

自然变温条件下番石榴实蝇发育历期、 起点温度和有效积温*

韦昌华** 陆永跃 曾 玲***

(华南农业大学昆虫生态研究室 广州 510642)

摘 要 在室内自然变温条件下研究了番石榴实蝇 *Bactrocera correcta* (Bezzi) 发育历期、发育起点温度和有效积温。结果表明,除雌虫产卵前期表现出 26℃ 最短、随着温度升高或者降低均延长的规律外,卵、幼虫和蛹发育历期随着温度升高总体呈现变短的趋势。该虫卵、幼虫、蛹、雌虫产卵前期的发育起点温度和有效积温分别为 15.25、9.24、10.35、20.14℃ 和 21.24、91.06、180.85、135.66 日·度,建立了各虫态发育速率与温度关系模型。

关键词 番石榴实蝇, 自然变温, 历期, 发育起点温度, 有效积温

Developmental durations, threshold temperatures and effective accumulative temperatures of *Bactrocera correcta* under natural conditions

WEI Chang-Hua** LU Yong-Yue ZENG Ling***

(Laboratory of Insect Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract The durations of the egg, larval, pupal, and pre-oviposition stages of *Bactrocera correcta* (Bezzi) were recorded under natural conditions, and developmental threshold temperatures and effective cumulative temperatures determined. Except for pre-oviposition which had the shortest duration at 26℃, the durations of the egg, larval and pupal stages all decreased with increasing temperature. Developmental threshold temperatures for eggs, larvae, pupae, and pre-oviposition were 15.25, 9.24, 10.35 and 20.14℃, and effective accumulative temperatures were 21.24, 91.06, 180.85 and 135.66 degrees-days, respectively. A model of the relationship between temperature and developmental rates for these four life-history stages was developed.

Key words *Bactrocera correcta*, natural conditions, duration, developmental threshold temperature, effective accumulated temperature

番石榴实蝇 *Bactrocera correcta* (Bezzi) 是多种热带、亚热带水果和蔬菜的重要害虫,主要分布于亚洲的巴基斯坦、印度、尼泊尔、缅甸、泰国、斯里兰卡、越南以及中国(云南、台湾)(汪兴鉴和赵明珠,1989;梁广勤等,1996;Drew and Raghu,2002)。该实蝇于1916年在印度比哈尔首次记载(Bezzi,1916),现已被多数国家列为检疫性害虫(刘晓飞等,2005)。该虫寄主范围广,主要危害番石榴(*Psidium guajava*)、芒果(*Mangifera indica*)、腰果

(*Anacardium occidentale*)、莲雾(*Syzygium samarangense*)、牛油果(*Mimusops elengi*)、樱桃(*Muntingia calabura*)、榄仁(*Terminalia catappa*)、枣(*Ziziphus jujube*)、蒲桃(*Syzygium jambos*)、人心果(*Manikara zapota*)、甜橙(*Citrus sinensis*)、柑(*Citrus nobilis*)、桔(*Citrus reticulata* Blanco)、梨(*Pyrus* L.)、枣(*Zizyphus jujuba*)、李(*Pyrus salicina*)、洋桃(*Averrhoa carambola* L.)、桃(*Prunus persica* (L.) Batsch)、苹果(*Malus pnmilia*)

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200903047)、国家科技支撑计划项目(2008BADA5B01)。

**E-mail:weichua@163.com

***通讯作者,E-mail:zengling@scau.edu.cn

收稿日期:2010-12-28,接受日期:2011-03-17

Mill)、櫻桃(*Prunus pseudocerasus* Lindl)、红毛丹(*Nephelium lappaceum*)、葡萄(*Vitis vinifera*)、柠檬(*Citrus limon*)等 30 个科 60 余种瓜果(梁广勤和徐伟,1985;刘晓飞等,2005)。番石榴实蝇给越南、泰国和我国云南当地的蔬菜水果生产造成了重大经济损失(刘晓飞等,2005)。梁广勤等(1985)曾对从泰国进口的水果中截获的番石榴实蝇生物特性进行观察。Liu 和 Ye(2009)在室内恒温条件下对该虫的发育历期和发育起点温度进行了研究。其他有关的生物学特性研究少见报道。随着中国和东盟自由贸易区的建立,我国从东盟进口水果数量在逐年增加,进口水果携带番石榴实蝇入境的风险越来越高。本文试验观察了自然变温条件下番石榴实蝇各虫态发育历期、发育起点温度和有效积温,为该虫传入我国的风险分析、定殖、扩散可能性评估和监测、防治等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验虫源

实验用番石榴实蝇于 2008 年 6 月采自云南省元江县的番石榴被为害果,带回华南农业大学昆虫生态研究室恒温养虫室(室内温度为 $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$, L:D = 12:12, RH 为 $70\% \pm 5\%$, 养虫室用纱网作双层隔离,严防试虫逃逸)大量继代繁殖至第 3 代备用。

选健康成虫放入变温养虫室内(窗户 24 h 敞开,保持室内温度与自然界温度同步变化,用纱网作双层隔离)的养虫笼($50\text{ cm} \times 40\text{ cm} \times 50\text{ cm}$)中,用番石榴果泥作为饵料进行饲养,并用一次性小碗盛水、供成虫饮用。果泥饵料每天更换 1 次,碗及水每隔 3~4 d 更换 1 次,养虫笼每隔 1 周清洗 1 次。

1.2 各虫态的饲养及发育历期观察方法

1.2.1 卵期 用小刀将新鲜番石榴切成厚薄均匀($3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$)片状,用镊子夹住,在自制的取卵杯(一次性硬质的塑料杯,高度 10 cm,上口径宽 7 cm,下口径宽 5 cm,离底部 2 cm 起向上用针扎间距 1~1.5 mm 的排孔,共 5 行 7 排)内壁上下均匀涂抹,而后放置杯底,用保鲜膜封口后用皮筋固定,放置于养虫笼中。每天用小号毛笔收集成虫所产的卵。

将新鲜卵粒放入置于培养皿中的浸透番石榴果汁的滤纸上,蒙上纱布,用橡皮筋困扎,放于养虫笼中。每天 8:00、14:00 和 20:00 观察和记录卵的孵化数量和环境温度,2:00 用自记式温度计记载温度(刘晓飞等,2005)。每次检查时根据滤纸湿度,适当补充果汁。设 3 重复,50 粒卵/重复。根据记录的每粒卵孵化时间,计算出所有已孵化卵的平均孵化时间长度即为卵发育历期。

1.2.2 幼虫期 将从养虫笼中取出的卵置于浸透番石榴果汁的滤纸上,待孵化后,将同一批初孵幼虫用毛笔挑出,接入内盛有大小为 $10\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 的番石榴果块的塑料饲养盒内,每天 8:00、14:00、20:00 观察记录老熟幼虫数量和环境温度,2:00 用自记式温度计记载温度。每天补充一次新鲜水果果块。设 3 重复,50 头幼虫/重复。根据记录的每头幼虫发育至老熟时所用时间,计算出所有幼虫发育至老熟所用的平均时间长度即为幼虫发育历期。

1.2.3 蛹期 取老熟幼虫刚刚化的蛹,放入底部铺有约 4 cm 厚的细沙土(RH:20%~30%)的塑料杯($h = 10\text{ cm}$, $r = 6\text{ cm}$)中,再覆盖约 2 cm 厚的细沙土(RH:20%~30%),杯口封有 100 目纱布,放到另一养虫笼,待其羽化。每天 8:00、14:00、20:00 观察和记录蛹羽化情况和环境温度,2:00 用自记式温度计记载。每次检查时根据沙湿度变化,适当补充水分。设 3 重复,50 头蛹/重复。根据记录每头蛹羽化所用时间,计算出所有蛹羽化所用的平均时间长度即为蛹发育历期。

1.2.4 成虫期 将同一天羽化的成虫转移到一个圆筒形养虫笼($r = 15\text{ cm}$, $h = 40\text{ cm}$)中,笼内置一小培养皿,内置番石榴果泥供成虫取食,果泥每天更换 1 次;待成虫 8 日龄后,在养虫笼内放入采卵器,并在采卵器中放入番石榴果块引诱雌虫产卵。每天 8:00、14:00、20:00 观察记录成虫产卵情况和环境温度,2:00 用自记式温度计记载(林振基和张清源,1989;袁盛勇等,2005;魏靖等,2006)。

每次检查时根据果泥的情况,适当补充水分。设 3 重复,30 对雌雄成虫/重复。记录成虫从羽化到开始产卵所用时间,计算出成虫从羽化到开始产卵所用时间平均值作为成虫产卵前期。

1.3 番石榴实蝇发育速率与温度关系模型及发

育起点温度和有效积温的测定

在测得番石榴实蝇各虫态发育历期的基础上,根据有效积温法则,采用如下通用公式进行计算:

$$K = N(T - C) \cdots (1) \quad N = 1/V \quad (2)$$

$$T = C + KV \quad (3)$$

按“最小二乘法”求出如下公式:

$$K = \frac{n \sum VT - \sum V \sum T}{n \sum V^2 - (\sum V)^2} \quad (4)$$

$$C = \frac{\sum V^2 \cdot \sum T - \sum V \cdot \sum VT}{n \sum V^2 - (\sum V)^2} \quad (5)$$

计算出 K 值和 C 值。

其中, K 代表有效积温常数,单位为日·度; N 代表发育历期, V 代表发育速率(发育历期的倒数), T 代表发育温度, C 代表发育起点温度, n 为处理组数。用 C 和 K 值代入(3)式中求出的温度理论值(T')有一定的误差,故用下式求出 C 和 K 的标准差(林振基和张清源, 1989; 袁盛勇等, 2005), 即:

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum (T - T')^2}{n - 2} \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{V}^2}{\sum (V - \bar{V})^2} \right)} \quad (6)$$

$$S_k = \sqrt{\frac{\sum (T - T')^2}{n - 2} \cdot \frac{1}{\sum (V - \bar{V})^2}} \quad (7)$$

依据有效积温法则建立发育速率和温度的回归方程 $V = a + bT$ 。其中 V 为温度 T 时的发育速率(d), T 为温度(°C), a 、 b 为模型参数。

1.4 数据统计分析

本文中的数据和模型均用 DPS3.01 版软件进行统计分析和拟合(唐启义和冯明光, 2002), 显著性差异采用 Duncan's 新复极差方法分析。

2 结果与分析

2.1 番石榴实蝇各虫态发育历期与自然温度关系

由表 1 可知,在自然变温条件下番石榴实蝇卵、幼虫和蛹发育历期随着温度升高总体呈现变短的趋势。卵期时当温度范围为 12 ~ 22°C (平均温度 16.4°C) 时发育历期最长,为 6.83 d; 当温度范围升高到 27 ~ 35°C (平均温度 31.1°C) 时发育历期最短,为 1.34 d。幼虫期时当温度范围为 12

~ 20°C (平均温度 14.7°C) 时发育历期最长,为 15.26 d; 当温度范围升高到 25 ~ 32°C (平均温度 28.7°C) 时发育历期最短,为 4.37 d。蛹期时当温度范围为 14 ~ 24°C (平均温度 17.5°C) 时发育历期最长,为 26.53 d; 当温度范围升高到 27 ~ 36°C (平均温度 31.6°C) 时发育历期最短,为 9.03 d。产卵前期时当温度范围为 18 ~ 20°C (平均温度 18.4°C) 时发育历期最长,为 68.62 d; 当温度范围升高到 22 ~ 31°C (平均温度 25.8°C) 时发育历期最短,为 14.61 d; 而当温度继续升高,如温度范围为 27 ~ 36°C (平均温度 32.1°C) 时发育历期明显延长,为 31.22 d。

2.2 番石榴实蝇的有效积温、发育起点温度和发育速率模型

根据相关公式计算出番石榴实蝇卵、幼虫、蛹、产卵前期的发育起点温度分别为 15.25、9.24、10.35、20.14°C, 有效积温为分别为 21.24、91.06、180.85、135.66 日·度(表 2)。采用直线回归法拟合出卵、幼虫和蛹的发育速率与温度的回归方程,分别为 $V = -0.656360 + 0.044530T$ 、 $V = -0.080213 + 0.010039T$ 、 $V = -0.050177 + 0.005239T$; 采用一元二次非线性方程拟合出成虫产卵前期发育速率与温度的关系模型为 $V = -0.401988 + 0.033851T - 0.000631T^2$ ($F = 6.7851$, $R^2 = 0.6957$, $P = 0.0230$) (表 2)。

由表 2 可知,番石榴实蝇卵、幼虫和蛹发育速率与温度极显著相关,发育速率随温度提高而加快。成虫产卵前期发育速率与温度显著相关。表 1 表明成虫产卵前期发育最适温度在 25 ~ 27°C, 温度过高或过低都会延缓番石榴实蝇雌成虫的正常发育速率。

3 结论与讨论

为了便于观察和准确计算自然变温条件下番石榴实蝇各个虫期发育历期,本试验中使用的卵、幼虫、蛹和成虫都来自于在自然变温养虫室中同一天产卵、孵化出的幼虫、化的蛹和羽化成虫。由于番石榴实蝇成虫寿命长,世代重叠,因此本试验中所用的虫态不能确定为同一世代,这是否会与番石榴实蝇实际一个完整的世代发育历期存在一定误差,有待进一步研究。

表 1 自然变温条件下番石榴实蝇各虫态发育历期
Table 1 Developmental durations of *Bactrocera correcta* under natural conditions (d)

卵 Egg			幼虫 Larva			蛹 Pupa			产卵前期 Pre-oviposition		
温度范围 Temperature range(℃)	平均温度 Mean temperature (℃)	发育历期 Developmental duration(d)	温度范围 Temperature range(℃)	平均温度 Mean temperature (℃)	发育历期 Developmental duration(d)	温度范围 Temperature range(℃)	平均温度 Mean temperature (℃)	发育历期 Developmental duration(d)	温度范围 Temperature range(℃)	平均温度 Mean temperature (℃)	发育历期 Developmental duration(d)
27—35	31.1	1.34 ± 0.15	27—36	31.5	4.88 ± 0.36	27—36	31.6	9.03 ± 0.68	27—36	32.1	31.22 ± 2.32
25—33	29.6	1.53 ± 0.26	27—33	30.6	4.72 ± 0.21	27—33	30.5	9.77 ± 0.14	26—34	30.8	27.25 ± 1.87
25—31	28.4	1.78 ± 0.22	25—32	28.7	4.37 ± 0.48	25—32	28.8	10.01 ± 1.23	25—33	29.4	22.34 ± 2.46
22—31	27.2	1.52 ± 0.12	23—28	25.6	4.81 ± 0.56	23—30	26.4	10.68 ± 0.55	25—31	27.6	15.23 ± 2.35
23—27	25.4	2.12 ± 0.35	19—28	23.5	5.74 ± 0.24	20—28	24.9	11.17 ± 0.28	22—31	25.8	14.61 ± 1.26
20—25	23.8	2.67 ± 0.25	15—25	20.8	7.27 ± 0.37	20—27	23.4	12.23 ± 0.06	22—28	24.3	30.45 ± 3.04
20—24	21.2	4.68 ± 0.43	14—24	18.6	11.30 ± 0.22	15—27	21.8	15.07 ± 1.85	19—28	22.8	32.67 ± 3.28
18—25	19.5	5.87 ± 0.46	12—23	16.4	13.27 ± 0.79	15—25	19.7	20.61 ± 1.63	19—24	21.2	36.18 ± 1.97
18—24	18.2	6.14 ± 0.24	12—22	15.2	14.73 ± 0.35	15—24	18.2	25.14 ± 1.24	19—20	19.8	48.76 ± 3.66
12—22	16.4	6.83 ± 0.57	12—20	14.7	15.26 ± 1.06	14—24	17.5	26.53 ± 1.17	18—20	18.4	68.62 ± 4.2

注:表中发育历期为平均值 ± 标准误。

Data in the table are mean ± SE.

表 2 番石榴实蝇的发育起点温度、有效积温及温度与发育速率模型

Table 2 Developmental rate models, developmental threshold temperatures and effective cumulative temperatures of the pupa of *Bactrocera correcta* (mean ± SE)

虫期 Stage	发育起点温度 Developmental threshold temperature (°C) / $C \pm S_c$	有效积温 (日·度) Effective accumulative temperature / $K \pm S_k$	相关系数 Correlation coefficient	发育速率模型 Developmental rate model
产卵前期 Pre-oviposition	20.14 ± 3.33	135.66 ± 0.23	0.812 *	$V = -0.402 + 0.0339T$ $-0.000631T^2$
卵 Egg	15.25 ± 0.85	21.24 ± 0.88	0.965 **	$V = -0.656 + 0.0445T$
幼虫 Larva	9.24 ± 1.57	91.06 ± 0.40	0.956 **	$V = -0.0802 + 0.01004T$
蛹 Pupa	10.35 ± 0.54	180.85 ± 0.30	0.973 **	$V = -0.0502 + 0.00524T$

注：* 表示相关达到显著水平 ($P < 0.05$)，** 表示相关达到极显著水平 ($P < 0.01$)， V - 发育速率， T - 温度。
* indicates significantly different at 0.05 level, ** indicates extremely significantly different at 0.01 level. V - developmental rate, T - temperature.

自然变温条件下番石榴实蝇卵、幼虫和蛹发育历期随着温度升高而变短，温度与卵、幼虫和蛹的发育速率呈极显著正相关，与作者在恒温条件下观察到的该虫各虫态发育规律和 Liu 等 (2009) 研究的番石榴实蝇各发育阶段的发育规律基本吻合。

与相近恒温相比，变温条件下番石榴实蝇发育历期有所不同。与 Liu 等 (2009) 报道的恒温条件下各虫态发育历期相比，当平均温度相近时自然变温下卵期发育历期似乎比恒温条件下的延长了。例如，温度范围 25 ~ 33°C (平均温度 29.6°C) 时卵历期为 1.53 d，而恒温 30°C 时为 1.19 d；20 ~ 25°C (平均温度 23.8°C) 时历期为 2.67 d，而恒温 24°C 时为 1.73 d；18 ~ 24°C (平均温度 18.2°C) 时历期为 6.14 d，而恒温 18°C 时仅为 2.78 d。对于幼虫，平均温度相近时自然变温下发育历期似乎比恒温下显著缩短了。例如，温度范围 27 ~ 33°C (平均温度 30.6°C) 时历期为 4.72 d，而恒温 30°C 时为 8.28 d；19 ~ 28°C (平均温度 23.5°C) 时历期为 5.74 d，而恒温 24°C 时为 12.05 d；14 ~ 24°C (平均温度 18.6°C) 时历期为 11.30 d，而恒温 18°C 时仅为 17.59 d。对于蛹来说平均温度相近的变温下发育历期似乎延长了，对于成虫产卵前期本试验结果表明 26°C 左右最短，约 14 d；温度高于或者低于 26°C 时随着温度升高或者降低产卵前期均有所延长。该结果与作者在恒温条件下观察的番石榴实蝇成虫产卵前期发育规律基本一致，而与 Liu 等 (2009) 报道的该虫成虫产卵前期在 18 ~ 36°C 间，随着温度升高不断缩短的规律有一定差异。

就发育起点温度和有效积温而言，与 Liu 等 (2009) 研究结果相比，本试验也存在较大差异。卵、幼虫、蛹、产卵前期的发育起点温度、有效积温分别为 15.25、9.24、10.35、20.14°C 和 21.24、91.06、180.85、135.66 日·度，而 Liu 等 (2009) 报道分别为 8.5、7.6、9.5、15.7°C 和 26.3、200、166.7、333.3 日·度。

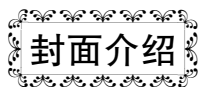
之所以产生以上差异，可能的原因一是试验条件不同，包括仪器设备的准确性程度、测定方法、食物种类等存在差异，从而导致了不同的结果；二是由于昆虫实际经历的温度不同而产生的效应的反映。平均温度相近的变温似乎促进昆虫发育 (王智翔和陈永林, 1989)，而吴晓晶等 (1994) 证实一些昆虫中梯度变温对发育速率无明显影响。究竟变温是如何影响番石榴实蝇的发育的还有待于更加精确的试验研究予以证实。

参考文献 (References)

Bezzi M, 1916. On the fruit-flies of the genus *Dacus* occurring in India, Burma, and Ceylon. *B. Entomol. Res.*, 7:99—121.
Drew RAI, Raghu S, 2002. The fruit fly fauna (Diptera: Tephritidae: Dacinae) of the rainforest habitat of the Western Ghats, India. *Raffles b. Zool.*, 20:327—352.
梁广勤, 杨国海, 梁帆, 司徒保禄, 梁小丹, 1996. 亚太地区寡毛实蝇. 广州: 广东科技出版社. 58.
梁广勤, 徐伟, 1985. 番石榴实蝇 *Dacus (strumetal) correctus* (Bezzi) 及其生活习性的观察. 江西农业大学学报, 25 (4):52—55.

- 林振基,张清源,1989. 南瓜实蝇发育起点温度及有效积温研究. 江西植保, 2:17—19.
- 刘晓飞,王大明,叶辉,2005. 番石榴实蝇研究概况. 热带农业科技,28(4):30—33.
- Liu XF, Ye H, 2009. Effect of temperature on development and survival of *Bactrocera correcta* (Diptera:Tephritidae). *Sci. Res. Essays*, 4(5):467—472.
- 唐启义,冯明光,2002. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京:科学出版社. 1—648.
- 汪兴鉴,赵明珠,1989. 中国寡鬃实蝇属记述(双翅目:实蝇科). 动物分类学报, (2):209—219.
- 王智翔,陈永林,1989. 变温促进昆虫发育的醉学解释. 生态学报,9(2):106—114.
- 魏靖,左秀峰,惠祥海,李照会,2006. 蔗扁蛾在自然变温下的发育起点温度和有效积温测定. 山东农业大学学报(自然科学版), 37(2):201—203.
- 吴晓晶,刘树生,郑中良,1994. 变温对两种昆虫发育速率的影响. 昆虫知识,31(4):237—239.
- 袁盛勇,孔琼,肖春,陈斌,李正跃,高永红,2005. 桔小实蝇各虫态发育历期及有效积温研究. 西南农业大学学报(自然科学版),27(3):316—318.

* * * * *



鸡矢藤蚜 *Neaulacorthum nipponicum* (Essig & Kuwana)

鸡矢藤蚜 *Neaulacorthum nipponicum* (Essig & Kuwana) 隶属于半翅目 Hemiptera 蚜科 Aphididae 长管蚜亚科 Macrosiphinae, 活体橘红色, 头部背面、附肢及腹管黑色。寄主植物为茜草科 Rubiaceae 鸡矢藤属 (*Paederia* L.) 植物, 包括鸡矢藤 (*Paederia scandens* (Lour.) Merr.)、毛鸡矢藤 (*Paederia tomentosa*) (*Paederia scandens* var. *mairei*) 和 (*Paederia scandens* var. *maritima*), 主要在叶片及茎上为害。主要分布于东亚地区, 包括中国(四川、福建、台湾)、日本、韩国、泰国、爪哇、印度东北部等地区。主要鉴别特征: 头部背腹面均粗糙, 有小刺突分布。额瘤发达, 内侧稍外倾; 中额瘤不显。触角 6 节, 细长, 无翅孤雌蚜触角节 III 基部有小圆形次生感觉圈 2~3 个。腹部背片一般无斑纹, 但常有小而明显的腹管前斑。腹管长管状, 端部稍膨大。尾片长锥状, 有毛 5~6 根。照片由陈静 2011 年 5 月 31 日摄于浙江省西天目山。

(中国科学院动物研究所动物进化与系统学院重点实验室 陈 静 乔格侠)