

具非瞬时/瞬时脉冲收获与脉冲入侵的单种群动力学模型研究*

全琦, 唐文艳, 焦建军, 汪袁
(贵州财经大学 数学与统计学院, 贵阳 550025)

摘要:【目的】建立具有非瞬时/瞬时脉冲收获与脉冲入侵的单种群模型。【方法】运用微分方程及频闪映射相关理论,得到了系统持续生存的条件。【结果】非瞬时脉冲收获率、瞬时脉冲收获率和脉冲入侵系数对系统持久起着重要的作用。【结论】为生物资源的管理提供一定的理论支持。

关键词: 瞬时脉冲收获; 非瞬时脉冲收获; 脉冲入侵; 持久

中图分类号: O175

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2021)03-0078-06

种群进化是一个漫长的过程,且生态系统本身具有一定的复杂性,因此,生态学中存在着许多仅靠野外观察和抽样分析等方法无法解决的重大科学问题。为了给实际的生物资源管理提供可靠的理论依据,学者们尝试通过数学建模对生态系统中生物种群进行更深入的研究。目前,脉冲微方程被广泛应用于种群动力学中,特别是在种群生态学、行病动力学和药物动力学等领域^[1-7]。Mil'Man 等人^[8]在 1960 年首次提出脉冲微分方程模型 $x'(t) = f(t, x(t)), t \neq t_k, k = 1, 2, \dots$, 当 $t = t_k$ 时,脉冲形式为 $\Delta x(t_k) = x(t_k^+) - x(t_k^-)$, 式中: $x(t_k^-)$ 和 $x(t_k^+)$ 分别是 $x(t_k)$ 的左右极限。

考虑到生物种群的经济价值,学者们对具有收获的种群模型进行了大量研究。例如,文献[9]对一类具有脉冲 Holling-II 型收获的 logistic 模型进行了研究,利用脉冲微分方程相关理论知识,得到了系统持久的条件,证明了系统正周期解的存在性和全局吸引性。结果表明,维持生态系统的可持续发展的方法之一是脉冲控制。另一方面,随着人类对生态资源的深入开发以及自然灾害的发生,使得原有生态环境遭到了改变和破坏,许多物种被迫生活在不同的斑块中,生物多样性被破坏的问题日益严重。Hui 等人^[10]研究了具有脉冲扩散的单种群模型:

$$\begin{cases} x_1'(t) = x_1(a_1 - b_1 x_1), x_2'(t) = x_2(a_2 - b_2 x_2), t \neq n\tau \\ \Delta x_1 = d_1(x_2 - x_1), \Delta x_2 = d_1(x_1 - x_2), t = n\tau \end{cases}$$

该系统由两个斑块组成,两斑块之间通过扩散进行连接。文献[10]中,作者证明了所研究的系统具有全局稳定的周期解,并通过数值模拟证实了这一结果。与文献[10]类似,大部分研究均假设物种生活在一个适宜的环境中。然而,一些濒危物种的实际生存环境并不总是这样,它们生活在脆弱的斑块环境中。在这些孤立的斑块中,如果没有其他斑块的贡献,物种将灭绝^[11-14]。受此启发,本文考虑到非瞬时脉冲收获、脉冲入侵的影响以及脆弱斑块环境的存在,将建立一个具有非瞬时/瞬时脉冲收获与脉冲入侵的单种群模型。

1 建立模型

建立如下模型:

* 收稿日期:2020-12-08 修回日期:2020-12-24 网络出版时间:2021-05-20 09:45

资助项目:国家自然科学基金(No. 11761019; No. 11361014); 贵州省研究生教育创新计划资助项目(No. 黔教合 YJSCXJH(2019)065); 贵州省微分-差分动力系统应用科技创新人才团队(No. 20175658)

第一作者简介:全琦,女,研究方向为生物数学, E-mail: quanqi2020@126.com; 通信作者:焦建军,男,教授,博士, E-mail: jiaojianjun05@126.com

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20210519.1524.012.html>

$$\left. \begin{aligned} \left. \begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= x(t)(a_1 - b_1x(t)) \\ \frac{dy(t)}{dt} &= -d_1y(t) \end{aligned} \right\} t \in (n\tau, (n+l)\tau] \\ \left. \begin{aligned} \Delta x(t) &= -m_1x(t) \\ \Delta y(t) &= -m_2y(t) \end{aligned} \right\} t = (n+l)\tau \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \left. \begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= x(t)((a_2 - h_1) - b_2x(t)) \\ \frac{dy(t)}{dt} &= -(d_2 + h_2)y(t) \end{aligned} \right\} t \in ((n+l)\tau, (n+1)\tau] \\ \left. \begin{aligned} \Delta x(t) &= d(y(t) - x(t)) \\ \Delta y(t) &= d(x(t) - y(t)) \end{aligned} \right\} t = (n+1)\tau \end{aligned} \right\}$$

系统(1)由斑块 1 和斑块 2 组成。其中:斑块 2 的繁殖区域遭到了破坏,即斑块 2 的环境不利于种群增长; $x(t)$ 表示斑块 1 中种群在时刻 t 的密度;种群 x 在区间 $(n\tau, (n+l)\tau]$ 上的内禀增长率用 $a_1 > 0$ 表示;斑块 2 中种群在时刻 t 的密度用 $y(t)$ 表示;在时刻 $t = (n+l)\tau$, 种群 x 的瞬时脉冲收获率用 $0 < m_1 < 1$ 表示, m_1 也可以称作种群 x 的初次收获量; $0 < m_2 < 1$ 表示种群 y 在时刻 $t = (n+l)\tau$ 的瞬时脉冲收获率,也可以称作种群 y 的初次收获量;种群 y 的自然死亡率用 $d_1 > 0$ 表示;种群 x 的种内竞争系数用 $b_1 > 0$ 表示;在区间 $((n+l)\tau, (n+1)\tau]$ 上, $a_2 > 0$ 是种群 x 的内禀增长率,种群 x 的非瞬时脉冲收获率用 $h_1 > 0$ 表示; $b_2 > 0$ 是种群 x 的种内竞争系数,种群 y 的自然死亡率用 $d_2 > 0$ 表示;种群 y 在区间 $((n+l)\tau, (n+1)\tau]$ 上的非瞬时脉冲收获率用 $h_2 > 0$ 表示; $0 < d < 1$ 是两斑块间的入侵系数(扩散率); $\Delta x(t) = x(t^+) - x(t)$, $\Delta y(t) = y(t^+) - y(t)$ 。

2 动力学分析

定义系统(1)右边的函数 $f = (f_1, f_2)$ 。系统(1)的解是一个分段连续函数 $Z: \mathbf{R}^+ \rightarrow \mathbf{R}_+^2$, 其中: $\mathbf{R}^+ = [0, \infty)$, $\mathbf{R}_+^2 = \{Z \in \mathbf{R}^2; Z > 0\}$, 假设系统(1)的解用 $Z(t) = (x(t), y(t))^T$ 表示, 且在 $(n\tau, (n+l)\tau] \times \mathbf{R}_+^2$ 和 $((n+l)\tau, (n+1)\tau] \times \mathbf{R}_+^2$ ($n \in \mathbf{Z}_+; 0 \leq l \leq 1$) 上 $Z(t)$ 是连续的。由文献[1]可知 f 的光滑性保证了 $Z(t)$ 的全局存在性和唯一性。

由系统(1)的第 1, 2, 5, 6 个方程, 得到系统(1)在脉冲点之间的解析解:

$$\begin{cases} x(t) = \begin{cases} \frac{a_1x(n\tau^+)e^{a_1(t-n\tau)}}{a_1 + b_1x(n\tau^+)(e^{a_1(t-n\tau)} - 1)}, & t \in (n\tau, (n+l)\tau] \\ \frac{(a_2 - h_1)x((n+l)\tau^+)e^{(a_2 - h_1)(t - (n+l)\tau)}}{(a_2 - h_1) + b_2x((n+l)\tau^+)(e^{(a_2 - h_1)(t - (n+l)\tau)} - 1)}, & t \in ((n+l)\tau, (n+1)\tau] \end{cases} \\ y(t) = \begin{cases} y(n\tau^+)e^{-d_1(t-n\tau)}, & t \in (n\tau, (n+l)\tau] \\ y((n+l)\tau^+)e^{-(d_2 + h_2)(t - (n+l)\tau)}, & t \in ((n+l)\tau, (n+1)\tau] \end{cases} \end{cases}$$

由系统(1)的第 3, 4, 7, 8 个方程, 得到系统(1)的频闪映射:

$$\begin{cases} x((n+1)\tau^+) = \frac{(1-d)ABx(n\tau^+)}{B + Cx(n\tau^+) + Dx(n\tau^+)} + dEy(n\tau^+) \\ y((n+1)\tau^+) = \frac{dABx(n\tau^+)}{B + Cx(n\tau^+) + Dx(n\tau^+)} + (1-d)Ey(n\tau^+) \end{cases} \quad (2)$$

其中:

$$A = (1 - m_1)e^{(a_2 - h_1)(1 - l) + a_1 l \tau}, B = a_1(a_2 - h_1), C = b_1(a_2 - h_1)(e^{a_1 \tau} - 1),$$

$$D = a_1 b_2(1 - m_2)e^{a_1 \tau}(e^{(a_2 - h_1)(1 - l)\tau} - 1), E = (1 - m_2)e^{-(d_2 + h_2)(1 - l) + d_1 l \tau} < 1.$$

计算系统(2), 得到它的两个不动点 $F_1(0, 0)$ 和 $F_2(x^*, y^*)$, 其中:

$$\begin{cases} x^* = \frac{B[d(AE - E) - (1 - E)(1 - (1 - d)A)]}{(C + D)(1 - E + dE)}, d(AE - E) > (1 - E)[1 - (1 - d)A] \\ y^* = \frac{dB[d(AE - E) - (1 - E)(1 - (1 - d)A)]}{(C + D)(1 - E + dE)[(1 - d) + E(2d - 1)]}, d(AE - E) > (1 - E)[1 - (1 - d)A] \end{cases} \quad (3)$$

定理 1 1) 如果 $d(AE - E) < (1 - E)[1 - (1 - d)A]$, $F_1(0, 0)$ 全局渐近稳定;

2) 如果 $d(AE-E) > (1-E)[1-(1-d)A]$ 且 $d > \frac{1}{2}$, $F_2(x^*, y^*)$ 全局渐近稳定。

证明 为了方便, 记 $(x^n, y^n) = (x(n\tau^+), y(n\tau^+))$, 则差分方程(2)对应的线性系统可写为:

$$\begin{bmatrix} x^{n+1} \\ y^{n+1} \end{bmatrix} = \mathbf{M} \begin{bmatrix} x^n \\ y^n \end{bmatrix}. \quad (4)$$

显然, 线性系统(4)决定了不动点 $F_1(0, 0)$ 和 $F_2(x^*, y^*)$ 的局部动力学行为。 $F_1(0, 0)$ 和 $F_2(x^*, y^*)$ 的稳定性取决于矩阵 \mathbf{M} 的特征值是否小于 1。如果 \mathbf{M} 满足如下 Jury 判据条件^[15]:

$$1 - \text{tr}\mathbf{M} + \det\mathbf{M} > 0,$$

则 \mathbf{M} 的绝对值小于 1。

1) 当 $d(AE-E) < (1-E)[1-(1-d)A]$ 时, 系统(2)有唯一不动点 $F_1(0, 0)$, 有:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} (1-d)A & dE \\ dA & (1-d)E \end{bmatrix}.$$

计算:

$$\begin{aligned} 1 - \text{tr}\mathbf{M} + \det\mathbf{M} &= 1 - [(1-d)A + (1-d)E] + [(1-d)^2 AE - d^2 AE] = \\ &= 1 - [(1-d)A + (1-d)E] + (1-2d)AE = (1-E)[1-(1-d)A] - d(AE-E) > 0. \end{aligned}$$

故不动点 $F_1(0, 0)$ 是局部稳定的, 因而是全局渐近稳定的。

2) 当 $d(AE-E) > (1-E)[1-(1-d)A]$ 且 $d > \frac{1}{2}$ 时, 显然 $F_1(0, 0)$ 是不稳定的, $F_2(x^*, y^*)$ 存在, 有:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \frac{(1-d)AB^2}{(B+(C+D)x^*)^2} & dE \\ \frac{dAB^2}{(B+(C+D)x^*)^2} & (1-d)E \end{bmatrix}.$$

计算:

$$\begin{aligned} 1 - \text{tr}\mathbf{M} + \det\mathbf{M} &= 1 - \left[\frac{((1-d)AB^2)}{(B+(C+D)x^*)^2} + (1-d)E \right] + \left[\frac{(1-d)^2 AB^2 E}{(B+(C+D)x^*)^2} - \frac{d^2 AB^2 E}{(B+(C+D)x^*)^2} \right] = \\ &= 1 - (1-d)E - \frac{AB^2(1-d-E+2dE)}{(B+(C+D)x^*)^2} = 1 - (1-d)E - \frac{(1-E+dE)^2}{A(1-d-E+2dE)} = \\ &= \frac{(1-E+dE)[d(AE-E) - (1-E)(1-(1-d)A)]}{A[(1-d)+E(2d-1)]} > 0. \end{aligned}$$

故不动点 $F_2(x^*, y^*)$ 是局部稳定的, 因而是全局渐近稳定的。

证毕

根据定理 1, 容易证得如下定理。

定理 2 1) 若 $d(AE-E) < (1-E)[1-(1-d)A]$, 系统(1)的平凡周期解 $(0, 0)$ 是全局渐近稳定的; 2) 若 $d(AE-E) > (1-E)[1-(1-d)A]$ 且 $d > \frac{1}{2}$, 系统(1)的正周期解 $(\widetilde{x}(t), \widetilde{y}(t))$ 是全局渐近稳定的。这里:

$$\begin{cases} \widetilde{x}(t) = \begin{cases} \frac{a_1 x^* e^{a_1(t-n\tau)}}{a_1 + b_1 x^* (e^{a_1(t-n\tau)} - 1)}, & t \in (n\tau, (n+l)\tau] \\ \frac{(a_2 - h_1) x^{**} e^{(a_2 - h_1)(t-(n+l)\tau)}}{(a_2 - h_1) + b_2 x^{**} (e^{(a_2 - h_1)(t-(n+l)\tau)} - 1)}, & t \in ((n+l)\tau, (n+1)\tau], \end{cases} \\ \widetilde{y}(t) = \begin{cases} y^* e^{-d_1(t-n\tau)}, & t \in (n\tau, (n+l)\tau] \\ y^{**} e^{-(d_2 + h_2)(t-(n+l)\tau)}, & t \in ((n+l)\tau, (n+1)\tau] \end{cases} \end{cases} \quad (5)$$

x^* 和 y^* 如(3)式所定义, x^{**}, y^{**} 定义如下:

$$\begin{cases} x^{**} = \frac{(1-m_1)a_1 e^{a_1 l \tau} x^*}{a_1 + b_1 x^* (e^{a_1 l \tau} - 1)}. \\ y^{**} = (1-m_2) e^{-d_1 l \tau} y^* \end{cases}$$

注 1 1) 当 $d(AE-E) < (1-E)[1-(1-d)A]$, 种群入侵失败; 2) 当 $d(AE-E) > (1-E)[1-(1-d)A]$ 且 $d > \frac{1}{2}$, 系统(1)是持久的, 即种群入侵成功。

由定理 2 可知,当 $d(AE-E) < (1-E)[1-(1-d)A]$, 种群入侵失败。外来物种入侵本地生物系统和本地生物种群竞争有限的生物资源失败而灭绝。当 $d(AE-E) > (1-E)[1-(1-d)A]$ 且 $d > \frac{1}{2}$ 时,外来物种入侵本地生物系统和本地生物种群竞争有限的生物资源,必须有一定的扩散能力才能入侵成功。显然,当 $d(AE-E) > (1-E)[1-(1-d)A]$ 且 $d > \frac{1}{2}$ 时,系统(5)成立,对于任意的 $\epsilon > 0$,有 $\widetilde{x(t)} - \epsilon \leq x(t) \leq \widetilde{x(t)} + \epsilon, \widetilde{y(t)} - \epsilon \leq y(t) \leq \widetilde{y(t)} + \epsilon$ 。从而有 $m_1 \leq x(t) \leq M_1, m_2 \leq y(t) \leq M_2$ 。其中:

$$m_1 = [x^* + x^{**}] - \epsilon, M_1 = \left[\frac{a_1 x^* e^{a_1 l \tau}}{a_1 + b_1 x^* (e^{a_1 l \tau} - 1)} + \frac{(a_2 - h_1) x^{**} e^{(a_2 - h_1)(1-l)\tau}}{(a_2 - h_1) + b_2 x^{**} (e^{(a_2 - h_1)(1-l)\tau} - 1)} \right] + \epsilon,$$

$$m_2 = [y^* + y^{**}] - \epsilon, M_2 = [y^* e^{-d_1 l \tau} + y^{**} e^{-(d_2 + h_2)(1-l)\tau}] + \epsilon.$$

因此系统(1)是持久的,即外来物种入侵成功。

3 数值模拟

若 $x(0) = 3, y(0) = 3, a_1 = 0.9, b_1 = 0.75, d_1 = 0.2, m_1 = 0.35, m_2 = 0.1, a_2 = 0.6, h_1 = 0.18, b_2 = 0.1, d_2 = 0.22, h_2 = 0.31, d = 0.51, l = 0.5, \tau = 1$, 可知 $d(AE-E) = 0.0821 < 0.1440 = (1-E)[1-(1-d)A]$, 满足注 1 中的条件 1), 种群入侵失败, 从而将走向灭绝(图 1)。

若 $x(0) = 3, y(0) = 3, a_1 = 0.9, b_1 = 0.75, d_1 = 0.2, m_1 = 0.18, m_2 = 0.1, a_2 = 0.6, h_1 = 0.18, b_2 = 0.1, d_2 = 0.22, h_2 = 0.31, d = 0.51, l = 0.5, \tau = 1$, 可知 $d(AE-E) = 0.1869 > 0.0835 = (1-E)[1-(1-d)A]$, 显然满足注 1 中的条件 2), 因此系统(1)是持久的(图 2)。

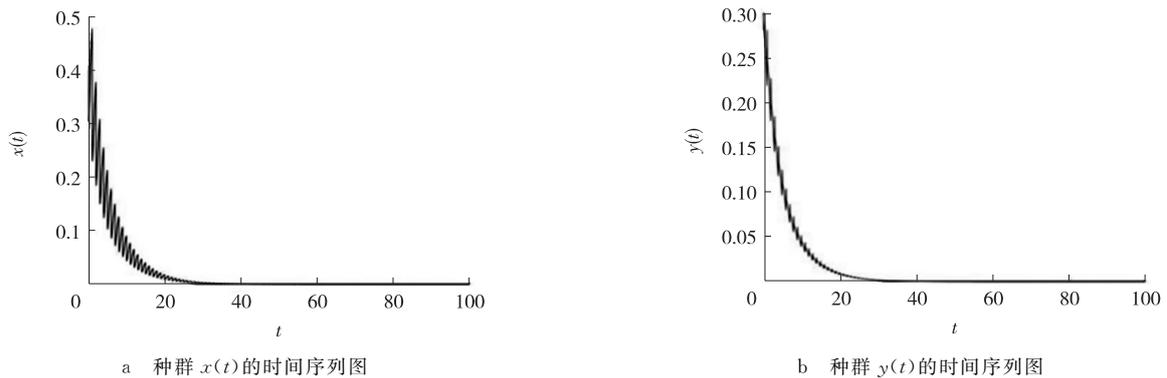


图 1 系统(1)种群灭绝模拟图 I

Fig. 1 Population extinction simulation diagram I of system (1)

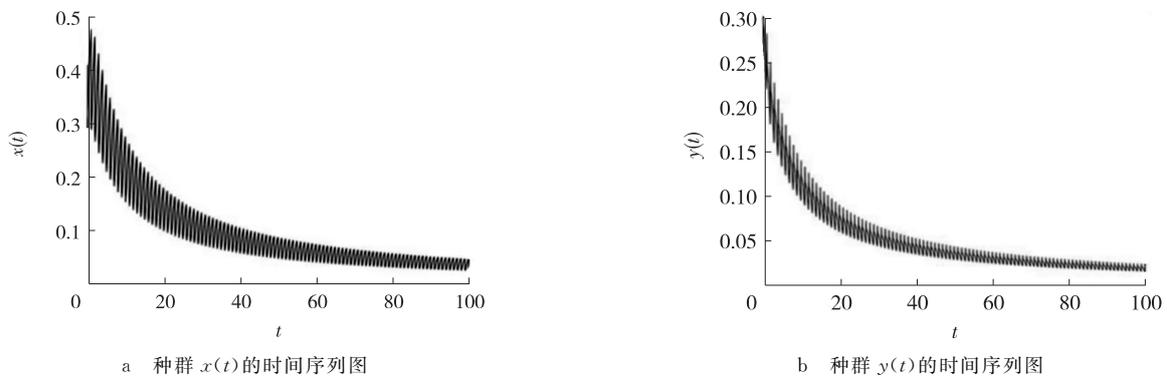


图 2 系统(1)持久模拟图

Fig. 2 Simulation diagram of system (1) persistent

又假设 $x(0) = 3, y(0) = 3, a_1 = 0.9, b_1 = 0.75, d_1 = 0.2, m_1 = 0.18, m_2 = 0.1, a_2 = 0.6, h_1 = 0.5, b_2 = 0.1, d_2 = 0.22, h_2 = 0.31, d = 0.51, l = 0.5, \tau = 1$, 可知 $d(AE-E) = 0.1121 < 0.1267 = (1-E)[1-(1-d)A]$, 满足注 1 中的条件 1), 种群入侵失败, 从而将走向灭绝(图 3)。

若 $x(0)=3, y(0)=3, a_1=0.9, b_1=0.75, d_1=0.2, m_1=0.18, m_2=0.1, a_2=0.6, h_1=0.18, b_2=0.1, d_2=0.22, h_2=0.31, d=0.97, l=0.5, \tau=1$, 可知 $d(AE-E)=0.3555 < 0.3574=(1-E)[1-(1-d)A]$, 满足注 1 中的条件 1), 种群入侵失败, 从而将走向灭绝(图 4)。

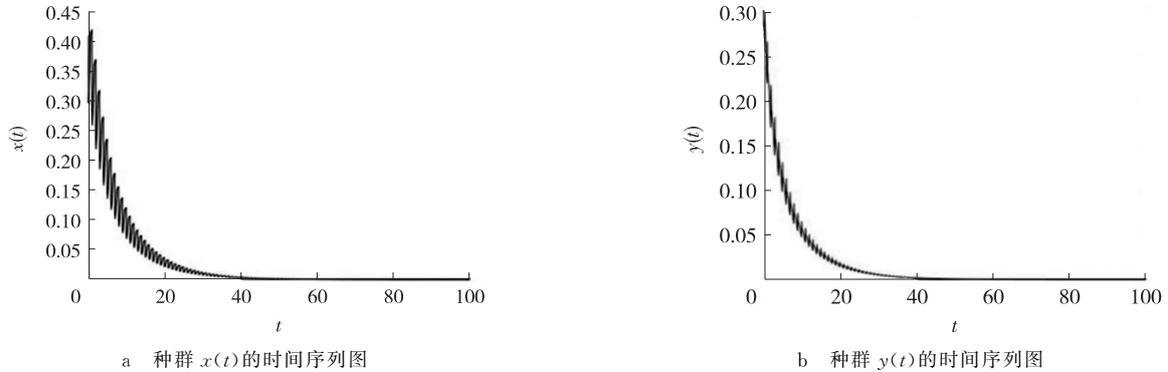


图 3 系统(1)种群灭绝模拟图 II

Fig. 3 Population extinction simulation diagram II of system (1)

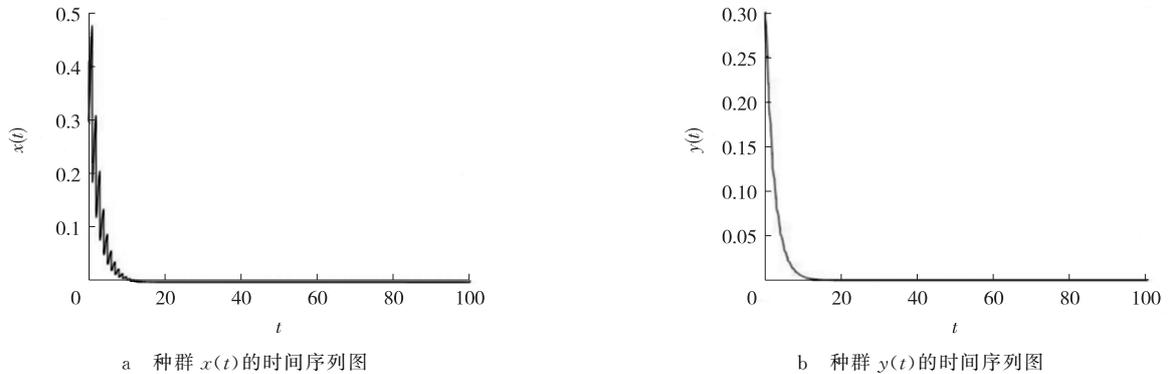


图 4 系统(1)种群灭绝模拟图 III

Fig. 4 Population extinction simulation diagram III of system (1)

从图 1 和图 2 可以推测 m_1 存在一个阈值 m_1^* , 并且满足 $0.18 < m_1^* < 0.35$ 。若 $m_1 < m_1^*$, 系统(1)是持久的, 反之种群将灭绝。从图 2 和图 3 可以推测 h_1 存在一个阈值 h_1^* , 满足 $0.18 < h_1^* < 0.5$ 。若 $h_1 < h_1^*$, 系统(1)是持久的, 反之种群将灭绝。从图 2 和图 4 可以知道脉冲入侵系数也存在一个阈值 d^* , 且满足 $0.51 < d^* < 0.97$ 。同样还可以对 m_2, h_2, l 进行讨论。

4 讨论

本文讨论了具有非瞬时/瞬时脉冲收获与脉冲入侵的单种群模型, 分析得到了种群入侵成功, 即系统持久的充分条件: $d(AE-E) > (1-E)[1-(1-d)A]$ 且 $d > \frac{1}{2}$ 。从数值模拟和分析结果容易看出瞬时脉冲收获、非瞬时脉冲收获以及脉冲入侵系数对系统持久起着重要的作用。从以上分析可知缩短非瞬时脉冲收获区间长度是保护生物多样性的有效途径之一, 同时可以减少瞬时脉冲收获量来使得种群持续生活下去, 为生物资源的管理提供一定的理论支持。

参考文献:

- [1] LAKSHMIKANTHAM V, BAINOV D D, SIMEONOV P S. Theory of impulsive differential equations[M]. Singapore: World Scientific, 1989.
- [2] JIAO J J, CAI S H, LI L M. Impulsive vaccination and dispersal on dynamics of an SIR epidemic model with restricting infected individuals boarding transports[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2016, 449: 145-159.
- [3] LI H L, ZHANG L, TENG Z D, et al. Global stability of an SI epidemic model with feedback controls in a patchy environment

- [J]. Applied Mathematics and Computation, 2018, 321: 372-384.
- [4] JIAO J J, LIU Z Z, CAI S H. Dynamics of an SEIR model with infectivity in incubation period and homestead-isolation on the susceptible[J]. Applied Mathematics Letters, 2020, 107: 106442.
- [5] JIAO J J, LIU Z Z, LI L M, et al. Threshold dynamics of a stage-structured single population model with non-transient and transient impulsive effects[J]. Applied Mathematics Letters, 2019, 97: 88-92.
- [6] WAN H Y, JIANG H N. Dynamical behaviors of a predator-prey system with prey impulsive diffusion and dispersal delay between two patches[J/OL]. (2019-05-17)[2020-12-01]. Advances in Difference Equations. <https://doi.org/10.1186/s13662-019-2132-2>.
- [7] 焦建军, 李利梅, 刘兰兰. 具非瞬时脉冲收获单种群动力学模型的控制阈值研究[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2018, 31(2): 179-181.
- JIAO J J, LI L M, LIU L L. Threshold dynamics of a single population model with non-transient impulsive harvesting[J]. Journal of Xinyang Normal University (Natural Science Edition), 2018, 31(2): 179-181.
- [8] MIL'MAN V D, MYŠKIS A D. On the stability of motion in the presence of impulses[J]. Sibirskii Matematicheskii Zhurnal, 1960(1): 233-237.
- [9] LIN Q X, XIE X D, CHEN F D, et al. Dynamical analysis of a logistic model with impulsive Holling type-II harvesting[J/OL]. (2018-03-27)[2020-12-01]. Advances in Difference Equations. <https://doi.org/10.1186/s13662-018-1563-5>.
- [10] HUI J, CHEN L S. A single species model with impulsive diffusion[J]. Acta Mathematicae Applicatae Sinica (English Series), 2005, 21(1): 43-48.
- [11] CUI J G, CHEN L S. The effect of diffusion on the time varying logistic population growth[J]. Computers & Mathematics with Applications, 1998, 36(3): 1-9.
- [12] CUI J G, CHEN L S. Permanence and extinction in logistic and Lotka-Volterra systems with diffusion[J]. Journal of Mathematical Analysis and Applications, 2001, 258(2): 512-535.
- [13] LI H L, ZHANG L, TENG Z D, et al. A delayed predator-prey system with impulsive diffusion between two patches[J]. International Journal of Biomathematics, 2017(10): 175-194.
- [14] XU R, MA Z E. The effect of stage-structure on the permanence of a predator-prey system with time delay[J]. Applied Mathematics and Computation, 2007, 189(2): 1164-1177.
- [15] JURY E I. Inners and stability of dynamic systems[M]. New York: Wiley, 1974.

Dynamics of a Single Population Model with Non-Transient/Transient Impulsive Harvesting and Impulsive Invasion

QUAN Qi, TANG Wenyang, JIAO Jianjun, WANG Yuan

(School of Mathematics and Statistics, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, China)

Abstract: [Purposes] To establish a single population model with non-transient/transient pulse harvesting and pulse invasion. [Methods] By the theories of impulsive differential equation and stroboscopic map, the sufficient condition for the permanence of the investigated system is obtained. [Findings] The results show that the non-transient impulsive harvesting rate, transient impulsive harvesting rate and the impulsive invasion coefficient play important roles in system permanence. [Conclusions] It can provide some theoretical basis for the biological resource management.

Keywords: transient impulsive harvesting; non-transient impulsive harvesting; impulsive invasion; permanence

(责任编辑 黄颖)