

媒体活动对戒毒影响的SIT模型的定性分析

温今卓, 王晓云*

太原理工大学数学学院, 山西 晋中

收稿日期: 2021年10月26日; 录用日期: 2021年11月16日; 发布日期: 2021年11月30日

摘要

本文构建了一个易感-吸毒-治疗的SIT模型, 用来研究媒体活动对隔离治疗的吸毒人群的戒毒影响。利用基本再生数 R_0 研究了模型的动力学行为。通过敏感性分析与数值模拟得出结论, 媒体活动不能改变系统平衡点的存在性与稳定性, 但增加媒体活动的数量并提高媒体活动宣传率可以减少吸毒人数。要想控制吸毒人数, 适当加强媒体报道的宣传是至关重要的。增加媒体活动还可增强隔离治疗的吸毒者成功戒毒后对毒品诱惑的抵制力, 本文第5部分综合考虑多个因素之后给出了一个抵制力参数的定义。

关键词

媒体活动, 戒毒模型, 稳定性, 敏感性, 抵制力参数

Qualitative Analysis of the SIT Model of Media Campaigns on Drug Rehabilitation

Jinzhao Wen, Xiaoyun Wang*

College of Mathematics, Taiyuan University of Technology, Jinzhong Shanxi

Received: Oct. 26th, 2021; accepted: Nov. 16th, 2021; published: Nov. 30th, 2021

Abstract

The Susceptible-Infected-Treated SIT model was constructed in this paper to study the effects of media campaigns on drug rehabilitation in isolation treatment drug users. The dynamical behavior of the model was studied by using the basic reproduction number R_0 . Through sensitivity analysis and numerical simulation, it is concluded that media campaigns cannot change the stabilities of the equilibria, but increasing the number of media activities and increasing the publicity rate can reduce the number of drug users. To control the number of drug users, media coverage is

*通讯作者。

crucial. Increasing media campaigns can also enhance the resistance to drug temptation after drug rehabilitation. Part 5 gives a definition of parameter of resistance after considering multiple factors comprehensively.

Keywords

Media Campaigns, Drug Rehabilitation Model, Stability, Sensitivity, Parameter of Resistance

Copyright © 2021 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. 介绍

毒品滥用是目前一个非常严重的问题,《2019 世界毒品报告》显示,全球每年约有 2.7 亿人吸毒,近 3500 万人成瘾,近 60 万人直接死于毒品滥用[1]。联合国毒品和犯罪问题办公室 6 月 25 日发布的《2020 年世界毒品报告》指出,全球目前有 3500 多万人吸毒成瘾[2]。

毒品滥用和传统的传染病有着许多类似的特征,已经有很多学者根据流行病学原理研究了毒品滥用流行病扩散的内在规律[3]-[8]。文献[9]研究了如下的一个“轻毒瘾”模型:

$$\begin{cases} S'(t) = b - \frac{\beta S(t)U_1(t)}{N(t)} - dS(t) + \varepsilon U_1(t) + \delta U_2(t), \\ U_1'(t) = \frac{\beta S(t)U_1(t)}{N(t)} - \gamma U_1(t) + \sigma U_2(t) - (d + \varepsilon)U_1(t), \\ U_2'(t) = \gamma U_1(t) - \sigma U_2(t) - (d + \delta)U_2(t). \end{cases} \quad (1.1)$$

将人群分为三类:易感者(S)、未接受治疗的轻度吸毒者(U_1)和接受治疗的轻度吸毒者(U_2)。一般人群中的个体以比率 b 进入易感人群,以自然死亡率 d 死亡,不考虑与毒品相关的死亡率。吸毒者感染以双线性律关联函数 βSI 发生,吸毒者接受治疗的概率为 γ , ε 为接受治疗的吸毒者的自发恢复率, δ 是隔离治疗吸毒者的恢复率, σ 为复吸率。通过基本再生数研究了该模型的动力学行为。

媒体通过多种形式向人们介绍毒品的危害等知识,从而减少吸毒人群,有效阻止进一步扩散。很多学者在模型中引入了媒体报道对毒瘾传播的影响[10] [11] [12] [13]。Anupama Sharma 和 A. K. Misra [14] 考虑了一个具有媒体活动的戒烟模型,模型描述如下:

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = \mu T - \beta \frac{SN}{T} - \mu N, \\ \frac{dS}{dt} = \beta \frac{SN}{T} - \gamma Sm + \rho \frac{SQ}{T} + \sigma Q - \mu S, \\ \frac{dQ}{dt} = \gamma Sm - \rho \frac{SQ}{T} - \sigma Q - \mu Q, \\ \frac{dm}{dt} = \phi \frac{S}{T} - \phi_0 (m - m_0). \end{cases} \quad (1.2)$$

模型中考虑了媒体宣传活动对戒烟的影响,一些吸烟者由于媒体宣传意识到吸烟的不良影响,停止吸烟并以 γSm 的比率进入戒烟者行列。最终得出结论,控制干预必须重视降低复发率并且在系统中保持一些

宣传意识的媒体活动。

目前已有大量学者研究了媒体活动对毒瘾传播的影响,但较少有媒体活动对戒毒影响进行相关研究。本文在文献[9]的基础上结合文献[14]构建了一个评估媒体活动对戒毒影响的 SIT 模型。论文的内容组织如下:在第 2 部分,构建了一个数学模型。在第 3 部分,我们得到了模型的平衡点,并讨论了平衡点的稳定性。第 4 部分给出了数值模拟结果。第 5 部分定义了一个成功戒毒后的吸毒者对毒品诱惑的抵制力参数。最后得出结论,为了让隔离治疗的吸毒者更好地戒毒,减少吸毒人数,增加适当的媒体活动很有必要。

2. 模型构建

基于文献[9]的模型,本文构建了一个 SIT (Susceptible-Infected-Treated)模型。考虑到实际生活中吸毒者很难不通过治疗就自行戒毒成功进入易感者行列,因此不研究 I 到 S 的项。媒体作为一种重要手段可以使人们更快更好地意识到毒品的危害而避免接触毒品,也可以使隔离治疗的吸毒者更快戒毒成功。为了评估媒体活动对戒毒的影响,构建了如图 1 所示的模型。

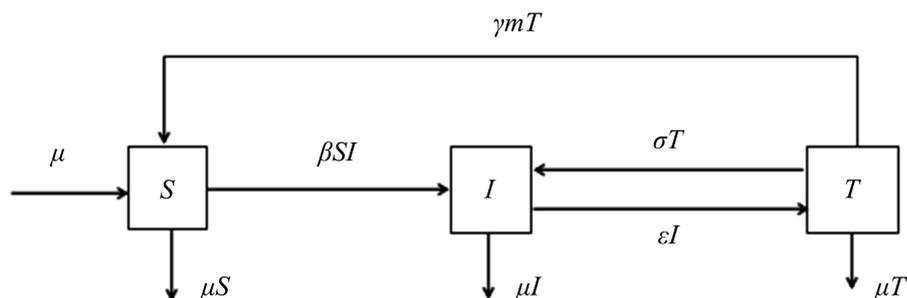


Figure 1. Transfer diagram of SIT model of media activities on drug rehabilitation
图 1. 媒体活动对戒毒影响的 SIT 模型反应框图

其中 S 、 I 、 T 为易感者、吸毒者、隔离治疗的吸毒者在总人口中所占的比例,有 $S+I+T=1$ 。在考虑的地区中,我们假设人口流入率与死亡率相同,即总人口数恒定。 β 是从易感者到吸毒者的接触传染率, ε 为接受治疗的吸毒者比例, σ 表示隔离治疗的吸毒者再次复吸成为未治疗吸毒者的比例。本文中隔离治疗的吸毒者成功戒毒是指这类人在接收到媒体活动后会因为对毒品有了更深刻的认识而在一段时间内不再吸毒,成为易感者群体。促进戒毒的媒体宣传活动的数量为 m (m 为正常数),宣传传播率为 γ ,则隔离治疗的戒毒者有 $\gamma m T$ 的人成功戒毒进入易感者人群。有以下的常微分方程

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = \mu - \beta SI - \mu S + \gamma m T, \\ \frac{dI}{dt} = \beta SI - \mu I - \varepsilon I + \sigma T, \\ \frac{dT}{dt} = \varepsilon I - \sigma T - \mu T - \gamma m T. \end{cases} \quad (2.1)$$

初始条件

$$S(0) = S_0 > 0, I(0) = I_0 > 0, T(0) = T_0 > 0.$$

考虑到生物学背景,我们考虑系统(2.1)在可行域 $\Omega = \{(S, I, T) | (S, I, T) \in \mathbb{R}_+^3\}$ 上的动力学行为,该集合

是正不变的和吸引的。

3. 平衡点及稳定性

为了探究吸毒者能否消除、毒品传播是否会蔓延持续下去, 本节研究模型平衡点的动力学特性。先给出本文中两个平衡点的定义。

定义 1 (无毒品滥用平衡点 E_0) 令系统(2.1)的每个式子都等于 0 且 $I=0$, 可得系统(2.1)的一个平衡点为(1,0,0)。本文称之为无毒品滥用平衡点(E_0), 其中 $E_0=(1,0,0)$ 。

定义 2 (毒品传播平衡点 E^*) 令系统(2.1)的每个式子都等于 0, 计算可得系统的一个正平衡点, 本文称之为毒品传播平衡点(E^*), $E^*=(S^*, I^*, T^*)$ 。

3.1. 基本再生数

$$\text{令 } E=(I, T, S), \text{ 则 } \frac{dE}{dt} = \mathbb{F} - \mathbb{V},$$

其中

$$\mathbb{F} = \begin{pmatrix} \beta SI \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbb{V} = \begin{pmatrix} \mu I - \sigma T + \varepsilon I \\ \sigma T + \mu T + \gamma m T - \varepsilon I \\ \beta SI + \mu S - \mu - \gamma m T \end{pmatrix}.$$

则在 $E=(I, T, S)$ 对应的无毒品滥用平衡点(0,0,1)处对应的线性化矩阵为

$$F = \begin{pmatrix} \beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad V = \begin{pmatrix} \mu + \varepsilon & -\sigma & 0 \\ -\varepsilon & \sigma + \mu + \gamma m & 0 \\ \beta & -\gamma m & \mu \end{pmatrix}.$$

通过计算得

$$FV^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{\beta(\sigma + \mu + \gamma m)}{\varepsilon(\mu + \gamma m) + \mu(\sigma + \mu + \gamma m)} & \frac{\beta\sigma}{\varepsilon(\mu + \gamma m) + \mu(\sigma + \mu + \gamma m)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

则基本再生数

$$R_0 = \rho(FV^{-1}) = \frac{\beta(\sigma + \mu + \gamma m)}{\varepsilon(\mu + \gamma m) + \mu(\sigma + \mu + \gamma m)}.$$

3.2. 无毒品滥用平衡点 E_0 的稳定性

定理 1 当 $R_0 < 1$ 时, 系统(2.1)的无毒品滥用平衡点 E_0 局部渐近稳定。

证明 系统在无毒品滥用平衡点 E_0 处的 Jacobian 矩阵

$$J_{E_0} = \begin{pmatrix} -\mu & -\beta & \gamma m \\ 0 & \beta - \mu - \varepsilon & \sigma \\ 0 & \varepsilon & -\sigma - \mu - \gamma m \end{pmatrix}$$

很明显 J_{E_0} 的一个特征值是 $-\mu$, 另外两个特征值由以下方程的根给出

$$\lambda^2 + (\sigma + \mu + \gamma m + \mu + \varepsilon - \beta)\lambda + (\sigma + \mu + \gamma m)(\mu + \varepsilon - \beta) - \varepsilon\sigma = 0,$$

由于 $R_0 < 1$, 可以得到 $\beta(\sigma + \mu + \gamma m) < \varepsilon(\mu + \gamma m) + \mu(\sigma + \mu + \gamma m)$, $\beta - \mu < \varepsilon$ 。

在上述条件下, 可以推出

$$\lambda_2 \lambda_3 = (\sigma + \mu + \gamma m)(\mu + \varepsilon - \beta) - \varepsilon\sigma = (\mu - \beta)(\sigma + \mu + \gamma m) + \varepsilon(\mu + \gamma m) > 0,$$

$$\lambda_2 + \lambda_3 = -[(\sigma + \mu + \gamma m) + (\mu + \varepsilon - \beta)] < 0,$$

可得 $\lambda_2 < 0$, $\lambda_3 < 0$ 。

因此 $R_0 < 1$ 时, 系统(2.1)的无毒品滥用平衡点 E_0 是局部渐近稳定的。

3.3. 毒品传播平衡点 E^* 的存在性及稳定性

定理 2 当 $R_0 > 1$ 时, 系统(2.1)的毒品传播平衡点 E^* 存在。

证明 令系统(2.1)的右边等于零, 即

$$\begin{cases} \mu - \beta SI - \mu S + \gamma m T = 0, \\ \beta SI - \mu I - \varepsilon I + \sigma T = 0, \\ \varepsilon I - \sigma T - \mu T - \gamma m T = 0. \end{cases}$$

计算可得

$$S^* = \frac{\varepsilon(\mu + \gamma m) + \mu(\sigma + \mu + \gamma m)}{\beta(\sigma + \mu + \gamma m)},$$

$$I^* = \frac{(\beta - \mu)(\sigma + \mu + \gamma m) - \varepsilon(\mu + \gamma m)}{\beta(\varepsilon + \sigma + \mu + \gamma m)},$$

$$T^* = \frac{\varepsilon[(\beta - \mu)(\sigma + \mu + \gamma m) - \varepsilon(\mu + \gamma m)]}{\beta(\sigma + \mu + \gamma m)(\varepsilon + \sigma + \mu + \gamma m)}.$$

显然 $S^* > 0$, 当 $R_0 > 1$ 时 $(\beta - \mu)(\sigma + \mu + \gamma m) - \varepsilon(\mu + \gamma m) > 0$, 则 $I^* > 0$, $T^* > 0$ 。

因此 $R_0 > 1$ 时, 系统(2.1)存在毒品传播平衡点 E^* 。

定理 3 当 $\beta - \mu > 4\sigma > 2\varepsilon$ 时, 系统(2.1)的毒品传播平衡点 E^* 局部渐近稳定。

证明 E^* 处的 Jacobian 矩阵

$$J_{E^*} = \begin{pmatrix} -\beta I^* - \mu & -\beta S^* & \gamma m \\ \beta I^* & \beta S^* - \mu - \varepsilon & \sigma \\ 0 & \varepsilon & -\sigma - \mu - \gamma m \end{pmatrix}$$

J_{E^*} 的特征多项式由下式给出:

$$\lambda^3 + A\lambda^2 + B\lambda + C = 0,$$

其中

$$A = \beta I^* + \sigma + \gamma m + 3\mu + \varepsilon - \beta S^*,$$

$$B = (\sigma + \mu + \gamma m)(\beta I^* + 2\mu - \beta S^*) + (\beta I^* + \mu)(\mu + \varepsilon - \beta S^*) + \varepsilon(\mu + \gamma m) + \beta I^* \beta S^*,$$

$$\begin{aligned}
 C &= \mu(\beta I^* + \mu - \beta S^*)(\sigma + \mu + \gamma m) + \varepsilon \mu(\beta I^* + \mu + \gamma m), \\
 AB - C &= (\beta I^* + \sigma + \gamma m + 2\mu + \varepsilon - \beta S^*)(\sigma + \mu + \gamma m)(\beta I^* + \mu - \beta S^*) \\
 &\quad + (\beta I^* + \sigma + \gamma m + 3\mu + \varepsilon - \beta S^*)(\beta I^* + \mu)(\mu + \varepsilon - \beta S^*) \\
 &\quad + \varepsilon(\beta I^* + \sigma + \gamma m + 2\mu + \varepsilon - \beta S^*)(\mu + \gamma m) \\
 &\quad + \beta I^* [(\beta I^* + \sigma + \gamma m + 3\mu + \varepsilon - \beta S^*)\beta S^* - \varepsilon \mu] \\
 &\quad + \mu(\beta I^* + \sigma + \gamma m + 3\mu + \varepsilon - \beta S^*)(\sigma + \mu + \gamma m).
 \end{aligned}$$

下面证明 A 、 B 、 C 都为正, 且 $AB - C > 0$ 。

通过计算知 $\mu + \varepsilon - \beta S^* > 0$, 则 A 为正。由条件 $\beta - \mu > 4\sigma > 2\varepsilon$ 计算可得 $\beta I^* + \mu - \beta S^* > 0$ 成立, 又计算知 $(\beta I^* + \sigma + \gamma m + 3\mu + \varepsilon - \beta S^*)\beta S^* - \varepsilon \mu > 0$, 因此 $B > 0$, $C > 0$, $AB - C > 0$ 。

利用 Routh-Hurwitz 判据[15]知, J_{E^*} 的所有特征值要么为负的, 要么是负实部。因此, 当 $\beta - \mu > 4\sigma > 2\varepsilon$ 时, 系统(2.1)的毒品传播平衡点 E^* 是局部渐近稳定的。

定理 4 当 $\frac{5}{2}\varepsilon > \beta - \mu > 4\sigma > 2\varepsilon$ 时, 系统(2.1)的毒品传播平衡点 E^* 全局渐近稳定。

证明 由于 $S + I + T = 1$, 可将系统(2.1)化为如下二维系统

$$\begin{cases} \frac{dI}{dt} = \beta(1 - I - T)I - \mu I + \sigma T - \varepsilon I = \beta I(1 - I) - (\mu + \varepsilon)I + (\sigma - \beta I)T, \\ \frac{dT}{dt} = \varepsilon I - \sigma T - \mu T - \gamma m T = \varepsilon I - (\sigma + \mu + \gamma m)T. \end{cases}$$

毒品传播平衡点 E^* 满足上述系统, 即

$$\begin{cases} \beta I^*(1 - I^*) = (\mu + \varepsilon)I^* - (\sigma - \beta I^*)T^*, \\ \varepsilon I^* = (\sigma + \mu + \gamma m)T^*. \end{cases}$$

考虑一个正定函数

$$V = \frac{1}{2}(I - I^*)^2 + \frac{1}{2}(T - T^*)^2,$$

$$\begin{aligned}
 \frac{dV}{dt} &= (I - I^*)\frac{dI}{dt} + (T - T^*)\frac{dT}{dt} \\
 &= (I - I^*)[\beta(1 - I - T)I - (\mu + \varepsilon)I + \sigma T] + (T - T^*)[\varepsilon I - (\sigma + \mu + \gamma m)T] \\
 &= (I - I^*)[\beta I(1 - I) - \beta I^*(1 - I^*) - \beta(I - I^*)(T - T^*) - (\mu + \varepsilon)(I - I^*) + \sigma(T - T^*)] \\
 &\quad + (T - T^*)[\varepsilon(I - I^*) - (\sigma + \mu + \gamma m)(T - T^*)] \\
 &= \beta[1 - (I + I^*)] - [\beta T + (\mu + \varepsilon)](I - I^*)^2 + (\sigma - \beta I^* + \varepsilon)(I - I^*)(T - T^*) - (\sigma + \mu + \gamma m)(T - T^*)^2 \\
 &< [\beta(1 - I^*) - (\mu + \varepsilon)](I - I^*)^2 + (\sigma - \beta I^* + \varepsilon)(I - I^*)(T - T^*) - (\sigma + \mu + \gamma m)(T - T^*)^2
 \end{aligned}$$

计算知, 当 $\frac{5}{2}\varepsilon > \beta - \mu > 4\sigma > 2\varepsilon$ 时, 有 $\sigma - \beta I^* + \varepsilon > 0$, $\beta(1 - I^*) - (\mu + \varepsilon) < 0$ 。即

$$\frac{5}{2}\varepsilon > \beta - \mu > 4\sigma > 2\varepsilon \text{ 时, } \frac{dV}{dt} \leq 0. \quad \frac{dV}{dt} = 0 \text{ 当且仅当 } I = I^*, T = T^*.$$

因此当 $R_0 > 1$ 且满足 $\frac{5}{2}\varepsilon > \beta - \mu > 4\sigma > 2\varepsilon$ 时, 系统(2.1)的毒品传播平衡点 E^* 全局渐近稳定。

4. 灵敏度分析和数值模拟

在本节中, 为了清楚地了解与隔离治疗的吸毒者相关的各参数对 R_0 值的影响, 我们计算了参数 σ 、 ε 、 μ 、 γ 及 m 对 R_0 值的敏感性。求归一化灵敏度指数 S_x , $S_x = \frac{\partial R_0 / R_0}{\partial x / x}$ 。

计算结果如下:

$$S_\sigma = \frac{\sigma\varepsilon(\mu + \gamma m)}{(\sigma + \mu + \gamma m)[\varepsilon(\mu + \gamma m) + \mu(\sigma + \mu + \gamma m)]} > 0,$$

$$S_\varepsilon = \frac{-\varepsilon(\mu + \gamma m)}{\varepsilon(\mu + \gamma m) + \mu(\sigma + \mu + \gamma m)} < 0,$$

$$S_\mu = \frac{-\mu[(\mu + \gamma m)(\sigma + \mu) + \sigma(\varepsilon + \sigma + \mu)]}{(\sigma + \mu + \gamma m)[\varepsilon(\mu + \gamma m) + \mu(\sigma + \mu + \gamma m)]} < 0,$$

$$S_\gamma = S_m = \frac{-m\gamma\beta\varepsilon\sigma}{\beta(\sigma + \mu + \gamma m)[\varepsilon(\mu + \gamma m) + \mu(\sigma + \mu + \gamma m)]} < 0.$$

图 2(a)描述的是 R_0 的值随复吸率(σ)变化的趋势。固定参数值 $\beta = 0.48$, $\mu = 0.1$, $\varepsilon = 0.16$, $\gamma = 0.05$, $m = 4$, 让 σ 从 0 到 1 变化。从图中我们可以看到随着复吸率(σ)值的增加, R_0 增加。这表明复吸率 σ 变大时, 毒品传播阈值 R_0 的值会变大, 即吸毒者的数量会增加。控制策略必须注意降低复吸率。

图 2(b)描述的是 R_0 的值随接受治疗的吸毒者比例(ε)变化的趋势。固定参数值 $\beta = 0.48$, $\mu = 0.1$, $\sigma = 0.09$, $\gamma = 0.05$, $m = 4$, 让 ε 从 0 到 1 变化。随着进入治疗的吸毒者比例(ε)值的增加, R_0 减小, 最终小于 1。表明进入治疗的吸毒者比例越大, 吸毒人数越少。

图 2(c)描述的是 R_0 的值随隔离治疗吸毒者的自然死亡率(μ)的值变化的趋势。固定参数值 $\beta = 0.48$, $\sigma = 0.09$, $\varepsilon = 0.16$, $\gamma = 0.05$, $m = 4$, 让 μ 从 0 到 1 变化。随着隔离治疗吸毒者的死亡率(μ)值的增加, R_0 减小, 最终小于 1。但是, 通过增加死亡率 μ 的值来降低 R_0 是不可行的。

图 2(d)描述的是 R_0 的值随媒体活动宣传率(γ)的值变化的趋势。固定参数值 $\beta = 0.48$, $\mu = 0.1$, $\sigma = 0.09$, $\varepsilon = 0.16$, $m = 4$, 让 γ 从 0 到 1 变化。随着媒体活动宣传率(γ)值的增加, R_0 减小, 但即使媒体活动宣传率(γ)的值增加再多, R_0 的值也不会低于 1。即媒体活动的宣传率增加, 不能改变系统(2.1)平衡点的稳定性, 但可减少吸毒人数。

图 2(e)描述的是 R_0 的值随媒体活动的数量(m)变化的趋势。固定参数值 $\beta = 0.48$, $\mu = 0.1$, $\sigma = 0.09$, $\varepsilon = 0.16$, $\gamma = 0.05$, 让 m 从 0 到 100 变化。随着媒体活动的数量(m)的增加, R_0 减小, 但不会小于 1。即参数 m 的值不能改变系统平衡点的存在性与稳定性, 但可以降低 R_0 的值来控制吸毒, 可以影响吸毒者的数量。

综上, 让更多的吸毒者接受治疗, 即增大接受治疗的吸毒者比例(ε), 可有效减少吸毒者的数量。增加复吸率 σ 会导致 R_0 的值变大, 因此可通过降低复吸率 σ 控制吸毒者的数量。参数 m 和 γ 增加可以降低 R_0 的值来控制吸毒, 但不能使 R_0 的值小于 1, 这表明隔离治疗的吸毒者接收到的媒体活动增多时, 吸毒者的数量会有所下降, 但吸毒者人数不会随着媒体活动的增多一直下降, 即不需过多的媒体活动, 增加一定数量的媒体活动就能达到减少吸毒人数的作用。因此, 增加适当的媒体活动非常重要。

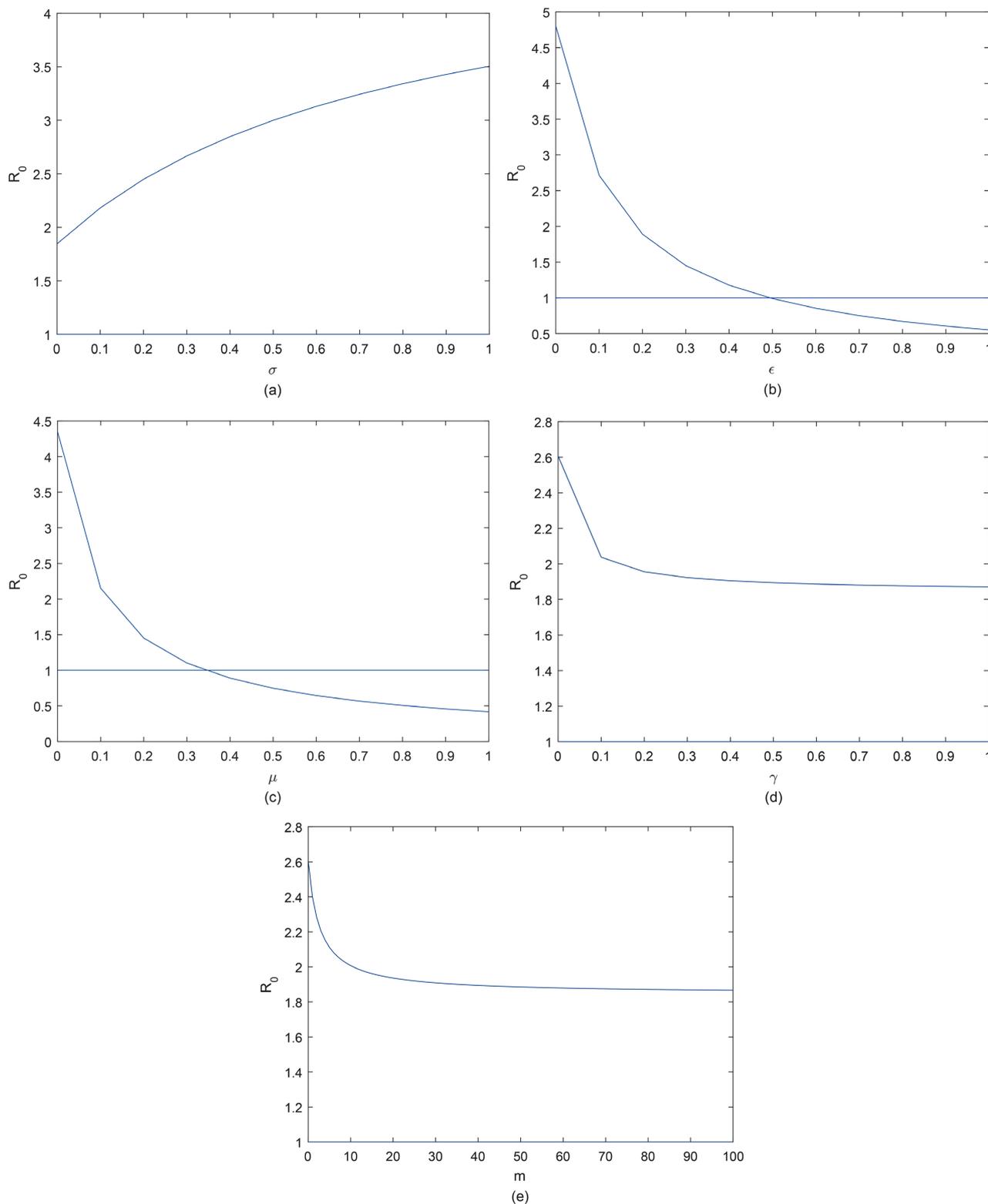


Figure 2. The value of R_0 from the change of each parameter value: (a) recovery rate σ , (b) rate of drug users entering the treatment ϵ , (c) death rate μ , (d) the publicity rate of media activities γ , (e) the number of media activities m

图 2. R_0 的值随各参数值变化的趋势: (a) 复吸率 σ , (b) 进入治疗的吸毒者比例 ϵ , (c) 死亡率 μ , (d) 媒体活动宣传率 γ , (e) 媒体活动的数量 m

5. 抵制力参数

考虑到隔离治疗的吸毒者接收到媒体活动后成功戒毒, 会增强对毒品的诱惑抵制力, 不再复吸或者是再次吸毒的时间延长(比如由原来的戒毒成功后两年复吸变为戒毒后五年再次复吸), 这也就表明媒体活动会增强抵制力。

β 是从易感者到吸毒者的接触传染率, β 的值变化, 会影响吸毒人数。同时由本文第 4 部分数值模拟结果可知, 参数 m 、 γ 、 ε 和 σ 都可影响吸毒人数。增大 m (媒体活动的数量)、 γ (媒体活动宣传率) 以及 ε (接受治疗的吸毒者的比例) 的值, 或者是减小 β (从易感者到吸毒者的接触传染率) 和 σ (复吸率) 的值都可以减少吸毒人数, 使吸毒者的总规模能够有所下降。这些在某种意义上可以增加成功戒毒后的吸毒者对毒品诱惑的抵制力。

本文综合考虑以上参数对抵制力的影响, 定义了一个参数——抵制力参数。

定义 3 (抵制力参数) 媒体活动的数量 m 、媒体活动宣传率 γ 以及接受治疗的吸毒者的比例 ε 与抵制力成正比, 从易感者到吸毒者的接触传染率 β 和复吸率 σ 与抵制力成反比。因此将 $\frac{\gamma m \varepsilon}{\beta \sigma}$ 定义为隔离治疗的吸毒者成功戒毒后对毒品诱惑的抵制力参数 Resistance, 简记为 Resis。即

$$\text{Resis} = \frac{\gamma m \varepsilon}{\beta \sigma}$$

通过以上定义可以直观的看出参数 γ 、 m 、 ε 与抵制力参数呈正相关趋势, 参数 β 、 σ 与抵制力参数呈负相关趋势。可通过这些参数值的变化使抵制力参数增大, 抵制力参数越大, 复吸率会越低, 会有效控制吸毒人数, 因此如果想要减少吸毒人数, 注重增强抵制力是一种有效的措施。

6. 结束语

在这篇论文中, 我们主要是分析媒体活动对隔离治疗的吸毒者的影响。建立了一个 SIT 模型来对媒体活动对隔离治疗的吸毒者的戒毒效果进行研究。数值模拟结果显示, 为了控制吸毒者的数量, 有效的策略是让更多的吸毒者接受治疗、适当增加媒体活动的数量并提高宣传率、重视降低复吸率。本文最终结论, 媒体活动对平衡点的存在性和稳定性没有影响, 即媒体报道不能影响毒瘾阈值, 但随着媒体报道数量和宣传力度的适当增加, 吸毒者人数会减少。

增加媒体活动可以增强抵制力, 降低复吸率。本文第 5 部分给出了抵制力参数的定义, 这也为今后的研究提供了思路, 可通过此参数进行一系列研究, 如抵制力参数是否会影响吸毒人数的总规模? 抵制力参数是如何影响吸毒人数的? 抵制力参数中的各参数如何作用时会使抵制力达到最优? 这些问题今后都可探究。

参考文献

- [1] 公安部. 2019 年中国毒品形势报告[EB/OL]. <http://www.cyberpolice.cn/wfjb/html/zcjd/20200804/4739.shtml>, 2020-08-04.
- [2] 禁毒在线. 2020 年世界毒品报告[EB/OL]. http://www.jindu626.com/news_hot/9689.html, 2020-06-27.
- [3] Liu, S.T., Zhang, L. and Xing, Y.F. (2018) Dynamics of a Stochastic Heroin Epidemic Model. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, **351**, 260-269. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2018.11.005>
- [4] Yan, D.X. and Fu, X.L. (2018) Analysis of an Age-Structured HIV Infection Model with Logistic Target-Cell Growth and Antiretroviral Therapy. *IMA Journal of Applied Mathematics*, **83**, 1037-1065. <https://doi.org/10.1093/imamat/hxy034>
- [5] 王诗雪, 刘俊利. 一类随机海洛因毒品传播模型的全局分析[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2018, 19(5): 575-581.

-
- [6] 李玉基, 徐瑞. 一类具有分布时滞和饱和发生率的海洛因传染病模型的全局动力学性态[J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2017, 34(5): 524-530.
- [7] Fang, B., Li, X.Z., Martcheva, M., *et al.* (2015) Global Stability for a Heroin Model with Age-Dependent Susceptibility. *Journal of Systems Science and Complexity*, **28**, 1243-1257. <https://doi.org/10.1007/s11424-015-3243-9>
- [8] Fang, B., Li, X.Z., Martcheva, M., *et al.* (2015) Global Asymptotic Properties of a Heroin Epidemic Model with Treat Age. *Applied Mathematics and Computation*, **263**, 315-331. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2015.04.055>
- [9] Muroya, Y., Li, H.X. and Kuniya, T. (2014) Complete Global Analysis of an SIRS Epidemic Model with Graded Cure and Incomplete Recovery Rates. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, **410**, 719-732. <https://doi.org/10.1016/j.jmaa.2013.08.024>
- [10] Misra, A.K., Sharma, A. and Shukla, J.B. (2011) Modeling and Analysis of Effects of Awareness Programs by Media on the Spread of Infectious Diseases. *Mathematical and Computer Modelling*, **53**, 1221-1228. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.12.005>
- [11] Ma, M.J., Liu, S.Y. and Li, J. (2017) Does Media Coverage Influence the Spread of Drug Addiction? *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, **50**, 169-179. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2017.03.002>
- [12] Cui, J.G., Sun, Y.H. and Zhu, H.P. (2008) The Impact of Media on the Control of Infectious Diseases. *Journal of Dynamics and Differential Equations*, **20**, 31-53. <https://doi.org/10.1007/s10884-007-9075-0>
- [13] Tchuenche, J.M., Dube, N., Bhunu, C.P., *et al.* (2011) The Impact of Media Coverage on the Transmission Dynamics of Human Influenza. *BMC Public Health*, **11**, S5. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-11-S1-S5>
- [14] Sharma, A. and Misra, A.K. (2015) Backward Bifurcation in a Smoking Cessation Model with Media Campaigns. *Applied Mathematical Modelling*, **39**, 1087-1098. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.07.022>
- [15] Mahardika, R., Widowati and Sumanto, Y.D. (2019) Routh-Hurwitz Criterion and Bifurcation Method for Stability Analysis of Tuberculosis Transmission Model. *Physics: Conference Series*, **217**, Article ID: 012056. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1217/1/012056>