

# 基于SIRS模型的直播带货传播动力学分析

李莹<sup>1</sup>, 金银芳<sup>2\*</sup>, 金银来<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>临沂大学数学与统计学院, 山东 临沂

<sup>2</sup>临沂大学学报编辑部, 山东 临沂

收稿日期: 2024年7月19日; 录用日期: 2024年8月11日; 发布日期: 2024年8月20日

## 摘要

本文基于传染病SIRS模型, 建立具有饱和和发生率的直播带货传播动力学模型, 分析了直播带货过程中不同个体或群体的动态变化规律, 据此预测了直播带货传播趋势。此外还通过Matlab仿真模拟了不同影响因素对直播带货中群体的影响, 为直播带货提供了参考和建议。

## 关键词

直播带货, 饱和和发生率, SIRS模型, 定性分析

# Dynamic Analysis of the Dissemination of Live Streaming Sales Based on SIRS Model

Ying Li<sup>1</sup>, Yinfang Jin<sup>2\*</sup>, Yinlai Jin<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>School of Mathematics and Statistics, Linyi University, Linyi Shandong

<sup>2</sup>Journal Editorial Department, Linyi University, Linyi Shandong

Received: Jul. 19<sup>th</sup>, 2024; accepted: Aug. 11<sup>th</sup>, 2024; published: Aug. 20<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

In this paper, we established a dynamic model for the spread of live streaming with saturation incidence based on the SIRS model of infectious diseases, then, analyzed the dynamic changes among different individuals or groups during live streaming and predicted the propagation trends of live streaming based on this model. Additionally, Matlab simulations were used to simulate the influence of various factors on groups in live streaming, and provided some references and suggestions for improving live streaming practices.

\*通讯作者。

## Keywords

Live Streaming, Incidence of Saturation, SIRS Model, Qualitative Analysis

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

目前, 直播带货逐渐发展成为一个成熟的电商模式, 越来越多的品牌和商家开始利用直播带货来推广产品, 提升商品销售率。直播带货与传统的线下销售模式不同, 其实时性和互动性更加明显, 能够更高效、及时地向消费者提供商品信息, 利于消费者更好地做出购物决策。武慧慧[1]根据前人的研究以及随机森林算法选择有价值的指标, 提出衡量电商主播的带货能力的两个指标, 衡量影响因素的五个指标。王晨曦[2]基于数理模型对病毒式营销的传播过程进行了分析, 得出了提高病毒式营销传播效率的有效方法。张薇[3]通过数值模拟及仿真研究发现了对于病毒营销的传播有着放大作用的重要因素。

传统的 SIRS 模型描述了传染病在人群中的传播和康复过程, 直播带货是一个涉及商业、社交和市场行为的复杂系统, 其传播机制虽然与 SIRS 模型的传染病传播机制相类似, 但它涉及到用户购买需求、商品种类、主播个性等诸多商业因素。在实际生活中, 由于商家不断优化销售策略控制退货人数等多种因素的影响, 退货发生率易达到饱和状态。因此, 为了使模型更好地贴近现实情况, 本文在基于传染病 SIRS 模型, 将仓室分为观看直播者、购买者和退货者的基础上引入饱和发生率, 建立具有饱和发生率的直播带货传播动力学模型, 然后利用微分方程定性理论对模型进行分析。最后, 从政府、商家和社会各界三个方面, 为如何提高商品销售额提供一些合理性建议。

## 2. 模型建立

直播带货模型描述了商业环境中的用户行为、商品销售和互动过程。在直播带货模型中, 我们希望减少移出者, 即减少退货率。此外, 购买者对商品的满意程度越高, 客户忠诚度就越高, 退货者也可能因为观看直播后再次有购买需求。因此我们假设总人口始终保持为一个常数  $N(t) \equiv N$ , 借鉴文献[4]中传染病动力学的 SIRS 模型的建模思想, 构建如下模型:

$$\begin{cases} \frac{dV(t)}{dt} = bN - bV(t) - \beta V(t) + \eta R(t) \\ \frac{dC(t)}{dt} = \beta V(t) - bC(t) - \frac{\delta C(t)R(t)}{1 + \alpha C(t)} \\ \frac{dR(t)}{dt} = \frac{\delta C(t)R(t)}{1 + \alpha C(t)} - bR(t) - \eta R(t) \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $V$  是观看直播者的数量,  $C$  是购买者的数量,  $R$  是退货者的数量。  $b$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ ,  $\eta$  是模型中引入的参数,  $b$  代表直播间进入速度和离开速度(假设进入速度和离开速度相等),  $\alpha$  代表购买者的商品“保留系数”,  $\beta$  代表观看直播者转变为购买者的速度,  $\delta$  表示购买者转变为退货者的比例系数,  $\eta$  表示退货者转变为观看直播者的速度。

下面对模型进行解释:

$$(1) \quad \frac{dV(t)}{dt} = bN - bV(t) - \beta V(t) + \eta R(t)。$$

$\frac{dV(t)}{dt}$  表示观看直播者数量关于时间  $t$  的变化速度, 它描述了观看直播者人数随时间的变化趋势。

$bN$  表示人群进入直播间的速度,  $bV(t)$  表示观看者因各种原因而离开的速度。

$\beta V(t)$  表示观看直播后决定购买产品的观看者变化速度。

$\eta R(t)$  表示退货者重新对产品产生需求并成为观看者的速度。

$$(2) \quad \frac{dC(t)}{dt} = \beta V(t) - bC(t) - \frac{\delta C(t)R(t)}{1 + \alpha C(t)}。$$

$\frac{dC(t)}{dt}$  表示购买者数量关于时间  $t$  的变化速度, 它描述了购买者人数随时间的变化趋势。

$\beta V(t)$  表示直播吸引观看者转变为购买者的速度。  $bC(t)$  表示购买者因各种原因离开的速度。

$\frac{\delta C(t)R(t)}{1 + \alpha C(t)}$  表示购买者转变为退货者的概率, 该速度与购买者数量和退货率的乘积成正比, 同时还

受到购买者对退货的敏感度影响。在现实情况下, 商品可能会由于质量问题、尺寸不合适、颜色错误、破损等问题导致购买者转变为退货者。但是随着购买者数量的增加, 商家会不断提高商品质量, 完善产品售后, 导致购买者转变为退货者的速度逐渐减缓, 最终达到一个稳定的水平。这种情况下, 引入饱和和发生率可以更好地模拟用户行为的动态变化。了解购买者转化为退货者的饱和效应有助于更好地理解用户对产品的反应, 并采取措施改善产品质量, 提升用户满意度并不断增强品牌忠诚度。

$$(3) \quad \frac{dR(t)}{dt} = \frac{\delta C(t)R(t)}{1 + \alpha C(t)} - bR(t) - \eta R(t)。$$

$\frac{dR(t)}{dt}$  表示退货者数量关于时间  $t$  的变化速度, 它描述了退货者人数随时间的变化趋势。

$\frac{\delta C(t)R(t)}{1 + \alpha C(t)}$  表示购买者转变为退货者的速度, 该速度与购买者数量、退货者数量和退货率的乘积成

正比, 同时还受到购买者对产品退货的敏感度影响。

$bR(t)$  表示退货者因各种原因离开的速度。  $\eta R(t)$  表示退货者重新成为观看者的速度。

需要注意的是直播带货具有实时性, 我们只需讨论短时期内达到的利润最大值。

### 3. 模型分析

#### 3.1. 平衡点的存在性和稳定性

把  $V(t) = N - C(t) - R(t)$  代入方程(1)可得

$$\begin{cases} \frac{dC(t)}{dt} = \beta(N - C(t) - R(t)) - bC(t) - \frac{\delta C(t)R(t)}{1 + \alpha C(t)} \\ \frac{dR(t)}{dt} = \frac{\delta C(t)R(t)}{1 + \alpha C(t)} - bR(t) - \eta R(t) \end{cases} \quad (2)$$

其中  $(C, R) \in D = \{(C, R) | 0 \leq C \leq N, 0 \leq R \leq N, 0 \leq C + R \leq N\}$ 。

解

$$\begin{cases} \beta(N - C(t) - R(t)) - bC(t) - \frac{\delta C(t)R(t)}{1 + \alpha C(t)} = 0 \\ \frac{\delta C(t)R(t)}{1 + \alpha C(t)} - bR(t) - \eta R(t) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

得平衡点  $M_1(C_1^*, 0)$ ,  $M_2(C_2^*, R_2^*)$ ,

$$\text{其中 } C_1^* = \frac{\beta N}{\beta + b}, \quad C_2^* = \frac{b + \eta}{\delta - (b + \eta)\alpha}, \quad R_2^* = \frac{\beta \delta N - (b + \eta)(\beta \alpha N + b + \beta)}{(\beta + b + \eta)[\delta - (b + \eta)\alpha]}.$$

**情况 1:**

$\delta - (b + \eta)\alpha < 0$  或  $\delta - (b + \eta)\alpha > 0$  且  $\frac{\beta \delta N}{(b + \eta)(\beta \alpha N + b + \beta)} < 1$  时, 在区域  $D$  内仅有一个平衡点  $M_1(C_1^*, 0)$ 。

$$\text{系统在 } M_1(C_1^*, 0) \text{ 处的线性近似系统的系数矩阵为 } \begin{pmatrix} -\beta - b & -\beta - \frac{\delta C_1^*}{1 + \alpha C_1^*} \\ 0 & \frac{\delta C_1^*}{1 + \alpha C_1^*} - b - \eta \end{pmatrix}.$$

记

$$p = \beta + b - \frac{\delta C_1^*}{1 + \alpha C_1^*} + b + \eta = \beta + b - \frac{\delta \beta N}{\beta + b + \alpha \beta N} + b + \eta > 0,$$

$$q = \begin{vmatrix} -\beta - b & -\beta - \frac{\delta C_1^*}{1 + \alpha C_1^*} \\ 0 & \frac{\delta C_1^*}{1 + \alpha C_1^*} - b - \eta \end{vmatrix} = (\beta + b) \left( b + \eta - \frac{\delta \beta N}{\delta \beta N + \beta + b} \right) > 0.$$

特征方程  $\lambda^2 + p\lambda + q = 0$  的特征根  $\lambda_{1,2} = \frac{-p \pm \sqrt{p^2 - 4q}}{2}$  具有负实部, 所以  $M_1$  在区域内稳定。

**情况 2:**

$\delta - (b + \eta)\alpha > 0$  且  $\frac{\beta \delta N}{(b + \eta)(\beta \alpha N + b + \beta)} > 1$  时, 此时  $0 < C^* < N$ ,  $0 < R^* < N$ , 于是点  $M_1(C_1^*, 0)$ ,  $M_2(C_2^*, R_2^*)$  都是区域  $D$  内平衡点。

(i) 在奇点  $M_1$  处的线性近似系统系数矩阵特征根  $\lambda_{1,2} = \frac{-p_1 \pm \sqrt{p_1^2 - 4q_1}}{2}$ , 由于

$$q_1 = \begin{vmatrix} -\beta - b & -\beta - \frac{\delta C_1^*}{1 + \alpha C_1^*} \\ 0 & \frac{\delta C_1^*}{1 + \alpha C_1^*} - b - \eta \end{vmatrix} = (\beta + b) \left( b + \eta - \frac{\delta \beta N}{\delta \beta N + \beta + b} \right) < 0, \text{ 故两根为异号实根, 所以 } M_1 \text{ 为鞍点。}$$

(ii) 在奇点  $M_2$  处的线性近似系统系数矩阵为  $\begin{pmatrix} -\beta - b - \frac{\delta R_2^*(1 + \alpha C_2^*) - \alpha \delta C_2^* R_2^*}{(1 + \alpha C_2^*)^2} & -\beta - \frac{\delta C_2^*}{1 + \alpha C_2^*} \\ \frac{\delta R_2^*}{(1 + \alpha C_2^*)^2} & \frac{\delta C_2^*}{1 + \alpha C_2^*} - b - \eta \end{pmatrix}$ , 特

征方程为  $\lambda^2 + p_2\lambda + q_2 = 0$ ,

其中,

$$p_2 = \beta + b + \frac{\delta R_2^*(1 + \alpha C_2^*) - \alpha \delta C_2^* R_2^*}{(1 + \alpha C_2^*)^2} - \frac{\delta C_2^*}{1 + \alpha C_2^*} + b + \eta > 0,$$

$$q_2 = \left[ -\beta - b - \frac{\delta R_2^*}{(1 + \alpha C_2^*)^2} \right] \left[ \frac{\delta C_2^*}{1 + \alpha C_2^*} - b - \eta \right] - \left[ \frac{\delta R_2^*(1 + \alpha C_2^*) - \alpha \delta C_2^* R_2^*}{(1 + \alpha C_2^*)^2} \right] \left[ -\beta - \frac{\delta C_2^*}{1 + \alpha C_2^*} \right] > 0.$$

故特征根  $\lambda_{1,2} = \frac{-p_2 \pm \sqrt{p_2^2 - 4q_2}}{2}$  具有负实部, 所以平衡点  $M_2(C_2^*, R_2^*)$  稳定。

### 3.2. 极限环分析

根据文献[5]和[6]中关于极限环的不存在定理, 取 Dulac 函数  $B = \frac{1}{I}$ 。

令

$$\begin{cases} P(C, R) = \beta N - (b + \beta)C(t) - \beta R(t) - \frac{\delta C(t)R(t)}{1 + \alpha C(t)} \\ Q(C, R) = \left[ \frac{\delta C(t)}{1 + \alpha C(t)} - b - \eta \right] R(t) \end{cases},$$

则

$$\frac{\partial(BP)}{\partial C} + \frac{\partial(BQ)}{\partial R} = -\frac{b + \beta}{R} - \frac{1}{(1 + \alpha C)^2} < 0.$$

由平面定性理论可知, 系统无闭轨。

### 3.3. 结论

$$\text{令 } R_1 = \frac{\delta}{(b + \eta)\alpha}, \quad R_2 = \frac{\beta\delta N}{(b + \eta)(\beta\alpha N + b + \beta)},$$

当  $R_1 < 1$  或  $R_1 > 1$  且  $R_2 < 1$  时, 系统只有唯一的全局渐近稳定的平衡点  $M_1(C_1^*, 0)$ , 无论购买者  $C(t)$  有多少, 退货者  $R(t)$  都会逐渐消失。

当  $R_1 > 1$  且  $R_2 > 1$  时, 系统有两个平衡点  $M_1(C_1^*, 0)$ ,  $M_2(C_2^*, R_2^*)$ , 其中  $M_1(C_1^*, 0)$  为鞍点,  $M_2(C_2^*, R_2^*)$  是全局渐近稳定的, 意味着随着时间推移观看直播者  $V(t)$ 、购买者  $C(t)$ 、退货者  $R(t)$  将趋于稳定的数值。

## 4. 模型仿真

以下有米有数网站(<https://console.youshu.youcloud.com/>)给出的东方甄选自营店铺的直播数据为案例进行实例分析。该网站提供了 90 条数据(2023 年 10 月 10 日到 2024 年 1 月 7 日)。由于官方平台要求, 网站给出的销售数据为区间, 因此我们取区间平均值作为结果。图 1 为该网站给出的数据。

取  $V(0) = 300$ ,  $C(0) = 32$ ,  $R(0) = 3$  (单位为人)。  $b = 0.06$ ,  $\alpha = 0.02$ ,  $\beta = 0.03$ ,  $\gamma = 0.02$ ,  $\delta = 0.002$ ,  $\eta = 0.001$ 。

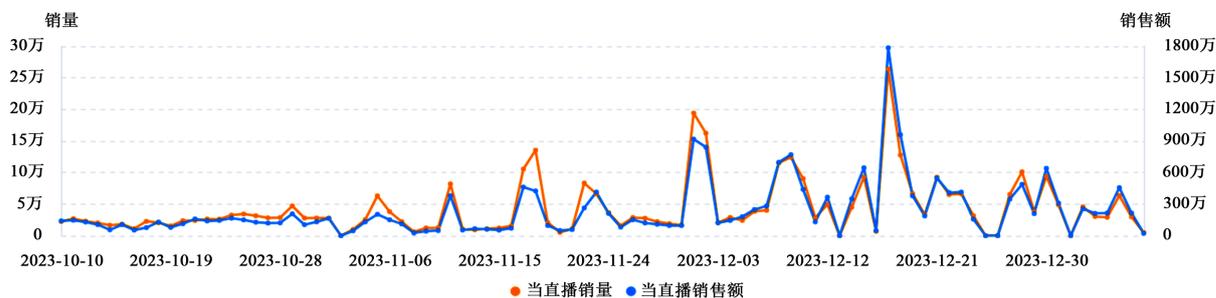


Figure 1. Eastern selection 90-day live data

图 1. 东方甄选 90 天直播数据

结果如图 2 所示。

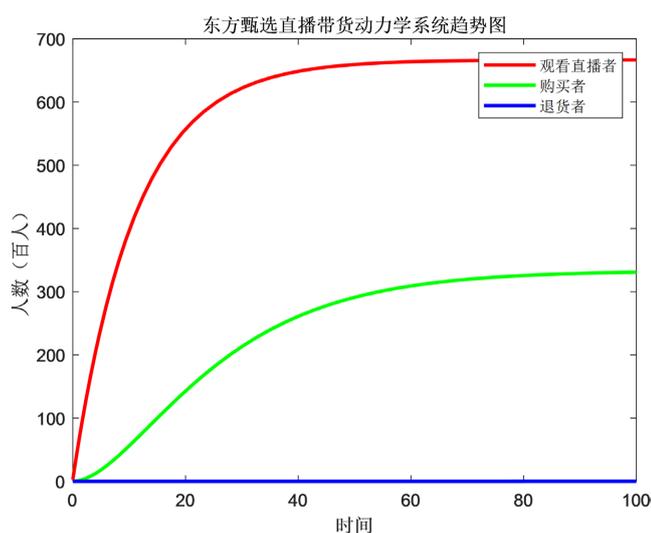


Figure 2. Eastern selection live streaming banding system trend chart

图 2. 东方甄选直播带货系统趋势图

东方甄选自营产品场平均销售量为 2.5 万~5 万，直播带货传播动力学模型生成的预测数据在一定时间内的平衡点为 3.30 万，预测数据与实际数据的误差均值为 12%。预测数据处在区间 2.5 万~5 万，较为精准地对直播带货消费者购买情况进行了预测。

## 5. 影响因素分析

任取参数和初始条件值  $(\alpha, b, \beta, \delta, \eta, N)$ 。

(1) 为研究  $\alpha$  对购买者的影响，保持其它参数不变，改变  $\alpha$  的值。例如取五组参数：

$(0.1, 0.1, 0.3, 0.2, 0.1, 1000)$ ,  $(0.3, 0.1, 0.3, 0.2, 0.1, 1000)$ ,  $(0.5, 0.1, 0.3, 0.2, 0.1, 1000)$ ,  $(0.7, 0.1, 0.3, 0.2, 0.1, 1000)$ ,  $(0.9, 0.1, 0.3, 0.2, 0.1, 1000)$ 。

利用 Matlab 绘制图像，结果如图 3 所示。

由图 3 可以发现不论参数值和初始值取何值，购买者人数最终趋于稳定的数值。并且由图像可知“保留系数” $\alpha$  越大购买者人数越多。

(2) 为研究  $\beta$  对购买者的影响，保持其它参数不变，改变  $\beta$  的值。例如取五组参数：

$(0.5, 0.1, 0.1, 0.5, 0.1, 1000)$ ,  $(0.5, 0.1, 0.3, 0.5, 0.1, 1000)$ ,  $(0.5, 0.1, 0.5, 0.5, 0.1, 1000)$ ,  $(0.5, 0.1, 0.7, 0.5, 0.1, 1000)$ ,  $(0.5, 0.1, 0.9, 0.5, 0.1, 1000)$ 。

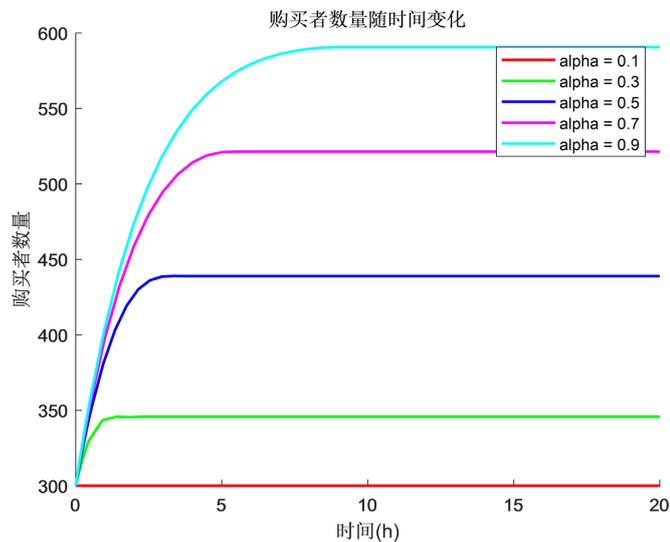


Figure 3. Buyer trend chart under the influence of “ $\alpha$ ”  
 图 3. 在 “ $\alpha$ ” 影响下的购买者趋势图

利用 Matlab 绘制图像，结果如图 4 所示。

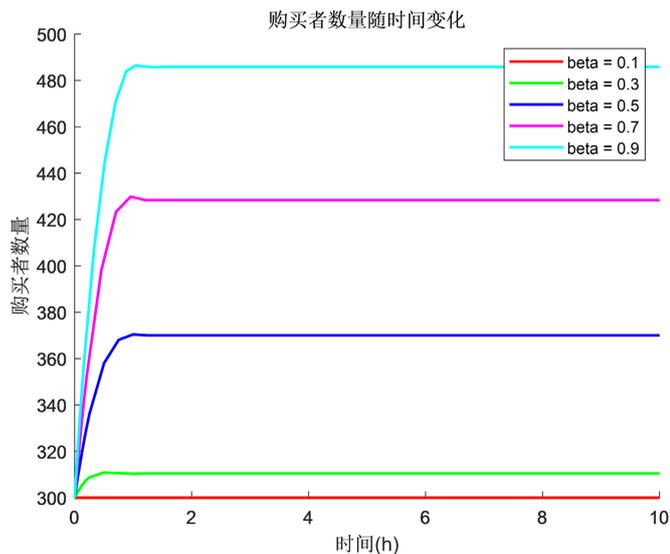


Figure 4. Buyer trend chart under the influence of “ $\beta$ ”  
 图 4. 在 “ $\beta$ ” 影响下的购买者趋势图

由图 4 可以发现不论参数值和初始值取何值，购买者人数最终趋于稳定的数值。并且由图像可知，观看直播者转变为购买者的速度  $\beta$  越大购买者人数越多。

(3) 为研究  $\delta$  对购买者的影响，保持其它参数不变，改变  $\delta$  的值。例如取五组参数：  
 (0.1, 0.3, 0.5, 0.1, 0.1, 1000), (0.1, 0.3, 0.5, 0.3, 0.1, 1000), (0.1, 0.3, 0.5, 0.5, 0.1, 1000), (0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.1, 1000), (0.1, 0.3, 0.5, 0.9, 0.1, 1000)。

利用 Matlab 绘制图像，结果如图 5 所示。

由图 5 可以发现不论参数值和初始值取何值，购买者人数最终趋于稳定的数值。并且由图像可知，购买者转变为退货者的比例系数  $\delta$  越大购买者人数越少。

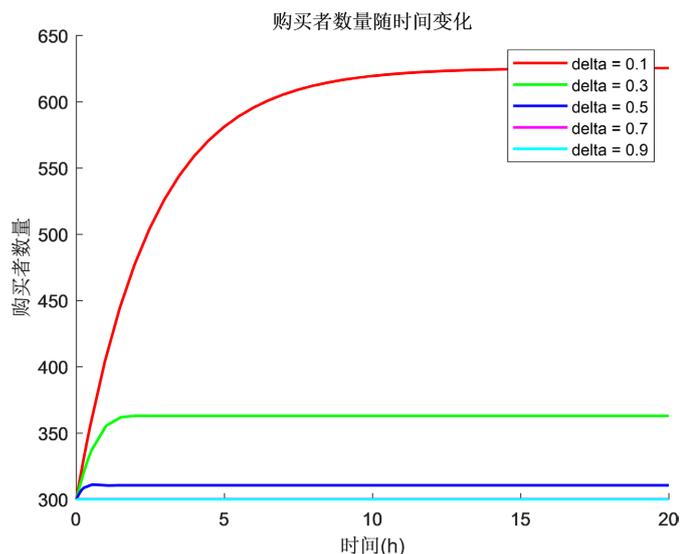


Figure 5. Buyer trend chart under the influence of "delta"  
图 5. 在 "delta" 影响下的购买者趋势图

(4) 为研究  $\eta$  对购买者的影响, 保持其它参数不变, 改变  $\eta$  的值。例如取五组参数: (0.5, 0.1, 0.5, 0.3, 0.1, 1000), (0.5, 0.1, 0.5, 0.3, 0.3, 1000), (0.5, 0.1, 0.5, 0.3, 0.5, 1000), (0.5, 0.1, 0.5, 0.3, 0.7, 1000), (0.5, 0.1, 0.5, 0.3, 0.9, 1000)。利用 Matlab 绘制图像, 结果如图 6 所示。

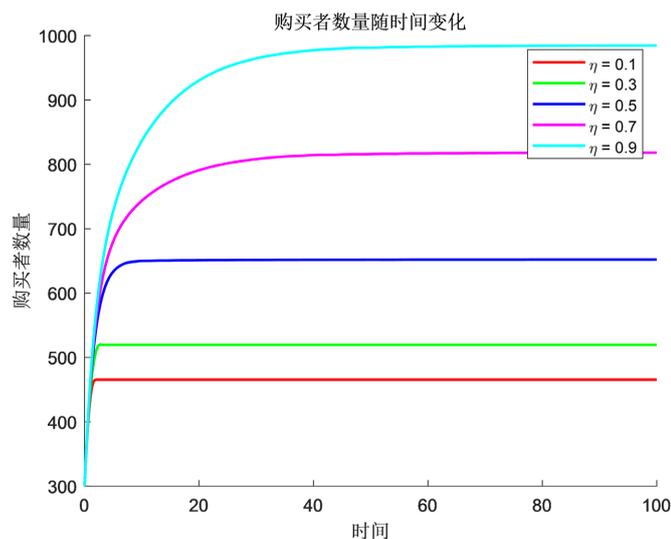


Figure 6. Buyer trend chart under the influence of "eta"  
图 6. 在 "eta" 影响下的购买者趋势图

由图 6 可以发现不论参数值和初始值取何值, 购买者人数最终趋于稳定的数值。并且由图像可知, 退货者转变为观看直播者的速度  $\eta$  越大购买者人数越多。

注: 经图像和分析发现购买者的商品“保留系数”  $\alpha$  越小, 观看直播者转变为购买者的速度  $\beta$  越小, 购买者转变为退货者的比例系数  $\delta$  越大, 都会使购买者数量趋于零。但是无论如何减小退货者转变为观看直播者的速度  $\eta$ , 购买者都无法趋于 0。可能原因如下:

由于假设总人口不变,意味着即使有退货者,他们最终会以某种方式重新成为潜在的购买者或观看者,而不是完全退出系统。并且,在模型中,参数 $\eta$ 与其他参数存在相互作用。如果 $\eta$ 的值较大,那么即使有退货发生,退货者也能较快地重新成为观看者,从而维持购买者数量的稳定。模型中引入了饱和发生率的概念,这可能意味着即使退货者转变为观看直播者的速度 $\eta$ 很小,但是随着购买者数量的增加,购买者转变为退货者的速度会减缓,最终达到一个平衡状态,这也有助于维持购买者数量的稳定。实际销售过程中,即使有退货发生,由于商家的营销策略、产品更新、消费者需求变化等因素,消费者总会有新的购买需求产生,这也有助于购买者数量不会趋于0。

## 6. 灵敏度分析

文章分别研究了 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ ,  $\eta$ 对购买者的数量影响,可以发现不同参数对结果影响程度不同,下面对参数进行灵敏度分析。

任取参数和初始条件值 $(\alpha, b, \beta, \delta, \eta, N)$ 。

(1) 为研究 $\alpha$ 对购买者数量变化的影响,保持其它参数不变,改变 $\alpha$ 的值,观察购买者数量变化。

例如取三组参数:

$(0.1, 0.1, 0.05, 0.03, 0.01, 1000)$ ,  $(0.2, 0.1, 0.05, 0.03, 0.01, 1000)$ ,  $(0.3, 0.1, 0.05, 0.03, 0.01, 1000)$ 。

运用参数灵敏度分析函数,利用 Matlab 对购买者数量进行计算得出:

当 $\alpha = 0.1$ 时,购买者数量 $C = 0.44$ ,

当 $\alpha = 0.2$ 时,购买者数量 $C = 0.45$ ,

当 $\alpha = 0.3$ 时,购买者数量 $C = 0.45$ 。

(2) 为研究 $\beta$ 对购买者数量变化的影响,保持其它参数不变,改变 $\beta$ 的值,观察购买者数量变化。

例如取三组参数:

$(0.2, 0.1, 0.1, 0.03, 0.01, 1000)$ ,  $(0.2, 0.1, 0.2, 0.03, 0.01, 1000)$ ,  $(0.2, 0.1, 0.3, 0.03, 0.01, 1000)$ 。

运用参数灵敏度分析函数,利用 Matlab 对购买者数量进行计算得出:

当 $\beta = 0.1$ 时,购买者数量 $C = 0.82$ ,

当 $\beta = 0.2$ 时,购买者数量 $C = 1.49$ ,

当 $\beta = 0.3$ 时,购买者数量 $C = 2.08$ 。

(3) 为研究 $\delta$ 对购买者数量变化的影响,保持其它参数不变,改变 $\delta$ 的值,观察购买者数量变化。

例如取三组参数:

$(0.2, 0.1, 0.05, 0.1, 0.01, 1000)$ ,  $(0.2, 0.1, 0.05, 0.2, 0.01, 1000)$ ,  $(0.2, 0.1, 0.05, 0.3, 0.01, 1000)$ 。

运用参数灵敏度分析函数,利用 Matlab 对购买者数量进行计算得出:

当 $\delta = 0.1$ 时,购买者数量 $C = 0.37$ ,

当 $\delta = 0.2$ 时,购买者数量 $C = 0.31$ ,

当 $\delta = 0.3$ 时,购买者数量 $C = 0.28$ 。

(4) 为研究 $\eta$ 对购买者数量变化的影响,保持其它参数不变,改变 $\eta$ 的值,观察购买者数量变化。例

如取三组参数:

$(0.2, 0.1, 0.05, 0.05, 0.001, 1000)$ ,  $(0.2, 0.1, 0.05, 0.05, 0.010, 1000)$ ,  $(0.2, 0.1, 0.05, 0.05, 0.020, 1000)$ 。

运用参数灵敏度分析函数,利用 Matlab 对购买者数量进行计算得出:

当 $\eta = 0.001$ 时,购买者数量 $C = 0.45$ ,

当 $\eta = 0.010$ 时,购买者数量 $C = 0.46$ ,

当 $\eta = 0.020$ 时,购买者数量 $C = 0.59 \times 10^{15}$ 。

根据 Matlab 仿真所得数据, 可以得出不同参数对购买者的数量影响程度如下:

$$\eta > \beta > \delta > \alpha。$$

## 7. 结论

本文针对直播带货问题, 构建了具有饱和和发生率的直播带货传播动力学模型, 利用传染病动力学模型的分析方法, 探讨了直播带货传播规律, 由此帮助商家监控信息传播过程, 优化市场营销策略, 降低营销成本。

新模型可通过 Matlab 进行仿真实验, 找到使系统达到稳定的最短时间, 从而更好地预测直播带货的传播过程, 帮助商家确定最佳的直播时长。由此模型可知提高购买者的商品“保留系数” $\alpha$ 、提高观看直播者转变为购买者的速度 $\beta$ 、减小购买者转变为退货者的比例系数 $\delta$ 、提高退货者转变为观看直播者的速度 $\eta$ 可有效增加购买者数量。

为增加购买者数量, 基于 SIRS 模型的直播带货传播动力学分析, 可以提出如下建议:

1) 政府方面: 为增大购买者购买商品的“保留系数” $\alpha$ , 减小购买者转变为退货者的比例系数 $\delta$ , 政府可以出台监管政策限制商品的过度折扣和促销, 通过法律手段增加退货的成本。例如征收退货税或者规定在一定条件下不允许无理由退货, 从而降低购买者的退货意愿, 并且通过消费者教育活动提高购买者的消费意识和理性消费能力。为提高观看直播者转变为购买者的速度 $\beta$ , 政府可以通过建立相关法规来确保直播销售的诚信和透明度, 通过税收政策或激励措施鼓励企业提供高质量的直播内容, 吸引更多购买者参与并完成购买行为。为提高退货者转变为观看直播者的速度 $\eta$ , 政府一方面可以通过制定相关政策和提供资源培训, 增强退货者的消费意识和理性消费能力, 使他们更倾向于通过观看直播等方式对产品进行了解。另一方面, 政府也可以支持直播平台和商家开展推广活动, 提高直播内容的曝光率, 吸引更多退货者参与观看直播。

2) 商家方面: 为增大购买者购买商品的“保留系数” $\alpha$ , 减小购买者转变为退货者的比例系数 $\delta$ , 商家可以提高产品的质量和可靠性。例如, 提供更长的试用期或者延长退货期限, 提供个性化定制服务以减少因尺寸、款式等问题导致的退货情况, 以及提供更完善的售后服务来解决购买者问题。为增大观看直播者转变为购买者的速度 $\beta$ , 商家可以通过吸引人的促销活动和折扣优惠来激发观众的购买欲望。同时, 在电商直播中重点展示产品的特点和优势, 增加消费者对产品的了解和兴趣。为增加退货者转变为观看直播者的速度 $\eta$ , 商家可以实行激励性的营销策略。例如, 在电商平台购买产品后, 转发链接超过一定数量可以领取优惠券, 或设置特别折扣和抽奖活动, 有效地吸引退货者成为观看直播者。同时, 为退货者提供个性化的服务和定制化的推荐, 在直播中展示产品的特点、使用方法以及其他用户的真实使用体验, 也可以提高观看者的信任度和对产品的兴趣。

3) 其他方面: 为增大购买者购买商品的“保留系数” $\alpha$ , 减小购买者转变为退货者的比例系数 $\delta$ , 社会各界可以通过媒体、社交平台等渠道引导消费者理性消费以减少不必要的退货行为。为增大观看直播者转变为购买者的速度 $\beta$ , 增大退货者转变为观看直播者的速度 $\eta$ , 社会各界可以通过媒体宣传和社交平台推广, 提高直播活动的知名度和参与度, 扩大潜在购买者的范围。另外, 提供安全便捷的支付方式以减少消费者在购买过程中的摩擦和犹豫, 建立直播内容评价和反馈机制, 及时调整和优化直播内容和购物体验等方式都有助于提高转化率。

在互联网背景下, 直播带货传播动力学模型不仅可以帮助商家提高销售额, 还可以在营销策略的设计、网络舆情的控制、商品口碑的建设等方面发挥作用。

## 基金项目

山东省自然科学基金(ZR2018MA016, ZR2015AL005)项目支持。

## 参考文献

- [1] 武慧慧. 基于抖音直播数据的电商主播带货能力影响因素研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南财经大学, 2023.
- [2] 王晨曦. 基于 SIRS 模型视角的病毒式营销传播的动态仿真研究[J]. 信息系统工程, 2022(11): 156-160.
- [3] 张薇, 马卫. 基于 SIR 模型的社交媒体病毒营销传播机理研究[J]. 江西社会科学, 2016, 36(1): 222-228.
- [4] 马知恩, 周义仓, 王稳地, 靳祯. 传染病动力学的数学建模与研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [5] 韩茂安. 常微分方程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011.
- [6] 东北师范大学微分方程教研室. 常微分方程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2015.