

延迟交配对马铃薯块茎蛾繁殖的影响*

韩 瑞^{1**} 杨 帆^{1**} 柴永飞¹ 邓 芳² 肖 春^{1***}

(1. 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201; 2. 昭通市昭阳区植保植检站, 昭通 657000)

摘 要 【目的】为了明确延迟交配对马铃薯块茎蛾 *Phthorimaea operculella* Zeller 繁殖的影响。【方法】在室内条件下, 设置雌雄延迟交配、雄虫延迟交配和雌虫延迟交配 3 种处理, 观察延迟交配不同天数后马铃薯块茎蛾的交配率、交配持续时间、繁殖力和成虫寿命的变化情况。【结果】在 3 种延迟交配的情况下, 延迟交配 5 d 的交配率均是最低, 且与雌虫延迟交配相比, 雄虫延迟交配和雌雄虫延迟交配对交配率的影响更明显。延迟交配对卵孵化率和产卵量均有明显的不利影响, 其中雌雄延迟交配、雄虫延迟交配、雌虫延迟交配三者的均在延迟交配 2 d 时的产卵量最高, 在延迟交配 5 d 时的产卵量最低, 且两性延迟交配、雌虫延迟交配之间有显著差异。此外, 受到延迟交配的影响雌雄虫寿命均有所增加, 并且与单一性别对寿命的影响而言, 两性延迟交配对寿命的影响更为明显, 与雌虫相比雄虫更容易受到延迟交配的影响。【结论】延迟交配会对马铃薯块茎蛾的繁殖有明显不利的影响, 可以对迷向法对马铃薯块茎蛾防治提供一定的参考。

关键词 延迟交配; 繁殖力; 成虫寿命; 马铃薯块茎蛾

Effects of delayed mating on the reproduction of the potato tuber moth *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Tortricidae)

HAN Rui^{1**} YANG Fan^{1**} CHAI Yong-Fei¹ DENG Fang² XIAO Chun^{1***}

(1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. Plant Protection and Plant Inspection Station, Zhaoyang District, Zhaotong City, Zhaotong 657000, China)

Abstract 【Objectives】To determine the effects of delayed mating on the reproduction of the potato tuber moth *Phthorimaea Operculella* (Zeller). 【Methods】The effects of delaying the mating of both males and females, or of delaying the mating of either males or females, for different numbers of days, on mating rate, mating duration, fecundity and adult lifespan, were compared under laboratory conditions. 【Results】Irrespective of which sex was prevented from mating, delaying mating for 5 d produced the lowest mating rate. Compared to delaying the mating of females, the effect of delaying the mating of males, or of both sexes, on the mating rate was more obvious. Delayed mating had obvious adverse effects on the hatching rate and the number of eggs laid. Irrespective of which sex was prevented from mating, egg production was highest when mating was delayed for 2 days, and lowest when it was delayed for 5 days. Delaying mating by 5 days resulted in a significant difference in egg production when mating by both sexes had been delayed compared to when mating by females only had been delayed. In addition, the lifespan of both sexes was higher when mating was delayed, and compared to delaying the mating of just one sex, the effect of delaying mating by both sexes on lifespan was more obvious. Males were more susceptible than females to the effects of delayed mating. 【Conclusion】Delayed mating has significant adverse effects on the reproduction of potato tuber moths, which suggests that there is some scope for controlling this pest by disrupting mating.

Key words delay mating; fecundity; adult longevity; potato tuber moth

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金 (31560607)

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: hanrui_0228@163.com; yangfan090281@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: x.chun@163.com

收稿日期 Received: 2020-11-11; 接受日期 Accepted: 2021-04-19

合成性信息素是控制鳞翅目害虫交配行为和监测昆虫种群动态的有效手段,利用性信息素介导的交配控制方法主要是诱杀雄虫和迷向法(Wu *et al.*, 2018)。迷向法是通过信息素的使用使得雄虫在充满信息素的环境中降低对雌虫的定向能力从而达到干扰其交配的效果(Rothschild, 1981)。然而,因害虫种类的不同应用信息素干扰交配的方法和效果均有差异。在某些情况下,迷向法并不能完全阻止交配,但是由于信息素的存在使得雄虫寻找雌虫变得困难,从而可能导致交配时间的延迟(Cardé and Minks, 1995)。

马铃薯块茎蛾 *Phthorimaea operculella* Zeller 又名烟草潜叶蛾、马铃薯麦蛾,是一种寡食性害虫,仅危害马铃薯、烟草、番茄等茄科植物,广泛的分布在热带和亚热带地区(王春娅等, 2018; Zheng *et al.*, 2019)。在田间,马铃薯块茎蛾通过幼虫钻蛀叶片,使得马铃薯块茎减产 20%-30%。在仓储期,由于雌蛾产卵于马铃薯的芽眼和伤口处,幼虫通过芽眼处钻蛀薯块,使得薯块被完全蛀空,完全失去食用价值(马艳粉等, 2011a)。由于马铃薯块茎蛾幼虫钻蛀到寄主内部危害,使得化学药剂防治比较困难,并且化学药剂还会影响食品安全。因此,迫切需要寻找一种安全、有效的防治方法。

一些研究表明,使用性信息素防治马铃薯块茎蛾能有效的降低马铃薯块茎的损伤(Raman, 1988)。然而,诱捕器的设计、高度、形状以及里面性信息素的状态及比例对马铃薯块茎蛾雄蛾的诱捕效果有不同程度的影响(Bacon *et al.*, 1976; Keerati-Kasikorn, 1981; Tamhankar and Harwalkar, 1994)。作者所在课题组前期研究表明马铃薯块茎蛾的信息素对马铃薯块茎蛾的交配率有一定抑制作用,但是不能完全阻止交配。推测这种不能完全阻止马铃薯块茎蛾交配可能与延迟交配有关(待发表)。延迟交配被定义为雄虫和/或雌虫在其生命后期完成交配的情况(Waqas *et al.*, 2020)。延迟交配分为同日龄雌雄虫延迟交配和不同日龄之间雌雄延迟交配,那么在这两种延迟交配情况下对马铃薯块茎蛾的

繁殖是否产生影响?为此,本文研究延迟交配对马铃薯块茎蛾的繁殖的影响,为深入了解马铃薯块茎蛾的交配行为和种群动态监测提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

马铃薯块茎蛾幼虫于 2020 年 4 月采自云南省曲靖市的马铃薯田(103.79 E°, 25.51 N°),幼虫带回室内以马铃薯块茎(合作 88)饲养。待幼虫化蛹后单独置于透明的玻璃瓶中,防止其提前交配。成虫羽化后饲喂 10%蜂蜜水以提供营养。饲养条件设置为温度(27±1)℃,光周期 L:D = 14:10,相对湿度为 50%-70%。

1.2 延迟交配对马铃薯块茎蛾寿命、产卵量及繁殖力的影响

将未交配 1、2、3、4 和 5 d 的雌虫和雄虫作为延迟交配实验的供试虫源,实验设置雌雄延迟、雄虫延迟交配和雌虫延迟交配 3 个处理。雌雄延迟交配实验选择相同日龄未交配的雌虫(1、2、3、4 和 5 d)和雄虫(1、2、3、4 和 5 d)进行交配,雄虫延迟交配实验选择不同日龄未交配的雄虫(1、3、4 和 5 d)与未交配的雌虫(2 d)进行交配,雌虫延迟交配实验选择选择不同日龄未交配的雌虫(1、3、4 和 5 d)与未交配的雄虫(2 d)进行交配。

随机选择未交配的雌虫 1 只与雄虫 1 只进行配对,置于 1 000 mL 玻璃容器中,用尼龙网(40 目)封口,玻璃容器内放有 10%的蜂蜜水,以补充营养。实验于温度(27±1)℃,光周期为(L:D = 14:10),相对湿度为 50%-70%的条件下进行。实验过程中,在红光(30 lx)下观察暗期(8:30-18:30)雌虫与雄虫的交配行为,每 30 min 观察 1 次,每观察到 1 次视其交配了 30 min。如果在观察过程中有交配发生,则在暗期结束后将雌虫、雄虫分别转移到塑料容器(280 mL)中,每天检查并记录存活情况,直至成虫的死亡,以确定成虫寿命。同时,统计已交配雌蛾的产卵量,

用于评估延迟交配对马铃薯块茎蛾的生殖力影响。随机选取 50 粒卵, 每天观察卵的孵化情况, 并计算孵化率。待雌虫死亡后, 解剖雌虫并确认是否有精苞存在, 以此作为交配成功的标准。每个处理重复 3 次。

1.3 数据分析

所有数据采用 SPSS21.0 进行统计分析。利用 Duncan’s 多重比较进行差异显著性分析。利用 Pearson 相关系数评估马铃薯块茎蛾的交配日龄与交配率、时长、繁殖力和雌、雄虫寿命的相

关性。

2 结果与分析

2.1 延迟交配对交配率和交配时长的影响

延迟交配对马铃薯块茎蛾雌虫雄虫的交配率有一定影响, 且雌雄虫延迟交配对其交配率的影响相对较大(表 1)。与延迟交配 2 d 和 3 d 相比, 延迟交配 5 d 的交配率降低了 50%-60%; 并且在 3 种延迟交配的情况下, 延迟交配 5 d 的交配率均是最低。

表 1 延迟交配对马铃薯块茎蛾交配成功率的影响
Table 1 Effect of delayed mating on the mating success rate of potato tuber moth

延迟天数 (d) Delayed days	交配率 (%) Mating rate (%)					
	重复次数 Repeat times	雌雄延迟交配 Both male- and female-delayed mating	重复次数 Repeat times	雄虫延迟交配 Male -delayed mating	重复次数 Repeat times	雌虫延迟交配 Female-delayed mating
1	25	56.00	22	50.00	22	77.27
2	25	88.00	—	—	—	—
3	25	76.00	21	61.90	23	73.91
4	25	68.00	20	60.00	20	60.00
5	23	21.74	26	30.77	20	55.00

马铃薯块茎蛾的交配时间会受到延迟交配天数的显著影响, 雌雄延迟交配 5 d 后交配时长最短; 雌虫延迟交配会随着延迟天数的增加而增加, 延迟交配 5 d 的交配时长最长; 而雄虫延迟

交配对交配时长没有明显的影响(图 1)。

2.2 延迟交配对马铃薯块茎蛾生殖力的影响

延迟交配会对马铃薯块茎蛾的生殖力产生

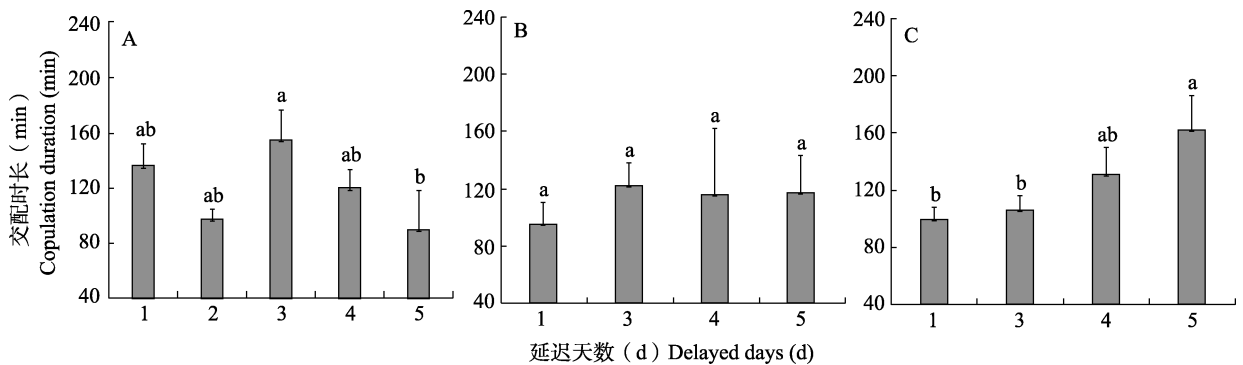


图 1 延迟交配对马铃薯块茎蛾交配时长的影响
Fig. 1 Effect of delayed mating on the copulation duration of potato tuber moth

A. 雌雄虫延迟交配; B. 雄虫延迟交配; C. 雌虫延迟交配。柱上标有不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下图同。
A. Both male and female delayed mating; B. Male delayed mating; C. Female delayed mating. Histograms with different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

明显不利的影响（表 2，图 2）；其中雌雄延迟交配、雄虫延迟交配、雌虫延迟交配三者均在延迟交配 2 d 时的产卵量最高，在延迟交配 5 d 时的产卵量最低（表 2）；在 3 种延迟交配情况下，卵孵化率均在延迟交配 1 d 时为最高，在延迟交配 5 d 时卵孵化率为最低（图 2）。

表 2 延迟交配对马铃薯块茎蛾孵化率的影响
Table 2 Effect of delayed mating on the hatching rate of potato tuber moth

延迟天数 (d) Delayed days (d)	孵化率 (%) Hatching rate (%)		
	雌雄虫延迟交配 Both sexes delayed mating	雄虫延迟交配 Male delayed mating	雌虫延迟交配 Female delayed mating
1	94.00±3.06a	94.00±1.15a	94.00±1.15a
2	89.33±4.67ab	—	—
3	92.67±0.67a	88.67±1.33ab	93.33±1.33a
4	86.00±1.15ab	89.30±2.91ab	86.67±1.76b
5	83.33±1.76b	86.00±3.46b	83.33±1.76b

表中的数据为平均值±标准误，同列数据后标有不同字母表示在 0.05 水平差异显著。下表同。
Data are mean±SE, and followed by the different lowercase letters in the same column indicate significant difference at the 0.05 level. The same below.

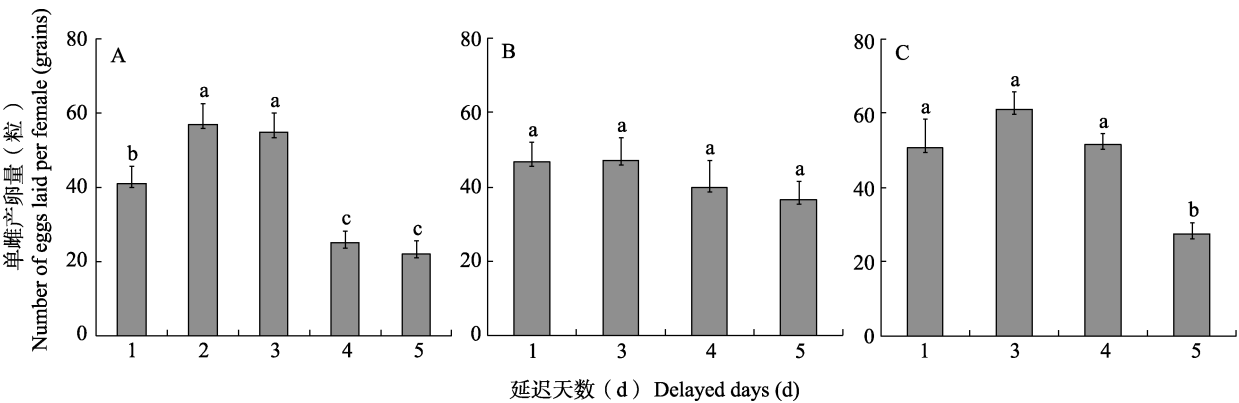


图 2 延迟交配对马铃薯块茎蛾产卵量的影响
Fig. 2 Effect of delayed mating on the number of eggs laid by potato tuber moth
A. 雌雄虫延迟交配; B. 雄虫延迟交配; C. 雌虫延迟交配。
A. Both male and female delayed mating; B. Male delayed mating; C. Female delayed mating.

2.3 延迟交配对马铃薯块茎蛾雌雄虫的寿命的影响

3 种延迟交配情况下，雌虫、雄虫的寿命均是在延迟 5 d 时最高（表 3）。雌雄虫延迟交配时，雄虫的寿命由（6.60±0.39）d 增加到（9.00±0.51）d，雌虫的寿命从（9.15±0.44）d 增加到（10.35±0.33）d；雄虫延迟交配时，雄虫的寿命从（6.25±0.25）d 增加到（9.40±0.46）d，而雌虫的寿命并没有明显的变化；雌虫延迟处理时，

雄虫的寿命由（6.65±0.22）d 增加到（7.75±0.43）d，雌虫的寿命从（8.00±0.30）d 增加到（10.95±0.49）d。

2.4 生殖变量与延迟交配日龄的关系

相关分析结果表明，雌雄虫延迟交配、雄虫延迟交配和雌虫延迟交配均对马铃薯块茎蛾的交配率、单雌产卵量和卵的孵化率有负面影响；而对马铃薯块茎蛾的雌、雄虫的寿命有积极的影响（表 4）。

表 3 延迟交配对马铃薯块茎蛾雌、雄虫寿命的影响
Table 3 Effect of delayed mating on the lifespan of male and female potato tuber moth

延迟天数 (d) Delayed days (d)	雌雄虫延迟交配		雄虫延迟交配		雌虫延迟交配	
	Both sexes delayed mating		Male delayed mating		Female delayed mating	
	雄虫寿命 (d)	雌虫寿命 (d)	雄虫寿命 (d)	雌虫寿命 (d)	雄虫寿命 (d)	雌虫寿命 (d)
	Male longevity (d)	Female longevity (d)	Male longevity (d)	Female longevity (d)	Male longevity (d)	Female longevity (d)
1	7.00±0.25ab	9.15±0.44a	6.25±0.25a	9.05±0.43a	6.65±0.22a	8.00±0.30a
2	6.60±0.39a	9.30±0.49a	—	—	—	—
3	7.75±0.36b	9.80±0.57a	7.20±0.41a	9.50±0.37a	6.55±0.43a	8.50±0.38a
4	7.15±0.24ab	9.85±0.39a	9.40±0.46b	9.05±0.64a	7.10±0.42b	10.45±0.63b
5	9.00±0.51c	10.35±0.33a	8.80±0.49b	9.25±0.33a	7.75±0.43b	10.95±0.49b

表 4 马铃薯块茎蛾的生殖变量与延迟交配的关系
Table 4 Some reproductive variables in potato tuber moth relation to the number of days delayed mating

变量 Variable	皮尔森相关系数 Pearson correlation coefficient		
	雌雄虫延迟交配	雄虫延迟交配	雌虫延迟交配
	Both sexes delayed mating	Male delayed mating	Female delayed mating
交配率 Mating rate	− 0.556	− 0.399	− 0.929
交配时长 Copulation duration	− 0.408	0.647	0.893
单雌产卵量 Number of eggs laid per female	− 0.681	− 0.937	− 0.716
卵孵化率 Hatching rate	− 0.716	− 0.907	− 0.961*
雄虫寿命 Male longevity	0.770	0.879	0.911
雌虫寿命 Female longevity	0.974**	0.091	0.966*

*表示在 0.05 水平显著相关; **表示在 0.01 水平极显著相关。
* indicates a significant correlation at the 0.05 level; ** indicates a extremely significant correlation at the 0.01 level.

3 讨论

马铃薯块茎蛾寿命短,但繁殖力高,交配次数的增加会随着雌虫数量的增加而增加。在没有交配延迟的情况下,单只雄虫平均会与 3.8 只雌虫完成交配(马艳粉等, 2011b)。本研究结果表明(表 1),延迟交配对马铃薯块茎蛾的交配率有不利的影响,但是影响的程度因性别而异。我们发现雄虫延迟交配和雌雄虫延迟交配会更明显的降低交配率,这表明日龄的增加会对雄虫的成功交配有不利的影响,而雌虫在交配时更倾向与低龄雄虫进行交配,这可能由于雄虫随着日龄的增加精苞的质量下降。这些研究结果与斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*、欧洲葡萄蔓蛾 *Mnesampela privata*、秋桉蛾 *Lobesia botrana*(Torres-Vila *et al.*,

2002; Walker and Allen, 2011; Di *et al.*, 2020)等研究结果一致。

关于蛾类昆虫的延迟交配的研究表明随着雌虫日龄的增加,产卵量和卵的孵化率均会降低(Kei *et al.*, 2014; Yang *et al.*, 2017; Wu *et al.*, 2018; Zheng *et al.*, 2020)。本研究发现,延迟交配对马铃薯块茎蛾的生殖力产生不利的影响;其中雌雄延迟交配、雄虫延迟交配、雌虫延迟交配均在延迟交配 2 d 时的产卵量最高,在延迟交配 5 d 时的产卵量最低,其中雌雄虫延迟交配对马铃薯块茎蛾生殖力影响最大,其次是雌虫延迟交配,而雄虫延迟交配对生殖力的影响最小(表 2, 图 2)。这些结果表明在适当的时间交配是雌性繁殖力的关键因素。

已有研究表明,延迟交配会导致许多鳞翅目

昆虫寿命的增加 (Jiao *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2017), 本研究同样发现延迟交配对块茎蛾雌雄虫的寿命有显著的影响。未交配的雌雄虫会比已交配的雌雄虫寿命更长。更长的寿命可能会促进延迟交配, 使得雌雄虫在死亡之前获得可能更多的交配机会。延迟交配使得成虫的寿命增加是因为生殖活动消耗的能量减少, 或通过吸收能量来延长寿命 (Wenninger and Averill, 2006)。

总而言之, 雄虫延迟交配、雌虫延迟交配和雌雄虫同时延迟交配均对马铃薯块茎蛾的交配和生殖力产生不利的影响。如果利用诱捕或迷向法延长马铃薯块茎蛾交配并达到 3 d 以上, 将是有效控制马铃薯块茎蛾数量的方法, 但延迟交配在田间应用如何还需要进一步研究。

参考文献 (Refereneces)

- Bacon OG, Seiber JN, Kennedy GG, 1976. Evaluation of survey trapping techniques for potato tuber worm moths with chemical baited traps. *Journal of Economic Entomology*, 69: 569–572.
- Cardé RT, Minks AK, 1995. Control of moth pests by mating disruption: Successes and constraints. *Annual Review of Entomology*, 40: 559–585.
- Di XY, Liu JF, Wu CX, Yan B, Yu XF, Yang MF, 2020. Delayed mating with multiple partners decreases indexes of mating in female and male *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Environmental Entomology*, 49(4): 789–795.
- Jiao X, Xuan W, Sheng C, 2006. Effects of delayed mating and male mating history on longevity and reproductive performance of the rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Walker) (Lep. Pyralidae). *Journal of Applied Entomology*, 130(2): 108–112.
- Kei K, Yoshinori S, Sadahiro T, 2014. Effect of increased male and female age at mating on the reproductive performance of *Cnaphalocrocis medinalis* (Crambidae: Lepidoptera). *Journal of Economic Entomology*, 107(4): 1434–1439.
- Keerati-Kasikorn M, 1981. Initial studies towards the implementation of a pest management system for the control of the potato tuber moth *Phthorimaea operculella* (Zeller) in south-eastern Queensland. PhD thesis. University of Queensland.
- Ma YF, Zhang XM, Li ZY, Xiao C, 2011a. Effect of extracts from poplar (*Populus yunnanensis*) leaves on oviposition for potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller). *Agrochemicals*, 50(7): 522–523, 538. [马艳粉, 张晓梅, 李正跃, 肖春, 2011. 滇杨叶片提取物对马铃薯块茎蛾产卵选择性的影响. 农药, 50(7): 522–523, 538.]
- Ma YF, Li ZY, Xiao C, Wu SR, Li N, He YQ, 2011b. Mating behavior of potato tuber moth, *Phthorimaea operculella*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(2): 355–358. [马艳粉, 李正跃, 肖春, 伍苏然, 李娜, 何月秋, 2011. 马铃薯块茎蛾的交配行为. 应用昆虫学报, 48(2): 355–358.]
- Raman KV, 1988. Control of potato tuber moth *Phthorimaea operculella* with sex pheromones in peru. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 21(1/2): 85–99.
- Rothschild GHL, 1981. Mating disruption of Lepidopterous pests: Current status and future prospects/Mitchell ER(ed.). *Management of Insect Pests with Semiochemicals*. Boston: Springer. 207–228.
- Tamhankar AJ, Harwalkar MR, 1994. Comparison of a dry and a water trap for monitoring potato tuber moth *Phthorimaea operculella* Zeller. *Entomology*, 19: 163–164.
- Torres-Vila LM, Rodríguez-Molina MC, Stockel J, 2002. Delayed mating reduces reproductive output of female European grapevine moth, *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Bulletin of Entomological Research*, 92(3): 241–249.
- Walker PW, Allen GR, 2011. Delayed mating and reproduction in the autumn gum moth *Mnesampela privata*. *Agricultural and Forest Entomology*, 13(4): 341–347.
- Wang CY, Hu CH, Liu Y, Wang J, Qi JW, Tang GW, Xiao C, 2018. Effects of crude extracts from leaves of *Juglans regia* on oviposition choice and larval boring of *Phthorimaea operculella* in potato tuber. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 30(4): 14–19. [王春娅, 胡纯华, 刘燕, 王静, 戚敬威, 唐国文, 肖春, 2018. 核桃叶粗提物对马铃薯块茎蛾产卵选择以及幼虫钻蛀性的影响. 江西农业学报, 30(4): 14–19.]
- Waqas MS, Shoaib ZA, Elabasy SS, Cheng XL, Zhang QQ, Shi ZH, 2020. Effects of delayed mating on male mating success and female reproductive performance of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae). *Crop Protection*, 132: 105135.
- Wenninger EJ, Averill AL, 2006. Mating disruption of oriental beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) in cranberry using retrievable, point-source dispensers of sex pheromone. *Environmental Entomology*, 35(2): 458–464.
- Wu CX, Liu JF, Di XY, Yang MF, 2018. Delay in mating reduces reproductivity but increases life span in tobacco cutworm, *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, 111(4): 1650–1657.
- Yang YQ, Zhang LZ, Zhang YZ, Zang LW, Long YH, 2017. Delayed mating impacts on the reproductive performance of *Ectropis obliqua* (Lepidoptera: Geometridae). *Journal of Entomological Science*, 52(1): 52–59.
- Zheng YQ, He SQ, Chen B, Wang WQ, Zhang LY, Li ZY, Xiao GL, 2019. Time concentration mortality response of potato tuber moth pupae to the biocontrol agent *Cordyceps tenuipes*. *Biocontrol Science and Technology*, 29(10): 93.
- Zheng XL, Liu JY, Lu W, He XZ, Wang Q, 2020. Mating delay reduces reproductive performance but not longevity in a monandrous moth. *Journal of Insect Science* (Online), 20(2): 3.