基于演化博弈的农产品众筹平台分析

摘要：现如今，农产品价格波动较大，不利于种植者与消费者的利益。针对这一问题，提出了一个农产品众筹平台。在农业众筹平台中，有两方参与者，分别为种植者和众筹者。为此，建立了一个演化博弈模型，研究了种植者和众筹者之间的博弈均衡，求得演化稳定策略和稳定状态。结果表明，农产品的价格波动在30%以内时，种植者和众筹者之间演化博弈均衡，且博弈均衡与物流成本、相对价格差和损耗率有关。在正常情况下，当播种期价格大于收获期价格时，众筹者可能违约。如果播种期价格低于收获期价格，种植者可能违约。因此，在农产品众筹系统的设计中，应分别向种植者和众筹者收取一定比例的预付款和一定比例的违约金。

关键词：农产品价格；农产品众筹平台；演化博弈；演化稳定策略

第一章 引言

1.1 背景

农产品是农业中生产的物品，是指农业活动中获得的植物、动物及其产品。在现实生活中，农产品价格往往是高度波动的，给种植者造成了误解和不确定性。然而，生鲜农产品不同于一般商品，其新鲜度对价格会产生一定的影响。由于农产品期货市场的缺位，无法抑制农民、农产品加工企业和消费者价格波动的风险。这就造成了种植过程中的障碍：如果农产品价格高，那么就要大量种植，结果，在收获季节，价格暴跌，导致数量增加，但收入没有增加；当价格下降时，农民放弃种植，因此价格在下一年上涨，但农民仍然不能自己赚钱。

产品众筹的技术定义是一个先发布产品，再由消费者付费购买的模式。如果这种模式适用于农产品，种植者可以提前从消费者那里得到一部分按当前价格支付的定金，收获后再以当前价格销售给消费者。在一定程度上抑制了农产品价格波动。但是，总的风险是，如果收获期价格高于原价，种植者将遭受损失，并有可能违反合同。如果收获价格低于原始价格，消费者或众筹者将遭受损失，并可能违约。

农民不仅面临着农产品价格波动的问题，而且还面临着农产品销售的困难。因

此，市场需要寻求一种新型销售模式，农产品众筹研究不仅解决了农产品价格波动问题，而且解决了农产品销售问题，具有现实意义。但是农业众筹过程中却存在双方违约的可能，如何在双方利润最大的同时，减少双方违约的可能，本文旨在从演化博弈的角度进行分析。

1.2 农产品众筹

众筹是农村企业家以及农民和其他人获得风险和商业资本的一种有希望的手段[1]。农产品众筹是指发起人将农业生产和流通领域的产品或项目在网络上展示，向投资者募集资金并给予某种形式回报的一种融资模式[2]。农产品众筹是将农产品展示在众筹平台上，种植者需向众筹平台支付违约保证金；此外，众筹者还应向组织种植生产的种植者支付一定的定金，并在收获时通过物流将产品送到众筹者手中。农产品众筹是一种新的销售模式或一种新的生产扩张模式。

农业生产本身存在着一定的风险，例如农产品的种植、生产和培育，有可能存在项目发起人或投资人无法兑现其许诺的情况。农产品的众筹者和种植者都有违约风险，因为收获时的价格和展示时的价格不一致，当双方的价格差异很大时，存在违约的可能。当收获价格远高于展示价格时，种植者可能违约；当收获价格远低于展示价格时，众筹者可能违约。因此，众筹平台有必要向种植者收取一定的违约保证金，并要求众筹者向种植者支付定金。相对于传统的融资方式，农业众筹更为开放，资金投资针对性更强[3]。

对农产品相关方面的研究，主要采用博弈论的方法进行建模。例如，在文献[4]中，基于 Stackelberg 博弈模型，对生鲜农产品双渠道供应链进行分析，指出应设置相应的补偿和惩罚机制，使交易双方承担违约成本。在文献[5]中，利用双边市场理论对网上农产品交易平台的定价进行研究，推导出网上农产品交易平台定价的决定因素是平台服务成本、平台差异化和网络外部性大小。在文献[6]中，构建了“生产商-批发商-零售商”三级生鲜农产品供应链各参与成员的合作博弈模型，从理论上论证了供应链合作关系对利润及利润分配的影响。在文献[7]中，重点分析了农业保险对种植业农产品供应链协调状态及利润稳定性的优化作用，论证了收益共享契约与农业保险组合应用解决问题的有效性。在文献[8]中，直销型农产品流通模式为对象，对直销型农产品价值链增值过程进行分析。

第二章 农产品众筹平台博弈

2.1 博弈参与者

利益相关者见表 1。博弈群体的参与者之一是具有有限理性的农产品生产者，他们是有界理性的。他们互相学习策略，最大的目标是实现利润最大化。他们的策略是正常供应，拒绝供应，他们也知道另一组的博弈策略，即正常众筹和拒绝众筹。因此，他们将根据另一方的战略做出有利于他们的选择。

博弈群体的另一参与者是农产品加工企业或消费者，统称众筹者，他们是有界理性的。他们相互学习策略，以实现效用最大化为目标。他们的策略是正常众筹，拒绝众筹，他们完全了解种植者的策略。因此，他们将根据另一方的策略做出有利于他们的选择。

利益相关者	属性	描述
农产品种植者	U_s	正常供应的利润
	U_r	拒绝供应的利润
	U_a	混合正常供应和拒绝供应的平均利润
	X	正常供应;供应根据众筹交易
	$1-X$	拒绝供应;供应不根据众筹交易
众筹者	U_c	正常众筹的利润
	U_w	拒绝众筹的利润
	U_e	混合正常众筹与拒绝众筹的平均利润
	Y	正常众筹；根据众筹交易购买
	$1-Y$	拒绝众筹；不根据众筹交易购买

表格 1

2.2 假设和变量

根据实际情况和研究需要，做出以下几点假设：

假设农产品种植者以销售量 Q_0 和价格 P_0 销售，而实际种植产量为 Q_1，成熟价

格为 P_1。

假设农产品在流通各个环节都有损耗，设种植者损耗率为 ρ_1 ，众筹者损耗率为 ρ_2 。即种植者可获利总产量为 $Q_1(1-\rho_1)$ ，众筹者可获利总产量为 $Q_0(1-\rho_2)$ 。

假设种植成本为 C_1，物流成本为 C_2。对于物流成本来说，如果种植者的承诺系数为 $\alpha\in[0,1]$，则种植者承担的物流成本为 αC_2，众筹者承担的物流成本为 $(1-\alpha)C_2$。

假设种植者的惩罚系数为 $\beta\in[0,1]$，则若众筹过程中种植者拒绝供应产品，对其处以 βP_0Q_0 的惩罚。

假设众筹者的定金系数为 $\gamma\in[0,1]$ 则在众筹平台交易时需要支付一定的保证金 γP_0Q_0，众筹项目启动后不可退换。由于众筹是预先支付，所以是以价格 P_0 购买产量为 Q_0 的产品，成熟价格是 P_1。当种植者拒绝供应产品时，众筹者可获得 βP_0Q_0 的补偿款。

2.3 博弈模型构造

种植者与众筹者之间的博弈矩阵如下(详见表 2)。

众筹者 \ 种植者	正常众筹：y	拒绝众筹：$(1-y)$
正常供应：x	$(P_0Q_0+P_1\left[Q_1(1-\rho_1)-Q_0\right]-C_1-\alpha C_2,$ $(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2)$	$(P_1Q_1(1-\rho_1)+\gamma P_0Q_0-C_1,-\gamma P_0Q_0)$
拒绝供应：$(1-x)$	$(P_1Q_1(1-\rho_1)-\beta P_0Q_0-C_1,\beta P_0Q_0)$	$(P_1Q_1(1-\rho_1)-\beta P_0Q_0-C_1+\gamma P_0Q_0,$ $\beta P_0Q_0-\gamma P_0Q_0)$

表格 2

2.3.1 对于农产品种植者

正常供应的利润为：

$$\begin{aligned} U_s &= y\left\{P_0Q_0 + P_1\left[Q_1\left(1-\rho_1\right) - Q_0\right] - C_1 - \alpha C_2\right\} + \left(1-y\right)\left(P_1Q_1\left(1-\rho_1\right) + \gamma P_0Q_0 - C_1\right) \\ &= y\left(P_0Q_0 - P_1Q_0 - \gamma P_0Q_0 - \alpha C_2\right) + P_1Q_1\left(1-\rho_1\right) + \gamma P_0Q_0 - C_1 \end{aligned} \tag{1}$$

拒绝供应的利润为：

$$\begin{aligned} U_r &= y\left[P_1Q_1\left(1-\rho_1\right) - \beta P_0Q_0 - C_1\right] + \left(1-y\right)\left[P_1Q_1\left(1-\rho_1\right) - \beta P_0Q_0 - C_1 + \gamma P_0Q_0\right] \\ &= P_1Q_1\left(1-\rho_1\right) - \beta P_0Q_0 - C_1 + \gamma P_0Q_0 - y\gamma P_0Q_0 \end{aligned} \tag{2}$$

混合正常供应和拒绝供应的平均利润为：

$$U_a = xU_s + \left(1-x\right)U_r \tag{3}$$

则正常供应的复制动态方程$F\left(x\right)$为：

$$\begin{aligned} F\left(x\right) &= \frac{dx}{dt} = x\left(U_s - U_a\right) = x\left(1-x\right)\left(U_s - U_r\right) \\ &= x\left(1-x\right)\left[\beta P_0Q_0 + y\left(P_0Q_0 - \alpha C_2 - P_1Q_0\right)\right] \end{aligned} \tag{4}$$

2.3.2 对于众筹者

正常众筹的利润为：

$$\begin{aligned} U_c &= x\left[\left(P_1 - P_0\right)Q_0\left(1-\rho_2\right) - \left(1-\alpha\right)C_2\right] + \left(1-x\right)\left(\beta P_0Q_0\right) \\ &= \beta P_0Q_0 + x\left[\left(P_1 - P_0\right)Q_0\left(1-\rho_2\right) - \left(1-\alpha\right)C_2 - \beta P_0Q_0\right] \end{aligned} \tag{5}$$

拒绝众筹的利润为

$$U_w = x\left(-\gamma P_0Q_0\right) + \left(1-x\right)\left(\beta P_0Q_0 - \gamma P_0Q_0\right) = -\gamma P_0Q_0 + \beta P_0Q_0 - x\beta P_0Q_0 \tag{6}$$

混合正常众筹与拒绝众筹的平均利润为

$$U_e = yU_c + \left(1-y\right)U_w \tag{7}$$

则正常众筹的复制动态方程$F\left(y\right)$为

$$\begin{aligned} F\left(y\right) &= \frac{dy}{dt} = y\left(U_c - U_e\right) = y\left(1-y\right)\left(U_c - U_w\right) \\ &= y\left(1-y\right)\left\{\gamma P_0Q_0 + x\left[\left(P_1 - P_0\right)Q_0\left(1-\rho_2\right) - \left(1-\alpha\right)C_2\right]\right\} \end{aligned} \tag{8}$$

2.4 演化博弈分析

2.4.1 农产品种植者的演化博弈与稳态

种植者的趋势和稳定状态：

（1）令 $F(x)=\frac{dx}{dt}=x(1-x)\left[\beta P_0Q_0+y\left(P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0\right)\right]=0$，解得 $x1=0,x2=1$，稳定状态 $y^*=-\frac{\beta P_0Q_0}{P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0}$。也就是说，当 $y^*=-\frac{\beta P_0Q_0}{P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0}$ 时，$F(x)=0$，即在 $0\le x\le 1$ 时均在稳定状态。此时，无论农产品种植者采取何种策略和比例，稳定状态都不随时间而改变。

(2)当 $y^*\neq-\frac{\beta P_0Q_0}{P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0}$ 时，令 $F(x)=0$，解得 $x1=0,x2=1$ 是两种可能的稳定状态。对 $F(x)$ 求导得到导数 $F'(x)=(1-2x)\left[\beta P_0Q_0+y\left(P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0\right)\right]$。

存在两种情况：

(a) 当 $(P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0)>0$ 时，对于 $F'(x)=(1-2x)\left[\beta P_0Q\ +y\left(P_0Q\ -\alpha C\ -PQ_0\right)\right]$，则 $F'(1)<0,F'(0)>0$。因此，$x=1$ 是演化稳定策略(ESS)，表明种植者的策略将在 $(P_0-P_1)Q_0>\alpha C_2$ 时稳定演变为正常供应。

(b)当 $(P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0)<0$ 时，又存在两种情况。

当 $y>-\frac{\beta P_0Q_0}{P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0}$ 时，$F'(1)>0,F'(0)<0$。因此，$x=0$ 是演化稳定策略(ESS)，这意味着在 $(P_0-P_1)Q_0<\alpha C_2$ 时，正常众筹的比例高于临界点 $y^*=-\frac{\beta P_0Q_0}{P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0}$。这是种植者的策略将演变为拒绝供应。

当 $y<-\frac{\beta P_0Q_0}{P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0}$ 时，$F'(1)<0,F'(0)>0$。因此，$x=1$ 是演化稳定策略(ESS)，种植者采用的策略与正常供应一样稳定。这表明，在 $(P_0-P_1)Q_0<\alpha C_2$ 时，当正常众筹的比率低于临界点 y^* 时，种植者的策略变为正常供应。

2.4.2 农产品众筹者的演化博弈与稳态

种植者的趋势和稳定状态：

（1）令 $F(y)=\frac{dy}{dt}=y(1-y)\left\{\gamma P_0Q_0+x\left[(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2\right]\right\}=0$ ，解得 $y1=0,y2=1$ ， 稳 定 状 态 $x^*=-\frac{\gamma P_0Q_0}{(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2}$ 。也 就 是说， 当 $x^*=-\frac{\gamma P_0Q_0}{(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2}$ 时， $F(y)=0$ ，即在 $0\le y\le 1$ 时均在稳定状态。此时，无论农产品众筹者采取何种策略和比例，稳定状态都不随时间而改变。

(2)当 $x^*\ne-\frac{\gamma P_0Q_0}{(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2}$ 时，令 $F(y)=0$ ，解得 $y1=0,y2=1$ 是两 种 可 能 的 稳 定 状 态 。 对 $F(y)$ 求 导 得 到 导 数 $F'(y)=(1-2y)\left\{\gamma P_0Q_0+x\left[(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2\right]\right\}$ 。

存在两种情况：

(a) 当 $(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2>0$ ， $\left\{\gamma P_0Q_0+x\left[(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2\right]\right\}>0$ 时 ， 对 于 $F'(y)=(1-2y)\left\{\gamma P_0Q_0+x\left[(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2\right]\right\}$ ，则 $F'(1)<0,F'(0)>0$ 。因 此， $y=1$ 是 演 化 稳 定 状 态 (ESS) ， 表 明 众 筹 者 的 策 略 将 在 $(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)>(1-\alpha)C_2$ 时稳定演变为正常众筹。

(b)当 $(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2<0$ 时，又存在两种情况。

当

$x>-\frac{\gamma P_0Q_0}{(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2},\left\{\gamma P_0Q_0+x\left[(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2\right]\right\}<0$ 时， $F'(1)>0,F'(0)<0$ 。因此， $y=0$ 是演化稳定状态(ESS)，这意味着种植者正常供应的比率较高，当超过临界点 $x^*=-\frac{\gamma P_0Q_0}{(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2}$ 时，众筹者将完全采用反悔众筹策略。

当$x<-\frac{\gamma P_0Q_0}{(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2}$时，$F'(1)<0, F'(0)>0$。因此，$y=1$是演化稳定状态(ESS)， 农产品众筹者采用的策略与正常众筹一样稳定。这表明，在$(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)<(1-\alpha)C_2$时，正常供应的比率低于临界点$x^*$时，众筹者的策略变为正常众筹。

2.5 组合模型分析

将公式(1)和(2)联立得到：$x1=0; x2=1; y^*=-\frac{\beta P_0Q_0}{P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0}; y1=0; y2=1;$

$x^*=-\frac{\gamma P_0Q_0}{(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2}$。

根据$x\ge 0, y\le 1, 0\le x^*\le 1$，$0\le y^*\le 1$，解得平面系统$s=\{(x,y)|x\ge 0, y\le 1\}$ 有五个局部平衡点$(0,0),(0,1),(1,0),(1,1),(x^*,y^*)$。

根据弗里德曼方法，由系统的雅可比矩阵(J)的局部稳定性可以得到演化博弈均衡的稳定性。雅可比矩阵为：

$$J=\begin{pmatrix} (1-2x)\left[\beta P_0Q_0+y(P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0)\right] & x(1-x)(P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0) \\ y(1-y)\left[(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2\right] & (1-2y)\left\{\gamma P_0Q_0+x\left[(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2\right]\right\} \end{pmatrix} \tag{9}$$

分为四种情况：

(1)当$\beta P_0Q_0+P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0>0, \gamma P_0Q_0+(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2>0$时，演化博弈的稳定性分析如表 3 所示。

平衡点	迹的符号	行列式符号	平衡结果
$(0,0)$	+	+	不稳定
$(0,1)$		−	鞍点
$(1,0)$		−	鞍点

$(1,1)$	$-$	$+$	ESS
(x^*, y^*)	0	$-$	鞍点

表格 3

种植者的复制动态相位图为：

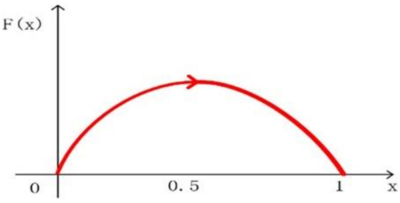

图 1

众筹者的复制动态相位图为：

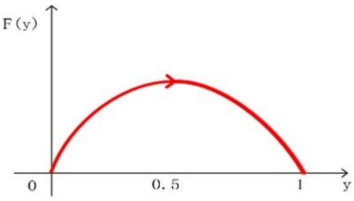

图 2

最后得到种植者和众筹者复制动态的稳定性图例：

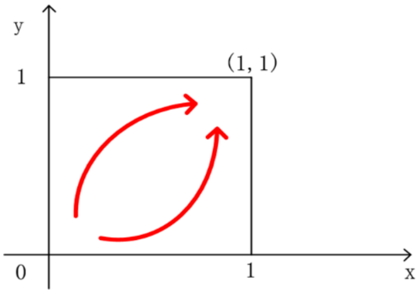

图 3

通过分析可知，ESS 为 $x^* = 1, y^* = 1$，即无论两个群体的初始状态落在哪个区域，最终的演化博弈结果为种植者正常供应，众筹者正常众筹。

(2)当 $\beta P_0 Q_0 + P_0 Q_0 - \alpha C_2 - P_1 Q_0 > 0, \gamma P_0 Q_0 + (P_1 - P_0) Q_0 (1-\rho_2) - (1-\alpha) C_2 < 0$ 时，演化博弈的稳定性分析如表 4 所示。

平衡点	迹的符号	行列式符号	平衡结果
$(0,0)$	$+$	$+$	不稳定

$(0,1)$		$-$	鞍点
$(1,0)$	$-$	$+$	ESS
$(1,1)$		$-$	鞍点
(x^*, y^*)	0	$-$	鞍点

表格 4

种植者的复制动态相位图为：

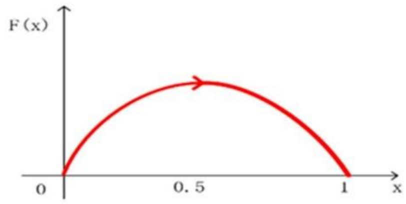

图 4

众筹者的复制动态相位图为：

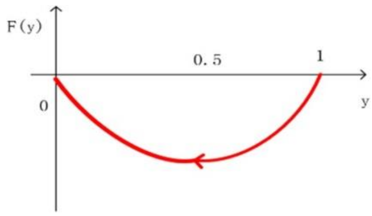

图 5

最后得到种植者和众筹者复制动态的稳定性图例：

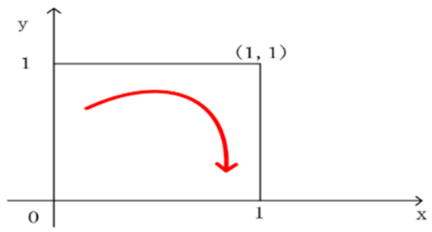

图 6

通过分析可知，ESS 为 $x^* = 1, y^* = 0$，即无论两个群体的初始状态落在哪个区域，最终的演化博弈结果为种植者正常供应，众筹者拒绝众筹。

(3)当 $\beta P_0 Q_0 + P_0 Q_0 - \alpha C_2 - P_1 Q_0 < 0, \gamma P_0 Q_0 + (P_1 - P_0) Q_0 (1 - \rho_2) - (1 - \alpha) C_2 > 0$ 时，演化博弈的稳定性分析如表 5 所示。

平衡点	迹的符号	行列式符号	平衡结果
$(0,0)$	+	+	不稳定
$(0,1)$	−	+	ESS
$(1,0)$		−	鞍点
$(1,1)$		−	鞍点
(x^*,y^*)	0	−	鞍点

表格 5

种植者的复制动态相位图为：

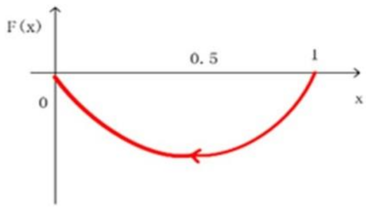

图 7

众筹者的复制动态相位图为：

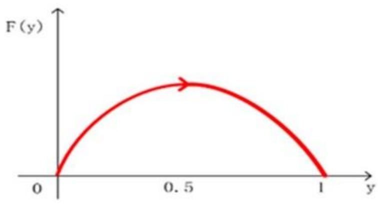

图 8

最后得到种植者和众筹者复制动态的稳定性图例：

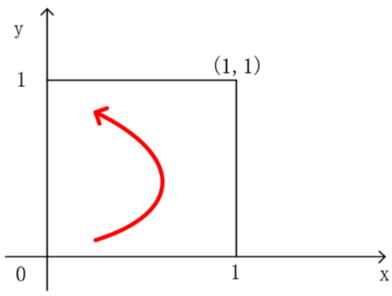

图 9

通过分析可知，ESS 为 $x^*=0, y^*=1$，即无论两个群体的初始状态落在哪个区域，

最终的演化博弈结果为种植者拒绝供应，众筹者正常众筹。

(4)当 $\beta P_0 Q_0 + P_0 Q_0 - \alpha C_2 - P_1 Q_0 < 0, \gamma P_0 Q_0 + (P_1 - P_0) Q_0 (1-\rho_2) - (1-\alpha) C_2 < 0$ 时，演化博弈的稳定性分析如表 6 所示。

平衡点	迹的符号	行列式符号	平衡结果
$(0,0)$	+	+	不稳定
$(0,1)$	−	−	不稳定
$(1,0)$		+	鞍点
$(1,1)$	+	+	不稳定
(x^*, y^*)	0	−	鞍点

表格 6

种植者的复制动态相位图为：

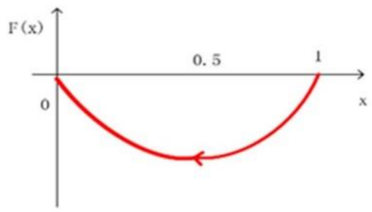

图 10

众筹者的复制动态相位图为：

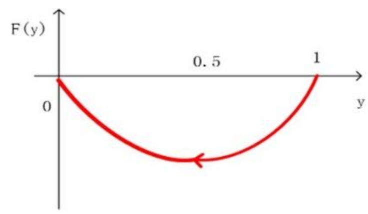

图 11

最后得到种植者和众筹者复制动态的稳定性图例：

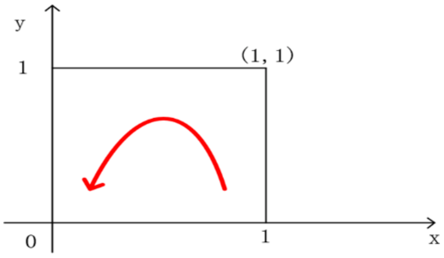

图 12

通过分析可知，ESS 为$x^*=0, y^*=0$，即无论两个群体的初始状态落在哪个区域，最终的演化博弈结果为种植者拒绝供应，众筹者拒绝众筹。

2.6 影响演化博弈均衡的因素分析

基于之前的分析，当$(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2<0, x<-\frac{\gamma P_0Q_0}{(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2}$时，$y=1$；当$(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2<0, x>-\frac{\gamma P_0Q_0}{(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2}$时，$y=0$；当$(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2>0$时，$y=1$。

当$P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0<0, y>-\frac{\beta P_0Q_0}{P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0}$，$x=0$；当$P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0<0, y<-\frac{\beta P_0Q_0}{P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0}$时，$x=1$；当$P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0>0$时，$x=1$。

对临界点$x^*=-\frac{\gamma P_0Q_0}{(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2}$，求关于$\gamma, P_0, Q_0, P_1, \rho_2, \alpha$和$C_2$的偏导数。

$$\frac{\partial x^*}{\partial \gamma}=-\frac{P_0Q_0}{(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2}<0 \tag{10}$$

$$\frac{\partial x^*}{\partial P_0}=-\frac{\gamma Q_0\left[P_1Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2\right]}{\left[(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2\right]^2}<0 \tag{11}$$

$$\frac{\partial x^*}{\partial Q_0}=\frac{\gamma P_0(1-\alpha)C_2}{\left[(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2\right]^2}>0 \tag{12}$$

$$\frac{\partial x^*}{\partial P_1}=\frac{\gamma P_0Q_0^2(1-\rho_2)}{\left[(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2\right]^2}>0 \tag{13}$$

$$\frac{\partial x^*}{\partial \rho_2}=-\frac{(P_1-P_0)\gamma P_0Q_0^2}{\left[(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2\right]^2}>0 \tag{14}$$

$$\frac{\partial x^*}{\partial \alpha}=\frac{\gamma P_0Q_0C_2}{\left[(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2\right]^2}>0 \tag{15}$$

$$\frac{\partial x^*}{\partial C_2}=-\frac{(1-\alpha)\gamma P_0Q_0}{\left[(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2\right]^2}<0 \tag{16}$$

这表明，在其他因素不变的情况下，当Q_0, P_1, ρ_2和α增大，P_0和C_2减小，临界点x^*增大时，临界点增大并且x小于临界点。因此，众筹者将更加倾向于正常众筹的策略（y=1）。而当Q_0, P_1, ρ_2和α减小，P_0和C_2增大，临界点x^*增大时，临界点减小，并且x 大于临界点。因此，众筹者将更加倾向于拒绝众筹（y=0）。当$(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2<0$时，$\frac{\partial x^*}{\partial \gamma}>0$，这意味着参数$\gamma$与临界点$x^*$的方向相同。随着$\gamma$ 的增大，临界点变大，更多的策略趋于正常。随着γ的减小，临界点变小，众筹者倾向于拒绝众筹。当$(P_1-P_0)Q_0(1-\rho_2)-(1-\alpha)C_2>0$时，众筹者将更加倾向于正常众筹的策略（y=1）。

对临界点$y^*=-\frac{\beta P_0Q_0}{P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0}$，求关于$\beta, P_0, Q_0, P_1, \alpha$和$C_2$的偏导数。

$$\frac{\partial y^*}{\partial \beta}=-\frac{P_0Q_0}{P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0}<0 \tag{17}$$

$$\frac{\partial y^*}{\partial P_0}=\frac{\beta Q_0(\alpha C_2+P_1Q_0)}{(P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0)^2}>0 \tag{18}$$

$$\frac{\partial y^*}{\partial Q_0}=\frac{\beta P_0\alpha C_2}{(P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0)^2}>0 \tag{19}$$

$$\frac{\partial y^*}{\partial P_1}=-\frac{\beta P_0Q_0^2}{(P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0)^2}<0 \tag{20}$$

$$\frac{\partial y^*}{\partial \alpha}=-\frac{\beta P_0Q_0C_2}{(P_0Q_0-\alpha C_2-P_1Q_0)^2}<0 \tag{21}$$

$$\frac{\partial y^*}{\partial C_2} = -\frac{\beta P_0 Q_0 \alpha}{\left(P_0 Q_0 - \alpha C_2 - P_1 Q_0\right)^2} < 0 \tag{22}$$

这表明，当Q_0和P_0减小，α, P_1和C_2增大，临界点y^*增大时，临界点变小并且y小于临界点。因此，种植者将更加倾向于拒绝供应的策略（x=0）。而Q_0和P_0 增大，α, P_1和C_2减小，临界点y^*增大时，临界点变小并且y小于临界点。因此，种植者将更加倾向于正常供应（x=1）。当$P_0 Q_0 - \alpha C_2 - P_1 Q_0 < 0$时，$\frac{\partial x^*}{\partial \gamma} > 0$，临界点$y^*$和$\beta$呈正相关，当$\beta$增加时，临界点变大，种植者倾向于正常供应；当$\beta$减少时，临界点变小，种植者倾向于拒绝供应。当$P_0 Q_0 - \alpha C_2 - P_1 Q_0 > 0$时，种植者将更加倾向于正常供应（x=1）。再者，无论种植者是否违约，农产品都会有一定损耗，所以ρ_1对决策无明显影响。

同时考虑到临界点x^*和y^*，当销售量Q_0变大，物流成本C_2变小时，可以实现正常供应和正常众筹$(1,1)$均衡。但当P_0增加，P_1和α减少，β变大时，种植者满足正常供给的意愿变大，众筹者的意愿变小。另一方面，当P_0和ρ_2减小，P_1和α增大，γ变大时，众筹将更加倾向于正常（y=1），而种植者满足正常供应的意愿下降。

在$P_0 Q_0 - \alpha C_2 - P_1 Q_0 > 0$时，$x=1$；在$\left(P_1 - P_0\right) Q_0 \left(1 - \rho_2\right) - \left(1 - \alpha\right) C_2 > 0$时，$y=1$。这两个条件是无效的和矛盾的，因为一个要求$P_1 > P_0$，而另一个$P_1 < P_0$。根据之前对种植者和众筹者组合模型分析，ESS 均衡（1,1）是第一种情况下需要的。条件是$\beta P_0 Q_0 + P_0 Q_0 - \alpha C_2 - P_1 Q_0 > 0, \gamma P_0 Q_0 + \left(P_1 - P_0\right) Q_0 \left(1 - \rho_2\right) - \left(1 - \alpha\right) C_2 > 0$，因此可以得出$P_0\left(1+\beta\right) - P_1 > \frac{\alpha C_2}{Q_0}$ 和$\left(P_1 - P_0\right)\left(1 - \rho_2\right) + \gamma P_0 > \frac{\left(1-\alpha\right) C_2}{Q_0}$。从上述条件可以看出，$\beta$和$\gamma$都需要一定的比例，否则很难满足条件，导致进化博弈均衡发生变化。由于生鲜农产品的价格波动较大，通常高达 20-30%，甚至 100%。基于经验分析，计算

了 30%的波动率：$\beta = 0.3, \gamma = 0.3$。该博弈的特点是，当某个 P_0 和 P_1 的波动率大于30%时，均衡将变为(1,0)或(0,1)，即一方违约。所以，众筹者必须将其 30%的资金作为首期付款，种植者需要将 30%的资金作为定金。

结论

本文建立了一个演化博弈模型，研究了种植者和众筹者之间的博弈均衡。分析表明，进化博弈均衡与播种期和收获期的相对价格差、产品损耗率以及物流成本有关。当农产品的价格波动在30%以内时，这两个群体都是有限理性的，即使有不遵守协议的个人，通过在自己的群体中相互学习，最终也会遵守协议，即种植者和众筹者之间的演化博弈均衡。

在正常情况下，当播种期价格大于收获期价格时，众筹者可能违约。如果播种期价格低于收获期价格，种植者可能违约。因此，在生鲜农产品众筹系统的设计中，应分别向众筹者和种植者收取一定比例的预付款(30%)和一定比例的违约金。

参考文献

[1]Schwartz A A. Rural crowdfunding[J]. UC Davis Bus. LJ, 2012, 13: 283.

[2]杨森,张洁慧.中国农业众筹现状及发展路径[J].农业展望,2018,14(11):29-34.

[3]朱万强,谭立勤.影响农业众筹项目成功的因素研究 ——以"众筹网"为例[J].现代商贸工业,2019,(8):118-119. DOI:10.19311/j.cnki.1672-3198.2019.08.061.

[4]倪莉莉,刘寒春,汪琼, 等.博弈论视角下生鲜农产品双渠道供应链协调研究[J].黑河学院学报,2017,8(1):50-51. DOI:10.3969/j.issn.1674-9499.2017.01.020.

[5]陈灿平.网上农产品交易平台的定价策略研究——基于双边市场理论[J].西南民族大学学报（人文社科版）,2019,40(3):121-125.

[6]张伟,周礼南,张治.三级农产品供应链合作及利润分配博弈[C].//第八届中国智能计算大会暨国际电子商务联合会中国分会第三届年会论文集.浙江工业大学,2014:272-278.

[7]石洋洋.引入农业保险下种植业农产品供应链的协调性与利润稳定性研究[D].河南:郑州大学,2017.

[8]周丽娟.直销型农产品价值链的利润模型研究[J].魅力中国,2014,(19):80-80.