

29-35

三种寄生物与一种寄主的系统模型研究

张学武 古德祥
(中山大学昆虫研究所, 广州, 510275)

5476.3
5433.3

A

摘要 建立了红圆蚧 (*Aonidiella aurantii*) 与 3 种寄生蜂: 盾蚧长须蚜小蜂 (*Encarsia citrina*)、岭南蚜小蜂 (*Aphytis lingnanensis*) 和印巴黄蚜小蜂 (*Aphytis melinus*) 相互作用的系统模型:

$$H_{n+1} = \lambda H_n (s f_1 f_2 + t f_2 f_3 + u f_3)$$

$$P_{n+1} = H_n s (1 - f_1)$$

$$Q_{n+1} = H_n (s f_1 + t) (1 - f_2)$$

$$R_{n+1} = H_n (u + t f_2) (1 - f_3)$$

$$f_1(P_n) = \exp(-aP_n), f_2(Q_n) = \exp(-bQ_n), f_3(R_n) = \exp(-cR_n)$$

按红圆蚧的面积大小分成 3 种类型: s (0.55 mm^2 以上), t ($0.39 \sim 0.55 \text{ mm}^2$), u (0.39 mm^2 以下), 分析了三维系统 (2 种寄生物与 1 种寄主) 和四维系统 (3 种寄生物与 1 种寄主) 在不同红圆蚧大小分布 (s, t, u) 条件下系统的动态变化, 确定了寄生物相互排斥和共存的边界条件, 为红圆蚧的生物防治决策提供理论指导。

关键词: 红圆蚧, 盾蚧长须蚜小蜂, 岭南蚜小蜂, 印巴黄蚜小蜂, 系统模型

生物防治
寄生蜂, 天敌

STUDIES ON SYSTEMS MODEL OF THREE PARASITOID-ONE HOST INTERACTION

Zhang Xuewu Gu Dexiang

(Research Institute of Entomology, Zhongshan University, Guangzhou, 510275, China)

Abstract This paper established an interaction model of *Aonidiella aurantii* and its three parasitoids: *Encarsia citrina*, *Aphytis melinus*, *Aphytis lingnanensis*:

$$H_{n+1} = \lambda H_n (s f_1 f_2 + t f_2 f_3 + u f_3)$$

$$P_{n+1} = H_n s (1 - f_1)$$

$$Q_{n+1} = H_n (s f_1 + t) (1 - f_2)$$

$$R_{n+1} = H_n (u + t f_2) (1 - f_3)$$

$$f_1(P_n) = \exp(-aP_n), f_2(Q_n) = \exp(-bQ_n), f_3(R_n) = \exp(-cR_n)$$

The host is divided into 3 types according to scale area: s (above 0.55 mm^2), t ($0.39 \sim 0.55 \text{ mm}^2$), u (below 0.39 mm^2); through changing the value of (s, t, u) and the attacking rate of

• 高等学校博士学科点专项科研基金、广东省自然科学基金资助项目。
收稿日期, 1994-10-13, 修改稿收到日期, 1996-06-10。

parasitoids (a, b, c), we analysed the dynamics of 3-dimension systems (two parasitoid-one host) and 4-dimension system (three parasitoid-one host), determined the boundary conditions for parasitoids to compete exclusively or to coexist. It provided a theoretical guidance to the strategy of biological control of *Aonidiella aurantii*.

Key words: *Aonidiella aurantii*, *Encarsia citrina*, *Aphytis lingnanensis*, *Aphytis melinus*, systems models.

大多数害虫和自然天敌的世代都不重叠,由离散世代种群组成的生态系统模型,首先由 Nicholson-Bailey^[1]提出,他们的模型由一种寄主和一种寄生物组成,根据他们的模型,寄主和寄生物不能以稳定密度共存。这种特性使得既不能描述长期相持的寄生物-寄主系统,也不能研究多寄生物种的情况。因此人们尝试着进行各种模型的改进工作。Hassell & Varley^[2]把寄生物之间相互干扰引起寻找效率的减少纳入到模型之中,表明可达到稳定共存平衡,但干扰在野外并不重要。Beddington^[3]把寄主种群的密度制约增长纳入模型之中,并说明系统在一定参数范围内有稳定平衡点。May^[4]基于寄生蜂攻击寄主数为聚集性分布的野外数据,并假定每种寄生蜂攻击数分布是相互独立的,建立了两种寄生蜂一种寄主的负二项分布模型。但 Kakehashi^[5]等指出,这个模型只反映了每一寄生物种类产生寄生现象的单独聚集分布的特殊情况,并指出,两个寄生物种群可能对同一寄主刺激产生反应,用相似的方法分布它们的卵块,这就产生了一个带公共聚集指数 k 的负多项式模型,表明具有优势搜索能力的寄生物种,对平衡态产生很大的抑制。进而,建立了生态位重叠的寄生物-寄主模型,表明生态位的分离有利于两种寄生物的长期共存。

红圆蚧 (*Aonidiella aurantii*, 简称 RS) 的生物防治已进行了一个世纪,在很多地方取得了成功。在美国加州,印巴黄蚜小蜂 (*Aphytis melinus*, 简称 AM 蜂) 是内陆区的优势天敌,岭南蚜小蜂 (*Aphytis lingnanensis*, 简称 AL 蜂) 是沿海地区的优势天敌。在以色列,金黄蚜小蜂 (*Aphytis chrysomphali*, 简称 AC 蜂) 是沿海地区红圆蚧优势天敌,印巴黄蚜小蜂是内陆区的优势天敌。而在澳大利亚,AM 蜂和 AC 蜂呈季节性波动,在同一果园中可以共存。在广东省农科院果树所的柑桔园内,红圆蚧的天敌主要是两种寄生蜂:AL 蜂和盾蚧长缨蚜小蜂 (*Encarsia citrina*, 简称 EC)。1991 年,中山大学昆虫研究所又同时在柑桔园释放了 AM 蜂,这样就产生了 3 种寄生蜂与 1 种寄主红圆蚧的相互作用系统。本文的研究目的就是来探讨这个系统的动态变化,为红圆蚧的生物防治提供理论指导。

1 模型的建立

考虑到 AM 蜂、AL 蜂和 EC 蜂这 3 种寄生蜂都是非聚集性攻击寄主的,为简单起见,假设寄生蜂攻击时,寄主都以指数函数 $\exp(-aP)$ 的概率逃避寄生。根据笔者的试验知,EC 蜂偏好较小的 2 龄蚧虫,AM 蜂和 AL 蜂都偏好较大的 3 龄蚧虫,AM 蜂产雌性后代的最小蚧虫大小是 0.39 mm^2 ,AL 蜂产雌性后代的最小蚧虫大小是 0.55 mm^2 。而 2 次蜕皮期平均在 6 种温度下的蚧虫大小为 0.5092 mm^2 。表明在 0.55 mm^2 以下有一部分 2 龄蚧虫,而这部分蚧虫也是 EC 蜂可能比较好寄生的,与 AM 蜂同时享用。这样可以把蚧虫分成 3 类 ($s+t+u=1$):

① s ——一只适合于 AM 蜂和 AL 蜂攻击,蚧虫大小在 0.55 mm^2 以上。

② t ——只适合 AM 蜂和 EC 蜂攻击, 蚱虫大小位于 0.39 mm^2 至 0.55 mm^2 之间。

③ u ——只适合 EC 蜂攻击, 蚱虫大小在 0.39 mm^2 以下。

对于 t 类蚱虫, 尽管 AL 蜂也可能攻击, 但由于子代是雄性, 所以可认为 AL 蜂不攻击这一类蚱虫。

此外, AL 蜂的幼虫竞争能力最强, AM 蜂次之, 最差为 EC 蜂, 那么可认为, 在攻击 s 类寄主时, AM 蜂只攻击未被 AL 蜂寄生的寄主, 先是由 AL 蜂攻击。在攻击 t 类寄主时, 先由 AM 蜂攻击, EC 蜂只攻击 AM 蜂剩下的寄主。用 P, Q, R 分别表示 AL 蜂、AM 蜂、EC 蜂的密度, a, b, c 分别表示它们的寻找效率, 那么 s 中未被 P 寄生的寄主比例为 $s \exp(-aP)$, 在 t 中未被 AM 寄生的寄主比例为 $t \exp(-bQ)$, u 中未被 R 寄生的寄主比例为 $u \exp(-cR)$, s 中未被 P 和 Q 寄生的寄主比例为 $s \exp(-aP) \exp(-bQ)$, t 中未被 Q 和 R 寄生的寄主比例为 $t \exp(-bQ) \exp(-cR)$, 从而未被 3 种蜂 P, Q, R 寄生的寄主为:

$$s \exp(-aP) \exp(-bQ) + t \exp(-bQ) \exp(-cR) + u \exp(-cR)$$

这样, 可构造出红圆蚱与它的 3 种寄生蜂(AM、AL、EC)相互作用的系统模型:

$$H_{n+1} = \lambda H_n (s f_1 f_2 + t f_2 f_3 + u f_3) \quad A_1$$

$$P_{n+1} = H_n s (1 - f_1) \quad A_2$$

$$Q_{n+1} = H_n (s f_1 + t) (1 - f_2) \quad A_3$$

$$R_{n+1} = H_n (u + t f_2) (1 - f_3) \quad A_4$$

$$f_1(P_n) = \exp(-aP_n), f_2(Q_n) = \exp(-bQ_n), f_3(R_n) = \exp(-cR_n)$$

λ 为红圆蚱的周限增长率, 即 $\lambda = \exp(r_m)$, r_m 为内禀增长率。

方程 A 的平衡点可令 $H_{n+1} = H_n = H^*$, $P_{n+1} = P_n = P^*$, $Q_{n+1} = Q_n = Q^*$, $R_{n+1} = R_n = R^*$ 去确定, 即:

$$1 = \lambda (s f_1 f_2 + t f_2 f_3 + u f_3) \quad B_1$$

$$P^* = H^* s (1 - f_1) \quad B_2$$

$$Q^* = H^* (s f_1 + t) (1 - f_2) \quad B_3$$

$$R^* = H^* (u + t f_2) (1 - f_3) \quad B_4$$

$$f_1(P^*) = \exp(-aP^*), f_2(Q^*) = \exp(-bQ^*), f_3(R^*) = \exp(-cR^*).$$

从方程组 $B_1 \sim B_4$ 解出:

$$b/a = (-\ln f_2) s (1 - f_1) / [(1 - f_2) (-\ln f_1) (t + s f_1)] \quad D_1$$

$$c/b = (-\ln f_3) (t + s f_1) (1 - f_2) / [(1 - f_3) (u + t f_2) (-\ln f_2)] \quad D_2$$

$$c/a = (-\ln f_3) s (1 - f_1) / [(-\ln f_1) (u + t f_2) (1 - f_3)] \quad D_3$$

只要知道 $\lambda, s, t, u, a, b, c$ 的值, 由 D_1, D_2, D_3 中任两个与 B_1 结合, 可求出 $f_1(P^*), f_2(Q^*), f_3(R^*)$, 从而可求出平衡种群密度 P^*, Q^*, R^* 和 H^* 。

2 AL-AM-RS 系统的动态分析

此时因 EC 蜂不存在, 可取 $c=0$, 这时方程 $B_1 \sim B_4$ 成为:

$$1 = \lambda (s f_1 f_2 + t f_2 + u)$$

$$P^* = H^* s (1 - f_1)$$

$$Q^* = H^* (t + s f_1) (1 - f_2)$$

经过极限运算有:

$$\lim_{f_2 \rightarrow 1^-} \frac{b}{a} = \lim_{a \rightarrow 0^+} \frac{b}{a} = \frac{\lambda s}{\lambda - 1} \ln \frac{\lambda - \lambda u}{1 - \lambda u} = \beta_1$$

$$\lim_{f_1 \rightarrow 1^-} \frac{b}{a} = \lim_{p^* \rightarrow 0^+} \frac{b}{a} = \frac{\lambda - 1}{1 - \lambda u} \ln \frac{\lambda s}{1 - \lambda(t + u)} = \alpha_1$$

有下列结论, 如果蚧虫大小分布 (s, t, u) 满足: ① $\alpha_1 < b/a < \beta_1$ 则这两种蜂能共存; ② $b/a \geq \beta_1$ 则印巴蜂 AM 排斥岭南蜂 AL; ③ $b/a \leq \alpha_1$ 则岭南蜂 AL 排斥印巴蜂 AM。

表 1 AL-AM-RS 系统在不同蚧虫分布下的动态
Table 1 The dynamics of AL-AM-RS system
under different distributions of scales

u	s	t	β_1	α_1	动态 Dynamics
0.1	0.1	0.1	0.1144	0.0838	$\alpha_1 < b/a$
	0.5	0.4	0.5721	0.5584	$\beta_1 < b/a$
	0.9	0	1.0299	1.0302	AM > AL
0.5	0.1	0.4	0.2111	0.1585	
	0.5	0	1.0555	1.0566	
0.6	0.4	0	1.0708	1.0725	$\alpha_1 > \beta_1 > b/a$, AL > AM
	0.7	0.1	0.7317	0.6962	$\alpha_1 < b/a$, $\beta_1 < b/a$
0.7	0.29	0.01	1.0609	1.0604	AM > AL
	0.293	0.007	1.0719	1.0725	$\alpha_1 > b/a$, $\beta_1 > b/a$
	0.3	0	1.0975	1.1008	AL > AM
0.8	0.184	0.016	1.0643	1.0568	$\alpha_1 < \beta_1 < b/a$, AM > AL
	0.185	0.015	1.0702	1.0636	$\alpha_1 < b/a < \beta_1$, AM + AL
	0.19	0.01	1.0991	1.0976	$\alpha_1 < b/a$, $\beta_1 < b/a$
0.9	0.20	0	1.1569	1.1656	AL > AM
	0.07	0.03	0.9852	0.7979	$\alpha_1 < \beta_1 < b/a$, AM > AL
	0.076	0.024	1.0696	0.9387	$\alpha_1 < b/a < \beta_1$
0.08	0.022		1.0978	0.9845	AM + AL
	0.02		1.1259	1.0299	
	0.01		1.2667	1.2527	$\alpha_1 > b/a$, $\beta_1 > b/a$
	0		1.4074	1.4706	AL > AM

根据陆元丁^[6]和笔者有关试验知:

$$\lambda = 1.0545, a = 2.1205, b = 2.2670,$$

从而 $b/a = 1.0691$ 。

可计算出蚧虫大小分布的改变对系统动态的影响, 如下表 1 所示。表中 AM > AL 表示印巴蜂排斥岭南蜂, AL > AM 表示岭南蜂排斥印巴蜂, AM + AL 表示这两种蜂可以共存。表 2~表 3 相同。从表中可见, 当 $u < 0.6$ 时, 对一切 s, t , 都是印巴蜂排斥岭南蜂, 即只要红圆蚧种群 60% 以下为小于 0.39 mm^2 (1 龄和 2 龄初期) 的蚧虫时, AL-AM-RS 系统的动态将向 AM-RS 发展, 岭南蜂有可能被排斥掉。而当 $u \geq 0.6$ 时, 可适当选择 s, t 值, 使 3 种动态结果 (AM > AL, AL > AM, AM + AL) 都有可能出现, 也就是说, 如果 0.39 mm^2 以下的蚧虫在 60% 以上时, 系统变得不定。

尽管有关参数 (λ, a, b) 并不是那么精确, 蚧虫大小分布对系统动态改变也不会出现精确的分界线, 但从这种理论预测中可提供一个总的信息; 在大多数情况下, 都是印巴蜂排斥岭南蜂, 较小的 1 龄和 2 龄初期蚧虫所占的比例越少, 就越能巩固印巴蜂的优势地位, 岭南蜂排斥印巴蜂和两种蜂共存的局面。这两种格局发生的机会很少, 在这个系统中, 印巴蜂最终有可能发展成为红圆蚧的优势寄生天敌。

3 EC-AL-RS 系统的动态分析

此时 AM 蜂不存在, 可令 $b=0$, 方程(B)成为:

$$1 = \lambda[sf_1 + (1-s)f_3]$$

$$P^* = H^*s(1-f_1)$$

$$R^* = H^*(1-s)(1-f_3)$$

再由 $c/a = s(f_1 - 1)(-\ln f_3) / [\ln f_1(1-s)(1-f_3)]$, 取极限运算:

$$\lim_{f_3 \rightarrow 1^-} \frac{c}{a} = \lim_{R^* \rightarrow 0^+} \frac{c}{a} = \frac{\lambda - 1}{\lambda(1-s)} / \ln \frac{\lambda s}{\lambda s - (\lambda - 1)} = \alpha_2$$

$$\lim_{f_1 \rightarrow 1^-} \frac{c}{a} = \lim_{P^* \rightarrow 0^+} \frac{c}{a} = \frac{\lambda s}{\lambda - 1} \ln \frac{\lambda(1-s)}{1 - \lambda s} = \beta_2$$

于是有下列结论, 如果 λ, s, a, c 满足条件: ① $\alpha_2 < c/a < \beta_2$ 则 AL 蜂和 EC 蜂可望共存; ② $c/a \leq \alpha_2$ 则 AL 蜂排斥 EC 蜂; ③ $c/a \geq \beta_2$ 则 EC 蜂排斥 AL 蜂。此时, 参数值为:

$$\lambda = 1.0545, c/a = 0.5726$$

可计算不同蚧虫分布对系统动态之影响(表 2)。可见, 当 0.55 mm^2 以下的蚧虫 ($t+u$) 或说 1 龄、2 龄蚧虫在 60% 以上时, EC 蜂或与 AL 蜂共存, 或排斥 AL 蜂, EC 蜂可望为优势种。根据笔者的调查, 在广东省农科院果园内, 除冬季 1 龄、2 龄蚧虫死亡较多之外, 一般都是 1 龄、2 龄蚧虫多于 3 龄蚧虫, EC 蜂与 AL 蜂能共存, 且 EC 蜂为优势种。这表明, 理论预测与野外的实际情况是一致的。

4 EC-AM-RS 系统的动态分析

此时 AL 蜂不存在, 令 $a=0$, 方程(B)为:

$$\begin{aligned} 1 &= \lambda(sf_2 + uf_3 + tf_2f_3) \\ Q^* &= H^*(t+s)(1-f_2) \\ R^* &= H^*(u+tf_2)(1-f_3) \end{aligned}$$

$$c/b = (-\ln f_3)(t+s)(1-f_2) / [(1-f_3)(u+tf_2)(-\ln f_2)]$$

取极限运算:

$$\lim_{f_2 \rightarrow 1^-} \frac{c}{b} = \lim_{Q^* \rightarrow 0^+} \frac{c}{b} = \frac{\lambda t}{\lambda - 1} \ln \lambda = \beta_3 \quad \lim_{f_3 \rightarrow 1^-} \frac{c}{b} = \lim_{R^* \rightarrow 0^+} \frac{c}{b} = (\lambda - 1) / \ln \frac{\lambda t}{1 - \lambda u} = \alpha_3$$

有类似的结论, 如果 u, t, c, b 满足条件: ① $\alpha_3 < c/b < \beta_3$, 则 EC 蜂和 AM 蜂可望共存; ② $c/b \leq \alpha_3$, 则 AM 蜂排斥 EC 蜂; ③ $c/b \geq \beta_3$, 则 EC 蜂排斥 AM 蜂。此时, 参数值为:

$$\lambda = 1.0545, c/b = 0.5228$$

可计算不同蚧虫分布对系统动态的影响(表 3)。可见, 当 0.39 mm^2 以上的蚧虫与 0.39 mm^2 以下的蚧虫所占比例接近时(各占 50% 左右), 两种蜂可望共存。由于野外一般 1 龄、2 龄蚧虫稍多于 3 龄蚧虫, 故 EC 蜂总会成为优势种, EC-AM-RS 系统与 EC-AL-RS 系统的动态相似。

5 EC-AL-AM-RS 系统的动态分析

在方程 $D_1 \sim D_3$ 中取极限运算有:

$$\begin{aligned} \lim_{f_1 \rightarrow 1^-} \frac{b}{a} &= \frac{s}{t+s} = \lim_{P^* \rightarrow 0} \frac{b}{a} \\ \lim_{f_2 \rightarrow 1^-} \frac{b}{a} &= \lim_{Q^* \rightarrow 0} \frac{b}{a} \\ \lim_{f_3 \rightarrow 1^-} \frac{c}{b} &= \frac{1 - \lambda u}{\lambda(t+u)} = \lim_{R^* \rightarrow 0} \frac{c}{b} \quad s+t+u=1 \end{aligned}$$

表 2 C-AL-RS 系统在不同蚧虫分布下的动态
Table 2 The dynamics of EC-AL-RS system under different distributions of scales

s	t+u	β_2	α_2	动态 Dynamics
0.9	0.1	12.6666	8.7361	$\beta_2 > \alpha_2 > c/a$
0.8	0.2	4.6277	3.8681	
0.7	0.3	2.5609	2.2453	AL > EC
0.6	0.4	1.6062	1.4339	
0.5	0.5	1.0555	0.9471	
0.4	0.6	0.6971	0.6224	
0.36	0.64	0.5865	0.5209	$\alpha_2 < c/a < \beta_2$
0.355	0.645	0.5737	0.5091	AL + EC
0.354	0.646	0.5712	0.5068	$\alpha_2 < \beta_2 < c/a$, EC > AL
0.35	0.65	0.5611	0.4975	
0.2	0.8	0.2584	0.2160	
0.1	0.9	0.1144	0.0789	

$$\lim_{\substack{f_1 \rightarrow 1 \\ f_3 \rightarrow 1}} \frac{c}{a} = \frac{\lambda s(s+t)}{t + \lambda \mu s} = \lim_{\substack{R^* \rightarrow 0 \\ R^* \rightarrow 0}} \frac{c}{a}$$

经过计算可获得 3 种寄生蜂(AM, AL, EC)共存的一个充分条件:

① 存在 $\epsilon_0 > 0$, $|\frac{s}{t+s} - \frac{b}{a}| \geq \epsilon_0$, $|\frac{1-\lambda u}{\lambda(t+u)} - \frac{c}{b}| \geq \epsilon_0$, $|\frac{\lambda s(t+s)}{t + \lambda \mu s} - \frac{c}{a}| \geq \epsilon_0$;

② $(s; t; u) = (\frac{c}{c+a}; \frac{ac}{b(c+a)}; \frac{b}{b+c})$.

对于目前的系统, 有下列参数值: $a=2.1205, b=2.2670, c=0.7405, \lambda=1.0545$, 从而 $(s; t; u) = (0.2588; 0.2421; 0.7538) \approx (1; 1; 3)$. 因此, 可取 $s=t=0.2, u=0.6$, 而当

表 3 EC-AM-RS 系统在不同蚧虫分布下的动态
Table 3 The dynamics of EC-AM-RS system under different distributions of scales

u	t	α_3	β_3	动态 Dynamics
0.9	0.1	0.0749	0.1027	$\beta_3 < c/b, \alpha_3 < c/b$
0.8	0.2	0.1822	0.2054	EC > AM
0.7	0.3	0.2881	0.3080	
0.6	0.4	0.3938	0.4107	
0.49	0.51	0.5101	0.5237	$\alpha_3 < c/b < \beta_3$
0.48	0.52	0.5204	0.5339	EC + AM
0.47	0.53	0.5310	0.5442	$\alpha_3 > \beta_3 > c/b$
0.45	0.55	0.5521	0.5647	
0.4	0.6	0.6048	0.6161	AM > EC
0.3	0.7	0.7103	0.7187	
0.2	0.8	0.8158	0.8214	
0.1	0.9	0.9212	0.9241	
0	1	1.0267	1.0268	

蜂, 两者搜索能力相近, 使 AL 蜂有优势, 但适合 AL 蜂寄生的寄主只有 20%, 而 AM 蜂除了 20% 与 AL 蜂分享之外, 还有 20% 与 EC 蜂分享。这样寄生蜂竞争能力的强弱, 可通过寄主资源的丰盛度来调节, 实现长期共存的格局。在广东省农科院的柑桔园内, 盾蚧长缨蚜小蜂与岭南蜂能共存, 印巴蜂刚刚引进, 能暂时建立种群, 实测值与模拟值的系统动态图解如图 1 所示。显然, 3 种蜂在这段时期内能共存, 但盾蚧长缨蚜小蜂是红圆蚧的优势寄生蜂天敌。这种格局能否长期保持下去, 有待进一步观察和研究。

$\epsilon_0 = 0.09$ 时, 条件①是成立的。一般条件①是容易满足的, 主要找适合条件②的蚧虫大小分布即可。

这样对系统 EC-AL-AM-RS 获得了下述结论: 当红圆蚧 RS 60% 左右是 0.39 mm² 以下的蚧虫(1 龄、2 龄初期), 20% 左右是 0.39 mm² ~ 0.55 mm² 的蚧虫(2 龄末期为主), 20% 左右是 0.55 mm² 以上蚧虫(3 龄蚧虫)时, 3 种寄生蜂 EC、AL、AM 可望相互共存。这从直观上是很好理解的, EC 蜂无论幼虫竞争能力还是搜索能力都比 AM 蜂和 AL 蜂差(笔者的其它试验结果), 但适合它寄生的寄主占绝大多数, 60% 为 EC 独自享用, 还有 20% 与 AM 蜂共同分享。而 AL 蜂幼虫竞争能力强于 AM

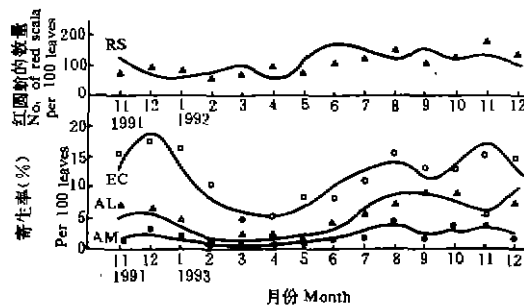


图 1 EC-AL-AM-RS 的系统图解

Fig. 1 The dynamic graph of EC-AM-RS system

$a=2.1205, b=2.2670, c=0.7405, \lambda=1.0545,$

$s=0.1815, t=0.2557, u=0.5628. \bullet, \Delta,$

\circ, \blacktriangle 分别为印巴蜂(AM)、岭南蜂(AL)盾蚧长缨蚜小蜂

(EC)和红圆蚧(RS)观察值, 一是对应的模拟值,

6 讨论

在加州柑桔园的内陆区, 曾经有两种假说去解释印巴蜂 AM 取代岭南蜂 AL 而成为优势种, 其一 DeBach 等^[7~9]提出, AM 蜂取代 AL 蜂主要因为 AM 蜂受恶劣气候条件(如寒冷的冬季低温)的影响较小。其二 Luck & Podoler^[10]提出另外一个假说, AM 蜂取代 AL 蜂主要是因为 AM 蜂能利用较小的蚧虫资源。本文从数学模型的角度来支持第二个假设, 分析结果表明, 寄主大小分布对 AM 蜂排斥 AL 蜂有着重要的作用, 较小的蚧虫占多数有利于 AM 蜂竞争获胜。根据本文的理论分析, 系统的动态改变有精确的分界线, 但用于实际系统时, 不必按参数的变化划分精确的分界线, 只要基本上属于某个特定的范围, 就可做出相应的结论。

对 3 种寄生物与 1 种寄主的相互作用系统进行详细的数学分析, 现存文献尚为少见, 但本文所建立的模型仍然是尝试性的, 未考虑气候因子和其他因子对系统动态的影响。

参 考 文 献

- 1 Nicholson A J & Bailey V A. The balance of animal populations. *Proceedings of the Zoological Society of London, London Press*, 1935, 3: 551~598
- 2 Hassell M P & Varley G C. New inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control. *Nature*, 1969, 223: 1133~1137
- 3 Beddington J R *et al.* Dynamics complexity in predator-prey models framed in difference equations. *Nature*, 1975, 255: 58~60
- 4 May R M. Density dependence in host-parasitoid models. *Journal of Animal Ecology*, 1978, 47: 833~844
- 5 Kakehashi N *et al.* Niche overlap of parasitoids in host-parasitoid systems; its consequence to single versus multiple introduction controversy in biological control. *Journal of Applied Ecology*, 1984, 21: 115~131
- 6 陆元丁. 两种柑桔盾蚧: 红圆蚧与褐圆蚧的生态研究. 柑桔害虫综合治理论文集. 北京: 学术书刊出版社, 1989. 207~217
- 7 DeBach P R & Sundby H. Competitive displacement between ecological homologues. *Hilgardia*, 1963, 34: 105~166
- 8 DeBach P R. The comparative displacement and coexistence principles. *Annals of Review of Entomology*, 1966, 11: 183~212
- 9 DeBach P R. Competitive displacement; extinction of yellow scale, *Aonidiella citrina*, by its ecological homologue, the California red scale, *Aonidiella aurantis* in South California. *Hilgardia*, 1978, 46: 1~35
- 10 Luck R F & Podoler H. Competitive exclusion of *Aphytis lingnanensis* by *Aphytis melinus*; potential role of host size. *Ecology*, 1985, 66: 904~913