Operations Research and Fuzziology 运筹与模糊学, 2023, 13(3), 2315-2327
Published Online June 2023 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/orf
https://doi.org/10.12677/orf.2023.133232

地摊经济演化博弈模型的稳定性研究

田永艳，丘小玲*

贵州大学，数学与统计学院，贵州 贵阳

收稿日期：2023年5月6日；录用日期：2023年6月22日；发布日期：2023年6月29日

摘 要

以地摊经济为研究对象，在各方主体都是有限理性的前提下，构建政府、城管、商贩和群众四方演化博弈模型，分析不同主体之间策略选择的影响，并对该演化博弈系统进行稳定性分析，找出系统的演化均衡点，利用matlab2019a软件工具对稳定性结果进行数值仿真。结果表明：政府的策略选择不仅与监管成本有关，还与群众的投诉行为有关，群众的投诉行为同时也会影响城管与商贩的策略选择。由此，建议政府与城管充分发挥各自的监督管理作用，更好的保障商贩的合法权益，同时抑制群众的恶意投诉，为实现更健康的地摊经济的发展发挥积极作用。

关键词

地摊经济，有限理性，演化博弈，演化均衡

Study on the Stability of Evolutionary Game Model of Farmland Economy

Yongyan Tian, Xiaoling Qiu*

School of Mathematics and Statistics, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: May 6th, 2023; accepted: Jun. 22nd, 2023; published: Jun. 29th, 2023

Abstract

Taking the land stall economy as the research object, under the premise that all parties are bounded rationality, the four-way evolutionary game model of government, urban management, vendors and the masses is constructed to analyze the influence of the strategy choices among different parties, and the stability analysis of the evolutionary game system is conducted to find out the evolutionary equilibrium point of the system. Matlab2019a software tool was used for numer-

*通讯作者。

文章引用: 田永艳, 丘小玲. 地摊经济演化博弈模型的稳定性研究[J]. 运筹与模糊学, 2023, 13(3): 2315-2327.
DOI: 10.12677/orf.2023.133232

ical simulation of the stability results. The results show that the government's strategy choice is not only related to the cost of supervision, but also related to the people's complaint behavior, which also affects the strategy choice of urban management and vendors. Therefore, it is suggested that the government and urban management give full play to their respective supervisory and management roles, better protect the legitimate rights and interests of vendors, and restrain the malicious complaints of the masses, so as to play a positive role in realizing the development of a healthier street stall economy.

Keywords

Street Vendor Economy, Bounded Rationality, Evolutionary Game, Evolutionary Equilibrium

1. 引言

自 2019 年底，新冠肺炎疫情爆发以来，全国经济受到严重影响，很多人因此失业，从而导致社会存在劳动力过剩的现象。为了解决失业问题，中央政府出台了相关政策。2020 年 6 月 1 日，李克强总理在山东烟台考察时指出：地摊经济和小店经济是就业岗位的重要来源、是人间烟火、是中国的生机。与此同时，中央文明办也在全国文明城市测评指标中指出，占道经营、马路市场、流动商贩不作为文明城市测评考核内容。虽然这项政策措施的出台，缓解了地摊商贩的经营压力，但由于地摊经济是未在工商管理部门登记注册的、临时性、流动性的经济形式，所以在经营和管理过程中，往往容易产生矛盾和问题，成为社会焦点和备受关注的热点问题。

为了解决地摊商贩和城管之间的矛盾和冲突。近几年有不少学者对这个问题进行了相应的研究，比如姚[1]认为地摊经济的回归契合疫情防控常态化的需要，但从既有的地摊经济发展秩序来看，相关利益主体的成长和收益并不对称，使得地摊经济在现实过程中不断爆发冲突和矛盾，影响地摊经济的长效发展。张等[2]认为，后疫情时代流动摊贩治理的“身份”与“空间”要延续，要从从业者身份合法化、规划空间常态化、日常管理精细化这三方面研究。陈[3]主要研究了城管与流动商贩在政策、制度及城管等方面的原因。吴[4]主要分析了城管在执法中遇到的困境和商贩摆摊经营所遇到的问题。杨等[5]研究了城管与外来商贩产生冲突的原因。贾[6]根据城管与商贩的演化模型进行了静态的演化博弈过程分析等，并分别提出了一些建设性的建议。冉[7]等利用演化博弈方法，研究了政府、地摊摊主和消费者三个群体对地摊经济推广的策略选择演化过程，并得到一些现实性的结果。

在地摊经济体系中，城管作为政府政策实施的直接执行者，地摊经济毕竟是流动的、临时的，对群众的生活会造成一定程度的影响。因此，本文以政府、城管、地摊商贩和群众为研究主体，利用演化博弈方法研究各主体的动态行为策略，尝试为推进地摊经济的发展提供建议，以此缓解低成本就业问题。

2. 模型构建与求解

2.1. 问题描述

本文研究的是由政府、城管、地摊商贩与群众组成的演化博弈系统，且四方主体之间有着如下图 1 逻辑关系：

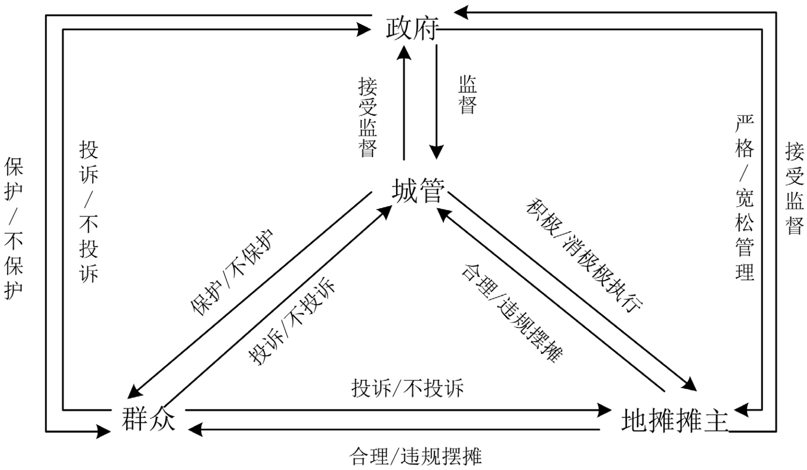

Figure 1. The logical relation of four-way game model
图 1. 四方博弈模型的逻辑关系

政府的策略空间：(严格管理，宽松管理)。作为监管者，政府直接监管城管的执行情况，但是对地摊商贩和群众进行间接管理。准确地讲，如果政府选择严格管理策略，则将全面检查城管的执行情况，对其不积极执行和对群众的投诉不予理睬的行为进行相应的处罚，同时也要监管地摊商贩是否将摊位摆在合理的位置，除此之外，还要考虑群众的投诉问题；如果政府宽松管理，则对城管的消极执行、地摊商贩违规摆摊、群众的投诉问题等处理不及时。特别，在城管积极执行的情况下，政府就不用对地摊商贩和群众的问题进行过多的干涉，因为城管作为执行者，能有效保护群众的合法权益。

城管的策略空间：(积极执行，消极执行)。当城管选择积极执行时，城管将严格监管地摊商贩的经营行为，对违规摆摊的商贩进行处罚，反之则进行奖励与保护，避免因为群众的不合理投诉对商贩的声誉造成损失。同时，城管应要求商贩对群众的正常投诉进行相应的赔偿，当然也要驳回群众的不合理投诉，确保双方的正常利益不受损。

地摊商贩的策略空间：(合理摆摊，违规摆摊)。当政府和城管分别选择严格管理和积极执行时，地摊商贩选择合理摆摊最为明智，因为此策略不仅不会使自己受罚，同时还能增加自己的信誉；相反，如果商贩选择违规摆摊，将会受到相应的处罚。但是当城管选择消极执行时，商贩违规摆摊不会受到处罚，而且群众的正常投诉可能得不到回复，如果商贩的经营对群众的生活造成影响，由于政府和城管的失职，群众的正常利益将得不到保障。

群众的策略空间：(投诉，不投诉)。鉴于群众是有限理性的，我们将群众的投诉分为两类，即正常投诉和恶意投诉，正常投诉是指群众对商贩的违规摆摊进行投诉的行为；恶意投诉是指群众对商贩的合理摆摊进行投诉的行为。显然，只有在政府选择宽松管理时，群众的恶意投诉才有可能成功，并获得相应的非正常收益。群众选择投诉时，首先是向城管投诉，若城管选择积极执行则会认真处理群众的投诉问题，否则，群众就会向政府投诉，在政府严格管理的情况下，群众的投诉将得到有效解决，同时城管可能会受到相应的处罚。如果两者都不能及时并有效的处理群众的投诉问题，政府和城管都将失去公信力。

基于上述四方主体的动态博弈关系，提出如下假设：

假设 1: 四方演化博弈主体的策略选择概率分别为：政府严格管理的概率为 x，宽松管理的概率为 $1-x$；城管积极执行的概率为 y，消极执行的概率为 $1-y$；地摊商贩合理摆摊的概率为 z，违规摆摊的概率为 $1-z$；群众投诉的概率为 w，不投诉的概率为 $1-w$。其中，x,y,z,w 都在 $[0,1]$ 内。

假设 2: 政府严格监管时的收益为 S_1；宽松监管时的收益为 S_2。政府严格管理的成本为 αS_1；宽松

管理的成本为βS_2，其中$\alpha,\beta \in (0,1)$。当政府严格管理时会提升自我的公信力，记为I_1，对城管的消极执行的罚金为S_3。当然，如果政府选择宽松管理，会导致群众的投诉得不到及时处理，这样政府就会失去公信力，记为J_1。

假设 3：城管积极执行的收益为R_1；消极执行的收益为R_2。城管积极执行的成本为γR_1，消极执行的成本为δR_2，其中$\gamma,\delta \in (0,1)$。当城管积极执行时，必将积极处理群众的投诉问题，这样城管的公信力就会增加，记为I_2，对地摊商贩违规摆摊的罚金为S_4。如果城管消极执行，就不会及时处理群众的投诉问题，公信力就会减少，记为J_2。

假设 4：地摊商贩合理摆摊时经营所得的净收益为T_1；违规摆摊的净收益为 N。商贩如果按规定摆摊，可能需要一定的摊位租金T_2。同时，在政府严格监督下，商贩的合理或违规摆摊行为将被公之于众，这样商贩的信誉也会受到影响(提升或下降)，记提升的信誉为I_3，下降的信誉为J_3。特别地，当管理比较宽松时，群众对商贩的恶意投诉会得到政府或城管的认可，这会导致摊主的信誉受损，记为J_3。

假设 5：地摊商贩按规定合理摆摊时，群众生活不受其影响并获得相应的满意度为C_1；摊主违规摆摊时，会在一定程度对群众的生活造成影响，此时群众的不满意度为C_2。群众投诉摊主时需要的成本为C_3。如果群众正常投诉成功，则会收到政府或城管给予的相应奖励金 L；如果群众恶意投诉成功，将会获得非正常收益为 Q，原则上，L 与 Q 的值相等。特别地，只有当政府宽松管理时，群众的恶意投诉才会成功。

2.2. 模型构建

根据假设，可得地摊经济中四方主体博弈的支付矩阵，如表 1 所示。

Table 1. Four-way game payment matrix
表 1. 四方博弈支付矩阵

地摊商贩	城管	政府			
		严格管理 x		宽松管理 $1-x$	
		群众投诉 w	群众不投诉 $1-w$	群众投诉 w	群众不投诉 $1-w$
合理摆摊 z	积极执行 y	$S_1+I_1-\alpha S_1$， $R_1+I_2-\gamma R_1$， $T_1+I_3-T_2$，C_1-C_3	$S_1-\alpha S_1$， $R_1-\alpha R_1$ $T_1+I_3-T_2$，C_1	$S_2-\beta S_2-J_1$， $R_1+I_2-\alpha R_1$， $T_1+I_3-T_2$，C_1-C_3	$S_2-\beta S_2$， $R_1-\gamma R_1$， $T_1+I_3-T_2$，C_1
	消极执行 $1-y$	$S_1-\alpha S_1+S_3+I_1$， $R_2-\delta R_2-S_3-J_2$， $T_1+I_3-T_2$，C_1-C_3	$S_1-\alpha S_1+S_3$， $R_2-\delta R_2-S_3$， $T_1+I_3-T_2$，C_1	$S_2-\beta S_2-J_1$， $R_2-\delta R_2-J_2$， $T_1+I_3-T_2$，C_1-C_3+Q	$S_2-\beta S_2$， $R_2-\delta R_2$， T_1-T_2，C_1
违规摆摊 $1-z$	积极执行 y	$S_1-\alpha S_1+I_1$， $R_1+I_2-\gamma R_1+S_4$， $N-S_4-J_3$，$-C_2-C_3+L$	$S_1-\alpha S_1$， $R_1-\alpha R_1+S_4$， $N-J_3$，$-C_2$	$S_2-\beta S_2-J_1$， $R_1+I_2-\alpha R_1+S_4$， $N-S_4-J_3$，$-C_2-C_3+L$	$S_2-\beta S_2$， $R_1-\alpha R_1+S_4$， $N-J_3$，$-C_2$
	消极执行 $1-y$	$S_1-\alpha S_1+I_1+S_3+S_4$， $R_2-\delta R_2-S_3-J_2$， $N-S_4-J_3$，$-C_2-C_3+L$	$S_1-\alpha S_1+S_3+S_4$， $R_2-\delta R_2-S_3$， $N-J_3$，$-C_2$	$S_2-\beta S_2-J_1$， $R_2-\delta R_2-J_2$，N， $-C_2-C_3+L$	$S_2-\beta S_2$， $R_2-\delta R_2$， N，$-C_2$

2.2.1. 政府的演化过程

政府严格监管的期望收益为E_{11}，宽松监管的期望收益为E_{12}，平均期望收益为$\bar{E}_1$，则

$$E_{11}=wI_1+(1-y)S_3+(1-y-z+yz)S_4+S_1-\alpha S_1,\quad E_{12}=S_2-\beta S_2-wJ_1。$$

$$\bar{E}_1=xE_{11}+(1-x)E_{12}=x\left[wI_1+(1-y)S_3+(1-y-z+yz)S_4+S_1-\alpha S_1\right]+(1-x)\left[S_2-\beta S_2-wJ_1\right].$$

政府策略选择的复制动态方程为：

$$F(x)=\mathrm{d}x/\mathrm{d}t=x\left(E_{11}-\bar{E}_1\right)=x(1-x)\left[w(I_1+J_1)+(1-y)S_3+(1-y-z+yz)S_4+S_1-\alpha S_1-S_2+\beta S_2\right].$$

$$\frac{\mathrm{d}F(x)}{\mathrm{d}x}=(1-2x)\left[w(I_1+J_1)+S_3+(-S_3-S_4+zS_4)y+(1-z)S_4+S_1-\alpha S_1-S_2+\beta S_2\right].$$

令 $y^*=\dfrac{w(I_1+J_1)+S_3+S_4-zS_4+S_1-\alpha S_1-S_2+\beta S_2}{S_3+(1-z)S_4}$，可知

1) 当 $y=y^*$ 时，$F(x)\equiv 0$，所以 x 取 $[0,1]$ 中任意值均为稳定状态，政府的两种策略均为演化稳定策略。

2) 当 $y\neq y^*$ 时，根据 $F(x)=0$ 得 $x=0$ 和 $x=1$ 为稳定状态，此时 $\left.\dfrac{\mathrm{d}F(x)}{\mathrm{d}x}\right|_{x=1}<0$，$x=1$ 为均衡解，政府选择严格监管为演化稳定策略；反之 $x=0$ 为均衡解，政府选择宽松监管为演化稳定策略。

政府的策略演化相位图见图 2。

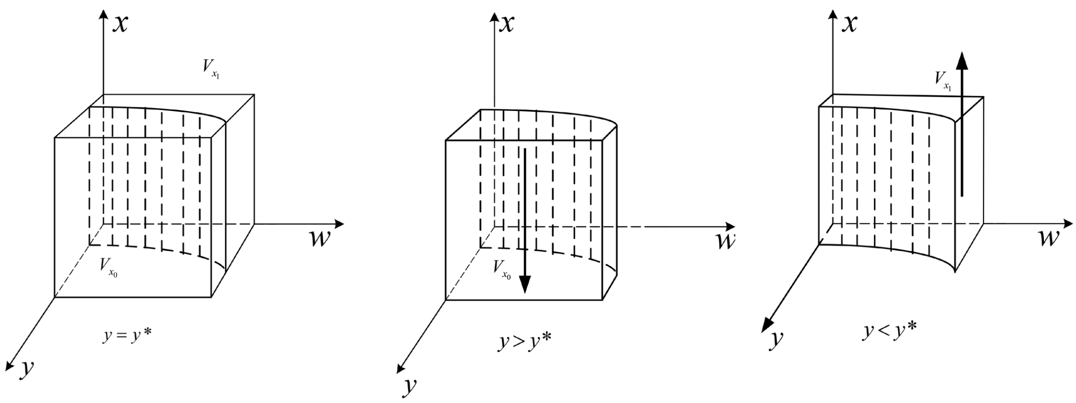

Figure 2. Phase diagram of the evolution of government strategy
图 2. 政府策略演化的相位图

2.2.2. 城管的演化过程

城管积极执行的期望收益为 E_{21}，消极执行的期望收益为 E_{22}，平均期望收益为 $\bar{E}_2$，则

$$E_{21}=wI_2+(1-z)S_4+R_1-\gamma R_1,\quad E_{22}=R_2-\delta R_2-xS_3-wJ_2。$$

$$\bar{E}_2=yE_{21}+(1-y)E_{22}=y\left[wI_2+(1-z)S_4+R_1-\gamma R_1\right]+(1-y)\left[R_2-\delta R_2-xS_3-wJ_2\right].$$

城管策略选择的复制动态方程为：

$$F(y)=\mathrm{d}y/\mathrm{d}t=y\left(E_{21}-\bar{E}_2\right)=y(1-y)\left[w(I_2+J_2)+(1-z)S_4+xS_3+R_1-R_2-\gamma R_1+\delta R_2\right].$$

$$\frac{\mathrm{d}F(y)}{\mathrm{d}y}=(1-2y)\left[w(I_2+J_2)+(1-z)S_4+xS_3+R_1-R_2-\gamma R_1+\delta R_2\right].$$

令 $z^*=\dfrac{w(I_2+J_2)+xS_3+S_4+R_1-R_2-\gamma R_1+\delta R_2}{S_4}$，可知

1) 当 $z=z^*$ 时，$F(y)\equiv 0$，所以 y 取 $[0,1]$ 中任意值均为稳定状态，城管的两种策略均为演化稳定策略。

2) 当 $z\neq z^*$ 时，根据 $F(y)=0$ 得 $y=0$ 和 $y=1$ 为稳定状态，此时 $\left.\frac{\mathrm{d}F(y)}{\mathrm{d}y}\right|_{y=1}<0$，$y=1$ 为均衡解，城管选择积极执行为演化稳定策略；反之 $y=0$ 为均衡解，城管选择消极执行为演化稳定策略。

城管的策略演化相位图见图 3。

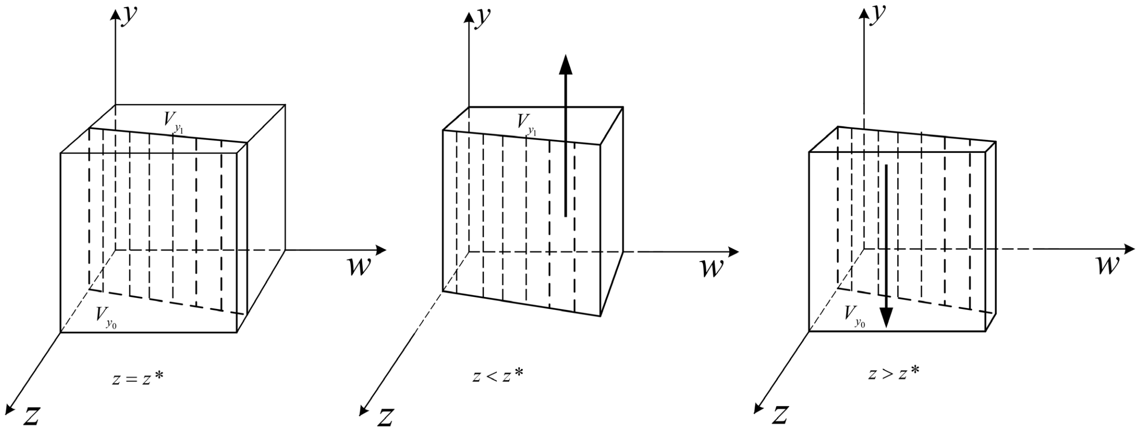

Figure 3. Phase diagram of urban management strategy evolution
图 3. 城管策略演化的相位图

2.2.3. 地摊商贩的演化过程

商贩合理摆摊的期望收益为 E_{31}，违规摆摊的期望收益为 E_{32}，平均期望收益为 $\bar{E}_3$，则

$$E_{31}=T_1-T_2+(x+y+w-xy-yw-wx+xyw)I_3,\quad E_{32}=N+(xyw-yw-xw)S_4+(xy-x-y)J_3。$$

$$\begin{aligned}\bar{E}_3&=zE_{31}+(1-z)E_{32}\\&=z\left[T_1-T_2+(x+y+w-xy-yw-wx+xyw)I_3\right]+(1-z)\left[N+(xyw-yw-xw)S_4+(xy-x-y)J_3\right].\end{aligned}$$

商贩策略选择的复制动态方程为：

$$\begin{aligned}F(z)&=\mathrm{d}z/\mathrm{d}t=z\left(E_{31}-\bar{E}_3\right)\\&=z(1-z)\left[T_1-T_2-N+(x+y-xy)(I_3+J_3)+(x+y-xy)wS_4+(1-x-y+xy)wI_3\right].\end{aligned}$$

$$\frac{\mathrm{d}F(z)}{\mathrm{d}z}=(1-2z)\left[T_1-T_2-N+(x+y-xy)(I_3+J_3)+(x+y-xy)wS_4+(1-x-y+xy)wI_3\right].$$

令 $w^*=\dfrac{T_2-T_1+\varepsilon T_1-(x+y-xy)(I_3+J_3)}{(x+y-xy)S_4+(1-x-y+xy)I_3}$，可知

1) 当 $w=w^*$ 时，$F(z)\equiv 0$，所以 z 取 $[0,1]$ 中任意值均为稳定状态，地摊商贩的两种策略均为演化稳定策略。

2) 当 $w\neq w^*$ 时，根据 $F(z)=0$ 得 $z=0$ 和 $z=1$ 为稳定状态，此时 $\left.\frac{\mathrm{d}F(z)}{\mathrm{d}z}\right|_{z=1}<0$，$z=1$ 为均衡解，商贩选择合理摆摊为演化稳定策略；反之 $z=0$ 为均衡解，商贩选择违规摆摊演化稳定策略。

地摊商贩的策略演化相位图见图 4。

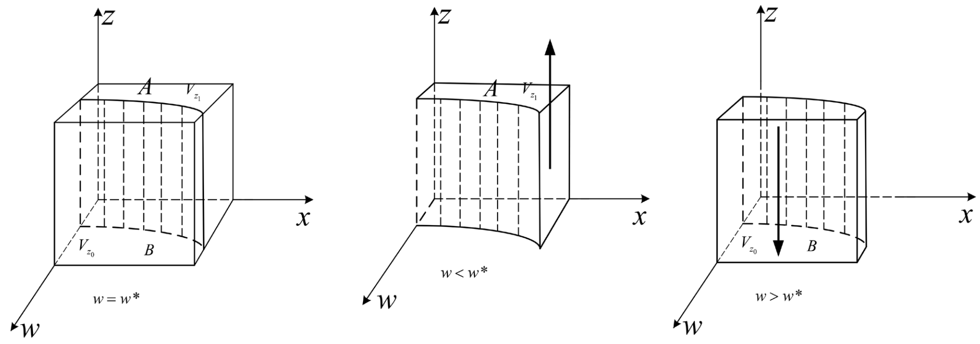

Figure 4. Phase diagram of vendor strategy evolution
图 4. 地摊商贩策略演化的相位图

2.2.4. 群众的演化过程

群众投诉的期望收益为 E_{41}，不投诉的期望收益为 E_{42}，平均期望收益为 $\bar{E}_4$，则

$$E_{41}=z\left(C_1+C_3\right)-C_3-C_2+L+\left(z-zy-zx+xyz\right)Q\text{，}\quad E_{42}=z\left(C_1+C_2\right)-C_2\text{。}$$

$$\bar{E}_4=wE_{41}+\left(1-w\right)E_{42}=w\left[z\left(C_1+C_3\right)-C_3-C_2+L+\left(z-zy-zx+xyz\right)Q\right]+\left(1-w\right)\left[z\left(C_1+C_2\right)-C_2\right]\text{。}$$

群众策略选择的复制动态方程为：

$$F\left(w\right)=\mathrm{d}w/\mathrm{d}t=w\left(E_{41}-\bar{E}_4\right)=w\left(1-w\right)\left[\left(1-x-y+xy\right)zQ+L-C_3+z\left(C_3-C_2\right)\right].$$

$$\frac{\mathrm{d}F\left(w\right)}{\mathrm{d}w}=\left(1-2w\right)\left[\left(1-x-y+xy\right)zQ+L-C_3+z\left(C_3-C_2\right)\right].$$

令 $z'=\dfrac{C_3-L}{\left(1-x-y+xy\right)Q+\left(C_3-C_2\right)}$，可知

1) 当 $z=z'$ 时，$F\left(w\right)\equiv 0$，所以 w 取 $\left[0,1\right]$ 中任意值均为稳定状态，群众的两种策略均为演化稳定策略。

2) 当 $z\neq z'$ 时，根据 $F\left(w\right)=0$ 得 $w=0$ 和 $w=1$ 为稳定状态，此时 $\left.\dfrac{\mathrm{d}F\left(w\right)}{\mathrm{d}w}\right|_{w=1}<0$，$w=1$ 为均衡解，群众选择投诉为演化稳定策略；反之 $w=0$ 为均衡解，群众选择不投诉为演化稳定策略。

群众的策略演化相位图见图 5。

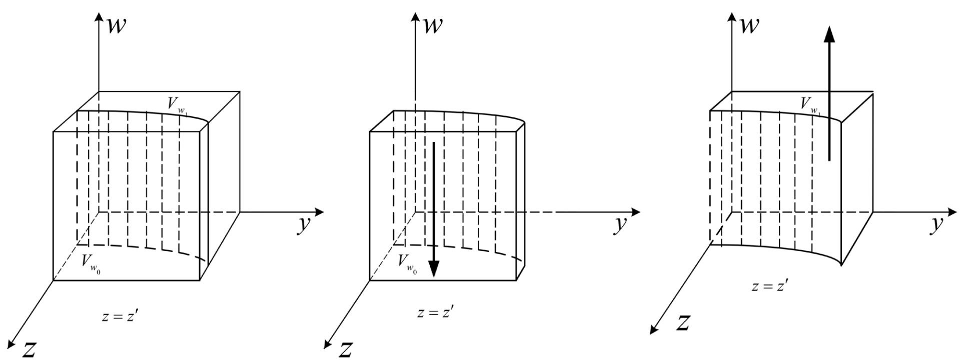

Figure 5. Phase diagram of crowd strategy evolution
图 5. 群众策略演化的相位图

3. 四方演化博弈均衡点稳定性分析

在讨论了各方的演化稳定策略和部分影响局中人策略的因素基础之上，进一步讨论四方主体共同作用下的演化稳定策略组合，其复制方程系统为：

$$\begin{cases} F(x)=x(1-x)\left[w(I_1+J_1)+(1-y)S_3+(1-y-z+yz)S_4+S_1-\alpha S_1-S_2+\beta S_2\right]; \\ F(y)=y(1-y)\left[w(I_2+J_2)+(1-z)S_4+xS_3+R_1-\gamma R_1-R_2+\delta R_2\right]; \\ F(z)=z(1-z)\left[T_1-T_2-N+(x+y-xy)(I_3+J_3+wS_4-wI_3)+wI_3\right]; \\ F(w)=w(1-w)\left[(1-x-y+xy)zQ+L-C_3+z(C_3-C_2)\right]. \end{cases}$$

四方博弈主体组合策略得稳定性可以根据 Lyapunov 第一法则[8]判断。由 Ritzberger [9]和 Selten [10]的研究结果可知，多种群演化博弈中的稳定解为严格纳什均衡，严格纳什均衡一定是纯策略。因此，在四方博弈体系中，共有 16 组纯策略均衡点，接下来分析这些均衡点的稳定性。

根据四方博弈主体的复制动态方程，得出该系统的雅可比矩阵：

$$J=\begin{pmatrix} F_{11} & F_{12} & F_{13} & F_{14} \\ F_{21} & F_{22} & F_{23} & F_{24} \\ F_{31} & F_{32} & F_{33} & F_{34} \\ F_{41} & F_{42} & F_{43} & F_{44} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} & \frac{\partial F(x)}{\partial z} & \frac{\partial F(x)}{\partial w} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} & \frac{\partial F(y)}{\partial z} & \frac{\partial F(y)}{\partial w} \\ \frac{\partial F(z)}{\partial x} & \frac{\partial F(z)}{\partial y} & \frac{\partial F(z)}{\partial z} & \frac{\partial F(z)}{\partial w} \\ \frac{\partial F(w)}{\partial x} & \frac{\partial F(w)}{\partial y} & \frac{\partial F(w)}{\partial z} & \frac{\partial F(w)}{\partial w} \end{pmatrix}$$

其中

$$F_{11}=(1-2x)\left[w(I_1+J_1)+(1-y)S_3+(1-y-z+xy)S_4+S_1-\alpha S_1-S_2+\beta S_2\right]。$$

$$F_{12}=x(1-x)\left[w(I_1+J_1)+S_1-\alpha S_1-S_2+\beta S_2\right]。$$

$$F_{13}=x(1-x)\left[w(I_1+J_1)+(1-y)S_3+S_1-\alpha S_1-S_2+\beta S_2\right]。$$

$$F_{14}=x(1-x)\left[I_1+J_1+(1-y)S_3+(1-y-z-zy)S_4+S_1-\alpha S_1-S_2+\beta S_2\right]。$$

$$F_{21}=y(1-y)\left[w(I_2+J_2)+(1-z)S_4+S_3+R_1-\gamma R_1-R_2+\delta R_2\right]。$$

$$F_{22}=(1-2y)\left[w(I_2+J_2)+(1-z)S_4+xS_3+R_1-\gamma R_1-R_2+\delta R_2\right]。$$

$$F_{23}=y(1-y)\left[w(I_2+J_2)+S_3+R_1-\gamma R_1-R_2+\delta R_2\right]。$$

$$F_{24}=y(1-y)\left[I_2+J_2+(1-z)S_4+xS_3+R_1-\gamma R_1-R_2+\delta R_2\right],$$

$$F_{31}=z(1-z)\left[T_1-T_2+N+I_3+J_3+wS_4\right]。$$

$$F_{32}=z(1-z)\left[T_1-T_2+N+I_3+J_3+wS_4\right],$$

$$F_{33}=(1-2z)\left[T_1-T_2+N+wI_3+(x+y+xy)(I_3+J_3+wS_4-wI_3)\right]。$$

$$F_{34}=z(1-z)\left[T_1-T_2+N+(x+y+xy)(I_3+J_3)+I_3\right],$$

$$F_{41}=w(1-w)\left[L-C_3+z(C_3+C_2)\right]。$$

$$F_{42}=w(1-w)\left[L-C_3+z(C_3+C_2)\right],$$

$$F_{43}=w(1-w)\left[(1-x-y+xy)Q+L-C_2\right]。$$

$$F_{44}=(1-2w)\left[(1-x-y+xy)zQ+L-C_3+z(C_3+C_2)\right]。$$

各个均衡解代入雅可比矩阵相应的特征值，如表 2 所示。

Table 2. Stability analysis of equilibrium points
表 2. 均衡点稳定性分析

均衡点	特征根	特征根符号	稳定性
$E_1(0,0,0,0)$	$S_3+S_4+(1-\alpha)S_1+(\beta-1)S_2$，$S_4+(1-\gamma)R_1+(\delta-1)R_2$，$T_1-N-T_2$，$L-C_3$	$(U,U,+,+)$	不稳定
$E_2(1,0,0,0)$	$(\alpha-1)S_1+(1-\beta)S_2-S_3-S_4$，$S_4+S_3+(1-\gamma)R_1+(\delta-1)R_2$，$T_1-N-T_2+I_3+J_3$，$L-C_3$	$(U,-,+,+)$	不稳定
$E_3(0,1,0,0)$	$(1-\alpha)S_1+(\beta-1)S_2$，$(\gamma-1)R_1+(1-\delta)R_2-S_4$，$T_1-N-T_2+I_3+J_3$，$L-C_3$	$(U,+,-,U)$	不稳定
$E_4(0,0,1,0)$	$S_3+(1-\alpha)S_1+(\beta-1)S_2$，$(1-\gamma)R_1+(\delta-1)R_2$，$N-T_1+T_2$，$Q+L-C_2$	$(U,+,-,U)$	不稳定
$E_5(1,1,0,0)$	$(\alpha-1)S_1+(1-\beta)S_2$，$(\gamma-1)R_1+(1-\delta)R_2-S_4-S_3$，$T_1-N-T_2+I_3+J_3$，$L-C_2$	$(-,+,U,U)$	不稳定
$E_6(0,1,1,0)$	$S_3+(1-\alpha)S_1+(\beta-1)S_2$，$(\gamma-1)R_1+(1-\delta)R_2$，$N-T_1+T_2-I_3-J_3$，$L-C_2$	$(U,-,U,U)$	当满足条件(1)时稳定
$E_7(1,0,1,0)$	$(\alpha-1)S_1+(1-\beta)S_2-S_3$，$S_3+(1-\gamma)R_1+(\delta-1)R_2$，$N-T_1+T_2-I_3-J_3$，$L-C_2$	(U,U,U,U)	不稳定
$E_8(1,1,1,0)$	$(\alpha-1)S_1+(1-\beta)S_2$，$-S_3+(\gamma-1)R_1+(1-\delta)R_2$，$N-T_1+T_2-I_3-J_3$，$L-C_2$	$(-,-,U,U)$	当满足条件(2)时稳定
$E_9(0,0,0,1)$	$I_1+J_1+S_3+S_4+(1-\alpha)S_1+(\beta-1)S_2$，$I_2+J_2+S_4+(1-\gamma)R_1+(\delta-1)R_2$，$T_1-N-T_2+I_3$，$-L+C_3$	$(U,+,U,-)$	不稳定
$E_{10}(1,0,0,1)$	$-I_1-J_1-S_3-S_4+(\alpha-1)S_1+(1-\beta)S_2$，$I_2+J_2+S_4+S_3+(1-\gamma)R_1+(\delta-1)R_2$，$T_1-N-T_2+I_3+J_3+S_4$，$-L+C_3$	$(U,+,U,-)$	不稳定
$E_{11}(0,1,0,1)$	$I_1+J_1+(1-\alpha)S_1+(\beta-1)S_2$，$-I_2-J_2-S_4+(\gamma-1)R_1+(1-\delta)R_2$，$T_1-N-T_2+I_3+J_3+S_4$，$-L+C_3$	$(+,U,+,-)$	不稳定
$E_{12}(0,0,1,1)$	$I_1+J_1+S_3+(1-\alpha)S_1+(\beta-1)S_2$，$I_2+J_2+S_4+(1-\gamma)R_1+(\delta-1)R_2$，$N-T_1+T_2-I_3$，$C_2-L-Q$	$(U,+,U,U)$	不稳定
$E_{13}(1,1,0,1)$	$-I_1-J_1+(\alpha-1)S_1+(1-\beta)S_2$，$-I_2-J_2-S_4-S_3+(1-\delta)R_2+(\gamma-1)R_1$，$T_1-N-T_2+I_3+J_3+S_4$，$-L+C_3$	$(-,-,+,-)$	不稳定

Continued

$E_{14}(0,1,1,1)$	$I_1+J_1+(1-\alpha)S_1+(\beta-1)S_2$，$-I_2-J_2+(1-\delta)R_2+(\gamma-1)R_1$，$N-T_1+T_2-I_3-J_3-S_4$，$-L+C_2$	$(+,-,-,+)$	不稳定
$E_{15}(1,0,1,1)$	$-I_1-J_1-S_3+(\alpha-1)S_1+(1-\beta)S_2$，$I_2+J_2+S_3+(1-\gamma)R_1+(\delta-1)R_2$，$N-T_1+T_2-I_3-J_3-S_4$，$-L+C_2$	$(-,+,-,+)$	不稳定
$E_{16}(1,1,1,1)$	$-I_1-J_1+(\alpha-1)S_1+(1-\beta)S_2$ $-I_2-J_2-S_3+(\gamma-1)R_1+(1-\delta)R_2$ $N-T_1+T_2-I_3-J_3-S_4$，$-L+C_2$	$(-,-,-,+)$	不稳定

其中，U 表示特征值的正负号不确定，条件：1) $S_3+(1-\alpha)S_1+(\beta-1)S_2<0$，$N-T_1+T_2-I_3-J_3<0$ 且 $L-C_2<0$；2) $N-T_1+T_2-I_3-J_3<0$ 且 $L-C_2<0$。

引理 1：地摊经济系统四方演化博弈存在两种可能的演化稳定策略(ESS)，其中

1) 当满足条件 $S_3+(1-\alpha)S_1+(\beta-1)S_2<0$，$N-T_1+T_2-I_3-J_3<0$ 且 $L-C_2<0$ 时，$E_6(0,1,1,0)$ 为演化均衡点；

2) 当满足条件 $N-T_1+T_2-I_3-J_3<0$ 且 $L-C_2<0$ 时，$E_8(1,1,1,0)$ 为演化均衡点。

证明：根据 Lyapunov 第一法则[8]，可以用雅可比矩阵特征值的符号判断均衡点的稳定性，当特征值符号全小于 0 时，均衡点为演化博弈的稳定点。由表 2 可知，群众的策略选择为投诉时，该动态系统不存在稳定点；群众的策略选择为不投诉时，该动态系统可能稳定的策略组合为 $E_6(0,1,1,0)$ 和 $E_8(1,1,1,0)$。

当条件(1)成立时，说明政府严格监督时的总收入，即其净收益与所收罚金之和小于其宽松监管的净收益，因此政府会选择宽松管理；同时地摊商贩的收益之和大于其摊位租金和损失的公信力之和时，商贩选择合理摆摊。此时，四方演化博弈的演化均衡策略为(宽松管理，积极执行，合理摆摊，不投诉)。

在满足条件(1)的情况下，政府严格监管时的总收益小于宽松监管的总收益，所以政府会选择宽松管理策略。因为城管在权衡利弊之后，其选择积极执行的总收益大于消极执行的总收益，所以城管最终会选择积极执行策略。因为在城管的严格管控下，地摊商贩不合理摆摊会受到城管的处罚，因此，商贩为了自身利益最大化，最终会选择“合理摆摊”策略。此外，因为政府的策略行为是宽松管理，并且城管的策略行为是积极执行，所以，如果群众向政府恶意投诉，得不到任何回应，如果其向城管投诉，其投诉将会被驳回，得不到任何非正常收益，所以群众最终的策略行为是不投诉。因此，该复制动态组合系统的稳定点为 $E_6(0,1,1,0)$。

当条件(2)成立时，说明地摊商贩的收益之和大于其摊位租金和损失的公信力之和时，商贩选择合理摆摊；此时，政府严格监管的净收益大于其不监管的收益；城管积极执行的总收益大于其消极执行的总收益。在政府选择严格监管策略、城管选择积极执行策略、商贩选择合理摆摊策略时，群众最受益的方式是选择不投诉，因为在地摊商贩合理摆摊的情况下，群众的投诉属于恶意投诉，此时政府和城管都会将其投诉驳回或者置之不理，这样群众不仅得不到奖励，还会因此牺牲自己的时间成本和金钱成本。因此，四方演化博弈的演化均衡策略为 $E_8(1,1,1,0)$。

4. 数值仿真

根据上述对系统稳定性的分析，我们知道四方演化博弈的最优演化均衡点为(宽松管理，积极执行，合理摆摊，不投诉)，即 $(0,1,1,0)$。在本节，利用 matlab2019a 对上述分析结果进行数值，根据实际情况，首先我们将满足条件(1)的参数赋值为：$\alpha=0.3$，$\beta=0.2$，$\gamma=0.4$，$\delta=0.5$，$N=40$，$S_1=20$，$S_2=30$，$R_1=10$，$R_2=10$，$S_3=5$，$S_4=10$，$T_1=30$，$T_2=5$，$I_3=10$，$J_3=10$，$L=10$，$C_2=20$，$I_1=10$，$J_1=10$，

$I_2=10$，$J_2=10$，$C_3=10$，$Q=25$。且 x,y,z,w 的初始值分别 0.3，0.4，0.5，0.3。得到如图 6 所示的结果。

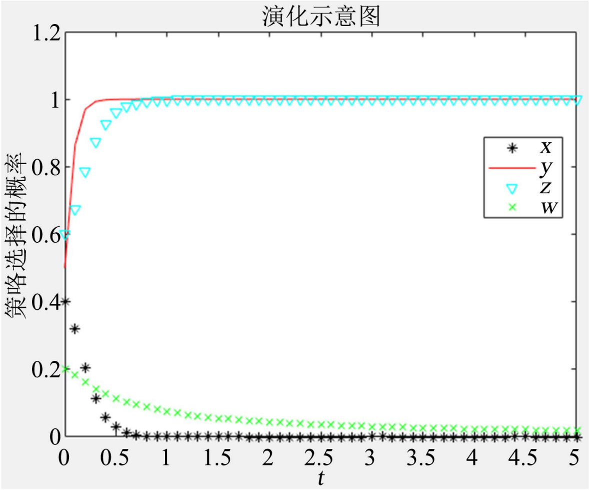

Figure 6. The evolutionary strategy diagram satisfying condition (1)
图 6. 满足条件(1)的演化策略图

由图 6 可知，随着演化的时间越长，政府部门会选择“宽松监管”策略，群众会选择“不投诉”策略，这与引理 1 中(1)分析结果相同，即当政府监管部门选择严格管理的净收益与所收罚金之和小于其宽松监管的净收益，因此政府会选择宽松管理；同时地摊商贩的收益之和大于其摊位租金和损失的公信力之和时，商贩选择合理摆摊。此时，四方演化博弈的演化均衡策略为(宽松管理，积极执行，合理摆摊，不投诉)。

接着，我们将满足条件(2)的参数赋予满足实际意义的值，并用 matlab2019a 进行仿真试验，此时，将参数赋值为：$\alpha=0.2$，$\beta=0.5$，$\gamma=0.4$，$\delta=0.5$，$N=40$，$S_1=30$，$S_2=20$，$R_1=10$，$R_2=10$，$S_3=10$，$S_4=10$，$T_1=30$，$T_2=5$，$I_3=10$，$J_3=10$，$L=10$，$C_2=20$，$I_1=10$，$J_1=10$，$I_2=10$，$J_2=10$，$C_3=10$，$Q=25$。且 x,y,z,w 的初始值分别为 0.3，0.4，0.5，0.3。得到如图 7 所示的结果：

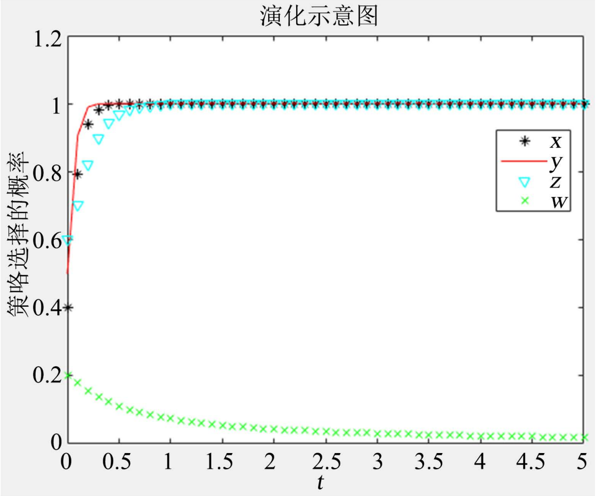

Figure 7. The evolutionary strategy diagram satisfying condition (2)
图 7. 满足条件(2)的演化策略图

由图 7 可知，随着演化的时间越长，政府部门会选择“严格管理”策略，群众会选择“不投诉”策略，这与引理 1 中(2)分析结果相同，即当地摊商贩的收益之和大于其摊位租金和损失的公信力之和时，商贩选择合理摆摊；此时，政府严格监管的净收益大于其不严格管理的收益；城管积极执行的总收益大于其消极执行的总收益。此时，四方演化博弈的演化均衡策略为(严格监管，积极执行，合理摆摊，不投诉)。

为了进一步证明群众在此系统中的有效性以及可行性，我们通过设置 $w=0$ 和 $w=0.8$ 来分别表示群众选择“不投诉”和“投诉”的两种策略状态，在三维空间中对政府监管部门、城市管理系统以及地摊商贩不同初始策略的演化过程进行仿真分析，仿真结果如图 8。

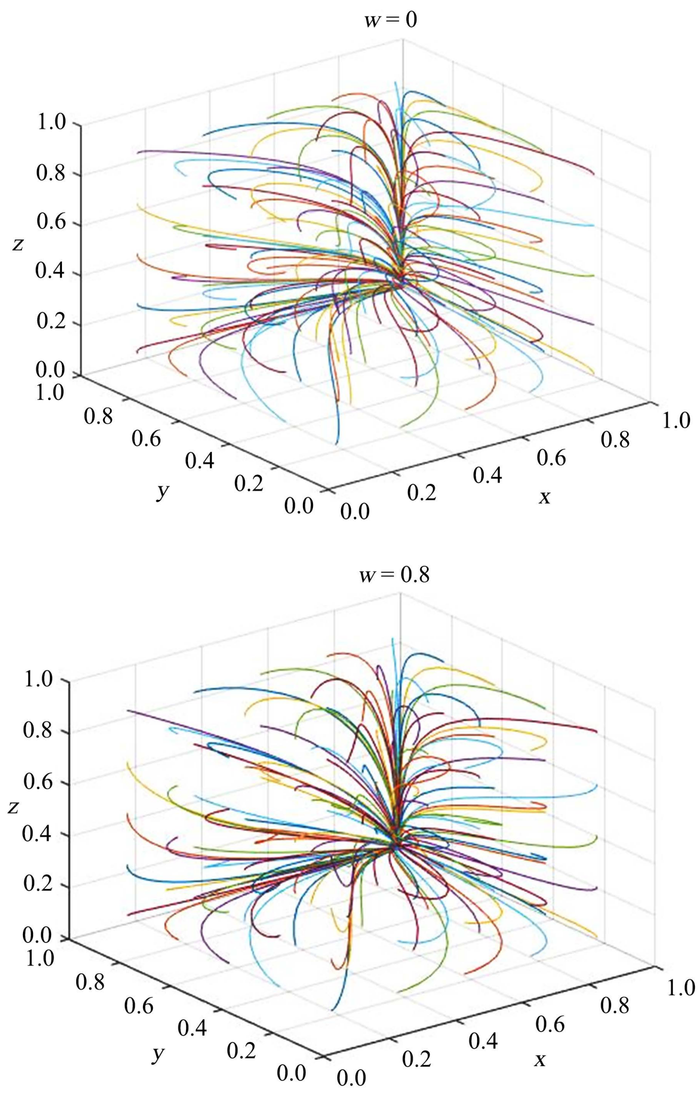

Figure 8. The influence of the establishment of mass reporting mechanism on the strategy evolution of all parties
图 8. 设立群众举报机制对各方策略演化的影响

由图 8 可知，当 $w=0$ 时，即群众选择“不投诉”策略的情况下，由于政府选择严格管理(或城管积极执行)时，如果地摊商贩不选择“合理摆摊”，将会受到来自政府和城管的罚款，为了自身利益的最大化，商贩最明智的选择就是“合理摆摊”；当 $w=0.8$ 时，虽然系统没有稳定点，但是群众的投诉机制会

对地摊商贩造成一定的影响以及制约，因为地摊商贩冒险选择“违规摆摊”策略的话，一旦被群众投诉之后，不仅受到政府和城管的双重罚款或单方面罚款，而且也会因为不按规定摆放摊位而被政府公示所损失的公信力。因此，群众的投诉机制对推动健康、文明、和谐的地摊经济的发展。

5. 研究结论与展望

通过构建具有四方主体(政府、城管、地摊商贩和群众)的演化博弈模型，分别对四方主体的纯策略和混合策略进行了稳定性分析，并利用 matlab2019a 对分析结果进行模拟，在假设四方主体都是有限理性的前提下，得出以下几点结论：

1) 政府策略选择主要受监管成本、政府对失职城管以及违规摆摊商贩的处罚，以及群众投诉时对政府公信力的影响。

2) 城管群体之间不存在博弈。影响城管行为策略的因素是监管成本、政府对于其监管力度的惩罚，以及群众投诉时对其公信力的影响。

3) 商贩群体间存在博弈。商贩的行为策略不仅受同行的影响，还会受政府、城管以及群众选择策略的影响，同时，摊位的租金也是影响商贩策略选择的一个关键因素。

4) 影响群众策略的关键因素有政府和城管的策略选择、群众投诉的成本、投诉成功所获得的奖励力度的影响。

本文主要运用了演化博弈理论对主体进行了研究，对四方主体各自的行为策略以及组合策略进行了局部稳定性分析，揭示了在现实的社会生活中地摊经济的本质。为了建设更好的城市发展经济体系，为四方主体的行为策略提供具有理论依据和比较完善的见解，本文是在假设政府、城管、商贩和群众四个群体有限理性的前提下研究的，这样更符合现实条件，也更加具有科学性。

基金项目

国家自然科学基金(No. 12061020)；贵州省科技厅科学基金(黔科合基础[2019] 1123 号，黔科合——ZK [2021]一般 133)；贵州省教育厅科学基金(黔科合 KY 字[2021] 088 号)。

参考文献

[1] 姚清. 疫情防控常态化背景下地摊经济长效路径探讨——基于公共治理视角[J]. 石家庄铁道大学学报(社会科学版), 2021, 15(1): 16-21.

[2] 张胜玉, 冒王磊. “身份”与“空间”能否延续?——后疫情时代城市流动摊贩治理的思考[J]. 重庆科技学院学报(社会科学版), 2020(6): 25-29.

[3] 陈永明. 城管与流动商贩冲突的原因和对策研究[D]: [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.

[4] 吴文良, 房立洲. 浅析我国流动商贩管理面临的困境及对策[J]. 城市管理与科技, 2011, 13(1): 42-44.

[5] 杨雅婷, 唐礼勇. 城管与外来商贩冲突的成因及管理的对策分析[J]. 智能城市, 2016(7): 22-25.

[6] 贾晓燕, 寿志敏. 基于博弈论的城管与商贩间矛盾问题探析[J]. 金融经济月刊, 2012, 12(20): 12-15.

[7] 冉燕, 丘小玲, 田永艳. 基于有限理性的地摊经济演化博弈分析[J]. 应用数学进展, 2021, 10(7): 2457-2471.

[8] 马知恩, 周义仓, 李承治. 常微分方程定性与稳定性方法[M]. 北京: 科学出版社, 2015.

[9] Ritzberger, K. and Weibull, J.W. (1995) Evolutionary Selection in Normal-Form Games. *Econometrica*, **63**, 1371-1399. https://doi.org/10.2307/2171774

[10] Selten, R. (1980) A Note on Evolutionarily Stable Strategies in Asymmetric Animal Conflicts. *Journal of Theoretical Biology*, **84**, 93-101. https://doi.org/10.1016/S0022-5193(80)81038-1