

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

李 貌^{1#}, 张金龙^{1#}, 闫振华², 刘 娜³, 黄禹禹¹,
陈国华^{1*}, 张晓明^{1*}

(1. 云南农业大学植物保护学院, 云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 昆明 650201;
2. 红河学院发展规划中心, 蒙自 661199; 3. 红河学院生物科学与农学学院, 蒙自 661199)

摘要 为探讨瓜实蝇 *Zeugodacus cucurbitae* 和南亚实蝇 *Zeugodacus tau* 对寄主植物的选择性及寄主植物对其种群的适合度。在室内观察记录瓜实蝇和南亚实蝇幼虫在黄瓜 *Cucumis sativus*、丝瓜 *Luffa aegyptiaca* 和西葫芦 *Cucurbita pepo* 3 种寄主果实上的幼虫历期、蛹历期和存活率等生长发育参数, 同时测定两种实蝇成虫在 3 个黄瓜品种‘A38 翠玉’、‘台湾大黄瓜’和‘唐山秋瓜’有无果皮两种状态下的产卵量。结果表明, 瓜实蝇和南亚实蝇幼虫取食同种果实或同种实蝇取食不同寄主果实幼虫的发育历期、化蛹率和存活率均无显著差异; 但取食西葫芦后, 两种实蝇的蛹历期分别为 12.30 d 和 12.77 d, 均显著长于取食黄瓜和丝瓜。且南亚实蝇的羽化率为 70.59%, 显著高于瓜实蝇在 3 种寄主果实上的羽化率。不同品种黄瓜中, 瓜实蝇偏向于选择‘A38 翠玉’品种产卵, 在果实完好和去果皮条件下日均产卵量分别达 87.50 粒和 53.75 粒, 均显著高于南亚实蝇在 3 个黄瓜品种上的日均产卵量; 南亚实蝇更偏好去果皮的‘A38 翠玉’果实上产卵, 日均产卵量达 44.25 粒。对同一黄瓜品种, 瓜实蝇在有果皮或无果皮的果实上的日均产卵量均差异显著, 但南亚实蝇在两类果实上的产卵量差异均不显著。瓜实蝇和南亚实蝇幼虫期取食不同寄主果实会对蛹历期和羽化率造成影响, 且两种实蝇成虫在相同寄主不同品种上的产卵选择性不同。

关键词 瓜实蝇; 南亚实蝇; 生长发育; 产卵选择; 寄主适应性

中图分类号: S433 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2021198

Effects of different hosts on growth, development and oviposition selection of *Zeugodacus cucurbitae* and *Zeugodacus tau*

LI Mao^{1#}, ZHANG Jinlong^{1#}, YAN Zhenhua², LIU Na³, HUANG Yuyu¹,
CHEN Guohua^{1*}, ZHANG Xiaoming^{1*}

(1. National Key Laboratory for Conservation and Utilization of Bio-resources in Yunnan, College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;
2. Development Planning Centre, Honghe University, Mengzi 661199, China; 3. College of Biological Science and Agriculture, Honghe University, Mengzi 661199, China)

Abstract In order to clarify the selectivity of *Zeugodacus cucurbitae* and *Zeugodacus tau* to host plants and the suitability of host plants to their populations. The parameters of growth and development such as larval duration, pupal duration and survival rate of *Z. cucurbitae* and *Z. tau* larvae on *Cucumis sativus*, *Luffa cylindrica* and *Cucurbita pepo* fruits were observed and recorded under laboratory condition. Meanwhile, the fecundity of *Z. cucurbitae* and *Z. tau* adults was recorded on three different *C. sativus* varieties including ‘A38Cuiyu’

收稿日期: 2021-04-05 修订日期: 2021-08-06

基金项目: 云南省重大科技专项(202102AE090006); 云南省中青年学术技术带头人后备人才项目(202105AC160071); “云南省高层次人才培养支持计划”青年拔尖人才专项(YNWRQNBj2020291); 云南省基础研究专项(202101AU070113); 第十七批昆明市中青年学术和技术带头人后备人才项目(KMRCH2019023)

* 通信作者 E-mail: 陈国华 chenghkm@126.com; 张晓明 zxmalex@126.com
为并列第一作者

‘Taiwandahuanggua’ and ‘Tangshanqiugua’ with or without peel. The results showed that there were no significant differences in larval developmental duration, pupation rate, and survival rate of *Z. cucurbitae* and *Z. tau* when feeding on the same or different host fruits. However, the pupal duration of these two insect species was significantly prolonged after feeding on *C. pepo*, which were 12.30 d and 12.77 d, respectively, and *Z. tau* had the highest emergence rate (70.59%), significantly higher than that of *Z. cucurbitae* on these three host fruits species. Among different cucumber varieties, *Z. cucurbitae* preferred to choose ‘A38Cuiyu’ to lay eggs, and the average number of eggs laid per day in the fruit with or without peel were 87.50 eggs and 53.75 eggs, respectively, which were significantly higher than that of *Z. tau* on three cucumber varieties. However, *Z. tau* prefer to lay eggs on ‘A38Cuiyu’ in the fruits without peel, and the average number of eggs laid per day was 44.25 eggs. For the same cucumber varieties, the average number of eggs laid per day by *Z. cucurbitae* on fruit with or without peel were significantly different, but there no significant difference was observed in the oviposition of *Z. tau* on two kinds of fruits. The pupal duration and emergence rate were affected by different host fruits at larval stage, and the oviposition selectivity of the two fruit flies to different varieties of the same host was different.

Key words *Zeugodacus cucurbitae*; *Zeugodacus tau*; growth development; oviposition selection; host adaptation

实蝇为双翅目 Diptera 实蝇科 Tephritidae 昆虫种类的泛称,全世界已知实蝇共约 500 属 5 000 种,其广泛分布于热带、亚热带和温带地区,在中国约有 400 种^[1]。瓜实蝇 *Zeugodacus cucurbitae* 与南亚实蝇 *Zeugodacus tau* 均隶属于簇果实蝇属 *Zeugodacus*,是我国为害果蔬的重要优势种^[1-2]。瓜实蝇分布于全球 58 个国家,在我国主要分布在广东、福建、四川、云南等南部的 9 个省份,可为害 19 科 61 种植物^[3]。南亚实蝇分布于全球 13 个国家,我国最早于 1849 年在福建省首次发现并报道^[4],迄今已分布于我国华中、华南、西南等地^[5-7]。其可为害 16 个科 80 余种植物^[8]。同其他实蝇一样,瓜实蝇及南亚实蝇均以雌成虫产卵器刺入寄主果实表皮内产卵和幼虫孵化后钻入果实内取食,造成果实腐烂或落果,给农业生产带来巨大的损失^[9-10]。目前,世界上包括我国在内的很多国家和地区都将瓜实蝇和南亚实蝇列为重要的检疫对象^[11]。由于实蝇幼虫在寄主果实中取食的隐蔽性,易随寄主果实调运远距离传播,极易造成实蝇的入侵和扩散,对我国农作物生产和生态造成巨大的威胁。瓜实蝇和南亚实蝇作为分类上同属的近缘种,都主要为害葫芦科植物,且适生区也接近,两者在田间通常混合发生^[6,12]。两者间的生物学和生态学特性均有待进一步探究。

昆虫寄主选择行为是昆虫行为生态研究的重要内容^[13]。一般对植食性昆虫而言,幼虫生存的营养资源靠雌成虫产卵选择所得,但寄主种类和复杂程

度影响昆虫的产卵行为。在长期的进化过程中,植食性昆虫对寄主植物的识别及对不同寄主植物的选择形成了一系列特殊的行为及机制^[14]。植食性昆虫对寄主植物的选择适应性是研究昆虫与植物协同进化关系的核心内容之一。评估寄主植物对植食性昆虫种群的适合度,需要综合分析昆虫对寄主的取食适合性及产卵选择性^[15]。研究表明,实蝇与寄主植物之间存在密切的营养关系,寄主植物对实蝇的生长发育和繁殖均有影响^[16-17]。周波等^[18]研究丝瓜、黄瓜、南瓜等 6 种寄主对南亚实蝇生长发育的影响,结果表明取食不同寄主其幼虫发育历期、存活率存在显著差异,但蛹存活率无显著差异;江昌木等^[19]用苦瓜、黄瓜、丝瓜饲养瓜实蝇,结果表明不同寄主饲养的瓜实蝇种群世代发育历期差异显著,存活率差异不显著;何超等^[20]研究南瓜、黄瓜、姜柄瓜等 6 种寄主果实对瓜实蝇和南亚实蝇子代发育的影响,结果表明两种实蝇的子代在不同寄主上的幼虫期和蛹期不同,存活率存在显著差异。以上研究不同寄主对实蝇生长发育的影响均为在实验室条件下将实蝇幼虫接于去果皮的小块寄主果实上进行。现实的问题是对于具有相似生态位的瓜实蝇和南亚实蝇,在田间共同寄主上混合发生时生长发育有何差异?对寄主果实的选择有何适应性特征?研究不同寄主对瓜实蝇和南亚实蝇幼虫生长发育的影响有助于揭示实蝇对寄主植物的选择适应性,且有助于预测实蝇种间的竞争作用。昆虫的产卵行为

在昆虫与寄主的协同进化中也起着重要作用^[21]。对植食性昆虫而言,成虫对不同产卵寄主植物的选择受诸多因素的影响,但总体原则是选择在最有利于其后代生活的寄主上产卵,故表现出一定的选择性^[22]。寄主的种类、表面结构及挥发物等均会对实蝇的产卵行为产生影响。彭帅等^[23]报道在 6 种葫芦科寄主上,瓜实蝇在取食同一寄主有、无果皮的两种果实时,产卵比率不同。张金龙等^[24]研究瓜实蝇与南亚实蝇在 7 种不同寄主上的产卵选择性时发现,两种实蝇对不同寄主果实的产卵选择有差异,在完好寄主和在去果皮寄主上的产卵量也不同。即使是同一种寄主,实蝇对不同品种也表现出不同的产卵选择性。例如,Rattanapun 等^[25]研究橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 对不同品种芒果的产卵选择发现其对‘Oakrong’的产卵选择高于‘Namdorkmai’。黄慧欣等^[26]探究了橘小实蝇对 5 个火龙果品种果实的产卵选择,明确了橘小实蝇对不同品种的火龙果存在不同产卵偏好性。目前,实蝇对同一寄主不同品种的研究工作主要集中在橘小实蝇上,对瓜实蝇和南亚实蝇在瓜果类不同品种的产卵选择性尚不明确。本研究拟在前人研究基础上,以瓜实蝇和南亚实蝇为研究对象,选取在我国栽培范围广、种植面积大的 3 种葫芦科重要蔬菜品种黄瓜 *Cucumis sativus*、丝瓜 *Luffa aegyptiaca* 和西葫芦 *Cucurbita pepo* 作为供试寄主植物。通过将两种实蝇的初孵幼虫分别接于温室中生长发育一致的不同寄主上,探究寄主对瓜实蝇与南亚实蝇幼虫生长发育的影响;通过测定两种实蝇成虫在 3 种不同品种的黄瓜有果皮和无果皮两种状态下的产卵量,探究寄主品种、果皮对两种实蝇成虫产卵选择性的影响。以期丰富对瓜实蝇和南亚实蝇寄主植物选择适应性的认知和寄主作物抗虫品种的选育提供试验依据,同时为实蝇类害虫的综合防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试昆虫

供试的瓜实蝇和南亚实蝇均采自云南省蒙自市草坝镇蔬菜园(103.24°E,23.30°N),菜园主要种植

黄瓜、西葫芦、丝瓜等,种植面积超过 6.67 hm²。在园内采集受害虫果带回置于养虫室,在温度(24±1)℃、相对湿度(70±5)%和光周期 L//D=14 h//10 h 条件下饲养。待成虫羽化后,分别将瓜实蝇和南亚实蝇成虫放入养虫笼(38 cm×38 cm×38 cm)内,用人工饲料继代饲养 5 代以上,建立实验室种群。成虫人工饲料为蔗糖和酵母按比例 1:1 混合,幼虫人工饲料主要由麦麸、酵母以及少量的微量元素制成^[10]。试验成虫均从羽化后的同一批实蝇中选择个体大小一致的雌雄虫供试。

1.1.2 供试寄主

1.1.2.1 用于观测两种幼虫生长发育的寄主植物

在云南农业大学植物保护学院温室种植黄瓜(品种为‘A38 翠玉’,下同)、丝瓜(‘耘农肉’)、西葫芦(‘玉脂’)。植物生长期间均不施用任何农药,每隔 3 d 浇 1 次水,保障其生长健康。记录每种植物每个果实开花日期,选择生长约 30 d 的成熟度一致、无损伤的嫩瓜嫩果作为供试寄主。

1.1.2.2 用于两种实蝇成虫产卵选择性试验的黄瓜品种

选择云南省蒙自市草坝镇地区种植面积较大的 3 个黄瓜品种,‘A38 翠玉’、‘台湾大黄瓜’和‘唐山秋瓜’,在云南农业大学植物保护学院温室内种植,从黄瓜开花期开始,分别记录 3 种黄瓜每个果实开花日期,选择花期相近,生长期约 30 d 的成熟度一致、无损伤的 3 个品种黄瓜果实作为供试寄主。

1.2 试验方法

1.2.1 不同寄主对瓜实蝇与南亚实蝇幼虫生长发育的影响

待瓜实蝇和南亚实蝇成虫处于产卵盛期时分别放入养虫笼内,同时将黄瓜切成 2 cm×2 cm×1 cm 的小块放入养虫笼中诱集实蝇产卵。1 h 后取出黄瓜块,分别收集 2 种实蝇的卵,并将虫卵用清水清洗后,分别放入盛有湿润滤纸的培养皿内,放置到温度(24±1)℃、湿度(70±5)%的恒温培养箱内备用。

40 h 后,将同一天孵化的幼虫连同培养皿一起带到温室,分别将黄瓜、丝瓜、西葫芦果实在远离瓜蒂端切开 1 cm×1 cm 的直角三角形切口,切口约深 1.5 cm,将带有外皮的切下部分削去部分果肉待用。

分别挑选活动能力相对较强的、健康的瓜实蝇和南亚实蝇初孵幼虫各 40 头,分别接到开口的寄主果肉上,再将切下的寄主果皮盖回原位,在接虫过程中将寄主果皮侧面分泌的胶质物用干净试纸擦净,避免接触幼虫虫体,防止寄主表皮分泌的胶状物包覆幼虫造成幼虫窒息死亡。

接虫后用细纱网袋套住瓜果,袋口用橡皮筋扎口密封。试验设置 4 次重复。接虫后从第 3 天开始,每天下午 17:00 观察寄主果实表面变化情况,详细观察并分别记录两种实蝇老熟幼虫跳出情况和化蛹数。分别将两种实蝇老熟幼虫和蛹转移至八角瓶中(瓶内盛有 3 cm 深的湿润细沙供老熟幼虫化蛹),用细纱网袋套住八角瓶,再在瓶口放置 5 张滤纸,每天用滴管润湿滤纸,以保持瓶内湿度。将八角瓶放置在温室,每天观察成虫羽化情况。记录两种实蝇幼虫和蛹的历期、化蛹率、羽化率和存活率等参数。存活率 = (羽化出的成虫数量/接入的幼虫数) $\times 100\%$ [27]。

1.2.2 瓜实蝇与南亚实蝇成虫对不同品种寄主的产卵选择性

寄主设置两种处理方法:1)寄主果皮完好:将 3 个不同品种的黄瓜果实分别用保鲜膜包裹,在每一瓜果中部仅将保鲜膜切开一个 2 cm $\times$ 2 cm 的正方形开口,备用;2)寄主削去果皮:将 3 个不同品种的黄瓜果实分别削去其中部 2 cm $\times$ 2 cm 的果皮,并用保鲜膜包裹,将去皮部位的保鲜膜切开,使果肉露出,备用,每次切前先将水果刀清洗擦拭干净。

试验设置 4 个处理。在 3 个寄主果皮完好处理的养虫笼(38 cm $\times$ 38 cm $\times$ 38 cm)内分别接入 20 头(10 雌 10 雄)羽化 40 d 的瓜实蝇和南亚实蝇成虫,分别记为处理 1 和处理 2;在 3 个寄主削去果皮处理的养虫笼内分别接入 10 对(雌、雄虫各 10 头)羽化 40 d 的瓜实蝇成虫和南亚实蝇成虫,分别记为处理 3 和处理 4。接虫 24 h 后,取出供试寄主。观察记录各寄主上实蝇的卵粒数量,每处理重复 4 次 [24]。

1.3 数据分析

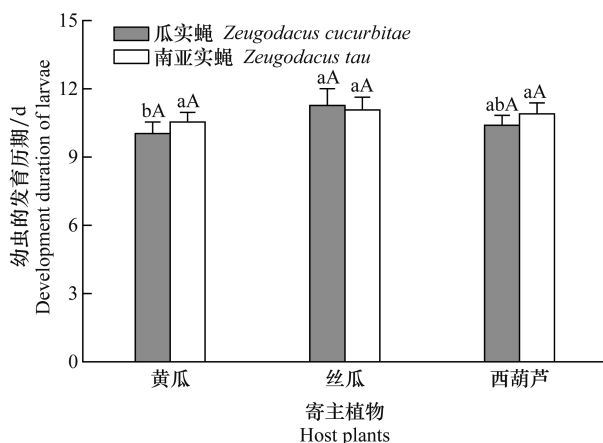
利用 Excel 2013 进行数据处理,用 DPS(7.05)软件和 SPSS(19.0)软件,选用 Duncan 氏新复极差

法进行单因素方差分析和相关性分析 [15]。

2 结果与分析

2.1 不同寄主对瓜实蝇和南亚实蝇幼虫生长发育的影响

取食不同寄主果实对瓜实蝇和南亚实蝇幼虫的发育历期有影响。瓜实蝇幼虫取食丝瓜时幼虫历期最长,平均为 11.27 d;其次为取食西葫芦,平均历期为 10.40 d;取食黄瓜的瓜实蝇幼虫历期最短,平均为 10.03 d ($F_{2,11} = 4.798, P = 0.038$)。南亚实蝇幼虫取食不同寄主果实后幼虫发育历期由长到短依次为:丝瓜(11.07 d) > 西葫芦(10.90 d) > 黄瓜(10.54 d),但三者间差异不显著 ($F_{2,11} = 1.206, P = 0.343$)。取食同一寄主果实的两种实蝇幼虫的发育历期差异均不显著(黄瓜: $F_{1,7} = 2.331, P = 0.177$;丝瓜: $F_{1,7} = 0.173, P = 0.692$;西葫芦: $F_{1,7} = 2.289, P = 0.181$) (图 1)。



图中的数据为平均值 $\pm$ 标准误,下同。柱子上方不同小写字母表示同种实蝇幼虫在取食不同寄主果实后幼虫的发育历期差异显著,不同大写字母表示不同种实蝇幼虫在取食同一寄主果实后幼虫的发育历期差异显著 ($P < 0.05$)

Data are mean $\pm$ SE in the chart. The same applies below. Different lowercase letters above the bars indicate that the larval development duration of the same fruit fly larvae feeding on different host fruits is significantly different. Different capital letters indicate that the larval development duration of different fruit fly larvae feeding on the same host fruit is significantly different ($P < 0.05$)

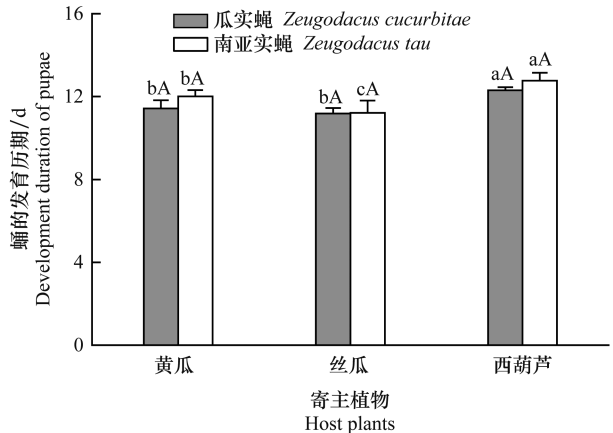
图 1 瓜实蝇和南亚实蝇幼虫在 3 种寄主植物果实上的发育历期

Fig. 1 Development duration of *Zeugodacus cucurbitae* and *Zeugodacus tau* larvae on fruits of three host plants

幼虫取食 3 种不同寄主果实对蛹的发育历期有一定影响。瓜实蝇幼虫取食西葫芦后蛹的历期明显延长,平均历期 12.30 d,显著长于取食黄瓜

(11.42 d)和丝瓜(11.18 d)的蛹期($F_{2,11}=16.092$, $P=0.001$)。南亚实蝇幼虫取食 3 种寄主果实后,蛹的发育历期从长到短依次为:西葫芦(12.77 d)>黄瓜(12.01 d)>丝瓜(11.21 d)($F_{2,11}=12.162$, $P=0.003$)。两种实蝇幼虫取食同一寄主果实后蛹的发育历期差异均不显著(黄瓜: $F_{2,11}=5.340$, $P=0.060$;丝瓜: $F_{2,11}=0.011$, $P=0.919$;西葫芦: $F_{2,11}=5.207$, $P=0.063$)(图 2)。

取食不同寄主果实对瓜实蝇和南亚实蝇幼虫的化蛹率、羽化率和存活率有不同程度的影响。2 种实蝇幼虫取食相同和不同寄主后化蛹率和存活率均无显著差异,分别介于 88.13%~94.38% 和 54.38%~64.37%(化蛹率: $F_{5,23}=1.115$, $P=0.387$;存活率: $F_{5,23}=2.471$, $P=0.072$)(表 1)。南亚实蝇在西葫芦上的羽化率显著高于瓜实蝇在黄瓜、丝瓜和西葫芦上的羽化率($F_{5,23}=3.358$, $P=0.026$)(表 1)。



柱子 上方不同小写字母表示同种实蝇幼虫在取食不同寄主植物后蛹的发育历期差异显著,不同大写字母表示不同种实蝇幼虫在取食同一寄主植物后蛹的发育历期差异显著($P<0.05$)
Different lowercase letters indicate that the pupal developmental durations of the same fruit fly feeding on different host fruits are significantly different. Different capital letters indicate that the pupal developmental duration of different fruit flies feeding on the same host fruit are significantly different ($P<0.05$)

图 2 瓜实蝇和南亚实蝇蛹在 3 种寄主植物果实上的发育历期
Fig. 2 Developmental duration of pupae of *Zeugodacus cucurbitae* and *Zeugodacus tau* on fruits of three host plants

表 1 瓜实蝇和南亚实蝇在 3 种寄主植物果实上的化蛹率、羽化率和存活率比较¹⁾

Table 1 Pupation rate, emergence rate and survival rate of <i>Zeugodacus cucurbitae</i> and <i>Zeugodacus tau</i> on fruit of three host plants				
实蝇种类 Species of fruit fly	寄主种类 Host species	化蛹率/% Pupation rate	羽化率/% Emergence rate	存活率/% Survival rate
瓜实蝇 <i>Zeugodacus cucurbitae</i>	黄瓜	(91.88±2.13)a	(59.14±2.54)b	(54.38±2.95)a
	丝瓜	(91.25±1.61)a	(63.64±1.63)b	(58.13±2.37)a
	西葫芦	(94.38±1.57)a	(63.65±1.73)b	(60.00±1.02)a
南亚实蝇 <i>Zeugodacus tau</i>	黄瓜	(90.00±3.06)a	(64.70±1.80)ab	(58.13±1.57)a
	丝瓜	(88.13±1.20)a	(64.75±2.59)ab	(57.50±2.70)a
	西葫芦	(91.25±1.61)a	(70.59±1.42)a	(64.37±1.20)a

1) 表中数据为平均值±标准误,下同。同列不同小写字母表示 2 种实蝇幼虫的化蛹率、羽化率和存活率差异显著($P<0.05$)。
Data in the table are mean±SE. The same applies below. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in pupation rate, emergence rate and survival rate between the two species of fruit fly larvae ($P<0.05$).

2.2 瓜实蝇与南亚实蝇对黄瓜不同品种的产卵选择性

瓜实蝇和南亚实蝇在 3 个黄瓜品种上的产卵量不同,且在相同品种有无果皮条件下的产卵量存在差异。在寄主果实果皮完好和去果皮的条件下,瓜实蝇在‘A38 翠玉’上的日均产卵量均最高,分别达 87.50 粒和 53.75 粒,均显著高于其他 2 个品种,同时也均显著高于南亚实蝇在 3 个黄瓜品种上的日均产卵量(带皮果实: $F_{5,23}=47.101$, $P=0.0001$;去皮果实: $F_{5,23}=30.908$, $P=0.0001$)(表 2)。南亚实蝇在 3 个黄瓜品种果实果皮完好的条件下,日均产卵量差异均不显著,但显著高于瓜实蝇在‘台湾大黄瓜’和‘唐山秋瓜’上的日均产卵量;南亚实蝇在 3 个

黄瓜品种果实去果皮的条件下,在‘A38 翠玉’上的日均产卵量最高,为 44.25 粒,显著高于南亚实蝇和瓜实蝇在‘台湾大黄瓜’和‘唐山秋瓜’的日均产卵量(表 2)。相同黄瓜品种的有无果皮两种状态相比,瓜实蝇在‘台湾大黄瓜’去果皮果实上的日均产卵量是带皮的 3.29 倍,在‘唐山秋瓜’去果皮果实上的日均产卵量是带皮的 2.51 倍;而‘A38 翠玉’在果皮完好条件下日均产卵量是无果皮的 1.63 倍,三者间差异显著(‘台湾大黄瓜’: $F_{1,7}=12.694$, $P=0.012$;‘唐山秋瓜’: $F_{1,7}=24.816$, $P=0.003$;‘A38 翠玉’: $F_{1,7}=48.514$, $P=0.0004$)(表 3)。但南亚实蝇在同一黄瓜品种的有无果皮两种供试方式下,日均产卵量均差异不显著(‘A38 翠玉’: $F_{1,7}=3.406$, $P=$

0.115; ‘台湾大黄瓜’: $F_{1,7}=0.568, P=0.479$; ‘唐山秋瓜’: $F_{1,7}=1.309, P=0.296$)(表2)。

表 2 瓜实蝇和南亚实蝇对不同品种黄瓜的产卵选择性¹⁾

Table 2 Oviposition selectivity of <i>Zeugodacus cucurbitae</i> and <i>Zeugodacus tau</i> to different cucumber varieties			
实蝇种类 Species of fruit fly	黄瓜品种 Cucumber variety	日均产卵量/粒 Egg production per day	
		带皮果实 Fruit with peel	去皮果实 Fruit without peel
瓜实蝇 <i>Zeugodacus cucurbitae</i>	A38 翠玉	(87.50±3.86)aA	(53.75±2.93)aB
	台湾大黄瓜	(7.00±3.94)cB	(23.00±2.16)dA
	唐山秋瓜	(12.25±2.81)cB	(30.75±2.43)cA
南亚实蝇 <i>Zeugodacus tau</i>	A38 翠玉	(36.25±3.97)bA	(44.25±1.75)bA
	台湾大黄瓜	(28.50±3.40)bA	(25.50±2.06)cdA
	唐山秋瓜	(37.75±6.25)bA	(30.50±1.04)cA

1) 同列数据后不同小写字母表示 2 种实蝇的日均产卵量差异显著;同行数据后不同大写字母表示实蝇在相同黄瓜品种有/无果皮条件下日均产卵量差异显著($P<0.05$)。
Different lowercase letters in the same column indicate that the egg production per day of the two species of fruit flies is significantly different. Different capital letters indicate that the egg production per day is significantly different in the fruits with or without peels of the same cucumber variety ($P<0.05$).

3 结论与讨论

昆虫的生长发育与不同寄主植物有关,其中昆虫幼虫期对食物的选择对其生长发育有重大影响^[28-29]。研究表明,在相同的环境条件下,寄主植物不同,昆虫幼虫期的生长发育会表现出一定的差异性,从而影响昆虫种群的增长^[30-31]。本研究结果表明,瓜实蝇幼虫取食黄瓜后幼虫的发育历期显著短于丝瓜。且幼虫期取食的寄主种类会对蛹期产生影响:瓜实蝇幼虫期取食西葫芦后,蛹的发育历期比取食黄瓜和丝瓜显著延长。南亚实蝇蛹在 3 种寄主植物果实上的发育历期差异显著,表现为取食西葫芦后蛹的发育历期最长,取食丝瓜后蛹的发育历期最短。结果与王文倩等^[32]在研究马铃薯块茎蛾 *Phthorimaea operculella* 幼虫取食不同寄主后蛹历期存在显著差异的结果一致,但与李引等^[33]的研究结果小菜蛾 *Plutella xylostella* 蛹历期与寄主种类的相关性不显著的结果存在差异。究其原因,昆虫蛹历期可能与昆虫种类和寄主植物种类共同相关。两种实蝇取食丝瓜后幼虫历期最长,但蛹历期最短。Burrack 等研究橄榄实蝇 *Bactrocera oleae*^[34]和刘慧等研究橘小实蝇和番石榴实蝇 *Bactrocera correcta*^[27]的结果表明,蛹历期与幼虫历期呈显著负相关,幼虫历期越短则其蛹历期越长,这与本文结果相一致,说明了在幼虫历期短的寄主上蛹历期较长。

发育历期的长短是衡量植食性昆虫寄主适合度的重要指标之一,植食性昆虫能够通过缩短世代历期等方式调节自身发育规律,实现快速发育^[35]。在

本研究中,取食不同寄主果实对瓜实蝇和南亚实蝇幼虫和蛹的发育历期造成了一定影响,但 2 种实蝇幼虫取食不同寄主后存活率均没有显著差异。Hafsi 等^[36]研究了 7 种实蝇在不同寄主植物上的蛹重、幼虫存活率与发育历期的关系,结果表明以实蝇完成生长发育所需时间短的寄主饲养出的实蝇蛹偏重、存活率高;苟玉萍^[37]研究不同寄主对异迟眼蕈蚊 *Bradysia difformis* 生物学参数的影响发现,在 4 种供试寄主植物中,在韭菜上的幼虫和蛹的发育历期短、存活率高,因此认为韭菜是最适合异迟眼蕈蚊幼虫生长发育的寄主植物。说明采用单一发育参数作为植食性昆虫与不同寄主植物间关系的评价指标会存在一定的片面性,应如何综合多项指标最终正确评价植食性昆虫对寄主植物的选择适应性及寄主植物对其种群的适合度还有待进一步研究。

产卵选择是昆虫对寄主定位的重要行为之一。在产卵过程中,昆虫必须利用外部环境所提供的线索选择适合产卵的寄主植物,包括寄主植物种类、颜色和气味等,才能完成正常的生活史、增加个体数量,繁衍种群^[38-39]。本研究中,瓜实蝇无论在果实完好还是去果皮情况下都偏好在‘A38 翠玉’品种的黄瓜果实上产卵,说明不同寄主品种是影响瓜实蝇产卵选择的重要因素之一。其他实蝇在相同寄主不同品种果实上产卵也存在类似现象^[25,40]。瓜实蝇和南亚实蝇对黄瓜不同品种果实的产卵选择产生差异的原因可能与不同品种间的理化特征存在差异有关。前人研究发现,相同种类不同品种寄主所含引诱性化学物质种类和数量不尽相同。例如,梁萌等^[41]探

究对枣实蝇 *Carpomya vesuviana* 有引诱作用的挥发性物质,发现 6 种枣果挥发物对枣实蝇雌虫的引诱效果不同。金菊等^[42]研究 5 个莲雾 *Syzygium samarangense* 品种果实挥发物对橘小实蝇的引诱作用,发现各品种间挥发物成分差异很大,因此对橘小实蝇的引诱效果不同。除寄主理化特征外,植食性昆虫自身生理条件也是影响产卵选择的重要因素^[43]。如在植食性昆虫的卵表面普遍存在寄主标记信息素现象^[44-45]。多种实蝇科害虫产卵后可释放寄主标记信息素来表明寄主果实已经被占据,从而调节对寄主果实的产卵选择行为^[46-47]。

两种实蝇成虫对不同黄瓜品种在有果皮情况下的产卵选择性研究结果表明,瓜实蝇在‘台湾大黄瓜’和‘唐山秋瓜’去果皮的条件下产卵量显著高于完整果实的产卵量,南亚实蝇的产卵选择性与果皮有无也存在一定的关联。这与 El-Gendy 等^[48]的研究结果基本一致,水果类寄主完整果实与去皮果实相比,去果皮后的果实硬度减小,果实内的桃实蝇 *Bactrocera zonata* 产卵孔数和产卵密度与果皮硬度成反比,即寄主果实的果皮硬度越小,越容易被实蝇侵染。李媛等^[49]研究橘小实蝇对不同成熟度三华李果实的产卵选择发现,果皮的硬度可显著影响橘小实蝇的产卵选择性;郭腾达等^[50]通过探究橘小实蝇在 3 种苹果上的产卵选择性,得到果皮薄、表面裂纹多的品种遭受橘小实蝇为害风险最大的结论。以上研究也表明寄主植物果实的果皮硬度与实蝇类害虫的产卵选择性相关,因此在实际生产中,建议在实蝇类害虫嗜好的作物抗性品种选育工作中,将作物果实的果皮硬度值考虑在内。在蔬菜园和果园管理中,及时清理落果,避免落果堆积腐败后果皮硬度变小;进行农事操作时,避免对果实造成机械损伤,为实蝇提供滋生场所。

参考文献

- [1] 高媛惠, 盖云鹏, 李斌, 等. 我国口岸截获实蝇疫情分析[J]. 植物检疫, 2016, 30(5): 68-71.
- [2] 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(4): 171-179.
- [3] 徐海根, 强胜. 中国外来入侵生物[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [4] WALKER F. List of the specimens of dipterous insects in collection of the British museum, part4 [M]. London: British Museum, 1849: 689-1172.
- [5] 林明光, 汪兴鉴, 曾玲, 等. 海南果疏实蝇种类、地理分布及危害调查[J]. 植物检疫, 2013, 27(5): 85-89.
- [6] 毛红彦, 赵岩, 丁华锋, 等. 河南省重要实蝇的种群动态监测[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(11): 77-83.
- [7] HUANG Yuyu, GU Xiangpeng, TAO Mei, et al. Effect of short-term high-temperatures on the growth, development and reproduction in the fruit fly, *Bactrocera tau* (Diptera: Tephritidae) [J/OL]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 6418. DOI: 10.1038/s41598-020-63502-w.
- [8] 张艳, 陈俊谕. 南亚果实蝇国内研究进展[J]. 热带农业科学, 2018, 38(11): 70-77.
- [9] 郑思宁, 魏炜. 四种重要实蝇类害虫对福建省造成的经济损失评估[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(2): 209-216.
- [10] HUANG Yuyu, GU Xiangpeng, PENG Xiaoqin, et al. Effect of short-term low temperature on the growth, development, and reproduction of *Bactrocera tau* (Diptera: Tephritidae) and *Bactrocera cucurbitae* [J]. Journal of Economic Entomology, 2020, 113(5): 2141-2149.
- [11] 陈乃中. 中国进境植物检疫性有害生物(昆虫卷)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [12] 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.
- [13] CUNNINGHAM J P. Can mechanism help explain insect host choice? [J]. Journal of Evolutionary Biology, 2012, 25(2): 244-251.
- [14] 董子舒, 张玉静, 段云博, 等. 植食性昆虫产卵寄主选择影响因素及机制的研究进展[J]. 南方农业学报, 2017, 48(5): 837-843.
- [15] 刘慧, 侯柏华, 张灿, 等. 桔小实蝇和番石榴实蝇对 6 种寄主果实的产卵选择适应性[J]. 生态学报, 2014, 34(9): 2274-2281.
- [16] 阿不都瓦哈·艾再孜, 阿地力·沙塔尔, 阿不都拉·艾克拜尔, 等. 不同食物和寄主植物对枣实蝇生长发育的影响[J]. 应用昆虫学报, 2017, 54(4): 615-620.
- [17] CASTILHO A P, PASINATO J, SANTOS J E V D, et al. Biology of *Bactrocera carambolae* (Diptera: Tephritidae) on four hosts [J]. Revista Brasileira de Entomologia, 2019, 63(4): 302-307.
- [18] 周波, 刘映红, 刘丽红. 不同食料对南亚实蝇生长发育及繁殖的影响[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2005, 27(3): 301-304.
- [19] 江昌木, 艾洪木, 赵士熙. 不同寄主营养条件下的瓜实蝇实验种群生命表[J]. 福建农业大学学报, 2006, 35(1): 24-28.
- [20] 何超, 孔琼, 袁盛勇, 等. 6 种寄主果实对南瓜实蝇和瓜实蝇产卵选择及其子代发育的影响[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(2): 316-322.
- [21] RENWICK J, CHEW F S. Oviposition behavior in Lepidoptera [J]. Annual Review of Entomology, 1994, 39(1): 377-400.
- [22] HOLLAND J N, BUCHANAN A L, LOUBEAU R. Oviposition choice and larval survival of an obligately pollinating gra-

- nivorous moth [J]. Evolutionary Ecology Research, 2004, 6 (4): 607–618.
- [23] 彭帅, 郑丽霞, 吴伟坚. 瓜实蝇对寄主植物的产卵选择性[J]. 环境昆虫学报, 2013, 35(2): 273–276.
- [24] 张金龙, 闫振华, 方薛交, 等. 瓜实蝇与南亚实蝇产卵选择性及种间竞争研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2017, 32(3): 427–431.
- [25] RATTANAPUN W, AMORNSAK W, CLARKE A R. *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.
- [26] 黄慧欣, 李媛, 黄爱玲, 等. 橘小实蝇对 5 个品种火龙果果实的产卵选择[J]. 果树学报, 2021, 38(3): 394–402.
- [27] 刘慧, 陈泽铭, 侯柏华, 等. 桔小实蝇和番石榴实蝇幼虫取食阶段的种内竞争[J]. 环境昆虫学报, 2015, 37(6): 1163–1169.
- [28] YANG Xiaofan, FAN F, MA Chunseng, et al. Effect of host plants on the development, survivorship and reproduction of *Graepholitha molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) under laboratory conditions [J]. Austral Entomology, 2016, 55(4): 433–438.
- [29] 中国植物保护学会. 第十一次全国会员代表大会暨 2013 年学术年会论文集[C]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2013.
- [30] 李定旭, 雷喜红, 李政, 等. 不同寄主植物对桃小食心虫生长发育和繁殖的影响[J]. 昆虫学报, 2012, 55(5): 554–560.
- [31] 王怡, 孔维娜, 郭永福, 等. 不同寄主植物对梨小食心虫幼虫龄数的影响[J]. 山西农业科学, 2018, 46(9): 1515–1521.
- [32] 王文倩, 郑亚强, 陈斌, 等. 基于年龄-阶段两性生命表的不同寄主对马铃薯块茎蛾生长发育和繁殖力的影响[J]. 植物保护学报, 2020, 47(3): 488–496.
- [33] 李引, 冷春蒙, 胡迪, 等. 不同寄主植物对小菜蛾生长发育和繁殖的影响[J]. 西北农业学报, 2019, 28(3): 475–480.
- [34] BURRACK H J, FORNELL A M, CONNELL J H, et al. Intraspecific larval competition in the olive fruit fly (Diptera: Tephritidae) [J]. Environmental Entomology, 2009, 38(5): 1400–1410.
- [35] GOGGIN F L. Plant-aphid interactions: molecular and ecological perspectives [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2007, 10(4): 399–408.
- [36] HAFSI A, FACON B, RAVIGNÉ V, et al. Host plant range of a fruit fly community (Diptera: Tephritidae): does fruit composition influence larval performance? [J/OL]. BMC Ecology, 2016, 16(1): 40. DOI: 10.1186/s12898-016-0094-8.
- [37] 苟玉萍. 不同寄主对异迟眼蕈蚊生物学参数及体内保护酶活性影响的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2015.
- [38] KRODER S, MESSING R H. A new parasitoid from Kenya, *Fopius ceratitivorus*, complements the extant parasitoid guild attacking Mediterranean fruit fly in Hawaii [J]. Biological Control, 2010, 53(2): 223–229.
- [39] 何超, 沈登荣, 尹立红, 等. 不同基质及颜色背景对井上蛀果斑螟产卵生物学的影响[J]. 植物保护, 2020, 46(5): 116–121.
- [40] 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.
- [41] 梁萌, 阿不都瓦哈·艾再孜, 阿地力·沙塔尔. 枣实蝇对枣果挥发物的选择行为[J]. 林业科学研究, 2020, 33(2): 145–153.
- [42] 金菊, 阮赞誉, 黄珍富, 等. 莲雾果实挥发物对橘小实蝇的引诱作用[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(3): 71–77.
- [43] LIENDO M C, PARRENO M A, PIETREK A G, et al. Infestation of fruit by conspecific and heterospecific females deters oviposition in two Tephritidae fruit fly species [J]. Journal of Applied Entomology, 2020, 144(8): 701–709.
- [44] XAVIER C, DONALD K, MWANASITI B, et al. Identification of glutamic acid as a host marking pheromone of the African fruit fly species *Ceratitis rosa* (Diptera: Tephritidae) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(38): 9933–9941.
- [45] BIRKE A, LOPEZ-RAMIREZ S, JIMENEZ-MENDOZA R, et al. Host marking pheromone and GFTM applied in a push-pull scheme reduce grapefruit infestation by *Anastrepha ludens* in field-cage studies [J]. Journal of Pest Science, 2020, 93(1): 507–518.
- [46] 赵静, 王华堂, 曾鑫年, 等. 卵表化合物对桔小实蝇产卵行为的影响[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(1): 89–94.
- [47] 陈国发, 闫峻, 王鹏, 等. 欧洲绕实蝇属昆虫信息化学物质及其应用研究进展[J]. 中国森林病虫, 2018, 37(6): 27–31.
- [48] EL-GENDY I R, DRAZ K A, EL-AW M A, et al. Interaction among peel hardness, fruit-age and gibberellic acid on infestation susceptibility of citrus fruits by peach fruit fly, *Bactrocera zonata* (Saunders) (Diptera: Tephritidae) [J]. African Entomology, 2020, 28(1): 125–132.
- [49] 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.
- [50] 郭腾达, 姜莉莉, 孙瑞红, 等. 橘小实蝇危害 3 种苹果的风险评估[J]. 果树学报, 2021, 38(2): 231–241.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 150 页)

- [20] 高东, 何霞红, 朱有勇. 元阳水稻地方品种多样性变化及换种规律研究[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(2): 311–313.
- [21] 董超, 徐福荣, 杨文毅, 等. 云南元阳哈尼梯田水稻地方品种‘月亮谷’的遗传变异分析[J]. 中国水稻科学, 2013, 27(2): 137–144.
- [22] 翟婉婉, 李雪萍, 徐返, 等. 云南水稻地方品种‘月亮谷’的群体多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(3): 423–432.
- [23] LIAO Jingjing, HUANG Huichuan, MEUSNIER I, et al. Pathogen effectors and plant immunity determine specialization of the blast fungus to rice subspecies [J/OL]. eLife, 2016, 5: e19377. DOI: 10.7554/eLife.19377.

(责任编辑: 杨明丽)