

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.04.12

不同生殖方式对班氏跳小蜂寄生率和子代性比的影响

张娟¹, 黄俊^{1*}, 吕要斌^{2*}

(1. 浙江省农业科学院花卉研究开发中心/浙江省萧山棉麻研究所, 杭州 311202;

2. 浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所, 浙江省植物有害生物防控重点实验室-省部共建国家重点实验室培育基地, 杭州 310021)

摘要: 为了明确班氏跳小蜂不同生殖方式及雌蜂密度对种群的影响, 研究了班氏跳小蜂在不同雌雄比例的两性生殖和孤雌生殖条件下以及不同雌蜂密度情况时, 其寄生率及子代的雌性比例。结果表明: 班氏跳小蜂可进行两性生殖和产雄孤雌生殖, 不同雌雄比例的两性生殖及孤雌生殖的寄生率随着雌蜂数量的增加不断升高, 雌雄比为 20:1 时的寄生率最高, 为 49.13%; 在两性生殖雌雄比为 15:1 的情况下, 其后代雌性最高; 不同粉蚧密度条件下, 2 头雌蜂同时存在时, 其寄生率和子代性比均最高。说明两性生殖 (雌雄比为 15:1) 和 2 头雌蜂同时存在条件下, 更利于班氏跳小蜂种群发展。

关键词: 班氏跳小蜂; 生殖方式; 寄生率; 子代性比

中图分类号: Q968; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 04-0742-06

Effects of different reproductive patterns on the parasitization rate and offspring sex ratio of *Aenasius bambawalei*

ZHANG Juan¹, HUANG Jun^{1*}, LU Yao-Bin^{2*} (1. Flower Research and Development Centre, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences/Xiaoshan Institute of Cotton and Fiber Crops, Hangzhou 311202, China; 2. State Key Laboratory Breeding Base for Zhejiang Sustainable Pest and Disease Control, Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

Abstract: The effects of reproductive patterns and *Aenasius bambawalei* female adult density on the parasitization rate and offspring sex ratio were determined in the laboratory. The results indicated that the reproductive model of *A. bambawalei* included bisexual reproduction and arrhenotoky. Meanwhile, the parasitization rate of *A. bambawalei* increased with the increase of parasitic wasp density and peaked (49.13%) with 20:1 female to male ratio. The offspring female ratio peaked with 15:1 female to male ratio. Additionally, the parasitization rate and offspring female ratio were higher when two female *A. bambawalei* occurred at the same time. This study interpreted that bisexual reproduction and two female parasitic wasps occurred at the same time were more beneficial for the population development of *A. bambawalei*.

Key words: *Aenasius bambawalei*; reproductive patterns; parasitization rate; offspring sex ratio

寄生性天敌种群内雌性个体的比例高低会直接关系到其控害效能 (Vasquez and Morse, 2012), 而其雌性个体的比例又受到诸多因素的影响 (Heimpel and Lundgren, 2000; 秦启联等, 2001),

基金项目: 农业部公益性行业科研专项 (201103026); 浙江省自然科学基金 (LQ14C140004, LQ16C140004); 杭州市农业科研攻关专项 (20150432B36)

作者简介: 张娟, 博士, 助理研究员, 研究方向为有害生物防治

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: junhuang1981@aliyun.com, luyben@163.com

收稿日期 Received: 2016-04-29 日期 Accepted: 2016-07-15

例如交配状态(胡好远等, 2010)、雌蜂密度(何慧和奚耕思, 2008)和寄主大小(张娟等, 2014)等; 其中, 寄生性天敌的生殖方式是影响其子代性比的重要因素(Heimpel and Lundgren, 2000; 胡好远等, 2010)。研究表明, 膜翅目的寄生性天敌营两性生殖和孤雌生殖(Heimpel and de Boer, 2008), 而两性生殖又有两种不同的结果, 即一、同时具备雌、雄后代, 二、只产雌性后代; 孤雌生殖则分为仅产雄或产雌的后代(West and Sheldon, 2002; 何慧和奚耕思, 2008)。而且, 母代雌蜂还具备根据自身密度判断其雄性后代生殖竞争压力的能力(Local mate competition, LMC), 自身密度越大, 其雄性后代的数量则越多(胡好远等, 2010; Cook *et al.*, 2015)。因此, 明确寄生性天敌的生殖方式对于开发利用其生物防治潜能具有重要科学意义。

班氏跳小蜂 *Aenasius bambawalei* Hayat, 隶属于膜翅目、跳小蜂科 Hymenoptera: Eucyrtidae (Hayat, 2009), 是入侵性害虫—扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* Tinsley 的优势种专性寄生蜂(陈华燕等, 2010; 张娟等, 2014; Fand and Suroshe, 2015; Zhang *et al.*, 2016), 野外寄生率高达 60% (Fand *et al.*, 2011; Vijaya Pala and Saini, 2011; 黄俊等, 2012), 应用前景广阔。而且, 班氏跳小蜂为扶桑绵粉蚧的重要伴迁天敌, 两者存在非常紧密的关系(Ahmed *et al.*, 2015)。前期室内观察发现: 班氏跳小蜂营两性生殖和孤雌生殖, 且两性生殖可产生雌、雄后代, 孤雌生殖只产生雄性后代。然而对于该蜂在不同生殖方式或不同自身密度情形下, 寄生率和子代性比的了解还很欠缺, 极大限制了对其大量繁殖及田间的有效释放。本文在室内条件下研究了不同生殖方式(两性生殖和孤雌生殖)以及雌蜂密度对其寄生率和子代性比的影响, 为更好地发挥其在田间的生物防治作用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

班氏跳小蜂为浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所继代饲养种群, 2012 年 3 月底引进并在人工气候室内(温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $70\% \pm 5\%$, 光周期 14 L: 10 D)以扶桑绵粉蚧为

寄主维持种群, 现已连续繁殖 10 代以上。其饲养装置及饲养方法参照黄俊等(2012)。

扶桑绵粉蚧于 2011 年 8 月采自浙江省杭州萧山锦科花卉园艺场的大花马齿苋 *Portulaca grandiflora* Hook 上, 室内以盆栽棉花 *Gossypium hirsutum* L. (品种为“浙棉 607”)为寄主饲养继代至今。

1.2 试验方法

1.2.1 不同生殖方式及不同雌、雄比例条件下班氏跳小蜂的寄生率和子代性比

根据前期预实验, 设置两性生殖条件下的雌、雄蜂个体比例, 分别是 1:1、5:1、10:1、15:1 及 20:1, 而孤雌生殖为 1:0, 共 6 个处理, 其中两性生殖处理需观察到其具备明显的交配行为。选取初羽化约 5 d (该时间点雌蜂体内成熟卵量最多)的雌、雄成虫, 每处理内分别接入 300 头扶桑绵粉蚧雌成虫供雌蜂寄生, 寄生装置参照黄俊等(2012); 寄生装置放入温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $70\% \pm 5\%$, 光周期 14 L: 10 D 人工气候箱中。寄生 24 h 后移除班氏跳小蜂, 并继续饲养粉蚧, 最后统计僵蚧数量及羽化雌、雄性后代的数量。各处理设 5 次重复。

1.2.2 不同雌蜂密度条件下其寄生率及子代性比

设置不同密度的扶桑绵粉蚧雌成虫处理, 分别为 10、20、30、40 及 50 头/寄生装置, 然后分别吹入不同数量(1、2 和 3 头)、且已交配未产卵的班氏跳小蜂雌蜂(约 5 d)。寄生装置放入同样条件的人工气候箱中。统计僵蚧数量及羽化雌、雄性后代的数量。每处理设 5 次重复。

1.3 数据分析

所有数据均用 Excel 汇总并通过 DPS 3.0 软件进行分析处理。首先对不同雌、雄比例的两性生殖及孤雌生殖每次重复 5 次出现的僵蚧、子代雌蜂和雄蜂数量进行统计, 然后求 5 次重复的平均值, 并采用单因素方差分析检验不同处理下班氏跳小蜂的寄生率和子代性比, 利用 Duncan 多重比较区分各处理间的差异显著性; 其次对不同雌蜂密度下班氏跳小蜂的寄生率和子代性比进行统计, 然后求 5 次重复的均值, 同时采用单因素方差分析检验不同雌蜂密度下班氏跳小蜂的寄生率和子代雌性比例, 利用 Duncan 多重比较区分各处理间的差异显著性。根据各处理下的平均值和标准差, 进行做图。

2 结果与分析

2.1 班氏跳小蜂不同雌雄比例的两性生殖及孤雌生殖的寄生率和子代性比

班氏跳小蜂可进行两性生殖和孤雌生殖两种生殖方式。两性生殖既可产生雌性后代,也可产生雄性后代;孤雌生殖的后代均为雄性,属于产雄孤雌生殖。班氏跳小蜂不同雌雄比例的两性生殖及孤雌生殖的寄生率随着雌蜂数量的增加不断

升高,雌雄比为 20 : 1 时的寄生率最高,为 49.13%;雌雄比为 1 : 1 时的寄生率最低,为 3.53%,接近于孤雌生殖水平(2.33%)(图 1)。

在雌雄比 15 : 1 的情况下,其后代性比(雌:雄)最高,为 1.48 : 1;雌雄比为 20 : 1 的情况下,其后代性比(雌:雄)最低,仅为 0.03 : 1;雌雄比为 1 : 1、5 : 1 和 10 : 1 的情况下,其后代性比分别为 0.83、0.99 和 0.91。由此可见,班氏跳小蜂雄成虫可进行多次交配,且其最大授精次数为 15 次(图 1)。

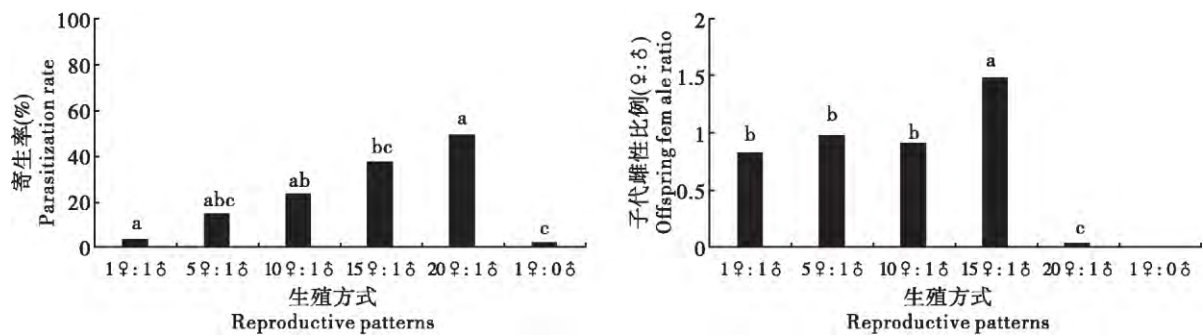


图 1 不同生殖方式下班氏跳小蜂的寄生率和子代性比

Fig. 1 The parasitization rate and offspring female ratio of *Aenasius bambawalei* under different reproductive patterns

2.2 班氏跳小蜂雌成虫不同密度下寄生率和子代性比

班氏跳小蜂不同密度下的寄生率和子代雌性比例存在现在显著差异(表 1, 2, 3)。2 头雌蜂同时存在情况下,其寄生率(65% - 90%)和子代性比(0.6 - 2.9)均最高;1 头雌蜂时,寄生率最低(37.5% - 53.0%),子代性比则接近于 3 头雌蜂存在时水平。另外,班氏跳小蜂数目一定情况下,不同粉蚧密度对其寄生率和子代性比也存在

较大影响(表 1, 2, 3)。1 头雌蜂情况下,其寄生率和子代性比以寄生 10 头粉蚧最高(53.0%, 2.0),以寄生 40 头粉蚧的最低(37.5%, 0.3);2 头雌蜂情况下,其寄生率以 50 头粉蚧最高(90%),但其子代雌性比例却最低(0.6),子代雌性比例以 10 头粉蚧最高(2.9);3 头雌蜂情况下,寄生率随寄主密度增加不断升高,在 50 头粉蚧时达到最大值,为 72.4%,而其子代雌性比例则不断下降,在 50 头粉蚧时仅为 0.3。

表 1 班氏跳小蜂雌成虫不同密度下的寄生率

Table 1 The parasitization rate of *Aenasius bambawalei* under different parasitic wasp density

	1 头雌蜂 1 female <i>A. bambawalei</i>	2 头雌蜂 2 female <i>A. bambawalei</i>	3 头雌蜂 3 female <i>A. bambawalei</i>
10 头粉蚧 10 <i>P. solenopsis</i>	53.0 ± 2.55 a ^B	68.0 ± 2.00 bc ^A	58.0 ± 3.74 b ^{AB}
20 头粉蚧 20 <i>P. solenopsis</i>	43.8 ± 2.01 bc ^B	70.0 ± 2.74 bc ^A	62.0 ± 2.00 b ^A
30 头粉蚧 30 <i>P. solenopsis</i>	46.3 ± 1.77 ab ^B	65.3 ± 1.70 c ^A	62.0 ± 0.82 b ^A
40 头粉蚧 40 <i>P. solenopsis</i>	37.5 ± 1.38 c ^C	76.5 ± 1.27 b ^A	59.5 ± 0.94 b ^B
50 头粉蚧 50 <i>P. solenopsis</i>	49.1 ± 1.09 ab ^C	90.0 ± 2.28 a ^A	72.4 ± 1.17 a ^B

注:同行相同小写字母表示扶桑绵粉蚧密度处理间差异不显著($P < 0.05$),同列相同大写字母表示班氏跳小蜂雌成虫密度间差异不显著($P < 0.05$),下同。Note: Same lowercase letters indicated no significant difference between *Phenacoccus solenopsis* density at 0.05 level, Same uppercase letters indicated not significant difference between *A. bambawalei* density at 0.05 level, the same below.

表 2 班氏跳小蜂雌成虫不同密度下的子代雌性比例
Table 2 The offspring female ratio of *Aenasius bambawalei* under different parasitic wasp density

	1 头雌蜂 1 female <i>A. bambawalei</i>	2 头雌蜂 2 female <i>A. bambawalei</i>	3 头雌蜂 3 female <i>A. bambawalei</i>
10 头粉蚧 10 <i>P. solenopsis</i>	2.0 ± 0.27 a ^{AB}	2.9 ± 0.81 a ^A	0.9 ± 0.18 a ^B
20 头粉蚧 20 <i>P. solenopsis</i>	1.6 ± 0.31 ab ^A	1.9 ± 0.52 ab ^A	0.9 ± 0.10 a ^A
30 头粉蚧 30 <i>P. solenopsis</i>	1.1 ± 0.08 bc ^A	1.3 ± 0.16 ab ^A	0.9 ± 0.05 a ^A
40 头粉蚧 40 <i>P. solenopsis</i>	0.5 ± 0.09 c ^B	0.8 ± 0.04 b ^A	0.5 ± 0.03 b ^B
50 头粉蚧 50 <i>P. solenopsis</i>	0.3 ± 0.08 c ^A	0.6 ± 0.12 b ^A	0.3 ± 0.02 b ^A

表 3 班氏跳小蜂雌蜂密度和扶桑绵粉蚧密度对寄生率和子代性比影响的二因素方差分析
Table 3 Two-way analysis of *Aenasius bambawalei* and *Phenacoccus solenopsis* density on the parasitization rate and offspring female ratio

	变异来源 (Source of variation)	平方和	自由度	均方	F 值	p 值
寄生率 (%) Parasitization rate	不同雌蜂密度 Different female <i>A. bambawalei</i> density	9956.83	2	4978.41	26.58	0.0003
	不同粉蚧密度 Different <i>P. solenopsis</i> density	1767.87	4	441.97	2.36	0.1402
	雌蜂密度 × 粉蚧密度 Female <i>A. bambawalei</i> density × <i>P. solenopsis</i> density	1498.37	8	187.30	9.54	0
	误差 Errors	1177.47	60	19.62		
	总变异 Total variation	14400.54	74			
子代性比 Offspring sex ratio	不同雌蜂密度 Different female <i>A. bambawalei</i> density	7.52	2	3.76	5.51	0.0313
	不同粉蚧密度 Different <i>P. solenopsis</i> density	23.43	4	5.86	8.58	0.0054
	雌蜂密度 × 粉蚧密度 Female <i>A. bambawalei</i> density × <i>P. solenopsis</i> density	5.46	8	0.68	1.68	0.12
	误差 Errors	24.38	60	0.41		
	总变异 Total variation	60.79	74			

3 结论与讨论

本研究结果表明, 班氏跳小蜂两性生殖及孤雌生殖的寄生率随着雌蜂数量的增加不断升高, 雌雄比为 20:1 时的寄生率最高, 为 49.13%; 雌雄比为 1:1 时的寄生率最低, 为 3.53%, 接近于孤雌生殖水平 (2.33%)。说明在寄主数量一定的情况下, 寄生蜂数量越多, 寄生率越高 (黄俊等,

2012)。同时, 寄生率与供试雌蜂和寄主扶桑绵粉蚧数量密切相关。两性生殖 1:1 和雌蜂生殖情况下蜂: 蚧比均为 1:300, 其它两性生殖条件下寄生蜂数量不断增加, 其寄生率也不断增加, 15:1 和 20:1 条件下, 班氏跳小蜂寄生率分别为 37.47% 和 49.13%, 已接近正常水平 (Fand *et al.*, 2011; Vijaya and Saini, 2011; 黄俊等, 2012)。因此, 为了明确合适的蜂: 蚧比例, 本研究进一步就不同蜂: 蚧比例对班氏跳小蜂寄生率的影响进行研究, 结

果表明, 蜂: 蚧比为1:10时寄生率为53.0%, 粉蚧数量进一步增加, 寄生率反而下降。说明1头雌蜂存在情况下, 最适合寄生的扶桑绵粉蚧数量不宜超过10头。另外, 寄生蜂相互之间也会相互作用, 2头雌蜂同时存在时, 寄生50头粉蚧时的寄生率最高(90%); 3头蜂同时存在时, 则可能存在相互干扰。

因为雌蜂是生物防治中更为有效的种类, 因此性比差异可极大的影响生防的效果(Heimpel and Lundgren, 2000)。本研究验证了前期试验结果: 班氏跳小蜂可进行两性生殖和孤雌生殖两种生殖方式, 两性生殖既可产生雌性后代, 又可产生雄性后代, 而孤雌生殖则只能产生雄性后代。而且, 在雌雄比15:1的情况下, 其后代雌性比例最高, 为1.48:1, 而雌雄比例进一步增加为20:1, 后代雌性比例则显著下降, 仅为0.03:1。说明1头班氏跳小蜂雄蜂最多可与15头雌蜂交配。另外, 雌雄比为1:1、5:1和10:1的情况下, 其后代性比分别为0.83、0.99和0.91, 三者之间无差异。因为寄生蜂雌性后代的数量由交配产生, 这与雄虫传递的精子数量有关(Nguyen *et al.*, 2013)。本研究中, 所有两性生殖处理中雄蜂数量均为1头, 所传递的精子数量无差异, 产生雌性后代的数量也应该相同。但是, 研究结果并不符合以上推论。据此, 我们推测: 雄虫传递的精子数量与寄生蜂雌性后代数量并无线性相关性, 可能有其它因素参与了性别调控过程。目前, 对班氏跳小蜂雄蜂传递精子的行为以及雌蜂性别分配的习性尚不明确, 需进一步研究以验证以上假设。

另外, 膜翅目寄生性天敌母代雌蜂具有根据自身密度判断其雄性后代生殖竞争压力的能力(Cook *et al.*, 2015), 但其作用机制尚缺乏定论。局部竞争理论(Local mate competition)认为, 同时产卵的母代雌蜂数量增加, 雌蜂因此判断产生更多的雄蜂有利于后代的繁衍(Cook *et al.*, 2015)。另有学者则指出, 母代雌蜂是根据寄主体内探测到的寄生蜂卵数量, 来分配自身子代的性别(Shuker and West, 2004)。本研究结果表明: 2头雌蜂同时存在情况下, 子代性比(0.6 - 2.9)高于1头雌蜂和3头雌蜂同时存在时, 说明此密度有利于产生更多的雌性后代。除母代雌蜂密度的影响外, 寄生蜂的子代性比还与母代自身的交配方式(Boulton and Shuker, 2013)以及LMC的水平(Grillenberger *et al.*, 2008)密切相关。明确班

氏跳小蜂的交配状态以及LMC的水平, 从而探明雌蜂密度与子代性比的关系, 这将是下一步研究的重点。

参考文献 (References)

- Ahmed MZ, Ma J, Qiu BL, *et al.* Genetic record for a recent invasion of *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae) in Asia [J]. *Environmental Entomology*, 2015, 44: 907 - 918.
- Boulton RA, Shuker DM. Polyandry [J]. *Current Biology*, 2013, 23 (24): R1080 - R1081.
- Chen HY, Cao RX, Xu ZF. First record of *Aenasius bambawalei* Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae), a parasitoid of the mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) from China [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2010, 32 (2): 280 - 282. [陈华燕, 曹润欣, 许再福. 扶桑绵粉蚧寄生蜂优势种 *Aenasius bambawalei* Hayat 记述 [J]. 环境昆虫学报, 2010, 32: 280 - 282]
- Cook N, Trivedi U, Pannebakker BA, *et al.* Oviposition but not sex allocation is associated with transcriptomic changes in females of the parasitoid wasp *Nasonia vitripennis* [J]. *Genes, Genom, Genetic*, 2015, 5: 2885 - 2892.
- Fand BB, Gautam RD, Suroshe S. Suitability of various stages of mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Homoptera: Pseudococcidae) for development and survival of the solitary endoparasitoid, *Aenasius bambawalei* (Hymenoptera: Encyrtidae) [J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2011, 21 (1): 51 - 55.
- Fand BB, Suroshe SS. The invasive mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley, a threat to tropical and subtropical agricultural and horticultural production systems - A review [J]. *Crop Protection*, 2015, 69: 34 - 43.
- Grillenberger BK, Koevoets T, Burton - Chellew MN, *et al.* Genetic structure of natural *Nasonia vitripennis* populations: Validating assumptions of sex - ratio theory [J]. *Molecular Ecology*, 2008, 17: 2854 - 2864.
- Hayat M. Description of a new species of *Aenasius* Walker (Hymenoptera: Encyrtidae), parasitoid of the mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Homoptera: Pseudococcidae) in India [J]. *Biosystematica*, 2009, 3: 21 - 26.
- He H, Xi GS. Complementary sex determination analysis in Hymenoptera [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2008, 45 (6): 987 - 990. [何慧, 奚耕思. 膜翅目昆虫补偿性性别决定机制 [J]. 昆虫知识, 2008, 45 (6): 987 - 990]
- Heimpel GE, de Boer JG. Sex determination in the hymenoptera [J]. *Annual Review of Entomology*, 2008, 53: 209 - 230.
- Heimpel GE, Lundgren JG. Sex ratios of commercially reared biological control agents [J]. *Biological Control*, 2000, 19: 77 - 93.
- Hodgson CJ, Abbas G, Arif MJ, *et al.* *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Sternorrhyncha: Coccoidea: Pseudococcidae), a new invasive species attacking cotton in Pakistan and India, with a discussion on seasonal morphological variation [J]. *Zootaxa*, 2008, 1913: 1 - 35.

- Huang J , Lu YB , Zhang J , *et al.* Parasitic functional response of *Aenasius bambawalei* Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae) to *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica* , 2012 , 55 (12) : 1418 – 1423. [黄俊 , 吕要斌, 张娟, 等. 班氏跳小蜂对扶桑绵粉蚧的寄生功能反应 [J]. 昆虫学报, 2012, 55: 1418 – 1423]
- Hu HY , Zhu XL , Chen ZZ , *et al.* Sex allocation of parasitoid wasps [J]. *Chinese Bulletin of Entomology* , 2010 , 47 (6) : 1081 – 1088. [胡好远, 朱小力, 陈中正, 等. 寄生蜂性别分配行为 [J]. 昆虫知识, 2010, 47 (6) : 1081 – 1088]
- Nguyen TM , Bressac C , Chevrier C. Heat stress affects male reproduction in a parasitoid wasp [J]. *Journal of Insect Physiology* , 2013 , 59 (2) : 248 – 254.
- Qin QL , Wang JY , Xu SX , *et al.* Impact factors determining offspring sex ratio of *Microplitis mediator* [J] . *Chinese Journal of Biological Control* , 2001 , 17 (4) : 155 – 158. [秦启联, 王金耀, 徐世新, 等. 影响中红侧沟茧蜂后代性比的因素 [J]. 中国生物防治, 2001, 17 (4) : 155 – 158]
- Shuker DM , West SA. Information constraints and the precision of adaptation: Sex ratio manipulation in wasps [J]. *PNAS* , 2004 , 101 (28) : 10363 – 10367.
- Vasquez CJ , Morse JG. Fitness components of *Aphytis melinus* (Hymenoptera: Aphelinidae) reared in five california insectaries [J]. *Environmental Entomology* , 2012 , 41 (1) : 51 – 58.
- Vijaya Pala R , Saini RK. Biology of *Aenasius bambawalei* Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae) [J]. *Journal of Insect Science* , 2011 , 24: 99 – 101.
- West SA , Sheldon BC. Constraints in the evolution of sex ratio adjustment [J]. *Science* , 2002 , 295: 1685 – 1688.
- Zhang J , Huang J , Lu YB , *et al.* Effects of temperature and host stage on the parasitization rate and offspring sex ratio of *Aenasius bambawalei* Hayat in *Phenacoccus solenopsis* Tinsley [J]. *PeerJ* , 2016 , 4: e1586.
- Zhang J , Huang J , Lu YB. Effects of host stage of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley on the fitness of the offspring of *Aenasius bambawalei* Hayat [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* , 2014 , 25 (4) : 1151 – 1155. [张娟, 黄俊, 吕要斌. 扶桑绵粉蚧虫态对班氏跳小蜂寄生适合性的影响 [J]. 应用生态学报, 2014, 25 (4) : 1151 – 1155]