应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2011,48(4):934—940

椰甲截脉姬小蜂野外种群与实验种群差异性比较*

孙蕊芬[1**] 田小青[2] 张先敏[3] 李样聪[1] 全 峰[1] 朱 麟[1***]

(1. 海南师范大学生命科学学院 海南省热带动植物生态学重点实验室 海口 571158;
2. 上海市金山区林业站 上海 201500; 3. 海南省林业科学研究所 海口 571100)

摘 要 通过随机抽样,比较了椰甲截脉姬小蜂 *Asecodes hispinarum* Bouček 林间种群与室内种群的雌雄比、出蜂量、未出蜂量、怀卵量的差异。*t* 检验表明这些参数在 2 个种群间均存在显著的差异。野外种群和室内种群雌蜂比例分别占 81.63% ±2.54% 和 65.34% ±1.80%,出蜂量分别是(25.13 ±1.17)头和(52.90 ±1.88)头。利用相关分析分析了寄主大小对寄生蜂性比的影响,表明寄主大小和寄生蜂雌雄比没有相关关系,不符合 Charnov 建立的寄生雌雄比与寄主大小关系的数学模型。

关键词 椰甲截脉姬小蜂,种群差异性,性比

Comparisons of the field and laboratory populations of *Asecodes hispinarum* Bouček

SUN Rui-Fen[1**] TIAN Xiao-Qing[2] ZHANG Xian-Min[3]
LI Yang-Cong[1] QUAN Feng[1] ZHU Lin[1***]

(1. College of Life Sciences, Hainan Normal University, Hainan Provincial Key Laboratory of Tropical Plant and Animal Ecology, Haikou 571158, China; 2. Jinshan Forestry Station in Shanghai, Shanghai 201500, China; 3. Forestry Research Institute of Hainan Province, Haikou 571100, China)

Abstract Field and laboratory populations of the parasitoid *Asecodes hispinarum* Bouček were randomly sampled, and sex ratios, the number of emerged and unemerged adults and egg numbers compared between the two populations. *t*-test indicated that these parameters differed significantly between the two populations. The proportion of females in the field population was 81.63% ±2.54% compared to 65.34% ±1.80% in the laboratory population and the number of emerged adults in the field population was 25.13 ±1.17 compared to 52.90 ±1.88 in the laboratory. The effect of host size on sex ratio was analyzed by correlation analysis; no relationship between host size and sex ratio was observed. This result is contrary to the prediction derived from Charnov's model.

Key words *Asecodes hispinarum*, population differences, sex ratios

膜翅目雌性通过调控卵的受精过程决定后代性比(Flanders, 1965; Godfray, 1994),单倍体是雄性,二倍体是雌性(查幸福等, 2006; Wilgenburg *et al.*, 2006; Verhulst *et al.*, 2010)。寄生蜂的性别决定除遗传因子以外,寄主资源质量、雌蜂生理状况和营养水平以及环境条件等因素都对性比分配和发育有影响(王问学, 1990)。Hamilton (1967)建立了本地配偶竞争理论模型(local mate competition, LMC),该模型预测:同一寄主上产卵的雌蜂越多,后代雄性比例越高,反之则偏雌。大量研究证明了这一模型的广泛适用性(Burton-Chellew *et al.*, 2008; Abe *et al.*, 2009)。1982 年 Charnov 建立了寄生蜂雌雄比与寄主大小关系的数学模型。这个模型显示:雌蜂会识别寄主大小

* 资助项目:海南省教育厅"椰心叶甲种群生物学研究"(hjkj200618)、"椰心叶甲两种寄生蜂生态适应性研究"(Hjkj2009-38)项目和海南省教育厅高校研究生创新课题"椰心叶甲两种寄生蜂热激蛋白的表达研究(Hxwsy2009-20)"。

** E-mail: ecology-sun@163.com

*** 通讯作者,E-mail: lzhu2005@hainnu.edu.cn

收稿日期:2010-04-15,接受日期:2011-02-07

来调控后代性比。在个体大的寄主体内主要发育为雌性个体,而在个体小的寄主体内主要发育为雄性个体。

椰甲截脉姬小蜂 *Asecodes hispinarum* Bouček 是椰心叶甲 *Brontispa longissima* (Gestro) 幼虫的重要内寄生蜂(吕宝乾等, 2005)。2004 年从越南引进海南并进行工厂化繁殖后释放于林间防治椰心叶甲,取得较显著的防治效果(李朝绪等,2008)。寄生蜂在实验室稳定条件下发育,之后将室内被寄生的椰心叶甲幼虫挂放林间,姬小蜂羽化后于林间搜寻寄主从而达到防治的目的。释放到林间的室内种群须经历冬季低温、夏季高温、正午升温、夜间降温、大风、降雨等不稳定天气变化,在林间的搜寻活动与成功寄生还受寄生蜂扩散能力、斑块大小、人为干扰等因素影响。另外寄生蜂雌雄比例、成蜂的大小和出蜂率等也会影响寄生蜂在野外的成功繁殖。经过野外的适应后,释放到林间的寄生蜂便形成了一个相对独立的种群。

鉴于室内条件与野外条件存在较大差异,在良好条件下饲养的姬小蜂在野外将面临各种不确定性的环境条件,姬小蜂通过何种途径在野外条件下生存,同时保持一定的种群数量,目前没有相关的研究。由于性比在调节种群数量方面起着重要作用,因此本研究比较了椰甲截脉姬小蜂野外种群和实验种群雌雄性比、出蜂量、未出蜂率、单头寄主体内总卵量,同时检验了寄主大小和寄生蜂性比之间的关系,以期获得 2 个种群在 2 种生存条件下的差异性证据,为椰心叶甲的生物防治提供基础数据。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

椰甲截脉姬小蜂野外种群采自海口市罗牛山,2008 年 9 月—2009 年 11 月每周收集被寄生的椰心叶甲僵虫,4 龄僵虫共 216 只。姬小蜂室内种群由海南省林业科学研究所饲养提供。姬小蜂饲养方法如下: 将新鲜椰树心叶裁剪为长 18 cm 的长条,20 片绑为一捆,放置于长 21.5 cm,宽 13.5 cm 的塑料保鲜盒里,每个盒里放 3 捆,盒盖中央割去长 14.5 cm,宽 8.5 cm 方孔用于透气,覆盖纱网以防止成虫飞出。每 3 天更换 1 次椰心叶,清理虫便,清洗虫盒,并用 75% 酒精消毒用具。饲养多代后取健康活跃的椰心叶甲 4 龄幼虫,每盒 500 头,将姬小蜂成虫雌雄比 2∶1 并总数与椰心叶甲幼虫 3∶1 的数量接入盒内,用 10% 蜂蜜水补充营养,盖上盒盖,用透明胶把盒盖封紧,室内培育(温度 25 ~ 26℃,RH75% ~ 80%,光照 L∶D = 14∶10) 7 d 后挑取被寄生椰心叶甲僵虫放置盒内,相同条件下继续发育至试虫。

1.2　雌雄比、出蜂量、未出蜂量统计

2 个种群分别取 200 只僵虫作为试验用虫,每 50 只为一组,4 组重复。将野外采集的椰心叶甲 4 龄僵虫分装于指形管(Φ1.3 cm × 5.2 cm) 中,每管 1 头,置于温度(25 ± 1) ℃, RH 75% ± 10%,光照 L∶D = 14∶10 的条件下,待其出蜂完毕,统计每头寄主的出蜂量和已出蜂的雌性和雄性个体数。解剖寄主,统计未出蜂量。雌雄比 = 雌蜂数量/雄蜂数量,单头寄主体内总卵量 = 出蜂量 + 未出蜂量,未出蜂率 = 未出蜂量/单头寄主体内总卵量。实验种群做相同处理。数据用 SPSS16.0 软件进行 t 检验分析,分析各参数的差异,取试验数据的平均值作结果,每组数据用平均值 ± 标准误差表示。显著性水平设置为 $\alpha = 0.05$。

1.3　寄主大小测量和雌雄比统计

随机取实验种群和野外种群被寄生 4 龄僵虫各 100 头,用游标卡尺测量僵虫体长和体宽,统计单头寄主出蜂的雌性和雄性个体数。寄主大小约等于体长 × 体宽,数据用 SPSS16.0 软件进行相关和回归分析,分析雌雄性个体数与寄主大小、出蜂量、未出蜂率、单头寄主体内总卵量的相关性。

2　结果与分析

2.1　野外种群和室内种群差异性比较

对椰甲截脉姬小蜂野外种群和实验种群各参数分别进行 t 检验,结果显示雌雄比、出蜂量、未出蜂量和单头寄主体内总卵量均差异显著,未出蜂率差异不显著(表 1)。椰甲截脉姬小蜂性比偏雌,野外种群雌性比例高于实验种群。野外种群雌蜂比例占 81.63% ± 2.54%,实验种群占 65.34% ± 1.80%,有个别寄主仅羽化雌蜂或雄蜂的现象。

实验种群的单头寄主出蜂量明显高于野外种群。实验种群最高 149 头、最低 7 头、平均(52.90 ± 1.88) 头。野外种群最高 99 头、最低 2 头、平均(25.13 ± 1.17) 头。实验室寄主椰心叶甲集中饲

养、寄主龄期一致、营养充足，寄生时减少了寄生蜂搜索寄主的时间和能量消耗，并且多头寄生蜂产卵在同一寄主体内，单头寄主体内总卵量显著高于野外种群，平均每只寄主比野外寄主多 32.05 头，出蜂量也相应较高，平均每只寄主比野外寄主高 28 头。

实验室寄生蜂未出蜂量偏高，平均高于野外种群 4.28 头，野外种群单头寄主体内的卵能够全部发育至羽化的占寄主总量的 64.23%，实验种群占 46.30%。实验种群羽化的小蜂个体偏小，活动能力不强，野外种群寄生蜂个体大、体色有光泽、行为活跃。

表 1 椰甲截脉姬小蜂野外种群和实验种群繁殖力差异性比较

Table1 Comparisons of reproductive capacity of the field and laboratory populations of *Asecodes hispinarum*

种群 Populations	雌雄比 Sex ratio	出蜂量(头) Adults emerged	未出蜂量(头) Adults unemerged	总卵量(头) Egg load per host individual	未出蜂率 Mortality
实验种群 Laboratory populations	4.59 ± 0.39a	52.90 ± 1.88a	7.63 ± 0.90a	60.53 ± 1.99a	0.14 ± 0.02a
野外种群 Field populations	6.09 ± 0.46b	25.13 ± 1.17b	3.35 ± 0.46b	28.48 ± 1.22b	0.16 ± 0.02a

注：表中所列数据为平均值 ± SD；不同字母表示 *t* 检验差异显著。

Data in the table are means ± SD, and followed by different letters in the same column indicate significantly different at 0.05 level by *t*-test.

2.2 寄主大小和雌雄比例的关系

野外种群寄主体长平均(0.803 ± 0.168) cm，寄主体宽平均(0.205 ± 0.040) cm，实验种群寄主体长平均(0.912 ± 0.063) cm，寄主体宽平均(0.226 ± 0.018) cm。相关分析表明：实验种群和野外种群雌雄比例与寄主大小均没有相关关系(表 2,3)。说明椰甲截脉姬小蜂雌雄决定机制与寄主大小没有直接关系。

表 2 椰甲截脉姬小蜂实验种群繁殖力各因素相关性分析

Table 2 Correlation of factors of reproductive capacity of *Asecodes hispinarum* (laboratory population)

参数 Parameters	雌雄比 Sex ratio	出蜂量 Adults emerged	总卵量 Egg load per host individual	未出蜂率 Mortality	雌蜂比例 Female proportion	寄主大小 Host body size
未出蜂量 Mortality	−0.201*	−0.179	0.391**	0.916**	−0.195*	0.174
雌雄比 Sex ratio		−0.176	−0.277**	−0.123	0.740**	−0.004
出蜂量 Adults emerged			0.836**	−0.424**	−0.044	0.294**
总卵量 Egg load per host individual				0.114	−0.150	0.372**
未出蜂率 Mortality					−0.163	0.074
雌蜂比例 Female proportion						0.038

注：表中所列数据为相关系数；**表示相关达极显著水平($P < 0.01$)，* 表示相关达显著水平($P < 0.05$)。下表同。

Data in the table are means correlation coefficient; **indicates correlated extremely significant between column and row($P < 0.01$, correlate). * indicates correlated significant between column and row($P < 0.05$, correlate). The same below.

表 3　椰甲截脉姬小蜂野外种群繁殖力各因素相关性分析

Table 3　Correlation of factors of reproductive capacity of *Asecodes hispinarum* (field population)

参数 Parameters	雌雄比 Sex ratio	出蜂量 Adults emerged	总卵量 Egg load per host individual	未出蜂率 Mortality	雌蜂比例 Female proportion	寄主大小 Host size
未出蜂量 Mortality	-0.112	0.048	0.402**	0.852**	-0.166	0.316**
雌雄比 Sex ratio		-0.040	-0.004	-0.148	0.637**	0.135
出蜂量 Adults emerged			0.934**	-0.256*	-0.003	0.476**
总卵量 Egg load per host individual				0.071	-0.062	0.549**
未出蜂率 Mortality					-0.212*	0.149
雌蜂比例 Female proportion						0.126

实验种群与野外种群寄主大小与单头寄主体内总卵量均呈相关关系。实验种群寄主大小与单头寄主体内总卵量的关系为 $Y = -478.164 + 3.824x - 2.637x^3$，$R^2 = 0.266$（图 1），寄主大小在 0.1582 ~ 0.2760 cm^2 之间，总卵量在 11 ~ 139 头之间；野外种群寄主个体大小与单头寄主体内总卵量的关系为 $y = e^{(4.283 - 0.119/x)}$，$R^2 = 0.432$（图 2），寄主大小在 0.0641 ~ 0.3505 cm^2 之间，怀卵量在 7 ~ 130 头之间。

实验种群寄生蜂雌雄比与单头寄主体内总卵量呈相关关系 $y = -2.915\ln(x) + 16.680$，$R^2 = 0.075$（图 3）。单头寄主体内总卵量越多，雌性比例越低。野外种群雌雄比与单头寄主体内总卵量没有相关关系，回归曲线 $Y = 2.834 + 0.250x - 0.004x^2 + 1.355x^3$，$R^2 = 0.027$（图 4）。

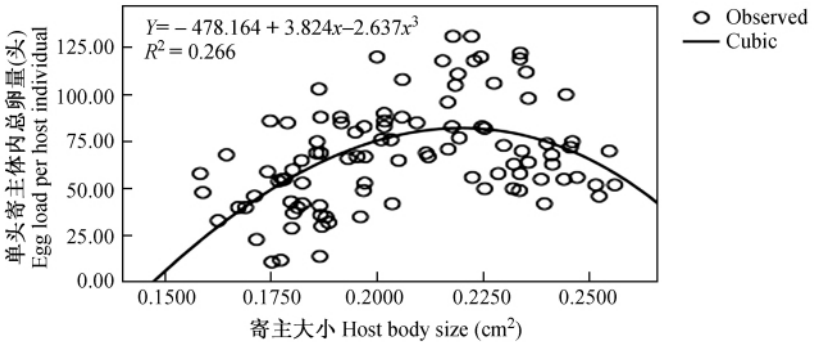

图 1　寄主大小与单头寄主体内总卵量回归关系(实验种群)

Fig. 1　Regression analysis of the host body size and the egg load per host individual of *Asecodes hispinarum* (laboratory population)

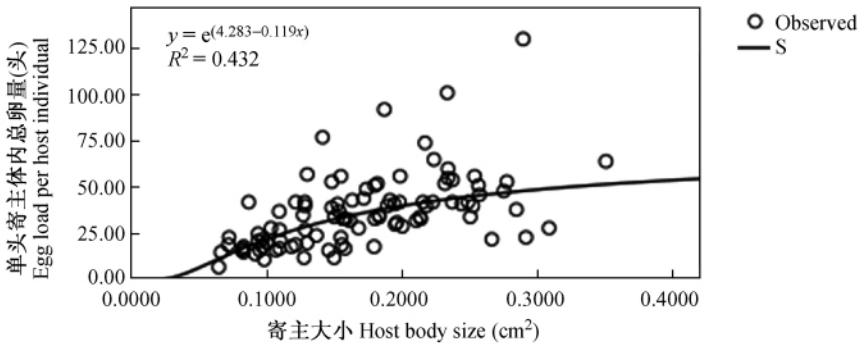

图 2 寄主大小与单头寄主体内总卵量回归关系(野外种群)

Fig. 2 Regression analysis of host body size and egg load per host individual of *Asecodes hispinarum* (field population)

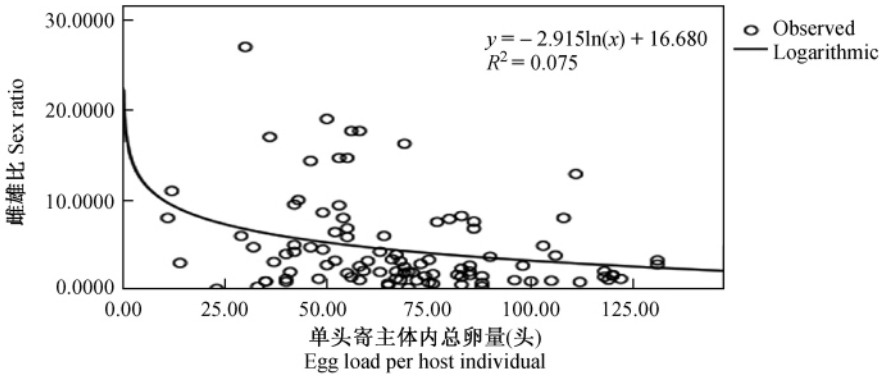

图 3 单头寄主体内总卵量与姬小蜂羽化后雌雄比回归关系(实验种群)

Fig. 3 Regression analysis of egg load per host individual and sex ratio of *Asecodes hispinarum* (laboratory population)

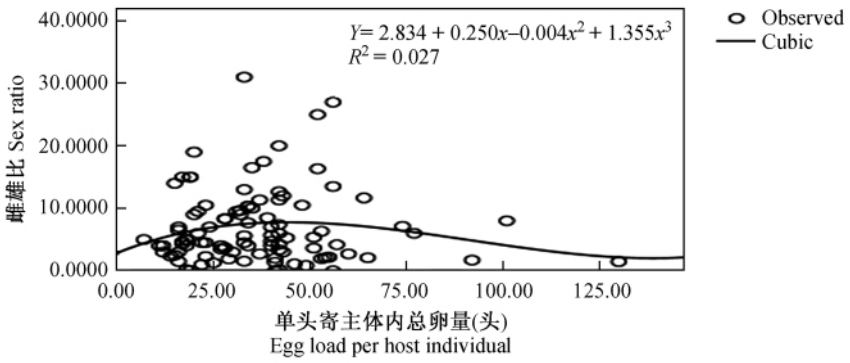

图 4 单头寄主体内总卵量与姬小蜂羽化后雌雄比回归关系(野外种群)

Fig. 4 Regression analysis of egg load per host individual and sex ratio of *Asecodes hispinarum* (field population)

3 讨论

从对 2 个种群各主要参数的比较来看,野外和室内种群已经出现了明显的分化。野外种群与实验种群繁殖力差异显著,实验种群单头寄主体内总卵量和出蜂量较高。野外种群雌性比例高于

实验种群。从而看出,实验种群以较高的产卵量和出蜂量保证种群数量持续增长,野外种群以较高的雌性比例以期获得更多后代。相关分析得出实验种群姬小蜂雌雄比与单头寄主体内总卵量显著相关,随着单头寄主体内总卵量增加,雌雄比例降低,说明实验室饲养中密度过大,姬小蜂雌蜂产卵时自动调节后代性比。野外种群雌雄比与单头寄主体内总卵量没有相关关系,野外种群产卵过程发生在林间,环境因素不可判断,如温度、湿度、光照、寄主质量和龄期、搜索寄主难度等,所以不能判断野外雌性比例高是哪个或哪些因素影响。

1982 年 Charnov 建立了寄生蜂雌雄和寄主大小之间的关系的数学模型。这个模型显示: 雌蜂会辨认寄主大小来调控后代性比。母代在个体大的寄主体内主要产雌性个体,在个体小的寄主体内产雄性个体。椰甲截脉姬小蜂实验种群和野外种群都不符合此模型。有研究表明 *Apanteles rubecula* 和 *Spalangia cameroni* (King, 1987); *Achrysocharoides zwoelferi* (West *et al.* , 1996); *Oomyzus sokolowskii* (Christian *et al.* , 2009) 等雌雄比也没有随着寄主大小而变化,所以这个模型不具有通用性和代表性。值得注意的是,在试验数据分析中,寄主大小与单头寄主体内总卵量有显著相关关系,而单头寄主体内总卵量与寄生蜂雌雄比也有显著相关关系,寄主大小有可能间接影响寄生蜂的雌性比例,但需要研究证实。

本文实验种群和野外种群数据不支持 Charnov 的推论,寄生蜂后代性比模型需要更进一步的研究。不同寄生蜂种类中不同因素对性比的影响都不一致。(1) 产卵时母代年龄或者受精后的天数; (2) 配偶的年龄和它前一次交配后延隔的时间; (3) 极端温度; (4) 寄主大小,年龄,质量; (5) 其它雌蜂出现的数量; (6) 母代食性; (7) 多胚现象; (8) 光周期和相对湿度; (9) 寄主性别; (10) 寄主密度; (11) 寄生蜂大小等。另外椰甲截脉姬小蜂实验室种群和野外种群的差异性是否影响实验种群放蜂林间后野外种群数量建立,实验种群能否更好地适应野外多变的环境从而达到较好的椰心叶甲防治效果,需要进一步研究。

引进天敌进行生物防治历来都是一个很受重视的问题,但从目前的情况来看,能够起到长期持续控制作用的例子仍然相对较少。其主要原因是对引入的天敌,无论是捕食性的或寄生性的,缺乏长期的基础理论和适应性研究,从而缺乏对天敌引入后适应本地环境过程中各种机制的理解。本文以入侵害虫椰心叶甲 - 寄小蜂为模式系统,对寄生蜂的适应性进行了一些初步的研究,表明室内条件与室外条件确实能造成种群的分化。当然,在获得适应性的过程中,有很多各种各样复杂的问题还需要进一步深入研究,这些工作仍在继续中,其最终的目的是希望能充分理解这一模式系统的运行机制,从而对入侵害虫椰心叶甲进行有效持续的生物防治。

参考文献(References)

Abe J, Kamimura Y, Shimada M, West SA, 2009. Extremely female-biased primary sex ratio and precisely constant male production in a parasitoid wasp *Melittobia*. *Anim. Behav.* , 78 (2) : 515—523.

Burton-Chellew MN, Koevoets T, Grillenberger BK, Sykes EM, Underwood SL, Bijlsma K, Gadau J, Van de Zande L, Beukeboom LW, West SA, Shuker DM, 2008. Facultative sex ratio adjustment in natural populations of wasps: cues of local mate competition and the precision of adaptation. *Am. Nat.* , 172(3) : 393—404.

Charnov EL, 1982. The Theory of Sex Allocation. Princeton University Press, Princeton. 121—128.

查幸福, 夏庆友, 向仲怀, 2006. 昆虫性别决定的分子机制研究进展. 蚕业科学, 32 (3) : 151—156.

Christian SA, Ramos Filho IT, Torres JB, Barros R, 2009. Superparasitism and host size effects in *Oomyzus sokolowskii* a parasitoid of diamondback moth. *Entomol. Exp. Appl.* , 133 (1) : 65—73.

Flanders SE, 1965. On the sexuality and sex ratios of hymenopterous populations. *Am. Nat.* , 93: 489—494.

Godfray HCJ, 1994. Parasitoids: Behavioural and Evolutionary Ecology. Princeton University Press, Princeton, N. J. 152—155.

Hamilton WD, 1967. Extraordinary sex ratios. *Science*, 156: 477—488.

King BH, 1987. Offspring sex ratios in parasitoid wasps. *Q. Rev. Biol.* , 62(4) : 367—396.

李朝绪, 覃伟权, 黄山春, 韩超文, 马子龙, 彭正强, 2008. 海南利用寄生蜂防治椰心叶甲效果分析. 林业科技发展, 22 (1) : 41—44.

吕宝乾, 彭正强, 唐超, 温海波, 金启安, 符悦冠, 杜予州, 2005. 椰心叶甲寄生蜂—椰甲截脉姬小蜂的生物学特性. 昆虫学报, 48(6) : 943—948.

Verhulst EC, Beukeboom LW, Louis van de Zande, 2010. Maternal control of Haplodiphloid sex determination in the wasp *Nasonia*. *Science*, 328(5978): 620—623.

王问学, 1990. **寄生蜂的性比分配**. **生物防治通报**, 6(4): 173—178.

West SA, Flanagan KE, Godfray HCJ, 1996. The relationship between parasitoid size and fitness in the field, a study of *Achrysocharoides zwoelferi* (Hymenoptera: Eulophidae). *J. Anim. Ecol.*, 65: 631—639.

Wilgenburg EV, Driessen G, Beukeboom LW, 2006. Signgle locus complementary sex determination in Hymenoptera: an "unintelligent" design? *Front. Zool.*, 1(3): 1—15.