

具有 VCT 意识及媒体报道影响的 HIV/AIDS 感染动力学模型

苑运强, 罗颜涛, 胡西尼格尔·吐尔地

(新疆大学 数学与系统科学学院, 乌鲁木齐 830017)

摘要: 构建一类具有 VCT(voluntary counseling and testing)意识及媒体报道影响的 HIV/AIDS 感染动力学模型. 首先得到模型解的适定性, 并给出模型的基本再生数. 其次, 借助 Hurwitz 判别法及 Lyapunov 函数分析模型的阈值动力学, 当 $R_0 < 1$ 时无病平衡点局部渐近稳定且当 $R_0 \leq 1$ 时全局渐近稳定; 当 $R_0 > 1$ 时, 地方病平衡点局部渐近稳定. 进一步, 结合持续生存理论给出疾病的一致持续性. 最后, 数值模拟表明随着 VCT 意识比例的提高, 艾滋病患者人数的峰值逐渐降低, 而随着信息失效率的增大, 艾滋病患者人数的峰值将有所提高.

关键词: HIV 动力学模型; VCT 意识; 媒体报道; 稳定性

中图分类号: O175.1

文献标志码: A

文章编号: 1000-2367(2025)01-0043-07

艾滋病是全球前十的致死疾病之一, 具有不可治愈性和极强的传染性, 严重威胁了社会发展和公共卫生安全. 关于我国艾滋病的传播与治疗现状可以参见文献[1].

VCT 即自愿咨询与检测, 是目前国际上针对艾滋病公认的预防和保护策略^[2]. 它能够使感染人群有意识地进行活动, 从而达到控制艾滋病传播的目的. 此外, 当前各类互联网 APP 也成为人们获取信息的重要工具, 它能够迅速传播关于艾滋病的信息并覆盖大部分公民, 深刻改变了人们对艾滋病的认识. 借助互联网开展防艾教育, 将进一步提醒人们增强防艾意识, 从而控制艾滋病传播^[3].

利用数学模型研究 HIV/AIDS 的传播动力学、预测疾病传播趋势是一种常用的重要手段^[4-7]. 例如, 张婷等^[5]考虑了一类具有 VCT 意识的 HIV/AIDS 传染病模型, 给出了 VCT 意识与疾病基本再生数之间存在强相关性. 纳仁花等^[6]研究了一类具有意识分类的 HIV/AIDS 动力学模型, 结果表明艾滋病传播的主要来源是“无意识”感染者, 即开展 HIV 感染人员的筛选和意识分类可有效控制艾滋病的传播. 刘岩柏等^[7]讨论了一类具有媒体报道的 HIV 感染模型, 研究表明强化媒体宣传可以降低 HIV 的感染人数. 有关研究还可以参考文献[8-9].

然而, 现有研究中同时考虑 VCT 意识以及媒体报道对艾滋病传播影响的工作比较少. 基于此, 本文将建立一类具有 VCT 意识及媒体报道影响的 HIV/AIDS 感染动力学模型, 其中感染者分为无 VCT 意识感染者和有 VCT 意识感染者, 进而分析艾滋病传播的长期动力学行为, 探讨 VCT 意识以及媒体报道对艾滋病传播的影响.

收稿日期: 2023-07-11; **修回日期:** 2023-08-07.

基金项目: 国家自然科学基金 (12201540); 新疆维吾尔自治区自然科学基金 (2022D01C64); 新疆高校科研项目 (XJEDU2021Y001).

作者简介: 苑运强 (1996—), 男, 河南周口人, 新疆大学硕士研究生, 研究方向为传染病动力学, E-mail: yyq070100@163.com.

通信作者: 罗颜涛 (1992—), 男, 河南漯河人, 新疆大学副教授, 研究方向为传染病动力学, 种群动力学, 生物数学建模, E-mail: luoyantaoxj@163.com.

引用本文: 苑运强, 罗颜涛, 胡西尼格尔·吐尔地. 具有 VCT 意识及媒体报道影响的 HIV/AIDS 感染动力学模型[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2025, 53(1): 43-49. (Yuan yunqiang, Luo Yantao, Husinagar Turdi. A dynamic model of HIV/AIDS infection with VCT awareness and media coverage[J]. Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition), 2025, 53(1): 43-49. DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2023.07.11.0001.)

1 模型建立

在本节中,将总人群(N)划分为 4 类:HIV 易感人群(S),无 VCT 意识感染者(I_1),有 VCT 意识感染者(I_2),艾滋病患者(A),同时, M 表示媒体报道信息变量.基于艾滋病在人群中的传播机制以及媒体报道对于控制艾滋病传播的作用,建立如下模型:

$$\begin{cases} \frac{dB}{dt} = \Lambda - \frac{\beta SI_1}{1+qM} - \mu S, \\ \frac{dI_1}{dt} = p \frac{\beta SI_1}{1+qM} - (\rho + \tau_1 + \mu)I_1, \\ \frac{dI_2}{dt} = (1-p) \frac{\beta SI_1}{1+qM} + \rho I_1 - (\tau_2 + \mu)I_2, \\ \frac{dA}{dt} = \tau_1 I_1 + \tau_2 I_2 - (\alpha + \mu)A, \\ \frac{dM}{dt} = a I_2 - \tau M, \end{cases} \quad (1)$$

其中, Λ 表示易感人群的补充率, β 表示 HIV 的传播率, q 表示信息覆盖率, μ 表示自然死亡率, p 表示易感者成为无 VCT 意识感染者的比例, $1-p$ 表示易感者成为有 VCT 意识感染者的比例, ρ 表示无 VCT 意识成为有 VCT 意识感染者的比例, τ_1 表示无 VCT 意识感染者成为 HIV 患者的比例, τ_2 表示有 VCT 意识感染者成为 HIV 患者的比例, α 表示因病死亡率, a 表示度量有 VCT 意识感染者数量变化对媒体信息影响的系数, τ 表示信息失效率.

根据 HUO 等^[10]的讨论,下面给出系统(1)解的正性与有界性.

引理 1 对任意给定的初值 $(S(0), I_1(0), I_2(0), A(0), M(0)) > 0$, 系统(1) 的任意解 $(S(t), I_1(t), I_2(t), A(t), M(t)) > 0, t \in [0, \infty)$.

引理 2 若系统(1)的初值满足 $(S(0), I_1(0), I_2(0), A(0), M(0)) > 0$, 则集合 $\Omega = \{(S(t), I_1(t), I_2(t), A(t), M(t)) \mid 0 \leq S(t) + I_1(t) + I_2(t) + A(t) \leq \frac{\Lambda}{\mu}, 0 \leq M(t) \leq \frac{\Lambda a}{\mu \tau}\}$ 是系统(1) 的正不变集.

2 无病平衡点的稳定性

显然,系统(1)存在无病平衡点 $E^0 = (S^0, I_1^0, I_2^0, A^0, M^0) = (\frac{\Lambda}{\mu}, 0, 0, 0, 0)$.由下一代矩阵方法^[11] 知系统

(1) 的基本再生数 $R_0 = \frac{p\beta\Lambda}{\mu(\rho + \tau_1 + \mu)}$.

定理 1 当 $R_0 < 1$ 时,系统(1)的无病平衡点 E^0 是局部渐近稳定的.

证明 由系统(1)知,在无病平衡点 E^0 处的特征方程是 $(\lambda + \mu)(\lambda + \tau)(\lambda + \alpha + \mu)(\lambda + \rho + \tau_1 + \mu - \frac{p\beta\Lambda}{\mu})(\lambda + \tau_2 + \mu) = 0$, 则上式存在 4 个特征值: $\lambda_1 = -\mu < 0, \lambda_2 = -\tau < 0, \lambda_3 = -\alpha - \mu < 0, \lambda_4 = -\tau_2 - \frac{p\beta\Lambda}{\mu} < 0$.当 $R_0 < 1$ 时, $\frac{p\beta\Lambda}{\mu} < \rho + \tau_1 + \mu$, 于是 $\lambda_5 = \frac{p\beta\Lambda}{\mu} - (\rho + \tau_1 + \mu) < 0$. 因此,由 Hurwitz 判据知无病平衡点 E^0 是局部渐近稳定的.

定理 2 当 $R_0 \leq 1$ 时,系统(1)的无病平衡点 E^0 是全局渐近稳定的.

证明 首先,建立函数 $L = (S - S^0 \ln \frac{S}{S^0}) + \frac{I_1}{p}$, 则 L 沿着系统(1) 的全导数为

$$\frac{dL}{dt} = (\Lambda - \mu S - \frac{S^0}{S} \Lambda + \mu S^0) + \frac{\Lambda \beta I_1}{\mu(1+qM)} - \frac{\rho + \tau_1 + \mu}{p} =$$

$$\Lambda \cdot (2 - \frac{S}{S^0} - \frac{S^0}{S}) + \frac{\rho + \tau_1 + \mu}{p} [\frac{R_0}{1 + qM} - 1] I_1,$$

因为 $\frac{S}{S^0} + \frac{S^0}{S} \geq 2$, 即 $2 - \frac{S}{S^0} - \frac{S^0}{S} \leq 0$. 从而当 $R_0 \leq 1$ 有 $\frac{dL}{dt} \leq 0$, 并且 $\frac{dL}{dt} = 0$ 当且仅当 $S = S^0, I_1 = I_2 =$

$A = M = 0$. 记 $M = \{(S, I_1, I_2, A, M) : \frac{dL}{dt} = 0\}$, 即系统(1) 在集合 M 中的最大不变集是单点集 $\{E^0\}$. 由

LaSalle's 不变集原理^[12] 知, 当 $R_0 \leq 1$ 时, 系统(1) 的无病平衡点 E^0 是全局渐近稳定的.

3 地方病平衡点的存在性与局部稳定性

记系统(1) 存在地方病平衡点 $E^* = (S^*, I_1^*, I_2^*, A^*, M^*)$, 经过简单计算有

$$S^* = \frac{\Lambda}{\frac{\beta I_1^*}{1 + qM^*} + \mu}, S^* = \frac{(\rho + \tau_1 + \mu)(1 + qM^*)}{p\beta}, M^* = \frac{a}{\tau} I_2^*,$$

$$(1 - p) \cdot \frac{\beta I_1^*}{1 + qM^*} \cdot \frac{(\rho + \tau_1 + \mu)(1 + qM^*)}{p\beta} + \rho I_1^* - (\tau_2 + \mu) I_2^* = 0.$$

$$\text{于是 } \frac{\beta I_1^*}{1 + qM^*} + \mu = \frac{\Lambda p \beta}{(\rho + \tau_1 + \mu)(1 + qM^*)}, \left[\frac{(1 - p)(\rho + \tau_1 + \mu)}{p} + \rho \right] I_1^* = (\tau_2 + \mu) I_2^*, I_1^* =$$

$$\frac{\Lambda p}{\rho + \tau_1 + \mu} - \frac{\mu}{\beta} (1 + qM^*) = \frac{\mu}{\beta} (R_0 - 1 - qM^*) = \frac{\mu}{\beta} (R_0 - 1) - \frac{a\mu q}{\tau \beta} I_2^*, \text{ 从而 } \frac{\mu}{\beta} (R_0 -$$

$$1) \left[\frac{(1 - p)(\rho + \tau_1 + \mu)}{p} + p \right] = [\tau_2 + \mu + \frac{a\mu q(1 - p)(\rho + \tau_1 + \mu)}{\tau \beta p} + \frac{a\mu q}{\tau \beta}] I_2^*.$$

即当 $R_0 > 1$ 时, $I_2^* > 0$ 存在且唯一, 则地方病平衡点表达式:

$$S^* = \frac{(\rho + \tau_1 + \mu)(1 + \frac{aq}{\tau} I_2^*)}{p\beta}, I_1^* = \frac{\tau_2 + \mu}{\frac{(1 - p)(\rho + \tau_1 + \mu)}{p} + \rho} I_2^*, M^* = \frac{a}{\tau} I_2^*,$$

$$I_2^* = \frac{\frac{\mu}{\beta} (R_0 - 1) \left[\frac{(1 - p)(\rho + \tau_1 + \mu)}{p} + \rho \right]}{\tau_2 + \mu + \frac{a\mu q(1 - p)(\rho + \tau_1 + \mu)}{\tau \beta p} + \frac{a\mu q \rho}{\tau \beta}}, A^* = \frac{\frac{\tau_1(\tau_2 + \mu)}{(1 - p)(\rho + \tau_1 + \mu)} + \tau_2}{\frac{p}{\alpha + \mu}} I_2^*,$$

故当 $R_0 > 1$ 时, 系统(1) 地方病平衡点 $E^* = (S^*, I_1^*, I_2^*, A^*, M^*) \in \mathbf{R}_+^5$ 存在且唯一.

定理 3 若 $R_0 > 1$, 则系统(1) 的地方病平衡点 E^* 是局部渐近稳定的.

证明 由系统(1) 知, 在 $E^* = (S^*, I_1^*, I_2^*, A^*, M^*)$ 处的雅可比矩阵

$$J_{E^*} = \begin{pmatrix} -\frac{\beta I_1^*}{1 + qM^*} - \mu & -\frac{\beta S^*}{1 + qM^*} & 0 & 0 & \frac{q\beta S^* I_1^*}{(1 + qM^*)^2} \\ \frac{p\beta I_1^*}{1 + qM^*} & \frac{p\beta S^*}{1 + qM^*} - (\rho + \tau_1 + \mu) & 0 & 0 & -\frac{pq\beta S^* I_1^*}{(1 + qM^*)^2} \\ \frac{(1 - p)\beta I_1^*}{1 + qM^*} & \frac{(1 - p)\beta S^*}{1 + qM^*} + \rho & -(\tau_1 + \mu) & 0 & \frac{(1 - p)q\beta S^* I_1^*}{(1 + qM^*)^2} \\ 0 & \tau_1 & \tau_2 & -(\alpha + \mu) & 0 \\ 0 & 0 & a & 0 & -\tau \end{pmatrix}.$$

令 D_k 为矩阵 $\mathbf{J}_{E^*}$ 的 k 阶顺序主子式, 则 $H_k = (-1)^k D_k, k=1, 2, 3, 4, 5$. 由 $\frac{p\beta S^*}{1+qM^*} = \rho + \tau_1 + \mu$ 知 $H_1 =$

$$\frac{\beta I_1^*}{1+qM^*} + \mu, H_2 = \frac{p\beta^2 S^* I_1^*}{(1+qM^*)^2}, H_3 = (\tau_2 + \mu)H_2, H_4 = (\alpha + \mu)H_3, H_5 = \tau H_4 + \frac{a\mu p q \beta S^* I_1^* (\alpha + \mu)}{(1+qM^*)^2} \left[\frac{(1-p)\beta S^*}{1+qM^*} + \rho \right], \text{ 则 } H_1 > 0, H_2 > 0, H_3 > 0, H_4 > 0, H_5 > 0, \text{ 于是矩阵 } \mathbf{J}_{E^*} \text{ 是负}$$

定矩阵, 即矩阵 $\mathbf{J}_{E^*}$ 的特征值均具有负实部, 由 Hurwitz 判据知当 $R_0 > 1$ 时地方病平衡点 E^* 是局部渐近稳定的.

4 一致持久性

定理 4 若 $R_0 > 1$, 则疾病是一致持久的, 即对系统(1)的任意初始值 $S(0) \geq 0, I_1(0) > 0, I_2(0) > 0, A(0) > 0, M(0) > 0$, 存在正常数 ϵ , 使得系统(1)的任意解 $(S(t), I_1(t), I_2(t), A(t), M(t))$ 满足

$$\liminf_{t \rightarrow \infty} I_1(t) \geq \epsilon, \liminf_{t \rightarrow \infty} I_2(t) \geq \epsilon, \liminf_{t \rightarrow \infty} A(t) \geq \epsilon.$$

证明 定义 $f: X \rightarrow X$ 是关于系统(1)的连续映射, 记

$$X := \{(S, I_1, I_2, A, M) \mid S \geq 0, I_1 \geq 0, I_2 \geq 0, A \geq 0, M \geq 0, 0 \leq N + M \leq \frac{\Lambda}{\mu}(1 + \frac{a}{\tau})\},$$

$$X_0 := \{(S, I_1, I_2, A, M) \mid I_1 > 0, I_2 > 0, A > 0, M > 0\}, \partial X_0 = X \setminus X_0.$$

显然, X, X_0 是正不变的, ∂X_0 在 X 上是相对闭的, 系统(1)是点耗散的. 定义

$$M_\partial = \{(S(0), I_1(0), I_2(0), A(0), M(0)) \mid (S(t), I_1(t), I_2(t), A(t), M(t)) \in \partial X_0, \forall t \geq 0\},$$

下证 $M_\partial = \{(S(0), 0, 0, 0, 0) \mid S(0) \geq 0\}$.

显然, $M_\partial = \{(S(0), 0, 0, 0, 0) \mid S(0) \geq 0\} \subseteq M_\partial$. 对 $\varphi_0 = (S(0), I_1(0), I_2(0), A(0), M(0)) \in M_\partial$, 只需证 $I_1(t) = 0, I_2(t) = 0, A(t) = 0, M(t) = 0, \forall t \geq 0$. 假设存在 $t_0 \geq 0$, 下列情形之一成立:

$$(i) I_1(t_0) > 0; (ii) I_2(t_0) > 0; (iii) A(t_0) > 0; (iv) M(t_0) > 0.$$

对 $\forall t \geq t_0$, 若(i)成立, 则由系统(1)知

$$\frac{dI_1}{dt} \geq -(\rho + \tau_1 + \mu)I_1, \frac{dI_2}{dt} \geq -(\tau_2 + \mu)I_2, \frac{dA}{dt} \geq -(\alpha + \mu)A, \frac{dM}{dt} \geq -\tau M,$$

即 $I_1(t) \geq I_1(t_0)e^{-(\rho + \tau_1 + \mu)(t - t_0)} > 0, I_2(t) \geq I_2(t_0)e^{-(\tau_2 + \mu)(t - t_0)} \geq 0, A(t) \geq A(t_0)e^{-(\alpha + \mu)(t - t_0)} \geq 0, M(t) \geq M(t_0)e^{-\tau(t - t_0)} \geq 0$, 则 $(S(t), I_1(t), I_2(t), A(t), M(t)) \notin \partial X_0$, 矛盾, 情形(i)不成立.

同理可证情形(ii)、(iii)、(iv)也不成立, 即 $M_\partial \subseteq \{(S(0), 0, 0, 0, 0) \mid S(0) \geq 0\}$, 则 $M_\partial = \{(S(0), 0, 0, 0, 0) \mid S(0) \geq 0\}$, 从而由定理 2 中 E^0 的全局渐近稳定性知在 M_∂ 内只有一个平衡点 E^0 .

接下来, 证明 E^0 是 X 中的单点集, 且 $W^S(E^0) \cap X_0 = \emptyset$, 这等价于存在一个正常数 δ , 使得对任意解 $\Phi_t(\varphi_0), \varphi_0 \in X_0$, 有 $\limsup_{t \rightarrow \infty} d(\Phi_t(\varphi_0), E^0) \geq \delta$, 其中 d 是 X_0 上的距离函数^[13].

假设上述叙述不成立, 则有 $\limsup_{t \rightarrow \infty} d(\Phi_t(\varphi_0), E^0) < \delta$, 即存在正常数 T , 使得对 $\forall t > T$ 和足够小的常数 ξ , 有

$$\frac{\Lambda}{\mu} - \xi < S(t) < \frac{\Lambda}{\mu} + \xi, 0 < I_1(t) < \xi, 0 < I_2(t) < \xi, 0 < A(t) < \xi, 0 < M(t) < \xi,$$

当 $t > T$, 有 $\frac{dI_1}{dt} > \frac{p\beta(\frac{\Lambda}{\mu} - \xi)}{1+qM}I_1 - (\rho + \tau_1 + \mu)I_1, \frac{dI_2}{dt} > \frac{(1-p)\beta(\frac{\Lambda}{\mu} - \xi)}{1+qM}I_1 + \rho I_1 - (\tau_2 + \mu)I_2, \frac{dA}{dt} = \tau_1 I_1 + \tau_2 I_2 - (\alpha + \mu)A.$

考虑辅助系统 $u' = \mathbf{M}(\xi)u$, 这里 $u = (u_1, u_2, u_3)^T$, 且

$$\mathbf{M}(\xi) = \begin{pmatrix} p\beta(\frac{\Lambda}{\mu} - \xi) & 0 & 0 \\ \frac{\mu}{1+qM} - (\rho + \tau_1 + \mu) & 0 & 0 \\ (1-p)\beta(\frac{\Lambda}{\mu} - \xi) & -(\tau_2 + \mu) & 0 \\ \frac{\mu}{1+qM} + \rho & \tau_1 & \tau_2 & -(\alpha + \mu) \end{pmatrix},$$

令 $s(\mathbf{M}) := \max\{\lambda \mid \lambda \text{ 是 } \mathbf{M} \text{ 的特征值}\}$. 若 $R_0 > 1$, 则 $\mu(\rho + \tau_1 + \mu) > p\beta\Lambda$, 于是 $s(\mathbf{M}(0)) > 0$. 因为 $s(\mathbf{M}(\xi))$ 关于 ξ 连续, 则存在足够小的 ξ 使得 $s(\mathbf{M}(\xi)) > 0$. 因此, $\mathbf{M}(\xi)$ 存在一个正的特征值和对应的正特征向量. 令 $u(t) = (u_1(t), u_2(t), u_3(t))$ 是系统 $u' = \mathbf{M}(\xi)u$ 的解, 则当 $t \rightarrow \infty$, 有 $u_i(t) \rightarrow \infty, i = 1, 2, 3$. 由比较原理^[14]知

$$\lim_{t \rightarrow \infty} I_1(t) = \infty, \lim_{t \rightarrow \infty} I_2(t) = \infty, \lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = \infty,$$

这与 $0 < I_1(t) < \xi, 0 < I_2(t) < \xi, 0 < A(t) < \xi$ 矛盾, 故 E^0 是 X 中的单点集, 且 $W^S(E^0) \cap X_0 = \emptyset$. 由文献[15]中的定理 1.3.1 知, f 关于 $(X_0, \partial X_0)$ 是一致持久的, 从而系统(1)是一致持久的.

5 数值模拟

在本节中, 给出两个不同的数值算例, 分别验证本文的理论结果以及 VCT 意识及媒体报道对艾滋病传播的影响.

5.1 数值算例 1

在这一小节, 选取参数 $\Lambda = 2, q = 0.8, p = 0.35, \alpha = 0.3712, \beta = 0.15, a = 0.6, \mu = 0.12, \rho = 0.3, \tau = 0.02, \tau_1 = 0.52, \tau_2 = 0.5$. 此时系统(1)的 $R_0 \approx 0.95$, 可得系统解轨线如图 1 可以看出随着时间的推移疾病趋于灭绝, 这说明系统(1)的无病平衡点是全局渐近稳定的

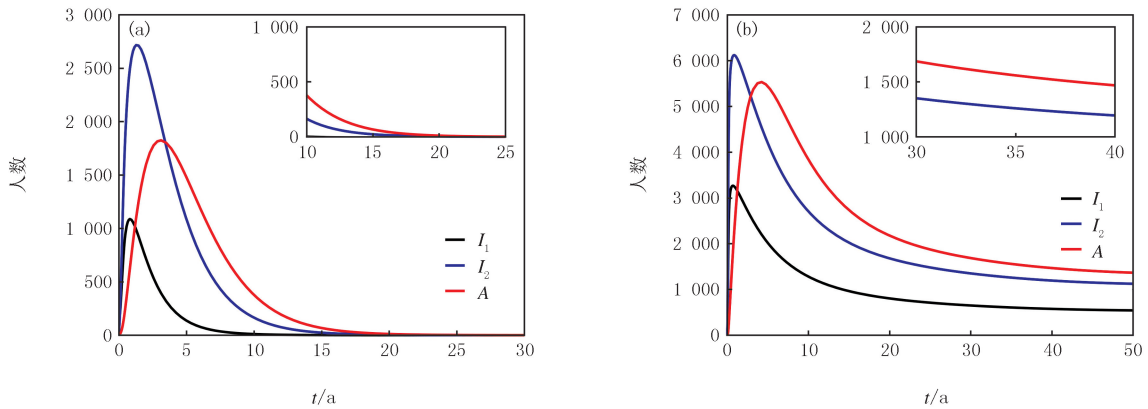


图1 HIV感染者与患者的演化趋势

Fig.1 The development scale of HIV infected individuals and patients

然后, 调整参数 $\beta = 0.6, \rho = 0.1, \tau_1 = 0.25$, 其他参数同上, 此时 $R_0 > 1$. 由图 1 可以看出随着时间的推移疾病持续存在, 这验证了疾病的一致持久性.

5.2 数值算例 2

VCT 意识指对 VCT 服务的认知和接受程度, 这里 ρ 分别取 0.3, 0.5, 0.7, 模拟结果见图 2. 由此可知, 随着感染者中具有 VCT 意识比例的提高, 艾滋病患者人数峰值逐渐降低. 可见, 提高 VCT 意识的覆盖率有助于控制艾滋病的传播.

媒体信息可以改变人的行为, 这里 τ 分别取 0.02, 0.20, 0.40, 则由图 2 知, 随着信息失效率的增大, HIV 感染人数的峰值将提高. 可见, 加强有效的媒体报道, 对于 HIV 感染人数的控制是有帮助的.

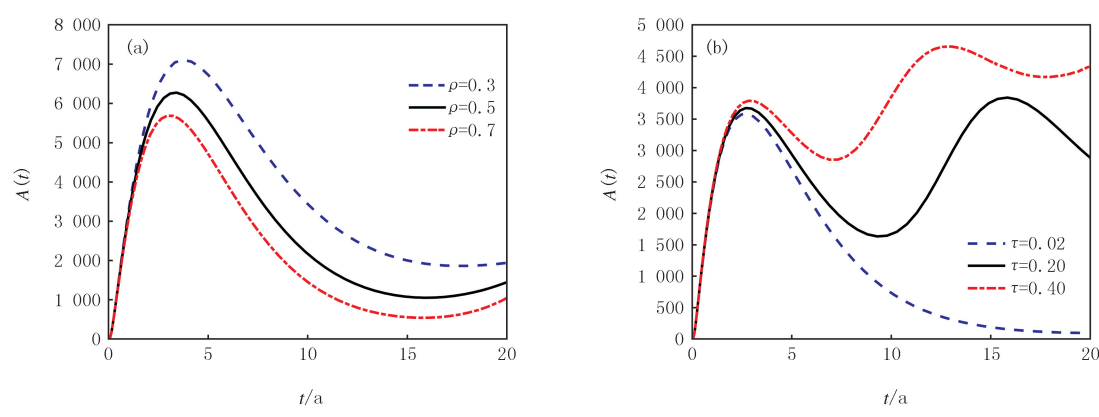


图2 不同参数水平对艾滋病传播的影响

Fig.2 Influence of different parameter levels on the transmission of HIV/AIDS

6 结 论

根据艾滋病传播机制,建立了一类具有 VCT 意识及媒体报道影响的 HIV/AIDS 感染动力学模型.首先计算了模型的基本再生数,研究系统(1)无病平衡点与地方病平衡点的稳定性,然后讨论了疾病的一致持续性.结果表明,当 $R_0 \leq 1$ 时,系统(1)的无病平衡点是全局渐近稳定的;当 $R_0 > 1$ 时,系统(1)的地方病平衡点是局部渐近稳定的,并且疾病是一致持久的.最后,通过数值算例验证了本文的理论结果并讨论 VCT 意识和媒体报道对艾滋病传播的影响.结果表明,随着人群中具有 VCT 意识的比例提高,艾滋病患者人数的峰值逐渐降低,而随着信息失效率的增大,艾滋病患者人数的峰值将有所提高.

参 考 文 献

[1] 杨柏林.中国五类 HIV 感染高危人群艾滋病知行分离现状及影响因素分析[D].济南:山东大学,2022.

[2] 刘晨希,李洁芳,刘淑君,等.中国艾滋病 VCT 服务现状研究进展[J].中国艾滋病性病,2014,20(8):624-627.
LIU C X,LI J F,LIU S J,et al.Current research situation of HIV voluntary counseling and testing in China[J].Chinese Journal of AIDS & STD,2014,20(8):624-627.

[3] 王文倩.网络媒体对大学生艾滋病知行影响研究:以南京高校本科生为例[D].南京:南京邮电大学,2020.

[4] 崔景安,冯振洲,郭松柏.丙型肝炎病毒感染流行病学模型的全局动态[J].河南师范大学学报(自然科学版),2022,50(2):1-6.
CUI J A,FENG Z Z,GUO S B.Global dynamics of the epidemiological model of hepatitis C virus infection[J].Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition),2022,50(2):1-6.

[5] 张婷,张太雷.一类具有 VCT 意识的 HIV/AIDS 传染病模型[J].重庆理工大学学报(自然科学),2022,36(4):254-261.
ZHANG T,ZHANG T L.A class of HIV/AIDS epidemic model with VCT awareness[J].Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science),2022,36(4):254-261.

[6] 纳仁花,梁泽忠.一类具有意识分类的 HIV/AIDS 传染病模型的动力学研究[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2021,39(5):74-81.
NA R H,LIANG Z Z.Dynamics of an HIV/AIDS model with awareness[J].Journal of Guizhou Normal University(Natural Sciences),2021,39(5):74-81.

[7] 刘岩柏,朱惠延,刘芳.具媒体影响的时滞 HIV 传染动力学模型及其解的正性和有界性[J].南华大学学报(自然科学版),2019,33(6):37-40.
LIU Y B,ZHU H Y,LIU F.Positive and boundedness of the solution to HIV infection model with delay effects of media[J].Journal of University of South China(Science and Technology),2019,33(6):37-40.

[8] 柳合龙,张娅莉,程传敏.一类受媒体影响的随机 HIV 模型[J].信阳师范学院学报(自然科学版),2016,29(2):157-160.
LIU H L,ZHANG Y L,CHENG C M.A class of stochastic model of HIV affected by the media[J].Journal of Xinyang Normal University (Natural Science Edition),2016,29(2):157-160.

[9] 崔景安,范圣洁,陈方媛.媒体干预下的 MSM 群体艾滋病传播模型研究[J].河南师范大学学报(自然科学版),2017,45(3):34-41.
CUI J A,FAN S J,CHEN F Y.An AIDS transmission model among MSM under media coverage[J].Journal of Henan Normal University (Natural Science Edition),2017,45(3):34-41.

[10] HUO H F,GU L N,XIANG H.Modelling and analysis of an hiv/aids model with different window period and treatment[J].Journal of Applied Analysis & Computation,2021,11(4):1927-1950.

[11] VAN DEN DRIESCHE P,WATMOUGH J.Reproduction numbers and sub-threshold endemic equilibria for compartmental models of disease transmission[J].Mathematical Biosciences,2002,180(1/2):29-48.

[12] 滕志东,张龙.常微分方程稳定性基本理论及应用[M].北京:科学出版社,2022.

[13] XUE L,ZHANG K,WANG H.Long-term forecast of HIV/AIDS epidemic in China with fear effect and 90-90-90 strategies[J].Bulletin of Mathematical Biology,2022,84(11):132.

[14] LAKSHMIKANTHAM V,LEELA S,MARTYNIYUK A A.Stability analysis of nonlinear systems[M].New York:[s.n.],1989.

[15] Zhao X Q.Dynamical systems in population biology[M].New York:Springer,2017.

A dynamic model of HIV/AIDS infection with VCT awareness and media coverage

Yuan yunqiang, Luo Yantao, Husinagar Turdi

(College of Mathematics and Systems Science, Xinjiang University, Urumqi 830017, China)

Abstract: This paper constructs a dynamic model of HIV/AIDS infection with VCT awareness and media coverage. Firstly, we obtain the well-posedness and the basic regeneration number of the model. Secondly, according to the Hurwitz discrimination and Lyapunov function, the threshold dynamics of the model were analyzed. When $R_0 < 1$, the disease-free equilibrium is locally asymptotically stable, and when $R_0 \leq 1$, it is globally asymptotically stable. When $R_0 > 1$, the endemic equilibrium is locally asymptotically stable. Furthermore, the uniformly persistence of the disease is given according to continuous survival theory. Finally, the numerical simulation shows that with the increase of VCT awareness ratio, the peak number of AIDS patients will gradually decrease, and with the increase of information failure rate, the peak number of AIDS patients will be increased.

Keywords: HIV dynamic model; VCT awareness; media coverage; stability

[责任编辑 陈留院 杨浦]