

斑痣悬茧蜂产卵器刺扎寄主经历对刺探行为的影响^{*}

冯素芳^{**} 孟 玲 李保平^{***}

(南京农业大学, 农业部病虫害监测与防控重点开放实验室, 南京 210095)

摘 要 【目的】 本文旨在评价斑痣悬茧蜂 *Meteorus pulchricornis* (Wesmael) 刺扎寄主的行为机理。

【方法】 采用非选择性试验于室内观察了刺扎次序对其产卵决策的影响; 并采用双选试验观察了具有刺扎不同寄主(健康的、自身刺扎过的、他蜂刺扎过的寄主)的经历如何影响寄生蜂对自身刺扎与他蜂刺扎过的寄主的选择。**【结果】** 非选择性试验结果表明: 当面对健康寄主时, 寄生蜂刺扎次序对刺扎耗时在 5% 概率水平上没有显著影响, 但在 10% 概率水平具有显著影响; 刺扎次序对寄生率没有显著影响, 第 1 至 5 次刺扎的寄生率依次为 63.3%、46.7%、76.7%、70.0% 和 66.7%。双选试验结果发现, 刺扎不同寄主的经历处理对刺扎寄主选择性没有显著影响($P>0.05$), 具有刺扎健康的、自身刺扎过的和他蜂刺扎过的寄主的经历使寄生蜂选择被他蜂刺扎过的寄主的比例分别为 65.5%、44.8% 和 50.0%。但刺扎经历显著影响刺扎耗时($P<0.05$), 具有 1 次刺扎健康寄主经历的蜂的刺扎耗时显著短(2 倍)于具有刺扎自身刺扎过的寄主经历的蜂, 但与具有刺扎他蜂刺扎过的寄主经历的蜂没有显著差异($P>0.05$)。**【结论】** 学习在斑痣悬茧蜂刺扎探测寄主行为的作用很小。

关键词 寄主搜寻, 寄主接受, 学习, 产卵器刺扎, 过寄生

Ovipositor drilling behaviors and host selection in *Meteorus pulchricornis* Wesmael (Hymenoptera: Braconidae)

FENG Su-Fang^{**} MENG Ling LI Bao-Ping^{***}

(College of Plant Protection, Key Laboratory of Integrated Management of Crop Diseases and Pests of Ministry of Education, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract [Objectives] To gain insights into the mechanisms of ovipositor drilling behavior of *Meteorus pulchricornis* (Wesmael) (Hymenoptera: Braconidae). **[Methods]** Non-choice trials were performed to measure the influence of oviposition sequence on decisions with regard to *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae; dual-choice trials were conducted to detect effects of prior experience on oviposition preferences between self- and conspecific-parasitized hosts. **[Results]** The non-choice trials did not find significant effects of oviposition sequence on oviposition duration at the 5% level, but did at the 10% level. Oviposition sequence did not have significant effects on parasitization rate, which was 63.3%, 46.7%, 76.7%, 70.0% and 66.7% from the first to fifth host, respectively. The dual-choice trials did not find significant effects of oviposition experience on oviposition preferences between self- and conspecific-parasitized host larvae ($P>0.05$); percentages of attacking

^{*} 资助项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201103002)

^{**}E-mail: fengsufang2011@126.com

^{***}通讯作者, E-mail: lbp@njau.edu.cn

收稿日期: 2013-09-06, 接受日期: 2014-01-12

conspecific-parasitized hosts were 65.5%, 44.8%, and 50.0% for parasitoids with the experience of oviposition on healthy, self- and conspecific-parasitized hosts, respectively. Oviposition experience however influenced the oviposition duration of parasitoids, which was reduced by two times for parasitoids with the experience of oviposition on healthy hosts compared to those with experience of oviposition on self-parasitized hosts, but was not different compared to parasitoids with experience of oviposition on conspecific-parasitized hosts. [Conclusion] The results of this study suggest that learning may play a minor role in oviposition behavior of *M. pulchricornis*.

Key words host location, host acceptance, learning, oviposition drilling, superparasitism

由于寄生蜂子代发育完全依赖于雌蜂的产卵选择,故自然选择能准确地寄生适于子代发育寄主的寄生蜂 (Godfray, 1994)。经典的寄生蜂搜寻寄主模式是机械式的,包括一系列分层行为过程:栖境寻找、寄主寻找、寄主接受和寄主适宜等 (Vinson, 1976)。有时“寄主接受”再细分为:检查、触探、刺探和产卵 (Vinson, 1985)。后来提出了寄生蜂搜寻寄主的动态模式,其特点是不再强调行为过程的先后次序,认为寄生蜂能够将不断变化的环境因素与自身状态的信息综合后及时调整搜寻行为 (Lewis and Takasu, 1990; Vet and Groenewold, 1990),这种信息整合能力自然使人们想到寄生蜂具有学习能力,并为后续实证研究所支持 (Turlings *et al.*, 1993)。

寄生蜂在接受寄主产卵前,表现出多种多样的检验寄主行为,有的经过外部检验后立即接受或放弃产卵;有的通过外部检验后还需将产卵器刺入寄主体内进一步检验,因为产卵器上存在丰富的触感和化感器 (Quicke, 1997)。迄今,对寄生蜂的寄主接受行为研究集中于生理和生化方面,初步明确了产卵器上丰富的化感器在刺探检验寄主中的作用机理 (Battaglia *et al.*, 2000; Obonyo *et al.*, 2010)。但对刺探检验的行为学研究较少,常见的研究力图揭示刺探持续时间长短 (刺扎耗时)与产卵成功之间的关系,例如,蚜

茧蜂科 (Aphidiidae) 中 *Ephedrus* 属蚜茧蜂刺扎达到一定时间后才产卵,据此可根据刺扎耗时判断是否产卵;但 *Aphidius* 属蚜茧蜂刺扎耗时与产卵之间却不存在关联 (Hagvar and Hofsvang, 1991)。

寄生蜂产卵器刺探行为不仅对于理解寄主蜂与寄主互作关系具有理论价值,而且对于评价寄生蜂的控害作用具有应用意义。评价寄生蜂控害的直接作用常用寄生率 (van Driesche, 1983),但这一指标可能会不同程度低估其实际控害作用,因为它未考虑产卵器刺扎但未产卵的作用,被刺扎的寄主往往由于伤口感染而死亡或至少受到负面影响。有的寄生蜂 (如茧蜂)刺扎多个寄主而不产卵,其实际控害作用远大于寄生率所反映的作用。所以,揭示寄生蜂的刺探行为对于准确评价寄生蜂的控害作用具有重要现实意义。

本研究以斑痣悬茧蜂 *Meteorus pulchricornis* (Wesmael) 为对象,它是暴露取食的大型蛾类幼虫的单寄生蜂,其主要寄主包括重要农业害虫:棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Liu and Li, 2008)、甜菜夜蛾 *Spodoptera exugia* (刘亚惠和李保平, 2006; Liu and Li, 2006) 和斜纹夜蛾 *S. littura* (陈雯等, 2011)。斑痣悬茧蜂具有多次非连续刺扎同一寄主的行为,这可能与其偏好过寄生有关,张博等

(2012) 的野外调查发现过寄生率可达到 23%, 但 Chau 和 Maeto (2009) 的行为学研究说明, 斑痣悬茧蜂可以通过寄主活动性识别其是否被寄生。据此, 我们推测斑痣悬茧蜂反复不连续刺扎同一寄主的行为可能与刺探评价寄主有关。为摸清斑痣悬茧蜂刺探寄主的行为机理, 本研究拟回答以下问题: (1) 面对未被寄生的寄主幼虫 (健康寄主), 刺扎耗时是否与刺扎次序有关? 产卵与否 (用概率表示) 是否与刺扎次序和刺扎耗时有关? (2) 面对已被刺扎的寄主幼虫, 寄生蜂刺扎不同寄主的经历是否影响其再次刺扎的寄主选择性及其刺扎耗时? 对这些问题的回答将有助于揭示产卵器刺探行为与产卵的关系以及学习在刺探行为中的作用, 从而为阐明寄生蜂寄主搜寻的行为机理和生物防治中的控害效应评价提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

斑痣悬茧蜂的单性生殖种群于 2008 年 9 月由采自江苏省南京市东郊大豆田中的斜纹夜蛾幼虫育出。室内条件下寄生蜂以斜纹夜蛾为寄主饲养在 $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$ 、 $60\% \pm 10\%$ RH 和 L:D=14:10 光周期的养虫室中。

放大约 50 头 3 龄寄主幼虫于透明塑料盒中, 释放 5 头成蜂, 塑料盒内壁涂有 10% 的蜂蜜水供寄生蜂取食, 寄生 12 h 后将寄主幼虫取出, 放于直径为 5.5 cm, 高为 1.5 cm 的培养皿中单头饲养, 成熟的寄生蜂幼虫从寄主幼虫体内爬出后在外部化蛹结茧, 将茧取出, 置于直径为 1.5 cm, 高为 8 cm 的试管中。寄生蜂羽化后, 将寄生蜂转移到直径为 1.5 cm, 高为 8 cm 的试管中, 每管中放入 5~7 头寄生蜂, 每天提供 10% 的蜂蜜水

供寄生蜂取食, 每天喂食 2 次。试验所用蜂为 4~6 日龄, 该日龄蜂的日产卵量较高 (刘亚慧, 2007)。供试蜂设置 3 种寄生经历, 分别是没有自体 and 异体过寄生和搜寻经历、有自体过寄生经历以及有异体过寄生经历的蜂。

斜纹夜蛾由 2007 年 9 月采自江浦农场, 寄主幼虫从卵初孵到 3 龄幼虫均饲养在直径 20 cm, 高 8 cm 的平底玻璃缸中。进入 4 龄后, 将幼虫转移到直径为 3 cm, 高 10 cm 的平底试管中用人工饲料单头饲养。化蛹后将蛹移到 40 筛目尼龙纱网的木制框架笼子中用于成虫的羽化和产卵, 提供纸片作为产卵的介质, 并用 10% 的蔗糖溶液作为蛾子的食物补充。供试的斜纹夜蛾是 2 龄末 3 龄初幼虫。

1.2 刺扎顺序对刺扎时间和产卵的影响

该试验旨在探究寄生蜂产卵器刺扎健康寄主的经历是否影响对健康寄主的刺扎耗时和产卵决策。将 1 头健康寄主幼虫放入试管 (直径为 1.5 cm, 高为 8 cm) 中, 同时接入 1 头无寄生经历的寄生蜂, 连续观察直至刺扎寄主, 记录刺扎耗时; 然后更换另一头寄主, 直到刺扎第 5 头寄主后结束。将被刺扎的寄主单头饲养 2 d 后解剖检查寄生蜂卵。每个处理观察 30 头蜂。

1.3 刺扎经历对刺扎时间和寄主选择性的影响

本试验旨在探究刺扎被刺扎过寄主的经历是否影响对该类寄主的刺扎耗时和选择。设置 3 个刺扎经历处理: 具有 1 次刺扎健康寄主的经历 (处理 1), 具有 1 次刺扎此前刺扎过寄主的经历 (处理 2), 具有 1 次刺扎已被其他蜂刺扎过的寄主的经历 (处理 3)。为寄生蜂提供 2 头不同的寄主幼虫, 1 头该蜂刺扎过的寄主幼虫, 另 1 头是被他蜂刺扎过的寄主, 寄主均为 2 龄末至

3 龄初的斜纹夜蛾幼虫, 体型大小近似。先将寄主放入透明塑料食品盒(直径 9 cm, 高 5 cm, 顶部覆盖纱网)内, 盒底部铺有新鲜的大豆叶片供寄主取食; 然后释放 1 头寄生蜂。连续观察寄生蜂的搜寻行为, 直至完成 1 次刺扎寄主行为后终止。观察记录刺扎耗时(指记录刺扎耗时寄生蜂将产卵器刺入寄主直到拔出的时间)和刺扎寄主。试验在室内进行, 环境温度 27~29℃, 相对湿度约 50%~70%。每处理观察 30 头蜂。

1.4 数据分析

由于刺扎耗时分布较强偏于短时间, 故用负二项分布拟合的广义线性模型处理因素对刺扎耗时的影响。由于刺扎寄主选择和产卵选择观测值均为二元数据, 故用 logistic 回归分析处理因素对刺扎寄主选择性(0 代表选择此前自己刺扎过的寄主, 1 代表选择此前被其他蜂刺扎过的寄主)或产卵选择(不产为 0, 产为 1)的影响。数据分析用 R 统计软件(R Development Core Team, 2012)。

2 结果与分析

2.1 刺扎次序对刺扎耗时和产卵的影响

寄生蜂刺扎次序在 5% 概率水平上对刺扎时间没有显著影响, 但在 10% 概率水平具有显著影响(负二项分布拟合广义线性模型, 似然比测验 $\chi^2 = 2.73$, $df = 1$, $P = 0.09$); 第 4、5 次刺扎耗时略高于此前刺扎(图 1)。刺扎次序对产卵概率与否没有显著影响(logistic 回归, 似然比测验 $\chi^2 = 1.67$, $df = 1$, $P = 0.20$), 随刺扎第 1 到第 5 次寄生蜂产卵比例依次为 63.3%、46.7%、76.7%、70.0% 和 66.7%。刺扎耗时在 5% 概率水平上对产卵概率没有显著影响, 但在 10% 概率水平显著影响产卵概率(logistic 回归, 似然比测

验 $\chi^2 = 3.09$, $df = 1$, $P = 0.079$), 产卵概率随产卵器刺扎耗时延长而略降低(图 2)。

2.2 刺扎经历对刺扎耗时和刺扎寄主选择性的影响

刺扎经历显著影响后续刺扎耗时(负二项分布拟合广义线性模型, 似然比测验 $\chi^2 = 7.16$, $df = 2$, $P = 0.03$), 具有 2 次刺扎同一寄主经历的寄生蜂的刺扎耗时是具有 1 次刺扎健康寄主(对照)的近 2 倍, 但与具有 1 次刺扎被其他蜂刺扎过寄主经历的蜂没有显著差异(图 3)。刺扎经历对寄生蜂的刺扎寄主选择性没有显著影响(logistic 回归模型, 似然比测验 $\chi^2 = 2.65$, $df = 2$, $P = 0.27$), 3 种经历处理的蜂选择已被其他蜂刺扎过的寄主的比例分别为 65.5%、44.8% 和 50.0%。

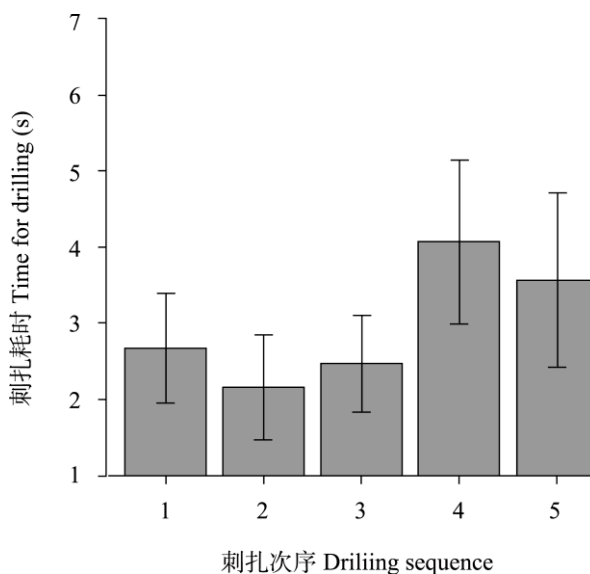


图 1 斑痣悬茧蜂产卵器刺扎耗时随刺扎顺序的变化
Fig. 1 Variation in ovipositor drilling time with drilling sequence in *Meteorus pulchricornis*

柱上的柄代表 1 个标准误差。Bars indicate one standard error of the mean.

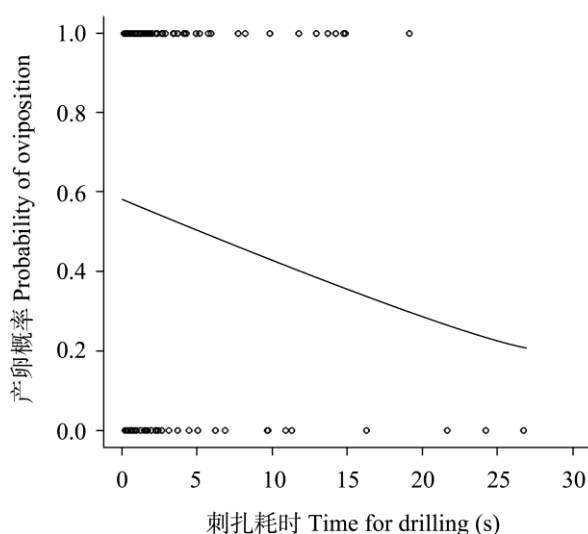


图2 斑痣悬茧蜂产卵概率随产卵器刺扎耗时的变化趋势

Fig. 2 Variation in oviposition probability with time for ovipositor drilling in *Meteorus pulchricornis*

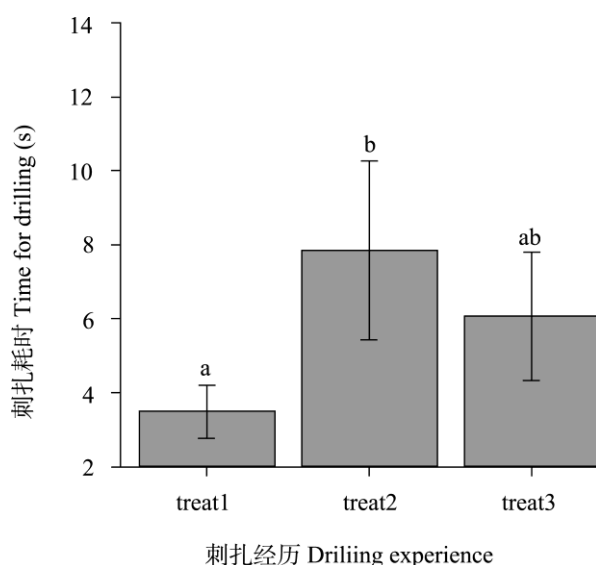


图3 斑痣悬茧蜂产卵器刺扎经历对刺扎耗时的影响

Fig. 3 Effect of ovipositor drilling experience on drilling time in *Meteorus pulchricornis*

“treat1”表示具有1次刺扎健康寄主经历,“treat2”表示具有2次刺扎同一寄主的经历,“treat3”表示具有1次刺扎已被其他蜂刺扎过的寄主经历。The treat1, treat2 and treat3 represent the experience of drilling healthy host once, the same host twice, and the host drilled previously by conspecific wasp, respectively. 柱上的柄代表1个标准误差,不同的字母表示显著差异。Bars indicate one standard

error of the mean. Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

3 讨论

在内寄生蜂中,时常存在产卵器刺扎寄主而不产卵的现象 (Godfray, 1994)。若干试验表明,寄生蜂可利用产卵器上的各类感器 (尤其化感器) 检验寄主的适宜性 (Battaglia *et al.*, 2000; Obonyo *et al.*, 2010)。本研究通过两个试验,旨在探究斑痣悬茧蜂在搜寻寄主中表现出的反复不连续刺扎寄主的行为是否与刺扎经历有关。第一个试验发现,当斑痣悬茧蜂遭遇健康寄主时,此前刺扎健康寄主的经历对刺扎耗时和产卵概率的影响很小;而且刺扎耗时与是否产卵没有显著相关性。该结果说明,斑痣悬茧蜂在刺探健康寄主行为中受刺探经历的影响很小。一般认为,将不同的环境信息联系起来的联想学习能力对于寄生蜂在面对复杂环境时做出“正确”行为决策至关重要 (Turlings *et al.*, 1993)。然而,学习能力只有在能够提高寄生蜂的适应度时才被自然选择所保留而得到进化 (Godfray, 1994),所以,学习在生物学特性不同的寄生蜂搜寻行为中所发挥的作用可能不同。例如,Geerbliet 等 (1998) 对寄主专一性不同的2种绒茧蜂学习行为的比较研究发现,学习在广谱型粉蝶盘绒茧蜂 *Cotesia glomerata* 的寄主-植物复合体气味识别行为中的作用大于专一型微红盘绒茧蜂 *C. rubecula*。而另一种螟黄足盘绒茧蜂 *C. flavipes* 未表现出任何学习识别寄主-植物复合体气味的行为,因为其环境变化可预测,而且搜寻行为决策相对比较简单 (Pottting *et al.*, 1997)。本研究观察到的斑痣悬茧蜂上述表现可能说明,产卵器刺探检验在识别健康与被寄生寄主中的作用不大,更可能靠外部特征检验来识别,该推测为

Chau 和 Maeto (2009) 的观察所支持, 其对斑痣悬茧蜂的研究发现, 寄生蜂可根据寄主幼虫的行为来识别其是否被寄生。另一种解释是, 寄生蜂对寄主的学习需要特定的植物环境, 即利用对寄主-植物复合体气味的经历来调整行为, 此前对斑痣悬茧蜂学习寄主-植物复合体气味的研究表明, 学习影响其产卵行为(杨德松等, 2009), 对其他寄生蜂的研究也说明寄主-植物复合体气味的重要性(Vet and Groenewold, 1990)。

第二个试验发现, 当面对两类已被刺扎过的寄主时, 具有不同刺扎经历的斑痣悬茧蜂在刺探时未表现出偏好性; 但刺扎耗时不同, 当寄生蜂有刺扎健康寄主经历时, 其刺扎耗时显著短于有刺扎同一寄主经历的寄生蜂。这些结果说明寄生蜂在刺探寄主前的外部检验中, 学习没有明显的作用, 不能使寄生蜂识别该寄主是被自己还是被其他蜂刺扎过。此前对斑痣悬茧蜂学习是否影响寄主识别的研究也未发现学习的显著影响(张博等, 2011)。这些研究从侧面解释了斑痣悬茧蜂的寄主选择行为表现: 一是在搜寻寄主中反复不连续刺扎此前刺扎过的寄主幼虫(尚禹和盛晟, 个人通信); 二是过寄生率比较高, 室内饲养在寄主充足情况下过寄生率达到 31%(Fuester *et al.*, 1993), 在野外的过寄生率为 24%(张博等, 2012)。尽管斑痣悬茧蜂可以根据寄主活动状态识别出已被寄生的寄主幼虫而避免过寄生(Chau and Maeto, 2009), 但显然仅外部检验不能完全避免过寄生。另一方面, 过寄生可能提高斑痣悬茧蜂的适应度, 因为理论和试验说明, 在某些自身以及环境因素下过寄生可提高寄生蜂的适应度(van Alphen and Visser, 1990)。显然需要进一步研究斑痣悬茧蜂多次刺扎同一寄主行为与过寄生以及适应度的关系。

致谢: 感谢盛晟、唐秀云、刘敬、刘帅等在试验中的帮助。

参考文献 (References)

- Battaglia D, Poppy G, Powell W, Romano A, Tranfaglia A, Pennacchio F, 2000. Physical and chemical cues influencing the oviposition behaviour of *Aphidius ervi*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 94(3): 219–227.
- Chau N, Maeto K, 2009. Temporary host paralysis and avoidance of self-superparasitism in the solitary endoparasitoid *Meteorus pulchricornis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 132(3): 250–255.
- Fuester R, Taylor P, Peng H, Swan K, 1993. Laboratory biology of a uniparental strain of *Meteorus pulchricornis* (Hymenoptera: Braconidae), an exotic larval parasite of the gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 86(3): 298–304.
- Geervliet JBF, Vreugdenhil AI, Dicke M, Vet LEM, 1998. Learning to discriminate between infochemicals from different plant-host complexes by the parasitoids *Cotesia glomerata* and *C. rubecula*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 86(3): 241–252.
- Godfray H, 1994. Parasitoids: Behavior evolution and Evolutionary Ecology. Princeton: Princeton University Press. 83–99.
- Hagvar EB, Hofsvang T, 1991. Aphid parasitoids (Hymenoptera, Aphidiidae): biology, host selection and use in biological control. *Biocontrol News Inf.*, 12(1): 13–41.
- Lewis WJ, Takasu K, 1990. Use of learned odours by a parasitic wasp in accordance with host and food needs. *Nature*, 348: 635–636.
- Liu YH, Li BP, 2006. Developmental interactions between *Spodoptera exigua* (Noctuidae: Lepidoptera) and its uniparental endoparasitoid, *Meteorus pulchricornis* (Braconidae: Hymenoptera). *Biol. Control*, 38(2): 264–269.
- Liu YH, Li BP, 2008. Effects of *Helicoverpa armigera* (Noctuidae, Lepidoptera) host stages on some developmental parameters of the uniparental endoparasitoid *Meteorus pulchricornis* (Braconidae, Hymenoptera). *Bull. Entomol. Res.*, 98(2): 109–114.
- Obonyo M, Schulthess F, Le Ru B, van den Berg J, Calatayud P A, 2010. Host recognition and acceptance behaviour in *Cotesia sesamiae* and *C. flavipes* (Hymenoptera: Braconidae), parasitoids of grassy stemborers in Africa. *Eur. J. Entomol.*, 107(2): 169–176.
- Potting RPI, Otten H, Vet LEM, 1997. Absence of learning in the

- stemborer parasitoid *Cotesia flavipes*. *Animal Behaviour*, 53(6): 1211–1223.
- Quicke DLJ, 1997. *Parasitic Wasps*. London: Chapman and Hall. 1–470.
- R Development Core Team, 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- Turlings TCJ, Wäckers FL, Vet LEM, Lewis WJ, Tumlinson JH, 1993. Learning of host finding cues by Hymenopterous parasitoids// Papaj DR, Lewis AC (eds.). *Insect Learning: Ecological and Evolutionary Perspectives*. N.Y.:Chapman & Hall. 51–78.
- van Alphen JJM, Visser ME, 1990. Superparasitism as an adaptive strategy for insect parasitoids. *Annu. Rev. Entomol.*, 35(1): 59–79.
- Van Driesche RG, 1983. Meaning of 0 per cent parasitism in studies of insect parasitoids. *Environ. Entomol.*, 12(6): 1611–1622.
- Vet LEM, Groenewold AW, 1990. Semiochemicals and learning in parasitoids. *J. Chem. Ecol.*, 16(11): 3119–3135.
- Vinson SB, 1976. Host selection by insect parasitoids. *Annu. Rev. Entomol.*, 21(1): 109–133.
- Vinson SB, 1985. The behavior of parasitoids// Kerkut GA, Gilbert LI(eds.). *Comprehensive Insect Physiology Biochemistry and Pharmacology*. Pergamon Press, U.K. 417–469.
- 刘亚慧, 李保平, 2006. 斑痣悬茧蜂对甜菜夜蛾幼虫龄期的选择及其生长发育的研究. *南京农业大学学报*, 29(2): 66–70. [LIU Y, LI B, 2006. Host stage selection for *Spodoptera exigua* larvae and the effect on developmental parameters of solitary endoparasitoid in *Meteorus pulchricornis* (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Nanjing Agricultural University*, 29 (2) : 66–70.]
- 刘亚慧, 2007. 斑痣悬茧蜂 *Meteorus pulchricornis* 寄主选择与发育策略的研究. 博士学位论文. 南京: 南京农业大学. [Liu Y, 2007. Host Selection and Development Strategies of Parasitoid *Meteorus pulchricornis*. PhD Dissertation, Nanjing Agricultural University, Nanjing.]
- 张博, 冯素芳, 黄露, 孟玲, 李保平, 2011. 斑痣悬茧蜂的寄主辨别能力及其影响因素. *昆虫学报*, 54(12): 1391–1398. [ZHANG B, FENG SF, HUANG L, MENG L, LI BP, 2011. Host discrimination ability and the influencing factors in *Meteorus pulchricornis* (Hymenoptera: Braconidae). *Acta Entomologica Sinica*, 54(12) : 1391–1398.]
- 张博, 孟玲, 李保平, 2012. 野外环境中斑痣悬茧蜂的产卵选择行为. *南京农业大学学报*, 35(3): 78–82. [ZHANG B, MENG L, LI B, 2012. Oviposition selection behavior of *Meteorus pulchricornis* (Hymenoptera: Braconidae) in the field. *Journal of Nanjing Agricultural*, 35(3): 78–82.]
- 陈雯, 李保平, 孟玲, 2011. 斑痣悬茧蜂对斜纹夜蛾不同虫龄幼虫的选择及后代发育表现. *生态学杂志*, 30(7): 1317–1321. [CHEN W, LI B, MENG L, 2011. Host selection and offspring developmental performances of *Meteorus pulchricornis* on *Spodoptera litura* larval instars. *Chinese Journal of Ecology*, 30(7): 1317–1321.]
- 杨德松, 孟玲, 李璐璐, 李保平, 2009. 斑痣悬茧蜂寄主搜索中的学习行为. *生态学杂志*, 28(10): 2026–2031. [Yang D, MENG L, LI L, LI B, 2009. Learning behavior of *Meteorus pulchricornis* (Hymenoptera: Braconidae) during host foraging. *Chinese Journal of Ecology*, 28(10): 2026–2031]