

噪声对集合种群稳定性的影响*

王参军¹⁾ 李江城²⁾ 梅冬成^{2)†}

1) (宝鸡文理学院非线性研究所, 宝鸡 721016)

2) (云南大学物理系, 昆明 650091)

(2011年11月28日收到; 2012年2月11日收到修改稿)

本文在 Levins 模型的基础上研究了噪声对集合种群的稳定性的影响. 应用 Fokker-Planck 方程得到了系统的稳态概率分布函数和平均灭绝时间. 经过数值分析, 结果如下: 无关联 ($\lambda = 0$ λ 为加性噪声和乘性噪声之间的关联强度) 时, 加性噪声强度 α 和乘性噪声强度 D 均弱化集合种群的稳定性; 噪声之间关联 ($\lambda \neq 0$) 时, 随着 λ 的增大, 系统的稳定性被增强. 当 $-(c - e - D)^2 / (4c\sqrt{D\alpha}) < \lambda < 1$ 时, λ 诱导“共振抑制”现象. D 存在一个临界值, 小于临界值时, D 可以增强系统的稳定性.

关键词: 集合种群, Levins 模型, 噪声, 稳定性

PACS: 05.40.-a, 02.50.Ey

1 引言

“集合种群”的概念最初由 Levins 在研究小环境中的物种因受环境的影响, 非常容易灭绝这种生态现象而提出的, 其定义为:“由经常局部性绝灭, 但又重新定居而再生的种群所组成的种群^[1,2]”, 也就是说, 集合种群是由空间上彼此隔离, 而在功能上又相互联系的两个或两个以上的亚种群或局部种群组成的种群斑块系统. 基于 Levins 模型基础上, 生态学家在集合种群方面做了大量的研究^[3-10]. 现在, Levins 模型被誉为集合种群之母. 然而, 之前的工作大部分局限于确定性 Levins 模型, 忽略了外部环境和斑块内部的波动效应(噪声).

然而, 大量的研究表明噪声在非线性系统中充当了非常重要的角色. 尤其是在双稳系统^[11-15], 生物系统^[16-20]中, 噪声效应被广泛研究, 发现了很多有意义的现象. 例如, 关联噪声在双稳系统中可以破坏系统的对称性, 诱导类相变^[14]. 噪声诱导双稳系统出现重入现象^[21]. 噪声对称双物种竞争模型中的影响^[22]. 噪声可以抑制肿瘤增长^[23]等

等. 此外, 噪声对随机共振的影响也被研究^[24-27].

文献 [28] 在简化的率函数模型基础上研究了延迟时间对集合种群稳定性的影响. 本文基于 Levins 模型, 考虑集合种群的演化过程中不可预算事件(噪声)^[29,30]. 例如由于意外的霜冻会使个体的死亡率增加, 同时在寒冷多雨的春季也会使得个体的交配成功率很低. 这种环境随机性是由于一些环境上的原因导致了个体之间相关的出生和死亡事件. 另外一方面, 异质种群是斑块生境中小种群的集合这些种群在空间上存在隔离, 彼此间通过个体扩散而相互联系. 则在集合种群内部局部种群之间具有相互作用. 局部种群趋于灭绝时, 个体数量非常少, 具有很大的随机性. 基于以上原因建立随机集合种群模型, 通过稳态概率分布和平均灭绝时间讨论了噪声对系统稳定性的影响.

2 模型

作为一种最简单的情形, Levins 假定: 1) 一个种群是生存在由许多相似的生境斑块所构成的环境中即假定这些生境斑块在生态学意义上是完全

* 国家自然科学基金(批准号: 11165016), 陕西省自然科学基金(批准号: 2010JQ1014), 陕西省教育厅科研计划(批准号: 12JK0962)和宝鸡文理学院重点科研项目(批准号: ZK11053)资助的课题.

† E-mail: meidch@ynu.edu.cn

相同的. 2) 当一个生境斑块被一个局部种群所占据时, 这个局部种群的大小就被定义为 K 反之当一个生境斑块尚未被占据或者在这个生境斑块内的局部种群已经灭绝时对应于这个生境斑块的局部种群的大小就被抽象地定义为 0. 3) 局部种群的动态是被忽略的. 即总是将局部种群的动态与局部种群的灭绝和新的局部种群的建立过程区别开来. 4) 个体在不同的生境斑块之间的迁移过程被认为是完全相同的, 换句话说个体在不同的生境斑块之间的迁移并不会受到生境斑块的空间格局的影响. 5) 新的局部种群的建立速率不仅与已被占据的生境斑块的比例 x 成正比而且也与尚未被占据的生境斑块的比例 $1 - x$ 成正比. 6) 为了忽略样本随机性对于异质种群动态的影响可假定生境斑块的数量是充分大的. 依据以上的 6 个基本假定 Levins 模型可表示为 [1,2]

$$\frac{dx(t)}{dt} = cx(1 - x) - ex, \quad x \in [0, 1], \quad (1)$$

其中 x 被占据的生境斑块的比例, 取值为 $0 \leq x \leq 1$. e 被定义为是局部种群的灭绝率, c 是一个与扩散个体侵入空的生境斑块有关的参数 (在这里所谓侵入指扩散个体不仅能够迁入一个空的生境斑块并且还能够在这个空的生境斑块内建立起新的局部种群的过程). 上式的稳态值 (非平凡平衡值) 为

$$x_s = 1 - \frac{e}{c}. \quad (2)$$

当 e/c 减小时, 侵占斑块的比率在平衡态增长. 然而, 当 $e/c < 1.0$ 时, 集合种群必定会持续地存在下去 ($x > 0$). 虽然, Levins 模型很简单, 但是它显示了集合种群的重要贡献: 如果集合种群持续存活, 局部种群重建率远大于灭绝率. 具体讲, $e/c < 1.0$ 显示一个被空白斑块包围的局域种群 (当 x 很小时) 在其生存期 ($1/e$) 内必需至少建立一个新种群才能使集合种群续存下去.

在上面介绍的确定性 Levins 模型中, 仅仅有一个非平凡平衡值, 如果不考虑集合种群外部的环境扰动和种群内部的随机因素, 集合种群可能持续存活下去. 然而, 真正的种群演化过程并非如此. 集合种群的演化过程中不可预算事件 (噪声) 是客观存在的 [29,30]. 例如由于意外的霜冻会使个体的死亡率增加, 同时在寒冷多雨的春季也会使得个体的交配成功率很低. 这种环境随机性是由于一些环境上的原因导致了个体之间相关的出生和死亡事件. 这里我们考虑随机环境因素影响灭绝率 e , 用

典型的高斯白噪声 $\xi(t)$ 代表环境波动. 所以, 灭绝率 $e \rightarrow e + \xi(t)$. 另外一方面, 异质种群是斑块生境中小种群的集合这些种群在空间上存在隔离, 彼此间通过个体扩散而相互联系. 则在集合种群内部局部种群之间具有相互作用. 局部种群趋于灭绝时, 个体数量非常少, 具有很大的随机性, 这里我们认为这种随机性为种群内部的随机性. 引入高斯白噪声 $\eta(t)$ 表示这种内部随机性. 内部噪声和外部噪声是非同源的, 但由于外部环境的涨落可以影响内部因素的涨落, 所以内外噪声就不再是独立的, 它们之间也存在关联. 综合以上因素, 根据方程 (1) 得到集合种群的随机演化方程 (Langevin 方程) [31-33]

$$\begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= cx(1 - x) - ex - x\xi(t) + \eta(t), \\ x &\in [0, 1], \end{aligned} \quad (3)$$

上式中 $\xi(t)$ 和 $\eta(t)$ 为高斯白噪声, 其统计性质为

$$\langle \eta(t) \rangle = \langle \xi(t) \rangle = 0, \quad (4)$$

$$\langle \xi(t)\xi(t') \rangle = 2D\delta(t - t'), \quad (5)$$

$$\langle \eta(t)\eta(t') \rangle = 2\alpha\delta(t - t'), \quad (6)$$

$$\langle \eta(t)\xi(t') \rangle = 2\lambda\sqrt{D\alpha}\delta(t - t'). \quad (7)$$

D 和 α 分别表示噪声 $\xi(t)$ 和 $\eta(t)$ 的强度. λ 表示噪声 $\xi(t)$ 和 $\eta(t)$ 之间的关联强度.

3 噪声对集合种群稳定性的影响

应用 Stratonovich 积分得到方程 (3)–(7) 对应的 Fokker-Planck 方程 [34,35]

$$\begin{aligned} \frac{\partial P(x, t)}{\partial t} &= -\frac{\partial}{\partial x} A(x)P(x, t)dx \\ &+ \frac{\partial^2}{\partial x^2} B(x)P(x, t)dx, \end{aligned} \quad (8)$$

其中 $P(x, t)$ 概率分布函数, $A(x)$ 和 $B(x)$ 分别为

$$A(x) = cx(1 - x) - ex + Dx - \lambda\sqrt{D\alpha}, \quad (9)$$

$$B(x) = Dx^2 - 2\lambda\sqrt{D\alpha}x + \alpha. \quad (10)$$

在定态情况下, 从方程 (8)–(10) 可以得到其定态概率率分布函数为

$$P_{st}(x) = \frac{N}{\sqrt{B(x)}} \exp\left[-\frac{U(x)}{D}\right], \quad (11)$$

其中 N 为归一化常数, $U(x)$ 是系统的修正势, 表达式如下:

$$U(x) = cx + \frac{1}{2} \left[2c\lambda\sqrt{\frac{\alpha}{D}} + (e - c) \right]$$

$$\begin{aligned} & \times \ln \left[\left(\frac{(x - \lambda\sqrt{\alpha/D})^2}{(1 - \lambda^2)\alpha/D} + 1 \right) \right] \\ & + \left[\frac{c(\lambda\sqrt{\alpha/D})^2 + (e - c)\lambda\sqrt{\alpha/D}}{\sqrt{(1 - \lambda^2)\alpha/D}} \right] \\ & - \sqrt{(1 - \lambda^2)\frac{\alpha}{D}c} \\ & \times \arctan \frac{x - \lambda\sqrt{\alpha/D}}{\sqrt{(1 - \lambda^2)\alpha/D}}. \end{aligned} \quad (12)$$

对集合种群, 生态学家关心的是在什么时候种群趋于灭绝 [36,37]. 这里我们用平均首通时间衡量灭绝时间. 即集合种群从稳定态 x_s 趋于灭绝态 x_0 所需的时间 [33]. 灭绝时间 T_{ex} (平均首通时间) 定义为 [38,39]

$$T_{\text{ex}}(x_0 \rightarrow 0) = \int_{x_0}^0 \frac{dy}{B(y)P_{\text{st}}(y)} \int_{1.0}^y P_{\text{st}}(z) dz, \quad (13)$$

x_0 是稳态概率分布曲线的峰值所对应的位置, 由下列二次方程决定:

$$cx^2 - (c - e - D)x - \lambda\sqrt{D\alpha} = 0, \quad (14)$$

由于 $0 < x \leq 1$, 可以从方程 (14) 得到 x_0 为

$$x_0 = \frac{1}{2c} \left[(c - e - D) + \sqrt{(c - e - D)^2 + 4c\lambda\sqrt{D\alpha}} \right]. \quad (15)$$

根据方程 (11) 和 (13) 可以讨论集合种群的稳态性质和灭绝时间. 下面分为无关联 $\lambda = 0$ 和关联 $\lambda \neq 0$ 两种情况讨论.

当内噪声和外噪声之间不存在关联时, 即 $\lambda = 0$. 当其他参数固定, D 和 α 变化时, 根据方程 (11) 做出稳态概率分布函数 $P_{\text{st}}(x)$ 作为 x 的函数, 如图 1(a) 和 (b) 所示. 图 1(a) 为 $D = 0.1$ 时, $P_{\text{st}}(x)$ 作为 x 和 α 的函数. 从图 1(a) 可以看出: 随着 α 的增大, $P_{\text{st}}(x)$ 在 x_0 处的峰值变小. 即被占据的生境斑块的比例在 x_0 处的概率减小. 因 x_0 代表的是系统的稳态值, 所以 α 的增大弱化了集合种群的稳定性. 然而, 峰值所在的位置 x_0 不随 α 变化. 从方程 (15) 也可得到同样的结论. 当 $\lambda = 0$, 可得 $x_0 = \frac{c - e - D}{c}$, x_0 仅仅由 D 决定, 与 α 无关. 图 1(b) 为 $\alpha = 0.01$ 时, $P_{\text{st}}(x)$ 作为 x 和 D 的函数. 从图中可以看出, 随着 D 的增大, $P_{\text{st}}(x)$ 曲线的峰值首先降低, 且峰值的位置从 x_0 向 $x = 0$ 转变, 当 D 增大到某一临界值 ($D = c - e$) 时, 峰值逐渐消失, $P_{\text{st}}(x)$ 曲线变为单调递减曲线. 这表明, D 的增大可以促使集合种群灭绝. 集合种群从稳定

态 x_0 转向灭绝态, 即从系统从一稳定态向另一稳定态转变, 发生相变. 由于 x_0 为被占据的生境斑块的比例, 取值范围为 $0 \leq x_0 \leq 1$. 从方程 (15) 可以得到: 当 $\lambda = 0, D < (c - e)$ 时, x_0 才有意义. 故存在一个临界值 $D = c - e$, 图 1 中我们选取的参数得到的临界值为 $D = 0.6$.

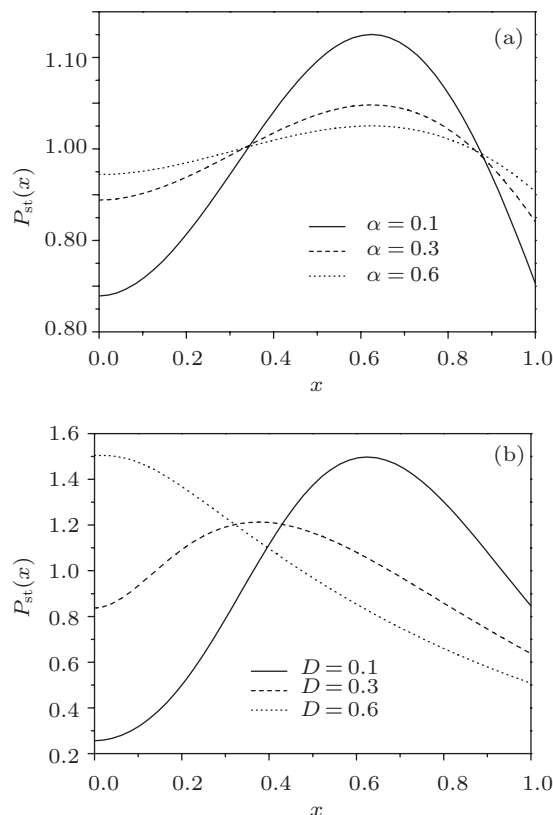


图 1 稳态概率分布函数 $P_{\text{st}}(x)$ 作为 x 的函数 (其他参数为: $\lambda = 0, c = 0.8$ 和 $e = 0.2$) (a) 加性噪声强度 α 变化; (b) 乘性噪声强度 D 变化

根据方程 (11)—(13), 经过数值计算, 在 $\lambda = 0$ 时, 做出平均灭绝时间 T_{ex} 作为 D 和 α 的图像如图 2 所示. 可以看到, 随着 D 和 α 的增大, 集合种群的灭绝时间 T_{ex} 单调快速递减. 值得注意的是, 当 D 增大到一定值 ($D = c - e$) 时, 灭绝时间变为零, 即集合种群完全灭绝. 这表明随着噪声的增强, 集合种群将会很容易灭绝.

我们进一步考虑噪声之间存在关联 $\lambda \neq 0$ 的情况. 根据方程 (11), (12), 取 $D = 0.5$ 和 $\alpha = 0.1$ 做出 $P_{\text{st}}(x)$ 作为 x 的函数, 如图 3 所示. 在 $-1 < \lambda < -0.014$ 范围内, $P_{\text{st}}(x)$ 曲线单调递减, $P_{\text{st}}(x)$ 无峰值. 当 λ 增大到某一很小的临界值峰值出现. 这说明在给定的噪声扰动下, 负关联情况下, 集合种群的稳态 x_0 最初不存在, 集合种群不稳定, 然而随着 λ 增大, 稳态 x_0 出现, 集合种群逐渐变的稳定.

然而, 在 $0 < \lambda < 1$ 范围内, 稳态概率分布曲线在稳态 x_0 总具有峰值, 且随着 λ 的增大, 概率峰变窄变高, 这表明在正关联情况下, 关联强度 λ 的增大, 占据的生境斑块的比例增大, 因此系统的稳定性得到加强.

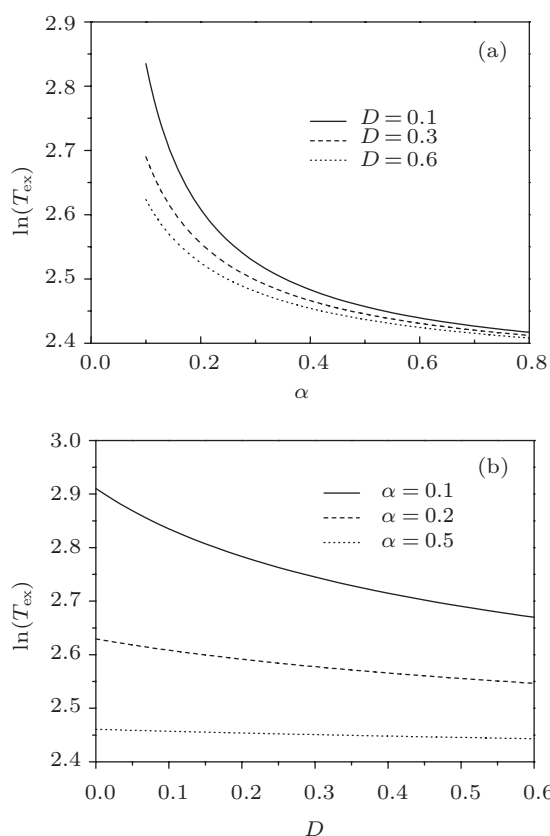


图 2 灭绝时间 T_{ex} 作为噪声强度的函数 (参数为 $\lambda = 0$, $c = 0.8, e = 0.2$) (a) 加性噪声强度 α ; (b) 乘性噪声强度 D

我们也可以由方程 (15) 式对上面的现象进行解释. 为保证方程 (15) 式有意义, 即要求 $x_0 \geq 0$, 可得到 $\lambda = -(c - e - D)^2 / (4c\sqrt{D\alpha})$, 当 $\lambda > -(c - e - D)^2 / (4c\sqrt{D\alpha})$ 时, x_0 有意义, 即 $P_{\text{st}}(x)$ 出现峰值. 在图 3 中取 $c = 0.8, e = 0.2, D = 0.5, \alpha = 0.1$, 得到临界值为 $\lambda = -0.014$. 因此, 在 $-(c - e - D)^2 / (4c\sqrt{D\alpha}) < \lambda < 1$ 区间, 随着 λ 的增大, 概率峰变窄变高, 占据的生境斑块的比例增大, 系统的稳定性得到加强.

根据前面的分析可知, 在负关联情况下, 集合种群系统是不稳定的, $-\lambda \rightarrow 0$ 时才出现稳定态. 在这一区域灭绝时间也无从谈起. 因此, 我们只考虑了正关联情况下的平均灭绝时间. 图 4 为正关联情况下, 平均灭绝时间 T_{ex} 随着 λ 的变化情况. 灭绝时间 T_{ex} 随 λ 的增加而增大, 表明集合种群从稳定态到灭绝态需要的时间变长, 也就是集合种群稳定

性增强.

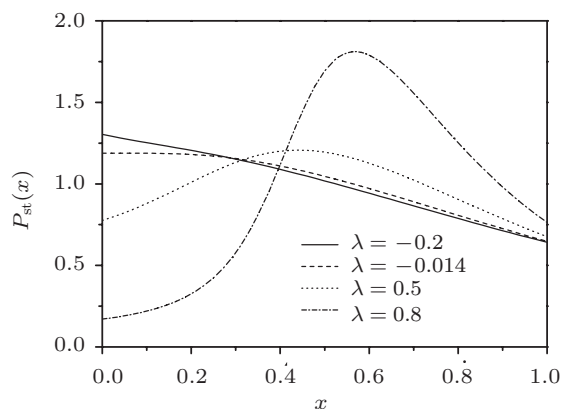


图 3 稳态概率分布函数 $P_{\text{st}}(x)$ 作为 x 和关联强度 λ 的函数 (其他参数为 $c = 0.8, e = 0.2, D = 0.5$ 和 $\alpha = 0.1$)

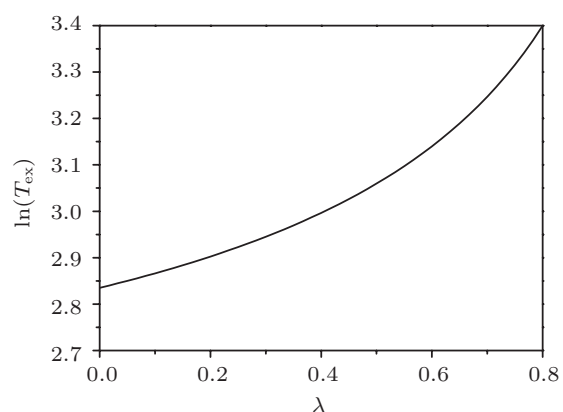


图 4 灭绝时间 T_{ex} 作为关联强度 λ 的函数 (其他参数为 $c = 0.8, e = 0.2, D = 0.1, \alpha = 0.1$)

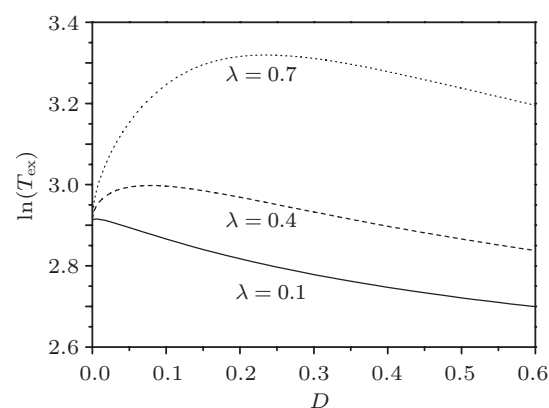


图 5 平均灭绝时间 T_{ex} 作为乘性噪声强度 D 的函数 (其他参数为 $c = 0.8, e = 0.2, \alpha = 0.1, \lambda = 0.1, 0.4, 0.7$)

图 5 为 $\lambda \neq 0$ 时, α 给定, T_{ex} 随着 D 的变化出现一个类似于共振峰的极大值, 且 λ 越大共振愈明显. 这是一种抑制状态. 表明存在一个临界值 D , 在临界值两侧, T_{ex} 随 D 的增大呈现出相反的变化. 当 D 小于临界值 D 时, 集合种群从稳定态向灭绝态的转变需要的时间变长, 即系统的稳定性增强.

但是当 D 大于临界值 D_c 时, 集合种群从稳定态向灭绝态转变的时间变短. 这里要强调的是, 无关联时, $T_{\text{ex}}-D$ 平台上没有抑制峰的出现, 只有内外部噪声之间存在关联时, 共振抑制现象才出现.

4 结论

在 Levins 模型的基础上研究了噪声对集合种群稳定性的影响. 应用 Fokker-Planck 方程得到了系统的稳态概率分布函数和平均灭绝时间. 经过数值分析, 结果如下:

1. 无关联时, 加性噪声强度 α 和乘性噪声强度 D 均弱化集合种群的稳定性. α 不影响稳态的位置, 并不能促使稳定态消失. D 的增大可以改变稳

定态 x_0 的位置, 使得 $x_0 \rightarrow x = 0$, 即集合种群从稳定态向灭绝态转化. 随着 D 和 α 的增大, T_{ex} 均单调递减, 表明集合种群从稳定态向灭绝态转变需要的时间变短, 这也反映了 D 和 α 弱化了系统的稳定性. 以上的结论表明: D 和 α 均可以促使 x_0 位置处占据的生境斑块的的比例的概率减小, 即占据的生境斑块的的比例减小, 系统的稳定性削弱.

2. 噪声之间关联时, 随着 λ 的增大, 系统从不稳态逐渐转化为稳定态, 即 λ 可以促使 x_0 位置处占据的生境斑块的的比例的概率增大, 增强系统的稳定性. 当 $-(c - e - D)^2 / (4c\sqrt{D\alpha}) < \lambda < 1$ 时, T_{ex} 随着 D 的变化出现了抑制现象, D 存在一个临界值, 小于临界值时, D 是增强系统的稳定性的.

- [1] Levins R 1969 *Bull. Entomol. Soc. Am.* **15** 237
- [2] Levins R 1970 *Lect. Notes. Math.* **2** 75
- [3] Gilpin M E, Hanski I 1991 *Metapopulation Dynamics: Empirical and Theoretical Investigations* (London: Academic Press) p336
- [4] Hanski I, Pakkala T, Kuussaari M, Lei G 1995 *Oikos* **72** 21
- [5] Moilanen A, Hanski I 1998 *Ecology* **79** 2503.
- [6] Hastings A, Harrison S 1994 *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **25** 167
- [7] Harrison S 1991 *Biol. J. Linn. Soc.* **42** 73
- [8] Ovaskainen O, Sato K, Bascompte J, Hanski I 2002 *J. Theor. Biol.* **215** 95
- [9] Bascompte J 2001 *J. Theor. Biol.* **209** 373
- [10] Hanski I A 1994 *J. Animal Ecol.* **63** 151
- [11] Jung P, Hänggi P 1989 *Europhys. Lett.* **8** 505
- [12] Jia Y, Zhang X P, Hu X M and Li J R 2001 *Phys. Rev. E* **63** 031107
- [13] Wei X Q, Cao L, Wu D J 1995 *Phys. Lett. A* **207** 338
- [14] Wu D J, Cao L, Ke S Z 1994 *Phys. Rev. E* **50** 2496
- [15] Mei D C, Xie G Z, Cao L, Wu D J 1999 *Phys. Rev. E* **59** 3880
- [16] Mei D C, Xie G Z, Zhang L 2004 *Eur. Phys. J. B* **41** 107
- [17] Ai B Q, Wang X J, Liu G T, Liu L G 2003 *Phys. Rev. E* **67** 22903
- [18] Cai J C, Wang C J, Mei D C 2007 *Chin. Phys. Lett.* **24** 1162
- [19] Wang C J 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 010503 (in Chinese) [王参军 2012 物理学报 **61** 010503]
- [20] Wang C J 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 050501 (in Chinese) [王参军 2012 物理学报 **61** 050501]
- [21] Jia Y, Li J R 1997 *Phys. Rev. Lett.* **78** 994
- [22] Vilar J M G, Solé R V 1998 *Phys. Rev. Lett.* **80** 4099
- [23] Wang C J, Wei Q, Zheng B B, Mei D C 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 1375 (in chinese) [王参军, 魏群, 郑宝兵, 梅冬成 2008 物理学报 **57** 1375]
- [24] Zhu S 1993 *Phys. Rev. A* **47** 2405
- [25] Zhang L Y, Cao L, Wu D J 2002 *Chin. Phys.* **11** 353
- [26] Xie C W, Mei D C 2004 *Phys. Lett. A* **323** 421
- [27] Cao L, Wu D J 1999 *Phys. Lett. A* **260** 126
- [28] Li J C, Mei D C 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** (in chinese) 6792 [李江城, 梅冬成 2008 物理学报 **57** 6792]
- [29] Hofbauer J, Sigmund K 1998 *Evolutionary Games and Population Dynamics* (Cambridge: Cambridge University Press) p91
- [30] May R M 1976 *Nature* **261** 459
- [31] Nie L R, Mei D C 2007 *Europhys. Lett.* **79** 20005
- [32] Li J H, Huang Z Q 1998 *Phys. Rev. E* **57** 3917
- [33] Nie L R, Mei D C 2007 *Phys. Lett. A* **371** 111
- [34] Mei D C, Xie G Z, Cao L and Wu D J 1999 *Chin. Phys. Lett.* **16** 327
- [35] Xie C W, Mei D C 2003 *Chin. Phys. Lett.* **20** 813
- [36] Bak P, Sneppen K 1993 *Phys. Rev. Lett.* **71** 4083
- [37] Ovaskainen O, Hanski I 2001 *Theor. Popul. Biol.* **60** 281
- [38] Lindenberg K, West B J 1986 *J. Stat. Phys.* **42** 201
- [39] Masoliver J, West B J, Lindenberg K 1987 *Phys. Rev. A* **35** 3086

Effect of noises on the stability of a metapopulation*

Wang Can-Jun¹⁾ Li Jiang-Cheng²⁾ Mei Dong-Cheng²⁾†

1) (*Nonlinear Research Institute, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji 721016, China*)

2) (*Department of Physics, Yunnan University, Kunming 650091, China*)

(Received 28 November 2011; revised manuscript received 11 February 2012)

Abstract

The Levins model subjected to the noise is employed to study the stability of a metapopulation. The analytic expressions of the stationary probability distribution function and the mean extinction time of the metapopulation are obtained according to the Fokker-Planck Equation. The results show that for the case of no correlation between the additive noise and the multiplicative noise ($\lambda = 0$, λ is the intensity of correlation between multiplicative and additive noise), the increase of the additive noise intensity α and the multiplicative noise intensity D weaken the stability of a metapopulation; for the case of $\lambda \neq 0$, λ enhances the stability of a metapopulation. For $-(c - e - D)^2 / (4c\sqrt{D\alpha}) < \lambda < 1$, λ can induce the “resonance restrain” phenomenon. Meantime, there exists a critical value of D . When D is lower than the critical value, the stability of the system is enhanced.

Keywords: metapopulation, Levins model, noises, stability

PACS: 05.40.-a, 02.50.Ey

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 11165016), the Natural Science Foundation of Shaanxi Province, China (Grant No. 2010JQ1014), the Scientific Research Program Founded by Shaanxi Province Education Department (Grant No. 12JK0962), and the Science Foundation of Baoji University of Science and Arts of China (Grant No. ZK11053).

† E-mail: meidch@ynu.edu.cn