不同饲养温度对半闭弯尾姬蜂性比及羽化的影响*

李向永** 尹艳琼 赵雪晴 谌爱东***

(云南省农科院农业环境资源研究所 昆明 650205)

摘 要 本文在室内研究了不同化蛹温度及羽化温度对半闭弯尾姬蜂 *Diadegma semiclausum* Hellén 自然种群性比及羽化规律的影响,试验共设 4 种处理,A:化蛹温度 25℃,羽化温度 25℃;B:化蛹温度 25℃,羽化温度 22℃;C:化蛹温度 22℃,羽化温度 25℃;D:化蛹温度 22℃,羽化温度 22℃。结果表明:(1)A 处理条件下,雌、雄蜂的羽化历期为 4 d(4 ~ 7 d),羽化高峰期均为化蛹后第 5 天,羽化率分别为 11.5%、12.5%。(2)B 处理条件下,羽化历期为 5 d(5 ~ 9 d),羽化高峰期均为化蛹后第 7 天,羽化率分别为 11.5%、10.5%。(3)C 处理条件下,羽化历期为 3 d(7 ~ 9 d),雌蜂羽化高峰期为化蛹后第 7 ~ 8 天,羽化率为 9.2%,雄蜂羽化高峰期为化蛹后第 8 天,羽化率为 11.4%。(4)D 处理条件下,羽化历期为 4 d(9 ~ 12 d),羽化高峰期均为化蛹后第 10 天,羽化率分别为 13.5%、13.9%。(5)A、B、C、D 处理条件下性比(♀/总数)分别为 0.41、0.39、0.82 和 0.76。在 4 个处理温度组合中,22℃条件下化蛹的蜂蛹性比要高于 25℃,在 5% 水平上差异显著($P < 0.05$),但在化蛹温度相同时,不同羽化温度处理间差异不显著。(6)化蛹温度为 25℃和 22℃时,性比分别为 0.40 ± 0.07、0.79 ± 0.05;羽化温度为 25℃和 22℃时,性比分别为 0.59 ± 0.11、0.56 ± 0.07。方差分析结果表明化蛹温度 22℃与 25℃处理间在 1% 水平和 5% 水平均存在着显著性差异($P < 0.01$, $P < 0.05$)。(7)多元回归分析结果表明,性比(Y)、化蛹温度 X_1、羽化温度 X_2 间的线性关系为 $Y = 3.324 - 0.128X_1 + 0.012X_2$ ($R^2 = 0.753$, $F = 9.975$, $P < 0.01$)。研究表明,相对于 25℃而言,22℃左右更适合半闭弯尾姬蜂的室内扩繁。

关键词 温度,半闭弯尾姬蜂,性比,羽化率

Effects of rearing temperature on the sex ratio and eclosion of *Diadegma semiclausum*

LI Xiang-Yong** YIN Yan-Qiong ZHAO Xue-Qing CHEN Ai-Dong***

(Institute of Agricultural Environment and Resource, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China)

Abstract Experiments on the effect of temperature on the sex ratio and eclosion characteristics of *Diadegma semiclausum* Hellén were conducted under laboratory conditions. Insects were raised at either 22℃ or 25℃ at 60% - 70% RH and under a L: D = 14: 10 light period. Four experiments, designated A, B, C and D, were carried out. In A, pupation and eclosion were measured at 25℃. In B, pupation was at 25℃ and eclosion was at 22℃. In C, pupation was at 22℃ and eclosion was at 25℃. In D, both pupation and eclosion were at 22℃. In experiment A, the eclosion period of both females and males was 4 days from the 4th to 7th day after pupation with the peak on the 5th day. The emergence of females and males was 11.5% and 12.5%, respectively. In B, the eclosion period of females and males was 5 days, from the 5th to 9th day after pupation with a peak on the 7th day. Female and male emergence was 11.5% and 10.5%, respectively. In C, the eclosion period of females and males was 3 days, from the 7th to 9th day after pupation with a peak of females on the 7th to 8th day and an emergence of 9.2%. The male eclosion peak was on the 8th day after pupation with 11.4% emergence. In D, the eclosion period of females and males was 4 days, from the 9th to 12th day after pupation with the peak on the 10th day. Emergence was 13.5% and 13.9%, respectively. The sex ratios (♀/total) in A, B, C and D were 0.41, 0.39, 0.82 and 0.76, respectively. The sex ratio of pupation at 22℃ was higher than at

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(201103021)。

** E-mail:lxybiocon@163.com

*** 通讯作者,E-mail: shenad68@163.com

收稿日期:2011-12-29,接受日期:2012-02-27

25℃ and this difference was significant at the 0.05 level ($P < 0.05$). There was no significant difference in the emergence of insects pupating at 22℃ and 25℃ ($P > 0.05$). Sex ratios were 0.40 ± 0.07 at 25℃ and 0.79 ± 0.05 at 22℃, which are significantly different at the 0.05 and 0.01 level ($P < 0.05$, $P < 0.01$). Insects that underwent eclosion at 25℃ and 22℃ had sex ratios of 0.59 ± 0.11 and 0.56 ± 0.07, respectively. Multiple regression analysis indicates a linear relationship between sex ratio (Y), pupation temperature (X_1) and eclosion temperature (X_2): $Y = 3.324 - 0.128X_1 + 0.012X_2$ ($R^2 = 0.753$, $F = 9.975$, $P < 0.01$). We conclude that, under the experimental conditions used, 22℃ was a more suitable rearing temperature for *D. semiclausum* than 25℃.

Key words temperature, *Diadegma semiclausum*, sex ratio, eclosion percentage

半闭弯尾姬蜂 *Diadegma semiclausum* Hellén 是十字花科蔬菜主要害虫小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.)幼虫期的一种重要内寄生蜂(Yang *et al.*, 1993;Talekar,1996),起源于欧洲,许多国家和地区广泛引进,并成功地控制了当地小菜蛾的危害(Verkerk and Wright, 1997; Saucke *et al.*, 2000; Momanyi *et al.*,2006;Loehr *et al.*,2007)。20 世纪 90 年代末期云南省从中国台湾省和越南引入该蜂并成功进行室内扩繁(陈宗麒等,2001),田间释放后自然寄生率可达 74.7%,超过了当地小菜蛾优势寄生蜂——东方姬蜂 *Macromollen oriental* 和小菜蛾盘绒茧蜂 *Cotesia vestalis* (陈宗麒等,2003)。

国内关于半闭弯尾姬蜂的生物学特征、扩繁、田间应用、与菜蛾绒茧蜂的种间竞争等多方面已有较多报道。8:00—13:00 是半闭弯尾姬蜂的羽化高峰时段,交配过程可分为准备、交配、结束 3 个阶段,产卵过程可分为寄主寻找和确定、穿刺和产卵、产卵结束和梳理(陈福寿等,2010)。半闭弯尾姬蜂能寄生小菜蛾 2 ~ 4 龄的幼虫,但偏爱寄生 2、3 龄幼虫;对 4 龄幼虫的寄生能力随寄主日龄增大而下降,2 ~ 4 龄小菜蛾幼虫被寄生后,总发育历期与预蛹期都比未被寄生的显著延长(蔡霞等,2005;2006),寄主植物受机械损伤或虫害后的挥发物对弯尾姬蜂起着重要的诱导作用,半闭弯尾姬蜂对被小菜蛾损伤的白菜植株的选择性大于被小菜蛾损伤的甘蓝植株(李欣等,2002;李欣和白素芬,2004)。半闭弯尾姬蜂对小菜蛾寄主的搜索能力要强于小菜蛾盘绒茧蜂(Wang and Keller, 2002),但两者在同一寄主中发育时,菜蛾盘绒茧蜂更具竞争优势(Shi *et al.*, 2004;施祖华等,2004)。半闭弯尾姬蜂多头雌蜂寄生同一寄主时,存在种内竞争,寄生蜂幼虫通过物理攻击和生理抑制途径将同类竞争者排除,1 个小菜蛾幼虫最终只能为 1 头寄生蜂提供发育所需营养(余海芳等,2010)。目前,市面常用于防治小菜蛾的化学药剂对其有较高的毒性,而 BT 等生物制剂毒性较低(Haseeb *et al.*, 2000;缪森等,2000;吴国星等,2008;尹艳琼等,2010)。

田间大面积释放寄生蜂需要首先在室内进行大量扩繁,扩繁过程中需尽可能地提高子代寄生蜂雌蜂的比例,这样既能节约成本又能提高防治效果。对于膜翅目寄生蜂而言,雌蜂由受精卵发育而成,雄蜂则由未受精卵发育而成(Gonzalez *et al.*,2004),在自然条件下寄生蜂的性比保持在一个平衡状态。而在室内饲养的过程中,由于环境条件、寄主及寄生蜂自身因素等影响,后代性比失调,大多呈现为偏雄性,增加了室内繁蜂成本。影响寄生蜂性比的因素较多,如寄主营养条件(Kenis,1996;Ishijima *et al.*,2008)、寄主体型大小(Napoleon and King,1999;Chow and Heinz,2005)、寄主密度大小(Santolamazza-Carbone and Rivera, 2003)、寄生蜂日龄(Leatemia *et al.*,1995;Kenis, 1996; Pandey *et al.*, 2009)、寄生蜂交配状况(Leatemia *et al.*,1995; Abe *et al.*,2003; Onagbola *et al.*,2007;Pandey *et al.*,2009)、寄生蜂自身密度(原建强和李欣,2008);饲养温度条件(Ishijima *et al.*,2008;Shukla,2008)、寄生蜂羽化后的学习经历(Lentz and Kester, 2008)以及共生菌 *Wolbachia* 对寄生蜂的性别调节作用(Abe *et al.*, 2003;Charlat *et al.*,2007)等。

原建强和李欣(2008)研究表明饲养温度高于 25℃时,雌蜂比例明显降低;同时,寄生蜂密度过高也会导致性比下降,但上述研究大多是针对室内饲养种群,而在室内饲养条件下,影响半闭弯尾姬蜂性比的因素较多。目前关于温度对半闭弯尾姬蜂田间种群性比的影响尚未有相关报道,本研究直接从田间采集半闭弯尾姬蜂寄生率较高的小菜蛾种群,设置不同的化蛹温度及羽化温度,以明确常规

饲养温度对半闭弯尾姬蜂性比的影响,可为室内批量繁殖寄生蜂提高性比时提供参考依据。

1　材料与方法

1.1　虫源

小菜蛾田间种群采自昆明市呈贡县马金铺镇,寄主为花椰菜,因管理粗放,小菜蛾危害严重,半闭弯尾姬蜂寄生率较高。于2010年10月26日采集小菜蛾老熟幼虫,带回室内接虫于6~8片叶的甘蓝苗上放置于各处理温度下让其自然化蛹。及时收集24 h内新鲜蜂蛹。

1.2　不同温度组合处理的羽化率

22~25℃是室内扩繁的常用温度,根据虫源数量的多少,本实验设置2个温度梯度,即化蛹温度(22 ± 1)℃、(25 ± 1)℃(RH:60%~70%,L:D=14:10);羽化温度为(22 ±1)℃、(25 ±1)℃(RH:60%~70%,L:D=14:10)。将化蛹温度和羽化温度两两组合共4个处理:(1)22℃化蛹、22℃羽化;(2)22℃化蛹、25℃羽化;(3)25℃化蛹、22℃羽化;(4)25℃化蛹、25℃羽化。每处理4次重复,20头蛹/处理。将1.1所述蛹放置于培养皿内(ø:6.5 cm,h:1.5 cm)。逐日检查蜂蛹羽化率,并将羽化后的寄生蜂放飞于作者所在研究室繁蜂箱内。

1.3　不同温度处理寄生蜂性比

温度及实验方法同1.2,逐日检查寄生蜂成虫的雌雄成蜂数量。

1.4　数据处理方法

用SPSS 13.0(SPSS Inc.)软件中的Analyze模块对逐日羽化率及性比进行*t*-测验分析显著性差异,对性比、羽化温度和化蛹温度进行多元回归分析,明确化蛹温度和羽化温度对性比的影响。

2　结果与分析

2.1　不同温度条件下的羽化进度

在化蛹温度为25℃,羽化温度为25℃的条件下,雌、雄蜂的羽化历期为4 d(4~7 d),羽化高峰期均为化蛹后第5天,羽化率分别为11.5%、12.5%,第5天后羽化率逐渐下降,至第7天下降至2.6%、2.3%;第8天后低于0.6%。雌雄蜂的羽化率各天间有所差异,第5天前雄蜂羽化率高于雌蜂,第5天后雌蜂羽化率高于雄蜂,但雌雄成蜂在整个羽化历期中差异均不显著(图1)。

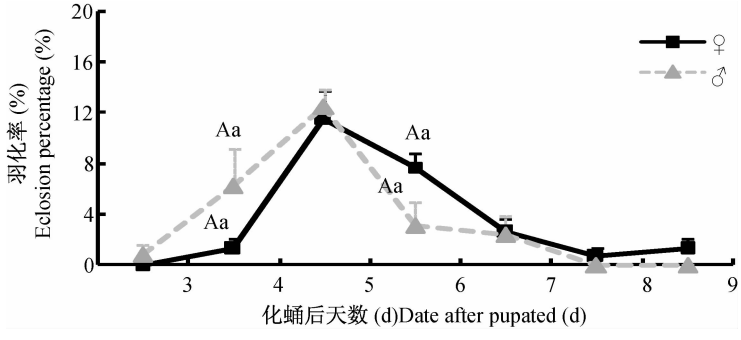

图1　半闭弯尾姬蜂蛹的逐日羽化率(25℃化蛹,25℃羽化)

Fig. 1　Day by day eclosion ratio of *Diadegma semiclausum* pupae(pupation at 25℃, eclosion at 25℃)

不同大写英文字母表示在0.01水平上差异显著,小写英文字母表示在0.05水平上差异显著,下图同。

Histograms with different capital or small letters indicate significantly different at 0.01 or 0.05 level, respectively. The same below.

在化蛹温度为25℃,羽化温度为22℃的条件下,雌雄蜂的羽化历期为5 d(5~9 d),羽化高峰期雌雄蜂均为化蛹后第7天,羽化率分别为11.5%、10.5%,第7天后羽化率逐渐下降,至第9天下降至2.1%、3.9%;雌雄蜂的羽化率在大部分时间内雌蜂高于雄蜂但雌雄成蜂在整个羽化历期中差异均不显著(图2)。在同样的化蛹温度下,随着羽化温度降低,22℃条件下羽化高峰期比25℃要晚4 d左右。

在化蛹温度为22℃,羽化温度为25℃的条件

下,雌雄蜂的羽化历期为 3 d (7 ~ 9 d),雌蜂羽化高峰期为化蛹后第 7 ~ 8 天,羽化率为 9.2%,雄蜂羽化高峰期为化蛹后第 8 天,羽化率羽化率为 11.4%;雌雄蜂第 9 天后羽化率逐渐下降至 2.3%、7.9%;雌蜂羽化率在大部分时间内低于雄蜂但在整个羽化历期中差异均不显著(图 3)。在同样的羽化温度下,随着化蛹温度降低,与图 1 结果相比,羽化高峰期要晚 4 d 左右。

在化蛹温度为 22℃,羽化温度为 22℃的条件下,雌雄蜂的羽化历期为 4 d (9 ~ 12 d),雌、雄蜂羽化高峰期均为化蛹后第 10 天,羽化率分别为 13.5%、13.9%。第 12 天后羽化率逐渐下降至 9.0%、5.5%;雌雄蜂的羽化率在大部分时间内雌蜂低于雄蜂但雌雄成蜂在整个羽化历期中差异均不显著(图 4)。在同样的羽化温度下,随着化蛹温度降低,与图 2 结果相比,羽化高峰期要晚 3 d 左右。

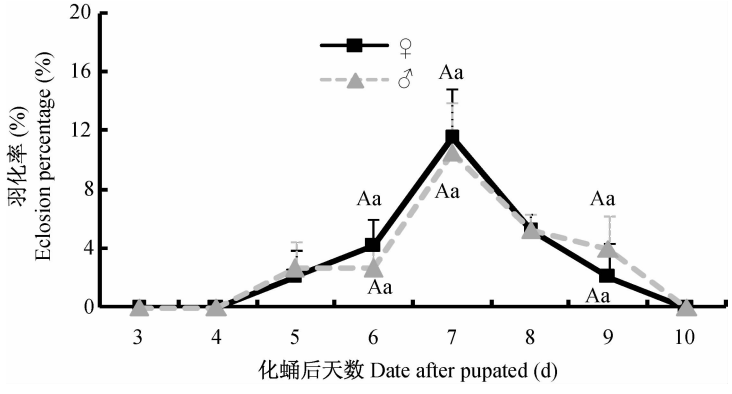

图 2 半闭弯尾姬蜂蛹的逐日羽化率(25℃化蛹,22℃羽化)

Fig. 2 Day by day eclosion ratio of *Diadegma semiclausum* pupae(pupation at 25℃, eclosion at 22℃)

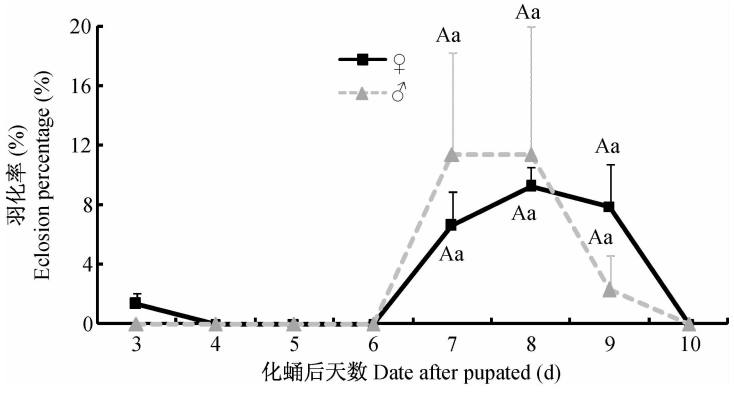

图 3 半闭弯尾姬蜂蛹的逐日羽化率(22℃化蛹,25℃羽化)

Fig. 3 Day by day eclosion ratio of *Diadegma semiclausum* pupae(pupation at 22℃, eclosion at 25℃)

2.2 不同处理温度下的性比

不同温度处理条件下半闭弯尾姬蜂性比(♀/总数)结果如图 5 所示,在不同处理下(A:25℃化蛹,25℃羽化;B:25℃化蛹,22℃羽化;C:22℃化蛹,25℃羽化;D:22℃化蛹,22℃羽化)性比分别为 0.41、0.39、0.82 和 0.76。在 4 个处理温度组合中,较低化蛹温度下的性比较高,22℃条件下化蛹的蜂蛹性比要高于 25℃,在 5% 水平上差异显著($P < 0.05$),但在化蛹温度相同时,不同羽化温度处理间差异不显著。

半闭弯尾姬蜂在不同化蛹温度及羽化温度下的性比如表 1 所示,在化蛹温度分别为 25℃和

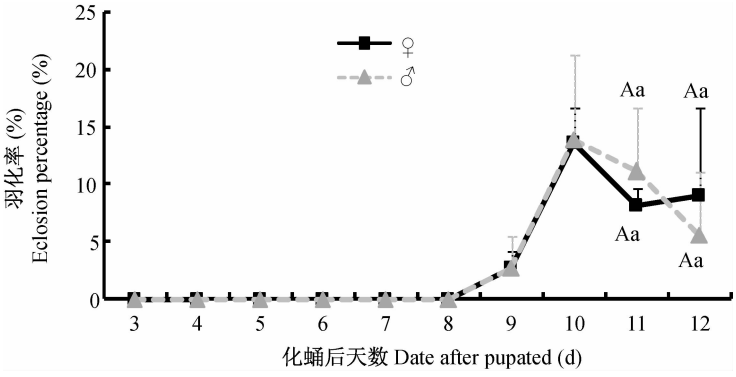

图 4　半闭弯尾姬蜂蛹的逐日羽化率(22℃化蛹,22℃羽化)

Fig. 4　Day by day eclosion ratio of *Diadegma semiclausum* pupae(pupation at 22℃, eclosion at 22℃)

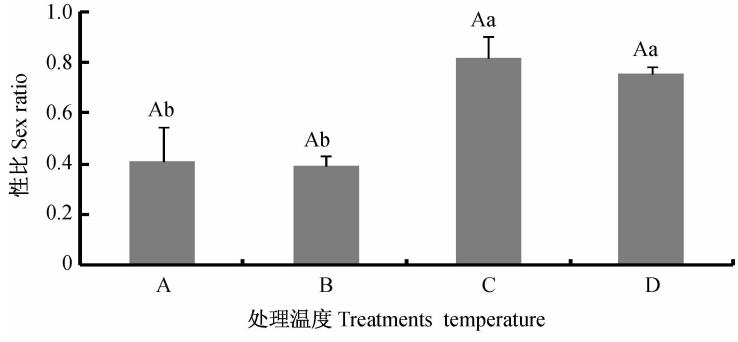

图 5　不同处理的半闭弯尾姬蜂性比(♀/总数)

Fig. 5　Sex ratio (♀/total) of *Diadegma semiclausum* at different temperature

A: 25℃化蛹,25℃羽化;B: 25℃化蛹,22℃羽化;C: 22℃化蛹,25℃羽化;D: 22℃化蛹,22℃羽化。

A:pupation at 25℃, eclosion at 25℃; B: pupation at 25℃, eclosion at 22℃; C: pupation at 22℃, eclosion at 25℃; D: pupation at 22℃, eclosion at 22℃.

22℃时,性比分别为 0.40 ± 0.07、0.79 ± 0.05;羽化温度分别为25℃和22℃时,性比分别为0.59 ± 0.11、0.56 ± 0.07。方差分析结果表明化蛹温度为22℃与化蛹温度25℃处理间在1%水平和5%水平均存在着显著性差异($P < 0.01$, $P < 0.05$)。

根据多元回归分析结果表明,性比(Y)、化蛹温度 X_1、羽化温度 X_2间的线性关系为 $Y = 3.324 - 0.128X_1 + 0.012X_2$ ($R^2 = 0.753$, $F = 9.975$, $P < 0.01$)。X_1化蛹温度的回归系数达到极显著水平,变量 X_1、X_2在回归方程中的排列顺序表明了它们对因变量(Y)影响的相对大小。这也与表 1 的方差分析结果相符,较低的化蛹温度条件下,性比较高,差异显著,化蛹温度对性比的影响较大,为提高寄生蜂雌性后代比例,应保持较低的化蛹温度;而不同羽化温度处理间差异不显著。

3　讨论

通过室内首先大量繁殖寄生蜂然后在田间释放,可在短期内增加田间寄生蜂天敌密度,提高寄生率,避免了天敌对害虫的滞后效应,是目前生物防治技术中的常用措施(蒲蛰龙,1985; 严毓骅,1998)。半闭弯尾姬蜂室内批量繁殖的适宜温度为 20 ~ 25℃(陈宗麒等,2001),温度高于 25℃时,雌蜂比例明显降低(原建强和李欣,2008),高温下批量繁殖将导致种群后代性比偏雄性。除温度会影响寄生蜂性比外,寄主、寄生蜂及寄生蜂的体内共生菌 *Wolbachia* 也会影响性比。寄主体型大小

表 1 不同温度条件半闭弯尾姬蜂性比(♀/总数)

Table 1 Sex ratio (♀/total) of *Diadegma semiclausum* at different temperature

处理 Treatments	♀/总数 ♀/Total sex ratio
A	0.4016 ± 0.0664 B b
B	0.7857 ± 0.0454 A a
C	0.5901 ± 0.1070 AB ab
D	0.5550 ± 0.0678 AB ab

注:A: 25℃化蛹,25℃羽化;B: 25℃化蛹,22℃羽化;C: 22℃化蛹,25℃羽化;D: 22℃化蛹,22℃羽化。不同大写英文字母代表在 0.01 水平上差异显著、小写英文字母代表在 0.05 水平上差异显著。

A: pupation at 25℃, eclosion at 25℃; B: pupation at 25℃, eclosion at 22℃; C: pupation at 22℃, eclosion at 25℃; D: pupation at 22℃, eclosion at 22℃. Histograms with different capital or small letters indicate significantly different at 0.01 or 0.05 level, respectively.

是影响寄生蜂性比的因素之一,Kenis(1996)研究结果表明小茧蜂 *Coeloides sordidator* 偏向于将受精卵产在体型较大的寄主内,发育为雌蜂,而将未受精卵产在体型较小的寄主体内,发育为雄蜂。蝇蛹俑小蜂 *Spalangia endius*(Napoleon and King, 1999)、巨柄啮小蜂 *Melittobia acasta*(Gonzalez *et al.*, 2004)和潜蝇姬小蜂 *Diglyphus isaea*(Chow and Heinz,2005)也存在类似现象。雌蜂日龄对性比也有较大影响,如微小赤眼蜂 *Trichogramma minutum* 和棉铃虫齿唇姬蜂 *Campoletis chlorideae* 初羽化雌蜂所产后代偏雌,而日龄较长的雌蜂所产后代则偏雄(Leatemia *et al.*, 1995; Pandey *et al.*,2009)。澳洲桉象鼻虫 *Gonipterus scutellatus* 的寄生性天敌-缨小蜂 *Anaphes nitens* 后代雌蜂比例随寄主密度的增加而升高,但当寄生蜂密度较大,过寄生现象严重时,则后代偏雄性(Santolamazza-Carbone and Rivera,2003);通过人工补充成蜂营养,可提高后代雌蜂比例,谷物金小蜂 *Pteromalus cerealellae* 饲喂 25% 蔗糖水的后代雌性比高于对照(Onagbola *et al.*,2007)。Pandey 等(2009)研究表明雄蜂日龄也是影响后代性比的一个重要因素,棉铃虫齿唇姬蜂 *Campoletis chlorideae* 雌蜂和日龄长的雄蜂交配后,所产后代偏雄性。此外,昆虫内共生菌 *Wolbachia* 对膜翅目昆虫的性比具有调节作用,具体表现诱导后代表现为孤雌生殖,后代偏雌雄(Abe *et al.*,2003; Charlat *et al.*, 2007)。

影响半闭弯尾姬蜂性比的因素较多,本研究通过直接采集寄生蜂田间种群,随机挑选蜂蛹进行处理,在一定程度上保证了其他因素如寄主体型、寄生蜂本身密度及外界环境条件对性比影响的一致性,减少了除试验温度外的试验误差。22℃是本研究室批量繁殖半闭弯尾姬蜂的常用温度,25℃是已有文献报道的最高限饲养扩繁温度,高于此温度时雌蜂比例降低,不利于寄生蜂的大量扩繁。本文通过两组化蛹温度和羽化温度的组合处理,目的在于探明不同的化蛹温度和羽化温度对性比的影响及作用大小,研究结果表明化蛹温度对性比的影响较大,22℃条件下化蛹时,后代雌蜂比例较高。但由于试验材料数量不足的局限,只设置了两组温度的处理组合,低于 22℃的其他饲养温度条件下的性比规律还有待进一步研究,如 20℃、18℃时的性比变化规律。另外,光周期、湿度等处理组合对半闭弯尾姬蜂性比的影响也待于近一步研究。

致谢:本实验所用的供试虫源由昆明市植保植检站采集提供,在此表示衷心感谢!

参考文献(References)

Abe J, Kamimura Y, Kondo N, Shimada M, 2003. Extremely female-biased sex ratio and lethal male-male combat in a parasitoid wasp, *Melittobia australica* (Eulophidae). *Behav. Ecol.*, 14(1):34 – 39.

Charlat S, Hornett EA, Fullard JH, Davies N, Roderick GK, Wedell N, Hurst GDD, 2007. Extraordinary flux in sex ratio. *Science*, 317(5835):214.

Chow A, Heinz KM, 2005. Using hosts of mixed sizes to reduce male-biased sex ratio in the parasitoid wasp, *Diglyphus isaea*. *Entomol. Exp. Appl.*, 117(3):193 – 199.

Gonzalez JM, Teran JB, Matthews RW, 2004. Review of the biology of *Melittobia acasta* (Walker) (Hymenoptera: Eulophidae) and additions on development and sex ratio of the species. *Caribb. J. Sci.*, 40(1):52 – 61.

Haseeb M, Amano H, Nemoto H, 2000. Pesticidal effects on mortality and parasitism rates of *Diadegma semiclausum*, a parasitoid of the diamondback moth. *Biocontrol*, 45(2): 165 – 178.

Ishijima C, Sato Y, Ohtaishi M, 2008. Effect of temperature

and host on the development, sex ratio, emergence rate and body size of *Trichogramma dendrolimi* Matsumura (Hymenoptera: Trichogrammatidae), an egg parasitoid of the tea tortrix. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*, 52(4):193 – 200.

Kenis M, 1996. Factors affecting sex ratio in rearing of *Coeloides sordidator* (Hym: Braconidae). *Entomophaga*, 41(2):217 – 224.

Leatemia JA, Laing JE, Corrigan JE, 1995. Effects of adult nutrition on longevity, fecundity, and offspring sex-ratio of *Trichogramma minutum* Riley (Hymenoptera, Trichogrammatidae). *Can. Entomol.*, 127(2):245 – 254.

Lentz AJ, Kester KM, 2008. Postemergence experience affects sex ratio allocation in a gregarious insect parasitoid. *J. Insect Behav.*, 21(1):34 – 45.

Loehr B, Gathu R, Kariuki C, Obiero J, Gichini G, 2007. Impact of an exotic parasitoid on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) population dynamics, damage and indigenous natural enemies in Kenya. *Bull. Entomol. Res.*, 97(4):337 – 350.

Momanyi C, Lohr B, Gitonga L, 2006. Biological impact of the exotic parasitoid, *Diadegma semiclausum* (Hellén), of diamondback moth, *Plutella xylostella* L., in Kenya. *Biol. Control*, 38(2):254 – 263.

Napoleon ME, King BH, 1999. Offspring sex ratio response to host size in the parasitoid wasp *Spalangia endius*. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 46(5):325 – 332.

Onagbola EO, Fadamiro HY, Mbata GN, 2007. Longevity, fecundity, and progeny sex ratio of *Pteromalus cerealellae* in relation to diet, host provision, and mating. *Biol. Control*, 40(2):222 – 229.

Pandey AK, Tripathi S, Tripathi CPM, 2009. Effects of parental age at mating on the fecundity and progeny sex ratio of *Campoletis chlorideae*, an endolarval parasitoid of the pod borer, *Helicoverpa armigera*. *Biocontrol*, 54(1):47 – 53.

Santolamazza-Carbone S, Rivera AC, 2003. Superparasitism and sex ratio adjustment in a wasp parasitoid: results at variance with Local Mate Competition? *Oecologia*, 136(3):365 – 373.

Saucke H, Dori F, Schmutterer H, 2000. Biological and integrated control of *Plutella xylostella* (Lep., Yponomeutidae) and *Crocidolomia pavonana* (Lep., Pyralidae) in Brassica crops in Papua New Guinea. *Biocontrol Sci. Techn.*, 10(5):595 – 606.

Shi ZH, Li QB, Li X, 2004. Interspecific competition between *Diadegma semiclausum* Hellén (Hym., Ichneumonidae) and *Cotesia plutellae* (Kurdjumov) (Hym., Braconidae) in parasitizing *Plutella xylostella* (L.) (Lep., Plutellidea). *J. Appl. Entomol.*, 128(6):437 – 444.

Shukla AN, Prasad M, Singh KP, 2008. Effect of temperature on longevity, fecundity, percent mortality, oviposition period, total development period and sex ratio of *Diaeretiella rapae* (Mcintosh) (Hymenoptera: Bracomidae). *J. Adv. Zool.*, 29(2):137 – 147.

Talekar NS, 1996. Biological control of diamondback moth in Taiwan-a review. *Plant Prot. Bull.* (*Taichung*), 38(3):167 – 189.

Verkerk RHJ, Wright DJ, 1997. Field-based studies with the diamondback moth tritrophic system in Cameron Highlands of Malaysia: Implications for pest management. *Int. J. Pest Manage.*, 43(1):27 – 33.

Wang XG, Keller MA, 2002. A comparison of the host-searching efficiency of two larval parasitoids of *Plutella xylostella*. *Ecol. Entomol.*, 27(1):105 – 114.

Yang JC, Chu YI, Talekar NS, 1993. Biological studies of *Diadegma semiclausum* (Hym, Ichneumonidae), a parasite of diamondback moth. *Entomophaga*, 38(4):579 – 586.

蔡霞, 郝仲萍, 施祖华, 陈学新, 2006. 寄主龄期对半闭弯尾姬蜂生物学特性的影响. 中国生物防治, 22(2):92 – 95.

蔡霞, 施祖华, 郭玉玲, 陈学新, 2005. 半闭弯尾姬蜂的寄主选择性及寄生对寄主发育和取食的影响. 中国生物防治, 21(3):146 – 150.

陈福寿, 王燕, 郭九惠, 陈宗麒, 李向永, 2010. 半闭弯尾姬蜂羽化、交配及产卵行为观察. 环境昆虫学报, 32(1):132 – 135.

陈宗麒, 缪森, 谌爱东, 罗开珺, 2001. 小菜蛾弯尾姬蜂室内批量繁殖的技术. 昆虫天敌, 23(4):145 – 148.

陈宗麒, 缪森, 杨翠仙, 罗开珺, 谌爱东, 沐卫东, 2003. 小菜蛾弯尾姬蜂引进及其控害潜能评价. 植物保护, 29(1):22 – 24.

李欣, 白素芬, 2004. 甘蓝植株挥发物对小菜蛾及半闭弯尾姬蜂寄主搜索行为的影响. 河南农业大学学报, 38(2):203 – 206.

李欣, 刘树生, 王栋, 2002. 寄主植物对半闭弯尾姬蜂寄主选择行为的影响. 中国生物防治, 18(4):145 – 148.

缪 森, 陈宗麒, 罗开珺, 谌爱东, 2000. 几种农药对小菜蛾弯尾姬蜂成虫毒性的测定. 植物保护, 26(5):27 – 28.

蒲蛰龙, 1985. 中国农业害虫生物防治的研究及应用. 昆虫天敌, 7(4):208 – 215.

施祖华, 李庆宝, 李欣, 刘树生, 2004. 半闭弯尾姬蜂与菜蛾盘绒茧蜂寄生菜蛾幼虫时的种间竞争. 昆虫学报,