

绿色信贷视角下建立绿色供应链的博弈研究^①

周永圣¹, 梁淑慧², 刘淑芹³, 王 珏⁴

(1. 北京工商大学商学院, 北京 100048; 2. 周口科技职业学院经济与管理工程系, 周口 466000;
3. 中央民族大学管理学院, 北京 100081; 4. 中国科学院数学与系统科学研究院, 北京 100190)

摘要: 绿色信贷和绿色供应链是银行与企业应对生态环境日益恶劣的重要举措, 政府部门的监管与引导更是绿色信贷和绿色供应链得以顺利实施的前提。本文基于政府对银行与企业同时进行奖惩, 通过建立政府、银行以及企业之间的三方非对称演化博弈模型, 分析了三方参与主体的演化稳定策略。研究表明: 无论政府选择何种策略, 银行和企业总有一方会选择“不实施”绿色信贷或“不采取”绿色供应链策略; 从短期的角度来看, 无论政府选择何种策略, 银行和企业都会选择“不实施”和“不采取”策略; 从长远的角度来看, 在没有政府监管的情况下, 银行和企业会主动选择“实施”与“采取”策略。

关键词: 绿色信贷; 绿色供应链; 演化博弈论; 政府补贴; 政府惩罚

中图分类号: F272

文献标识码: A

文章编号: 1007-9807(2017)12-0087-12

0 引言

高度发达的现代市场经济和工业文明, 虽然创造了物质生产力的高度发展, 但同时也造成了金融危机、生态环境危机的持续发生。在这种背景下, 中国经济就迫切需要以绿色发展为核心进行科学发展, 着力发展绿色供应链, 利用供应链企业群策群力保护生态环境, 加快建设资源节约型、环境友好型社会。发展绿色供应链既是我国实现可持续发展和经济结构转型的必然选择, 也是承担大国责任、应对国际减排压力的必然要求。金融部门通过实施绿色信贷, 利用信贷杠杆限制高污染和高损失行业的发展, 且对绿色供应链企业的发展给予优惠信贷政策, 对绿色供应链企业的技术研究、产品设计、生产和销售提供更多的资金支持。绿色信贷作为银行扶持绿色供应链发展的重要组成部分, 有着重要的意义。银行作为政府与企

业间的资金纽带, 有着非常重要的话语权, 同时, 作为以营利为目的经济组织, 获得经济利益是其天然的使命, 但扶持绿色经济发展, 贯彻执行国家绿色发展的经济政策又是其义不容辞的责任和义务, 这就需要一个纽带和桥梁在其中进行沟通牵线, 绿色信贷就是扮演了桥梁的角色。

对于绿色供应链中的政企关系研究, 国内外学者有着不同的见解。一些学者认为, 企业采用绿色供应链管理措施是由于受到政策法规以及客户的双重压力^[1], 指出政府和其他监管部门的指导和干预有利于鼓励企业积极实施绿色供应链管理。在政企合作下, 利益各方做出的不同策略选择对构建绿色供应链体系有重要影响; Liu 等^[2]建立了政企之间的博弈模型, 研究表明, 政府在绿色供应链的实施中起着重要的作用; 朱庆华和窦一杰^[3]基于绿色程度、政府补贴、产品竞争等因素对绿色供应链管理的影响, 建立了两个生产

① 收稿日期: 2016-06-28; 修订日期: 2017-01-17.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71271202; 71401003; 71771208); 北京市社会科学基金资助项目(15JG093).

作者简介: 周永圣(1978—), 男, 江苏如东人, 博士, 副教授. Email: zhouys@amss.ac.cn

商和政府之间的三阶段博弈模型;付秋芳等^[4]建立了供应商和制造商组成的两级供应链系统,对双方的碳减排行为及对搭便车行为进行分析得到进化稳定策略;Chu-hua Kuei 等^[5]认为外部环境因素(包括客户压力、监管压力、政府支持和环境的不确定性)都是促使企业采取绿色供应链的重要因素;Yong 等^[6]指出中国,中央政府和地方政府在促进清洁生产方面都发挥了主导作用,主要措施包括协调各利益相关方,提供资金支持,规定适当的政策和实施建设计划;Sheu^[7]使用非对称讨价还价博弈模型寻求政府金融干预下制造商和“逆向物流”供应商之间的协商解决方案,得出在政府金融干预下绿色供应链成员的议价能力有很大提升的结论;Rui 等^[8]通过博弈模型表明了,政府应当通过增加相关补贴和惩罚等相关环境法规来促使企业实施环境管理;盛光华和张志远^[9]分析了在政府两种不同的补贴方式下,企业对两种创新模式选择的演化稳定策略;郑艳芳等^[10]构建了政府、企业和消费者组成的博弈模型,指出政府节能补贴政策对企业的绿色产品设计的影响;Xu 等^[11]通过政府、家电企业和消费者之间的三方博弈模型,分析了基于政府补贴的家电行业实施绿色供应链的策略选择,指出了政府补贴的必要性,提出了补贴的标准;Jiuh-Biing 等^[12]通过三阶段博弈模型分析政府财务干预对绿色供应链竞争的影响,分析结果表明政府应该采取绿色税收和补贴来确保绿色产品的绿色收益是非负的;通过分析政府、企业、消费者等利益相关者的关系发现政府补贴政策能有效推动绿色供应链管理,并且对制造商的补贴要比对消费者的补贴更能促进绿色供应链的实施^[13];Hong 等^[14]讨论了电子产品逆向供应链中回收费用与政府补贴政策问题,构造了政府与制造商之间的斯坦伯克博弈,在社会福利最大化的条件下确定政府补贴的最优数额。

绿色信贷是我国特有的说法,国外称为绿色金融,众多学者从不同的角度对绿色信贷做了探讨,提出了一些绿色信贷的创新模式,以期解决绿色供应链过程中的融资、合作问题。如 Soundarrajan 等^[15]认为绿色金融是将环境纳入风险评估,

以市场为导向的投资或贷款项目。Yao 等^[16]认为绿色金融是将环境保护与经济利润相结合的新的金融模式,通过分析绿色金融与环境保护之间的内在矛盾,提出解决方案更好地实现生态平衡。Van 等^[17]通过分析日本生态城市规划的实施,探索政府主导的环境保护和可持续发展的创新模式。Bing 等^[18]调查了中央和地方实施绿色信贷的现状,指出实施绿色信贷的力度不足。González 等^[19]提出一种新的融资模式,这种融资模式不仅涉及了绿色金融,还考虑了资本市场、私人 and 公共部门。Li 等^[20]认为绿色金融的实施可以提高金融信用,满足利益相关者需求,实现企业风险管理,帮助企业作出更有利的战略决策。Scholtens 和 Dam^[21]分两组进行对比研究,一组是实行“赤道原则”的金融机构,另外一组是没有实行“赤道原则”的金融机构,结果表明采纳了“赤道原则”的金融机构社会责任感更强,且社会声望更高。Li 和 Liu^[22]认为在中国,碳金融的发展是一个长期、系统性的工程,需要利用传统的金融体系重构碳金融体系的内容,加速环境金融的构建。Motoko 等^[23]认为未来的成功依赖于有效的环境数据的收集和传播,技术指导,真正的金融激励银行的政策,在实现持续成功基础上能为中国提供成功的经验和信心以应对新的挑战;Biswas^[24]列出当前印度银行业采用绿色融资的情况,发现银行业没有太多的意愿实施绿色金融政策。

上述绿色供应链以及绿色金融的相关理论研究成果虽然在学术界有一定的影响力,但理论模型在刻画现实问题方面仍存在一定的差距。虽然发展绿色供应链可以提高企业的核心竞争力,改善生态环境,但同时也需要有相当的资金支持,而绿色信贷的实施恰好解决了目前中小企业融资难的问题。但这种以牺牲短期收益来获取长远发展的理念却并没有引起银行和企业的足够重视,绿色信贷和绿色供应链在我国面临“两难”困境。因此,依附于环境保护和社会可持续发展框架下的绿色供应链,需要将政府、银行和企业看成一个有机的系统进行研究。本文充分考虑政府在银行开展绿色信贷、企业实施绿色供应链过程中的重要

作用,通过建立政府、银行以及企业之间的三方演化博弈模型,找出各自的演化稳定策略,旨在提高企业经济效益的同时提高其环境效益和社会效益。

假设的基础上,将政府监管与不监管、银行实施与不实施、企业采取与不采取的策略进行组合。三方参与主体的收益组合矩阵如表 2 所示。

表 1 参数符号及其含义

Table 1 Symbols and meanings of the parameters

参数	含 义
C_1	政府对银行实施绿色信贷情况的监管成本
C_2	政府对企业采取绿色供应链情况的监管成本
R_1	绿色信贷下企业采取绿色供应链时政府获得的环境收益
R_2	非绿色信贷下企业采取绿色供应链时政府获得的环境收益
R_3	绿色信贷下企业不采取绿色供应链时政府获得的环境收益
R_4	非绿色信贷下企业不采取绿色供应链时政府获得的环境收益
ω_1	政府对银行实施绿色信贷的补贴系数
ω_2	政府对企业采取绿色供应链的补贴系数
Φ_1	政府对银行未实施绿色信贷的惩罚系数
M	政府对企业未采取绿色供应链的惩罚额度
I	符合绿色信贷政策的贷款规模
P_1	实施绿色信贷的银行所获得的收益
P_2	未实施绿色信贷的银行所获得的收益
C_3	银行实施绿色信贷的成本(即银行对企业的监督成本)
F_1	绿色信贷下企业采取绿色供应链时的收益
F_2	非绿色信贷下企业采取绿色供应链时的收益
F_3	绿色信贷下企业不采取绿色供应链时的收益
F_4	非绿色信贷下企业不采取绿色供应链时的收益
C_4	企业实施绿色供应链的成本
C_5	企业不采取绿色供应时的机会成本
x	政府群体选择“监管”策略的比例
y	银行群体选择“实施”策略的比例
z	企业群体选择“采取”策略的比例

其中: $P_1 - P_2$ (差额表示未实施绿色信贷的银行的机会成本)
 $x, y, z, \omega_1, \omega_2, \Phi_1, \Phi_2 \in [0, 1]$

1 模型建立

1.1 模型假设

为了有效开展进化博弈模型研究,在描述政府、银行与企业的三方演化博弈过程中对模型进行了必要的假设,假设如下:

1) 参与主体。假设博弈模型中有三个参与主体:政府(特指地方政府),对银行实施绿色信贷及企业实施绿色供应链的情况进行监督检查,并以此制定相关政策;银行,实施绿色信贷,为实施绿色供应链的企业提供资金支持;企业,接受政府与银行的监督,是绿色供应链的实施者。

2) “经济人”假设。参与主体的目的都是为了实现自身利益最大化。政府作为环境保护的倡导者,实现环境效益最大化;银行作为特殊的营利企业和一般性企业一样,利润最大化是他们追求的主要目标。

3) 有限理性假设。本文摒弃传统博弈而选择演化博弈,主要是因为参与主体的有限理性更加符合实际情况。

4) 策略。政府有两种策略,即“监管”和“不监管”;银行对绿色信贷也有两种策略可供选择,即“实施”与“不实施”;企业对绿色供应链管理同样有两种策略,即“采取”与“不采取”。

1.2 参数设置

在模型假设的基础上,考虑政府、银行与企业在选择各自策略时所考虑的主要因素,对模型中所用到的参数进行定义,各参数符号及其含义如表 1 所示:

2 模型求解

绿色供应链在我国企业的有效实施可以看成是政府、银行与企业三方动态博弈的结果。在模型

表 2 政府、银行与企业的三方博弈矩阵

Table 2 The three parties game matrix of governments , banks and enterprises

企业	政府监管(x)		政府不监管($1-x$)	
	银行实施(y)	银行不实施($1-y$)	银行实施(y)	银行不实施($1-y$)
采取(z)	($a_1 b_1 c_1$)	($a_2 b_2 c_2$)	($a_3 b_3 c_3$)	($a_4 b_4 c_4$)
不采取($1-z$)	($a_5 b_5 c_5$)	($a_6 b_6 c_6$)	($a_7 b_7 c_7$)	($a_8 b_8 c_8$)

当政府选择监管策略 , 银行选择不实施策略 , 企业选择采取策略时 , 政府的收益为非绿色信贷下企业采取绿色供应链策略带来的环境收益 R_2 , 加上银行不采取绿色信贷所受到的惩罚 $\Phi_1 I$, 减去政府监管成本 $C_1 + C_2$ 和对企业采取绿色供应链的补贴 $\omega_2 C_4$, 因此政府收益为: $R_2 - C_1 - C_2 +$

$\Phi_1 I - \omega_2 C_4$; 银行收益为不实施绿色信贷所获得收益 P_2 , 减去不实施绿色信贷的机会成本 $P_1 - P_2$ 以及政府对银行的惩罚 $\Phi_1 I$, 因此银行收益为 $2P_2 - P_1 - \Phi_1 I$; 同理企业的收益为 $F_2 - C_4 + \omega_2 C_4$. 同理也可求出其他几组政府、银行与企业的三方博弈收益值.

表 3 政府、银行与企业的博弈收益值

Table 3 The game revenue value of governments , banks and enterprises

策略	政府	银行	企业
($a_1 b_1 c_1$)	$R_1 - C_1 - C_2 - \omega_1 I - \omega_2 C_4$	$P_1 + \omega_1 I - C_3$	$F_1 - C_4 + \omega_2 C_4$
($a_2 b_2 c_2$)	$R_2 - C_1 - C_2 + \varphi_1 I - \omega_2 C_4$	$2P_2 - P_1 - \varphi_1 I$	$F_2 - C_4 + \omega_2 C_4$
($a_3 b_3 c_3$)	R_1	$P_1 - C_3$	$F_1 - C_4$
($a_4 b_4 c_4$)	R_2	$2P_2 - P_1$	$F_2 - C_4$
($a_5 b_5 c_5$)	$R_3 - C_1 - C_2 - \omega_1 I + M$	$P_1 + \omega_1 I - C_3$	$F_3 - C_5 - M$
($a_6 b_6 c_6$)	$R_4 - C_1 - C_2 + \varphi_1 I + M$	$2P_2 - P_1 - \varphi_1 I$	$F_4 - C_5 - M$
($a_7 b_7 c_7$)	R_3	$P_1 - C_3$	$F_3 - C_5$
($a_8 b_8 c_8$)	R_4	$2P_2 - P_1$	$F_4 - C_5$

3 模型分析

演化博弈论摒弃传统博弈论要求参与者完全理性的假设 , 基于有限理性的参与者首先对每个主体的战略行为进行均衡分析 , 然后通过复制动态分析 , 综合以上两种分析得出结论.

3.1 政府综合分析及结论

1) 政府的均衡分析

假设政府选择“监管”的期望收益为 U_{G1} , 选择“不监管”的期望收益为 U_{G2} , 政府的平均期望收益为 U_G . 则

$$U_{G1} = yza_1 + (1-y)za_2 + y(1-z)a_5 + (1-y)(1-z)a_6$$

$$U_{G2} = yza_3 + (1-y)za_4 + y(1-z)a_7 + (1-y)(1-z)a_8$$

$$U_G = xU_{G1} + (1-x)U_{G2}$$

$$= x[yza_1 + (1-y)za_2 + y(1-z)a_5 +$$

$$(1-y)(1-z)a_6] + (1-x) \times [yza_3 + (1-y)za_4 + y(1-z)a_7 + (1-y)(1-z)a_8]$$

2) 政府的复制动态分析

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(U_{G1} - U_G) = x(1-x) \times$$

$$[(1-y)\varphi_1 I + (1-z)M - y\omega_1 I - z\omega_2 C_4 - C_1 - C_2]$$

为方便计算 , 令

$$z_0 = \frac{(\varphi_1 I - C_1) + (M - C_2) - (\omega_1 I + \varphi_1 I)y}{\omega_2 C_4 + M}$$

① 若 $z = z_0$, 则 $F(x) = 0$, 这意味着所有的水平都是稳定的.

② 若 $z \neq z_0$, 令 $F(x) = 0$, 则 $x = 0$, $x = 1$ 是两个稳定点.

对 $F(x)$ 求导得

$$\frac{dF(x)}{dx} = (1-2x) [(1-y)\varphi_1 I + (1-z)M - y\omega_1 I - z\omega_2 C_4 - C_1 - C_2] ,$$

由于演化稳定策略要求 $\frac{dF(x)}{dx} < 0$, 因此对 $-(\omega_1 I +$

$\varphi_1 I) y + (\varphi_1 I - C_1) + (M - C_2)$ 的不同情况进行分析:

因为 $0 < x < 1, 0 < y < 1, 0 < z < 1$, 所以

①当 $(\varphi_1 I - C_1) + (M - C_2) < 0$ 时, $(1 - y) \varphi_1 I + (1 - z) M - y \omega_1 I - z \omega_2 C_4 - C_1 - C_2 < 0$,

因此, 当 $x = 0$ 时, $\frac{dF(x)}{dx} < 0$; 当 $x = 1$ 时, $\frac{dF(x)}{dx} >$

0 故 $x = 0$ 是演化稳定策略.

②当 $(\varphi_1 I - C_1) + (M - C_2) > 0$ 时, 即 $\varphi_1 I + \varphi_2 F_2 > C_1 + C_2$ 时

若 $z > z_0$, 则当 $x = 0$ 时, $\frac{dF(x)}{dx} > 0$; 当 $x =$

1 时, $\frac{dF(x)}{dx} < 0$, 故 $x = 1$ 是演化稳定策略.

若 $z < z_0$, 则当 $x = 1$ 时, $\frac{dF(x)}{dx} < 0$; 当 $x =$

0 时, $\frac{dF(x)}{dx} > 0$, 故 $x = 0$ 是演化稳定策略.

通过以上分析, 政府的动态趋势示意图如图 1 所示.

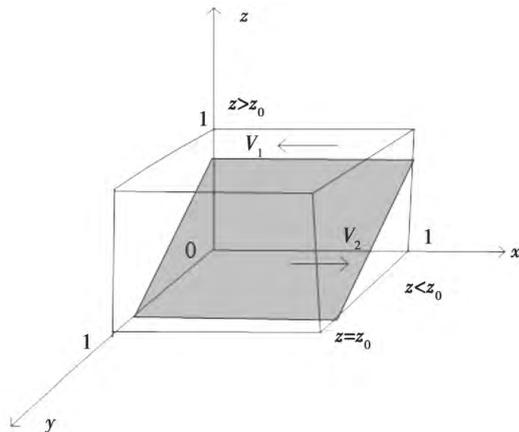


图 1 政府动态趋势示意图

Fig. 1 The dynamic trend diagram of the government

①当政府策略的初始状态处于空间 V_1 时, $(\varphi_1 I - C_1) + (M - C_2) < 0$, 即 $\varphi_1 I + M < C_1 + C_2$ 时 $x = 0$ 是均衡点, 此时, 政府会选择“不监管”策略. 因此, 当政府监管的成本大于所获得的利益时, 政府会选择“不监管”的策略.

②当政府策略的初始状态处于空间 V_2 时, $(\varphi_1 I - C_1) + (M - C_2) > 0$, 即 $\varphi_1 I + M > C_1 + C_2$ 时 $x = 1$ 是均衡点, 此时政府会选择“监管”策略. 因此, 当政府监管的成本小于所获得的利益时, 政府会选择“监管”的策略.

3) 参数分析

由图 1 分析可知, 当其他参数不变, ω_1 或 ω_2 增大时, z_0 变小. 对比图 1, 当 z_0 变小的时候, 阴影部分即横截面会往下移, 即 V_1 变大, 也即当政府对企业的补贴力度越大, 政府越趋向于不监管策略, 说明当补贴增大时, 企业会倾向于选择采取绿色供应链策略, 银行会倾向于选择绿色信贷策略, 因此政府倾向于选择不监管策略. 同理当 C_1 或者 C_2 增大时, V_1 变大, 即当政府监督企业和银行的成本越大, 对于政府而言便形成了成本压力, 促使政府越倾向于选择不监管策略.

4) 政府的演化结果分析

以上两种情况比较符合目前我国地方政府的现状, 即以牺牲环境效益而追求短期的地方经济增长. 形成这种状况的主要原因是由于我国特有的政府评价机制, 即单纯依靠地方 GDP 的增长来衡量一个地区或一届政府的优劣, 以至于地方政府部门唯 GDP 思潮泛滥, 盲目的拆建以扩大本任的政绩, 往往地方政府部门为了地方经济的增长而忽略甚至恶意破坏生态环境, 不仅不会增加政府开支以扶持企业进行绿色生产与经营, 亦不会因企业的粗放生产损坏生态环境而进行惩罚, 使得企业既无动力进行绿色供应链策略, 也无因破坏生态环境而遭受惩罚的顾虑. 对此困境, 一方面需要中央政府将政府考核标准多元化, 更应将环境效益纳入地方政府评价机制, 在地方政府评价机制中增加环境效益所占的比重, 同时减少经济增长所占的比重, 以此促进我国环境质量水平的提高; 另一方面需要政府积极探索与银行、企业间的横向关系, 寻求三者之间的均衡, 敦促银行实施绿色信贷策略以及企业采取绿色供应链策略.

3.2 银行综合分析及结论

1) 银行的均衡分析

假设银行选择“实施”的期望收益为 U_{B1} , 选择“不实施”的期望收益为 U_{B2} , 银行选择“实施”与“不实施”的平均期望收益为 U_B . 则

$$U_{B1} = xzb_1 + x(1-z)b_5 + z(1-x)b_3 + (1-x)(1-z)b_7$$

$$U_{B2} = xzb_2 + x(1-z)b_6 + z(1-x)b_4 + (1-x)(1-z)b_8$$

$$U_B = yU_{B1} + (1-y)U_{B2} = y[xzb_1 + x(1-z)b_5 + z(1-x)b_3 +$$

$$(1-x)(1-z)b_7] + (1-y) [xz b_2 + x(1-z)b_6 + z(1-x)b_4 + (1-x)(1-z)b_8]$$

2) 银行的复制动态分析

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(U_{B1} - U_B) = y(1-y) [2P_1 - 2P_2 - C_3 + x(\omega_1 I + \varphi_1 I)]$$

为方便计算令 $x_0 = \frac{C_3 - 2(P_1 - P_2)}{\omega_1 I + \varphi_1 I}$.

① 若 $x = x_0$, 则 $F(y) = 0$, 这意味着所有的水平都是稳定的.

② 若 $x \neq x_0$, 令 $F(y) = 0$, 则 $y = 0, y = 1$ 是两个稳定点.

对 $F(y)$ 求导得,

$$\frac{dF(y)}{dy} = (1-2y) [2P_1 - 2P_2 - C_3 + x(\omega_1 I + \varphi_1 I)]$$

由于演化稳定策略要求 $\frac{dF(y)}{dy} < 0$, 因此对 $C_3 - 2(P_1 + P_2)$ 的不同情况进行分析:

① 当 $x_0 > 1$, 即 $C_3 - 2(P_1 - P_2) > \omega_1 I + \varphi_1 I$ 时, 恒有 $x < x_0$, 当 $y = 0$ 时, $\frac{dF(y)}{dy} < 0$; 当 $y = 1$ 时, $\frac{dF(y)}{dy} > 0$, 故 $y = 0$ 是演化稳定策略.

② 当 $x_0 < 1$, 即 $C_3 - 2(P_1 - P_2) < \omega_1 I + \varphi_1 I$ 时, 若 $x > x_0$, 则当 $y = 1$ 时, $\frac{dF(y)}{dy} < 0$; 当 $y = 0$ 时, $\frac{dF(y)}{dy} > 0$, 故 $y = 1$ 是演化稳定策略.

若 $x < x_0$, 则当 $y = 0$ 时, $\frac{dF(y)}{dy} < 0$; 当 $y = 1$ 时, $\frac{dF(y)}{dy} > 0$, 故 $y = 0$ 是演化稳定策略.

通过以上分析, 银行的动态趋势示意图如图 2 所示.

由图 2 得出以下结论:

(1) 当银行策略的初始状态处于空间 V_3 时, $x_0 > 1$, 即 $2P_2 - \varphi_1 I > \omega_1 I + 2P_1 - C_3$, $y = 0$ 是进化稳定策略, 此时银行会选择“不实施”策略. 故在综合考虑政府补贴与惩罚的情况下, 当银行实施绿色信贷所获得净收益小于不实施绿色信贷所获得的净收益时, 银行最终都会选择“不实施”.

(2) 当银行策略的初始状态位于空间 V_4 时, $x_0 < 1$, 即 $2P_2 - \varphi_1 I < \omega_1 I + 2P_1 - C_3$, $y = 1$ 是演

化稳定策略, 此时银行会选择“实施”策略. 因此, 在考虑政府补贴和处罚的情况下, 当银行实施绿色信贷的净收益大于不实施绿色信贷的净收益时, 银行最终会选择实施策略.

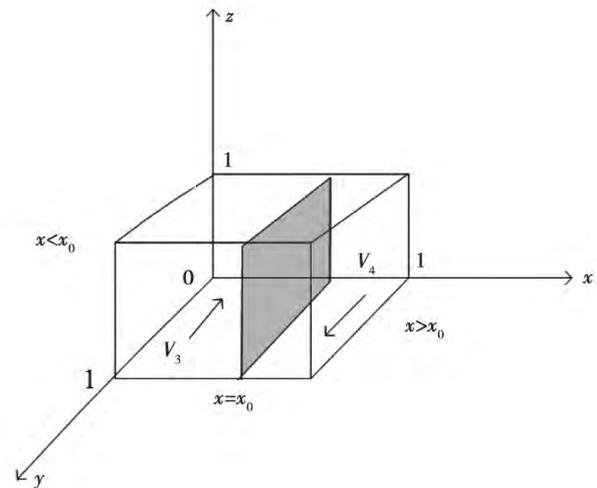


图 2 银行动态趋势示意图

Fig. 2 The dynamic trend diagram of the bank

3) 参数分析

由图 2 可见, 银行策略的初始状态空间 V_3, V_4 的大小和 x_0 的大小有关, 当 ω_1 增大时, x_0 变小, 图 2 中阴影横截面向左移动, V_4 空间会变大, 说明当政府对银行实施绿色信贷的补偿系数增大时, 银行会更愿意实施绿色信贷. 同理, 当 φ_1 增大时, V_4 空间也变大, 说明当政府对银行不实施绿色信贷的惩罚系数增大时, 银行也会更愿意实施绿色信贷. 而当 C_3 增大时, x_0 变大, 那么 V_3 空间变大, 说明银行实施绿色信贷的成本越大, 银行越不愿意实施绿色信贷. 当 P_1 越大, P_2 越小, $P_1 - P_2$ 越大, x_0 越小, 那么 V_4 空间越大, 说明银行不实施绿色信贷的机会成本越大时, 银行越趋向于实施绿色信贷.

4) 银行演化结果分析

以上分析说明, 银行最终会选择何种策略是 以其所获得的净收益为依据的, 即银行策略的选择是以收益为导向的, 这也充分说明了我国绿色信贷实施效果不理想的原因. 因此, 针对银行这一以盈利为目的的经营者的本质, 要使银行主动选择“实施”策略, 则必须提升其获益的可行性, 就必须得调整相应的参数以使得 $2P_2 - \varphi_1 I < \omega_1 I + 2P_1 - C_3$, 故政府可以采取的相关措施有: 增加对银行实施绿色信贷的补贴系数、增加对未实施绿

色信贷银行的惩罚系数、通过政府作为担保或者由政府出资购买银行呆滞等不良贷款降低银行实施绿色信贷的风险系数,政府提供优惠政策降低银行绿色信贷的实施成本、由政府入股或者控股专业的绿色信贷银行,同时加大对绿色信贷银行的宣传力度、引导储蓄者选择绿色信贷银行等。

3.3 企业综合分析及结论

1) 企业群体的均衡分析

假设企业选择“采取”的期望收益为 U_{C1} , 选择“不采取”的期望收益为 U_{C2} , 企业选择“采取”与“不采取”的平均期望收益为 U_C .

$$U_{C1} = xyc_1 + x(1-y)c_2 + y(1-x)c_3 + (1-x)(1-y)c_4$$

$$U_{C2} = xyc_5 + x(1-y)c_6 + y(1-x)c_7 + (1-x)(1-y)c_8$$

$$U_C = zU_{C1} + (1-z)U_{C2} \\ = z[xyc_1 + x(1-y)c_2 + y(1-x)c_3 + (1-x)(1-y)c_4] + (1-z) \times [xyc_5 + x(1-y)c_6 + y(1-x)c_7 + (1-x)(1-y)c_8]$$

2) 企业的复制动态分析

$$F(z) = \frac{dz}{dt} = z(U_{C1} - U_C) \\ = z(1-z)[C_5 - C_4 + y(F_1 - F_3) + (1-y)(F_2 - F_4) + x(\omega_2 C_4 + \varphi_2 F_2)]$$

为方便计算,令

$$y_0 = \frac{F_4 - F_2 + C_4 - C_5 - (\omega_2 C_4 + M)x}{F_1 + F_4 - F_2 - F_3}$$

① 若 $y = y_0$, 则 $F(z) \equiv 0$, 这意味着所有的水平都是稳定的。

② 当 $y \neq y_0$, 令 $F(z) = 0$, 则 $z = 0, z = 1$ 是两个稳定点。

对 $F(z)$ 求导得,

$$\frac{dF(z)}{dz} = (1-2z)[C_5 - C_4 + y(F_1 - F_3) + (1-y)(F_2 - F_4) + x(\omega_2 C_4 + M)]$$

由于演化稳定策略要求 $\frac{dF(z)}{dz} < 0$, 因此对 $x(\omega_2 C_4 + M) + y(F_1 + F_4 - F_2 - F_3) + F_2 - F_4 + C_5 - C_4$ 的不同情况进行分析:

① 当 $F_3 - F_1 + C_4 - C_5 > \omega_2 C_4 + M$ 时, 因为 $0 < x < 1, 0 < y < 1$, 可以证明 $[C_5 - C_4 + y(F_1 -$

$F_3) + (1-y)(F_2 - F_4) + x(\omega_2 C_4 + M)] < 0$. 因此, 当 $z = 0$ 时, $\frac{dF(z)}{dz} < 0$; 当 $z = 1$ 时, $\frac{dF(z)}{dz} > 0$ 故 $z = 0$ 是演化稳定策略。

② 当 $F_3 - F_1 + C_4 - C_5 < \omega_2 C_4 + M$ 时,

若 $y > y_0$, 则当 $z = 1$ 时, $\frac{dF(z)}{dz} < 0$; 当 $z = 0$ 时, $\frac{dF(z)}{dz} > 0$ 故 $z = 1$ 是演化稳定策略。

若 $y < y_0$, 则当 $z = 0$ 时, $\frac{dF(z)}{dz} < 0$; 当 $z = 1$ 时, $\frac{dF(z)}{dz} > 0$ 故 $z = 0$ 是演化稳定策略。

通过以上分析,企业的动态趋势示意图如图 3 所示。

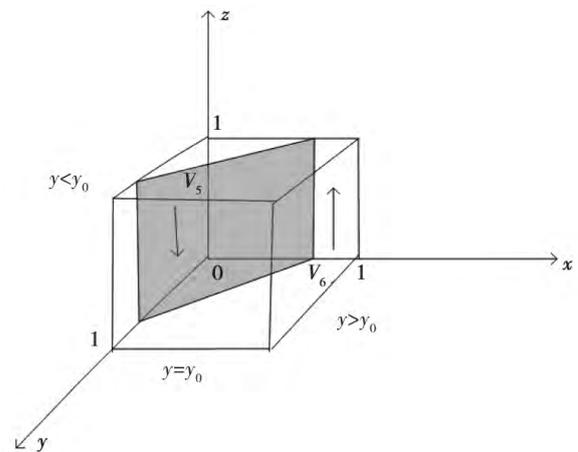


图 3 企业动态趋势示意图

Fig. 3 The dynamic trend diagram of the enterprise

由图 3 得出以下两个结论:

(1) 当企业策略的初始状态处于 V_5 时, $F_3 - F_1 + C_4 - C_5 > \omega_2 C_4 + M$, 即 $F_3 - C_5 - M > F_1 - C_4 + \omega_2 C_4$ 时, $z = 0$ 是演化稳定策略, 此时企业会选择“不采取”策略。故在银行实施绿色信贷、政府对企业进行奖惩的情况下, 当企业“采取”所获得的净收益小于“不采取”所获得的净收益时, 企业最终都会选择“不采取”。

(2) 当企业策略的初始状态处于 V_6 时, $F_3 - F_1 + C_4 - C_5 < \omega_2 C_4 + M$, 即 $F_3 - C_5 - M < F_1 - C_4 + \omega_2 C_4$ 时, $z = 1$ 是演化稳定策略, 此时企业会选择“采取”策略。因此, 当银行选择实施绿色信贷且政府对于企业进行补贴惩罚的情况下, 当企业“采取”所获得的净收益大于“不采取”的净收益时, 企业最终都会选择“采取”。

3) 参数分析

对图 3 进行分析,当 ω_2 增大时, V_6 增大,说明当政府对企业采取绿色供应链的补贴系数越大,企业越趋向于选择实施绿色供应链.同理,当 φ_2 增大时, V_6 也增大,说明企业不采取绿色供应链的惩罚系数越大,企业选择实施绿色供应链的概率越大.当 C_4 越小, C_5 越大, V_6 越大,说明当企业实施绿色供应链的成本越小,企业不实施绿色供应链的机会成本越高,企业更趋向于选择实施绿色供应链策略.

4) 企业的演化结果分析

以上分析说明,企业最终会选择何种策略是以前所获得的净收益为依据,即企业策略的选择也是以收益为导向,这也充分说明了我国绿色供应链实施效果不理想的原因.因此,针对企业这一以盈利为目的的经营者的本质,要使企业主动选择“采取”策略,则必须提升其获益的可行性,要使企业主动选择“采取”策略,则必须调整相应的参数使得 $F_3 - C_5 - M < F_1 - C_4 + \omega_2 C_4$,由此政府应该采取的措施有:利用政府天然的优势,用政策、补贴、政府定向投资等杠杆来增加“不采取”企业惩罚系数、提高“采取”企业的补贴系数、增加“不采取”企业的机会成本、减少实施绿色供应链的成本,同时,建立绿色供应链企业标杆,加大支持力度,推动绿色供应链企业产品的发展,积极引导消费者购买绿色供应链企业产品以使得绿色供应链得以实施和推广.

3.4 各参与主体综合分析及结论

通过对三方各参与主体的均衡分析和复制动态分析,将三方参与主体看成一个有机的整体进行综合分析.图 1、图 2 及图 3 分别将政府、银行与企业的动态趋势图划分成了两部分,将各参与主体的初试状态进行排列组合,则三方参与主体在各空间的均衡点如表 3 所示.

结合图 1、图 2、图 3 可以看出,以上 8 种均衡状态都不具有对微小扰动的稳健性,平衡状态都是短暂的,所有参与主体的选择是相互影响的,因此该三方博弈没有进化稳定策略.

当初始状态处于空间 V_2, V_3, V_5 交集内的空间时,各参与主体的策略行为都将收敛于 $(1, \rho, 0)$.即从短期的角度来看,由于银行和企业未看到实施绿色信贷和采取绿色供应链的长期收益,

初始状态下银行群体实施绿色信贷和企业群体采取绿色供应链的比例过低,即使政府采取相应的监管措施,银行和企业最终依然会选择“不实施”和“不采取”策略.因此,在当前的情况下,为了绿色环境的发展,政府应采取强有力的政策,使采取绿色信贷的银行和采取绿色供应链的企业比例有一个大的飞跃,以摆脱这种贫困陷阱困境.

表 4 参与主体在各空间的策略选择

Table 4 The strategy choice of participants in each space

空间	V_1		V_2	
	V_3	V_4	V_3	V_4
V_5	$(0, \rho, 1)$	$(0, 1, \rho)$	$(1, \rho, \rho)$	$(1, 1, \rho)$
V_6	$(0, \rho, 1)$	$(0, 1, 1)$	$(1, \rho, 1)$	$(1, 1, 1)$

在 $x = 1, y = 1, z = 1$ 即(监管,实施,采取)的均衡状态下,政府进行激励,银行选择实施绿色信贷,企业选择采取绿色供应链,这与我国目前的状况比较契合,由于我国绿色信贷、绿色供应链的实行都还处于初级阶段,政府的干预必不可少.从图 2、图 4、图 6 也可以看出,在 x_0 值较小, z_0 值会较大的情况下,才会出现这种均衡状态,即只有政府进行干预才能保证银行实施绿色信贷策略,企业采取绿色供应链策略.

当初始状态处于空间 V_1, V_4, V_6 交集内的空间时,各参与主体的策略行为都将收敛于 $(0, 1, 1)$.即从长远的角度来看,在没有政府监管的情况下,银行和企业最终会主动选择“实施”与“采取”策略,这既是必然,也是我国发展绿色供应链的长期目标.

4 算例分析

下面采用数值实验来分析各个主体选择某种策略的初始比例以及政府对企业的补贴和惩罚参数的变化对演化结果的影响.

参数取值为 $I = 50, C_1 = 1, C_2 = 1, \omega_1 = 0.2, \omega_2 = 0.1, \varphi_1 = 0.4, M = 15, P_1 = 10, P_2 = 15, C_3 = 3, F_1 = 35, F_2 = 40, F_3 = 50, F_4 = 47, C_4 = 5, C_5 = 7, T_1 = 5, T_2 = 6$ 其中 x_0, y_0, z_0 的取值公式与模型分析中的一致.

1) 选择某种策略的初始比例变化对演化结果的影响.数值实验结果如图 4 所示,其中 $x_0, y_0,$

z_0 分别表示政府群体选择监管策略、银行群体选择实施绿色信贷策略、企业群体选择采取绿色供应链的初始比例. 从该图可以看出, 政府、银行、企业的演化均衡结果是相互影响的, 收敛结果不仅跟本群体中选择策略的初始比例有关系, 还受另外两个群体选择策略的初始比例影响, 并且可以明显看出三方主体选择策略的概率变动具有周期性, 都是先趋向于 1 然后趋向于 0. 图 4 表示最终三方群体也没有达到一个固定的均衡状态, 而是一直变动着, 说明该三方博弈没有进化稳定策略.

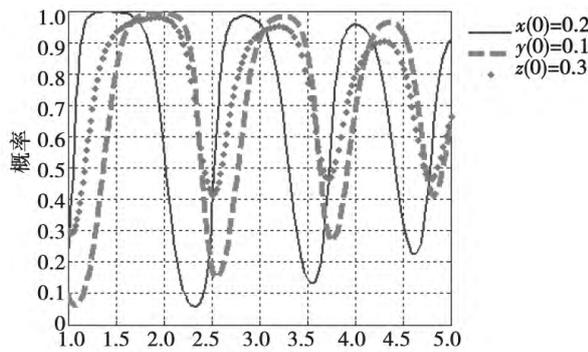


图 4 不同初始状态下的均衡结果

Fig. 4 Equilibrium results under different initial states

2) 不同初始状态下各参与主体的选择不同. 数值实验结果如图 5 所示. 其中 x_0, y_0, z_0 分别表示政府群体选择监管策略、银行群体选择实施绿色信贷策略、企业群体选择采取绿色供应链的初始比例. 图 5 说明了在不同初始状态下政府、银行、以及企业的均衡策略选择, 并且只考虑了初始状态的变化, 没有考虑之后三方的相互影响. 通过图 5 可以看出, 在三方博弈不同的初始状态下会有 8 种不同的均衡结果, 而这不同的均衡结果跟上文各参与主体的综合分析和结论是一致的, 这里仅选择了较为特殊的两种作为比较. 图 5 实线代表银行群体的策略选择, 粗虚线代表政府群体的策略选择, 而细虚线代表企业群体的策略选择. 当政府监管力度的初始值较低时, 即便政府在随后极力提升监管力度, 但因为银行与企业之前所受到的监管压力较低使得他们并不太愿意改变现状, 而会极力抵制, 趋于不实施状态. 但是, 当政府监管力度的初始值较高时, 在一开始便给予了银行与企业较大的压力, 使得这种压力成为一贯的一种常态, 即便在政府取消监管以后, 银行与企业也会自觉地遵守曾经监管下的一些规则, 自觉地

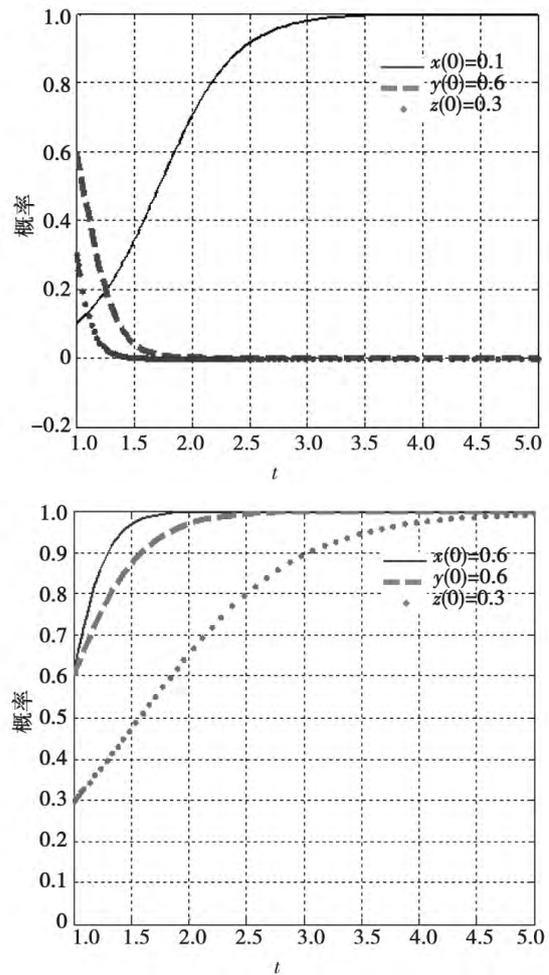


图 5 不同初始状态下的策略选择

Fig. 5 Strategy selection under different initial states

实施绿色策略. 而之所以会出现不同均衡结果, 重要的就是三方的初始选择比例与相应的 x_0, y_0, z_0 之间的关系有关, 而 x_0, y_0, z_0 的取值则与文中的各个参数相关, 因此通过调节各参数的值改变 x_0, y_0, z_0 的大小, 也能改变最终的均衡结果. 图 5 第二个图是政府群体选择监管策略的比例由初始 0.1 增长到 0.6 时, 银行群体更倾向于实施绿色信贷策略而企业则更倾向于选择采取绿色供应链策略. 这种情况说明在银行群体实施绿色信贷的初始比例以及企业采取绿色供应链策略的初始比例不变的情况下, 当政府群体选择监管策略的初始比例增大的情况下, 企业和银行的策略选择都会发生变化, 表明了短期内绿色供应链的发展过程中政府监管作用的重要性, 只有政府的监管达到一定的强度, 才能提高银行和企业的积极主动性.

3) 政府对企业的补贴和惩罚的变化对演化结果的影响. 其中 x_0, y_0, z_0 分别表示政府群体选择“监管”策略、银行群体选择“实施”绿色信贷策略、企业群体选择“采取”绿色供应链策略的初始比例. 在其他参数都不变的情况下, 改变 ω_2 的值和 M 的值, 最初 $\omega_2 = 0.1, M = 15$ 现在使 $\omega_2 = 0.3, M = 22$. 实验结果如图 6 所示, 初始比例都相同, 政府对企业的补贴系数和惩罚额度都增加之后, 三方博弈的最终均衡状态也发生了改变. 在图 6 (a) 中企业最终趋向于选择不采取绿色供应链策略, 银行最终趋向于选择不实施绿色信贷策略, 政府选择监管策略, 而在政府对企业的补贴系数和惩罚系数都增加之后, 通过图 6 (b) 可以看到, 政府和银行的最终均衡策略没有改变, 政府

仍趋向于选择监管策略且银行也趋向于选择实施绿色信贷策略, 而企业最终则趋向于选择采取绿色供应链策略. 这也表明了当政府增加对企业的补贴系数和惩罚系数时, 企业选择不采取绿色供应链策略的成本将会增大, 且由于补贴系数增大, 企业选择实施绿色供应链策略的相对收益也会增加, 所以企业最终趋向于采取绿色供应链策略. 因此, 可以通过调整各个参数的值改变最终三方的均衡策略, 以实现绿色供应链的长远发展.

5 结束语

绿色供应链的发展需要政策、资金以及技术等方面的支持, 涉及政府、银行及消费者等多方利益主体. 与非常直观的对供应链企业进行资金补贴或者运用行政措施强制企业采取绿色供应链相比, 本研究将政府、银行的政策、利率等优惠引入, 在综合分析政府、银行、企业三方演化博弈的基础上发现, 政府的奖惩措施、银行的绿色信贷将成为企业由短期被动采取绿色供应链到长期主动采取绿色供应链的桥梁. 并且与以往的国内外学者的两两博弈研究相比, 本研究将政府、银行与企业三者放在一起进行研究, 突破了以往研究中两两博弈的局限性, 但仍存在考虑因素不充分等缺陷. 因此, 未来的研究还可以考虑以下两方面的问题.

1) 企业资源税中的碳税交易. 为了应对环境中二氧化碳的提高, 各国相继建立了碳交易市场. 对于企业未使用的碳额可以上市交易卖出, 对企业不足的碳额可以上市买入. 因此, 可以在三方博弈中加入企业的碳交易成本, 并在此基础上研究碳交易对政府、银行与企业的影响.

2) 考虑消费者的偏好行为. 本文仅考虑了政府、银行和企业三方参与主体, 但在环保过程中最具有话语权的还是消费者. 如果消费者的环保意识足够高, 极力抵制不采取绿色供应链企业的产品或拒绝向未实施绿色信贷的银行存入款项, 那么这种银行和企业是无法生存下去的. 所以消费者的地位是不可或缺的也是最需要考虑的因素之一, 可是尝试引入消费者, 使博弈过程变为四方博弈.

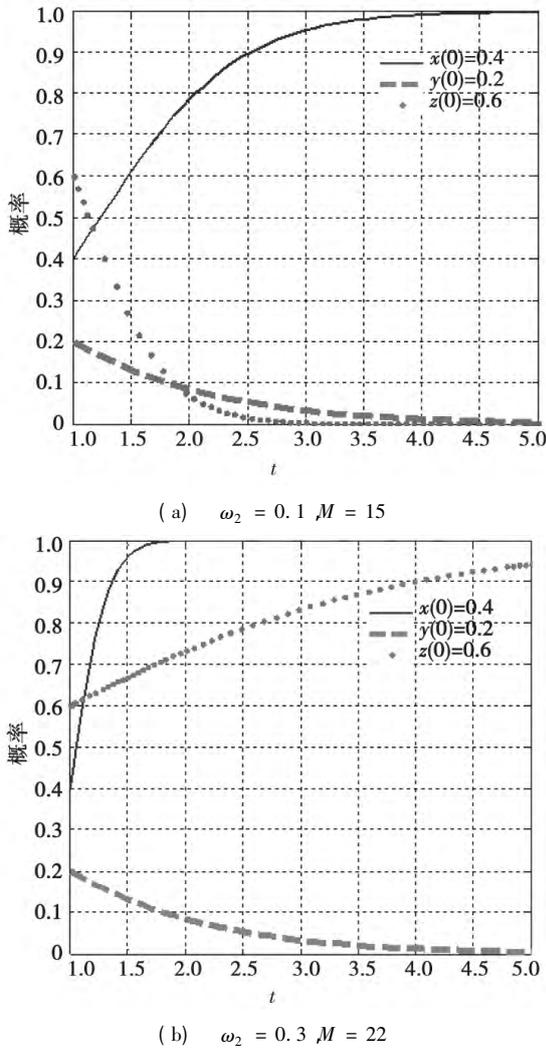


图 6 政府对企业的补贴和惩罚的变动对演化结果的影响

Fig. 6 The influence of the government subsidies and penalties on the evolutionary results

参考文献:

- [1] Glover J L , Champion K J , Daniel A J , et al. An institutional theory perspective on sustainable practices across the dairy supply chain [J]. *Int. J. Prod. Econ* , 2014 , 152: 102 – 111.
- [2] Liu M , Ye H , Qi X , et al. Analysis on trilateral game of green supply chain [C] // *Logistics@ s The Emerging Frontiers of Transportation and Development in China* , ASCE , 2008: 575 – 581.
- [3] 朱庆华, 龚一杰. 基于政府补贴分析的绿色供应链管理博弈模型 [J]. *管理科学学报* , 2011 , 14(6) : 86 – 95.
Zhu Qinghua , Dou Yijie. A game model for green supply chain management based on government subsidies [J]. *Journal of Management Sciences in China* , 2011 , 14(6) : 86 – 95. (in Chinese)
- [4] 付秋芳, 忻莉燕, 马士华. 惩罚机制下供应链企业碳减排投入的演化博弈 [J]. *管理科学学报* , 2016 , 19(4) : 56 – 70.
Fu Qiufang , Xin Liyan , Ma Shihua. Evolutionary game of carbon emission reduction investment in supply chains under a contract with punishment mechanism [J]. *Journal of Management Sciences in China* , 2016 , 19(4) : 56 – 70. (in Chinese)
- [5] Kuei Chuhua , Christian N Madu , Wing S , et al. Determinants and associated performance improvement of green supply chain management in China [J]. *Journal of Cleaner Production* , 2015 , 95: 163 – 173.
- [6] Yong G , Wang X , Zhu Q , et al. Regional initiatives on promoting cleaner production in China [J]. *Clean. Prod* , 2010 , 18: 1502 – 1508.
- [7] Sheu J B. Bargaining framework for competitive green supply chains under governmental financial intervention [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* , 2011 , 47: 573 – 592.
- [8] Rui Zhao , Gareth Neighbour , Han Jiaojie , et al. Using game theory to describe strategy selection for environmental risk and carbon emissions reduction in the green supply chain [J]. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* , 2012 , 25: 927 – 936.
- [9] 盛光华, 张志远. 补贴方式对创新模式选择影响的演化博弈研究 [J]. *管理科学学报* , 2015 , 18(9) : 35 – 45.
Sheng Guanghua , Zhang Zhiyuan. Allowance method's influence on the innovation model choice in evolutionary game [J]. *Journal of Management Sciences in China* , 2015 , 18(9) : 35 – 45. (in Chinese)
- [10] 郑艳芳, 周文慧, 黄伟祥. 绿色耐用产品的节能补贴合同设计 [J]. *管理科学学报* , 2016 , 19(3) : 1 – 14.
Zheng Yanfang , Zhou Wenhui , Huang Weixiang. Designenergy-saving subsidy contract for green durable product [J]. *Journal of Management Sciences in China* , 2016 , 19(3) : 1 – 14. (in Chinese)
- [11] Xu Ai , Zhou Zongqing. A Game Model for the Pricing of the Government's Subsidy in the Green Supply Chain for Home Appliances Industry in China [C]. *12th Wuhan International Conference on E-Business*. Wuhan: Wuhan University of Technology Press , 2013: 174 – 182.
- [12] Sheu JiuhBiing , Yenming J C. Impact of government financial intervention on competition among green supply chains [J]. *Int. J. Production Economics* , 2012 , 138: 201 – 213.
- [13] Tian Yihui , Kannan Govindan , Zhu Qinghua. A system dynamics model based on evolutionary game theory for green supply chain management diffusion among Chinese manufacturers [J]. *Journal of Cleaner Production* , 2014 , 80: 96 – 105.
- [14] Hong I H , Ke J-S. Determining advanced recycling fees and subsidies in “E-scrap” reverse supply chains [J]. *Journal of Management Environment* , 2011 , 92(6) : 1495 – 1502.
- [15] Soundarajan P , Vivek N. Green finance for sustainable green economic growth in India [J]. *Agricultural Economics & Policy* , 2016 , 62(1) : 35 – 44.
- [16] Yao Wang , Qiang Zhi. The role of green finance in environmental protection: Two aspects of market mechanism and policies [J]. *Energy Procedia* , 2016 , 104: 311 – 316.
- [17] Van Berkel R , et al. Industrial and urban symbiosis in Japan: Analysis of the Eco-Town program 1997 – 2006 [J]. *Journal of environmental Management* , 2009 , 90(3) : 1544 – 1556.
- [18] Bing Zhang , Yan Yang , Jun Bi. Tracking the implementation of green credit policy in China: Top-down perspective and bottom-up reform [J]. *Journal of Environmental Management* , 2011 , 92(4) : 1321 – 1327.

- [19] González J D , Ruiz C A , Arboleda S , et al. A proposal for green financing as a mechanism to increase private participation in sustainable water infrastructure systems: The colombian case [J]. *Procedia Engineering* , 2016 , 145: 180 – 187.
- [20] Li W , Hu M. An overview of the environmental finance policies in China: Retrofitting an integrated mechanism for environmental management [J]. *Frontiers of Environmental and Science Engineering* , 2014 , 8(3) : 316 – 328.
- [21] Scholtens B , Dam L. Banking on the equator: Are banks that adopted the equator principles different from non-adopters [J]. *World Development* , 2007 , 35(8) : 1307 – 1328.
- [22] Li Kaifeng , Liu Chuanzhe. Construction of carbon finance system and promotion of environmental finance innovation in China [J]. *Energy Procedia* , 2011 , 5: 1065 – 1072.
- [23] Motoko Aizawa , Yang Chaofei. Green credit , green stimulus , green revolution? China's mobilization of banks for environmental cleanup [J]. *The Journal of Environment Development* , 2010 , 19(2) : 119 – 144.
- [24] Biswas N. Sustainable green banking approach: The need of the hour [J]. *Business Spectrum* , 2011 , 1(1) : 32 – 38.

The game study of establishing green supply chain from the perspective of green credit

ZHOU Yong-sheng¹ , LIANG Shu-hui² , LIU Shu-qin³ , WANG Jue⁴

1. Business School , Beijing Technology and Business University , Beijing 100048 , China;
2. Department of Economics and Management Engineering , Zhoukou Polytechnic Institute , Zhoukou 466000 , China;
3. School of Management , Minzu University of China , Beijing 100081 , China;
4. Academy of Mathematics and Systems Science , Chinese Academy of Science , Beijing 100190 , China

Abstract: Green credit and green supply chain are significant measures for banks and enterprises to deal with the increasingly serious ecological environment. Supervision and guidance by governments are the prerequisites to the smooth implementation of green credit and green supply chain. This paper analyses the evolutionary stable strategy of three parties , including the governments , banks and enterprises , by establishing an Asymmetric Evolutionary Game Model , assuming that the governments take rewards and punishments policy both for banks and enterprises. The results show that whichever strategy the government chooses , there is always one party choosing non-implementation of the green credit or non-adoption of green supply chain strategy. From a short-term perspective , whichever strategy the government chooses , the banks and enterprises will select the strategy of non-implementation and non-adoption respectively. From the long-term perspective , the banks and enterprises will take the initiative to choose implementation and adoption actively in the absence of the government's regulation.

Key words: green credit; green supply chain; evolutionary game theory; government subsidies; government penalties