

温度对瓜绢螟生长发育和繁殖的影响*

杨 润^{1**} 邱 晔¹ 朱玉溪¹ 龚伟荣³ 胡 婕³ 杜予州^{1,2***}

(1. 扬州大学植物保护学院暨应用昆虫研究所, 扬州 225009; 2. 教育部农业与农产品安全国际合作联合实验室, 扬州 225009; 3. 江苏省植物保护植物检疫站, 南京 210036)

摘 要 【目的】明确不同温度对瓜绢螟 *Dianphania india* (Saunders) 生长发育及繁殖的影响, 了解其发育起点温度和有效积温, 为瓜绢螟的测报及综合治理提供科学依据。【方法】在室内恒温条件下, 研究瓜绢螟在不同温度 (21、24、27、30 和 33 °C) 下的发育历期、发育起点温度、有效积温和生命表参数。【结果】研究表明, 温度对瓜绢螟不同发育阶段有显著影响; 其中, 卵历期 (4.52 d)、幼虫历期 (25.32 d)、蛹历期 (13.98 d)、雌虫寿命 (56.44 d)、雄虫寿命 (52.79 d) 及世代历期 (46.15 d) 均在 21 °C 条件下为最大值, 且随着温度升高有逐渐降低的趋势, 在 33 °C 均达到最小值; 卵、幼虫、蛹和成虫发育起点温度分别为 13.54、9.90、14.28 和 15.00 °C, 有效积温分别为 38.00、287.00、77.72 和 277.60 日·度; 33 °C 下的内禀增长率 r_m 和周限增长速率 λ 最高, 分别为 0.179 21 和 1.196 27, 但雌虫产卵量在此温度下开始下降; 在 30 °C 下净增值率 R_0 最大 (84.212), 而总生殖率 GRR 在 27 °C 条件下最大 (94.486); 21–33 °C 的平均世代历期 T 分别为 43.027、36.219、28.097、27.618 和 20.532 d。【结论】在 21–33 °C 之间, 瓜绢螟各虫态发育历期和平均世代历期随温度的升高而缩短, 27 °C 最适宜其繁殖, 33 °C 以上高温不利于瓜绢螟的繁殖。

关键词 瓜绢螟; 温度; 发育起点温度; 生命表参数

Effect of temperature on the development and fecundity of *Dianphania india* (Saunders)

YANG Run^{1**} QIU Ye¹ ZHU Yu-Xi¹ GONG Wei-Rong³ HU Jie³ DU Yu-Zhou^{1,2***}

(1. School of Horticulture and Plant Protection & Institute of Applied Entomology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;
2. Joint International Research Laboratory of Agriculture and Agri-Product Safety, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;
3. Jiangsu Plant Protection and Plant Quarantine Station, Nanjing 210036, China)

Abstract [Aim] To determine the effects of different temperatures on the growth, development and fecundity of *Dianphania india* (Saunders), and to determine the developmental threshold and effective accumulated temperatures. The findings of this study will provide a scientific basis for the measurement and comprehensive management of *D. india*. [Methods] Development threshold temperature, effective accumulated temperature, and life table parameters of *D. india* were analyzed in the laboratory under controlled temperatures of 21, 24, 27, 30, and 33 °C. [Results] There was a significant effect of temperature on the different developmental stages of *D. india*. Egg duration (4.52 d), larval duration (25.32 d), pupae duration (13.98 d), female lifespan (56.44 d), male lifespan (52.79 d), and generation duration (46.15 d) peaked at 21 °C. However, subsequent further increases in temperature resulted in an opposite trend, with all values gradually decreasing and reaching a minimum at 33 °C. The developmental threshold temperature for egg, larva, pupa, adult, and whole generation were 13.54, 9.90, 14.28, and 15.00 °C, respectively, and the effective accumulated temperatures were 38.00, 287.00, 77.72, and 277.60 degree-days, respectively. The intrinsic rate of increase (r_m) (0.179 21) and the finite rate of increase (λ) (1.196 27) peaked at 33 °C. However, female egg production began to decline at 33 °C. The net reproductive R_0 (84.212) rate was the highest at 30 °C, while the gross reproductive rate GRR (94.486) was the highest at 27 °C. The average generation time T at 21, 24, 27, 30, and 33 °C was 43.027, 36.219, 28.097, 27.618 and 20.532 days, respectively. [Conclusion] Between 21 °C and

*资助项目 Supported projects: 江苏现代农业 (西甜瓜) 产业技术体系绿色防控创新团队 (JATS [2022] 350)

**第一作者 First author, E-mail: 1394892171@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: yzdu@yzu.edu.cn

收稿日期 Received: 2023-11-08; 接受日期 Accepted: 2023-12-02

33 °C, the developmental duration of each state and the average generation time of *D. india* decreased with increasing temperature. The optimal temperature for reproduction was 27 °C, whereas temperatures above 33 °C were not conducive to *D. india* reproduction.

Key words *Dianphania india*; temperature; developmental threshold temperature; life table parameters

瓜绢螟 *Dianphania india* (Saunders), 又名瓜绢野螟、瓜螟、印度瓜野螟、棉黑边螟等, 隶属鳞翅目、螟蛾科, 其寄主为葫芦科植物, 主要为害甜瓜、西瓜、黄瓜、丝瓜、苦瓜和南瓜等瓜果蔬菜 (黄其林等, 1984; 王金福等, 1988; 周福才等, 2012; Nurkomar *et al.*, 2018; 石明旺和刘彦文, 2019)。在国外, 瓜绢螟主要分布于南美, 印度次大陆、俄罗斯远东地区、东南亚地区、太平洋岛屿、澳大利亚以及非洲的一些国家和地区, 如缅甸、斯里兰卡、斐济、毛里求斯、日本等 (Ke *et al.*, 1988; Peter and David, 1990, 1991; 刘济宁等, 2002; 文范纯, 2007)。

在国内, 瓜绢螟主要分布于华东、华南和西南地区, 包括山东、江苏、浙江、河南、福建、安徽、上海及海南等多个省 (直辖市) (陈华等, 2006; 何书海, 2007; 张京聪等, 2008; 伏红伟等, 2015; 黄则栋等, 2017)。据报道, 瓜绢螟在我国 1 年能发生 2-6 代不等, 通常随着温度升高, 由北至南瓜绢螟发生代数逐渐增加, 发生时间也逐渐延长, 不同地区年发生代数和发生时间均存在差异 (尹涵, 2019)。近年来, 瓜绢螟已由葫芦科的次要害虫上升为主要害虫, 发生和危害逐年加重, 尤其从 3 龄后开始暴食, 甚至蛀入果实和茎蔓为害, 严重影响瓜果的产量和质量 (刘济宁等, 2002; 司升云, 2013)。一些地区, 由于农民未能及时开展瓜绢螟防治, 每年导致瓜类作物生长后期受到该虫的严重危害, 平均损失可达 30% 左右, 有些防治不力的田块损失更是高达 60% 以上, 严重制约着大棚瓜类作物产量和品质的提高 (高宇冉等, 2009; 任晓丽和吴小兵, 2020)。

目前, 关于瓜绢螟的报道主要是形态学鉴定、种群动态和防治方法。如朴美花等 (2008) 记述且图绘了该虫幼虫的形态特征; 李卫东等 (2011) 比较了瓜绢螟和黄杨绢野螟 *Diaphania perspectalis* 的外部形态特征; 陈建忠 (2009) 在江苏省大丰对瓜绢螟的发育历期与发生规律进

行研究记录; 陈方景和陈斌 (2010) 在浙江省观察记录了瓜绢螟的种群发生时期; 杨胜海 (2005) 和 Kim 等 (2007) 研究表明, 抗生素类制剂、植物源农药印楝素等对瓜绢螟具有较好的杀虫效果; 朱琳等 (2013) 探索了高压静电灭杀瓜绢螟的方法; 陈育民等 (2020) 试验发现, 60 g/L 乙基多杀菌素悬浮剂 1 000 倍液在田间施用对瓜绢螟的防治效果较好。而关于温度对瓜绢螟各个龄期生长发育和种群动态的影响少有报道。

为进一步了解瓜绢螟发生发展规律与环境温度的关系, 本文通过观察记录 5 种不同恒温下各个虫态的发育历期, 系统地研究了瓜绢螟不同发育阶段的发育起点温度和有效积温, 分析了瓜绢螟室内种群发生动态, 以期预测该害虫的种群发生以及有效防治该虫提供基础资料及理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验仪器

用恒温光照培养箱 (RXZ-288A 型, 宁波市科技园区新江南仪器有限公司宁波江南仪器厂生产), 温 (湿) 度记录仪: WS8002, 宁波伟仕智能家居有限公司。设置 5 个温度 (21、24、27、30 和 33 °C), 误差 ± 0.5 °C, 光周期 L : D = 14 : 10, RH75% $\pm$ 5%。

1.2 试虫饲养和观察方法

供试虫源采自江苏省扬州市蒋王蔬菜基地的甜瓜田中。将田间采回的叶片及幼虫带回实验室进行饲养, 放入底部直径为 17.5 cm、高为 20 cm 的圆柱形玻璃缸内, 缸内放有用湿润的花泥作为固定南瓜叶片的饲喂装置, 直接将虫置于叶片上, 以南瓜叶片作为食料供其取食发育。玻璃缸顶部用 80 目的正方形网纱封口, 用皮筋将网纱箍在玻璃缸顶部, 以防止试虫逃逸; 待老熟

幼虫化蛹后, 每天将新结茧的蛹单独取出放入塑料饭盒 (19.5 cm×15.8 cm×9.5 cm) 内, 等其羽化为成虫后, 饲以 10% 的蜂蜜水, 让其产卵。

1.2.1 卵历期的测定 成虫产卵后将有卵的硫酸纸或叶片剪下放入直径为 5 cm、高为 3 cm 的培养皿中, 皿内放 1 片与培养皿直径相同且厚度为 1 cm 的湿润海绵, 其上平铺 1 张面积相同的圆形滤纸, 滤纸上覆盖 1 片平展的面积相同的圆形南瓜叶片 (叶背朝上), 培养皿中加入适量水, 用带孔的保鲜膜封住培养皿, 构成一个隔离饲养台, 每个培养皿进行标号记录。每皿放入一粒刚产下的卵, 置于不同温度条件下的培养箱中, 每日进行观察记录其发育进度及孵化情况。

1.2.2 幼虫历期的测定 待卵孵化后, 观察幼虫的生长情况, 记录幼虫的发育进度和死亡情况, 并及时移除死亡幼虫, 直至幼虫结茧化蛹为止; 幼虫处于低龄期时每 2 d 更换 1 次叶片, 以保持叶片新鲜和保证幼虫正常取食, 高龄时则每天更换叶片, 并移去湿润海绵以保证试虫有一定的生存空间。每个温度处理观察 40 头以上, 每天 8:30 和 20:30 定时观察 2 次。

1.2.3 蛹历期的测定 待老熟幼虫化蛹时, 将蛹取出, 并在双目解剖显微镜 (型号: SZM-45B2, 宁波舜宇仪器有限公司) 下鉴定雌雄性别, 将每一对历期相近的雌雄蛹放入一个玻璃罐 (罐底直径 7.5 cm、高 10 cm、罐口直径 6.5 cm) 内, 进行观察记录。

1.2.4 成虫历期的测定 装有一对雌雄成虫的玻璃罐, 内置硫酸纸贴壁环绕, 供其产卵, 玻璃罐底部垫一张餐巾纸, 且放入一个浸有 10% 蜂蜜水的棉球, 使其能正常补充营养。每天定时观察产卵情况, 每日更换新的硫酸纸记录以产卵量, 记载成虫第 1 次产卵时间, 计算产卵前期。

1.3 发育起点温度和有效积温的计算

在一定温度条件下昆虫的发育速率 (V) 与温度 (T) 呈线性关系。因此, 用直线回归法借助 Microsoft Excel 2007 软件 (牟吉元和徐洪富, 1997), 应用线性模型和最小二乘法计算瓜绢螟各发育阶段有效积温 (K) 与发育起点温度 (C) 及其标准误差 (张孝曦, 2002)。公式如下:

$$T=C+KV=1/N,$$

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

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

$$S_C=\frac{\sum(T-T')^2}{n-2}\left(\frac{1}{n}+\frac{\bar{V}^2}{\sum(V-\bar{V})^2}\right),$$

$$S_K=\sqrt{\frac{\sum(T-T')^2}{(n-2)\sum(V-\bar{V})^2}}。$$

式中, T 为环境温度 (处理温度), T' 是理论温度; C 为发育起点温度; K 为有效积温; V 为发育速率 (1/发育历期); n 为试验温度组数, 本试验中 $n=5$; S_K 、 S_C 分别是 K 、 C 的标准误差。实验所得数据用 Excel 2007 和 SPSS19.0 for Windows 统计软件进行统计和分析。

1.4 不同温度下的实验种群生命表参数

净增值率 (R_0): 表示种群中各个雌虫在经历了一个世代后所产生的后代数; 平均世代周期 (T): 表示种群经历 1 个世代的平均生长周期 (平均寿命); 内禀增值率 (r_m): 表示在给定的生物和非生物环境条件下, 具有稳定年龄组配的种群的最大瞬时增长速率, 这一指标反映了一个种群在特定的环境条件下的数量增长能力; 周限增长率 (λ): 表示每头雌虫在实验条件下, 经过单位时间后的增翻倍数; 种群倍增时间 (t): 表示种群倍增所需时间 (刘向东, 2016)。计算公式如下:

$$R_0=\sum L_x M_x,$$

$$T=\sum x L_x M_x / \sum L_x M_x,$$

$$r_m=\ln R_0 / T,$$

$$\lambda=e^{r_m},$$

$$t=\ln 2 / r_m。$$

2 结果与分析

2.1 不同温度对瓜绢螟各虫态及不同龄期发育历期的影响

在不同温度条件下瓜绢螟不同虫态的发育历期见表 1。结果表明, 瓜绢螟各虫态的历期受

温度的影响显著(卵期: $F_{4,154}=114.706$, $P<0.001$, 幼虫期: $F_{4,154}=146.429$, $P<0.001$, 蛹期: $F_{4,154}=149.841$, $P<0.001$, 雌成虫寿命: $F_{4,78}=252.693$, $P<0.001$, 雄成虫寿命: $F_{4,71}=100.250$, $P<0.001$, 世代历期: $F_{4,154}=298.553$, $P<0.001$)。卵期、幼虫期、蛹期、雌雄成虫寿命和全世代的发育历期在 21 °C 和 33 °C 温度下差异显著 ($P<0.05$), 但 27 °C 和 30 °C 处理下的幼虫期、蛹期和雌雄成虫寿命的发育历期差异不显著 ($P>0.05$); 24 °C 和 27 °C 温度处理下卵的发育历期无显著差异 ($P>0.05$)。在 5 个不同温度条件处理下, 只有全世代的发育历期存在显著差异 ($P<0.05$)。在 21-33 °C 范围内, 随着温度升高, 各个发育历期呈现逐渐缩短的趋势, 至 33 °C 时, 各个发育历期均达到最小值; 如卵期从 21 °C 的 4.52 d 缩短到 33 °C 的 1.16 d (缩短了 3.36 d); 世代历期从 21 °C 的 46.15 d 缩短到 33 °C 的 17.89 d (缩短了 28.26 d)。

不同温度下不同龄期的瓜绢螟幼虫的发育历期。由表 2 可知, 温度对不同龄期的幼虫的发育有显著影响 (1 龄: $F_{4,154}=42.464$, $P<0.001$, 2 龄: $F_{4,154}=38.273$, $P<0.001$, 3 龄: $F_{4,154}=17.731$, $P<0.001$, 4 龄: $F_{4,154}=27.378$, $P<0.001$, 5 龄: $F_{4,154}=18.735$, $P<0.001$, 幼虫期: $F_{4,154}=146.429$, $P<0.001$)。21-33 °C 范围内, 幼虫各龄期随温度升高而缩短, 但在 24 °C 下, 1 龄和 3 龄幼虫历期比 21 °C 幼虫历期长; 27 °C 下 2 龄幼虫比 24 °C 条件下的历期长, 并存在显著差异 ($P<0.05$); 3 龄幼虫在 21-30 °C 条件下发育历期无显著差异 ($P>0.05$), 只有在 33 °C 下发育历期存在显著差异 ($P<0.05$)。此外, 1、2、3 和 5 龄期最短, 4 龄期最长。

2.2 发育起点温度和有效积温

瓜绢螟各个虫态的发育起点温度和有效积温见表 3。结果表明, 卵到成虫的发育起点温度

表 1 不同温度条件下瓜绢螟的发育历期

Table 1 Development duration of *Dianphania india* at different temperatures

参数 Parameters	发育历期 (d) Developmental duration (d)				
	21 °C	24 °C	27 °C	30 °C	33 °C
卵期 Egg duration	4.52±0.77 a	3.41±0.69 b	3.58±0.17 b	2.85±0.08 c	1.16±0.05 d
幼虫期 Larval duration	25.32±0.73 a	20.03±0.27 b	16.50±0.31 c	15.47±0.37 c	12.10±0.20 d
蛹期 Pupa duration	13.98±0.69 a	8.31±0.33 b	5.17±0.17 c	4.84±0.12 c	3.00±0.15 d
雌成虫寿命 Longevity of female adult	56.44±0.98 a	41.91±0.70 b	35.06±0.83 c	33.28±0.62 c	24.47±0.50 d
雄成虫寿命 Longevity of male adult	52.79±1.99 a	41.73±1.00 b	34.03±0.72 c	32.34±0.77 c	23.23±0.58 d
世代 Generation time	46.15±1.26 a	33.14±0.28 b	26.56±0.43 c	24.59±0.35 d	17.89±0.19 e

表中数据为平均数 ± 标准误, 数据后字母相同者, 表示经 Duncan's 多重比较法检验差异不显著 ($P>0.05$)。下表同。

Data are mean ± SE. The means in a row followed by the same letters are not significantly different at $P>0.05$ level by the Duncan's multiple range test. The same below.

表 2 不同温度对瓜绢螟幼虫各个龄期的发育历期的影响

Table 2 Development duration of different instars of *Dianphania india* larvae under different temperature conditions

龄期 Instar	发育历期 (d) Developmental duration (d)				
	21 °C	24 °C	27 °C	30 °C	33 °C
1 龄 1st instar	2.60±0.11 b	3.28±0.12 a	2.45±0.08 b	1.87±0.09 c	1.61±0.06 c
2 龄 2nd instar	2.32±0.11 a	1.17±0.12 c	2.19±0.07 a	1.90±0.08 b	0.60±0.04 d
3 龄 3rd instar	2.38±0.13 a	2.52±0.12 a	2.31±0.16 a	2.26±0.07 a	1.21±0.08 b
4 龄 4th instar	14.50±0.66 a	10.38±0.23 b	7.55±0.17 c	7.49±0.23 c	7.08±0.25 c
5 龄 5th instar	3.52±0.17 a	2.69±0.12 b	2.00±0.10 c	1.96±0.10 c	1.60±0.07 d

表 3 瓜绢螟各虫期发育起点温度和有效积温

Table 3 The threshold temperature and effective temperature of *Dianphania india*

发育阶段 Developmental stage	发育起点温度 (°C) Threshold temperatures (°C)	有效积温 (日·度) Effective temperature (degree·days)	回归方程 The regression equation	相关系数 R^2 Related coefficient	P
卵期 Egg duration	13.54±2.624	38.00±1.512	$T=13.54+38.00V$	0.979 8	<0.01
幼虫期 Larval duration	9.90±2.815	287.00±21.097	$T=9.90+287.00V$	0.986 0	<0.01
蛹期 Pupal duration	14.28±2.761	77.72±4.322	$T=14.28+77.72V$	0.941 3	<0.01
成虫期 Adult duration	15.00±11.596	277.60±45.625	$T=15.00+277.60V$	0.996 9	<0.01

分别为 13.54、9.90、14.28 和 15.00 °C, 有效积温分别为 38.00、287.00、77.72 和 277.60 日·度; 可见, 各虫态中幼虫的发育起点温度最低, 成虫的发育起点温度最高。

2.3 不同温度下瓜绢螟种群繁殖力和生命表参数

2.3.1 温度对瓜绢螟产卵前期和产卵量的影响
温度对瓜绢螟成虫繁殖力的影响显著, 21-33 °C 下瓜绢螟产卵前期(图 1)差异显著 ($F_{4,78}=8.014$, $P<0.001$)。其中, 21 °C 下产卵前期最长为 2.33 d, 且与其他温度存在显著差异 ($P<0.01$); 27 °C 下产卵前期最短为 1.31 d, 低于或高于 27 °C 均会使产卵前期延长。

温度对瓜绢螟的单雌产卵量(图 2)影响显著 ($F_{4,78}=6.120$, $P<0.001$)。21-30 °C 下, 单雌

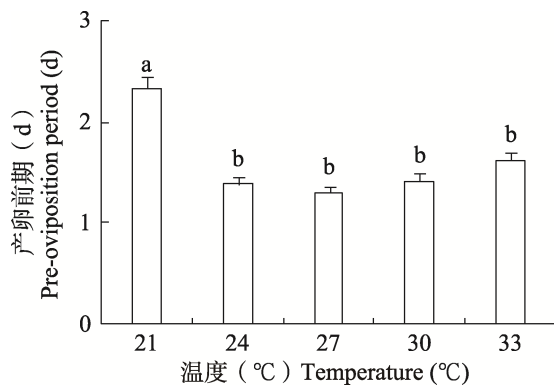


图 1 不同温度对瓜绢螟产卵前期的影响

Fig. 1 Preoviposition duration of *Dianphania india* under different temperatures

柱上标有不同小写字母表示同一参数经 Duncan's 多重比较法检验差异显著 ($P<0.05$)。下图同。

Different lowercase letters above bars are significantly different by the Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

The same below.

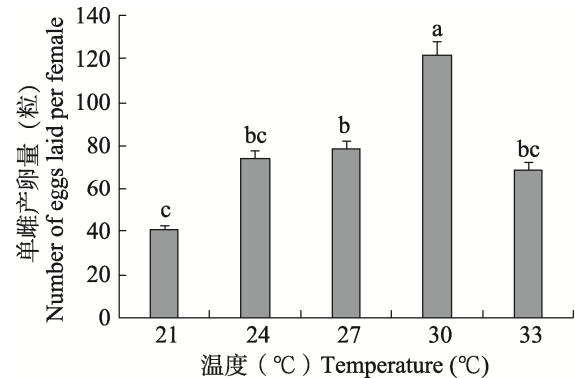


图 2 不同温度对瓜绢螟单雌产卵量的影响

Fig. 2 Number of eggs laid per female of *Dianphania india* under different temperatures

产卵量随温度升高而显著升高, 30 °C 下产卵量最高为 122.11 粒, 21 °C 下产卵量最低为 40.5 粒, 但 33 °C 产卵量下降为 68.81 粒。可见, 高温会抑制瓜绢螟的产卵量。

2.3.2 瓜绢螟种群生命表参数 不同温度下瓜绢螟的种群生命表参数如表 4 所示, 其内禀增长率 r_m 在各个温度条件下均大于 0, 周限增长率 λ 均大于 1, 这说明在 21-33 °C 范围内瓜绢螟种群均呈几何级数增长, 且种群增长趋势良好。其中, 33 °C 下周限增长率 λ 和内禀增长率 r_m 最大, 分别为 $1.196\ 27\ d^{-1}$ 和 $0.179\ 21\ d^{-1}$, 21 °C 时最低, 分别为 $1.088\ 60\ d^{-1}$ 和 $0.084\ 89\ d^{-1}$; 33 °C 下平均世代周期 T 最低为 20.532 d, 21 °C 时最高为 43.027 d; 净生殖率 R_0 在 30 °C 时值最大, 为 84.212 头, 且在 21-30 °C 范围内呈增长趋势, 但到 33 °C 又下降到 39.625 头。在各个温度范围内的繁殖力大小变化趋势和净生殖率 R_0 的大小变化趋势相一致。总生殖率 GRR 是各个特定年龄阶段生殖力 m_x 的加和, 繁殖期较长的个体 m_x 值较大。总生殖率 GRR 在 21-33 °C 范围内的值

表 4 不同温度下瓜绢螟主要种群生命表参数

Table 4 The main population parameters of *Dianphania india* at different temperatures

种群参数 Population parameters	不同温度 (°C) Different temperature (°C)				
	21	24	27	30	33
内禀增长率 r_m (d^{-1}) Intrinsic rate of increase	0.084 89	0.103 10	0.145 19	0.160 53	0.179 21
周限增长率 λ (d^{-1}) Finite rate of increase	1.088 60	1.108 60	1.156 26	1.174 13	1.196 27
净生殖率 R_0 (头) Net reproduction rate (ind.)	38.572	41.851	59.108	84.212	39.625
平均世代周期 T (d) Mean generation time	43.027	36.219	28.097	27.618	20.532
总生殖率 GRR Gross reproductive rate	59.999	72.394	98.486	94.987	52.579

依次是 59.999、72.394、98.486、94.987 和 52.579；其中，33 °C 时最低，27 °C 时最高。

3 讨论

温度是影响昆虫生长发育和繁殖的重要环境因子，在适宜的生长发育温度范围内，温度越高发育速率就越快。王森和王小奇（2015）研究发现，草小卷蛾 *Celypha flavipalpana* 各虫态在 20-28 °C 下发育速率随温度的升高而降低，各虫态的发育速率与温度之间呈线性关系；何莉梅等（2019）研究发现，草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 的各个虫态发育速率随着温度的升高而加快。本研究发现，在所设定的 5 个温度（21、24、27、30 和 33 °C）条件下，瓜绢螟各个虫态均能完成一个世代且正常发育，且随温度升高发育历期缩短。但在 1 龄和 3 龄幼虫中出现 24 °C 发育历期比 21 °C 长，2 龄幼虫中 27 °C 比 24 °C 发育历期较长的现象，王凯（2022）调查发现扬州地区瓜绢螟幼虫的发生高峰期为 10 初至 11 月初，且夏季最高温度值越大瓜绢螟发生量越小，因此我们推测瓜绢螟幼虫的最适生长温度可能偏低，温度升高的条件下，瓜绢螟幼虫的发育历期可能会增长。

发育起点温度和有效积温是研究昆虫生长发育中的最基本参数及生物学特征，通过发育起点温度和有效积温可以判断昆虫适生的温度范围（石玉等，2013）。如高鹏等（2020）用江苏各地级市甘薯小象甲 *Cylas formicarius* 的有效积温来预测其潜在发生世代数。本研究结果中瓜绢螟卵期和蛹期的发育起点温度为 13.54 和

14.28 °C，与 Kinue 和 Norio（2002）研究的日本瓜绢螟种群的结果相近，分别为 13.7 和 14.9 °C；而本研究中瓜绢螟成虫的发育起点温度（15.00 °C）与 Sareh 等（2014）研究的伊朗瓜绢螟成虫的发育起点温度（15.6 °C）相近。这些研究结果表明，不同地理种群瓜绢螟的发育起点温度变化不大。此外，本研究结果还表明，在 30 °C 时瓜绢螟雌成虫产卵量最大，达 122.11 粒，但 33 °C 时产卵量下降，说明较高的温度会抑制瓜绢螟的繁殖，这与杜予州等（2006）研究的蔗扁蛾 *Opogona sacchari* 和鞠瑞亭等（2007）研究的褐边绿刺蛾 *Parasa consocia* 的结果基本一致，也与该虫常在春秋两季暴发危害的季节温度相一致。

本研究在室内 5 个恒温条件下研究了温度对瓜绢螟生长发育和繁殖的影响，测定了其不同发育阶段的发育起点温度和有效积温，对瓜绢螟的预测预报具有重要的参考价值。但自然环境中的温度是时刻发生改变的。因此，还有必要进一步研究自然变温条件下瓜绢螟各个发育阶段的发育历期、发育起点温度和有效积温，对其进行长期的预测预报，才能更好地掌握瓜绢螟的田间发生为害规律。本实验仅对温度这一因子进行讨论，但昆虫的生长发育和繁殖不仅与环境温度有关，还受空气湿度、光照、食料营养等因素的影响（宗世祥等，2004），这些综合因子对瓜绢螟生长发育的影响还有待进一步的研究。

参考文献 (References)

Chen FJ, Chen B, 2010. Occurrence regularity and integrated control

- techniques of melon silk borer *Diaphania indica*(Saunders) in Jingning County, Zhejiang Province, *China Cucurbits and Vegetables*, 23(3): 44–45. [陈方景, 陈斌, 2010. 浙江景宁县瓜绢螟的发生规律和综合防治技术. *中国瓜菜*, 23(3): 44–45.]
- Chen H, Wang YS, Wang FL, Jin ZS, 2006. Occurrence regularity and control technique of *Dianphania india* Saunders in northern Jiangsu coastal area, *Shanghai Vegetables*, 2006(2): 54–55. [陈华, 王永山, 王凤良, 金中时, 2006. 苏北沿海地区瓜螟发生规律及防治技术. *上海蔬菜*, 2006(2): 54–55.]
- Chen JZ, 2009. Investigation on developmental duration and occurrence regularity of *Dianphania india* Saunders. *Hunan Agricultural Sciences*, 26(7): 46. [陈建忠, 2009. 瓜绢螟的发育历期与发生规律调查. *农技服务*, 26(7): 46.]
- Chen YM, Hao DC, Wu YY, Feng WM, Zhang JG, 2020. Field efficacy trials of different insecticides on the control of *Dianphania india* Saunders. *Agricultural Technical Services*, 2020(5): 58–60, 65. [陈育民, 郝东川, 吴颖仪, 冯伟明, 张均功, 2020. 不同杀虫剂防治瓜绢螟田间药效试验. *湖南农业科学*, 2020(5): 58–60, 65.]
- Du YZ, Ju RT, Zheng FS, Gong WR, Diao CY, 2006. Effects of the environmental factors on the development and survival of banana moth, *Opogona sacchari* (Bojer) (Lepidoptera: Hieroxestidae). *Acta Phytophylacica Sinica*, 33(1): 11–16. [杜予州, 鞠瑞亭, 郑福山, 龚伟荣, 刁春友, 2006. 环境因子对蔗扁蛾生长发育及存活的影响. *植物保护学报*, 33(1): 11–16.]
- Fu HW, Liu GW, Yang XG, Sheng J, 2015. Occurrence and comprehensive control of *Dianphania india* Saunders in facility vegetables in Tinghu district, Yancheng City, *Jiangsu Agricultural Sciences*, 43(4): 168–169. [伏红伟, 刘宏伟, 杨霞光, 沈静, 2015. 盐城市亭湖区设施蔬菜瓜绢螟的发生与综合防治. *江苏农业科学*, 43(4): 168–169.]
- Gao P, Hu J, Gong WR, Du YZ, 2020. Projected potential range and risk analysis of the sweet potato weevil, *Cylas formicarius* (Fabricius) in Jiangsu Province. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(4): 963–972. [高鹏, 胡婕, 龚伟荣, 杜予州, 2020. 甘薯小象甲在江苏的潜在入侵风险评估. *应用昆虫学报*, 57(4): 963–972.]
- Gao YR, Zhang XL, Ben LJ, 2009. Occurrence and control of melon silk borer (*Dianphania india*) Saunders, *Agriculture of Henan*, 2009(21): 18–19. [高宇冉, 张新玲, 本丽娟, 2009. 瓜绢螟的发生与防治. *河南农业*, 2009(21): 18–19.]
- He LM, Ge SS, Chen YC, Wu QL, Jiang YY, Wu KM, 2019. The developmental threshold temperature, effective accumulated temperature and prediction model of developmental duration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 45(5): 18–26. [何莉梅, 葛世帅, 陈玉超, 吴秋琳, 姜玉英, 吴孔明, 2019. 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. *植物保护*, 45(5): 18–26.]
- He SH, 2007. The isoaltion and purification of neem active compounds and the biological activity of neem extracts to *Dianphania india* motschulsky. Master dissertation. Hainan: Hainan University. [何书海, 2007. 印楝素分离、纯化及对瓜绢螟的生物学活性测定. 硕士学位论文. 海南: 华南热带农业大学.]
- Huang QL, Tian LX, Yang LF, 1984. Identification of Agricultural Insects. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers. 187. [黄其林, 田立新, 杨莲芳, 1984. 农业昆虫鉴定. 上海: 上海科技出版社. 187.]
- Huang ZD, Li HL, Fu MM, Peng JB, 2017. Prevention and control for main pests and diseases of balsam pear in Fujian. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2017(6): 46–47. [黄则栋, 李洪龙, 傅敏敏, 彭建标, 2017. 福建省苦瓜主要病虫害的发生及防治. *福建农业科技*, 2017(6): 46–47.]
- Nurkomar I, Pudjianto, Manuwoto S, Kainoh Y, Buchori D, 2018. Multitrophic interaction between Cucumber moth *Diaphania indica* Saunders, (Lepidoptera: Crambidae) and its natural enemies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 197(1): 012026.
- Ju RT, Wang F, Li YZ, Du YZ, Chi XZ, 2007. Effects of temperature on the development and survival of experimental population of *Parasa consocia*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 34(5): 466–470. [鞠瑞亭, 王凤, 李跃忠, 杜予州, 池杏珍, 2007. 温度对褐边绿刺蛾实验种群生长发育及存活的影响. *植物保护学报*, 34(5): 466–470.]
- Ke LD, Li ZQ, Xu LX, Zheng QF, 1988. Host plant preference and seasonal fluctuation of *Diaphania indica* saunders. *Acta Entomologica Sinica*, 31(3): 345–351.
- Kim MK, Kim HY, Seo DK, Yoon C, Kim GH, 2007. Insecticidal properties of bistrifluron, benzoylphenylurea insecticide, against cotton caterpillar, *Palpita indica*, (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 10(3): 269–274.
- Kinue K, Norio A, 2002. Effect of temperature on development and reproductive characteristics of *Diaphania indica* (Saunders) (Lepidoptera: Pyralidae). *Applied Entomology & Zoology*, 37(1): 141–145.
- Li WD, Cao HH, Yang YJ, Wu J, 2011. Screening of *Dianphania india* Saunders and *Diaphania perspectalis* Walker. *Shanghai Vegetables*, 2011(1): 63–64. [李卫东, 曹欢欢, 杨银娟, 吴珏, 2011. 瓜绢螟和黄杨绢野螟的甄别. *上海蔬菜*, 2011(1): 63–64.]
- Liu JN, Liu K, Peng ZQ, 2002. Research progress of *Dianphania india* Saunders. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 22(3): 70–73. [刘济宁, 刘奎, 彭正强, 2002. 瓜绢螟研究进展. *热带农业科学*, 22(3): 70–73.]
- Liu XD, 2016. Insect Ecology and Prediction. Beijing: China Agriculture Press. 101–103. [刘向东, 2016. 昆虫生态及预测预报. 北京: 中国农业出版社. 101–103.]

- Mou JY, Xu HF, 1997. Insect Ecology and Agricultural Pest Forecasting. Beijing: China Agriculture Science and Technology Press. 11–12. [牟吉元, 徐洪富, 1997. 昆虫生态与农业害虫预测预报. 北京: 中国农业科技出版社. 11–12.]
- Peter C, David BV, 1990. Biology of *Apanteles machaeralis* Wilkinson (Hymenoptera: Braconidae) a parasite of *Diaphania indica* (Saunders) (Lepidoptera: Pyralidae). *Proceedings Animal Sciences*, 99(5): 353–362.
- Peter C, David BV, 1991. Population dynamics of the pumpkin caterpillar, *Diaphania indica* (Saunders) (Lepidoptera: Pyralidae). *Tropical Pest Management*, 37(1): 75–79.
- Piao MH, Liu SZ, Li CY, 2008. Descriptions of three species larvae of genus *Diaphania* (Lepidoptera, Pyralidae, Pyraustinae) from China. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 25(2): 235–239. [朴美花, 刘水志, 李灿镛, 2008. 中国绢野螟属 3 种幼虫记述 (鳞翅目螟蛾科野螟亚科). 浙江林学报, 25(2): 235–239.]
- Ren XL, Wu XB, 2020. Effect of indenocarb and other insecticides on the control of cucumber and melon silk borer larvae (*Dianphania india*) Saunders. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2020(4): 127, 129. [任晓丽, 吴小兵, 2020. 茚虫威等药剂防治黄瓜瓜绢螟幼虫药效试验. 上海农业科技, 2020(4): 127, 129.]
- Sareh H, Hamzeh I, Pyman N, Mohamad AS, 2014. Biology, temperature thresholds, and degree-day requirements for development of the cucumber moth, *Diaphania indica*, under laboratory conditions. *Journal of Insect Science*, 14(31): 61.
- Shi MW, Liu YW, 2019. Modern Pest Control Technology for Melon Vegetables. Beijing: Chemical Industry Press. 338–339. [石明旺, 刘彦文, 2019. 瓜类蔬菜病虫害现代防治技术大全. 北京: 化学工业出版社. 338–339.]
- Shi Y, Sun W, Dong H, Cong B, Bai HY, Lei CP, Hu FZ, 2013. Threshold temperature and effective accumulated temperature for *Oedaleus infernalis* Saussure. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 44(2): 223–226. [石玉, 孙嵬, 董辉, 丛斌, 白鸿岩, 类成平, 胡志凤, 2013. 黄胫小车蝗发育起点温度和有效积温的研究. 沈阳农业大学学报, 44(2): 223–226.]
- Si SY, Liu XM, Wang Y, Zhou LL, Li M, 2013. Technical formula for identification and control of *Dianphania india* Saunders. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2013(19): 48–49. [司升云, 刘小明, 望勇, 周利琳, 李芒, 2013. 瓜绢螟识别与防控技术口诀. 长江蔬菜, 2013(19): 48–49.]
- Wang JF, Xu Q, Li ZF, 1988. Studies on the biological and ecological characteristics of *Dianphania india* Saunders. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 14(2): 221–226. [王金福, 徐强, 李真峰, 1988. 瓜绢螟生物学和生态学特性的研究. 浙江农业大学学报, 14(2): 221–226.]
- Wang M, Wang XQ, 2015. Influences of temperature on the development and life table parameters of a laboratory population of *Celypha flavipalpana* Herrich-Schaffer (Lepidoptera: Tortricidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(3): 671–678. [王淼, 王小奇, 2015. 温度对草小卷蛾发育的影响及其种群生命表. 应用昆虫学报, 52(3): 671–678.]
- Wen FC, 2007. Study on life habit and control experiment of *Dianphania india* Saunders. *Jilin Vegetable*, 2007(2): 48–49. [文范纯, 2007. 瓜绢螟生活习性研究与防治实验. 吉林蔬菜, 2007(2): 48–49.]
- Yang SH, 2005. Enhancing efficacy of natural enemies of the melon worm through strategic application of selective insecticides. *Chinese Journal of Biological Control*, 21(4): 214–217. [杨胜海, 2005. 合理施用选择性杀虫剂促进瓜绢螟天敌的控害作用. 中国生物防治, 21(4): 214–217.]
- Yin H, 2019. Research on key technologies of prevention and control of *Diaphania indica* in the Yangtze River Basin's Facility Vegetables Farm. Master dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [尹涵, 2019. 长江流域设施蔬菜园区瓜绢螟防控关键技术研究. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]
- Zhang JC, Li RG, Zhang JM, Zhang CL, Gong XH, 2008. Integrated control technology of *Dianphania india* Saunders. *Plant Doctor*, 21(3): 19–20. [张京聪, 李瑞国, 张进美, 张翠玲, 宫锡鸿, 2008. 瓜绢螟综合防治技术. 植物医生, 21(3): 19–20.]
- Zhang XX, 2002. Insect Ecology and Prediction. Beijing: China Agriculture Press. 212–215. [张孝曦, 2002. 昆虫生态及预测预报. 北京: 中国农业出版社. 212–215.]
- Zhou FC, Gu AX, Zhou GS, Chen XH, Qi XH, Hong NN, Ren J, Shao JZ, 2012. Effect of castor leaf alcohol extract on *Dianphania india*. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 20(5): 619–624. [周福才, 顾爱祥, 周桂生, 陈学好, 齐晓花, 洪楠楠, 任佳, 邵久之, 2012. 蓖麻叶片粗提物对黄瓜瓜绢螟的作用. 中国生态农业学报, 20(5): 619–624.]
- Zhu L, Xue SP, Li QZ, Zhao SL, 2013. Parameter optimization on killing *Dianphania india* by using high-voltage electrostatic discharge. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 22(38): 118–121. [朱琳, 薛少平, 李群卓, 赵舒雷, 2013. 利用高压静电杀灭瓜绢螟的优化试验. 西北农业学报, 22(38): 118–121.]
- Zong SX, Wang T, Tuo YQ, 2004. Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Holcocerus hippophaecolus*. *The Global Seabuckthorn Research and Development*, 2(2): 31–34. [宗世祥, 王涛, 驼有庆, 2004. 沙棘木蠹蛾蛹的发育起点温度和有效积温研究. 国际沙棘研究与开发, 2(2): 31–34.]
- Wang K, 2023. Population dynamics and comprehensive prevention and control techniques of *Diaphania indica* Saunders in greenhouse facilities in Yangzhou area. Master dissertation. Yangzhou: Yangzhou University. [王凯, 2023. 扬州地区设施黄瓜瓜绢螟种群动态及其综合防控技术. 硕士论文. 扬州: 扬州大学.]