



易小龙, 董子舒, 郑光楠, 王小云, 郑霞林, 陆温. 延迟交配对橘小实蝇繁殖适度的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (3): 736–742.

延迟交配对橘小实蝇繁殖适度的影响

易小龙, 董子舒, 郑光楠, 王小云, 郑霞林, 陆温*

(广西大学农学院, 广西农业环境与农产品安全重点实验室, 南宁 530004)

摘要: 橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* Hendel 是一种世界性的入侵害虫, 严重为害多种经济果蔬。本文通过响应面分析方法, 研究了延迟交配对橘小实蝇交配率、产卵量、孵化率和寿命的影响。结果表明, 交配率随雌虫交配日龄的延迟先增后减, 雌、雄成虫均为 35 日龄处理组中的交配率最高, 为 $81.00\% \pm 2.00\%$; 而雄虫交配日龄的延迟则对其卵孵化率有明显的负面作用, 在 56 日龄雄虫与 35 日龄雌虫处理组中, 其卵孵化率最低, 仅为 $27.56\% \pm 4.55\%$ 。雌成虫产卵量和寿命受到雌、雄虫双方交配日龄的影响, 产卵量 (y) 与雄虫日龄 (x_1) 和雌虫日龄 (x_2) 的回归方程为 $y = 514.36 + 3.08x_1 - 11.05x_2$, 雌成虫寿命 (y) 与雄虫日龄 (x_1) 和雌虫日龄 (x_2) 的回归方程为 $y = 35.85 + 0.23x_1 + 0.40x_2$ 。研究结果为田间使用性信息素迷向法防治橘小实蝇提供了理论依据。

关键词: 橘小实蝇; 延迟交配; 繁殖适度; 迷向法; 响应面分析法

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 03-0736-07

Effect of delayed mating on reproductive fitness of *Bactrocera dorsalis* Hendel (Diptera: Tephritidae)

YI Xiao-Long, DONG Zi-Shu, ZHENG Guang-Nan, WANG Xiao-Yun, ZHENG Xia-Lin, LU Wen*
(Guangxi Key Laboratory of Agric-Environment and Agric-Products Safety, College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: *Bactrocera dorsalis* Hendel is a worldwide invasive pest which seriously damage a variety of fruits and vegetables with important economic significances. In this paper, response surface analysis was used to study the effects of delayed mating on the mating rate, fecundity, eggs hatching rate and female longevity of *B. dorsalis*. The mating rate of *B. dorsalis* increased firstly and then decreased with the delayed of female mating age, the mating rate of 35 days old males and 35 days old females was the highest, which was only $81.00\% \pm 2.00\%$. The delayed of male mating age had a significant negative effect on eggs hatching rates of *B. dorsalis*, and the eggs hatching rate of 56 days old males and 35 days old females was the lowest, which was only $27.56\% \pm 4.55\%$. The fecundity and longevity of female adults were affected by the mating age of both females and males. The regression equation of fecundity (y) by male age (x_1) and female age (x_2) was $y = 514.36 + 3.08x_1 - 11.05x_2$. The longevity of female (y) by male age (x_1) and female age (x_2) was $y = 35.85 + 0.23x_1 + 0.40x_2$. The results provided a theoretical basis for the use of mating disruption to control *B. dorsalis* in the field.

基金项目: 广西创新驱动发展专项 (桂科 AA17202017)

作者简介: 易小龙, 男, 1996 年生, 硕士研究生, 主要研究方向为昆虫行为生态, E-mail: 15080999109@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 陆温, 男, 博士, 教授, 主要研究方向为昆虫行为生态, E-mail: luwenlwen@163.com

收稿日期 Received: 2021-01-25; 接受日期 Accepted: 2021-06-03

Key words: *Bactrocera dorsalis*; delayed mating; reproductive fitness; mating disruption; response surface methodology

橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 隶属于双翅目实蝇科, 能为害 250 多种水果及蔬菜 (Clarke *et al.*, 2005), 还可在不同寄主间转移为害 (段云博, 2018; 巫辅民, 2019; 李媛, 2020)。目前, 橘小实蝇已广泛分布于广西、广东、福建、海南、湖南、贵州、云南、四川、重庆等多个省市和自治区, 给我国水果产业造成了极大损失, 严重制约了我国水果产业的发展 (朱雁飞等, 2020)。根据橘小实蝇的发生特点, 当前防治主要集中在成虫期, 如雄性不育技术 (梁广勤等, 2008; Sohail *et al.*, 2019)、蛋白诱剂食诱 (全金成等, 2017; 孙太华等, 2020) 和性诱 (薛超等, 2015; 赵菊鹏等, 2017) 等。

延迟交配是指动物的交配行为在自然界中受到各种因素的影响, 不能在正常时间进行交配而延迟 (Chilton *et al.*, 1993)。延迟交配对昆虫的繁殖适度有显著影响 (如交配成功率、产卵量、孵化率和寿命等), 且其影响因昆虫种类不同而异。例如, 延迟交配会降低斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 产卵量和孵化率, 且显著延长其寿命 (Wu *et al.*, 2018); 延迟交配会降低朱红毛斑蛾 *Phauda flammans* 的交配率、产卵量和孵化率, 但对其寿命无显著性影响 (Zheng *et al.*, 2020)。基于延迟交配能降低昆虫繁殖适度这一现象, 利用性信息素在野外干扰昆虫交配已在梨小食心虫 *Grapholitha molesta* (郑鹏华等, 2020; 郑燕等, 2020)、苹小卷叶蛾 *Adoxophyes orana beijingensis* (涂洪涛等, 2018) 和苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* (张煜等, 2017; 崔笑雄等, 2020) 等害虫的防治上得到应用, 并取得了显著防效。

性信息素“迷向法”是指利用合成性信息素扰乱和阻断雌、雄虫之间的化学通讯 (孟宪佐和魏康年, 1981)。干扰昆虫交配以延迟成虫交配日龄降低其繁殖适度, 是间接控制害虫种群的一种方法。目前, 延迟交配行为对蛾类害虫种群增长的负作用也已成为评价交配干扰技术有效性的指标之一, 而其对实蝇类害虫的影响鲜见报道。橘小实蝇成虫的寿命相对一般蛾类较长, 性成熟时间普遍在 7~12 日龄之间 (林进添, 2004), 延迟交配对橘小实蝇繁殖适度的影响, 目前尚无报道。

鉴于此, 本文利用响应面分析法, 研究了延迟交配对橘小实蝇繁殖适度的影响, 以期基于性信息素迷向法在橘小实蝇防控上的应用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

橘小实蝇初始虫源采集于广西玉林市玉州区 (22.63N, 110.15E) 番石榴果园, 捡拾内具幼虫的番石榴虫果带回广西大学昆虫所养虫室饲养。室内饲养温度 $26^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $70\% \pm 10\%$, 光周期 14 L:10 D, 待成虫羽化后将其转移至用金属支架和尼龙网制作而成的养虫笼 (长×宽×高 = 100 cm × 100 cm × 100 cm) 中饲养。幼虫用香蕉 *Musa nana* 饲养, 成虫喂以人工饲料 (酵母膏: 白糖 = 1:4), 并以润湿的脱脂棉供水, 每隔 2 d 更换一次养虫笼中的饲料与水。本研究所用橘小实蝇皆为该种群的后代。

1.2 实验方法

设定羽化当天的橘小实蝇日龄为 0 日龄, 羽化第 2 天的成虫日龄为 1, 依此类推。实验所用成虫均在 3 日龄之前将雌、雄分开, 单性饲养, 以确保其在实验之前未发生交配。实验在广西大学昆虫所养虫室进行, 养虫室内温度为 $26^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 $70\% \pm 10\%$, 光周期 14 L:10 D。

依据 Expert Design 8.0 中心复合设计法 (Jimenez-Perez and Wang, 2003) 设计了 9 个橘小实蝇不同成虫日龄配对组合, 研究其对橘小实蝇繁殖适度的影响。具体方法是下午 18 时, 室内灯光模拟成黄昏时的光照强度, 将未交配过的雌、雄成虫各 30 头混合在同一养虫笼内, 3 次重复。然后, 每 20 min 观察 1 次橘小实蝇的交配情况, 如发现交配行为, 待其交配稳定后, 用 50 mL 离心管收集, 并将其转移至产卵观测装置内 (2 000 mL 的塑料盒, 内具饲料、水及用 50 mL 离心管制作而成的集卵器), 观察时间直至当天 20:30, 无新的交配现象出现后, 关闭室内灯光。统计交配率。待橘小实蝇交配结束后, 取出装置中的雄成虫, 将 20 头交配后的雌虫单独饲养在产卵观测装置

内,隔天更换水和饲料,每天更换产卵观测装置中的集卵器,在 SM2800N 尼康体视显微镜(尼康公司,东京,日本)下统计卵粒数量。随后将卵置于培养皿(直径9 cm)内待其孵化,3 d 后记录各皿卵粒孵化数量,最后统计产卵量、孵化率和雌虫寿命。

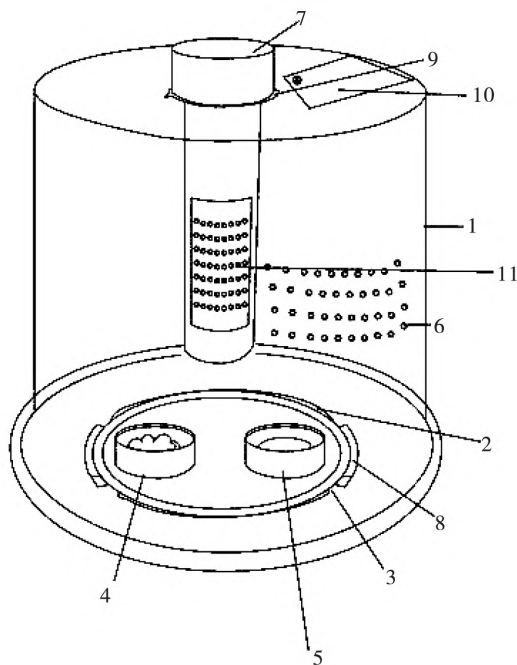


图1 一种橘小实蝇成虫产卵量观测装置

Fig. 1 An observation device for fecundity of adult

Bactrocera dorsalis

注: 1, 饲养盒; 2, 取虫口; 3, 食物盘; 4, 喂水槽; 5, 喂食槽; 6, 透气孔; 7, 集卵器; 8, 加厚垫; 9, 放虫口; 10, 封闭件; 11, 产卵孔。Note: 1, Feeding box; 2, Gaps of take insect out; 3, Feeding plate; 4, A tank for feeding water; 5, A tank for feeding food; 6, Air vent; 7, A device for collecting eggs; 8, Thickening mat; 9, Gaps of put insects in; 10, A sheet used to seal; 11, Ovipositional apertures.

1.3 数据统计

使用 SPSS 22.0 (IBM, 美国) 进行数据统计分析。不同日龄雌、雄成虫的交配率采用单因素方差分析, 并应用 Tukey 法进行多重比较 ($P < 0.05$)。由于雌虫的产卵量、卵的孵化率和雌虫的寿命等数据不满足正态分布, 故采用非参数检验 Kruskal-Wallis 法进行差异显著性检验 ($P < 0.05$)。响应面实验设计与统计分析软件为 Design Expert 8.0 (Stat-Ease, 美国), 采用 Origin 8.0 (Origin Lab, 美国) 作图。

表1 橘小实蝇不同雌、雄成虫交配日龄组配

(Expert Design 8.0 设计)

Table 1 Different mating age groups of male and female of *Bactrocera dorsalis* (Design by Expert Design 8.0)

处理 Treatments	成虫日龄 (d) Adult age		配对数 (对) Number of pairing
	雄 Male	雌 Female	
1	14	35	90
2	20	20	90
3	20	50	90
4	35	14	90
5	35	35	90
6	35	56	90
7	50	20	90
8	50	50	90
9	56	35	90

2 结果与分析

2.1 延迟交配对橘小实蝇交配率的影响

交配日龄显著影响橘小实蝇的交配率 ($P < 0.05$)。35 日龄雄虫与 35 日龄雌虫组合交配率最高, 为 $81.00\% \pm 2.00\%$; 35 日龄雄虫与 14 日龄雌虫配对时, 其交配率最低, 为 $32.33\% \pm 2.33\%$, 其余组合的交配率介于两者之间。其中, 雄虫仅在 14 日龄未完全性成熟时, 与 35 日龄雌虫配对的交配率显著低于 35 日龄雄虫与 35 日龄雌虫配对的交配率, 其余日龄组合间无显著差异。相较而言, 雌虫交配日龄的延迟对其交配率的影响更为显著, 除了在未完全性成熟时会显著降低交配率外, 其交配日龄的延迟也会对交配率造成显著的负面影响 (表 2)。

2.2 延迟交配对橘小实蝇产卵量和卵孵化率的影响

橘小实蝇雌虫的交配日龄对其产卵量存在显著影响, 随雌虫交配日龄的增加, 其产卵量降低; 雌虫的交配日龄对卵的孵化率无显著影响。雄虫的交配日龄对卵孵化率有显著影响; 随雄虫日龄的增加, 卵孵化率下降。利用 Design Expert 软件中的中心复合设计, 对不同年龄组合实验所得到的产卵量数据进行分析, 结果表明, 橘小实蝇雄虫交配日龄对产卵量有显著影响 ($P = 0.023$); 雌虫交配日龄对产卵量的影响则极显著 ($P < 0.001$), 且雌、雄虫交配日龄对雌虫产卵量不存

在明显的交互作用。进一步求得产卵量 (y) 与雄虫日龄 (x_1) 和雌虫日龄 (x_2) 的回归方程为 $y = 514.36 + 3.08x_1 - 11.05x_2$, R^2 值为 0.7930。综上所述, 橘小实蝇雌虫产卵量的变化主要取决于雌虫交配日龄的变化, 其产卵量随雌虫交配日龄的延迟而减少 (表 2, 图 2)。

表 2 延迟交配对橘小实蝇繁殖适度的影响 (n = 20)
Table 2 Effect of delayed mating on reproductive fitness in *Bactrocera dorsalis*

成虫日龄 (d) Adult age	平均交配率 (%) Mean mating success rate	平均产卵量 (粒) Mean fecundity	平均孵化率 (%) Mean hatch rate	雌虫平均寿命 (d) Mean longevity of female
14 ♂ : 35 ♀	47.67 ± 2.33 cd	161.06 ± 24.91 ab	76.00 ± 2.87 a	53.30 ± 2.05 b
20 ♂ : 20 ♀	63.33 ± 2.03 bc	407.23 ± 62.12 a	62.11 ± 5.33 ab	48.45 ± 3.72 b
20 ♂ : 50 ♀	56.33 ± 3.77 c	35.00 ± 4.09 bc	74.26 ± 3.35 ab	61.07 ± 1.82 ab
35 ♂ : 14 ♀	32.33 ± 2.91 d	410.61 ± 81.48 a	54.09 ± 7.16 bc	51.25 ± 4.03 b
35 ♂ : 35 ♀	81.00 ± 2.00 a	194.63 ± 34.41 ab	69.49 ± 3.13 ab	56.63 ± 2.31 ab
35 ♂ : 56 ♀	59.00 ± 4.16 bc	10.11 ± 2.34 c	63.89 ± 10.35 ab	68.95 ± 2.18 a
50 ♂ : 20 ♀	52.33 ± 2.91 c	450.36 ± 71.79 a	49.60 ± 5.15 bc	54.06 ± 3.95 ab
50 ♂ : 50 ♀	55.33 ± 3.93 c	45.25 ± 9.98 b	71.35 ± 3.85 ab	64.45 ± 2.25 ab
56 ♂ : 35 ♀	73.33 ± 4.91 ab	399.55 ± 64.69 a	27.56 ± 4.55 c	66.08 ± 5.38 ab

注: 表中数据为平均值 ± 标准误。同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。Note: Data were showed as mean ± SE. Different lowercase letters in the same column indicated significant difference ($P < 0.05$).

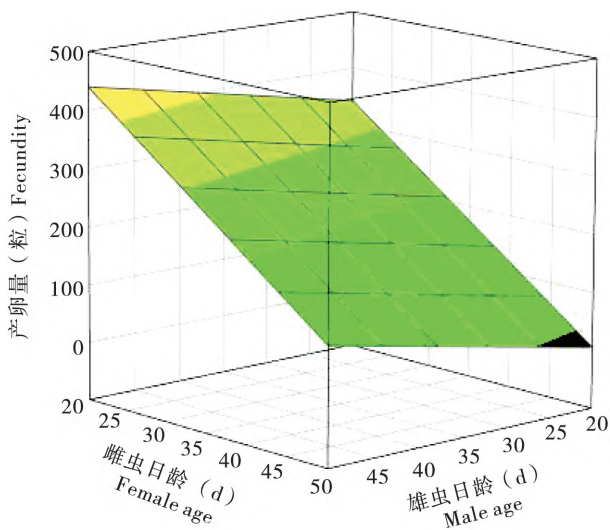


图 2 交配日龄对橘小实蝇产卵量的影响
Fig. 2 Effect of female and male age on fecundity in *Bactrocera dorsalis*

2.3 延迟交配对橘小实蝇雌成虫寿命的影响

橘小实蝇雌、雄虫交配日龄的增加会显著延长雌虫的寿命。将不同年龄组合实验所得到的雌成虫寿命数据, 代入中心复合设计, 进一步分析了雌虫寿命与雌、雄虫交配日龄的关系。结果表明, 橘小实蝇雌、雄成虫交配日龄对雌虫的寿命均有极显著的影响 (雄虫, $P < 0.001$; 雌虫, $P <$

0.001), 雌成虫寿命随雌虫或雄虫交配日龄的延迟而增加, 雌、雄成虫交配日龄对寿命不存在显著的交互作用。进一步求得雌成虫寿命 (y) 与雄虫日龄 (x_1) 和雌虫日龄 (x_2) 的回归方程为 $y = 35.85 + 0.23x_1 + 0.40x_2$, R^2 值为 0.9069。总之, 随雌、雄成虫交配日龄的增加, 雌虫的寿命随之延长, 其中, 雌虫交配日龄的延迟, 对其寿命的影响更明显 (表 2, 图 3)。

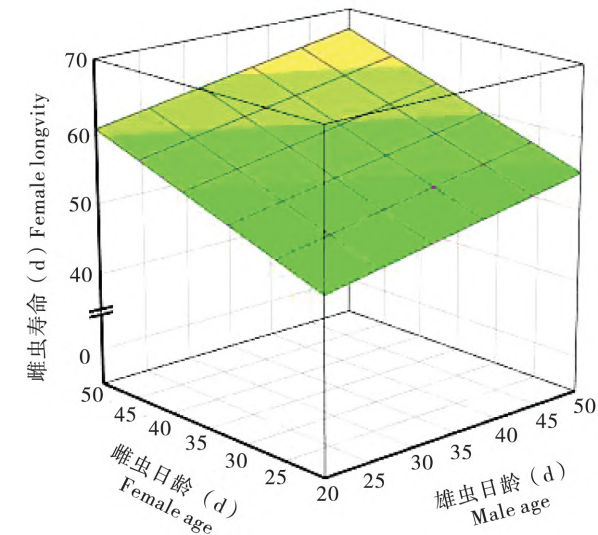


图 3 交配日龄对橘小实蝇雌成虫寿命的影响
Fig. 3 Effect of female and male age on adult longevity of female in *Bactrocera dorsalis*

3 结论与讨论

本研究结果表明, 随雌虫交配日龄的增加, 橘小实蝇交配率先增后减, 其中, 35 日龄雌虫与 35 日龄雄虫组合的交配率最高, 35 日龄左右可能是橘小实蝇雌虫的中龄, 也是最佳交配日龄。这可能是因为雄虫更偏爱与中龄雌虫交配 (Bonduriansky, 2001) 或者中龄雌虫更易接受雄虫的求偶所致。例如, 马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* 中龄雌虫发生交配所需的时间最短, 交配持续时间最长 (Liu *et al.*, 2014)。56 日龄雌虫与 35 日龄雄虫的交配率则显著下降, 这可能是因为随雌虫年龄的增加, 其减少了相关的求偶行为 (Torres *et al.*, 2002) 或是部分雌虫失去交配能力 (冯波等, 2019) 所致。

橘小实蝇的产卵量受到雌、雄交配日龄的影响。其中, 随雌虫交配日龄的延迟, 其产卵量减少, 与烟草甲 *Lasioderma serricorne* (Barbara *et al.*, 2019)、斜纹夜蛾 (Wu *et al.*, 2018)、朱红毛斑蛾 (Zheng *et al.*, 2020) 等昆虫种类结果相一致。可能是因为延迟交配导致未交配雌虫卵母细胞的发育受阻或减弱, 雌虫为了维持寿命吸收部分来自卵的营养物质, 致使产卵量下降 (Torres *et al.*, 2002)。许多研究表明, 雄虫交配日龄的延迟会对产卵量造成负面影响 (Kei *et al.*, 2014; Yang *et al.*, 2017), 而在橘小实蝇中, 随雄虫交配日龄的增加, 其产卵量会显著增加, 认为可能是因为交配日龄的延迟, 导致雄虫对其期望达到的交配次数下降 (Elzinga *et al.*, 2011), 因此, 为了获得更大的繁殖利益, 在交配时进行了更多的射精投入所致 (Bretman *et al.*, 2011; Esfandi *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2020)。橘小实蝇卵的孵化率仅受雄虫交配日龄的影响, 雌虫与年轻雄性交配后的卵孵化率更高, 可能与年轻雄性高质量的精子有关, 同样的现象也出现在斑禾草螟 *Chilo partellus* (Dhillon *et al.*, 2019) 和茶尺蠖 *Ectropis obliqua* (Yang *et al.*, 2017) 等昆虫中。

本研究发现, 随雌、雄成虫交配日龄的延迟, 橘小实蝇雌虫寿命随之增加, 可能是由于延迟交配降低了雌虫与繁殖相关的能量消耗或者吸收了部分来自卵的营养物质所致 (Subramanyam, 2003)。在不同昆虫种类中, 延迟交配对雌虫寿命的影响不同; 在一些昆虫种类中, 延迟交配会延

长雌虫寿命 (李定旭等, 2009; 赵信等, 2012; 陆鹏飞等, 2013), 而在另一类昆虫中, 延迟交配会缩短雌虫寿命 (Wang *et al.*, 2010; 张清泉等, 2012) 或不影响雌虫寿命 (Zheng *et al.*, 2020)。

总之, 本研究发现延迟交配可在不同程度上降低橘小实蝇的交配率、产卵量和孵化率。这一结果对于橘小实蝇的防治工作具有一定的指导意义, 但在田间延迟交配是否能导致其种群明显下降仍需要进一步研究。

参考文献 (References)

- Barbara A, Rizana M, Alison R, *et al.* Effect of delayed mating on longevity and reproductive performance of *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2019, 112 (1): 475–484.
- Bonduriansky R. The evolution of male mate choice in insects: A synthesis of ideas and evidence [J]. *Biological Reviews*, 2001, 76 (3): 305–339.
- Bretman A, Gage MJG, Chapman T. Quick – change artists: Male plastic behavioural responses to rivals [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2011, 26 (9): 467–473.
- Chilton NB, Andrews RH, Bull CM. Effect of delayed mating and prolonged engorgement on the reproductive fitness of female *Amblyomma limbatum* (Acari: Ixodidae) in marginal population areas [J]. *Oecologia (Heidelberg)*, 1993, 94 (1): 67–71.
- Clarke AR, Armstrong KF, Carmichael AE, *et al.* Invasive phytophagous pests arising through a recent tropical evolutionary radiation: The *Bactrocera dorsalis* complex of fruit flies [J]. *Annual Review of Entomology*, 2005, 50: 293–319.
- Cui XX, Xiong RC, Chen HJ, *et al.* Control effect of dual sex pheromone for disrupting the mating of *Cydia pomonella* and *Grapholitha molesta* in apple orchard [J]. *Northern Horticulture*, 2020, 44 (13): 42–46. [崔笑雄, 熊仁次, 陈汉杰, 等. 复合式性信息素迷向剂对苹果蠹蛾和梨小食心虫的防控效果 [J]. 北方园艺, 2020, 44 (13): 42–46]
- Dhillon MK, Tanwar AK, Hasan F. Fitness consequences of delayed mating on reproductive performance of *Chilo partellus* (Swinhoe) [J]. *Journal of Experimental Zoology Part A-Ecological and Integrative Physiology*, 2019, 331 (3): 161–167.
- Duan YB. Studies on the Occurrence Regulation of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in the Citrus – and Mango-Producing Areas [D]. Nanning: Guangxi University Master Thesis, 2018. [段云博. 柑橘和芒果主产区橘小实蝇的发生及转移为害规律研究 [D]. 南宁: 广西大学硕士论文, 2018]
- Elzinga JA, Chevasco V, Grapputo A, *et al.* Influence of male mating history on female reproductive success among monandrous Naryciinae (Lepidoptera: Psychidae) [J]. *Ecological Entomology*, 2011, 36 (2): 170–180.
- Esfandi K, He XZ, Wang Q. Sperm allocation strategies in a sperm heteromorphic insect [J]. *Current Zoology*, 2019, 66 (3): 285–

- 292.
- Feng B, Zhang WM, Zhang D, et al. The relationship between the mating rate and frequency of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Pyralidae) and its age, sex ratio and testicular volume [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2020, 63 (1): 54–62. [冯波, 张万民, 张丹, 等. 亚洲玉米螟交配率和交配次数与其日龄、性比和精巢大小的关系 [J]. 昆虫学报, 2020, 63 (1): 54–62]
- Jimenez – Perez A, Wang Q. Effect of mating delay on the reproductive performance of *Cnephasia jactatana* (Lepidoptera: Tortricidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2003, 96 (3): 592–598.
- Kei K, Yoshinori S, Sadahiro T. Effect of increased male and female age at mating on the reproductive performance of *Cnaphalocrocis medinalis* (Crambidae: Lepidoptera) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2014, 107 (4): 1434–1439.
- Li DX, Tian J, Guo YL, et al. Effects of delayed mating on the reproduction of the hawthorn spider mite, *Tetranychus viennensis* Zacher (Acari: Tetranychidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2009, 52 (12): 1312–1318. [李定旭, 田娟, 郭艳兰, 等. 延迟交配对山楂叶螨繁殖的影响 [J]. 昆虫学报, 2009, 52 (12): 1312–1318]
- Li Y. Population Dynamics, Emigration and Infestation Regulation of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in Major Plum Production Areas of Hezhou City [D]. Nanning: Guangxi University Master Thesis, 2020. [李媛. 贺州李子主产区橘小实蝇种群的发生及转移危害规律 [D]. 南宁: 广西大学硕士论文, 2020]
- Liang GQ, Liang F, Zhao JP, et al. Study and application on sterile insect technique for oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* in the field to control the fly [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2008, 35 (5): 60–63. [梁广勤, 梁帆, 赵菊鹏, 等. 桔小实蝇不育技术及应用研究 [J]. 广东农业科学, 2008, 35 (5): 60–63]
- Lin JT, Zeng L, Lu YY, et al. Research advances in biology and control of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) [J]. *Journal of Zhongkai Agrotechnical College*, 2004, 17 (1): 60–67. [林进添, 曾玲, 陆永跃, 等. 桔小实蝇的生物学特性及防治研究进展 [J]. 仲恺农业技术学院学报, 2004, 17 (1): 60–67]
- Liu JY, Zhang YJ, Zheng XL, et al. Combined cues of male competition influence spermatozoal investment in a moth [J]. *Functional Ecology*, 2020, 34 (6): 1223–1234.
- Liu XP, He HM, Xue FS. The influence of female age on male mating preference and reproductive success in cabbage beetle, *Colaphellus bowringi* [J]. *Insect Science*, 2014, 21 (4): 515–522.
- Lu PF, Qiao HL, Zong SX, et al. Effect of delayed and multiple mating on the reproduction of *Maruca vitrata* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50 (6): 1564–1572. [陆鹏飞, 乔海莉, 宗世祥, 等. 豆野螟延迟交尾和多次交尾对生殖的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50 (6): 1564–1572]
- Meng XZ, Wei KN. Using the method of synthetic pheromone atypia to control the *Grapholitha molesta* [J]. *Plant Protection*, 1981, 8 (5): 36–37. [孟宪佐, 魏康年. 用合成性信息素迷向法防治梨小食心虫 [J]. 植物保护, 1981, 8 (5): 36–37]
- Quan JC, Jiang YH, Chen GF, et al. Evaluation on the effect of smart green bait on controlling *Bactrocera dorsalis* in the field [J]. *China Fruits*, 2017, 5: 65–67, 75. [全金成, 江一红, 陈贵峰, 等. 聪绿饵剂防治月柿橘小实蝇田间效果评价 [J]. 中国果树, 2017, 5: 65–67, 75]
- Sohail S, Tariq K, Zheng W, et al. RNAi – mediated knockdown of *tssk1* and *tektin1* genes impair male fertility in *Bactrocera dorsalis* [J]. *Insects*, 2019, 10 (6): 164.
- Subramanyam HB. Effects of delayed mating on reproductive performance of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2003, 39 (1): 53–63.
- Sun TH, Wang HS, Xiong XJ, et al. Application effect of protein attractant in green control of *Bactrocera dorsalis* in pear orchard [J]. *China Plant Protection*, 2020, 40 (3): 61–63, 74. [孙太华, 王华生, 熊喜蛟, 等. 蛋白诱剂在梨园橘小实蝇绿色防控中的应用效果 [J]. 中国植保导刊, 2020, 40 (3): 61–63, 74]
- Torres VLM, Rodríguez MMC, Stockel J. Delayed mating reduces reproductive output of female European grapevine moth, *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 2002, 92 (3): 241–249.
- Tu HT, Zhang JY, Zhang M, et al. Comparison of different dosages of sex pheromone for disrupting the mating of *Adoxophyes orana* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2018, 55 (3): 489–496. [涂洪涛, 张金勇, 张蒙, 等. 不同剂量信息素缓释迷向剂防治苹小卷叶蛾的比较 [J]. 应用昆虫学报, 2018, 55 (3): 489–496]
- Wang XP, Fang YL, Zhang ZN. Effects of delayed mating on the fecundity, fertility and longevity of females of diamondback moth, *Plutella xylostella* [J]. *Insect Science*, 2010, 18 (3): 305–310.
- Wu CX, Liu JF, Di XY, et al. Delay in mating reduces reproductivity but increases life span in tobacco cutworm, *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2018, 111 (4): 1650–1657.
- Wu FM. Study on the Occurrence Regulation of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in the Major – Persimmon Producing Areas of Guangxi [D]. Nanning: Guangxi University Master Thesis, 2019. [巫辅民. 广西柿子主产区橘小实蝇的发生及转移为害规律研究 [D]. 南宁: 广西大学硕士论文, 2019]
- Xue C, Xu YJ, Zeng L. Attraction dynamics of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) by Methyl eugenol and its slow release method [J]. *Journal of Environmental Entomology*. 2015, 37 (1): 102–106. [薛超, 许益鏐, 曾玲. 甲基丁香酚对桔小实蝇的诱集日动态及其缓释方 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (1): 102–106]
- Yang YQ, Zhang LZ, Zhang YZ, et al. Delayed mating impacts on the reproductive performance of *Ectopis obliqua* (Lepidoptera: Geometridae) [J]. *Journal of Entomological Science*, 2017, 52 (1): 52–59.
- Zhang QQ, Zhang XL, Lu W. Effects of adult age and mating status on fecundity of *Haritalodes derogate* [J]. *Plant Protection*, 2012, 38 (2): 71–74, 113. [张清泉, 张雪丽, 陆温. 成虫日龄与交配状态对棉褐环野螟繁殖力的影响 [J]. 植物保护, 2012, 38 (2): 71–74, 113]

- Zhang Y, Ma SK, Li J. Occurrence dynamics and control effect of the mating disruption technology of sex pheromone of *Cydia pomonella* (L.) from pear in Korla, Xinjiang [J]. *Journal of Biosafety*, 2017, 26 (1): 47–51. [张煜, 马诗科, 李晶. 库尔勒香梨上苹果蠹蛾发生规律及其性信息素迷向防控效果 [J]. 生物安全学报, 2017, 26 (1): 47–51]
- Zhao JP, Liu LD, Lu YY. Trapping efficacy of 4 kinds of imported attractants on oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Hendel) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2017, 39 (4): 830–834. [赵菊鹏, 刘龙地, 陆永跃. 4 种引进的引诱剂制剂对桔小实蝇引诱效果评价 [J]. 环境昆虫学报, 2017, 39 (4): 830–834]
- Zhao X, Gao XH, Guo F, et al. Influence of delayed mating of *Ectropis oblique* Prout on longevity and fecundity [J]. *Journal of Tea Business*, 2012, 34 (3): 131–134. [赵信, 高旭晖, 郭峰, 等. 茶尺蠖延迟交配对寿命及其繁殖力的影响 [J]. 茶业通报, 2012, 34 (3): 131–134]
- Zheng PH, Yu B, Shen WX. A preliminary study on the application effect of *Grapholita molesta* sex pheromone wire in peach gardens in north Zhejiang [J]. *South China Fruit*, 2020, 49 (1): 110–111, 114. [郑鹏华, 俞波, 沈卫新. 梨小食心虫性信息素迷向丝在浙北桃园中的应用效果初探 [J]. 中国南方果树, 2020, 49 (1): 110–111, 114]
- Zheng XL, Liu JY, Lu W, et al. Mating delay reduces reproductive performance but not longevity in a monandrous moth [J]. *Journal of Insect Science*, 2020, 2 (2): 1–5.
- Zheng Y, Xu DK, Hu HY, et al. Preliminary study on the misdirection effect of sex pheromone microcapsules of *Grapholita molesta* from different orchards [J]. *China Plant Protection*, 2020, 40 (6): 62–64, 73. [郑燕, 徐德坤, 胡海燕, 等. 不同果园梨小食心虫性信息素微胶囊迷向效果初探 [J]. 中国植保导刊, 2020, 40 (6): 62–64, 73]
- Zhu YF, Shang MQ, Teng ZW, et al. Analysis of invasion, distribution and spreading trend of *Bactrocera dorsalis* [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2020, 52 (12): 141–149. [朱雁飞, 商明清, 滕子文, 等. 桔小实蝇的入侵分布及传播扩散趋势分析 [J]. 山东农业科学, 2020, 52 (12): 141–149]