

不同方法处理的家蝇蛹对蝇蛹金小蜂繁殖的影响*

贺 张 刘继兵 陈永玲 陈中正 段毕升 胡好远**

(安徽师范大学生命科学学院安徽省高校生物环境与生态安全省级重点实验室, 芜湖 241000)

摘要 通过适当方法处理寄主并长期保存, 是大量繁殖寄生蜂的重要途径。蝇蛹金小蜂是多种有害蝇类的蛹期重要寄生蜂, 在生物防治上具有重要价值。本文探讨了蝇蛹金小蜂对-20℃冷冻、6℃冷藏和二氧化碳窒息处理1、3和30 d的家蝇蛹以及热处死和热处死后冷藏保存30 d家蝇蛹的寄生能力。结果表明: 蝇蛹金小蜂可以利用上述蝇蛹, 且其后代在胫节长度上均与源自新鲜蛹的寄生蜂胫节长度无显著差异; 但除冷冻方法外, 寄生蜂后代产量均随寄主保存时间的延长而降低。在保存30 d的前提下, 冷冻方法保存的寄主上寄生蜂后代最多。表明在大量繁殖蝇蛹金小蜂时, 可以利用冷冻等方法对寄主进行处理并保存。

关键词 蝇蛹金小蜂 家蝇蛹 冷冻 二氧化碳 寄主保存 生物防治

文章编号 1001-9332(2013)03-0795-06 **中图分类号** Q969.9 **文献标识码** A

Effects of different treatment methods of housefly pupae for the reproduction of *Pachycrepoideus vindemmiae* Rondani. HE Zhang, LIU Ji-bing, CHEN Yong-ling, CHEN Zhong-zheng, DUAN Bi-sheng, HU Hao-yuan (Anhui Province Key Laboratory of Biotic Environment and Ecological Safety, College of Life Sciences, Anhui Normal University, Wuhu 241000, Anhui, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2013, 24(3): 795–800.

Abstract: It is an important way to massively rear parasitoid wasps by using appropriate methods to treat the wasps' hosts and preserve them for a long duration. *Pachycrepoideus vindemmiae* Rondani is a pupal parasitoid of several dipterous pests, being of significance for the biological control of the pests. In this paper, housefly pupae were frozen at -20 ℃, cold storage-preserved at 6 ℃, and CO₂-asphyxiated for 1-, 3-, and 30 days, respectively, and some pupae were heat-killed and cold storage-preserved for 30 days, aimed to approach the effects of these treatment methods on the reproduction of *P. vindemmiae* on the pupae. The results showed that *P. vindemmiae* could reproduce on the pupae treated with the above-mentioned methods, and the tibia length of the offspring had less difference with that on the fresh pupae. However, the reproduction of *P. vindemmiae* on the pupae treated with the above-mentioned methods except frozen decreased with the increasing preserving duration of the pupae. At the prerequisite of preserving for 30 days, frozen pupae had the highest *P. vindemmiae* offspring reproduction, suggesting that *P. vindemmiae* could be massively reared when the housefly pupae were treated by frozen and cold storage-preserved.

Key words: *Pachycrepoideus vindemmiae*; housefly pupae; frozen; carbon dioxide (CO₂); host preservation; biological control.

寄生蜂是害虫的主要天敌成员, 在控制害虫种群密度中起着重要的调控作用, 一些寄生蜂的利用已经进入了商品化阶段^[1-2]。寄主可持续性的供给

是促进寄生蜂在生产中应用的重要环节。将寄主通过合适的方法保存下来, 能极大地促进寄生蜂的繁育并能有效地控制寄主害虫的扩散^[3]。国内外资料表明, 可利用冷冻^[3-9]、冷藏^[10-12]、热处理^[8-9]和辐射^[9,13]等处理方法保存寄生蜂寄主。蝇蛹金小蜂(*Pachycrepoideus vindemmiae*)属于金小蜂科, 为世界范围内的广布种^[14], 具单寄生性, 属于抑性寄生蜂^[15-16]。该寄生蜂为多种害蝇蛹期的重要寄生蜂, 数多数寄主为世界范围内的重大害虫^[14]。该寄生蜂已

* 国家自然科学基金项目(31172145)、教育部高等学校博士学科点科研专项(20113424120005)、安徽省教育厅自然科学基金项目(KJ2011A133)、宁波市重点科技攻关择优委托项目(2009C10004)、重要生物资源保护和利用研究安徽省重点实验室基金项目和大学生创新性实验计划项目(cxsy11009, 201210370126)资助。

** 通讯作者。E-mail: haoyuanhu@126.com

2012-07-12 收稿, 2012-12-31 接受。

经应用于对家蝇和实蝇类等害虫的生物防治^[17],但对于该寄生蜂是否能利用上述方法保存的寄主,尚未见系统报道。本文探讨了蝇蛹金小蜂对热致死、冷冻、冷藏和二氧化碳(CO_2)处理后的家蝇蛹的利用。

1 材料与方法

1.1 材料来源及培养

供试家蝇采自安徽师范大学赭山校区食堂附近,在室内进行人工饲养约2年。家蝇饲养方法参照文献[18],室内饲养获得家蝇蝇蛹。蝇蛹金小蜂经中国科学院动物研究所肖晖副研究员鉴定,本试验使用的为实验室常年饲养的芜湖株系^[19]。在人工气候箱内进行培养,温度为 (25 ± 1) ℃,光照强度为60% (约2000 lx) ($L:D=14:10$),相对湿度(RH)为 $(50\pm5)\%$ 。培养器皿为直径10 cm、高15 cm的塑料杯,饲以10%的蜂蜜水;定期给予家蝇蛹,延续寄生蜂种群。

试验前,对家蝇幼虫饲养密度定量化,以获得大小一致的蝇蛹(长度在6.0~6.5 mm),使用直尺(精确到0.5 mm)对所用的蝇蛹进行测量,获得近似大小的蝇蛹,用作寄生蜂繁殖。

1.2 寄主处理方法

取1~2日龄大小接近的家蝇蛹分别进行冷冻、冷藏、 CO_2 处理和热处理。在冷冻处理组中,将家蝇蛹置于-20℃冰箱冷冻室中;冷藏组的蝇蛹置于6℃冰箱冷藏室中。在 CO_2 处理时,将待处理蝇蛹置于瓶内,收集 CO_2 ; CO_2 使用稀硫酸(浓度10%、25 mL)和碳酸氢钠(4 g)充分反应生成,向上排气法收集于200 mL带盖塑料瓶中(反应生成过量 CO_2 ,确保瓶内充满),充满 CO_2 后,将塑料瓶密封后置于水中,使瓶内与外界空气完全隔离。

热处理时,将蝇蛹封闭在5 mL离心管中,再置于相应温度的恒温水浴锅内处理。预试验设45、50和55℃3个温度梯度,每个温度梯度设15和30 min两个处理时间;每处理3次重复,在各重复组的离心管内,放20头筛选后的蝇蛹;处理完成后,取出蝇蛹,置于气候箱内,待家蝇羽化后,统计各组家蝇死亡率。预试验结果表明,在50℃下处理30 min,所有的蝇蛹均未能羽化出蝇,较低温度或50℃处理15 min,均不能杀死全部家蝇蛹;较高温度时家蝇蛹全部被处死。因此选择50℃下处理30 min作为热致死的条件。部分热致死后的蝇蛹置于6℃冰箱冷藏室中保存。

1.3 寄生蜂对不同方法处理寄主的利用

收集羽化1 d内的蝇蛹金小蜂雌、雄蜂,置于塑料杯中,饲以10%蜂蜜水,经自由交配1 d后,取单头雌蜂进行下一步试验。

冷冻、冷藏、 CO_2 处理分别设1、3和30 d 3个处理梯度,其中蝇蛹分别处理1、3和30 d;热处理设致死当天和处理后再冷藏保存30 d两个处理梯度;同时使用筛选后的新鲜蝇蛹作为对照。各处理分别设15个重复,每重复使用10头蝇蛹,置于直径4 cm、高5 cm的特制透明玻璃杯,每杯为1个重复,引入交配后的雌蜂1头,使用卫生纸和橡皮筋封口,每杯内放置沾有10%蜂蜜水的脱脂棉喂饲寄生蜂。

寄生24 h后,移除寄生蜂,将蝇蛹分别装入直径1 cm、高5 cm的冻存管中,棉塞封口。在上述人工气候箱内20 d天左右,出蜂完毕后,在体式显微镜下镜检,观察记录每管内羽化的雄、雌蜂数量。

一般用寄生蜂的后足胫节长度来衡量寄生蜂的大小^[20-21]。使用数码体式显微镜(MC-D310U,凤凰光学集团有限公司)进行寄生蜂后足胫节图像拍摄,并测量不同处理寄生蜂的后足胫节长度。

1.4 数据处理

在R2.13.0软件^[22]中使用广义线性模型(generalized linear model, GLM)进行分析。数量数据使用泊松分布模型,比例数据使用二项分布模型。建立模型后,根据模型的HF(残差/df)值判定数据与泊松分布或二项分布的符合程度。较大的HF值(HF>1)意味着偏离泊松分布或二项分布,会导致显著性检验程度被高估;用近似泊松分布(quasipoisson)或近似二项分布(quasibinomial)进行模型拟合,对最后获得的模型用F检验进行分析^[23]。胫节的测量数据分析使用SPSS 11.5软件完成。

2 结果与分析

2.1 蝇蛹金小蜂对 CO_2 处理蝇蛹的寄生能力

蝇蛹金小蜂可以利用 CO_2 窒息处理1、3和30 d的家蝇蛹,但均存在无寄生蜂羽化的蝇蛹。从图1可以看出,不同保存时间下蝇蛹金小蜂后代总数间差异极显著($F_{2,42}=9.73, P<0.01$),即随保存时间的延长,寄生蜂后代产量降低。寄生蜂后代雄性百分比分别为 $(27\pm17)\%$ 、 $(14\pm11)\%$ 和 $(14\pm15)\%$,组间无显著差异($F_{2,37}=2.57, P=0.08$)。

对照蝇蛹金小蜂后代雄性百分比为 $(30\pm14)\%$, CO_2 处理1 d的蝇蛹与对照蝇蛹金小蜂的后代总数($F_{1,28}=0.90, P=0.35$)和雄性百分比

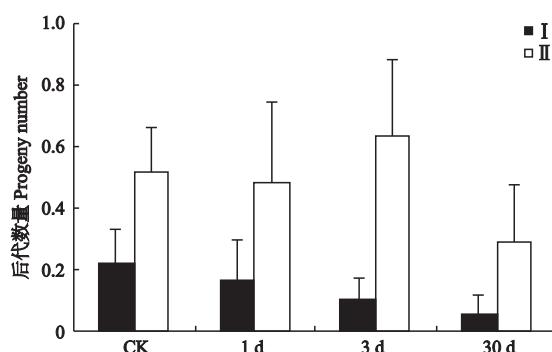


图1 CO₂处理的单头家蝇蛹上蝇蛹金小蜂后代数量

Fig. 1 Offspring number of *Pachycropeideus vindemmiae* on single housefly pupa preserved with CO₂ (mean±SD).

I : 雄蜂 Males; II : 雌蜂 Females. 下同 The same below.

($F_{1,26}=0.46, P=0.50$) 均无显著差异。处理 3 d 寄主的蝇蛹金小蜂的后代总数与对照无显著差异 ($F_{1,28}=0.01, P=0.94$)，但后代雄性百分比显著降低 ($F_{1,27}=8.59, P<0.01$)。处理 30 d 寄主的蝇蛹金小蜂后代总数 ($F_{1,28}=25.24, P<0.01$) 和雄性百分比 ($F_{1,26}=4.12, P=0.04$) 均显著低于对照。

对照的雌、雄蜂胫节长度分别为 (0.42 ± 0.03 和 0.39 ± 0.03) mm, CO₂ 处理 1、3、30 d 和对照的雌蜂胫节长度 ($F_{3,286}=2.20, P=0.09$)、雄蜂胫节长度 ($F_{3,77}=2.59, P=0.06$) 均无显著差异。

2.2 蝇蛹金小蜂对冷冻寄主的寄生能力

蝇蛹金小蜂可以利用冷冻处理 1 d、3 d 和 30 d 的家蝇蛹, 不同保存时间下蝇蛹金小蜂后代总数间无显著差异 ($F_{2,39}=0.09, P=0.92$) (图 2a)。寄生蜂后代雄性百分比分别为 (21±25)%、(12±16)% 和 (18±15)%，组间无显著差异 ($F_{2,36}=0.46, P=0.63$)。

冷冻处理 1 d 的蝇蛹上蝇蛹金小蜂的后代总数显著低于对照 ($F_{1,28}=7.90, P<0.01$)，但后代雄性百分比与对照无显著差异 ($F_{1,28}=3.37, P=0.08$)。处理 3 d 寄主上蝇蛹金小蜂后代总数显著低于对照 ($F_{1,28}=6.25, P=0.02$)，后代雄性百分比显著较低 ($F_{1,27}=8.83, P<0.01$)。处理 30 d 的寄主上蝇蛹金小蜂的后代总数 ($F_{1,25}=9.76, P<0.01$) 和雄性百分比 ($F_{1,23}=3.89, P=0.049$) 均显著低于对照。

冷冻处理 1、3、30 d 和对照的雌蜂胫节长度 ($F_{3,248}=0.50, P=0.68$)、雄蜂胫节长度 ($F_{3,60}=1.53, P=0.22$) 均无显著差异。

2.3 蝇蛹金小蜂对冷藏寄主的寄生能力

蝇蛹金小蜂可以利用冷藏处理 1 d、3 d 和 30 d 的家蝇蛹, 不同保存时间下蝇蛹金小蜂后代总数间

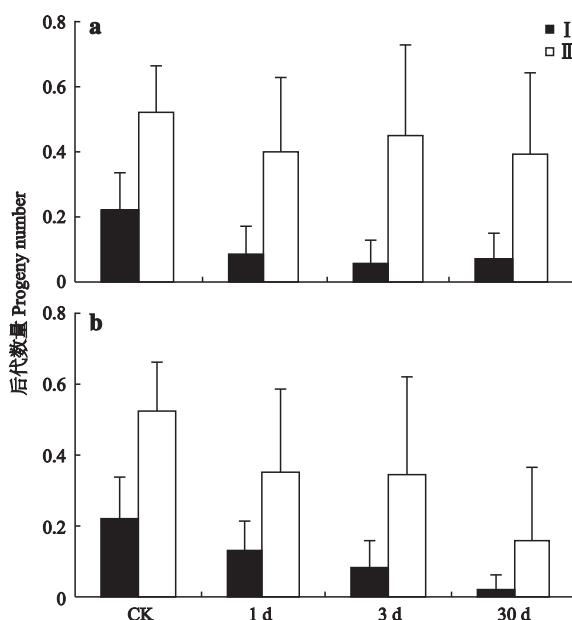


图2 冷冻(a)和冷藏(b)处理 1、3 和 30 d 的单头家蝇蛹上蝇蛹金小蜂后代数量

Fig. 2 Offspring number of *Pachycropeideus vindemmiae* on single housefly pupa frozen (a) and cold storage (b) preserved for 1, 3, and 30 days (mean±SD).

存在显著差异 ($F_{2,42}=5.33, P<0.01$)，即随保存时间的延长，后代产量显著降低 (图 2b)；寄生蜂后代雄性百分比分别为 (28±15)%、(20±15)% 和 (8±13)%，组间无显著差异 ($F_{2,30}=1.62, P=0.20$)。

冷藏处理 1 d 虫蛹上蝇蛹金小蜂后代总数显著低于对照 ($F_{1,28}=7.97, P<0.01$)，但后代雄性百分比与对照间无显著差异 ($F_{1,25}=0.24, P=0.62$)。冷藏处理 3 d 的虫蛹上蝇蛹金小蜂后代总数显著低于对照 ($F_{1,28}=9.76, P<0.01$)，但后代雄性百分比与对照间无显著差异 ($F_{1,25}=2.65, P=0.10$)。冷藏处理 30 d 的虫蛹上蝇蛹金小蜂后代总数 ($F_{1,28}=32.93, P<0.01$) 和雄性百分比 ($F_{1,22}=4.48, P=0.03$) 均显著低于对照。

冷藏处理 1、3、30 d 和对照的雌蜂胫节长度 ($F_{3,203}=1.32, P=0.27$)、雄蜂胫节长度 ($F_{3,63}=0.43, P=0.73$) 均无显著差异。

2.4 蝇蛹金小蜂对热致死寄主的寄生能力

蝇蛹金小蜂可以利用热致死当天及热致死并冷藏保存 30 d 的家蝇蛹, 蝇蛹金小蜂后代总数间无显著差异 ($F_{1,26}=0.47, P=0.50$) (图 3)，后代雄性百分比分别为 (14±16)% 和 (22±24)%，两者间也无显著差异 ($F_{1,19}=0.49, P=0.49$)。

热致死当天的虫蛹上蝇蛹金小蜂后代总数显著低于对照 ($F_{1,27}=18.03, P<0.01$)；雄性百分比也显

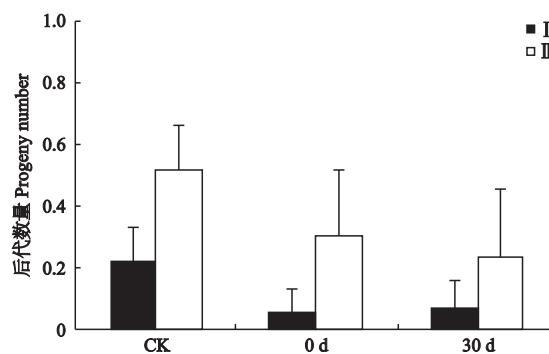


图3 热处理及热处理后冷藏保存 30 d 的单头家蝇蛹上蝇蛹金小蜂后代数量

Fig.3 Offspring number of *Pachycrepoideus vindemmiae* on single housefly pupa heat-killed and cold storage preserved for 30 days after heat-killed (mean±SD).

著较低 ($F_{1,24} = 3.88, P = 0.049$)；处理后保存 30 d 的蝇蛹上蝇蛹金小蜂后代总数显著低于对照 ($F_{1,27} = 22.59, P < 0.01$)；但雄性百分比与对照间无显著差异 ($F_{1,23} = 1.09, P = 0.30$)。

热致死当天、热致死并冷藏保存 30 d 和对照的雌蜂胫节长度 ($F_{2,151} = 2.21, P = 0.11$)、雄蜂胫节长度 ($F_{2,47} = 1.86, P = 0.17$) 均无显著差异。

2.5 不同处理方法下蝇蛹金小蜂后代产量比较

处理方式与保存时间的交互作用对蝇蛹金小蜂后代总数无显著影响 ($F_{5,149} = 1.96, P = 0.09$)。随寄主保存时间的延长，寄生蜂后代产量总体上显著下降 ($F_{2,154} = 9.72, P < 0.01$)。不同处理方式的寄生蜂后代总数存在极显著差异 ($F_{3,156} = 6.86, P < 0.01$)。 CO_2 、冷冻、冷藏和热致死处理后保存 30 d 的蝇蛹上蝇蛹金小蜂后代总数差异显著 ($F_{3,52} = 3.22, P = 0.03$)，以在冷冻处理后的蝇蛹上寄生蜂后代总数为最高。

3 讨 论

在寄生蜂的规模化繁育中，将寄主通过合适的方法保存下来，能极大地促进寄生蜂的繁育并能有效地控制寄主害虫的扩散^[3-4]。一些寄主可以通过饲养获得，但寄主的长期饲养需要消耗很大成本，而生产上，由于一些害虫的为害具有周期性，寄生蜂的释放常常仅在寄主害虫发育的特定时期。此外，一些寄主的饲养成本很高，在繁殖时需要从野外获得寄主^[3]。使用处理后的寄主进行寄生蜂繁育，能更好地控制寄主害虫的扩散^[4]。新鲜寄主适合寄生的时间范围往往有限，而死亡寄主在较长时间范围内，均能适宜寄生蜂寄生^[8]。可见，将寄主通过合适的方法

保存下来，在寄生蜂的持续培养、寄生蜂快速繁育时，均有着重要意义。寄主可以通过冷冻、冷藏、热处理和辐射等方法处理。但寄主的处理和保存方法影响到寄生蜂的利用，不同种类的寄生蜂存在对处理寄主利用率上的差异，如 *Spalangia cameroni*、*Muscicidifurax raptor*、丽蝇蛹集金小蜂 (*Nasonia vitripennis*) 等均能利用冷冻寄主。其中，寄生蜂 *M. raptor* 在 -20 ℃ 冷冻处理后的寄主上的繁殖量与在新鲜寄主上没有显著差异^[5,7,9]，但丽蝇蛹集金小蜂和 *S. cameroni* 的产量会有所下降^[5-6,8-9]。本研究结果表明，蝇蛹金小蜂可以利用冷冻、冷藏、 CO_2 处理和热致死的蝇蛹，在这些蝇蛹经 30 d 保存后，仍能被寄生蜂利用。在大量繁殖蝇蛹金小蜂时，可以考虑通过上述方法对蝇蛹进行处理，尤其是使用冷冻方法。研究结果还表明，在使用这些方法处理后的蝇蛹繁殖寄生蜂时，寄生蜂后足胫节长度无显著差异；一般用寄生蜂的后足胫节长度来衡量寄生蜂的大小^[20-21]，可见，使用处理后的寄主时，寄生蜂大小不会发生显著改变。寄生蜂大小被认为是衡量寄生蜂繁殖能力的主要指标^[24]。因此认为使用冷冻等方法进行寄生蜂繁殖时，获得的寄生蜂具备与源自新鲜蛹寄生蜂等同的寄生能力。此外，在利用冷冻、窒息或热处理等致死方法保存的寄主时，蝇蛹金小蜂后代雄性百分比降低。这与对一种姬小蜂 *Palmistichus elaeisis* 的研究类似^[11]，这可能是由于蝇蛹金小蜂雌、雄后代幼虫在处理寄主内的死亡率存在差异所致。

除了上述报道的途径外，尚可能存在其他的寄主处理方法，如可以利用缺氧的方法致寄主窒息死亡；在对鸟类和兽类等实验动物处死时， CO_2 处理导致缺氧，使得动物在无意识情况下死亡，因而被用作对实验动物安乐死的有效途径^[25]。已有研究表明， CO_2 可以用来处死谷蠹 (*Rhyzopertha dominica*) 等仓储害虫，实现对害虫的无公害治理^[26]。但对于寄生蜂是否能够利用 CO_2 处理后的寄主方面，在国内外尚未见报道。本研究结果表明，蝇蛹金小蜂可以利用 CO_2 处理后的寄主，尤其是数天之内的短期处理，经 CO_2 处理后，家蝇蛹缺氧窒息，可能内部结构变化较少，从而适合寄生蜂利用。

蝇蛹金小蜂为抑寄生性寄生蜂，在寄生时，杀死寄主^[15-16]。与寄生蜂杀死的寄主相比，处死的寄主具备新鲜寄主所具有的营养物质，适宜寄生蜂发育；本研究中寄生蜂有近似大小的后代，也反映了这一点。蝇蛹金小蜂将卵产在蝇蛹的蛹壳与蛹体之间，为外寄生性，小蜂幼虫孵化后，以蛹体为食^[16]；取食后的

蛹体仅残留下较为坚硬的头和胸部(观察发现). 包裹在蛹壳内的蛹体死亡后仍能很好地保持水分, 从而适宜寄生蜂幼虫取食并发育; 但相对于新鲜寄主, 寄生蜂对处死后寄主的利用率较低. Petersen 和 Matthews^[7]认为, 寄生蜂 *M. zaraptor* 在死亡寄主上产量降低的原因是死亡寄主体内更容易干燥. 处死后寄主内部的腐烂也是影响寄生蜂对处理后寄主利用率下降的重要原因^[9]. 在寄主的长期保存方面, 与冷藏方法相比, 冷冻后的家蝇蛹可能在保存期内失去较少的水分, 从而更加适合寄生蜂寄生.

在应用寄生蜂控制害虫的实践中, 如何在目标害虫种群数量低时保持天敌的种群数量具有重要意义^[27-28]. 通过人工方法在野外对寄生蜂种群进行延续, 可以在目标害虫很少时, 起着维持寄生蜂种群密度的作用, 同时不会增加野外害虫的虫口数量. 掌握寄生蜂对不同方法致死和保存的寄主的寄生习性, 可以充分利用寄生蜂这一生防工具, 对害虫进行更为有效的治理.

参考文献

- [1] Xu X-N (徐学农), Wang E-D (王恩东). Statue and analysis of overseas natural enemies merchandise. *Chinese Journal of Biological Control* (中国生物防治), 2007, **23**(4): 373-382 (in Chinese)
- [2] Liang G-W (梁广文), Zhan G-X (詹根祥), Zeng L (曾 玲). Controlling effect of parasitoids on population of vegetable leaf miner *Liriomyza sativae* Blanchard. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2001, **12**(2): 257-260 (in Chinese)
- [3] Onagbola EO, Fadamiro HY. Assessment of frozen larvae of *Callosobruchus maculatus* as hosts for rearing *Pteromalus cerealellae* (Ashmead) (Hymenoptera: Pteromalidae). *Biological Control*, 2009, **48**: 36-41
- [4] Floate KD. Production of filth fly parasitoids (Hymenoptera: Pteromalidae) on fresh and on freeze-killed and stored house fly pupae. *Biocontrol Science and Technology*, 2002, **12**: 595-603
- [5] Kaufman PE, Geden CJ. Development of *Spalangia cameroni* and *Muscidifurax raptor* (Hymenoptera: Pteromalidae) on live and freeze-killed house fly (Diptera: Muscidae) pupae. *Florida Entomologist*, 2009, **92**: 492-496
- [6] Zhang Z (张 忠), Shi W-F (史卫峰), Ye G-Y (叶恭银), et al. Effects of frozen fly pupae on the parasitization and reproduction of *Nasonia vitripennis*. *Chinese Journal of Hygienic Insecticides and Equipments* (中华卫生杀虫药械), 2009, **15**(1): 28-31 (in Chinese)
- [7] Petersen JJ, Matthews JR. Effects of freezing of host pupae on the production of progeny by the filth fly parasite *Muscidifurax zaraptor* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 1984, **57**:

- 387-393
- [8] Tormos J, Beitia F, Alonso M, et al. Assessment of *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritidae) pupae killed by heat or cold as hosts for rearing *Spalangia cameroni* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Annals of Applied Biology*, 2010, **156**: 179-185
- [9] Geden CJ, Kaufman PE. Development of *Spalangia cameroni* and *Muscidifurax raptor* (Hymenoptera: Pteromalidae) on live house fly (Diptera: Muscidae) pupae and pupae killed by heat shock, irradiation, and cold. *Environmental Entomology*, 2007, **36**: 34-39
- [10] Luczynski A, Nyrop JP, Shi A. Influence of cold storage on pupal development and mortality during storage and on post-storage performance of *Encarsia formosa* and *Eretmocerus eremicus* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Biological Control*, 2007, **40**: 107-117
- [11] Pereira FF, Zanuncio JC, Serrão JE, et al. Reproductive performance of *Palmitichus elaeisis* Delvare and La-Salle (Hymenoptera: Eulophidae) with previously refrigerated pupae of *Bombyx mori* L. (Lepidoptera: Bombycidae). *Brazilian Journal of Biology*, 2009, **69**: 865-869
- [12] Zhang Z (张 忠), Shi W-F (史卫峰), Ye G-Y (叶恭银), et al. Effects of fly pupae cold storage on the parasitization and reproduction of *Nasonia vitripennis*. *Chinese Journal of Zoonoses* (中国人兽共患病学报), 2009, **25**(8): 824-829 (in Chinese)
- [13] Wang E-D (王恩东), Wang H-S (王华嵩). A review on nuclear technique application in production and augmentation of natural enemies for control insect pest. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica* (核农学报), 2003, **17**(4): 319-322 (in Chinese)
- [14] Noyes JS. Interactive catalogue of world Chalcidoidea (Taxapad 2002). London: Vancouver and The Natural History Museum, 2002
- [15] Wang XG, Messing RH. Two different life-history strategies determine the competitive outcome between *Dirhinos giffardii* (Chalcididae) and *Pachycropeoides vindemmiae* (Pteromalidae), ectoparasitoids of cyclorrhaphous Diptera. *Bulletin of Entomological Research*, 2007, **94**: 473-480
- [16] Tormos J, Beitia F, Böckmann EA, et al. The preimaginal phases and development of *Pachycropeoides vindemmiae* (Hymenoptera, Pteromalidae) on mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritidae). *Microscopy and Microanalysis*, 2009, **15**: 422-434
- [17] Ovruski S, Aluja M, Sivinski J, et al. Hymenopteran parasitoids on fruit-infesting Tephritidae (Diptera) in Latin America and the southern United States: Diversity, distribution, taxonomic status and their use in fruit fly biological control. *Integrated Pest Management Reviews*, 2000, **5**: 81-107
- [18] He F-Q (何凤琴). Massive Rearing of the Houseflies. Beijing: Jindun Press, 2006: 39-67 (in Chinese)
- [19] Chen Z-Z (陈中正), Liu J-B (刘继兵), He Z (贺张), et al. Strategies of *Pachycropeoides vindemmiae* parasitizing pupae of houseflies. *Chinese Journal of Ap-*

- plied Entomology (应用昆虫学报), 2011, **48**(6): 1765–1769 (in Chinese)
- [20] Godfray HCJ. Parasitoids: Behavioral and Evolutionary Ecology. Princeton: Princeton University Press, 1994
- [21] Moynihan A, Shuker D. Sexual selection on male development time in the parasitoid wasp *Nasonia vitripennis*. *Journal of Evolutionary Biology*, 2011, **24**: 2002–2013
- [22] R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2011
- [23] Crawley M. The R Book. Chichester: Wiley, 2007
- [24] Charnov EL, Los-den Hartogh RL, Jones WT, et al. Sex ratio evolution in a variable environment. *Nature*, 1981, **289**: 27–33
- [25] Zhang X (张 潘), Tan D-J (谭德讲), Li B-W (李保文), et al. Application and progress of carbon dioxide euthanasia in laboratory animals. *Chinese Journal of Comparative Medicine* (中国比较医学杂志), 2009, **19**(8): 81–84 (in Chinese)
- [26] Locatelli DP, Daolio E. Effectiveness of carbon dioxide under reduced pressure against some insects infesting packaged rice. *Journal of Stored Products Research*, 1993, **29**: 81–87
- [27] Zhao Z-H (赵紫华), He D-H (贺达汉), Hang J (杭佳), et al. Minimum amounts of suitable habitat for wheat aphid, parasitoid, and hyperparasitoid in facility-based agricultural landscapes. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(1): 206–214 (in Chinese)
- [28] Lin Q-S (林庆胜), Huang S-S (黄寿山), Hu M-Y (胡美英), et al. Fecundity of *Anagrus nilaparvatae* parasitizing two rice hopper and the evaluation of its application potential. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2009, **29**(8): 4295–4302 (in Chinese)

作者简介 贺 张,男,1991 年生,本科生。主要从事害虫生物防治研究。E-mail: hezhang282@163.com.

责任编辑 肖 红
