

基于两性生命表评价取食柑橘木虱对六斑月瓢虫和龟纹瓢虫生长发育及种群的影响



周军辉^{1,2} 徐 腾¹ 李鹏雷¹ 黄 建¹ 王竹红^{1*}

(1. 福建农林大学植物保护学院, 福州 350002; 2. 新疆农业科学院植物保护研究所, 农业农村部西北荒漠作物有害生物综合治理重点实验室, 乌鲁木齐 830091)

摘要: 为有效防控重要害虫柑橘木虱 *Diaphorina citri*, 在实验室条件下测定取食柑橘木虱后六斑月瓢虫 *Cheilomenes sexmaculata* 和龟纹瓢虫 *Propylea japonica* 各虫态的发育历期, 利用构建的年龄-阶段两性生命表对取食柑橘木虱后六斑月瓢虫、龟纹瓢虫生长发育及其种群参数进行研究。结果显示, 取食柑橘木虱后六斑月瓢虫羽化前的发育历期为 14.80 d, 显著长于取食柑橘木虱后龟纹瓢虫的 14.41 d; 取食柑橘木虱后六斑月瓢虫和龟纹瓢虫产卵期分别为 15.88 d 和 10.23 d, 前者显著长于后者; 取食柑橘木虱后六斑月瓢虫净增殖率、内禀增长率和周限增长率分别为 25.48、0.10 d⁻¹ 和 1.10 d⁻¹, 取食柑橘木虱后龟纹瓢虫净增殖率、内禀增长率和周限增长率分别为 14.13、0.06 d⁻¹ 和 1.06 d⁻¹, 均低于取食柑橘木虱后六斑月瓢虫; 取食柑橘木虱后六斑月瓢虫和龟纹瓢虫的平均世代周期分别为 33.87 d 和 44.95 d, 前者显著短于后者。表明取食柑橘木虱后六斑月瓢虫和龟纹瓢虫均能完成整个世代, 且六斑月瓢虫种群增长优于龟纹瓢虫, 可大规模繁殖六斑月瓢虫, 可用于柑橘木虱的生物防治。

关键词: 六斑月瓢虫; 龟纹瓢虫; 柑橘木虱; 年龄-阶段两性生命表

Effects of *Diaphorina citri* feeding on the growth and development and population parameters of *Cheilomenes sexmaculata* and *Propylea japonica* based on two-sex life tables

Zhou Junhui^{1,2} Xu Teng¹ Li Penglei¹ Huang Jian¹ Wang Zhuhong^{1*}

(1. College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian Province, China;
2. Key Laboratory of Integrated Management of Harmful Crop Vermin of China Northwestern Oasis, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China)

Abstract: In order to effectively control Asian citrus psyllid *Diaphorina citri*, the developmental durations of *Cheilomenes sexmaculata* and *Propylea japonica* feeding on *D. citri* were measured under the laboratory conditions, and the growth, development and population parameters of *C. sexmaculata* and *P. japonica* were evaluated by the age-stage two-sex life tables. The results showed that the developmental duration of *C. sexmaculata* feeding on *D. citri* was 14.80 d, which was significantly longer than that of *P. japonica* (14.41 d). The oviposition period of *C. sexmaculata* and *P. japonica* feeding on *D. citri* were 15.88 d and 10.23 d, respectively, and the former were significantly longer than the latter. The net reproductive rate, intrinsic rate of increase and finite rate of increase of *C. sexmaculata* were 25.48, 0.10 d⁻¹

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201000)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: wzuhong@126.com

收稿日期: 2020-12-20

and 1.10 d^{-1} , respectively; the net reproductive rate, intrinsic rate of increase and finite rate of increase of *P. japonica* were 14.13, 0.06 d^{-1} , 1.06 d^{-1} , respectively, which were all lower than those of the former. However, the mean generation time of *C. sexmaculata* was 33.87 d, which was significantly shorter than that of *P. japonica* (44.95 d). The results suggested that *C. sexmaculata* and *P. japonica* feeding on *D. citri* could complete their whole generations, and the population growth of *C. sexmaculata* was better than that of *P. japonica*, which indicated that massive rearing of *C. sexmaculata* can be used for biocontrol of *D. citri*.

Key words: *Cheilomenes sexmaculata*; *Propylea japonica*; *Diaphorina citri*; age-stage two-sex life tables

柑橘木虱 *Diaphorina citri* 不仅是为害柑橘、柠檬和九里香等芸香科植物的重要害虫,而且是传播柑橘黄龙病的主要媒介昆虫 (Grafton-Cardwell et al., 2013; Wang et al., 2020)。柑橘木虱起源于亚洲,并向全球包括美洲在内的其他柑橘种植区蔓延 (孟华岳等, 2016), 20 世纪 40 年代在巴西首次发现柑橘木虱,随后扩散至美洲、非洲 (Pluke et al., 2008; 孟华岳等, 2016; Rwomushana et al., 2017), 并已在亚洲大多数国家广泛分布 (Chu et al., 2019; Wang et al., 2019)。柑橘木虱在世界各地迅速蔓延扩散,给柑橘黄龙病的防治带来巨大挑战 (Boina & Bloomquist, 2015)。目前,化学防治仍是降低柑橘木虱种群数量的首要策略 (Tang et al., 2021), 然而大量使用化学药剂不仅导致柑橘木虱抗药性增加,而且农药残留影响食品安全及自然天敌对害虫的控制作用 (Corallo et al., 2021)。为减少化学防治带来的诸多问题,生物防治成为柑橘木虱综合治理的重要手段,利用天敌昆虫以虫治虫是控制柑橘木虱有效可行的生物防控措施。六斑月瓢虫 *Cheilomenes sexmaculata* 和龟纹瓢虫 *Propylea japonica* 分布范围广,食性杂,是捕食柑橘木虱的重要天敌 (庞虹, 1991), 探讨柑橘木虱对这 2 种瓢虫生长发育及种群的影响,筛选有效天敌种类对于柑橘木虱的绿色防控具有重要意义。

生命表是研究昆虫种群消长的一种重要手段 (Yu et al., 2013), 在筛选天敌种类、评价天敌控害效能、研究天敌与害虫关系等方面广泛应用 (高尚坤和杨忠岐, 2015)。但传统生命表存在一定的局限性,其只描述了雌虫对种群的作用,而忽略了雄性个体发育与龄期变化对种群的影响,无法较精确地描述整个昆虫种群的变化 (Huang & Chi, 2012)。而年龄-阶段两性生命表除可以精确描述昆虫的龄期分化、性比对种群增长的影响外,还可区分总产卵前期与成虫产卵前期差异及种群的世代重叠 (王文倩等, 2020)。近几年,国内外学者利用年龄-龄期两性生命表研究了猎物对捕食性瓢虫生长发育的影响,进

而选择适宜防控害虫的天敌种类。如喻会平等 (2018) 利用年龄-龄期两性生命表研究了 3 种蚜虫对异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 生长发育和繁殖的影响,最终筛选豆蚜 *Aphis craccivora* 为饲养异色瓢虫的适宜食物; Farhadi et al. (2011) 通过年龄-龄期两性生命表研究了取食黑豆蚜 *Aphis fabae* 的多异瓢虫 *Hippodamia variegata* 的生长参数,结果表明多异瓢虫是防治黑豆蚜的理想天敌; Farooq et al. (2018) 运用年龄-龄期两性生命表对分别取食豆蚜 *Aphis craccivora*、萝卜蚜 *Lipaphis erysimi* 和桃蚜 *Myzus persicae* 的七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 的生长发育情况进行了研究,结果表明桃蚜是七星瓢虫生长发育较适宜的猎物; Arshad et al. (2020) 研究表明萝卜蚜比棉蚜 *A. gossypii* 更适宜大规模饲养毛斑长足瓢虫 *Ha. convergens*; Boopathi et al. (2019) 通过年龄-龄期两性生命表分析表明西南龟纹瓢虫 *P. dissecta* 对萝卜蚜有较好的田间防控效果。目前仅见利用年龄-龄期生命表分析取食蚜虫的六斑月瓢虫和龟纹瓢虫的相关研究 (Zhang et al., 2012; Abbas et al., 2020), 未见六斑月瓢虫和龟纹瓢虫以柑橘木虱为食物的研究报道。六斑月瓢虫和龟纹瓢虫是柑橘木虱重要的捕食性天敌,前期研究结果显示这 2 种瓢虫对柑橘木虱若虫均具有较好的捕食能力 (周军辉等, 2020a, b), 但对取食柑橘木虱对这 2 种瓢虫生长发育的影响尚不清楚。

本研究在实验室条件下利用年龄-龄期两性生命表研究不同龄期六斑月瓢虫和龟纹瓢虫取食柑橘木虱若虫后的生长发育状况和种群参数,以期筛选适宜的天敌种类对柑橘木虱进行绿色防控提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源: 柑橘木虱、六斑月瓢虫和龟纹瓢虫成虫于 2018 年均采自福建农林大学校园中的九里香

上,柑橘木虱在温度(27±3)℃、相对湿度(70±10)%的养虫室内用九里香饲养建立种群,取各龄期混合供试;六斑月瓢虫和龟纹瓢虫在温度(27±3)℃、相对湿度(70±10)%的养虫室内先用混合龄期的豆蚜若虫和成虫饲养建立种群,后用柑橘木虱混合龄期的若虫饲养1代,取雌雄成虫供试;豆蚜在温度(27±3)℃、相对湿度(70±10)%的养虫室内用豌豆苗饲养建立种群供试。

供试植物:将培育至30~40 cm高的九里香植株装入盆中,置于温度(27±3)℃、湿度(70±10)%的养虫室内培育,适时进行修剪,在嫩枝、嫩芽较多的植株上饲养柑橘木虱;在装有草炭土的长530 mm、宽270 mm的72孔穴盘中种入麻豌豆种子,每穴2粒,置于温度(27±3)℃、湿度(70±10)%的养虫室内培育,待其长出2片子叶时用于饲喂豆蚜,麻豌豆种子由田立方种业提供。

仪器:SZM45型体视显微镜,舜宇光学科技(集团)有限公司;PRX-250B型人工气候箱,宁波赛福实验仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 2种瓢虫的取食试验及两性生命表的建立

将10对六斑月瓢虫和10对龟纹瓢虫雌雄成虫分别放入直径为6 cm的培养皿中,培养皿中先放带3~4片新叶的九里香嫩枝,用混合龄期的柑橘木虱若虫饲养至其产卵。分别收集其在8 h内所产的卵块,放至温度为(25±1)℃、相对湿度(70±10)%、光周期16 L:8 D的人工气候箱中培育至孵化。分别挑取刚孵化的瓢虫幼虫放入带有混合龄期柑橘木虱若虫的新培养皿中饲养,每种瓢虫各100头,每天添加80~100头混合龄期的柑橘木虱若虫,并观察记录每种瓢虫的生长发育情况。瓢虫幼虫每蜕1次皮记为1个龄期,直至死亡。根据试验测定的数据通过两性生命表软件构建取食柑橘木虱后六斑月瓢虫和龟纹瓢虫的年龄-龄期两性生命表并计算相关参数(Fisher, 1958; Chi & Liu, 1985; Chi & Su, 2006)。

1.2.2 取食柑橘木虱对两种瓢虫种群参数的影响

根据1.2.1构建的年龄-龄期两性生命表计算取食柑橘木虱后六斑月瓢虫和龟纹瓢虫的种群参数,主要参数有内禀增长率、净增殖率、周限增长率和平均世代历期。

1.2.3 取食柑橘木虱对两种瓢虫存活率的影响

根据1.2.1构建的年龄-龄期两性生命表计算取食柑橘木虱后六斑月瓢虫和龟纹瓢虫年龄-龄期特

征存活率 s_{xy} 、种群年龄-龄期特征存活率 l_x 和雌成虫繁殖力 f_{xy} 。 s_{xy} 表示个体存活到年龄 x 、发育阶段 j 的概率; f_{xy} 表示雌成虫个体在年龄 x 、发育阶段 j 的产卵数,六斑月瓢虫和龟纹瓢虫成虫均处于其生长发育的第7阶段,所以标为 f_{x7} ; $l_x = \sum_{j=1}^k s_{xj}$,表示个体发育到年龄 x 的存活率。

1.2.4 取食柑橘木虱对两种瓢虫繁殖力的影响

根据1.2.1构建的年龄-龄期两性生命表计算取食柑橘木虱后六斑月瓢虫和龟纹瓢虫种群年龄-龄期特征繁殖力 m_x 和净繁殖力 $l_x m_x$ 。 m_x 表示整个种群

在年龄 x 的平均产卵量, $m_x = \frac{\sum_{j=1}^k s_{xj} f_{xj}}{\sum_{j=1}^k s_{xj}}$; $l_x m_x$ 表示种群

年龄-龄期特征存活率 l_x 和种群年龄-龄期特征繁殖力 m_x 的乘积。

1.2.5 取食柑橘木虱对两种瓢虫生殖力的影响

根据1.2.1构建的年龄-龄期两性生命表计算取食柑橘木虱后六斑月瓢虫和龟纹瓢虫年龄-龄期特征生殖力 v_{xy} 。 v_{xy} 表示个体在年龄 x 、发育阶段 j 为种群所做的贡献值, $v_{xy} = \frac{e^{r(x+1)}}{s_{xj}} \sum_{i=x}^{\infty} e^{-r(i+1)} \sum_{y=j}^k s'_{iy} f_{iy}$,其中, f_{iy} 表示年龄 i 发育阶段 y 的产卵量; s'_{iy} 表示年龄 i 发育阶段 y 的存活率; r 表示内禀增长率。

1.2.6 柑橘木虱对两种瓢虫寿命期望的影响

根据1.2.1构建的年龄-龄期两性生命表计算取食柑橘木虱后六斑月瓢虫和龟纹瓢虫年龄-龄期特征寿命期望值 e_{xy} 。 e_{xy} 表示个体在年龄 x 、发育阶段 j 存活的时间, $e_{xy} = \sum_{i=x}^{\infty} \sum_{y=j}^k s'_{iy}$ 。

1.3 数据分析

采用两性生命表软件TWOSEX-MSChart 2018对生命表参数进行计算,通过TWOSEX-MSChart软件中bootstrap技术计算分析各参数的平均数和标准误,使用100 000次重复的bootstrap技术对数据进行处理;使用Sigma plot 12.0软件制图。应用paired bootstrap test法对数据进行差异显著性检验(Huang et al., 2017)。

2 结果与分析

2.1 取食柑橘木虱对2种瓢虫生长发育的影响

取食柑橘木虱后六斑月瓢虫卵的发育历期为2.06 d,显著低于取食柑橘木虱后龟纹瓢虫卵的发育

历期。取食柑橘木虱后六斑月瓢虫 1~4 龄幼虫的总发育历期为 9.48 d, 长于取食柑橘木虱后龟纹瓢虫 1~4 龄幼虫的总发育历期(7.65 d), 除 2 龄幼虫外, 取食柑橘木虱后六斑月瓢虫其他龄期幼虫的发育历期均显著长于取食柑橘木虱后龟纹瓢虫的($P<0.05$)。取食柑橘木虱后六斑月瓢虫蛹的发育历期为 3.19 d, 显著短于取食柑橘木虱后龟纹瓢虫蛹发育历期(4.00 d, $P<0.05$)。取食柑橘木虱后六斑月瓢虫成虫

产卵前期和总产卵前期分别为 11.53 d 和 26.59 d, 分别显著短于取食柑橘木虱后龟纹瓢虫成虫产卵前期和总产卵前期(分别为 19.85 d 和 34.00 d, $P<0.05$)。取食柑橘木虱后六斑月瓢虫的产卵期为 15.88 d, 显著长于取食柑橘木虱后龟纹瓢虫产卵期(10.23 d, $P<0.05$, 表 1), 两者的总产卵量之间差异显著, 分别为 94.37 粒和 47.41 粒。

表 1 取食柑橘木虱对六斑月瓢虫和龟纹瓢虫生长发育及繁殖的影响

Table 1 Effects of feeding on *Diaphorina citri* on the growth, development and reproduction of *Cheilomenes sexmaculata* and *Propylea japonica*

虫期 Stage	六斑月瓢虫 <i>Cheilomenes sexmaculata</i>	龟纹瓢虫 <i>Propylea japonica</i>
卵 Egg/d	2.06±0.02 b	3.00±0.00 a
1 龄幼虫 1st instar larva/d	2.21±0.06 a	2.06±0.03 b
2 龄幼虫 2nd instar larva/d	1.39±0.07 a	1.47±0.12 a
3 龄幼虫 3rd instar larva/d	1.80±0.08 a	1.53±0.11 b
4 龄幼虫 4th instar larva/d	4.08±0.18 a	2.59±0.12 b
蛹 Pupa/d	3.19±0.09 b	4.00±0.08 a
羽化前期 Preadult/d	14.80±0.21 a	14.41±0.15 b
雄成虫寿命 Male adult longevity/d	25.03±3.60 b	60.37±7.38 a
雌成虫寿命 Female adult longevity/d	25.26±3.74 b	76.12±6.42 a
雄虫总寿命 Total longevity from egg to male adult/d	39.30±3.60 b	74.89±7.24 a
雌虫总寿命 Total longevity from egg to female adult/d	40.15±3.82 b	90.35±6.38 a
成虫产卵前期 Adult preoviposition period/d	11.53±1.35 b	19.85±1.10 a
总产卵前期 Total preoviposition period/d	26.59±1.44 b	34.00±1.01 a
产卵期 Oviposition/d	15.88±2.56 a	10.23±1.31 b
总产卵量 Total eggs of laying	94.37±21.43 a	47.41±8.35 b

表中数据为平均数±标准误。同行不同小写字母表示经 paired bootstrap test 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference at $P<0.05$ level by paired bootstrap test.

2.2 取食柑橘木虱对 2 种瓢虫种群参数的影响

取食柑橘木虱后六斑月瓢虫内禀增长率和周限增长率分别为 0.10 d^{-1} 和 1.10 d^{-1} , 分别显著高于取食柑橘木虱后龟纹瓢虫内禀增长率和周限增长率(分别为 0.06 d^{-1} 和 1.06 d^{-1} , $P<0.05$); 取食柑橘木虱后六斑月瓢虫平均世代周期为 33.87 d, 显著低于取食柑橘木虱后龟纹瓢虫平均世代周期(44.95 d, $P<0.05$),

表明取食柑橘木虱后六斑月瓢虫完成 1 个世代所用时间较少; 取食柑橘木虱后六斑月瓢虫的净增殖率为 25.48 与取食柑橘木虱后龟纹瓢虫的净增殖率差异不显著, 取食柑橘木虱后六斑月瓢虫的总繁殖率为 85.93, 显著高于取食柑橘木虱后龟纹瓢虫的总繁殖率(24.31, $P<0.05$, 表 2), 说明取食柑橘木虱后六斑月瓢虫种群增长趋势优于取食柑橘木虱后龟纹瓢虫。

表 2 取食柑橘木虱对六斑月瓢虫和龟纹瓢虫的种群参数的影响

Table 2 Effects of feeding on *Diaphorina citri* on population parameters of *Cheilomenes sexmaculata* and *Propylea japonica*

参数 Parameter	六斑月瓢虫 <i>Cheilomenes sexmaculata</i>	龟纹瓢虫 <i>Propylea japonica</i>
净增殖率 Net reproduction rate	25.48±7.04 a	14.13±3.75 a
总繁殖率 Gross reproductive rate	85.93±21.12 a	24.31±5.95 b
内禀增长率 Intrinsic rate of increase/ d^{-1}	0.10±0.01 a	0.06±0.01 b
平均世代周期 Mean generation time/d	33.87±1.45 b	44.95±1.53 a
周限增长率 Finite rate of increase/ d^{-1}	1.10±0.01 a	1.06±0.01 b

表中数据为平均数±标准误。同行不同小写字母表示经 paired bootstrap test 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference at $P<0.05$ level by paired bootstrap test.

2.3 取食柑橘木虱对2种瓢虫存活率的影响

取食柑橘木虱后六斑月瓢虫和龟纹瓢虫的存活率曲线均发生重叠, 2种瓢虫幼虫的存活率均高于其成虫, 雄成虫的存活率均高于其雌成虫的存活率, 且成虫的存活时间均高于其各龄期幼虫(图1)。取食柑橘木虱后, 除了3龄和4龄幼虫外, 龟纹瓢虫其他龄期幼虫和成虫的存活率均高于取食柑橘木虱后六斑月瓢虫相应虫态的存活率, 且成虫的存活时间

长于六斑月瓢虫(图1)。

取食柑橘木虱后六斑月瓢虫和龟纹瓢虫种群年龄-龄期特征存活率 l_x 均随年龄增长而降低, 其中取食柑橘木虱后六斑月瓢虫在0~20 d时曲线下下降较陡, 而取食柑橘木虱后龟纹瓢虫在0~20 d和100~120 d均下降较陡。在0~20 d时间段内, 取食柑橘木虱后龟纹瓢虫存活率高于取食柑橘木虱后六斑月瓢虫存活率(图2)。

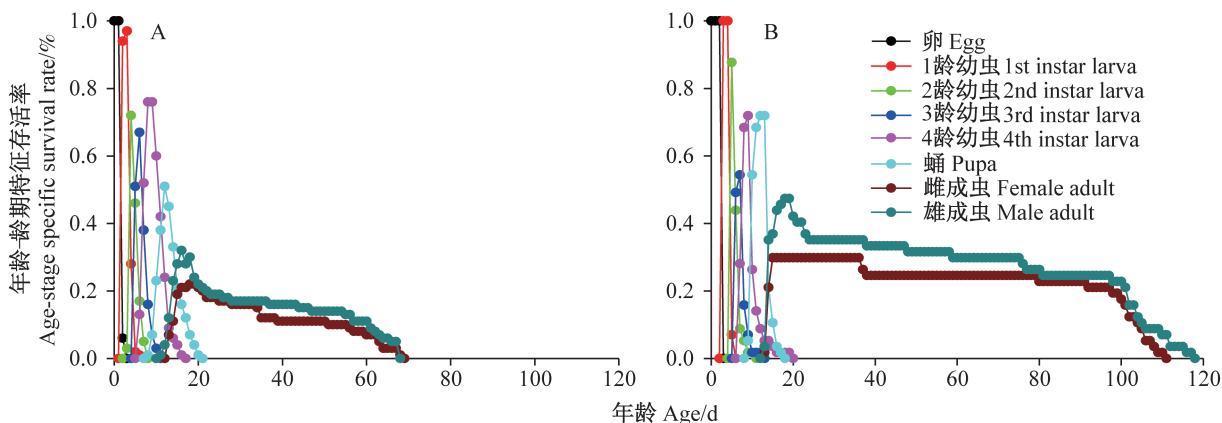
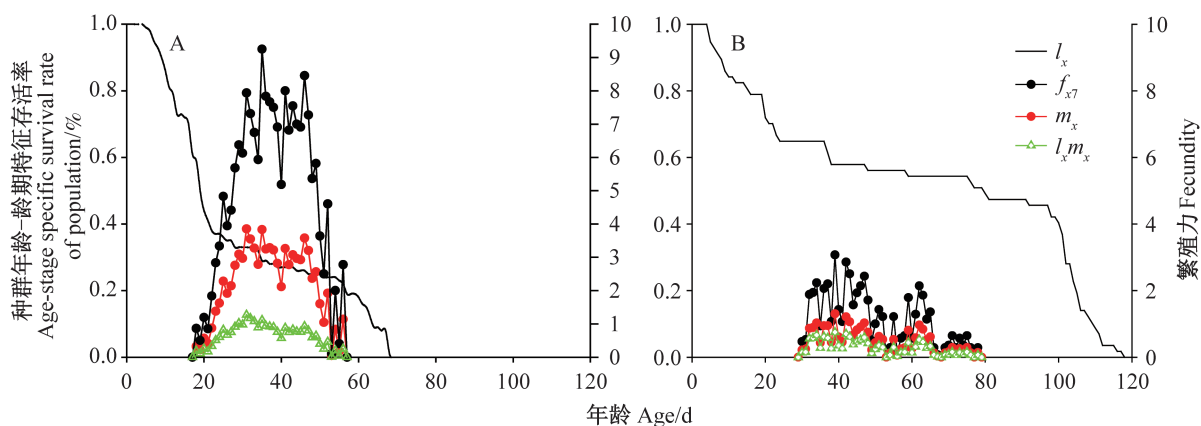


图1 取食柑橘木虱的六斑月瓢虫(A)和龟纹瓢虫(B)的年龄-龄期特征存活率曲线

Fig. 1 Age-stage specific survival rate curves of *Cheilomenes sexmaculata* (A) and *Propylea japonica* (B) feeding on *Diaphorina citri*



l_x 、 m_x 、 $l_x m_x$: 种群年龄-龄期特征存活率、繁殖力和净繁殖力; f_{x7} : 雌成虫繁殖力。

l_x 、 m_x 、 $l_x m_x$: Age-stage specific survival rate, fecundity and net fecundity of population; f_{x7} : fecundity of female adult.

图2 取食柑橘木虱的六斑月瓢虫(A)和龟纹瓢虫(B)种群年龄-龄期特征存活率和繁殖力曲线

Fig. 2 Age-stage specific survival rate, fecundity curves of *Cheilomenes sexmaculata* (A) and *Propylea japonica* (B) populations feeding on *Diaphorina citri*

2.4 取食柑橘木虱对2种瓢虫繁殖力的影响

取食柑橘木虱后六斑月瓢虫与龟纹瓢虫雌成虫繁殖力 f_{x7} 和种群年龄-龄期特征繁殖力 m_x 均呈现先上升后下降的趋势。取食柑橘木虱后六斑月瓢虫 f_{x7} 和 m_x 在第35天时达到最大值, 分别为9.25和3.83; 而取食柑橘木虱后龟纹瓢虫 f_{x7} 和 m_x 在第39天时达到最大值, 分别为3.07和1.30(图2)。

2.5 取食柑橘木虱对2种瓢虫生殖力的影响

取食柑橘木虱后六斑月瓢虫和龟纹瓢虫的初产卵生殖力分别为1.10和1.06(图3)。随着年龄和发育龄期的增加, 生殖力在六斑月瓢虫和龟纹瓢虫各个龄期的峰值呈上升趋势。取食柑橘木虱后六斑月瓢虫年龄-龄期特征生殖力在第35天达到峰值, 为61.56, 而取食柑橘木虱后龟纹瓢虫年龄-龄期特征

生殖力在第38天达到峰值,为22.51(图3)。

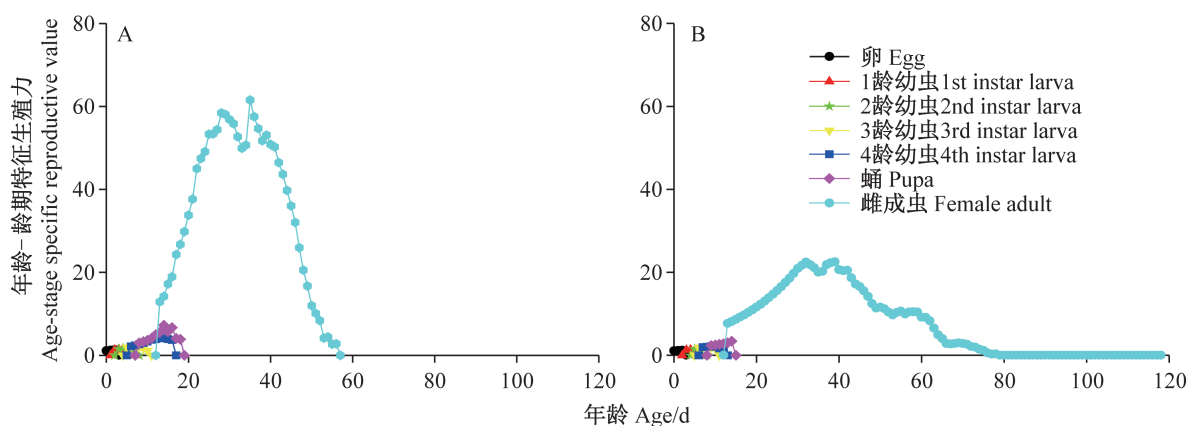


图3 取食柑橘木虱的六斑月瓢虫(A)和龟纹瓢虫(B)年龄-龄期特征生殖力曲线

Fig. 3 Age-stage specific reproductive value curves of *Cheilomenes sexmaculata* (A) and

Propylea japonica (B) feeding on *Diaphorina citri*

2.6 取食柑橘木虱对2种瓢虫寿命期望的影响

取食柑橘木虱后六斑月瓢虫和龟纹瓢虫的年龄-龄期特征寿命期望值均随年龄的增长而下降,

其中取食柑橘木虱后六斑月瓢虫的下降趋势大于取食柑橘木虱后龟纹瓢虫,且寿命期望值明显低于龟纹瓢虫(图4)。

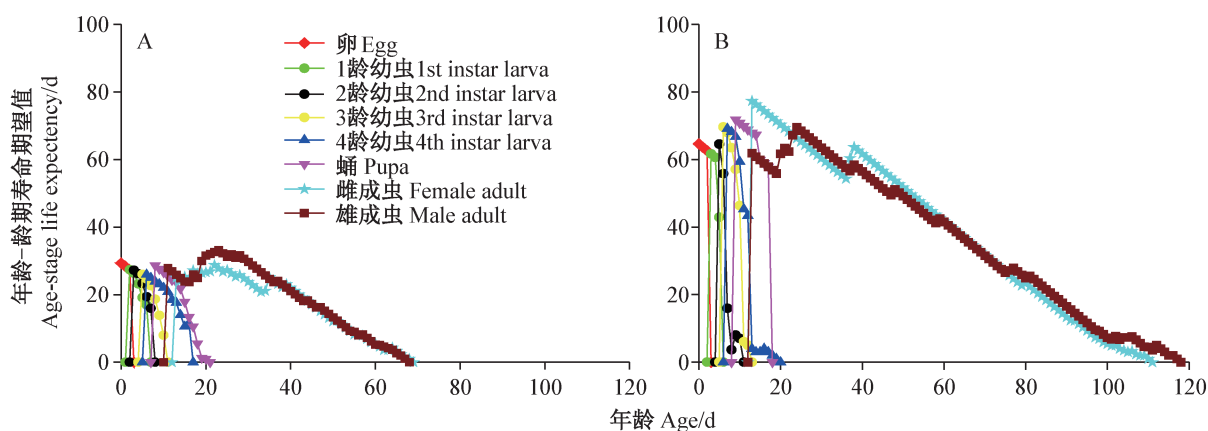


图4 取食柑橘木虱的六斑月瓢虫(A)和龟纹瓢虫(B)年龄-龄期特征寿命期望值曲线

Fig. 4 Age-stage life expectancy curves of *Cheilomenes sexmaculata* (A) and *Propylea japonica* (B) feeding on *Diaphorina citri*

3 讨论

六斑月瓢虫和龟纹瓢虫在我国分布广泛,猎物范围广,是生物防治中理想的自然天敌,对柑橘木虱具有很好的捕食作用(庞虹,1991)。本研究利用年龄-龄期两性生命表方法探讨了取食柑橘木虱后六斑月瓢虫和龟纹瓢虫的生长发育情况,结果表明取食柑橘木虱后六斑月瓢虫和龟纹瓢虫均能完成世代发育,取食柑橘木虱后六斑月瓢虫幼虫和蛹的发育历期均分别高于取食柑橘木虱后龟纹瓢虫的,这可能是瓢虫种类和体型大小所致。取食柑橘木虱后六斑月瓢虫的平均世代周期低于取食柑橘木虱后龟纹瓢虫的,且总产卵量高于取食柑橘木虱后龟纹瓢

虫的,表明其种群繁衍速率更快。取食柑橘木虱后龟纹瓢虫的存活率、期望寿命明显高于取食柑橘木虱后六斑月瓢虫的,表明其控害时效长。以上结果表明这2种瓢虫均可以作为天敌昆虫用于防治柑橘木虱,其中六斑月瓢虫种群增长优于龟纹瓢虫,可更好地进行大规模饲养。

唐良德等(2017)通过种群生命表方法探究了取食不同猎物后六斑月瓢虫的生长发育情况,研究结果表明蚜虫是六斑月瓢虫较适宜的猎物,其中玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis* 是六斑月瓢虫最适宜的猎物;取食玉米蚜后六斑月瓢虫整个世代的发育历期为16.40 d,本研究发现取食柑橘木虱后六斑月瓢虫总产卵前期为26.59 d,大于唐良德等(2017)的研究

结果。唐良德等(2017)报道取食玉米蚜后六斑月瓢虫净增殖率、内禀增长率和平均世代周期分别为290.281、0.134 d⁻¹和42.428 d,均高于本研究结果,究其原因可能是玉米蚜更适合六斑月瓢虫的生长发育,但其仅研究了雌性个体对种群的影响,而忽略了雄性个体生长发育变化对种群的作用。本研究通过两性生命表对取食柑橘木虱后六斑月瓢虫雄性个体的生长发育也进行了研究,这将对将六斑月瓢虫用于防控害虫具有指导作用。Abbas et al.(2020)通过两性生命表报道了六斑月瓢虫较适宜的食物为麦双尾蚜 *Diuraphis noxia*, 饲喂麦双尾蚜后六斑月瓢虫每头雌成虫产卵量为316.8粒,显著高于本研究结果,这种差异可能是猎物种类不同所致。Chi & Yang(2003)在实验室条件下运用两性生命表研究了取食桃蚜后龟纹瓢虫的生长发育及繁殖情况,结果表明取食桃蚜后龟纹瓢虫卵和蛹发育历期分别为3.0 d和4.2 d,与本研究结果中取食柑橘木虱后龟纹瓢虫卵和蛹的发育历期(3.0 d和4.0 d)基本一致,但取食桃蚜后龟纹瓢虫幼虫、雌成虫和雄成虫发育历期分别为6.9、52.7和54.7 d,均低于本研究结果。Chi & Yang(2003)报道取食桃蚜后龟纹瓢虫周限增长率、内禀增长率和净增殖率分别为1.12 d⁻¹、0.112 d⁻¹和67.6,均高于本研究结果;取食桃蚜后龟纹瓢虫平均世代周期为37.5 d,低于本研究结果(44.95 d)。Zhang et al.(2012)报道了取食豆蚜后龟纹瓢虫羽化前的发育历期为9.9 d,明显低于本研究结果(14.41 d),且前者雌成虫产卵期为59.3 d,也明显大于本研究结果(10.23 d),究其原因可能是猎物种类、猎物自身的营养物质以及天敌对猎物适宜度不同。

本研究仅在实验室条件下进行,而温度、湿度和光周期等环境因子以及寄主植物、农药等因素均影响昆虫种群变化(Azadi Dana et al., 2018; Barbosa et al., 2019; Feng et al., 2019),今后将关注其他生物和非生物因素对六斑月瓢虫和龟纹瓢虫种群变化的影响。本研究仅评估了取食柑橘木虱后这2种捕食性瓢虫生长发育情况,在后续研究中还应与蚜虫这一较适宜猎物进行比较。本研究仅利用年龄-龄期两性生命表方法探讨了取食柑橘木虱对六斑月瓢虫和龟纹瓢虫生长发育的影响,但未对这2种瓢虫的捕食量进行分析,因此无法预测取食柑橘木虱后六斑月瓢虫和龟纹瓢虫的种群增长情况,尚待进一步研究。

参 考 文 献 (References)

Abbas K, Zaib MS, Zakria M, Hani UE, Zaka SM, Ane MNU. 2020.

Cheilomenes sexmaculata (Coccinellidae: Coleoptera) as a potential biocontrol agent for aphids based on age-stage, two-sex life table. *PLoS ONE*, 15(9): e0228367

- Arshad M, Ullah MI, Shahid U, Tahir M, Khan MI, Rizwan M, Abrar M, Niaz MM. 2020. Life table and demographic parameters of the coccinellid predatory species, *Hippodamia convergens* Guérin-Ménéville (Coleoptera: Coccinellidae) when fed on two aphid species. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 30(1): 1–8
- Azadi Dana E, Sadeghi A, Güncan A, Khanjani M, Babolhavaei H, Maroufpoor M. 2018. Demographic comparison of the *Tetranychus urticae* Koch. (Acari: Tetranychidae) reared on different cultivars of strawberry. *Journal of Economic Entomology*, 111(6): 2927–2935
- Barbosa LR, Santos F, Soliman EP, Rodrigues AP, Wilcken CF, Campos JM, Zanuncio AJV, Zanuncio JC. 2019. Biological parameters, life table and thermal requirements of *Thaumastocoris peregrinus* (Heteroptera: Thaumastocoridae) at different temperatures. *Scientific Reports*, 9: 10174
- Boina DR, Bloomquist JR. 2015. Chemical control of the Asian citrus psyllid and of Huanglongbing disease in citrus. *Pest Management Science*, 71(6): 808–823
- Boopathi T, Singh SB, Dutta SK, Dayal V, Singh AR, Chowdhury S, Ramakrishna Y, Shakuntala I, Lalhrupuii K. 2019. Biology, predatory potential, life table, and field evaluation of *Propylea dissecta* (Coleoptera: Coccinellidae), against *Lipaphis erysimi* (Hemiptera: Aphididae) on broccoli. *Journal of Economic Entomology*, 113(1): 88–97
- Chi H, Liu H. 1985. Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica*, 24(2): 225–240
- Chi H, Su HY. 2006. 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. *Environmental Entomology*, 35(1): 10–21
- Chi H, Yang TC. 2003. Two-sex life table and predation rate of *Propylea japonica* Thunberg (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae). *Environmental Entomology*, 32(2): 327–333
- Chu CC, Hoffmann M, Braswell WE, Pelz-Stelinski KS. 2019. Genetic variation and potential coinfection of *Wolbachia* among widespread Asian citrus psyllid (*Diaphorina citri* Kuwayama) populations. *Insect Science*, 26(4): 671–682
- Corallo AB, Pechi E, Bettucci L, Tiscornia S. 2021. Biological control of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) by Entomopathogenic fungi and their side effects on natural enemies. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31: 15
- Farhadi R, Allahyari H, Chi H. 2011. Life table and predation capacity of *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae). *Biological Control*, 59(2):

- 83–89
- Farooq M, Shakeel M, Ifthikhar A, Shahid MR, Zhu X. 2018. Age-stage, two-sex life tables of the lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on different aphid species. *Journal of Economic Entomology*, 111(2): 575–585
- Feng WB, Bong LJ, Dai SM, Neoh KB. 2019. Effect of imidacloprid exposure on life history traits in the agricultural generalist predator *Paederus* beetle: lack of fitness cost but strong hormetic effect and skewed sex ratio. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 174: 390–400
- Fisher RA. 1958. The genetical theory of natural selection. New York: Dover Publication Inc.
- Gao SK, Yang ZQ. 2015. Application of life table in pest biological control. *Chinese Journal of Biological Control*, 31(2): 256–263 (in Chinese) [高尚坤, 杨忠岐. 2015. 生命表技术在害虫生物防治中的应用. *中国生物防治学报*, 31(2): 256–263]
- Grafton-Cardwell EE, Stelinski LL, Stansly PA. 2013. Biology and management of Asian citrus psyllid, vector of the Huanglongbing pathogens. *Annual Review of Entomology*, 58: 413–432
- Huang HW, Chi H, Smith CL. 2017. Linking demography and consumption of *Henosepilachna vigintioctopunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Solanum photeinocarpum* (Solanales: Solanaceae): with a new method to project the uncertainty of population growth and consumption. *Journal of Economic Entomology*, 111(1): 1–9
- Huang YB, Chi H. 2012. Age-stage, two-sex life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae) with a discussion on the problem of applying female age-specific life tables to insect populations. *Insect Science*, 19(2): 263–273
- Meng HY, Wen YJ, Xu HH. 2016. Chemical control of *Diaphorina citri* and Huanglongbing disease. *World Pesticides*, 38(1): 21–31 (in Chinese) [孟华岳, 文英杰, 徐汉虹. 2016. 亚洲柑橘木虱和柑橘黄龙病的化学防治. *世界农药*, 38(1): 21–31]
- Pang H. 1991. A study on the predation of three ladybird beetles (Coleoptera: Coccinellidae) on the adults of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). *Natural Enemies of Insects*, 13(4): 186–188 (in Chinese) [庞虹. 1991. 三种瓢虫对木虱成虫的捕食量观察. *昆虫天敌*, 13(4): 186–188]
- Pluke RWH, Qureshi JA, Stansly PA. 2008. Citrus flushing patterns, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) populations and parasitism by *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) in Puerto Rico. *Florida Entomologist*, 91(1): 36–42
- Rwomushana I, Khamis FM, Grout TG, Mohamed SA, Sétamou M, Borgemeister C, Heya HM, Tanga CM, Nderitu PW, Seguni ZS, et al. 2017. Detection of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) in Kenya and potential implication for the spread of Huanglongbing disease in East Africa. *Biological Invasions*, 19(10): 2777–2787
- Tang LD, Li F, Zhao HY, Wu JH, Ren SX. 2017. Influence of three prey species on the development and fecundity of *Menochilus sexmaculata* Fabricius. *Acta Ecologica Sinica*, 37(17): 5765–5770 (in Chinese) [唐良德, 李飞, 赵海燕, 吴建辉, 任顺祥. 2017. 六斑月瓢虫取食不同猎物的生长发育及繁殖特性. *生态学报*, 37(17): 5765–5770]
- Tang T, Zhao MP, Wang P, Huang SK, Fu W. 2021. Control efficacy and joint toxicity of thiamethoxam mixed with spirotetramat against the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama. *Pest Management Science*, 77(1): 168–176
- Wang RL, Yang H, Luo W, Wang MT, Lu XL, Huang TT, Zhao JP, Li Q. 2019. Predicting the potential distribution of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Kuwayama), in China using the Max-Ent model. *PeerJ*, 7: e7323
- Wang WQ, Zheng YQ, Chen B, Phangthavong S, Xiao GL. 2020. Effects of different host plants on the growth, development and fecundity of potato tuber moth *Phthorimaea operculella* based on the age-stage two-sex life table. *Journal of Plant Protection*, 47(3): 488–496 (in Chinese) [王文倩, 郑亚强, 陈斌, Phangthavong S, 肖关丽. 2020. 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. *植物保护学报*, 47(3): 488–496]
- Wang ZB, Gao CH, Liu JL, Zhou WW, Zeng XN. 2020. Host plant odours and their recognition by the odourant-binding proteins of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae). *Pest Management Science*, 76(7): 2453–2464
- Yu HP, Wang Z, Long GY, Yang H. 2018. Effects of three prey species on development and oviposition of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Plant Protection*, 44(4): 105–109 (in Chinese) [喻会平, 王召, 龙贵云, 杨洪. 2018. 三种猎物对异色瓢虫生长发育和繁殖的影响. *植物保护*, 44(4): 105–109]
- Yu JZ, Chi H, Chen BH. 2013. Comparison of the life tables and predation rates of *Harmonia dimidiata* (F.) (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) at different temperatures. *Biological Control*, 64(1): 1–9
- Zhang SZ, Li JJ, Shan HW, Zhang F, Liu TX. 2012. Influence of five aphid species on development and reproduction of *Propylaea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae). *Biological Control*, 62(3): 135–139
- Zhou JH, Li PL, Naiwuzhati Z, Zheng HN, Huang J, Wang ZH. 2020b. Functional response and predation preference of ladybeetle *Propylaea japonica* to Asian citrus psyllid *Diaphorina citri*. *Journal of Plant Protection*, 47(5): 1062–1070 (in Chinese) [周军辉, 李鹏雷, 乃吾扎提·祖农, 郑卉娜, 黄建, 王竹红. 2020b. 龟纹瓢虫对柑橘木虱的捕食功能反应及猎物偏好性. *植物保护学报*, 47(5): 1062–1070]
- Zhou JH, Li PL, Zheng HN, Huang J, Wang ZH. 2020a. Functional response of *Menochilus sexmaculata* (Fabricius) on the nymph of *Diaphorina citri* Kuwayama. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 49(3): 295–299 (in Chinese) [周军辉, 李鹏雷, 郑卉娜, 黄建, 王竹红. 2020a. 六斑月瓢虫对柑橘木虱若虫的捕食功能反应. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 49(3): 295–299]

(责任编辑:张俊芳)