

温湿度对松毛虫赤眼蜂种群增长的影响

施祖华 刘树生

(浙江农业大学植物保护系, 杭州, 310029)

5763.85

A

摘要 在13—33℃、35%—95% R. H. 范围内的7个恒温、13个温湿度组合下, 测定了松毛虫赤眼蜂 (*Trichogramma dendrolimi* Matsumura) 的发育、存活和生殖情况。结果表明, 该蜂在13—30℃ (75% R. H.) 范围内, 卵至羽化的发育速率与温度呈逻辑斯蒂曲线关系; 发育起点温度为 $10.1 \pm 0.03^\circ\text{C}$, 有效积温常数为 140.2 ± 0.29 日度; 幼期存活率在26℃左右最高; 成虫寿命随温度升高而缩短, 生殖力以23—28℃最高; 内禀增长力 (r_m) 随温度升高而增大, 28℃时达最大, 随后急剧下降, 至31℃时已为负值。低湿和高湿在低温下使发育速率减缓, 而在适温和高温下则有使发育速率加快的趋势; 低温低湿和高温高湿有使幼期存活率下降的趋势; 在低温、高温下, 75% R. H. 对成虫存活、生殖最有利, 95% R. H. 次之; 在适温下湿度对生殖力无影响, 成虫寿命在低湿下最短。33℃下, 3种湿度下均未产生雌性后代。

关键词: 松毛虫赤眼蜂, 温度, 湿度, 种群增长。

松毛虫赤眼蜂 (*Trichogramma dendrolimi* Matsumura) 是多种害虫卵期的重要寄生性天敌昆虫, 在我国分布广, 并被广泛应用于农林害虫的防治。深入分析主要环境因子对其种群数量变化的影响, 可为了解其在自然界的发生规律和提高人工大量繁殖利用的效益提供重要信息。王承纶和李丽英曾就温度对松毛虫赤眼蜂的个体发育做过研究^[1,2]。本文报道温湿度对松毛虫赤眼蜂主要生物学特性和种群参数的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料

蜂种为1988年8月采自浙江武义马尾松毛虫 (*Dendrolimus Punctatus* Walker) 卵中羽化出的松毛虫赤眼蜂, 在室内用米蛾 (*Corcyra cephalonica* Stainton) 卵饲养繁殖多代, 试验前代在 $26^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 、70%—80% R. H. L:D 14:10 条件下饲养, 羽化后24h内已交配过的雌蜂用于试验, 并以20%蜂蜜溶液作为补充营养, 以米蛾卵作供试寄主。

2 试验设计

选用13、18、23、26、28、30、33℃ 7个温度, 均用LRH-150G型光照培养箱控制; 35% R. H.、75% R. H.、95% R. H. 3个湿度, 用硫酸溶液或食盐饱和溶液控制。共设计了13个温、湿度组合进行试验。

3 试验方法

粘制寄主卵卡130张, 每张200—250粒卵, 供4头雌蜂产卵寄生2h。然后将这130张卵卡随机分配到各温湿度组合下培养, 每组合下10张。蜂羽化前开始, 13℃下每隔24h, 18、23、

* 瑞典 International Foundation for Science 资助项目。

本文于1991年11月30日收到, 修改稿于1992年5月19日收到。

26℃下每隔 12h, 28、30、33℃下每隔 8h 观察记载羽化的雌、雄蜂数, 直到羽化完毕。然后考查各卵卡上被寄生变黑寄主卵数和变黑后未出蜂寄主卵数, 供计算预蛹—蛹期死亡率。

当各温湿组合下蜂达羽化高峰时, 取一次观察间隔内羽化的蜂, 再让其交配 2h 后, 从中取 20—30 头雌蜂, 分单头置 $1.5 \times 8 \text{ cm}^3$ 试管中, 供 150—200 粒米蛾卵卡 1 张, 让蜂产卵, 以后定期换进 50—100 粒米蛾卵卡 1 张, (13℃下每 3d 换 1 次, 其余温度下每天换 1 次), 换卡时供蜜 1 次。整个交配、产卵的过程都严格控制在原温湿组合下进行, 直至雌蜂死亡。每次换出的寄主卵卡立即置 26℃、70%—80% R. H. 条件下饲养至羽化完毕, 考查各卡上寄生后变黑的寄主卵数, 羽化的雌、雄蜂数及变黑未出蜂的寄主卵数。

由于赤眼蜂产卵于寄主卵内, 上述试验尚不能提供卵—幼虫期(即寄主卵变黑前)的死亡情况。为了能在计算种群参数时将全个幼期的死亡率考虑进去, 又对卵—幼虫期的死亡率进行了试验和估计。方法如下: ①粘制寄主卵卡 260 张, 每卡上 80 粒卵。将这些卵卡同时分别供 260 头随机抽取的雌蜂(每卵卡 1 头蜂)在 26℃下产卵寄生 2h, 然后将这 260 张卵卡随机分配到各温湿度组合下, 每组合下 20 张, 让其发育至被寄生卵变黑, 然后计数各卡上变黑寄主卵数; ②利用辅助试验提供的数据估计在各温湿度下的起始蜂卵数。方法是在第①项试验的同时, 在 26℃、75% R. H. 条件下观察 500 粒被确认为已被产卵寄生的寄主卵(在显微镜下逐粒寄主卵观察记载被雌蜂产卵寄生的过程, 参见刘树生等的变黑卵粒数^[3]), 得出在 26℃、75% R. H. 条件下卵—幼虫期存活率为 0.8232, 则用该条件下的观察到的平均每卵卡变黑卵数 35 粒除以 0.832, 得出在第①项试验中 26℃、75% R. H. 下平均每卵卡上起始蜂卵数为 42 粒。由于在第①项试验中, 卵卡被寄生及分配到各温湿度下均是随机的, 故可假定各温湿组合下的起始蜂卵数相等, 即平均每卵卡上均为 42 粒; ③将各组合下每卵卡的变黑寄主卵数与 42 粒之差作为蜂在卵—幼虫期的死亡数, 计算各组合下的卵—幼虫期死亡率。显然, 上述估算还假定试验中均为单寄生, 这一假定是与实际情况相符的^[3]。

在编制生命生殖力表时, 假定未成熟期雌雄个体的存活率一致。生命生殖力有关参数的计算是应用按照差分方程 $\sum e^{-r_m \cdot t} \cdot l_x \cdot M_x = 1$ 所编写的 Basic 程序, 在 ALR386 微机上计算内禀增长力(r_m)和平均世代长度(T)的精确值^[3]。

2 结果与分析

2.1 温度对发育速率的影响

每一温湿度组合下完成发育的个体数在 600—900 头之间, 其中雄蜂占 10%—20%。各组合下雌蜂与雄蜂的平均发育历期基本一致, 雄蜂的历期一般较雌蜂的短 1%—3%。为简便起见, 本文分析只包括雌性个体的数据。

在 13—30℃(相对湿度 75%)范围内, 随温度升高, 产卵至羽化的发育历期缩短(表 1), 发育速率加快; 温度达 33℃时, 发育历期反而延长, 发育速率减缓。温度与发育速率之间呈 S 型曲线关系(图 1), 用 Marguardt 阻尼最小二乘法迭代(33℃下的数据点不予考虑)获得的逻辑斯蒂曲线方程为:

$$V = \frac{18.61012}{1 + \exp(4.22394 - 0.17971t)}$$

式中, t 为温度, V 为平均发育速率, 即每天发育百分率。

参照 Campbell 等(1974)的方法^[5], 将各个体发育历期的倒数 V 与温度 t 作直线回归, 计

算发育起点温度(C)线与温度轴的交点)和有效温积常数(K)(直线斜率的倒数)。 C 、 K 的标准误差按下式估出:

$$C_{s.e.} = \frac{V}{b} \sqrt{\frac{S(V - \bar{V})^2}{(N - 2)N\bar{V}^2} + \left(\frac{b_{s.e.}}{b}\right)^2}$$

$$K_{s.e.} = \frac{b_{s.e.}}{b^2}$$

式中 b 为回归直线斜率, $b_{s.e.}$ 按经典的回归统计方法计算, N 为供试总虫数。计算在 ALR386 微机上进行(33℃下数据不考虑), 得 $C = 10.1 \pm 0.03^\circ\text{C}$, $K = 140.2 \pm 0.29$ 日度。

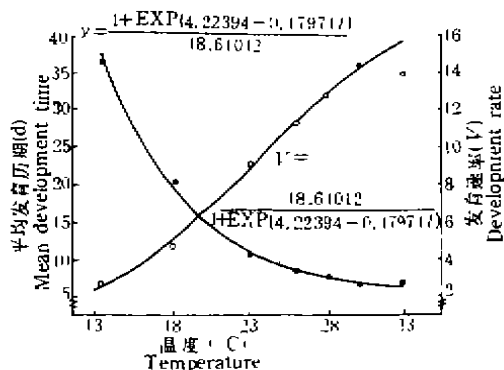


图 1 松毛虫赤眼蜂在不同温度下的发育历期和发育速率

Fig. 1. The development periods and rates of *T. dendrolimi* under different temperatures

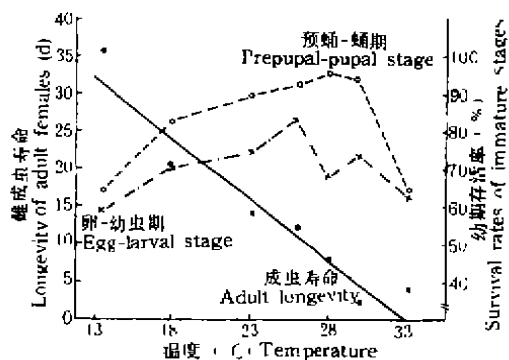


图 2 不同温度下松毛虫赤眼蜂雌成虫寿命及幼期存活率

Fig. 2 The female adult longevity and survival rates during immature stages of *T. dendrolimi* under different temperatures

2.2 温度对幼期存活和成虫寿命的影响

卵-幼虫期存活率在低于 26℃ 的温度下, 随着温度的升高而提高, 而在高于 26℃ 的温度下, 随温度升高呈下降的趋势(图 2)。预蛹-蛹期存活率与温度的关系和卵-幼虫期类同, 但存活率均较卵-幼虫期高。成虫寿命(L)与温度(t)按 $L = 52.9923 - 1.6020t$ ($r = 0.95$) 呈负相关。

表 1 不同温度下松毛虫赤眼蜂发育、存活、生殖力($\bar{X} \pm S. D.$) (75% R. H.)

Table 1 The development, survival and fecundity of *T. dendrolimi* under different temperatures

温度(℃) Temperature	♀发育历期(d) Development time	卵-幼虫期 存活率(%) Survival rate of egg-larval stage	预蛹-蛹期存活率(%) Survival rate of Prepupal-pupal stage	♀成虫寿命(d) Adult longevity	生殖力(粒) Fecundity	子代性比(♀%) Sex ratio of offspring
13.5	36.40 ± 1.33A	58.45	64.45 ± 13.39C	35.92 ± 15.45A	70.3 ± 12.2C	75.71 ± 8.84A
18.1	20.48 ± 0.99B	70.89	82.55 ± 12.85B	20.17 ± 11.28B	102.6 ± 32.8B	77.47 ± 9.78A
23.0	10.94 ± 0.52C	74.89	89.50 ± 9.55AB	12.14 ± 5.17C	138.4 ± 45.2A	78.94 ± 16.01A
26.1	8.82 ± 0.53D	83.20	92.51 ± 4.78AB	12.38 ± 1.83C	159.8 ± 23.7A	75.51 ± 7.52A
28.1	7.83 ± 0.30E	68.17	95.18 ± 2.81A	8.00 ± 2.05D	161.5 ± 39.4A	76.09 ± 11.60A
30.2	6.93 ± 0.36G	73.61	93.65 ± 2.86A	2.06 ± 0.24F	96.6 ± 16.0B	79.10 ± 6.06A
33.1	7.16 ± 0.47F	62.85	64.63 ± 8.01C	4.15 ± 1.33E	61.1 ± 15.0C	0.00 ± 0.00B

注: 每一列中平均值后英文字母不同示差异达 1% 显著水准。 Different letters are significantly different at the 1% level.

2.3 温度对成虫生殖力的影响

由于所有温湿度组合下每次换出的卵卡都饲养在 26℃、75% R. H. 下, 为简便起见, 将观察所得的变黑寄主卵数作为生殖力的指标。从表 1 可见, 从 13℃ 开始, 随着温度的升高, 产卵

量增加,26—28℃达到最高,随后,随温度升高产卵量显著下降,且在33℃下,羽化出来的子代均为雄蜂。

2.4 湿度对发育速率、存活率和成虫生殖力的影响

从表2可见,湿度对发育速率有一定影响,低温下,低湿或高湿使发育速率减慢,而在适温和高温下低湿和高湿则有加快发育的趋势。湿度对卵-幼虫期存活率无明显的影响,在适温下对预蛹-蛹期存活率也无明显影响,但在低温下,低湿使预蛹-蛹期存活率下降,高温下高湿也使这一阶段存活率下降。成虫寿命在3个供试温度下,均以在75%R.H.下最长,在95%R.H.下次之,35%R.H.下最短。雌成虫生殖力在适温26℃下,各湿度间没有显著差异,而在13℃、33℃温度下,均以75%R.H.最高,95%R.H.次之,35%R.H.下最低。33℃时3个湿度下,所有变黑卵中羽化的子蜂均为雄蜂。

表2 不同湿度下松毛虫赤眼蜂发育、存活、生殖力($\bar{X} \pm S. D.$)

Table 2 The development, survival and fecundity of *T. dendrolimi* under different humidities

温度 (℃) Tem.	湿度 (R.H. %) Humidity	♀发育历期(d) Development time	卵-幼虫期 存活率(%) Survival rate of egg-larval stage	预蛹-蛹期存活率(%) Survival rate of prepupal-pupal stage	♀成虫寿命(d) Adult longevity	生殖力(粒) Fecundity	子代性比(♀%) Sex ratio of offspring
13.0	35	44.53±2.55A	62.54	25.54±7.52B	10.13±4.16C	14.5±5.1B	70.15±8.39B
13.5	75	36.40±1.33C	58.45	64.45±13.39A	35.92±15.45A	70.3±12.2A	75.71±8.84AB
13.1	95	43.67±2.03B	59.13	69.18±9.78A	17.21±6.80B	63.6±13.4A	78.77±5.12A
26.1	35	8.72±0.46B	72.65	93.38±4.23A	6.53±2.31B	150.6±29.2A	72.32±6.72A
26.1	75	8.82±0.53A	83.20	92.51±4.78A	12.38±1.83A	159.8±23.7A	75.51±7.52A
25.7	95	8.77±0.76AB	78.75	94.87±2.57A	11.81±3.31A	145.9±38.8A	75.08±11.93A
32.9	35	6.75±0.26B	56.86	50.10±3.90B	2.55±1.24B	23.7±9.9C	0.00±0.00A
33.1	75	7.16±0.47A	62.85	64.63±8.01A	4.15±1.33A	61.1±15.0A	0.00±0.00A
33.0	95	7.13±0.25A	52.26	49.21±9.45B	2.92±1.57B	41.1±19.8B	0.00±0.00A

注:同一温度下每一列中平均值后英文字母不同示差异达1%显著水准。

Different letters are significantly different at the 1% level under the same temperature.

2.5 温、湿度对内禀增长力 r_m 的影响

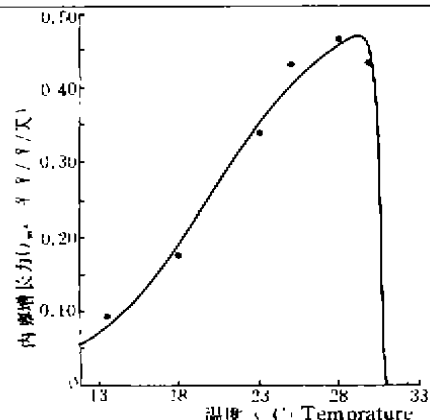
内禀增长力能较好地反映出该物种在某特定环境条件下,发育速率、存活率及生殖率3方面对该物种数量变动的综合影响。从表3可见,在75%R.H.下,净生殖率(R_0)随温度升高而上升,到26℃时达到最大,随后又逐渐下降,到33℃时因不能产生雌性后代而为零。平均世代长度(T)与温度(t)按 $T=59.8012-1.8264t$ ($r=0.93$)呈负相关。内禀增长力(r_m)随着温度(t)的上升逐渐增大,到28℃时达到最大值,然后下降。 r_m 与 t 之间的关系可用下述方程表达(图3)

$$r_m = \frac{0.5172}{1 + \exp(-0.2536(t - 20.15))} \left[1 - \exp\left(-\frac{t - 7.7769}{0.2683}\right) \right] \left[1 - \exp\left(-\frac{30.8120 - t}{0.2683}\right) \right]$$

湿度对 r_m 的影响,在13℃下表现最为明显,以75%R.H.下 r_m 值最大,95%R.H.下的次之,35%R.H.下的最低;在26℃下, r_m 值在3个湿度下基本一致,33℃时,种群因不能产生雌性后代而灭绝(表3)。

表 3 松毛虫赤眼蜂在不同温度、湿度下的种群 R_0 、 T 、 r_m 值Table 3 The population growth parameters of *T. dendrolimi* under different temperature and humidity regimes

湿度 (R.H. %) Humidity	温度(°C) Tem.	R_0	$T(d)$	r_m (♀♀/♀/d)
75	13.5	48.8333	40.9112	0.0950
	18.1	48.9583	22.0826	0.1762
	23.0	79.0000	12.9393	0.3377
	26.1	101.1765	10.7006	0.4315
	28.1	77.1556	9.4188	0.4614
	30.2	47.8810	8.9800	0.4308
	33.1	0.0000		
35	13.0	17.1000	48.2551	0.0352
	26.1	85.8438	10.5810	0.4208
	32.9	0.0000		
95	13.1	24.6875	48.3240	0.0663
	25.7	90.3333	10.2056	0.4413
	33.0	0.0000		

图 3 不同温度下松毛虫赤眼蜂内禀增长力(r_m)Fig. 3 The intrinsic rates of increase of *T. dendrolimi* under different temperatures

3 讨论

3.1 发育速率与温度的关系

本文在拟合平均发育速率 V 与温度 t 的曲线时,弃去了高温下 V 随 t 升高而下降的数据点,这样做的原因在于:① Logistic 方程本身不能反映高温下 V 随 t 增高而下降的现象,若拟合时把这样的数据点考虑进去,必然导致曲线与其余所有数据点的拟合度大大降低;②据另外的试验证明,松毛虫赤眼蜂发育速率与温度的关系符合刘树生⁽⁶⁾提出的模式,即以恒温下平均发育速率达到最高的温度点(本文约为 30°C)为界,低于该温度点时温度波动不改变发育速率与温度的关系,高于此温度点时变温下瞬时发育速率接近按本文方法所拟合的 Logistic 曲线。因此,图 1 的曲线准确地反映了松毛虫赤眼蜂在 13—30°C 范围内恒温和变温下的发育速率,同时也基本正确地反映了该蜂在 30—33°C 范围内变温下的瞬时发育速率。

本文计算所得的发育起点温度和有效温积常数与王承纶、李丽英等报道的有些差异^[1,2]。考虑到本文供试温度范围广,每一温度下个体数多,且计算时以个体的数据参与回归(共 4029 对数据),故所得常数应更为精确。

3.2 温度对种群参数的影响

温度对松毛虫赤眼蜂的发育速率、存活率、生殖力和生殖率等各种生命活动均有直接的影响,从而导致其内禀增长能力(r_m)随温度变化而改变,变化规律符合有下、上限的 Logistic 曲线,在 28°C 左右达到最高。

在 13—30°C 范围内,温度变动对子代性比无明显影响,但在 33°C 的高温下子代均为雄性。作者曾将 33°C 下发育出来的成蜂在适温(26°C)下放置 1—2h 再放回 33°C,结果后代中雌性个体达 5%—15%,表明松毛虫赤眼蜂在 33°C 下仍能发育到性成熟,但在该高温下不能正常交配授精。

3.3 湿度对种群增长参数的影响

湿度对种群增长各参数的影响有所不同,在 3 个供试湿度下,75% R.H. 均明显表现出有利于种群增长。对预蛹-蛹期存活率、成虫寿命和生殖力而言,高湿均表现出较低湿有利,而卵-

幼虫期存活率在低温和高温下,低湿均表现出较高湿有利的趋势。

参 考 文 献

- [1]王承纶等.松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* Matsumura 个体发育与温度的关系.动物学研究,1981,2(4):317—326
- [2]李丽英等.赤眼蜂生长发育与温度关系的种间及种内差异.昆虫天敌,1983,(1):1—5
- [3]刘树生等.松毛虫赤眼蜂产卵行为观察.昆虫知识,1991,28(2):103—105
- [4]刘树生等.昆虫生命表制作与分析中的几个问题.昆虫知识,1986,23(1):41—43
- [5]Campbell, A. et al. Temperature requirements of some aphids and their parasites. *J. Appl. Ecol.*, 1974, 11, 431—438
- [6]刘树生等.桃蚜、萝卜蚜发育速率在恒温 and 变温下的变化规律.生态学报,1989,9(2):182—190

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND HUMIDITY ON THE POPULATION INCREASE OF *TRICHOGRAMMA DENDROLIMI*

Shi Zu-Hua Liu Shu-Sheng

(Department of Plant Protection, Zhejiang Agricultural University, Hangzhou, 310029)

The development, survival and reproduction of the egg parasite *Trichogramma dendrolimi* Matsumura, collected from the eggs of the pine moth *Dendrolimus punctatus* (Walker), and reared on *Corcyra cephalonica* (Stainton), were determined under 13 temperature and humidity regimes. The relationship between the development rate of the parasite from egg to adult emergence and temperature from 13°C to 30°C with 75% RH fitted to the logistic curve. The development threshold temperature and thermal constant for the whole immature stage were estimated to be $10.1 \pm 0.03^\circ\text{C}$ and 140.2 ± 0.29 day-degrees, respectively. The survival rate of the immature stage was highest under about 26°C. Longevity of the female wasp decreased with increase in temperature. The fecundity was highest at the range 23—28°C. With increasing temperature, the intrinsic rate of increase increased until 28°C, then declined sharply, and reached zero at about 31°C. Both low and high levels of relative humidity showed decelerative effect under low temperature and accelerative effect under high temperature on rate of development. The survival rate of the immature stage was reduced under the combinations of low temperature and high humidity or high temperature and high humidity. Under both low and high temperatures, adult survivorship and fertility were higher under 75%RH than those under lower and higher levels of relative humidity. Under 26°C, changes in relative humidity did not affect fertility, but adult longevity was reduced at the lower level of relative humidity. At 33°C, no female progeny were produced at all levels of relative humidity tested.

Key words: *Trichogramma dendrolimi*-temperature effect, humidity effect, population, parameters