

桃小食心虫的发育起点温度和有效积温^{*}

李定旭^{1**} 康熙奎¹ 王佳阳¹ 王红伟¹ 董钧锋¹ 梁胜利²

(1. 河南科技大学 洛阳 471003; 2. 河南省宜阳县气象局 宜阳 471600)

Threshold temperature and effective accumulated temperature of peach fruit borer, *Carpocapsa sasakii*.

LI Ding-Xu^{1**}, KANG Zhao-Kui¹, WANG Jia-Yang¹, WANG Hong-Wei¹, DONG Jun-Feng¹, LIANG Sheng-Li² (1. Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China; 2. Meteorological Bureau of Yiyang County, Henan Province, Yiyang 471600, China)

Abstract The peach fruit borer, *Carpocapsa sasakii* Matsumura, is one of the most damaging pests in apple orchards in Northeast Asia. In this paper, the developmental period, developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of different life stages of *C. sasakii* were determined in the laboratory under the conditions of 17、20、23、26、29℃, 80% ± 7% RH and a photoperiod of L:D = 15:9 (Light: Dark). The results indicated that the developmental periods of the life stages of this pest decreased in length with increasing temperature. The developmental threshold temperature of eggs, larvae, pre-pupae, pupae and pre-oviposition are estimated to be 10.02, 9.44, 10.58, 10.09 and 9.51℃ respectively, and their effective accumulated temperature was 87.3, 238.6, 10.7, 156.9 and 31.6 degree days respectively. The developmental threshold temperature and effective accumulated temperature for an entire generation is 9.22℃ and 543.2 degree days.

Key words *Carpocapsa sasakii*, effective accumulated temperature, developmental threshold temperature

摘 要 在 17~29℃、RH 80% ± 7% 和光周期 L:D = 15:9 的条件下,测定了桃小食心虫 *Carpocapsa sasakii* Matsumura 各虫态的发育历期,计算了桃小食心虫卵、幼虫、蛹和全世代的发育起点温度和有效积温。结果表明,各虫态的发育历期随着温度的升高而缩短,各虫态的发育速率与温度之间具有良好的线性关系。桃小食心虫卵、幼虫、结茧前期、蛹及生殖前期的发育起点温度分别为 10.02、9.44、10.58、10.09 和 9.51℃,有效积温分别为 87.3、238.6、10.7、156.9 和 31.6 日·度,全世代的发育起点温度和有效积温分别为 9.22℃ 和 543.2 日·度。

关键词 桃小食心虫,发育起点,有效积温

桃小食心虫 *Carpocapsa sasakii* Matsumura 是我国北方果树生产中危害最大、发生最普遍的食心虫类害虫,它可危害苹果、枣、梨等 10 多种果树的果实^[1],是各地果园常年防治的主要对象。因此对桃小食心虫的研究一直很受人们的关注,有关其生物学、生态学、发生规律和防治技术等都已进行了大量的研究^[1~3],但对桃小食心虫发育起点温度方面的研究仅韩国学者 Kim 等有过报道^[4],国内对该虫的发育起点温度和有效积温尚未见报道。为此,作者于 2009 年 8 至 11 月对该虫的各虫态的有效积温和发育起点温度进行了研究,旨在为该虫的预测预报和防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

试虫采自河南省洛阳市郊区疏于管理的苹果园。2009 年 8 月自园中收集带有桃小食心虫为害症状的苹果,带回室内后获得末龄离果幼虫;在指形管(18 mm × 120 mm)中装入 25~30 mm 厚的灭菌、湿润细沙(含水量为

^{*} 资助项目:农业公益性行业科研专项经费项目(编号:200803006)。

^{**} E-mail: ldigxu@163.com

收稿日期:2009-12-02,修回日期:2009-12-25

10%) , 将幼虫单头装入指形管后放入人工气候箱 (PQX-450B-30H, 宁波莱福科技有限公司) 内, 保持温度 $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$ 、RH $80\% \pm 7\%$ 、光周期 L:D = 15:8, 待幼虫结茧、化蛹、羽化后作为供试虫源。

待羽化后将成虫单对放入直径 100 mm、高 100 mm 的有机玻璃养虫笼内, 以双层湿纱布封口, 笼内悬挂 1 个含 10% 蜂蜜水的棉球及 4~5 片条状毛茛的滤纸片 (40 mm × 20 mm) 供其产卵。每天 9:00 和 21:00 时收集卵卡, 以保证试验中所用卵的日龄一致 (≤ 12 h)。

1.2 试验方法

将卵卡放在盛有 $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 琼脂培养基的培养皿内, 随即将培养皿置于饲养条件为 17、20、23、26、29 $^\circ\text{C}$ 、 $80\% \pm 7\%$ RH、光周期 L:D = 15:9 的人工气候箱内, 温度控制精度为 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。当卵刚出现黑头时, 将卵卡剪成有卵的小片; 将新鲜、无农药残留、大小基本一致的金冠苹果 (直径 60~70 mm) 用清水洗净, 用琼脂将卵卡小片贴在苹果萼洼处, 每果接卵 3~5 粒, 并对每个苹果编号; 用保鲜膜覆盖于萼洼之上, 用昆虫针在保鲜膜中央扎小孔若干以利通气。然后, 将苹果单个装入罐头瓶内, 以保鲜膜封口并用昆虫针在保鲜膜上扎若干个孔, 最后将罐头瓶放入人工气候箱中。每个温度处理分别接苹果果实 50 个以上。每天 9:00 至 21:00 之间每 4 h 观察一次卵的孵化、蛀果情况, 当苹果上出现 1 个蛀果孔后, 立即将其余的卵清除, 以保证每个果实有 1 头幼虫。饲养期间, 每天早晚各检查一次是否有幼虫脱果, 并记下幼虫脱果日期。幼虫脱果之后, 仍如用前述的方法将其单头置于指形管中结茧、化蛹、羽化, 并详细记录结茧与羽化的时间。

为进一步补充桃小食心虫卵发育历期数据, 将卵卡放在盛有 $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 琼脂培养基的培养皿内 (预试验证明, 培养皿内有无琼脂培养基对桃小食心虫卵的发育历期无明显影响, 但有琼脂培养基时孵化率稍高), 随即将培养皿置于饲养条件为 17、20、23、26、29 $^\circ\text{C}$ 、 $80\% \pm 7\%$ RH、光周期 L:D = 15:9 的人工气候箱内, 每

处理不少于 200 粒, 重复 4 次以上。当卵刚出现黑头 (约 3~4 d) 后, 每天 9:00 至 21:00 之间每 4 h 观察一次卵的孵化数量, 直到连续 2 d 不再有卵孵化为止, 最后统计卵的历期。

1.3 数据处理方法

按照有效积温的原理, 昆虫完成某一阶段的发育, 需要一定的有效积温, 即 $K = D(T - C)$ 其中: K 为有效积温, T 为环境温度, C 为发育起点温度, D 为发育历期。

本文应用李典谟和王莽莽^[5]提出的直接最优化方法计算 C 和 K 。先建立以算得的理论有效积温与实验测得的有效积温的误差极小为目标的目标函数, 再用极值理论直接求得发育起点温度 C 。

$$\text{设目标函数为: } F = \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2 \text{ 其中 } A_i = D_i(T_i - C) \quad \bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i$$

将 A_i 及 $\bar{A}$ 代入上式, 对 C 求其一阶导数, 并令其等于零, 求解得:

$$\sum_{i=1}^n D_i^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i T_i - \sum_{i=1}^n D_i^2 C + n \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i \right)^2 = 0$$

$$\text{令 } \bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i, \text{ 于是有:}$$

$$C = \left[\sum_{i=1}^n D_i^2 T_i - \bar{D} \sum_{i=1}^n D_i T_i \right] / \left[\sum_{i=1}^n D_i^2 - n(\bar{D})^2 \right]$$

$$\text{那么有: } K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(T_i - C) \times D_i]$$

试验所得数据用 EXCEL 进行简单处理后, 用统计软件进行分析和显著性测验。

2 结果与分析

2.1 温度对桃小食心虫各虫态发育历期的影响

表 1 是不同温度下桃小食心虫各虫态的发育历期。由于幼虫是结茧后化蛹, 预蛹和蛹期难以区分, 故表中的蛹期实际上包括了预蛹阶

段。由表 1 可知,温度对桃小食心虫的生长发育有显著的影响。在 17~29℃ 范围内,桃小食心虫卵、幼虫、蛹的发育历期与温度呈负相关,即随着温度的升高发育历期明显缩短,如卵的发育历期由 17℃ 的 12.19 d 缩短到 29℃ 的 4.49 d,相差 7.70 d;幼虫的发育历期由 17℃ 的 32.18 d 缩短到 29℃ 的 12.04 d,相差 20.14 d;蛹的发育历期则由 17℃ 的 22.29 d 缩短到 29℃ 的 8.41 d,相差 13.88 d。方差分析表明,不同温度下各生育阶段的历期差异显著。

表 1 不同温度下桃小食心虫各虫态的发育历期(d)

温度(℃)	卵	幼虫	结茧前期	蛹	生殖前期	全世代
17	12.19±1.06 a	32.18±6.11 a	1.66±1.04 a	22.29±3.17 a	4.33±1.43 a	70.19±6.45 a
20	9.05±0.44 b	20.33±2.05 b	1.13±0.66 b	16.38±2.80 b	2.60±1.08 b	49.99±3.44 b
23	6.83±0.31 c	18.65±2.55 c	0.88±0.55 bc	12.26±1.27 c	1.95±0.55 b	39.02±2.30 c
26	5.45±0.36 d	15.28±1.89 d	0.63±0.45 c	9.50±1.11 d	2.04±0.87 b	32.95±2.51 d
29	4.49±0.36 e	12.04±1.22 e	0.62±0.24 c	8.41±0.47 d	2.25±0.78 b	27.42±2.28 d

注:表中数据为“平均值±标准差”,同一列中不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

有效积温法则的基本假设是,在一定的温度范围内,昆虫的发育速率与温度呈正相关。为此,将表 1 中的发育历期转换为发育速率,即 $v=1/D$,并计算出各温度下桃小食心虫各虫态发育速率与温度的相关性,如表 2 所示。由表 2 可知,除生殖前期外,在 17~29℃ 范围内,桃小食心虫各虫态的发育速率与温度之间具有极好的相关性。

表 2 不同温度下桃小食心虫各虫态的发育速率与温度之间的相关性

虫态	回归方程	R^2	F 值	P 值
卵	$y=0.0118x-0.1226$	0.9968	932.79	<0.01
幼虫	$y=0.004x-0.0357$	0.9709	92.54	<0.01
结茧前期	$y=0.0905x-0.9184$	0.9613	55.79	<0.01
蛹	$y=0.0064x-0.0651$	0.9939	432.53	<0.01
生殖前期	$y=0.0215x-0.0686$	0.7035	7.12	0.075
全世代	$y=0.002x-0.0189$	0.9972	1 105.82	<0.01

2.2 桃小食心虫的发育起点温度和有效积温

由不同温度下桃小食心虫各虫态的发育历期,按照直接最优化法计算得出桃小食心虫的发育起点温度和有效积温(表 3)。结果表明,脱果幼虫结茧前期的发育起点温度最高,达 10.58℃,所需的有效积温最少,仅 10.7 日·度;而幼虫发育起点温度最低,仅 9.44℃,所需有效积温最多,达 238.6 日·度,占总有效积温的 46.7%。

表 3 桃小食心虫各虫态的发育起点温度和有效积温

虫态	发育起点温度(℃)	有效积温(日·度)
卵	10.02	87.3
幼虫	9.44	238.6
结茧前期	10.58	10.7
蛹	10.09	156.9
生殖前期	9.51	31.6
全世代	9.22	543.2

3 结论与讨论

有效积温和发育起点温度是昆虫的基本生物学特性,据此可以预测昆虫在某地发生代数、推断特定虫态的发育历期等。本研究证明,桃小食心虫卵、幼虫、蛹、生殖前期及全世代的发育起点温度和有效积温分别是 10.02℃ 和 87.3 日·度、9.44℃ 和 238.6 日·度、10.09℃ 和 156.9 日·度、9.86℃ 和 30.4 日·度及 9.22℃ 和 543.2 日·度。

韩国学者 Kim 等曾报道桃小食心虫卵、幼虫和蛹的发育起点温度分别为 11.0、9.4 和 10.3℃^[4],日本学者 Ishiguri 和 Toyoshima 则认为桃小食心虫幼虫的发育起点温度为 9.6℃^[6],本文报道的结果与他们的结果十分接近。有关桃小食心虫的发育历期国内曾有过零星的报道。如张月亮等^[2,3]报道,在温度(25±1)℃、光照时间为 15 h 的条件下,桃小食心虫卵和幼虫的历期分别为 6.89 d 和 21.2 d;本

文报道的卵的历期与之较为接近,但幼虫的发育历期(23℃下为 18.65 d,26℃为 15.13 d)与之相差较大,其原因是,张月亮等饲养桃小所用的苹果品种为国光,而本文采用的苹果品种为金冠。显然,不同品种的营养价值差异是主要因素。由于金冠是桃小食心虫最喜好的品种,可作为桃小食心虫田间发生情况的“指示品种”,因此,本研究的结果在该虫的预测预报中更具有应用价值。

根据河南洛阳的历史气象资料统计,每年从 3 月下旬起,当地旬平均气温可达 10℃,4 至 8 月份,10℃ 以上的有效积温分别为 163.8、359.5(其中 5 月下旬为 150.5 日·度)、499.5、544.5 和 508.9 日·度;由于该虫具有滞育特性,当地每年初次见到越冬代成虫的时间均在 5 月中旬或以后,田间于 6 月初始见到卵;结合本文报道的结果就可以推算出桃小食心虫每年在洛阳可以完成 3 个世代,而实际情况是每年发生 2~3 代,有些年份具有完整第 3 代,而有些年份第 3 代不完整。此外,根据本文的结果,也可以预测卵的孵化时间,以确定树上防治该虫的适宜时间,从而减少树上用药的盲目性。

昆虫发育起点温度和有效积温的估测是基于昆虫发育速率与温度之间的线性关系,但实际情况并非完全如此。许多研究表明,昆虫发育速率与温度之间是一种复杂的曲线关系,因

此,用非线性模型来描述二者之间的关系更为合适^[7],由于本研究中缺乏高温下的试验结果,在这种情况下套用非线性模型会导致预测结果的失真。此外,本研究是在恒温条件下进行的,将其用作预测依据时应考虑其局限性,因昆虫的发育速率在恒温与自然变温下是有差异的。

参 考 文 献

- 1 刘玉升,程家安,牟吉元. 桃小食心虫的研究概况. 山东农业大学学报,1997,28(2):207~214.
- 2 张月亮,慕卫,赵德,等. 光照时间和冷藏对桃小食心虫生长发育和繁殖的影响. 应用生态学报,2006,17(7):1348~1350.
- 3 张月亮,慕卫,赵德,等. 用苹果饲养桃小食心虫的方法. 昆虫知识,2006,43(4):571~573.
- 4 Kim D. S., Lee J. H., Yiem M. S. Temperature-dependent development of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae) and its stage emergence models. *Environ. Entomol.*, 2001,30(2):298~305.
- 5 李典谟,王莽莽. 快速估计发育起点温度及有效积温法的研究. 昆虫知识,1986,23(4):184~187.
- 6 Ishiguri Y., Toyoshima S. Larval survival and development of the peach fruit moth, *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae), in picked and unpicked apple fruits. *Appl. Entomol. Zool.*, 2006,41(4):685~690.
- 7 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. 昆虫学报,2009,52(6):640~650.