

桑树 (*Morus alba*) 朱砂叶螨 (*Tetranychus cinnabarinus*) 实验种群的温度效应

王兴科, 吴福安*, 陶士强, 汪 伟, 程嘉翎

(江苏科技大学生物与环境工程学院、中国农业科学院蚕业研究所, 江苏镇江 212018)

摘要: 采用生命表分析、生存分析、“王-兰-丁”模型及线性模型等分析方法, 对 15 ~ 28℃ 温区的 5 个恒温处理朱砂叶螨 (*Tetranychus cinnabarinus*) 实验种群进行了系统研究。结果表明, 此温区内, 种群在生殖、发育和生存 3 方面, 有明显的温度效应: 内禀增长力、周限增长力、净增殖力和平均日产卵量、世代平均周期、及种群倍增时间的倒数呈线性增长; 而平均寿命、最大死亡年龄, 随温度升高而递减; 性比和实际产卵天数对温度不敏感。种群在生殖、发育和生存三者之间, 采取了较为“折衷”的策略: 8℃ 为发育临界点; 13℃ 左右为生殖和种群增长临界温度; 22℃ 左右为生殖和种群增长最适温度; 30℃ 左右为发育最适温度。

关键词: 朱砂叶螨 (*Tetranychus cinnabarinus*); 温度效应; 临界温度; 最适温度

文章编号: 1000-0933(2008)06-2645-09 中图分类号: Q142, Q968 文献标识码: A

Effects of temperature on population of Carmine spider mite (*Tetranychus cinnabarinus*) fed with White mulberry (*Morus alba*)

WANG Xing-Ke, WU Fu-An*, TAO Shi-Qiang, WANG Wei, CHENG Jia-Ling

College of Biology & Environmental Engineering, Jiangsu University of Science & Technology; Sericultural Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhenjiang 212018, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(6): 2645 ~ 2653.

Abstract: The effect of temperature increase from 15℃ to 28℃ on population dynamics pertaining to analysis on life table and survival analysis of Carmine spider mite (*Tetranychus cinnabarinus*) fed with White mulberry (*Morus alba*) was investigated under laboratory condition. Analysis using both linear and ‘Wang-Lan-Ding’ models based on population parameters was performed. Results revealed the increment of net reproductive rate (R_0), finite rate of increase (λ), intrinsic rate of natural increase (r_m), eggs laid per female per day, the reciprocal of doubling time for population (Dt) and mean generation time (T) were all represented linear relation with temperature increasing, whereas the average life and the maximum mortality age were both decreased with temperature increasing. Ratio of male/female and practical oviposition duration were basically unchanged within the temperature range. The population selected ‘trade-off’ strategy among reproduction, development and survival. Threshold temperature of development (female), threshold temperature of reproduction and population growth, optimal temperature of reproduction and population growth, optimal temperature of

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划课题资助项目(2006BAD06B03); 江苏科技大学人才资助项目(2006CY133J)

收稿日期: 2007-04-17; **修订日期:** 2007-12-12

作者简介: 王兴科(1982 ~), 江苏东海人, 硕士生, 植物病虫害防治. E-mail: shincoking@sina.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fuword@163.com

Foundation item: The project was financially supported by National “Eleventh Five-Year Plan” Program for Key Problems in Science and Technology, China (No. 2006BAD06B03) and Foundation of Jiangsu University of Science & Technology (No. 2006CY133J)

Received date: 2007-04-17; **Accepted date:** 2007-12-12

Biography: WANG Xing-Ke, Master candidate, mainly engaged in agricultural entomology. E-mail: shincoking@sina.com

development were approximately 8, 13, 22°C and 30°C, respectively.

Key Words: *Tetranychus cinnabarinus*; temperature effect; threshold temperature; optimum temperature

昆虫和螨类对特定温度适应范围的特性,表现为种群水平上生态学参数的差异,可以通过实验室恒温饲养、数学建模来量化温度对昆虫发育、生殖过程的影响^[1]。在适温区,昆虫发育(生殖)速率与温度呈线性关系(即常用的积温模型);低温区,由于温度的抑制作用,发育速率偏离线性关系,随温度的下降逐渐趋近于零;而在高温区,速率随温度的上升继续增至某个最大值,然后迅速下降至零。量化这种抑制作用的非线性模型中,“王-兰-丁”模型以其参数生态学意义明确而常用^[2]。但是,靠近低温区段测得的速率往往实验误差过大,同时由于采用的拟合手段不适当,导致该模型的拟合值偏低或者偏高^[3],从而限制了该模型更广泛的应用。

近年来,由于精耕细作和农药的大量使用,桑园生态环境恶化,天敌多样性及数量下降,导致朱砂叶螨由原来的桑园次要害虫上升为主要害虫^[4]。朱砂叶螨(*Tetranychus cinnabarinus*)危害包括桑树在内的 100 多种农作物以及观赏植物^[5],研究温度对它的效应有着重要的经济学上意义。一些大宗作物上朱砂叶螨温度效应方面已有不少研究,但基于同胞分析及产卵习性来系统研究朱砂叶螨温度动力学特性的报道较少。为此,采用同胞分析技术^[6]结合“王-兰-丁”模型,旨在从种群水平上量化该种群温度效应的动态规律,阐明温度对其发育、生殖的影响,以揭示该螨温度依赖的内在机理,为该螨的综合防治提供一些参考。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

朱砂叶螨实验种群为西南大学植保学院提供,该品系引进本实验室之前在室内不接触任何药剂的情况下以盆栽新鲜豇豆苗饲养了 5 a 约 100 代^[7],2004 年 6 月引进本实验室后以桑叶饲养:桑树自然生长季节以本课题组实验桑园里桑叶、非自然生长季节以室内人工气候室(温度 16~23°C,光照周期 16L:8D)的桑叶,叶位为第 3 至 6 片,在 20°C 恒温、光照周期 16L:8D 条件下连续繁殖约 40 代。

1.2 供试植物

供试植物为桑树(*Morus alba*),品种为金 10(中国桑树种质资源镇江圃提供)。桑树为 2003 年嫁接,2005 年移栽,各项田间管理措施一致、实验桑园肥力相近,病虫害较少,不使用任何农药。

1.3 生命表构建

参照吴福安^[8]的方法并稍加改进。在 80mm×120mm×9mm 有机玻璃(厚 3mm)盒一面开直径 30mm 孔,填以同样直径、高为 12mm 圆柱形化妆绵作为培养基,每盒 6 个培养基相互隔离,供试桑叶用打孔器获得直径 30mm 的圆形叶片,叶背朝上,贴于培养基上。盒中加蒸馏水,多余的水溢出盒外,以保证培养基湿润使其上叶片保鲜。

有机玻璃盒及培养基,用 1:1000 倍蚕用消毒净(中国农业科学院蚕业研究所附属蚕药厂生厂,主要成份为三氯异氰尿酸和碳酸氢钠)水溶液浸泡 30min 消毒,然后用蒸馏水冲洗干净,60°C 下烘干备用。实验所用桑叶,依次用自来水和蒸馏水冲洗若干次后,在解剖镜(XPB-01 型,江南仪器厂)10×3 放大倍数下观察,除去叶上异物。

每只叶片接产卵盛期雌虫 5 头,置于光照周期 16L:8D 的光照培养箱中的人工气候培养箱中(ZRX-1000DC 智能人工气候培养柜,杭州钱江仪器设备有限公司),设置湿度为 80%,温度为 15、18、21、25°C 和 28°C 等 5 个处理组。箱内放入温湿度记录仪(型号为 ZDR-20,浙江大学电气设备厂生产),设置为每 30min 记录 1 次。15~21°C 下 6h,25、28°C 下 2h 后,移去雌成螨,得卵 2~5 粒,孵化饲养。待叶盘上幼螨可分辨雌雄后,分别对各组叶片编号($g_{ij}, i=1, 2, \dots, 5, j=1, 2, \dots, 48$),每只叶片留雌雄螨一对,每组 48 个圆形叶片、8 个有机玻璃盒。每天 8:00~10:00 定时观察并记录雌螨发育进度和产卵量,直至死亡;叶片上雄成螨若有死亡或

者逃逸,则从备用种群中添加雄成螨。每3d更换1次叶片。每次换叶后,留下2只有机玻璃盒12个圆形叶片上的卵,与处理组同等条件饲养,直至成螨,调查成活的雌雄螨数量,确定性比。

1.4 数据统计分析

生命表原始数据采用吴福安^[8]等的方法来估计。按组($g=1,2,\dots,5$)来估计性比,其值为每组雌成螨产下雌体成活头数与相应的产卵数之比。以用于确定性比的有机玻璃盒上所获得的数据平均值为样本,用 t 分布进行估计。

按 Birch 和 Southwood 方法获得每组特征生存力(l_{gx})和特征生殖力(m_{gx})后,用迭代法计算内禀增长率 r_m 、平均世代周期 T 、净生殖率 R_0 、种群加倍时间 Dt 及周限增长率 λ ^[9]的精确值。

对每个温度处理组的各个编号雌螨,分别按累积生存率降序排列、相同的累积生存率则按产卵量降序排列进行重新编号($i=1,2,\dots,n$),然后每次移去重新编号中的第 i 位置上的螨所对应的调查数据,对余下的($n-1$)个螨的调查数据再分组别计算各组生命表各参数。按(1)式计算对应的“伪值”(PSV),构建(在 Visual FoxPro6.0,下进行)各组别生命表参数的 Jackknife 样本:

$$PSV_{g,i}^{(G)} = n \times G_{g,o} - (n-1) \times G_{g-i} \quad (1)$$

式中, $G = r_m, T, R_0, Dt, \lambda, n$ 为温度处理组的同胞雌螨数, $G_{g,o}$ 为第 g 组的生命表参数的精确值, G_{g-i} 为在抽样计算时,每抽走 i 号雌螨的数据后,剩下($n-1$)个雌螨所组成的同胞群所计算的生命表参数的精确值。

对 Jackknife 样本,采用 Kolmogorov-Smirnov 法和 Shapiro-Wilk 法(SPSS13.0)确认正态后,用 t 分布方法进行统计推断^[10]。

1.5 生存分析

种群存活率曲线,用方程(2)的威布尔(Weibull)模型拟合^[11]:

$$S(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{b}\right)^c\right] \quad (2)$$

式中, $S(t)$ 为年龄 t 的死亡率, b 为尺度参数, c 为形状参数。 $c>1$ 时,种群为 Deevey 存活曲线 I 型,死亡率是年龄的增函数; $c=1$ 时,死亡率为一常量,曲线表现为 II 型; $c<1$ 时,为 III 型,死亡率是年龄的减函数。

威布尔生存曲线一阶导数最小值即种群最大即时死亡力,与之对应的年龄为死亡高峰年龄^[12];二阶导数描述生存力加速大小,其最大值所对应的年龄,即为种群生存力最小的年龄,也即种群最大死亡年龄。曲线拟合及求导在 SPSS13.0 下进行。

1.6 种群发育(生殖)临界温度

在适宜温度范围内,发育(或者生殖)速率与温度呈线性关系^[13],如方程(3):

$$y = a + bx \quad (3)$$

式中, y 为发育速率(发育经过的倒数)、内禀增长率或日产卵量; a 为截距, b 为斜率。用 $T_b = -a/b$ 估计发育(或者生殖)起点温度(base temperatures, T_b);用 $SET = 1/b$ 估计有效积温(the sum of effective temperatures, SET),曲线拟合与参数估计在 Origin7.0 下进行。

1.7 温度对种群发育(生殖)的拟制作用

采用“王-兰-丁”昆虫发育速率模型^[14]:

$$V(t) = \frac{K}{1 + \exp[-r_m(t - T_0)]} \times \left[1 - \exp\left(-\frac{t - T_L}{\delta_L}\right)\right] \quad (4)$$

式中, K 为高温下的潜在饱和发育(生殖)速率, r_m 是发育(生殖)速率随温度变化的指数增长率, T_L 为最低临界温度, T_0 为最适发育温度, δ_L 为低温边界层宽度,其相对大小反映了昆虫对低温区极端温度的忍耐程度。 T_L 与线性模型中的 T_b 相对大小,用方程(5)来描述温度对种群发育(生殖)的抑制作用(CR):

$$CR = \frac{T_L - T_b}{T_b} \times 100 \quad (5)$$

曲线拟合与参数估计在 Matlab7.0 下进行。

2 结果与分析

2.1 温度对种群产卵特征的影响

温度对朱砂叶螨产卵影响如表 1。总产卵量随着温度的升高而递增,15~18℃间增幅最大(近 2 倍),随着温度的升高增幅减小,但 5 个不同温度间差异显著。平均产卵历期 18℃和 21℃最长,其余 3 个温度次之,且此 3 个温度下平均产卵历期差异不显著。总产卵量增幅综合产卵历期长短来看,21℃左右可能存在一个最适温度,使产卵量增幅与产卵历期均达最大值,表 4 的内禀增长力与日产卵量“王-兰-丁”速率模型中所得最适温度分别为 21.50、22.87℃,证实了这个设想。

表 1 不同温度下朱砂叶螨生命(殖)力参数

Table 1 Life and fecundity parameters of *T. cinnabarinus* at different temperatures

种群参数 Population parameters	温度 Temperatures (°C)				
	15	18	21	25	28
总产卵量(粒/♀) Total number of eggs laid per female	28.5 ± 19.4a	59.6 ± 21.0b	82.8 ± 25.1c	89.4 ± 44.7c	97.0 ± 46.7c
产卵历期(d) Oviposition period	15.8 ± 10.0a	20.9 ± 6.0b	21.5 ± 5.8bc	15.9 ± 7.0ad	14.4 ± 6.9abcd
实际产卵天数(d) Practical oviposition days	14.0 ± 8.0a	14.2 ± 5.9b	14.3 ± 5.1bc	13.7 ± 6.7abd	13.4 ± 6.7abcd
日产卵量(粒/(♀·d)) Eggs laid per female per day	2.2 ± 0.5a	3.2 ± 0.5b	4.3 ± 0.7c	6.0 ± 1.6d	7.1 ± 1.5e
生殖前发育时间(d) Period of oviposition	39.8 ± 3.7a	22.3 ± 1.2b	14.7 ± 0.9c	10.8 ± 0.7d	8.5 ± 0.6e
雌性比 Ratio of females	0.786 ± 0.116a	0.805 ± 0.085a	0.810 ± 0.144a	0.771 ± 0.164a	0.786 ± 0.180a

表中数字为平均数 ± 标准差;平均值后有相同字母者为 t 检验差异不显著($p < 0.01$) Data were mean ± SD; Means in a row followed by same letter are not statistically different (t test $p < 0.01$)

各温度处理下的实际产卵天数在 13d 与 14d 之间,开差仅为 1d,21℃时略大。15~28℃,各处理组实际产卵天数与所对应的生命历程(平均寿命)相对时长,依次为 24.52%、30.87%、37.93%、48.93% 和 55.37%,随温度升高而递增。这说明,朱砂叶螨种群在较低温时,生命历程中大部分时间用于发育和孕育后代,等待适宜温度到来;而在较高温度区,则以相对较多的生命历程来进行生殖繁衍,以迅速扩大种群。雌性比在 5 个温度下差异不显著,为 0.8 左右,说明在 15~28℃温度段中,温度对性比影响较小。与朱砂叶螨在一些其它寄主植物上的性比值大小相近,这可能与该螨特殊的生殖方式有关。该螨可行孤雌生殖,未交配的雌螨全部产雄性后代;交配过的雌螨产两性后代,且性比严重偏斜。近年来研究认为,造成这种现象的原因,是一类与之共生的沃尔巴克氏体菌属(*Wolbachia*)寄生在生殖组织所致,沃尔巴克氏体菌属(*Wolbachia*)与性别决定、共生关系和物种形成等过程密切相关^[15]。

2.2 温度对种群生存和生殖的影响

15、18、21、25℃和 28℃条件下,朱砂叶螨世代存活曲线如图 1。采用 Weibull 模型拟合, r^2 值依次为 0.9913、0.9793、0.9919、0.9865 和 0.9889,如表 2。

5 个温度条件下,Weibull 模型拟合参数 c 值均大于 1,说明种群的存活曲线均为 Deevey I 型,即随着年龄的增长,死亡率增加,死亡率主要发生在年老的个体。而死亡高峰日主要取决于 b 值,即 b 值越大,死亡高峰日来得越迟^[9]。

对各个温度下的存活曲线的 Weibull 函数进行连续一阶求导,其导数值,为种群在各时间点的即时生存力,如图 1B。各温度的即时生存力,在初期都随年龄的增长而下降,下降的幅度随温度的降低而递减;下降到一个极值(极值点即种群死亡高峰)后,即时生存力随年龄的增长而递增,反映生命过程中的生命后期死亡力减弱(Deceleration of late-life mortality rates),即表现为生命后期“平台(plateau)”现象^[16]。

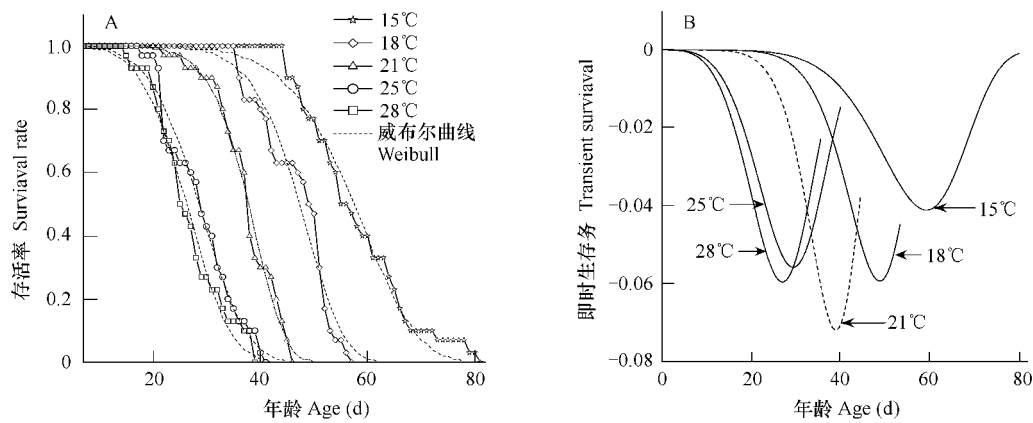


图 1 不同温度下朱砂叶螨存活率(A)和即时生存力(B)曲线
Fig.1 Survivorship curve and transient survival curve of *Tetranychus cinnabarinus* populations at different temperatures

表 2 不同温度威布尔模型参数表

Table 2 Parameters of Weibull model at different temperatures

温度(℃) Temperatures	b 值 b-values (95% CLs)	c 值 c-values (95% CLs)	最大即时死亡力 Maximum instantaneous mortality	死亡高峰年龄(d) Mortality peak age	平均寿命(d) Average life
15	60.67(60.23~61.12)	6.72(6.30~7.14)	4.12	59.2	57.1(47.4~66.8)
18	49.61(49.13~50.08)	7.95(7.18~8.71)	5.94	48.8	46.0(39.5~52.5)
21	39.65(39.38~39.92)	7.69(7.18~8.21)	7.20	38.9	37.7(31.8~43.6)
25	30.98(30.52~31.45)	4.59(4.17~5.00)	5.59	29.4	28.0(21.5~34.5)
28	28.51(28.09~28.92)	4.50(4.11~4.89)	5.97	27.0	24.2(18.1~30.3)

各温度下种群死亡高峰年龄,均大于所对应的种群的平均寿命(表 2),说明各温度下,朱砂叶螨能正常衰老死亡。Wyatt 等^[17]认为,蓟马和叶螨类害虫,种群年龄等于生殖前的发育时间长度 2 倍时, l_xm_x 对内禀增长力的贡献达 74% 左右。在 15~28℃ 温度范围中,与之对应的 2 倍种群年龄依次为 80、45、29、22d 和 17d,而死亡高峰年龄与这个年龄的相对距离(相对百分比)依次为 -26.00、8.44、34.14、33.64 和 58.82,说明 15℃ 时,种群死亡高峰对种群生殖力减弱作用较大,而 18~28℃,种群死亡高峰对种群生殖力减弱作用在逐渐减小。

2.3 温度对生殖力表参数的影响

5 个不同温度条件下朱砂叶螨实验室种群生殖力表参数的统计推断结果如表 3。在实验室环境下,其他条件都相同或者相近时,温度的变化导致朱砂叶螨实验种群生命参数显著变化。随着温度的升高,内禀增长率 r_m 、周限增长率 λ 以及净增殖率 R_0 变高,相应的世代平均周期 T 、种群加倍时间 Dt 变短。

表 3 不同温度下朱砂叶螨实验种群动态参数

Table 3 The population dynamic parameters of *T. cinnabarinus* at different temperatures

参数 Parameters	温度 Temperature(℃)				
	15	18	21	25	28
内禀增长率(r_m) Intrinsic rate of increase	0.07669 a	0.14188 b	0.21338 c	0.27514 d	0.33322 e
净增殖率(R_0) Net reproductive rate	22.3169 a	46.3691 b	64.4754 c	69.1058 d	76.4736 e
世代平均周期(T) Mean generation time	40.4906 a	27.0407 b	19.5253 c	15.3946 d	13.0151 e
种群加倍时间(Dt) Double population time	9.03795 a	4.88532 b	3.24844 c	2.51927 d	2.08012 e
周限增长率(λ) Finite rate of increase	1.07971 a	1.15244 b	1.23785 c	1.31671 d	1.39546 e

平均值后有相同字母者为 t 检验差异不显著($p < 0.01$) Means in a row followed by same letter are not statistically different (t test $p < 0.01$)

生命表参数在各温度处理间存在显著性差异,内禀增长率、净增殖率和周限增长率等速率性参数和温度

表现为较好的线性关系;世代平均周期和种群加倍时间等时间进程性参数的倒数,也表现为较好的线性关系。

昆虫生殖力表内禀增长力(r_m)参数,是综合了昆虫生长发育、生殖产卵和生存变化的一个生态统计量,是反映种群在特定环境下数量增长潜能的一项重要指标^[18,19]。

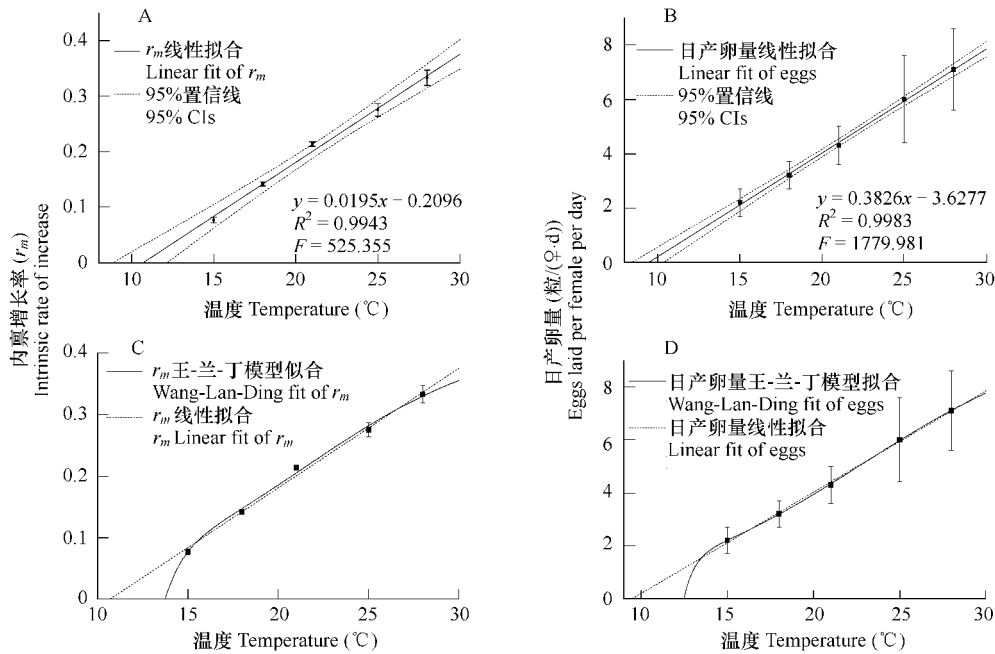


图2 日产卵量和内禀增长率与温度的线性和“王-兰-丁”模型拟合

Fig. 2 Fitting curve of eggs laid per female per day and r_m for the temperature

A:内禀增长率线性拟合 Linear fit of r_m ; B:日产卵量线性拟合 Linear fit of eggs; C:内禀增长率“王-兰-丁”模型拟合 Wang-Lan-Ding fit of r_m ; D:日产卵量“王-兰-丁”模型拟合 Wang-Lan-Ding fit of eggs

表4 温度对朱砂叶螨低温抑制效果比较

Table 4 The effect of the low temperature inhibitory on *Tetranychus cinnabarinus*

统计量 Parameters	资料来源 Data source	“王-兰-丁”模型 ‘Wang-Lan-Ding’ model						线性模型 Linear model			抑制力 Inhibitory ability (%)
		K	T_0	r	T_L	δ_L	R^2	T_b	SET	R^2	
日产卵量	a	10.20	22.87	0.16	12.48	0.5507	0.9999	9.48	2.61	0.9983	31.65
Eggs laid per female per day	b	10.22	21.35	0.19	12.40	0.5613	0.9970	10.00	2.15	0.9505	24.00
内禀增长率	r_m 精确值 ^a	0.43	21.50	0.18	13.76	0.8618	0.9980	10.74	51.24	0.9943	28.12
Intrinsic rate of increase	r_m 近似值 ^a	0.36	21.56	0.18	13.76	0.8701	0.9981	10.74	61.45	0.9943	28.12
	r_m 近似值 ^b	0.48	22.53	0.18	13.55	0.1452	0.9963	10.11	51.10	0.9855	34.03
世代发育速率	a	0.26	29.80	0.12	13.09	1.7320	0.9998	11.51	141.94	0.9981	13.73
Generation developmental rate	c	1.01	30.00	0.14	8.15	1.8072	0.9981	8.03	141.84	0.9865	1.49

a 本次研究, b 为何林等研究的数据, 本文作者作模型拟合; c 为何林等研究的数据, 由原作者拟合 a: Ourselves; b: Data from He Lin, *et al*, fit by us; c: Data from He Lin, *et al*, fit also by them

Maia^[20]、吴福安等^[6]认为,采用 Jackknife 方法对昆虫生殖力表参数的统计推断,其 Jackknife 样本的正态性非常关键。在对 5 个温度处理的 Jackknife 样本进行正态性检测显著后,Jackknife 估计的参数值与精确值非常接近,5 个温度 r_m 估计值,依次为 0.07682、0.14186、0.21335、0.27495 和 0.33275,估计值比精确值依次小 -0.1656%、0.0141%、0.0691%、0.0141% 和 0.1411%。可见 Jackknife 方法对昆虫生殖力表参数的统计推断值,是对各精确值很好的估计。“王-兰-丁”模型,以昆虫体内酶作用动力学为基础,能够从种群水平上揭示温度对朱砂叶螨动力学规律。选用这一速率性参数,用“王-兰-丁”模型非线性拟合与常用的线性拟合比

较,结果如表4、图2C。

内禀增长力的计算有采用差分方程近似算法,和采用迭代方法的精确算法,近似算法的值,总是比精确算法的值要小。在15~28℃间,其近似值总比精确值小0.167左右,这与吴福安等不同桑树品种间近似值比精确值小0.167一致。这种小的程度也反应在“王-兰-丁”模型非线性拟合与线性拟合结果上,主要影响非线性模型中的 K 值、和线性模型的 SET 值大小。近似值的 K 为0.36,比精确的 K 为0.43小0.163; SET 值为直线的斜率的倒数,近似值 SET 值61.45比精确值的 SET 值51.24大0.166,其大小都接近0.167。

3 讨论

昆虫温度速率数学模型,从本质上说,是关于速率与进程关系的模型,与物理学的“速率-路程”模型相一致。所以,即使在细胞周期、胚胎发育和染色体组大小等一类生命过程中,“速率-进程”也得以较好的应用^[21, 22]。

平均日产卵量属于速率性参数,本研究采用“王-兰-丁”和线性模型对寄主分别为蚕豆^[7]和桑树的数据进行了拟合,所得参数值大小相近。在“王-兰-丁”模型中,拟合各参数值差别较小,可能因为朱砂叶螨在蚕豆和桑树上产卵动力学参数差异不明显,或者是这些生态参数有一定的物种内禀习性。在平均日产卵量线性模型中,桑树上种群具有较低的产卵起点温度和较高产卵所需要的积温。这种习性,对解释长江流域春季朱砂叶螨从地面杂草和豆科作物上向桑树上转移的过程,有着重要的生态学意义。早春季节,当气温高于8℃左右时,可见朱砂叶螨活动;晚上低于8℃时,不食不动^[3],这与发育速率的“王-兰-丁”和线性模型的豆科植物上发育起点温度相近。

种群生存和生殖,对种群增长的贡献,在许多物种中,生存对增长力的贡献大于生殖对增长力的贡献。在速率发育模型中,桑树朱砂叶螨15、18、21、25℃和28℃时的平均寿命依次为57.1、46.0、37.7、28.0d和24.2d,相应的各温度下的世代发育历期,分别为20.4、14.4、11、8.4d和7.2d,均为相应温度下的平均寿命的1/3左右。临界起点温度方面,线性模型和“王-兰-丁”模型拟合结果,都表现为内禀增长力起点温度高于世代发育速率起点温度,说明在低温时,朱砂叶螨种群适应对策是以生存贡献为主;在最适发育温度方面,“王-兰-丁”模型拟合结果显示,起点温度高低与上述比较结果恰恰相反,这可能是该物种对外界环境的一种生理适应,说明物种在求得生存平稳后,再去求发展。

温度对朱砂叶螨发育、生殖的影响,在木薯、木瓜^[24]、蚕豆^[25]、棉花^[26]等寄主上已有相关报道。相同或相近温度下,朱砂叶螨在不同寄主上的产卵数和 R_0 、 r_m 等生命表参数差别较大,桑树朱砂叶螨居中。其中,本实验25℃所获各生命表参数,与唐斌^[27]所报道的花生叶上(26±1)℃时所获生命表参数相似;与符悦冠所报道比较, r_m 、 λ 、 Dt 居于相似温度下木薯、木瓜上所获结果之间,但 R_0 、 T 相差较大;同蚕豆叶上所获参数结果差异较大,特别体现在生殖力方面^[28]。这说明,不同的寄主,温度对朱砂叶螨发育、生殖的影响有差异。

桑树上朱砂叶螨种群与蚕豆上朱砂叶螨种群内禀增长力的“王-兰-丁”模型各参数中, T_0 、 r 和 T_L 都相近,可能这3个参数有一定的种内内禀习性,但 K 和 δ_L 相差较大。在线性模型中, T_b 和 SET 都比较高,这些都可能是由于寄主的不同所造成,其机制有待于进一步研究。

在世代平均发育速率模型中,蚕豆与桑树上的种群线性关系非常接近。积温是量化种群生命对温度适应策略重要参数之一。 T_b 往往随种群所适应的环境温度而有变化,但 T_b 与 SET 之间总是采取“折衷(trade-off)”的策略,热带种群常有较高的 T_b 和较低的 SET 。这种“折衷”策略,可能保持一定的种内稳定性,不同寄主对其影响较小。Trudgill等认为,在螨类物种中,该策略可以用 $T_b = 533.48 \times SET^{-0.847}$ 的指数关系来描述^[29]。桑树上,积温为143.87,Trudgill方程的 T_b 理论值为7.93,相差0.02,理论值比实际值相对小0.0252%;蚕豆上^[28],积温为141.84, T_b 理论值为8.02,相差0.01,理论值比实际值相对小0.0125%,这与许多变温生物,把发育起点温度调整在10℃左右的结论相一致^[30]。在“王-兰-丁”模型中,桑树上和蚕豆上的种群最适发育温度和低温发育起始温度都有所不同,这可能是由于寄主不同所造成。

从生态学意义上讲,发育速率与生殖两个参数应该是非负值,本研究采用内禀增长力进行“王-兰-丁”模

型拟合,在临界温度以下,内禀增长力可以取负值,说明种群在负增长,这与非滞育昆虫在越冬过程种群减小的事实相符。进一步的研究有望探明冬季低温持续时间对翌年虫口基数的影响机制。

References:

- [1] Ju R H, Shen Z R. Review on insect population dynamics simulation models. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2709 — 271.
- [2] Wang R S, Lan Z X, Ding Y Q. Studies on mathematical models of the relationship between insect development and temperature. *Acta Ecologica Sinica*, 1982, 2(1): 47 — 57.
- [3] Kent M Daane, Raksha D, Malakar-Kuenen, *et al.* Temperature-dependent development of *Anagyrus pseudococci* (Hymenoptera: Encyrtidae) as a parasitoid of the vine mealybug, *Planococcus ficus* (Homoptera: Pseudococcidae). *Biological Control*, 2004, 31(2): 123 — 132.
- [4] Wu F A, Wang X K, Yu M D, *et al.* Review of the Research on Carmine Spider Mite (*Tetranychus cinnabarinus*). *Acta Sericol Sin*, 2006, 32(3): 386 — 391.
- [5] Xin J L. *Agricultural Archaeology*. Beijing: Agricultural Press, 1988. 237 — 238.
- [6] Krebs C J. *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. New York: Benjamin Cummings, 2001. 133 — 156.
- [7] He L, Zhao Z M, Cao X F, *et al.* Resistance Selection of *Tetranychus cinnabarinus* to Fenpropathrin and Genetic Analysis. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(4): 719 — 724.
- [8] Wu F A, Zhou J X, Yu M D, *et al.* Statistical inference on the intrinsic rate of increase of the carmine spider mite (*Tetranychus cinnabarinus*) on different mulberry cultivars (*Morus L.*) under laboratory conditions. *Acta Entomologica Sinica*, 2006, 49(2): 287 — 294.
- [9] Birch L C. The intrinsic rate of natural increase of an insect populations. *J. Anim. Ecol*, 1948, 17(1): 15 — 26.
- [10] Tao S Q, Wu F A. VFP program on variance of life table parameters using jackknife technique. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2006, 43(2): 262 — 265.
- [11] John E, Pinder III, James G. Wiener, *et al.* The Weibull Distribution: A New Method of Summarizing Survivorship Data. *Ecology*, 1978, 59(1): 175 — 179.
- [12] Yang X W, Zhang X X. The effects of host alteration on the population characteristics of *Myzus persicae* (Sulzer). *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 715 — 719.
- [13] Jarosik V, Kratochvil L, Honek A, *et al.* A general rule for the dependence of developmental rate on temperature in ectothermic animals. *Proc Biol Sci*, 2004, 271(4): 219 — 221.
- [14] Chen F Z, Liu S S. Development rate of *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) under constant and variable temperatures. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4): 688 — 694.
- [15] Stouthamer R, Breeuwer J A, Hurst G D. *Wolbachia pipientis*: microbial manipulator of arthropod reproduction. *Annu Rev Microbiol*, 1999, 53: 71 — 102.
- [16] Mueller L D, Rauser C L, Rose M R. An evolutionary heterogeneity model of late-life fecundity in *Drosophila*. *Biogerontology*, 2007, 8(2): 147 — 161.
- [17] Wyatt I J, White P F. Simple Estimation of Intrinsic Increase Rates for Aphids and Tetranychid Mites. *The Journal of Applied Ecology*, 1977, 14(3): 757 — 766.
- [18] Frei A, Gu H, Bueno J M, *et al.* Antixenosis and antibiosis of common beans to *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae). *J. Econ. Entomol*, 2003, 96(5): 1577 — 1584.
- [19] Myers S W, GmRonC, Wolkowski R P, *et al.* Effect of soil potassium availability on soybean aphid (Hemiptera: Aphididae) population dynamics and soybean yield. *J. Econ. Entomol*, 2005, 98(1): 113 — 120.
- [20] Maia A H N, Lulz A J, Campanhola C. Statistical inference on associated fertility life table parameters using jackknife technique: computational aspect. *J. Econ. Entomol*, 2000, 93(2): 511 — 518.
- [21] Gillooly, James F, Dodson, *et al.* The relationship of egg size and incubation temperature to embryonic development time in univoltine and multivoltine aquatic insects. *Freshwater Biology*, 2000, 44(4): 595 — 604.
- [22] Gregory T R. Coincidence, coevolution, or causation? DNA content, cell size, and the C-value enigma. *Biol Rev Camb Philos Soc*, 2001, 76(1): 65 — 101.
- [23] Sericultural Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences. *China mulberry tree implantology*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1985. 34.
- [24] Fu Y G, Lin Y M. Characteristics of laboratory population of *Tetranychus cinnabarinus* (Biosduval). *Chinese Journal of Tropical Crops*, 1994, 15(1): 103 — 107.

- [25] Deng X P, He L, *et al.* Effect of temperature on development and fecundity of two pesticide resistant strain of *Tetranychus cinnabarinus* (Biosduval). *Acta Arachnol Sin*, 2002, 11(2): 94—98.
- [26] Wu Q H, Wu S L. Study on the natural population dynamics of *Tetranychus cinnabarinus* (Biosduval). *Chin J Appl Ecol*, 1995, 6(3): 255—258.
- [27] Tang B, Zhang F, Hu Z Y, *et al.* The comparison of development and life table of population between *Tetranychus cinnabarinus* (Biosduval) and *T. urticae* (Koch). *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2005, 24(1): 42—47.
- [28] He L, Zhao Z M, Cao X F, *et al.* Effect of temperature on development and fecundity of resistant *Tetranychus cinnabarinus* (Boiduval). *Acta Entomologica Sinica*, 2005, 48(2): 203—207.
- [29] Trudgill D L, Honek A D, Straalen N M. Thermal time — concepts and utility. *Annals of Applied Biology*, 2005, 146: 1—14.
- [30] Charnov E L, Gillooly J. Thermal time: body size, food quality and the 10°C rule. *Evol. Ecol. Res*, 2003, 5: 43—51.

参考文献:

- [1] 句荣辉, 沈佐锐. 昆虫种群动态模拟模型. *生态学报*, 2005, 25(10): 2709~2716.
- [2] 王如松, 兰仲雄, 丁岩钦. 昆虫发育速度与温度关系的数学模型研究. *生态学报*, 1982, 2(1): 47~57.
- [4] 吴福安, 王兴科, 余茂德, 等. 桑园害虫朱砂叶螨的研究进展. *蚕业科学*, 2006, 32(3): 386~391.
- [5] 忻介六. 农业螨类学. 北京: 中国农业出版社, 1988. 237~238.
- [7] 何林, 赵志模, 曹小芳, 等. 朱砂叶螨抗甲氰菊酯品系选育及遗传分析. *中国农业科学*, 2005, 38(4): 719~724.
- [8] 吴福安, 周金星, 余茂德, 等. 不同桑树品种上朱砂叶螨实验种群内禀增长率的统计推断. *昆虫学报*, 2006, 49(2): 287~294.
- [10] 陶士强, 吴福安. 应用 Jackknife 技术统计昆虫生命表参数变异的 VFP 实现. *昆虫知识*, 2006, 43(2): 262~265.
- [12] 杨效文, 张孝羲. 寄主转换对烟蚜种群特征的影响. *生态学报*, 1999, 19(5): 715~719.
- [14] 陈非洲, 刘树生. 恒温 and 变温对小菜蛾发育速率的影响. *生态学报*, 2003, 23(4): 688~694.
- [23] 中国农业科学院蚕业研究所. 中国桑树栽培学. 上海: 上海科学技术出版社, 1985. 34.
- [24] 符悦冠, 林延谋. 朱砂叶螨室内种群特性. *热带作物学报*, 1994, 15(1): 103~107.
- [25] 邓新平, 何林, 等. 温度对朱砂叶螨二种抗药性品系发育和繁殖的影响. *蛛形学报*, 2002, 11(2): 94~98.
- [26] 吴千红, 吴士良. 朱砂叶螨自然种群动态研究. *应用生态学报*, 1995, 6(3): 255~258.
- [27] 唐斌, 张帆, 胡展育, 等. 朱砂叶螨与二斑叶螨生长发育及实验种群生命表的比较. *山地农业生物学报*, 2005, 24(1): 42~47.
- [28] 何林, 赵志模, 曹小芳, 等. 温度对抗性朱砂叶螨发育和繁殖的影响. *昆虫学报*, 2005, 48(2): 203~207.