

温度和食物对稻虱缨小蜂发育、存活和繁殖的影响*

祝增荣 程家安 陈 琇

(浙江农业大学植物保护系, 杭州)

摘 要

在白背飞虱(*Sogatella furcifera*(Hovarth))卵内, 稻虱缨小蜂(*Anagrus nilaparvatae* Pang et Wang)的发育起点温度为 10.6℃, 有效积温为 162.8 日度。随着温度上升, 发育加快, 寿命(y_1 , $D_{10.4}^{\circ}\text{C}$)、产卵量(y_2 , 粒/♀)、产出卵率则在适宜温度范围(23—26℃)内最大。高低温区内均呈下降趋势, 其方程分别为: $y_1 = \exp(-0.04187 + 0.3612x - 7.4654 \times 10^{-3}x^2)$, $y_2 = \exp(-1.9559 + 0.4563x - 0.01001x^2)$, 式中 x 为温度。温度对未产出卵量影响不显著, 对于代雌性比的影响也不显著。其平均值为0.7631。温度主要通过产卵量和产卵速率来影响繁殖力, 理论上 27.3℃时周限增长率 λ 最大, 达 1.2374倍/天。成虫期供蜜加水时的产卵量、产出卵率和寿命显著比仅供水时的高或长。此研究为预测害虫种群发展, 充分利用天敌资源, 达到综合管理害虫提供了科学依据。

关键词: 稻虱缨小蜂, 白背飞虱, 温度, 内禀增长力, 周限增长率。

在众多的环境因子中, 温度是影响动物种群发育、存活和繁殖力的主要因子^[1]。因为动物在适宜温度范围内的变温或温度波动不改变发育速率与温度的函数关系^[1,2], 所以研究恒温对昆虫的发育、存活、繁殖等的影响对于分析害虫的发生、为害、天敌调节寄主种群的能力有重要的作用。

稻虱缨小蜂(*Anagrus nilaparvatae* Pang et Wang)是稻虱卵期的重要天敌, 其生物学特性已有过研究, 但其中温度对此蜂种群影响的试验结果差异较大^[3-6]。本文主要报道温度和成虫期食物对寄生于白背飞虱(*Sogatella furcifera*(Hovarth))卵内的稻虱缨小蜂发育、存活、繁殖等多方面的影响。

一、材 料 和 方 法

1. 在带有新鲜白背飞虱卵的稻苗(品种为广陆矮4号, 下同)的1.8×18cm试管中, 接入初羽化(<4小时)并经交配的稻虱缨小蜂雌虫多只, 置于温度分别为14、17、20、23、26、30和33℃的光照培养箱中, 24小时后去除寄生蜂。

2. 解剖稻株, 将飞虱卵挑出, 置于直径6cm, 内垫放画有10×10个小方格滤纸的培养皿中, 每格1粒, 每日定时观察记载寄生蜂的虫态变化, 未被寄生的飞虱卵除去。

3. 羽化前1天将单粒寄生卵移至1.5×6cm, 底部以湿棉球保湿的小指形管中的滤纸上。

*国家自然科学基金资助课题。

李学鹏、巫国瑞、张学敏、程延年、黄次伟诸教授初阅论文, 刘树生等提出建议, 特此致谢。
本文于1989年10月28日收到。

4. 羽化后即令其配对交配, 并转至上述 $1.8 \times 18\text{cm}$ 试管中, 供给带新鲜白背飞虱卵(数量均在50粒以上, 预查过)的稻苗, 管口以100目细尼龙纱及橡皮筋扎紧, 加或不加10%蜂蜜水溶液于管口, 每日观察存活情况, 并更换新鲜寄主, 直至寄生蜂死亡。死后制成临时玻片, 镜检残留卵量;

5. 换出的稻苗仍以上述试管保存在各自温度下, 不定时加木村 B 水稻营养液(配方见文献[7]), 检查稻苗生长状况;

6. 对要枯死的稻苗, 将其中的飞虱卵挑出, 置于上述小指形管中, 并记录各卵块的总卵数、寄生卵数及雌雄数; 对健康稻株, 在将羽化时, 开始逐日观察出蜂情况(雌雄数), 至全羽化后, 解剖稻株, 记录未寄生卵壳、寄生卵壳数。

各实验所得数据按项目进行方差分析(ANOVA)、t 检验、邓肯氏新复极差(SSR 法)多重比较(DNMR), 对生殖力实验, 组成生殖力生命表(方法后述)。在 IBM-PC/XT Super CH 计算机上进行数据处理。

二、结 果

1. 温度对发育的影响

温度对雌雄蜂发育有明显的影响, 温度越低发育历期越长, 反之亦然。低温时历期随温度变化幅度大, 高温时则很小。以最小二乘法求得各性别整个未成熟期的发育起点温度(C)和有效积温(K), 分别为: $C_{\text{♀}}$: 10.40 ± 0.59 , $C_{\text{♂}}$: 10.81 ± 0.41 , $K_{\text{♀}}$: 166.25 ± 6.82 , $K_{\text{♂}}$: 158.28 ± 4.65 (平均值±标准误)。从中可见, 雄虫的发育起点比雌虫高 0.4°C , 两者平均 C 值为 10.61°C , 与其寄主白背飞虱的 10.88°C ^[8]、褐飞虱的 10.8°C ^[9] 接近。雌性发育所需的总积温比雄性约少 8 日度, 这与“雄蜂每日羽化高峰比雌蜂早”^[10] 的结论相一致。

2. 温度对存活的影响

在供蜜加水情况下, 雌成虫寿命受温度影响达极显著水平(ANOVA, $F = 16.05$, $P < 0.01$), 随着温度上升, 寿命缩短(表 1)其方程为:

$$y_1 = 15.0175 - 0.3963x, r = -0.9271^{**}$$

其中 x 为温度, y_1 为寿命(天), r 为相关系数, ** 表示极显著($P < 0.01$, 下同)。但若将寿命单位由天转换为生理时间值(日度, $D^{\circ}_{10.4}\text{C}$), 则两者呈抛物线关系, 其方程为:

$$y_1 = \exp(-0.04187 + 0.3612x - 7.4654 \times 10^{-8}x^2)$$

其中 x 为温度($^{\circ}\text{C}$), y_1 为寿命($D^{\circ}_{10.4}\text{C}$), 求得最适温度为 24.19°C , 在该温度下, 雌成虫的生理时间寿命最长, 达 $75.8 D^{\circ}_{10.4}\text{C}$ 。

各温度下供蜜加水时的成虫期每日存活曲线如图 1。在 $23-26^{\circ}\text{C}$ 间, 个体死亡主要集中在成虫期的中后期, 且 14°C 下的各阶段死亡数基本相同, 其余温度下则在前期死亡多。

3. 温度对繁殖的影响

(1) 产卵量和产卵速率 温度对每雌寄生卵量(绝大多数被寄生的飞虱卵内仅 1 粒缨小蜂卵, 故认为每雌寄生卵量即为每雌产卵量*)有极显著的影响(ANOVA, $F = 19.47$,

*祝增荣, 1988, 白背飞虱种群动态初等计算机模拟模型的组建——白背飞虱与稻虱缨小蜂相互关系研究。浙江大学硕士学位论文。

$P < 0.01$, 表 2), 其关系方程为:

$$y_2 = \exp(-1.9539 + 0.4563x - 0.01001x^2), r = 0.8219^{**}$$

表 1 温度和食物对稻虱蟊小蜂寿命的影响

Table 1 The effect of temperature and food on the longevity of *Anagrus nilaparvatae*

温度(℃)	成虫期食物		
	水+蜜(雌)	水(雌)	水(雄)
14	9.83±1.60(12)A	2.43±0.11(21)**	3.82±0.33(11)**
17	7.78±1.04(18)AB	2.35±0.15(17)**	3.87±1.04(18)**
20	6.00±0.85(13)BC	1.73±0.13(30)**	
23	8.08±0.54(24)AB	2.23±0.38(13)**	2.75±0.56(8)
26	3.75±0.36(16)C	1.06±0.04(32)**	
30	3.23±0.21(39)C	1.00±0.00(17)*	1.86±0.34(7)*
33	1.86±0.34(7)C		

注: 每列中标有相同字母的值之间无显著差异(邓肯氏新复极差法, $P < 0.01$, $P < 0.05$).

各温度下水+蜜和仅供水间的差异显著性: *, $P < 0.005$; **, $P < 0.001$, t -检验.

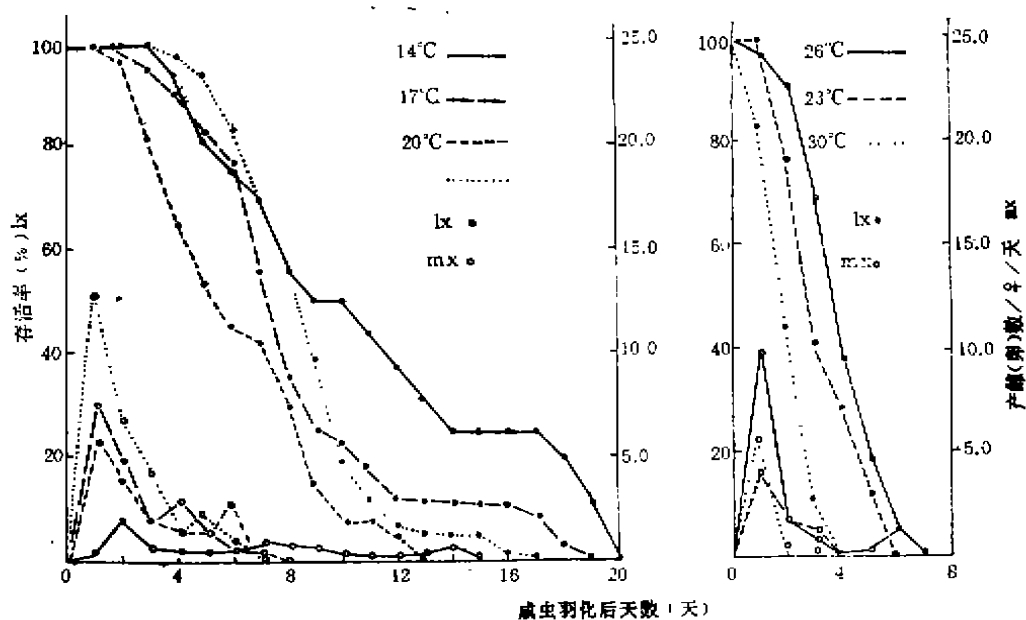


图 1 稻虱蟊小蜂在不同温度下的年龄特征存活率和年龄特征生殖率

Fig. 1 Age-specific survival and fertility rates of *Anagrus nilaparvatae* parasitized within eggs of WBPH under different temperatures

其中 x 为温度(℃), y_2 为每雌产卵量。求得最适产卵温度为 22.79℃, 在该温度下产卵量最大, 达 25.74 粒/♀。各温度下的每日每雌产雌数(按下述性比换算而得) m_2 曲线(图 1)基本成山峰状, 低温下峰后部分很长, 随着温度上升, 峰后部分缩短, 在 33℃ 则几乎呈正峰型。

表 2 温度和食物对稻虱缨小蜂产卵量和产出卵率的影响
Table 2 The effect of temperature and food on No. of eggs laid/♀ and percentage of eggs laid of *Anagrus nilaparvatae*

温度 (℃)	产 卵 量 (粒/雌)		产 出 卵 率 (%)	
	水 + 蜜	水	水 + 蜜	水
14	9.75 ± 1.53(8)D	8.33 ± 1.77(21)	30.51 ± 7.67(8)CD	34.54 ± 7.75(21)
17	24.38 ± 2.82(16)B	12.38 ± 1.59(16)**	65.71 ± 8.51(15)AB	33.15 ± 8.36(15)*
20	21.08 ± 2.26(12)BC	15.03 ± 1.74(30)*	50.84 ± 17.53(3)BCD	
23	36.68 ± 2.35(22)A	27.54 ± 2.77(13)**	90.03 ± 2.65(17)A	
26	17.19 ± 1.28(16)BCD	10.45 ± 1.72(31)*	58.87 ± 5.42(11)ABC	
30	12.18 ± 1.62(38)CD	1.35 ± 0.62(17)**	34.83 ± 5.66(15)BCD	7.97 ± 3.88(17)**
33	11.14 ± 3.43(7)CD		17.05 ± 5.31(16)D	

同一列数字后的相同字母表示差异不显著($P < 0.01$, DNMR)。.

各温度下水 + 蜜和水两处理间的差异显著性: *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$ t-检验。列表示平均值 ± 标准误(n)。

(2) 温度对未产出卵量影响不显著(ANOVA, $F = 1.96$, $P < 0.01$), 供蜜加水时, 其平均值为 $14.23 \pm 1.07(84)$ 。(3) 温度对卵产出率有极显著的影响(ANOVA, $F = 14.56$, $P < 0.01$, 表 2), 以 23°C 下的卵产出率最高。(4) 温度对子代雌性比($\text{♀}/(\text{♀} + \text{♂})$) 没显著影响(ANOVA, $F = 1.21$, $P > 0.05$), 其平均值为 $0.7631 \pm 0.0112(105)$, 在组建生殖力生命表时即按此值将每日产卵量换算成每日产雌数。由上可见, 温度对繁殖的影响主要是通过影响产卵量和产卵速率。

4. 内禀增长力

根据 Andrewartha 等(1954)的方法, 参照 Liu(1983) 组建各温度下的稻虱缨小蜂生殖力生命表, 按

$$T = \sum x \cdot l_x \cdot m_x / \sum l_x \cdot m_x = \sum x \cdot l_x \cdot m_x / R_0$$

$$r_m = \ln R_0 / T$$

求得内禀增长力 r_m 的大致值后, 由

$$\sum \exp(-r_m x) \cdot l_x \cdot m_x = 1$$

用迭代法求得 r_m 的精确值, 再求得周限增长率 λ 、种群翻一番的时间 $p.d.t$ 及精确 T 分别为:

$$\lambda = \exp(r_m) \quad p.d.t = \ln 2 / r_m \quad T = \ln R_0 / r_m$$

从表 3 可见: 以日为生活史单位的 l_x 、 m_x 数据计算出的 r_m 、 λ 随温度的上升逐渐增大, 到一定温度达到最大, 然后下降。由于 λ 值比 r_m 值更直观又更易理解, 故图 2 以 λ 为纵坐标、温度(x)为横坐标, 其方程为:

$$\lambda = 0.4168 + 0.0601x - 0.001099x^2, r^2 = 0.8953^{**}$$

(这里 r^2 为决定系数), 令 $d\lambda/dx = 0$, 得 $x = 27.32^\circ\text{C}$, $\lambda|_{x=27.32} = 1.2374$, 即在 27.3°C 条件下, 稻虱缨小蜂实验种群理论上将以每日 1.2374 倍的最大速率增长。

当生活史以生理时间尺度来表达时, 内禀增长力 $r_m(\text{♀♀}/\text{♀}/10\text{D}^\circ; 0.4^\circ\text{C}$, 表 3) 也基本呈中温区大, 低、高温区低的变化。

5. 成虫期食物对存活、繁殖的影响

寿命: 供蜜极显著地延长了雌蜂寿命($P < 0.001$, 表 2)。14、17、 30°C 下仅供水时雄蜂

寿命比雌蜂显著为长($P < 0.01$), 23℃下的也稍长于雌蜂的, 说明雄蜂较雌蜂能耐饥饿。这与(*Gonatocerus cincticeps*)^[12]和蔗虱缨小蜂(*A. optbilis*)^[18]一致, 其原因可能是雌虫因产卵而比雄虫需要更多的营养才能存活。

产卵: 各温度下供蜜时的寄生卵量显著或极显著地高于只供水的(表2), 且低温(14、17℃)下, 供蜜还提高了总怀卵量(寄生卵量+未产出卵量), 说明低温下成虫羽化时卵巢中还有部分卵未成熟。供蜜也提高了卵产出率, 这与延长了寿命有关。

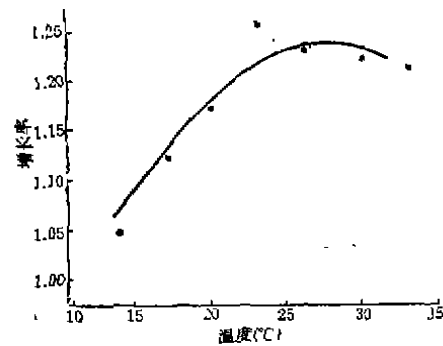


图2 稻虱缨小蜂有限增长率(λ)与温度的关系
Fig. 2 The relation of finite rate of increase (λ) of *Anagrus nilaparvatae* to temperature

表3 温度和食物对稻虱缨小蜂种群参数的影响
Table 3 The affect of temperature and food on the population parameters of *Anagrus nilaparvatae*

温度(℃)	14	17	20	23	26	30	33
R_0 水	5.7770	8.3494	11.4722	21.0151	7.9758	1.0282	
水+蜜	7.4404	17.5088	15.0276	28.3081	13.1161	8.6985	5.0027
T 水	39.2403	28.1175	20.1480	14.5486	10.0747	9.0000	
水+蜜	42.7005	24.2592	21.2041	14.6244	12.4883	9.4386	8.7218
r_m^* 水	0.0447	0.0918	0.1211	0.2093	0.2061	0.0031	
水+蜜	0.0470	0.1180	0.1278	0.2286	0.2094	0.2015	0.1846
r_m^* 水+蜜	0.1298	0.1778	0.1322	0.1778	0.1336	0.1023	0.0815
λ 水	1.0457	1.0982	1.1288	1.2328	1.2291	1.0031	
水+蜜	1.0481	1.1253	1.1363	1.2588	1.2329	1.2233	1.0849
$p.d.t.$ 水	15.4986	7.6702	5.7226	3.3221	3.3460	224.0454	
水+蜜	14.7552	5.8723	5.4233	3.0323	3.3101	3.4387	8.5049

*: $Q \cdot Q / Q / d$; *: $Q \cdot Q / Q / 10D^*_{10.4C}$.

性比: 温度低于23℃时, 母代食物供蜜加水, 其子代的雌峰性比值较只供水的稍高, 但差异不显著; 温度高于23℃时, 食物供蜜加水的雌峰性比较只供水的稍低(26℃的达极显著)意味着延长的时间里产下的雌性后代比雄性少(或显著地少)。这可能与稻虱缨小蜂只交配1次, 到后期精子不够而行产雄孤雌生殖有关^[3,13]。

食物对存活、繁殖的影响最终表现在综合性的 r_m 、 λ 和 $p.d.t$ 参数上(表3), 各温度下食物供蜜加水的 r_m 、 λ 值均比只供水的高(r_m 高出1.60—6400%不等, λ 高出0.23—21.85%, $p.d.t.$ 低1.60—98.46%)。不供蜜时 r_m 、 λ 值低的原因是: 雌蜂寿命短、产卵量少, 卵产出率低, 从而净增殖力 R_0 低, 直接影响到 r_m 、 λ 值。

三、讨 论

在实验温度14—33℃范围内,随着温度上升,稻虱缨小蜂发育速率加快,寿命缩短;产卵量、卵产出率则在适宜温度(23—26℃)范围内最大,高、低温区内均呈下降趋势;温度对子代雌性比无影响。温度对繁殖力的影响主要是通过影响产卵速率而达到的。理论上27.3℃时周限增长率最大,达1.2374倍/天。

本文所述的稻虱缨小蜂与文献^[13-16]报道的另外几种稻田缨小蜂的发育起点温度和有效积温基本一致,分别在10—11℃和160—200日度之内。

实验结果表明温度和成虫期营养条件对稻虱缨小蜂种群参数有明显的影响,这是生态学的普遍规律^[14]。Messenger(1964)指出 r_m 可作为生物气候的一个数量指数来衡量生物种群的增长能力,而在高度人工环境条件下进行生物气候学研究有助于理解自然条件下种群发生状况^[18],比如可将发育起点温度、有效积温用于田间种群的生理时间尺度计算,生殖力生命表数据可拟合成存活率和生殖力曲线,以组建田间种群动态模拟模型^[11,18,19]。

参 考 文 献

- [1] Andrewartha, H.G. and L.C. Birch, 1954, *The Distribution and Abundance of Animals*, University of Chicago Press, Chicago.
- [2] 刘树生、孟学多, 1989, 桃蚜萝卜蚜发育速率在恒温下的变化规律研究, 生态学报 9(2): 182—190.
- [3] 罗肖南、卓文禧, 1980a, 稻飞虱卵寄生蜂——缨小蜂的研究(一), 昆虫知识 17(3): 105—109.
- [4] 罗肖南、卓文禧, 1980b, 稻飞虱卵寄生蜂——缨小蜂的研究(二), 三种缨小蜂幼期发育过程, 昆虫知识 17(4): 147—151.
- [5] 罗肖南、卓文禧, 1980c, 稻飞虱寄生蜂——缨小蜂生物学特性及保护利用的探讨, 福建农学院学报 (2): 44—60.
- [6] 金行模、张纯育等, 1979, 几种飞虱缨小蜂的生物学特性和田间发生情况的考查, 浙江农业科学 (6): 27—31.
- [7] Yoshida, S., D.A. Forno, J.H. Cook and K.A. Gomerz, 1976, *Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice*, IRRI.
- [8] 冯炳灿、黄次伟等, 1985, 温度对白背飞虱种群增长的影响, 昆虫学报 28(4): 390—397.
- [9] 陈若麓、姜立正、程週年等, 1986, 褐飞虱种群动态的研究 I. 温度、食料条件对种群增长的影响, 南京农业大学学报 (3): 23—33.
- [10] 徐国民、祝增荣、程週年, 1987, 稻虱缨小蜂成虫生物学研究, 南京农业大学学报 (3): 134—136.
- [11] Liu, S. S., 1983, An investigation of ecological relationships. Experimental studies of the interactions between the sowthistle aphid, *Hyperomyzus latucae* and its parasite, *Aphidius sonchi*. Ph.D. thesis, the Australian National University, Canberra.
- [12] Sahad, K.A., 1982, Biology and morphology of *Gonatocerus* sp. (Hymenoptera: Mymaridae), an egg parasitoid of the green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps* Uhler (Homoptera: Deltocephalidae). *J. Biology*, Kontyu, Tokyo, 50: 246—260.
- [13] Sahad, K.A., 1984, Biology of *Anagrus optabijis* (Perkins) (Hymenoptera, Mymaridae), an egg parasitoid of delphacid planthoppers. *Esakia* (22): 129—144.
- [14] Chantarasa-ard, S., Y. Hirashima and T. miura, 1984, Effects of temperature and food on the development and reproduction of *Anagrus incarnatus* Haliday (Hymenoptera, Mymaridae), an egg parasitoid of the rice planthoppers. *Esakia*, (22): 145—158.
- [15] Otake, A., 1968, Studies on the egg parasites of the smaller brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Fallen) (Hemiptera: Delphacidae). I. Development of *Anagrus* nr. *flavellus* Waterhouse (Hymenoptera, Mymaridae) within its host. *Bull. Shikoku Agric. Exp. Stn*, 18: 161—169.
- [16] Otake, A., 1969, Ibid. III, Longevity and fecundity of *Anagrus* nr. *flavellus* Waterhouse (Hymenoptera, Mymaridae). *Jpn. J. Ecol.* 19: 192—198.
- [17] Messenger, P.S., 1964, Use of life table in a bioclimatic study of an experiment aphid-braconid wasp host parasite system. *Ecology* 45: 156—162.

- [18] Liu, S.S., 1987, The influence of temperature and photoperiod on the development, survival and reproduction of the sowthistle aphid, *Hyperomyzus lactucae*, *Entomol. exp. appl.* 43: 31—38.
- [19] Cheng, J.A., and J. Holt 1990, A systems analysis approach to brown planthopper control on rice in Zhejiang Province, China: I. Simulation of outbreak. *J. Appl. Ecol.* 27: 85—99

EFFECTS OF TEMPERATURE AND FOOD ON THE DEVELOPMENT, SURVIVAL AND REPRODUCTION OF *ANAGRUS NILAPARVATAE* PANG AND WANG (HYMENOPTERA: MYMARIDAE)

Zhu Zeng-Rong Cheng Jia-An Chen Xiu

(Department of plant protection, Zhejiang Agricultural University, Hangzhou)

The development rate, survival and age-specific fecundity of *Anagrus nilaparvatae* Pang and Wang, a mymarid egg parasitoid of the rice planthoppers, parasitized within eggs of white-backed planthopper (*Sogatella furcifera* Horvath), were measured under the conditions of various constant temperatures from 14°C to 33°C and different food. The developmental threshold and thermal constant of this mymarid were estimated to be 10.6°C and 162.3 day-degree, respectively. The development rate of the wasp increases as temperature is higher, while the total eggs laid per female (y_1), percentage of egg laid and longevity of adults in physiological time ($y_2, D_{10.4}^\circ C$) decline at higher temperature, which can be described by following equations, $y_1 = \exp(-0.04187 + 0.3612 - 7.4654 \times 10^{-3}x^2)$, $y_2 = \exp(-1.9539 + 0.4563x - 0.01001x^2)$, where x is the temperature in °C. Temperature has neither significant effect on number of eggs unlaid per female, nor significant effect on sex-ratio of offspring. The mean sex-ratio is 0.7631. Temperature effects reproduction of *A. nilaparvatae* mainly through changing number of eggs laid and fertility rate. The optimum temperature for the population growth is 27.3°C with a maximum finite rate of increase of 1.2374. The reproductive rate and longevity as supplied water alone during adult hood are respectively lower and shorter than those as supplied water added to honey.

Key words: *Anagrus nilaparvatae* Pang and Wang, *Sogatella furcifera* (Horvath), intrinsic rate of capacity of increase, finite rate of increase, temperature.