

桧柏臀纹粉蚧发育、生殖与温度的关系

王宇欣^{1,2}, 仲丽², 刘育俭³, 翟敬宇⁴, 魏建荣¹, 仇兰芬^{2*}

(1. 河北大学生命科学学院, 生命科学与绿色发展研究院, 河北保定 071002; 2. 北京市园林绿化科学研究院, 园林绿地生态功能评价与调控技术北京市重点实验室, 北京 100102; 3. 北京市天坛公园管理处, 北京 100061; 4. 北京市紫竹院公园管理处, 北京 100048)

摘要: 为搞清楚温度与桧柏臀纹粉蚧 *Planococcus vovae* 生长发育、繁殖的关系, 本研究在 6 个恒温条件下 (17、20、23、26、29 和 32°C), 测定了各虫态的存活率、发育历期、发育起点温度、有效积温、繁殖力和发育速率等相关参数, 并构建了实验种群生命表。结果显示: 1) 温度对桧柏臀纹粉蚧各虫态的发育历期有重要影响, 在 20~32°C 恒温条件下, 桧柏臀纹粉蚧各虫态的发育历期随温度的升高先缩短后延长; 雌若虫期发育历期在 26°C 时仅为 27.00 d; 而雄若虫的发育历期在 29°C 下最短, 为 23.17 d。雌、雄若虫期在 20°C 时发育历期最长, 分别为 92.06 d 和 86.80 d; 2) 桧柏臀纹粉蚧各虫态发育速率与温度之间呈二次回归关系, 但雄虫蛹期除外。3) 在 26°C 时雌、雄若虫的存活率显著高于其他温度, 分别为 64.58% 和 64.27%。4) 雌成虫产卵前期和成虫寿命随着温度的升高逐渐缩短; 雌成虫产卵量从 26°C 下的每雌 193.25 粒缩减到 17°C 下的每雌 84.20 粒。5) 世代发育起点温度分别为雌 19.04°C、雄 15.02°C, 有效积温分别为 461.29 日·度和 353.42 日·度; 6) 26°C 和 20°C 下的种群趋势指数分别为 62.3 和 16.1; 17°C 时, 2 龄若虫生长停滞, 持续期达 80 d 以上; 32°C 时 2、3 龄若虫发育历期延长。桧柏臀纹粉蚧最适宜在 23~29°C 生长发育和繁殖。

关键词: 桧柏臀纹粉蚧; 发育历期; 生命表; 发育起点温度; 有效积温

中图分类号: Q968.1;S433

文献标识码: A

The relationship between development, reproduction of *Planococcus vovae* and temperatures

WANG Yu-Xin^{1,2}, ZHONG Li², LIU Yu-Jian³, ZHAI Jing-Yu⁴, WEI Jian-Rong¹, QIU Lan-Fen^{2*}

(1. School of Life Sciences, Institute of Life Sciences and Green Development, Hebei University, Baoding 071002, Hebei Province, China; 2. Beijing Academy of Forestry and Landscape Architecture, Beijing Key Laboratory of Ecological Function Assessment and Regulation Technology of Green Space, Beijing 100102, China; 3. Beijing Temple of Heaven Park Management Office, Beijing 100061, China; 4. Beijing Purple Bamboo Park Management Office, Beijing 100048, China)

Abstract: In order to investigate the influence of temperature on the growth, development and reproduction of *Planococcus vovae*, the survival rate, developmental period, developmental threshold temperature, effective accumulated temperature, fecundity and developmental rate of *P. vovae* were measured at 17, 20, 23, 26, 29 and 32°C under six constant temperature conditions,

基金项目: 园林绿地生态功能评价与调控技术北京市重点实验室开放课题 (STZD202302); 园林绿地生态功能评价与调控技术北京市重点实验室开放课题 (二期) (STZD202402)

作者简介: 王宇欣, 2000 年生, 女, 硕士研究生, 从事园林害虫综合防治研究, E-mail: xin10292022@163.com

*通讯作者 Author for correspondence: 仇兰芬, 女, 博士, 教授级高级工程师, 从事园林害虫综合防治研究, E-mail: 280548712@qq.com

收稿日期 Received: 2023-09-15; 接受日期 Accepted: 2024-04-01

and the laboratory population life table at different temperatures was constructed. Results showed: 1) The temperature significantly influenced the developmental period of *P. vovae*, the developmental period of different stages of *P. vovae* decreased and then increased as temperature increasing from 20°C to 32°C; the shortest period was 27.00 d for the female at 26°C and 23.17 d for the male at 29°C; the longest developmental duration of female and male nymph were 92.06 d and 86.80 d, respectively, at 20°C; 2) There was a quadratic regression between developmental rates and temperature for each insect state of *P. vovae*, except for the pupal stage of males. 3) The highest survival rate of the female and male were 64.58% and 64.27%, respectively at 26°C. 4) Both pre-oviposition and adult longevity of female adults declined progressively with increasing temperatures. The egg production was the highest at 26°C with 193.25 eggs per female and lowest at 17°C with 84.20 eggs per female. 5) The developmental threshold temperatures of the female and male generations were 19.04°C and 15.02°C, and the effective cumulative temperatures were 461.29 day-degrees and 353.42 day-degrees. 6) The population trend index was 62.3 and 16.1 at 26°C and 20°C, respectively; the second instar of *P. vovae* showed growth stagnation at 17°C, which lasted for more than 80 d; the developmental period of the second and third instars of *P. vovae* was all prolonged at 32°C. The most suitable temperature range is 23~29°C for the growth, development and reproduction of *P. vovae*.

Key words: *Planococcus vovae*; developmental duration; life table; developmental threshold temperature; effective accumulated temperature

桧柏臀纹粉蚧 *Planococcus vovae* (Nasonov, 1909) 隶属于半翅目 Hemiptera 蚧次目 Coccoomorpha 粉蚧科 Pseudococcidae 臀纹粉蚧属 *Planococcus*, 已被国际应用生物科学中心 CABI (2022) 列为外来有害生物 (武三安等, 2023)。该虫最早分布于欧洲、地中海地区和亚洲西南部 (Jennifer *et al.*, 1986; Williams *et al.*, 1999; Ulgenturk *et al.*, 2004; Moghadam, 2006; Danzig *et al.*, 2010; Graora *et al.*, 2014; Danzig *et al.*, 2015; CABI, 2022), 寄主十分广泛, 包括隶属于扁柏属 *Chamaecyparis*、柏属 *Cupressus*、刺柏属 *Juniperus* 和崖柏属 *Thuja* 等的 20 多种柏科 Cupressaceae 植物 (CABI, 2022)。我国于 2020 年在河北省廊坊市首次发现桧柏臀纹粉蚧 (袁芳芳和魏嘉辉, 2022), 2020-2023 年在北京市多地的桧柏、龙柏、铺地龙柏也同时发现。其若虫和雌成虫均能够刺吸食植物, 使受害部位枝条和针叶黄化干枯, 植株长势衰弱, 逐渐枯萎, 且分泌大量蜜露, 滋生霉污, 阻碍植物的光合作用, 加速植物死亡 (Graora *et al.*, 2014)。该虫发现至今, 呈现出虫口密度大、抗逆性强以及多个世代重叠等特点。

昆虫是变温动物, 温度对其发育和繁殖影响极大, 一般以特定温度下的存活率、生长发育速率和繁殖进行描述 (赵洪霞等, 2012)。目前国内关于桧柏臀纹粉蚧的研究主要集中在形态学、系统发育和生物学特性等方面 (袁芳芳和魏嘉辉, 2022; 武三安等, 2023), 而目前还未见温度对桧柏臀纹粉蚧生长发育和繁殖影响的报道。本研究选用北京桧柏 *Sabina*

chinensis 'Beijingensis'为寄主，设定不同温度研究饲养桧柏臀纹粉蚧，分别计算各虫态的发育起点温度和有效积温，搞清该虫的最适发育温度范围，可助于人们了解其发生机制，以便准确测报其发生期，同时构建桧柏臀纹粉蚧实验种群生命表，为进一步掌握温度变化对其种群动态的影响，指导害虫综合防控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

桧柏臀纹粉蚧采集自北京天坛公园（39°88'N, 116°41'E），室内用北京桧柏 *Sabina chinensis* 'Beijingensis'在温度 26°C±1°C、湿度 70%±5%、光周期 L:D = 14:10 光照培养箱内饲养，继代繁殖 10 代以上，建立实验种群，作为供试虫源。

1.2 研究方法

桧柏臀纹粉蚧的饲养采取指形管法（容积：5 mL），指形管盖钻 1 个约 2 mm 的圆孔，将指形管装满水，剪取 3~4 cm 长的新鲜桧柏枝条通过圆孔插入管中（图 1）。挑取即将产卵的雌虫（在产卵前期，雌成虫体表的蜡质层会越来越厚，体型逐渐变大接近椭圆形，快进入产卵期时，会在腹部末端分泌出少量棉絮状蜡丝，并停止活动，）接到桧柏枝条上，置于玻璃培养皿内（皿直径d=90 mm），在 26°C±1°C、相对湿度 70%±5%、光周期 14 L:10 D 条件下让其自然产卵。每天定时观察雌成虫产卵情况，将同一天所产卵囊用毛笔轻轻挑取到浸有湿润滤纸的培养皿中，上述温湿条件下孵化，观察并记录卵孵化情况。

实验设置 17、20、23、26、29、32°C 共 6 个恒温梯度，光、湿条件同上。待卵囊孵化后，用毛笔轻轻挑取发育良好的同日龄初孵若虫，接到同上述处理的新鲜桧柏枝条上（每根枝条上接 1 头初孵若虫）。每个温度处理 60 头，3 个重复，每天定时观察记录不同温度处理下各虫态的蜕皮时间、发育历期、各龄期的存活率、雌成虫的产卵情况、产卵量及卵的孵化情况。桧柏臀纹粉蚧生活史（表 1）。雄虫在化蛹前不能飞行，一般在桧柏枝条和培养皿之间寻找隐蔽处固定，因此可以准确记录其数量。



图 1 桧柏臀纹粉蚧饲养实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental device for feeding *Planococcus vovae*

表 1 桧柏臀纹粉蚧的生活史

Table 1 Life history of *Planococcus vovae*

性别 Sex	生活史 Life history
雌虫 Female	卵 Egg→1龄若虫 Nymph of 1 st instar→2龄若虫 Nymph of 2 nd instar→3龄若虫 Nymph of 3 rd instar→ 雌成虫 Adult female
雄虫 Male	卵 Egg→1龄若虫 Nymph of 1 st instar→2龄若虫 Nymph of 2 nd instar→蛹期 Pupa→雄成虫 Adult male

1.3 发育起点温度和有效积温的测定

根据桧柏臀纹粉蚧在 17、20、23、26、29 和 32°C 恒温条件下各发育阶段的发育历期数据，采用“最小二乘法”对发育起点温度 C 和有效积温 K （张孝曦，2002）进行计算：

$$C = \frac{\sum V^2 \sum T - \sum V \sum VT}{n \sum V^2 - (\sum V)^2}$$

$$K = \frac{n \sum VT - \sum V \sum T}{n \sum V^2 - (\sum V)^2}$$

式中： T ，试验温度； V ，发育速率（发育历期的倒数）； C ，发育起点温度； K ，有效积温常数； n 为处理数。

1.4 数据处理

对不同恒温条件下（17、20、23、26、29 和 32°C）桧柏臀纹粉蚧各虫态的发育历期、存活率、繁殖力和成虫寿命进行统计。采用 Excel 2010 和 SPSS 26.0 软件对数据开展单因素方差分析，Tukey 氏比较显著性差异（ $\alpha=0.05$ ）。应用 Marquardt 法拟合桧柏臀纹粉蚧各虫态发育速率 V （发育历期的倒数）和温度 T 的函数（冯康，1978）。根据不同温度各虫态的存活率、雌成虫产卵量等，组建不同温度的实验种群生命表（门兴元，2008）。参考张孝羲（2002）的方法计算桧柏臀纹粉蚧的种群趋势指数（ I ）。

2 结果与分析

2.1 温度对桧柏臀纹粉蚧发育历期的影响

桧柏臀纹粉蚧在不同温度下的不同发育阶段历期如表 2 所示。在 17~32°C 恒温处理下，桧柏臀纹粉蚧的卵期随着温度的升高，发育历期缩短，由 17°C 下的 23.60 d 缩短到 32°C 下的 4.80 d。雌虫在 20~26°C 恒温处理下，不同虫态发育历期随温度升高而缩短，从初孵若虫到雌成虫的历期从 20°C 下的 92.06 d 缩减到 26°C 下的 27.00 d。雄虫在 20~29°C 恒温处理下，随温度升高各虫态发育历期缩短，从初孵若虫到雄成虫发育历期由 29°C 下的 23.17 d 至 20°C 下的 86.80 d。

在 17°C 时，只有少部分桧柏臀纹粉蚧 1 龄若虫能完成蜕皮进入 2 龄，此时 1 龄若虫的发育历期为 35.89 d，2 龄若虫生长停滞，持续 80 d 以上；在 20°C 恒温条件下，2 龄若虫发育历期长于 23~32°C，2 龄雌若虫的发育历期最长为 55.94 d，2 龄雄性若虫的发育历期最长为 54.60 d，部分 2 龄雌若虫能蜕皮进入 3 龄，部分 2 龄雄若虫能够进入蛹期；在 32°C，2、3 龄雌若虫的发育历期较 23~29°C 恒温条件下有所延长，若虫生长到 2 龄后发育变得缓慢，

2、3 龄雌若虫的发育历期分别为 15.94 d 和 31.67 d。

表 2 不同温度下桧柏臀纹粉蚧的发育历期 (d)

Table 2 Developmental duration of *Planococcus vovae* at certain temperatures

温度(°C) Temperature	卵期 Egg stage	1 龄若虫期	2 龄雌若虫期	3 龄雌若虫期	2 龄雄若虫期	蛹期 Pupa stage	若虫至成虫期	
		Nymph of 1 st instar stage	Nymph of 2 nd instar(♀) stage	Nymph of 3 rd instar(♀) stage	Nymph of 2 nd instar(♂) stage		Nymph to adult stage 雌虫 Female	雄虫 Male
17	23.60 ± 0.24 a	35.89 ± 0.36 a	—	—	—	—	—	—
20	16.20 ± 0.20 b	19.80 ± 0.18 b	55.94 ± 0.29 a	16.75 ± 0.14 b	54.6 ± 0.24 a	12.80 ± 0.37 a	92.06 ± 0.32 a	86.80 ± 0.37 a
23	12.20 ± 0.37 c	13.48 ± 0.29 c	8.33 ± 0.18 c	9.65 ± 0.15 d	7.38 ± 0.18 b	11.57 ± 0.48 a	31.82 ± 0.54 c	31.71 ± 0.18 b
26	7.40 ± 0.24 d	11.43 ± 0.33 d	6.79 ± 0.19 c	8.57 ± 0.23 d	6.00 ± 0.21 c	8.82 ± 0.35 b	27.00 ± 0.54 d	26.12 ± 0.58 c
29	6.60 ± 0.24 d	8.58 ± 0.14 e	6.92 ± 0.15 c	13.30 ± 0.54 c	6.33 ± 0.21 c	8.50 ± 0.85 b	28.91 ± 0.59 d	23.17 ± 0.83 d
32	4.80 ± 0.37 e	8.24 ± 0.14 e	15.94 ± 1.20 b	31.67 ± 0.79 a	8.09 ± 0.21 b	7.40 ± 0.31 b	56.07 ± 1.32 b	23.60 ± 0.31 cd

注：表中数据为平均值±标准误，经 Tukey 氏比较显著性差异，同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下表 4~5 同。17°C 时 2 龄若虫生长停滞，持续期达 80 d 以上，未完成生活史。Note: Data in the table were mean ± SE, and different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same for Tables 4~5. At 17°C the growth of 2nd instar nymphs was stagnant and lasted for more than 80 d without completing their life history.

2.2 不同温度下桧柏臀纹粉蚧发育速率与温度的关系

将表 3 中发育历期 (N) 转换为发育速率 (V)，采用二次回归模型拟合桧柏臀纹粉蚧 2 龄雌若虫、2 龄雄若虫、3 龄雌若虫、蛹、雌虫世代和雄虫世代在 20~32°C 恒温条件下以及卵、一龄若虫及产卵前期在 17~32°C 恒温条件下的发育速率 (V) 和温度 (T) 的函数，得到的回归方程和显著性检验结果见表 3，表明利用二次回归模型分析桧柏臀纹粉蚧发育速率和温度之间的关系可以适用于卵、1 龄若虫、2 龄雌若虫、2 龄雄若虫、3 龄雌若虫、产卵前期、雌虫世代、雄虫世代等发育阶段，但对于雄虫蛹期不适用，雄虫蛹期的发育速率与温度之间的相关性不显著 ($R^2=0.540$, $F=24.609$)。

表 3 桧柏臀纹粉蚧发育速率与温度的关系的回归方程和显著性检验结果

Table 3 Regression equations and significance tests for the relationship between developmental rate (Y) and temperature (t) of *Planococcus vovae*

发育阶段 Developmental stage	二次回归模型 Regression quadratic model	R^2	F
卵 Egg	$Y=0.000382t^2-0.007476t+0.058531$	0.926	168.797**
1 龄若虫 Nymph of 1 st instar	$Y=-0.000149t^2+0.013864t-0.165667$	0.894	788.888**

2 龄若虫 Nymph of 2 nd instar , ♀	Y= -0.003065t ² +0.163805t-2.030899	0.884	373.277**
2 龄若虫 Nymph of 2 nd instar , ♂	Y= -0.001695t ² +0.084426t-0.937791	0.858	132.428**
3 龄若虫 Nymph of 3 rd instar , ♀	Y= -0.001893t ² +0.095544t-1.092298	0.849	255.730**
蛹 Pupa	Y= -0.000186t ² +0.014904t-0.148958	0.540	24.609**
产卵前期 Preoviposition	Y= -0.000251t ² +0.017021t-0.189613	0.884	254.487**
世代 Generation ♀	Y= -0.000247t ² +0.013380t-0.161128	0.922	337.401**
世代 Generation ♂	Y= -0.000290t ² +0.017302t-0.217594	0.918	236.596**

注: *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$ 。

2.3 温度对桧柏臀纹粉蚧各虫态存活率的影响

在 17~26°C 恒温条件下 (表 4), 随着温度的升高, 桧柏臀纹粉蚧各虫态存活率逐渐增大, 当温度达到 29°C 时, 存活率又明显下降。就整个若虫期而言, 温度对其若虫存活率有显著影响, 1 龄若虫存活率最低在 47.51%~69.07% 之间; 2 龄和 3 龄若虫对温度的适应能力增强, 存活率较高在 80.25%~97.45% 之间。26°C 恒温条件下若虫的存活率最高 ($F=3.184$, $df=57, 5, P=0.013$), 其雌、雄虫若虫存活率分别为 64.58% 和 64.27%; 雌、雄虫若虫在 20°C 条件下存活率最低 ($F=3.184$, $df=57, 5, P=0.013$), 分别为 35.91% 和 32.73%。

表 4 不同温度下桧柏臀纹粉蚧的存活率 (%)

Table 4 Survival rates of *Planococcus vovae* at different temperatures

温度(°C) Temperature	1 龄若虫	2 龄若虫	3 龄若虫	蛹期 Pupa	若虫至成虫 Nymph to adult	
	Nymph of 1 st instar	Nymph of 2 nd instar	Nymph of 3 rd instar (♀)		雌虫 Female	雄虫 Male
17	47.51 ± 0.48 d	—	—	—	—	—
20	50.27 ± 0.27 bcd	80.25 ± 1.71 b	89.04 ± 0.52 c	81.11 ± 1.11 c	35.91 ± 0.52 d	32.73 ± 1.01 d
23	51.67 ± 0.96 b	84.37 ± 0.28 b	94.10 ± 0.2 b	87.96 ± 0.46 b	41.02 ± 0.75 c	37.79 ± 0.36 c
26	69.07 ± 0.93 a	97.45 ± 0.09 a	95.94 ± 0.06 a	94.00 ± 0.12 a	64.58 ± 0.86 a	64.27 ± 0.19 a
29	51.38 ± 0.73 bc	96.69 ± 0.14 a	95.83 ± 0.1 a	84.13 ± 0.79 c	47.61 ± 0.69 b	41.80 ± 0.82 b
32	48.06 ± 0.74 cd	95.52 ± 1.09 a	94.34 ± 0.11 b	89.93 ± 0.58 b	43.29 ± 0.38 c	41.28 ± 0.58 b

2.4 温度对桧柏臀纹粉蚧成虫寿命和繁殖力的影响

温度对桧柏臀纹粉蚧成虫寿命、繁殖力以及卵的孵化率影响如表 5 所示。随着温度的升高, 桧柏臀纹粉蚧雌成虫产卵前期和雌雄成虫寿命逐渐缩短, 其产卵前期和雌成虫寿命由 17°C 下的 36.80 d 和 65.60 d 缩短到 32°C 下的 10.60 d 和 21.50 d ($F=294.426$, $df=64, 5, P < 0.01$; $F=209.170$, $df=64, 5, P < 0.01$)。各恒温条件下, 雄成虫寿命均短于雌成虫寿命, 在 32°C 下寿命最短为 1.65 d。雌虫产卵历期在 17°C 时为 21.80 d, 在 29°C 时为 8.20 d。分别在 17、20、23、26°C 条件下, 雌成虫产卵量随温度的升高而增大; 而在 29、32°C 条件下, 成虫产卵量随温度的升高而降低; 26°C 时产卵量最大 ($F=9.813$, $df=64, 5, P < 0.01$), 达每雌 193.25 粒; 17°C 时产卵量最小, 每雌 84.20 粒; 23、26°C 之间及 29、32°C 之间的产卵量无显著性差异。在 17~32°C 恒温条件下, 随着温度的升高, 卵的孵化率先增大后减小, 在 26°C 时孵化率最

高 ($F=80.070$, $df=30, 5$, $P<0.01$), 为 97.32%, 在 17°C 时孵化率最低, 为 49.97%。因此桧柏臀纹粉蚧成虫的生长和繁殖适宜温度为 23~29°C。

表 5 不同温度下桧柏臀纹粉蚧成虫的寿命和产卵量

Table 5 Adult longevity and fecundity of *Planococcus vovae* at different temperatures

温度(°C) Temperature	产卵前期 (d)	产卵期 (d)	产卵量(粒) Fecundity	孵化率(%) Hatching rate	成虫寿命 (d) Adult longevity	
	Preoviposition duration	Oviposition duration			交配后雌虫 Female	雄虫 Male
17	36.80 ± 1.22 a	21.80 ± 1.38 a	84.20 ± 7.13 c	49.97 ± 1.35 d	65.60 ± 1.22 a	—
20	19.70 ± 0.37 b	14.70 ± 0.88 b	93.70 ± 5.13 bc	84.09 ± 5.93 b	39.70 ± 0.99 b	3.20 ± 0.12 a
23	15.20 ± 0.29 c	13.30 ± 1.33 b	144.40 ± 10.42 ab	96.37 ± 1.35 a	32.90 ± 1.40 c	2.36 ± 0.09 b
26	12.15 ± 0.27 d	11.10 ± 0.66 bc	193.25 ± 13.56 a	97.32 ± 0.86 a	26.65 ± 0.78 d	2.03 ± 0.05 bc
29	10.70 ± 0.56 d	8.20 ± 1.22 c	157.60 ± 18.58 a	96.70 ± 0.93 a	22.30 ± 1.12 de	1.75 ± 0.11 cd
32	10.60 ± 0.48 d	8.50 ± 1.30 c	154.60 ± 17.91 a	60.06 ± 0.94 c	21.50 ± 1.23 e	1.65 ± 0.08 d

2.5 桧柏臀纹粉蚧的发育起点温度和有效积温

根据表 2 中所得不同温度下桧柏臀纹粉蚧发育历期数据, 计算各龄期的发育起点温度和有效积温。由表 6 可知, 桧柏臀纹粉蚧卵、1 龄若虫、2 龄雌若虫、2 龄雄若虫、3 龄雌若虫、产卵前期、雌虫世代和雄虫世代的发育起点温度分别为 14.51、12.44、18.61、20.07、20.59、10.34、19.04 和 15.02°C; 有效积温分别为 88.01、151.46、54.81、43.99、49.20、490.93、461.29 和 353.42 日·度。

表 6 桧柏臀纹粉蚧各虫态的发育起点温度和有效积温

Table 6 Developmental threshold temperature and the effective accumulated temperature in each stage of *Planococcus vovae*

发育阶段 Developmental stage	发育起点温度(°C) Developmental threshold temperature	有效积温 (日·度) EAT
卵 Egg	14.51	88.01
1 龄若虫 Nymph of 1 st instar	12.44	151.46
若虫 2 龄雌虫 Nymph of 2 nd instar (♀)	18.61	54.81
Nymph 3 龄雌虫 Nymph of 3 rd instar (♀)	20.59	43.99
2 龄雄虫 Nymph of 2 nd instar (♂)	20.07	49.20
产卵前期 (交配) Preoviposition	10.34	490.93
雌虫世代 (交配) Male generation	19.04	461.29
雄虫世代 Female generation	15.02	353.42

2.6 桧柏臀纹粉蚧实验种群生命表

温度对桧柏臀纹粉蚧的存活和繁殖能力有显著影响, 根据各发育阶段的存活率和成虫生殖能力数据构建实验种群生命表 (表 7)。表中初孵若虫设定为 100 头, 各发育阶段的存活率和每雌平均产卵数均为实际观察值, 性比均设为 1:1。不同温度下桧柏臀纹粉蚧的存活率不同, 26°C 下各虫态存活率最高, 每雌平均产卵数也是 26°C 时最大, 为每雌 193.25 粒,

说明温度过高或者过低均不利于该种群的繁殖。不同温度处理下的桧柏臀纹粉蚧种群趋势指数有显著差异，在 26°C 下桧柏臀纹粉蚧种群趋势指数最高，为 62.3；在 20°C 下种群趋势指数最小，为 16.1。在 20~32°C 温区内的种群趋势指数 $I > 1$ ，说明桧柏臀纹粉蚧次代的种群数量呈现增长趋势。

表 7 桧柏臀纹粉蚧在不同温度下的实验种群生命表

Table 7 Population life table of *Planococcus vovae* at different temperatures

发育阶段 Developmental stage	进入各发育期虫数 Number of individuals entering various developmental stage					
	17°C	20°C	23°C	26°C	29°C	32°C
初孵若虫 Newly hatched nymph	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2 龄若虫 The 2 nd instar nymph	47.51	50.27	51.67	69.07	51.38	48.06
3 龄若虫 The 3 rd instar nymph	—	40.34	43.59	67.31	49.68	45.91
雄成虫数 Number of male adults	—	17.16	19.71	32.22	22.36	21.15
雌成虫数 Number of female adults	—	17.16	19.71	32.22	22.36	21.15
每雌平均产虫数 Number of newly hatched nymphs produced per female	—	93.70	144.40	193.25	157.60	154.60
预计 2 代初孵若虫数 Number of newly hatched nymphs of the next generation estimated	—	1 607.9	2 846.1	6 226.5	3 523.9	3 269.8
种群趋势指数 Population trend index <i>I</i>	—	16.1	28.5	62.3	35.2	32.7

3 结论与讨论

温度是影响昆虫生长发育、存活和繁殖的重要生态因素。本研究发现，在 20~29°C 恒温条件下，随着温度的升高，桧柏臀纹粉蚧雄虫的发育历期显著缩短，从初孵若虫到成虫的发育历期由在 20°C 的 86.80 d 缩短到 29°C 下的 23.17 d；在 20~26°C 恒温条件下，雌虫也随着温度的升高，发育历期显著缩短，在 26°C 时雌虫发育历期最短，从初孵若虫到成虫的历期为 27.00 d，这一结果与大多数有关温度对粉蚧科昆虫生长发育的影响研究结果相一致（王莹莹等，2012；徐盼等，2012；胡钟予等，2017；李思怡等，2018）。在 17°C 和 20°C 时，雌虫发育缓慢，1 龄若虫的发育历期分别长达 35.89 d 和 19.80 d；17°C 下一直处于 2 龄若虫，持续期长达 80 d 以上；在 20°C 下，2 龄若虫发育历期长达 55.94 d，说明若虫在低温状态下可能发生滞育。在 26°C 与 29°C 恒温条件下，各发育阶段的发育历期之间无显著差异，但在 29°C 时 3 龄雌性若虫的发育历期较 26°C 时有所延长。在 32°C 时雌虫的发育受到抑制，发育缓慢，从初孵若虫到成虫的发育历期为 56.07 d，但雄虫能正常发育，发育历期短于 26°C，这与胡钟予等（2017）观察到的新菠萝灰粉蚧 *Dysmicoccus neobrevipes* 在 32°C 下雄虫够正常发育且发育历期要短于 29°C 下的结论相似（胡钟予等，2017）。造成这种现象的原因很可能是在过高温度条件下，桧柏臀纹粉蚧雌性若虫发生滞育（华爱等，2004；胡夏雨等，2022），或因为寄主植物在高温下的营养供应可能发生变化，进而导致桧柏臀纹粉蚧雌虫发育迟缓，甚

至停止发育；而雄性若虫到 2 龄末期会停止取食，随后开始化蛹，所以寄主植物质量的改变对其生长发育过程影响甚微（Chong *et al.*, 2008）。

在本研究中二次回归模型可以较好地模拟卵、1 龄若虫、2 龄雌性若虫、2 龄雄性若虫、3 龄雌性若虫、成虫产卵前期、雌虫世代、雄虫世代等发育阶段的发育速率与温度关系，但雄虫蛹期除外，表明该模型不能完全反映桉柏臀纹粉蚧在其可生存的温度范围内的发育速率变化情况（吴坤君等，2009），所以还需要进行更深层次的研究。不同恒温条件下桉柏臀纹粉蚧各虫态的耐受性有所差异，主要体现在存活率方面。桉柏臀纹粉蚧在 23~29°C 恒温条件下的存活率显著高于 17~20°C 和 32°C，表明高温或低温均不利于桉柏臀纹粉蚧各虫态的存活；1 龄若虫的存活率最低，可能是由于 1 龄若虫蜡分泌物分泌较少，体表覆盖物较薄，活动能力强，容易受到外界环境的干扰，导致死亡率较高（Persad *et al.*, 2002；Ulusoy, 2022）。温度对于桉柏臀纹粉蚧的成虫寿命和繁殖力也有显著的影响，雌、雄成虫寿命随温度的升高而降低，雌成虫寿命由 17°C 的 65.60 d 缩短至 32°C 的 21.50 d。在 17~26°C 恒温条件下，其产卵量会随温度的升高而增加；在 17°C 时，桉柏臀纹粉蚧的产卵期最长，但产卵量却极低，为每雌 84.20 粒，说明低温会对昆虫体内的激素分泌产生影响，从而导致性腺发育和卵子成熟迟缓（韩兰芝等，2003；赵洪霞等，2012；蒋丰泽等，2015）。桉柏臀纹粉蚧 2 龄雌性若虫发育起点温度为 18.61°C，3 龄雌性若虫发育起点温度为 20.59°C，所以在 17°C 实验条件下，虽然有少部分 1 龄若虫可以蜕皮到 2 龄，但一直处于 2 龄若虫状态。

发育起点温度和有效积温作为昆虫的基本生物学特性，是预测昆虫发育进程和种群动态的关键（陈元生等，2017）。此外，利用有效积温法则，不仅可以推测昆虫的地理分布范围，还可以预测预报其发生时间和发生世代数，以便及时制定出科学合理的防控措施（张孝曦，2002；向玉勇等，2011；何莉梅等，2019；耿书宝等，2022）。

生命表被广泛用于研究与分析环境因子对昆虫种群数量变动的影响（庞雄飞和梁广文，1995）。本文在 17~32°C 恒温条件下，组建了桉柏臀纹粉蚧实验种群生命表，发现在 20~32°C 恒温条件下，桉柏臀纹粉蚧种群趋势指数均超过 20°C 下的 16.1，说明桉柏臀纹粉蚧种群在这个温区内处于上升趋势，特别是在 26°C 时种群趋势指数达到了 62.3。昆虫生长发育和繁殖除了会受温度的影响外，还会受到湿度、光照、降雨量、寄主植物营养状况等众多生态因子的影响（周文等，2010，邢鲲等，2013），由于本研究是在室内不同恒温恒湿条件下的光照培养箱内进行，所以该实验种群生命表中展示的种群数量变动情况，在实际应用时会具有一定的局限性。在自然界中的桉柏臀纹粉蚧种群处于高、低温交替变化之中，为了能够更加准确预测预报其发生期，今后有必要进一步针对循环变温、湿度、光照周期、寄主植物营养状态等生态因子对桉柏臀纹粉蚧生长发育和繁殖的影响开展研究，从而制定合理有效的防控技术措施。

致谢：本研究得到北京市园林绿化资源保护中心郭蕾高级工程师的支持与帮助，在此感谢！

参考文献 (References)

- CABI. CABI Compendium: *Planococcus vovae* [EB/OL]. (2021-11-16) [2023-9-15]. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.41893>.
- Chen YS, Luo ZD, Zhong PH. Geographic variation in development threshold temperature and sum of effective temperatures of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2017, 39 (3): 573-579. [陈元生, 罗致迪, 钟平华. 棉铃虫发育起点温度和有效积温的地理变异 [J]. *环境昆虫学报*, 2017, 39 (3): 573-579]
- Chong JH, Roda AL, Mannion CM. Life history of the mealybug, *Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera: Pseudococcidae), at constant temperatures [J]. *Environmental Entomology*, 2008, 37 (2): 323-332.
- Cox JM, Ben-Dov Y. Planococcine mealybugs of economic importance from the Mediterranean Basin and their distinction from a new African genus (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 1986, 76 (3): 481-489.
- Danzig EM, Gavrillov-Zimin IA. Mealybugs of the genera *Planococcus* and *Crisicoccus* (Sternorrhyncha: Pseudococcidae) of Russia and adjacent countries [J]. *Zoosystematica Rossica*, 2010, 19 (1): 39-49.
- Danzig EM, Gavrillov-Zimin IA. Palaearctic Mealybugs (Homoptera: Coccinea: Pseudococcidae). Part 2. Subfamily Pseudococcinae. St [M]. Petersburg, Russia: Zoological Institute, Russian Academy of Sciences, 2015: 213-216.
- Feng K. Methods of Numerical Calculation [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1978. [冯康. 数值计算方法 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1978]
- Geng SB, Hou HL, Jiang MN, et al. The lower threshold temperature and thermal constant of *Scopula subpunctaria* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2022, 59 (4): 794-804. [耿书宝, 侯贺丽, 江孟娜, 等. 茶银尺蠖的发育起点温度和有效积温 [J]. *应用昆虫学报*, 2022, 59 (4): 794-804]
- Graora D, Spasic R, Ilic S. Biology and harmfulness of *Planococcus vovae* (Nasonov) (Hemiptera: Pseudococcidae) in Belgrade area [J]. *Pesticidi I Fitomedicina*, 2014, 29 (1): 67-74.
- Han LZ, Zhai BP, Zhang XX. Life table of the laboratory population of *Spodoptera exigua* (Hübner) at different temperatures [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2003, 2: 184-189. [韩兰芝, 翟保平, 张孝羲. 不同温度下的甜菜夜蛾实验种群生命表研究 [J]. *昆虫学报*, 2003, 2: 184-189]
- He LN, Ge SS, Chen YC, et al. The developmental threshold temperature, effective accumulated temperature and prediction model of developmental duration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (5): 18-26. [何莉梅, 葛世帅, 陈玉超, 等. 草地贪夜蛾的发育起点温度、有效积温和发育历期预测模型 [J]. *植物保护*, 2019, 45 (5): 18-26]
- Hu XY, Chen M, Shi ZY, et al. Effects of temperature on the development and fecundity of *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae) [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2022, 59 (5): 1077-1084. [胡夏雨, 陈敏, 施哲逸, 等. 温度对稻绿蝽生长发育和繁殖的影响 [J]. *应用昆虫学报*, 2022, 59 (5): 1077-1084]
- Hu ZY, Shao WD, He YJ, et al. Effects of temperature on the growth, development and reproduction of *Dysmicoccus neobrevipes* Beardsley (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2017, 28 (2): 651-657. [胡钟予, 邵炜冬, 何雨健, 等. 温度对新菠萝灰粉蚧生长发育和繁殖的影响 [J]. *应用生态学报*, 2017, 28 (2): 651-657]
- Hua A, Xue FS, Li F, et al. The role of high temperature in diapause inhibition in larvae of *Pseudopidorus fasciata* (Lepidoptera: Zygaenidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2004, 3: 354-359. [华爱, 薛芳森, 李峰, 等. 高温对环带锦斑蛾幼虫滞育的抑制作用 [J]. *昆虫学报*, 2004, 3: 354-9]
- Jiang FZ, Zheng LY, Guo JX, et al. Effects of temperature stress on insect fertility and its physiological and biochemical mechanisms [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (3): 653-663. [蒋丰泽, 郑灵燕, 郭技星, 等. 温度对昆虫繁殖力的影响及其生理生化机制 [J]. *环境昆虫学报*, 2015, 37 (3): 653-663]
- Li SY, Wang JR, Lai LQ, et al. Effects of temperature on the growth, development and reproduction of *Phenacoccus solani* (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2018, 61 (10): 1170-1176. [李思怡, 王吉锐, 赖秋利, 等. 温度对石蒜绵粉蚧生长发育和繁殖的影响 [J]. *昆虫学报*, 2018, 61 (10): 1170-1176]
- Men XY, Yu Y, Zhang AS, et al. Life table of the laboratory population of *Lygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae) at different temperatures [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51 (11): 1216-1219. [门兴元, 于毅, 张安盛, 等. 不同温度下绿盲蝽实验种群生命表研究 [J]. *昆虫学报*, 2008, 51 (11): 1216-1219]
- Moghadam M. The mealybugs of southern of Iran (Hem.: Coccoidea: Pseudococcidae) [J]. *Journal of Entomological Society of Iran*, 2006, 26 (1): 1-11.
- Pang XF, Liang GW. Control of Pest Insect Population System [M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1995. [庞雄飞, 梁广文. 害虫种群系统的控制 [M]. 广州: 广东科技出版社, 1995.]
- Persad A, Khan A. Comparison of life table parameters for *Maconellicoccus hirsutus*, *Anagyrus kamali*, *Cryptolaemus montrouzieri* and *Scymnus coccivora* [J]. *BioControl*, 2002, 47 (2): 137-49.

- Ulgenturk S, Canakcioglu H, Kaygin A. Scale insects of the conifer trees in Turkey and their zoogeographical distribution [J]. *Journal of Pest Science*, 2004, 77 (2): 99-104.
- Ulusoy S, Kahya D, Bilgin MG, *et al.* The effectiveness of wax secretion on chemical control in some mealybug species [J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2022, 25 (1): 101954.
- Wang YY, Xu ZH, Zhang LL, *et al.* Developmental duration and life table of the laboratory population of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) fed on pumpkin at different temperatures [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2012, 55 (1): 77-83. [王莹莹, 徐志宏, 张莉丽, 等. 南瓜寄主上扶桑绵粉蚧不同温度下的发育历期和实验种群生命表 [J]. 昆虫学报, 2012, 55 (1): 77-83]
- Williams DJ, Moghaddam M. Mealybug species of the genus *Planococcus* Ferris in Iran (Homoptera: Coccoidea: Pseudococcidae) with a discussion of *Planococcus vovae* (Nasonov) [J]. *Journal of Entomological Society of Iran*, 1999, 18 (1/2): 32-43.
- Wu KJ, Gong PY, Ruan YM. Estimating developmental rates of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) pupae at constant and alternating temperatures by nonlinear models [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2009, 52 (6): 640-650. [吴坤君, 龚佩瑜, 阮永明. 用非线性模型估测恒温 and 变温下棉铃虫蛹的发育率 [J]. 昆虫学报, 2009, 52 (6): 640-650]
- Wu SA, Li YA, Xu H. *Planococcus vovae* (Nasonov, 1909) is a new invasive pest to China (Hemiptera: Coccoidea: Pseudococcidae) [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2023, 60 (3): 964-970. [武三安, 李宇昂, 徐晗. 一种入侵我国的新害虫——桧柏臀纹粉蚧 (半翅目: 粉蚧科) [J]. 应用昆虫学报, 2023, 60 (3): 964-970]
- Xiang YY, Yin PF, Wang MY. Developmental threshold temperature and effective accumulative temperature of *Heterolochoa jinyinhuaphaga* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (1): 152-155. [向玉勇, 殷培峰, 汪美英. 金银花尺蠖发育起点温度和有效积温的研究 [J]. 应用昆虫学报, 2011, 48 (1): 152-155]
- Xing K, Ma CS, Han JC. Evidence of long distance migration of diamondback moth (DBM) *Plutella xylostella*: A review [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24 (6): 1769-1776. [邢鲲, 马春森, 韩巨才. 小菜蛾远距离迁飞的证据研究综述 [J]. 应用生态学报, 2013, 24 (6): 1769-1776]
- Xu P, Xu ZH, Li SJ, *et al.* Life table of the experimental population of Comstock mealybug, *Pseudococcus comstocki* (Hemiptera: Pseudococcidae), at different temperatures [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2012, 55 (12): 1362-1367. [徐盼, 徐志宏, 李绍进, 等. 不同温度下康氏粉蚧实验种群生命表 [J]. 昆虫学报, 2012, 55 (12): 1362-1367]
- Yuan FF, Wei JH. First report and preliminary biology study of *Planococcus vovae* (Nasonov) [J]. *Plant Quarantine*, 2022, 36 (3): 50-53. [袁芳芳, 魏嘉辉. 桧柏臀纹粉蚧首次发现和生物学初步研 [J]. 植物检疫, 2022, 36 (3): 50-53]
- Zhang XX. *Insect Ecology and Forecast*. 3rd ed [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002. [张孝羲. 昆虫生态及预测预报第3版 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002]
- Zhao HX, Tan YA, Xiao LB, *et al.* Effects of different temperatures on the development and reproduction of *Apolygus lucorum* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2012, 49 (3): 585-590. [赵洪霞, 谭永安, 肖留斌, 等. 不同温度对绿盲蝽种群生长发育和繁殖的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2012, 49 (3): 585-590]
- Zhou W, Liu WX, Wan FH, *et al.* Research advances in the effects of host plant volatiles on *Cydia pomonella* behaviors and the application of the volatiles in pest control [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21 (9): 2434-2440. [周文, 刘万学, 万方浩, 等. 寄主植物信息化合物对苹果蠹蛾行为的影响及其在防控中的应用 [J]. 应用生态学报, 2010, 21 (9): 2434-2440]