不同温度下中国梨木虱的两性生命表*

张博晨** 张 蕊 许双叶 朱兴秋 连少博 郝 赤*** 庾 琴***

（山西农业大学植物保护学院，太原 030031）

摘 要 【目的】 明确温度对中国梨木虱 *Psylla chinensis* 生长发育和繁殖的影响。**【方法】** 室内条件下，16、20、24、28、32 和 36 ℃ 分别测定中国梨木虱各阶段发育历期、产卵量和存活率等，制定其年龄-龄期两性生命表，利用两性生命表计算其存活率、繁殖力、寿命期望、繁殖值和种群参数。**【结果】** 16-24 ℃，中国梨木虱随温度升高，其生长速度加快、发育历期缩短；24-32 ℃其发育历期变化不显著；36 ℃条件下不能完成整个生长发育。24 ℃时产卵量最高，为 281.50 粒/雌。16-24 ℃，中国梨木虱的年龄特征存活率、种群特定年龄净繁殖力、平均贡献度均随温度升高而增加，24-32 ℃，均随温度升高而下降。24 ℃处理的内禀增长率、周限增长率和净增值率均最高，28 ℃处理的平均世代周期最短。**【结论】** 结果表明中国梨木虱生长发育和繁殖适宜温度为 24-28 ℃。

关键词 中国梨木虱；年龄-龄期两性生命表；温度；生长发育；种群参数

Two-sex life tables of *Psylla chinensis* (Hemiptera: Psyllidae) at different temperatures

ZHANG Bo-Chen** ZHANG Rui XU Shuang-Ye ZHU Xing-Qiu
LIAN Shao-Bo HAO Chi*** YU Qin***

(College of Plant Protection, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China)

Abstract [Aim] To determine the influence of temperature on the growth, development, and fecundity of *Psylla chinensis*. **[Methods]** In a controlled laboratory environment, the developmental period, oviposition rate, and survival rate of *P. chinensis* were measured at 16, 20, 24, 28, 32 and 36 ℃. An age-stage two-sex life table was constructed and used to determine the survival rate, fecundity, life expectancy, reproduction value, and population parameters of *P. chinensis*. **[Results]** Between 16-24 ℃, the growth rate of *P. chinensis* increased, whereas the developmental period decreased with increasing temperature. In contrast, temperatures between 24-32 ℃ had no significant effect on the developmental period. At 36 ℃, the development of *P. chinensis* was inhibited. The highest number of eggs were produced at 24 ℃ with 281.50 eggs per female. Between 16-24 ℃, the age-stage survival rate, population age-stage specific net reproductive rate, and the reproduction value increased with increasing temperature. However, they decreased as temperatures increase between 24-32 ℃. At 24 ℃, the intrinsic rate, net reproduction rate, and finite rate peaked, while the mean generation time reached a minimum value at 28 ℃. **[Conclusion]** Based on the findings of this study, the optimal temperature range for the growth and development of *P. chinensis* is 24-28 ℃.

Key words *Psylla chinensis*; temperature; age-stage two-sex life table; growth and development; population parameter

梨木虱为梨树专性害虫（曹涤环，2014），在我国主要种类为中国梨木虱 *Psylla chinensis*、黄梨木虱 *Psylla pyricola*、杜梨木虱 *Psylla betulaefoliae*、异杜梨木虱 *Psylla heterobetu-*

*资助项目 Supported projects：山西农业大学博士基金（2021BQ56）；山西省自然科学基金项目（201901D111231）；山西农业大学科研专项（2020xfhf11）

**第一作者 First author，E-mail：15735942673@163.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors，E-mail：347164375@qq.com；sxauhc@163.com

收稿日期 Received：2023-02-27；接受日期 Accepted：2023-08-01

laefoliae 等（王源岷，1993；张翠疃等，2002），其中中国梨木虱为优势种群。随着气候变暖等因素影响，中国梨木虱在我国多个梨树主产区危害严重（赵龙龙等，2019），在高温干旱季节或年份易出现暴发危害（赵龙龙等，2021）。温度除影响中国梨木虱发生危害程度外，也影响其生长发育历期，我国从南到北，梨木虱的发生世代从 2 代（黑龙江）增加至 7 代（河北）（张翠疃等，2003；陈瑜和马春森，2010）。温度适宜时，有利于中国梨木虱生长发育和繁殖。董阳辉等（2009）研究表明，夏季高温是抑制中国梨木虱在南方梨区发生的主要原因，中国梨木虱在 35 ℃高温下死亡率为 67.20%-78.30%，现有温度对中国梨木虱影响研究主要限于田间调查，温度对其生长发育和繁殖规律等参数的影响未见系统研究。

年龄-龄期两性种群生命表通过研究昆虫的发育历期、繁殖情况，结合雌雄个体和龄期分化等指标，更为准确地反应昆虫生长发育和繁殖规律（罗智心等，2009；Yu *et al.*，2012；齐心等，2019），本研究拟通过测定恒定温度下的中国梨木虱卵、若虫、雌、雄成虫的生长发育和繁殖情况，利用年龄-龄期两性种群生命表，分析温度对中国梨木虱存活率、繁殖力、期望寿命等因素的影响，明确温度对中国梨木虱发生和危害的影响规律，为田间准确预测预报和有效防控中国梨木虱提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 中国梨木虱饲养条件和温度设置

中国梨木虱：采自山西省原平市神山村酥梨园，品种为砀山酥梨 *Pyrus bretschneideri*，试验种群为室内杜梨 *Pyrus betulifolia* Bunge 幼苗（苗龄 60-90 d）上继代饲养 10 代以上的个体。饲养条件为温度（25±3）℃，相对湿度为 65%±10%，光照强度 3 000-4 000 lx，光周期为 15 L∶9 D。

试验设 16、20、24、28、32 和 36 ℃共 6 个恒定温度处理。相对湿度为 65%±5%，光周期 15L∶9 D。

1.2 温度对中国梨木虱卵孵化率的影响

将杜梨幼苗（株高 10-15 cm）放在养虫笼中（长 50 cm×宽 50 cm×高 50 cm），养虫笼中放入中国梨木虱成虫 100 头（雌∶雄=1∶1），24 h 时将成虫全部移出，使用杜梨幼苗上的卵进行试验。每个温度卵数为 150 粒。为保证较高温条件下有一定成虫个体进行交配，在不同温度下饲养了一定数量个体虫源作为备用虫源。从移出成虫的第 2 天起，每日上午 9:00 调查并记录卵孵化数，直至卵不再孵化为止。36 ℃处理每隔 8 h 调查一次。

1.3 温度对中国梨木虱若虫发育历期的影响

将 1.2 中孵化的初孵若虫接种到杜梨叶片上，每个叶片接种 1 头，用培养盒将叶片封住，标记上若虫虫号和接种时间。每处理 90 头。每日上午 10:00 记录若虫的存活数和所处龄期，直至若虫羽化。36 ℃处理每隔 8 h 调查一次。

1.4 温度对中国梨木虱雌、雄成虫产卵和寿命的影响

待 1.3 中的中国梨木虱若虫羽化后，将雌、雄成虫进行两两配对，放于透明塑料容器（底部直径 10 cm、高 20 cm）中进行观察，每个容器中放置 1 株杜梨幼苗和 1 对成虫，每个处理不少于 10 对。每天上午 11:00 记录成虫产卵量和存活情况，直至雌、雄成虫全部死亡为止。

1.5 两性生命表构建

通过中国梨木虱发育历期、存活率、单雌单日产卵量和雌、雄虫寿命等参数，利用两性生命表软件（Chi and Liu，1985；Chi，1988；Chi and Su，2006）建立其年龄-龄期两性生命表。

年龄-阶段特定存活率（S_{xj}），计算公式：$S_{xj}=n_{xj}/n_{01}$，其中，n_{01} 为生命表中的卵数，n_{xj} 为 x 龄和 j 期存活的个体数。

种群年龄-阶段特征存活率（l_x），表示由新产卵发育到年龄 x 的存活率，计算公式：

$$l_x=\sum_{j=1}^{k}S_{xj}\ ;$$

雌成虫年龄-阶段特征繁殖力（f_{xj}），表示雌成虫在年龄 x 时的产卵量。计算公式：$f_x=E_x/n_x$，其中，E_x 是 x 岁时所有雌成虫产卵的总数，n_x 是 x 岁时存活的雌成虫的总数。

种群年龄-特征繁殖力（m_x），表示种群在年龄 x 时的平均产卵量，计算公式：

$$m_x=\sum_{j=1}^{k} S_{xj}f_{xj}/\sum_{j=1}^{k} S_{xj};$$

种群年龄-阶段特征繁殖值（l_xm_x），计算公式：$l_xm_x=l_x\times m_x$，l_x 与种群年龄-阶段特征繁殖力 m_x 的乘积。

年龄-阶段特征寿命期望值（e_{xj}），计算公式：

$$e_{xj}=\sum_{i=x}^{\infty}\sum_{y=j}^{m} s'_{iy};$$

年龄-阶段特征繁殖值（v_{xj}），指个体在第 x 年龄、第 j 阶段时对未来种群增长的平均贡献度，计算公式：

$$v_{xj}=\frac{e^{r(x+1)}}{s_{xj}}\sum_{i=x}^{\infty} e^{-r(i+1)}\sum_{j=y}^{m} s'_{xy}f_{xy};$$

内禀增长率（r）根据二分迭代法测算。

周限增长率（λ），即在不受外界环境限制的情况下，种群平均每天增长的速率，计算公式：$\lambda=e^r$；

净增殖率（R_0），即种群在一定条件下经过一个世代后的增殖倍数，计算公式：$R_0=\sum_{x=0}^{\infty} l_xm_x$；

平均世代周期（T），即种群达到稳定增长速率增加 R_0 所需时间，计算公式：$T=ln\ R_0/r$。

1.6　数据分析

数据采用 Excel 2019 统计，两性生命表数据采用生命表软件 TWOSEX-MSChart 进行处理（Chi，2020），用 IBM SPSS 25 软件处理实验中所有数据的标准差和标准误差，用 Duncan’s 新复极差法进行多重比较，图表绘制采用 Origin 2021 软件。

2　结果与分析

2.1　温度对中国梨木虱发育历期和产卵量的影响

从表 1 和表 2 可以看出，温度对中国梨木虱各虫态发育历期均有影响。在卵期，16-24 ℃，随着温度升高，卵期从 16 ℃的 18.54 d 显著缩至 24 ℃的 6.97 d（$P<0.05$）；当温度升至 28 ℃以上时，卵期增至 8.53-9.14 d，显著高于 24 ℃处理（$P<0.01$）；在若虫期，16-28 ℃，若虫发育历期随着温度升高而缩短，当温度升至 32 ℃时，其发育历期开始变长（$P<0.01$）；36 ℃处理的 1 龄若虫未能发育至 2 龄，无法完成整个世代周期。温度对雌、雄成虫寿命影响趋势不同。16-24 ℃范围内，雌、雄成虫寿命均随温度升高而缩短；当温度升至 28 ℃以上时，雄成虫寿命先增后减，而雌成虫寿命呈增加趋势。在 1 个世

表 1　不同温度下中国梨木虱的发育历期、成虫期和世代周期

Table 1　Developmental duration of adult and whole generation of *Psylla chinensis* at different temperatures

温度（℃）Temperature (℃)	卵期（d）Egg stage (d)	若虫期（d） Nymph stage (d)			
		1 龄 1st instar	2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar
16	18.54±0.55 a	11.30±0.46 a	9.00±0.68 a	8.80±0.78 a	10.25±0.57 a
20	15.07±0.66 b	5.25 ±0.29 b	4.90±0.40 b	6.90±0.63 b	9.35 ±0.72 b
24	6.97±0.26 d	4.05±0.59 bc	3.98±0.33 bc	4.32±0.89 c	4.23±0.17 d
28	9.14±0.32 c	3.85±0.21 d	3.45±0.17 c	3.70±0.30 d	4.10 ±0.32 d
32	8.53±0.08 c	4.15±0.29 dc	4.00±0.38 bc	5.40±0.58 bc	6.40 ±0.63 c
36	7.62±0.31 c	0.00±0.00	-	-	-

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经 Duncan’s 新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著，- 代表 36 ℃条件下中国梨木虱不能完成整个生长发育历期。下表同。

Data are mean ± SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan’s multiple range test.　- indicates that *P. chinensis* couldn’t complete whole generation development at 36 ℃. The same below.

表 2 不同温度下中国梨木虱的发育历期-成虫期和世代周期

Table 2 Developmental duration of adult and whole generation of *Psylla chinensis* at different temperatures

温度（℃）Temperature (℃)	成虫寿命（d）Adult longevity (d)		产卵前期（d）Adult preoviposition period (APOP) (d)	总产卵前期（d）Total preoviposition period (TPOP) (d)	单雌产卵量（粒）Eggs laid by per female (grain)	世代周期（d）Generation time (d)
	雄 Male	雌 Female				
16	46.53±2.86 a	38.22±3.69 a	15.89±3.14 a	59.15±0.99 a	42.72±11.46 b	101.50±2.84 a
20	28.53±1.44 b	28.31±2.32 b	4.84±0.94 b	39.70±0.60 b	77.35±11.58 b	68.25±1.30 b
24	14.98±3.16 d	20.33±3.56 c	2.86±0.83 c	33.18±0.68 c	274.50±35.64 a	50.81±1.87 c
28	15.25±1.85 c	23.92±2.60 bc	4.35±1.07 b	24.20±0.41 e	72.58±14.57 b	48.80±1.54 c
32	14.49±1.61 d	26.51±2.19 b	4.31±0.65 b	28.55±0.41 d	39.37±6.53 b	49.05±2.05 c
36	14.21±1.82 d	19.73±1.46 c	-	-	5.95±2.50 c	-

36 ℃单雌产卵处理为室温条件（25 ℃）下饲养的成虫在 36 ℃条件下的产卵数量。

The 36 ℃ single female oviposition treatment was the number of eggs laid by adults reared at room temperature (25 ℃) at 36 ℃.

代周期中，16 ℃处理的发育历期显著长于其他温度处理（$P<0.01$），20 ℃次之，24-32 ℃处理间无显著差异，其中 28 ℃处理的发育历期最短。温度也影响雌成虫产卵前期及其产卵量。24 ℃处理的产卵前期仅为 1.10 d，低于或显著低于其他温度处理（$P<0.01$）；产卵量为 281.50 头/雌，显著高于其他温度处理（$P<0.01$）。结果说明，温度影响中国梨木虱各阶段的生长发育历期、成虫产卵量和初产卵时间。24 ℃时产卵量最高，发育历期最短。

2.2 温度对中国梨木虱卵孵化率、若虫和成虫特征存活率的影响

从图 1（A-E）可以看出，温度影响中国梨木虱各虫态的存活率。试验范围内，24 ℃处理的卵孵化率为 94.50%，36 ℃时最低，为 16.00%。24 ℃处理若虫存活率为 58.10%，显著高于 32 ℃处理的 42.50%（$P<0.05$）。温度对雌、雄成虫存活率影响不同。24 和 28 ℃雌虫存活时间低于 16 和 20 ℃。温度也影响梨木虱整个发育

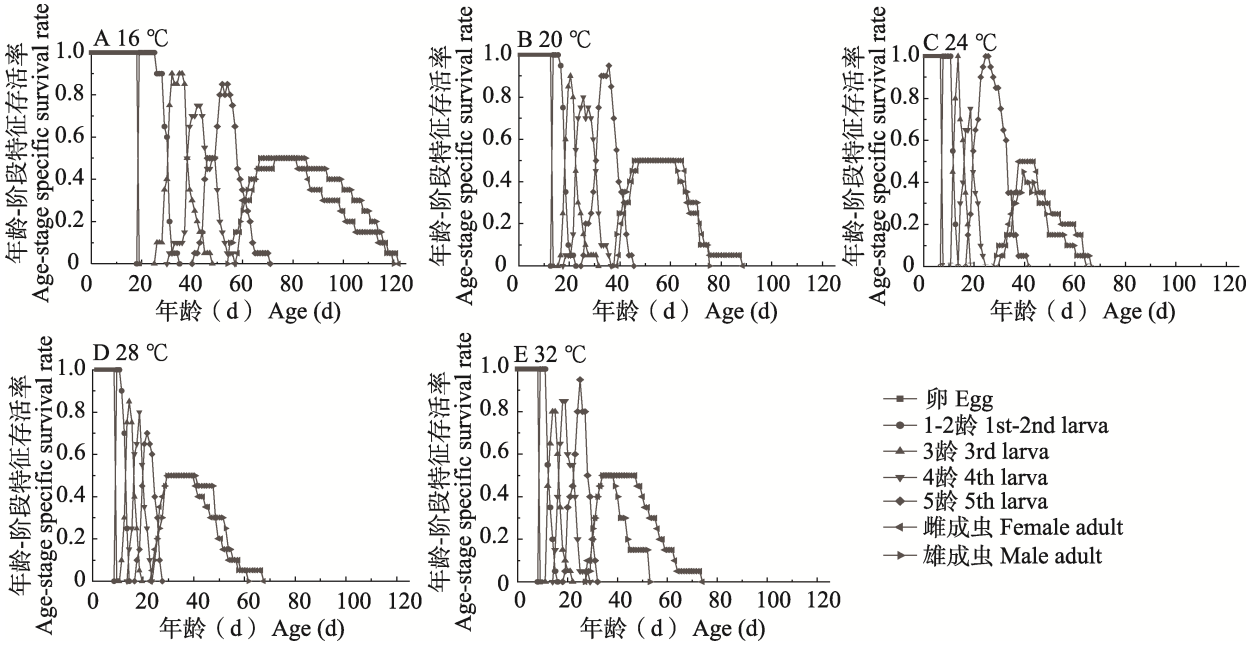

图 1 不同温度下（A-E）中国梨木虱的年龄-阶段特征存活率

Fig. 1 Age-stage specific survival rates of *Psylla chinensis* at different temperatures (A-E)

周期的存活率动态特征。16 ℃时，发育后期（82 d 后）曲线斜率开始缓慢增加，死亡率逐渐上升，至 122 日龄时降为 0。20 ℃时，62-88 d 时存活率迅速下降为 0。24 ℃时，曲线在成虫发育中 44-49 d 存活率从 0.80 降至 0.40，后缓慢降为 0。28-32 ℃时，0-50 d 存活率缓慢下降至 0.50，51- 67 d 存活率迅速降为 0。结果说明，在研究设置温度范围内，24 ℃时卵孵化率和若虫存活率最高，雌成虫的存活动态曲线高于雄成虫。

2.3　温度对中国梨木虱成虫繁殖力的影响

从图 2（A-E）可以看出，温度影响了中国梨木虱成虫繁殖力。f_{xj} 代表在 x 年龄 j 阶段的日平均产卵量，16-32 ℃条件下 f_x 曲线达到峰值的时间分别为 98、64、30、32 和 28 d，峰值分别为 1.52、6.80、26.00、8.00 和 7.50 粒。m_x 曲线在不同温度条件下都呈现出忽高忽低的现象，表明中国梨木虱羽化和产卵时间不集中，开始产卵时间分别为 64、40、29、23 和 26 d，温度升高缩短了初产卵时间。不同温度条件下 l_xm_x 曲线的峰值分别为 1.35、2.95、12.05、2.75、1.40，结果表明，在研究设置温度范围内，中国梨木虱种群特定年龄净繁殖力随温度升高先升后降，24 ℃时最高。

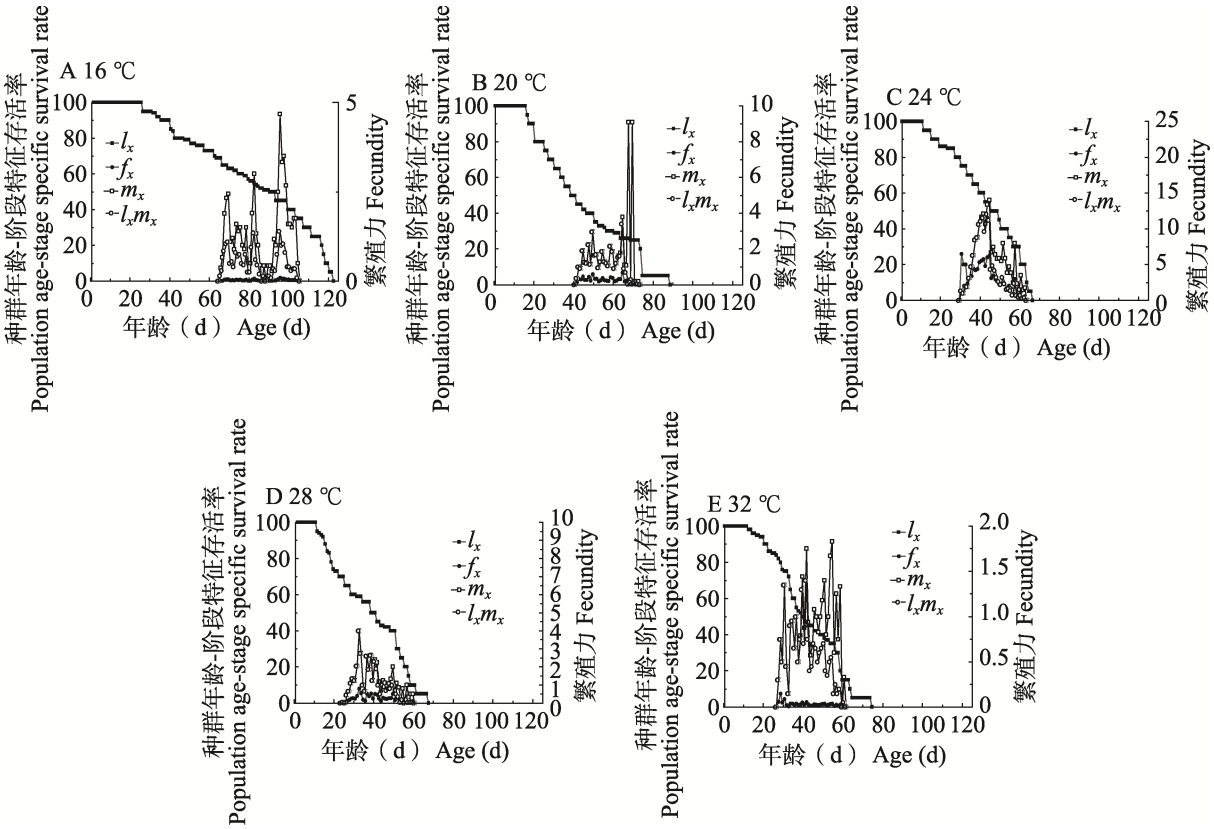

图 2　不同温度下（A-E）中国梨木虱种群年龄-特征存活率和繁殖力

Fig. 2　Population age-specific survival rates and fecundity of *Psylla chinensis* at different temperatures (A-E)

2.4　温度对中国梨木虱期望寿命值的影响

从图 3（A-E）可以看出，温度影响中国梨木虱各个虫态的期望寿命值。16 ℃处理的中国梨木虱平均寿命期望值为 103.00 d，高于其他处理，28 ℃平均期望寿命值最低，为 50.35 d。温度也显著影响中国梨木虱雌、雄成虫的期望寿命值（P<0.01），16 ℃时雄成虫期望寿命值比雌成虫长 10 .00 d，32 ℃处理的雌成虫比雄成虫长 12.00 d。雌成虫的期望寿命值随温度升高先减后增，24 ℃时最小；雄成虫期望寿命值在 16-28 ℃范围内先减后增，温度升至 32 ℃

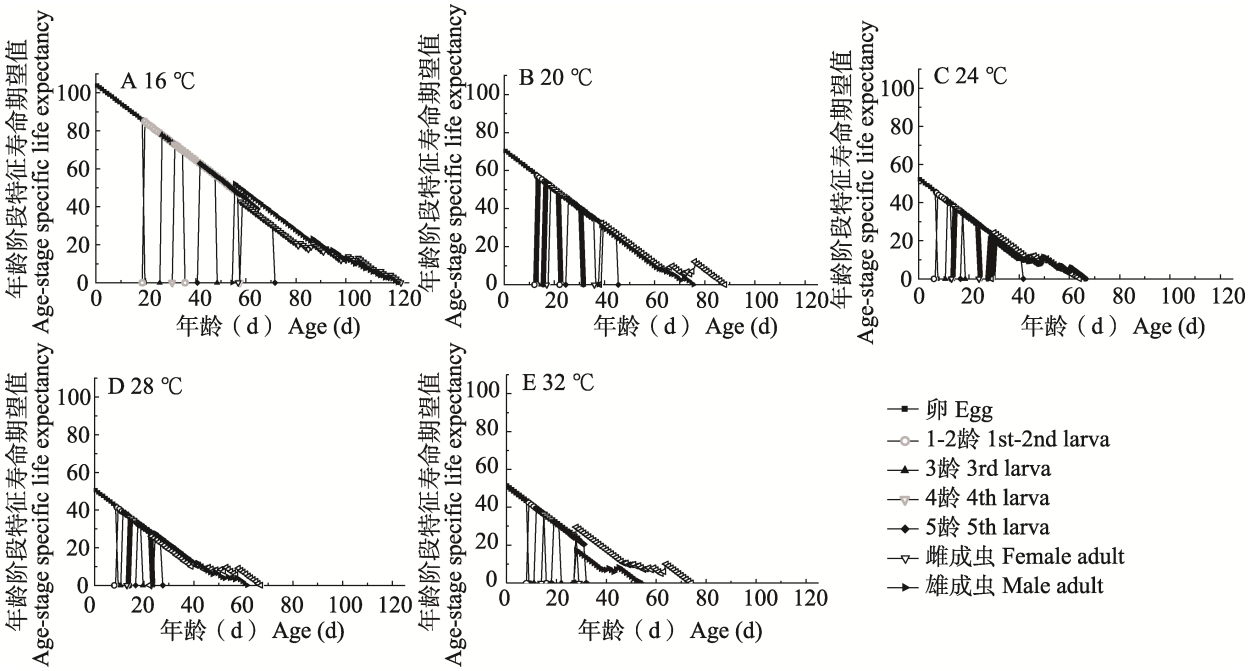

图 3 不同温度下（A-E）中国梨木虱的年龄-阶段特征寿命期望值

Fig. 3 Age-stage specific life expectancies of *Psylla chinensis* at different temperatures (A-E)

时，雄成虫期望寿命值降至最低。结果表明，温度影响中国梨木虱所有虫态期望寿命值，随着温度升高中国梨木虱期望寿命值下降。

2.5 不同温度对中国梨木虱繁殖值的影响

不同温度下中国梨木虱各阶段繁殖值均随年龄 x 增加而增大，且在成虫期贡献度达到最大值，这表明成虫对未来种群的贡献最大。结果表明（图 4：A-E），温度影响中国梨木虱产卵峰值时间和产卵峰值数。随温度升高，成虫产卵峰值时间随之减少，从 16 ℃的 67 d 降至 32 ℃的 28 d，峰值分别为 25、39、145、33 和 27 粒。16 ℃雌成虫的繁殖值在 60-80 日龄间明显下降，后又上升，可能是雌成虫进行了二次交配。结果表明，成虫贡献度随温度升高先增后减，24 ℃达到最大（图 4：C）。

2.6 温度对中国梨木虱种群参数的影响

温度对中国梨木虱种群平均世代周期、内禀增长率、周限增长率和净增值率均有影响（表 3）。16 ℃处理的平均世代周期为 81.66 d，显著长于其他温度处理（P<0.01）。24 ℃处理的内禀增长率（0.12）和周限增长率（1.13）最高，分别高于其他温度处理的 1.20-2.00、1.03-1.10 倍；24 ℃处理的净殖率为 134.60，是其他温度处理 3.44-6.85 倍，32 ℃处理最低为 19.65。结果表明，温度从周限增长率和净增值率上影响梨木虱种群繁殖，24 ℃有利于种群数量增加。

3 讨论

温度作为一种重要环境因子，直接或间接影响昆虫生长发育、存活及繁殖等生命活动（陈瑜和马春森，2010；郭在彬，2017；Govindan and Hutchison，2020）。中国梨木虱生长发育速度受温度影响较大。本研究结果表明，较低温度范围内，中国梨木虱发育历期随温度升高而缩短；当温度升至 24 ℃以上时，温度升高对其发育历期无显著影响。结果表明，一定范围内的温度影响中国梨木虱生长发育速度，当温度进一步升高时，不再影响其发育历期。该结果与晚春或初夏的第 1 代中国梨木虱世代周期长、夏季第 2-3 代发生周期短等田间发生规律一致；其与中国梨木虱在我国不同梨产区发生世代数变化规律也一致：黑龙江一年发生 1 代、辽宁 3-4 代，河北北部 4-5 代、黄河故道 6-7 代，随着年平均温度进

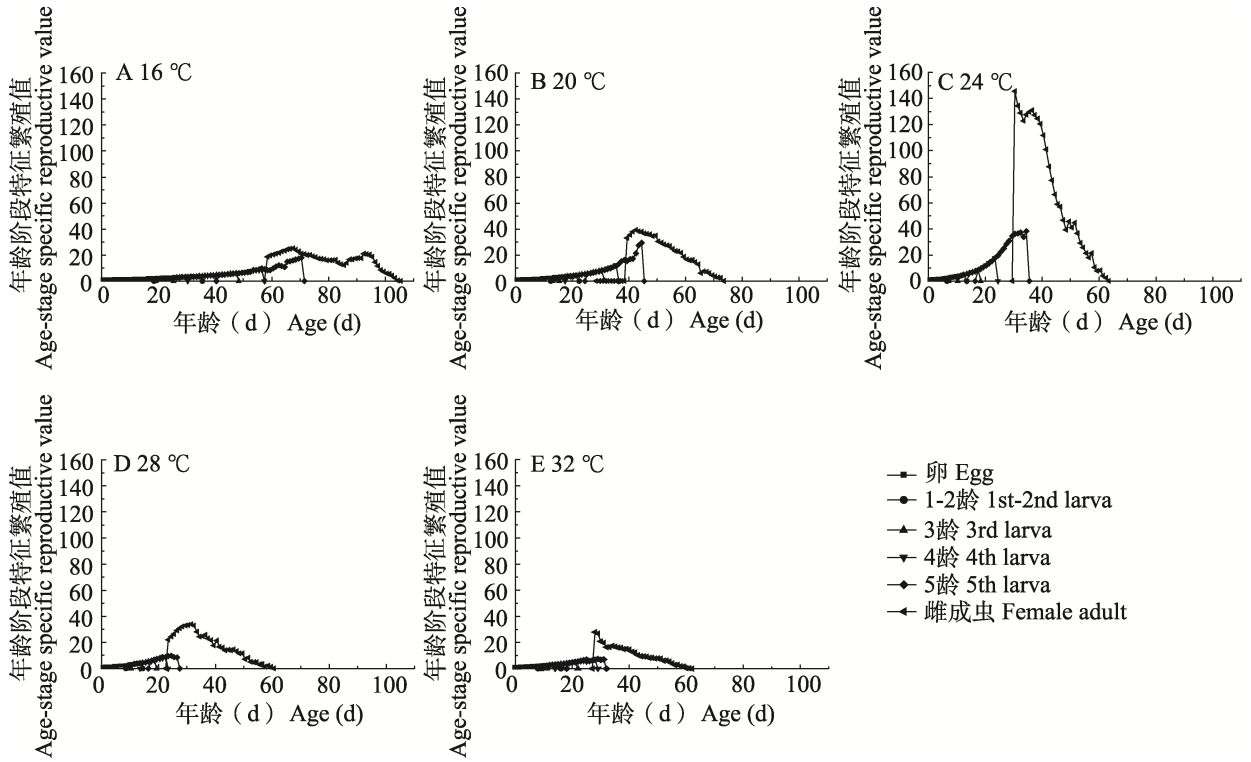

图 4　不同温度下（A-E）中国梨木虱的年龄-阶段特征繁殖值

Fig. 4　Age-stage specific reproductive value of *Psylla chinensis* at different temperatures (A-E)

表 3　不同温度下中国梨木虱的种群参数

Table 3　Population parameters of *Psylla chinensis* under different temperatures

温度（℃） Temperature (℃)	平均世代周期（d） Mean generation time (T) (d)	内禀增长率（d^{-1}） Intrinsic rate (r) (d^{-1})	周限增长率（d^{-1}） Finite rate(λ) (d^{-1})	净增殖率（R_0） Net reproduction rate (R_0)
16	81.66±5.20 a	0.06±0.033 c	1.03±0.004 c	21.00±4.48 c
20	52.22±1.25 b	0.07±0.030 c	1.07±0.003 b	39.10±4.23 b
24	39.34±0.60 c	0.12±0.004 a	1.13±0.005 a	134.60±20.80 a
28	36.74±1.11 c	0.10±0.006 b	1.10±0.007 a	36.35±6.25 b
32	41.16±1.94 c	0.07±0.006 c	1.07±0.007 b	19.65±2.78 c

一步升高，在浙江宁波发生世代也为 7 代，不再增加（窦连登，2014）。

温度通过影响产卵量、存活率和成虫寿命及存活动态，改变中国梨木虱内禀增长率、周限增长率和净增殖率等参数，使其种群数量和种群动态发生变化。24 ℃时中国梨木虱卵孵化率 94.50%、若虫存活率 58.00%、成虫产卵量 281.50 粒/雌，均显著高于其他温度处理 49.41%、42.50%、39.30-77.35 粒/雌（P<0.01）；温度越高，个体存活率下降的时间节点越早，16 ℃时为第 82 天，长于其他处理的第 62-39 天；总期望寿命值 16 ℃时最长为 103 d，显著高于其他温度处理（P<0.05），其中雌成虫期望寿命值随温度升高先减后增，雄成虫期望寿命值先减后增再减，16 ℃时雄成虫期望寿命值长雌成虫 10 d，32 ℃时雌成虫长雄成虫 12 d。在 16-32 ℃范围内，随温度升高，中国梨木虱的内禀增长率、周限增长率和净增殖率先增后减。24 ℃时内禀增长率、周限增长率和净增殖率均达到最大值，该结果与中国梨木虱在田间发生规律和调查结果一致：即第 1-2 代种群数量较少，危害较轻；第 3-4 代种群数量快速增加，危害加重。当温度进一步升高，

中国梨木虱的内禀增长率、周限增长率和净增殖率均开始下降；36 ℃时，中国梨木虱卵孵化率仅为 16%，成虫产卵量为 5.95 粒/雌，1 龄若虫无法发育至 2 龄，该结果与董阳辉等（2009）研究的中国梨木虱在 35 ℃高温下平均死亡率 67.20%-78.30%结果一致。该结果说明高温应是我国南方梨园夏季中国梨木虱发生较轻主要影响原因。

本研究中设定温度为恒定温度，以中国梨木虱雌雄成虫作为研究对象获得的研究结果可作为模拟指标，指导国梨木虱种群的田间预测和防控，但其温度设置与自然界昼夜交替波动温度不同，更为准确的波动温度下的生物学特性仍有待进一步研究。近年来中国梨木虱在高温干旱年份频繁出现爆发危害，高温干旱共同作用对其作用规律也待进一步研究。

参考文献 (References)

Cao DH, 2014. The harm and control of pear psylla to pear. *Rural Scientific Experiment*, 2014(1): 22–23. [曹涤环, 2014. 梨木虱对梨的危害与防治. 农村科学实验, 2014(1): 22–23.]

Chen Y, Ma CS, 2010. Effect of global warming on insect: A literature review. *Acta Ecologica Sinica*, 30(8): 2159–2172. [陈瑜, 马春森, 2010. 气候变暖对昆虫影响研究进展. 生态学报, 30(8): 2159–2172.]

Chi H, 1988. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology*, 17(1): 26–34.

Chi H, 2020. TWOSEX-MSChart: A computer program for the age-stage, two-sex life table analys is. http://140.120.197.173/Ecology/Download/TWOSEX. zip.

Chi H, Fu JW, Y MS, 2019. Age-stage, two-sex life table and its application in population ecology and integrated pest management. *Acta Entomologica Sinica*, 62(2): 255–262. [齐心, 傅建炜, 尤民生, 2019. 年龄-龄期两性生命表及其在种群生态学与害虫综合治理中的应用. 昆虫学报, 62(2): 255– 262.]

Chi H, Liu H, 1985. Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology*, 24(2) : 225–240.

Chi H, Su HY, 2006. Age-stage, two-sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate. *Environmental Entomology*, 35(1): 10–21.

Dong YH, Qian JR, He TH, Zhou LQ, Wang HS, 2009. Effects of summer drought and high temperature on occurrence of pear psyllid in China. *South China Fruits,* 38(3): 60–61. [董阳辉, 钱剑锐, 何铁海, 周立清, 王海松, 2009. 南方伏旱高温气候对中国梨木虱发生的影响. 中国南方果树, 38(3): 60–61.]

Dou LD, 2014. Crop Diseases and Insect Pests in China. Beijing: China Agricultural Publishing House. 1003–1004. [窦连登, 2014. 中国农作物病虫害. 北京: 中国农业出版社. 1003–1004.]

Govindan BN, Hutchison WD, 2020. Influence of temperature on age-stage, two-sex life tables for a minnesota-acclimated population of the brown marmorated stink bug (*Halyomorpha halys*). *Insects*, 11(2): 108.

Guo ZB, Cui JX, Wang F, Zhai MT, Li GS, 2017. The impact of temperature on the flight capacity of *Maladera verticalis* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Journal of Henan Institute of Science and Technology* (*Natural Science Edition*), 45(3): 30–33. [郭在彬, 崔建新, 王芳, 翟明恬, 李广帅, 2017. 温度对阔胫玛绢金龟 *Maladera verticalis* 成虫飞行能力的影响. 河南科技学院学报(自然科学版), 45(3): 30–33.]

Luo ZX, Ren LL, Qi LY, Zhou SD, Dai HG, 2009. Effects of temperature on the development of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) population. *Chinese Journal of Ecology*, 28(5): 921–924. [罗智心, 任荔荔, 祁力言, 周曙东, 戴华国, 2009. 温度对桔小实蝇种群发育的影响. 生态学杂志, 28(5): 921–924.]

Wang YM, 1993. The history of pest research on deciduous fruit trees in China. *Beijing Agricultural Sciences*, 11(2): 29–34. [王源岷, 1993. 中国落叶果树害虫研究之历史. 北京农业科学, 11(2): 29–34.]

Yu YL, Huang LJ, Wang LP, Wu JC, 2012. The combined effects of temperature and insecticide on the fecundity of adult males and adult females of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål (Hemiptera: Delphacidae). *Crop Protection*, 34: 59–64.

Zhang CT, Xu GL, Li DL, 2003. Studies and summarization of pear main pest *Psylla*. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 18(F09): 127–130. [张翠疃, 徐国良, 李大乱, 2003. 梨树主要害虫—中国梨木虱的研究综述. 华北农学报, 18(F09): 127–130.]

Zhang CT, Xu GL, Wang P, Zheng XL, Zhang JE, Zhang YR, 2002. Study on the damage of rules of *Pyslla chinensis*. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 17(S1): 17–22. [张翠疃, 徐国良, 王鹏, 郑晓莲, 张军娥, 张迎然, 2002. 中国梨木虱危害规律的研究. 华北农学报, 17(S1): 17–22.]

Zhao LL, Zhang WZ, Hu ZL, Han F, 2019. Investigation on occurrence regularity of *Psylla* in Taigu County, Shanxi Province. *Decidu Fruits*, 51(6): 46–48. [赵龙龙, 张未仲, 胡增丽, 韩凤, 2019. 山西省太谷县梨木虱发生规律的调查. 落叶果树, 51(6): 46–48.]

Zhao LL, Wei J, Liu ZH, Hu ZL, Zhang WZ, Ma RY, 2021. Study on the relation between key occurrence periods of pear psylla and air temperature. *Acta Agriculturae Shanghai*, 37(5): 68–72. [赵龙龙, 卫洁, 刘朝红, 胡增丽, 张未仲, 马瑞燕, 2021. 中国梨木虱关键发生期与气温关系研究. 上海农业学报, 37(5): 68–72.]