

苹果绵蚜与苹果绵蚜蚜小蜂种间 关系的模拟研究*

I. 两种群生物学的数量特征比较

唐业忠 赵万源 况荣平 单 访

钟 宁 余 波

(中国科学院昆明动物研究所)

摘 要

本研究通过对苹果绵蚜(*Eriosoma lanigerum* Haus.)和苹果绵蚜蚜小蜂(*Aphelinus mali* Hald.)的生物学和生态学特性的比较分析,得到如下结论:(1)苹果绵蚜完成一世代的有效积温要求和发育起点温度均低于苹果绵蚜蚜小蜂,二者的有效积温分别为352.19日度和375.51日度,发育起点温度分别为7.62度和7.95度。因此,苹果绵蚜较其寄生蜂更适于昆明地区的气候条件;(2)苹果绵蚜种群的增长能力大于苹果绵蚜蚜小蜂,二者的内禀增长率在20℃下分别为0.1390和0.1146,在25℃下分别为0.2647和0.1628。这可能是昆明地区苹果绵蚜蚜小蜂不能控制苹果绵蚜为害的主要原因。另外,本研究首次利用卡方密度函数对各种温度下的昆虫产卵的时间分布进行了拟合,取得了较好的效果。

关键词: 苹果绵蚜, 苹果绵蚜蚜小蜂, 种群参数, 功能反应, 产卵时间分布。

一、前 言

国内外对利用苹果绵蚜蚜小蜂防治苹果绵蚜的效果众说纷纭^[1-5]。为了正确评价苹果绵蚜蚜小蜂控制苹果绵蚜的作用,我们对二者的生物学和生态学特性、功能反应和干扰反应等进行了系统的研究,制作了诸多数学模型,为组建Boxcar train模拟模型奠定了基础。

二、研 究 方 法

虫源大多是直接采自果园。挑选正常大小的成蚜接于同时采回的一年生枝条上,插于盛水烧杯内,待产下子代后立刻剔除母蚜,只保留仔蚜。然后分别置于15℃、20℃、25℃、28℃、30℃的恒温 and 70%的相对湿度下,每个温度梯度观察60个枝条(每枝条有蚜3—5头)。每日观察记录仔蚜的发育、死亡和生殖情况。统计计算有效积温和发育起点温度,各龄平均历期及其方差,自然死亡率和逐日产仔数,并用各种合适的模型进行拟合。

苹果绵蚜蚜小蜂除增加了34℃温度梯度外,其观测和统计基本上与苹果绵蚜类似。将刚

* 本文承蒙中国科学院动物研究所兰仲雄、丁岩钦先生审阅,谨此致谢。
本文于1989年12月10日收到。

羽化的蚜小蜂配对交配12小时,然后将单个已授精雌蜂接到未被寄生的健康蚜(50头)上,逐日更换蚜虫,并解剖换出的蚜虫,记录雌蜂的日产卵量直至蜂死。每个温度条件重复15—20头蜂。为了便于观察,依寄主蚜虫的变化将苹果绵蚜蚜小蜂全世代划分为3个阶段:(1)接虫(卵)至老熟幼虫(简记为EL),以蚜体变黑为终止标志;(2)老熟幼虫至蛹末期(简记为LP),以蚜小蜂破壳羽化为终止标志;(3)成虫(简记为AD),以蜂死终止。

功能反应和干扰反应的测定参考Holling(1959)和Hassell(1966)等提出的方法,生殖力表的制作参考Messenger(1964)的方法^[8-9]。

三、结果与分析

1. 有效积温和发育起点温度

为了寻求苹果绵蚜和苹果绵蚜蚜小蜂之间的可比性,本研究计算了非成虫阶段的有效积温和全世代的有效积温及发育起点温度(表1)。苹果绵蚜蚜小蜂的发育起点温度和两个有效积温均高于苹果绵蚜,这意味着在同样的温度条件下,蚜小蜂的发育速度和年发生代数低于苹果绵蚜。非成虫期间的积温占全世代积温的比率:苹果绵蚜为55%,蚜小蜂为60%。可见苹果绵蚜有更多的热量用于繁殖后代。根据昆明地区历年的月平均气温记录,发现仅1月份的温度低于苹果绵蚜及其蚜小蜂的发育起点。田间观察到的越冬不明显现象(有绵蚜及蜂活动)可能与此有关。

表 1 苹果绵蚜及其蚜小蜂的发育起点温度和有效积温

Table 1 The comparison of basic developmental temperature and effective accumulative temperature between *Eriosoma lanigerum* and *Aphelinus mali*

虫 期	发育起点温度(度)		有效积温(日度)	
	<i>E. lanigerum</i>	<i>A. mali</i>	<i>E. lanigerum</i>	<i>A. mali</i>
幼(若)虫期			195.02	225.89
全 世 代	7.62	7.95	352.19	375.51

国外报道的苹果绵蚜的起始温度均低于本研究结果(如印度为2.8℃,美国为5℃)。而国内的报道则与本研究接近^[10]。苹果绵蚜蚜小蜂对温度的要求比苹果绵蚜高。昆明地区春、夏、秋三季温度偏低,有利于苹果绵蚜而不利蚜小蜂。另外,昆明的春季和夏初属旱季,蚜小蜂成虫易失水而死,但低湿对苹果绵蚜无不良影响。这是昆明地区苹果绵蚜严重为害的环境基础。

2. 发育历期和成虫寿命

对二者的发育历期测定表明,苹果绵蚜的非成虫阶段的历期和全世代历期均短于苹果绵蚜蚜小蜂,而成虫的寿命则长于其蚜小蜂。苹果绵蚜营养生长期的历期短、耗能少,繁殖历期长、耗能多有利于整个种群的增长。

苹果绵蚜及其蚜小蜂在非成虫阶段的发育速度(V)与温度(T)的关系用 Logistic 方程

$$V = K / (1 + e^{a-bT}) \quad (1)$$

拟合,式中的各参数值见表2。苹果绵蚜成虫的寿命(N)则用线性方程拟合,得:

$$N = -0.0131 + 0.0062T \quad (2)$$

由于苹果绵蚜蚜小蜂成虫的寿命除受温度的制约外, 还受相对湿度(h)的影响, 故用二元线性方程回归, 得模型如下:

$$N = 1.8679 - 0.0464T + 0.0157h \quad (3)$$

发育历期的方差(SS)是发育整齐程度的指标, 与温度有关。温度愈适宜, 方差愈小, 这是因为适宜的环境条件掩盖了个体间的差异。苹果绵蚜及其蚜小蜂发育历期的方差与温度的关系用多项式

$$SS = a_0 - a_1T + a_2T^2 \quad (4)$$

拟合, 其参数值见表2(此方程的曲线是向上开口的抛物线)。蚜小蜂的发育比苹果绵蚜整齐得多(即方差很小), 表明蚜小蜂生活在寄主体内, 微环境适宜。

表 2 方程(1),(4),(5)中的参数值表

Table 2 The parameters list in equation (1),(4) and (5)

方程	方 程 (1)			方 程 (4)			方 程 (5)	
	K	a	b	a_0	a_1	a_2	a	b
一 龄	0.30	5.799	0.2719	8.866	0.616	0.011	0.316	0.003
二 龄	0.59	3.363	0.1842	7.207	0.404	0.006	0.463	0.012
三 龄	0.50	2.834	0.1937	3.273	0.264	0.006	0.484	0.015
四 龄	0.44	3.321	0.2091	1.002	0.048	0.001	0.270	0.009
成 蚜				4.317	0.169	0.002		
EL 阶段	0.15	3.687	0.1994	0.844	0.044	0.001		
LP 阶段	0.145	3.519	0.1895	1.293	0.085	0.002		

3. 自然死亡率

苹果绵蚜各龄期的自然死亡率是随龄级增加而减少, 一龄死亡最大, 四龄最小。在15—28℃范围内, 相对自然死亡率呈线性下降, 故在此温区内用线性方程拟合死亡率与温度的关系(参数值见表2)。超过28℃死亡率急剧上升。

$$RD = a - bT \quad (5)$$

苹果绵蚜蚜小蜂的 EL 阶段生活在活蚜体内, 其死亡率无法直接测得。分析发育历期的方差与自然死亡率的关系, 发现二者呈正相关。观察结果表明, 蚜小蜂EL阶段与LP阶段的方差十分接近, 据此推测蚜小蜂EL阶段的死亡率与LP阶段相当。LP阶段的自然死亡率与温度呈非线性关系, 采用方程4拟合, 得

$$RD = 2.3931 - 0.2115T + 0.0047T^2 \quad (6)$$

就非成虫阶段的相对自然死亡率而言, 苹果绵蚜蚜小蜂要小于其寄主。

4. 生殖率

苹果绵蚜成虫产仔的时间分布如图1中的方柱。产仔高峰在第4—6天, 呈强烈的偏态分布。我们根据宋键等(1980)^[11]的方法首次用卡方密度函数的变型

$$F(x) = \frac{1}{\left(\frac{n-2}{2}\right)! 2^{n/2}} (x + x_1)^{(n-2)/2} e^{-(x+x_1)/2} N_s \quad (7)$$

拟合了此类分布, 达到较高的精度(如图1所示)。式中的 x 为时间; x_1 为时间平移系数; n 为自由度; N_s 为每雌一生的产仔数; N_i 为第 i 天产仔数。不同温度下的各参数值如表3、表

4 所示, 参数有随温度升高而变小的趋势, 表明在一定的温度范围内, 温度愈高, 偏态愈强烈, 产仔愈集中。

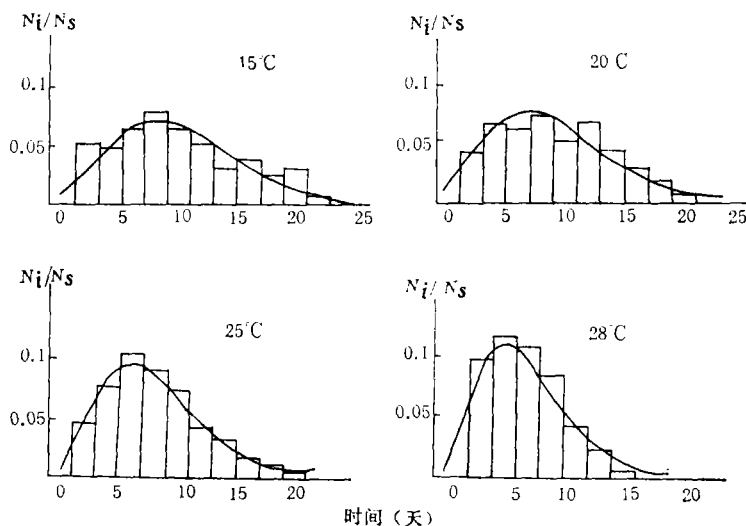


图 1 苹果绵蚜成虫产仔的时间分布

N_i : 第 i 天产仔数, N_s : 每雌一生的产仔数

Fig.1 The farrowing time distribution of *E. lanigerum* adult

N_i : Farrowing number at i th day. N_s : Total farrowing number per female

苹果绵蚜小蜂的产卵高峰在第一天, 以后逐渐减少。与苹果绵蚜相比, 其产卵期较短。蚜小蜂一生的产卵数大于苹果绵蚜一生的产仔数。

表 3 苹果绵蚜及其蚜小蜂每雌一生的产卵(仔)数(头)

Table 3 The comparing the total numbers of filial generation of *E. lanigerum* with *A. mali* each female

虫种	温度	15℃	20℃	25℃	28℃	30℃	34℃
<i>E. lanigerum</i>		13.79	37.90	45.55	13.89	2.59	
<i>A. mali</i>		10.00	46.70	40.84	58.90	29.00	22.47

5. 功能反应

为了探讨温度对苹果绵蚜小蜂寄生能力的影响, 进行了15℃、20℃、25℃、30℃、34℃等梯度下的功能反应测定, 并用Holling模型

$$NA = aT Nt / (1 + aThNt) \quad (8)$$

拟合其结果。模型中的瞬时攻击率(a)和处理时间(Th)参数值见表4。这两个参数是

描述天敌作用能力的重要指标。 a 值愈大, Th 值愈小, 则天敌的控制能力愈强。在20—30℃范围内, a 值较大而 Th 值较小; 超出此温度范围, 则 a 值变小 Th 值变大。式中的 NA 为寄生率, Nt 为蚜虫密度, T 为实验时间(此处为1天)。

用Holling模型绘制的功能反应理论曲线见图2, 它们属于Holling II型。

6. 干扰反应

干扰反应测定的结果表明, 苹果绵蚜小蜂相互之间的干扰是很强烈的, 其攻击率(a)

表 4 方程 7 和方程 8 的参数表

Table 4 The parameters list of x^2 density function and Holling model at different temperature

温度	参数	15℃	20℃	25℃	28℃	30℃	34℃
方程 7	n	16	14	10	8		
	x_1	8	7	3	2		
方程 8	a	0.36	0.69	0.87		0.81	0.58
	Th	0.046	0.030	0.024		0.025	0.034

随天敌密度的增加而迅速降低。用Hassell模型拟合,得

$$a = 0.2182P^{-0.7497} \quad (9)$$

搜寻常数为0.2182;干扰系数达0.7497。这就大大地降低了蚜小蜂的寄生效率。

7. 内禀增长率

种群的增长能力是由世代历期、死亡和生殖共同决定的。单独比较这三项指标是不能确定苹果绵蚜与其蚜小蜂种群增长能力的大小的。内禀增长率(r_m)是关于种群的历期、死亡和生殖的综合反映,具有种间可比性。为此,我们分别制作了20℃和25℃恒温下的苹果绵蚜及其蚜小蜂的生殖力表。现将生殖力表中的有关参数列成表5。从表5可以看到,在这两个温

表 5 苹果绵蚜及其蚜小蜂生殖力表的参数比较
Table 5 The comparison of population growth statistics between woolly apple aphid and its parasite

参数	温度	20℃		25℃	
		<i>E. lani-</i> <i>gerum</i>	<i>A. mali</i>	<i>E. lani-</i> <i>gerum</i>	<i>A. mali</i>
$R_0(\text{♀}/\text{♀})$		11.7565	23.989	39.1311	20.975
发育时间(天)		8	25	6	17
$r_m(\text{♀}/\text{♀}/\text{天})$		0.139	0.1146	0.2647	0.1628
$Ti(\text{天})$		17.7253	27.721	13.8488	18.689
$\lambda(\text{♀}/\text{♀}/\text{天})$		1.1491	1.1214	1.303	1.1768
加倍时间(天)		4.9867	6.048	2.6184	4.2574

度下,苹果绵蚜的 r_m 值均大于苹果绵蚜蚜小蜂。这是苹果绵蚜严重为害的生物学基础。表中的 R_0 为种群的平均产雌数; Ti 为种群的世代周期; λ 为周限增长率。

四、小 结

本文通过对苹果绵蚜及其寄主蜂各项生物学指标的比较分析,得出如下初步的结论:(1)苹果绵蚜比苹果绵蚜蚜小蜂更适合凉爽的气候,而这样的气候区正是苹果的种植区;(2)温度对苹果绵蚜蚜小蜂的寄生能力影响很大。另外,蚜小蜂之间的干扰作用非常强烈;(3)苹果绵蚜种群的增长能力大于苹果绵蚜蚜小蜂。这些可能是昆明地区苹果绵蚜蚜小蜂不能控制苹果绵蚜危害的主要原因。世界各地利用蚜小蜂进行生物防治的成败,可能也主要受上述因素的制约。

本文首次利用卡方密度函数对昆虫的产卵分布进行了拟合,取得了令人满意的效果。

参 考 文 献

- [1] 龙承德等, 1960, 苹果绵蚜寄生蜂的生物学特性及其利用研究, 昆虫学报 10(1): 1—39.
- [2] Chacko, M.J., 1967, Establishment of *Aphelinus mali* (Haldeman) at Shillong, Assam, Cur. Sci.

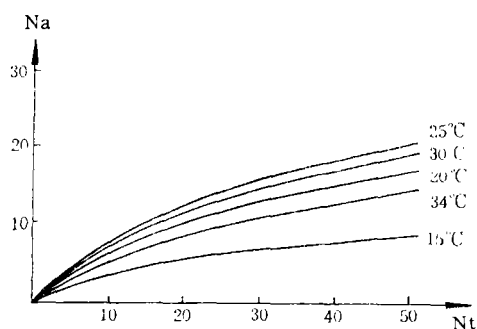


图 2 不同温度下的功能反应曲线

Fig.2 The functional response curves at different temperature

- 36: 298—299.
- [3] El-haidari, et al, 1978, Population density of *Aphelinus mali*, a parasite of *Eriosoma lanigerum* in Iraq, *Envi. Ento.* 7(6): 913—914.
- [4] Evenhuis, H.H., 1985, Ecological investigation on the woolly apple aphid, *E. lanigerum* and its parasite, *A. mali* in the Netherlands, *Tijdschrift Plantenziekten*, 64: 1—103.
- [5] Thakur, J.R. et al, 1980, Woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum*, research in India, *Trop. Pest Manage.* 26(1): 8—12.
- [6] 单 访等, 1988, 苹果绵蚜种群内禀增长力的研究, *动物学研究* 9(3): 285—290.
- [7] Hassell, M.P. et al, 1969, New inductive population model for insect parasite and its bearing on biological control, *Nature, Lond.* 223: 1133—1137.
- [8] Holling, C.S., 1959, Some characteristics of simple types of predation and parasitism, *Can. Ento.* 91: 385—398.
- [9] Messenger, P.S., 1964, Use of life tables in a bioclimatic study of an experiment Aphid-Braconid wasp Host-parasite system *Ecology* 45: 119—130.
- [10] 张 岳等, 1957, 苹果绵蚜生活史及防治研究, *昆虫学报* 7(2): 167—182.
- [11] 宋 键等, 1980, 人口发展过程的预测, *中国科学* (9): 920—932.

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

1. THE COMPARATIVE STUDY OF BIOLOGY AND ECOLOGY OF WOOLLY APPLE APHID AND ITS PARASITE

Tang Ye-Zhong Zhao Wan-Yuan Kuang Rong-Ping
Shan Fang Zhong Ning Yu Bo
(Kunming Institute of Zoology, Academia Sinica)

This paper dealt with the comparison of ecology and biology of *Eriosoma lanigerum* (Haus.) and its parasite, *Aphelinus mali* (Hald.). The results are as follows: (1) The effective accumulative temperature for completing a generation and basic developmental temperature of aphid are smaller than those of its parasite, and their effective accumulative temperatures are 352.19°C and 375.51°C and basic developmental temperatures are 7.62°C and 7.95°C, respectively. These indicate that aphid is more suitable than its parasite to the climates in Kunming; (2) The ability of growth of aphid population is greater than that of its parasite, and intrinsic rates of natural increase of both insects are 0.1390 and 0.1146 at 20°C, 0.2647 and 0.1628 at 25°C, respectively. These result in woolly apple aphid unable to be controlled by its parasite in field. In addition, the time distribution of insect oviposition was fitted with Chi square density function for the first time in present study.

Key words: *Eriosoma lanigerum*, *Aphelinus mali*, population parameters, functional response, time distribution of oviposition.