

Lotka-Volterra 系统下的高校消防安全意识传播模型^①

杨辰飞, 陈雪波, 孙秋柏

(辽宁科技大学 电子与信息工程学院, 鞍山 114051)

摘 要: 高校消防安全关系到高校和谐稳定和学生生命财产安全, 而高校火灾事故频发率主要与学生自身的消防安全意识息息相关. 首先采用 Lotka-Volterra(LV)模型, 根据消防安全意识的差别, 将学生分为意识上理性和危险的两个相互作用的群体. 其次, 通过对消防安全意识传播模型的研究和仿真分析, 找出符合目前高校消防安全的实际情况与理想目标的平衡点, 指出该模型的平衡状态与竞争系数密切相关, 并通过对参数的改进来优化该模型结构. 最后, 提出加强高校消防安全文化建设, 适时展开消防安全演练等措施来控制引导高校学生的理性消防安全意识, 抑制和消除高校学生的危险消防安全意识, 从而有效地减少和避免高校的消防安全隐患和事故.

关键词: 消防安全意识; Lotka-Volterra(LV)模型; 平衡状态; 模型仿真

Fire Safety Awareness Propagation on Campus Under Lotka-Volterra System

YANG Chen-Fei, CHEN Xue-Bo, SUN Qiu-Bai

(School of Electronics and Information Engineering, University of Science and Technology, Anshan 114051, China)

Abstract: The fire safety relates to the harmony and stability of universities and college students' lives and property security, while frequency of fire accident on campus is closely related with the fire safety awareness of students. Lotka-Volterra(LV) model is first introduced in this paper, according to the differences of fire safety awareness, awareness of students can be divided into the rational and hazardous on the interaction between the two groups. Secondly, through simulation and analysis of the model to find the balance point in accordance with the actual situation and the ideal target on campus and the results show that the equilibrium state is related with the competitive factors, then through the improvement of the parameters to optimize the model structure. Finally, pointing out that strengthening the construction of university fire safety culture, commencing fire safety drills and other measures timely could control and guide students rational fire safety awareness, inhibit and eliminate hazardous fire safety awareness of students, which can reduce and avoid the security risks and accidents effectively.

Key words: fire safety awareness; Lotka-Volterra model; equilibrium state; model simulation

高校作为人才培养的摇篮与基地, 其安全问题一直备受人们的关注和国家的重视. 而在高校各种安全问题中, 火灾事故所造成的损失和影响又是最为严重和恶劣的. 据我国公安部消防局数据^[1]显示, 2000~2006 年间, 我国高校共发生火灾 3700 余起, 死亡 44 人, 伤 9 人, 造成直接经济损失 2200 余万元; 2007~2010 年全国高校共发生火灾 13666 起, 死亡 200 多人,

伤 1000 人左右, 造成直接经济损失近 1.6 亿元. 从上述统计数据, 可以看出我国高校的消防安全态势依然不容乐观, 仍存在较多火灾隐患. 如 2003 年 2 月 19 日, 发生在武汉大学测绘校区 4 号学生宿舍的火灾, 因为使用大功率电热毯不当, 导致过火面积 450 平方米, 直接经济损失约 10 万元^[2]; 2008 年 5 月 8 日发生在中央民族大学学生 1 号公寓 S061 女生宿舍的火灾, 由于连线不规范引起接线

^① 收稿时间:2014-09-22;收到修改稿时间:2014-11-14

板短路引燃床头,致使上千学生被紧急疏散^[3];2008 年 11 月 14 日发生在上海商学院的火灾事故^[4],由于学生的不安全消防意识,在宿舍违规使用“热得快”引起电器故障导致火灾,致使 4 名女大学生全部遇难。因此,认真分析存在的火灾隐患,剖析事故原因,探索高校消防安全管理对策和机制,加强高校的消防安全文化平台建设^[5],培养学生理性的消防安全意识,提升高校消防安全管理能力,是非常必要和紧迫的。

当前,研究消防安全的主要方法有:Asgary^[6]等人利用神经网络对突发事件引起的火灾及其损失、风险进行估计,文章中采用 BP 神经网络进行训练求解,虽然具有较好的容错性、收敛性,但对样本要求较高,可能陷入局部最优解;贾水库^[7]等人利用层次分析法将火灾危险指标分为 7 个主要因素来对高层学生公寓火灾危险性进行分析,并确定评估指标的权重,该方法利用较少的定量信息,实现了对学生公寓火灾危险性评估复杂问题的简便有效评价,但定性的成分较多,定量数据较少,不能提供解决问题的新方法;黄雅楠^[8]等人利用模糊综合安全评价法对高校宿舍火灾安全性进行了综合评估,文章借助于模糊数学、信息熵、专家打分来对高校宿舍进行火灾安全综合评价,实现了定量和定性方法的有效结合,克服了传统数学方法结果单一的缺陷,但并不能很好解决评价指标相关造成的评价信息重复问题。本文则从人的角度入手,将高校学生的消防安全意识作为高校消防安全的主要影响因素,根据学生自身掌握的消防安全知识和形成的潜在消防安全意识和行为,将其消防安全意识分为理性消防安全意识和危险消防安全意识,而后采用 LV 二维动态竞争模型^[9]对这两种意识群体在校园传播中的动态过程进行研究,通过仿真找出符合实际情况的模型及其影响因素,从而进一步来改善和优化模型结构,确保高校绝大部分学生具有理性消防安全意识,极少部分学生具有危险消防安全意识,并找出对应措施缓解高校所面临的严峻防火形势,从源头上有效防止、减少火灾隐患和事故的发生。

1 模型构建与分析

假设理性消防安全意识和危险消防安全意识具有完全可替代性,即学生具有了理性消防安全意识,就不具有危险消防安全意识,在 Logistic 模型基础上^[10],借助 LV 动态竞争模型,两类消防安全意识传播模型^[11]

可以表示为:

$$\dot{x}_1 = r_1 x_1 \left(1 - \frac{x_1}{N_1} - \sigma_{12} \frac{x_2}{N_2} \right) \quad (1)$$

$$\dot{x}_2 = r_2 x_2 \left(1 - \frac{x_2}{N_2} - \sigma_{21} \frac{x_1}{N_1} \right) \quad (2)$$

其中, $\dot{x}_1$ 、 $\dot{x}_2$ 分别表示理性消防安全意识和危险消防安全意识人数的增长率; x_1 、 x_2 分别表示具有理性消防安全意识和危险消防安全意识的人数; r_1 、 r_2 分别表示理性消防安全意识和危险消防安全意识在校园的传播速率; N_1 、 N_2 分别表示最终具有理性消防安全意识和危险消防安全意识的学生人数; σ_{12} 表示危险消防安全意识的竞争系数,即传播过程中危险消防安全意识对理性消防安全意识的竞争力; σ_{21} 表示理性消防安全意识的竞争系数,即传播过程中理性消防安全意识对危险消防安全意识的竞争力。

根据上式模型,令 $\dot{x}_1$ 、 $\dot{x}_2$ 同时为零,可以得到其平衡方程:

$$r_1 x_1 \left(1 - \frac{x_1}{N_1} - \sigma_{12} \frac{x_2}{N_2} \right) = 0 \quad (3)$$

$$r_2 x_2 \left(1 - \frac{x_2}{N_2} - \sigma_{21} \frac{x_1}{N_1} \right) = 0 \quad (4)$$

进而可以得到方程组的四个平衡点:

$$P_1(0, 0), P_2(N_1, 0), P_3(0, N_2), P_4\left(\frac{N_1(1-\sigma_{12})}{1-\sigma_{12}\sigma_{21}}, \frac{N_2(1-\sigma_{21})}{1-\sigma_{12}\sigma_{21}}\right)$$

由系统模型表达式,可以得到系统雅可比矩阵:

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 - \frac{2r_1 x_1}{N_1} - \frac{r_1 \sigma_{12} x_2}{N_2} & -\frac{r_1 \sigma_{12} x_1}{N_2} \\ -\frac{r_2 \sigma_{21} x_2}{N_1} & r_2 - \frac{2r_2 x_2}{N_2} - \frac{r_2 \sigma_{21} x_1}{N_1} \end{bmatrix}$$

分别计算四个平衡点 $P_1(0, 0)$, $P_2(N_1, 0)$, $P_3(0, N_2)$,

$P_4\left(\frac{N_1(1-\sigma_{12})}{1-\sigma_{12}\sigma_{21}}, \frac{N_2(1-\sigma_{21})}{1-\sigma_{12}\sigma_{21}}\right)$ 的雅可比矩阵:

$$B_1 = \begin{bmatrix} r_1 & 0 \\ 0 & r_2 \end{bmatrix}, \quad B_2 = \begin{bmatrix} -r_1 & -\frac{r_1 \sigma_{12} N_1}{N_2} \\ 0 & r_2(1-\sigma_{21}) \end{bmatrix}$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} r_1(1-\sigma_{12}) & 0 \\ -\frac{r_2 \sigma_{21} N_2}{N_1} & -r_2 \end{bmatrix}$$

$$B_4 = \begin{bmatrix} \frac{r_1(\sigma_{12}-1)}{1-\sigma_{12}\sigma_{21}} & -\frac{r_1 \sigma_{12} N_1(1-\sigma_{12})}{N_2(1-\sigma_{12}\sigma_{21})} \\ -\frac{r_2 \sigma_{21} N_2(1-\sigma_{21})}{N_1(1-\sigma_{12}\sigma_{21})} & \frac{r_2(\sigma_{21}-1)}{1-\sigma_{12}\sigma_{21}} \end{bmatrix}$$

由雅可比矩阵的特征方程: $[B - \lambda E] = 0$, 求得四个平

衡点的雅可比矩阵特征根. 如果在该平衡点处的两个特征值全部为负, 则该平衡点为稳定的节点.

经求解计算, 在平衡点 P_1 , 雅可比矩阵的特征值为 $\lambda_1 = r_1 > 0$, $\lambda_2 = r_2 > 0$. 所以, 平衡点 P_1 为不稳定节点; 在平衡点 P_2 , 雅可比矩阵的特征值为 $\lambda_1 = -r_1$, $\lambda_2 = r_2(1 - \sigma_{21})$; 在平衡点 P_3 , 雅可比矩阵的特征值为 $\lambda_1 = r_2$, $\lambda_2 = r_1(1 - \sigma_{12})$; 在平衡点 P_4 , 雅可比矩阵的特征值为

$$\lambda_1 = -\frac{p}{2(1 - \sigma_{12}\sigma_{21})} + \frac{\sqrt{p^2 - q}}{2|1 - \sigma_{12}\sigma_{21}|},$$

$$\lambda_2 = -\frac{p}{2(1 - \sigma_{12}\sigma_{21})} - \frac{\sqrt{p^2 - q}}{2|1 - \sigma_{12}\sigma_{21}|},$$

其中

$$p = r_1(1 - \sigma_{12}) + r_2(1 - \sigma_{21}),$$

$$q = 4r_1r_2(1 - \sigma_{12}\sigma_{21})(1 - \sigma_{12})(1 - \sigma_{21}).$$

由上述雅可比矩阵的特征值表达式可得该意识模型的 4 种状态:

- 1) 平衡点 P_1 为不稳定节点;
- 2) 理想状态: 当且仅当平衡点 P_2 为稳定的节点时, $\sigma_{21} > 1$, 且 $\sigma_{12} < 1$;
- 3) 危险状态: 当且仅当平衡点 P_3 为稳定的节点时, $\sigma_{21} < 1$, 且 $\sigma_{12} > 1$;
- 4) 实际状态: 当且仅当平衡点 P_4 为稳定的节点时, $\sigma_{21} < 1$, 且 $\sigma_{12} > 1$.

由于平衡点 P_1 为不稳定节点, 模型在 P_1 处总是发散的, 因此只对后三种情况进行分析和研究. 利用 Matlab 软件分别对上述 2)、3)、4) 三种情况进行数值模拟仿真与分析.

2 模型仿真

2.1 理想状态平衡点仿真分析

当平衡点 P_2 为唯一稳定节点的情况下, $\sigma_{21} > 1$, 且 $\sigma_{12} < 1$. 为了验证单一变量变量(竞争系数)对模型的影响, 设理性消防安全意识和危险安全消防意识的传播速率相同, 对系统模型的相应参数进行如下设置: $\sigma_{21} = 1.5$, $\sigma_{12} = 0.5$, $r_1 = 0.5$, $r_2 = 0.5$, $N_1 = 3000$, $N_2 = 800$, 并在两种不同的初始条件: 1) $x_1(0) = 100$, $x_2(0) = 500$; 2) $x_1(0) = 50$, $x_2(0) = 50$ 下观察其相应曲线的变化趋势, 仿真周期设为 60 个时间单位, 其动态变化趋势如图 1 所示.

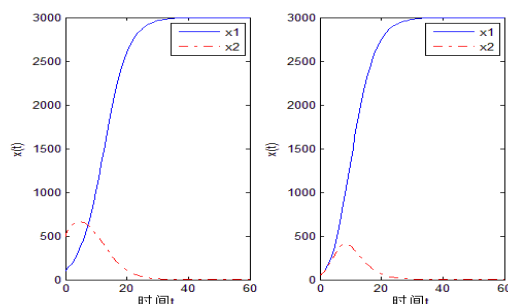


图 1 x_1 和 x_2 动态变化趋势
(P_2 为稳定节点)

从图 1 可以看出, 不论在 x_1 和 x_2 相等的初始条件下, 还是 x_2 大于 x_1 的初始条件下, 随着时间 t 的增加, x_1 一直增加, x_2 先增加到最大值, 而后减少, 在 30 个时间单位处, x_1 趋向最大值 3000, x_2 趋向 0(消亡), 达到稳定状态.

在这种情况下, 理性消防安全意识在传播过程中逐渐取代危险消防安全意识, 对应的学生人数也达到最大值, 而危险消防安全意识逐渐减少、消亡. 其稳态结果正是高校消防安全管理工作期望达到的理想状态, 但由于受到外界环境和突发事件等因素的影响, 学生会或多或少、有意识或无意识地短暂出现危险消防安全意识, 故该状态在高校的实际情况中是不可能出现的.

2.2 危险状态平衡点仿真分析

当平衡点 P_3 为唯一稳定的节点时, $\sigma_{21} < 1$, 且 $\sigma_{12} > 1$. 假设 $\sigma_{21} = 0.5$, $\sigma_{12} = 1.5$, 其他参数设置保持不变(参照图 1 各参数设置), 在上述两种初始条件下的动态变化趋势如图 2 所示.

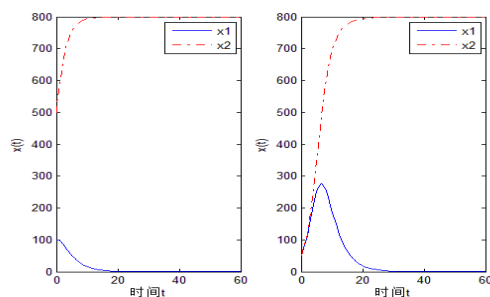


图 2 x_1 和 x_2 动态变化趋势
(P_3 为稳定节点)

从图 2 可以看出, 在两种初始条件下, 随着时间 t 的增加, 在初始条件(1)下 x_1 减少, x_2 一直增加, 在 20 个时间单位处, x_2 趋向最大值 800, x_1 趋向 0(消亡), 达到稳定状态; 在初始条件(2)下, x_1 先增加到最大值, 而后减少,

x_2 一直增加, 在 30 个时间单位处, x_2 趋向最大值 800, x_1 趋向 0(消亡), 达到稳定状态.

在这种情况下, 危险消防安全意识在传播过程中逐渐取代理性消防安全意识, 对应的学生人数也达到最大值, 而理性消防安全意识逐渐减少、消亡. 这是高校消防安全管理工作中出现的最危险情况, 为火灾事故发生埋下了严重的安全隐患. 在高校消防安全管理工作的引导和监管下, 该危险状态也是不存在的, 但也要警惕危险消防安全意识在高校传播中给学生产生的影响以及潜在的火灾安全隐患, 因此需要加强必要的教育和管理来改善、避免此类情况的出现和扩展.

2.3 实际状态平衡点仿真分析

当平衡点 P_4 为唯一稳定的节点时, $\sigma_{21} < 1$, 且 $\sigma_{12} < 1$. 假设 $\sigma_{21} = 0.5$, $\sigma_{12} = 0.5$. 其他参数设置保持不变(参照图 1 各参数设置), 此时 P_4 的坐标为(2000, 534) 在上述两种初始条件下的动态变化趋势如图 3 所示.

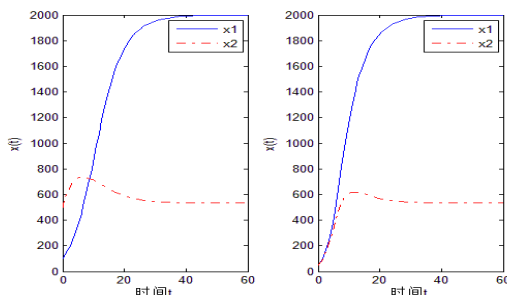


图 3 x_1 和 x_2 动态变化趋势
(P_4 为稳定节点, $\sigma_{21} = \sigma_{12} < 1$, $r_1 = r_2$)

从图 3 可以看出, 在两种初始条件下, 随着时间 t 的增加, x_1 一直增加, x_2 先增加到最大值, 而后略有减少, 在 45 个时间单位处, x_1 趋向 2000, x_2 趋向 534, 达到稳定状态.

在这种情况下, x_1 和 x_2 经过竞争出现了共存的现象, 这是高校消防安全管理工作中符合实际情况且普遍存在的状态. 但由于各个高校消防安全管理工作重视、制定、开展、实施、执行情况的差异, 致使二者共存所达到的最终平衡状态各不相同, 从而使理性消防安全意识的学生人数所占比例不尽相同. 通过高校消防安全管理机制的改善和监督教育工作的实施, 最终使具有理性消防安全意识的学生人数应该尽可能地达到最大, 具有危险消防安全意识的学生人数应该尽可能地减少至较小范围, 从而可以减小发生火灾事故

的概率. 而图 3 中, x_2 的稳态值较大, 为使其能保持在较小地范围, 可以增加 x_1 在传播过程中的竞争系数 σ_{21} , 减少 x_2 在传播过程中的竞争系数 σ_{12} . 这里, 增加 σ_{21} 至 0.8, 减少 σ_{12} 至 0.2, 即 $\sigma_{21} = 0.8$, $\sigma_{12} = 0.2$. 其他参数设置保持不变(参照图 1 各参数设置), 此时 P_4 的坐标为(2857, 190), 在上述两种初始条件下的动态变化趋势如图 4 所示.

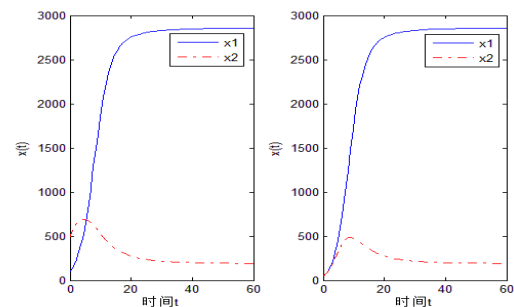


图 4 x_1 和 x_2 动态变化趋势
(P_4 为稳定节点, $\sigma_{21} < \sigma_{12} < 1$, $r_1 = r_2$)

从图 4 可以看出, 在两种初始条件下, 随着时间 t 的增加, x_1 一直增加, x_2 先增加到最大值, 而后减少, 在 50 个时间单位处, x_1 趋向 2857, x_2 趋向 190, 达到稳定状态. 通过对该模型结构参数的优化, 即增加 x_1 在传播过程中的竞争系数 σ_{21} , 减少 x_2 在传播过程中的竞争系数 σ_{12} , 实现了高校消防安全管理工作期望的目标, 且符合实际情况. 根据图 4 描述的 x_1 和 x_2 传播的动态过程, 画出其相轨线, 如图 5(初始条件(1)、(2)的开始位置分别用“+”和“*”标记, 终点平衡位置用“o”标记)所示.

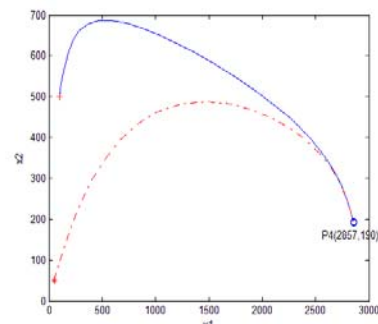


图 5 x_1 和 x_2 动态变化趋势
(P_4 为稳定节点, $\sigma_{21} < \sigma_{12} < 1$, $r_1 = r_2$)

从图 5 中可以看出, 两种初始条件下, x_1 和 x_2 的相轨线最终都趋于平衡点 P_4 (2857, 190). 借助于图 4 中 x_1 和 x_2 的变化趋势, 可以利用稳定性理论^[12]进行分析. 由式(1)和(2)可知 x_1 和 x_2 的增减由 $\varphi = 1 - x_1/N_1 - \sigma_{12}x_2/N_2$,

$\psi = 1 - x_2/N_2 - \sigma_{21}x_1/N_1$ 决定. 在 $\sigma_{21} < 1$, $\sigma_{12} < 1$ 时, $\varphi = 0$, $\psi = 0$ 将相平面分为三个区域: $S_1: \dot{x}_1 > 0, \dot{x}_2 > 0$; $S_2: \dot{x}_1 > 0, \dot{x}_2 < 0$; $S_3: \dot{x}_1 < 0, \dot{x}_2 < 0$. 在三个区域内分别选取一个初始点, 分别观察其变化趋势, 如图 6 所示.

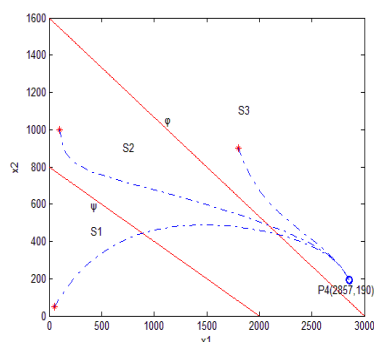


图 6 x_1 和 x_2 变化趋势的稳定性分析
(P_4 为稳定节点, $\sigma_{12} < \sigma_{21} < 1$, $r_1 = r_2$)

从图 6 中可以看到, 随着时间 t 的增加, 三个区域的解都趋向 $P_4(2857, 190)$, 所以 P_4 是稳定的. 综上所述, 在 $\sigma_{21} = 0.8 < 1$, $\sigma_{12} = 0.2 < 1$ 的情况下, x_1 总趋向 2857, x_2 总趋向 190. 实现了期望目标, 使理性消防安全意识得到了广泛、最大传播, 危险消防安全意识减小趋于一较小范围.

上述的仿真结果虽然验证了该情况下 P_4 是唯一稳定的平衡点, 即 x_1 趋向于 2857, x_2 趋向于 190, 但这是在两类消防安全意识的传播速率相同($r_1 = r_2 = 0.5$)的情况下得出的结论. 假设 x_2 传播速率大于 x_1 的传播速率, 即 $r_1 = 0.5$, $r_2 = 3.5$, 其他参数设置保持不变(仍为图 4 中的各参数设置值), 再次进行仿真, 观察此时两类消防安全意识传播的动态变化趋势是否发生改变, 其仿真结果如图 7 所示.

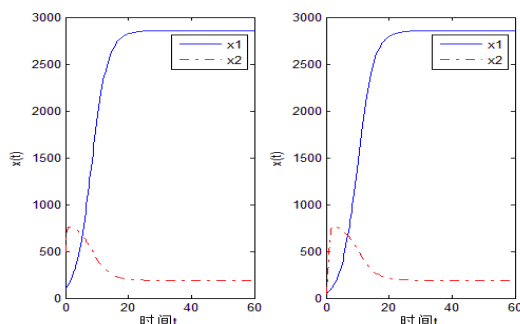


图 7 x_1 和 x_2 动态变化趋势
(P_4 为稳定节点, $\sigma_{21} < \sigma_{12} < 1$, $r_1 < r_2$)

由图 7 可以看出, 在 $\sigma_{21} = 0.8 < 1$, $\sigma_{12} = 0.2 < 1$ 的情况下, 即使 x_2 传播速率大于 x_1 的传播速率, 随着时间的增加, x_1 依旧趋向 2857, 由于 x_2 的传播速率变大, 导致其拐点值变大, 但最终依旧趋向 190, 证明了传播速率的大小并不影响 x_1 和 x_2 所能达到的最终稳定平衡状态, 其稳定状态与竞争系数 σ_{21} 和 σ_{12} 的选取设置有关.

为了更加清楚地说明竞争系数 σ_{21} 、 σ_{12} 的改变对其稳定状态产生的影响, 分别选取危险消防安全意识的竞争系数 $\sigma_{12} = 0.5$, $\sigma_{12} = 0.4$, $\sigma_{12} = 0.3$, $\sigma_{12} = 0.2$, $\sigma_{12} = 0.1$, 对应的理性消防安全意识的竞争系数 $\sigma_{21} = 0.5$, $\sigma_{21} = 0.6$, $\sigma_{21} = 0.7$, $\sigma_{21} = 0.8$, $\sigma_{21} = 0.9$. 保持两类消防安全意识的传播速率相同($r_1 = r_2 = 0.5$), 其他参数条件设置不变, 对该 5 组数据参数进行仿真, 观察在两种初始条件下, x_1 、 x_2 各自稳定状态的变化情况. 其仿真结果如图 8 所示.

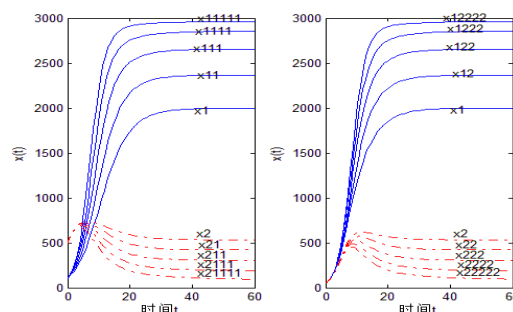


图 8 5 组不同竞争系数下 x_1 和 x_2 动态变化趋势

从图 8 中可以看出, 在两种初始条件下, 随着理性消防安全意识的竞争系数 σ_{21} 的不断增大, 理性消防安全意识的学生人数 x_1 的最终稳态值不断增加, 与此同时, 随着危险消防安全意识的竞争系数 σ_{12} 的不断减小, 危险消防安全意识的学生人数 x_2 的最终稳态值不断减少; x_1 、 x_2 最终所达到的稳态值和竞争系数 σ_{21} 和 σ_{12} 的变化息息相关.

因此, 只有加强高校消防安全文化平台建设, 适时展开消防安全实践演练, 及时通报社会上出现的火灾新问题、新情况, 用事实教育引起学生的重视, 并利用新媒体网络平台在微信平台、人人网公共主页、腾讯、新浪微博等发布“消防安全教育”相关信息, 不断提升理性消防安全意识的竞争系数 σ_{21} , 遏制和减少危险消防安全意识的竞争系数 σ_{12} , 才能使理性消防安全意识在校园中得到广泛传播, 危险消防安全意识逐渐减少甚至消亡, 保证具有理性消防安全意识的学生人数尽可能最大, 减少甚至消除危险消防安全意识在高校传播对学生造成的

不良影响,进而有效推动高校消防安全的管理和建设.

3 结语

本文借用生态学种群动态竞争关系的 LV 模型,探讨两类消防安全意识在校园的动态传播过程,通过数学分析和仿真对模型平衡点的稳定性和物理意义进行界定,找出符合高校实际情况和需求的模型及其影响因素,进而优化该模型结构,达到高校消防安全管理工作的期望目标.最后,结合高校消防安全管理工作,提出相应措施来实现模型结构参数的优化,控制引导高校学生的理性消防安全意识传播,抑制和消除高校学生的危险消防安全意识传播,有效地减少和预防高校火灾事故的发生,为学生创建一个和谐安全的生活学习环境,维护高校乃至整个社会的有序、稳定.

参考文献

- 1 公安消防局.中国火灾统计年鉴 2011.北京:中国人事出版社,2011:2-3.
- 2 田悦,龚大志,杨露新.武大“2.19”火灾原因:使用电热毯不当.楚天金报,2003,02,21.
- 3 张太凌.中央民族大学学生宿舍插座短路引发火灾.新京报,2008-05-08.
- 4 彭浩.上海商学院发生火灾,四名女生跳楼身亡.武进日报—数字日报,2008-11-15.
- 5 于广涛,王二平,李永娟.安全文化在复杂社会技术系统安全控制中的作用.中国安全科学学报,2003,13(10):8-11.
- 6 Asgary A, Naini AS, Levy J. Intelligent security systems engineering for modeling fire critical incidents: Towards sustainable security. J Syst Sci Syst Eng, 2009, 18(4): 477-488.
- 7 贾水库,田斌.层次分析法在高层学生公寓火灾危险性评价中的应用.中国安全科学学报,2009,19(15):114-118.
- 8 黄雅楠,谢正文.高校学生宿舍火灾模糊综合评价研究.专题论述,2009,04.
- 9 Takeuchi Y. Diffusion-mediated persistence in two-species competition Lotka-Volterra model. Math. Biosci, 1989, 95: 65-83.
- 10 白先春,唐德善. Logistic 模型的修正及其应用.南京工程学院学报(自然科学版),2004,2(2):15-20.
- 11 钟琪,戚巍,张乐. Lotka-Volterra 系统下的社会型危机信息扩散模型.系统工程理论与实践,2012,32(1):104-110.
- 12 毛凯,李日华.种群竞争模型的稳定性分析.生物数学学报,1999,14(3):288-292.