

柑桔潜叶蛾—天敌系统模拟研究^{*}

何 淼 古德祥

(中山大学生命科学学院, 广州 510275)

摘 要 根据系统分析方法, 建立了柑桔潜叶蛾幼虫、蛹和 2 种寄生蜂 *Tetrastichus phyllocnistoides* *Cirrospilus quadristriatus* 以及捕食性天敌类群的 5 维系统模型, 模型为连续型微分方程组, 并具有时滞及扰动因子. 模型依据生命表资料和在广东省四会县的田间调查数据, 对柑桔潜叶蛾—天敌系统进行了模拟. 模拟结果显示, 柑桔潜叶蛾幼虫及蛹的数量在 6 月和 7 月份各有 1 个发生高峰, 以 7 月中旬至 8 月上旬发生最为严重, 捕食性天敌在 6 月份数量较低, 7 月以后呈 Logistic 型增长, 寄生蜂的种群发生也呈相应的规律性波动; 模型的模拟趋势与田间调查情况基本吻合. 对模型的灵敏度检验得知, 影响系统的关键因子主要包括系统初值, 柑桔潜叶蛾成虫初始数量, 天敌 (包括寄生蜂) 的死亡率、天敌的扰动因子 (迁入量) 等. 在系统模型中, 笔者提出了寄生蜂自然死亡率与柑桔潜叶蛾相应虫态的密度成比例相关的假设, 该假设有待进一步验证.

关键词 柑桔潜叶蛾, 天敌, 系统模拟

分类号 Q 141

“害虫—天敌”系统的研究是开展生物防治和害虫管理的理论基础. 数学模型等定量化的应用, 使得可以通过利用计算机仿真模拟的手段, 对生态系统进行多方面系统的研究. 目前, 有关捕食—被捕食模型的理论研究工作很多, 对于系统的复杂性, 稳定性方面的研究已有相当的深度^[1,2]. 在应用方面, 也取得了一定的成就^[3~7]. 比较国内外同类研究工作, 侧重点各有不同. 国内研究比较侧重于种间关系的模拟工作, 如功能反应、数值反应、系统动态模拟等; 国外研究则较注重于个体行为特征对种间关系的影响, 如搜索效应、攻击行为的选择性、逃避攻击 (捕食、寄生)、天敌间的干扰行为等. 笔者依据调查数据, 以及有关柑桔潜叶蛾的研究文献^[8], 建立了柑桔潜叶蛾—天敌系统的动态模拟模型, 模拟了多种情形下, 天敌对柑桔潜叶蛾种群发生的控制作用.

1 调查方法

1.1 柑桔潜叶蛾自然种群消长调查

调查时间 1990 年 4~12 月. 地点广东省四会县济广塘农场柑桔园 (总面积约 66 hm²), 树龄为 6 a 以上. 试验调查面积 1.33 hm², 选择有代表性的 6 a 生果树 10 株, 定点调查. 柑桔树品种全部为四会柑. 调查样地不控梢, 不喷化学农药, 其余管理方式均按正常进行. 调

^{*} 收稿日期: 1997-05-27 何淼, 男, 34 岁, 副教授

查方法, 每 5 天调查取样 1 次. 每株样树分东、南、西、北 4 个方位, 每个方位各随机采 2 支新梢, 在这 2 支新梢上再随机检查 5 片叶长超过 1 cm 的嫩叶, 并记录每个叶片上各虫态虫口的数量. 隧道长小于 2 cm 的幼虫为 I 期, 大于 2 cm 为 II 期.

1.2 自然条件下天敌对柑桔潜叶蛾控制力消长的调查

在调查柑桔潜叶蛾各虫态密度的同时, 同步检查并记录各虫态虫口的死亡情况 (包括被捕食和其他原因致死). 同时将采回的虫口分别按虫态放入直径 3 cm 的指形试管中, 用细纱布扎口, 观察并记录寄生蜂的种类、数量、性比等项目.

2 系统模型的建立

建立系统模型的基本条件为: ① 气温及新梢抽发时间是影响柑桔潜叶蛾发生的重要因素; 柑桔潜叶蛾的食料足够丰富; ② 柑桔潜叶蛾的幼虫田间分布为聚集型随机分布; ③ 寄生蜂对每个寄主的寄生概率机会均等; ④ 捕食性天敌与每个食饵的相遇是随机性的; ⑤ 系统为开放系统, 种群有迁移行为.

假设柑桔潜叶蛾幼虫密度 (N_L) 的单位时间 (t) 变化率与卵存活率 (S_E)、发育温度 (θ) 成正相关, 与天敌的控制率成负相关; 柑桔潜叶蛾蛹密度 (N_Y) 的变化率与 N_L , θ 成正相关, 与蛹寄生蜂的寄生率成负相关; 2 种寄生蜂 (P_{a1} , P_{a2}) 和捕食天敌 (P_r) 的密度单位时间变化率与其自身的攻击能力成正相关.

由此, 可以得到下列系统模型:

$$\begin{aligned} dN_L/dt &= F_1(\theta, t) - I(N_L, P_{a1}, P_r, t) \\ dN_Y/dt &= F_2(N_L, \theta, t) - H(N_Y, P_{a2}, t) \\ dP_{a1}/dt &= G_1(N_L, P_{a1}, t - t_1) \\ dP_{a2}/dt &= G_2(N_Y, P_{a2}, t - t_2) \\ dP_r/dt &= G_3(N_L, P_r, t - t_3) \end{aligned} \quad (1)$$

这里, F_i ($i=1, 2$), G ($j=1, 2, 3$), I , H 均为函数, t 表示时间, t_k ($k=1, 2, 3$) 为时间迟滞.

模型 (1) 的运行首先需要预先获得未来 15 d 或 30 d 的气温资料, 然后求出柑桔潜叶蛾未来的发育历期, 在确定模型 (1) 的各参数后, 编制程序, 进行系统模拟.

3 系统模拟

下面给出模型 (1) 各函数的具体形式:

在柑桔潜叶蛾发生初盛期:

$$F_1(\theta, t) = S_E(t - DS_E) B(t) rN_0 - N(t) D_L(t - DS_E) \quad (2)$$

在柑桔潜叶蛾发生中、后期:

$$F_1(\theta, t) = B(t - \hat{t}^*) S_r N_Y(t) - N(t) D_L(t - \hat{t}^*) \quad (3)$$

式中, $\hat{t}^* = DS_E + DS_L + DS_P + DS_Y$; $S = S_E^\circ S_L^\circ S_P^\circ S_Y^\circ S_A$

$$F_2(N, \theta, t) = S_L S_P N_L(t) - N_Y(t) D_Y(t - \hat{t}^* + DS_P) \quad (4)$$

$$I(N, P_{a1}, P_r, t) = N_L(t) (T_1(t) P_{a1}(t) + U(t) P_r(t)) \quad (5)$$

$$H(N_Y, P_{a2}, t) = T_2(t) N_Y(t) P_{a2}(t) \quad (6)$$

$$G(N_L, P_{a1}, t-t_1)=U_1P_{a1}(t)N(t-t_1)-\frac{P_{a1}(t)D_{a1}(t-t_1)}{1+W_{N_L}(t)}+_{-}$$

(7)

$$G_2(N_Y, P_{a2}, t-t_2)=U_2P_{a2}(t)N_Y(t-t_2)-\frac{P_{a2}(t)D_{a2}(t-t_2)}{1+W_{N_Y}(t)}+\varphi$$

(8)

$$G_3(N_L, P_r, t-t_3)=U_3P_r(t)N(t-t_3)-P_r(t)D_r(t-t_3)+X$$

(9)

式中, S_E, S_L, S_P, S_Y, S_A , 分别表示柑桔潜叶蛾卵、幼虫、预蛹、蛹、成虫等各虫期的存活率; D_L, D_Y , 表示对应虫态的自然死亡率; $B(t)$ 为产卵量, r 为成虫性比; T_1, T_2 分别为 2 种寄生蜂的寄生系数, U 为捕食天敌的捕食系数; U_1, U_2, U_3 为天敌相应的增长系数; D_{a1}, D_{a2}, D_r 为相应天敌的死亡率; t_1, t_2, t_3 为时滞; $_{-}, h, X$ 为常数. W_1, W_2 为参数. 模型 (1) 中各参数的确定主要依据笔者在四会柑桔园中的调查试验数据和黄明度等^[8]编制的生命表资料. 由于柑桔潜叶蛾的主要为害发生期在 6~ 9 月, 系统的模拟工作也主要是针对柑桔潜叶蛾-天敌系统在 6~ 9 月的发生动态进行系统模拟. 系统各参数的初值为: $N_L(0)=1.0, N_Y(0)=0.3, P_{a1}(0)=0.2, P_{a2}(0)=0.1, P_r(0)=1.5$.

表 1 柑桔潜叶蛾-天敌系统各参数取值

Tab. 1 Parameters value used in system simulation

月份	$\theta/^{\circ}C$	N_0	$B(t)$	r	S_E	S_L	S_P	S_Y	S_A
6	26.85	1.0	55.7	0.7	0.874 9	1.0	1.0	0.5	0.4
7	29.12	1.0	51.95	0.5	0.898 2	1.0	1.0	0.7	0.2
8	28.05	1.0	55.7	0.7	0.749 1	1.0	1.0	0.6	0.3
9	25.23	1.0	55.7	0.7	0.889 7	1.0	1.0	0.5	0.2

月份	D_L	D_r	D_{a1}	D_{a2}	D_r	δ_1	δ_2
6	0.188 0	0.128 2	0.5	0.5	0.6	0.4	0.6
7	0.258 0	0.168 2	0.5	0.5	0.6	0.4	0.6
8	0.258 0	0.168 2	0.5	0.5	0.6	0.4	0.6
9	0.368 0	0.268 2	0.5	0.5	0.6	0.4	0.6

月份	α_1	α_2	β	β_1	β_2	β_3	ϵ	μ	φ
6	5.86 (0.566)	2.0	1.293	0.012	0.166	0.001 7	0.08	0.04	0.02
7	0.201 6	8.848 8	0.187 1	0.009 45	0.257 8	0.008 086	0.04	0.08	
8	0.352 6	6.592 2	0.362 4	0.021	0.113	0.005 86	0.2	0.06	0.005
9	0.552 6	0.5	0.112 4	0.001	0.001 5	0.000 47	0.2	0.02	

4 灵敏度分析

为了了解系统模型 (1) 的灵敏度, 分别就以下 4 种情形对柑桔潜叶蛾-天敌系统进行了模拟.

(1) 增加潜叶蛾成虫的初始数量, 即 $N_0=1.5$, 其余参数值不变, 模拟结果见图 1 (a). 随着 N_0 的增加, $L(t), N_Y(t), P_{a1}(t), P_{a2}(t), P_r(t)$ 的数值均相应增加了.

(2) 将天敌种群的初始值均按比例增加, 即 $P_{a1}(0)=0.5, P_{a2}(0)=0.3, P_r(0)=2.0$, 其余参数取值不变, 模拟结果见图 1 (b). 可以看出, 在天敌的寄生和捕食率保持不变的前提下, 天敌初始种群数量的增大将会大大压低柑桔潜叶蛾种群在秋梢及迟秋梢期间

的种群密度, 使损失率大大降低.

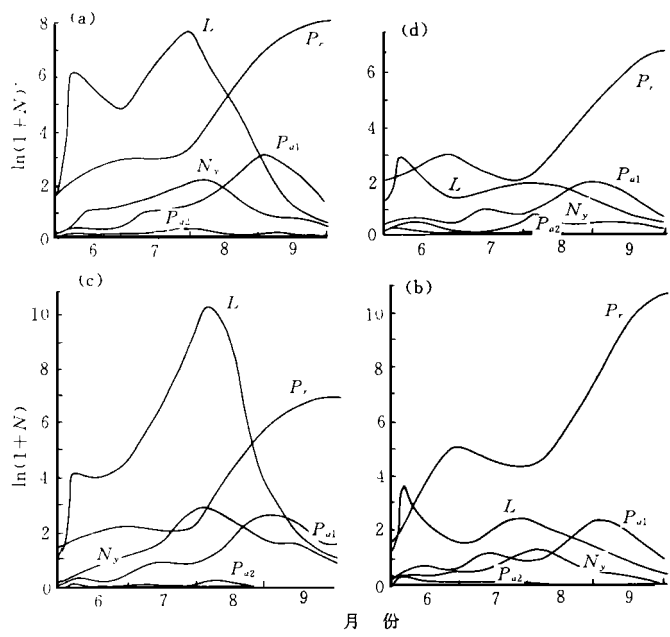


图 1 系统在不同情形下的模拟结果

Fig. 1 Ecosystem simulation of citrus leaf miner and its natural enemies in different cases

(3) 将天敌种群的死亡率按比率增加 20%, 即 $D_{a1}=0.7$, $D_{a2}=0.7$, $D_r=0.8$, 其余参数取值不变, 模拟结果见图 1 (c). 可以看出, 天敌死亡率的增加, 使得柑桔潜叶蛾种群发生十分严重, 尤其在秋梢 迟秋梢抽发期间, 柑桔潜叶蛾种群发生失控. 虽然天敌数量在后期也保持在相对较高的水平, 这仅仅是柑桔潜叶蛾种群大发生而引起的一种天敌跟随现象, 对柑桔潜叶蛾种群的控制已没有实际作用.

(4) 增加天敌的迁移扰动参量值, 即在 6 月份, 取 $X=0.2$, $=0.04$; 在 7 月份, 取 $X=0.1$, $=0.12$; 在 8 月份, 取 $X=0.3$, $=0.1$ (月初) 或 $=0.06$ (月中下旬); 在 9 月份, $X=0.3$. 其余参数取值不变, 模拟结果见图 1 (d). 可以看出, 如果天敌的活动范围较大, 喜好聚集于害虫发生密度较高的生境, 则对于短时期内压低害虫种群数量 以及压低害虫种群下一世代的种群密度起到了十分明显的控制效果. 该情形的模拟对人工释放天敌控制害虫的发生提供了理论依据, 即在害虫的发生期间, 间隔一段时间释放一定量的天敌数量, 使得天敌密度在一个较小的生境中保持较高的水平, 从而达到控制并压制害虫发生危害的目的.

以上模拟工作的计算机实现均需要将各参数除以其相应的天数求出平均值后, 然后, 带入模型迭代运算.

参 考 文 献

- 1 王寿松. 昆虫与天敌系统的稳定性. 生物数学学报, 1986, 1 (1): 37~ 45
- 2 Endler J A. Interactions between predators and prey. In: Krebs J R, Davies N B, ed. Behavioral ecology. London: Blackwell Scientific, 1991. 169~ 196
- 3 李超, 丁岩钦, 马世骏. 草间小黑蛛对棉铃虫幼虫的捕食作用及其模拟模型的研究 (I). 生态学报, 1982, 2 (3): 239~ 254
- 4 周集中. 拟环纹狼蛛对褐飞虱的捕食作用及其模拟模型的研究 (IV). 生态学报, 1987, 7 (4): 349 ~ 358
- 5 何淼, 王寿松. 稻纵卷叶螟捕食性天敌模拟系统研究. 昆虫天敌, 1990, 12 (4): 151~ 157
- 6 张文军, 汪世泽. 棉花棉蚜天敌相互关系的系统模拟. 西北农业大学学报 (增刊), 1989, 17: 1
- 7 Hassell M P. Mutual interference between searching insect parasites. J of Animal Ecol, 1971, 40 473~ 486
- 8 黄明度, 郑德胜. 柑桔潜叶蛾自然种群动态及防治策略的研究. 昆虫学报, 1989, 32 (1): 58~ 67

Ecosystem Simulation of Citrus Leaf Miner and Its Natural Enemies

He Miao^{*} Gu Dexiang

Abstract Based on the experimental data from Sihui county, Guangdong Province during 1990~ 1992, the ecosystem of citrus leaf miner-natural enemies was studied by using systematic analysis methods. A set of system models were constructed in this paper, which described interactions among five factors, including larva and pupa of the citrus leaf miner, two kinds of parasites (*T. phyllocnistoides*, *C. quadristriatus*) and predators. The system models were continuous differential equations, with time-lag and perturbation factor included. Using the data of the citrus leaf miner's life table and the experimental data, simulations were undertaken. The outcomes showed that the occurrence of both larva and pupa had a peak in June and July separately, the occurrence was especially serious from the middle of July to the first half of August, the number of predators was lower in June and presented increasing in Logistic curve style in next several months; the population dynamics of parasites also revealed fluctuations correspondingly. The system simulations are very much taklly with the data surveied in the field. Key factors affecting the system include initial system values, initial adult number of the citrus leaf miner, death rate of natural enemies and perturbation factor of natural enemies (such as migration, aggregation et al.).

Keywords citrus leaf miner (*Phyllocnistis citrella* Stainton), natural enemies, system simulation

^{*} School of Life Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275