

栖息地毁坏与动物物种灭绝关系的模拟研究

林振山¹, 汪曙光²

(1. 南京师范大学地理科学院, 南京 210097; 2. 南京大学大气科学系, 南京 210093)

摘要: 利用多个物种共存模式模拟了不同情况下的不同动物种群演化的动力学特性, 研究结果表明: (1) 由于栖息地的毁坏所导致的动物物种灭绝是依赖于对物种死亡率和有关平衡态的假设的。不同的假设下, 即使栖息地的破坏率相同, 灭绝的物种可能是竞争能力最强的若干物种, 也可能是竞争能力相对较弱的若干物种。既不象传统的物种进化理论所认为的必是弱的物种先灭绝, 也不象 Tilman 等人所认为的一定是最强的若干物种先灭绝; (2) 如果弱的物种具有较高的平均死亡率, 则当栖息地受到一定的毁坏时, 将有较多强的物种灭绝, 而且物种灭绝时间将大大缩短; (3) 在物种死亡率不变的情形下, 物种在未受毁坏栖息地上的平衡态的大占有率 p^0 , 将有利于物种的生存。

关键词: 物种灭绝; 栖息地毁坏; 种群动力学; 模拟

Study on the Relations Between the Animal Species Extinction and Habitat Destruction

LIN Zhen-Shan¹, WANG Shu-Guang² (1. *The Department of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing, 210097, China*; 2. *The Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(4): 535~540

Abstract: Loss of habitat due to human activities is a major threat to biological diversity. Recently, dynamics models have been used to study the influence of habitat destructions. Using the multi-species co-existence model, we simulated the dynamics of community species evolution under different assumptions in this article. The results include the following: (1) The destruction of habitat will lead to the extinction of animal species. The latter depends on the assumptions of species mortality rates and equilibrium abundance. Even if the destruction of habitat is the same, with different assumptions, the animal species in a community that are driven to extinction can be those that have either strong competitive abilities or relative weak competitive abilities. Species evolution theory took it for granted that species with weak competitive abilities would die out because of the destruction of habitat. And Tilman considered that the extinct species must be those with strong competitive abilities according to the model. But our results are different from the traditional species evolution theory or the theory argued by Tilman. (2) Generally, weak species have high mean mortality rates. Under this assumption, when the habitat is destroyed, a higher number of strong species are made extinct in the community. The extinction time of species will also be much shorter. (3) On the assumptions of the same mortality but different species abundance on the unspoiled habitat, more equilibrium abundance is in favour of species existence in the community.

Key words: habitat destruction; species extinction; model; species dynamics

文章编号: 1000-0933(2002)04-0535-06 中图分类号: Q141 文献标识码: A

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目 (G1988040900-1)

收稿日期: 2001-04-04; 修订日期: 2002-04-10

作者简介: 林振山 (1955~), 男, 福建仙游县人, 博士、教授。主要从事生态-气候研究。

E-mail: zslin@mail.jnu.edu.cn

致谢: 美国新墨西哥大学 Larry Li 教授曾对本文的选题发表了建设性的意见, 谨此致谢。

栖息地的毁坏是动物物种灭绝主要原因之一。一个十分重要的问题是：何种程度上的栖息地的毁坏会导致群落里某些动物物种的灭绝？这种物种灭绝的顺序又是如何？1994 年以前的经典生态理论^[1]认为：当栖息地遭到毁灭性破坏时，群落中是弱的物种种群先灭绝。1994 年 Tilman 与 May 在 Nee & May^[2]的工作基础上联合在 Nature 上提出新理论：当栖息地遭到毁灭性破坏时，是强的动物物种先灭绝，而且被毁灭的栖息地的比例稍微增大将导致大量的、强的物种种群灭绝（注：这里的强弱是根据某不同动物种群所占栖息地的比例而言的）^[3]。即强的种群对环境的适应力很弱，而对栖息地的毁坏极其敏感。由于动物种群演变的长期性，只能通过有关的动力模式来模拟种群的长时间演变。Tilman 等人^[3]在其不同种群竞争共存模式里假设栖息地上的不同动物种群可以严格地通过竞争能力来排序（种群的竞争能力是指其占有栖息地的能力），群落里物种的共存是由于种间的竞争能力和迁移扩散能力以及自然死亡率之间的动态平衡，这种平衡要求竞争力弱的物种具有较强的迁移能力。即：

$$\frac{dp_i}{dt} = c_i p_i (1 - D - \sum_{j=1}^i p_j) - m_i p_i - \sum_{j=1}^{i-1} p_i c_j p_j \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

其中 i 为某种群依照竞争能力在群落中的排序； p_i 为种群 i 对栖息地占有的比率； c_i 为种群 i 的迁移率； m_i 为种群 i 的平均死亡率； D 为被毁坏的栖息地占总的栖息地的比率。

(1) 式是一个平均场方程（假设种群分布具有空间一致性），其右边的 3 项分别表示：某动物种群 i 对栖息地的成功占有；种群 i 因个体得死亡而引起得对栖息地占有的减少；由于竞争因素种群 i 在栖息地上被竞争能力强的种群 j 取代，因此而导致群落里物种的减少。正是这 3 个因素构成了群落里各动物种群占有栖息地比率的变化。当栖息地遭到永久的毁坏（比率为 D ），群落达到新的平衡态里各动物种群对栖息地的占有比率 p_i^e ($dp_i/dt=0$ 的解)，即 (1) 的定态解：

$$p_i^e = \begin{cases} p_i & \text{if } p_i > 0 \\ 0 & \text{if } p_i \leq 0 \end{cases} \left(p_i = 1 - D - \frac{m_i}{c_i} - \sum_{j=1}^i p_j^e \left(1 + \frac{c_j}{c_i} \right) \right) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

要将这个模式应用于某一实际的 n 个动物种群共存于栖息地的情形，还必须对各物种的死亡率和未受破坏栖息地上 ($D=0$) 的平衡态的各物种占的比率 p_i^0 作出假设，以作为动力学系统的初始条件，从而构成完整的动力学系统。由 p_i^0 、 m_i 和 c_i 的关系：

$$p_i^0 = 1 - \frac{m_i}{c_i} - \sum_{j=1}^i p_j^0 \left(1 + \frac{c_j}{c_i} \right) \quad (3)$$

可以得到以下的式子：

$$c_i = \left(m_i + \sum_{j=1}^{i-1} c_j p_j^0 \right) / \left(1 - \sum_{j=1}^i p_j^0 \right) \quad (4)$$

对 p_i^0 和 m_i 的假设应与具体的栖息地的实际情形一致，如 Tilman 等人使用这个模式，模拟了栖息地的破坏对温带雨林和热带雨林不同动物物种种群的影响，模拟结果认为：栖息地的毁坏将导致一些竞争能力最强的动物物种的不可避免的灭绝，其物种灭绝的时间大约为 50~400a^[3]。Tilman 等人提出了有关 p_i^0 和 m_i 4 种假设，但除了其中的一种假设，其它假设虽然有所分析，却并没有通过模拟研究各种假设对于模拟结果的影响^[4]。

本文将对 Tilman^[6]提出的 4 个假设进行动力学模拟，同时还将对作者提出的两个不同的假设进行模拟研究，籍以比较各种假设对模拟结果的显著影响。另一方面，Klausmerier 模拟了 3 个动物物种的情况，指出栖息地的永久毁坏并不总是导致竞争力强的动物种群先灭绝，第二强的物种可以先于第一强的物种而灭绝。既在一定的死亡率和假定平衡态下，栖息地的破坏可以导致某些弱竞争力的动物物种的先灭绝^[5]。将对这个问题进行深入研究，希望能揭示栖息地的毁坏所导致的动物物种灭绝的序与有关假设的关系。

1 种群竞争的动力学模拟

在栖息地遭到破坏时，群落里的各动物种群在竞争能力、自然死亡和迁移扩散能力的共同作用下，达到了某种动态平衡（即 $D=0$ 时的各物种种群的比率 p_i^0 ）。模式 (1) 的迁移率是由该动物种群的死亡率 m_i

和假定栖息地未毁坏时各动物物种对栖息地的占有比率 p_i^0 所决定的, 即(3)式, 后两者在不同栖息地上不同, 并成为影响群落各动物种群演化达到的平衡的主要因子。表 1 给出了 6 种基本假设, 其中 1, 2, 3, 5 四种假设是 Tilman 等人提出的 4 种基本假设^[4], 而第 4 和第 6 两种假设则是根据 Tilman 的 4 个假设所做的补充。

如果沿用 Tilman 的研究而分别取参数 $m = 0.02, q = 0.03$, 栖息地的破坏率为 $D = 1/3$, 则动力系统在上述 6 种不同的假设下的模拟结果分别如图 1a~f 所示。

从图 1 可以看出: 热带和温带雨林由于栖息地的毁坏造成的若干具有较强竞争力动物物种的灭绝是不可避免的。不同假设下的物种竞争动力学的模拟结果的差别在于, 灭绝的物种的数量略有区别, 此后经过很长时间的演化, 群落里各动物种群会达到新的平衡。此外, 在不同的假设下, 有关物种灭绝的时间延滞也有区别。

当栖息地毁坏的比例 D 大于某值时, 群落里首先是最强竞争力的物种灭绝而不是传统所认为的是弱的物种先灭绝的原因是: 具有较强竞争力的动物种群的迁移能力弱, 而那些竞争力弱的动物种群由于它们的具有较强的迁移能力, 因此它们可以在剩余、未被毁坏的栖息地上生存下去。

有必要指出, 在 Case1 里模拟的、有关竞争能力强的那些物种的灭绝延滞时间与 Tilman 在 Case1 的模拟结果并不一致(见图 1a)。模拟结果是: 7 种竞争能力最强的动物种群的灭绝所需的时间是 500~1000a, 甚至更长; 而 Tilman 的模拟结果是 50~400a。Tilman 等人的错误在于: 所取 $D=0$ 时的各物种的比率 p_i^0 并不满足其有关参数的假设($q=0.03$)。

Case1 假设群落里各物种种群具有相等的死亡率 m , 未受破坏栖息地上的平衡态的各动物种群占的比率 p_i^0 为几何级数分布, Case2 以及 Case3 也是假设群落里各物种种群具有相同的死亡率 m , 但是取 p_i^0 为更简单的假设, 即分别为相等的 p_i^0 和对动物种群竞争能力成反比的 p_i^0 (竞争能力弱的物种种群占有更多得栖息地)。Case2 与 Case1 的模拟结果并无本质的区别, 而仅仅在于 Case2 的假设下所灭绝的最强物种是 6 个而不是 7 个, 即比 Case1 的假设少灭绝了一个物种。其原因是由于第 7 个物种种群在 Case2 里的栖息地的占有率 p_i^0 比在 Case1 中的大(在 Case1 中, 竞争能力越弱的物种种群占有较少的栖息地), 因而在 Case2 群落里第 7 个物种种群不会灭绝。相似的情形出现在 Case3 里, 竞争力弱的动物种群 p_i^0 大, 所以只有竞争能力最强的 3 个物种灭绝了。值得指出得是 Case3 的假设最多只适用于 7 个动物种群的群落, 其原因是 Case3 中更多的物种种群会导致群落里的各

表 1 物种死亡率 m_i 和未受破坏栖息地上的种群占有率 p_i^0 的若干假设 ($i=1, 2, \dots, n$)

Table 1 Some supposition about p_i^0 (proportion of patches occupied by species i) and the mortality rates m_i

Case 1	$m_i = m;$	$p_i _{D=0} = q(1-q)^{i-1}$
Case 2	$m_i = m;$	$p_i _{D=0} = q$
Case 3	$m_i = m;$	$p_i _{D=0} = iq$
Case 4	$m_i = im;$	$p_i _{D=0} = q(1-q)^{i-1}$
Case 5	$m_i = im;$	$p_i _{D=0} = q$
Case 6	$m_i = im;$	$p_i _{D=0} = iq$

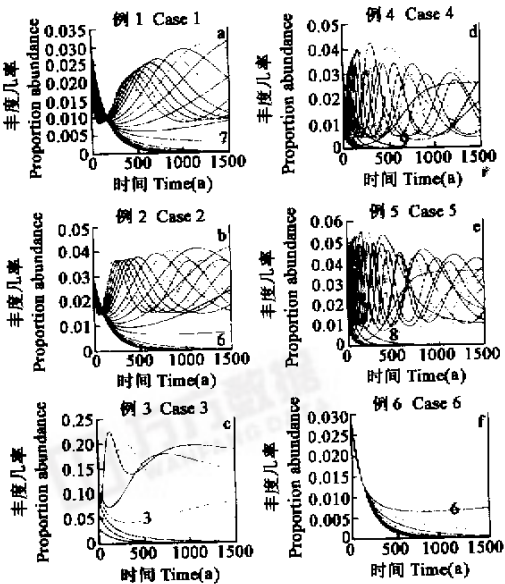


图 1 物种灭绝与栖息地毁坏的数值模拟, 其中 a~f 的参数取值分别对应于表 1 的 Case1~Case6

Fig. 1 The numerical simulations of the relation between species extinction and habitat destruction. The parameters a to f correspond to Case 1 to Case 6 in Table 1

物种在竞争能力、迁移扩散能力以及自然死亡率之间的不协调,结果是出现不合理的负的物种迁移率。

由以上分析不难得出这样的结论,如果假设群落里不同物种具有相同的死亡率而且越弱物种的 p_{0i} 越大,则强的物种种群灭绝的个数越少。换言之,在物种死亡率不变的情形下,弱物种种群对未受破坏栖息地上(平衡态)的所占的比率 p_i^0 越大,越利于群落里较强物种种群的生存。

由于在实际自然界群落里,不同动物物种的平均寿命是不相同的。一般而言,竞争能力越弱的物种的平均寿命越短,即弱竞争能力的物种死亡率 m_i 大。因此提出了 Case4 的假设:物种平均死亡率 m_i 与物种的竞争能力成反比,群落里未受破坏栖息地上的平衡态的各动物物种所占的比率 p_i^0 为几何级数分布。Case4 的模拟结果表明,最强的 9 个物种将灭绝,而物种的灭绝时间大约为 100~200a。与 Case1 的模拟结果相比发现,如果假设某动物物种死亡率 m_i 随竞争能力的增强而增长,则将而导致更多强的物种灭绝;而且强的物种灭绝的时间要比 Case1 模拟的时间大为缩短。如果群落里弱的动物物种具有较高的平均死亡率(实际情况恰恰如此),则当栖息地受到一定的毁坏时,将有较多强的动物物种灭绝,而且物种灭绝时间将大大缩短。有意思的是,强物种的灭绝,将导致弱物种的平均寿命的增长,既平均死亡率的减小。这是一个稳定的负反馈生物链。

Case5 假设了物种死亡率 m_i 与物种的竞争能力成反比,未受破坏栖息地上的平衡态的各动物种群具有相同的比率 p_i^0 。其模拟结果表明,群落里最强的 8 个物种将灭绝,而灭绝所需的时间也是 100~200a,这与 Case4 的模拟结果并没有本质上的区别。事实上,物种的演化曲线都存在某种程度的相似。与前面的分析相似,Case5 作出的假设相对于 Case6 是有利于更少的物种的灭绝。同样,Case6 假设物种死亡率 m_i 与物种的竞争能力成反比,物种对栖息地的占有率 p_i^0 与其竞争能力成反比。Case6 的假设也是最多只适用于 7 个物种的群落,最强的 6 个物种灭绝,比 Case4 的情形少灭绝了 3 个物种。原因也是 Case6 作出的假设相对于 Case4 是有利于物种的灭绝数的减少。Case6 的种群竞争动力学机制与 Case2 的相似,群落里弱竞争能力物种的高死亡率 m_i 将导致群落里灭绝物种的增加以及弱物种在未破坏栖息地的大占有率 p_i^0 而导致的群落里灭绝物种的减少,这两种影响物种灭绝个数的机制相互抵消了。

比较 Case4, Case5, Case6 可以得到与前面相似的结论:在物种死亡率不变的情形下,群落里某动物种群在未受毁坏栖息地上的平衡态的大占有率 p_i^0 ,将有利于该物种种群的生存。

以上情况里都导致了竞争能力最强的若干个动物物种先灭绝,以下的分析结果表明这是群落系统自身的动力学性质所决定的。

倘若群落里最强的 i 个动物物种的死亡率 m_i 以及由 m_i 、 p_i^0 所决定的 c_i 都满足以下条件:

$$1 - D - m_i/c_i < 0 \quad (5)$$

那么由(2)式可见,这 i 个物种种群在栖息地毁坏后(毁坏率为 D)将演化到新的平衡态 $p_i^* = 0$,即它们将全部灭绝。在以上的 6 个假设中,群落里最强的若干动物种群都满足了条件(5),因此模式模拟的结果自然是最强的若干物种先灭绝。所以,群落里最强的若干物种灭绝的模拟结果,完全是由该系统自身的动力学性质所决定的。

在表 1 中 6 种情况里,如果就物种死亡率的假设而言,后 3 个假设更符合实际情形。当然不论是哪种假设,在对热带雨林以及温带雨林的模拟中都给出了以下的有关动物物种灭绝机制:正是栖息地的破坏导致了竞争能力强的若干动物物种的灭绝。由于没有足够的观测事实来证实该动力学的真实性,Loehle 和 Li 指出 Tilman 的模式只能谨慎的应用到实际的情形中^[6]。

2 p_i^0 和 m_i 对种群灭绝的影响

在前面的分析中已经指出,在表 1 的 6 种情况里,栖息地的毁坏够将造成了群落里竞争能力最强的若干物种种群的灭绝。然而由于生态系统和群落演化的复杂性,表 1 的 6 种假设显然只是一些特殊情况,不能涵盖复杂自然界可能出现的所有情况。在群落的演化过程里,客观地存在着最强的动物物种(如人类)不先灭绝的事实。为此,选取了其他的一些对 p_i^0 和 m_i 的假设,如表 2 所示。由于在这些假设里,并不是所有的最强的物种种群满足条件(5),因此可以预言,在表 2 的假设下,群落里将不会出现最强的物种种群依序先灭绝的结果。

表 2 导致某些竞争能力弱的物种先灭绝的的参数取值

Table 2 The parameters causing the week competitive species go extinction first

(a) 没有物种灭绝 No species goes extinction ($D=0.14$)										
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m_i	0.0200	0.0300	0.0400	0.0500	0.0600	0.0700	0.0800	0.0900	0.1000	0.1100
c_i	0.0265	0.0551	0.0906	0.1475	0.2484	0.4593	1.0668	6.5016	26.3163	32.0990
p_i^0	0.2456	0.0921	0.0931	0.0945	0.0965	0.0998	0.1062	0.1250	0.0043	0.0039
p_i^s	0.1056	0.1594	0.0257	0.1358	0.0551	0.1222	0.0839	0.1287	0.0006	0.0069
(b) 只有第五强的物种灭绝 Only the fifth strong species goes extinction ($D=0.24$)										
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m_i	0.0200	0.0300	0.0400	0.0500	0.0600	0.0700	0.0800	0.0900	0.1000	0.1100
c_i	0.0326	0.0969	0.2729	5.8008	72.793	88.619	107.82	131.12	159.37	193.63
p_i^0	0.3871	0.1728	0.1859	0.2317	0.0020	0.0019	0.0017	0.0015	0.0014	0.0013
p_i^s	0.1471	0.2536	0.1051	0.2355	0	0.0018	0.0015	0.0015	0.0012	0.0012
(c) 只有第三和第四强的物种灭绝 Only the third and the fifth strong species go extinction ($D=0.34$)										
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m_i	0.0200	0.0300	0.0400	0.0500	0.0600	0.0700	0.0800	0.0900	0.1000	0.1100
c_i	0.0406	0.2424	0.6820	0.8832	1.1324	1.4404	1.8200	2.2871	2.8607	3.5642
p_i^0	0.5075	0.2838	0.0190	0.0173	0.0157	0.0143	0.0130	0.0118	0.0107	0.0097
p_i^s	0.1675	0.3408	0	0	0.0198	0.0057	0.0164	0.0051	0.0135	0.0044
(d) 第三、第四、第五强的物种将先于第一和第二强的物种灭绝 The third to fifth strong species go extinction before the first and the second strong species ($D=0.44$)										
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m_i	0.0200	0.0300	0.0400	0.0500	0.0600	0.0700	0.0800	0.0900	0.1000	0.1100
c_i	0.0514	0.1738	0.2414	0.3263	0.4324	0.5647	0.7288	0.9319	1.1828	1.4918
p_i^0	0.6111	0.0354	0.0321	0.0292	0.0266	0.0241	0.0220	0.0200	0.0181	0.0165
p_i^s	0.1711	0.1656	0	0	0	0.0328	0.0038	0.0270	0.0041	0.0223

由此得出:从表 2 可以看出,当一部分栖息地被毁坏后,群落经过长时间的演化,栖息地上的不同动物种群最终将达到新的平衡 p_i^s (由(4)式给出),而群落里先灭绝的动物物种 ($p_i^s=0$) 可以是某些竞争能力较弱的种群。表 2 假设死亡率 m_i 与物种强弱的关系为 $m_i=0.01+0.01\times i$, (i 越大表示该种群越弱,因此个体的平均死亡率越高。当栖息地的毁坏率为 0.14,群落里没有物种灭绝(如表 2(a))。表 2(b)表明了当栖息地的毁坏率 $D=0.24$ 时,群落里灭绝的物种的序是 5,既第五强的物种将灭绝。表 2(c)表明当栖息地的毁坏率 $D=0.34$ 时,群落里只有第三、第四强的物种灭绝。表 2(d)则表明当栖息地的毁坏率 $D=0.44$ 时,只有第三、第四、第五强的物种灭绝。由此得出:①栖息地的毁坏未必将导致竞争能力强的物种先灭绝;②群落里由于栖息地毁坏而导致灭绝的物种将取决于 p_i^0 和 m_i 的取值。

进一步的研究发现,取 $D=0.34$ 时灭绝物种的序是 3 和 4;但如果 p_i^0 变化,那么物种 3 将出现不同得变化,如图 2 所示。如果 $p_i^0>0.05$,物种 3 就不会灭绝。这就是前面分析的结论:未破坏的栖息地上的物种种群的大占有率有利于该物种种群在栖息地遭到毁坏后继续存活下去。如对 m 也作变化模拟则发现,群落里某物种的小死亡率将有利于该物种种群在栖息地遭到毁坏后继续生存。

可见模式所模拟的物种种群的演化特性,即栖息地的毁坏所导致的物种灭绝,在物种共存模式中,是依赖于对物种死亡率和有关平衡态的假设的。不同的假设下,即使栖息地的破坏率相同,灭绝的物种可以完全不相同。

总而言之,在对物种的死亡率 m_i 以及未受破坏栖息地上的各物种占的比率 p_i^0 作各种的假设下,栖息地的破坏最终导致群落里某些动物物种的灭绝,而不同之处在于灭绝的物种的数量以及竞争能力的不同。但是,无论在何种假设下得出栖息地的恢复或破坏导致的物种的灭绝的结论,仍然都有待于事实的

检验。

3 结语

利用多个物种共存模式模拟了不同情况下的动物种群演化的动力学特性,研究结果表明:(1)由于栖息地的毁坏所导致的动物物种灭绝,是依赖于对物种死亡率和有关平衡态的假设的。不同的假设下,即使栖息地的破坏率相同,群落里灭绝的物种可以完全不相同。群落里灭绝的物种可能是竞争能力最强的若干动物种群,也可能是竞争能力相对较弱的若干动物种群。所以,由于栖息地毁坏所导致的物种灭绝的序是一个十分复杂的问题。既不象传统的物种进化理论所认为的必是弱的物种先灭绝,也不象 Tilman 等人所认为的一定是最强的若干物种先灭绝;(2)如果弱的动物种群具有较高的平均死亡率(实际情况恰恰如此),则当栖息地受到一定的毁坏时,将有较多强的物种灭绝,而且物种灭绝时间将大大缩短。而强物种的灭绝,将导致弱物种的平均死亡率的减小。这是一个稳定的负反馈生物链;(3)在物种平均死亡率不变的情形下,群落里任一物种种群在未受毁坏栖息地上的平衡态的大占有率 p_i^0 ,将有利于该物种种群的生存;(4)物种灭绝的时间延滞在模式中的估计,依赖于对死亡率参数的取值假设。

参考文献

[1] Ehrlich P and Ehrlich A. *Extinction: the causes and consequence of the disappearance of species*. Random House, New York,1981.

[2] Klausmeier C A. Extinction in Multispecise and Spatially Explicit Models of Habitat Destruction. *The American Naturalist*,1998, **152**:303~310.

[3] Loehle C and Li B L. Habitat destruction and the extinction debt revisited. *Ecological Applications*. 1996, **6**:784~789.

[4] Nee S and May R M. Dynamics of metapopulations: habitat destruction and competitive coexistence. *Journal of Animal Ecology*, 1992, **61**: 37~40.

[5] Tilman D, May R M, Lehman C L and Nowak M A. Habitat destruction and the extinction debt. *Nature* (London), 1994, **371**:65~66.

[6] Tilman D, Lehman C L and Yin C. Habitat destruction, dispersal, and deterministic extinction in competitive communities. *American Naturalist*,1997, **149**:407~435.

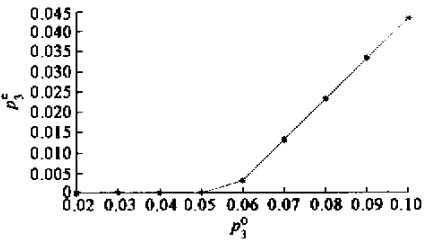


图 2 当栖息地毁坏时,如果第三强物种的平衡态占有率 $p_3^0 > 0.05$ 时,该物种不会灭绝;反之该物种将灭绝
Fig. 2 If $p_3^0 > 0.05$, the third strong species does not go extinction, otherwise it will go extinction when the habitat is destruction