3 种蚜虫对方斑瓢虫适合度及种群增长的影响

段佳辰[1,2]， 戴长春[2,3]， 路 伟[1]， 陆宴辉[2*]

（1. 新疆农业大学农学院，乌鲁木齐 830052；2. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害生物学国家重点实验室，北京 100193；3. 东北农业大学农学院，哈尔滨 150030）

摘要 方斑瓢虫是新疆农田常见的天敌昆虫之一，具有重要的控害潜能和应用前景。本文利用生命表技术探讨了棉蚜、桃蚜和豌豆修尾蚜对方斑瓢虫生长发育、存活率、繁殖力、寿命和种群数量增长趋势的影响。结果表明，与饲喂豌豆修尾蚜的方斑瓢虫种群相比，饲喂棉蚜和桃蚜的种群幼虫发育历期和平均世代周期更短，存活率、雌虫产卵量、卵孵化率、成虫寿命、内禀增长率、周限增长率和种群趋势指数更高。饲喂棉蚜、桃蚜和豌豆修尾蚜的方斑瓢虫幼虫存活率分别为 85.83%、88.33%和 50.83%，单雌产卵量分别为 516.71、439.95 粒和 209.00 粒，以棉蚜和桃蚜为食的幼虫存活率和雌虫产卵量均显著高于以豌豆修尾蚜为食的种群；取食棉蚜、桃蚜和豌豆修尾蚜的方斑瓢虫种群内禀增长率分别为 0.216 9、0.212 5 和 0.044 3，种群趋势指数分别为 164.10、130.93 和 20.98，以棉蚜和桃蚜为食的方斑瓢虫种群增长趋势均显著高于饲喂豌豆修尾蚜的种群。综合以上各项参数，棉蚜和桃蚜是方斑瓢虫的适宜天然猎物。其中，桃蚜规模饲养更为便捷，成本较低，是方斑瓢虫规模化扩繁的优选猎物。研究结果对方斑瓢虫的规模化人工饲养及释放应用具有重要的实践指导意义。

关键词 方斑瓢虫； 天然猎物； 蚜虫； 人工饲养； 规模化扩繁； 生物防治

中图分类号： S 476.2 **文献标识码**： A **DOI**： 10.16688/j.zwbh.2022292

Effects of three aphid species on the fitness and population growth of *Propylea quatuordecimpunctata* (L.)

DUAN Jiachen[1,2]， DAI Changchun[2,3]， LU Wei[1]， LU Yanhui[2*]

(1. *College of Agriculture*, *Xinjiang Agricultural University*, *Urumqi* 830052, *China*; 2. *State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests*, *Institute of Plant Protection*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100193, *China*; 3. *College of Agriculture*, *Northeast Agricultural University*, *Harbin* 150030, *China*)

Abstract *Propylea quatuordecimpunctata* (L.), one of the common insect natural enemies in Xinjiang farmlands, has important potential and application prospects for pest management. In this study, the effect of three aphid species, including *Aphis gossypii* Glover, *Myzus persicae* (Sulzer) and *Megoura japonica* (Matsumura), on the growth, survival rate, fecundity, longevity and population growth trends of *P. quatuordecimpunctata* were investigated using the two-sex life table technique. The results showed that, compared with the populations of *P. quatuordecimpunctata* fed on *M. japonica*, the populations fed on *A. gossypii* and *M. persicae* had shorter larval developmental time and mean generation time, and higher survival rate, female fecundity, egg hatching rate, adult longevity, intrinsic rate of increase, finite rate of increase and population trend index. The larval survival rate of *P. quatuordecimpunctata* fed on *A. gossypii*, *M. persicae* and *M. japonica* was 85.83%, 88.33% and 50.83%, respectively, and the fecundity of females was 516.71, 439.95 and 209.00 eggs per female, respectively. The larval survival rate and the fecundity of ladybeetles fed on *A. gossypii* and *M. persicae* were significantly higher than those fed on *M. japonica*. The intrinsic rate of increase of the ladybeetle population fed on *A. gossypii*, *M. persicae* and *M. japonica* were 0.216 9, 0.212 5 and 0.044 3, respectively, and the population trend index was 164.10, 130.93 and 20.98, respectively. The growth trend of the populations fed on *A. gossypii* and *M. persicae* was significantly higher than that on *M. japonica*. Taken together, *A. gossypii* and

收稿日期： 2022-05-20 **修订日期**： 2022-06-06
基金项目： 财政部和农业农村部：国家现代农业产业技术体系(CARS-15-21)；NSFC-新疆联合基金重点支持项目(U2003212)
* 通信作者 E-mail：luyanhui@caas.cn

M. persicae were more suitable natural prey for *P. quatuordecimpunctata*. Moreover, the rearing of *M. persicae* is more convenient and cost-effective, and thus it is the preferred natural prey for the large-scale breeding of *P. quatuordecimpunctata*. The results have important practical guiding significance for the large-scale artificial breeding and mass-release application of *P. quatuordecimpunctata*.

Key words *Propylea quatuordecimpunctata*; natural prey; aphid; artificial rearing; large-scale breeding; biological control

捕食性瓢虫是农田生态系统中的主要天敌,在农作物害虫种群控制中占有重要地位。人工释放是提高捕食性瓢虫田间种群数量及其生物控害作用的一个重要方式,室内饲养与规模化繁育是释放利用的前提条件。目前,用于饲养捕食性瓢虫的食物主要有天然猎物和人工饲料两大类。人工饲料存在物理性状不稳定和生产工艺复杂等技术难题,以人工饲料饲养的瓢虫常出现个体生物学指标下降、跨代饲养困难等问题,因此捕食性瓢虫的扩繁实践中仍以天然猎物为主[1]。郭建英等[2]以桃蚜 *Myzus persicae*(Sulzer)、米蛾 *Corcyra cephalonica*(Stainton)卵和赤眼蜂 *Trichogramma* spp. 蛹饲养龟纹瓢虫 *Propylea japonica*(Thunberg)和异色瓢虫 *Harmonia axyridis*(Pallas),发现桃蚜的饲养效果最好。在棉蚜 *Aphis gossypii* Glover、甘蓝蚜 *Brevicoryne brassicae*(L.)和巢菜修尾蚜 *Megoura viciae* Buckton 3 种天然猎物中,取食棉蚜的异色瓢虫发育历期和产卵前期更短,存活率及成虫体重更高,显著优于饲喂其他 2 种蚜虫的处理[3]。取食桃蚜的异色瓢虫在发育速率、繁殖力、成虫寿命及内禀增长率和净生殖率方面均高于取食棉蚜和萝卜蚜 *Lipaphis erysimi*(Kaltenbach)的异色瓢虫[4]。取食棉蚜和桃蚜的多异瓢虫 *Hippodamia variegata*(Goeze)幼虫存活率较高,其中取食桃蚜的多异瓢虫雌虫产卵量最高,成虫寿命最长[5]。姜岩等[6]比较了 6 种蚜虫对多异瓢虫的生长发育和繁殖的影响,发现取食棉蚜的多异瓢虫在发育速率、存活率和繁殖力方面均高于取食其他蚜虫的处理。

方斑瓢虫 *Propylea quatuordecimpunctata*(L.)是新疆农田生态系统中的一种优势天敌[7],不仅对棉蚜、茶蚜 *Toxoptera aurantii*(Boyer de Fonscolombe)和桃蚜等蚜虫类害虫有着较强的控制作用[8],对亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*(Guenée)低龄幼虫等其他害虫也有一定的捕食能力[9]。方斑瓢虫在昌吉、玛纳斯等新疆北疆棉田中普遍发生且数量较多[10],通常占田间捕食性瓢虫总量的 16%~35%[11]。除棉田外,方斑瓢虫在小麦、玉米和苜蓿等作物田以及防护林和果园生境中也均有发生[12]。在麦田中,方斑瓢虫在 4 月初出现,4 月中下旬开始逐渐产卵,5 月为产卵高峰期,6 月上、中旬种群数量达到高峰,6 月底由麦田迁出;在玉米田中,方斑瓢虫最早出现在 5 月,集中发生于 6 月至 8 月,7 月中下旬至 8 月上旬种群数量达到高峰;在苜蓿田中,方斑瓢虫一般于 4 月中下旬至 7 月持续在田间活动[12]。

李海强等[10]评价了取食棉蚜对方斑瓢虫生长发育与繁殖的影响,发现棉蚜对方斑瓢虫的种群适合度较高。但目前尚缺乏适宜方斑瓢虫规模饲养的天然猎物的筛选研究。两性生命表能够清楚地描述昆虫种群的变化,更好地揭示昆虫的发育速率、存活和繁殖的差异,利于探究昆虫种群的动态变化[13]。本研究以两性生命表技术[14-15]研究比较棉蚜、桃蚜和豌豆修尾蚜 *Megoura japonica*(Matsumura)对方斑瓢虫生长发育、存活、繁殖及种群数量趋势的影响,以期明确适合方斑瓢虫规模化饲养的天然饲料,为方斑瓢虫实验室种群建立、产业化生产和田间应用奠定科学基础。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

方斑瓢虫于 2021 年 4 月底采集于新疆玛纳斯县(86° 12′E,44° 18′N)周边开花植物,在中国农业科学院植物保护研究所廊坊科研中试基地(简称廊坊基地)养虫室内,在温度 25℃±1℃,相对湿度(50±10)%,光周期 L//D=16 h//8 h 的条件下,以桃蚜为食物扩繁 2 代后用于试验。

棉蚜、桃蚜和豌豆修尾蚜为廊坊基地长期饲养的实验室种群,饲养寄主植物分别为 5 叶期棉花苗、子叶期豌豆苗和子叶期蚕豆苗。棉蚜饲养环境为温度 26℃±1℃,相对湿度(50±10)%,光周期 L//D=16 h//8 h。桃蚜和豌豆修尾蚜饲养环境为温度 20℃±1℃,相对湿度(50±10)%,光周期 L//D

=12 h∥12 h。

1.2 主要试验仪器

RXZ-500D 型人工气候箱，购自宁波江南仪器厂；TS-45AZ 型体视显微镜，购自老上光仪器厂。

1.3 试验方法

将孵化 0～3 h 的方斑瓢虫幼虫放入直径 9 cm，高 1.5 cm 的培养皿内单头饲养，每日分别供应足量棉蚜、桃蚜和豌豆修尾蚜（1～2 龄幼虫每头日供给 50～70 头蚜虫、3～4 龄幼虫每头日供给 180～200 头蚜虫），并放入蘸水的湿润棉球为幼虫补充水分。饲喂棉蚜和桃蚜的处理各 120 头瓢虫幼虫，饲喂豌豆修尾蚜的处理为 150 头瓢虫幼虫，每头幼虫为 1 个重复。每 24 h 记录一次幼虫蜕皮、化蛹、羽化和死亡情况，化蛹 24～48 h 称量蛹重，并鉴定羽化后的成虫性别。

将当日羽化的方斑瓢虫区分雌雄后配对，移入直径 9 cm，高 2 cm 的培养皿内，每皿 1 对成虫，放入蘸水的湿润棉球为成虫补充水分。成虫继续饲喂幼虫期食物，食物足量供应（每对成虫日供给 600～700 头蚜虫）。每 24 h 调查一次，记录产卵时间、产卵数量和死亡时间，自方斑瓢虫第 1 次产卵开始调查 30 d 结束，统计方斑瓢虫繁殖力及寿命。自雌虫第 1 次产卵开始，取每头雌虫当日产卵量的 20%用于卵孵化率测定，直至雌虫死亡。以棉蚜、桃蚜和豌豆修尾蚜饲养的幼虫中，最终分别获得雌、雄成虫 45 头和 48 头，42 头和 54 头，24 头和 30 头，每头成虫为一个重复。

所有试验均在人工气候箱内完成，温度为 26℃±1℃，相对湿度为（70±5）%，光周期为 L∥D=16 h∥8 h。

1.4 数据分析

利用 Excel 2016 统计试验数据，采用 Sigma Plot 14.0 软件进行绘图。根据齐心等[14-16]优化的年龄-龄期两性生命表理论，利用 TWOSEX-MS-Chart 软件（http://140.120.197.173/Ecology/prod02.htm）计算方斑瓢虫种群的发育历期、产卵前期、繁殖力、特定年龄-龄期存活率（S_{xj}，从卵存活到年龄 x 龄期 j 的概率）、特定年龄存活率（l_x，为年龄为 x 个体的存活率）、雌成虫特定年龄-龄期繁殖力（f_{xj}，为雌成虫在年龄 x 龄期 j 的平均产卵量）、种群特定年龄繁殖力（m_x，为种群中年龄 x 的所有个体的平均繁殖力）和特定年龄-龄期期望寿命（e_{xj}，为年龄 x 龄期 j 的个体能够继续存活的天数）；同时计算种群的内禀增长率（r）、周限增长率（λ）、净生殖率（R_0）、平均世代周期（T）、总繁殖率（GRR）等参数。相关生命表参数计算公式如下：

特定年龄存活率：$l_x = \sum_{j=1}^{m} S_{xj}$；

种群特定年龄繁殖力：$m_x = \dfrac{\sum_{j=1}^{m} S_{xj} f_{xj}}{\sum_{j=1}^{m} S_{xj}}$；

特定年龄-龄期期望寿命：$e_{xj} = \sum_{i=x}^{n} \sum_{y=j}^{m} S_{iy}$；

内禀增长率：$\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1$；

周限增长率：$\lambda = e^r$；

净生殖率：$R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x$；

平均世代周期：$T = \dfrac{\ln R_0}{r}$；

总繁殖率：$GRR = \sum_{x=0}^{\infty} m_x$。

式中 x 为年龄，j 为龄期，n 是所有处理的种群中最后一个年龄，m 是龄期的数量；S_{iy} 指一个在年龄 x 龄期 j 的个体能够存活到年龄 i 龄期 y 的概率。

用 Bootstrap 方法确定生命参数平均值和标准误[17]，Bootstrap 设置 10 万次。方斑瓢虫的发育历期、存活率、繁殖力和种群参数的差异显著性以 paired bootstrap test（TWOSEX-MSChart）程序分析。

卵孵化率和种群趋势指数使用 SPSS 21.0 软件通过 ANOVA 进行单因素方差分析，以 Tukey 法进行差异显著性检验。种群趋势指数计算公式如下：

$$I = N_{n+1}/N_n = S_E \times S_{L1} \times S_{L2} \times \cdots \times S_A \times P_{♀} \times F。$$

式中，N_{n+1} 为下一代虫数，N_n 为当代起始虫数；S_E、S_{L1}……S_A 分别表示卵、各龄若虫、成虫的存活率；$P_{♀}$ 为雌性成虫比例；F 为平均单雌产卵量。

2 结果与分析

2.1 3 种蚜虫对方斑瓢虫幼虫发育历期的影响

3 种蚜虫均能满足方斑瓢虫整个幼虫期的生长发育，但不同蚜虫对方斑瓢虫的发育历期有显著影响。方斑瓢虫为低龄幼虫（1～2 龄）时，饲喂棉蚜和桃蚜的幼虫发育历期显著短于饲喂豌豆修尾蚜的幼虫（$P<0.05$）；高龄幼虫（3～4 龄）时，饲喂桃蚜的幼虫

发育历期短于其他 2 个处理。整个幼虫阶段,饲喂桃蚜的幼虫发育历期最短,为 7.60 d,饲喂豌豆修尾蚜的幼虫发育历期最长,3 个处理间差异达到显著水平($P<0.05$)。饲喂桃蚜的种群蛹期显著长于饲喂棉蚜和豌豆修尾蚜的种群($P<0.05$),饲喂棉蚜和豌豆修尾蚜的 2 个种群之间差异不显著($P>0.05$)(表 1)。

表 1　饲喂 3 种蚜虫对方斑瓢虫幼虫、蛹发育历期的影响[1)]

Table 1　Effects of different species of aphids on the developmental durations of larva and pupa of *Propylea quatuordecimpunctata*

天然猎物 Natural prey	发育历期/d Developmental duration					
	1 龄幼虫 1st instar	2 龄幼虫 2nd instar	3 龄幼虫 3rd instar	4 龄幼虫 4th instar	1 龄～4 龄幼虫 1st instar－4th instar	蛹 Pupa
棉蚜 *Aphis gossypii*	(2.07±0.04)b	(1.23±0.05)b	(1.52±0.05)a	(3.25±0.06)a	(8.02±0.06)b	(2.95±0.05)b
桃蚜 *Myzus persicae*	(2.11±0.03)b	(1.11±0.03)c	(1.31±0.04)b	(3.09±0.05)b	(7.60±0.07)c	(3.27±0.06)a
豌豆修尾蚜 *Megoura japonica*	(2.52±0.09)a	(1.68±0.06)a	(1.64±0.06)a	(3.23±0.09)ab	(9.02±0.13)a	(3.06±0.08)b

1) 表中数据为平均值±标准误。同列数据中不同小写字母表示经 paired bootstrap 检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。
Data in the table are mean±SE, and different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level by paired bootstrap test. The same below.

2.2　饲喂 3 种蚜虫对方斑瓢虫存活率的影响

饲喂棉蚜和桃蚜的方斑瓢虫 1 龄幼虫之间存活率差异不显著($P>0.05$),分别为 98.33% 和 96.67%,两者显著高于饲喂豌豆修尾蚜的存活率 58.67%($P<0.05$);2 龄幼虫的存活率与 1 龄幼虫相似;3 龄幼虫在各处理之间的存活率无显著差异($P>0.05$);在 4 龄幼虫阶段,饲喂桃蚜的幼虫存活率最高,其次为饲喂棉蚜的幼虫,2 个处理之间差异不显著($P>0.05$),但均显著高于饲喂豌豆修尾蚜的幼虫($P<0.05$);在蛹期,饲喂桃蚜的种群存活率最高,其次为饲喂棉蚜和豌豆修尾蚜的种群,3 个处理之间差异不显著($P>0.05$)(表 2)。

表 2　饲喂 3 种蚜虫对方斑瓢虫幼虫、蛹存活率的影响

Table 2　Effects of different species of aphids on the survival rate of larva and pupa of *Propylea quatuordecimpunctata*

天然猎物 Natural prey	存活率/% Survival rate				
	1 龄幼虫 1st instar	2 龄幼虫 2nd instar	3 龄幼虫 3rd instar	4 龄幼虫 4th instar	蛹 Pupa
棉蚜 *Aphis gossypii*	(98.33±1.17)a	(96.61±1.66)a	(97.37±1.49)a	(92.79±2.46)a	(90.29±2.93)a
桃蚜 *Myzus persicae*	(96.67±0.02)a	(96.55±1.69)a	(98.21±1.25)a	(96.36±1.78)a	(90.57±2.84)a
豌豆修尾蚜 *Megoura japonica*	(58.67±4.02)b	(87.50±3.53)b	(96.10±2.20)a	(82.43±4.44)b	(88.52±4.08)a

3 种蚜虫饲喂的方斑瓢虫种群年龄-阶段特征存活率(S_{xj})曲线重叠程度较低,棉蚜和桃蚜饲喂的方斑瓢虫种群幼虫期、蛹期和雌雄成虫存活率差异不明显,雌雄成虫的存活时间也相近,但两者各年龄阶段的存活率均明显高于豌豆修尾蚜饲养的方斑瓢虫种群。饲喂棉蚜、桃蚜和豌豆修尾蚜的方斑瓢虫种群幼虫期的存活率分别是 85.83%、88.33% 和 50.83%,由初孵 1 龄幼虫发育为雌雄成虫的比例分别为 37.50% 和 39.16%,35.00% 和 45.00%,12.00% 和 15.33%。饲喂桃蚜的雌、雄成虫存活曲线下降时间最晚,其次为饲喂棉蚜和豌豆修尾蚜的雌、雄虫存活曲线(图 1)。

2.3　3 种蚜虫对方斑瓢虫繁殖力和寿命的影响

以棉蚜、桃蚜和豌豆修尾蚜饲喂方斑瓢虫幼虫,均能使其羽化后正常产卵,但对方斑瓢虫雌虫的产卵前期、产卵量、卵孵化率有明显影响。以棉蚜和桃蚜饲养的方斑瓢虫产卵前期均短于以豌豆修尾蚜饲养的方斑瓢虫,但三者之间无显著差异($P>0.05$)。饲喂棉蚜的方斑瓢虫单雌产卵量最高,为 516.71 粒,其次是饲喂桃蚜的,为 439.95 粒,2 个处理之间不存在显著差异($P>0.05$),但均显著高于饲喂豌豆修尾蚜的 209.00 粒($P<0.05$)。饲喂棉蚜、桃蚜和豌豆修尾蚜的方斑瓢虫种群,卵孵化率分别为 82.13%、74.77% 和 56.09%,前两者之间的差异不显著,但均与豌豆修尾蚜饲养的种群存在显著差异($F_{2,95}=20.43$,$P<0.05$)。以桃蚜为食的方斑瓢虫雌成虫寿命最长,其次为饲喂棉蚜的雌成虫,两处理间无显著差异($P>0.05$),均显著长于以豌豆修尾蚜为食的雌成虫($P<0.05$);饲喂桃蚜的雄成虫寿命最长,其次为饲喂棉蚜的雄虫,以豌豆修尾蚜为食的雄成虫寿命最短,三者间两两差异显著($P<0.05$)(表 3)。

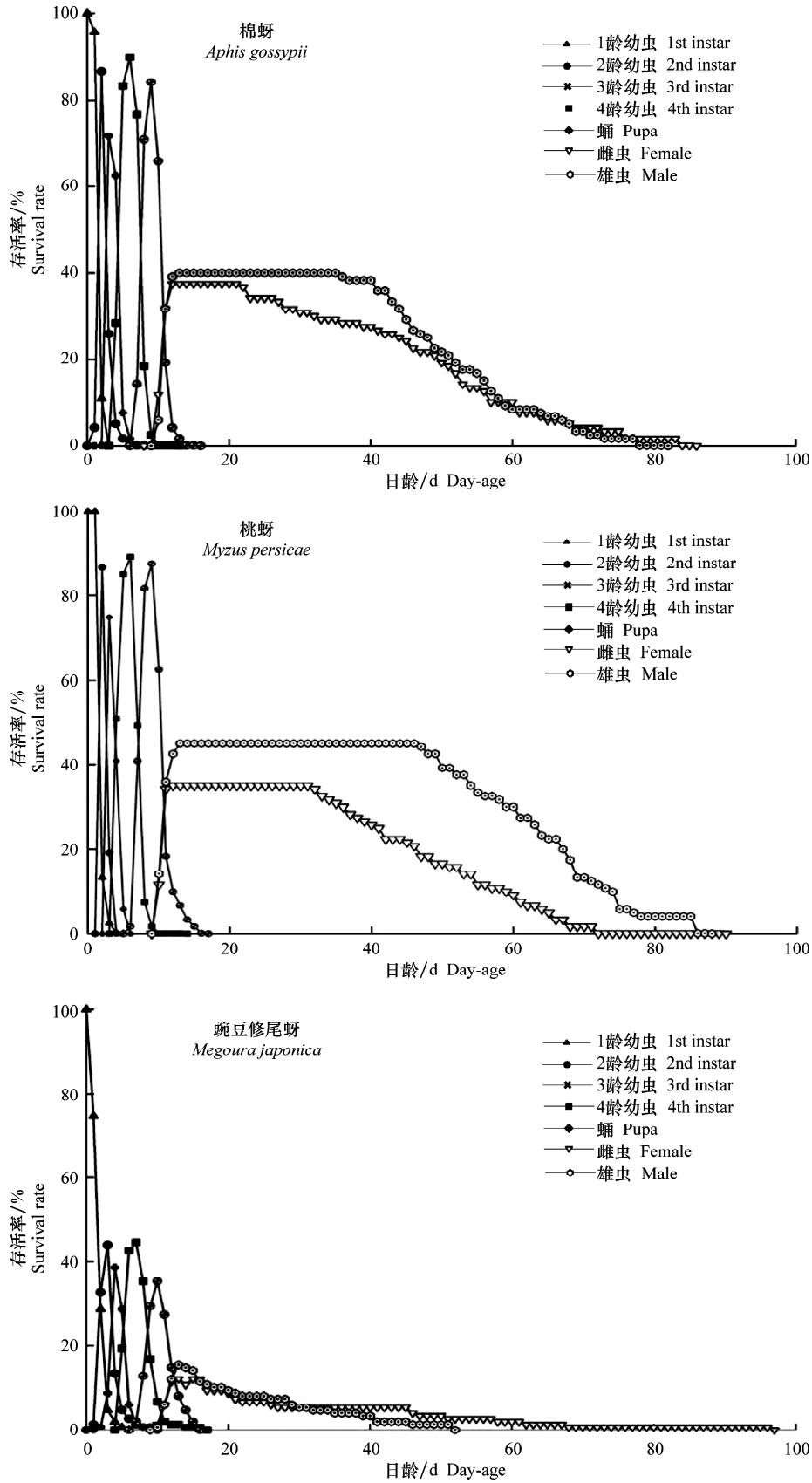

图 1　饲喂 3 种蚜虫的方斑瓢虫特定年龄-龄期存活率(S_{xj})

Fig. 1　Age-stage-specific survival rate (S_{xj}) of *Propylea quatuordecimpunctata* reared with three species of aphids

表 3　饲喂 3 种蚜虫对方斑瓢虫成虫繁殖力和寿命的影响

Table 3　Effects of different species of aphids on the fecundity and longevity of adult *Propylea quatuordecimpunctata*

天然猎物 Natural prey	产卵前期/d Pre-oviposition period	单雌产卵量/粒 Fecundity per female	卵孵化率/% Egg hatching rate	寿命/d Longevity 雌虫 Female	寿命/d Longevity 雄虫 Male
棉蚜 *Aphis gossypii*	(4.56±0.30)a	(516.71±32.85)a	(82.13±1.44)a	(49.84±2.46)a	(53.69±1.56)b
桃蚜 *Myzus persicae*	(4.79±0.21)a	(439.95±27.75)a	(74.77±1.36)a	(50.76±2.00)a	(65.07±1.47)a
豌豆修尾蚜 *Megoura japonica*	(6.67±1.20)a	(209.00±111.43)b	(56.09±2.98)b	(31.50±4.52)b	(24.53±2.26)c

特定年龄存活率(l_x)曲线描述方斑瓢虫存活率随年龄的变化情况。饲喂棉蚜、桃蚜的方斑瓢虫种群存活曲线在幼虫阶段明显较饲喂豌豆修尾蚜的种群下降缓慢;在成虫阶段,分别在整个发育阶段的 40、31 d 和 18 d 后开始快速下降。方斑瓢虫 1 龄幼虫发育为成虫时的累计存活率由高到低依次为桃蚜、棉蚜和豌豆修尾蚜饲喂的种群,分别为 80.00%、77.50%和 45.00%,饲喂棉蚜和桃蚜的方斑瓢虫种群累计存活率显著高于饲喂豌豆修尾蚜的种群($P<0.05$)。以棉蚜、桃蚜和豌豆修尾蚜饲养的方斑瓢虫分别在 86、90 d 和 97 d 时当代全部死亡。饲喂豌豆修尾蚜的种群在不同年龄时期的存活率均明显低于棉蚜和桃蚜饲养的种群。特定年龄-龄期繁殖力(f_{xj})和种群特定年龄繁殖力(m_x)描述方斑瓢虫从开始产卵到死亡时间段内不同发育阶段和年龄的繁殖情况,饲喂棉蚜和桃蚜的方斑瓢虫雌虫繁殖参数 f_{xj} 和 m_x 均表现出先升高后下降的趋势,饲喂豌豆修尾蚜的雌虫繁殖参数波动较大,出现了多次先上升再下降的情况。饲喂棉蚜的雌虫 f_{xj} 在整个发育时间的第 40 天时达到最大值 23.76,饲喂桃蚜的雌虫在第 19 天时达到最大值 19.36,饲喂豌豆修尾蚜的雌虫在第 57 天时达到最大值 8.5,这 3 个时间为 3 个处理中方斑瓢虫的产卵高峰期。饲喂棉蚜、桃蚜和豌豆修尾蚜的雌虫种群特定年龄繁殖力(m_x)分别在第 28、19 天和第 57 天时达到最大值(图 2)。

2.4　3 种蚜虫对方斑瓢虫种群参数的影响

饲喂棉蚜的方斑瓢虫种群内禀增长率(r)、周限增长率(λ)、净生殖率(R_0)和总繁殖率(GRR)均最大,其次为桃蚜,最小的为豌豆修尾蚜。取食桃蚜和棉蚜的方斑瓢虫种群内禀增长率(r)和周限增长率(λ)均显著高于取食豌豆修尾蚜的种群($P<0.05$),饲喂棉蚜和桃蚜的两个种群之间差异不显著($P>0.05$)。饲喂棉蚜的种群总繁殖率(GRR)和净生殖率(R_0)最高,饲喂桃蚜的种群次之,取食豌豆修尾蚜的种群最低,3 个处理之间差异显著($P<0.05$)。取食豌豆修尾蚜的种群平均世代周期显著长于取食棉蚜和桃蚜的种群($P<0.05$),但以棉蚜和桃蚜为食的种群之间差异不显著($P>0.05$)。

以棉蚜、桃蚜和豌豆修尾蚜饲养的方斑瓢虫种群趋势指数(I)均大于 1,表明饲喂棉蚜、桃蚜和豌豆修尾蚜均能增加方斑瓢虫下一代的种群数量。以棉蚜为食的种群趋势指数最高,为 164.10±5.59。其次为桃蚜饲养的种群,最低的为饲喂豌豆修尾蚜的种群,三者之间差异达到显著水平($F_{2,6}=252.84$,$P<0.05$)(表 4)。

表 4　饲喂 3 种蚜虫对方斑瓢虫种群参数和种群趋势指数的影响

Table 4　Effects of different species of aphids on the population parameters and population trend index of *Propylea quatuordecimpunctata*

天然猎物 Natural prey	内禀增长率(r) Intrinsic rate of increase	周限增长率(λ) Finite rate of increase	净生殖率(R_0) Net reproductive rate	平均世代周期(T) Mean generation time	总繁殖率(GRR) Gross reproduction rate	种群趋势指数(I) Population trend index
棉蚜	(0.216 9±	(1.242 2±	(193.77±	(24.28±	(289.30±	(164.10±
Aphis gossypii	0.007 1)a	0.008 8)a	25.85)a	0.44)b	36.06)a	5.59)a
桃蚜	(0.212 5±	(1.236 8±	(153.98±	(23.70±	(201.55±	(130.93±
Myzus persicae	0.007 2)a	0.008 9)a	21.37)b	0.32)b	27.13)b	5.93)b
豌豆修尾蚜	(0.044 3±	(1.045 3±	(4.18±	(32.29±	(52.72±	(20.98±
Megoura japonica	0.025 9)b	0.026 6)b	2.92)c	2.74)a	36.78)c	0.51)c

2.5　3 种蚜虫对方斑瓢虫种群生命期望的影响

特定年龄-龄期期望寿命(e_{xj})显示,以棉蚜和桃蚜饲养的方斑瓢虫种群各年龄龄期的期望寿命值均明显高于豌豆修尾蚜饲养的种群,其中饲喂桃蚜的雌虫期望寿命值最高。以棉蚜饲养的种群中雌虫和雄虫期望寿命值接近,以桃蚜饲养的种群中雌虫期望寿命值明显低于雄虫,而豌豆修尾蚜饲养的种群则表现出相反的现象,雌虫期望寿命值更高。

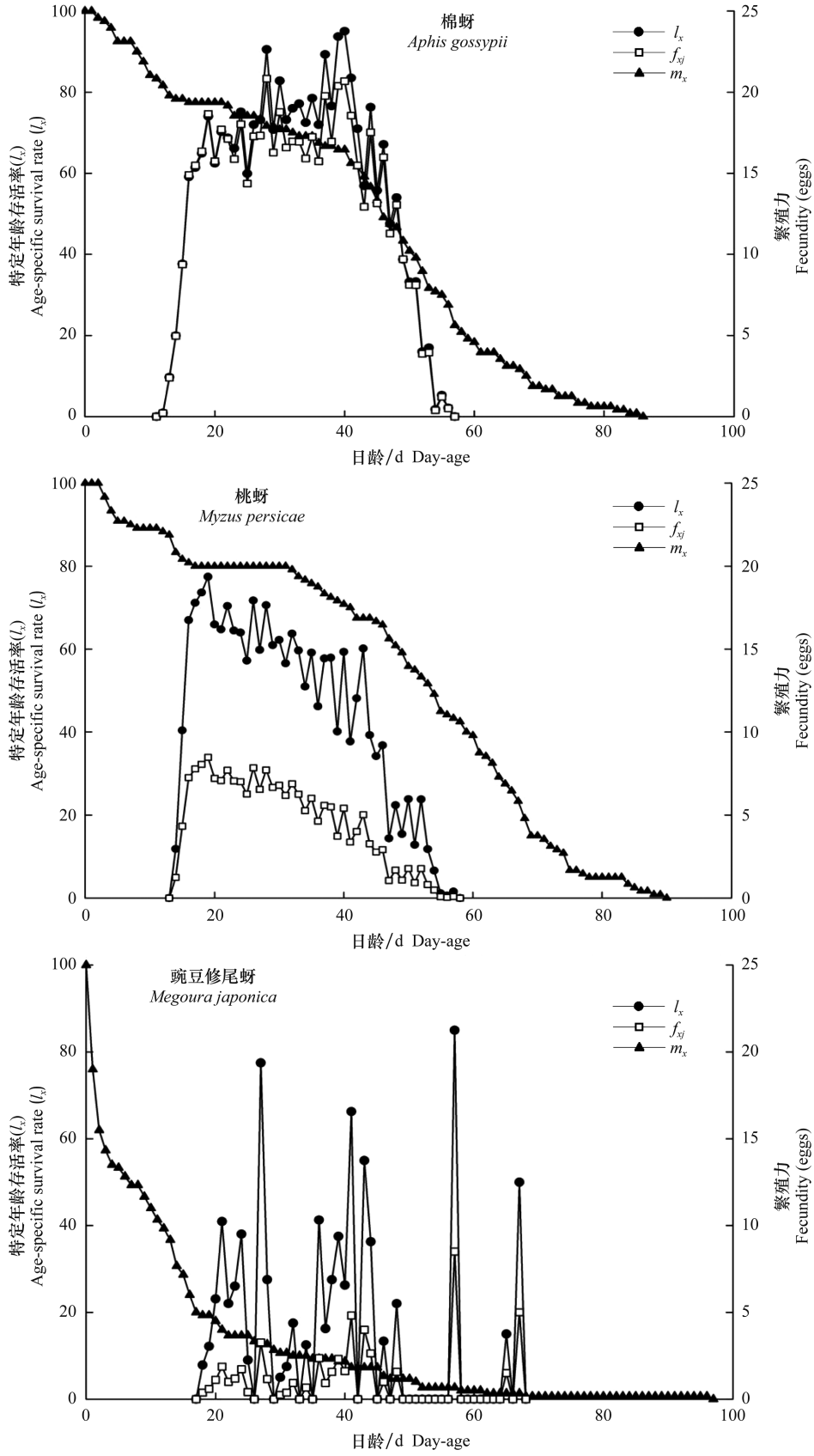

图 2　饲喂 3 种蚜虫的方斑瓢虫特定年龄存活率(l_x)、雌虫特定年龄-龄期繁殖力(f_{xj})和种群特定年龄繁殖力(m_x)

Fig. 2　Age-specific survival rate (l_x), age-stage-specific fecundity of female (f_{xj}) and age-specific fecundity of population(m_x) of *Propylea quatuordecimpunctata* reared with three species of aphids

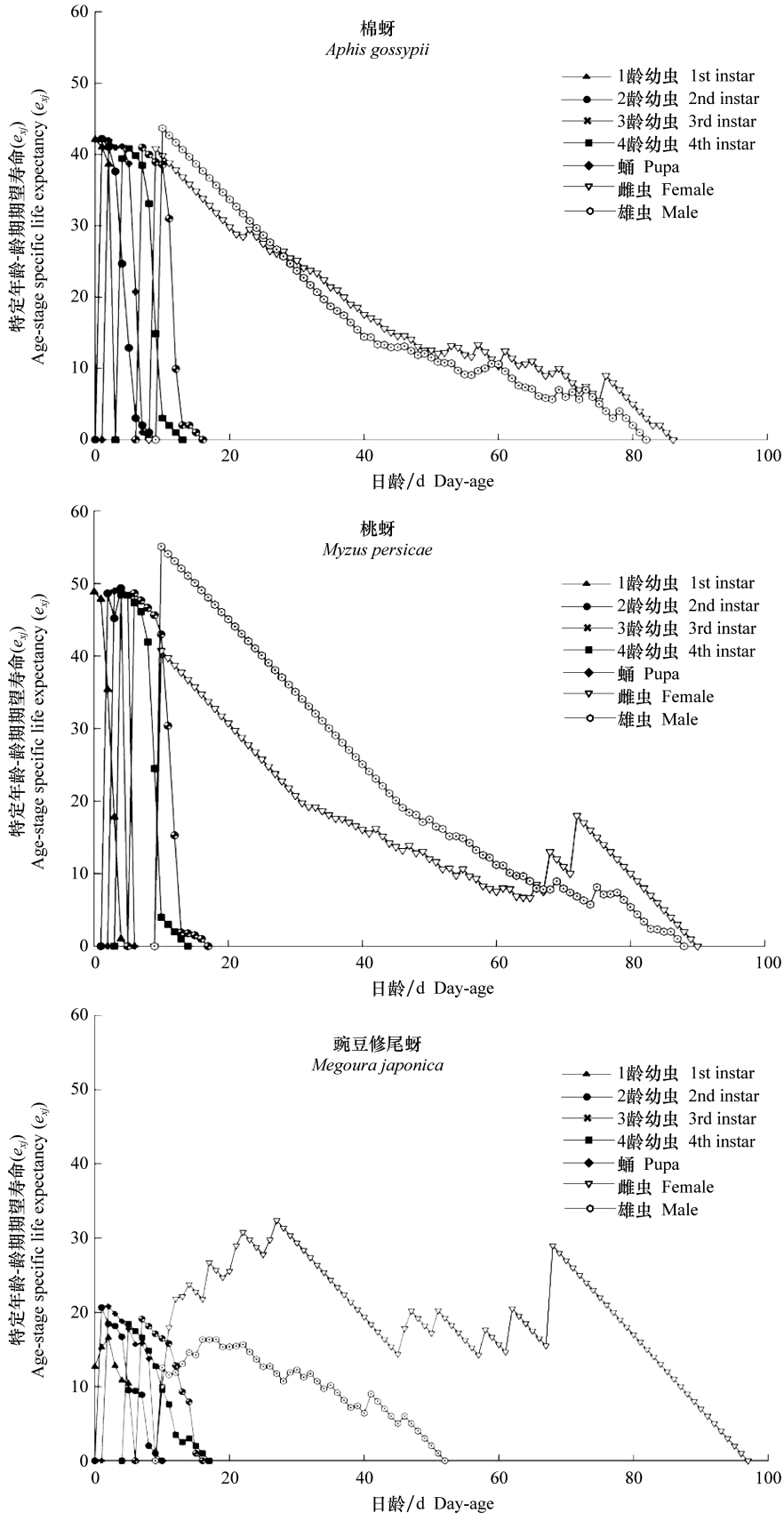

图 3　饲喂 3 种蚜虫的方斑瓢虫的特定年龄-龄期期望寿命(e_{xj})

Fig. 3　Age-stage specific life expectancy (e_{xj}) of *Propylea quatuordecimpunctata* reared with three species of aphids

3 结论与讨论

在自然界中，捕食性瓢虫在天然猎物上往往都能完成生活史，但不同种类的天然猎物常对捕食性瓢虫的生长发育和繁殖产生明显影响[18-19]。取食适宜的天然猎物，可显著提高捕食性瓢虫的存活率、生长发育速率，且繁殖力较强[20-23]。因此，遴选适宜的天然猎物，是实现捕食性瓢虫规模化饲养的重要基础。本研究发现，取食棉蚜和桃蚜的方斑瓢虫幼虫的发育历期相对较短，存活率、繁殖力较高，寿命较长，明显优于取食豌豆修尾蚜的方斑瓢虫种群。此外，以棉蚜和桃蚜为食的方斑瓢虫种群内禀增长率(r)、周限增长率(λ)、净生殖率(R_0)、总繁殖率(GRR)和种群趋势指数(I)也较高，且平均世代周期(T)较短，同样显著优于豌豆修尾蚜饲养的种群。综合上述几方面生命参数，棉蚜和桃蚜是方斑瓢虫的适宜天然猎物，而豌豆修尾蚜不适用于方斑瓢虫的饲养。

在前人的研究中，发现以蚕豆蚜 *Aphis fabae* Scopoli 饲喂的方斑瓢虫幼虫存活率和幼虫发育速率均显著高于菊小长管蚜 *Macrosiphoniella sanborni* (Gillette) 和甘蓝蚜饲养的幼虫，其中蚕豆繁育的蚕豆蚜较菜豆繁育的蚕豆蚜对方斑瓢虫饲喂效果更好，主要表现为蛹重显著更高，幼虫存活率较高[24]；取食豌豆蚜 *Acyrthosiphon pisum* (Harris) 的方斑瓢虫较取食玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) 的个体可以获得更快的发育速率、更高的存活率以及更大的体型[25]。方斑瓢虫对棉蚜的取食偏好性指数显著高于蚕豆蚜[26]，且棉蚜、桃蚜能满足多种捕食性瓢虫的生长发育及繁殖。如 Omkar 等[27]研究了萝卜蚜、棉蚜、桃蚜、豆蚜、夹竹桃蚜 *Aphis nerii* Boyer 和菊指管蚜 *Uroleucon compositae* (Theobald) 对七星瓢虫发育和繁殖的影响，发现对七星瓢虫适合度由高到低依次为萝卜蚜、桃蚜、花生蚜、棉蚜、夹竹桃蚜和菊指管蚜。顾辉杰等[5]研究发现，以棉蚜和桃蚜饲养的多异瓢虫幼虫存活率分别是 88.00% 和 85.33%，单雌产卵量分别为 683.50 粒和 561.18 粒，是多异瓢虫的理想猎物。柳洋等[28]发现棉花型棉蚜和瓜型棉蚜均能满足龟纹瓢虫的生长发育及繁殖，甚至在龟纹瓢虫的低龄幼虫阶段饲喂棉蚜能够有效地提高其存活率。孙丽娟等[4]研究发现胡萝卜微管蚜 *Semiaphis heraclei* (Takahashi)、棉蚜、桃蚜和萝卜蚜中，胡萝卜微管蚜和桃蚜更利于异色瓢虫种群扩繁。喻会平等[29]发现，桃蚜和花生蚜可作为饲养异色瓢虫的适宜猎物，而豌豆修尾蚜是异色瓢虫不适宜的食物，这可能与豌豆修尾蚜个体较大有关[3]，与本研究的结果相似。目前，棉蚜在室内扩繁主要以棉花、西葫芦等植物的幼苗为食[30]，而桃蚜以豌豆苗为食，豌豆苗种植和管理简单，生长较快，投入的时间成本和经济成本相对较小，利于规模化繁殖大量桃蚜。因此，桃蚜是方斑瓢虫规模化生产的优先天然猎物。

参考文献

[1] RICUPERO M, DAI Changchun, SISCARO G, et al. Potential diet regimens for laboratory rearing of the harlequin ladybird [J]. BioControl, 2020, 65(5): 583-592.

[2] 郭建英，万方浩. 三种饲料对异色瓢虫和龟纹瓢虫的饲喂效果[J]. 中国生物防治，2001，17(3)：116-120.

[3] TSAGANOU F C, HODGSON C J, ATHANASSIOU C G, et al. Effect of *Aphis gossypii* Glover, *Brevicoryne brassicae* (L.), and *Megoura viciae* Buckton (Hemiptera: Aphidoidea) on the development of the predator *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. Biological Control, 2004, 31(2): 138-144.

[4] 孙丽娟，于海霞，郑长英. 4种蚜虫对异色瓢虫生长发育和繁殖的影响[J]. 应用生态学报，2020，31(10)：3554-3558.

[5] 顾辉杰，戴长春，杨益众，等. 不同猎物对多异瓢虫生长发育与繁殖的影响[J]. 植物保护学报，2021，48(5)：1187-1188.

[6] 姜岩，修春丽，王冬梅，等. 六种蚜虫对多异瓢虫生长发育和繁殖的影响[J]. 中国生物防治学报，2022，38(6)：1427-1434.

[7] 阿尔孜姑丽·肉孜，丁新华，吐尔逊·阿合买提，等. 新疆农田系统瓢虫资源调查与多样性研究[J]. 环境昆虫学报，2021，43(2)：292-304.

[8] KAVALLIERATOS N G, STATHAS G J, TOMANOVIC Z. Seasonal abundance of parasitoids (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae) and predators (Coleoptera: Coccinellidae) of aphids infesting citrus in Greece [J]. Biologia-Bratislava, 2004, 59(2): 191-196.

[9] 尹鹏，丁新华，付开赟，等. 玉米螟优势捕食性天敌控害效益评价[J]. 新疆农业科学，2018，55(4)：712-718.

[10] 李海强，王冬梅，刘建. 喂饲棉蚜对方斑瓢虫生长发育及捕食功能反应的影响[J]. 新疆农业科学，2020，57(4)：630-635.

[11] 杨海峰，王惠珍，马祁. 新疆棉花害虫天敌的发生规律及控制效应[J]. 八一农学院学报，1986 (2)：39-45.

[12] 阿尔孜姑丽·肉孜，丁新华，吐尔逊·阿合买提，等. 新疆北部地区农林复合生境瓢虫群落多样性及其季节动态分析[J]. 中国生物防治学报，2021，37(4)：679-691.

[13] CHI H, YOU Minsheng, ATLIHAN R, et al. Age-stage, two-sex life table: An introduction to theory, data analysis, and application [J]. Entomologia Generalis, 2019, 40(2): 102-123.

(下转 243 页)

[J]. 植物保护学报，2018，45(3)：561－567.
[9] WU Gang，HARRIS M K，GUO Jianying，et al. Response of multiple generations of beet armyworm，*Spodoptera exigua* (Hübner)，feeding on transgenic Bt cotton [J]. Journal of Applied Entomology，2009，133(2)：90－100.
[10] 林珠凤，罗礼智，潘贤丽. 杀虫剂使用失当是甜菜夜蛾大发生的重要原因[J]. 昆虫知识，2007，44(3)：327－332.
[11] 刘悦秋，江幸福. 甜菜夜蛾的生物防治[J]. 植物保护，2002，28(1)：54－56.
[12] 江幸福，罗礼智. 我国甜菜夜蛾迁飞与越冬规律研究进展与趋势[J]. 长江蔬菜(学术版)，2010(18)：36－37.
[13] 曾娟，杜永均，姜玉英，等. 我国农业害虫性诱监测技术的开发和应用[J]. 植物保护，2015，41(4)：9－15.
[14] 李宏图，章钦印，李德鹏，等. 不同密度诱捕器对烟草害虫的诱杀效果[J]. 湖南农业科学，2015(3)：34－36.
[15] 王方晓，杨可辉，张秀衢，等. 斜纹夜蛾性诱剂的诱蛾效果[J]. 昆虫知识，2008，45(2)：300－302.
[16] 陈炳旭，陆恒，董易之，等. 亚洲玉米螟性诱剂诱捕器诱捕效果研究[J]. 环境昆虫学报，2010，32(3)：419－422.
[17] WILLIAMS D T，STRAW N，TOWNSEND M，et al. Monitoring oak processionary moth *Thaumetopoea processionea* L. using pheromone traps：The influence of pheromone lure source，trap design and height above the ground on capture rates [J]. Agricultural and Forest Entomology，2013，15：126－134.
[18] 王胜梅，高成龙，梁树军，等. 不同诱捕器对油松毛虫性引诱剂诱虫量的影响[J]. 环境昆虫学报，2018，40(2)：340－347.
[19] 白灯莎·买买提艾力，张士荣，田晓莉，等. 打顶后涂抹生长素对棉花功能叶营养物质及脱落酸和细胞分裂素含量的调节作用[J]. 中国生态农业学报，2009，17(2)：302－306.
[20] 耿辉辉，陆宴辉，杨益众. 绿盲蝽成虫的田间活动规律[J]. 应用昆虫学报，2012，49(3)：601－604.

（责任编辑：田　喆）

（上接 238 页）

[14] CHI H. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals [J]. Environmental Entomology，1998，17(1)：26－34.
[15] 齐心，傅建炜，尤民生. 年龄-龄期两性生命表及其在种群生态学与害虫综合治理中的应用[J]. 昆虫学报，2019，62(2)：255－262.
[16] CHI H，LIU H. Two new methods for the study of insect population ecology [J]. Bulletin of the Institute of Zoology，Academia Sinica，1985，24(2)：225－240.
[17] HUANG Y B，CHI H. Life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Diptera：Tephritidae)：with an invalidation of the jackknife technique [J]. Journal of Applied Entomology，2013，137(5)：327－339.
[18] BERKVENS N，BONTE J，BERKVENS D，et al. Influence of diet and photoperiod on development and reproduction of European populations of *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera：Coccinellidae)[J]. BioControl，2008，53(1)：211－221.
[19] CASTRO-GUEDES C F DE，ALMEIDA L M DE，SUSETE D R C P，et al. Effect of different diets on biology，reproductive variables and life and fertility tables of *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera，Coccinellidae)[J]. Revista Brasileira de Entomologia，2016，60(3)：260－266.
[20] 张昌容，郅军锐，莫利锋. 四种猎物对南方小花蝽生长发育和繁殖的影响[J]. 生态学报，2012，32(18)：546－5652.
[21] ZHANG Shize，ZHANG Fan，HUA Baozhen. Suitability of various prey types for the development of *Propylea japonica* (Coleoptera：Coccinellidae)[J]. European Journal of Entomology，2007，104(1)：149－152.
[22] ZHANG Shize，LI Jianjun，SHAN Hongwei，et al. Influence of five aphid species on development and reproduction of *Propylea japonica* (Coleoptera：Coccinellidae)[J]. Biological Control，2012，62(3)：135－139.
[23] TANG Liangde，WU Jianhui，ALI S，et al. The influence of different aphid prey species on the biology and life table parameters of *Propylea japonica*[J]. Biocontrol Science and Technology，2013，23(6)：624－636.
[24] PAPACHRISTOS D P，KATSAROU I，MICHAELAKIS A，et al. Influence of different species of aphid prey on the immature survival and development of four species of aphidophagous coccinellids (Coleoptera：Coccinellidae)[J]. European Journal of Entomology，2015，112(3)：440－445.
[25] OBRYCKI J J，ORR C J. Suitability of three prey species for Nearctic populations of *Coccinella septempunctata*，*Hippodamia variegata*，and *Propylea quatuordecimpunctata* (Coleoptera：Coccinellidae)[J]. Journal of Economic Entomology，1990，83(4)：1292－1297.
[26] KESHAVARZ M，SEIEDY M，ALLAHYARI H. Preference of two populations of *Propylea quatuordecimpunctata* (Coleoptera：Coccinellidae) for *Aphis fabae* and *Aphis gossypii* (Homoptera：Aphididae)[J]. European Journal of Entomology，2015，112(3)：560－563.
[27] OMKAR，SRIVASTAVA S. Influence of six aphid prey species on development and reproduction of a ladybird beetle，*Coccinella septempunctata* [J]. BioControl，2003，48(4)：379－393.
[28] 柳洋，李林懋，门兴元，等. 以不同蚜虫为食的龟纹瓢虫生长发育和繁殖规律研究[J]. 中国生物防治学报，2013，29(4)：626－631.
[29] 喻会平，王召，龙贵云，等. 三种猎物对异色瓢虫生长发育和繁殖的影响[J]. 植物保护，2018，44(4)：105－109.
[30] 肖云丽，印象初，刘同先. 不同生物型棉蚜对夏寄主葫芦科作物的选择[J]. 生态学报，2013，33(12)：3706－3711.

（责任编辑：田　喆）