

麦蛾茧蜂种蜂婚配条件对交配行为及子代性别分化的影响

黄衍章 代安琪 刘玉莹 蒋兴川 唐庆峰

安徽农业大学植物保护学院,合肥 230036

摘要 为提高麦蛾茧蜂种群的室内扩繁效率,采用人为控制种蜂婚配条件,研究麦蛾茧蜂交配经历和种蜂性比对交配行为及子代性别分化的影响。结果表明:麦蛾茧蜂种蜂交配经历对雌雄交配行为具有显著影响。交配经历较少的雄蜂再行配对时,求偶次数和交配次数较多、求偶强度较强且单次交配时间较长。没有交配经历的雄蜂比有 5~6 次交配经历的雄蜂交配时间显著要长。麦蛾茧蜂雄蜂交配经历对子代雌雄性比具有一定影响,但对子代总蜂数量的影响不明显。较少交配经历的雄蜂与处女雌蜂交配繁育所获子代雌蜂数量较多,雌雄性比较高。室内人工繁殖时,适当提高麦蛾茧蜂种蜂中雄蜂的比例有助于提高子代雌蜂数,当种蜂性比为 1 雌 3 雄,益害比为 2(雌蜂数):10 时繁殖效率最佳。

关键词 麦蛾茧蜂; 印度谷螟; 交配经历; 性别分化
中图分类号 S 476.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2018)01-0052-06

昆虫种群的性别分化与昆虫的生殖方式关系密切。孤雌生殖在膜翅目昆虫的种群发育中非常普遍,例如蜜蜂的受精卵发育成蜂王及工蜂,未受精卵则发育成雄蜂。除了自然发生的孤雌生殖外,用人工方法也能诱导昆虫行孤雌生殖。除了先天性遗传因素外,外界环境条件及杀雄微生物等也会影响昆虫的性别分化^[1-5]。将刚产下的家蚕卵用 40 ℃ 高温处理 1 h,或用盐酸处理 4~6 min 均可诱发其营孤雌生殖,进而对性别分化产生影响^[6]。寄生蜂在寄生高龄寄主时一般可产生较多的后代雌性个体^[7]。研究天敌昆虫的交配行为和性别分化有助于人类控制昆虫的种群繁衍,进而为益虫利用及害虫防治提供技术支撑。

麦蛾茧蜂 *Habrobracon hebetor* (Say) 是许多鳞翅目幼虫的聚外寄生蜂,自然状态下可营两性生殖或孤雌生殖,具有较好的自然控害作用^[8-9]。寄主种类、寄主密度及环境条件均会对麦蛾茧蜂的繁殖效果产生影响^[10-13]。麦蛾茧蜂对亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Güenee) 2~5 龄幼虫均能不同程度地寄生,但对 4~5 龄幼虫的寄生率较高^[14],有选择的条件下麦蛾茧蜂更偏向寄生老龄幼虫^[15]。此外,国内外对麦蛾茧蜂的种群繁衍、寄主定位及种群增长规律等生物学习性也有相关研究^[16-20],但有关麦蛾茧蜂种蜂婚配条件对麦蛾茧蜂交配行为及子代性别分化的影响则少有报道。

近来有关麦蛾茧蜂中间寄主的人工饲养和蜂种保藏技术已有研究,并初步探索出了以米蛾 *Corcyra cephalonica* 和大蜡螟 *Galleria mellonella* Linne 为中间寄主的人工繁殖技术^[21-24],但在大规模扩繁时仍存在寄主有效利用率低、子代种群雌性比例过低等问题。此外,利用麦蛾茧蜂防治亚洲玉米螟、棉铃虫 *Helicoverpa armigera*、烟草粉蛾 *Ephestia elutella* (Hübner) 及粉斑螟 *Ephestia cautella* 等鳞翅目害虫亦有报道^[10,25-27],但实际应用时仍因蜂群释放数量有限而效果欠佳。本研究通过人为控制种蜂的婚配条件,研究麦蛾茧蜂交配经历和种蜂性比对交配行为及子代性别分化的影响,旨在为科学开展麦蛾茧蜂的室内人工扩繁及野外释放提供参考依据。

收稿日期: 2017-05-28
基金项目: 国家自然科学基金项目(31500313);安徽省教育厅重点项目(KJ2014A076);安徽省高校优秀青年人才支持计划重点项目(gxyqZD2016035)
黄衍章,男,博士,副教授。研究方向:害虫生物防治。E-mail: huangyz@ahau.edu.cn
通信作者: 唐庆峰,博士,教授。研究方向:害虫绿色防控。E-mail: 913678797@qq.com

1 材料与方法

1.1 供试虫源

印度谷螟和麦蛾茧蜂虫源均来自安徽农业大学植物保护学院。印度谷螟已在室内用半碎大豆饲养多代。将20~30对印度谷螟成虫接入装有300 g半碎大豆(含水量12%~14%)的500 mL罐头瓶中,瓶口用白色棉布封口,置入人工气候箱内(T:26~28℃,RH:70%~80%,L:D=12 h:12 h)进行饲养。麦蛾茧蜂室内用印度谷螟5龄幼虫繁殖饲养多代。繁殖时每次取20头印度谷螟5龄幼虫放入50 mL塑料指型管中,再接入4~6对2~7日龄的麦蛾茧蜂成蜂,管口用白色棉布密封。将接入种蜂的指型管放入人工气候箱内(T:26~28℃,RH:70%~80%,L:D=12 h:12 h),待下一代幼虫化蛹(茧)后,用毛笔移取虫茧并用10 mL指型管单头饲养,羽化后取1~2日龄且体型及活力一致的未交配成蜂供试。

1.2 雄蜂交配经历对雌雄交配行为的影响试验

将1头1~2日龄的未交配雄蜂放入10 mL透明指型管中,然后接入1头1~2日龄的未交配雌蜂,仔细观察雄蜂的求偶反应、交配次数与每次交尾的持续时间。雄蜂求偶次数以雄蜂扇翅的次数进行统计。根据雄蜂扇翅的强烈程度将求偶强度划分为3个级别(由轻到重),轻度计1,中度计2,强烈计3。雌雄成蜂配对时,若雄蜂爬跨于雌蜂体背时尾部有明显的插入行为,且阳具插入后雌雄尾部粘合时间维持在1 s以上则判定为交尾成功。仔细观察10 min后,轻轻取出雌蜂,雄蜂单独放置10 min后再接入未交配的雌蜂,与管内已配对观察1次的雄蜂再次配对观察,观察时间仍为10 min,并以此类推。每头雄蜂最多配对观察8头雌蜂,如雄蜂交配成功达12次则停止测试。重复12次,共观察96次。试验环境温度24~26℃,空气相对湿度70%~80%,白天且无阳光直射。将交配成功的雌蜂每头用5头印度谷螟5龄幼虫供其寄生(T:26~28℃,RH:70%~80%,L:D=12 h:12 h),待下一代成蜂羽化后,调查麦蛾茧蜂雌蜂和雄蜂数量,计算雌雄性比。

1.3 雌蜂交配经历对雌雄交配行为的影响试验

将羽化1~2 d且未交配的1头雌蜂放入10 mL透明指型管中,然后接入1头羽化1~2 d的麦蛾茧蜂未交配雄蜂,观察雄蜂的求偶反应、交配次数

与每次交尾的持续时间。交配行为按本文“1.2”方法观察记录。观察10 min后,轻轻取出雄蜂,雌蜂单独放置10 min后再接入未交配的雄蜂,与管内已配对观察1次的雌蜂再次配对观察,观察时间仍为10 min,并以此类推。每头雌蜂最多配对观察4头雄蜂,如雌蜂交配达到4次则停止测试。重复12次,共观察48次。试验环境温度24~26℃,空气相对湿度70%~80%,白天且无阳光直射。将交配成功的雌蜂按本文“1.2”方法处理,待下一代成蜂羽化后,调查麦蛾茧蜂雌蜂和雄蜂数量,计算雌雄性比。

1.4 不同种蜂性比对麦蛾茧蜂子代性别分化的影响试验

每次分别取10头印度谷螟5龄幼虫放入50 mL指型管中,然后接入羽化1~2日龄的麦蛾茧蜂未交配雌雄成蜂。两性生殖时麦蛾茧蜂接入种蜂性比设1雌1雄、1雌2雄、1雌3雄、2雌1雄、3雌1雄5种处理,孤雌生殖时接入麦蛾茧蜂雌蜂数量设1、2、3、4、5头5种处理。管口用白色棉布密封。每处理重复9次。将接入种蜂后的指型管放入养虫室内(T:26~28℃,RH:70%~80%,L:D=12 h:12 h),待下一代成蜂羽化后,调查羽化麦蛾茧蜂子代雌蜂和雄蜂数量,计算雌雄性比。

1.5 数据统计

采用DPS V3.01数据处理软件进行方差分析。用Duncan's新复极差法进行多重比较。分别以 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 代表差异显著和极显著。试验结果用平均值±标准差(SD)表示。

2 结果与分析

2.1 雄蜂交配经历对雌雄交配行为的影响

本研究发现,个别雄蜂交配次数可达11次,少数雄蜂在10 min内可与同一只雌蜂交配2~3次。麦蛾茧蜂雄蜂一般交配3~4次后再引入未交配雌蜂,雄蜂的求偶行为明显减弱,交配成功次数下降。在观察的12头雄蜂中,由于达到7次交配经历的雄蜂再行交配成功的发生频次太少,故对此不做统计分析。

从表1可知,麦蛾茧蜂雄蜂交配经历对雌雄交配行为具有显著影响。交配经历较少的雄蜂再行配对时,雄蜂的求偶次数和交配频次较多、求偶强度较强且单次交配时间较长。没有交配经历的雄蜂与处女雌蜂配对时,雄蜂的求偶频次和求偶强度均显著高于有5~6次交配经历雄蜂的求偶次数和求偶强

度。当雄蜂交配经历为 0~4 次时,雄蜂的求偶频次和求偶强度最高分别为 4.15 次/10 min 和 2.46,交配频次和单次交配时间最高分别为 1.08 次/10 min 和 12.04 s,但各处理之间的求偶次数、求偶强度、交配次数及单次交配时间差异并不显著。

2.2 雌蜂交配经历对雌雄交配行为的影响

本试验发现,麦蛾茧蜂雌蜂一般只交配 1 次,少数 2 次。麦蛾茧蜂两性交配行为中,雌蜂的交配经

历对下次交配行为起主导作用。具有交配经历的雌蜂与处女雌蜂配对时,雄蜂的求偶欲望明显较低(表 2),初步推测处女雌蜂和已交配雌蜂在性信息素释放方面可能存在一定差异,并由此诱发雄蜂不同的求偶行为。当麦蛾茧蜂雌蜂为处女蜂时,雄蜂的求偶频次、求偶强度、交配频次及单次交配时间分别为 4.23 次/10 min、2.31、1.00 次/10 min 和 12.38 s,与具有 1~2 次交配经历的雌蜂处理存在极显著差异。

表 1 麦蛾茧蜂雄蜂交配经历对雌雄交配行为的影响

Table 1 Effects of mating experience of male adult on mating behavior of *Habrobracon hebetor* (Say)

处理(雄蜂交配经历) Treatment (mating experience of male)	观察频次 Observation frequency	求偶频次/(次/10 min) Courtship frequency per 10 min	求偶强度 Courtship intensity	交配频次/(次/10 min) Mating frequency per 10 min	单次交配时间/s Mating duration every time
None	13	4.15±3.46aA	2.46±0.88aA	1.08±0.49aA	12.04±6.04aA
1 次 One	13	3.00±2.00abAB	2.15±1.07aAB	1.00±0.82aA	9.62±6.56aA
2 次 Two	11	3.09±2.59abAB	1.91±1.04abcAB	0.91±0.30aA	10.18±4.56aA
3 次 Three	16	2.94±1.69abcAB	2.00±0.97abAB	0.69±0.60aA	9.31±8.64aA
4 次 Four	14	2.14±1.66bcAB	1.71±1.07abcAB	0.71±0.61aA	8.82±8.34aA
5 次 Five	10	1.40±0.88cB	1.10±0.88cB	0.70±0.48aA	7.00±6.15aA
6 次 Six	12	1.58±1.51bcB	1.25±0.97bcB	0.58±0.67aA	5.92±6.60aA
7 次 Seven	3	——	——	——	——
8 次 Eight	2	——	——	——	——
9 次 Nine	1	——	——	——	——
10 次 Ten	1	——	——	——	——
合计 Total	96	——	——	——	——

注:雄蜂交配经历为 7、8、9、10 次时的观察频次分别仅为 3、2、1、1 次,故不做统计分析。Note: Observation frequency for males with 7,8,9 and 10 mating experience were only 3,2,1 and 1 respectively,and then statistical analysis were not carried out in the situation.

表 2 麦蛾茧蜂雌蜂交配经历对雌雄交配行为的影响

Table 2 Effects of mating experience of female adult on mating behavior of *Habrobracon hebetor* (Say)

处理(雌蜂交配经历) Treatment (mating experience of female)	观察频次 Observation frequency	求偶频次/(次/10 min) Courtship frequency per 10 min	求偶强度 Courtship intensity	交配频次/(次/10 min) Mating frequency per 10 min	单次交尾时间/s Mating duration every time
0 次 None	13	4.23±2.01aA	2.31±0.48aA	1.00±0.41aA	12.38±6.44aA
1 次 One	26	1.77±1.37bB	1.23±0.91bB	0.12±0.33bA	0.92±2.67bB
2 次 Two	9	1.33±1.12bB	1.22±0.97bB	0.00±0.00bA	0.00±0.00bB
合计 Total	48	——	——	——	——

注:观察的 12 头雌蜂中有 4 头雌蜂成功交尾 2 次,其中 1 头 10 min 内成功交尾 2 次。Note: Of observed 12 female adults,4 of female adults successfully mated for 2 times,and one of adults successfully mated for 2 times during 10 minutes.

2.3 麦蛾茧蜂雌雄交配经历对子代性别分化的影响

将成功交配 1 次的麦蛾茧蜂雌蜂单独用 5 头印度谷螟 5 龄幼虫供寄生繁殖,待下一代成虫羽化后调查子代成蜂数量(表 3)。麦蛾茧蜂雄蜂交配经历对子代雌雄性别分化具有显著影响,但对子代总蜂数量的影响不明显。较少交配经历的雄蜂与雌蜂配对所获子代雌蜂数较多,雌雄性比较高。没有交配

经历的雄蜂与未交配的雌蜂配对后,子代雌雄性比为 1.48,显著高于与具有 3~6 次交配经历的雄蜂配对后产生的子代雌雄性比。用已交配 6 次的雄蜂与处女雌蜂再次交配后,子代羽化的雌蜂数量为 6.00 头,雌雄性比为 0.48,子代雌蜂数显著低于交配经历为 0 次的雄蜂种蜂处理,但子代雄蜂数量显著高于具有 0~2 次交配经历雄蜂处理的子代雄蜂数。

表 3 麦蛾茧蜂雌雄交配经历对子代性别分化的影响

Table 3 Effects of mating experience on sex allocation of *Habrobracon hebetor* (Say) offspring

处理(雄蜂交配经历) Treatment (mating experience of male)	成功交配频次 * Mating frequency successfully	雌蜂数 Number of female adult	雄蜂数 Number of male adult	总蜂数 Number of total adult	雌雄性比 Ratio of female to male
None	10	9.00±2.88aA	6.10±1.29eD	15.10±3.63bA	1.48±0.38aA
1 次 One	8	7.75±1.91abA	6.88±1.89deCD	14.63±3.29bA	1.13±0.32abAB
2 次 Two	10	8.60±3.37abA	8.10±3.00cdeCD	16.70±5.76abA	1.06±0.50abAB
3 次 Three	9	7.67±1.87abA	10.33±3.39bcABC	18.00±4.03abA	0.74±0.45bcBC
4 次 Four	8	7.50±1.77abA	9.13±3.60cdBCD	16.63±4.63abA	0.82±0.48bABC
5 次 Five	7	6.57±1.51abA	13.86±2.48aA	20.43±1.62aA	0.47±0.19cC
6 次 Six	5	6.00±1.00bA	12.40±2.19abAB	18.40±2.70abA	0.48±0.09cC
7 次 Seven	3	——	——	——	——
8 次 Eight	1	——	——	——	——
9 次 Nine	1	——	——	——	——
10 次 Ten	1	——	——	——	——
合计 Total	63 * *	——	——	——	——

注 Note: *, 雌虫成功交配 1 次; Female adult successfully mated only once. * *: 雌虫未成功交配数为 25 头; 雌虫交配 2 次的样本数为 7 头; 雌虫交配 3 次的样本数为 1 头。Of observed female adults, 25 of female adults didn't successfully mate, and 7 of adults successfully mated for 2 times, one of adults successfully mated for 3 times.

2.4 不同种蜂性比对麦蛾茧蜂子代性别分化的影响

将麦蛾茧蜂种蜂按不同性比配对后接入寄主幼虫,待子代成蜂羽化后调查子代蜂群数量。种蜂性比对麦蛾茧蜂子代性别分化具有一定影响(表 4)。雌蜂数量不变时,随着雄蜂数量的增加,子代雌蜂数量及雌雄性比逐渐增加。种蜂性比为 1 雌 1 雄时子

代雌蜂数量为 11.78 头,当种蜂性比为 1 雌 3 雄时子代雌蜂数量为 17.56 头。当雄蜂数量不变,种蜂为 2 雌 1 雄时子代雌蜂数最高,与 1 雌 1 雄、1 雌 2 雄和 3 雌 1 雄的 3 种处理所育子代雌蜂数量存在极显著差异。5 种种蜂性比处理以 2 雌 1 雄繁殖的子代雌蜂数和总蜂数最高,繁殖效率最高。

表 4 麦蛾茧蜂不同种蜂性比对子代性别分化的影响

Table 4 Effect of sex ratio of parent adult on sex allocation of *Habrobracon hebetor* (Say) offspring

种蜂性比 Sex ratio of parent	子代雌蜂数 Number of female adult offspring	子代雄蜂数 Number of male adult offspring	总蜂数 Number of total adult	子代雌雄性比 Sex ratio of offspring
1♀1♂	11.78±3.56bB	8.67±2.83bB	20.44±5.39cB	1.36±0.58bB
1♀2♂	12.22±2.22bB	8.89±1.62bB	21.11±3.02bcB	1.38±0.35bB
1♀3♂	17.56±3.50aA	8.22±2.17bB	25.78±4.82bcAB	2.14±0.66aA
2♀1♂	18.89±3.66aA	14.11±3.44aA	33.00±6.61aA	1.34±0.30bB
3♀1♂	12.89±4.29bB	14.00±4.21aA	26.89±7.94bAB	0.92±0.21cB

在孤雌生殖条件下,麦蛾茧蜂子代种群均为雄蜂(表 5)。当麦蛾茧蜂与印度谷螟幼虫接入益害比为 3 : 10 时,子代羽化的雄蜂数为 50.11 头,显著高于益害比为 1 : 10 时的子代雄蜂数。由于雄蜂体型一般比雌蜂小,个体发育所需营养比雌蜂少,因此在相同的益害比时,孤雌生殖产生的子代蜂群数量均高于两性生殖。从表 4 可知,两性生殖条件下种蜂性比为 2 雌 1 雄,即益害比为 2 : 10 时子代羽化的成蜂数量最多,子代总蜂数为 33.00 头。孤雌生殖条件下益害比为 3 : 10 时寄主的营养被最大利用,子代羽化的成蜂数量最多(表 5)。

表 5 孤雌生殖条件下不同益害比处理
所育麦蛾茧蜂子代种群数量

Table 5 Population quantity of *Habrobracon hebetor* (Say) offspring at different ratios of wasp to pest, under the condition of parthenogenesis

益害比 Ratio of natural enemy to pest	子代雄蜂数 Number of male adult offspring
1 : 10	27.00±13.09bB
2 : 10	40.22±15.92abAB
3 : 10	50.11±15.28aA
4 : 10	47.78±13.49aA
5 : 10	44.78±14.74aAB

3 讨 论

麦蛾茧蜂种蜂婚配条件对雌雄交配行为及子代性别分化具有显著影响。交配经历较少的雄蜂再行配对时,求偶次数和交配次数较多、求偶强度较强且单次交配时间较长。没有交配经历的雄蜂再配对时的求偶次数和求偶强度显著高于具有 5~6 次交配经历的雄蜂。麦蛾茧蜂雌蜂一般只交配 1 次,少数交配 2~3 次,这与前人的相关报道一致^[28]。麦蛾茧蜂雌蜂的交配经历对下次交配行为起主导作用。此外,麦蛾茧蜂雄蜂交配经历对子代雌雄性比具有显著影响,交配经历较少的雄蜂婚配后所获子代雌蜂数量较多,雌雄性比较高。麦蛾茧蜂寄主范围广泛,野外寄生能力强,发育周期短,其寄主印度谷螟又易于人工饲养,利用麦蛾茧蜂防治印度谷螟等鳞翅目害虫具有较高的应用前景。

不同生殖方式和种蜂性比所育后代在性别分化上的差异性可用于室内繁育麦蛾茧蜂时人为调控益虫性比。在两性生殖条件下,当益害比或种蜂中雌蜂数量一定时,适当增加种蜂中的雄蜂数量有利于提高后代雌雄性比,增加后代雌蜂数量。麦蛾茧蜂寄主丰富度与后代种群性别分化也密切相关。当种蜂性比为 1 雌 3 雄,益害比为 2(雌蜂数):10 时可获得较高的繁殖效率。在寄主有限的条件下,种蜂雌蜂数量过多会导致种群竞争过于激烈,寄主营养供应不足,种群数量亦会受到一定的抑制。实际生产应用时,应针对室内种群扩繁和田间释放采用不同的繁殖策略。室内种群扩繁时,为保证后代种群中具备一定的雄蜂比例,种蜂雌雄性比以(2:1)~(3:1)为宜。用于田间释放防治时,种蜂雌雄性比以(1:2)~(1:3)为宜,以此保证后代种群中产生较多的雌蜂个体。

昆虫交配行为是昆虫生物学研究的一个重要内容,对昆虫交配行为的深入揭示有助于开展益虫利用及害虫防治。本试验在室内人为控制婚配条件下研究了麦蛾茧蜂的交配行为,由于试虫在个体活力上仍存在一些差异,同时观察时受室内光照强度及温湿度波动的影响,因此雌雄交配时的行为反应亦存在一定的个体差异。由于麦蛾茧蜂虫体体型较小,雌雄交配行为系通过肉眼观察,对于交配成功与否的判定也可能存在一定的误差。麦蛾茧蜂在自然界中的交配环境条件与室内也存在较大差异,成蜂交尾后的休息时间也可能会影响到下次交配的行为

反应,因此应进一步研究麦蛾茧蜂在野外环境中的交配特点,以此为野外有效利用麦蛾茧蜂控制害虫提供指导依据。

参 考 文 献

- [1] BELL L R, MAINE E M, SCHEDL P, et al. Sex-lethal, a *Drosophila* sex determination switch gene, exhibits sex-specific RNA splicing and sequence similarity to RNA binding proteins [J]. Cell, 1988, 55: 1037-1047.
- [2] 牛宝龙, 翁宏飏, 孟智启. 昆虫的性别决定与性别控制[J]. 浙江农业学报, 2001, 13(6): 327-334.
- [3] THOMAS D D, DONNELLY C A, WOOD R J, et al. Insect population control using a dominant, repressible, lethal genetic system [J]. Science, 2000, 287: 2474-2476.
- [4] HURST G D D, JIGGINS F M. Male-killing bacteria in insects: mechanisms incidence, and implications [J]. Emerging infectious diseases, 2000(6): 329-336.
- [5] RANDERSON J P, SMITH N G, HURST L D. The evolutionary dynamics of male-killers and their hosts [J]. Heresity, 2000, 84: 152-160.
- [6] 刘治国, 刘玉文. 昆虫单性生殖及其性别决定[J]. 生物学通报, 1986, 10: 10-11.
- [7] GODFRAY H C J, HUNTER M S. Heteronomous hyperparasitoids, sex ratios and adaptations: a reply [J]. Ecological entomology, 1994, 19(1): 93-95.
- [8] 黄信飞. 麦蛾茧蜂的应用研究[J]. 生物防治通报, 1986, 2(2): 78-80.
- [9] OH H M. Studies on biological characteristics of parasitic Hymenoptera, *Bracon hebetor* Say (Braconidae: Hymenoptera) [J]. Korean journal of entomology, 1993, 23: 143-149.
- [10] MAGRO S R, PARRA J R P. Biology of the ectoparasitoid *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) on seven Lepidopteran species [J]. Journal of agricultural science, 2001, 58: 693-698.
- [11] 黄衍章, 唐庆峰, 蒋兴川, 等. 寄主虫龄和蜂虫比对麦蛾茧蜂繁殖效率的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2016, 43(3): 457-461.
- [12] 阿克旦·吾外士, 阿不力米提·依拉洪, 阿依先·艾力. 麦蛾柔茧蜂室内人工繁殖温湿度条件研究[J]. 环境昆虫学报, 2008, 30(3): 244-247.
- [13] 钟宝珠, 许再福, 覃伟权. 温度对麦蛾柔茧蜂功能反应的影响[J]. 昆虫学报, 2009, 52(4): 395-400.
- [14] 李璐, 丛斌, 张海燕, 等. 麦蛾茧蜂对亚洲玉米螟幼虫寄生龄期的选择[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(4): 860-862.
- [15] 陈浩梁. 麦蛾柔茧蜂规模化人工饲养的关键技术及其冷胁迫的反应机制[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- [16] 曾强, 陈乾锦, 张玉珍. 烟仓麦蛾茧蜂 *Habrobracon hebetor* (Say) 的生物学生态学特性研究[J]. 武夷科学, 2003(19): 283-287.
- [17] NIKAM P K, PAWAR C V. Life tables and intrinsic rate of natural increase of *Bracon hebetor* Say (Hym., Braconidae)

population on *Corcyra cephalonica* Staint. (Lep., Pyralidae), a key parasitoid of *Helicoverpa armigera* Hbn. (Lep., Noctuidae) [J]. Journal of applied entomology, 1993, 115: 210-213.

[18] ELIOPOULOS P A, STATHAS G J. Life tables of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) parasitizing *Anagasta kuehniella* and *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae): effect of host density [J]. Journal of economic entomology, 2008, 101(3): 982-988.

[19] AKINKUROLERE R O, BOYER S, CHEN H L, et al. Parasitism and host-location preference in *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae): role of refuge, choice, and host instar [J]. Journal of economic entomology, 2009, 102(2): 610-615.

[20] ADARKWAH C, BUTTNER C, REICHMUTH C, et al. Ability of the larval ectoparasitoid *Habrobracon hebetor* (Say, 1836) (Hymenoptera: Braconidae) to locate the rice moth *Corcyra cephalonica* (Stainton, 1865) (Lepidoptera: Pyralidae) in bagged and bulk stored rice [J]. Journal of plant diseases and protection, 2010, 117(2): 67-70.

[21] CHEN H L, ZHANG H Y, ZHU K Y, et al. Performance of diapausing parasitoid wasps, *Habrobracon hebetor* after cold storage [J]. Biological control, 2012, 64(3): 186-194.

[22] 邵岩岩, 李晶津, 钱海涛, 等. 麦蛾茧蜂对米蛾功能反应的研究 [J]. 中国植保导刊, 2008, 28(2): 9-13.

[23] 田秋. 寄生性天敌—麦蛾茧蜂生物学特性研究 [M]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2006.

[24] KRYUKOV V Y, KRYUKOVA N A, GLUPOV V V. Susceptibility of *Galleria mellonella* larvae to anamorphic entomopathogenic ascomycetes under envenomation and parasitization by *Habrobracon hebetor* [J]. Russian journal of ecology, 2013, 44(1): 89-92.

[25] 阿克旦·吾外士, 许建军, 杨秀荣, 等. 麦蛾柔茧蜂对田间棉铃虫和玉米螟的防治效果 [J]. 中国生物防治, 2006, 22(2): 155-157.

[26] SAXENA H, PONNUSAMY D, IQUEBAL M A. Seasonal parasitism and biological characteristics of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae)—a potential larval ectoparasitoid of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in a chickpea ecosystem [J]. Biocontrol science and technology, 2012, 2(3): 305-318.

[27] 毛尼牙孜·依马木, 阿克旦·吾外士, 艾买尔·纳买提, 等. 新疆南部棉区麦蛾柔茧蜂对田间棉铃虫的防治效果 [J]. 昆虫天敌, 2007, 29(1): 12-15.

[28] 黄信飞. 麦蛾茧蜂生物学初步研究 [J]. 昆虫天敌, 1990, 12(2): 85-90.

Effects of mating condition on mating behavior and offspring sex allocation in *Habrobracon hebetor*

HUANG Yanzhang DAI Anqi LIU Yuying JIANG Xingchuan TANG Qingfeng
School of Plant Protection, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

Abstract In order to improve the indoor reproductive efficiency of *Habrobracon hebetor*, effects of mating experience and sex ratio of parent wasps on mating behavior and offspring sex allocation were investigated by controlling the mating condition indoors. Male mating experience had significant effect on the mating behavior of wasps. Male wasps with less mating experience showed more courtship frequency, stronger courtship intensity, more mating frequency and longer mating duration at next mating behavior. The re-copulation duration of male wasp without mating experience was significantly longer than that of male wasp with 5 to 6 mating experiences. Male mating experience showed some impacts on the offspring sex ratio, but no obvious impact on the total number of the offspring. When the male with fewer mating experience mated with virgin female, more female-biased offspring sex ratios were obtained. For indoor rearing, the number of female offspring could be improved by enhancing proportion of the male parent. The best propagating efficiency of *H. hebetor* was obtained when the sex ratio of parent wasp was 1 female to 3 male, and the ratio of natural enemy to pests was 2 female wasps to 10 5th instar larvae of *Plodia interpunctella*.

Keywords *Habrobracon hebetor* (Say); *Plodia interpunctella* (Hubner); mating experience; sex allocation

(责任编辑: 边书京)