



项前, 杨卫平, 于金鑫, 瞿佳宝, 曾鑫年, 吴红霞, 刘家莉. 桔小实蝇对石榴的产卵偏好性研究 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (5): 1308–1318.

桔小实蝇对石榴的产卵偏好性研究

项 前¹, 杨卫平¹, 于金鑫¹, 瞿佳宝¹, 曾鑫年¹, 吴红霞², 刘家莉^{1*}

(1. 华南农业大学植物保护学院, 广东省昆虫行为调控工程技术研究中心, 广州 510642;

2. 会理市农村专业技术协会, 四川会理 615100)

摘要:明确石榴品种、成熟度以及果实的完整性对桔小实蝇产卵偏好的影响, 可为石榴园桔小实蝇的行为调控提供重要理论依据。本研究以采自四川省会理市彰冠镇不同品种、不同成熟度石榴果实作为材料, 通过选择性试验, 统计果实上的产卵孔数和着卵量, 分析桔小实蝇的产卵选择行为。研究结果显示, 桔小实蝇对不同品种石榴的产卵偏好性为软籽石榴 > 硬籽石榴 > 野生硬籽石榴; 对不同成熟度石榴的产卵偏好性为熟果 > 完熟果 > 生果; 石榴裂果比正常果更吸引桔小实蝇产卵。相关性分析结果表明, 在石榴正常果状态下, 软籽石榴和野生硬籽石榴的可溶性固形物含量与产卵孔数、着卵量均呈显著正相关性, 而硬籽石榴可溶性固形物含量与产卵孔数、着卵量均无显著相关性; 在石榴裂果状态下, 各石榴品种可溶性固形物含量和着卵量均无显著相关性。桔小实蝇更偏好于软籽石榴熟果、裂果以及可溶性固形物含量为 14.00% ~ 17.00% 的果实上产卵, 会理地区 8–9 月时石榴的生长处于熟果期且多裂果, 因此该时期应为桔小实蝇发生为害的关键时期, 要提前做好防控。

关键词: 石榴; 可溶性固形物; 桔小实蝇; 产卵偏好

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 05-1308-11

Oviposition preference of the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* on pomegranate

XIANG Qian¹, YANG Wei-Ping¹, QU Jia-Bao¹, YU Jin-Xin¹, ZENG Xin-Nian¹, WU Hong-Xia², LIU Jia-Li^{1*} (1. South China Agricultural University, Guangdong Engineering Research Center for Insect Behavior Regulation, Guangdong Province, Guangzhou 510642, China; 2. Huili City Rural Professional Technology Association, Huili 615100, Sichuan Province, China)

Abstract: To clarify the effects of pomegranate variety, maturity and fruit integrity on *Bactrocera dorsalis* oviposition preference, and provide an important theoretical basis for the behavioral regulation of *B. dorsalis* in pomegranate garden. In this study, pomegranate fruits of different varieties and different maturities collected from Zhangguan Town, capital city, Sichuan Province were used as materials. Through selective experiment, the number of oviposition apertures and the number of eggs on the fruit were counted, and the oviposition selection behavior of fruit fly *B. dorsalis* was analyzed. The results showed that the oviposition preference of citrus fruit fly to different varieties of pomegranate was soft seed pomegranate > hard seed pomegranate > wild hard seed pomegranate. The oviposition preference of pomegranate with different maturity was ripe fruit > fully ripe fruit > unripe fruit. Compared with the intact

基金项目: 国家自然科学基金 (32072486); 国家重点研发计划 (2018YFD0201102)

作者简介: 项前, 男, 1995 年生, 硕士研究生, 主要研究方向为昆虫行为调控, E-mail: 1370426916@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 刘家莉, 女, 博士, 讲师, 主要研究方向为昆虫行为调控, E-mail: shirley4461@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2021-06-16; 接受日期 Accepted: 2021-09-12

fruit, cracked fruits were more preferred for oviposition by *B. dorsalis*. The results of correlation analysis showed that under the normal fruit state of pomegranate, the soluble solid content of soft seed pomegranate and wild hard seed pomegranate had a significant positive correlation with the number of oviposition apertures and the amount of eggs, while the soluble solid content of hard seed pomegranate had no significant correlation with the number of oviposition apertures and the number of eggs. Under the condition of pomegranate in cracked fruit, there was no significant correlation between soluble solid content and the number of eggs of each pomegranate variety. *B. dorsalis* prefers ripe fruit, cracked fruit and fruit with soluble solid content of 14.00% ~ 17.00% of soft seed pomegranate to lay eggs. From August to September in Huili area, pomegranate growth is in ripe fruit stage and many cracked fruits. Thus, this period should be the key period for the damage of *B. dorsalis*, and prevention and control should be done in advance.

Key words: Pomegranate; soluble solid content; *Bactrocera dorsalis*; oviposition preference

石榴 *Punica granatum* L. 产业是四川省会理市的支柱性产业, 该产业带动了全市经济发展, 目前主栽培品种有突尼斯软籽石榴和青皮硬籽石榴 (李成成等, 2019)。桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* Hendel 是一种重要的检疫性害虫, 隶属于双翅目 Diptera 实蝇科 Tephritidae 果实蝇属 *Bactrocera* Macquart, 其寄主广泛, 可为害约 400 种植物 (Fang *et al.*, 2019), 雌虫产卵于果皮下, 幼虫孵化后潜居果实内取食, 造成果实腐烂和未熟先黄脱落 (黄素青和韩日畴, 2005; 李燕等, 2018; 郭腾达等, 2019; Wen *et al.*, 2019)。该虫扩散至会理市后, 由于种群增长迅速, 对当地石榴产业带来了沉重的打击, 已成为制约当地石榴产业发展的重要害虫之一, 探究桔小实蝇对会理地区石榴果实的产卵偏好性, 对该地区桔小实蝇的高效防控工作具有重要意义。

昆虫对寄主的产卵选择受多种因素影响, 尤其是寄主的生理状态, 如果实的品种、成熟度、完整性、果皮厚度和颜色等。不同品种和不同成熟度的果实对昆虫表现出不同的吸引程度 (Kula *et al.*, 2013), 研究表明, 柑桔大实蝇 *Bactrocera minax* 对不同柑橘品种表现不同的产卵偏好性 (刘路等, 2014), 更偏好脐橙 *Citrus sinensis* 和酸橙 *C. aurantium*; Rattanapun (2009) 等发现在 Namdorkmai 和 Oakrong 两个芒果品种中, 桔小实蝇更偏好在 Oakrong 品种上产卵。很多昆虫也被证实更倾向于在成熟度高的果实上产卵, 如桔小实蝇更喜欢在成熟度较高的番木瓜 *Carica papaya* L. 上产卵 (Eric *et al.*, 1991), 桔小实蝇在青涩枇杷果实上的产卵孔数和产卵量均明显低于黄熟枇杷果实 (方薛交等, 2017), 斑翅果蝇主要在新鲜的

樱桃 *Prunus donarium* Sieb. 果实上产卵, 且其卵随机分布于樱桃果实上 (Mitsui *et al.*, 2006)。果实硬度会对植食性昆虫的产卵选择存在影响, 如柿果的害果率随着硬度的降低而增加, 当硬度为 2.0 ~ 9.0 kg/cm² 时虫果率最高, 而当硬度超过 12.0 kg/cm² 时未发现柿果上有卵量 (汪燕琴等, 2011); 番石榴果实的硬度越小, 对桔小实蝇雌虫的引诱作用越强, 当果实硬度 > 11.0 kg/cm² 时桔小实蝇不会在果实上产卵 (郑玉忠等, 2009)。同样, 果实颜色对昆虫的产卵选择也存在影响, 任荔荔等 (2008) 研究表明桔小实蝇雌虫常选择桔黄色和绿色寄主产卵, 较少选择黑色; 不同颜色的杨桃果实中桔小实蝇的幼虫数量也不同, 由高到低依次为: 金黄色、黄白色、黄绿色、浅绿色和深绿色 (蔡子坚等, 2012), 在斑翅果蝇中也有类似现象 (Catherine *et al.*, 2020)。本研究通过记录桔小实蝇在不同品种、不同成熟度的正常果和裂果石榴果实上的产卵孔数和着卵量, 同时测定每个果实的可溶性固形物含量, 探究石榴品种、成熟度、果实完整性以及可溶性固形物含量与桔小实蝇产卵偏好性的关系, 分析桔小实蝇对石榴果实的产卵偏好性, 为石榴上的桔小实蝇高效防控提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试昆虫

桔小实蝇实验室种群为华南农业大学广东省昆虫行为调控工程技术研究中心建立, 成虫以蔗糖: 酵母 (3:1) 混合物以及清水饲养, 待成虫进

入产卵盛期时, 收集卵置于人工幼虫饲料 (香蕉、玉米粉、酵母粉、蔗糖、纤维、苯甲酸钠、盐酸和蒸馏水) 中进行饲养 (陈小燕等, 2015)。老熟幼虫转入到沙土中化蛹, 羽化 1~2 d 的成虫雌雄分离饲养, 第 6 天将雌雄成虫接入同一笼内饲养使其交配, 成虫饲养至 10~12 d 时备用。室内饲养条件: 温度 26~28℃、湿度 60%~80%、光周期为 14 L:10 D。

1.1.2 供试寄主

供试石榴果实有 3 个品种, 其中突尼斯软籽石榴 (下文简称软籽石榴) 和青皮硬籽石榴 (下文简称硬籽石榴) 采自常规管理的石榴果园, 而青皮野生硬籽石榴 (下文简称野生硬籽石榴) 采自无人管理的生长区。3 个品种均于 2020 年 9 月、10 月采摘于四川省会理市彰冠镇 (东经 102°, 北

纬 26°, 海拔 1 750 m), 在果园内选取长势较一致的各品种石榴树各 3 棵, 果实采摘后用泡沫袋独立包装放入冰盒内即刻运回, 实验室内 4℃ 保存备用。试验前根据果实大小和表皮颜色将成熟度分为 3 个等级 (图 1, A): (1) 生果: 果径为 6.00~7.00 cm, 果皮主要为青色; (2) 熟果: 果径为 7.30~8.30 cm, 果皮偏橙色; (3) 完熟果: 果径为 8.50~9.50 cm, 果皮偏红色, 果柄和果蒂周围呈发白状。试验后将果实划开, 依据果实籽粒颜色和可溶性固形物含量也将成熟度分为三个等级 (图 1, B): (1) 生果: 籽粒主要呈淡粉色, 可溶性固形物含量为 11.00%~14.00%; (2) 熟果: 籽粒呈酒红色, 可溶性固形物含量 14.00%~17.00%; (3) 完熟果: 籽粒主要为紫红色, 可溶性固形物含量 $\geq 17.00\%$ 。

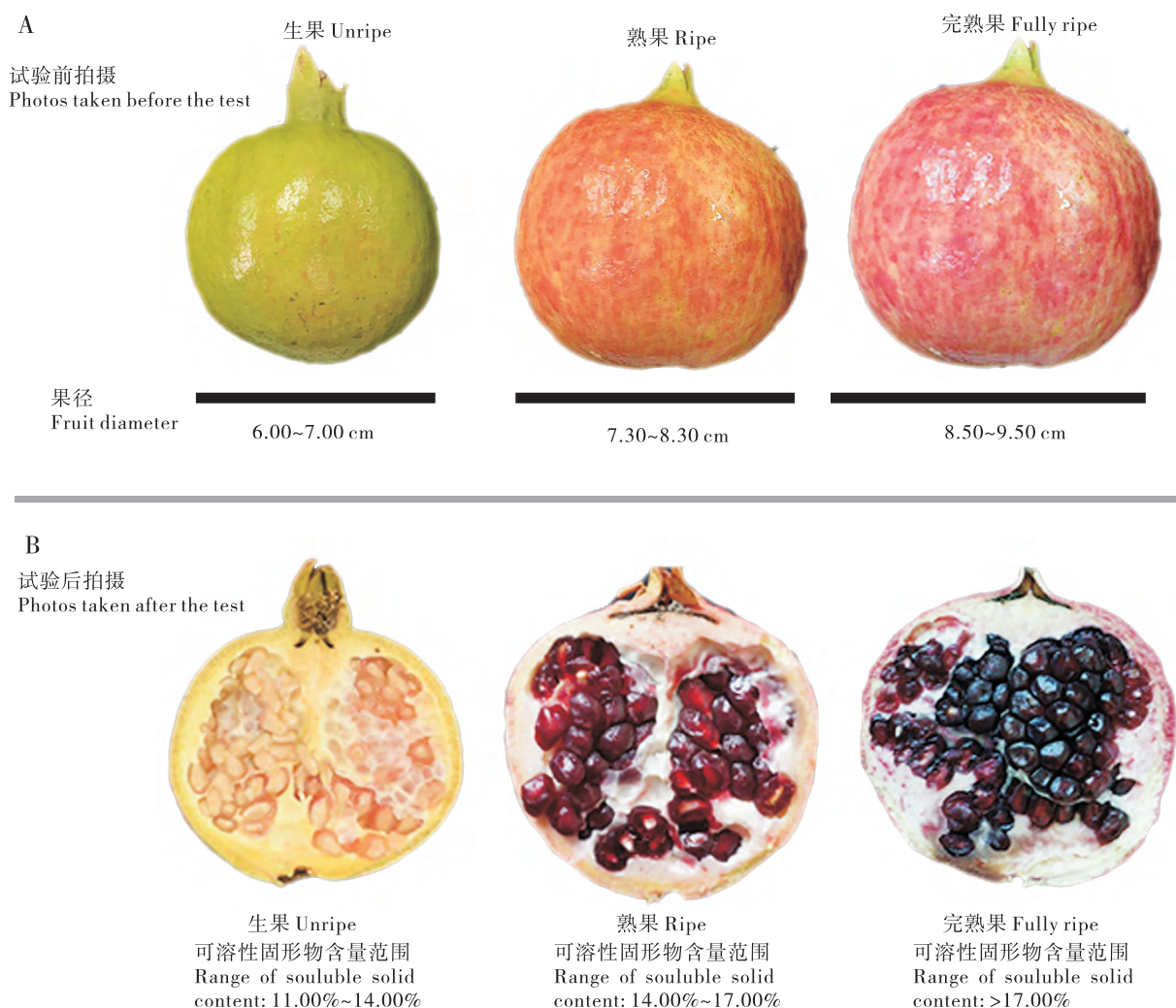


图 1 石榴不同成熟度的分级

Fig. 1 Grading of pomegranate with different maturity

1.1.3 试验设备

数显糖度折射计 (PAL-1, Atago); 透明网状养虫笼 (长×宽×高: 1.6 m×0.9 m×1.1 m)。

1.2 产卵偏好性测定

1.2.1 桔小实蝇对石榴品种的产卵选择

将雌雄成虫各 50 头接入养虫笼中, 雌虫处于产卵盛期, 放置软籽石榴、硬籽石榴以及野生硬籽石榴熟果正常果各 2 个, 并在笼中放置饲料和清水为桔小实蝇补充营养和水分。

24 h 后记录每个果实的产卵孔数和着卵量, 同时测定每个果实的可溶性固形物含量以及判定籽粒颜色, 每组处理重复 5 次。在温度 26 ~ 28℃, 相对湿度 60% ~ 80% 室内条件下进行。

1.2.2 桔小实蝇对不同成熟度石榴正常果的产卵选择

在养虫笼内放置 3 种成熟度的软籽石榴或硬籽石榴各 2 个, 分别接入 50 对成虫。24 h 后记录每个果实的产卵孔数和着卵量, 同时测定每个石榴果实的可溶性固形物含量以及判定籽粒颜色, 每组处理重复 5 次。试验条件同上。

1.2.3 桔小实蝇对石榴果实完整性的产卵选择

将 3 种成熟度的软籽石榴 (或硬籽石榴) 正常果和裂果放入养虫笼, 随后接入 50 对进入产卵盛期的成虫。24 h 后记录每个果实的着卵量, 同时测定每个果实的可溶性固形物含量以及判定籽粒颜色, 每组处理重复 5 次。

将软籽石榴、硬籽石榴、野生硬籽石榴熟果正常果和裂果放入养虫笼, 随后接入 50 对进入产

卵盛期的成虫。24 h 后记录每个果实的着卵量, 同时测定每个果实的可溶性固形物含量以及判定籽粒颜色, 每组处理重复 5 次。试验条件同上。在裂果试验中, 桔小实蝇直接在石榴籽粒表面产卵, 没有形成产卵孔, 因而没有对裂果试验的产卵孔数进行分析。

1.3 统计分析

使用 SPSS 17.0 进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), 并用 Duncan 氏新复极差法进行各总体均值间多重比较。使用 SPSS 17.0 分析石榴可溶性固形物含量与桔小实蝇产卵选择的线性回归关系。使用 GraphPad Prism 8.0.1 作图。

2 结果与分析

2.1 桔小实蝇对不同石榴品种的产卵偏好性

石榴品种可显著影响桔小实蝇的产卵偏好, 在不同石榴品种上的产卵孔数 (ANOVA: $F_{2,12} = 17.58$, $P < 0.05$) 和着卵量 (ANOVA: $F_{2,12} = 101.94$, $P < 0.05$) 存在显著差异 (图 2)。桔小实蝇更偏好在软籽石榴上产卵, 其在软籽石榴上的产卵孔数为 3.60 ± 0.49 个, 与硬籽石榴的 3.40 ± 0.20 个无显著性差异 ($P > 0.05$), 但显著高于野生硬籽石榴上的 0.60 ± 0.20 个 ($P < 0.05$); 而其在软籽石榴上的着卵量 154.20 ± 6.97 粒, 显著高于硬籽石榴上的 80.00 ± 5.97 粒 ($P < 0.05$) 和野生硬籽石榴上 11.40 ± 3.98 粒 ($P < 0.05$)。

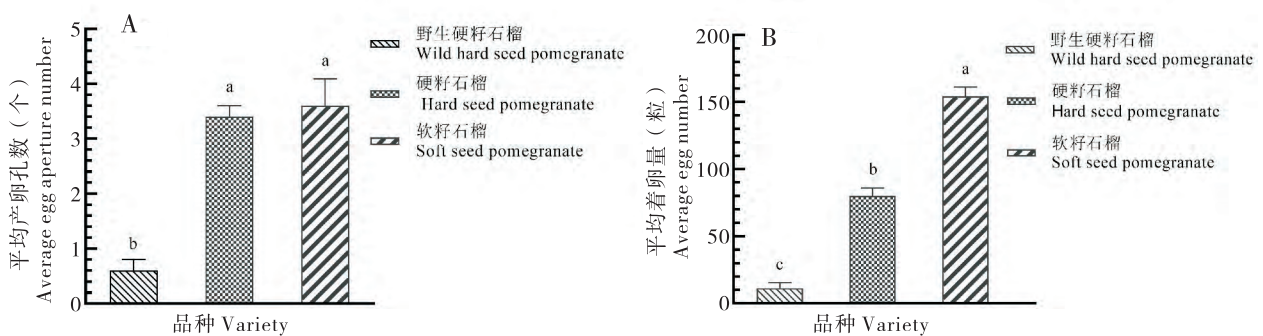


图 2 石榴不同品种正常果对桔小实蝇产卵选择的影响

Fig. 2 Effects on the oviposition selectivity of *Bactrocera dorsalis* of normal pomegranate fruits with different variety

注: A, 平均产卵孔数; B, 平均着卵量。图中不同小写字母表示显著性差异 (Duncan, $P < 0.05$)。下图同。Note: A, Average egg aperture number; B, Average egg number. Differences lowercase letters in the figure represented significant difference (Duncan, $P < 0.05$). Same below.

2.2 桔小实蝇对石榴成熟度的产卵偏好性

石榴的成熟度也显著影响桔小实蝇的产卵偏好。桔小实蝇在不同成熟度石榴上的产卵孔数 (ANOVA: 软籽石榴: $F_{2,12} = 9.29$, $P < 0.05$; 硬籽石榴: $F_{2,12} = 8.62$, $P < 0.05$) 和着卵量 (ANOVA: 软籽石榴: $F_{2,12} = 19.63$, $P < 0.05$; 硬籽石榴: $F_{2,12} = 75.86$, $P < 0.05$) 均有一定差异, 表现为更偏好在熟果上产卵, 而且在石榴的两个不同品种中表现的规律相似 (图 3)。桔小实蝇在软籽石榴熟果上的产卵孔数为 4.60 ± 0.54 个, 与完熟果上的 3.40 ± 0.67 个无显著差异 ($P >$

0.05), 但显著高于生果的 1.20 ± 0.18 个 ($P < 0.05$), 在硬籽石榴熟果上的产卵孔数 9.00 ± 1.92 个显著高于完熟果的 4.60 ± 0.36 个 ($P < 0.05$) 和生果的 1.60 ± 0.22 个 ($P < 0.05$); 桔小实蝇在软籽石榴熟果上的着卵量 113.80 ± 19.72 粒显著高于完熟果的 49.80 ± 3.71 粒 ($P < 0.05$) 和生果的 20.00 ± 1.97 粒 ($P < 0.05$)。在硬籽石榴熟果上的着卵量 217.00 ± 15.88 粒也显著高于完熟果的 76.40 ± 7.45 粒 ($P < 0.05$) 和生果的 21.60 ± 3.69 粒 ($P < 0.05$)。

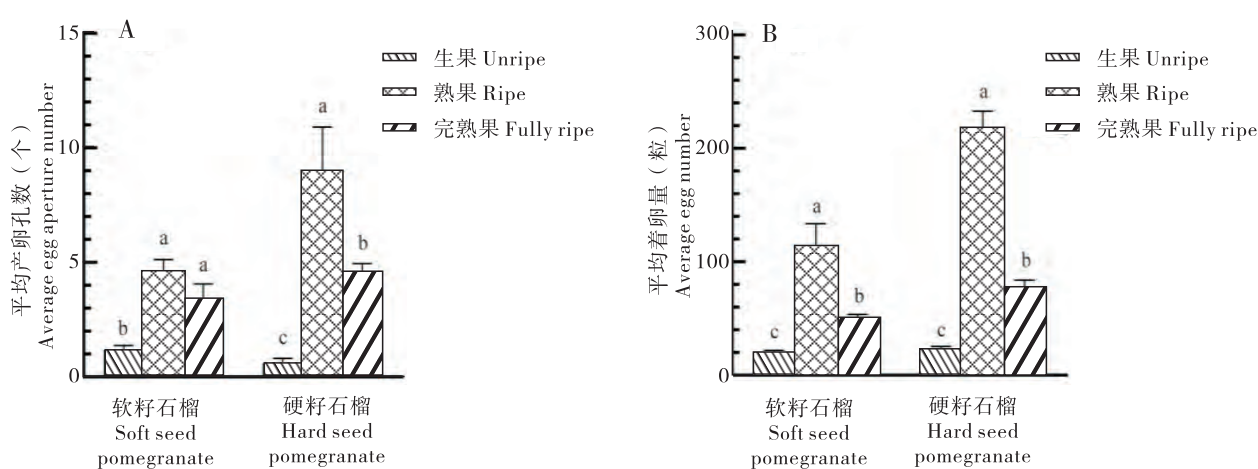


图 3 不同成熟度石榴正常果对桔小实蝇产卵选择的影响

Fig. 3 Effects on the oviposition selectivity of *Bactrocera dorsalis* of normal pomegranate fruits with different maturity

注: A, 平均产卵孔数; B, 平均着卵量。Note: A, Average egg aperture number; B, Average egg number.

2.3 桔小实蝇对石榴果实完整性的产卵偏好性

无论是软籽石榴还是硬籽石榴, 桔小实蝇对各成熟度的裂果和正常果的产卵偏好性不同, 桔小实蝇更偏好在裂果上产卵 (图 4)。在软籽石榴中, 果实完整性可显著影响桔小实蝇的产卵偏好性 (ANOVA: $F_{5,24} = 98.53$, $P < 0.05$), 各成熟度的裂果和正常果果实上的着卵量存在显著差异, 裂果上的着卵量 (生果: 53.80 ± 6.15 粒; 熟果: 312.80 ± 21.66 粒; 完熟果: 125.20 ± 7.11 粒, $P < 0.05$) 显著高于正常果 (生果: 14.60 ± 2.03 粒; 熟果: 55.00 ± 4.28 粒; 完熟果: 22.75 ± 3.08 粒, $P < 0.05$)。与软籽石榴相似, 硬籽石榴果实完整性对桔小实蝇的产卵偏好性也存在显著影响 (ANOVA: $F_{5,24} = 77.14$, $P < 0.05$), 裂果上的着卵量 (生果: 58.00 ± 4.88 粒; 熟果: 192.40 ± 19.53 粒; 完熟果: 92.80 ± 4.48 粒) 显著高于正

常果 (生果: 9.20 ± 0.74 粒; 熟果: 25.40 ± 1.29 粒; 完熟果: 22.00 ± 1.89 粒, $P < 0.05$)。

在 3 个石榴品种熟果的完整性偏好选择试验中发现桔小实蝇对不同品种的裂果和正常果的产卵偏好不同, 均更偏好在裂果上产卵 (图 5)。不同石榴品种的裂果和正常果上着卵量存在显著差异 (ANOVA: $F_{5,24} = 86.79$, $P < 0.05$), 且 3 个品种均是裂果 (野生硬籽石榴: 34.20 ± 3.03 粒; 硬籽石榴: 61.80 ± 4.81 粒; 软籽石榴: 98.00 ± 4.23 粒, $P < 0.05$) 上的着卵量显著高于正常果 (野生硬籽石榴: 6.20 ± 0.77 粒; 硬籽石榴: 17.00 ± 1.90 粒; 软籽石榴: 19.00 ± 1.30 粒, $P < 0.05$)。在 3 个石榴品种的裂果中, 软籽石榴裂果上的着卵量显著高于硬籽石榴裂果和野生硬籽石榴裂果 (ANOVA: $F_{2,12} = 40.74$, $P < 0.05$)。

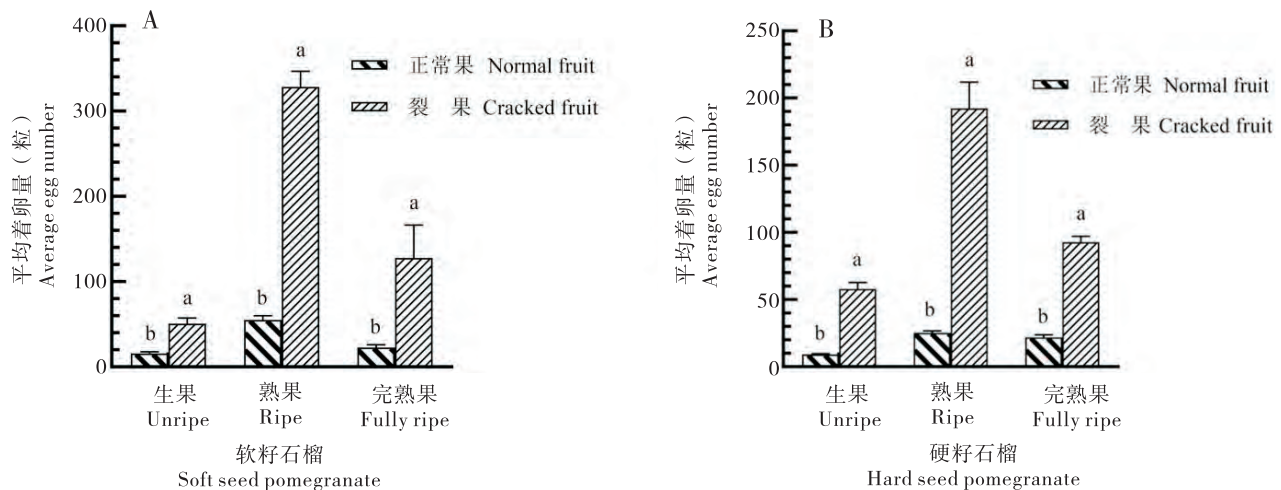


图4 不同成熟度石榴果实的完整性对桔小实蝇产卵的影响

Fig. 4 Effects of pomegranate fruit integrity at different maturity on the oviposition of *Bactrocera dorsalis*

注: A, 软籽石榴的平均着卵量; B, 硬籽石榴的平均着卵量。Note: A, Average egg number of soft seed pomegranate; B, Average egg number of hard seed pomegranate.

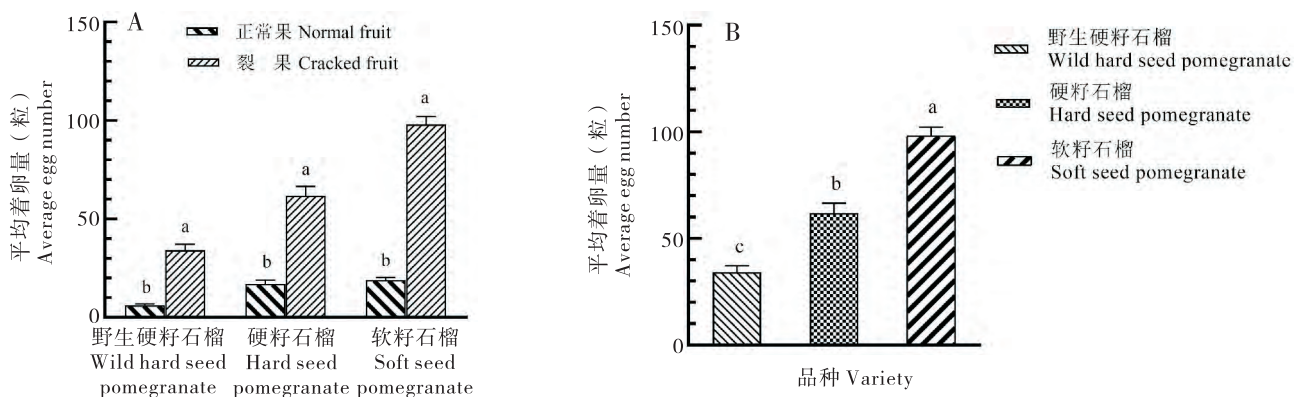


图5 石榴不同品种熟果果实的完整性对桔小实蝇产卵的影响

Fig. 5 Effect of ripe fruit integrity of different pomegranate varieties on oviposition of *Bactrocera dorsalis*

注: A, 不同品种的正常果和裂果上着卵量的比较; B, 不同品种裂果上着卵量的比较。Note: A, Comparison of average egg number on the normal fruit and cracked fruit of different variety; B, Comparison of average egg number of different variety.

2.4 石榴可溶性固形物含量对桔小实蝇产卵偏好的影响

依据产卵试验后所测得的可溶性固形物含量数值, 对各石榴品种下产卵孔数、着卵量、可溶性固形物含量进行重新归类区分 (表1), 在正常果状态下, 可溶性固形物含量在3个品种下均可显著影响桔小实蝇的产卵孔数 (ANOVA: 软籽石榴: $F_{2,12} = 43.17$, $P < 0.05$; 硬籽石榴: $F_{2,12} = 15.75$, $P < 0.05$; 野生硬籽石榴: $F_{2,12} = 4.46$, $P < 0.05$), 可溶性固形物含量为14.00% ~ 17.00%时的产卵孔数均显著高于可溶性固形物含量为11.00% ~ 14.00%和 $\geq 17.00\%$ 的。可溶性固

形物含量也可显著影响桔小实蝇在3个品种石榴上的着卵量 (ANOVA: 软籽石榴: $F_{2,12} = 7.79$, $P < 0.05$; 硬籽石榴: $F_{2,12} = 36.06$, $P < 0.05$; 野生硬籽石榴: $F_{2,12} = 27.23$, $P < 0.05$), 可溶性固形物含量为14.00% ~ 17.00%时, 软籽石榴和硬籽石榴上的着卵量显著高于其他含量的, 而野生硬籽石榴中, 可溶性固形物含量为14.00% ~ 17.00%时的着卵量显著高于11.00% ~ 14.00%时的着卵量, 但与可溶性固形物含量为 $\geq 17.00\%$ 时的着卵量无显著差异。

在裂果状态下, 各石榴品种可溶性固形物含量均对桔小实蝇于果实上的着卵量产生显著影响

(ANOVA: 软籽石榴: $F_{2,12} = 20.92$, $P < 0.05$; 硬籽石榴: $F_{2,12} = 95.86$, $P < 0.05$; 野生硬籽石榴: $F_{2,12} = 12.44$, $P < 0.05$)。可溶性固形物含量为 14.00% ~ 17.00% 时, 3 个石榴品种果实上着卵量均显著高于可溶性固形物含量为 11.00% ~ 14.00% 和 $\geq 17.00\%$ 时的着卵量 (表 1)。

通过可溶性固形物含量与着卵量的相关性分

析可知在石榴正常果状态下, 软籽石榴和野生硬籽石榴可溶性固形物含量与产卵孔数和着卵量均呈显著正相关性 ($P < 0.05$), 而硬籽石榴可溶性固形物含量与产卵孔数和着卵量均无显著相关性 ($P > 0.05$) (图 6)。在石榴裂果状态下, 各石榴品种可溶性固形物含量与着卵量均无显著相关性 ($P > 0.05$) (图 7)。

表 1 不同可溶性固形物含量下的平均产卵孔数和着卵量

Table 1 Average oviposition apertures and the number of eggs with different soluble solid content

果实完整性 Fruit integrity	可溶性固形物含量 (%) Soluble solid content	软籽石榴 Soft seed pomegranate		硬籽石榴 Hard seed pomegranate		野生硬籽石榴 Wild hard seed pomegranate	
		产卵孔 (个) Oviposition aperture	着卵量 (粒) Egg number	产卵孔 (个) Oviposition aperture	着卵量 (粒) Egg number	产卵孔 (个) Oviposition aperture	着卵量 (粒) Egg number
正常果 Normal fruit	11.00 ~ 14.00	0.80 $\pm$ 0.33 c	25.80 $\pm$ 10.74 b	0.60 $\pm$ 0.22 b	8.60 $\pm$ 4.96 b	0.40 $\pm$ 0.22 b	6.40 $\pm$ 3.68 b
	14.00 ~ 17.00	4.40 $\pm$ 0.22 a	98.60 $\pm$ 16.57 a	4.20 $\pm$ 0.59 a	111.00 $\pm$ 8.34 a	1.80 $\pm$ 0.52 a	38.80 $\pm$ 2.61 a
	≥ 17.00	1.80 $\pm$ 0.18 b	50.40 $\pm$ 5.70 b	1.80 $\pm$ 0.59 b	38.80 $\pm$ 9.49 b	1.60 $\pm$ 0.22 ab	44.40 $\pm$ 4.09 a
裂果 Cracked fruit	11.00 ~ 14.00	—	63.20 $\pm$ 14.72 c	—	47.20 $\pm$ 10.87 b	—	11.60 $\pm$ 3.01 c
	14.00 ~ 17.00	—	209.40 $\pm$ 15.64 a	—	200.00 $\pm$ 8.19 a	—	55.00 $\pm$ 6.93 a
	≥ 17.00	—	123.80 $\pm$ 12.55 b	—	39.00 $\pm$ 4.53 b	—	32.00 $\pm$ 5.82 b

注: 表中数据为平均值 $\pm$ 标准误差, 正常果、裂果上各列不同小写字母表示显著性差异 (Duncan, $P < 0.05$)。Note: Data in the table are the mean $\pm$ standard error. Different lowercase letters on the normal fruit and cracked fruit represented significant differences (Duncan, $P < 0.05$).

3 结论与讨论

本研究发现桔小实蝇尤为偏好软籽、熟果、裂果以及可溶性固形物含量为 14.00% ~ 17.00% 时的石榴果实。四川会理地区石榴种植主要以嫁接软籽为主, 8-9 月份是石榴成熟脱袋上市集中期, 同时该时期通常气温高, 多降雨, 易导致大量裂果 (宋英英等, 2016; 李泓利等, 2021)。因此, 对会理地区而言, 该段时间应重点防控桔小实蝇的发生危害, 及时清理果园内的裂果和虫果, 同时结合物理防控、化学防控等措施。

同一种水果的不同品种对昆虫可能产生不同的偏好, 如: 果蝇对不同番石榴品种的产卵偏好性不同, 桃果蝇对不同番茄 *Lycopersicon esculentum* 品种的产卵偏好性也存在差异 (Balagawi *et al.*, 2005; Binyameen *et al.*, 2021); 周宇翔等 (2011) 研究室内条件下桔小实蝇对不同杨梅 *Myrica rubra*

品种的产卵偏好发现桔小实蝇较为喜好荸荠种, 较不喜好水梅, 不喜好的原因可能与水梅偏酸有关; 野外环境下桔小实蝇对不同品种果实的产卵偏好性也不同, 梁瑞郑等 (2009) 对广西 50 个梨园种植区进行调查发现桔小实蝇对不同品种的梨 *Pyrus spp.* 危害程度有差异。本研究选用不同石榴品种进行产卵选择试验, 结果表明桔小实蝇更偏好于软籽石榴果实上产卵, 原因可能是软籽石榴果皮较薄 (陈代武, 2010; 木潘木机等, 2018), 更适宜桔小实蝇产卵, 也可能不同品种之间果实的挥发物存在差异导致。此外, 不同品种下果实质量对幼虫发育的适合度也可能是引起成虫产卵选择偏好的因素 (刘路, 2014)。

嗅觉在昆虫寻找寄主的过程中有着重要的作用 (Aluja *et al.*, 1993; 杜家纬, 2001), 在一定距离范围内, 植食性昆虫通过嗅觉感受寄主植物的挥发性气味选择寄主, 并优先选择产卵在对其后代生长发育有优势的植物上 (Rudolf *et al.*,

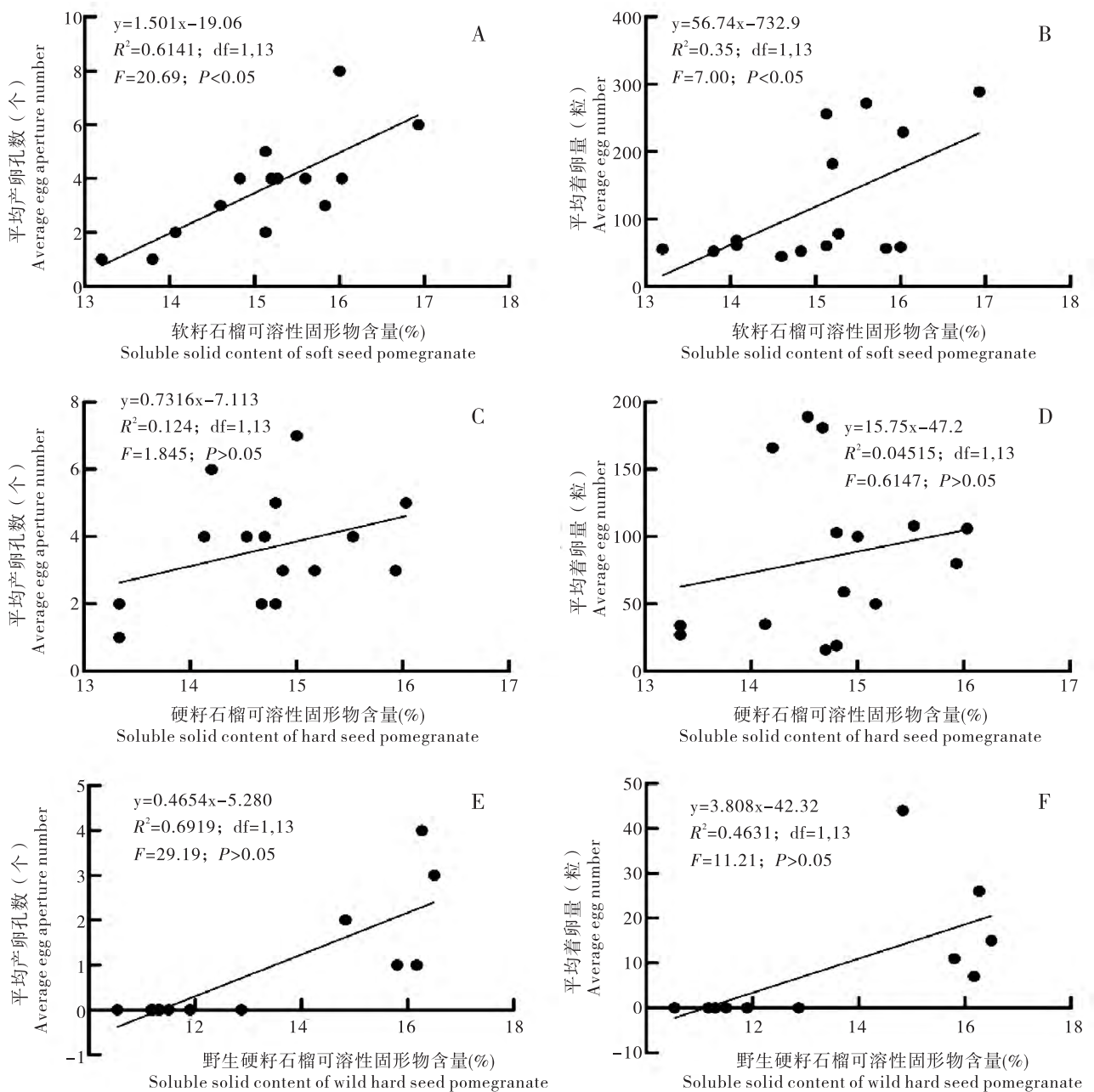


图6 石榴正常果可溶性固形物含量与桔小实蝇产卵选择的相关性分析结果

Fig. 6 Correlation analysis results between the soluble solid content of normal pomegranate fruit and the oviposition selection of *Bactrocera dorsalis*

注：A 和 B，软籽石榴；C 和 D，硬籽石榴；E 和 F，野生硬籽石榴。各组数据的样本量均为 n = 15。Note: A and B, Soft seed pomegranate; C and D, Hard seed pomegranate; E and F, Wild hard seed pomegranate. The sample size of each group of data was n = 15.

2005; Heikki *et al.*, 2006; Pagadala *et al.*, 2014)。前人研究发现桔小实蝇更偏好于成熟度较高的杨梅上产卵，可能因为更成熟的果实其挥发物含量更多更吸引桔小实蝇（施伟等，2009；申建梅等，2018）。本研究发现在生果、熟果、完熟果 3 个成熟度的石榴果实中，桔小实蝇更偏好于熟果上产卵，与袁盛勇等（2005）研究结果相似，其试验

中成熟度最高的石榴果实与本试验所用的熟果的成熟度相似（均为 9 月采摘），但桔小实蝇对 10 月采摘的石榴果实的偏好反而降低，原因可能是晚期的石榴易发生褐变干缩、失水萎蔫、籽粒易出现变色变味等现象，使石榴风味发生变化（赵迎丽等，2010；姚昕，2017），也可能因熟果和完熟果的果实表皮颜色发生变化，从而降低桔小实蝇

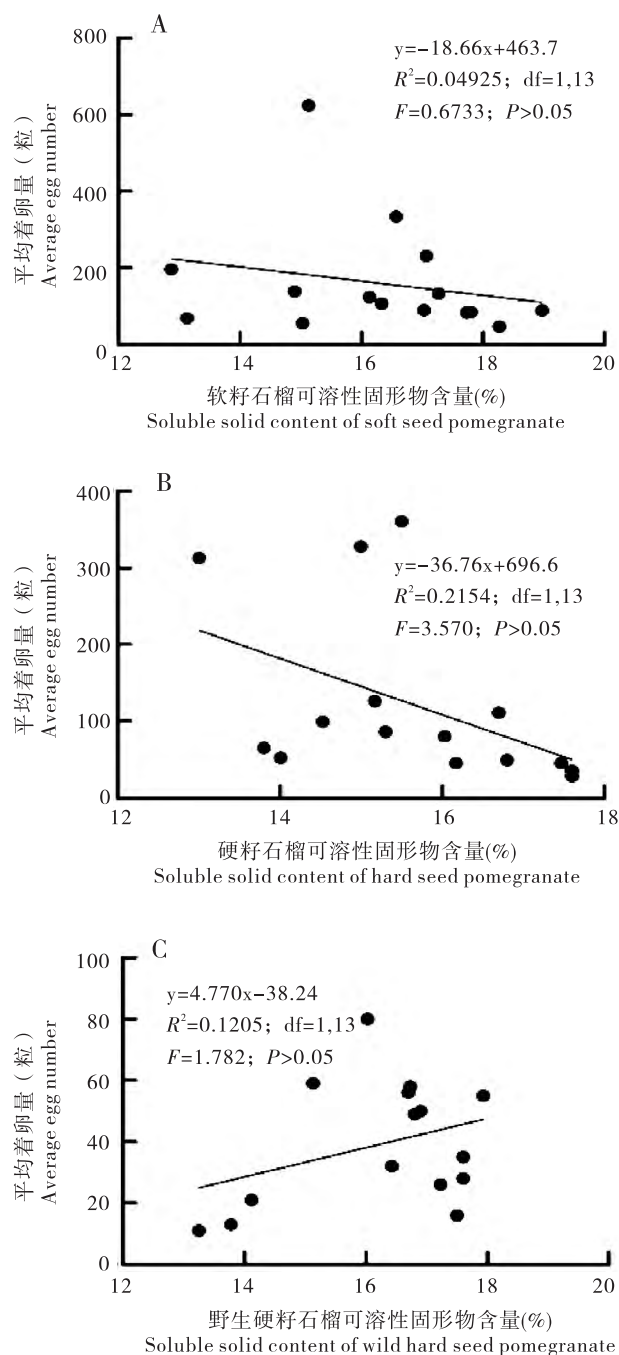


图7 石榴裂果可溶性固形物含量与桔小实蝇产卵选择的相关性分析结果

Fig. 7 Correlation analysis results between the soluble solid content of cracked pomegranate fruit and the oviposition selection of *B. dorsalis*

注: A, 软籽石榴; B, 硬籽石榴; C, 野生硬籽石榴。各组数据的样本量均为 $n = 15$ 。Note: A, Soft seed pomegranate; B, Hard seed pomegranate; C, Wild hard seed pomegranate. The sample size of each group of data was $n = 15$.

对其的产卵偏好 (梁丹辉等, 2016; Little *et al.*, 2019; 马晓彤等, 2020)。

众多研究发现果实的果肉相较完整果实更能吸引桔小实蝇产卵。如: 对比芒果正常果的挥发物, 芒果果肉的挥发物对桔小实蝇产生显著的引诱效果 (张淑颖等, 2007); 三华李 *Prunus salicina* 的果肉较正常果而言也更为吸引桔小实蝇产卵 (李媛等, 2020), 果肉或裂果状态下所挥发的烯类物质比正常果挥发的多, 而这些烯类物质可能是吸引桔小实蝇产卵的重要因素 (马镭等, 2015)。本研究表明, 桔小实蝇对软籽石榴、硬籽石榴、野生硬籽石榴各成熟度的裂果更偏好, 这一现象可能由两种因素所致, 一是化学因素, 石榴在裂开后其挥发物气味变得更强烈, 对桔小实蝇引诱性更强, 二是物理因素, 石榴裂开后桔小实蝇可直接在能为其后代提供营养的石榴籽粒上产卵, 不必费力刺破果皮。

果实的可溶性固形物含量亦是影响昆虫产卵的一个因素。有研究表明果实内的桔小实蝇幼虫数量与可溶性固形物含量呈正相关关系, 同一种水果中, 凡是可溶性固形物含量高、皮薄松软品质好的果实受桔小实蝇危害更严重 (张禹安和赵学谦, 1994; 胡菡青等, 2007)。在本研究中发现桔小实蝇更偏好在可溶性固形物含量为 14.00% ~ 17.00% 的石榴上产卵, 当可溶性固形物含量过低 (11.00% ~ 14.00%) 或过高 ($\geq 17.00\%$) 时, 桔小实蝇对石榴果实的产卵偏好性变低; 可溶性固形物含量在 17.00% 以下时, 石榴正常果可溶性固形物含量与产卵孔数和着卵量存在显著正相关性, 而石榴裂果可溶性固形物含量与产卵孔数和着卵量无显著相关性, 表明可溶性固形物含量对桔小实蝇产卵偏好的影响跟石榴果实的完整性有关。

参考文献 (Reference)

- Aluja M, Prokopy R J. Host odor and visual stimulus interaction during intratree host finding behavior of *Rhagoletis pomonella* flies [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1993, 19 (11): 2671 - 2696.
- Balagawi S, Vijayasegaran S, Drew RAI, *et al.* Influence of fruit traits on oviposition preference and offspring performance of *Bactrocera tryoni* (Froggatt) (Diptera: Tephritidae) on three tomato (*Lycopersicon lycopersicum*) cultivars [J]. *Australian Journal of Entomology*, 2005, 44 (2): 97 - 103.
- Binyameen M, Hamid A, Afzal I, *et al.* Role of fruit volatiles of different guava varieties in attraction and oviposition behaviors of

- peach fruit fly, *Bactrocera zonata* Saunders [J]. *Arthropod – plant Interactions*, 2021, 15 (1): 95 – 106.
- Cai ZJ, Hu HQ, Wei XX, *et al.* Traits and damage of carambola fruit by *Bactrocera dorsalis* [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 27 (12): 1298 – 1302. [蔡子坚, 胡茜青, 韦晓霞, 等. 杨桃果实性状与橘小实蝇危害严重度的关系 [J]. 福建农业学报, 2012, 27 (12): 1298 – 1302]
- Catherine ML, Peggy LD, Tom WC, *et al.* Role of fruit characters and colour on host selection of boreal fruits and berries by *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) [J]. *The Canadian Entomologist*, 2020, 152 (4): 546 – 562.
- Chen XY, Liu JL, Guo WJ, *et al.* Associative olfactory condition in male adults of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2015, 58 (9): 973 – 980. [陈小燕, 刘家莉, 郭文举, 等. 桔小实蝇雄成虫联系性嗅觉学习 [J]. 昆虫学报, 2015, 58 (9): 973 – 980]
- Chen DW. Comprehensive measures to improve the benefits of Huili pomegranate [J]. *Sichuan Agricultural Science and Technology*, 2010, 4: 25 – 27. [陈代武. 提高会理石榴效益的综合措施 [J]. 四川农业科技, 2010, 4: 25 – 27]
- Du JW. Chemical communication between plant and insect and its behavior control [J]. *Acta Phytophysiologica Sinica*, 2001, 27 (3): 193 – 200. [杜家纬. 植物 – 昆虫间的化学通讯及其行为控制 [J]. 植物生理学报, 2001, 27 (3): 193 – 200]
- Eric BJ, Douglas ML. Behavioral responses of female oriental fruit flies to the odor of papayas at three ripeness stages in a laboratory flight tunnel (Diptera: Tephritidae) [J]. *Journal of Insect Behavior*, 1991, 4 (6): 751 – 762.
- Fang Y, Kang F, Zhan G, *et al.* The effects of a cold disinfestation on *Bactrocera dorsalis* survival and navel orange quality [J]. *Insects*, 2019, 10 (12): 452.
- Fang XJ, Yan ZH, Zang JL, *et al.* The characteristics of oviposition and population dynamics of *Bactrocera dorsalis* in different fruit orchards in Mengzi [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University* (Natural Science Edition), 2017, 2: 212 – 217. [方薛交, 闫振华, 张金龙, 等. 桔小实蝇成虫对不同水果的产卵为害特点及种群动态 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学版), 2017, 2: 212 – 217]
- Guo TD, Gong QT, Ye BH, *et al.* Domestic research progress of *Bactrocera dorsalis* [J]. *Deciduous Fruits*, 2019, 51 (1): 43 – 46. [郭腾达, 宫庆涛, 叶保华, 等. 桔小实蝇的国内研究进展 [J]. 落叶果树, 2019, 51 (1): 43 – 46]
- Hang SQ, Han RC. Advance in the research on the quarantine pest *Bactrocera dorsalis* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2005, 42 (5): 479 – 484. [黄素青, 韩日畴. 桔小实蝇的研究进展 [J]. 昆虫知识, 2005, 42 (5): 479 – 484]
- Hu HQ, Wei XX, Cai ZJ, *et al.* Research and application of host selection of oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2007, 19 (2): 68 – 71. [胡茜青, 韦晓霞, 蔡子坚, 等. 桔小实蝇寄主选择性的研究与应用 [J]. 江西农业学报, 2007, 19 (2): 68 – 71]
- Heikki PO, Ykk O. Females and larvae of a geometrid moth, *Cleorodes lichenaria*, prefer a lichen host that assures shortest larval period [J]. *Environmental Entomology*, 2006, 35 (6): 1669 – 1676.
- Kula AA, Dudash MR, Fenster CB. Choices and consequences of oviposition by a pollinating seed predator, *Hadena ectypa* (Noctuidae), on its host plant, *Silene stellata* (Caryophyllaceae) [J]. *American Journal of Botany*, 2013, 100 (6): 1148 – 1154.
- Li CC, Meng YY, Wu HX, *et al.* The current situation and countermeasures of agricultural water resources protection in the main pomegranate production area in Huili—take copper mine village as an example [J]. *Sichuan Agricultural Science and Technology*, 2019, 7: 63 – 65. [李成成, 孟银银, 吴红霞, 等. 会理石榴主产区农业水资源保障现状及对策——以铜矿村为例 [J]. 四川农业科技, 2019, 7: 63 – 65]
- Li Y, Jang QG, Zhu JT, *et al.* Occurrence of *Bactrocera dorsalis* on fruits and vegetables and its control methods [J]. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2018, 1: 104 – 105. [李燕, 蒋巧根, 朱江涛, 等. 桔小实蝇在果蔬上的发生规律及其防治方法 [J]. 上海农业科技, 2018, 1: 104 – 105]
- Liu L, Zhou Q, Song AQ, *et al.* Adult oviposition and larval feeding preference for different citrus varieties in *Bactrocera minax* (Diptera: Tephritidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2014, 57 (9): 1037 – 1044. [刘路, 周琼, 宋傲群, 等. 柑橘大实蝇对不同柑橘品种的产卵偏好和幼虫取食选择 [J]. 昆虫学报, 2014, 57 (9): 1037 – 1044]
- Liang DH, Chen R, Zhou Q. Responsiveness of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) adult to different colours and odorants [J]. *Life Science Research*, 2016, 20 (1): 36 – 39. [梁丹辉, 陈冉, 周琼. 桔小实蝇成虫对不同颜色和气味物质的趋性反应 [J]. 生命科学研究, 2016, 20 (1): 36 – 39]
- Little CM, Rizzato AR, Charbonneau L, *et al.* Color preference of the spotted wing, *Drosophila suzukii* [J]. *Scientific Reports*, 2019, 9 (1): 16051.
- Liang RZ, Quan JC, Wan BX, *et al.* Preliminary report on investigation of early ripening pears in Guangxi caused by *Bactrocera dorsalis* Hendel [J]. *South China Fruit Tree*, 2009, 38 (1): 54 – 55. [梁瑞郑, 全金成, 万保雄, 等. 桔小实蝇为害广西早熟梨调查初报 [J]. 中国南方果树, 2009, 38 (1): 54 – 55]
- Li Y, Huang AL, Huang HX, *et al.* Oviposition selectivity of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) to *Prunus salicina* [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2020, 51 (2): 319 – 326. [李媛, 黄爱玲, 黄慧欣, 等. 橘小实蝇对三华李果实的产卵选择 [J]. 南方农业学报, 2020, 51 (2): 319 – 326]
- Li HL, Liu GS, Tian HQ, *et al.* Fruit cracking: A review [J]. *Chinese Journal of Biotechnology*, 2021, 37 (8): 1 – 17. [李泓利, 刘港帅, 田慧琴, 等. 果实开裂研究进展 [J]. 生物工程学报, 2021, 37 (8): 1 – 17]
- Mitsui H, Takahashi KH, Kimura MT. Spatial distributions and clutch sizes of *Drosophila* species ovipositing on cherry fruits of different stages [J]. *Population Ecology*, 2006, 48 (3): 233 – 237.
- Ma XT, Fu BL, Qiu HY, *et al.* Oviposition and behavior preference of *Menochilus sexmaculatus* to different colors [J]. *Chinese*

- Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36 (27): 142–146. [马晓彤, 付步礼, 邱海燕, 等. 六斑月瓢虫对不同颜色的产卵趋性与行为选择反应 [J]. 中国农学通报, 2020, 36 (27): 142–146]
- Mu FMJ, Wang J, Wu Y, *et al.* Cultivation techniques for keeping fresh-keeping of pomegranate trees [J]. *Sichuan Agricultural Science and Technology*, 2018, 3: 16–17. [木潘木机, 王军, 吴艳, 等. 会理青皮软籽石榴留树保鲜栽培技术 [J]. 四川农业科技, 2018, 3: 16–17]
- Ma K, Zhang RP, Gu C, *et al.* Comparative analysis of volatile component of langon fruit [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (1): 199–205. [马镭, 张瑞萍, 谷超, 等. 龙眼果实挥发性成分比较分析 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (1): 199–205]
- Pagadala DKJ, Vivek K, Ravindra MA, *et al.* Specific volatile compounds from mango elicit oviposition in gravid *Bactrocera dorsalis* females [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2014, 40 (3): 259–266.
- Rattanapun W, Amornsak W, Clarke AR. *Bactrocera dorsalis* preference for and performance on two mango varieties at three stages of ripeness [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2009, 131 (3): 243–253.
- Ren LL, Qi LQ, Jang QG, *et al.* Oviposition preference of oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2008 (4): 91–95. [任荔荔, 祁力言, 蒋巧根, 等. 植物果实、颜色和形状对橘小实蝇产卵选择的影响 [J]. 昆虫知识, 2008 (4): 91–95]
- Rudolf VH, Rodel MO. Oviposition site selection in a complex and variable environment: The role of habitat quality and conspecific cues [J]. *Oecologia*, 2005, 142 (2): 316–325.
- Shi W, Liu H, Ye H. Taxis responses of oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis*) to the odors of two types of mango [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2009, 22 (2): 332–336. [施伟, 刘辉, 叶辉. 桔小实蝇对两芒果品种的趋性反应 [J]. 西南农业学报, 2009, 22 (2): 332–336]
- Shen JM, Ling ZQ, Chen BH, *et al.* Effect of different maturities of starfruit on the ovipositing of *Bactrocera dorsalis* and comparative analysis of volatile components [J]. *Journal of Fruit Science*, 2018, 35 (1): 94–100. [申建梅, 凌志强, 陈炳翰, 等. 2 种不同成熟度杨桃对橘小实蝇的产卵影响及挥发物成分比较分析 [J]. 果树学报, 2018, 35 (1): 94–100]
- Song YY, Liu J, Lin FZ, *et al.* Occurrence and control technology of pomegranate fruit cracking [J]. *Modern Agriculture*, 2016, 8: 20–21. [宋英英, 刘静, 林凤枝, 等. 石榴裂果的发生与防治技术 [J]. 现代农业, 2016, 8: 20–21]
- Wen T, Zheng L, Dong S, *et al.* Rapid detection and classification of citrus fruits infestation by *Bactrocera dorsalis* (Hendel) based on electronic nose [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2019, 147: 156–165.
- Wang YQ, Li XG, Meng YQ. A preliminary report on the occurrence and harm of citrus fruit fly in Fuyang persimmon garden, Zhejiang Province [J]. *South China Fruit Tree*, 2011, 40 (1): 52–53. [汪燕琴, 李晓刚, 孟幼青. 浙江富阳柿园桔小实蝇发生危害规律研究初报 [J]. 中国南方果树, 2011, 40 (1): 52–53]
- Yuan SY, Xiao C, Kong Q, *et al.* Oviposition preference of *Bactrocera dorsalis* Hendel [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2005, 27 (1): 81–84. [袁盛勇, 肖春, 孔琼, 等. 桔小实蝇的产卵选择性 [J]. 江西农业大学学报, 2005, 27 (1): 81–84]
- Yao X. Study on Postharvest Quality Deterioration and Control Technology of Pomegranate [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University PhD Thesis, 2017. [姚昕. 石榴采后品质劣变及控制技术的研究 [D]. 成都: 四川农业大学, 2017]
- Zheng YZ, Zhang ZX, Cheng XL, *et al.* Ovipositional preference of the *Bactrocera dorsalis* to *Psidium guajava* fruits with different hardness [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2009, 46 (2): 301–303. [郑玉忠, 张振霞, 成小莲, 等. 橘小实蝇对不同硬度番石榴果实的产卵选择 [J]. 应用昆虫学报, 2009, 46 (2): 301–303]
- Zhao YL, Li JH, Shi JF, *et al.* Research on post-harvest physiology changes and pericarp browning in different pomegranate cultivars [J]. *Food Science and Technology*, 2010, 35 (4): 62–65. [赵迎丽, 李建华, 施俊凤, 等. 不同品种石榴果实采后生理及果皮褐变机理的研究 [J]. 食品科技, 2010, 35 (4): 62–65]
- Zhou YX, Shang HW, Cai C, *et al.* Biology of the oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis*) over three varieties of red bayberry (*Myrica rubra*) cultivars [J]. *Plant Quarantine*, 2011, 25 (6): 21–24. [周宇翔, 商晗武, 蔡冲, 等. 桔小实蝇在不同杨梅品种上的生长发育特性研究 [J]. 植物检疫, 2011, 25 (6): 21–24]
- Zhang SY, Xiao C, Li ZY, *et al.* Attracting of the volatile from mango fruits for oriental fruit fly, *Dacus dorsalis* [Hendel] [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2007, 25 (5): 659–664. [张淑颖, 肖春, 李正跃, 等. 芒果挥发物对桔小实蝇成虫的引诱作用 [J]. 云南农业大学学报, 2007, 25 (5): 659–664]
- Zhang YA, Zhao XQ. Investigation on *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in Sichuan [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 1994, 7 (2): 71–75. [张禹安, 赵学谦. 四川柑桔小实蝇的调查研究 [J]. 西南农业学报, 1994, 7 (2): 71–75]