

多主体参与农户安全用药行为的演化博弈分析

黄亚南¹, 杨和缙^{1,*}

1. 福建江夏学院, 公共事务学院, 福建 福州, 350108

摘要: 2025 年中央一号文件提到要深化农产品药物残留治理和农产品质量安全监管, 需要政府、企业、社会组织和消费者共同努力。聚焦于多主体参与农户安全用药治理模式, 构建“农户—政府—消费者”三方演化博弈模型, 分析各个均衡点的稳定性, 并运用 Vensim 软件构建农户安全用药行为实现机制的系统流程图, 采用 Matlab 软件进行数据仿真分析, 模拟不同参数变化下对三方博弈主体的策略选择影响。结果表明: 增加政府监管力度及罚金、降低政府监管成本和农户选择成本、提高消费者购买质量安全产品的可能性对农户选择安全用药行为均具有促进作用。因此, 本文从农户、政府及消费者角度对安全用药行为的实现提出相应的建议。

关键词: 农户; 多主体参与; 安全用药行为; 演化博弈

Evolutionary game analysis of multi-agent participation in farmers' safe pesticide use behavior

HUANG Ya-Nan¹, YANG Hochin^{1,*}

1. Jiangxia University, College of Public Affairs, Fujian Fuzhou, 350108

Abstract: In 2025, the No. 1 central document of the Central Government mentioned that it is necessary to deepen the treatment of drug residues in agricultural products and the quality and safety supervision of agricultural products, the government, enterprises, social organizations and consumers need to work together. Focusing on the multi-agent participation in the governance model of farmers' safe pesticide use, the "farmer-government-consumer" tripartite evolutionary game model was constructed, the stability of each equilibrium point was analyzed, and the system flow diagram of the realization mechanism of farmers' safe pesticide use behavior was constructed by using Vensim software, and the data simulation analysis was carried out by Matlab software to simulate the impact of different parameter changes on the strategy choice of the tripartite game subject. The results showed that increasing the intensity of government supervision and fines, reducing the cost of government supervision and farmers' choice, and increasing the possibility of consumers purchasing quality and safe products had a promoting effect on farmers' choice of safe pesticide use. Therefore, this paper puts forward corresponding suggestions for the realization of safe pesticide use behaviors from the perspectives of farmers, governments and consumers.

Keywords: Farmers; Multi-agent participation; Safe pesticide use behaviors; Evolutionary game

农业生态资源可持续利用是实现农业经济绿色增长的必要条件^[1]。在农业生产中, 农药作为一类重要投入资料, 在杀虫灭菌、生长调节等方面发挥了重要作用, 通过减少由病虫害所引起的农作物产量损失来增加农作物产量, 从而增加农民收入。同时, 农药过量使用的现象普遍存在^[2]。农药的过量使用不仅对农产品带来负面影响, 还对土地等生态环境带来严重后果^[3]。2025 年中央一号文件提出深化农产品药物残留治理和农产品质量安全监管。因此, 在深入推进农业绿色发展和切实保障农产品质量安全的双重目标下, 亟需探寻农户安全用药行为的根源因素并形成行为规范。

在众多探索农户安全用药行为的文献中, 大多从政府干预、市场环境、农业社会化服务等视角阐述农户农药减量化的影响机制^[4-6]。政府提供的农业培训指导可以提高农户的质量安全意识, 影响农户的安全用药行为^[7]。有学者认为政府补贴力度能够通过降低农户生产成本提升促使农户绿色生

产行为^[8]，但不会对农户生态转型意愿起重要影响作用^[9]，加之政府补贴存在政策统筹不足、执行难度大、补贴绩效不高等现实问题^[10]。在博弈论模型运用方面，有学者采用博弈论模型分析利益相关个体或组织的行为^[11-13]。此外，有学者以利益相关者为视角，构建“企业—经销商—政府”三方静态博弈模型，厘清各利益主体在产品质量监管中权利和义务，破解产品质量监管难题^[14]。

国内外学者在农户安全用药行为选择方面开展了一定研究，但鲜有学者从农户、政府以及消费者三方利益相关主体的相互影响角度对农户安全用药行为策略选择问题进行深入探讨。本文主要关注的问题是如何实现农户安全用药行为？基于此，在农产品质量安全问题备受关注以及农业生态环境重要性日益凸显的新形势下，本文引入利益相关者理论，构建“农户—政府—消费者”三方演化博弈模型，分析稳定博弈策略下农户安全用药行为的实现路径，为农户参与农产品质量安全控制提供决策依据，也有利于提升农产品质量安全水平。

1 农户安全用药行为的利益相关者分析

利益相关者是指在企业等组织活动中有合法要求并获取个人利益目标的个人或团体^[15]。农户安全用药行为中农户是直接决策主体，而政府承担政策制定与监管职责，消费者则通过市场需求成为外部激励的行为者^[16, 17]。因此，本文将农户安全用药的利益相关者定义为受到农户安全用药行为影响并对农户安全用药行为产生影响的个人或社会团体，主要包括：农户自身、政府和消费者。农户选择、政府监管以及消费者三方作为农户安全用药行为的参与者，构建的利益需求如表 1 所示。

表 1 农户安全用药行为利益相关者的利益需求
Table 1 The interest demands of stakeholders in farmers' safe medication practices

利益相关者	利益需求	推动（参与）手段
农户	利润最大化与形象	消费者需求
政府	经济利益与社会效益	政策、激励、惩罚
消费者	个人效用最大化	购买

农户作为农产品的直接生产者，其是否产生安全用药行为决策，可能因为农户认同安全用药带来的经济利益，或迫于政府政策规定，产生安全用药行为的决策；同时，也可能因为面临安全用药会增加成本，产生不进行安全用药的决策。因此，农户安全用药行为的决策与否，一方面影响自身的经济利益和形象，另一方面也会影响政府的监管行为和消费者的购买行为。

我国特殊国情以及农户发展阶段导致农户各方面发展受到政府的影响。虽然政府与农户没有明确的契约关系，但政府可以通过法律手段、行政手段和经济手段对农户的安全用药行为进行激励和约束^[16]。因此，政府需综合考虑经济利益和社会利益：一方面，政府对农户农产品质量安全进行监管以维护社会利益；另一方面，政府对农户农产品质量安全进行监管成本过高，其会选择不管。

消费者作为直接的利益相关者，成为农产品质量安全监管的重要参与主体^[17]。消费者绿色需求下更关注农产品供应链质量安全的可追溯^[18]。消费者与农户之间的交易契约要求农户要保障消费者的合法权益，如选择权、知情权、安全权以及赔偿权等。产品市场对农户保障农产品质量安全具有一定的激励约束作用，在很大程度上给农户带来外在压力。研究表明：消费者对高品质产品产生支付溢价^[19]，高学历高收入的年轻消费者更看重产品质量安全^[20]。其会根据个人效用以及农户安全用药行为情况，选择是否购买农户产品。

综上所述，农产品质量安全是实现需要利益相关者协同共治^[21]。农户、政府以及消费者作为农

户安全用药行为的利益相关者，对其安全用药行为的影响主要表现为：在各自利益的驱动下行使各自的权力，影响农户安全用药行为的选择。因此，农户、政府和消费者三方之间密切相关、相互制约、相互影响。基于以上分析，构建利益相关者的“利益—权力”分解图（见图1）。

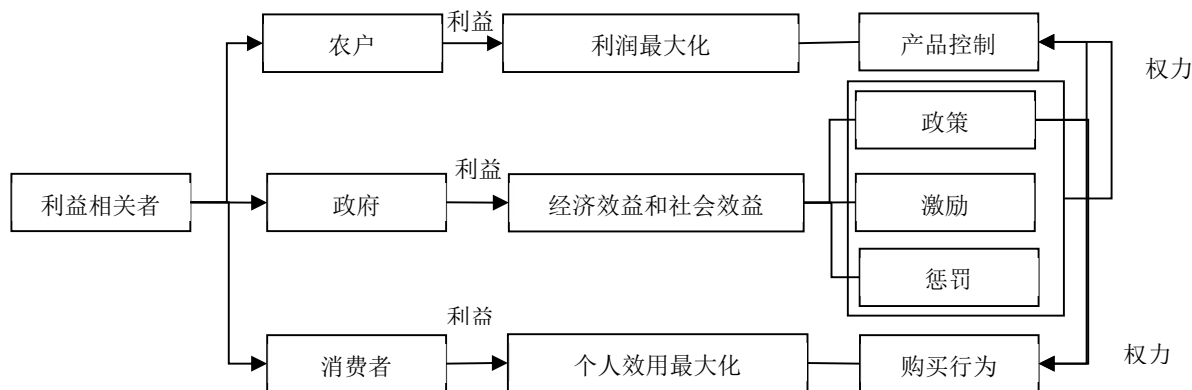


图1 利益相关者的“利益—权力”分解图

Fig. 1 Stakeholders' "interest-power" decomposition diagram

2 农户安全用药行为的演化博弈模型构建

2.1 基本假设

根据利益相关者理论与演化博弈模型，本文假设如下：

假设1：在不考虑其他约束条件的情况下，将农户、政府以及消费者组成的体系看作一个完整系统，并且三方均是具有学习能力的有限理性个体，具有自主选择权力。假设农户选择安全用药的比例为 x ，不选择安全用药的比例为 $1-x$ ；政府选择监管的比例为 y ，选择不监管的比例为 $1-y$ ；消费者选择购买的比例为 z ，选择不购买的比例为 $1-z$ 。且 x 、 y 、 $z \in [0,1]$ ，均为时间 t 的函数。

假设2：农户进行安全用药时，对政府和客户带来有利影响分别为 D_1 、 D_2 ，产品价格和购买量分别为 P_1 、 Q_1 ，农户管理成本为 C_2 ；农户不进行安全用药时，对政府和客户带来不利影响分别为 E_1 、 E_2 ，产品价格和购买量分别为 P_2 、 Q_2 ，政府监管成本为 C_1 。

假设3：因为农户有限理性及有限信息，本文假设农户确定 $P_1Q_1 > C_2$ 、 $P_1Q_1 > P_2Q_2$ 以及 $(P_1Q_1 - C_2) > (P_2Q_2 - G)$ ，但是不能确定 C_1 与 C_2 的关系。

假设4：政府也是有限理性和有限信息，本文假设其会明确 $G > C_1$ ，同时，政府为了制约农户不进行安全用药的行为，其会决定 $G > C_2$ 。此外，为保证 G 对农户安全用药行为具有约束性，政府会认为 $G > C_1 + C_2$ 。但是，政府无法确定 D_1 的大小。

假设5：消费者同样是有效理性的，其认为进行安全用药带来的质量安全产品会给消费者带来效用 $(D_2) > \text{消费者购买成本 } P_1Q_1$ 。但同时，消费者不知道农户未进行安全用药给他们带来的负面影响 (D_2) 的大小。

2.2 博弈模型构建

以上假设为前提，构建三方博弈得益（见表2）。当博弈组合为（选择、监管、购买）时，对农户来说，农户需要付出选择成本 C_2 ，获得收益 P_1Q_1 ；对于政府来说，政府需要付出监管成本 C_1 ，获得收益 D_1 ；对于客户来说，消费者需要付出 P_1Q_1 ，获得收益 D_2 。因此，在此情况下，农户收益为 $P_1Q_1 - C_2$ ，政府收益为 $D_1 - C_1$ ，消费者收益为 $D_2 - P_1Q_1$ 。

表2 农户安全用药行为博弈得益表
Table 2 Payoff table of farmers' safe medication behavior game

博弈组合	农户收益	政府收益	消费者收益
(选择、监管、购买)	$P_1Q_1 - C_2$	$D_1 - C_1$	$D_2 - P_1Q_1$
(选择、监管、不购买)	$-C_2$	$D_1 - C_1$	0
(选择、不监管、购买)	$P_1Q_1 - C_2$	D_1	$D_2 - P_1Q_1$
(选择、不监管、不购买)	$-C_2$	D_1	0
(不选择、监管、购买)	$P_2Q_2 - G$	$G - C_1 - E_1$	$-P_2Q_2 - E_2$
(不选择、监管、不购买)	$-G$	$G - C_1 - E_1$	0
(不选择、不监管、购买)	P_2Q_2	$-E_1$	$-P_2Q_2 - E_2$
(不选择、不监管、不购买)	0	$-E_1$	0

2.3 演化博弈的均衡分析

根据以上假设及模型构建, 分别求农户、政府、消费者不同策略的预期得益及群体平均得益。
农户选择安全用药行为的预期收益 U_{x1} 为:

$$U_{x1} = yz(P_1Q_1 - C_2) + y(1-z)(-C_2) + (1-y)z(P_1Q_1 - C_2) + (1-y)(1-z)(-C_2) \quad (1)$$

农户不选择安全用药行为的预期得益 U_{x2} 为:

$$U_{x2} = yz(P_2Q_2 - G) + y(1-z)(-G) + (1-y)z(P_2Q_2) + (1-y)(1-z)0 \quad (2)$$

农户“选择”、“不选择”两类博弈的群体平均得益 $\bar{U}_1$ 为:

$$\begin{aligned} \bar{U}_1 &= xU_{x1} + (1-x)U_{x2} \\ &= xyz(P_1Q_1 - C_2) + xy(1-z)(-C_2) + x(1-y)z(P_1Q_1 - C_2) + x(1-y)(1-z)(-C_2) \\ &\quad + (1-x)yz(P_2Q_2 - G) + (1-x)y(1-z)(-G) + (1-x)(1-y)z(P_2Q_2) \end{aligned} \quad (3)$$

政府进行监督的预期得益 U_{y1} 为:

$$U_{y1} = xz(D_1 - C_1) + x(1-z)(D_1 - C_1) + (1-x)z(G - C_1 - E_1) + (1-x)(1-z)(G - C_1 - E_1) \quad (4)$$

政府不进行监督的预期得益 U_{y2} 为:

$$U_{y2} = xzD_1 + x(1-z)D_1 + (1-x)z(-E_1) + (1-x)(1-z)(-E_1) \quad (5)$$

政府“监管”、“不监管”两类博弈的群体平均得益 $\bar{U}_2$ 为:

$$\begin{aligned} \bar{U}_2 &= yU_{y1} + (1-y)U_{y2} \\ &= xyz(D_1 - C_1) + xy(1-z)(D_1 - C_1) + x(1-y)zD_1 + x(1-y)(1-z)D_1 + (1-x)yz(G - C_1 - E_1) \\ &\quad + (1-x)y(1-z)(G - C_1 - E_1) + (1-x)(1-y)z(-E_1) + (1-x)(1-y)(-E_1) \end{aligned} \quad (6)$$

消费者购买的预期得益 U_{z1} 为:

$$U_{z1} = xy(D_2 - P_1Q_1) + x(1-y)(D_2 - P_1Q_1) + (1-x)y(-P_2Q_2 - E_2) + (1-x)(1-y)(-P_2Q_2 - E_2) \quad (7)$$

消费者不购买的预期得益 U_{z2} 为:

$$U_{z2} = xy0 + x(1-y)0 + (1-x)y0 + (1-x)(1-y)0 \quad (8)$$

消费者“购买”、“不购买”两类博弈的群体平均得益 $\bar{U}_3$ 为:

$$\begin{aligned} \bar{U}_3 &= zU_{z1} + (1-z)U_{z2} \\ &= xyz(D_2 - P_1Q_1) + x(1-y)z(D_2 - P_1Q_1) + (1-x)yz(-P_2Q_2 - E_2) + (1-x)(1-y)z(-P_2Q_2 - E_2) \end{aligned} \quad (9)$$

依据生物进化复制动态思想, 农户、政府以及消费者在选择安全用药行为实现路径时, 会选择收益较高的路径, 从而调整自身的实现路径。因此, 农户、政府以及消费者选择不同路径的比例会发生改变, 选择某一路径的变化速度与该比例以及其收益超过平均收益的幅度成正比, 其可用复制动态方程表示。用复制动态方程表示农户、政府以及消费者的选择路径分别为:

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(U_{x1} - \bar{U}_1) = x(1-x)[z(P_1Q_1 - P_2Q_2) + yG - C_2] \quad (10)$$

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(U_{y1} - \bar{U}_2) = y(1-y)[(1-x)G - C_1] \quad (11)$$

$$F(z) = \frac{dz}{dt} = z(U_{z1} - \bar{U}_3) = z(1-z)[x(D_2 - P_1Q_1) + (1-x)(-P_2Q_2 - E_2)] \quad (12)$$

公式 (10) 中, 令 $F(x)=0$, 求得均衡点分别为 0、1。因此, 如果 $zP_1Q_1 - C_2 = zP_2Q_2 - yG$, 则 $F'(x)=0$, x 处于稳定状态; 如果 $zP_1Q_1 - C_2 > zP_2Q_2 - yG$, 则 $F'(1)<0$, $F'(0)>0$, 均衡点 1 为进化稳定策略; 如果 $zP_1Q_1 - C_2 < zP_2Q_2 - yG$, 则 $F'(1)>0$, $F'(0)<0$, 均衡点 0 为进化稳定策略 (见图 2)。因此, $F'(x)$ 的符号与 $z(P_1Q_1 - P_2Q_2) + yG - C_2$ 有关, 即增加消费者购买比例 z 、降低农户安全用药成本 C_2 、增加政府监管比例 y 、提高政府罚金 G , 有利于农户进行安全用药行为。因此, 政府应该提高监管力度、完善各项规章制度, 对农户安全用药行为进行外部约束; 农户还要减少安全用药成本, 提高安全用药的经济效应。

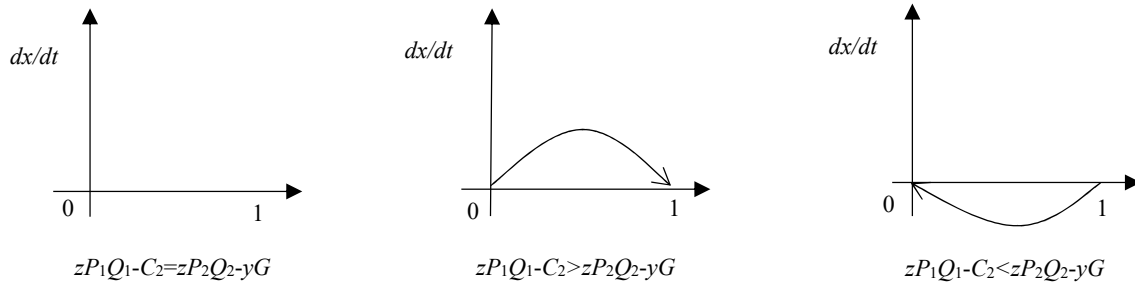


图 2 农户的复制动态路径图

Fig. 2 Replicator dynamic path diagram of farmers

公式 (11) 中, 令 $F(y)=0$, 求得均衡点分别为 0、1。因此, 如果 $(1-x)G = C_1$, 则 $F'(y)=0$, y 处于稳定状态; 如果 $(1-x)G > C_1$, 则 $F'(1)<0$, $F'(0)>0$, 均衡点 1 为进化稳定策略; 如果 $(1-x)G < C_1$, 则 $F'(1)>0$, $F'(0)<0$, 均衡点 0 为进化稳定策略 (见图 3)。因此, $F'(y)$ 的符号与 $(1-x)G - C_1$ 有关, 即政府对农户惩罚金额 G 、政府监管成本 C_1 、农户安全用药的比例 x 与政府是否监管有关。因此, 政府应该提高对存在质量安全问题农户的惩罚金额, 严格控制政府监管成本, 提高监管效率, 从而提高农户农产品质量安全。

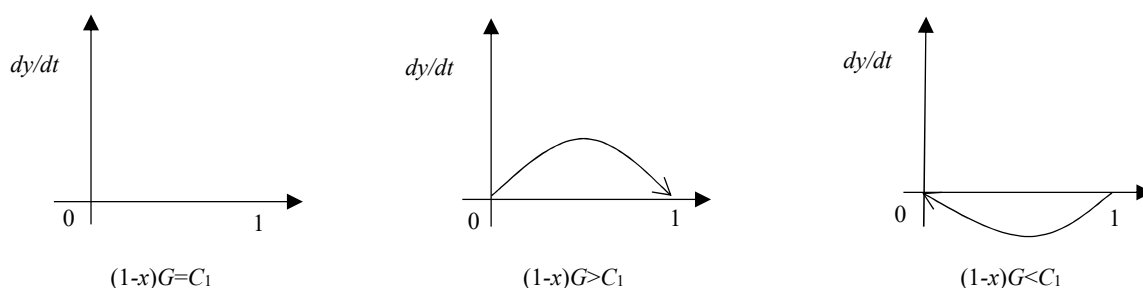


图 3 政府的复制动态路径图

Fig. 3 Replicator dynamic path diagram of government

公式 (12) 中, 令 $F(z)=0$, 求得均衡点分别为 0、1。因此, 如果 $x D_2 = x P_1 Q_1 + (1-x)(P_2 Q_2 + E_2)$ 时, 则 $F'(z)=0$, z 处于稳定状态; 如果 $x D_2 > x P_1 Q_1 + (1-x)(P_2 Q_2 + E_2)$, 则 $F'(1) < 0$, $F'(0) > 0$, 均衡点 1 为进化稳定策略; 如果 $x D_2 < x P_1 Q_1 + (1-x)(P_2 Q_2 + E_2)$, 则 $F'(1) > 0$, $F'(0) < 0$, 均衡点 0 为进化稳定策略 (见图 4)。因此, $F'(z)$ 的符号与 $x(D_2 - P_1 Q_1) - (1-x)(P_2 Q_2 + E_2)$ 有关, 即进行安全用药选择的农户比例 x 越高、农户安全用药给消费者产生效用 D_2 越高, 消费者越愿意购买质量安全的农产品。这表明: 当前, 消费者越来越重视产品质量、价值, 农产品的质量安全成为影响消费者购买行为的重要因素。因此, 即使政府不对农户安全用药行为进行监管, 给农户带来了短期收益的增加, 但不利于农户良好声誉的建立, 进而不利于农户可持续发展。

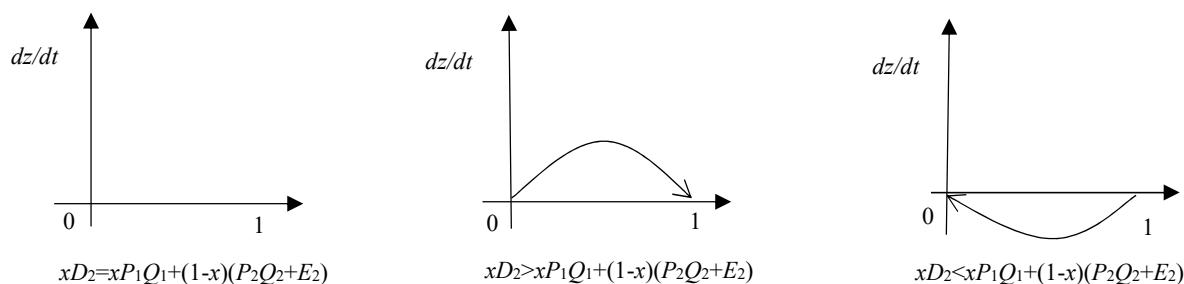


图 4 消费者的复制动态路径图

Fig. 4 Replicator dynamic path diagram of consumers

为了进一步分析农户安全用药行为实现机制, 将进化博弈理论与系统动力学理论相结合, 基于系统中各主体的博弈效用模型和复制动态方程, 运用 Vensim 软件构建农户安全用药行为实现机制的系统流图 (见图 5)。

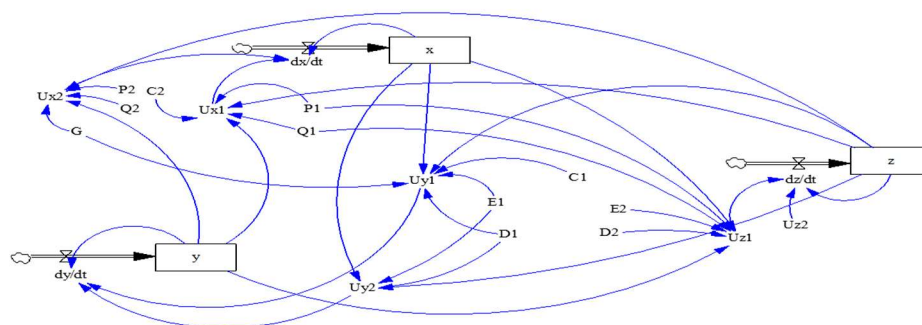


图 5 农户安全用药行为实现机制的系统流图

Fig. 5 System flow diagram of the implementation mechanism for farmers' safe medication behavior

2.4 演化博弈的渐进稳定性分析

农户安全用药行为实现路径最终的稳定状态是所有关键利益相关者在均衡点达到稳定状态。令 $F(x)=0$ 、 $F(y)=0$ 、 $F(z)=0$ 得到 8 个均衡点 $O(0,0,0)$ 、 $A(1,0,0)$ 、 $B(1,1,0)$ 、 $C(0,1,0)$ 、 $D(1,0,1)$ 、 $E(1,1,1)$ 、 $F(0,1,1)$ 、 $G(0,0,1)$ 。根据 Friedman 方法, 均衡点稳定性可通过分析雅可比矩阵的局部稳定性得到:

$$J = \begin{bmatrix} (1-2x)[z(P_1Q_1 - P_2Q_2) + yG - C_2] & x(1-x)G & x(1-x)z(P_1Q_1 - P_2Q_2) \\ -y(1-y)G & (1-2y)[(1-x)G - C_1] & 0 \\ z(1-z)(D_2 - P_1Q_1) + z(1-z)(P_2Q_2 + E_2) & 0 & (1-2z)[x(D_2 - P_1Q_1) + (x-1)(P_2Q_2 + E_2)] \end{bmatrix} \quad (13)$$

雅可比矩阵的行列式为:

$$\begin{aligned} \text{Det}J &= (1-2x)[z(P_1Q_1 - P_2Q_2) + yG - C_2] \times (1-2y)[(1-x)G - C_1] \\ &\quad \times (1-2z)[x(D_2 - P_1Q_1) + (x-1)(P_2Q_2 + E_2)] - x(1-x)G \times y(1-y)G \\ &\quad \times (1-2z)[x(D_2 - P_1Q_1) + (x-1)(P_2Q_2 + E_2)] + x(1-x)z(P_1Q_1 - P_2Q_2) \\ &\quad \times (1-2y)[(1-x)G - C_1] \times [z(1-z)(D_2 - P_1Q_1) + z(1-z)(P_2Q_2 + E_2)] \end{aligned} \quad (14)$$

雅可比矩阵的迹为:

$$\begin{aligned} \text{Tr}J &= (1-2x)[z(P_1Q_1 - P_2Q_2) + yG - C_2] + (1-2y)[(1-x)G - C_1] \\ &\quad + (1-2z)[x(D_2 - P_1Q_1) + (x-1)(P_2Q_2 + E_2)] \end{aligned} \quad (15)$$

本文假设 $G > C_1$ 、 $P_2Q_2 > G$, 将均衡点 $O(0,0,0)$ 、 $A(1,0,0)$ 、 $B(1,1,0)$ 、 $C(0,1,0)$ 、 $D(1,0,1)$ 、 $E(1,1,1)$ 、 $F(0,1,1)$ 、 $G(0,0,1)$ 分别带入公式 (13) 和公式 (14) 中, 根据雅可比矩阵的行列式符号和雅可比矩阵的迹的符号, 判断均衡点是否为 ESS。从表 3 可以看出, $(1,0,0)$ 、 $(1,1,0)$ 、 $(0,1,1)$ 、 $(0,0,1)$ 为鞍点, $(0,1,0)$ 、 $(1,0,1)$ 为不稳定均衡点, $(0,0,0)$ 、 $(1,1,1)$ 为进化稳定均衡点。

表 3 稳定性分析结果
Table 3 Stability analysis results

均衡点	雅可比矩阵的行列式的符号	雅可比矩阵的迹的符号	结果
$(0,0,0)$	+	-	ESS
$(1,0,0)$	-	?	鞍点
$(1,1,0)$	-	?	鞍点
$(0,1,0)$	-	-	不稳定点
$(1,0,1)$	+	?	不稳定点
$(1,1,1)$	+	-	ESS
$(0,1,1)$	-	+	鞍点
$(0,0,1)$	-	+	鞍点

从图 6 中可以看出, 在立方体 $ABFGDE$ 中的任意一点, 表示农户选择安全用药行为的农户比例、进行监管的政府比例、购买质量安全农产品的消费者比例均低于相应的均衡值, 博弈各方主体消极态度的相互影响对农户安全用药行为的实现不断弱化, 直到收敛至 $O(0,0,0)$, 即农户决定不选择安全用药行为、政府不进行监管、消费者不购买质量安全的产品, 导致农户安全用药行为无法实现。而在立方体 $ABCFGO$ 中任意一点, 表示农户选择安全用药行为的农户比例、进行监管的政府比例、购买质量安全农产品的消费者比例均高于相应的均衡值, 博弈各方主体积极态度的相互影响对农户

安全用药行为的实现不断强化,直到收敛至 $E(1,1,1)$,即农户决定选择安全用药行为、政府进行监管、消费者购买质量安全的产品,达到实现农户安全用药行为的理想和稳定状态。

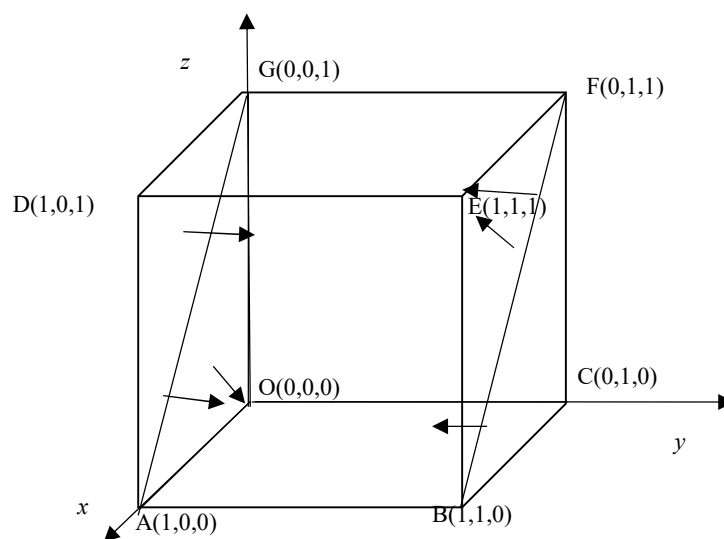


图 6 农户、政府和消费者之间动态进化选择过程图

Fig. 6 Dynamic evolutionary selection process diagram between farmers, government, and consumers

综上所述,农户安全用药行为的实现是关键利益相关主体相互影响、共同参与的结果。各利益相关者通过不断学习和调整,各方达到一个理想和稳定状态。这种状态是关键利益相关者利益的均衡结果,共同推动农户安全用药行为的实现。

3 仿真分析

为了对农户安全用药行为实现路径进行分析,并验证上述结论,本文运用 Matlab 软件模拟关键利益相关者选择农户安全用药行为实现路径动态进化过程。为了保证算理参数设计的一般性,有效规避进化博弈中的特殊稳健点,根据进化稳定理论以及前文参数假设,本文设定各参数值分别如下:

$P_1Q_1=10$, $P_2Q_2=8$, $G=6$, $C_1=1$, $C_2=4$, $D_2=20$ 以及 $E_2=4$ 。

3.1 农户选择农户安全用药行为实现路径的仿真分析

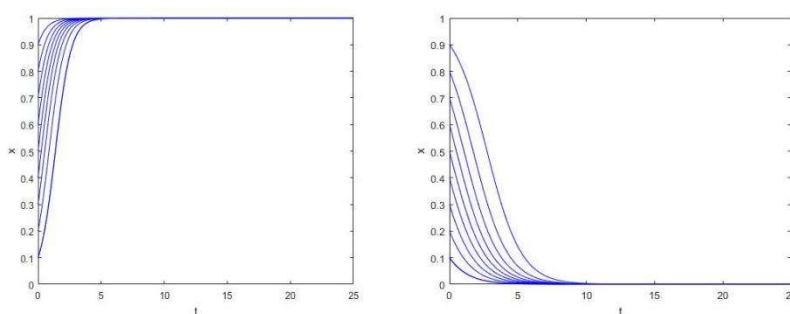


图 7 当 $y=0.9$, $z=0.9$ 时及当 $y=0.9$, $z=0.1$ 时,农户选择农户安全用药行为实现路径的动态计划过程图

Fig. 7 Dynamic planning process diagram of farmers' selection of safe medication behavior implementation path when $y=0.9$, $z=0.9$ and When $y=0.9$, $z=0.1$

如果政府监管的比例和消费者购买质量安全农产品的比例均大于 0.5,本文取 $y=0.9$ 、 $z=0.9$ 。这时,农户选择安全用药的概率最终收敛于 1,即农户最终决定选择安全用药行为。如果政府监管的比例大于 0.5,而消费者购买质量安全农产品的比例小于 0.5,本文取 $y=0.9$ 、 $z=0.1$ 。这时,农户选择选

择安全用药行为的概率最终收敛于 0，即农户最终决定不选择安全用药行为（见图 7）。

如果政府监管的比例小于 0.5，而消费者购买质量安全农产品的比例大于 0.5，本文取 $y=0.1$ 、 $z=0.9$ 。这时，农户选择选择安全用药行为的概率最终收敛于 0，即农户最终决定不选择安全用药行为。如果政府监管的比例小于 0.5，而消费者购买质量安全农产品的比例小于 0.5，本文取 $y=0.1$ 、 $z=0.1$ 。这时，农户选择选择安全用药行为的概率最终收敛于 0，即农户最终决定不选择安全用药行为（见图 8）。

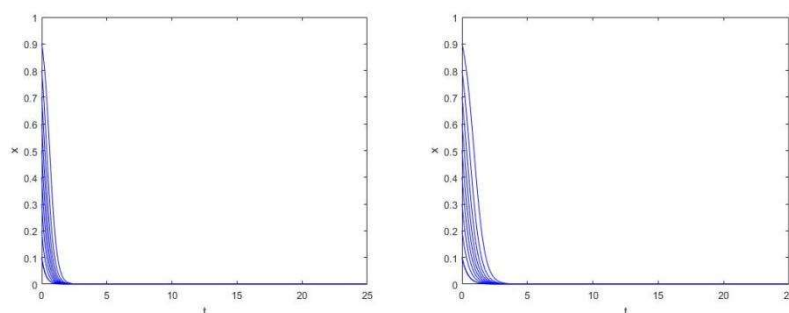


图 8 当 $y=0.1$, $z=0.9$ 时及 $y=0.1$, $z=0.1$ 时，农户选择农户安全用药行为实现路径的动态计划过程图
Fig. 8 Dynamic planning process diagram of farmers' selection of safe medication behavior implementation path when $y=0.1$, $z=0.9$ and when $y=0.1$, $z=0.1$

3.2 政府选择农户安全用药行为实现路径的仿真分析

如果农户进行农产品安全用药选择的比例大于 0.5，本文取 $x=0.9$ 。当农户决定选择安全用药行为时，政府进行监管的概率最终收敛于 0，即政府最终不对农户安全用药行为进行监管。如果农户选择安全用药行为的比例小于 0.5，本文取 $x=0.1$ 。当农户决定不选择安全用药行为时，政府进行监管的概率最终收敛于 1，即政府最终会对农户安全用药行为进行监管（见图 9）。

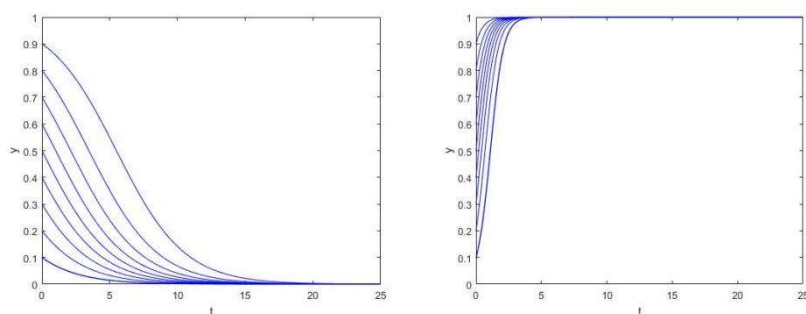


图 9 当 $x=0.9$ 、 $x=0.1$ 时，政府选择农户安全用药行为实现路径的动态计划过程图
Fig. 9 Dynamic planning process diagram of government's selection of farmers' safe medication behavior implementation path when $x=0.9$ and $x=0.1$

3.3 消费者选择农户安全用药行为实现路径的仿真分析

如果农户选择安全用药行为的比例大于 0.5，本文取 $x=0.9$ 。当农户决定进行安全用药行为的概率较大时，消费者购买农户农产品的概率会最终收敛于 1，即消费者最终会选择购买农户农产品。如果农户选择安全用药行为的比例小于 0.5，本文取 $x=0.1$ 。当农户决定选择安全用药行为的概率较小时，消费者购买农户农产品的概率会最终收敛于 0，即政府最终不会选择购买农户农产品（见图 10）。

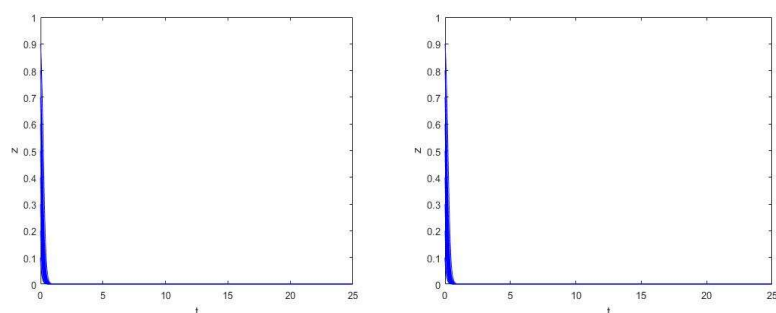


图 10 当 $x=0.9$ 、 $x=0.1$ 时，消费者选择农户安全用药行为实现路径的动态计划过程图
Fig. 10 Dynamic planning process diagram of consumers' selection of farmers' safe medication behavior implementation path when $x=0.9$ and $x=0.1$

4 讨论

以往研究多聚焦于政府与农户的两方博弈^[12]，本文构建了“农户-政府-消费者”三方互动关系，并动态模拟了参数变化对策略选择的影响，描绘出三方行为的演化路径，更贴合实际决策行为的发展特征。前人研究结果表明，政府通过法律和经济手段（如补贴、惩罚）干预农户行为的影响^[4]，本文通过动态博弈模型进一步验证，政府监管力度和罚金的确能显著影响农户安全用药行为。此外，前人研究结果表明，农户行为取决于产品销售的结果，而消费者藉由购买行为成为农产品安全监管的行动者之一^[16]。本文指出消费者购买安全农产品对农户行为具有直接的激励作用。

5 结论及建议

本文运用三方进化博弈模型对农户安全用药行为策略选择问题进行分析，本文得出以下结论：

（1）农户、政府以及消费者均具有有限理性和学习能力，在选择农户安全用药行为实现路径时，通过不断博弈逐渐找到稳定和理想状态，即农户选择农产品安全用药、政府对农产品质量安全进行监管、消费者购买质量安全的农产品。

（2）增加消费者购买比例、降低农户农产品安全用药成本、增加政府监管比例、提高罚金，有利于农户进行安全用药行为。

（3）增加政府对农户惩罚金额、降低政府监管成本、提高农户农产品安全用药行为的比例，有利于政府加大对农户质量安全的监管力度，进而有利于农户进行安全用药行为。

（4）进行农产品安全用药的农户比例越高、农户安全用药行为给消费者产生效用越高，消费者越愿意购买质量安全的农产品，进而有利于农户进行安全用药行为。

因此，为了实现农户安全用药行为策略选择，本文提出以下建议：

首先，农户方面。第一，提高农户素质。农户不仅要注重自身经济利益，还要将农户社会责任（如保障消费者健康）纳入组织发展整体规划。农户应积极主动关注农产品安全用药，包括产前安全用药选择（提高自身认知、购买安全有效的农药品牌等）、产中安全用药选择（按照农药标签使用农药等）以及产后安全用药选择（积极参与产品自检等），保障农户农产品质量安全，降低政府监管成本；第二，农户应该建立健全农户农产品质量安全规章制度。农户引导农户严格按照规章制度进行生产经营活动，减少农产品质量安全问题的出现，从而有利于降低农户农产品安全用药成本；第三，农户应积极参加相关知识技术培训。技术培训，不仅可以降低农户农产品安全用药成本，还可以降低政府监管成本。

其次，政府方面。第一，提高对农户农产品安全用药的补贴力度。政府应该从资金和技术等方

面大力支持农户进行安全用药,提高农产品质量安全;第二,完善相关法律法规,加大惩罚力度。将农产品质量安全问题上升到法律法规层面,对农户产品进行严格监管,并对出现质量安全问题的农户进行惩罚,如收取罚金、取消政府财政支持、进入行业“黑名单”等;第三,加大对农户的监管力度。我国农户知识能力水平存在差异性,面临各种问题和挑战,政府应该起到引导和监管的职能,及时向社会公众公开农户产品信息,减少其因质量安全问题带来的潜在损失。

最后,消费者层面。第一,提高自身素质,加强识别质量安全农产品的能力。消费者通过购买更高质量安全的农户产品,有利于激励农户不断提高自身生产技术和方法,提高农产品质量,实现满足消费者需求的同时促进自身可持续发展。第二,形成良好的社会舆论环境,对质量安全水平高的农户通过社会舆论,提高农户知名度和消费者的信任度,实现农户的可持续发展。

参考文献

- [1] 蒋琳莉,黄好钦,何可. 技术培训、经济补贴与农户生物农药施用技术扩散行为[J]. 中国农村观察, 2024, (04): 163-184.
- [2] 王成利,刘同山. 农地退出意愿对化肥、农药使用强度的影响——基于鲁、苏、皖三省农户的实证分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(03): 184-192.
- [3] LePrevost CE, Storm JF, Asuaje CR, Arellano C, Cope WG. Assessing the effectiveness of the Pesticides and Farmworker Health Toolkit: a curriculum for enhancing farmworkers' understanding of pesticide safety concepts. J Agromedicine. 2014, 19(2): 96-102.
- [4] 黄祖辉,钟颖琦,王晓莉. 不同政策对农户农药施用行为的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(08): 148-155.
- [5] 朱淀,孔霞,顾建平. 农户过量施用农药的非理性均衡: 来自中国苏南地区农户的证据[J]. 中国农村经济, 2014, (08): 17-29+41.
- [6] 应瑞瑶,徐斌. 农作物病虫害专业化防治服务对农药施用强度的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(08): 90-97.
- [7] 李成龙,周宏. 资源禀赋、政府培训与农户生态生产行为[J]. 农业经济与管理, 2022, (05): 22-30.
- [8] 左巧丽,杨钰蓉,李兆亮,等. 农户化肥减量替代意愿研究: 基于价值认知和制度情境的分析[J]. 世界农业, 2022, (04): 83-95.
- [9] 杨玉苹,朱立志,孙炜琳. 农户参与农业生态转型: 预期效益还是政策激励?[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(08): 140-147.
- [10] 蔡保忠,王秀秀,史芳,等. 我国农业绿色补贴的环境效应、效果评价与政策优化[J]. 农业现代化研究, 2023, 44(04): 567-574.
- [11] 彭玉珊,孙世民,周霞. 基于进化博弈的优质猪肉供应链质量安全行为协调机制研究[J]. 运筹与管理, 2011, 20(6): 114-119.
- [12] 杨唯一,鞠晓峰. 基于博弈模型的农户技术采纳行为分析[J]. 中国软科学, 2014(11): 42-49.
- [13] 许玲燕,杜建国,汪文丽. 农村水环境治理行动的演化博弈分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(5): 17-26.
- [14] 赵荧梅,郭本海,刘思峰. 不完全信息下产品质量监管多方博弈模型[J]. 中国管理科学, 2017, 25(2): 111-120.
- [15] Donaldson T, Preston L E. The stakeholder theory of the corporation: Concepts, evidence, and implication [J]. Academy of Management Review, 1995, 20(1):65-91.
- [16] 胡雯,黄季焜,陈富桥,等. 基于区块链技术的农产品质量安全追溯体系: 实践、挑战与建议[J]. 农业经济问题, 2024, (05): 33-47.
- [17] 苏昕,张辉,周升师. 农产品质量安全监管中消费者参与意愿和行为研究——基于调查数据的实证分析[J]. 经济问题, 2018(4): 62-69.
- [18] Li X, Du J, Li W, et al. Green Ambitions: A Comprehensive Model for Enhanced Traceability in Agricultural Product Supply Chain to Ensure Quality and Safety [J]. Journal of Cleaner Production 2023, 420, 138397.
- [19] Liu,H, Ma, R. He, G. Lamrabet, A. Fu, S. The Impact of Blockchain Technology on the Online Purchase Behavior of Green Agricultural Products[J]. Journal of Retailing and Consumer Services, 2023, 74: 103387.

- [20] Rao, S. H., Chen, F. Q., Hu, W., Gao, F., Huang, J. K., Yi, H. M. Consumers' Valuations of Tea Traceability and Certification: Evidence from a Blockchain Knowledge Experiment in Six Megacities of China[J]. Food Control, 2023: 109827.
- [21] 赵宇. 食用农产品质量安全协同共治: 生态文明与社会信任[J]. 东岳论丛, 2024, 45(09): 74-81.

基金项目: 福建省社会科学基金项目成果(FJ2023BF047), 福建江夏学院校级科研项目(JXS2022013), 福建江夏学院基层治理现代化创新团队(23ktxs01)。

¹ **第1作者简介:** 黄亚南(1990-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 农业经济理论与政策。 E-mail: yananhuang1226@163.com。

*** 通讯作者简介:** 杨和缙(1978-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 基层治理。 E-mail: 1093054211@qq.com。