

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2023.03.004

桔小实蝇在黄瓜上连代饲养的种群适合度研究

亓方剑¹, 张童¹, 朱雁飞¹, 滕子文¹, 范银君¹,
孙鹏东¹, 万方浩^{1,2}, 周洪旭¹

1. 青岛农业大学 植物医学学院/山东省环境友好型农业有害生物防治工程技术研究中心/
山东省生物入侵与生态安全高校特色实验室/中澳农业与环境健康联合研究院, 青岛 266109;
2. 中国农业科学院 深圳农业基因组研究所, 深圳 518120

摘 要: 为评估桔小实蝇(*Bactrocera dorsalis*)对北方蔬菜的为害风险,本研究以北方温室
内大面积种植瓜类作物的黄瓜为桔小实蝇的寄主,人工饲料为对照,采用年龄-龄期两性生
命表的方法研究了该虫在黄瓜上连代饲养的适合度。结果表明,桔小实蝇可以在黄瓜上造
成为害,但连续多代在黄瓜上为害的可能性小,对黄瓜的适合度逐代降低。黄瓜种群的桔小
实蝇在成虫前存活率、雌雄虫寿命、产卵天数、繁殖力和种群数量等方面均低于人工饲料
种群,从适合度较高的寄主转移到黄瓜上连续取食繁殖 180 d 后,桔小实蝇数量增长倍数
(F1: 216 624.2; F2: 24 387.4; F3: 4 459.7)呈现逐代下降趋势。综上所述,桔小实蝇在黄
瓜上连代饲养的适合度逐渐降低,在瓜类作物上连代作为害的可能性较低,但极可能在嗜食
寄主缺乏时成为替代寄主,维持种群数量。因此,黄瓜等瓜类作物种植区应远离果园,并加
强其在瓜类作物上的监测,为桔小实蝇的预测预报和全面精准防控奠定坚实基础。

关 键 词: 桔小实蝇; 适合度; 两性生命表;
黄瓜; 种群预测

中图分类号: S436.421.2

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2023)03-0041-10

Study on Experimental Population Fitness of *Bactrocera dorsalis* Reared Continuously on Cucumbers

QI Fangjian¹, ZHANG Tong¹, ZHU Yanfei¹,
TENG Ziwen¹, FAN Yinjun¹, SUN Pengdong¹,
WAN Fanghao^{1,2}, ZHOU Hongxu¹

收稿日期: 2023-05-05

基金项目: 山东省重大科技创新工程项目(2019JZZY010711); 山东省自然科学基金青年项目(ZR2021QC153).

作者简介: 亓方剑, 本科, 主要从事入侵生物学研究.

通信作者: 周洪旭, 教授, 博士生导师.

1. College of Plant Health & Medicine, Qingdao Agricultural University/
Shandong Engineering Research Center for Environment-Friendly Agricultural Pest Management/
Shandong Province Laboratory for Biological Invasions and Ecological Security/
China-Australia Joint Institute of Agricultural and Environmental Health, Qingdao Shandong 266109, China;
2. Agricultural Genomics Institute at Shenzhen, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Shenzhen 518120, China

Abstract: *Bactrocera dorsalis* is a quarantine fruit and vegetable pest in many countries and regions in the world. In China, under the influence of climate and trade, *B. dorsalis* (Hendel) has been gradually spreading from south to north. Current studies have shown that *B. dorsalis* will cause serious damage to the main fruits production in northern China. In order to assess the risk of *B. dorsalis* on northern vegetables, this study took cucumbers, which are one of melon crops cultivated in a large area in greenhouses in northern China as the host and artificial diet as the control, and studied the fitness of *B. dorsalis* cultured in successive generations on cucumbers by age-stage two-sex life table method. The results showed that *B. dorsalis* could cause harm to cucumber, but the possibility of harm to cucumber by multiple generations was small and the fitness of *B. dorsalis* to cucumber decreased at each generation. The pre-adult survival rate, longevity of male and female, oviposition days, fecundity and population number of *B. dorsalis* of cucumber population were lower than those of artificial diet population. After 180 days of continuous feeding and reproduction on cucumber from a host with higher fitness, the multiples of number of *B. dorsalis* increased (F1: 216 624.2; F2: 24 387.4; F3: 4 459.7) showed a decreasing trend of generation to generation. In conclusion, the fitness of *B. dorsalis* in successive generations on cucumber gradually decreased, therefore, the possibility of damage by successive generations of *B. dorsalis* in melon crops was low. However, the melon crops were highly likely to become the substitute hosts of *B. dorsalis* to maintain the population in the absence of feeding host. Therefore, cucumber and other melon crops growing areas should be far away from orchards, and monitoring *B. dorsalis* on melon crops should be strengthened. This study laid a solid foundation for the prediction, forecast and comprehensive and accurate prevention and control of *B. dorsalis*.

Key words: *Bactrocera dorsalis*; fitness; age-stage two-sex life table; cucumber; population prediction

桔小实蝇(*Bactrocera dorsalis*), 属双翅目(Diptera), 实蝇科(Tephritidae)^[1], 别名柑桔小实蝇, 东方果实蝇等. 该虫寄主杂, 可为害柑桔、芒果、杨桃、番石榴、辣椒、红茄、丝瓜和苦瓜等 250 余种水果、蔬菜 and 坚果^[2]; 造成的危害极其严重, 据报道, 2020—2021 年桔小实蝇在云南省瑞丽市的西柚园里为害率达 95% 以上^[3], 在福建省连城县该虫为害果园的面积达 1 461 hm², 占结果树面积的 81.3%^[4].

在我国, 桔小实蝇自 1912 年在台湾省首次发现以来, 截至 2006 年前该虫仅分布在福建、广东、广西、海南、湖南、贵州、云南等南方省市和自治区^[5]. 随着全球气候的变化和经济的不断发展, 到 2010 年已在浙江^[6]、江西^[7]、安徽^[8]和湖北^[9]的大部分地区监测到桔小实蝇为害果实. 近 10 年来, 该虫在我国的传播扩散趋势迅猛, 2013 年报道桔小实蝇在北京房山为害枣、梨、西梅和李子等^[10], 2014 年报道在河北石家庄梨果内发现该虫的幼虫^[11], 2017 年报道陕西西安猕猴桃和葡萄园内诱集到桔小实蝇成虫^[12], 2019 年报道河南郑州、南阳、信阳等 9 个地市均能监测到该虫的发生^[13]. 因此, 桔小实蝇对我国北方的果蔬生产有极大的为害风险.

桔小实蝇在我国南方除为害柑桔、番石榴、杨桃、芒果和莲雾等嗜食水果外, 在蔬菜上也常见报道为害, 云南自蒙调查发现, 该虫在葫芦科的丝瓜和黄瓜上的为害率分别高达 58.35%

和 27.66%^[14]。葫芦科蔬菜在我国北方温室内广泛种植,尤其是山东寿光地区,该地种植面积广,目前已超过 6 667 hm²;因有越冬、早春、秋延 3 个种植茬口^[15],产量也位居全国前列,总产量可达 800 000 t^[16]。

近年来桔小实蝇越过长江,入侵到我国北方地区,当前已有研究表明,该虫在北方大面积种植的桃子、苹果等水果上连续 3 代均有较高的适合度,且在夏秋季有很大种群增长潜力^[17];以 10 粒卵为基础预测该虫在上述两种寄主上 90 d 后的种群增长情况,发现整个种群将分别增长 12 112 和 4 311 倍^[18]。但北方桃子和苹果在田间缺乏时,如冬季和春季,桔小实蝇在温室内瓜类作物上的为害尚不清楚,为探究在嗜食寄主缺乏时,该虫对瓜类作物的为害情况,本研究采用年龄-龄期两性生命表的方法对桔小实蝇在黄瓜上连续饲养 3 代,统计其生命表参数,并通过 TIMING-MSChart 对该虫的种群增长趋势进行预测,为桔小实蝇在我国北方蔬菜上的为害风险评估及其在北方全面精准防控奠定坚实基础。

1 材料与方法

1.1 试验昆虫

试验所需的桔小实蝇种群来自华南农业大学植物检疫与外来入侵害虫预防与控制创新团队,在室内连续饲养多代。转移到本实验室后,在(26±1)℃、(65±5)%相对湿度、16:8(L:D)h的人工气候室内按照 Cheng 等^[19]方法进行人工饲料饲养。饲养期间定期监测种群的孵化率、羽化率、产卵量等,以保持种群的稳定性。

1.2 寄主果实

试验中所使用的黄瓜购买自山东省青岛市城阳批发市场,全部符合农药残留监测和管理部门的规定,新鲜无病虫害。黄瓜购买后在无菌水中浸泡清洗 2 h,以防止农药残留影响试验结果。

1.3 生命表试验

1.3.1 取卵

在倒置的一次性扎孔纸杯(240 mL)内放置一个装有木瓜的 40 mL 塑料盒,然后放在有 200 对性成熟的桔小实蝇饲养笼里取卵 24 h。取卵完成后用毛笔将纸杯壁上的卵轻轻挑下,分别放在盛有幼虫人工饲料和黄瓜 60 mm 培养皿中,每个培养皿放 15 头卵,各处理 6 个重复。

1.3.2 桔小实蝇的发育历期

幼虫孵化后,用小毛笔将幼虫转移到新的含有对应食物的培养皿中单头饲养,并按照幼虫孵化顺序标记序号,每天查看幼虫的存活情况并更换食物。幼虫老熟后,将其转移至厚度 3 cm、湿度 65%的无菌土中化蛹,每天观察化蛹和蛹的状态。

1.3.3 桔小实蝇的寿命和产卵情况

将每天初羽化的成虫雌雄一一配对,然后放进带有黄瓜或人工饲料的成虫杯(由 200 mL 和 340 mL 塑料杯组成)内。若当天初羽化的雌虫多于雄虫,或试验中雄虫死亡,则从对应的种群中取雄虫进行配对,所选取的雄虫不需记录死亡时间;反之亦然,补充的雌虫不需记录死亡时间和产卵量。在桔小实蝇羽化 7 d 后开始用扎孔的一次性小纸杯(40 mL)取卵,每天观察成虫的存活情况,并更换纸杯,在体式显微镜下数纸杯上的卵粒数并进行记录。

1.4 种群预测

根据桔小实蝇在人工饲料和黄瓜上多代饲养的存活率、繁殖力和各阶段的历期等数据,以 10 粒卵为基础用 TIMING-MSChart 软件对该虫在 30 d,60 d,90 d,120 d,150 d,180 d 的种群增

长进行预测^[20-21].

1.5 数据分析

根据两性生命表理论^[22-23]分析所获得的原始数据. 原始数据利用 TWOSEX-MSChart 软件进行分析^[19-20, 22], 在 <http://140.120.197.173/Ecology/download/TWOSEX-MSChart.rar> 免费下载该程序. 对桔小实蝇在饲料和黄瓜上连续饲养 3 代的生活史参数和种群参数进行统计, 生活史参数包括成虫前时期、成虫前存活率、雌雄虫寿命、产卵天数、繁殖力、雌雄虫比例; 种群参数包括特定-龄期年龄存活率(s_{xj} , 个体由卵发育到年龄 x 龄期 j 的概率), 特定年龄存活率(l_x , 整个种群, 包括雌、雄桔小实蝇及未发育到成虫死亡的所有个体), 特定年龄繁殖力(m_x , 表示整个种群在年龄 x 的平均产卵量)^[20], 特定年龄-龄期生命期望值(e_{xj} , 年龄 x 龄期 j 的个体在未来的期望存活寿命生命期望值)^[24]. 所有参数均使用 10 万次重采样的 paired bootstrap 方法进行多重比较, 根据差异置信区间, 采用配对 paired bootstrap 检验来检测处理间差异^[25]. 用 SigmaPlot 12.0 绘制所有的图形.

2 结果与分析

2.1 桔小实蝇在饲料和黄瓜上连续 3 代的生活史参数比较

试验统计了桔小实蝇在饲料和黄瓜上连续 3 代的成虫前时期、成虫前存活率、雌雄虫寿命、雌虫比例(N_f/N)、雄虫比例(N_m/N)、繁殖力和产卵天数. 结果显示, 人工饲料种群的生活史参数均显著高于黄瓜种群, 桔小实蝇的成虫前存活率(F1: 37.78%; F2: 40.00%; F3: 23.33%)、繁殖力(F1: 440.59; F2: 195.00; F3: 220.30)和产卵天数(F1: 23.94 d; F2: 13.18 d; F3: 10.80 d)在黄瓜上的适合度显著下降, 第 3 代桔小实蝇生活史各项参数显著低于第 1 代水平, 表明在取食黄瓜后桔小实蝇的为害性逐代降低(表 1).

表 1 人工饲料与黄瓜连续 3 代桔小实蝇种群的生活史参数和标准误差

处理	成虫前时期 /d	成虫前存活率 /%	雌虫总寿命 /d	雄虫总寿命 /d	雌成虫性别占比	雄成虫性别占比	繁殖力	产卵天数/d
人工饲料	20.10±8.47a	84.38±3.72a	84.76±4.03a	81.97±5.19a	0.47±0.05a	0.38±0.05a	1 005.27±66.63a	44.18±3.31a
黄瓜第 1 代	23.44±0.28c	37.78±5.13b	64.95±3.94b	49.60±2.52bc	0.21±0.04b	0.17±0.04b	440.59±36.76b	23.94±2.14b
黄瓜第 2 代	21.75±0.21b	40.00±5.16b	65.17±3.04b	54.61±2.10b	0.20±0.04b	0.20±0.04b	195.00±40.84c	13.18±2.37c
黄瓜第 3 代	22.86±0.32c	23.33±4.45c	53.00±2.14c	45.20±2.11c	0.12±0.03b	0.11±0.03b	220.30±37.07c	10.80±1.49c

注: 同列数据后小写字母不同表示差异有统计学意义($p < 0.05$).

2.2 人工饲料与黄瓜连续 3 代参数比较

从图 1 可以看出, 桔小实蝇连续 3 代取食黄瓜, 各阶段存活率显著低于人工饲料种群, 取食黄瓜对桔小实蝇各阶段存活率有显著影响, 其幼虫期(F1: 51.11%; F2: 55.56%; F3: 51.11%)和蛹期(F1: 40.00%; F2: 43.33%; F3: 25.56%)的存活率显著降低, 这是表 1 中饲喂黄瓜后该虫成虫前存活率显著下降的重要原因. 同时, 取食黄瓜后该虫的成虫存活时间(F1: 70; F2: 66; F3: 39)逐代降低, 这是表 1 中饲喂黄瓜后该虫成虫产卵天数显著下降的重要原因.

图 2 显示, 取食人工饲料的桔小实蝇于第 30 d 开始产生繁殖力, 而取食黄瓜的桔小实蝇分别于第 40 d, 38 d, 41 d 产生繁殖力, 与人工饲料有显著差异. 同时, 取食黄瓜的桔小实蝇产生繁殖力的持续时间(F1: 52 d; F2: 46 d; F3: 21 d)逐代降低.

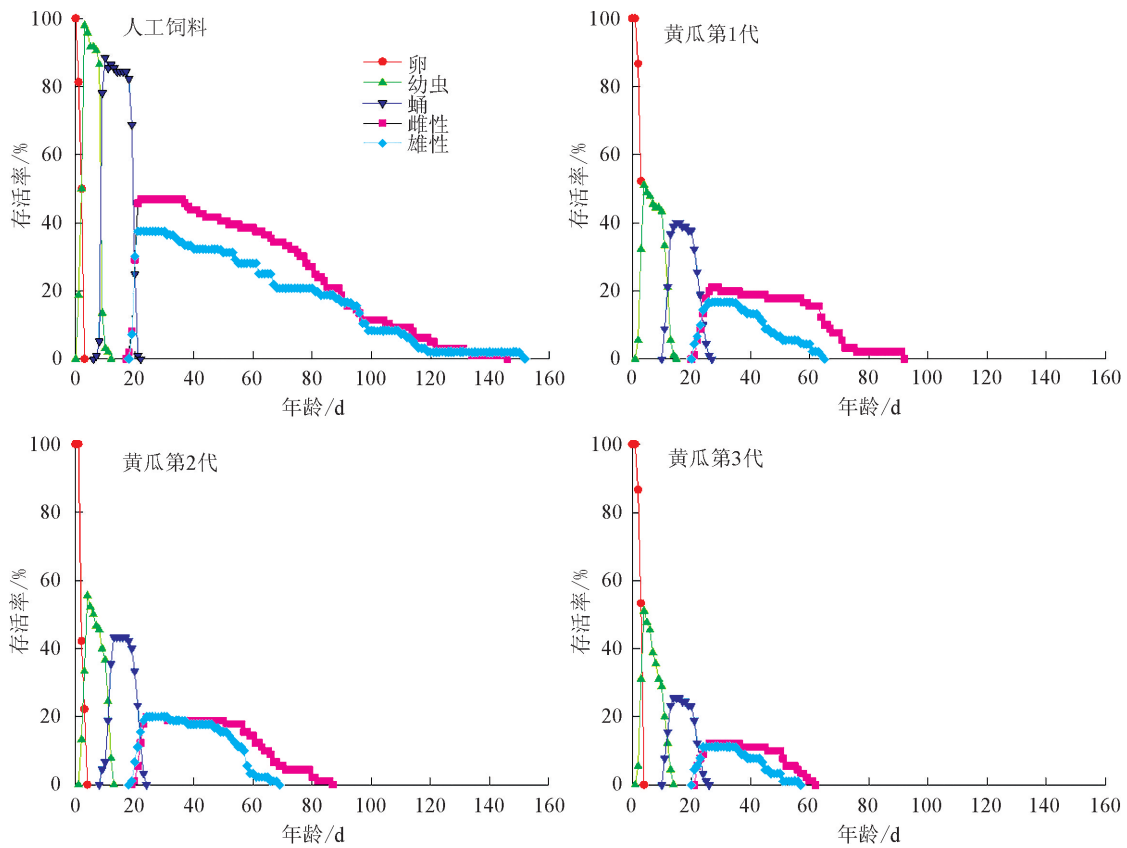


图 1 人工饲料与黄瓜连续 3 代桔小实蝇的年龄-龄期存活率曲线(s_{xj})

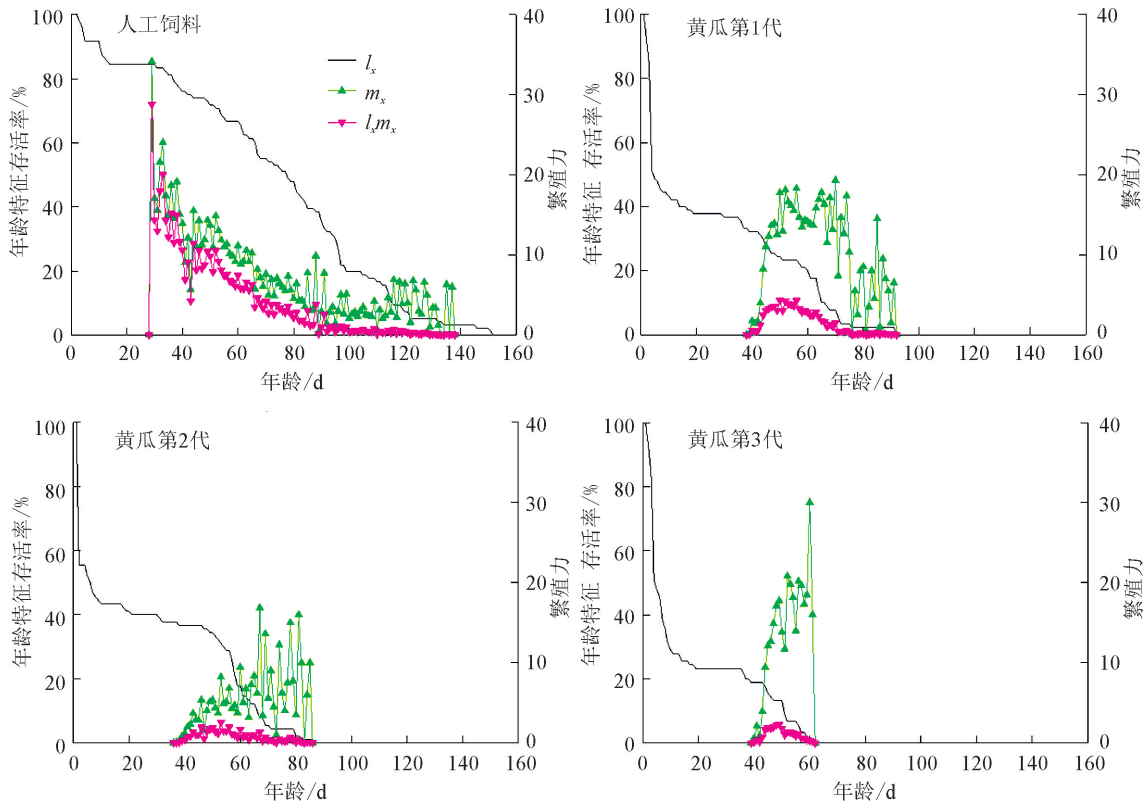


图 2 人工饲料与黄瓜连续 3 代桔小实蝇种群的年龄特征存活率(l_x)、种群年龄-龄期特征繁殖力(m_x)和年龄特征($l_x m_x$)参数

图3显示,当年龄为0时(e_{01}),预测桔小实蝇的生命期望.人工饲料种群的生命期望(71.69 d)显著高于黄瓜连续3代种群生命期望,并且在黄瓜种群内,第2代的桔小实蝇生命期望值(F2: 26.32 d)最高,其次是第1代(F1: 25.07 d),第3代最低(F3: 15.71 d),这与表1中的雌虫总寿命和雄虫总寿命是一致的.

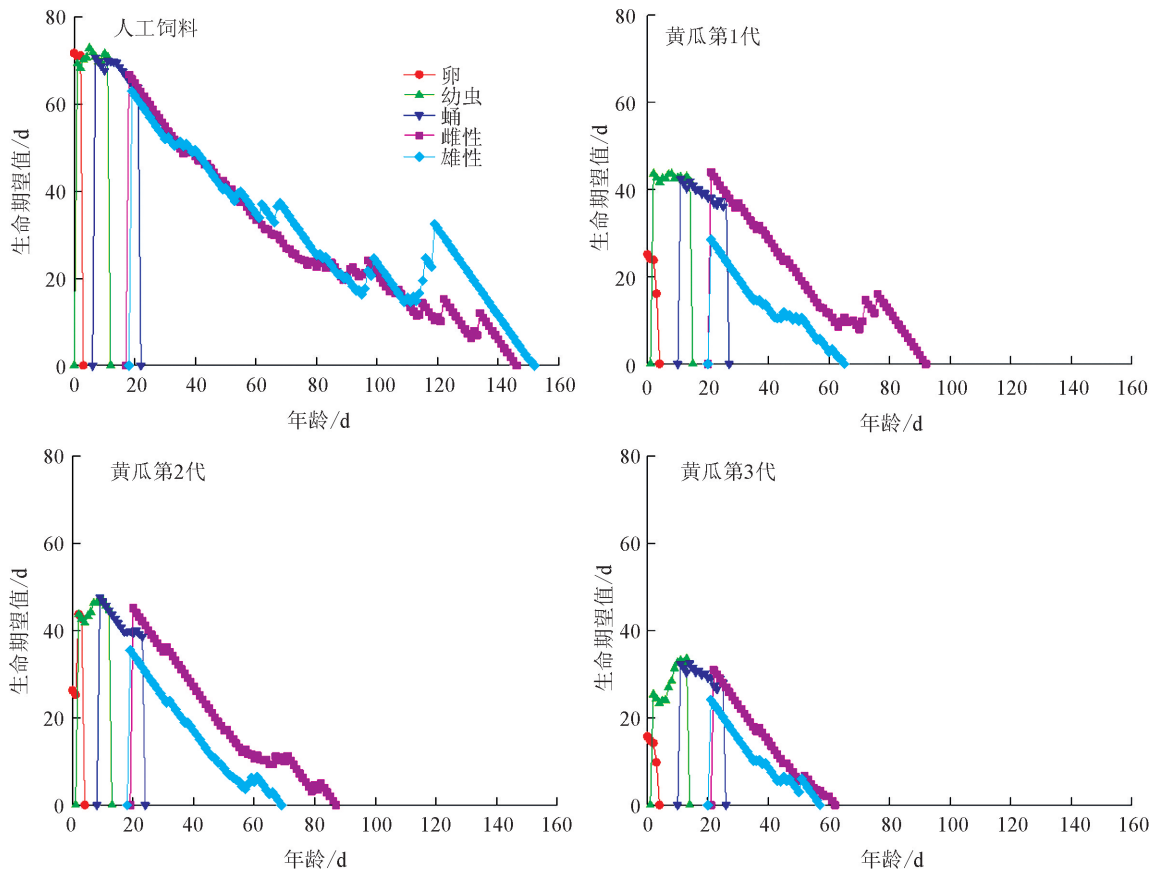


图3 人工饲料与黄瓜连续3代桔小实蝇种群特定年龄的预期寿命(e_{xj})

2.3 种群预测

每个种群以10粒卵为基础,用TIMING-MSChart程序来预测30 d, 60 d, 90 d, 120 d, 150 d和180 d后的种群数量,如表2所示.人工饲料种群成虫数量增长最快,在产卵后180 d共有2 984 138 765 644头成虫,黄瓜种群成虫数量逐代降低且与人工饲料种群有显著差异.黄瓜种群第1代2 166 242只,第2代243 874只,第3代数量最少,为44 597只,整个黄瓜种群的种群数量呈下降趋势.

表2 人工饲料与黄瓜连续3代在不同天数的种群数量预测

种群	30 d	60 d	90 d	120 d	150 d	180 d
人工饲料	296	11 298	968 682	144 267 415	21 836 332 930	2 984 138 765 644
黄瓜第1代	3	324	901	25 462	358 181	2 166 242
黄瓜第2代	4	134	492	5 154	49 706	243 874
黄瓜第3代	2	93	234	1 574	41 289	44 597

图4 桔小实蝇种群增长趋势表明,人工饲料种群增长速度最快,在180 d后种群数量为初始数量的298 413 876 564.4倍,黄瓜第1代数量为初始数量的216 624.2倍,黄瓜第2,3代的数量分别为初始数量的24 387.4倍和4 459.7倍,增长速度逐代降低,与表2中种群数量相符。

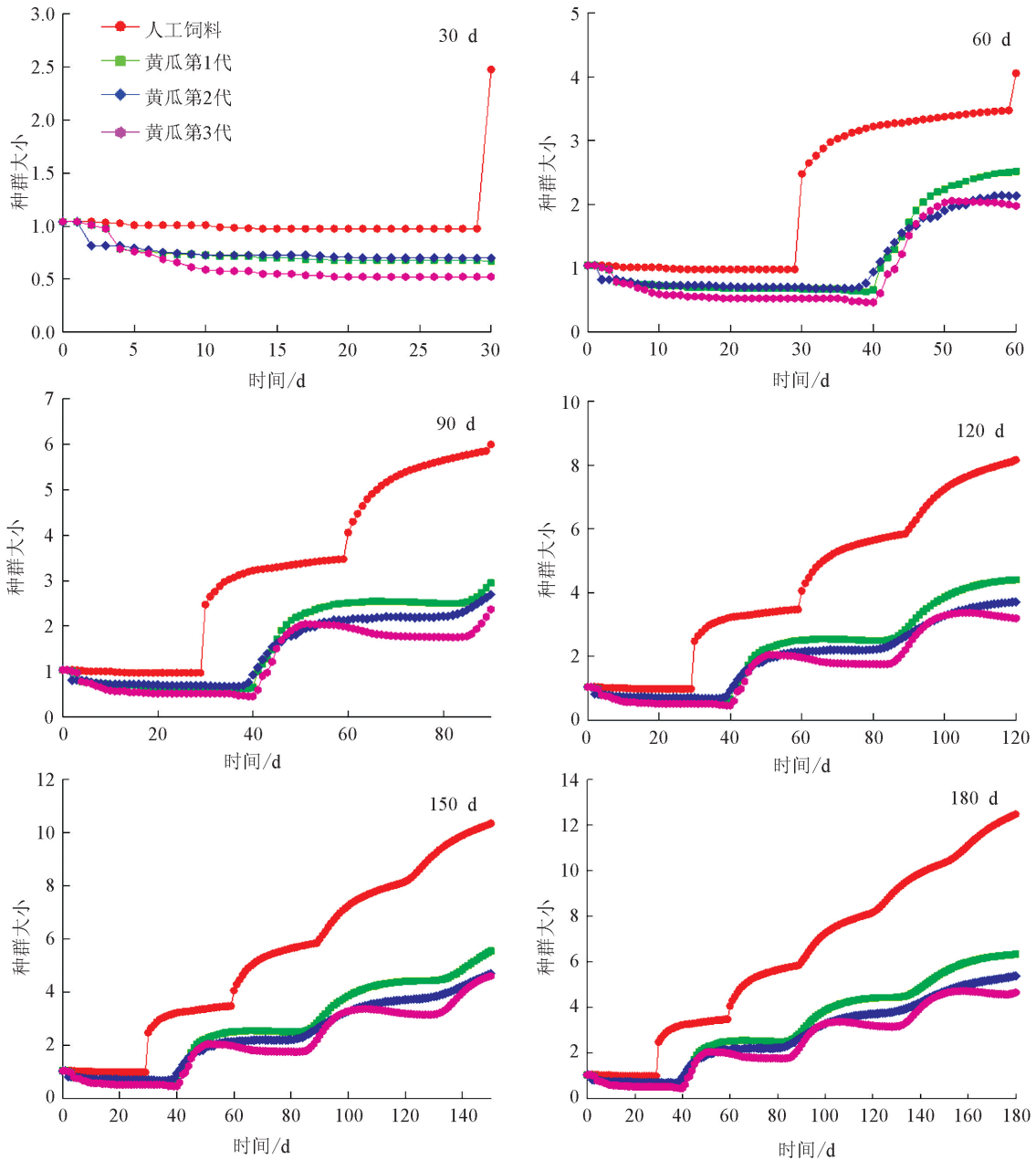


图4 人工饲料与黄瓜连续3代桔小实蝇种群在不同天数的种群预测

3 结论与讨论

寄主植物是影响植食性昆虫生存、生长、发育和繁殖力的重要因素。一般来说,如果一种昆虫的发育时间短,存活率高,并且在寄主植物上繁殖力强,则表明寄主植物适合该昆虫^[26]。随着桔小实蝇进一步入侵中国北方,为了阐明桔小实蝇是否对中国北方的黄瓜造成危害,本研究构建了桔小实蝇在黄瓜和人工饲料上的年龄阶段两性生命表,不仅考虑了传统的雌性特定年龄生

命表中通常被忽略的雄性个体,还充分考虑了个体昆虫之间的差异和一些成年前个体的死亡^[20, 22].

3.1 桔小实蝇对黄瓜的潜在适应性

以饲喂人工饲料的桔小实蝇为对照,构建以饲喂黄瓜的桔小实蝇连续3代的两性生命表.研究发现,桔小实蝇在黄瓜上连代为害的可能性小,但其第1代种群仍然会带来一定为害.每个年龄阶段的持续时间可以用来描述昆虫的发育时期^[27],生长周期越短,发育速度越快,表明昆虫对该寄主的适应性越强^[19].本研究发现,黄瓜种群的所有发育历期参数(如:卵期、幼虫期、蛹期和成虫期等)比人工饲料种群均显著增长,表明桔小实蝇在北方黄瓜上的发育速度较慢,对种群增长有明显不利影响.

在两性生命表的研究中,本文使用TIMING-MSChart程序分别以10粒卵预测了人工饲料和黄瓜连续饲养3代桔小实蝇种群在30,60,90,120,150和180d后的种群数量,结果表明,黄瓜连续3代种群数量在180d后分别为2 166 242,243 874,44 597头,显著低于人工饲料180d后的种群数量(2 984 138 765 644头),但黄瓜第1代种群仍有较大的数量,表明取食黄瓜后第1代桔小实蝇仍具有较大为害潜力.

3.2 桔小实蝇在黄瓜上的连代变化

本试验中用黄瓜连续3代饲养桔小实蝇,前2代桔小实蝇的成虫前存活率和雌雄虫寿命方面无显著性差异,显著高于第3代.同时,第2代成虫前时期显著短于第1,3代,不同宿主的成虫前持续时间(尤其是幼虫持续时间)的参数是昆虫直接损害的重要指标^[28],因此,第2代成虫前时期短,成虫出现时间早,容易转移到相邻近的嗜食寄主上产卵为害.桔小实蝇通常在表皮柔软的果实中产卵^[29],孵化出来的幼虫以果实内部的果肉为食,使未成熟的果实变黄并脱落.此外,该虫第2代成虫的雌成虫寿命和生命期望值显著高于第1,3代成虫,若第2代成虫转移到嗜食寄主上仍会造成严重为害.总体来看,第3代的各项参数与第1代有显著性差异,桔小实蝇在黄瓜上的适合度呈现逐代下降趋势.

据报道,果实中的一些营养物质、毒素、乳胶和树脂会抑制昆虫的生长、发育和生存^[29],例如,漆树科植物未成熟果实树脂中的酚抑制了未成熟桔小实蝇的存活^[30].同时,有研究证明梨小食心虫的产卵量与苹果含糖量成正比^[31],推测桔小实蝇在黄瓜上的增长倍数小于人工饲料极可能是因为黄瓜中含有桔小实蝇生殖所需的营养物质较少、该虫本身对物质转化不同或黄瓜内含有少量抑制该虫生殖的物质.但目前黄瓜影响桔小实蝇生殖的物质尚不明确,需要进一步深入研究.

3.3 桔小实蝇经黄瓜转主为害风险

以往研究表明,桔小实蝇对北方优势水果(如:桃子、苹果)为害风险极高,可以正常存活为害^[18].黄瓜是日中性作物,只要温度达到要求一年四季都可以种植,桃子和苹果的结果期一般在6—7月份,桔小实蝇在缺少寄主的情况下可将黄瓜作为维持其种群数量的过渡寄主,如果黄瓜的种植地点与果园距离过近,果园中的桔小实蝇能够扩散到黄瓜园对黄瓜造成一定为害,而且黄瓜上的第2代成虫也会转移至果园中为害.因此黄瓜等瓜类作物种植区应远离果园,切断其转主寄生途径,防止果园、瓜园之间的桔小实蝇相互传播扩散,利用农业种植措施有效防控桔小实蝇.

参考文献:

- [1] 张彬,刘映红,赵岚岚,等.桔小实蝇研究进展[J].中国农学通报,2008,24(11):391-397.

- [2] 张清源, 林振基, 刘金耀, 等. 桔小实蝇生物学特性 [J]. 华东昆虫学报, 1998, 7(2): 65-68.
- [3] 郭俊, 赖新朴, 王自然, 等. 滇西地区西柚园桔小实蝇的发生动态研究 [J]. 植物检疫, 2022, 36(5): 58-62.
- [4] 蒋日盛. 福建连城县桔小实蝇成灾原因与防治措施 [J]. 农业工程技术, 2022, 42(20): 38-39.
- [5] 梁光红, 陈家骅, 杨建全, 等. 桔小实蝇国内研究概况 [J]. 华东昆虫学报, 2003, 12(2): 90-98.
- [6] 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, 60.
- [7] 刘建宏, 邓中坚, 熊小真, 等. 橘小实蝇在江西省的潜在分布区预测 [J]. 湖北农业科学, 2011, 50(1): 87-91.
- [8] 金思明, 范晓惠, 汪文俊, 等. 东方果实蝇在安徽省的分布及生物学特性调查研究 [J]. 安徽农学通报, 2013, 19(7): 44-47, 96.
- [9] 胡凯平, 王建国, 杨海燕, 等. 诱捕器下南昌橘小实蝇雄性成虫种群发生特点 [J]. 江西农业大学学报, 2019, 41(4): 699-707.
- [10] 屈海学, 孙静双. 北京地区橘小实蝇的生活习性观察 [J]. 中国园艺文摘, 2013, 29(2): 51, 62.
- [11] 尹英超, 王勤英. 警惕北方果园新害虫—桔小实蝇 [J]. 河北农业, 2014(11): 48-49.
- [12] 梁靓, 李毅然. 陕西省桔小实蝇的风险性分析 [J]. 陕西林业科技, 2017(2): 46-48.
- [13] 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.
- [14] 闫振华, 张金龙, 方薛交, 等. 云南蒙自桔小实蝇寄主种类和枇杷园内桔小实蝇成虫种群动态及其影响因子 [J]. 生态学杂志, 2016, 35(11): 3037-3044.
- [15] 潘子龙, 郑同华, 潘子祥, 等. 山东寿光地区大棚黄瓜生产技术与更新 [J]. 农业工程技术, 2020, 40(25): 21-23.
- [16] 何启伟, 王晓群, 王永强, 等. 日光温室黄瓜高产栽培技术与光合特性的初步研究 [J]. 中国蔬菜, 2000(5): 5-9.
- [17] ZHU Y F, TAN X M, QI F J, et al. The Host Shift of *Bactrocera dorsalis*: Early Warning of the Risk of Damage to the Fruit Industry in Northern China [J]. Entomologia Generalis, 2022, 42(5): 691-699.
- [18] ZHU Y F, QI F J, TAN X M, et al. Use of Age-Stage, Two-Sex Life Table to Compare the Fitness of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) on Northern and Southern Host Fruits in China [J]. Insects, 2022, 13(3): 258.
- [19] CHENG D F, GUO Z J, RIEGLER M, et al. Gut Symbiont Enhances Insecticide Resistance in a Significant Pest, the Oriental Fruit Fly *Bactrocera dorsalis* (Hendel) [J]. Microbiome, 2017, 5(1): 13.
- [20] CHI H, LIU H. Two New Methods for the Study of Insect Population Ecology [J]. Bull Inst Zool Acad Sin, 1985, 24(2): 225-240.
- [21] CHI H. Timing of Control Based on the Stage Structure of Pest Populations: a Simulation Approach [J]. Journal of Economic Entomology, 1990, 83(4): 1143-1150.
- [22] CHI H. Life-Table Analysis Incorporating both Sexes and Variable Development Rates among Individuals [J]. Environmental Entomology, 1988, 17(1): 26-34.
- [23] CHI H, YOU M S, ATLHAN R, et al. Age-Stage, Two-Sex Life Table: an Introduction to Theory, Data Analysis, and Application [J]. Entomologia Generalis, 2020, 40(2): 103-124.
- [24] CHI H, SU H Y. Age-Stage, Two-Sex Life Tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and Its Host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with Mathematical Proof of the Relationship between Female Fecundity and the Net Reproductive Rate [J]. Environmental Entomology, 2006, 35(1): 10-21.
- [25] WEI M F, CHI H, GUO Y F, et al. Demography of *Cacopsylla chinensis* (Hemiptera: Psyllidae) Reared on Four Cultivars of *Pyrus bretschneideri* (Rosales: Rosaceae) and *P. communis* Pears with Estimations of Confidence Intervals of Specific Life Table Statistics [J]. Journal of Economic Entomology, 2020, 113(5): 2343-

2353.

- [26] AWMACK C S, LEATHER S R. Host Plant Quality and Fecundity in Herbivorous Insects [J]. *Annual Review of Entomology*, 2002, 47: 817-844.
- [27] DING H Y, LIN Y Y, TUAN S J, et al. Integrating Demography, Predation Rate, and Computer Simulation for Evaluation of *Orius Strigicollis* as Biological Control Agent Against *Frankliniella Intonsa* [J]. *Entomologia Generalis*, 2021, 41(2): 179-196.
- [28] MCCORMICK A C, ARRIGO L, EGGENBERGER H, et al. Divergent Behavioural Responses of Gypsy Moth (*Lymantria dispar*) Caterpillars from Three Different Subspecies to Potential Host Trees [J]. *Scientific Reports*, 2019, 9: 8953.
- [29] BALAGAWI S, VIJAYSEGARAN S, DREW R A I, 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.
- [30] 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.
- [31] WANG Y, KONG W N, ZHAO L L, et al. Methods to Measure Performance of *Grapholitha Molesta* on Apples of Five Varieties [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2018, 166(3): 162-170.

责任编辑 王新娟