

利用柞蚕卵繁殖的松毛虫赤眼蜂的适宜冷贮虫期和温度

耿金虎^{1,2}, 沈佐锐^{1*}, 李正西¹, 张帆³

(1 中国农业大学昆虫学系, 北京 100094 2 北京市农林科学院, 农业科技信息研究所, 北京 10089;

3 北京市农林科学院, 植物保护环境保护研究所, 北京 100089)

摘要: 我国普遍利用柞蚕 *Antheraea pernyi* 卵大量繁殖和释放赤眼蜂防治多种农林害虫。对赤眼蜂进行冷贮有助于其商品化生产、运输和释放应用。为了全面评价冷贮对柞蚕卵繁殖赤眼蜂的影响, 作者采用柞蚕卵为寄主, 以贮存温度 (4℃、7℃、10℃和13℃)、贮存虫期 (卵、幼虫、预蛹和蛹期) 和贮存时间 (2周、4周、6周和8周) 为参试因子, 研究了冷贮对松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* 羽化出蜂率、单卵出蜂数、单卵雌蜂比的影响。结果表明, 3个因素均可单独或交互显著影响羽化出蜂率和单卵出蜂数, 尤以贮存虫期的影响更为明显; 但3个因素对单卵出蜂性比影响不大。综合各冷贮虫期对低温的反应, 松毛虫赤眼蜂对10℃反应最敏感, 各虫期羽化出蜂率和单卵出蜂数明显降低, 不适宜长期冷贮; 对7℃反应相对较不敏感, 最适宜长期贮存。在适宜长期冷贮温度 (4℃和7℃) 条件下, 适宜贮存虫期有所不同, 4℃下为幼虫期和蛹期, 7℃下为卵期和蛹期, 在这些虫期和贮存温度条件组合下羽化出蜂率和单卵出蜂数相对于其他虫期受冷贮的不利影响较小。从对羽化出蜂率的影响来看, 于卵期7℃下冷贮为最适宜; 从对单卵出蜂数的影响来看, 于蛹期在4℃和7℃冷贮为适宜。

关键词: 柞蚕卵; 松毛虫赤眼蜂; 冷贮; 出蜂率; 平均出蜂数

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296 (2005) 06-0903-07

Optimal stage and temperature for cold storage of *Trichogramma dendrolimi* reared on *Antheraea pernyi* eggs

GENG Jin-Hu¹, SHEN Zuo-Rui^{1*}, LI Zheng-Xi¹, ZHANG Fan² (1. Department of Entomology, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 2. Institute of Information on Science and Technology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100089, China; 3. Institute of Plant Protection and Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100089, China)

Abstract: *Trichogramma* wasps reared on *Antheraea pernyi* eggs have been widely used throughout China as biological control agent against some pests. Cold storage facilitates more effective commercial rearing, transportation and inundative releases of *Trichogramma* spp. The effects of storage temperature (4℃, 7℃, 10℃ and 13℃), stage (egg, larva, prepupa and pupa) and period (2 weeks, 4 weeks, 6 weeks and 8 weeks) on *Trichogramma dendrolimi* reared on *A. pernyi* eggs were investigated by comparing the adult emergence rate, number of wasps per host egg and female ratio in different combinations of storage temperature, stage and period. The results showed these three factors of storage temperature, stage and period substantially influenced the adult emergence rate, number of wasps per host egg, but not the female ratio, separately or mutually. Among all storage temperatures tested, *T. dendrolimi* was most susceptible to 10℃, its emergence rate was greatly impacted at this temperature, and therefore 10℃ was considered to be unfavorable temperature for long-time storage. *T. dendrolimi* was not susceptible to 7℃ comparatively, which could be the favorable temperature for long-time storage. Favorable storage stage for long-term storage was different at different temperatures (4℃ and 7℃). Larva and pupa stages at 4℃ and egg and pupa stages at 7℃ were found to be the most appropriate stages for cold storage, and in these combinations of storage temperature and stage less adverse effects on the adult emergence rate and number of wasps per host egg were found compared with other combinations of storage temperature and

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30370961); 国家教委博士点基金资助项目 (20020019013)

作者简介: 耿金虎, 男, 1977年6月生, 山东莱西人, 博士, 主要从事昆虫生态学及昆虫授粉方面研究, E-mail: gengjh@126.com

* 通讯作者 Author for correspondence. Email: ipmist@cau.edu.cn

收稿日期 Received: 2005-02-28; 接受日期 Accepted: 2005-06-23

stage. Evaluated by the adult emergence rate, the optimal stage and temperature combination for cold storage of *T. dendrolimi* reared on *A. pernyi* eggs was egg stage at 7 °C; while evaluated by the number of wasps per host egg, the optimal combination was pupa stage at 4 °C and 7 °C.

Key words: *Antheraea pernyi*; *Trichogramma dendrolimi*; cold storage; adult emergence rate; number of wasps per host egg

赤眼蜂 *Trichogramma* spp. 是全世界害虫生物防治中研究最多、应用最广的一类卵寄生蜂（刘树生和施祖华，1996）。上世纪 50 年代以来，我国在开展赤眼蜂研究和应用方面取得了举世瞩目的成就，是目前世界上应用赤眼蜂防治害虫面积最大的国家之一（詹根祥和梁广文，1999）。柞蚕 *Antheraea pernyi* Guerin-Meneville 卵粒大，具有较高的繁蜂效率，价格低廉，便于储运，是我国赤眼蜂商品化生产中最重要的人工繁蜂中间寄主。由柞蚕卵繁殖的松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* Matsumura 是我国最主要的生防产品，广泛应用于防治多种农林害虫（王承伦等，1998；万方浩等，2000）。

目前，赤眼蜂的应用主要依靠淹没式释放，这种释放方式在特定时期需要大量的赤眼蜂（Li，1994）。因此，对赤眼蜂贮存的研究有助于实现和推动其商品化生产、运输和释放应用，并可据此设计赤眼蜂的周年生产流程，增加生产用蜂的积累，降低规模化繁蜂的成本。赤眼蜂的冷贮包括预先诱导其滞育贮存和直接贮存两种方式（Greenberg *et al.*，1996）。前者需要一定的滞育诱导和解除时间。一些赤眼蜂蜂种如甘蓝夜蛾赤眼蜂 *T. brassicae* Bezdenko、广赤眼蜂 *T. evanescens* Westwood 等可被诱导进入滞育（朱涤芳等，1992；Bigler，1994），从而可能被长期冷贮（李丽英等，1992；Garcia *et al.*，2002）。松毛虫赤眼蜂虽有报道可在室内诱导其进入滞育，但以柞蚕卵为繁殖寄主时难以获得稳定和理想的滞育率，且无合适解除滞育的方法（李丽英等，1992；刘树生等，1994；张荆等，1994）。因此，对于柞蚕卵繁殖赤眼蜂仍主要应用直接冷贮其未成熟虫态的技术（王承伦等，1998）。

大量研究表明，赤眼蜂经冷贮后会降低其生物学指标，包括羽化率、性比、生殖力、寿命和飞翔力等（苟雪琪，1985；朱涤芳和张月华，1987；Jalali and Singh，1992；刘青云和席天元，1994；Dutton and Bigler，1995；Pitcher *et al.*，2002；陈科伟等，2004；马德英等，2004；Rundle *et al.*，2004）。但冷贮对柞蚕卵繁殖松毛虫赤眼蜂影响的研究不甚

深入和系统，仅有关于单一冷贮温度对羽化率的影响的报道（刘青云和席天元，1994）。

为了全面评价冷贮对柞蚕卵繁殖赤眼蜂的影响，作者采用柞蚕卵为寄主，以贮存温度、虫期和时间作为参试因子，研究了冷贮对松毛虫赤眼蜂羽化出蜂率、单卵出蜂数、单卵雌蜂比等 3 个指标的影响，以期为我国赤眼蜂的贮存及田间应用技术提供相应的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

蜂种选用松毛虫赤眼蜂，由吉林农业大学现代化农业研究所提供，原寄主为亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée) 卵，2004 年采自黑龙江省亚布力镇。实验开始前 4 代，用新鲜柞蚕蛾剖取腹卵在 25 °C，75% ~ 80% RH，光周期 16L : 8D 条件下繁育，接蜂时间为 24 h。

供试寄主为柞蚕卵。实验当日收集新鲜柞蚕蛾剖腹卵，经漂洗，除尽掺杂在卵粒间的虫体碎片和胶质后，挑除不成熟绿卵，放入新洁尔灭水溶液中浸泡消毒 20 min，再经脱水机脱干，室内晾干备用。

1.2 处理设置

实验中考虑 3 个因素。（1）贮存温度：(4 ± 1) °C、(7 ± 1) °C、(10 ± 1) °C 和 (13 ± 1) °C 4 个温度，用 RXZ-300 型人工气候箱控制（宁波江南仪器厂）。（2）贮存虫期：卵期、幼虫期、预蛹期和蛹期 4 个虫期，即让赤眼蜂以接蜂完毕为起点于 (25 ± 1) °C 条件下分别发育 12 h、36 h、80 h 和 128 h。各虫期参照利翠英（1961）和王承伦等（1981）的方法，由预备实验解剖观察确认，实验蜂种以接蜂完毕为起点发育至开始羽化共需约 220 h，发育至上述时数时，寄主卵内绝大多数个体分别具有上述 4 个虫期的典型特征（蛹期符合蛹前期特征）。（3）贮存时间：2 周、4 周、6 周和 8 周 4 个时间。综合 3 个因素共 64 个处理组合。以未经冷贮处理，在 (25 ± 1) °C 条件下繁育的赤眼蜂作为各处理的对照。

冷贮期间, 相对湿度 40%~60%, 光周期 0L:24D。

1.3 羽化出蜂率的测定

将柞蚕卵平铺于昆虫标本盒 (50 cm×40 cm×6 cm) 内底部, 把已开始羽化的种蜂寄生卵按盒内柞蚕卵量的 5% 均匀撒在盒内柞蚕卵上, 让蜂在 (25±1)℃, 80%~90% RH, 黑暗条件下寄生 24 h, 除尽成蜂和种蜂寄生卵后让其继续发育至本实验设计贮存虫期后, 取 3 mL 约 120 粒寄生卵放入试管 (Φ2 cm×8 cm) 中, 移入设计的贮存温度下贮存。达到设计冷贮时间后, 移入 (25±1)℃, 60%~70% RH, 光周期 16L:8D 条件下, 待其羽化出蜂后, 统计羽化出蜂率 (以具羽化孔的寄主卵数量与供试寄主卵数量的百分比估计)。每处理组合 5 管, 作为 5 次重复。

1.4 单卵羽化出蜂数和性比的测定

在上述处理 (1.3) 的同时, 各处理组合及对照另分别选取 30 粒寄生卵, 单粒分装于 2 mL 透明无色离心管中, 待其羽化出蜂完成后统计单卵羽化出蜂数和性比 (雌%)。

1.5 数据处理

对羽化出蜂率和单卵出蜂数数据 (对照组数据除外) 进行 3 因素 (贮存温度、贮存虫期和贮存时间) 方差分析。将各因素的每一组合看作为 1 个处理, 采用单因素方差分析和 Dunnett's *t*-test 检验 (单尾, 检验处理数据是否显著低于对照), 两两比较各处理与对照的羽化出蜂率和单卵出蜂数的差异显著性。以上数据分析用统计软件 SPSS 进行。数值采用平均值±标准误 (mean±SE) 表示。

2 结果与分析

2.1 冷贮对松毛虫赤眼蜂羽化出蜂率的影响

在 13℃ 下, 于蛹期贮存的赤眼蜂已于冷贮期间 2~4 周内羽化; 卵期、幼虫期和预蛹期贮存的赤眼蜂于冷贮期间 4~6 周内羽化, 故未将这些处理组合的羽化出蜂率数据列出和参与统计分析 (图 1)。3 因素方差分析结果表明, 贮存温度 ($F=106.30$; $P<0.001$)、贮存虫期 ($F=24.68$; $P<0.001$) 和贮存时间 ($F=405.52$; $P<0.001$) 均显著影响松毛虫赤眼蜂的羽化出蜂率。3 个因素对羽

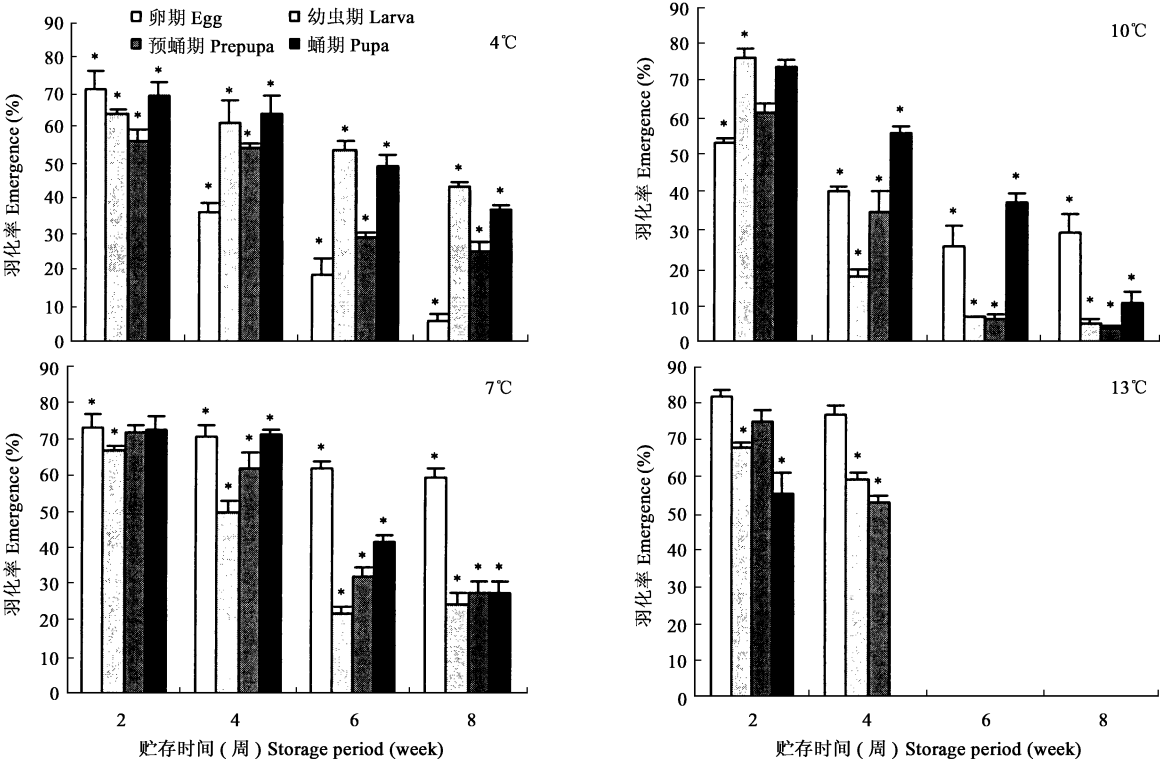


图 1 柞蚕卵繁殖的松毛虫赤眼蜂于不同发育期在不同温度下冷贮不同时间后的羽化出蜂率 (平均值±标准误)

Fig. 1 The adult emergence rate (mean±SE) of *Trichogramma dendrolimi* reared on *Antheraea pernyi* eggs after cold storage in different stages at different temperatures for different periods
柱上 “*” 表示经 Dunnett's *t*-test 检验与对照 (25℃) 差异显著 ($P \leq 0.05$). 图 2 同。

Columns with “*” indicate significant difference compared with the control at $P \leq 0.05$ by Dunnett's *t*-test. The same for Fig. 2.

化出蜂率的影响程度为：贮存时间>贮存温度>贮存虫期。3 因素间所有可能组合的交互作用也均显著影响松毛虫赤眼蜂的羽化出蜂率 ($P<0.001$)，表明贮存温度、贮存虫期和贮存时间对松毛虫赤眼蜂羽化出蜂率的影响作用不相互独立。

以柞蚕卵繁殖的松毛虫赤眼蜂在 25℃ 下发育 (对照组)，羽化出蜂率为 (83.6±4.0)%。在 4℃、7℃、10℃ 及 13℃ 下，不同贮存虫期羽化出蜂率均随贮存时间的延长而降低，其中尤以 10℃ 下受冷贮后出蜂率降低更为明显 (图 1)。单因素方差分析结果表明，在 4℃ 下，所有处理组合的出蜂率均显著低于对照 ($P<0.05$)；在 7℃ 下，除预蛹期 ($P=0.059$) 和蛹期 ($P=0.082$) 贮存 2 周处理组合外，其他各处理组合的出蜂率均显著低于对照 ($P<0.05$)；在 10℃ 下，除预蛹期 ($P=0.455$) 和蛹期 ($P=0.068$) 贮存 2 周处理组合外，其他各处理组合的出蜂率均显著低于对照 ($P<0.05$)；在 13℃ 下，除卵期贮存 2 周 ($P=0.816$) 和 4 周 ($P=0.247$) 与预蛹期贮存 2 周 ($P=0.110$) 处理组合外，其他各处理组合的出蜂率均显著低于对照 ($P<0.05$)。以上结果表明，由不同贮存温度、贮存虫期和贮存时间构成的冷贮环境大都可明显降低

羽化出蜂率，短期冷贮 (2 周内) 对赤眼蜂羽化出蜂率的影响相对较小。

总体来看，于不同虫期贮存的赤眼蜂羽化出蜂率在不同冷贮温度下表现不同。在 4℃ 下，以幼虫期和蛹期受冷贮的影响较小，贮存 6 周时羽化出蜂率仍高于 50% (图 1)；在 7℃ 下，以卵期和蛹期受冷贮不利影响影响较小，于卵期贮存 8 周时出蜂率仍可达 60% 以上，于蛹期贮存 6 周时羽化出蜂率高于 40% (图 1)；在 10℃ 下，以蛹期受冷贮的影响较小，贮存 6 周后出蜂率近于 40% (图 1)。

2.2 冷贮对松毛虫赤眼蜂出蜂数的影响

在 13℃ 下，如 2.1，于贮存期间羽化出蜂的处理组合数据也未列出和统计。3 因素方差分析结果表明 (图 2)，贮存温度 ($F=21.71$; $P<0.001$)、贮存虫期 ($F=9.72$; $P<0.001$) 和贮存时间 ($F=49.94$; $P<0.001$) 均显著影响松毛虫赤眼蜂的羽化出蜂数。3 个因素对单卵出蜂数的影响程度也为：贮存时间>贮存温度>贮存虫期。3 因素间所有可能组合中，贮存温度×贮存虫期 ($F=4.66$; $P<0.001$) 和贮存虫期×贮存时间 ($F=3.17$; $P=0.001$) 的交互作用也均显著影响松毛虫赤眼蜂的单卵出蜂数 ($P\leq0.001$)，同样表明贮存温度、

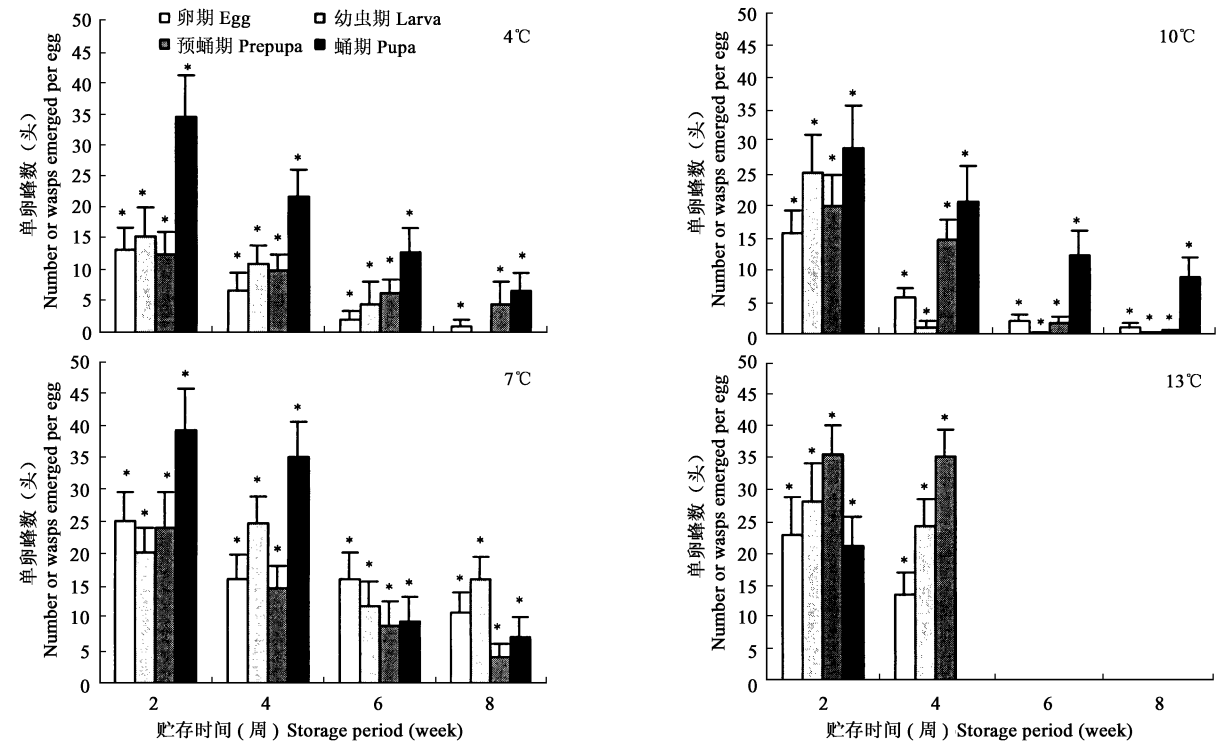


图2 柞蚕卵繁殖的松毛虫赤眼蜂于不同发育期在不同温度下冷贮不同时间后的单卵出蜂数 (平均值±标准误)

Fig. 2 Number of *T. dendrolimi* emerged (mean±SE) per *Antheraea pernyi* egg after cold storage in different stages at different temperatures for different periods

贮存虫期和贮存时间对单卵出蜂数的影响作用不相互独立。

以柞蚕卵繁殖的松毛虫赤眼蜂在 25℃下发育(对照组), 单卵出蜂数为 60.8±5.2 头。在 4℃、7℃、10℃及 13℃低温条件下, 不同贮存虫期单卵出蜂数也均随贮存时间的增加而降低, 其中以 10℃下受冷贮的影响更为明显, 卵期、幼虫期和预蛹期贮存时单卵出蜂数自冷贮 2 周起, 开始大幅下降, 至 8 周时近于或低于 5 头(图 2)。短期冷贮

(2 周内)对赤眼蜂单卵出蜂的不利影响相对较小。总体来看, 于不同虫期贮存时单卵出蜂数在不同冷贮温度条件表现近似, 均以蛹期及预蛹期贮存受影响较小。

2.3 低温贮存对松毛虫赤眼蜂出蜂性比的影响
所有处理组合的单卵出蜂均以♀蜂居多, 性比均高于 93% (表 1), 与对照组单卵出蜂性比(93.8±5.2%)比较无明显差异。

表 1 柞蚕卵繁殖的松毛虫赤眼蜂于不同发育期在不同温度下冷贮不同时间后的单卵出蜂性比(平均值±标准误)

Table 1 Female ratio of emerged *T. dendrolimi* per *Antheraea pernyi* egg (mean±SE) after cold storage in different stages at different temperatures for different periods

贮存温度 Storage temperature (℃)	贮存虫期 Storage stage	贮存时间(周) Storage period (weeks)			
		2	4	6	8
4℃	卵期 Egg	97.65±1.12	98.36±0.76	98.72±1.28	100.00±0.00
	幼虫期 Larva	96.11±1.75	96.82±0.67	98.68±2.66	98.56±0.81
	预蛹期 Prepupa	93.64±5.65	96.16±1.04	98.38±0.68	93.94±3.94
	蛹期 Pupa	96.82±0.67	94.28±1.93	95.29±1.80	98.68±2.66
7℃	卵期 Egg	95.59±0.89	97.90±0.68	97.57±0.60	98.80±0.56
	幼虫期 Larva	96.15±0.83	97.65±0.60	99.10±0.36	96.39±0.95
	预蛹期 Prepupa	94.60±1.40	96.14±1.05	95.26±2.02	97.72±1.29
	蛹期 Pupa	97.23±0.90	97.95±0.44	97.71±1.18	98.61±0.94
10℃	卵期 Egg	94.06±2.61	97.50±1.08	96.35±2.74	97.73±2.27
	幼虫期 Larva	95.95±1.21	95.08±2.89	100.00±0.00	100.00±0.00
	预蛹期 Prepupa	95.25±1.23	96.45±1.21	100.00±0.00	95.45±4.55
	蛹期 Pupa	95.58±0.65	95.91±1.20	97.03±1.08	95.62±1.75
13℃	卵期 Egg	96.02±1.18	97.93±0.58	—	—
	幼虫期 Larva	94.80±1.77	96.79±1.66	—	—
	预蛹期 Prepupa	95.09±0.91	95.51±0.91	—	—
	蛹期 Pupa	94.69±1.20	—	—	—

3 讨论

以柞蚕卵繁殖赤眼蜂, 单卵出蜂数多, 卵及幼虫期死亡率高(王承伦等, 1998; 徐春婷等, 2003)。这就要求在评价生态因子对柞蚕卵繁殖赤眼蜂的影响时, 所用的方法和测定指标需与适用于小卵繁蜂的情况有所不同。本研究结合柞蚕卵繁蜂特性, 以羽化出蜂率、单卵出蜂数和雌蜂百分率 3 项指标评价贮存虫期、温度和时间等 3 个冷贮因子对松毛虫赤眼蜂的影响, 结果表明 3 个因素均可单独或互作显著影响羽化出蜂率和单卵出蜂数, 其中尤以贮存虫期的不利影响表现明显, 但对单卵出蜂性比未表现出明显的不利影响。

温度是影响赤眼蜂发育的重要生态因子, 在一定的温度范围内, 赤眼蜂的发育速率随着温度的升高而增加(王承伦等, 1981)。李丽英等(1983)

研究了 11 种赤眼蜂对温度的反应, 结果表明发育起点温度种间有差异, 约在 10℃~14℃范围内, 发育上限温度约在 32℃~34℃之间。赤眼蜂在不同寄主内对低温的反应也不同(李丽英等, 1992)。松毛虫赤眼蜂在柞蚕卵内各虫期的发育起点温度和有效积温也不同, 卵期、幼虫期、预蛹期和蛹期的发育起点温度分别为 5.34℃、5.82℃、11.03℃和 12.06℃(王承伦等, 1981)。本研究中, 在 13℃(高于各虫期发育起点温度)下冷贮赤眼蜂, 蛹期贮存的于 2~4 周内羽化出蜂, 而卵期、幼虫期和预蛹期贮存的松毛虫赤眼蜂于 4~6 周内未知时间羽化, 羽化出蜂率和单卵出蜂数指标与其他处理组合相比, 相对较高; 与对照组相比, 指标下降相对较小, 这可能与贮存温度比发育起点温度高有关。因此, 略高于发育起点温度可考虑作为短期贮存的温度。在低于或近于发育起点温度(4℃、7℃和 10℃)下贮存, 赤眼蜂在寄主卵内处于发育停滞或

缓慢发育状态, 冷贮 8 周后仍有部分寄生卵羽化出蜂。这一结果与冷贮其他赤眼蜂种的研究结果相似 (Jalali and Singh, 1992; Pitcher *et al.*, 2002; Rundle *et al.*, 2004)。

综合比较不同贮存温度下, 各贮存虫期松毛虫赤眼蜂在不同贮存时间的羽化出蜂率和单卵出蜂数结果可知, 7°C 冷贮的不利影响小于 4°C , 这一结果近于 *T. carverae* 蛹期 8°C 冷贮优于 4°C (Rundle *et al.*, 2004) 及玉米螟赤眼蜂 *T. ostrinae* 9°C 冷贮优于 6°C (Pitcher *et al.*, 2002) 的研究结果; 而 10°C 受不利影响最大 (包括蛹期), 与 *T. carverae* 和 4 种赤眼蜂 (*T. achaeae* Nagaraja & Nagarkatti, *T. eldanae* Viggiani, *T. chilonis* Ishii, *T. japonicum* Ashmead) 最优冷贮温度为 10°C 不符 (Jalali and Singh, 1992; Rundle *et al.*, 2004), 这可能由于 10°C 是诱导松毛虫赤眼蜂滞育的最适温度, 自卵期至蛹前期均可被诱导进入滞育, 移入适温 25°C 及其他环境因子下, 不能解除滞育而继续发育至羽化, 故造成羽化率和单卵出蜂数大幅下降 (李丽英等, 1992; 张荆等, 1994)。因此, 在实践中应避免以此温度直接冷贮柞蚕卵繁殖的松毛虫赤眼蜂。

以羽化率为主要判别指标, 在不同温度下最佳贮存虫期在不同赤眼蜂种间存在差异。小卵繁殖的暖突赤眼蜂 *T. achaeae* 于 10°C 贮存最佳虫期为蛹期 (Jalali and Singh, 1992); 欧洲玉米螟赤眼蜂 *T. nubilale* 蛹期和短管赤眼蜂 *T. pretiosum* Riley 老熟幼虫和蛹期分别比其他虫期更能长期容忍 0°C 低温的不利影响 (Curl and Burbutis, 1977; Lopez and Morrison, 1980); $0^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$ 低温冷贮暗黑赤眼蜂 *T. pintoi*, 以预蛹期至蛹前期冷贮最佳 (马德英等, 2004); $3^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$ 低温冷贮卷蛾分索赤眼蜂 *Trichogrammatoidea bactrae*, 以老熟幼虫期冷贮最佳 (陈科伟等, 2004)。我们的研究也表明, 在较适宜冷贮的温度下, 适宜冷贮虫期表现不同。就羽化出蜂率指标而言, 在 4°C 下, 以幼虫期和蛹期, 7°C 下以卵期和蛹期作为贮存虫期为佳, 其中 7°C 下 4 个贮存时间中均以卵期贮存的羽化出蜂率为最高。两温度下的差异可能与卵期发育起点温度有关。但从单卵出蜂数看, 在 4°C 和 7°C 下均以蛹期作为贮存虫期为佳。

刘青云等 (1994) 报道, 柞蚕卵繁殖松毛虫赤眼蜂于幼虫期在 3°C 条件下冷贮 50 天羽化率可达 84.2%, 至 120 天时, 仍可达 73.7%。本实验结果在 4°C 下幼虫期冷贮 8 周 (56 天) 羽化率 43.4%, 与之相差较大。这主要与样本数不同有关, 刘青云等 (1994) 仅以 50 粒卵统计羽化出蜂率, 且无重复; 也有可能与我们实验中未设缓温预冷有关; 此外, 还可能与不同地理来源的松毛虫赤眼蜂 (该文中未具体指明来源) 对低温冷贮的反应存在显著差

异 (施祖华等, 1993; 刘树生等, 1994) 有关。来自于冬季温度较低的东北等地的松毛虫赤眼蜂容易被低温诱导滞育, 因而对本文中的直接冷藏极为敏感; 而来自于南方较温暖地区的松毛虫赤眼蜂不容易被低温诱导滞育, 因此相对较耐短期直接低温冷藏。另外, 不同季节松毛虫赤眼蜂对低温冷藏的反应也不同, 秋季繁殖的赤眼蜂最容易被诱导滞育, 而春季、夏季则相反。因此, 有必要进一步用不同来源的松毛虫赤眼蜂及在不同季节进行冷贮实验, 确保文中结论的普遍性。

羽化出蜂率和单卵出蜂数是反映柞蚕卵繁殖赤眼蜂质量的重要指标 (朴永范等, 1994)。本研究中, 羽化出蜂率和单卵出蜂数间总体上呈显著相关 ($r = 0.706$, $P < 0.0001$, $n = 56$), 即随羽化出蜂率增高或降低, 单卵出蜂数一般也相应增高或降低, 但在特定条件下 (如 4°C 和 7°C 下) 两者间并非都呈现相关性。因此, 分析冷贮因子及其他生态因子对柞蚕卵繁殖赤眼蜂的影响时不应只分析对羽化率的影响 (刘青云等, 1994), 而应综合考虑对羽化出蜂率和单卵出蜂数的影响, 否则易得出片面的结论。在更深入筛选最佳冷贮条件时, 还应考虑羽化出蜂的寿命、寄主搜索能力、繁殖特性等影响田间防效的指标。

参考文献 (References)

- Bigler F, 1994. Quality control in *Trichogramma* production. In: Wajnberg E, Hassan SA eds. *Biological Control with Egg Parasitoids*. England: CAB International. 93–111.
- Chen KW, Liu LZ, Fang CM, Huang SS, 2004. Effect of cold storage on mass rearing population quality of *Trichogrammatoidea bactrae*. *Journal of South China Agricultural University (Natural Science Edition)*, 25 (2): 56–59. [陈科伟, 刘丽庄, 方楚明, 黄寿山, 2004. 低温冷藏对卷蛾分索赤眼蜂繁群品质的影响. 华南农业大学学报 (自然科学版), 25 (2): 56–59]
- Curl GD, Burbutis PO, 1977. The mode of overwintering of *Trichogramma nubilale* Ertle & Davis. *Environ. Entomol.*, 6: 629–632.
- Dutton A, Bigler F, 1995. Flight activity assessment of the egg parasitoid *Trichogramma brassicae* (Hym.: Trichogrammatidae) in laboratory and field conditions. *Entomophaga*, 40: 223–233.
- Garcia PV, Wajnberg E, Pizzol J, Oliveira MLM, 2002. Diapause in the egg parasitoid *Trichogramma cordubensis*: role of temperature. *Journal of Insect Physiology*, 48: 349–355.
- Gou XQ, 1985. Cold storage test of rice moth eggs parasitized by *Trichogramma ostrinae*. *Chinese J. Biol. Control*, 1 (4): 20–21. [苟雪琪, 1985. 玉米螟赤眼蜂寄生卵低温保存技术初探. 生物防治通报, 1 (4): 20–21]
- Greenberg SM, Nordlund DA, King EG, 1996. Mass production of *Trichogramma* spp.: experience in the former Soviet Union, China, the United States and Western Europe. *Biocontrol News Inform.*, 17 (3): 51–60.
- Jalali SK, Singh SP, 1992. Differential response of four *Trichogramma*

- species to low temperatures for short term storage. *Entomophaga*, 37 (1): 159—165.
- Li CY, 1961. Development of *Trichogramma evanescens* Westwood and effect on growth of embryo of host *Attacus cynthiarini* Boisd. *Acta Entomologica Sinica*, 10 (4): 339—354. [利翠英, 1961. 赤眼蜂 *Trichogramma evanescens* Westwood 的个体发育及其对于寄主蓖麻蚕 *Attacus cynthiarini* Boisd 胚胎发育的影响. 昆虫学报, 10 (4): 339—354]
- Li LY, 1994. World-wide use of *Trichogramma* for biological control on different crops; a survey. In: Wajnberg E, Hassan SA eds. Biological Control with Egg Parasitoids. England: CAB International. 37—53
- Li LY, Zhang YH, Zhang RH, 1983. Influence of temperatures on the growth and development of *Trichogramma* spp. on interspecific and intraspecific levels. *Natural Enemies of Insects*, (1): 1—5. [李丽英, 张月华, 张荣华, 1983. 赤眼蜂生长发育与温度关系的种间及种内差异. 昆虫天敌, (1): 1—5]
- Li LY, Zhu DF, Chen QX, Zhang ML, Shliachtch VA, Greenberg AM, 1992. *Trichogramma* spp. diapause induced by low temperature relation to hosts. *Natural Enemies of Insects*, 14 (3): 117—125. [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的关系. 昆虫天敌, 14 (3): 117—125]
- Liu QY, Xi TY, 1994. Relationship between emergence rate and period of cold storage of *Trichogramma dendrolimi*. *China Cotton*, 21 (1): 13—14. [刘青云, 席天元, 1994. 松毛虫赤眼蜂低温保存时间与羽化率的关系. 中国棉花, 21 (10): 13—14]
- Liu SS, Shi ZH, 1996. Recent developments in research and utilization of *Trichogramma* spp. *Chinese J. Biol. Control*, 12 (2): 78—84. [刘树生, 施祖华, 赤眼蜂研究和应用进展. 中国生物防治, 1996, 12 (2): 78—84]
- Liu SS, Shi ZH, Shao MJ, He JH, 1994. Comparative studies of the biological characteristics of geographic populations of *Trichogramma dendrolimi* [Hym.: Trichogrammatidae] in China. V. Response to diapause induction. *Chinese J. Biol. Control*, 10 (4): 145—150. [刘树生, 施祖华, 邵明江, 何俊华, 1994. 松毛虫赤眼蜂种群间生物学特性的比较研究 V. 对滞育诱导的反应. 生物防治通报, 10 (4): 145—150]
- Lopez JD, Morrison RK, 1980. Susceptibility of immature *Trichogramma pretiosum* to freezing and sub-freezing temperatures. *Environ. Entomol.*, 9: 697—700.
- Ma DY, Li BP, Gao WS, Xu F, 2004. Effect of short-term cold storage to different development phase of *Trichogramma pintoi* among some geographical strain. *Chinese J. Biol. Control*, 20 (3): 215—217. [马德英, 李保平, 高卫时, 徐飞, 2004. 短期冷藏对不同品系暗黑赤眼蜂的影响. 中国生物防治, 20 (3): 215—217]
- Piao YF, Lin H, Shi GR, 1992. Quality control in mass-rearing of *Trichogramma* spp. *Plant Protection*, 18 (3): 28—29. [朴永范, 林晃, 史桂荣, 1992. 大规模生产赤眼蜂中的蜂体质量控制. 植物保护, 18 (3): 28—29]
- Pitcher SA, Hoffmann MP, Gardner J, Wright MG, Kuhar TP, 2002. Cold storage of *Trichogramma ostrinae* reared on *Sitotroga cerealella* eggs. *Biocontrol*, 47: 525—535.
- Rundle BJ, Thomson LJ, Hoffmann AA, 2004. Effect of cold storage on field and laboratory performance of *Trichogramma arverae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) and the response of three *Trichogramma* spp. (*T. arverae*, *T. nr. brassicae* and *T. finiculatum*) to cold. *J. Econ. Entomol.*, 97 (2): 213—221.
- Shi ZH, Liu SS, Xu WL, He JH, 1993. Comparative studies on the biological characteristics of geographic host populations of *Trichogramma dendrolimi* [Hym.: Trichogrammatidae] in China. III. Response to temperature and humidity. *Chinese J. Biol. Control*, 9 (3): 97—101. [施祖华, 刘树生, 徐伟良, 何俊华, 1993. 松毛虫赤眼蜂种群间生物学特性的比较研究. III. 对温湿度的反应. 生物防治通报, 9 (3): 97—101]
- Wan FH, Ye ZC, Guo JY, Xie M, 2000. Advances and prospects of biological control in China. *Entomological Knowledge*, 37 (2): 65—74. [万方浩, 叶正楚, 郭建英, 谢明, 2000. 我国生物防治研究的进展及展望. 昆虫知识, 37 (2): 65—74]
- Wang CL, Wang HX, Wang YA, Lu H, 1981. Studies on the relation of temperature and development of *Trichogramma dendrolimi* Matsumura. *Zoological Research*, 2 (4): 317—326. [王承伦, 王辉先, 王野岸, 路红, 1981. 松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* Matsumura 个体发育与温度的关系. 动物学研究, 2 (4): 317—326]
- Wang CL, Zhang J, Huo SR, Zhou YN, Feng JC, Liu ZC, Yang WH, Shen XC, Song MQ, Chen HY, Dai KJ, Bao JZ, 1998. Study, reproduction and utilization of *Trichogramma*. In: Bao JZ, Gu DX eds. Biological Control in China. Taiyuan: Shanxi Science and Technology Publishing House. 67—123. [王承伦, 张荆, 霍绍荣, 周运宁, 冯建国, 刘志诚, 杨五烘, 申效诚, 宋木权, 陈红印, 戴开甲, 包建中, 1998. 赤眼蜂的研究、繁殖与应用. 见: 包建中, 古德祥主编. 中国生物防治. 太原: 山西科学技术出版社. 67—123]
- Xu CT, Huang SS, Liu WH, Han SC, Chen QX, Li LY, 2003. Establishment and analysis of laboratory population life table of *Trichogramma dendrolimi* developed on *Antherea pernyi* eggs. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14 (11): 1947—1950. [徐春婷, 黄寿山, 刘文惠, 韩诗畴, 陈巧贤, 李丽英, 2003. 柞蚕卵繁殖赤眼蜂实验种群生命表的编制与分析. 应用生态学报, 2003, 14 (11): 1947—1950]
- Zhan GX, Liang GW, 1999. Research and application of *Trichogramma* in China. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 11 (2): 39—46. [詹根祥, 梁广文, 1999. 中国赤眼蜂研究和应用的历史与现状. 江西农业学报, 11 (2): 39—46]
- Zhang J, Wang JL, Yang CC, Cong B, 1994. A study on the method of inducing *Trichogramma dendrolimi* Matsumura into diapause stage. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 25 (3): 254—258. [张荆, 王金玲, 杨长成, 丛斌, 1994. 利用低温诱导松毛虫赤眼蜂滞育技术研究. 沈阳农业大学学报, 25 (3): 254—258]
- Zhu DF, Zhang ML, Li LY, 1992. A study on the diapause and cold-storage technique of *Trichogramma evanescens*. *Natural Enemies of Insects*, 14 (4): 173—176. [朱涤芳, 张敏玲, 李丽英, 1992. 广赤眼蜂贮存技术研究. 昆虫天敌, 14 (4): 173—176]
- Zhu DF, Zhang YH, 1987. Longer-term storage of *Trichogramma* spp. developed under fluctuating temperatures & photoperiod. *Natural Enemies of Insects*, 9 (2): 111—114. [朱涤芳, 张月华, 1987. 变温能使赤眼蜂耐冷贮. 昆虫天敌, 9 (2): 111—114]

(责任编辑: 袁德成)