

温度对稻螟赤眼蜂在米蛾卵上的生长发育和寄生潜能的影响

阮长春 郭若天 胡晓暄 杜文梅 臧连生 张俊杰*

(吉林省生物防治技术工程研究中心, 吉林农业大学 生物防治研究所, 长春 130118; *通讯联系人, E-mail: bio-control@126.com)

Effect of Temperature on Development and Parasitizing Capacity of *Trichogramma japonicum* Reared on the Eggs of Rice Moth (*Corcyra cephalonica*)

RUAN Changchun, GUO Ruotian, HU Xiaoxuan, DU Wenmei, ZANG Liansheng, ZHANG Junjie *

(Engineering Research Center of Natural Enemy Insect, Institute of Biological Control, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China;

*Corresponding author, E-mail: bio-control@126.com)

Abstract: 【Objective】 The research aims to reveal the effects of gradient constant temperature on development and parasitizing ability of *Trichogramma japonicum* reared on the eggs of rice moth(*Corcyra cephalonica*). **【Methods】** The life table of the experimental population of *T. japonicum* from Jilin Province at five different temperatures (15℃, 20℃, 25℃, 30℃ and 33℃) was constructed. The developmental threshold temperature and effective accumulative temperature for whole generation were calculated based on the developmental duration and rate. Then, the linear regression model was applied to simulate the growth rate. **【Results】** With increasing temperature, the number of host eggs parasitized per females rose first and then fell. The largest number was 29.75 at 30℃, and there was no significant difference between 25℃ and 30℃. However, it was obviously higher than that of the other three temperatures. The females exhibited a significant decrease in longevity as the temperature increased. The maximum survival time of females was at 15℃, longer than other temperatures. When the temperature was over 30℃, the females survived for only 0.82 days. The highest emergence rate, came at 25℃, was 98.14%, while the lowest emergence rate was 67.96%. The developmental rate was remarkably linear correlative with temperature. The developmental threshold temperature and effective accumulative temperature of whole generation were 11.49℃ and 131.39℃ per day, respectively. **【Conclusion】** The temperature was the most important factor for the population growth of *T. japonicum*. It was concluded that the best suitable temperature for industrialized reproduction ranged from 25℃ to 30℃.

Key words: *Trichogramma japonicum*; temperature; life table; developmental temperature; effective accumulative temperature.

摘 要: 【目的】 本研究旨在明确不同温度下稻螟赤眼蜂在米蛾卵上的生长发育状况及寄生潜能。**【方法】** 分别在 15℃、20℃、25℃、30℃、33℃下, 编制了吉林稻螟赤眼蜂在米蛾卵上的生命表, 根据不同温度下稻螟赤眼蜂的发育历期、发育速率计算世代发育起点温度、世代有效积温, 并采用线性回归模型对发育速率进行拟合。**【结果】** 稻螟赤眼蜂平均单雌寄生米蛾卵数随着温度的升高呈现先升高后降低的趋势, 30℃时最高, 达 29.75 粒, 除与 25℃下无显著差异外, 均显著高于其他温度; 雌蜂平均寿命随温度升高而下降, 15℃时寿命显著长于其他温度, 当温度高于 30℃时, 其寿命均短于 0.82d; 25℃时, 稻螟赤眼蜂羽化率最高, 达 98.14%; 15℃时, 羽化率最低, 只有 67.96%。稻螟赤眼蜂的发育速率与温度呈显著线性关系, 其发育起点温度为 11.49℃, 世代有效积温为 131.39℃ d。**【结论】** 利用米蛾卵繁殖稻螟赤眼蜂时, 温度对其有显著影响, 综合生命表参数、单雌寄生米蛾卵数、雌蜂寿命、羽化率等指标, 提高利用米蛾卵工厂化繁殖稻螟赤眼蜂的最佳温度为 25℃~30℃。

关键词: 稻螟赤眼蜂; 温度; 生命表; 发育起点温度; 有效积温

中图分类号: Q965.9; S476.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-7216(2018)04-0398-07

水稻二化螟(*Chilo suppressalis* Walker)和稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis* Guenée)是我国水

稻上的两种重要害虫, 在水稻主要产区均有分布。长期以来, 化学防治是防治水稻螟虫的重要措施

收稿日期: 2017-11-07; 修改稿收到日期: 2018-01-13。

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2018YFD0200200)。

[1-3]。由于长期依赖化学防治及化学农药的不合理使用, 导致目前水稻螟虫的抗药性水平不断升高, 造成了严重的经济损失, 直接威胁水稻安全[4-6]。近年来, 利用赤眼蜂开展生物防治成为治理抗药性水稻螟虫的重要方法[7-9]。稻螟赤眼蜂(*Trichogramma japonicum*)是水稻二化螟的优势卵寄生蜂[10-13], 大面积释放能够有效防治水稻二化螟和稻纵卷叶螟, 防治效果可达到60%~70%[14-15]。陈洪凡等[16]运用生命表技术对稻螟赤眼蜂在水稻二化螟和台湾螟卵上的生殖力进行评价, 发现稻螟赤眼蜂的种群增长能力显著高于水稻二化螟和台湾螟。李莹等[17]研究发现, 地理种群和温度条件均会对松毛虫赤眼蜂的雌蜂寿命、有效产卵量和羽化率有明显影响。且本地赤眼蜂蜂种可能更加适应当地的地理环境和气候条件[18], 因此, 利用本地赤眼蜂种群进行当地害虫生物防治的趋势越来越明显。2008—2010年期间, 我们对吉林省水稻二化螟卵的寄生性天敌进行了普查和鉴定, 通过雄性外生殖器形态鉴定及ITS2基因序列, 结合相关研究, 确定稻螟赤眼蜂为吉林省水稻二化螟的优势卵寄生蜂[10-13]。

1926年, Flander首次利用麦蛾卵进行赤眼蜂大量繁殖[19], 加拿大等一些国家利用地中海粉螟(*Ephestia kuehniella* Zeller)繁蜂[20]。1997年, Parra报道米蛾(*Corcyra cephalonica*)卵也可作为生产赤眼蜂的中间寄主[21-22], 在我国台湾、美国和泰国等地区大量用于繁殖卷蛾分索赤眼蜂(*Trichogrammatoidea bactrae*), 防治棉红铃虫(*Pectinophora gossypiella*)和小菜蛾(*Plutella xylostella*) [23-25]。宋静等[26]研究发现, 米蛾卵可以作为繁育寄主工厂化繁育稻螟赤眼蜂, 用于防治水稻二化螟。由于米蛾成虫收集难度大, 阻碍了米蛾卵工厂化繁殖赤眼蜂的进程。2012年, 阮长春等发明了一种米蛾成虫收集的新方法, 申请了饲养盒和水田赤眼蜂放蜂器等专利[27-29], 大力推动了米蛾卵繁蜂技术。本研究以吉林采集的稻螟赤眼蜂作为测试寄生蜂, 以米蛾卵为测试寄主卵, 应用生命表技术评价了不同发育温度对稻螟赤眼蜂寄生潜能的影响, 以期利用米蛾卵工厂化繁殖稻螟赤眼蜂提供重要的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

2009年用二化螟卵块诱集方法, 在吉林农业大学水稻试验田获得稻螟赤眼蜂, 经形态学和分子生物学鉴定, 确定为稻螟赤眼蜂[12-13]。在实验室内温

度(25±1)℃, 相对湿度(75±5)%, 14h光照/10h黑暗光周期下, 用米蛾卵续代繁殖。

1.2 供试寄主

米蛾在室内用70%玉米面+20%麦麸+7%糖+3%酵母饲养[30], 羽化后收集成蛾于产卵笼内产卵。以当日收集、清洁的米蛾卵作为稻螟赤眼蜂寄主。繁蜂前经30 W的紫外灯照射30 min, 杀死其胚胎。

1.3 试验方法

参照黄寿山等[31]、何余容等[32]方法, 分别构建5个恒温梯度(15℃、20℃、25℃、30℃、33℃)下稻螟赤眼蜂的生命表, 取接种1 h以内的寄主卵作为供试材料。记录好接种时间作为X计算的起点, X以24 h为单位。在赤眼蜂羽化当日, 让其充分交配6 h以后的雌蜂单头接入备有200粒左右米蛾卵的试管中, 每个处理50~60个重复。每24 h更换一次卵粒, 将更换下来的卵粒放到相同实验条件下继续培养, 每4 h观察并记录每头雌蜂的存活情况, 每24 h记录逐日产雌数(逐日产雌数是在子代蜂羽化后的实际统计结果), 逐日寄生卵数作为繁殖力估值。

1.4 生命表参数的计算

参照徐汝梅等[33]生命表参数计算方法。

$$R_0 = \sum l_x m_x; \quad T = \frac{\sum X l_x m_x}{\sum l_x m_x}; \quad r = \frac{\ln R_0}{T}; \quad \lambda = e^{r_m};$$

式中: R_0 为净生殖力; T 为世代平均周期; r 为瞬时增长率; λ 为周限增长率; X 为雌蜂日龄(d)(以接种时间为起点); l_x 为雌蜂逐日的存活率; m_x 为雌蜂逐日产雌数。

1.5 发育起点温度、有效积温的估算及发育速率与温度之间的线性回归

根据有效积温法则, 采用最小二乘法, 按照张孝曦[34]的方法计算吉林本地稻螟赤眼蜂世代发育起点温度(C)、世代有效积温(K)及其标准误 S_C 和 S_K 。计算公式如下:

$$K = \frac{n \sum VT \sum V \sum T}{n \sum V^2 - (\sum V)^2}; \quad S_K = \sqrt{\frac{\sum (T-T')^2}{(n-2) \sum (v-\bar{v})^2}};$$

$$C = \frac{\sum V^2 \sum T - \sum V \sum VT}{nn \sum V^2 - (\sum V)^2}; \quad S_C = \sqrt{\frac{\sum (T-T')^2}{(n-2) \left[\frac{1}{n} + \frac{v^2}{\sum (v-\bar{v})^2} \right]}};$$

式中 n 为处理数; V 为发育速率, 是发育历期的倒数; T 为处理温度; T' 为理论发育温度。

1.6 数据统计与分析

试验数据利用 DPS 数据处理系统及 Microsoft Excel 2007 软件进行处理、分析。发育速率与温度关系, 采用线性回归模型进行拟合。

表1 稻螟赤眼蜂在米蛾卵上的繁殖特征生命表
Table 1. Reproductive properties of *Trichogramma japonicum* on eggs of *Corcyra cephalonica*.

温度 Temperature/℃	日期 Date	发育历期 Developmental duration/d	存活雌蜂数 No. of surviving females	l_x	逐日寄生卵数 Daily parasitic eggs	逐日产雌数 Daily female progeny laid	m_x	$l_x m_x$	$x l_x m_x$
15	05—26	0							
	06—24	29	74	1	752	462	6.2432	6.2432	181.0541
	06—25	30	52	0.703	53	8	0.1538	0.1081	3.2432
	06—26	31	4	0.054	3	0	0	0	0
	06—27	32	0	0	0	0	0	0	0
	合计 Total				808	470	6.3971	6.3514	184.2973
20	07—31	0							
	08—19	19	66	1	1404	1008	15.2727	15.2727	290.1818
	08—20	20	2	0.03	101	36	18	0.5455	10.9091
	08—21	21	0	0	0	0	0	0	0
	合计 Total				1505	1044	33.2727	15.8182	301.0909
25	05—06	0							
	05—15	9	54	1	1576	1364	25.2593	25.2593	227.3333
	05—15	10	0	0	0	0	0	0	0
	合计 Total				1576	1364	25.2593	25.2593	227.3333
30	05—09	0							
	05—16	7	57	1	1693	1439	25.2456	25.2456	176.7193
	05—17	8	0	0	0	0	0	0	0
	合计 Total				1693	1439	25.2456	25.2456	176.7193
33	05—16	0							
	05—22	6	67	1	426	259	3.8657	3.8657	23.19403
	05—23	7	0	0	0	0	0	0	0
	合计 Total				426	259	3.8657	3.8657	23.19403

l_x —雌蜂逐日存活率; m_x —雌蜂逐日产雌数。
 l_x , Percentage of daily surviving females; m_x , Average daily progeny females laid by females.

2 结果与分析

2.1 不同温度下稻螟赤眼蜂对米蛾卵的寄生潜能

利用生命表种群技术分析不同温度下稻螟赤眼蜂对米蛾卵的寄生潜能(表1)。在15℃、20℃、25℃、30℃和33℃下,稻螟赤眼蜂发育时间随温度升高明显缩短,羽化当日产卵量均最高,分别占其总产卵量的93.07%、93.29%、100%、100%、100%,随时间延长产卵数量逐渐减少。稻螟赤眼蜂羽化当日的产雌率在25℃下最高(86.55%),其次为30℃(84.99%)、20℃(71.79%)、15℃(61.44%),33℃时最低,只有55.64%,并随着产卵期延长产雌率下降。

2.2 稻螟赤眼蜂在米蛾卵上的生命表参数及寄生特性比较

不同温度下稻螟赤眼蜂在米蛾卵上的繁殖生命表参数见表2。温度不同时,稻螟赤眼蜂的 R_0 、 T 、 r 、 λ 值均存在一定的差异。净生殖力 R_0 在25℃下最高(25.2593),其次是30℃下(25.2456),33℃下最低,只有3.8657。世代平均周期 T 随着温度的升高明显缩短,15℃时最长(29.017d),其次为20℃、

25℃、30℃和33℃。瞬时增长率 r 和周限增长率 λ 在30℃时最高,达到0.4612和1.5860,其次为25℃(0.3588和1.4316),15℃时最低,只有0.0637和1.0658。在足量米蛾卵时,稻螟赤眼蜂在不同温度下的平均单雌寄生卵量存在显著性差异($F_{4,10}=757.17, P<0.0001$),30℃,单雌寄生卵量最高达29.75粒,与25℃时无显著性差异,但均显著高于其他温度;在无任何营养补给的情况下,稻螟赤眼蜂雌蜂寿命随着温度的升高显著减少($F_{4,10}=785.91, P<0.0001$)。温度不同时,寄生米蛾卵后的羽化率也存在显著性差异($F_{4,10}=67.53, P<0.0001$),25℃时羽化率最高(98.14%),除与30℃时差异不显著外,均与其他温度下的羽化率存在显著性差异。综合各指标,在5个温度下繁殖本地稻螟赤眼蜂的最佳温度为25℃~30℃。

2.3 稻螟赤眼蜂世代发育起点温度、有效积温及发育速率与温度的线性回归模型

根据稻螟赤眼蜂在不同温度下的发育历期计算得出其世代发育起点温度为(11.49±1.15)℃,世代有效积温为(131.39±10.34) d·℃。将不同温度下稻螟赤眼蜂发育速率 V 与温度 T 之间进行线性回归分析

表2 不同温度下稻螟赤眼蜂在米蛾卵上的寄生特性比较

Table 2. Comparisons of parasitism properties of *Trichogramma japonicum* on *Corcyra cephalonica* eggs.

温度 Temperature/℃	净生殖力 R_0 Net fecundity	世代平均周期 T Mean generation time	瞬时增长率 r Intrinsic rate of natural increase	周限增长率 λ Finite rate of increase	单雌寄生卵数 Number of eggs parasitized	雌蜂寿命 Longevity of female/d	羽化率 Percentage of emergence/%
15	6.3514	29.0170	0.0637	1.0658	10.43±0.08 c	2.24±0.02 a	67.96±2.65 c
20	15.8182	19.0345	0.1451	1.1561	22.49±0.32 b	1.62±0.01 b	78.47±0.57 b
25	25.2593	9.0000	0.3588	1.4316	29.19±1.17 a	1.11±0.06 c	98.14±0.37 a
30	25.2456	7.0000	0.4612	1.5860	29.75±0.86 a	0.82±0.01 d	96.62±3.78 a
33	3.8657	6.0000	0.2254	1.2528	6.37±0.28 d	0.69±0.01 e	82.12±2.07 b

(图 1), 结果显示, 发育速率与温度之间呈如下显著线性关系: $V = -0.0840 + 0.0075T (R = 0.9908, P = 0.0011, F = 161.21)$ 。

3 讨论

温度是影响赤眼蜂发育、羽化、繁殖等指标的重要生态因子。陈鹏等^[35]研究了榆紫叶甲赤眼蜂 (*Asynactaam brostomae*) 对榆紫叶甲卵 (*Ambrostoma quadriimpressum* Motschulsky) 的寄生功能, 在 14℃~30℃ 时其寄生能力随着温度的升高而增加, 30℃ 时其寄生能力最高, 达 117.48 粒。陈洪凡等^[36]研究了两种赤眼蜂发育速率与恒温的关系, 发现在 10℃~30℃ 时, 两种赤眼蜂发育速率迅速上升, 在 30℃~35℃ 时, 两种赤眼蜂发育速率相对平稳。在赤眼蜂工厂化生产过程中常出现由于环境温度、寄主质量、个体数量等引起寄生蜂生活力、寄生力、繁殖能力降低的问题, 致使防治害虫效果不佳^[37]。本研究编制了稻螟赤眼蜂吉林种群在不同温度下的繁殖生命表, 结果表明, 在 15℃~33℃ 内, 稻螟赤眼蜂均能发育出蜂, 发育历期随温度的升高而缩短, 由 15℃ 的 32d 缩短至 33℃ 的 7d, 温度和发育速率之间成显著线性相关。这与许多寄生蜂如大蛾卵跳小蜂 (*Ooencyrtus kuwanae*)、丽蚜小蜂 (*Encarsia Formosa*)^[38-39] 的研究结果一致。

通过比较不同温度下稻螟赤眼蜂在米蛾卵上的生命表参数可知, 25℃~30℃ 时, 稻螟赤眼蜂吉林种群的净生殖力 (R_0) 最大, 表现出最强的寄生能力, 而且其瞬时增长率 (r) 和周限增长率 (λ) 值相比其他温度均最高, 说明利用米蛾卵工厂化繁殖稻螟赤眼蜂的最适宜温度是 25℃~30℃ 之间。除此之外, 原晓华等研究了稻螟赤眼蜂吉林种群在 18℃~34℃ 时对水稻二化螟卵的寄生的影响, 结果表明在 26℃ 时, 其寄生数量最多^[11]。研究发现, 稻螟赤眼蜂发育起点温度和有效积温分别为 11.49℃ 和 131.39

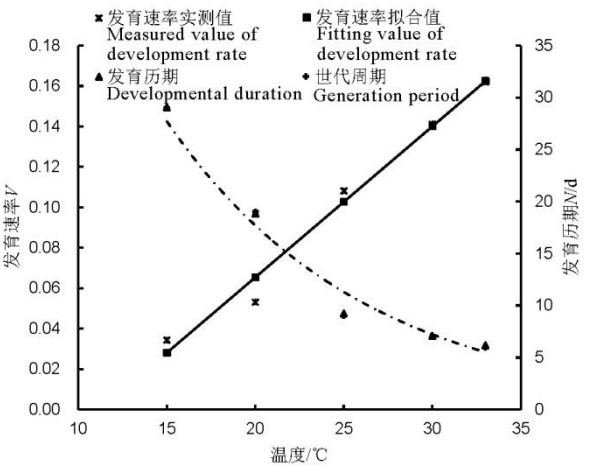


图 1 稻螟赤眼蜂在不同温度的发育速率与发育历期
Fig. 1. Growth rates and developmental duration of *Trichogramma japonicum* at different temperatures.

d℃。李丽英等^[40]比较了 11 种赤眼蜂对温度的响应, 发现广东稻螟赤眼蜂发育起点温度和有效积温分别为 11.09℃ 和 134.34 d℃, 其最适温度为 27℃, 这些研究结果均与本研究结果基本一致。

在自然条件下, 除温度之外, 湿度、光、降水、风等因素也影响昆虫的生长发育及繁殖, 且自然界中的温度等环境条件并不是恒定的。因此, 在应用时要考虑到变化的生态环境条件对赤眼蜂种群的影响, 从而筛选适应不同地区害虫生物防治的优良蜂种。

参考文献:

[1] 张帅, 李建洪, 张绍明, 张凯雄, 周群芳. 杀虫剂对长江中下游地区水稻害虫田间防效. 农药, 2016, 55(7): 530-535.
Zhang S, Li J H, Zhang S M, Zhang K X, Zhou Q F. Control efficacy of insecticides on the rice insect pests in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River.

- Agrochemicals*, 2016, 55(7): 530-535. (in Chinese with English abstract)
- [2] 何月平, 邵振润, 陈文明, 梁桂梅, 李永平, 周威君, 沈晋良. 防治水稻二化螟的高毒农药替代药剂的室内筛选. *中国水稻科学*, 2008, 22(3): 313-320.
He Y P, Shao Z R, Chen W M, Liang G M, Li Y P, Zhou W J, Shen J L. Laboratory screening of alternative insecticides for highly toxic insecticides against the striped stem borer(*Chilosuppressalis*) on rice. *Chin J Rice Sci*, 2008, 22(3): 313-320. (in Chinese with English abstract)
- [3] 李凤良, 金剑雪, 李忠英, 胡茂森, 徐秋芳, 陈之浩. 21种杀虫剂对稻纵卷叶螟幼虫触杀毒力比较. *植物保护*, 2005, 31(2): 85-87.
Li F L, Jin J X, Li Z Y, Hu M S, Xu Q F, Chen Z H. Comparison of contact toxicity of 21 insecticides against larvae of rice leaf roller. *Plant Protect*, 2005, 31(2): 85-87. (in Chinese with English abstract)
- [4] 赵丹丹, 周丽琪, 张帅, 姚蓉, 邱运霞, 高聪芬. 二化螟对双酰胺类杀虫剂的抗药性监测和交互抗性研究. *中国水稻科学*, 2017, 31(3): 307-314.
Zhao D D, Zhou L Q, Zhang S, Yao R, Qiu Y X, Gao C F. Resistance monitoring and cross-resistance to the diamides in the rice stem borer, *Chilosuppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Chin J Rice Sci*, 2017, 31(3): 307-314. (in Chinese with English abstract)
- [5] 池仕运, 彭宇, 王荫长, 韩召军, 陈长琨. 二化螟对杀虫剂抗药性的研究进展. *植物保护*, 2005, 31(6): 3-6.
Chi S Y, Peng Y, Wang Y C, Han Z J, Chen C K. Advances in the research of insecticide resistance of *Chilo Suppressalis*. *Plant Protect*, 2005, 31(6): 3-6. (in Chinese with English abstract)
- [6] 任秀贝. 稻纵卷叶螟对杀虫剂抗性的监测与室内饲养技术研究. 南京: 南京农业大学, 2013
Ren X B. Monitoring of insecticide resistance and the research on artificial diets for rice leafroller, *Cnaplocrocis Medinalis*(Guenée)(Lepidoptera: Pyralidae). Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2013. (in Chinese with English abstract)
- [7] 董本春, 李晓光, 高德宇, 张富满. 螟黄赤眼蜂防治水稻二化螟的研究. *植物保护*, 2001, 27(4):45-46
Dong B C, Li X G, Gao D Y, Zhang F M. Study of *Trichogramma Chilonis* rice stem borer. *Plant Protect*, 2001, 27(4): 45-46. (in Chinese with English abstract)
- [8] 杭德龙, 焦兆文, 赵有文, 杨学文, 夏必文, 孙蔚. 稻田释放拟澳洲赤眼蜂防治一代二化螟研究. *农业灾害研究*, 2011, 1(1): 28-30.
Hang D L, Jiao Z W, Zhao Y W, Yang X W, Xia B W, Sun W. Control of first generation *Chilosuppressalis* by releasing *Trichogramma Confusum*Viggiani in rice field. *J Agric Catastrophol*, 2011, 1(1): 28-30. (in Chinese with English abstract)
- [9] 康敏, 赵剑锋, 顾中量. 德宏州芒市运用赤眼蜂防治水稻螟虫效果初探. *云南农业科技*, 2015,(5): 54-55.
Kang M, Zhao J F, Gu Z L. Mans use of *Trichogramma* to control rice stem borer effect in Dehong. *Yunnan Agric Sci and Technol*, 2015(5): 54-55. (in Chinese with English abstract)
- [10] Zhang J J, Ren B Z, Yuan X H, Zang L S, Ruan C C, Sun G Z, Shao X W. Effects of host-egg ages on host selection and suitability of four chinese *Trichogramma* species, egg parasitoids of the rice striped stem borer, *Chilosuppressalis*. *Bio Control*, 2014, 59(2): 159-166.
- [11] Yuan X H, Song L W, Zhang J J, Zang L S, Zhu L, Ruan C C, Sun G Z. Performance of four Chinese *Trichogramma* species as biocontrol agents of the rice striped stem borer, *Chilosuppressalis*, under various temperature and humidity regimes. *J Pest Sci*, 2012, 85(4): 497-504.
- [12] 郭震, 阮长春, 臧连生, 张帆, 靳锋云. 稻螟赤眼蜂 rDNA 特异引物设计及诊断引物在赤眼蜂分子鉴定中的应用. *中国水稻科学*, 2012, 26(1): 123-126.
Guo Z, Ruan C C, Zang L S, Zhang F, Jin F Y. Design of specific primer for *Trichogramma japonicum* based on rDNA-ITS2 and application of diagnostic primers in identification of four *Trichogramma* species. *Chin J Rice Sci*, 2012, 26(1): 123-126. (in Chinese with English abstract)
- [13] 郭震, 阮长春, 臧连生, 张帆, 靳锋云. 吉林省稻螟赤眼蜂的发现和鉴定. *中国生物防治学报*, 2011, 27(2): 276-279.
Guo Z, Ruan C C, Zang L S, Zhang F, Jin F Y. The new record of *Trichogramma japonicum* Ashmead, an Egg parasitoid of *Chilosuppressalis* (Walker) in Jilin, China. *Chin J Biol Con*, 2011, 27(2): 276-279. (in Chinese with English abstract)
- [14] 黄志农, 张玉焯, 朱国奇, 文吉辉, 李卫东, 方宝华, 刘洋, 夏青华, 刘功朋. 稻螟赤眼蜂防控稻纵卷叶螟和二化螟的效果评价. *江西农业学报*, 2012, 24(5): 37-40.
Huang Z N, Zhang Y Z, Zhu G Q, Wen J H, Li W D, Fang B H, Liu Y, Xia Q H, Liu G P. Evaluation of control effect of *Trichogramma japonicum* against *Cnapthalocrocis medinalis* and *Chilosuppressalis*. *Acta Agric Jiangxi*, 2012, 24(5): 37-40. (in Chinese with English abstract)
- [15] 张俊杰, 阮长春, 臧连生, 邵玺文, 史树森. 我国赤眼蜂工厂化繁育技术改进及防治农业害虫应用现状. *中国生物防治学报*, 2015, 31(5): 638-646.
Zhang J J, Ruan C C, Zang L S, Shao X W, Shi S S. Technological improvements for mass production of *Trichogramma* and current status of their applications for biological control on agricultural pests in China. *Chin J Biol Control*, 2015, 31(5): 638-646. (in Chinese with English abstract)

- [16] 陈洪凡, 黄寿山, 张玉烛, 曾翔, 黄泽辉. 稻螟赤眼蜂对二化螟和台湾稻螟的控制潜能评价. 应用生态学报, 2010, 21(3): 743-748.
Chen H F, Huang S S, Zhang Y Z, Zeng X, Huang Z H. Control efficacy of *Trichogramma japonicum* against *Chilopressalis* and *Chilo traea auricilia*. *Chin J Appl Ecol*, 2010, 21(3): 743-748. (in Chinese with English abstract)
- [17] 李莹, 董辉, 丛斌, 钱海涛, 杨海霞, 张柱亭, 孙巍. 温度对松毛虫赤眼蜂不同地理种群寄生潜能及种群参数的影响. 中国生物防治学报, 2013, 29(1): 11-16.
Li Y, Dong H, Cong B, Qian H T, Yang H X, Zhang Z T, Sun W. Effect of temperature on reproductive potential and population parameters of different *Trichogramma dendrolimi* geographic populations. *Chin J Biol Control*. 2013, 29(1):11-16. (in Chinese with English abstract)
- [18] Hassan S A. Strategies to Select Trichogramma Species for use in Biological Control//Wajnberg E, Hassan S A. Biological Control with Other Egg Parasitoids. Wallingford, UK: CAB International Press, 1994: 55-71.
- [19] Flander S E. Mass Production of Egg Parasites of Genus *Trichogramma*. *Hilgardia*, 1930, 1: 465-501.
- [20] Flander S E. Storage Production. *Econ Entomol*, 1934, 27: 1197.
- [21] Lewis W J, Nordlund D A, Gross H R, Perkins W D, Knipling E F. Production and performance of *Trichogramma* reared on eggs of *Heliothis zea* and other hosts. *Environ Entomol*, 1976, 5(3): 449-452.
- [22] 李丽英. 赤眼蜂研究应用新进展. 应用昆虫学报, 1984(5): 48-52.
Li L Y. New Progress in research and application of *Trichogramma*. *J Appl Entomol*, 1984(5): 48-52. (in Chinese with English abstract)
- [23] Keinmeesuke P, Vattanatangum A, Sarnthoy O, Sayampol B, Miyata T, Salto T, Nakasujl F, Sinchaisri N. Life table of diamond backmoth and its egg parasite *Trichogrammatoidea Bactrae* in Thailand. Diamondback Moth & Other Crucifer Pests: Second International Workshop, 1992: 309-315.
- [24] Talekar N S. Biological control of diamondback moth in Taiwan: A Review. *Plant Prot Bull*, 1996, 21(38): 167-189.
- [25] Naranjo S E. Life history of *Trichogrammatoidea bactrae*, an egg parasitoid of pink bodworm, with emphasison performance at high temperatures. *Environ Entomol*, 1993, 22(5): 1051-1059.
- [26] 宋静, 黄静, 王雷英, 李元喜. 繁育寄主对稻螟赤眼蜂寄生行为及寄生能力的影响. 昆虫学报, 2015, 58(7), 783-790.
Song J, Huang J, Wang L Y, Li Y X. Effects of rearing host on parasitization behavior and capacity of *Trichogramma japonicum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Acta Entomol Sin*, 2015, 58(7), 783-790. (in Chinese with English abstract)
- [27] 阮长春, 史树森, 孙光芝, 张俊杰, 臧连生, 杜文梅. 一种米蛾成虫收集的新方法: ZL201210138981.7. 2016-02-03.
Ruan C C, Shi S S, Sun G Z, Zhang J J, Zang L S, Du W M. A New Method for Collecting Adult Worm of Rice Moth: ZL201210138981.7. 2016-02-03. (in Chinese)
- [28] 臧连生, 阮长春, 邵玺文, 孙光芝, 张俊杰, 李天昊, 刘志, 王秀梅, 杜文梅. 适合水田释放寄生蜂防治害虫的方法及释放装置: ZL201310360029.6. 2015-10-21.
Zang L S, Ruan C C, Shao X W, Sun G Z, Zhang J J, Li T H, Liu Z, Wang X M, Du W M. Method and Releasing Device for Releasing Parasitic Wasps to Control Insect Pests in Paddy Field: ZL201310360029.6. 2015-10-21. (in Chinese)
- [29] 杜文梅, 阮长春, 张俊杰, 史树森, 臧连生, 孙光芝, 李天昊, 王秀梅, 刘志, 刘显娇. 一种适合规模化繁育的米蛾饲养装置: ZL201520417931.1. 2015-10-28.
Du W M, Ruan C C, Zhang J J, Shi S S, Zang L S, Sun G Z, Li T H, Wang X M, Liu Z, Liu X J. A Suitable for Large-scale Breeding of Rice Moth Feeding Device: ZL201520417931.1. 2015-10-28. (in Chinese)
- [30] 张俊杰, 杜文梅, 阮长春, 臧连生, 彭海娇, 孙光芝. 不同饲料配方对米蛾生长发育及繁殖的影响. 吉林农业大学学报, 2012, 34(6): 603-606, 611.
Zhang J J, Du W M, Ruan C C, Zang L S, Peng H J, Sun G Z. Effect of different artificial diets on growth, development and fecundity of *Corcyra cephalonica*. *J Jilin Agric Univ*, 2012, 34(6): 603-606, 611. (in Chinese with English abstract)
- [31] 黄寿山, 戴志一, 吴达璋. 赤眼蜂实验种群生命表的编制与应用. 植物保护学报, 1996, 23(3): 209-212.
Huang S S, Dai Z Y, Wu D, Z. The establishment and application of the experimental population life tables of *Trichogramma* spp. on dieferent hosts. *Acta Phytophyl Sin*, 1996, 23(3): 209-212. (in Chinese with English abstract)
- [32] 何余容, 吕利华, 庞雄飞. 小菜蛾自然种群连续世代生命表的组建与分析. 华南农业大学学报, 2000, 21(1): 34-37.
He Y R, Lv L H, Pang X F. Parasitizing Ability and interspecific competition of *Trichogramma confusum* Viggiani and *T. pretiosum* riley on the eggs of *Plutellaxylostella* (L.) in the Laboratory. *J South China Agric Univ*, 2000, 21(1): 34-37. (in Chinese with English abstract)
- [33] 徐汝梅. 昆虫种群生态学. 北京: 北京师范大学出版社, 1987: 61-82.
Xu R M. Insect Population Ecology. Beijing: Beijing Normal University press, 1987: 61-82. (in Chinese with English abstract)

- [34] 张孝羲. 昆虫生态及预测预报. 北京: 中国农业出版社, 2004: 218-219.
Zhang X X. Insect Ecology and Prediction. Beijing: China Agriculture Press, 2004: 218-219. (in Chinese with English abstract)
- [35] 陈鹏, 王凤珍, 李春成, 王秀梅, 阮长春. 榆紫叶甲赤眼蜂寄生功能反应对梯度恒温的响应. 东北林业大学学报, 2015, 43(1): 114-116.
Chen P, Wang F Z, Li C C, Wang X M, Ruan C C. Effect of temperature on functional response of *Asynactaambrostomae*. *J Northeast For Univ*, 2015, 43(1): 114-116. (in Chinese with English abstract)
- [36] 陈洪凡, 岑冠军, 黄寿山. 赤眼蜂发育速率对梯度恒温的响应. 生态学报, 2010, 30(23): 6669-6673.
Chen H F, Cen G J, Huang S S. Effect of temperature on the development of *Trichogramma* species. *Acta Ecol Sin*, 2010, 30(23): 6669-6673.
- [37] Boivin G. Phenotypic Plasticity and fitness in egg parasitoids. *Neotrop Entomol*, 2010, 39: 457-463. (in Chinese with English abstract)
- [38] 王建军, 魏建荣, 王玉珠, 张永超. 舞毒蛾卵寄生蜂大蛾卵跳小蜂发育与温度的关系及利用替代寄主柞蚕卵繁育的子代品质评价. 昆虫学报, 2012, 55(5): 570-574.
Wang J J, Wei J R, Wang Y Z, Zhang Y C. Relationship between temperature and development of *Ooencyrtus Kuwanae* (Hymenoptera: Encyrtidae) the egg parasitoid of *Lymantriidae*, with an evaluation of its offspring quality reared from eggs of the substitute host *Antheraea pernyi* (Lepidoptera: Saturniidae). *Acta Entomol Sin*, 2012, 55(5): 570-574. (in Chinese with English abstract)
- [39] 张世泽, 郭建英, 万方浩, 张帆. 温度对不同品系丽蚜小蜂发育、存活和寿命的影响. 中国生物防治学报, 2004, 20(3): 174-177.
Zhang S Z, Guo J Y, Wan F H, Zhang F. Effect of temperature on the development survival and longevity of *Encarsia formosa*. *Chin J Biol Control*, 2004, 20(3): 174-177. (in Chinese with English abstract)
- [40] 李丽英, 张月华, 张荣华. 赤眼蜂生长发育与温度关系的种间及种内差异. 昆虫天敌, 1983, 5(1): 1-5.
Li L Y, Zhang Y H, Zhang R H. The relationship between the growth and temperature of *Trichogramma* species and intraspecific differences. *Nat Enem Insects*, 1983, 5(1): 1-5. (in Chinese)