

研究论文

豆野螟延迟交尾和多次交尾对生殖的影响^{*}

陆鹏飞^{1,3**} 乔海莉² 宗世祥^{1***} 雷朝亮^{3***}

(1. 北京林业大学林学院省部共建森林培育与保护教育部重点实验室 北京 100083;

2. 中国医学科学院北京协和医学院药用植物研究所 北京 100193;

3. 华中农业大学昆虫资源利用与害虫可持续治理湖北省重点实验室 武汉 430070)

摘要 豆野螟 *Maruca vitrata* (Fabricius) 是一种严重的泛热带豆类蔬菜害虫。本文研究了豆野螟延迟交尾和多次交尾对其生殖的影响。延迟交尾实验结果表明: 豆野螟雌雄同时延迟交尾, 雌雄虫的寿命、产卵量均表现为先上升后下降的趋势, 但是对卵的孵化率没有显著影响; 雌虫延迟交尾, 随着延迟时间的增加, 雌虫的寿命、产卵量、卵的孵化率表现为下降的趋势, 而雄虫的寿命延迟交尾第3天达到最大值; 雄虫延迟交尾, 随着延迟交尾时间的增加, 雌雄虫的寿命、产卵量均表现为先上升后下降的趋势, 卵的孵化率随着延迟逐渐下降。多次交尾实验结果表明, 随着雄虫交尾次数的增加, 成功交尾率逐渐降低, 用于交尾的时间延长, 雌虫和相应雄虫的寿命逐渐缩短, 雌虫的产卵量下降, 但对卵的孵化率影响不大; 豆野螟雌虫一生只交尾一次, 未见到雌虫2次交尾。

关键词 豆野螟, 生殖, 延迟交尾, 多次交尾

Effect of delayed and multiple mating on the reproduction of *Maruca vitrata*

LU Peng-Fei^{1,3**} QIAO Hai-Li² ZONG Shi-Xiang^{1***} LEI Chao-Liang^{3***}

(1. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100193, China; 3. College of Plant Science and Technology,

Huazhong Agricultural University, Key Laboratory of Insect Resources Utilization and Sustainable

Pest Management of Hubei Province, Wuhan 430070, China)

Abstract The legume pod borer, *Maruca vitrata* (Fabricius), is a serious pantropical insect pest of grain legumes. The reproduction of *M. vitrata* when mating was delayed, or after multiple mating, was investigated. The longevity of both sexes and female fecundity first increased then reduced, but hatching rate did not change much when males and females were prevented from mating for the same period of time. Female longevity, fecundity and hatching rate reduced, but the longevity of males first increased then reduced when females were prevented from mating. The longevity of both sexes and female fecundity first increased then reduced, but hatching rate declined when males were delayed from mating. The mating success rate, the longevity of both sexes and female fecundity all reduced when males mated multiple times. Mating duration was prolonged, and hatching rate did not change much. Males can mate 4 times in their life-span but females can mate only once.

Key words *Maruca vitrata*, reproduction, delayed mating, multiple mating

许多昆虫的雌雄两性都可以多次交尾 (Drummond, 1984), 雄虫通过多次交尾可以提高

^{*} 资助项目: 国家自然科学基金(31270693, 81102747)。

^{**} E-mail: lpengfei224@126.com

^{***} 通讯作者, E-mail: ioir@mail.hzau.edu.cn; zongsx@126.com

收稿日期: 2013-06-14, 接受日期: 2013-08-20

交尾适合性,增加受精雌虫的数量和受精卵的个数,从而保证雌虫有足够的生殖力(Arnqvist and Nilsson, 2000);雌虫多次交尾可以补充精子、补充营养,提高后代的遗传多样性,避免使用基因不合的雄虫的精子(Tregenza and Wedell, 2002),减少因抵抗多次交尾所需的时间与精力的损耗(Drummond, 1984)。雌虫的多次交尾虽然可以提高雌虫的生殖力、发育力、但其寿命却缩短(Ridley, 1988; Lamunyon, 1997; Kawagoe *et al.*, 2001);但是雄虫多次交尾,对与之交尾的雌虫的生殖力影响不大(Ridley, 1988; Ward and Landolt, 1995; Sadek, 2001)。可见,雄虫多次交尾对于整个种群生殖能力的提高更有意义。

昆虫受到外界环境的影响容易造成延迟交尾,从而影响昆虫的交尾成功率和生殖力。使用性信息素防治蛾类害虫最常用的方法就是大量诱捕法和迷向法。其原理就是把田间出现的求偶交配的雄虫尽可能诱杀,雄虫的数量大大减少,因此造成大量雌虫无法完成交配,不能有效地繁殖后代进行危害;或是利用信息素干扰雌雄虫之间的交配通讯联系,使雄虫在充满性信息素气味的环境中丧失寻找雌虫的定向能力,致使田间雌雄虫之间相遇和交配的几率明显减少,不能在合适的日龄完成交尾,从而使下一代虫口密度急剧下降(杜家纬,1988;孟宪佐,1997)。由于田间雄虫数量的减少,许多雄虫可以通过多次交尾来补偿由此带来的种群生殖力的损失;另一方面,干扰交尾导致雌雄不能在生殖力最佳的时候交尾,昆虫可以通过在高日龄交尾进行补偿。那么这种多次交尾或延迟交尾的生殖方式究竟对雌雄两性的生殖有何影响,将直接关系到使用性信息素防治害虫的效果(Wang *et al.*, 2005)。因此评价昆虫因多次交尾和延迟交尾在生殖能力上产生的变化是性信息素研究中的一项很有意义的工作。

豆野螟 *Maruca vitrata* (Fabricius) 主要分布在亚洲、非洲、南北美洲和大洋洲,在我国从南到北均有发生,是豇豆(*Vigna unguiculata* L.)等表面少毛的豆类蔬菜上的重要害虫,该虫为害豇豆等常造成“十荚九蛀”,大发生年份若不进行防治几乎绝收(Sharma, 1998; 李明桃,2012)。由于该虫具有钻蛀习性,化学农药的喷施并不能达到理想的效果。近些年来,性信息素正在成为豆野螟综合治理中的一项重要措施。本文将以豆野螟为

对象,研究使用性信息素造成多次交尾和延迟交尾对其成虫的寿命、雌虫产卵量、卵的孵化率和成虫交尾成功率等指标的影响,为下一步豆野螟性信息素的广泛使用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试虫及其饲养

豇豆田采集豆野螟幼虫,带回室内饲养于其寄主植物豇豆上。将豆野螟低龄幼虫(3龄以前)群养于直径20 cm的圆形玻璃缸中,每日更换新鲜的豇豆花和嫩豆荚;3龄以后幼虫单头饲养于长8 cm、底面直径3 cm的指形管中,内置3~4段约5 cm长的豇豆荚,隔天更换豆荚,直至幼虫化蛹。试验用虫在幼虫3龄以后单头饲养,是为了避免新羽化成虫在被用于试验前就已有交尾。养虫室光周期L:D=14:10,光期5:00开始19:00结束,温度(29 ± 1)℃,相对湿度75%~80%,安置两盏15 W的红光灯用于夜间观察。

羽化成虫雌雄搭配放入养虫笼(30 cm×40 cm×50 cm),喂以15%蜂蜜水和纯水,每天更换。插入一枝带有花的新鲜豇豆枝条(30 cm),根部用饱蘸水的棉花包住,在外面包一层保鲜膜保持水分,同时放一个盛放豇豆花的培养皿,供成虫产卵。隔天更换枝条和花,检查豇豆枝条、花上及皿壁的产卵情况,一旦发现有卵,立即将有卵粒的枝条和培养皿全部移入圆形玻璃缸,加入新鲜豇豆花与嫩豆荚,待初孵幼虫取食,按上述方法继续饲养。试验前试虫在室内饲养1~2代。成虫羽化后0~24 h被视作1日龄。

1.2 豆野螟延迟交尾对生殖的影响

养虫室安置两盏15W的红光灯用于夜间观察。幼虫3龄以后单头饲养。成虫一羽化就按性别分开饲养于不同的养虫笼中,放置于两个房间,保持相应的环境条件不变;同一性别的蛾子再按日龄分开饲养,保证雌雄均未有交尾记录,并且明确其日龄。由预备试验获知,成虫只于暗期交尾,所以本试验只在暗期观察记录。

1.2.1 豆野螟雌雄同时延迟交尾对生殖的影响

将羽化0、1、2、3、4、5、6、7 d的未交尾的豆野螟雌雄成虫配对置于一透明容器内(底面直径10 cm,高15 cm),上端用纱布封口,内置一饱蘸15%蜂蜜水的棉球,供成虫取食。进入暗期后每20

min 记录 1 次交尾情况,一旦交尾结束将豆野螟雄虫转移到另一个透明容器中,保留雌虫,每天统计豆野螟雌虫的产卵数量,然后再统计卵的孵化率,依次观察直至豆野螟死亡,统计豆野螟雌虫的寿命。每个处理重复 10 次。

1.2.2 豆野螟雌虫延迟交尾对生殖的影响 将羽化 0、1、2、3、4、5、6、7 d 的未交尾的豆野螟雌虫与羽化 3 d 未交尾的雄虫分别配对置于一透明容器内。容器的处理同 1.2.1。进入暗期后每 20 min 记录 1 次交尾情况,一旦交尾结束将豆野螟雄虫转移到另一个透明容器中,保留雌虫,每天统计豆野螟雌虫的产卵数量,然后再统计卵的孵化率,依次观察直至豆野螟死亡,统计豆野螟雌虫的寿命。每个处理重复 10 次。

1.2.3 豆野螟雄虫延迟交尾对生殖的影响 将羽化 0、1、2、3、4、5、6、7 d 的未交尾的豆野螟雄虫与羽化 3 d 未交尾的雌虫配对置于一透明容器内,容器的处理同上。进入暗期后每 20 min 记录 1 次交尾情况,一旦交尾结束将豆野螟雄虫转移到另一个透明容器中,保留雌虫,每天统计豆野螟雌虫的产卵数量,然后再统计卵的孵化率,依次观察直至豆野螟死亡,统计豆野螟雌虫的寿命。每个处理重复 10 次。

1.3 豆野螟多次交尾对生殖的影响

1.3.1 豆野螟雄虫多次交尾对生殖的影响 将 1 日龄未交尾的 15 只雄虫与 3 日龄未交尾的 15 只处女雌虫配对交尾,自暗期开始后每 20 min 记录 1 次交尾情况。交尾后雌雄分开放置于两个透明容器中,从而获得交尾过一次的雌虫与雄虫,观察该雌虫的的产卵数量与卵的的孵化率。将交配过一次的雄虫再次与 3 日龄未交尾的处女雌虫配对交尾,观察雌雄交尾,交尾后雌雄分置,获得交尾过两次的雄成虫与相应的雌虫,然后将交尾后的雌虫单独置于一个透明容器内观察其产卵情况,雄虫则被用来继续和 3 日龄未交尾的处女雌蛾交尾,以此类推,获得交尾过 1、2、3、4 次的雄成虫和对应的雌虫。分别记录各雌虫的产卵情况,直至豆野螟雌虫死亡,同时统计雄虫的寿命。每个处理重复 3 次。

1.3.2 豆野螟雌虫多次交尾对生殖的影响 将 1 日龄未交尾的 15 只雌虫与 3 日龄未交尾的 15 只

雄虫配对交尾,自暗期开始后每 20 min 记录 1 次交尾情况。交尾后雌雄分开放置于两个透明容器中,从而获得交尾过一次的雌虫与雄虫,观察该雌虫的的产卵数量与卵的的孵化率。将交配过一次的雌虫再次与 3 日龄未交尾的雄虫配对交尾,观察雌雄交尾,交尾后雌雄分置,获得交尾过两次的雌成虫和对应的雄成虫,然后将雌虫单独置于一个透明容器内观察其产卵情况,以此类推。分别记录各次雌虫的产卵情况,直至豆野螟雌虫死亡,同时统计雄虫的寿命。每个处理重复 3 次。

1.4 数据处理方法

使用 SPSS 13.0,对豆野螟延迟交尾和多次交尾试验各处理间雌雄虫的寿命、雌虫的产卵量;多次交尾试验各处理间成功交尾百分比、交尾持续时间的差异进行单一变量方差分析(One-way ANOVA),使用 Duncan's 新复极差检验处理间的差异显著性($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 豆野螟延迟交尾对生殖的影响

2.1.1 雌雄同时延迟交尾对生殖的影响 豆野螟雌雄同时延迟交尾影响雌雄虫的寿命、雌虫的产卵量,但是对卵的孵化率影响不大。随着交尾次数的增加,雌雄虫的寿命、产卵量均表现为先上升后下降的趋势,其中,延迟 3 d 交尾时各个指标达到最大值。雌雄虫的寿命达到 15.67 和 11.67 日龄,此时的产卵量为 142.32 粒;卵的孵化率没有显著的差异(表 1)。

2.1.2 雌虫延迟交尾对生殖的影响 雌虫延迟交尾对各个指标均有一定的影响。随着交尾次数的增加,雌虫的寿命、产卵量表现为下降的趋势;而雄虫的寿命延迟交尾第 3 天达到最大值 11.42 日龄;卵的孵化率随着延迟不同日龄的增加下降(表 2)。

2.1.3 雄虫延迟交尾对生殖的影响 雄虫延迟交尾对各个指标均有一定的影响。随着交尾次数的增加,雌雄虫的寿命、产卵量均表现为先上升后下降的趋势,延迟交尾第 3 天各个指标达到最大值,雌雄虫的寿命达到 10.67 和 10.33 日龄,此时的产卵量为 140.33 粒;卵的孵化率随着延迟逐渐下降(表 3)。

表 1 豆野螟雌雄同时延迟交尾对其成虫寿命、产卵量及孵化率的影响 (平均值 ± SD)

Table 1 Effect of both sexes delayed mating on adult longevity, fecundity and hatching rate of *Maruca vitrata* (mean ± SD)

延迟天数 Delayed day(d)	雌虫寿命 Female longevity(d)	雄虫寿命 Male longevity(d)	产卵量 Fecundity	孵化率 Hatching rate(%)
0	5.67 ± 1.53e	4.67 ± 1.53d	25.02 ± 5.67d	98.5
1	9.33 ± 1.53d	7.67 ± 0.58bcd	28.82 ± 22.36d	98.6
2	12.67 ± 1.15b	10.23 ± 1.02ab	72.33 ± 14.98c	97.6
3	15.67 ± 0.58a	11.67 ± 1.53a	142.32 ± 19.29a	99.6
4	12.04 ± 2.12bc	10.33 ± 1.53ab	129.65 ± 14.73ab	96.3
5	9.12 ± 1.23d	6.33 ± 1.53cd	114.89 ± 11.17ab	95.5
6	9.67 ± 1.53cd	9.33 ± 3.06abc	112.32 ± 24.27b	97.2
7	8.33 ± 1.53d	7.33 ± 2.08bcd	100.21 ± 12.32bc	96.5

注:同列数据后标有不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$, Duncan's 新复极差测验), 下表同。
Data followed by different letters in the same column are significantly different ($P < 0.05$, Duncan's multiple range test). The same below.

表 2 豆野螟雌虫延迟交尾对成虫寿命、产卵量及孵化率的影响 (平均值 ± SD)

Table 2 Effect of females delayed mating on adult longevity, fecundity and hatching rate of *Maruca vitrata* (mean ± SD)

延迟天数 Delayed day(d)	雌虫寿命 Female longevity(d)	雄虫寿命 Male longevity(d)	产卵量 Fecundity	孵化率 Hatching rate(%)
0	15.61 ± 1.21a	9.45 ± 0.84b	304.03 ± 69.76a	95.12
1	14.92 ± 1.62ab	8.53 ± 1.05b	199.67 ± 35.53b	94.83
2	14.33 ± 1.53ab	8.75 ± 0.56b	180.56 ± 67.07bc	90.64
3	10.24 ± 3.35bc	11.42 ± 1.06a	106.12 ± 8.54de	90.58
4	10.73 ± 3.55bc	9.46 ± 1.01b	133.67 ± 19.66bcd	80.23
5	10.43 ± 4.28bc	7.83 ± 0.84b	110.23 ± 13.23cde	74.22
6	8.56 ± 1.25c	6.09 ± 0.50c	49.02 ± 15.92ef	67.21
7	7.56 ± 0.92c	5.27 ± 1.06c	31.17 ± 19.26f	63.54

2.2 豆野螟多次交尾对生殖的影响

2.2.1 雄虫多次交尾对生殖的影响 豆野螟雄虫的交尾次数影响到交尾成功率。随着雄虫交尾次数的增高,成功交尾率在逐渐降低。可以进行单次交尾的豆野螟雄虫占到 83.43%, 一生可以交配 2 次的占 77.1%, 二者没有差异, 可以第 3 次交尾的雄虫占 26.88%, 可以进行第 4 次交尾的百分率为 8.73%。可以 3 次交尾百分率与可以 4 次交尾百分率没有显著差异; 同样, 可以 1 次交尾百分

率与可以 2 次交尾百分率也没有显著差异。但是, 可以 3、4 次交尾百分率与 1、2 次交尾百分率间差异达到显著水平(图 1)。

豆野螟随着交尾次数的增加, 用于交尾的时间延长, 分别为 40.67、62.03、79.93 和 87.6 min。其中 1、2、3 次交尾后的交尾持续时间差异达到显著水平, 但是 3、4 次交尾后的交尾持续时间差异不显著(图 2)。

表 3 豆野螟雄虫延迟交尾对成虫寿命、产卵量及孵化率的影响 (平均值 ± SD)

Table 3 Effect of males delayed mating on adult longevity, fecundity and hatching rate of *Maruca vitrata* (mean ± SD)

延迟天数 Delayed day(d)	雌虫寿命 Female longevity(d)	雄虫寿命 Male longevity(d)	产卵量 Fecundity	孵化率 Hatching rate(%)
0	4. 33 ± 2. 08c	5. 33 ± 2. 08c	24. 01 ± 6. 56d	90. 23
1	7. 67 ± 1. 53abc	7. 67 ± 1. 53bc	28. 32 ± 12. 90d	89. 36
2	9. 67 ± 2. 08ab	8. 67 ± 3. 51abc	71. 23 ± 16. 70c	86. 63
3	10. 67 ± 1. 53a	10. 33 ± 1. 53a	140. 33 ± 22. 14a	85. 17
4	9. 33 ± 1. 53ab	8. 67 ± 2. 24abc	126. 67 ± 17. 56ab	70. 12
5	6. 33 ± 1. 53bc	9. 56 ± 3. 50abc	113. 22 ± 13. 13ab	78. 25
6	9. 33 ± 3. 06ab	9. 12 ± 2. 01abc	110. 33 ± 23. 71ab	53. 52
7	7. 21 ± 1. 02bc	7. 33 ± 0. 58bc	98. 33 ± 13. 51bc	65. 23

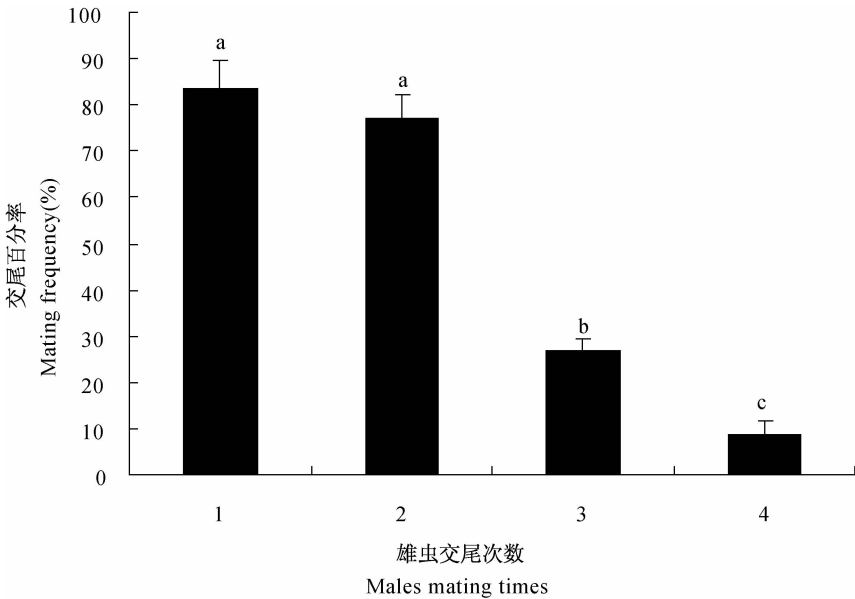


图 1 豆野螟雄虫交尾次数对交尾百分率的影响 (平均值 ± SD)

Fig. 1 Effect of *Maruca vitrata* males mating history on the successful copulation rate of *M. vitrata* (mean ± SD)

注:柱上标有不同字母表示差异显著 ($P < 0. 05$, Duncan's 新复极差测验)。

Histograms with different letters are significantly different ($P < 0. 05$, Duncan's multiple range test).

随着豆野螟雄虫交尾次数的增加,雌虫和相应雄虫的寿命逐渐缩短,同时雌虫的产卵量也逐渐减少,但对卵的孵化率影响不大。与初次交尾的雄虫进行交尾的雌虫产卵量最大,达到 166. 33 粒,此时雌雄虫的寿命为 11. 25 和 9. 84 日龄;与交尾过一次(第 2 次交尾)的雄虫进行交尾的雌虫产

卵量为 147. 22 粒,此时雌雄虫的寿命为 10. 25 和 8. 51 日龄;随着交尾次数的增加,3 个指标呈不同程度的递减;与已经交尾过 4 次的雄虫交尾的雌虫产卵量最小为 49. 02 粒,雌雄成虫的寿命也是最短的为 6. 51 和 6. 07 日龄(表 4)。

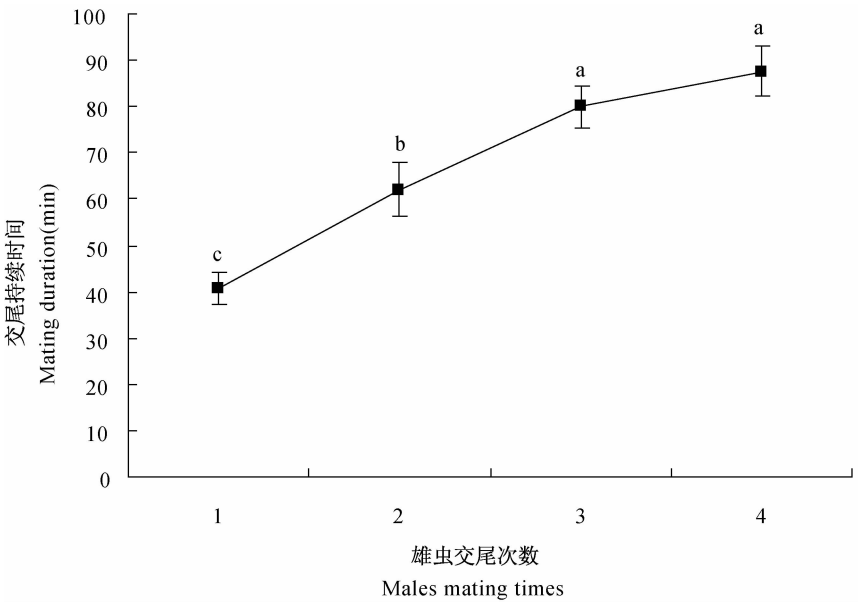


图 2 豆野螟雄虫交尾次数对交尾持续时间的影响 (平均值 ± SD)

Fig. 2 Effect of *Maruca vitrata* males mating history on the copulation duration of *M. vitrata* (mean ± SD)

注:线上标有不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$, Duncan's 新复极差测验)。

Data with different letters are significantly different ($P < 0.05$, Duncan's multiple range test).

表 4 豆野螟雄虫多次交尾对成虫寿命、产卵量及孵化率的影响 (平均值 ± SD)

Table 4 Effect of males mating history on adult longevity, fecundity and hatching rate of *Maruca vitrata* (mean ± SD)

交尾次数 Mating time	雌虫寿命 Female longevity (d)	雄虫寿命 Male longevity (d)	产卵量 Fecundity	孵化率 Hatching rate (%)
0	14.25 ± 1.71a	12.19 ± 0.76a	—	—
1	11.25 ± 1.50b	9.84 ± 1.04b	166.33 ± 31.02a	96.23
2	10.25 ± 0.96b	8.51 ± 0.65c	147.22 ± 16.97a	96.54
3	7.52 ± 1.29c	7.64 ± 0.77c	99.33 ± 15.04b	98.26
4	6.51 ± 1.29c	6.07 ± 0.41d	49.02 ± 25.97c	97.26

2.2.2 雌虫多次交尾对生殖的影响 本试验的研究发现,豆野螟雌虫一生只交尾一次,试验室未见到雌虫 2 次交尾。一生未交尾的雌虫具有最长的寿命,约为 14.25 日龄,虽然没有交尾但雌虫仍然可以产少量的未受精卵,这些卵不能孵化,为未受精卵;交尾过一次的豆野螟雌虫寿命为 11.25 日龄,产卵量达到 166.33 粒;交尾的雄虫寿命缩短(表 5)。

3 讨论

豆野螟具有钻蛀习性,性信息素正在成为其

综合治理中的一项重要措施。使用性信息素防治,会造成大量害虫无法正常完成交配。许多昆虫可以通过多次交尾或延迟交尾来补偿由此带来的种群生殖力的损失。因此,研究成虫多次交尾和延迟交尾对其昆虫的寿命、雌虫产卵量、卵的孵化率和成虫交尾成功率等指标的影响,具有重要的现实意义,将直接关系到使用性信息素防治害虫的效果。

陆鹏飞等(2007a)对豆野螟成虫交尾节律的研究表明,雌雄同时进入 3 日龄时具有最高的交尾率。在随后的豆野螟成虫日龄对交尾节律影响

表 5 豆野螟雌虫多次交尾对成虫寿命、产卵量及孵化率的影响(平均值 ± SD)

Table 5 Effect of females mating history on adult longevity, fecundity and hatching rate of *Maruca vitrata* (mean ± SD)

交尾次数 Mating times	雌虫寿命 Females longevity(d)	雄虫寿命 Males longevity (d)	产卵量 Fecundity (no.)	孵化率 Hatching rate(%)
0	14. 25 ± 1. 71a	12. 19 ± 0. 76a	30. 25 ± 2. 35b	0
1	11. 25 ± 1. 50b	9. 84 ± 1. 04b	166. 33 ± 31. 02a	95. 36

的研究发现,雌蛾随着日龄的增加,交尾百分率整体呈现先高后低的趋势;而雄蛾随着日龄增加,交尾百分率先低后高;相同日龄成虫的交尾总体趋势为先升后降(陆鹏飞等,2007b)。在本实验中,雌虫、雄虫分别延迟交尾以及雌雄同时延迟交尾在雌雄寿命、雌蛾产卵量、卵的孵化率等各项指标的变化趋势与不同成虫日龄下交尾节律的变化趋势相吻合。我们推测,豆野螟雌雄成虫的性行为节律并不相同,雌蛾性成熟要早于雄蛾,羽化后的雌蛾很快达到交尾的最佳状态,而雄蛾要到3日龄才能完全性成熟。如果雌蛾延迟交尾,导致其交尾能力随着日龄在立刻下降,成虫寿命、产卵量、卵的孵化率也呈现下降的趋势;如果雄蛾延迟交尾,由于其3日龄生殖能力才达到最佳状态,因此各指标的变化趋势先升后降;同样,雌雄同时延迟交尾各指标的变化则受到雌雄蛾交尾能力变化的共同影响也呈现出先升后降的趋势。Huang 和 Subramanyam (2003) 研究了印度谷螟 *Plodia interpunctella* 延迟交尾对各个生殖指标的影响。该虫不论雌雄羽化后很快达到最佳交尾状态;雌雄蛾均未延迟交尾的情况下雌蛾产卵量、卵的孵化率、雌雄寿命等各项指标均达到最大值;而当雌、雄蛾任何一方或同时延迟交尾,上述指标均不同程度递减。对于许多鳞翅目昆虫来说,延迟交尾都可以显著的影响雌、雄成虫的寿命、雌虫产卵量以及卵的孵化率等指标(Wakamura, 1990; Proshold, 1996; Fadamiro and Baker, 1999; Huang and Subramanyam, 2003; Wang *et al.*, 2005)。

鳞翅目昆虫延迟交尾导致生殖各项指标变化的原因可以从两方面阐述。首先,雄性在达到最佳生殖能力后延迟交尾,由于生殖附腺逐渐衰退,影响了精子的有效形成,雄性精子数量减少、质量下降,进而降低交尾成功率和受精卵形成机会,最终降低了雌蛾的产卵量和孵化率(Ramaswamy

et al., 1997; Park *et al.*, 1998; Huang and Subramanyam, 2003)。此外,在雌雄交尾时,雄蛾可以将体内的一种保幼激素转移给雌蛾,直接刺激卵受精以及增加产卵量,而一旦延迟,这种来自父辈的生殖投入减少,甚至根本不投入,最终也影响了雌蛾的产卵量及卵孵化率(Benz, 1969; Henneberry and Clayton, 1984; Park *et al.*, 1998)。

其次,对于雌性来说,延迟交尾则导致卵巢等内生殖系统很快衰老,此时即使接收最佳的精子也不利于受精卵的有效形成(Lum, 1983; Huang and Subramanyam, 2003)。

其次,豆野螟雄虫的交尾次数影响到交尾成功率。随着雄虫交尾次数的增高,成功交尾率逐渐降低。随着雄虫交尾次数的增加,用于交尾的时间延长。这与许多昆虫的研究结果是一致的。Haughes 等(2000)证实 *Jalmenus evagoras* 随着交尾次数的增加,其交尾持续时间逐渐延长。持续时间的延长可能与雄虫精液质量下降有关。延长的交尾时间对于昆虫来说并不利。因为,更长时间的交尾意味着二者同时暴露在天敌和其他物理、化学危险环境中的风险会明显增加。随着雄虫交尾次数的增加,雌虫和相应雄虫的寿命逐渐缩短,这一现象在在其他的鳞翅目昆虫中也有报道(Rutowski, 1982; Savalli and Fox, 1999)。其直接原因是由于交尾持续时间的延长让两性昆虫消耗太多的体力,进而缩短了寿命。雌虫的产卵量下降的原因也可能是精液质量的下降造成的,此外,由于在多次交尾中需要消耗更多的体力和能量,也可能是造成产卵量下降的直接原因。但对卵的孵化率影响不大说明雄虫有足够的精子使雌虫的卵变为受精卵。对于某些鳞翅目昆虫的雌虫来说,多次交尾导致产卵量和卵的孵化率显著增加,该结果在云杉卷叶蛾 *Choristoneura fumiferana* (Delisle and Hardy, 1997)、甘蓝银纹夜蛾

Trichoplusia ni (Landolt, 1997)、烟芽夜蛾 *Heliothis virescens* (Park *et al.*, 1998)、欧洲玉米螟 *Ostrinia nubilalis* (Fadamiro and Baker, 1999) 等研究中被证实。但是, 本试验的研究发现, 豆野螟雌虫一生只交尾一次, 试验室未见到雌虫 2 次交尾。许多鳞翅目昆虫雌虫在交尾后在输卵管中会形成交配栓, 其功能就是防止多次交尾的发生 (Dickinson and Rutowski, 1989; Justus and Mitchell, 1999), 至于豆野螟是否是由于这个原因不能进行二次交尾, 还需要进一步的研究。

综上所述, 一旦应用性信息素治理豆野螟导致雄虫的大量诱捕, 虽然雄虫可以多次交尾, 但是随着交尾次数的增加, 与之交尾的雌虫的生殖力逐渐下降, 对防治仍然有利; 另一方面, 性信息素迷向法的使用导致雌雄不能在合适的时间交尾, 延迟交尾也同样可以使雌虫的生殖力、卵的孵化率下降。

参考文献 (References)

- Arnqvist G, Nilsson T, 2000. The evolution of polyandry: multiple mating and female fitness in insects. *Animal Behaviour*, 60 (2): 145 – 164.
- Benz G, 1969. Stimulation of oogenesis in *Pieris brassicae* by juvenile hormone derivative farnesenic acid ethyl ester. *Experientia*, 26 (9): 1012.
- Delisle J, Hardy M, 1997. Male larval nutrition influences the reproductive success of both sexes of the spruce budworm *Choristoneura fumiferana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Funct. Ecol.*, 11 (4): 451 – 463.
- Dickinson JL, Rutowski RL, 1989. The function of the mating plug in the chalcid checkerspot butterfly. *Animal Behaviour*, 38 (1): 154 – 162.
- Drummond BC, 1984. Multiple mating and sperm competition in the Lepidoptera // Smith RL (ed.). *Sperm Competition and the Evolution of Animal Mating Systems*. New York: Academic Press. 291 – 370.
- Fadamiro HY, Baker TK, 1999. Reproductive performance and longevity of female European corn borer, *Ostrinia nubilalis*: effect of multiple mating, delay in mating and adult feeding. *J. Insect. Physiol.*, 45 (4): 385 – 392.
- Haughes L, Chang BSW, Wangner D, Pierce NE, 2000. Effects of mating history on ejaculate size, fecundity, longevity, and copulation duration in the ant-tended lycaenid butterfly, *Jalmenus evagoras*. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 47 (3): 119 – 128.
- Henneberry TJ, Clayton TT, 1984. Time of emergence, mating, sperm movement, and transfer of ejaculatory duct secretory fluid by *Heliothis virescens* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae) under reversed light-dark cycle laboratory conditions. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 77 (3): 301 – 305.
- Huang FN, Subramanyam B, 2003. Effects of delayed mating on reproductive performance of *Plodia interpunctella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Stored Prod. Res.*, 39 (1): 53 – 63.
- Justus KA, Mitchell BK, 1999. Reproductive morphology, copulation, and inter populational variation in diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Inter. J. Insect Morphol. Embryo.*, 28 (3): 233 – 246.
- Kawagoe TN, Suzuki K, Matsumoto, 2001. Multiple mating reduce longevity of female windmill butterfly, *Atrophaneura alcinous*. *Ecol. Entomol.*, 26 (3): 258 – 262.
- Lamunyon CW, 1997. Increased fecundity, as a function of multiple mating in an arctiid moth, *Uteheisa ornatrix*. *Ecol. Entomol.*, 22 (1): 69 – 73.
- Landolt PJ, 1997. Cabbage looper (Lepidoptera: Noctuidae) fecundity maximized by a combination of access to water and food, and remating. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 90 (6): 783 – 789.
- Lum PTM, 1983. Oocyte degeneration in *Plodia interpunctella* Hubner and *Cadra cautella* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae): influence of temperature and humidity. *Environ. Entomol.*, 12 (5): 1539 – 1541.
- Park YI, Ramaswamy SB, Srinivasas A, 1998. Spermatophore formation and regulation of egg maturation and oviposition in female *Heliothis virescens* by the male. *J. Insect. Physiol.*, 44 (10): 903 – 908.
- Proshold FI, 1996. Reproductive capacity of laboratory-reared gypsy moths (Lepidoptera: Lymantriidae): effect of age of female at time of mating. *J. Econ. Entomol.*, 89 (2): 337 – 342.
- Ramaswamy SB, Shu S, Park YI, Zeng F, 1997. Dynamics of juvenile hormone-mediated gonadotropism in the Lepidoptera. *Arch. Insect. Biochem.*, 35 (4): 539 – 558.
- Ridley M, 1988. Mating frequency and fecundity in insects. *Biological Review*, 63 (4): 509 – 549.
- Rutowski RL, 1982. Mate choice and Lepidoptera mating behavior. *Florida Entomol.*, 65 (1): 72 – 82.
- Sadek M, 2001. Polyandry in field-collected *Spodoptera littoralis* moths and laboratory assessment of the effect of male history. *Entomol. Exp. Appl.*, 98 (2): 65 – 172.
- Savalli UM, Fox CW, 1999. The effect of male mating history on paternal investment, fecundity and female remating in

- the sees beetle *Callosobruchus maculatus*. *Funct. Ecol.* , 13 (2):169 – 177.
- Sharma HC, 1998. Bionomics, host plant resistance, and management of the legume pod borer, *Maruca vitrata*- a review. *Crop Prot.* , 17 (5):373 – 386.
- Tregenza T, Wedell N, 2002. Polyandrous females avoid costs of inbreeding. *Nature* , 415 (6867):71 – 73.
- Wakamura S, 1990. Reproduction of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae), and influence of delayed mating. *Jpn. J. Appl. Entomol. Z.* , 34 (1):43 – 48.
- Wang XP, Fang YL, Zhang ZN, 2005. Effect of male and female multiple mating on the fecundity, fertility, and longevity of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *J. Appl. Entomol.* , 129 (1):39 – 42.
- Ward KE, Landolt PJ, 1995. Influence of multiple matings on fecundity and longevity of female cabbage looper moths (Lepidoptera: Noctuidae). *Ann. Entomol. Soc. American* , 88 (6):768 – 772.
- 杜家纬, 1988. 昆虫性信息素及其应用. 北京:中国林业出版社. 1 – 221.
- 李明桃, 2012. 扁豆豆野螟的生物学特性与防治技术. 长江蔬菜, (13):50.
- 陆鹏飞, 乔海莉, 王小平, 周兴苗, 汪细桥, 雷朝亮, 2007a. 豆野螟成虫行为学特征及性信息素产生与释放节律. 昆虫学报, 50 (4):335 – 342.
- 陆鹏飞, 乔海莉, 王小平, 周兴苗, 朱芬, 雷朝亮, 2007b. 豆野螟成虫日龄对交尾的影响及雄蛾对性信息素的触角电位反应. 昆虫知识, 44 (5):665 – 670.
- 孟宪佐, 1997. 昆虫信息素的应用. 生物学通报, 32 (3):46 – 47.