橘小实蝇和瓜实蝇对三亚地区果蔬作物的寄主适合度评价*

马俊杰[1, 2**] 秦睿嫔[1] 陈锦宏[1] 刘小侠[1] 张松斗[1] 李 贞[1***]

（1. 中国农业大学植物保护学院昆虫学系，北京 100193；2. 中国农业大学三亚研究院，三亚 572024）

摘 要 **【目的】** 探明和比较橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 和瓜实蝇 *Zeugodacus cucurbitae* 对三亚地区主要果蔬作物的寄主适合度，为两种实蝇在三亚地区的针对性防控提供数据参考。**【方法】** 采用生物学观察法在室内监测了两种实蝇羽化后的产卵量随时间的变化以及在芒果、莲雾、黄瓜、南瓜等三亚地区果蔬作物上的发育繁殖情况，并测定了果皮完整性对两种实蝇产卵偏好性的影响。**【结果】** 在各自的优势寄主芒果和南瓜上，橘小实蝇的产卵量显著（P<0.01）高于瓜实蝇，且两种实蝇的产卵高峰期均发生在羽化后20 d 左右；供试寄主果蔬中，橘小实蝇对芒果、香蕉和番茄的寄主适合度最高，瓜实蝇对芒果、黄瓜和南瓜的寄主适合度最高；橘小实蝇和瓜实蝇均偏好在果皮破损的果实上产卵。**【结论】** 初步明确了橘小实蝇和瓜实蝇对三亚地区主要果蔬作物的寄主适合度及两种实蝇的产卵特点，研究结果将为两种害虫的科学测报与防控提供理论依据。

关键词 入侵性生物；多食性害虫；繁殖力；存活率；产卵偏好性

Adaptability of the citrus fruit fly *Bactrocera dorsalis* and the melon fruit fly *Zeugodacus cucurbitae* to different fruit and vegetable hosts in the Sanya region

MA Jun-Jie[1, 2**] QIN Rui-Pin[1] CHEN Jin-Hong[1] LIU Xiao-Xia[1]
ZHANG Song-Dou[1] LI Zhen[1***]

(1. Department of Entomology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;
2. Sanya Institute of China Agricultural University, Sanya 572024, China)

Abstract **[Aim]** To compare the adaptability of the citrus fruit fly *Bactrocera dorsalis* and melon fruit fly *Zeugodacus cucurbitae* to different fruit and vegetable hosts in the Sanya region to develop a targeted control strategy for these pests. **[Methods]** Three biological investigations of female adults of these two Tephritid fruit flies were conducted under laboratory conditions; female fecundity on different days post adult emergence, the development and reproduction of each species on mango, wax apple, cucumber, pumpkin and some other fruit and vegetable crops in Sanya and whether females prefer to oviposit on fruits with intact or damaged peel. **[Results]** The female fecundity of *B. dorsalis* was much higher than of *Z. cucurbitae* on its preferred host plant (P<0.01). The oviposition peak of both species occurred on the 20th day post adult emergence. Among the host plants tested, *B. dorsalis* adapted well to mango, banana and tomato, whereas *Z. cucurbitae* adapted well to mango, cucumber and pumpkin. Both species preferred to lay eggs on fruits with damaged peels. **[Conclusion]** Both *B. dorsalis* and *Z. cucurbitae* can use multiple host plants in the Sanya region.

Key words invasive organism; polyphagous insect pest; fecundity; survivorship; oviposition preference

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划项目（2021YFC2600400）；现代农业产业技术体系（CARS-28）

**第一作者 First author，E-mail：2413783407@qq.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：lizhencau@cau.edu.cn

收稿日期 Received：2024-07-05；接受日期 Accepted：2024-09-04

实蝇属双翅目 Diptera 实蝇科 Tephritidae，目前世界已知约 500 属 4 500 余种，其中约有 1 500 种实蝇科昆虫可以为害植物的果实（郭腾达等，2023；Zhao *et al.*，2024）。实蝇成虫的产卵器非常发达，可以产卵于寄主果实的果皮下，幼虫孵化后直接在果实内部取食果肉，导致果实腐烂和未熟先落，严重影响果蔬的产量和质量（Ullah *et al.*，2023）。由于实蝇隐蔽为害的习性，使其卵和幼虫极易伴随果蔬贸易和运输进行远距离扩散和传播，在世界范围内广泛分布，很多种类已经被列为世界性检疫害虫，多数国家都先后建立了相应的监测预警和预防控制体系（Zhao *et al.*，2024）。我国口岸截获信息显示，橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis*、瓜实蝇 *Zeugodacus cucurbitae* 和南亚果实蝇 *Zeugodacus tau* 是主要被截获的检疫性实蝇种类，而且这 3 种实蝇已经在国内部分地区定殖，对我国果蔬的安全生产造成严重威胁（姜莉莉等，2024）。

橘小实蝇，又名东方果实蝇、柑橘小实蝇，俗称果蛆、针蜂（张彬等，2008）。橘小实蝇发源于亚洲的热带和亚热带地区，我国于 1911 年首次在台湾地区监测到橘小实蝇的发生和为害，1934 年在海南发现后陆续向全国各地扩散（袁彬乔等，2023）。随着果蔬贸易的增加和气候变化，橘小实蝇种群表现出不断北迁的趋势，近些年在山东、河北和北京地区也陆续发现为害（王涤非，2019；Zhao *et al.*，2020；郭晓军等，2021）。繁殖力高、环境适应性强和寄主范围广是橘小实蝇快速扩散和造成巨大为害的重要原因（张彬等，2008；Zhao *et al.*，2024）。橘小实蝇可以取食和为害 250 余种热带和落叶果蔬，但对不同寄主果实也存在产卵偏好性（黄爱玲等，2022）。明确其寄主适应性，对于开展橘小实蝇的科学监测与防控具有重要意义。

瓜实蝇也是果蔬生产中的一种危险性入侵害虫。该害虫起源于印度，广泛分布于热带、亚热带和温带的国家和地区（Dhillon *et al.*，2005）。在我国，瓜实蝇主要分布在海南、广东等西南和东南部的 10 多个省（直辖市、自治区），以华南受害最为严重，已经被列入第一批国家重点管理外来入侵物种名录（马锞等，2010）。瓜实蝇也是一种多食性害虫，可以取食和为害葫芦科、茄科、蔷薇科等 20 多科的 120 多种果蔬作物，且在我国的分布范围逐渐扩大、为害日益加重（邓金奇等，2021）。虽然寄主广泛，瓜实蝇对不同寄主也表现出差异的选择偏好和侵染水平（李磊等，2019）。研究瓜实蝇对不同寄主的适应能力，可以为明确其转主为害特点和制定综合防控策略提供重要参考。

海南省一年四季拥有优越的光热和水分条件，是我国重要的热带、亚热带和反季节果蔬产地，因此也成为了危险性病虫害侵入我国的桥梁。海南果蔬向内地的运输，增加了实蝇等检疫性病虫害的北迁风险。因此，明确主要入侵实蝇种类在海南地区不同寄主植物上的侵染和繁殖特点，对于科学和针对性的监测与防控实蝇的发生、为害和扩散，降低害虫虫源的进一步输出具有重要意义。本研究在实验室内采用生物学观察法监测了橘小实蝇和瓜实蝇在芒果、莲雾、黄瓜、南瓜等 11 种三亚地区广泛种植果蔬上的发育繁殖情况，并测定了果皮完整性对两种实蝇产卵偏好性的影响，以期为明确两种实蝇对三亚地区主要果蔬作物的寄主适应性提供研究基础并为指导两种害虫的测报和防控提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料

橘小实蝇和瓜实蝇卵引种于中国农业大学植物检疫与入侵生物学实验室长期饲养的实验室种群，幼虫置于养虫盒（12 cm × 12 cm × 6 cm）中采用人工饲料（Wang *et al.*，2023）饲养至老熟时，将幼虫盒转移至盛有灭菌沙土（含水量 60%左右）的盒子（25 cm ×18 cm × 9 cm）上，老熟幼虫跳入土中化蛹（张倩楠等，2021）。8-9 d 后将全部化蛹的养虫盒置于养虫笼（25 cm × 25 cm × 40 cm）中，于成虫羽化后采用成虫饲料（蔗糖：酵母粉=1：3）进行饲养（杜迎刚等，2017）。供试昆虫的饲养和后续生物学指标的观

测条件均为（27±1）℃，相对湿度 80%±5%，光周期 12L：12D。

根据橘小实蝇和瓜实蝇的寄主范围挑选 8 科 11 种三亚地区常见的果蔬作物的果实进行试验，具体信息详见表 1。果实均采购于三亚市崖城镇农贸市场，洗净晾干后备用。

表 1　供试寄主信息

Table 1　Information of tested hosts

科 Family	寄主名称 Hosts	品种 Varieties	产地 Producing area
葫芦科 Cucurbitaceae	黄瓜 *Cucummis sativas*	南亚雄风 Nanyaxiongfeng	海南三亚 Sanya, Hainan
	南瓜 *Cucurbita moschata*	银贝贝 Yinbeibei	海南乐东县 Ledong County, Hainan
	丝瓜 *Luffa cylindrica*	盛禾一号 Shengheyihao	海南陵水县 Lingshui County, Hainan
漆树科 Anacardiaceae	芒果 *Mangifera indica*	小台农 Baby Tainong	海南三亚 Sanya, Hainan
茄科 Solanaceae	番茄 *Solanum lycopersicum*	千禧 Sweet Million	海南保亭县 Baoting County, Hainan
桃金娘科 Myrtaceae	莲雾 *Syzygium samarangense*	黑金刚 Black Diamond	海南三亚 Sanya, Hainan
	番石榴 *Psidium guajava*	玛瑙子 Onyx Seed	海南儋州 Danzhou, Hainan
仙人掌科 Cactaceae	火龙果 *Hylocereus undulatus*	金都一号 Golden Capital No.1	海南东方市 Dongfang City, Hainan
酢浆草科 Oxalis	杨桃 *Averrhoa carambola*	香蜜 Honey Sweet	海南澄迈县 Chengmai County, Hainan
桑科 Moraceae	菠萝蜜 *Artocarpus heterophyllus*	琼引一号 Qiongyin No.1	海南三亚 Sanya, Hainan
芭蕉科 Musaceae	香蕉 *Musa nana*	华蕉 Chinese Cavendish	海南三亚 Sanya, Hainan

1.2　羽化后不同天数实蝇的产卵量测定

为了选择合适日龄的实蝇成虫进行寄主适合度的观测，首先采用两种实蝇各自比较偏好的寄主芒果和南瓜分别进行了实蝇产卵量随羽化后天数的变化测定。将初羽化 24 h 的实蝇雌雄成虫置于养虫笼中（雌雄各 20 头/笼），每隔 1 d 补充一次人工饲料和水。从第 3 天开始，每隔 2 d 将 1 片新鲜的芒果块（3 cm × 3 cm × 2 cm）和南瓜块（3 cm × 3 cm × 2 cm）分别投入橘小实蝇和瓜实蝇的养虫笼中，收集 24 h 内实蝇产的卵。将果块取出后分别清理和计数芒果块中橘小实蝇以及南瓜块中瓜实蝇的卵数。持续监测至羽化后 36 d，即产卵高峰期后。两种实蝇的产卵量情况观测分别重复 3 次。

1.3　实蝇在不同寄主水果上的适合度指标测定

1.3.1　产卵量　分别选取羽化后 20 d（产卵高峰期）并经充分交配的 20 头橘小实蝇和瓜实蝇雌成虫置于养虫笼中。参考 1.2 中的方法，在橘小实蝇和瓜实蝇的养虫笼中分别放入不同寄主植物的果块（3 cm × 3 cm × 2 cm），笼中提供充足的成虫饲料和清水供其取食。收集和统计两种实蝇分别在不同寄主植物上 24 h 内的产卵数。每个处理重复 4 次。

1.3.2　幼虫存活率　将 1.3.1 中收集的不同寄主植物上产的实蝇卵分别转入实蝇幼虫养虫盒中，采用对应的寄主果实饲养直至老熟幼虫。计数养虫盒中跳入和未跳入沙土中的老熟幼虫总数，通过计算老熟幼虫总数与 1.3.1 中各处理中对应的产卵数目的比值，分析幼虫存活率。

1.3.3　化蛹率　将未跳入土中的实蝇老熟幼虫用软镊子轻轻转入对应寄主处理的沙土盒中（内有自发跳入土中的老熟幼虫），在正常饲养条件下培养 8-9 d 后，过筛记数沙土中成功化蛹的实蝇虫数。通过计算实蝇蛹头数与 1.3.2 中对应老熟幼虫数目的比值，分析化蛹率。

1.3.4 羽化率和雌虫比 将 1.3.3 中收集得到的实蝇蛹，分别放入养虫笼中，提供充足的人工饲料和水分，于 6-7 d 后观察计数羽化成虫的数目。通过计算羽化实蝇成虫头数与 1.3.3 中对应蛹数目的比值，分析羽化率。观察羽化成虫腹部末端的产卵器形态确定雌虫数目，通过雌虫数目与羽化成虫总数的比值计算不同处理的雌虫比。

1.4 果实表皮完整性对实蝇产卵偏好的影响测定

为了进一步分析果实表皮破损情况对实蝇产卵偏好性的影响，根据 1.3 中两种实蝇对不同寄主植物适合度的测定以及果实大小，选择直径 5 cm 左右的芒果和黄瓜进行两种实蝇产卵偏好性的测定。果皮破损处理是采用水果刀在果实表面划 5 个 3 cm 左右的伤口，伤口深度为划透果皮。将果皮完整和破损的果实等距离置于养虫笼内底面上，将 30 头羽化 20 d 左右经充分交配的橘小实蝇和瓜实蝇雌成虫分别置于放有不同果实的养虫笼内，产卵处理 4 h 后，取出果实，计数和比较两种实蝇分别在果皮完整和破损的果实内产卵的数目。每 30 头雌性实蝇为一个重复，每个处理重复 3 次。

1.5 数据分析

试验数据采用 IBM Statistics SPSS 21.0 软件进行统计分析。两种实蝇在不同寄主植物上的繁殖力、幼虫存活率、化蛹率和成虫羽化率的差异显著性均采用单因素方差分析（方差齐的数据采用 Tukey 检验，不齐的采用 Games-Howell 检验），参考李磊等（2019）的方法计算两种实蝇在不同寄主植物上的绝对寄主适合度和相对寄主适合度，计算公式：（1）绝对寄主适合度= $\ln\left(\frac{1-e^{2\,000ml\left(\frac{ml}{m_m}-1\right)}}{1-e^{ml\left(\frac{ml}{m_m}-1\right)}}\right)$；（2）相对寄主适合度= ml/m_m。其中，m 为繁殖力，本试验中为 20 头处于产卵高峰期的雌成虫在 24 h 内的产卵量；l 为幼虫存活率；m_m 为繁殖潜力，本试验中为 20 头处于产卵高峰期的雌成虫在 24 h 内的最高产卵记录。两种实蝇对不同表皮完整性果实的产卵选择性采用卡方检测进行分析。

2 结果与分析

2.1 2 种实蝇产卵量随羽化时间的变化

在本试验条件下，橘小实蝇雌成虫在羽化后第 9 天开始产卵，而瓜实蝇雌成虫在羽化后第 12 天开始产卵，两种实蝇产卵期均可以持续 1 个月以上；自羽化后第 15 天，在各监测时间点，橘小实蝇的单日产卵量显著高于瓜实蝇（$t_{15\text{ 天}}$=5.384，P=0.006；$t_{18\text{ 天}}$=10.641，P<0.001；$t_{21\text{ 天}}$=9.617，P=0.001；$t_{24\text{ 天}}$=9.912，P=0.001；$t_{27\text{ 天}}$=9.365，P=0.001；$t_{30\text{ 天}}$=7.948，P=0.001；$t_{33\text{ 天}}$=8.203，P=0.001；$t_{36\text{ 天}}$=7.961，P=0.001）；从羽化后第 15-30 天，橘小实蝇的单日产卵量均在 300 粒以上，产卵高峰日出现在羽化后第 21 天[（521.52±4.96）粒]；与橘小实蝇相比，瓜实蝇的产卵高峰期持续时间较短，以羽化后第 15-18 天的日产卵量最大[（98.59±4.96）-（107.53±1.70）粒]，羽化 21 d 后的日产卵量均少于 80 粒且波动性较大（图 1）。

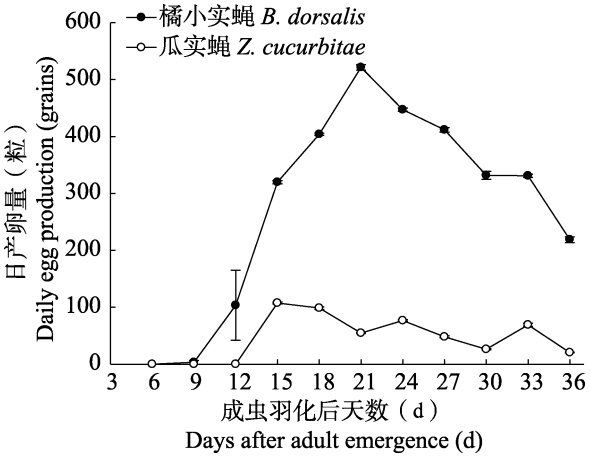

图 1 橘小实蝇和瓜实蝇日产卵量随羽化时间的变化
Fig. 1 Number of eggs laid by *Bactrocera dorsalis* and *Zeugodacus cucurbitae* on different days post adult emergence

2.2 2 种实蝇在不同寄主果实上的适合度

橘小实蝇在 11 种不同寄主上的产卵量观测

结果表明，橘小实蝇在不同寄主果实上的产卵量存在显著差异，在芒果上的单日产卵量最大，其次是香蕉、番茄、火龙果、菠萝蜜、黄瓜和番石榴，橘小实蝇在杨桃、丝瓜、南瓜和莲雾内的单日产卵量均低于 100 粒，并以莲雾内的产卵量最低（表 2）。然而，橘小实蝇的幼虫存活率、化蛹率、羽化率和雌虫比在不同寄主果实上无显著差异（P>0.05）（表 2）。

表 2　橘小实蝇在不同寄主上的适合度表现

Table 2　Performance of *Bactrocera dorsalis* on different host plants

寄主名称 Host plants	产卵量（粒） Fecundity (grains)	幼虫存活率（%） Larva survival rate (%)	化蛹率（%） Pupation rate (%)	羽化率（%） Emergence rate (%)	雌虫比（%） Female ratio (%)
黄瓜 *Cucumbermis sativas*	108.25±9.32 cde	89.71±3.81 a	76.48±7.67 a	59.87±16.75 a	44.08±8.33 a
南瓜 *Cucurbita moschata*	80.00±8.95 de	93.74±1.25 a	75.49±2.53 a	52.56±10.56 a	51.58±7.15 a
丝瓜 *Luffa cylindrica*	80.50±9.35 de	93.01±2.26 a	64.86±8.02 a	62.96±9.04 a	52.92±5.65 a
番茄 *Solanum lycopersicum*	146.75±5.23 bc	96.47±1.78 a	72.98±4.14 a	77.79±8.15 a	54.64±2.52 a
芒果 *Mangifera indica*	200.50±20.27 a	95.48±1.58 a	79.93±3.90 a	66.32±3.76 a	51.78±2.06 a
莲雾 *Syzygium samarangense*	64.50±8.49 e	96.18±1.62 a	52.07±9.84 a	56.89±10.73 a	53.85±4.05 a
番石榴 *Psidium guajava*	103.00±9.60 cde	96.52±2.10 a	66.55±3.93 a	66.06±9.05 a	45.42±3.79 a
火龙果 *Hylocereus undulatus*	129.00±10.14 bcd	95.91±0.45 a	73.12±4.46 a	74.31±3.10 a	52.65±1.35 a
杨桃 *Averrhoa carambola*	83.00±7.93 de	95.12±2.83 a	61.09±5.27 a	66.17±10.16 a	55.84±2.90 a
菠萝蜜 *Artocarpus heterophyllus*	116.00±11.90 bcde	97.46±0.63 a	67.51±6.04 a	65.55±20.33 a	45.10±1.77 a
香蕉 *Musa nana*	162.50±12.17 ab	96.19±0.80 a	74.38±6.53 a	82.21±10.50 a	46.25±1.78 a
F	14.201	1.219	1.787	0.618	0.964
P	0	0.315	0.102	0.788	0.492

表中数值为平均值±标准误，同列数据后不同小写字母表示差异显著（P < 0.05，Tukey 检验）。下表同。

Data in the table are presented as mean±SE, and followed by the different letters within the same column indicate significant difference (P < 0.05, Tukey test). The same below.

瓜实蝇在番石榴、火龙果、杨桃、菠萝蜜和香蕉上几乎不产卵。另外，与橘小实蝇在不同寄主上的表现有所不同，除了雌虫比，瓜实蝇在 6 种不同寄主果实上的产卵量、幼虫存活率、化蛹率和羽化率均存在显著差异（P<0.001）（表 3）。结果表明，瓜实蝇在芒果、黄瓜和南瓜上的单日产卵量最大，其次是丝瓜，在番茄和莲雾上的单日产卵量最少。瓜实蝇在芒果、南瓜、黄瓜和丝瓜上的幼虫存活率较高，但在这 5 种果蔬处理之间不存在显著差异（F=2.043，P=0.162）；瓜实蝇在番茄和莲雾上的幼虫存活率较低，显著低于芒果和南瓜（F=9.140，P=0.002）。瓜实蝇在番茄上的化蛹率最低，显著低于南瓜、芒果、黄瓜和丝瓜（F=30.501，P<0.001），但与莲雾处理无显著差异（t=0.560，P=0.170）。瓜实蝇在番茄和莲雾上的羽化率也最低，显著低于其他 4 种果蔬处理（F=14.065，P<0.001）。

综合两种实蝇在不同供试寄主植物上的繁殖力和存活情况，计算绝对寄主适合度和相对寄主适合度。结果分析发现，橘小实蝇在芒果上的寄主适合度最高，其次是香蕉和番茄，而在莲雾上的寄主适合度最低（图 2：A）；瓜实蝇在芒果上的寄主适合度也最高，其次是南瓜和黄瓜，在番茄和莲雾上的寄主适合度都较低（图 2：B）。

表 3 瓜实蝇在不同寄主上的适合度表现

Table 3 Performance of *Zeugodacus cucurbitae* on different host plants

寄主名称 Host plants	产卵量（粒） Fecundity (grains)	幼虫存活率（%） Larva survival (%)	化蛹率（%） Pupation rate (%)	羽化率（%） Emergence rate (%)	雌虫比（%） Female ratio (%)
黄瓜 Cucumber	119.00±6.65 a	75.60±2.44 ab	70.55±2.64 a	59.43±5.18 a	50.41±3.21 a
南瓜 Pumpkin	115.25±11.66 a	79.29±4.81 a	73.47±2.79 a	60.39±5.30 a	50.30±1.70 a
丝瓜 Sponge gourd	73.00±6.39 b	60.89±6.55 abc	62.30±6.78 ab	58.17±7.50 a	57.23±4.83 a
番茄 Tomato	37.00±3.03 c	35.63±8.99 c	21.04±7.89 c	8.33±8.33 b	16.67±16.67 a
芒果 Mango	129.00±4.92 a	80.05±9.17 a	72.17±2.93 a	67.15±4.03 a	55.26±2.64 a
莲雾 Wax apple	34.25±5.41 c	45.12±6.62 bc	37.87±7.36 bc	19.13±8.34 b	66.67±23.57 a
F	38.20	7.64	15.31	14.07	2.01
P	0	0.001	0.00	0	0.13

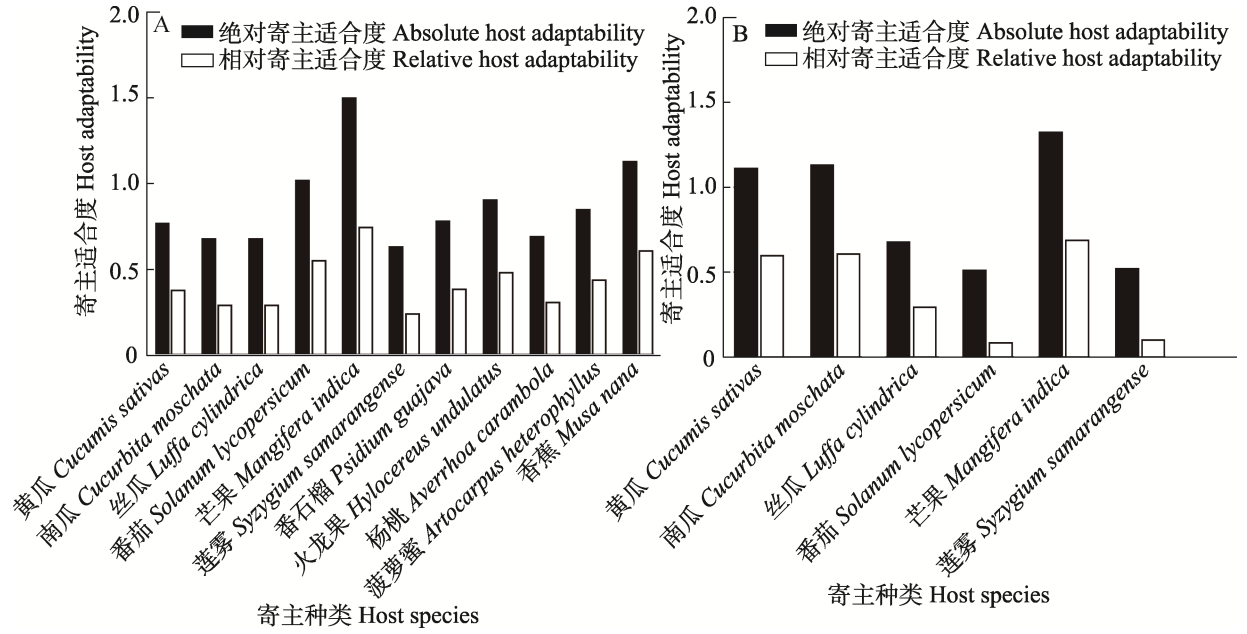

图 2 橘小实蝇（A）和瓜实蝇（B）在不同果蔬上的寄主适合度

Fig. 2 Host adaptability of *Bactrocera dorsalis* (A) and *Zeugodacus cucurbitae* (B) on different fruit and vegetable crops

2.3 果皮破损对 2 种实蝇产卵偏好性的影响

室内产卵选择性试验结果表明，橘小实蝇和瓜实蝇的表现一致，都明显偏好在果皮受损的寄主植物上产卵，而且这种产卵偏好性与寄主果蔬的种类无关（橘小实蝇：$\chi^2_{芒果}=86.64$，$P_{芒果}<0.000\ 1$；$\chi^2_{黄瓜}=20.753$，$P_{黄瓜}<0.000\ 1$；瓜实蝇：$\chi^2_{芒果}=63.36$，$P_{芒果}<0.000\ 1$；$\chi^2_{黄瓜}=90.133$，$P_{黄瓜}<0.000\ 1$）（图 3）。

3 讨论

实蝇是一类成虫期长、产卵量大和寄主范围广的危险性入侵生物，严重威胁着我国果蔬产业的安全生产。本研究结果表明，橘小实蝇和瓜实蝇成虫产卵期均较长，在各自的适宜寄主上，以橘小实蝇的单日产卵量更大、对三亚地区种植的果蔬大多具有良好的适应性，两种实蝇均更偏好在果皮损伤的寄主果实上产卵。海南地区是实蝇

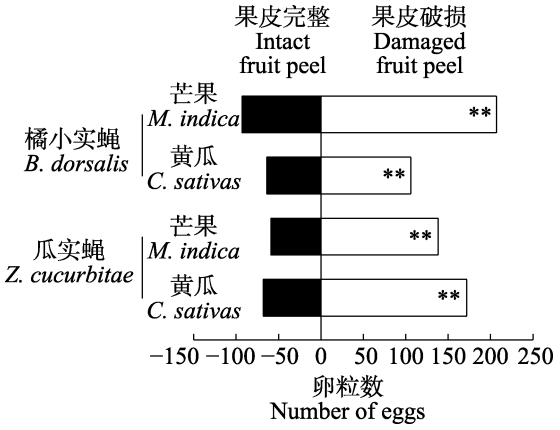

图 3　橘小实蝇和瓜实蝇对果皮完整和破损寄主的产卵偏好性

Fig. 3　Oviposition preference of *Bactrocera dorsalis* and *Zeugodacus cucurbitae* on host plants with intact or damaged fruit peel

**表示差异显著（$P < 0.01$，卡方检验）。

** indicate significant difference ($P < 0.01$, Chi-square test).

向我国中部和北方地区扩散的主要地理源头之一，海南与北方地区频繁的果品贸易往来也是导致实蝇扩散至北方地区的重要原因（袁彬乔等，2023）。因此，了解和掌握橘小实蝇和瓜实蝇这两种主要入侵性实蝇在海南地区的寄主适应性对于实蝇的预测预报、精准防控、抗虫品种的筛选和减少源头扩散具有重要的理论和生产实践意义（牛亚斌等，2023）。

与本研究的观测结果一致，郭腾达等（2022）的研究发现，橘小实蝇的产卵期可达 40 d 以上，产卵高峰期出现在产卵开始后约 20 d 左右，单雌产卵量为 1 200-1 500 粒；邓金奇等（2021）的研究发现，瓜实蝇的产卵期可长达 48-68 d，单雌平均产卵量为 764-943 粒。由此可见，与多数害虫相比，实蝇的成虫期长、繁殖力极强、为害潜力巨大，应严格防控并阻止其进一步扩散传播。实蝇幼虫在果实内部隐蔽为害，难于防控。因此，田间的实蝇防控主要集中于成虫期。目前实蝇的防治主要采用诱捕器诱杀或是喷洒化学杀虫剂。然而，诱杀实蝇成虫主要采用的甲基丁香酚（Methyl eugenol，ME）仅对雄性实蝇成虫有效，对直接产卵为害的雌性实蝇没有明显引诱作用（Royer and Mayer，2018）。另外，实蝇成虫的活动力较强，喷施杀虫剂的防控效果通常不理想。因此，明确我国主要实蝇种类的寄主适应和偏好性有利于提升实蝇的科学监测和针对性防控，从而有效阻止其进一步扩散蔓延。

三亚地区果蔬种植种类丰富，刘勇等（2019）的报道和本研究监测发现，橘小实蝇和瓜实蝇在海南三亚崖州湾地区的多种果蔬园均有发生和为害。因此，本研究采用处于产卵高峰期（羽化后 20 d）的这两种实蝇，开展了其对三亚地区主要果蔬作物的寄主适合度观测和评价。许益镌等（2005）的研究发现，橘小实蝇对香蕉的产卵偏好性最强，其次是橙、杨桃、桃、芒果和番石榴。而本研究发现，橘小实蝇最偏好在芒果上产卵，其次是香蕉，而对杨桃的产卵偏好性较低。此外，橘小实蝇对番茄的产卵偏好性也较高，与对番石榴的产卵偏好性不存在显著差异。但是袁盛勇等（2005）的研究却发现橘小实蝇不喜欢在番茄上产卵，其对番茄的产卵偏好性显著低于番石榴。李磊等（2019）对瓜实蝇在不同寄主上的繁殖力研究发现，瓜实蝇在笋瓜、黄瓜、丝瓜、香瓜和南瓜上的产卵量最高，而对香蕉、芒果的产卵量明显降低，对番茄的产卵偏好性居中。李貌等（2022）的研究也发现，瓜实蝇更偏好在黄瓜和丝瓜上产卵，且在黄瓜和丝瓜上的幼虫发育历期更短、化蛹率更高。实蝇成虫主要利用嗅觉和视觉搜寻、识别和定位寄主植物，因此寄主植物释放的化学信息物质以及寄主植物本身的颜色和形状等都对实蝇的寄主选择性具有重要影响（牛亚斌等，2023）。除了寄主植物种类特有的挥发物组分和物理性状特点，果实的成熟度也会影响其对实蝇的吸引性。研究结果的差异性可能与采用的寄主植物品种和成熟度密切相关。虽然寄主产卵选择性是实蝇寄主适合度的重要评价指标，但是本研究发现，瓜实蝇的幼虫存活率、化蛹率和羽化率在不同寄主上也存在显著差异。因此，本研究综合繁殖力与幼虫存活率计算了橘小实蝇和瓜实蝇在不同寄主上的适合度参数。寄主适合度参数表明，橘小实蝇在芒果上的适合度最高、其次是香蕉和番茄；瓜实蝇在芒果上的适合度最高，其次是南瓜和黄瓜。因此，三亚地区需要重点监测和防控芒果、香蕉与番茄园内橘小实

蝇的发生和为害，在芒果园内也要同时关注瓜实蝇的发生情况，南瓜和黄瓜园是瓜实蝇发生和为害的重要监测和防控场所。除了监测与防控，在建设果园时应避免实蝇嗜好寄主的混栽或连片种植，以降低生产中遭受实蝇为害的风险。

除了寄主种类，果实表皮的受损情况也会影响实蝇的产卵和为害。袁瑞玲等（2020）的研究发现，橘小实蝇雌成虫更喜欢将卵产在果实缝隙、伤口处。本研究也发现，与寄主果实种类无关，表皮受损的果实更加吸引橘小实蝇和瓜实蝇产卵。受损果实可能会释放出更多的挥发性信息化合物，辅助实蝇更加快速高效的定位寄主（Xu *et al.*，2024）。另外，在果实破损处产卵会大大降低实蝇产卵的能量消耗。但具体机制还有待于进一步深入探索。鉴于此现象，在田间农事管理时一定要注意避免造成果实的物理损伤，也应及时把果皮受损的果实摘除并带离田间，避免遭受实蝇为害，成为虫源繁殖场所；在果蔬产品运输前也应该重点排查表皮损伤的果实，减少实蝇传播风险。虽然套袋可以避免果实的物理损伤并降低实蝇的产卵为害，但果实套袋成本高、影响果实着色，有些果蔬也不适合套袋，因此研发更加高效轻简化的实蝇防控技术与方法有利于提升实蝇防控效果并阻止其为害和扩散。

本研究初步明确了三亚地区主要果蔬作物对橘小实蝇和瓜实蝇的寄主适合度，为当地开展针对性的实蝇监测和防控，提高控害效率并抑制实蝇的传播扩散提供了理论参考。但是，实蝇寄主适应性的化学生态学机制还有待深入探讨，相关研究结果将为研发成虫增效诱杀技术提供线索。另外，本研究发现，橘小实蝇与瓜实蝇存在共同的嗜好寄主，当两者同时发生时是否存在种间竞争？这种竞争对两种实蝇的种群繁衍和扩散存在哪些影响？这些问题值得进一步的研究和探讨。

参考文献 (References)

Deng JQ, Zhu XM, Han P, Yang GP, Li ZC, 2021. Research progress of the melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) in China. *Plant Quarantine*, 35(4): 1−7. [邓金奇, 朱小明, 韩鹏, 杨国萍, 李忠彩, 2021. 我国瓜实蝇研究进展. 植物检疫, 35(4): 1−7.]

Dhillon MK, Singh R, Naresh JS, Sharma HC, 2005. The melon fruit fly, *Bactrocera cucurbitae*: A review of its biology and management. *Journal of Insect Science*, 5: 40.

Du YG, Ji QE, Chen JH, Lai ZX, 2017. Effect of protein on reproduction of *Bactrocera dorsalis*. *Jiangsu Agricultural Science*, 45(4): 73−75. [杜迎刚, 季清娥, 陈家骅, 赖钟雄, 2017. 蛋白质对橘小实蝇生殖的影响. 江苏农业科学, 45(4): 73−75.]

Guo TD, Qin YJ, Li ZH, 2023. Advances in host selection and responses of Tephritidae insects. *Plant Protection*, 49(5): 196−206. [郭腾达, 秦誉嘉, 李志红, 2023. 实蝇科昆虫对寄主植物的选择和相应研究进展. 植物保护, 49(5): 196−206.]

Guo TD, Sun RH, Ye BH, Gong QT, Jiang LL, Wu HB, 2022. Research advances in occurrence characteristics and influential factors of *Bactrocera dorsalis*. *China Fruits*, 2022(4): 5−10. [郭腾达, 孙瑞红, 叶保华, 宫庆涛, 姜莉莉, 武海斌, 2022. 橘小实蝇发生特点及影响因素研究进展. 中国果树, 2022(4): 5−10.]

Guo XJ, Xu QX, Wang S, Zhang F, 2021. Population structure and occurrence of *Bactrocera dorsalis* in peach orchards. *Journal of Fruit Science*, 38(6): 967−974. [郭晓军, 徐庆宣, 王甦, 张帆, 2021. 桃园橘小实蝇种群结构与发生危害调查. 果树学报, 38(6): 967−974.]

Huang AL, Wang XY, Lu W, Zheng LX, 2022. Oviposition preference of oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* to different host fruits and its correlation with physical and chemical properties of host fruits. *Journal of Plant Protection*, 49(2): 595−602. [黄爱玲, 王小云, 陆温, 郑霞林, 2022. 橘小实蝇对不同寄主果实的产卵偏好及其与寄主果实理化性质的相关性. 植物保护学报, 49(2): 595−602.]

Jiang LL, Liu XL, Zhang X, Wu C, Gu CB, 2024. Research progress on the occurrence and control techniques of Tephritidae quarantine pests. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2024(1): 120−123. [姜莉莉, 刘雪丽, 张欣, 武冲, 顾春波, 2024. 实蝇科检疫害虫的发生与防控技术研究进展. 农业科技通讯, 2024(1): 120−123.]

Li L, Han DY, Niu LM, Zhang FP, Chen JY, Fu YG, 2019. Performance evaluation of melon fruit fly, *Zeugodacus cucurbitae* on 39 hosts. *Journal of Environmental Entomology*, 41(5): 1057−1064. [李磊, 韩冬银, 牛黎明, 张方平, 陈俊谕, 符悦冠, 2019. 瓜实蝇对 39 种寄主适应度的评估. 环境昆虫学报, 41(5): 1057−1064.]

Li M, Zhang JL, Yan ZH, Liu N, Huang YY, Chen GH, Zhang XM, 2022. Effects of different hosts on growth, development and oviposition selection of *Zeugodacus cucurbitae* and *Zeugodacus tau*. *Plant Protection*, 48(3): 151−158. [李貌, 张金龙, 闫振华,

刘娜, 黄禹禹, 陈国华, 张晓明, 2022. 不同寄主对瓜实蝇和南亚实蝇生长发育和产卵选择的影响. 植物保护, 48(3): 151−158.]

Liu Y, Huang WK, Wu QX, Wang S, Huang GS, Ye QH, Luo F, Wang SL, Kong XY, 2019. Studies on identification of dominant species of fruit flies on cucubit plants and effects of different trapping treatments in Sanya. *China Fruit Vegetable*, 32(12): 27−30. [刘勇, 黄伟康, 吴乾兴, 王爽, 黄国宋, 叶其宏, 罗丰, 王少丽, 孔祥义, 2019. 三亚瓜类作物上实蝇优势种类鉴别及不同诱捕处理的效果. 中国瓜菜, 32(12): 27−30.]

Ma K, Zhang RP, Chen YH, Luo S, Zeng XN, 2010. Reviews in biology characteristic and integrated control of melon fly. *Guangdong Agricultural Sciences*, 37(8): 131−135. [马锞, 张瑞萍, 陈耀华, 罗诗, 曾鑫年, 2010. 瓜实蝇的生物学特性及综合防治研究概况. 广东农业科学, 37(8): 131−135.]

Niu YB, Li RJ, Li WZ, Zhao M, Xing CY, Guo XR, 2023. Host selection and its application in management of Tephritidae flies. *China Plant Protection*, 43(10): 19−25. [牛亚斌, 李瑞杰, 李为争, 赵曼, 邢彩云, 郭线茹, 2023. 寄主选择性在实蝇治理中的研究进展. 中国植保导刊, 43(10): 19−25.]

Royer JE, Mayer DG, 2018. Combining cue-lure and methyl eugenol in traps significantly decreases catches of most *Bactrocera*, *Zeugodacus* and *Dacus* species (Diptera: Tephritidae: Dacinae) in Australia and Papua New Guinea. *Journal of Economic Entomology*, 111(1): 298−303.

Ullah F, Zhang Y, Gul H, Hafeez M, Desneux N, Qin YJ, 2023. Potential economic impact of *Bactrocera dorsalis* on Chinese citrus based on simulated geographical distribution with MaxEnt and CLIMEX models. *Entomologia Generalis*, 43(4): 821−830.

Wang YD, Li ZH, Zhao ZH, 2023. Population mixing mediates the intestinal flora composition and facilitates invasiveness in a globally invasive fruit fly. *Microbiome*, 11: 213.

Wang DF, 2019. Causes and control countermeasures of northward movement of harmful area of citrus fruit fly. *China Fruit*, 2019(3): 102−104. [王涤非, 2019. 橘小实蝇危害区域北移的原因及防控对策. 中国果树, 2019(3): 102−104.]

Xu L, Jiang HB, Yu JL, Lei Q, Pan D, Chen Y, Dong B, Liu Z, Wang JJ, 2024. An odorant receptor expressed in both antennae and ovipositors regulates benzothiazole-induced oviposition behavior in *Bactrocera dorsalis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(13): 6954−6963.

Xu YJ, Zeng L, Lu YY, Lin JT, 2005. Oviposition selection of the *Bactrocera dorsalis* (Hendel) to different fruits. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 24(1): 25−26. [许益镌, 曾玲, 陆永跃, 林进添, 2005. 桔小实蝇对不同水果产卵的选择性. 华中农业大学学报, 24(1): 25−26.]

Yuan BQ, Zhao XJ, Hou H, Zhang JY, Huang TX, Tu HT, 2023. Genetic diversity of different geographical populations of the citrus fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). *Acta Entomologia Sinica*, 66(2): 235−244. [袁彬乔, 赵向杰, 侯珲, 张金勇, 黄天祥, 涂洪涛, 2023. 中国橘小实蝇不同地理种群遗传多样性分析. 昆虫学报, 66(2): 235−244.]

Yuan RL, Zheng CW, Feng D, Wang YX, He QJ, Chen P, 2020. Research on a new method for rearing, *Bactrocera dorsalis*. *Agricultural Technology Service*, 37(1): 27−30. [袁瑞玲, 郑传伟, 冯丹, 王艺璇, 和秋菊, 陈鹏, 2020. 桔小实蝇饲养新方法研究. 农技服务, 37(1): 27−30.]

Yuan SY, Xiao C, Kong Q, Chen B, Li ZY, Gao YH, 2005. Oviposition preference of *Bactrocera dorsalis* Hendel. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 27(1): 81−84. [袁盛勇, 肖春, 孔琼, 陈斌, 李正跃, 高永红, 2005. 桔小实蝇的产卵选择性. 江西农业大学学报, 27(1): 81−84.]

Zhang B, Liu YH, Zhao LL, Zhou X, 2008. Research progress of oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tetriphitidae). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 24(11): 391−397. [张彬, 刘映红, 赵岚岚, 周旭, 2008. 桔小实蝇研究进展. 中国农学通报, 24(11): 391−397.]

Zhang QN, Yu YF, Yu H, Xian ZH, Lu W, Tan HH, 2021. Toxicity test of different pesticides and their combined effect on *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tetriphitidae). *China Plant Protection*, 41(3): 72−75. [张倩楠, 余银芳, 喻欢, 贤振华, 陆温, 谭辉华, 2021. 不同杀虫剂对橘小实蝇幼虫的毒力及混配联合作用. 中国植保导刊, 41(3): 72−75.]

Zhao ZH, Carey JR, Li ZH, 2024. The global epidemic of *Bactrocera* pests: Mixed-species invasions and risk assessment. *Annual Review of Entomology*, 69: 219−237.

Zhao ZH, Reddy GVP, Chen L, Qin YJ, Li ZH, 2020. The synergy between climate change and transportation activities drives the propagation of an invasive fruit fly. *Journal of Pest Science*, 93(2): 615−625.