

短时低温对柑橘大实蝇 1~4 级蛹恒温代价的弥补效应

王福莲^{1#}, 李再园^{1#}, 马跃坤¹, 邵 瑞¹, 李传仁^{1*}, 张桂芬²

(1. 长江大学农学院, 长江大学昆虫研究所, 荆州 434025; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193)

摘要 柑橘大实蝇 *Bactrocera minax* (Enderlein) 为我国重要的柑橘类害虫。为了解短时低温对柑橘大实蝇 1~4 级蛹恒高温代价的弥补效应, 以 25℃ 恒高温为基础, 研究了相对低温 10、15、20℃ 短时 (2、4、8 h) 变温处理柑橘大实蝇 1~4 级蛹后其成虫羽化情况。相对于恒温 25℃, 经 15℃ 和 20℃ 短时 (2~8 h) 变温处理 1 级蛹后成虫羽化增长率为 14%~47%, 经 10℃ 和 15℃ 短时 (2、4、8 h) 变温和 20℃ 短时 (4 h) 变温处理 2~3 级蛹后成虫羽化增长率为 2%~45%, 经 10、15℃ 和 20℃ 短时 (2、4、8 h) 变温处理 4 级蛹后成虫羽化增长率为 28%~46%, 均表现为正增长, 产生了恒温代价弥补正效应。4 级蛹经 10、15、20℃ 变温处理 2 h 和 8 h, 对其恒温代价弥补正效应均较 2~3 级蛹的大。总之, 特定时长低温对特定蛹级产生恒温弥补正效应, 不同蛹级间效应有差异。本研究结果为室内柑橘大实蝇保存, 及春季快速回暖或田间倒春寒情况下柑橘大实蝇种群动态的预测预报提供依据。

关键词 柑橘大实蝇; 短时低温; 1~4 级蛹; 恒温代价; 弥补效应

中图分类号: S 436.661 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2017.05.014

Recovery effects on constant temperature cost of 1st—4th stage pupae of *Bactrocera minax* briefly exposed to lower temperature

Wang Fulian¹, Li Zaiyuan¹, Ma Yuekun¹, Shao Rui¹, Li Chuanren¹, Zhang Guifen²

(1. College of Agriculture & Institute of Entomological Science, Yangtze University, Jingzhou 434025, China;

2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases & Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract *Bactrocera minax* (Enderlein) is an important citrus pest in southern China. To demonstrate the recovery effects on constant temperature cost of the 1st—4th stage pupae of *B. minax*, the pupae were exposed to a series of lower temperatures (10℃, 15℃, 20℃, based on constant temperature of 25℃) for 2 h, 4 h and 8 h and the adult eclosion was observed. The results showed that the eclosion growth rate was 14%—47% when the 1st stage pupae were exposed to 15℃ or 20℃ for 2 h, 4 h and 8 h, while it was 2%—45% when the 2nd—3rd stage pupae were exposed to 10℃ or 15℃ for 2 h, 4 h and 8 h and 20℃ for 4 h; it was 28%—46% when the 4th-stage pupae were exposed to 10℃, 15℃ or 20℃ for 2 h, 4 h, 8 h, with a positive growth. It indicated that there were recovery effects on the constant temperature cost. The recovery effect of the 4th-stage pupae exposed to 10℃, 15℃ and 20℃ for 2 h and 8 h was significantly higher than those of the 2nd—3rd stage pupae. It was concluded that the pupae at certain stages exposed to exact lower temperatures with particular exposure time could produce recovery effects on constant temperature cost and there was significant recovery difference between pupae of different stages. The results could provide reference for the preservation of *B. minax* pupae in the laboratory and adult population forecasting in the field with rapid warm-up in early spring or cold spell in later spring.

Key words *Bactrocera minax*; short-term lower temperature; 1st—4th stage pupae; constant temperature cost; recovery effect

柑橘大实蝇 *Bactrocera minax* (Enderlein), 俗称“柑蛆”, 隶属于双翅目 Diptera, 实蝇科 Tephritidae, 果实蝇属 *Bactrocera* Macquart, 是柑橘生产上主要害虫之一^[1-2]。其专性为害柑橘类果实, 严重影响柑橘果实的产量与品质^[3]。柑橘大实蝇为一化性昆虫^[4], 以蛹越冬。蛹在土壤中历经 160~170 d^[5], 温度是影响其存活的主要因子之一^[5-7]。当温度过高(30℃以上)或过低时(10℃以下)均不利于柑橘大实蝇蛹的存活, 成虫不能羽化^[8]。

有研究发现在人为设定的 25℃ 持续恒温条件下(温度处理从化蛹到羽化)柑橘大实蝇蛹的历期(113.7 d)显著短于自然(变温)条件下的(200.9 d)^[7]。然而, 持续恒温处理柑橘大实蝇蛹可以促进成虫提前羽化却以降低其存活率为代价。柑橘大实蝇在持续恒温下存活率等下降的现象, 我们称之为恒温代价现象。这种恒温代价现象在昆虫中普遍存在, 例如, 相对于自然变温条件, 烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* Ashmead、小菜蛾 *Plutella xylostella* (Linnaeus) 等昆虫, 在持续恒温下存活率降低, 存活时间缩短, 成虫繁殖力和寿命减少^[9-11]。

昆虫在特定的低温变化的刺激下, 其存活率、成虫繁殖力、种群内禀增长率等较持续恒温条件下有所提高^[9, 12-13], 其恒温代价得到缓解, 可称之为恒温代价弥补效应。变温可提高柑橘大实蝇蛹的存活率。在自然变温条件下存放(长期或短期), 其羽化率与 25℃ 恒温相比有显著提高^[7]。如柑橘大实蝇化蛹后经自然变温处理 0、30、90、150 d 后移入 25℃ 的恒温条件下至羽化, 羽化率随着低温时间的延长而升高(39.36%、42.77%、48%、61%)^[7]。

低温变化有利于柑橘大实蝇 0 级蛹的存活, 缓解其恒温代价, 0 级蛹(初化蛹)在低温(6、8、10、12℃)下, 经过 30 d 低温锻炼后转于 22℃ 保存, 蛹存活率显著高于持续放置在 22℃ 下蛹的存活率^[5]。柑橘大实蝇滞育蛹(0 级)与滞育解除蛹(1 级、2 级、3 级、4 级)对低温的耐受性有差异^[14]。但不同级别滞育解除蛹(1 级、2 级、3 级、4 级)之间的温度反应差异尚不明确。柑橘大实蝇蛹发育起点温度为 10.57℃^[8], 此时春季回暖与寒潮并存, 温度变化迅速和频繁。为了明确短时变温对柑橘大实蝇 1~4 级蛹恒温(自然日均温 25℃)代价的弥补效应差异, 研究了变温温度 10、15、20℃ 条件下, 处理 2、4、8 h, 1~4 级蛹的存活(成虫羽化)情况, 以期为室内柑橘大实蝇保存, 及春季快速回暖或田间倒春寒情况下柑橘大实蝇种

群动态的预测预报提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

2014 年 10 月下旬在湖北省松滋市收集柑橘大实蝇老熟幼虫, 保存于含水量 15% 左右的细沙之中, 化蛹后转存于 10℃ 冷库备用。

1.2 短时变温处理

翌年 3 月 30 日, 当外界温度高于柑橘大实蝇发育起点温度(10.57℃)^[8]时, 将蛹从冷库取出, 置于 25℃ 人工气候箱(RZH-260A 型, 杭州汇尔仪器设备有限公司), 待蛹发育至 1 级(1 级蛹比例 95%), 2~3 级(2~3 级蛹比例 70%)和 4 级(4 级蛹比例 70%)时^[15], 进行短时变温处理。短时变温模式为各级蛹分别采用 10、15、20℃ 处理 2、4、8 h, 处理后转入 25℃ 培养箱继续发育。每天观察记录成虫羽化情况。以恒温 25℃ 下的 1 级、2~3 级、4 级蛹为对照。所有处理均设 5 个重复, 每重复 30 头蛹。处理后每天观察成虫羽化情况, 至连续 10 d 没有成虫羽化时结束观察。

1.3 数据分析

羽化增长率=(短时变温处理各级蛹后相应的成虫羽化率-恒温 25℃ 下各级蛹相应的成虫羽化率)/恒温 25℃ 下各级蛹相应的成虫羽化率×100%。数据在 SPSS 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 中进行单因素方差分析, 平均数差异均采用 LSD 法多重比较。

2 结果与分析

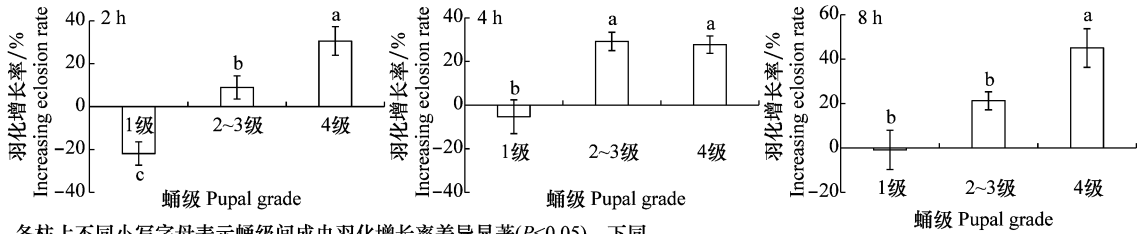
2.1 10℃ 短时低温对柑橘大实蝇 1~4 级蛹恒温代价弥补效应的差异

与在恒温 25℃ 下的成虫羽化率相比较, 10℃ 短时低温处理 1 级蛹 2、4、8 h, 成虫羽化增长率分别为 -22%、-5%、-1% (图 1), 均小于 0, 为负增长。可见 10℃ 短时(2、4、8 h)变温对柑橘大实蝇 1 级蛹的恒温代价无弥补作用, 却加剧伤害。10℃ 变温处理 2~3 级和 4 级蛹 2、4、8 h, 成虫羽化增长率均大于 0, 表现为正增长, 产生了恒温代价弥补正效应。

10℃ 短时低温处理 2~3 级和 4 级蛹 2 h 和 8 h, 成虫羽化增长率分别为 9% 和 31%、21% 和 45%, 4 级蛹的增长率显著高于 2~3 级蛹 ($P=0.036$ 、 0.039)。变温处理 2~3 级和 4 级蛹 4 h 时成虫羽化增长率分别为 29% 和 28%, 2~3 级和 4 级蛹间成

虫羽化率无显著差异($P=0.809$)。可见,10℃变温处理 2 h 和 8 h 对 4 级蛹的恒温代价弥补正效应较

大,处理 4 h 对 2~3 级和 4 级蛹的恒温代价弥补作用均较大。



各柱上不同小写字母表示蛹级间成虫羽化增长率差异显著($P<0.05$)。下同
Different lowercase letters on the bars indicate significant difference among treatments at $P<0.05$. The same below

图 1 10℃短时低温处理柑橘大实蝇 1~4 级蛹后的成虫羽化增长率

Fig. 1 The increasing eclosion rate of 1st—4th stage pupae treated by short-term exposure at 10℃

2.2 15℃短时低温对柑橘大实蝇 1~4 级蛹恒温代价弥补效应的差异

15℃短时低温处理 1 级、2~3 级和 4 级蛹 2、4、8 h,成虫羽化增长率均大于 0(图 2),表现为正增长。可见,15℃短时(2、4、8 h)变温对 1 级、2~3 级、4 级蛹的恒温代价均存在弥补正效应。对于不同级别蛹来说,相同处理时长,弥补程度不同。1 级、2~3 级和 4 级蛹经 15℃变温处理 2 h 和 8 h,成虫羽化增长率分别为 47%、2%、36%和 28%、12%、46%,4

级蛹的成虫羽化增长率与 1 级蛹间无显著差异($P=0.336$ 、 0.144),而显著高于 2~3 级蛹($P=0.003$ 、 0.012)。经 15℃变温处理 4 h,成虫羽化增长率为 37%、45%、33%,各蛹级间无显著差异($P=0.586$)。可见,15℃短时处理 2、4 h 和 8 h,对 1 级、4 级蛹的恒温代价弥补正效应相当,对 2~3 级蛹的恒温弥补正效应较小。处理 4 h,对 2~3 级蛹的恒温弥补正效应与 1 级、4 级蛹的相当。

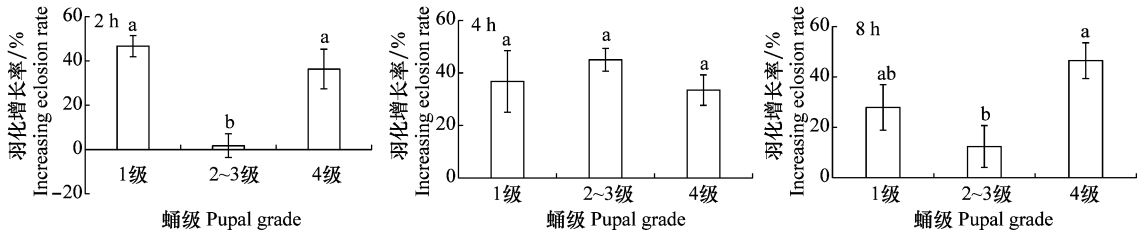


图 2 15℃短时低温处理柑橘大实蝇 1~4 级蛹后的成虫羽化增长率

Fig. 2 The increasing eclosion rate of 1st—4th stage pupae treated by short-term exposure at 15℃

2.3 20℃短时低温对柑橘大实蝇 1~4 级蛹恒温代价弥补效应的差异

20℃短时低温处理 1 级蛹和 4 级蛹 2、4、8 h,成虫羽化增长率分别为 39%和 33%、14%和 33%、14%和 31%,均表现为正增长,且 1、4 级蛹间成虫羽化增长率无显著差异($P=0.723$ 、 0.175 、 0.272) (图 3)。20℃变温处理 2~3 级蛹 2 h 和 8 h 时,成

虫羽化增长率为-4%、-9%,均表现为负增长,无弥补作用。20℃处理 2~3 级蛹 4 h 时,成虫羽化增长率(12%)表现为正增长,且与 1 级、4 级蛹羽化增长率无显著差异($P=0.882$ 、 0.073)。20℃短时处理 2、4、8 h,对 1 级、4 级蛹的恒温代价弥补正效应相当。处理 4 h,对 2~3 级蛹的恒温弥补正效应与 1 级、4 级蛹的相当。

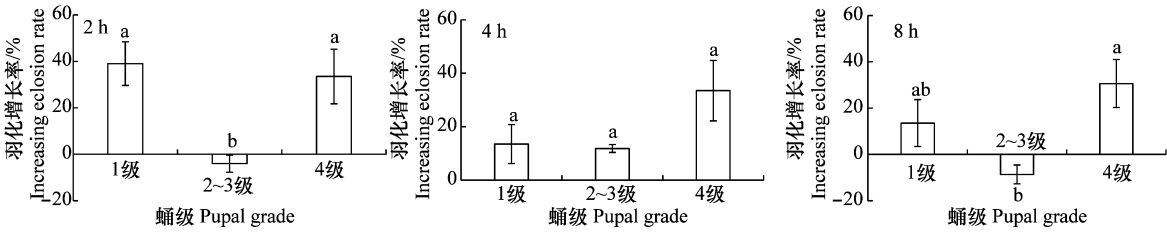


图 3 20℃短时低温处理柑橘大实蝇 1~4 级蛹后的成虫羽化增长率

Fig. 3 The increasing eclosion rate of 1st—4th stage pupae treated by short-term exposure at 20℃

3 结论与讨论

柑橘大实蝇为一化性昆虫,与冬季的低温相比,人为恒高温对其滞育蛹的存活有影响,也就是说,柑橘大实蝇的越冬滞育蛹需要为相对恒高温付出存活代价,而相对的低温变化对其存活有利^[5,7]。低温变化产生的恒温弥补正效应,在纹皮蝇 *Hypoderma lineatum* (De Villers) 中存在。其蛹在 15/25℃ (12 h 变温一次) 变温时,蛹羽化率较 20℃ 提高 6%,纹皮蝇北方品系在 14~26℃ 和 16~24℃ 变温 (12 h 变温一次) 条件时蛹羽化率较 20℃ 的 55% 提高到 77%^[16]。对于柑橘大实蝇 1~4 级蛹 (滞育解除蛹) 来说,即使是一次短时 (2、4、8 h) 的低温变化,也可能产生明显的恒温弥补效应。如 10、15℃ 和 20℃ 短时 (2、4、8 h) 变温对 4 级蛹均具有恒温弥补的正效应,15℃ 和 20℃ 短时 (2、4、8 h) 变温,对 1 级蛹同样有恒温弥补的正效应。

从变温与时长的组合效应来看,特定温度和时长对特定蛹级的蛹具有恒温弥补效应,不同蛹级的蛹对不同的短时变温反应差异较大。原因可能是: 1) 昆虫属于变温动物,温度的改变将直接影响昆虫的体温和新陈代谢速度的变化^[9],柑橘大实蝇也不例外。2) 柑橘大实蝇各级蛹自身的耐寒性有差异^[14]。10℃ 短时 (2、4、8 h) 变温处理,对于 1 级蛹的恒温代价不仅无弥补作用,反而加剧其死亡。这可能就与柑橘大实蝇的耐寒性有关。柑橘大实蝇蛹发育起点温度为 10.57℃^[8]。在其 1 级蛹期,外界环境温度均高于 10℃。因此,10℃ 对于柑橘大实蝇 1 级来说属于相对不利存活的低温。而 10℃ 短时 (2、4、8 h) 变温处理 2~3 级蛹和 4 级蛹对其恒温代价反而有弥补作用。由于柑橘大实蝇不同级别发育蛹 (1~4 级别蛹) 的耐寒性强弱为: 4 级蛹 > 2~3 级蛹 > 1 级蛹 (本实验室研究结果,尚未发表)。即 4 级蛹和 2~3 级蛹的耐寒性强于 1 级蛹。那么,10℃ 短时处理对其来说便具有了弥补恒温代价的作用。3) 不同级别蛹发育速度差异较大。本研究发现 15℃ 和 20℃ 短时 (2、4、8 h) 变温处理,对 2~3 级蛹的恒温代价均有弥补作用,但以处理 4 h 最为理想,弥补作用最大。20℃ 短时变温处理 4 h,对 2~3 级蛹的恒温代价有弥补作用,而处理 2 h 和 8 h,却存在负效应。从蛹的发育速度来看,1 级蛹期约 12 d,2 级蛹期约 10 d,3 级蛹期约 7 d,4 级蛹期约 2 d^[15],而 2~3 级蛹发育速度总体较慢,所以恒高温 (25℃) 或者变温温度和时长作用下,引起的代谢等反应差异较大。这或许与 15℃ 和 20℃ 作用不同时长对 2~3 级蛹的弥补效应正负变化较大,且 20℃ 各时长对 2~3 级蛹的恒温代价弥补正

效应不足相关。对于相对恒高温和短时变温对柑橘大实蝇蛹的恒温代价弥补机制有待进一步研究。

对于柑橘大实蝇的滞育蛹来说,长期低温利于其存活^[7],即长期低温对滞育蛹的恒温代价有良好的弥补作用。对柑橘大实蝇滞育解除蛹 (1~4 级蛹) 来说,特定组合的短时低温对其恒温代价有弥补作用。各级别滞育解除蛹对恒温代价弥补温度需求有差异。因此,可以根据不同级别或发育期蛹的特定需求,设置长期、短时低温来提高蛹的存活率。同时本文结果还可为春季快速回暖或田间倒春寒情况下柑橘大实蝇成虫发生测报提供参考。

参考文献

- [1] 陈世骧, 谢蕴贞. 关于桔大实蝇的学名及其种征[J]. 昆虫学报, 1955, 5(1): 123-126.
- [2] 汪兴鉴, 罗禄怡. 桔大实蝇的研究进展[J]. 昆虫知识, 1995, 32(5): 310-315.
- [3] 王小蕾, 张润杰. 桔大实蝇生物学, 生态学及其防治研究概述[J]. 环境昆虫学报, 2009, 31(1): 73-79.
- [4] 吴志清. 桔大实蝇的生活习性观察初报[J]. 昆虫知识, 1958, 05: 216-217.
- [5] Dong Y C, Wang Z J, Clarke A R, et al. Pupal diapause development and termination is driven by low temperature chilling in *Bactrocera minax* [J]. Journal of Pest Science, 2013, 86(3): 429-436.
- [6] 唐松, 宫庆涛, 豆威, 等. 温度, 土壤含水量和埋蛹深度对柑橘大实蝇羽化的影响[J]. 植物保护学报, 2012, 39(2): 137-141.
- [7] 陈爱娥, 郑薇薇, 张宏宇. 温度与柑桔大实蝇羽化关系研究[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(1): 12-16.
- [8] 罗禄怡, 陈长风. 柑桔大实蝇蛹的生物学特性[J]. 中国柑桔, 1987, 4(3): 9-10.
- [9] 潘飞, 陈绵才, 吉训聪, 等. 变温对昆虫生长发育和繁殖影响的研究进展[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(2): 240-246.
- [10] 唐文颖, 张燕, 郑方强, 等. 变温对烟蚜茧蜂低温贮藏存活特性的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(3): 493-499.
- [11] Ahmad S K, Ali A, Rizvi P Q. Influence of varying temperature on the development and fertility of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) on cabbage [J]. Asian Journal of Agricultural Research, 2008, 2(1): 25-31.
- [12] Mironidis G K, Savopoulou-Soultani M. Development, survivorship, and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) under constant and alternating temperatures [J]. Environmental Entomology, 2008, 37(1): 16-28.
- [13] Davis J A, Radcliffe E B, Ragsdale D W. Effects of high and fluctuating temperatures on *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) [J]. Environmental Entomology, 2006, 35(6): 1461-1468.
- [14] 黄聪, 李再园, 王福莲, 等. 柑桔大实蝇老熟幼虫和蛹过冷点和结冰点的测定[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(1): 17-21.
- [15] 赵毓潮, 郭士占, 张植敏. 柑橘大实蝇成虫羽化期和越冬蛹死亡率的观察[J]. 植物检疫, 2002, 16 (6): 339-340.
- [16] Pfadt R E, Lloyd J E, Sharafi G. Pupal development of cattle grubs at constant and alternating temperatures [J]. Journal of Economic Entomology, 1975, 68(3): 325-328.

(责任编辑: 田 喆)