



性比对瓜实蝇成虫交配与繁殖的影响

张清璐，张燕，杨景芳，周忠实*

(中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害生物学国家重点实验室，北京 100193)

摘要：性比是影响昆虫成虫寿命和繁殖力的重要因素之一。本研究按雌雄比为 1 : 11、2 : 10、6 : 6、10 : 2、11 : 1 5 种性比组合将瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae*(Coquillett)雌雄成虫进行配对，通过对雌虫交配后的产卵量、卵孵化率、产卵历期、雌雄虫寿命等生物学指标观察，揭示不同性比对瓜实蝇成虫交配与繁殖的影响。结果表明，雌雄虫交配次数受性比影响显著，随雌虫比例增加，雌虫平均交配次数显著降低，雄虫交配次数呈现增加趋势，其中 11 : 1 处理中雄虫的平均交配次数最多，为 10.8 次。另外，性比对平均单雌产卵量、产卵历期影响不显著，但对子代卵孵化率有显著影响，偏雌与偏雄都不利于卵的孵化，性比为 6 : 6 时，卵孵化率最高，为 $74.6\% \pm 1.6\%$ 。性比对雌虫寿命的影响无显著差异，但对雄虫寿命的影响显著，随雌虫比例增加，雄虫寿命减少。性比对成虫交配能力和繁殖适合度均存在一定的影响。上述结果为进一步开展瓜实蝇的绿色综合防控技术研究提供科学依据。

关键词：性比；瓜实蝇；交配能力；繁殖；寿命

中图分类号：Q968.1； 文献标识码：A

Effects of sex ratio on mating and reproduction of *Bactrocera cucurbitae*(Coquillett)

ZHANG Qing-Lu, ZHANG Yan, YANG Jing-Fang, ZHOU Zhong-Shi* (Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: Sex ratio is one of the important factors affecting insects longevity and fecundity. In this experiment, the females and males of *Bactrocera cucurbitae*(Coquillett) were paired according to five sex ratio combinations (1 : 11, 2 : 10, 6 : 6, 10 : 2, 11 : 1). The effects of different sex ratios on the mating and reproduction of *B. cucurbitae* were studied by observing the biological parameters such as the average eggs per female, hatching rate, oviposition duration, and longevity of males and females. The results showed that the mating times of males and females were significantly affected by sex ratio. As the proportion of females increased, the average mating times of females decreased significantly, whereas that of males showed an increasing trend. The average mating times of male in 11 : 1 was the highest, which was 10.8 times. In addition, the sex ratio had no significant effect on the average number of eggs laid per female or oviposition

基金项目：国家重点研发计划（2022YFC2601400）；中国农业科学院科技创新工程重大科研任务（CAAS-ZDRW202307）

作者简介：张清璐，女，硕士研究生，研究方向为入侵种预防与控制，E-mail: zqlu0503@163.com

*通讯作者 Author for correspondence: 周忠实，男，博士，研究员，研究方向为入侵物种适应性与防控，E-mail:

zhouzhongshi@caas.cn

收稿日期 Received: 2023-12-25; 修回日期 Revision received: 2024-05-08; 接受日期 Accepted: 2024-05-09

duration, but significantly influenced the hatching rate. Both female-biased and male-biased sex ratios were not conducive to the hatching rate. When the sex ratio was 6 : 6, the hatching rate was the highest, which was $74.6\% \pm 1.6\%$. Sex ratio did not significantly affect female longevity but had a significant impact on male longevity. With the increase of female proportion, male longevity decreased. Sex ratio significantly influences the mating ability and reproductive fitness of adults. . The above results provide a scientific basis for further research on green integrated pest management strategies for *B. cucurbitae*.

Key words: Sex ratio; *Bactrocera cucurbitae*; mating ability; reproduction; longevity

瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae*(Coquillett) 俗称“针蜂”，隶属双翅目 Diptera 实蝇科 Tephritidae 离腹寡毛实蝇属 *Bactrocera* (吴佳教等, 2009; Luo *et al.*, 2017)，是危害瓜果蔬菜的世界性检疫害虫。1913 年，瓜实蝇在印度被报道，现已广泛分布于热带、亚热带、温带在内的 58 个国家和地区 (Dhillon *et al.*, 2005; Shelly *et al.*, 2017)。瓜实蝇是我国进境检疫性有害生物，主要在广东、福建、海南、广西、四川、云南、贵州、台湾、湖南等地发生危害 (王在凌等, 2020)，最新报道已在河南内乡县发现瓜实蝇的为害 (赵运杰等, 2023)。

瓜实蝇寄主范围广，可为害 62 个属 136 种蔬菜和水果，其中主要为害葫芦科作物，如黄瓜、丝瓜、南瓜、苦瓜、甜瓜、西瓜等 (Allwood *et al.*, 1999; McQuate *et al.*, 2017)。成虫羽化后 9~12 d 左右达到性成熟并出现交配行为，于黄昏开始交配直至第二天早上分开，每日 20:30 左右达到交配高峰 (Wong *et al.*, 1991; 袁胜勇等, 2005)，成虫具有连续产卵习性 (李红丽等, 2017)，雌虫将产卵器刺入寄主果实表皮下产卵，卵孵化后，幼虫钻蛀果实取食，造成果实腐烂或落果，严重影响瓜果的产量和品质 (White and Elson-Harris, 1992; Ahn *et al.*, 2022)。因季节和寄主种类不同，瓜实蝇的危害可造成 30%~100% 的产量损失 (Luo *et al.*, 2017)。由于幼虫在寄主果实内取食，难以使用药剂来控制其危害 (Liu *et al.*, 2020)，且成虫产卵量大、种群繁殖速度快、适生范围广，更增加了防治难度 (Zeng *et al.*, 2022)。目前，对瓜实蝇的防治主要以化学防治为主，导致部分种群已产生抗药性以及农残超标等问题 (邓金奇等, 2021)。因此，有必要开展瓜实蝇行为生物学的研究，以此开发新的瓜实蝇管理策略。

昆虫的性比是指昆虫在某一时期内雌雄个体之间的数量比例 (章士美等, 1986)。不同的性比结构会影响昆虫的交配和产卵 (Fjerdingstad *et al.*, 2002)。韩海亮等 (2023) 的研究结果表明，性比显著影响草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 成虫的交配能力、繁殖能力和平均寿命，随雌雄性比的增加，雌蛾平均交配次数显著降低，雄蛾平均交配次数显著增加，性比为 1♀ : 1♂ 时，单雌产卵量和卵孵化率最高，寿命最长。何超等 (2017) 研究发现，性比影响井上蛀果斑螟 *Assara inouei* 成虫寿命和生殖力，性比为 2♀ : 1♂ 时，成虫寿命和雌虫产卵历期最长，随雌虫比例的增加，平均单雌产卵量呈先增加后降低的趋势。李敏敏等 (2014) 研究发现，性比显著影响草地螟 *Loxostege sticticalis* 成虫的生殖参数，

随雌性比例的增加,产卵前期显著延长,雄蛾交配次数显著增加,卵孵化率显著降低,雌蛾寿命缩短。姚明勇等(2019)的研究结果表明,性比显著影响叉角厉蝽 *Cantheconidea furcellata* 的繁殖适合度,在 1♀:1♂ 时,产卵量和卵孵化率最高,雌雄成虫寿命最长。

诱捕法是利用昆虫性信息素直接防治害虫的一种方法(孟宪佐,1997),其原理是通过诱杀目标雄虫,导致害虫种群性比失衡,从而减少或阻碍雌雄交配,降低害虫繁殖力和减少虫口密度(Rizvi *et al.*, 2021; 伍晓春等, 2023)。研究表明,在福州、同安两地苦瓜田应用性诱剂诱杀瓜实蝇,诱捕区苦瓜的平均受害率明显降低,30 d 两地防效分别为 87.33%、81.31%(陈群航, 2005 等)。在宜州市施用性诱剂诱杀瓜实蝇,性诱区防效为 54.4%,与化防区(65.7%)差异不显著(谢义灵等, 2009)。瓜实蝇的高繁殖力是其严重危害的重要原因,单一使用性诱剂或化学药剂均难以达到最佳防治效果,目前对于性比对瓜实蝇成虫交配能力和繁殖力的影响未有报道,通过本研究,明确性比失衡对成虫交配能力和繁殖适合度的影响,确定有利于田间诱捕瓜实蝇的最佳比例,以期应用性信息素防治瓜实蝇提供理论基础,为进一步研发瓜实蝇的绿色综合防控技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

实验所用瓜实蝇虫源采集自广西壮族自治区农业科学院实验田(22.85°N, 108.26°E),在实验室条件下连续多代饲养后作为供试虫源。瓜实蝇成虫用清水和人工饲料(酵母粉:糖=1:2)饲养,饲养温度 27°C±1°C,相对湿度 70%±5%,光暗周期比 L:D=14 L:10 D。

1.2 实验方法

1.2.1 不同性比对瓜实蝇雌雄成虫交配能力的影响

将初羽化成虫按照雌雄比 1:11、2:10、6:6、10:2、11:1 5 种性比进行配对,分别放入 20 cm×20 cm×20 cm 的昆虫养虫笼中,每笼共 12 头成虫,笼内放置水碗和人工饲料。每日 22:00 观察不同性比下瓜实蝇雌雄成虫的交配情况,若发现交配的瓜实蝇,则分别用 50 mL 离心管将交配对取出,在离心管壁记录性比比例,待其交配完成后,使用不同颜色的记号笔对完成交配的雌雄成虫进行标记并记录数量,将标记后的雌雄成虫继续放回原有性比比例的养虫笼中。每日观察记录各性比组配中成虫的交配情况,直至成虫寿命结束。每组性比处理重复 10 次。

1.2.2 不同性比对瓜实蝇雌雄成虫繁殖能力的影响

取切好的西葫芦薄片,将其放在 90 mm 培养皿盖中,随后放置于各个性比下的昆虫饲养笼中,供瓜实蝇雌虫产卵。傍晚取出,统计西葫芦薄片上的卵粒数,记录当日产卵量。取新的 90 mm 培养皿,培养皿中放入切好的西葫芦片,将瓜实蝇所产的卵粒用毛笔蘸取放入西葫芦片上,在卵粒上再另外覆盖放置一片西葫芦,以接近瓜果内环境,观察卵粒的孵化情况,记录卵孵化率。从羽化后第 5 天开始每日下午在各性比组配的饲养笼中放置西葫芦薄片并于傍晚取出,直至瓜实蝇寿命结束,统计产卵历期和雌雄虫寿命。每组性比处理

重复 10 次。

1.3 统计与分析

采用 Excel 软件整理实验数据，运用 SPSS19.0 软件对实验数据进行单因素方差分析，并采用 Tukey's HSD 法检验差异显著性。采用 GraphPad Prism 8 作图。

2 结果与分析

2.1 不同性比对瓜实蝇雌雄成虫交配能力的影响

2.1.1 性比对瓜实蝇雌成虫交配次数的影响

性比显著影响了瓜实蝇雌成虫的交配次数（图 1； $F=37.036$ ， $P<0.05$ ），在不同性比下，随雌虫比例的增加平均交配次数显著降低。1♀：11♂处理中雌虫的平均交配次数为 3.0 次显著多于 6♀：6♂、10♀：2♂和 11♀：1♂处理中的 2.3 次、1.4 次和 1.1 次。1♀：11♂和 2♀：10♂处理间差异不显著；6♀：6♂处理中雌虫的平均交配次数显著多于 10♀：2♂和 11♀：1♂处理。其中，10♀：2♂和 11♀：1♂处理间无显著性差异。

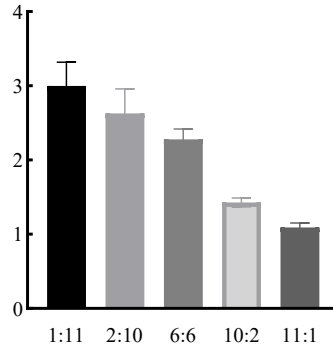


图 1 不同性比下瓜实蝇雌虫的平均交配次数

Fig. 1 Average mating times of *Bactrocera cucurbitae* females under different sex ratios

注：图中数据为平均数±标准误，柱上不同字母表示在不同性比下经 Tukey's HSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著，下同。

Note: Data are shown as mean±SE. Different letters above bars indicate significant differences in female mating times across sex ratios(Tukey's HSD test, $P<0.05$). The same labeling applies to the following graph.

2.1.2 性比对瓜实蝇雄成虫交配次数的影响

不同性比下，无论偏雌还是偏雄状态下，雄虫的平均交配次数均存在显著差异，且交配次数随雌虫占比的增加呈现增加的趋势（图 2； $F=488.868$ ， $P<0.05$ ）。其中，11♀：1♂处理中雄虫的平均交配次数最高，为 10.8 次。10♀：2♂处理中雄虫的平均交配次数为 7.5 次，显著多于 6♀：6♂、2♀：10♂和 1♀：11♂处理中的 2.5 次、0.7 次和 0.2 次。6♀：6♂处理的雄虫平均交配次数显著多于 2♀：10♂和 1♀：11♂处理。而 2♀：10♂和 1♀：11♂之间的平均单雄交配次数没有显著差异。

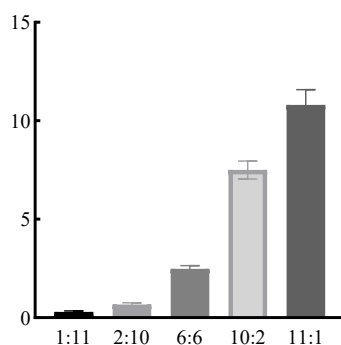


图2 不同性比下瓜实蝇雄虫的平均交配次数

Fig. 2 Average mating times of *Bactrocera cucurbitae* males under different sex ratios

2.2 不同性比对瓜实蝇雌雄成虫繁殖能力的影响

2.2.1 性比对瓜实蝇成虫单雌产卵量和产卵历期的影响

性比对瓜实蝇成虫的单雌产卵量影响并不显著（表1； $F=0.542$ ， $P=0.707$ ）。随日龄增长，各性比的产卵量呈现先升高后降低的趋势。性比对瓜实蝇产卵历期的影响无显著性差异（ $F=1.049$ ， $P=0.411$ ）。各性比的产卵历期大多在58~75 d之间。

表1 性比对瓜实蝇繁殖力的影响

Table 1 Effect of sex ratio on fecundity of *Bactrocera cucurbitae*

性比 (♀: ♂) Sex ratio	单雌产卵量 (粒) Average egg per female	产卵历期 (d) oviposition duration
1 : 11	297.8 ± 90.2 a	71.5 ± 8.8 a
2 : 10	227.5 ± 49.1 a	59.3 ± 4.5 a
6 : 6	221.9 ± 33.0 a	65.6 ± 7.5 a
10 : 2	298.3 ± 41.5 a	79.3 ± 10.1 a
11 : 1	228.2 ± 15.0 a	72.6 ± 3.8 a

注：表中单雌产卵量和产卵历期数据为平均数±标准误，数据后不同字母表示差异显著（Turkey's HSD法， $P<0.05$ ）。Note: Data on fecundity per female and oviposition duration are presented as mean ± SE, values in the same column followed by different letters were significantly different (Turkey's HSD test, $P<0.05$).

2.2.2 性比对瓜实蝇卵孵化率的影响

性比为1♀:1♂时，瓜实蝇的卵孵化率最高（74.6% ± 1.6%），性比大于1时，随雌虫比例的增大，卵孵化率呈下降趋势。1♀:1♂的卵孵化率分别显著大于10♀:2♂（61.9% ± 1.6%）和11♀:1♂（51.1% ± 1.8%）处理的卵孵化率。10♀:2♂和11♀:1♂之间的卵孵化率有显著性差异。当性比小于1时，随雌虫占比减小，卵孵化率降低。1♀:1♂的卵孵化率分别显著大于1♀:11♂（57.5% ± 3.7%）和2♀:10♂（63.1% ± 3.4%）处理的卵孵化率。1♀:11♂和2♀:10♂之间的卵孵化率无显著性差异（图3； $F=20.632$ ， $P<0.05$ ）。

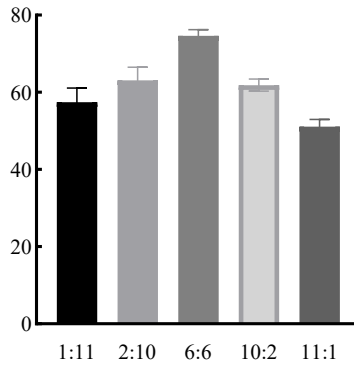


图3 不同性比下瓜实蝇的卵孵化率

Fig. 3 Hatching rate of *Bactrocera cucurbitae* under different sex ratios

2.3 不同性比对瓜实蝇成虫寿命的影响

2.3.1 性比对瓜实蝇雌成虫寿命的影响

性比对瓜实蝇雌成虫寿命的影响无显著性差异（图4； $F=0.984$ ， $P=0.419$ ）。1♀：11♂、2♀：10♂和6♀：6♂处理中雌虫的寿命分别为 75.0 ± 7.2 d、 70.7 ± 3.6 d、 68.3 ± 3.0 d。10♀：2♂、11♀：1♂处理中雌虫的寿命分别为 74.3 ± 2.5 d， 68.8 ± 2.3 d。

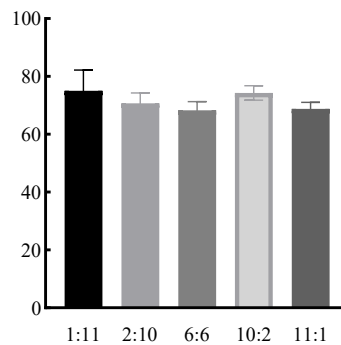


图4 不同性比下瓜实蝇雌成虫寿命

Fig.4 Longevity of *Bactrocera cucurbitae* females under different sex ratios

2.3.2 性比对瓜实蝇雄成虫寿命的影响

性比对瓜实蝇雄成虫寿命的影响显著（图5； $F=18.730$ ， $P<0.05$ ）。随雌虫比例的增加，瓜实蝇雄虫寿命呈现下降的趋势。1♀：11♂和2♀：10♂的雄虫寿命显著高于6♀：6♂，10♀：2♂，11♀：1♂处理中的 65.8 ± 3.7 d、 59.1 ± 4.0 d、 57.0 ± 5.8 d。1♀：11♂和2♀：10♂的雄虫寿命分别为 96.6 ± 2.4 d， 88.5 ± 2.8 d，二者之间无显著性差异。

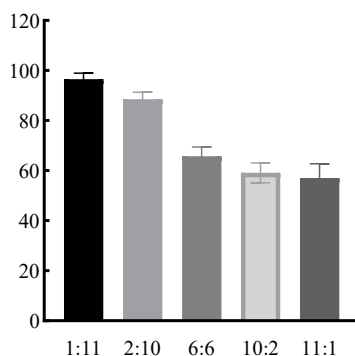


图 5 不同性比下瓜实蝇雄成虫的寿命

Fig. 5 Longevity of *Bactrocera cucurbitae* males under different sex ratios

3 结论与讨论

昆虫的交配和繁殖力与其雌雄性比密切相关，性比影响昆虫成虫的交配行为，繁殖力和寿命，进而影响其种群增长（Gou *et al.*, 2019）。本研究结果表明，性比影响瓜实蝇成虫的交配能力，雌雄虫交配次数受性比影响显著。性比影响瓜实蝇成虫繁殖力和雄虫平均寿命，孵化率和雄虫寿命受性比影响显著，性比为 1♀ : 1♂ 时，卵孵化率最高，随雌虫比例增加，雄虫寿命呈下降趋势。

性比显著影响瓜实蝇的交配能力，雌虫平均交配次数随雌虫比例增加显著降低，而雄虫平均交配次数随雌虫比例增加呈增加趋势，该结果与不同性比对橘小实蝇交配能力影响的研究结果类似（易小龙等，2021）。在本研究中，偏雌状态下，瓜实蝇雄虫的交配能力显著增强，雄虫可与雌虫发生多次交配，雄虫平均交配次数显著多于雌虫。不同性比对瓜实蝇的单雌产卵量和产卵历期无影响，但对卵孵化率影响显著。我们的研究结果与棉铃虫（姚永生等，2008）、草地螟（李敏敏，2014）中的研究结果类似。这可能与瓜实蝇雌虫未交配也能产卵，但未交配状态下所产的卵不能孵化有关（袁胜勇，2005）。本研究中，偏雄状态下，随雌虫比例减小，瓜实蝇卵孵化率呈下降趋势；偏雌状态下，随雌虫占比增加，卵孵化率降低。故而，偏雌与偏雄状态都不利于卵孵化。性比为 1♀ : 1♂ 时，卵孵化率最高为 $74.6\% \pm 1.6\%$ 。性比对瓜实蝇卵孵化率的影响与小菜蛾 *Plutella xylostella*（宫亚军等，2010）中的研究结果类似，性比为 1 时，更有利于瓜实蝇的繁殖。这可能是由于雌雄等比例存在的情况下，减少了未受精卵产生的概率。在同一性比下，瓜实蝇的卵孵化率随时间延长呈现先升高后降低的趋势，这一趋势与瓜实蝇产卵量的变化趋势相同。然而，与性比对大豆食心虫成虫（李文敬等，2020）寿命的影响不同的是，性比对瓜实蝇雄虫的寿命影响显著，但对雌虫寿命的影响无显著性差异，随雌虫比例的增加，雄成虫寿命逐渐缩短，雌虫各组之间差异不显著。这可能与瓜实蝇雄虫在多次交配过程中的生殖投资相关，或许是过度能量消耗导致其寿命缩短。

明确瓜实蝇成虫性比对其交配行为及繁殖适合度的影响是利用性信息素防控害虫的理论基础。昆虫性信息素作为绿色高效的生物杀虫剂，影响昆虫的交配和繁殖，广泛应用于

害虫防治中。利用昆虫性信息素诱杀雄虫，通过改变害虫雌雄性比结构，降低繁殖力，从而达到害虫防治的目的（张新慰等，2020；吴帆等，2023）。研究表明，瓜实蝇性诱剂在田间的诱集效果较实蝇信息素粘虫板、物理诱粘剂、球式诱捕器的诱集效果更好，专一性更强（罗文辉等，2022）。纽康性诱剂和瑞丰食诱剂对瓜实蝇的诱杀效果较黄板和中捷四方性诱剂的诱集效果更好（李忠彩等，2019）。性诱剂与食诱剂混合使用会降低诱集效果（李国平等，2017）。目前对于瓜实蝇性诱的研究主要集中在诱集监测，对性诱机理研究报道较少。本研究通过室内试验探究不同性比对瓜实蝇交配和繁殖适合度的影响，明确瓜实蝇的生殖参数受性比影响，诱杀瓜实蝇雄虫可有效降低卵孵化率，减少幼虫数量，这为进一步高效利用性诱剂防治瓜实蝇提供了理论依据。

参考文献（References）

- Ahn JJ, Choi KS, Huang YB. Thermal effects on the development of *Zeugodacus cucurbitae*(Coquillett) (Diptera: Tephritidae) and model validation [J]. *Phytoparasitica*, 2022, 50 (3): 601-616.
- Allwood AJ, Chinajariyawong A, Kritsaneepaiboon S, *et al.* Host plant records for fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Southeast Asia [J]. *Raffles Bulletin of Zoology*, 1999, 47 (Supplement 7): 1-92.
- Chen QH, Chen R, Nie DY, *et al.* Occurrence damage and trapping technology of *Bactrocera cucurbitae* [J]. *Plant Protection*, 2005, 6: 63-65. [陈群航, 陈仁, 聂德毅, 等. 瓜实蝇发生危害及诱捕技术 [J]. 植物保护, 2005, 6: 63-65]
- Deng JQ, Zhu XM, Han P, *et al.* Research progress of the melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) in China [J]. *Plant Quarantine*, 2021, 35 (4): 1-7. [邓金奇, 朱小明, 韩鹏, 等. 我国瓜实蝇研究进展 [J]. 植物检疫, 2021, 35 (4): 1-7]
- Dhillon MK, Singh R, Naresh JS, *et al.* The melon fruit fly, *Bactrocera cucurbitae*: A review of its biology and management [J]. *Journal of Insect Science*, 2005, 5 (1): 40.
- Fjerdingstad EJ, Gertsch PJ, Keller L. Why do some social insect queens mate with several males? testing the sex-ratio manipulation hypothesis in *Lasius niger* [J]. *Evolution*, 2002, 56 (3): 553-562.
- Gong YJ, Lu H, Shi BC, *et al.* Effect of different sex ratio on propagate of *Plutella xylostella* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2010, 47 (1): 63-66. [宫亚军, 路虹, 石宝才, 等. 不同性比对小菜蛾繁殖及田间种群数量的影响 [J]. 昆虫知识, 2010, 47 (1): 63-66]
- Gou Y, Wang G, Quandahor P, *et al.* Effects of sex ratio on adult fecundity, longevity and egg hatchability of *Bradysia difformis* Frey at different temperatures [J]. *PLoS ONE*, 2019, 14 (6): e0217867.
- Han HL, Bao F, Chen B, *et al.* Effect of sex ratio on mating and reproductive capacity of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2023, 35 (6): 1375-1384. [韩海亮, 包斐, 陈斌, 等. 性比对草地贪夜蛾交配和繁殖能力的影响 [J]. 浙江农业学报, 2023, 35 (6): 1375-1384]
- He C, Shen DR, Xiao LH, *et al.* Effects of different sex ratios on longevity and fecundity of adults of *Assara inouei* Yamanaka [J]. *Plant Protection*, 2017, 43 (5): 62-66, 118. [何超, 沈登荣, 尹立红, 等. 不同性比对井上蛀果斑螟成虫寿命及生殖力的影响 [J]. 植物保护, 2017, 43 (5): 62-66, 118]
- Li GP, Wei CB, Qiao J, *et al.* Interference of Sex Pheromone on Control of Food Lures for *Bactrocera cucurbitae* [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2017, 45 (25): 149-150. [李国平, 魏长宾, 乔健, 等. 性诱剂对食物诱剂控制瓜实蝇的干扰影响 [J]. 安徽农业科学, 2017, 45 (25): 149-150]
- Li HL, Yang BG, Liu ZG, *et al.* Behavioral characteristics and control countermeasures of *Bactrocera cucurbitae* [J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2017, 7: 54-55. [李红丽, 杨邦贵, 刘志刚, 等. 瓜实蝇行为学特点与防治对策 [J]. 长江蔬菜, 2017, 7: 54-55]
- Li MM, Cheng YX, Xiao YH, *et al.* Effect of sex ratio on the reproductive potentials and longevity of the beet webworm, *Loxostege sticticalis* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2014, 51 (6): 1589-1596. [李敏敏, 程云霞, 肖永红, 等. 性比对草地螟生殖潜力和寿命的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2014, 51 (6): 1589-1596]
- Li MM. The Influences of Larval Rearing Density, Temperature, and Sex Ratio on the Development and Reproduction of Beet webworm, *Loxostege sticticalis* L.[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014. [李敏敏. 幼虫密度、温度和性比对草地螟生长发育和繁殖的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2014]
- Li WJ, Li XC, Li X, *et al.* Effect of Sex Ratio on Fecundity and Lifetime of *Leguminivora glycinivorella* Adults [J]. *Soybean Science*, 2020, 39 (3): 451-457. [李文敬, 李新畅, 李旋, 等. 大豆食心虫成虫性比对寿命和生殖力的影响 [J]. 大豆科学, 2020, 39 (3): 451-

- Li ZC, Li XZ, Yang GP, *et al.* Study on the Trapping and Killing Effect of Alternative Pesticide Technology on Melon Fly [C]. Proceedings of the 2019 Annual Academic Conference of the Chinese Society for Plant Protection, 2019. [李忠彩, 李先喆, 杨国萍, 等. 农药替代技术对瓜实蝇的诱杀效果研究 [C]. 中国植物保护学会 2019 年学术年会论文集, 2019]
- Liu X, Lin X, Li J, *et al.* A novel solid artificial diet for *Zeugodacus cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) larvae with fitness parameters assessed by two-sex life table [J]. *Journal of Insect Science*, 2020, 20 (4): 21.
- Luo WH, Hu DJ, Liu CM, *et al.* Preliminary evaluation of the monitoring effect of several fruit fly trapping products on *Bactrocera cucurbitae* [J]. *Hubei Plant Protection*, 2022, 1: 45-48. [罗文辉, 胡道君, 刘昌敏, 等. 几种实蝇诱集产品对瓜实蝇的监测效果初步评价 [J]. 湖北植保, 2022, 1: 45-48]
- Luo Y, Zhao S, Li J, *et al.* Isolation and molecular characterization of the transformer gene from *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) [J]. *Journal of Insect Science*, 2017, 17 (2): 64.
- McQuate GT, Liquido NJ, Nakamichi KAA. Annotated world bibliography of host plants of the melon fly, *Bactrocera cucurbitae*(Coquillett) (Diptera: Tephritidae) [J]. *Insecta Mundi*, 2017, 527: 1-339.
- Meng XZ. Application of insect sex pheromone [J]. *Bulletin of Biology*, 1997, 3: 46-47. [孟宪佐. 昆虫性信息素的应用 [J]. 生物学通报, 1997, 3: 46-47]
- Rizvi SAH, George J, Reddy GVP, *et al.* Latest developments in insect sex pheromone research and its application in agricultural pest management [J]. *Insects*, 2021, 12 (6): 484.
- Shelly TE. Yeast hydrolysate deprivation and the mating success of male melon flies (Diptera: Tephritidae) [J]. *Florida Entomologist*, 2017, 100 (4): 772-776.
- Virgilio M, Jordaens K, Verwimp C, *et al.* Higher phylogeny of frugivorous flies (Diptera, Tephritidae, Dacini): Localised partition conflicts and a novel generic classification [J]. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2015, 85: 171-179.
- Wang ZL, Xu J, Zhang RZ. Global distribution and invasion of important quarantine fruit flies of China [J]. *Journal of Biosafety*, 2020, 29 (3): 164-169. [王在凌, 徐婧, 张润志. 中国重要检疫性实蝇的全球分布和入侵情况 [J]. 生物安全学报, 2020, 29 (3): 164-169]
- White IM, Elson-Harris MM. Fruit Flies of Economic Significance: Their Identification and Bionomics [M]. London: International Institute of Entomology, 1992.
- Wong TTY, McInnis DO, Ramadan MM, *et al.* Age-related response of male melon flies *Dacus cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) to cue-lure [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1991, 17: 2481-2487.
- Wu F, Liu SY, Zhang L, *et al.* Research advances in insects pheromones [J]. *Journal of Plant Protection*, 2023, 50 (2): 287-297. [吴帆, 刘深云, 张莉, 等. 昆虫信息素研究进展 [J]. 植物保护学报, 2023, 50 (2): 287-297]
- Wu JJ, Liang F, Liang GQ. Atlas of Economic Fruit Flies (Diptera: Tephritidae) [M]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Publishing House, 2009. [吴佳教, 梁帆, 梁广勤. 实蝇类重要害虫鉴定图册 [M]. 广州: 广东科技出版社, 2009]
- Wu XC, Tang M, Liu X, *et al.* Chemical language of insects: Insect pheromones [J]. *Chinese Journal of Chemical Education*, 2023, 44 (21): 1-7. [伍晓春, 唐蜜, 刘鑫, 等. 昆虫的化学语言——昆虫信息素 [J]. 化学教育, 2023, 44 (21): 1-7]
- Xie YL, Wei RJ, Xie JL, *et al.* Control effect test of sex attractant on *Bactrocera cucurbitae* [J]. *Guangxi Plant Protection*, 2009, 22 (S1): 60-61. [谢义灵, 韦日健, 谢锦灵, 等. 性诱剂对瓜实蝇的防治效果试验 [J]. 广西植保, 2009, 22 (S1): 60-61]
- Yao MY, Wang L, Zhou L, *et al.* Effects of different sex ratios on longevity and fecundity of adults *Cantheconidea furcellata* (Hemiptera: Asopinae) [J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2019, 38 (3): 78-81. [姚明勇, 王岚, 周吕, 等. 性比对叉角厉蝻成虫寿命和繁殖力的影响 [J]. 山地农业生物学报, 2019, 38 (3): 78-81]
- Yao YS, Zhang M, Pan CJ, *et al.* Effects of Different Sex Ratio Structures of *Helicoverpa armigera* Adults on Fecundity [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36 (10): 4351-4353. [姚永生, 张敏, 潘存建, 等. 棉铃虫成虫不同性比结构对繁殖力的影响 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36 (10): 4351-4353]
- Yi XL. Study on the Mating Ability and Reproductive Fitness of *Bactrocera dorsalis*(Hendel) [D]. Nanning: Guangxi University, 2021. [易小龙. 橘小实蝇的交配能力及其繁殖适度研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2021]
- Yuan SY, Kong Q, Li ZY, *et al.* Study on biology of *Bactrocera*(*Zeugodacus*)*Cucurbitae* [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2005, 3: 43-45, 67. [袁盛勇, 孔琼, 李正跃, 等. 瓜实蝇生物学特性研究 [J]. 西北农业学报, 2005, 3: 43-45, 67]
- Zeng B, Lian Y, Jia J, *et al.* Multigenerational effects of short-term high temperature on the development and reproduction of the *Zeugodacus Cucurbitae* (Coquillett) [J]. *Agriculture*, 2022, 12 (7): 954.
- Zhang SM, Yang MX. A preliminary study on sex ratio of insects [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 1986, S3: 8-13. [章士美, 杨明旭. 昆虫性比的初步研究 [J]. 江西农业大学学报, 1986, S3: 8-13]
- Zhang XW, Li JG, Wu HW. Research progress of insect sex pheromone [J]. *Journal of Shandong Forestry Science and Technology*, 2020, 50 (3): 88-91. [张新慰, 李景刚, 武海卫. 昆虫性信息素研究进展 [J]. 山东林业科技, 2020, 50 (3): 88-91]

Zhao YJ, Yang YL, Zhang Y, *et al.* Population dynamics analysis of *Zeugodacus cucurbitae* in three host cucurbits in Neixiang County, Henan Province [J]. *Journal of Biosafety*, 2024, 33 (2): 204-208. [赵运杰, 杨艳丽, 张瑜, 等. 河南省内乡县 3 种瓜类寄主作物上瓜实蝇的种群动态[J]. *生物安全学报*, 2024, 33 (2): 204-208]