

茶足柄瘤蚜茧蜂的滞育诱导及其寄生苜蓿蚜僵蚜的低温贮藏

刘敏¹ 刘爱萍^{1*} 韩海斌¹ 孙程鹏¹ 黄海广² 陈国泽³

(1. 中国农业科学院草原研究所, 呼和浩特 010010; 2. 内蒙古自治区林业科学研究院, 呼和浩特 010010;

3. 阿拉善右旗曼德拉苏木农牧业综合站, 内蒙古阿拉善 750300)

摘要: 为明确茶足柄瘤蚜茧蜂 *Lysiphlebus testaceipes* 人工诱导滞育的最佳条件, 于室内条件下测定不同温度和光周期处理对该蜂滞育诱导的影响, 并通过测定不同温度条件下的滞育率来确定滞育僵蚜的最佳贮藏时间。结果显示: 25℃ 下培养茶足柄瘤蚜茧蜂 120 h 达高龄幼虫时, 对其进行滞育诱导, 此时该蜂滞育率最高; 表明高龄幼虫期是其感受滞育信号的敏感时期, 蛹是该蜂的滞育虫态。在温度为 8~16℃、光照时间为 8~14 h 的范围内, 随着温度的降低和光照时间的缩短, 茶足柄瘤蚜茧蜂的滞育率呈增加趋势, 其中在 8℃、光周期 8 L: 16 D 条件下其滞育率最高, 为 73.58%; 当温度为 16℃ 时, 光照时间处于 8~14 h 范围内, 该蜂不能进入滞育状态。在 8℃ 下持续诱导 30、40 d, 茶足柄瘤蚜茧蜂的滞育率分别为 72.38% 和 67.54%。在 4℃ 下将滞育僵蚜贮藏 90 d, 与非滞育僵蚜相比, 滞育僵蚜的羽化率和子代蜂的寄生率均无显著差异; 冷藏 120 d, 滞育僵蚜的羽化率仍能达到 69.64%。表明茶足柄瘤蚜茧蜂属低温短日照滞育型昆虫, 最佳滞育诱导条件为 25℃ 培育 120 h 后, 转入 8℃、8 L: 16 D 环境中连续诱导 30 d; 滞育僵蚜在 4℃ 下可储存 90~120 d。

关键词: 茶足柄瘤蚜茧蜂; 滞育诱导; 敏感虫态; 低温贮藏

Diapause induction and cold storage of parasitoid *Lysiphlebus testaceipes* in mummified aphids

LIU Min¹ LIU Aiping^{1*} HAN Haibin¹ SUN Chengpeng¹ HUANG Haiguang² CHEN Guoze³

(1. Institute of Grassland Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hohhot 010010, Inner Mongolia

Autonomous Region, China; 2. Inner Mongolia Academy of Forestry Sciences, Hohhot 010010, Inner Mongolia

Autonomous Region, China; 3. Nelson Sumu Agriculture and Animal Husbandry Comprehensive Station,

Alashan 750300, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: The effects of temperature and photoperiod on diapause induction and storage conditions of parasitoid *Lysiphlebus testaceipes* in mummified aphids were investigated to determine the optimum conditions of diapause induction. The results showed that, the highest diapause rate was achieved when *L. testaceipes* was induced at mature larval stage after reared at 25℃ for 120 h; *L. testaceipes* received the signal for diapause at the mature larval stage and entered diapause at the pupal stage. When the temperature was 8–14℃ and day length was 8–14 h, the diapause rate significantly increased with decreasing temperature and day length. At 8℃, the highest rate of diapause was 73.58% under the photoperiod of 8 L: 16 D. When the temperature was 16℃, the photoperiod had no effect on diapause. When induced at 8℃ for 30 and 40 days, the diapause rates were 72.38% and 67.54%, respectively. The emer-

gence rate and the parasitism showed no significant difference between adults emerged from the diapaused mummified aphids stored at 4°C for 90 days and those from the non-diapaused mummies without cold storage. After cold storage for 120 d, the emergence rate of the diapaused mummies could still reach 69.64%. The optimum conditions for inducing diapause in *L. testaceipes* were: reared at 25°C for 120 h, and then moved to 8–10°C for 30 d. The optimum conditions were storing diapaused mummies at 4°C for 90–120 d.

Key words: *Lysiphlebus testaceipes*; diapause induction; sensitive stage; cold storage

近年来,在内蒙古自治区(简称内蒙古)发现苜蓿蚜 *Aphis craccivora* 严重为害紫花苜蓿 *Medicago sativa*、羊柴 *Hedysarum mongolicum* 和沙打旺 *As-tragalus adsurgens* 等牧草及防风固沙植物,如在呼和浩特市苜蓿上为害的蚜虫优势种就是苜蓿蚜,可使苜蓿减产达 41.3%~50.5% (特木尔布和等,2005)。长期以来对苜蓿蚜的控制都以化学防治为主,化学农药的不合理使用导致农产品农药残留超标,土壤、水质化学物质富集,对人、畜、环境造成严重危害(孙程鹏,2018)。利用生物防治方法来控制害虫,不仅对环境友好,而且害虫也不会产生抗药性,因此开展生物防治研究与应用具有重要的现实意义。

应用天敌昆虫对害虫进行防治具有较好的效果,如膜翅目蚜茧蜂亚科 Aphidiinae 和蚜小蜂科 Aphelinidae 的寄生性天敌对蚜虫有一定的控制作用(Eller et al., 2010; 耿淑影, 2011)。茶足柄瘤蚜茧蜂 *Lysiphlebus testaceipes* 是一种可寄生于多种蚜虫的寄生性昆虫,包括麦二叉蚜 *Schizaphis graminum*、棉蚜 *A. gossypii*、玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis*、大豆蚜 *A. glycnies*、苜蓿蚜 *A. craccivora* (Rodrigues & Bueno, 2001; Silva et al., 2008; 刘兴龙等, 2009), 是优良的天敌昆虫。在内蒙古,茶足柄瘤蚜茧蜂是苜蓿蚜的优势寄生蜂,主要寄生于苜蓿蚜低龄幼虫(刘爱萍等, 2012)。该蜂在成虫期可将卵产于蚜虫体内,待卵在蚜虫体内孵化后,靠取食蚜虫组织器官为生,蚜虫失去活动能力,逐渐僵化,最终形成僵蚜;老熟幼虫在僵蚜体内结茧、化蛹直到羽化,再交配后又寻找寄主蚜虫产卵,如此循环往复(黄海广, 2012)。应用茶足柄瘤蚜茧蜂来防治苜蓿蚜,需要进行大规模扩繁,而其中一个重要环节就是长期贮存蜂种,继代繁殖是扩繁寄生蜂的传统方法,但此方法易造成蜂源退化,长期冷藏难度较大,一般储存 1 个月后蜂种便不能羽化或羽化后生活力弱(孙程鹏, 2018)。目前,可以通过调控温度和光周期诱导该蜂进入稳定滞育状态来实现对繁殖技术的改进,延长其冷藏期,且解除滞育后蜂种仍能保持很好的活力,保证田间释放

的寄生蜂品质优良,发挥其生物防治效果(孙程鹏, 2018)。

滞育是昆虫在不良生存条件下,对环境的适应,是一种遗传现象 (Tauber et al., 1986; Saunders, 2002),能够导致虫体自身生长、发育、繁殖等生命活动暂时停滞。滞育对于昆虫来说有着积极的意义。如昆虫可以通过进入滞育状态来度过不良环境,从而使个体在不利条件下仍能继续存活;还可以保持种群发育整齐,使交配率得以提高,以确保种群的繁衍(王满困和李周直, 2004)。昆虫的滞育特性为调控其生长发育,规模化繁殖天敌,尤其是延长天敌产品的货架期提供了一种可能途径(李玉艳等, 2010; 王伟等, 2011)。大量研究证明,诱导昆虫滞育的主要因子是温度和光周期及两者间的相互作用(李秉钧等, 1963; Fantinou et al., 1995; Xue & Kallenborn, 1998)。目前,对茶足柄瘤蚜茧蜂的野外调查及释放研究发现其野外寄生率较高(郑永善和唐保善, 1989),虽然关于其生态学特性也有一定研究(黄海广等, 2011),但未见有关该蜂滞育方面的报道。本试验拟对诱导茶足柄瘤蚜茧蜂滞育的温度及光周期条件和滞育后苜蓿蚜僵蚜的贮存时长进行探究,以期茶足柄瘤蚜茧蜂的规模化生产及田间释放提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源:天敌茶足柄瘤蚜茧蜂和寄主苜蓿蚜均采自中国农业科学院草原所沙尔沁基地的羊柴上。将采集的带有苜蓿蚜的羊柴枝条轻放在室内培育的蚕豆 *Vicia faba* 苗上进行繁殖,要确保羊柴枝条上的苜蓿蚜未被任何天敌寄生,完成接蚜后用 100 目防虫网笼罩蚕豆苗,待苜蓿蚜全部转接到蚕豆苗上后移除羊柴枝,苜蓿蚜在室温(23±2°C)条件下饲养 5 代后供试。从采集的苜蓿蚜僵蚜中挑选未破壳的僵蚜,将其置于温度为 25±1°C、相对湿度为(70±1)%、光周期为 14 L: 10 D 的人工气候箱中培养,待僵蚜

中的茶足柄瘤蚜茧蜂羽化后,将其转移至长10 cm、宽3 cm的试管内饲养,以20%蜂蜜水补充营养,接至上述获得的2~3龄苜蓿蚜上,于室温下在50 cm×50 cm×50 cm养虫笼中将茶足柄瘤蚜茧蜂:苜蓿蚜按1:100的比例释放,在实验室条件下扩繁10代后供试。

供试植物:蚕豆品种为青海3号,购自呼和浩特市东瓦窑批发市场,在室温条件下培养至6~7片真叶展开时供试,将蚕豆种子均匀撒在装有黏土的高13 cm、上口径13 cm、下底径11 cm的盆中种植,每盆撒8~10粒种子,每盆留苗3~5株。

仪器:SZ51连续变倍体视显微镜,日本Olympus公司;MGC-HP人工气候箱,上海一恒科学仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 茶足柄瘤蚜茧蜂滞育诱导敏感虫态的确定

茶足柄瘤蚜茧蜂虫体小且寄生在苜蓿蚜体内,导致分龄困难,本研究结合其卵的发育时间和苜蓿蚜的形态来判断茶足柄瘤蚜茧蜂的发育历期。于室温25℃条件下,将刚羽化的茶足柄瘤蚜茧蜂接入防虫网笼罩的带有苜蓿蚜的蚕豆苗上,待苜蓿蚜被寄生后开始计时,刚被寄生的苜蓿蚜体色略微变浅,此时的茶足柄瘤蚜茧蜂处于卵期;寄生蜂卵发育至72 h,苜蓿蚜腹部呈明显膨大状态,且体色明显变淡,此时的茶足柄瘤蚜茧蜂处于低龄幼虫期(1~2龄);寄生蜂卵发育至120 h,苜蓿蚜腹部膨胀到极限时,此时的茶足柄瘤蚜茧蜂处于高龄幼虫期(3~4龄);寄生蜂卵发育至168 h,记为蛹期。按此标准分别收集处于不同发育历期的茶足柄瘤蚜茧蜂供试。

根据前期试验结果,在短光照条件下,温度对茶足柄瘤蚜茧蜂的滞育才会产生影响,因此设定光周期为8 L:16 D,光照强度为4 000~5 000 lx,设置3个处理温度8、10和12℃,分别取处于卵期、低龄幼虫期、高龄幼虫期、蛹期的茶足柄瘤蚜茧蜂,于上述条件下进行滞育诱导。共12个处理,每个处理放置5盆蚕豆苗,即5次重复,调控每盆苗上带有100个被茶足柄瘤蚜茧蜂寄生的2龄苜蓿蚜,逐日观察并记录僵蚜的形成情况。

1.2.2 温度和光周期对茶足柄瘤蚜茧蜂滞育的影响

试验设4个光周期处理14 L:10 D、12 L:12 D、10 L:14 D、8 L:16 D,5个温度处理8、10、12、14、16℃,共20个处理,每个处理3次重复,即3盆蚕豆苗。光照强度均为4 000~5 000 lx,确保每盆苗上带有100头2~3龄苜蓿蚜,接入10对初羽化的茶足柄

瘤蚜茧蜂,保证雌雄比为1:1,用100目网袋笼罩,待该蜂充分寄生24 h后除去。将接有苜蓿蚜和茶足柄瘤蚜茧蜂的蚕豆苗放入上述不同温度和光周期处理条件的人工气候箱中饲养,每日对其进行观察,待有僵蚜形成后,每日定时收集并分装于培养皿内,放置在同样温度和光周期处理条件下,记录僵蚜形成、寄生蜂羽化的日期和数量。记录最后1头僵蚜中茶足柄瘤蚜茧蜂的羽化日期,若之后的5 d内僵蚜中再无寄生蜂羽化,就将未出蜂的僵蚜转移至温度25℃、光周期14 L:10 D、相对湿度80%、光照强度8 800 lx的条件下,继续记录僵蚜中茶足柄瘤蚜茧蜂的羽化日期和数量,将未出蜂的僵蚜进行解剖,在连续变倍体视显微镜下观察并记录茶足柄瘤蚜茧蜂的存活情况以及虫态,计算滞育率。滞育率=滞育数/(滞育数+羽化数)×100%。采用发育历期法判定茶足柄瘤蚜茧蜂是否滞育,即在同一温度下,当该蜂蛹的发育历期是正常个体发育历期的2倍以上时被判定为滞育个体(孙程鹏,2018)。

1.2.3 滞育诱导时间对茶足柄瘤蚜茧蜂滞育的影响

根据1.2.2试验结果确定诱导茶足柄瘤蚜茧蜂滞育的温度和光周期组合为8℃、8 L:16 D,在此条件下进一步对滞育诱导的时长进行分析,诱导时间设为10、20、30、40 d,共4个处理,每个处理均设3次重复,试验方法同1.2.2,统计茶足柄瘤蚜茧蜂的滞育数量,计算滞育率。

1.2.4 低温贮藏对滞育僵蚜解除滞育的影响

以僵蚜的羽化率、羽化后子代成蜂的寿命及寄生率为指标,确定低温下滞育僵蚜的贮藏时间。参照1.2.2方法在温度8℃、光周期8 L:16 D条件下对僵蚜进行滞育诱导,待僵蚜滞育后,收集至培养皿并用纱网覆盖,置于4℃冷藏箱内在黑暗条件下贮藏30、60、90、120 d,每个处理3次重复,每个重复100头僵蚜。将僵蚜在温度为25℃、光周期为14 L:10 D的人工气候箱中羽化,供给20%蜂蜜水补充营养,使其自然交配,24 h后接入带有2~3龄苜蓿蚜的蚕豆苗,每对蜂接种100头苜蓿蚜,24 h后取出寄生蜂。以非滞育僵蚜处理为对照。对不同冷藏时间下僵蚜的羽化率、羽化后子代成蜂的寿命及寄生率进行统计,羽化率=出蜂数/僵蚜数×100%,寄生率=被寄生蚜虫数/蚜虫总数×100%。

1.3 数据分析

对滞育率数据完成反正弦转换后,采用DPS 15.10和SPSS 25.0软件进行方差分析,应用Duncan氏新复级差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 低温诱导茶足柄瘤蚜茧蜂滞育的敏感虫态

被茶足柄瘤蚜茧蜂寄生的苜蓿蚜,在25℃下发育24 h,此时苜蓿蚜体内的寄生蜂处于卵期,低温处理后导致高死亡率,并未见滞育个体出现;发育72 h,此时苜蓿蚜体内的茶足柄瘤蚜茧蜂处于低龄幼虫期,8℃低温处理下滞育率仅为11.53%,而12℃低温处理下未见滞育个体出现;发育120 h,此时苜蓿蚜体内的茶足柄瘤蚜茧蜂处于高龄幼虫期,任何低温处理下其滞育率都显著高于其它虫态,8℃下的滞育

率最高,达70.96%;发育168 h,此时苜蓿蚜体内的茶足柄瘤蚜茧蜂为蛹期,在8℃低温处理下的滞育率仅为2.17%,10、12℃低温处理下均未见滞育个体出现(表1)。对于茶足柄瘤蚜茧蜂来说,对高龄幼虫进行滞育处理后得到的滞育个体数最多,表明高龄幼虫是该蜂感受滞育信号的敏感虫态。由于虫体进入滞育环境中并不会立刻停止发育,而是会继续发育一段时间才进入滞育状态;因此当对高龄幼虫进行滞育诱导时,高龄幼虫会继续发育至蛹态才停止发育,因此该蜂的滞育虫态为蛹。

表1 不同虫态茶足柄瘤蚜茧蜂在不同滞育诱导条件下的滞育率

Table 1 The diapause rates of *Lysiphlebus testaceipes* of different stages under different conditions for diapause induction

25℃下发育时间/h Rearing time at 25℃	虫态 Stage of the wasp	滞育率 Diapause rate/%		
		8℃	10℃	12℃
24	卵 Egg	0.00±0.00 Dd	0.00±0.00 Cc	0.00±0.00 Bb
72	低龄幼虫 Young larva	11.53±1.52 Bb	1.15±2.31 Bb	0.00±0.00 Bb
120	高龄幼虫 Mature larva	70.96±1.82 Aa	62.25±1.85 Aa	30.58±1.12 Aa
168	蛹 Pupa	2.17±1.76 Cc	0.00±0.00 Cc	0.00±0.00 Bb

表中数据为平均数±标准误。同列不同大、小写字母分别表示经Duncan氏新复级差法检验在 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different uppercase or lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.01$ or $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test, respectively.

2.2 温度和光周期对茶足柄瘤蚜茧蜂滞育诱导的影响

当光周期固定时,滞育率随着处理温度的升高而降低,温度达到16℃时,任何光周期处理下都未出现滞育个体,14℃下,仅在8 L:16 D的短光照条件下出现滞育个体,滞育率为6.51%,其它光周期处

理下均未出现滞育个体。当温度固定时,该蜂的滞育率随着日照长度的缩短而呈上升趋势,所有温度处理中均以8 L:16 D短光照条件下的滞育率最高,8℃、8 L:16 D下该蜂的滞育率最高,达73.58%(表2)。表明茶足柄瘤蚜茧蜂属于短日照滞育型昆虫。

表2 光周期和温度对茶足柄瘤蚜茧蜂滞育的影响

Table 2 Diapause rates of *Lysiphlebus testaceipes* under different temperature and photoperiod regimes

光周期 Photoperiod	滞育率 Diapause rate/%				
	8℃	10℃	12℃	14℃	16℃
14 L:10 D	19.83±0.93 Cc	15.71±1.11 Cc	9.69±1.42 Bb	0.00±0.00 Bb	0.00±0.00 Aa
12 L:12 D	25.67±1.07 Cc	17.37±1.52 Cc	11.26±1.63 Bb	0.00±0.00 Bb	0.00±0.00 Aa
10 L:14 D	68.66±1.23 Bb	39.20±2.57 Bb	20.40±1.44 Aa	0.00±0.00 Bb	0.00±0.00 Aa
8 L:16 D	73.58±0.85 Aa	49.84±0.98 Aa	21.36±1.03 Aa	6.51±0.38 Aa	0.00±0.00 Aa

表中数据为平均数±标准误。同列不同大、小写字母分别表示经Duncan氏新复级差法检验在 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different uppercase or lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.01$ or $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test, respectively.

2.3 诱导时间对茶足柄瘤蚜茧蜂滞育诱导的影响

当诱导时间固定时,随着温度的升高,茶足柄瘤蚜茧蜂的滞育率呈下降趋势,当诱导时间为10 d时,任何温度处理下都未见滞育个体出现,低温处理下的滞育率明显高于高温处理下;当诱导滞育温度固定时,随着诱导时间的增加,该蜂的滞育率也呈增加趋势,8℃下,诱导时间为40 d时,茶足柄瘤蚜茧蜂的

滞育率最高,达到72.38%,但相较诱导时间30 d处理的滞育率67.54%来说,滞育率涨幅较小(表3)。

2.4 低温贮藏对茶足柄瘤蚜茧蜂滞育解除的影响

与对照组相比,低温贮藏30 d和60 d,滞育僵蚜中羽化的茶足柄瘤蚜茧蜂在羽化率、成蜂寿命、寄生率方面均无显著差异,而低温贮藏90 d时,滞育僵蚜中茶足柄瘤蚜茧蜂的羽化率最高,达80.20%,成蜂

寿命为 11.23 d, 寄生率为 80.61%, 且 3 个温度贮藏条件下仅在成蜂寿命上与低温贮藏 30、60 d 存在显著差异, 从实际应用的角度来看, 影响不大。为了既满足长期储存又不影响田间应用的条件, 贮藏 90 d

进行滞育解除为最适时机。当低温贮藏 120 d 时, 滞育僵蚜中茶足柄瘤蚜茧蜂的羽化率仍能达到 69.64%, 且成蜂寿命和寄生率也维持在一定水平, 表明滞育的茶足柄瘤蚜茧蜂最长低温贮藏期为 90~120 d (表 4)。

表 3 诱导时间对茶足柄瘤蚜茧蜂滞育诱导的影响

Table 3 Effects of induction time on diapause induction in *Lysiphlebus testaceipes*

诱导时间/d Induction time	滞育率 Diapause rate/%		
	8℃	10℃	12℃
10	0.00±0.00 Cc	0.00±0.00 Cc	0.00±0.00 Bb
20	29.31±1.12 Bb	25.98±1.90 Bb	13.73±1.22 Aa
30	67.54±2.58 Aa	40.63±0.94 Aa	20.10±0.85 Aa
40	72.38±1.51 Aa	43.63±2.10 Aa	22.62±0.75 Aa

表中数据为平均数±标准误。同列不同大、小写字母分别表示经 Duncan 氏新复级差法检验在 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different uppercase or lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.01$ or $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test, respectively.

表 4 低温贮藏对茶足柄瘤蚜茧蜂滞育解除的影响

Table 4 Effects of low temperature on diapause termination in *Lysiphlebus testaceipes*

低温贮藏时间/d Cool storage time	处理僵蚜数 No. of mummies	羽化率/% Emergence rate	成蜂寿命/d Adult life span	寄生率/% Parasitism rate
30	100	85.13±0.71 Aa	13.56±0.52 ABab	83.20±0.71 Aa
60	100	82.59±1.58 Aa	13.14±0.58 ABab	80.12±0.24 Aa
90	100	80.20±1.22 Aa	11.23±0.62 Bb	80.61±1.31 Aa
120	100	69.64±0.87 Bb	7.28±0.61 Cc	51.26±2.15 Bb
非滞育僵蚜 Non-diapause mummy	100	82.33±0.96 Aa	14.71±0.61 Aa	78.82±1.11 Aa

表中数据为平均数±标准误。同列不同大、小写字母分别表示经 Duncan 氏新复级差法检验在 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different uppercase or lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.01$ or $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test, respectively.

3 讨论

光照和温度是诱导昆虫滞育的主要环境因素, 一般认为低温有利于越冬滞育的诱导, 而温度总是伴随着光周期的变化来影响昆虫滞育(李丽英等, 1992)。对内寄生昆虫, 如赤眼蜂、蚜茧蜂的研究发现, 这类昆虫与一些生活史不受光照影响的昆虫如土壤昆虫、木蠹蛾等相似, 温度是诱发滞育的主要环境因子(李学荣等, 1999)。本试验成功诱导了茶足柄瘤蚜茧蜂的滞育, 该蜂感受滞育的敏感虫态为高龄幼虫, 滞育虫态为蛹, 诱导该蜂滞育的主要环境因子为低温和短光照, 属于短日照滞育类型。美国白蛾 *Hyphantria cunea* 与茶足柄瘤蚜茧蜂相似, 也属于短日照滞育昆虫, 低温和短日照有利于其滞育发生(王少博等, 2020)。苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* 同样是长日照发育-短日照滞育型昆虫, 但光周期、温度及两者的交互作用均对其滞育诱导有重要影响(刘

月英等, 2015)。短光照条件下, 温度在诱导日本平腹小蜂 *Anastatus japonicus* 进入滞育中起着至关重要的作用(赵灿等, 2019)。

本研究结果表明, 在 25℃ 下将寄生在苜蓿蚜的茶足柄瘤蚜茧蜂培养 120 h, 再转入温度 8℃、光周期 8 L: 16 D 的气候箱中持续诱导 30 d, 滞育率可达到 67.54%。朱涤芳等(1992)报道, 低温是诱导广赤眼蜂 *Trichogramma evanescens* 滞育的主要因素, 恒温 15℃ 可以诱导该蜂滞育, 滞育率在 91% 以上。李玉艳等(2013)在对烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* 滞育研究中发现, 8 L: 16 D 条件下, 温度低于 12℃ 可诱导烟蚜茧蜂进入滞育; 14 L: 10 D 条件下, 高温不能诱导该蜂滞育, 而低温下的诱导率也较低。这与本试验在温度 8~16℃、光照时间 8~14 h 范围内, 随着温度的降低和光照时间的缩短, 茶足柄瘤蚜茧蜂滞育率显著增加, 在 8℃、光周期 8 L: 16 D 条件下滞育率

最高的结果一致。本研究结果还显示,诱导茶足柄瘤蚜茧蜂滞育过程中温度起主导作用,光周期只在一定的温度范围内起作用,两者配合诱导滞育效果更佳。

滞育可延长天敌产品货架期,因此滞育诱导对茶足柄瘤蚜茧蜂的商品化生产和大规模应用具有重要意义。一般滞育解除不受光周期的控制,大多数冬季滞育的昆虫必须经过一定时间的低温处理才能解除滞育,0~10℃的低温处理能显著促进滞育解除。本试验测定了不同贮藏时间下诱导滞育的茶足柄瘤蚜茧蜂的羽化率、成蜂寿命及寄生率,结果表明贮藏时间对茶足柄瘤蚜茧蜂解除滞育后的羽化率、成蜂寿命和寄生率均存在较大影响,总体来看,贮藏90 d后该蜂的各项指标与对照组差异不显著,羽化率最高达80.20%,成蜂寿命为11.23 d,寄生率为80.61%,是解除滞育的最适时机。从实际应用出发,茶足柄瘤蚜茧蜂感受滞育信号的敏感虫态为高龄幼虫,故滞育诱导应在蚜茧蜂发育至3~4龄幼虫时进行。

在本试验中,蛹滞育率低的原因有2个:一是经过处理后蛹死亡率高,说明滞育蛹在生理上没有做好直接从适温到低温骤然变化的准备;二是在适温下蛹会继续发育,导致大部分成蜂羽化,说明大部分个体在低温下只是暂时发育受阻,未真正进入滞育,置于适宜环境条件下则继续发育。综上所述,茶足柄瘤蚜茧蜂最佳滞育诱导条件为25℃,待寄生蜂在苜蓿蚜体内培养120 h后,转入8℃、8 L:16 D条件下连续诱导30 d;最佳滞育贮存条件为4℃低温储存,但储存期不能超过120 d。本研究结果都是在恒温下进行,但在自然界中,昆虫适应不同的季节性温度变化,因此,不仅低温是诱导滞育的因素,变温也能导致昆虫滞育,在接下来的滞育研究中可以通过变温的方式进行滞育。

参 考 文 献 (References)

- ELLER FJ, TUMLINSON JH, LEWIS WJ. 2010. Effect of host diet and preflight experience on the flight responses of *Microplitis croceipes* (Cresson). *Physiological Entomology*, 17(3): 235–240
- FANTINOU AA, KARANDINOS MG, TSITSIPIS JA. 1995. Diapause induction in the *Sesamia nonagrioides* (Lepidoptera: Noctuidae) effect of photoperiod and temperature. *Environmental Entomology*, 24(6): 1458–1466
- GENG SY. 2011. Systematic study on genus *Aphelinus* Dalman (Hymenoptera, Aphelinidae) from China. Master Thesis. Harbin: Northeast Forestry University (in Chinese) [耿淑影. 2011. 中国蚜小蜂属系统分类研究(膜翅目: 蚜小蜂科). 硕士学位论文. 哈尔滨: 东北林业大学]
- HUANG HG. 2012. Basic study on the propagation technique of *Lysiphlebus testaceipes* Cresson. Master Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University (in Chinese) [黄海广. 2012. 茶足柄瘤蚜茧蜂扩繁技术的基础性研究. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学]
- HUANG HG, LIU AP, LAN AQ, ZHANG GS, WANG LH, XU LB. 2011. Preliminary study on the bionomics of *Lysiphlebus testaceipes* Cresson. *Journal of Environmental Entomology*, 33(3): 372–377 (in Chinese) [黄海广, 刘爱萍, 兰爱琴, 张国盛, 王林和, 徐林波. 2011. 茶足柄瘤蚜茧蜂生物学特性初步研究. 环境昆虫学报, 33(3): 372–377]
- LI BJ, WU WJ, HUANG KX. 1963. A preliminary study on the effect of photoperiod and temperature on the induction of diapause in the peach fruit borer (*Carposina niponensis* Walsingham). *Acta Entomologica Sinica*, 12(4): 424–431 (in Chinese) [李秉钧, 吴维均, 黄可训. 1963. 光照及温度对桃小食心虫 *Carposina niponensis* Walsingham 滞育影响的初步研究. 昆虫学报, 12(4): 424–431]
- LI LY, ZHU DF, CHEN QX, ZHANG ML, SHLIACHTICH VA, GREENBERG AM. 1992. *Trichogramma* spp diapause induced by low temperature relation to hosts. *Natural Enemies of Insects*, 14(3): 117–125 (in Chinese) [李丽英, 朱涤芳, 陈巧贤, 张敏玲, 弗·阿·希略赫基契, 阿·莫·格林别尔格. 1992. 低温诱导赤眼蜂滞育与寄主关系. 昆虫天敌, 14(3): 117–125]
- LI XR, HU C, XIN YF. 1999. Artificial induction of *Aphidius gifuensis* diapause. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*, 25(4): 435–438 (in Chinese) [李学荣, 胡萃, 忻亦芬. 1999. 烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* 滞育诱导研究. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 25(4): 435–438]
- LI YY, ZHANG LS, CHEN HY. 2010. Effect of biotic factors on diapause of parasitic wasps. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(4): 638–645 (in Chinese) [李玉艳, 张礼生, 陈红印. 2010. 生物因子对寄生蜂滞育的影响. 昆虫知识, 47(4): 638–645]
- LI YY, ZHANG LS, CHEN HY, WANG W, ZHANG J. 2013. Temperature and photoperiodic response of diapause induction in *Aphidius gifuensis*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(3): 718–726 (in Chinese) [李玉艳, 张礼生, 陈红印, 王伟, 张洁. 2013. 烟蚜茧蜂滞育诱导的温光周期反应. 应用昆虫学报, 50(3): 718–726]
- LIU AP, HUANG HG, XU LB, GAO SJ, ZHANG YH, KANG AG. 2012. Parasitic functional response of *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) to *Aphis craccivora* (Koch). *Journal of Environmental Entomology*, 34(1): 69–74 (in Chinese) [刘爱萍, 黄海广, 徐林波, 高书晶, 张玉慧, 康爱国. 2012. 茶足柄瘤蚜茧蜂对苜蓿蚜的寄生功能反应. 环境昆虫学报, 34(1): 69–74]
- LIU XL, LI XM, LIU CL, WANG KQ, WANG S, LIU Y. 2009. Research situation of soybean aphid (*Aphis glycines*). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 25(14): 224–228 (in Chinese) [刘兴龙, 李新民, 刘春来, 王克勤, 王爽, 刘宇. 2009. 大豆蚜研究进

- 展. 中国农学通报, 25(14): 224-228]
- LIU YY, LUO JC, ZHOU ZX, ZHANG DW, WEI YH. 2015. Effects of photoperiod and temperature on diapause induction in the codling moth *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Olethreutidae). *Journal of Plant Protection*, 42(1): 39-44 (in Chinese) [刘月英, 罗进仓, 周昭旭, 张大为, 魏玉红. 2015. 光周期和温度对苹果蠹蛾滞育诱导的影响. 植物保护学报, 42(1): 39-44]
- RODRIGUES SMM, BUENO VHP. 2001. Parasitism rates of *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hym.: Aphidiidae) on *Schizaphis graminum* (Rond.) and *Aphis gossypii* Glover (Hem.: Aphididae). *Neotropical Entomology*, 30(4): 625-629
- SAUNDERS DS. 2002. *Insect clock*. 3rd ed. New York: Academic Publishers
- SILVA RJ, BUENO VH, SAMPAIO MV. 2008. Quality of different aphids as hosts of the parasitoid *Lysiphlebus testaceipes* (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae). *Neotropical Entomology*, 37(2): 173-179
- SUN CP. 2018. Studies on artificial rearing and characteristics of diapause of *Lysiphlebus testaceipes* Cresson. Master Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University (in Chinese) [孙程鹏. 2018. 茶足柄瘤蚜茧蜂的人工繁育及滞育特性研究. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学]
- TAUBER MJ, TAUBER CA, MASAKI S. 1986. *Seasonal adaptations of insects*. New York: Oxford University Publishers
- TEMOERBUHE, WURITU, JIN XL. 2005. Preliminary study on the harm of aphids to alfalfa. *Inner Mongolia Prataculture*, 17(4): 56-59 (in Chinese) [特木尔布和, 乌日图, 金小龙. 2005. 蚜虫对苜蓿危害的初步研究. 内蒙古草业, 17(4): 56-59]
- WANG MQ, LI ZZ. 2004. The research advance of insect diapause. *Journal of Nanjing Forestry University*, 28(1): 71-76 (in Chinese) [王满困, 李周直. 2004. 昆虫滞育的研究进展. 南京林业大学学报, 28(1): 71-76]
- WANG SB, ZHOU Z, CHEN YM, WANG YZ, ZHANG YA, QU LJ. 2020. Photoperiod and temperature induced diapause of *Hyphantria cunea*. *Scientia Silvae Sinicae*, 56(4): 121-127 (in Chinese) [王少博, 周洲, 陈怡萌, 王玉珠, 张永安, 曲良建. 2020. 光周期和温度诱导美国白蛾滞育. 林业科学, 56(4): 121-127]
- WANG W, ZHANG LS, CHEN HY, LI YY, ZHANG J. 2011. Research progress in diapause of the lady beetles. *Plant Protection*, 37(5): 27-33 (in Chinese) [王伟, 张礼生, 陈红印, 李玉艳, 张洁. 2011. 瓢虫滞育的研究进展. 植物保护, 37(5): 27-33]
- XUE FS, KALLENBORN HG. 1998. Control of summer and winter diapause in *Pidorus euchromioides* (Lepidoptera: Zygaenidae) on Chinese sweetleaf *Symplocos chinensis*. *Bulletin of Entomological Research*, 88: 207-211
- ZHAO C, XIA Y, GUO Y, LI M, ZHANG BX, LI DS. 2019. The study on diapause induction of *Anastatus japonicus* Ashmead. *Chinese Journal of Biological Control*, 35(2): 282-287 (in Chinese) [赵灿, 夏玥, 郭义, 李梅, 张宝鑫, 李敦松. 2019. 平腹小蜂滞育诱导研究. 中国生物防治学报, 35(2): 282-287]
- ZHENG YS, TANG BS. 1989. Field release and recovery of an introduced aphid parasitoid, *Lysiphlebus testaceipes* [Hym.: Braconidae] in Shaanxi. *Chinese Journal of Biological Control*, 5(2): 68-70 (in Chinese) [郑永善, 唐保善. 1989. 茶足柄瘤蚜茧蜂引种研究. 中国生物防治学报, 5(2): 68-70]
- ZHU DF, ZHANG ML, LI LY. 1992. A study on the diapause and cold-storage technique of *Trichogramma evenescens*. *Natural Enemies of Insects*, 14(4): 173-176 (in Chinese) [朱涤芳, 张敏玲, 李丽英. 1992. 广赤眼蜂滞育及储藏技术研究. 昆虫天敌, 14(4): 173-176]

(责任编辑: 李美娟)