

小菜蛾卵作为赤眼蜂中间寄主的寄生适合度分析*

舒锐豪^{1, 4**} 孔庆华² 张伟东² 生辉² 王红托¹ 黄寿山^{3***} 秦启联^{1***}

(1. 中国科学院动物研究所农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101; 2. 沈阳军区老莱农副业基地, 讷河 161346; 3. 华南农业大学昆虫生态研究室, 广州 510642; 4. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要 【目的】寻求快速扩繁赤眼蜂种群的寄主, 试以繁殖速率较高的小菜蛾为中间寄主, 评价不同赤眼蜂种类对小菜蛾卵的寄生适合度并筛选出适合的蜂种。【方法】通过构建稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum* Ashmead (简称 *T. j*)、螟黄赤眼蜂 *T. chilonis* Ishii (简称 *T. c*) 和斑螟分索赤眼蜂 *Trichogrammatoidea hypsipylae* Nagaraja (简称 *T. h*) 3 种赤眼蜂在小菜蛾 *Plutella xylostella* L. 卵上繁殖的实验种群生命表, 分析比较其各自的生命表参数, 以了解不同蜂种对小菜蛾卵的寄生适合度。【结果】在小菜蛾卵上繁殖的稻螟赤眼蜂的净生殖力 R_0 、内禀增长率 r_m 、周限增长率 λ 与平均世代历期 T 分别为 4.66、0.1633、1.1809、9.2532; 斑螟分索赤眼蜂的上述 4 项参数分别为 9.10、0.2177、1.2432、10.1432; 螟黄赤眼蜂对小菜蛾卵的寄生能力较差, 内禀增长率 r_m 为 0.0338, 且其后代性比偏雄, 雌雄性比为 1♀ : 6.2♂, 以至不能正常传代。斑螟分索赤眼蜂的平均每雌寄生卵数为 15.4 粒, 显著高于稻螟赤眼蜂的 10.0 粒与螟黄赤眼蜂的 8.9 粒。【结论】在室内人工培育的小菜蛾卵上繁殖的稻螟赤眼蜂与斑螟分索赤眼蜂对小菜蛾卵的寄生能力较强, 尤其是斑螟分索赤眼蜂的内禀增长率 r_m 与小菜蛾的相近, 适合以小菜蛾卵作为中间寄主扩大繁殖, 稻螟赤眼蜂次之, 而螟黄赤眼蜂并不适合以小菜蛾卵作为中间寄主。

关键词 稻螟赤眼蜂, 螟黄赤眼蜂, 斑螟分索赤眼蜂, 小菜蛾, 寄生适合度, 生命表

Fitness of two *Trichogramma* species and one *Trichogrammatoidea* reared on the eggs of the diamondback moth *Plutella xylostella*

SHU Rui-Hao^{1, 4**} KONG Qing-Hua² ZHANG Wei-Dong² SHENG Hui² WANG Hong-Tuo¹
HUANG Shou-Shan^{3***} QIN Qi-Lian^{1***}

(1. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Laolai Agriculture and Sideline Base of Shenyang Military Area Command in Nehe City of Heilongjiang Province, Nehe 161346, China; 3. South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China.)

Abstract [Objectives] To study the feasibility of using eggs of the diamondback moth (DBM) *Plutella xylostella* as an alternative host to *C. cephalonica* for *Trichogramma*, and determine feasibility of raising these parasitoids on the eggs of *P. xylostella*. [Methods] Based on the life table analysis of population ecology, the parasitizing fitness of *Trichogramma*

* 资助项目: 中国科学院重点部署项目 (CXJQ120103)

**E-mail: shuruihao@ioz.ac.cn

***通讯作者, E-mail: sshuang@scau.edu.cn; qinqi@ioz.ac.cn

收稿日期: 2013-10-13, 接受日期: 2014-01-09

japonicum Ashmead, *T. chilonis* Ishii and *Trichogrammatoidea hypsipylae* Nagaraja on the egg of *P. xylostella* were studied quantitatively. [Results] Life table parameters showed the net reproductive rate (R_0), intrinsic increase rate (r_m), finite increase rate (λ) and mean generation time (T) of *T. hypsipylae*, were 9.10, 0.2177, 1.2432 and 10.1432, respectively, whereas those of *T. japonicum* were 4.66, 0.1633, 1.1809 and 9.2532. Fecundity of *T. hypsipylae* was highest with 15.4 eggs laid per female, compared with *T. japonicum* 10.0 and *T. chilonis* 8.9. On the other hand, the reproductive potential of *T. chilonis* on DBM eggs was much lower than those of the other two parasitoids, whose r_m and sex ratio (female/male) were as low as 0.0338 and 0.174, respectively. [Conclusion] The results revealed that *T. hypsipylae* and *T. japonicum* had much higher preference for DBM eggs than *T. chilonis*. The fact that the intrinsic rate of increase (r_m) of *T. hypsipylae* and *P. xylostella* were so close (0.2177 for *T. hypsipylae* and 0.239 for *P. xylostella*) suggests that the latter could be a suitable host for the former. In contrast, the lower parasitic fitness of *T. chilonis* on DBM eggs was insufficient to sustain its experimental population. We conclude that DBM eggs are not an ideal intermediate host for *T. chilonis*.

Key words *Trichogramma japonicum*, *Trichogramma chilonis*, *Trichogrammatoidea hypsipylae*, *Plutella xylostella*, parasitizing fitness, life table

在利用赤眼蜂防治主要农业害虫的实践中,由于害虫发生的季节性特点,对于赤眼蜂的繁殖和保存提出了很高的要求。如何能在需要时短期内繁育大量的赤眼蜂种群,保证即时释放,防治那些突发性害虫,如稻纵卷叶螟 *Cnaphalocytis medinalis* Guenee (庞雄飞等, 1981) 等,对于赤眼蜂提供者是一个技术性的挑战。小菜蛾 *Plutella xylostella* L. 在 30℃ 条件下,世代历期仅为 14.68 d, 内禀增长率为 $r_m=0.239$, 月增长倍数为 1 299.8 倍 (但建国等, 1995)。能否利用小菜蛾繁殖速度快的特点,将之开发为赤眼蜂的中间寄主,以解决上述的生物防治实践困难? 这是本文研究的目的所在。

稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum* Ashmead 与螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* Ishii 的天然寄主为水稻螟虫, 现已被广泛运用于谷类作物、甘蔗、棉花等害虫的生物防治实践之中 (Hassan, 1993; Smith, 1996)。斑螟分索赤眼蜂 *Trichogrammatoidea hypsipylae* Nagaraja 则是发现于小灰蝶卵上的中国新记录种 (陈轶等, 2011)。已有许多学者对寄生于小菜蛾卵的赤眼

蜂蜂种进行了试验和评价 (Klemm *et al.*, 1992; 陈科伟等, 2002; 王福莲等, 2004; Vázquez *et al.*, 1997; 邓金花等, 2012), 经成本收益分析, 某些情况下赤眼蜂的防治效果甚至超过一些常用的杀虫剂 (Ullah *et al.*, 2012)。在繁殖利用稻螟赤眼蜂防治螟虫时, 我们常以米蛾卵为中间寄主。米蛾的产卵量虽然很大, 但世代历期偏长 (约 60 d), 因此作为繁殖赤眼蜂的中间寄主, 小菜蛾较米蛾具有产卵量高、繁殖速度快的优势, 能够更快速地完成繁蜂计划, 适应水稻螟虫的防治需要。但小菜蛾卵对上述 3 种赤眼蜂的适合性问题目前缺乏系统、深入的研究。考虑到生命表参数具有标准化的特性 (黄寿山等, 1996), 可以在种群水平上客观地评价“蜂种-寄主”组合的适合度情况。本研究利用构建生命表的方法, 对“蜂-卵”组合的合适度进行评价, 旨在通过比较 3 种赤眼蜂对小菜蛾卵的寄生和羽化能力的差异, 筛选出对小菜蛾卵具有良好适应性的赤眼蜂种, 探讨以小菜蛾替代米蛾作为中间寄主扩繁赤眼蜂的可行性。

1 材料与方法

1.1 赤眼蜂繁殖条件的设置

1.1.1 供试的寄主昆虫 小菜蛾在室内用人工饲料饲养, 在 $(27 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、光照周期 14L: 10D 条件下繁育。成虫羽化后放入产卵笼, 笼中挂入喷有甘蓝菜汁的塑料纸, 诱集成虫在其上产卵。初产的小菜蛾卵在 30 cm 距离下用 40 W 紫外灯照射 1 h (Romeis *et al.*, 1997), 灭活卵胚, 用于接蜂试验。

稻螟赤眼蜂采自海南岛陵水县牛坡村稻田中三化螟 *Scirpophaga incertulas* (Walker) 卵, 在室内已用小菜蛾卵繁育 2 代, 简记为 *T. j*; 斑螟分索赤眼蜂采自广州华南农业大学校园长岗山的白扁豆花上的小灰蝶 *Plebejus argus* Linnaeus 卵, 在室内已用小菜蛾卵繁育 4 代, 简记为 *T. h*; 螟黄赤眼蜂采自广东省中山市新会区有机稻田的台湾稻螟 *Chilo auricilius* Dudgeon 卵, 在室内已用小菜蛾卵繁育 6 代, 简记为 *T. c*。

1.1.2 赤眼蜂的繁殖条件 用广口塑料罐繁殖, 罐高 22 cm, 直径 16 cm, 罐口直径 10 cm。将大于蜂种量 30 倍的灭活小菜蛾卵放入塑料罐, 同时放入新羽化的蜂种, 罐口用湿润的黑布封闭以保持湿度, 在 $(27 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、光照周期 14L: 10D 下繁蜂。

1.2 3 种赤眼蜂在小菜蛾卵上繁殖的实验种群生命表

参照黄寿山等 (1996) 方法, 用经过紫外灯灭活卵胚的小菜蛾卵作为赤眼蜂寄主。以接种时间为 *X* 计算的起点, 其中 *X* 以 12 h 为单位, 将

1 d 分为 2 个时段。在赤眼蜂羽化当日, 不供给食物, 将每头刚羽化的赤眼蜂成蜂引入直径约 1 cm 的指型管中, 对每头蜂依次编号, 并接入过量的灭活小菜蛾卵, 每 12 h 更换一次卵卡, 并将更换下的卵卡在相同适宜条件下培养, 逐日观察并记录每头蜂的存活情况、逐日产雌数 (以寄生发黑的小菜蛾卵数近似替代赤眼蜂的产卵量)、后代的羽化情况和性比, 作为繁殖力的估计。

1.3 生命表参数的统计

X: 雌蜂的寿命序数;

净生殖力: $R_0 = \sum l_x \cdot m_x$;

m_x: 单雌逐日产雌数;

内禀增长率: $r_m = \ln R_0 / T$;

l_x: 雌蜂逐日存活率;

周限增长率: $\lambda = e^{r_m}$;

雌雄比: $\phi: \sigma = \phi \div \sigma$;

雌性比: $P_\phi = (\phi) \div (\phi + \sigma)$;

平均时代历期: $T = \frac{\sum X \cdot l_x \cdot m_x}{\sum l_x \cdot m_x} \div 2$ 。

1.4 数据分析

采用 DPS 7.05 软件进行 Duncan's 多重比较。

2 结果与分析

2.1 3 种赤眼蜂在小菜蛾卵上繁殖的实验种群生命表

3 种赤眼蜂在小菜蛾卵上繁殖的羽化、死亡与繁殖统计结果和对应实验种群生命表如表 1、表 2 所示, 3 种赤眼蜂的生命表参数比较见表 3。

表 1 3 种赤眼蜂在小菜蛾卵上的羽化、死亡与繁殖统计结果

Table 1 Statistical results of *Trichogramma chilonis*, *T. japonicum* and *Trichogrammatoidea hypsipylae* emergence, death and reproduction quantities in *Plutella xylostella* eggs

蜂种 Species	日期 Date (month-day)	发育时间 (X) Developmental time (0.5 d)	羽化数 (头) Emergence quantity			死亡数 (头) Death quantity			生殖力 (粒) Fecundity quantity	
			雌 Female	雄 Male	累计 Total	雌 Female	雄 Male	累计 Total	实产	折合产
									卵数 Actual eggs	♀卵数 Female eggs
$T. j$	6-29	16	11	1	12	0	0	0	0	0.00
		17	4	13	29	0	0	0	121	56.13
	6-30	18	21	17	67	13	13	26	60	27.84
		19	7	11	85	18	12	56	208	96.49
	7-1	20	2	9	96	9	17	82	47	21.80
		21	0	1	97	4	7	93	16	7.42
	7-2	22	0	0	97	1	3	97	0	0.00
		23	0	0	97	0	0	97	0	0.00
合计 Total			45	52					452	209.68

续表 1 (Table 1 continued)

蜂种 Species	日期 Date (month-day)	发育时间 (X) Developmental time (0.5 d)	羽化数 (头) Emergence quantity			死亡数 (头) Death quantity			生殖力 (粒) Fecundity quantity	
			雌 Female	雄 Male	累 计 Total	雌 Female	雄 Male	累 计 Total	实产	折合产
									卵数 Actual eggs	♀卵数 Female eggs
T. c	7-12	16	11	56	67	0	0	0	0	0.00
		17	0	9	76	3	35	38	107	15.90
	7-13	18	2	15	93	8	28	74	20	2.97
		19	0	0	93	2	14	90	0	0.00
	7-14	20	1	6	100	1	0	91	0	0.00
		21	0	1	101	0	6	97	6	0.89
	7-15	22	0	0	101	0	3	100	0	0.00
		23	0	0	101	0	1	101	0	0.00
合计 Total			14	87				133	19.76	
T. h	7-15	16	0	1	1	0	0	0	0	0.00
		17	10	16	27	0	0	0	0	0.00
	7-16	18	8	6	41	4	7	11	159	94.03
		19	13	6	60	9	14	34	132	78.06
	7-17	20	6	5	71	8	5	47	217	128.33
		21	14	2	87	10	5	62	75	44.35
	7-18	22	1	2	90	17	2	81	210	124.19
		23	2	0	92	3	4	88	18	10.65
	7-19	24	1	0	93	2	1	91	32	18.92
		25	0	0	93	0	0	91	3	1.77
7-20	26	0	0	93	2	0	93	0	0.00	

合计 Total			55	38			846	500.32		
-------------	--	--	----	----	--	--	-----	--------	--	--

表 2 3 种赤眼蜂在小菜蛾卵上繁殖的实验种群生殖力表
Table 2 The reproductive properties of three parasitoids on *Plutella xylostella* eggs

蜂种 Species	日期 Date	时段 Time bucket	发育 时间 (X) Developme ntal time	存活 雌蜂数 Daily surviving females	l_x	实产仔 蜂数 Daily oviposition per surviving females	折雌仔 蜂数 Daily progeny females laid by adult females	m_x	$l_x m_x$	$X l_x m_x$
$T. j$	6-21	I	0							
	⋮	⋮	⋮							
	6-29	I	16	45	1.0000	0	0	0.00	0.00	0.00
		II	17	45	1.0000	121	56.13	1.25	1.25	21.20

续表 2 (Table 2 continued)

蜂种 Species	日期 Date	时段 Time bucket	发育 时间 (X) Developme ntal time	存活 雌蜂数 Daily surviving females	l_x	实产仔 蜂数 Daily oviposition per surviving females	折雌仔 蜂数 Daily progeny females laid by adult females	m_x	$l_x m_x$	$X l_x m_x$
	6-30	I	18	32	0.7111	60	27.84	0.87	0.62	11.14
		II	19	14	0.3111	208	96.49	6.89	2.14	40.74
	7-1	I	20	5	0.1111	47	21.80	4.36	0.48	9.69
		II	21	1	0.0222	16	7.42	7.42	0.16	3.46
	7-2	I	22	0	0	0	0.00	0.00	0	0.00
	合计 Total								4.66	86.23
	$T. c$	I	0							
		⋮	⋮	⋮						
	7-12	I	16	15	1.0000	107	15.90	1.06	1.06	16.96
		II	17	11	0.7333	20	2.97	0.27	0.20	3.37
	7-13	I	18	3	0.2000	0	0.00	0.00	0.00	0.00
		II	19	1	0.0667	0	0.00	0.00	0.00	0.00
	7-14	I	20	1	0.0667	6	0.89	0.89	0.06	1.19
		II	21	0	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.00
	合计 Total								1.32	21.51
	$T. h$	7-7	II	0						
	⋮	⋮	⋮							

7-16	I	17	55	1.0000					
	II	18	51	0.9273	159	94.03	1.84	1.71	30.78
7-17	I	19	42	0.7636	132	78.06	1.86	1.42	26.97
	II	20	34	0.6182	217	128.33	3.77	2.33	46.67
7-18	I	21	24	0.4364	75	44.35	1.85	0.81	16.94
	II	22	8	0.1455	210	124.19	15.52	2.26	49.69
7-19	I	23	4	0.0727	18	10.65	2.66	0.19	4.45
	II	24	2	0.0364	32	18.92	9.46	0.34	8.27
7-20	I	25	2	0.0364	3	1.77	0.89	0.03	0.81
	II	26	0	0	0	0.00	0.00	0	0
合计 Total								9.10	184.56

l_x : 雌蜂逐日存活率 Percent of daily surviving females ; m_x : 存活雌蜂逐日平均产雌数 Average daily progeny females laid by surviving females.

表 3 3 种赤眼蜂在小菜蛾卵上的寄生特性比较

Table 3 Comparison of reproductive properties of three parasitoids reared on *Plutella xylostella* eggs

蜂种 Species	平均每雌 寄生卵数 No. of eggs laid by per female	性比 Sex ratio		净生殖力 Net reproduction rate (R_0)	内禀增长率 Intrinsic rate of natural increase (r_m)	周限增长率 Finite rate of increase (λ)	平均世代历期 Mean generation time (T)
		$P_{\text{♀}}$	$\text{♀} : \text{♂}$				
<i>T. h</i>	15.3818±1.5385a	0.591	1.4474 : 1	9.10	0.2177	1.2432	10.1432
<i>T. j</i>	10.0444±1.3663b	0.464	0.8654 : 1	4.66	0.1633	1.1809	9.2532
<i>T. c</i>	8.8667±3.8530b	0.149	0.1609 : 1	1.32	0.0338	1.0343	8.1654

表中数字后的字母为通过 Duncan's 新复极差法检测的结果, 字母相同表示差异不显著, 字母不同表示差异显著 ($P \leq 0.05$)。

Data followed by different letters indicate significantly different at 0.05 level by Duncan's multiple range test.

由表 1 可知, 螟黄赤眼蜂在小菜蛾卵上发育至第 8 天时羽化成蜂数最多, 达到 67 头, 占羽化成蜂总数的 66.3%; 稻螟赤眼蜂和斑螟赤眼蜂在小菜蛾卵上发育至第 9 天时羽化成蜂数最多, 分别为 55 与 40 头, 占羽化成蜂总数的 56.7% 与 43.0%, 随时间延长, 羽化成蜂数迅速降低。从表 2 可以看出, 在小菜蛾卵上羽化的稻螟赤眼蜂存活雌蜂在羽化第 2 天净生殖力达到最大, 为 2.62 粒, 占其总生殖力的 56.22%; 螟黄赤眼蜂在羽化当天净生殖力即达到总生殖力的

95.45%; 斑螟分索赤眼蜂存活雌蜂在羽化第 1 天与第 2 天的净生殖力均为 3.13 粒, 各占总生殖力的 34.43%。

由表 3 可知, 斑螟分索赤眼蜂的主要生殖力特征参数均理想, 其平均每雌寄生卵数显著高于另两个蜂种, 对小菜蛾卵表现出较强的适应性, 具有较大的应用前景。其次为稻螟赤眼蜂, 其净生殖力 R_0 、内禀增长率 r_m 、周限增长率 λ 和平均世代历期 T 分别为 4.66、0.1633、1.1809 和 8.1027, 稍弱于前者。而螟黄赤眼蜂的生殖力特

征参数显著低于前两者,且其性比(♀:♂)极低,仅为0.174。由此可见,在小菜蛾卵上繁育螟黄赤眼蜂,显著降低其生活力。

2.2 3种赤眼蜂成虫逐日存活动态比较

从图1(A)可知,3种赤眼蜂羽化后成蜂的平均寿命约为1.5 d,其中以斑螟分索赤眼蜂的寿命为最长。逐日存活情况(图1:B)表明,螟黄赤眼蜂在羽化后1.5 d,存活率即低于20%;斑螟分索赤眼蜂与稻螟赤眼蜂在羽化后1.5 d,存活率仍在40%以上。由每雌平均寄生卵量(图1:C)可知,斑螟分索赤眼蜂平均每雌寄生卵量约为15.4粒,显著高于螟黄赤眼蜂(8.7粒)与稻螟赤眼蜂(10.0粒)。此外,螟黄赤眼蜂在羽化当天即达到寄生高峰,寄生卵量占总产卵量的90%以上,但其总寄生卵量却明显低于另外两种受试赤眼蜂。每雌逐日寄生卵量情况(图1:D)表明,斑螟分索赤眼蜂羽化当日平均每雌寄

生卵量即达到了15.6粒,且其产卵历期超过3 d,除在羽化后第1.5天,逐日寄生卵量均显著高于另两者,对小菜蛾卵表现出较强的适应性;稻螟赤眼蜂次之,但其产卵历期不超过3 d,且逐日寄生卵量明显低于前者;而螟黄赤眼蜂平均每雌寄生卵量只有7.1粒,总产卵量显著低于另两个蜂种。

3 讨论

3.1 在繁殖利用稻螟赤眼蜂防治螟虫时,我们常以米蛾卵为中间寄主。米蛾的产卵量虽然很大,但世代历期偏长,其 r_m 值仅为0.06,而小菜蛾在30℃条件下, $r_m=0.239$ (但建国等,1995),比本实验中稻螟赤眼蜂($r_m=0.1633$)和斑螟分索赤眼蜂($r_m=0.2177$)的 r_m 值还高。因此充分利用小菜蛾产卵量高、繁殖速度快的优势,能够更快速地完成繁蜂计划,适应水稻螟虫的防治需

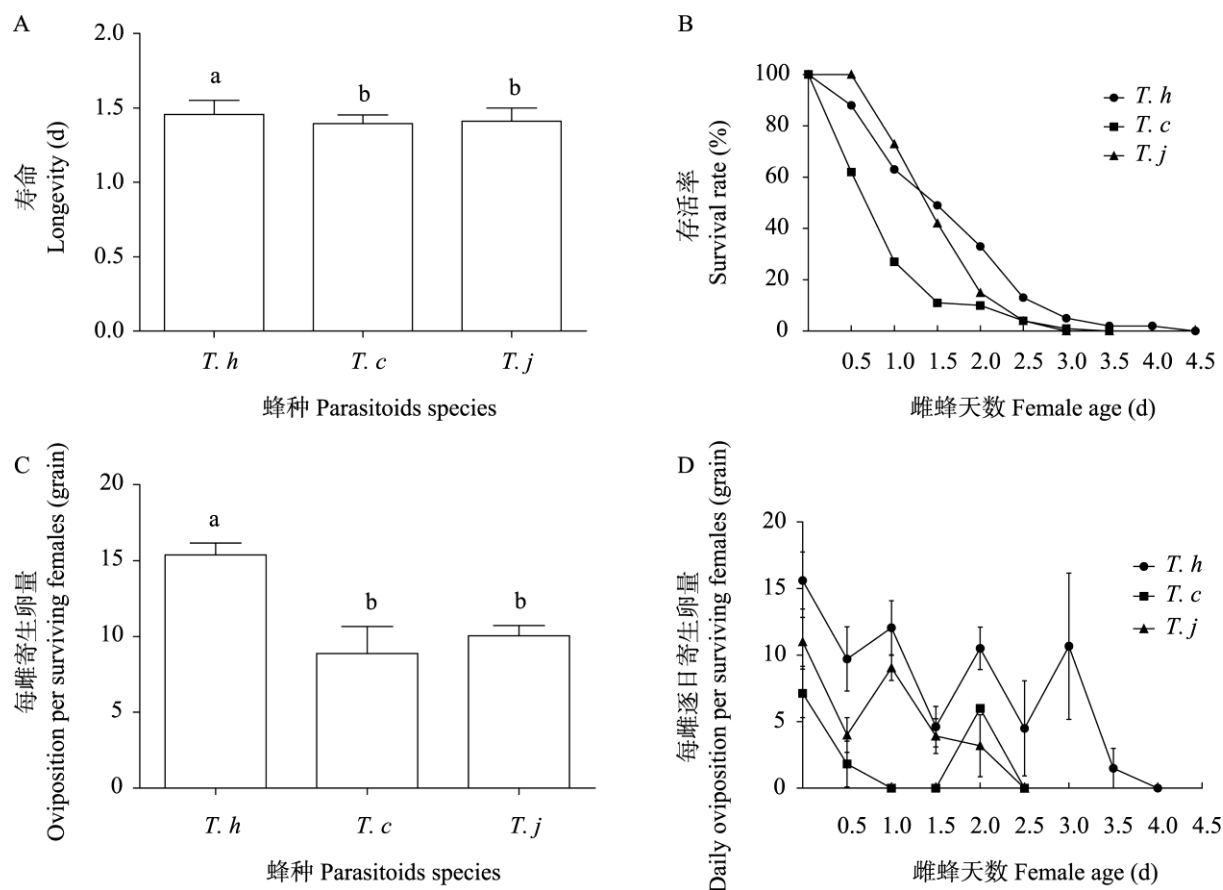


图 1 3 种赤眼蜂的成虫寿命与逐日分布情况

Fig. 1 Several laboratory biological parameters of three parasitoids reared on *Plutella xylostella* eggs

图中的小写字母为 Duncan's 多重比较的检验结果, 柱上不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Histograms with the same letters are not significantly different from each other at 0.05 level by Duncan's multiple range test.

要。此外, 在生产应用过程中, 可利用生产小菜蛾病毒过程中的多余小菜蛾卵繁育赤眼蜂, 使小菜蛾作为中间寄主, 其卵和幼虫两个虫态都能够得到充分利用。

3.2 斑螟分索赤眼蜂原中文名为“小灰蝶分索赤眼蜂”, 是目前发现的对荔枝蒂蛀虫 *Conopomorpha sinensis* 卵具有较高寄生率(80%)的唯一蜂种(张英杰等, 2011)。该蜂种通过在

米蛾卵上“过寄生”驯化后, 个体变小, 但仍然能寄生荔枝蒂蛀虫卵, 并且可以从荔枝蒂蛀虫卵中羽化出蜂。在实验中, 作者对米蛾卵和小菜蛾卵进行了称重比较: 小菜蛾卵约为 50 000 粒/g, 米蛾卵约为 25 000 粒/g。两者大小相差 1 倍。而斑螟分索赤眼蜂在小菜蛾卵上繁殖的生殖力参数与其过寄生驯化后的相近(张英杰等, 2012)。可见利用小菜蛾卵繁殖斑螟分索赤眼蜂, 并用它

* 资助项目: 中国科学院重点部署项目 (CXJQ120103)

**E-mail: shuruihao@ioz.ac.cn

***通讯作者, E-mail: sshuang@scau.edu.cn; qinql@ioz.ac.cn

收稿日期: 2013-10-13, 接受日期: 2014-01-09

来防治荔枝蒂蛀虫具有较好的应用前景,有必要田间进一步试验以验证其防治效果。

3.3 稻螟赤眼蜂在小菜蛾卵上 r_m 值为 0.1633, 而其在米蛾、二化螟 *Chilo suppressalis* Walker、台湾稻螟卵上的 r_m 值分别为 0.3230、0.3161、0.3142 (陈洪凡等, 2010)。可见用小菜蛾卵来繁殖稻螟赤眼蜂会削弱蜂种的活力, 这与前人 (van Bergeijk *et al.*, 1989; Hoffmann *et al.*, 2001) 的研究发现相符; 螟黄赤眼蜂在小菜蛾卵上繁殖 6 代以后, 且其后代的雌性比极低, 仅为 0.149, 雄性个体过多, 以致种群难以延续。此外, 在田间释放时过多的雄性赤眼蜂并不能寄生目标害虫, 使得防治效果进一步削弱。由此可见, 小菜蛾卵并不是螟黄赤眼蜂合适的中间寄主。其他文献报道螟黄赤眼蜂在小菜蛾卵上的 r_m 值为 0.1902 (邓金花等, 2012) 与本实验结果 ($r_m=0.0338$) 差距较大。这可能与螟黄赤眼蜂的不同品系有关。有关以小菜蛾卵作为中间寄主繁殖对赤眼蜂品质的影响问题仍需做不同品系之间的比较研究。

3.4 在运用赤眼蜂进行生物防治的过程中, 在引种与释放前进行充分的评价研究, 是十分有效的策略, 能够避免盲目引种导致的失败 (Hassan, 1994)。经实验室人工繁育的赤眼蜂存在对目标害虫防治效果降低的现象 (Iranipour *et al.*, 2010), 故有必要对经小菜蛾卵繁殖的上述 3 种赤眼蜂以及松毛虫赤眼蜂等优势蜂种的寄主偏好性进行进一步试验 (Siqueira *et al.*, 2012), 探究以小菜蛾卵繁殖出的赤眼蜂防治水稻害虫的有效性, 及其对引入地生态环境可能存在的潜在风险 (Van Lenteren *et al.*, 2003)。

参考文献 (References)

Hassan SA, 1993. The mass rearing and utilization of *Trichogramma*

to control lepidopterous pests: Achievements and outlook. *Pestic. Sci.*, 37(4): 387–391.

Hassan SA, 1994. Strategies to select *Trichogramma* species for use in biological control //Wajnberg E, Hassan SA (eds.). *Biological Control with Egg Parasitoids*. Wallingford: CAB International. 55–71.

Hoffmann MP, Ode PR, Walker DL, Gardner J, van Nouhuys S, Shelton AM, 2001. Performance of *Trichogramma ostrinae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) reared on factitious hosts, including the target host, *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Biol. Control*, 21(1): 1–10.

Iranipour S, Vaez N, Ghanbalani GN, Zakaria RA, Mashhadi Jafarloo M, 2010. Effect of host change on demographic fitness of the parasitoid, *Trichogramma brassicae*. *J. Insect Sci.*, 10(78): 1–12.

Klemm U, Guo M, Lai L, Schmutterer H, 1992. Selection of effective species or strains of *Trichogramma* egg parasitoids of diamondback moth; proceedings of the management of diamondback moth and other crucifer pests: Proceedings of the second international workshop Asian vegetable research and development centre, Shanhua, TaiWan. 317–323.

Romeis J, Shanower TG, Zebitz CPW, 1997. Acceptance and suitability of ultraviolet-irradiated *Helicoverpa armigera* (Hühner) (Lep., Noctuidae) eggs for *Trichogramma chilonis* Ishii (Hym., Trichogrammatidae). *J. Appl. Entomol.*, 121(1/5): 441–446.

Siqueira JR, Bueno RCOD, Bueno AD, Vieira SS, 2012. Host preference of the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum*. *Ciencia Rural*, 42(1): 1–5.

Smith SM, 1996. Biological control with *Trichogramma*: Advances, successes, and potential of their use. *Annu. Rev. Entomol.*, 41: 375–406.

Ullah F, Shakur M, Badshah H, Ahmad S, Amin M, Zamin M, 2012. Efficacy of *Trichogramma chilonis* Ishii in comparison with two commonly used insecticides against sugarcane stem borer *Chilo infuscatellus* Snellen (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 22(2): 463–466.

van Bergeijk KE, Bigler F, Kaashoek NK, Pak GA, 1989. Changes in host acceptance and host suitability as an effect of rearing *Trichogramma maidis* on a factitious host. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 52(3): 229–238.

Van Lenteren JC, Babendreier D, Bigler F, Burgio G, Hokkanen HMT, Kuske S, Loomans AJM, Menzler-Hokkanen I, Van Rijn PCJ, Thomas MB, Tommasini MG, Zeng QQ, 2003. Environmental risk assessment of exotic natural enemies used in inundative biological control. *Biocontrol*, 48(1): 3–38.

Vázquez LA, Shelton AM, Hoffmann MP, Roush RT, 1997. Laboratory evaluation of commercial *Trichogrammatid* products

- for potential use against *Plutella xylostella*(L.) (Lepidoptera: Plutellidae). *Biol. Control*, 9(2): 143–148.
- 陈洪凡, 黄寿山, 张玉烛, 曾翔, 黄泽辉, 2010. 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*, 21(03): 743–748.[CHEN HF, HUANG SS, ZHANG YZ, ZENG X, HUANG ZH, 2010. Control efficacy of *Trichogramma japonicum* against *Chilo suppressalis* and *Chilaraea auricilia*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 21 (3) :743- 748 .]
- 陈科伟, 黄寿山, 何余容, 2002. 两种赤眼蜂对小菜蛾卵的寄生潜能分析. *生态学报*, 22(08): 1293–1296.[CHEN HF, HUANG SS, ZHANG YZ, ZENG X, HUANG ZH, 2010. Control efficacy of *Trichogramma japonicum* against *Chilo suppressalis* and *Chilaraea auricilia*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 21 (3) :743- 748 .]
- 陈轶, 张英杰, 黄寿山, 陈炳旭, 2011. 广东省几种野外赤眼蜂的采集及鉴定. *环境昆虫学报*, 33(03): 364–371.[CHEN Y, ZHANG YJ, HUANG SS, CHEN BX, 2011. The collection and description of several wild *Trichogramma* in Guangdong Province. *Journal of Environmental Entomology*, 33 (3): 364-371.]
- 但建国, 梁广文, 庞雄飞, 1995. 不同温度条件下小菜蛾实验种群的研究. *华南农业大学学报*, 16(03): 11–16.[DAN JG, LIANG GW, PANG XF, 1995. Studies on the laboratory population of diamondback moth under different temperatures. *Journal of South China Agricultural University*. 16(3): 11-16.]
- 邓金花, 顾俊荣, 董明辉, 杨代凤, 刘腾飞, 2012. 几种赤眼蜂对小菜蛾卵的寄生差异性. *江苏农业科学*, 40(05): 77–78.[DENG JH, GU JR, DONG MH, YANG DF, LIU TF, 2012. The parasitic difference of several *Trichogramma* species on the egg of diamondback moth. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 40(5): 77–78.]
- 黄寿山, 戴志一, 吴达璋, 1996. 赤眼蜂实验种群生命表的编制与应用. *植物保护学报*, 23(03): 209–212.[HUANG SS, DAI ZY, WU DZ, 1996. The establishment and application of the experimental population Life Tables of *Trichogramma* spp. on different hosts. *Acta Phytophylacica Sinica*, 23(3): 209–212.]
- 庞雄飞, 侯任环, 梁广文, 李哲怀, 1981. 稻纵卷叶螟防治策略的探讨(一)——稻纵卷叶螟生命表及其主要死亡因子分析. *华南农学院学报*, 2(04): 71–84.[PANG XF, HOU RH, LIANG WG, LI ZH, 1981. Studies on the population dynamics and control of rice leaf roller in Hailing Island, Guangdong Province I . Life table data and its component analysis. *Journal of South China Agricultural College*, 2(4): 71–84.]
- 王福莲, 张帆, 万方浩, 2004. 赤眼蜂蜂种及品系选择刍议. *中国生物防治*, 20(04): 269–272.[WANG FL, ZHANG F, WAN FH, 2004. Primary discuss on selection of *Trichogramma* species and strain. *Chinese Journal of Biological Control*, 20(4): 269–272.]
- 张英杰, 陈轶, 陈炳旭, 黄寿山, 徐淑, 2011. 筛选寄生荔枝蛀虫卵的赤眼蜂种类研究初报. *广东农业科学*, (17): 59–61.[ZHANG YJ, CHEN Y, CHEN BX, HUANG SS, XU S, 2011. The species selecting preliminary study of *Trichogramma* hosted in the eggs of *Conopomorpha sinensis* Bradley. *Guangdong Agricultural Sciences*, 17: 59-61.]
- 张英杰, 陈炳旭, 黄寿山, 徐淑, 2012. 寄生荔枝蒂蛀虫卵的斑螟分索赤眼蜂过寄生驯化培育. *中国生物防治学报*, 28(04): 473–477.[ZHANG YJ, CHEN BX, HUANG SS, XU S, 2012. Domesticated breeding of *Trichogramma* parasitizing eggs of *Conopomorpha sinensis* Bradley. *Chinese Journal of Biological Control*, 28(4): 473–477.]