

苹果绵蚜与苹果绵蚜日光蜂种间 关系的模拟研究

Ⅰ. 自然系统的模拟及灵敏度分析

唐业忠 况荣平 赵万源

(中国科学院昆明动物研究所)

摘 要

本文在生物学特性研究的基础上, 组建了苹果绵蚜(*Eriosoma lanigerum*)及其日光蜂(*Aphelinus mali*)寄主—天敌作用系统的 Boxcar train 模型, 对苹果绵蚜猖獗期的二种群数量进行了模拟, 其结果与果园调查基本吻合。用此模型做系统的灵敏度分析, 结果表明系统的内部因子(如蚜蜂的基数比例)和外部因子(温湿度)对系统均有影响。温度升高, 二种群数量增加, 反之则下降。湿度增加, 苹果绵蚜日光蜂种群数量上升, 反之则下降。湿度变化对苹果绵蚜无不良影响。比较而言, 温度对系统的影响比湿度大得多。减少苹果绵蚜基数比增加日光蜂基数对系统的影响大, 据此可从理论上估计生物防治的局限性。

关键词: 苹果绵蚜, 苹果绵蚜日光蜂, 模拟模型, 灵敏度分析。

目前, 研究寄主-天敌系统的动态过程一般采用 Lotka, Nicholson, Hassell 等人提出的模型^[1]。这些模型描述的是特定环境条件下(如不考虑温湿度的影响、无其它生物干扰以及食物充足而稳定等)的寄主-天敌系统的特征, 而这样的一个孤立系统是对自然界真实系统的简化, 是欠真实的。因为寄主-天敌系统的行为往往受到所处环境的诸因子如温湿度、降雨、食物源, 其它生物等的影响。对于低等动物来说, 温度和湿度对寄主和天敌的生长发育、死亡、生殖以及天敌的捕食与寄生的效率有极大的影响。

本文利用 Boxcar train 模拟模型方法, 首次组建了一个具有开放系统性质的苹果绵蚜——苹果绵蚜日光蜂(简记El-Am)系统模型, 并研究了内外部因子对系统的影响。

一、研究方法

1. 自然种群数量动态的调查方法

从1987年3月下旬至7月初在国营昆明市第三农场苹果园系统地取样调查。即每半个月隔株取样25株树, 首先在样树的4个方位随机计数20个当年生枝条上的蚜块数和活动的成蜂数, 然后随机剪取有蚜枝2条带回实验室计数每个蚜块的蚜数及其日光蜂(卵、幼虫、蛹)数。

*本文承中国科学院动物研究所兰仲雄、丁岩钦研究员审阅并提出修改意见, 王莹同志协助计算, 在此一并致谢, 本文于1989年12月10日收到。

2. 模型的组建及分析方法

组建El-Am系统的Boxcar train模型的基本方法参照van der Bos et al(1976), Rabbinge(1977)的原理并加以改进^[2-5]。具体过程如下:

(1) 苹果绵蚜子系统

发育分级是一龄蚜分3级、二龄分2级、三龄分2级、四龄分3级、成虫分4级,共分14级。分级标准是使转移比率 F 在0—1内。

设以 $H_i(t)$ 表示苹果绵蚜在时刻 t 第 i 发育级中的个体数,则一龄蚜各发育级的差分式为

$$H_1(t+\Delta t) = [H_1(t) - F \times H_1(t) + FA(t)] \times [1 - \Delta t \times RD_1(t)] \quad (1)$$

$$H_i(t+\Delta t) = [H_i(t) + F \times [H_{i-1}(t) - H_i(t)]] \times [1 - \Delta t \times RD_i(t)] \quad (i=2,3) \quad (2)$$

式中的 $FA(t)$ 表示在时刻 t 的成蚜产仔输入; Δt 为模拟步长; $RD_i(t)$ 表示在时刻 t 一龄蚜虫的相对自然死亡; F 为转移比率。

$$F = 1 - n \times \left[\frac{SS(T)}{N(T)} \right]^2 \quad (3)$$

式中 n 为发育等级数。 $N(T)$ 和 $SS(T)$ 分别为该龄蚜的发育历期及其方差,它们均是温度 T 的函数,因而 F 也是温度的函数。

二至四龄蚜各发育级的差分式为

$$H_i(t+\Delta t) = [H_i(t) + F \times [H_{i-1}(t) - H_i(t)]] \times [1 - \Delta t \times RD_i(t) - \Delta t \times NA_i(t)] \quad (i=4,5,\dots,10; k=2,3,4) \quad (4)$$

成蚜各发育级的差分式为

$$H_i(t+\Delta t) = H_i(t) + F \times [H_{i-1}(t) - H_i(t)] - \Delta t \times NA_i(t) \quad (i=11,12,\dots,14) \quad (5)$$

式中的 $RD_k(t)$ 表示在时刻 t 第 k 龄蚜的相对自然死亡率; $NA_i(t)$ 表示在时刻 t 第 i 发育级蚜虫的寄生死亡率。从以上各差分方程可以看到,每一差分式的输出由两部分组成,即向下一级的发育输出和死亡输出。后者又分为自然死亡输出和寄生死亡输出,自然死亡的个体脱离El-Am系统,而寄生死亡的个体则由苹果绵蚜子系统进入苹果绵蚜日光蜂子系统(日光蜂不寄生一龄绵蚜,故1—2式无此项输出)。

(2) 苹果绵蚜日光蜂子系统

发育分级是卵至老熟幼虫(EL)分6级、蛹期(LP)分6级、成蜂分3级,共分15级。设以 $P_i(t)$ 表示日光蜂在时刻 t 第 i 发育级中的个体数,则EL阶段各发育级的差分式为

$$P_1(t+\Delta t) = [P_1(t) + \Delta t \times NA(t) - F \times P_1(t)] \times [1 - \Delta t \times RD_{EL}(t)] \quad (6)$$

$$P_i(t+\Delta t) = [P_i(t) + F \times [P_{i-1}(t) - P_i(t)]] \times [1 - \Delta t \times RD_{EL}(t)] \quad (i=2,3,\dots,6) \quad (7)$$

式中 $RD_{EL}(t)$ 表示在时刻 t 的EL阶段相对自然死亡率; $NA(t)$ 为寄生产卵输入,相当于苹果绵蚜在时刻 t 二龄至成虫的被寄生之和。

$$NA(t) = \sum_{i=4}^{14} NA_i(t)$$

LP阶段各发育级的差分式为

$$P_i(t + \Delta t) = \{P_i(t) + F \times [P_{i-1}(t) - P_i(t)]\} \times (1 - \Delta t \times RD_{LP}(t))$$

$$i = 7, 8, \dots, 12) \quad (8)$$

成虫阶段各发育级的差分式为

$$P_i(t + \Delta t) = P_i(t) + F \times [P_{i-1}(t) - P_i(t)] \quad (i = 13, 14, 15) \quad (9)$$

为了探讨系统的内外部因子对系统输出的影响, 本文用 Boxcar train 模型进行了灵敏度分析: 保持其它参数不变, 逐个改变温度、湿度和蚜蜂比等因子, 观察其输出的变化。灵敏度的评价指标为输出日均变化率 Rc 。

$$Rc = \frac{Oa - Ob}{Ob} \quad (10)$$

其中 Oa 为改变参数后的平均输出值, Ob 为改变前的平均输出值。 Rc 值为正, 种群增加; 为负, 则种群减少。

三、结果分析

1. 苹果绵蚜猖獗期 El-Am 系统动态的模拟

将前文中的诸子模型嵌合进上述的差分方程中, 结合有关的逻辑过程, 用 Fortran 语言编程序, 输入 3—6 月每日的温湿度资料, 在 IBM PC-XT 机上运行。模拟结果见表 1 和图 1—2。

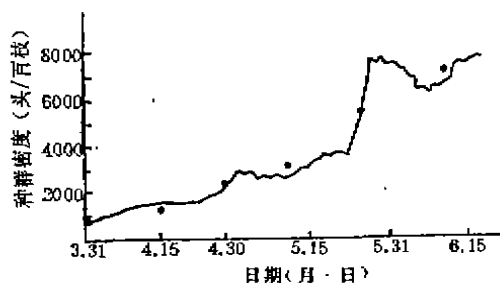


图 1 苹果绵蚜种群动态的模拟(黑圆点为实测值, 曲线为模拟值)

Fig. 1 The comparison of investigation points with simulating curve of *E. lanigerum* population

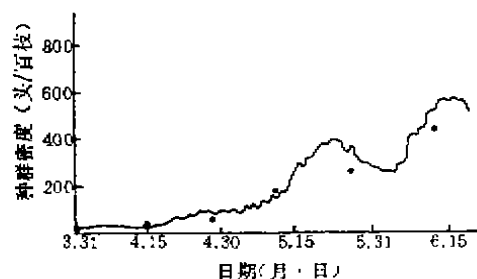


图 2 苹果绵蚜日光蜂种群动态的模拟(黑圆点为实测值, 曲线为模拟值)

Fig. 2 The comparison of investigation points with simulating curve of *A. mali* population

从图 1—2、表 1 可知, 在苹果绵蚜猖獗期(3—6 月)系统的模拟值与实际调查值比较接近, 可以认为此期间的模拟曲线基本上代表了自然种群的增长趋势。6 月下旬苹果绵蚜种群密度迅速降低, 保持 300—500 头/百枝直至 10 月。苹果绵蚜日光蜂在 6 月底也开始下降。在计算机中模拟 6 月下旬的系统动态, 却发现苹果绵蚜及其日光蜂种群无下降趋势。这说明在模型中遗漏了某种因子, 这个因子初步推测为果树生理上的变化。因为 6 月昆明由旱季进入雨季, 果树大量吸水使其细胞质浓度下降, 降低了绵蚜能量代谢的效率而导致种群数量的下跌。关于树体变化与绵蚜种群数量的关系, 还有待进一步的研究。该系统模型虽有上述问题, 但对于苹果绵蚜猖獗期的种群动态的短期预测仍有较大价值, 对这段时期内的防治工作有指导意义。

2. 系统动态的因子分析

表 1 系统输出的模拟值与调查值的比较(头/百枝)

Table 1 The results comparison of simulation with investigation

种群 日期 (月·日)	苹果绵蚜 <i>Eriosoma lanigerum</i>		日光蜂 <i>Aphelinus mali</i>	
	调查值	模拟值	调查值	模拟值
3.31	732.18	709.19	18.60	18.60
4.15	1306.63	1471.01	24.00	16.76
4.28	2252.97	2260.09	54.20	78.56
5.11	3096.19	2606.50	170.90	145.02
5.26	5417.43	5484.45	255.00	360.79
6.12	7243.91	6765.39	442.90	517.87
6.24	3111.10	10937.33	506.30	674.72

温度对El-Am系统输出的影响

温度的变动为 $\pm 1\%$, 苹果绵蚜的 R_c 值为 -0.14 和 15.00 , 苹果绵蚜日光蜂 R_c 值为 -0.25 和 0.58 。温度升高, El-Am系统中的两种群均增加, 苹果绵蚜甚于其日光蜂。温度降低, 两种群变小, 日光蜂甚于苹果绵蚜。升温比降温对整个系统的影响大。这是因为提高一定的温度更接近苹果绵蚜的最适温度, 但未达到日光蜂的适温区。

湿度对El-Am系统输出的影响

相对湿度的变动为 $\pm 10\%$, 苹果绵蚜的 R_c 值为 0.01 和 0.006 , 苹果绵蚜小蜂的 R_c 值为 -0.04 和 0.17 。相对湿度的变化对苹果绵蚜日光蜂的影响要比苹果绵蚜大。模拟中, 相对湿度无论是增或减, 苹果绵蚜种群均稍有增加。对变动湿度后的输出曲线的比较可知, 由于模拟前期的田间湿度很低, 增加湿度大大有利于成蜂的生存和产卵, 导致同期和稍后的苹果绵蚜种群的下降, 反过来又使得日光蜂寄生效率降低, 引起随后的日光蜂种群下降, 绵蚜种群增加。降低湿度则两种群变动过程与此相反。总之, 这是一个相互波动的过程, 苹果绵蚜的总数变动不大。

蚜蜂比变动对El-Am系统输出的影响

增加苹果绵蚜日光蜂成蜂的虫口基数 50% , 苹果绵蚜的 R_c 均为 -0.01 , 日光蜂的 R_c 约为 0.015 。从输出曲线可知, 增加成蜂基数仅在前期有控制效果(约在4月份)。减少苹果绵蚜基数 50% , 苹果绵蚜的 R_c 值为 -0.59 , 日光蜂为 -0.07 减少苹果绵蚜基数比增加日光蜂成蜂基数对El-Am系统的影响大。

四、小 结

本研究组建了一个苹果绵蚜及其日光蜂相互作用系统的模拟模型, 对苹果绵蚜猖獗期的系统动态进行模拟的结果表明, 该模型可用于昆明地区苹果绵蚜及其日光蜂种群变动的短期预测。

利用 Boxcar train 模型对El-Am系统的内外部因子的分析表明, 温湿度和蚜蜂比例的变动对系统均有较大的影响, 从整体上看, 温度的影响大于湿度, 温度的微小变化可导致系统输出的很大波动, 而湿度则不然。其原因是苹果绵蚜一生都在体表覆盖一层蜡质分泌物, 不透水。苹果绵蚜日光蜂成虫寿命则与湿度呈显著的负相关。利用苹果绵蚜日光蜂控制苹果绵

蚜, 有成功和失败两方面的事例。除去苹果绵蚜与其日光蜂本身的生物学差异的原因外, 环境因子也有较大的决定作用。如果温度偏低, 湿度偏小, 则生物防治不易成功。

参 考 文 献

- [1] Hassell, M. P. and May R., 1973, Stability in insect host-parasite models, *J. Anim. Ecol.* 42: 693—728.
- [2] 钟 宁等, 1988, 苹果绵蚜密度及聚集度对日光蜂寄生作用的影响, *动物学研究* 9(4): 395—400.
- [3] 陈维博等, 1981, 昆虫种群死亡过程的数学模拟, *生态学报* 1(2): 159—167.
- [4] R. 拉宾著, 丁岩钦等译, 1982, 《果树红叶螨的生物防治》, 第11—24页, 科学出版社.
- [5] J. 范德博斯等著, 陈维博译, 1980, 《松卷叶蛾的动态模拟》, 第15—28页, 科学出版社.
- [6] de Wit, C. T. and Goudriaan J., 1974, Simulation of ecological processes: 9—71. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen.

A SIMULATION OF INTERSPECIFIC RELATIONSHIP BETWEEN WOOLLY APPLE APHID, *ERIOSO- MA LANIGERUM* (HAUS.) AND ITS PARASITE, *APHELINUS MALI* (HALD.)

II. A SIMULATION AND SENSITIVE ANALYSIS OF NATURAL SYSTEM OF HOST-PARASITE

Tang Ye-Zhong Kuang Rong-Ping Zhao Wan-Yuan

(Kunming Institute of Zoology, Academia Sinica)

A boxcar train model of interactive system of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Haus.), and its parasite, *Aphelinus mali* (Hald.), was developed on the basis of biological research on them and was used to simulate population dynamics of this pest and its parasite from March to July. A modelling result was basically consistent with natural population dynamics of them. The sensitive analysis showed that temperature and relative humidity have an effect on the host-parasite system: the population sizes of woolly apple aphid and its parasite were directly proportional to temperature, and Aphid population hardly enlarged with the increasing humidity while its parasite population did so. In comparison with humidity, temperature has greater effect on this system. In addition, the system was more sensitive to change in the base number of woolly apple aphid than that of its parasite. To some extent, the above results could be of guiding significance to control of woolly apple aphid.

Key words: *Eriosoma lanigerum*, *Aphelinus mali*, simulation model, sensitive analysis.