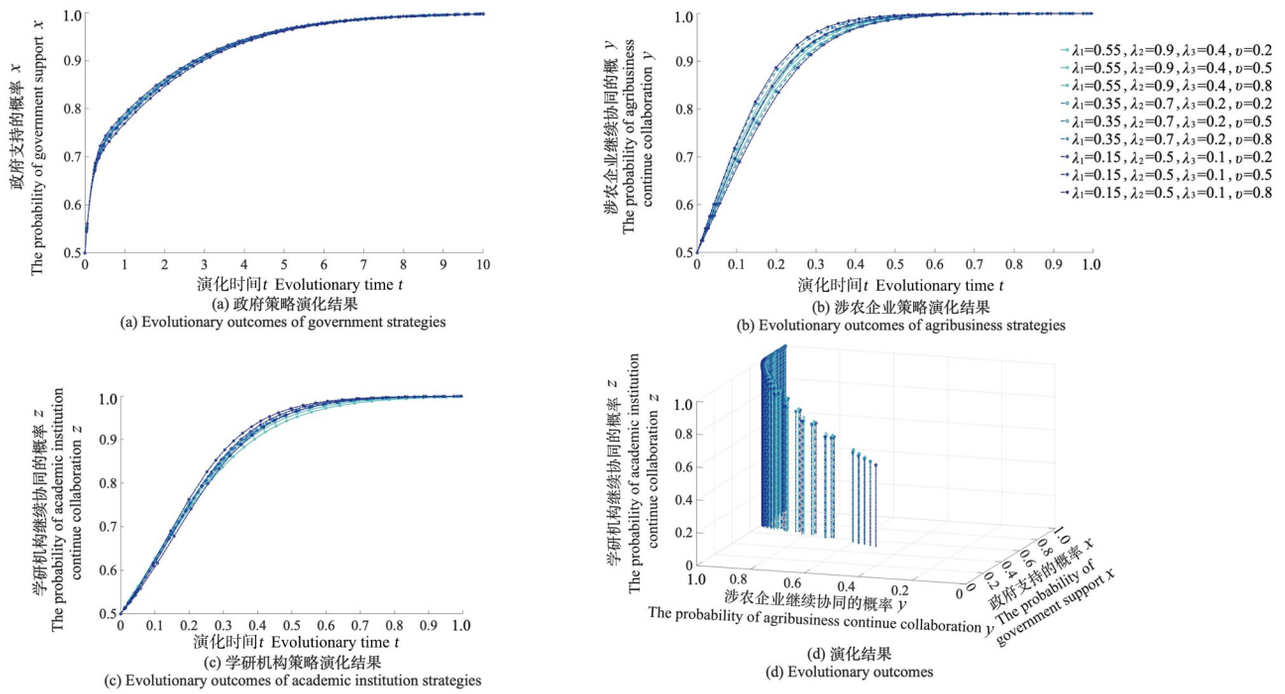


图 13 收益折损系数 λ_1,λ_2,λ_3和中途违约时的项目进度 υ 对协同创新关系演化的影响

Fig. 13 Influence of benefit loss coefficients λ_1, λ_2, λ_3 and project progress υ at the time of mid-term breach on the evolution of collaborative innovation relationships

低和项目进度提高会增加违约的经济损失,二者共同促使涉农企业选择继续协同策略。学研机构的策略选择虽整体与涉农企业一致,但在低收益折损系数情境下,项目进度的提高反而延缓其收敛速度。这是由于违约经济损失较小时,学研机构中途退出的财务约束较弱,进度越高,资产专用性越强,其风险考量从经济收益损失转向知识产权泄露、成果占用和研发路径中断等隐性损失,会因规避风险而趋于谨慎,致使决策延迟。

4 研究结论与对策建议

4.1 研究结论

本研究基于三螺旋理论和三方演化博弈方法,构建涵盖政府、涉农企业与学研机构三方主体的演化博弈模型,剖析各主体策略演化逻辑与系统均衡状态下的策略选择条件,并运用数值仿真技术,探究协同成本、协同收益、协同激励、违约惩罚对主体间农业政产学研协同创新关系演化的影响,得出以下研究结论:

1)在协同成本方面:创新成本及其分摊比例的小幅下降即可显著提升涉农企业的参与意愿;学研机构虽受其影响,但响应滞后,需依托政府补偿性干预缓解资金压力;三方主体对风险成本及其分摊比例的敏感度有限,决策时更关注确定性成本与收益信号。

2)在协同收益方面:当学研机构收益下降时,政府会强化资金与政策供给以维持协同稳定;涉农企业具有经济理性和短期收益导向,协同收益小幅提升即可激发其协同积极性;学研机构则更注重制度保障、社会效益与学术声誉等非经济因素,对经济激励敏感度较低。

3)在协同激励方面:协同创新次数对协同的促进作用强于正向激励系数。政府需根据各主体协同动力和资金政策供给情况动态调整干预力度与激励策略;涉农企业对即期激励和政府资金政策供给高度敏感;而学研机构的响应则相对滞后。

4)在违约惩罚方面:违约金水平较低时,协同系统主要依赖政府干预维持稳定;涉农企业对自身违约金约束高度敏感;学研机构则同时关注双方违约金的双重约束。项目中后期违约风险的防控需强化政府干预力度,涉农企业因经济理性会趋向协同合作,学研机构在低收益折损情况下易因隐性损

失担忧出现决策延迟。

4.2　对策建议

1)在协同成本方面：政府需设立专项基金，明确资金投向标准与拨付流程，重点向研发能力强、资金链紧张的学研机构倾斜，配套基金使用细则并建立成本动态监测预警机制；涉农企业可将试验场地、生产设备等实物资产投入纳入成本分摊体系，同步建立风险成本识别预警机制与额外成本再协商流程；学研机构应完善实验室资源开放共享管理制度，强化政府科技项目申报的针对性与精准度，借助政策性资金分担成本。

2)在协同收益方面：政府应建立收益动态反馈与补偿机制，明确收益不足的认定标准和专项补偿程序，并将知识扩散、技术溢出和产业带动效应等非经济收益纳入收益分配评估；涉农企业应加强中试基地和示范园区建设，完善成果转化各环节的衔接，加快科技成果转化和商业化应用；学研机构在争取科研项目立项、学术声誉奖励和重点实验室建设等支持的同时，可通过技术入股、长期销售分成和研发服务外包等方式拓宽收益渠道，提高协同收益水平。

3)在协同激励方面：政府需建立主体协同动力监测评估体系，动态调整干预力度，防范创新中断并避免公共资源浪费；针对涉农企业短期收益导向特征，设计创新成果转化资金即时补贴、税收减免等即期可兑现的激励措施，增强其协同动力；为学研机构提供长期、稳定的资金与制度保障，缓解其因研发周期长、资产专用性高所面临的资源约束；制定阶梯式协同激励政策，将协同创新次数与奖励额度、政策倾斜度挂钩，强化长期协同合作对三方关系的赋能作用。

4)在违约惩罚方面：政府应构建项目全周期风险分级管控机制，根据项目前期筹备、中期实施与后期验收不同阶段的风险特征，实施差异化监管与惩罚策略；明确涉农企业违约金的量化标准与执行细则，引入收益折损补偿机制，提高违约经济成本，抑制机会主义行为；学研机构需设计双向违约金约束机制，同步建立违约纠纷调解机制，并配套知识产权保护协议、成果权属明确条款等风险防控措施。

5　研究局限与未来展望

本研究仍存在一定局限，有待后续深入探讨：一是模型构建存在简化处理。政府参与农业政产学研协同创新所获得的收益具有多元性与隐性化特征，易受外部因素影响，为保证模型的可解性与准确性，本研究对其进行了必要的简化，政府策略选择的刻画精度有待完善。二是仿真参数设定仍有优化空间。不同类型涉农企业的资源禀赋与研发能力差异明显，农业科技创新各阶段的成本收益特征也不尽相同。受调研范围、研究周期与数据可得性限制，本研究尚未分类设定参数，仿真结果的全面性有待提升。三是研究范围与研究视角存在局限。各地区农业发展水平与资源禀赋差异显著，不同农业技术的研发周期与协同需求也各不相同，研究结论在不同情境下的普适性有待拓展。

基于此，未来研究可从以下3个方面进一步深化：一是完善模型设定。适度放宽假设条件，细致刻画政府的多元收益与复杂风险，并引入网络博弈视角，构建包含多主体、多维度的网络演化博弈模型，提升模型的科学性与适用性。二是细化仿真参数。结合不同类型涉农企业特征及农业科技创新各阶段、各环节的要求，分类设定参数，丰富参数取值范围与场景，增强仿真结果的全面性与可靠性。三是拓展研究范围与视角。纳入地区差异、不同农业技术类型等变量，探究不同场景下农业政产学研协同创新关系的演化规律，并开展国际比较分析，为本领域的制度设计提供更丰富的经验参照。

参考文献　References

[1] 中共中央，国务院．关于进一步深化农村改革 扎实推进乡村全面振兴的意见[EB/OL]．[2025-10-20]．https://www.gov.cn/gongbao/2025/issue_11906/material/gwygb202507.pdf
Central Committee of the Communist Party of China，State Council. Opinions on further deepening rural reforms and taking solid steps to advance all-around rural revitalization[EB/OL]．[2025-10-20]．https://www.gov.cn/gongbao/2025/issue_11906/ material/gwygb202507.pdf（in Chinese）

[2] 樊胜根．发展农业领域新质生产力助力农业现代化[J]．人民论坛·学术前沿，2024(13)：87-94
Fan S G. Developing new quality productive forces in agriculture to promote agricultural modernization[J]. *Frontiers*，2024(13)：87-94（in Chinese）

[3] 魏后凯，叶兴庆，杜志雄，樊胜根，罗必良，刘守英，黄承伟．加快构建新发展格局，着力推动农业农村高质量发展：权威专家深度解读党的二十大精神[J]．中国农村经济，2022(12)：2-34
Wei H K，Ye X Q，Du Z X，Fan S G，Luo B L，Liu S Y，Huang C W. Accelerating the construction of a new development pattern and promoting high-quality development of agriculture in rural areas：An in-depth interpretation by authoritative experts of the spirit of the 20th National Congress of the Communist Party of China[J]. *Chinese Rural Economy*，

2022(12): 2-34 (in Chinese)

[4] 毛世平, 杨艳丽, 林青宁. 改革开放以来我国农业科技创新政策的演变及效果评价: 来自我国农业科研机构的经验证据[J]. 农业经济问题, 2019(1): 73-85
Mao S P, Yang Y L, Lin Q N. The evolution and effect of Chinese agricultural science and technology innovation policies since reform and opening up: Empirical data analysis from Chinese agricultural research institutions[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2019(1): 73-85 (in Chinese)

[5] 吴洁, 车晓静, 盛永祥, 陈璐, 施琴芬. 基于三方演化博弈的政产学研协同创新机制研究[J]. 中国管理科学, 2019, 27(1): 162-173
Wu J, Che X J, Sheng Y X, Chen L, Shi Q F. Study on government-industry-university-institute collaborative innovation based on tripartite evolutionary game[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2019, 27(1): 162-173 (in Chinese)

[6] 毛长青, 许鹤瀛, 韩喜平. 推进种业振兴行动的意义、挑战与对策[J]. 农业经济问题, 2021(12): 137-143
Mao C Q, Xu H Y, Han X P. The implications, challenges and countermeasures of promoting seed industry revitalization action[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2021(12): 137-143 (in Chinese)

[7] 陈劲, 殷辉, 谢芳. 协同创新情景下产学研合作行为的演化博弈仿真分析[J]. 科技进步与对策, 2014, 31(5): 1-6
Chen J, Yin H, Xie F. The evolutionary game simulation on industry-academy-research cooperation in collaborative innovation[J]. *Science & Technology Progress and Policy*, 2014, 31(5): 1-6 (in Chinese)

[8] 李高扬, 刘明广. 产学研协同创新的演化博弈模型及策略分析[J]. 科技管理研究, 2014, 34(3): 197-203
Li G Y, Liu M G. Evolutionary game model and strategy analysis about the collaboration innovation of enterprises, colleges and institutes[J]. *Science and Technology Management Research*, 2014, 34(3): 197-203 (in Chinese)

[9] Etzkowitz H. 三螺旋: 大学·产业·政府三元一体的创新战略[M]. 周春彦 译. 北京: 东方出版社, 2005
Etzkowitz H. *The Triple Helix: University-Industry-Government Innovation in Action*[M]. Zhou C Y translated. Beijing: Eastern Publishing House, 2005 (in Chinese)

[10] 陈红喜. 基于三螺旋理论的政产学研合作模式与机制研究[J]. 科技进步与对策, 2009, 26(24): 6-8
Chen H X. Study on the mode and mechanism of the cooperation of government, industry, university and research institute based on the Triple Helix Theory[J]. *Science & Technology Progress and Policy*, 2009, 26(24): 6-8 (in Chinese)

[11] 庄涛, 吴洪. 基于专利数据的我国官产学研三螺旋测度研究: 兼论政府在产学研合作中的作用[J]. 管理世界, 2013, 29(8): 175-176
Zhuang T, Wu H. Research on the triple helix measurement of China's government-industry-university-research based on patent data: Also on the role of the government in industry-university-research's cooperation[J]. *Journal of Management World*, 2013, 29(8): 175-176 (in Chinese)

[12] Sarpong D, AbdRazak A, Alexander E, Meissner D. Organizing practices of university, industry and government that facilitate (or impede) the transition to a hybrid triple helix model of innovation[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2017, 123: 142-152

[13] Yoda N, Kuwashima K. Triple helix of university-industry-government relations in Japan: Transitions of collaborations and interactions[J]. *Journal of the Knowledge Economy*, 2020,11(3): 1120-1144

[14] 哈巍, 林璐. 我国政产学研协同创新的三螺旋模式及其多重演化路径[J]. 高等教育研究, 2023, 44(4): 1-16
Ha W, Lin L. The triple helix model and multiple evolutionary paths of collaborative innovation between government-industry-university-research in China[J]. *Journal of Higher Education*, 2023, 44(4): 1-16 (in Chinese)

[15] 杨阳, 李二玲, 王琳. 基于三螺旋理论的中国农业政产学研合作创新网络及其影响因素[J]. 河南科学, 2019, 37(10): 1690-1699
Yang Y, Li E L, Wang L. China's agricultural government-industry-university-institute cooperative innovation network and its influencing factors based on Triple Helix Theory[J]. *Henan Science*, 2019, 37(10): 1690-1699 (in Chinese)

[16] Leydesdorff L, Meyer M. The triple helix of university-industry-government relations[J]. *Scientometrics*, 2003, 58(2): 191-203

[17] Dubina I N. A game-theoretic formalization of the triple helix innovation conception[C]//In: *Mathematics, Statistics and Information Technologies in Economics, Management and Education: Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference. Part 1: Mathematics and Statistics.* Tver: Tver State University, 2015: 40-45

[18] Mêgnigbêto E. Modelling the Triple Helix of university-industry-government relationships with game theory: Core, Shapley value and nucleolus as indicators of synergy within an innovation system [J]. *Journal of Informetrics*, 2018, 12(4): 1118-1132

[19] Acuña M A O, de Almeida Filho A T, Ramos F S. Modelling the triple helix system innovation of the main economies from Latin America: A coalitional game theory approach[J]. *Scientometrics*, 2024, 129(6): 3245-3270

[20] 何寿奎, 王俊宇. 政府引导下的科学城政产学研协同创新合作策略演化博弈研究[J]. 科技与经济, 2022, 35(4): 21-25
He S K, Wang J Y. Evolutionary game research on the government-industry-research collaborative innovation cooperation strategy in science city under the guidance of government[J]. *Science & Technology and Economy*, 2022, 35(4): 21-25 (in Chinese)

[21] Zan A, Yao Y H, Chen H H. University-industry collaborative innovation evolutionary game and simulation research: The agent coupling and group size view[J]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2021, 68(5): 1406-1417

[22] Li T C, Zhou X Y. Research on the mechanism of government-industry-university-institute collaborative innovation in green technology based on game-based cellular automata[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(5): 3046

[23] Zhong Q, Cui H Y, Yang M, Ling C. Research on stochastic evolution game of green technology innovation alliance of government, industry, university, and research with fuzzy income[J]. *Sustainability*, 2025, 17(5): 2294

[24] Hou X N, Gao X X, Yin S, Li J M. A three evolutionary game model for driving mechanism of industry-university-research collaborative innovation in agricultural innovation ecosystems[J]. *PLoS One*, 2023, 18(8): e0289408

[25] Wang D, Zhang X W, Lu Y Z, Guo X Y. What influences the formation of China's agricultural collaborative innovation network? An ERGM approach [J]. *China Agricultural Economic Review*, 2025, 1-25

[26] 常哲, 郭彬. 产学研深度融合动态演化博弈机制研究: 基于创新过程视角[J]. 技术经济, 2023, 42(9): 24-40
Chang Z, Guo B. Research on dynamic evolution game mechanism of university-industry research deep integration: Based on the perspective of innovation process[J]. *Journal of Technology Economics*, 2023, 42(9): 24-40 (in Chinese)

[27] Friedman D. Evolutionary games in economics[J]. *Econometrica*, 1991, 59(3): 637-666

[28] Sterman J D. 商务动态分析方法: 对复杂世界的系统思考与建模[M]. 朱岩, 钟永光 译. 北京: 清华大学出版社, 2008
Sterman J D. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a*

Complex World[M]. Zhu Y, Zhong Y G translated. Beijing: Tsinghua University Press, 2008 (in Chinese)

[29] 陶丹, 朱德全. 产学研协同创新中产出分享利益分配方式的优化路径[J]. 统计与决策, 2017, 33(7): 36-40
Tao D, Zhu D Q. Optimizing path of output sharing for ICU cooperative innovation[J]. *Statistics and Decision*, 2017, 33(7): 36-40 (in Chinese)

[30] 臧欣昱, 马永红. 协同创新视角下产学研合作行为决策机制研究[J]. 运筹与管理, 2018, 27(3): 93-103
Zang X Y, Ma Y H. Research into decision-making mechanism of industry-university-institute cooperation under the perspective of collaborative innovation[J]. *Operations Research and Management Science*, 2018, 27(3): 93-103 (in Chinese)

责任编辑：申青苗



第一作者简介：张翔玮，管理学博士，国家信息中心博士后，主要研究方向为农业科技创新。参与国家社会科学基金重大项目1项、重点项目2项、一般项目1项，农业农村部咨询课题等科研项目7项，省级课题3项，智库课题2项；先后在*China Agriculture Economic Review*、*Agriculture*、《中国科技论坛》等国内外期刊发表学术论文5篇，刊发报纸文章1篇，撰写资政报告10余篇，其中1篇被国家宏观决策部门采用；参编学术著作2部；参与获得计算机软件著作权1项；多次参加国内外学术交流，获国际学术会议、区域学术会议最佳海报奖、优秀论文奖等；主笔的调研报告荣获2025年中国农业大学“中国乡村振兴百村典型案例征集活动”提名奖。



通讯作者简介：王丹，哈尔滨工业大学管理学博士，东北农业大学经济管理学院副教授、博士生导师，“东农学者计划”学术骨干。主要研究方向为农业科技创新、农业经济理论与政策。农业农村部科技创新管理咨询专家，《中国软科学》《中国农村经济》《中国农村观察》等期刊审稿人。主持国家社会科学基金一般项目、农业农村部咨询课题等科研项目10余项；在《中国软科学》、《农业经济问题》、*China Agriculture Economic Review*等国内外期刊发表学术论文20余篇，出版学术著作3部；在二十国集团智库峰会、中国农业经济学会学术研讨会等国内外学术会议上多次作大会报告；主笔的咨政报告多次被农业农村部、教育部等相关政府部门采纳。