2 种蚜虫在蚕豆上适合度的研究

张瑶瑶[1#]， 周岳阳[1#]， 徐 青[1]， 秦秋菊[1,2]，
何运转[1,2]， 张永军[3]， 刘 顺[1,2*]

（1. 河北农业大学植物保护学院，保定 071001；2. 河北省农作物病虫害生物防治工程技术中心，保定 071001；3. 中国农业科学院植物保护研究所，北京 100193）

摘要 为了明确豌豆修尾蚜 *Megoura crassicauda* 和豆蚜 *Aphis craccivora* 在蚕豆上适合度的差异，从中选出适合度较高的蚜虫用于天敌昆虫的大规模繁殖，对两种蚜虫在蚕豆上的发育参数进行了观察并建立了生命表。结果表明：2 种蚜虫的成虫历期和世代周期差异虽不显著，但豌豆修尾蚜的若虫历期 6.66 d 显著低于豆蚜的 7.86 d。产蚜量曲线中，豌豆修尾蚜的产蚜量在前期虽迅速增加，但 2 种蚜虫的生殖力参数差异均不显著。存活率曲线中，豌豆修尾蚜在蚕豆上 14～30.5 d 时的存活率低于豆蚜，30.5 d 后开始高于豆蚜，且其整体存活率曲线比较稳定。生命参数表中，豌豆修尾蚜的周限增长率和内禀增长率分别为 1.38 和 0.32，均高于豆蚜的 1.33 和 0.29。综上，相较豆蚜，豌豆修尾蚜在蚕豆苗上的适合度、存活稳定性更高，更适合在蚕豆上大量扩繁，在蚜虫天敌规模化生产中具有一定的应用潜力。

关键词 豌豆修尾蚜； 豆蚜； 适合度； 发育历期； 繁殖力； 生命参数表

中图分类号： S436.43 **文献标识码：** A **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2021170

Differences in the fitness between two aphid species on *Vicia faba*

ZHANG Yaoyao[1#]， ZHOU Yueyang[1#]， XU Qing[1]， QIN Qiuju[1,2]，
HE Yunzhuan[1,2]， ZHANG Yongjun[3]， LIU Shun[1,2*]

（1. *College of Plant Protection*, *Hebei Agricultural University*, *Baoding* 071001, *China*;
2. *Biological Control Center of Plant Pests of Hebei Province*, *Baoding* 071001, *China*;
3. *Institute of Plant Protection*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100193, *China*）

Abstract The differences in the fitness response of *Megoura crassicauda* and *Aphis craccivora* to *Vicia faba* plants were studied, aiming at selecting a better one for mass culture in insectary for large scale production of natural enemies. The experiment was conducted in order to evaluate the fitness difference between the two aphid species on broad bean, and their developmental parameters were observed and life tables constructed. The results showed that there were no significant differences in adult duration and generation time between these two kinds of aphids, but the nymph duration of *M. crassicauda* was 6.66 d, which was significantly lower than that of *A. craccivora* (7.86 d). Although the yield of *M. crassicauda* increased rapidly in the early stage, the fecundity parameters of these two species of aphids were not significantly different. The survival rate of *M. crassicauda* was lower than that of *A. craccivora* on *Vicia faba* plants for 14－30.5 days, but higher after 30.5 days, and the overall survival rate curve was stable. As for the life parameters, the finite rate of increase and intrinsic rate of increase of *M. crassicauda* were 1.38 and 0.32, respectively, which were higher than those of *A. craccivora* (1.33 and 0.29). The fitness and survival stability of *M. crassicauda* were higher than those of *A. craccivora*, and *M. crassicauda* was more suitable for reproduction on *V. faba* plants, which has potential for large-scale production of aphid natural enemies.

Key words *Megoura crassicauda*; *Aphis craccivora*; fitness; developmental duration; fecundity; life parameter table

收稿日期： 2021－03－22 **修订日期：** 2021－06－23
基金项目： 国家重点研发计划(2017YFD0201004)；河北省现代农业产业技术体系(HBCT2018060204)
* 通信作者 E-mail：liushun155@sina.com
# 为并列第一作者

豌豆修尾蚜 *Megoura crassicauda* 和豆蚜 *Aphis craccivora* 同属半翅目 Homoptera 蚜科 Aphididae。它们是农业上常见的重要害虫，主要为害蚕豆、豌豆和大豆等豆科作物[1-2]。该类害虫主要以刺吸寄主植物韧皮部的汁液和传递多种病毒的方式对作物进行为害[3]。在蚜虫的防治中化学防治是通用手段，但是过度使用杀虫剂会造成抗药性、污染环境和影响人类的身体健康等严重问题[4]。为克服这些问题，蚜虫的生物防治在世界范围内得到了广泛的研究[5-6]。蚜虫有多种天敌，包括微生物、捕食和寄生生物等，这些天敌生物可以在室内大量繁殖后应用于田间防治蚜虫[7]。但天敌生物的大量扩繁技术一直是限制生物防治广泛应用的主要因素，例如捕食性天敌瓢虫用人工饲料饲养时存在产卵率和孵化率低的问题[8-9]。所以在新的高效的人工饲料开发出来之前，蚜虫作为一种天然饲料，其室内扩繁技术仍具有研究价值。

在蚜虫的室内扩繁中，蚕豆由于其茎秆粗壮，叶片宽厚多汁，能为蚜虫的生长、繁殖提供充足的食物而被广泛应用。早在 1970 年，Stary[10] 就报道了用蚕豆苗大量扩繁豌豆蚜 *Acyrthosiphon pisum* 来饲养豌蚜茧蜂 *Aphidius smithi*。张帆等[11]在瓢虫、草蛉人工繁殖方法中详细描述了用蚕豆苗繁殖豆蚜 *Aphis craccivora* 和桃蚜 *Myzus persicae* 的过程，在苗高 3～5 cm 时，每株接蚜 3～5 头，10～15 d 后，每株蚕豆苗可繁殖蚜虫 100 多头，繁殖的蚜虫可直接用于蚜虫天敌的饲养。曾斌[12]、王瑞等[13]在饲养室种植蚕豆，播种 3～4 d 或植株生长到 4～5 cm 时接入豌豆蚜，待植株生长到 15～20 cm，蚜虫数量趋于饱和时，用其扩繁异色瓢虫 *Harmonia axyridis*。谢佳沁等[14]、周宇航等[15]和于晓飞等[16]也分别报道了利用蚕豆植株饲养豌豆修尾蚜，进而应用于龟纹瓢虫 *Propylea japonica*、七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 和食蚜瘿蚊 *Aphidoletes aphidimyza* 的规模化生产。

可取食蚕豆的蚜虫种类丰富，对于提高蚜虫室内繁殖量及其天敌的规模化生产效率来说，明确单位时间内何种蚜虫在蚕豆的繁殖量最大，探究蚕豆植株对不同蚜虫适合度的差异十分必要。豌豆修尾蚜和豆蚜是室内饲喂异色瓢虫、大草蛉 *Chrysopa pallens* 等天敌中研究较多的蚜虫种类[17-18]，但是蚕豆苗对这两种蚜虫适合度差异的研究目前尚未见报道。本研究拟通过对这 2 种蚜虫在室内蚕豆苗上生长发育和繁殖特性的研究，筛选出在蚕豆苗上适合度较高的蚜虫种类，进而提高利用蚕豆繁殖蚜虫的数量，为提高蚜虫天敌的规模化生产效率奠定理论基础。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

供试虫源：豌豆修尾蚜由河北农业大学植物保护学院昆虫实验室提供。豆蚜于 2019 年 4 月中下旬到 5 月初采集于河北农业大学西区龙爪槐。2 种蚜虫均在温度为(19±1)℃、光周期为 L∥D＝14 h∥10 h 和相对湿度为(70±10)%的人工气候箱中用蚕豆苗繁殖 6 个世代后作为供试虫源。

1.2　蚕豆苗的种植

所用蚕豆 *Vicia faba* 材料采自四川，品种为‘成胡 10 号’。将蚕豆种子用温水浸泡一夜，蛭石和营养土按 2∶1的比例混合均匀，平铺于 50 cm×19 cm×15 cm 的育苗盒中，厚度约 3 cm，将浸泡好的蚕豆种子平铺于培养土表面，覆一层约 1 cm 厚的蛭石，每盒播种 90 粒蚕豆种子，浇足量的水，置于人工气候箱中，培养条件同 1.1，每 3 d 浇 1 次水，待幼长至三叶时去顶，然后接入蚜虫。每天种植 2～3 盒蚕豆苗供后期轮换使用。

1.3　蚜虫饲养装置的设计

参照刘树生[19]饲喂蚜虫的方法，其中饲养装置稍作改进。用剪刀将吸水海绵(厚 2 cm)和滤纸剪成直径为 9 cm 的圆片，并在中央划一道长 1 cm 的十字型插口，而后以吸水海绵在下、滤纸在上的顺序置于柱形单面底透明的养虫盒(直径 9 cm、高 9 cm)内。将植物营养液注入到盒内的海绵里，每盒每次注入等量稀释后的通用型浓缩营养液(徐州艺迪园艺有限公司，成分：氮、磷、氯化钾、氯化镁和整合态微量元素)，使其达到饱和状态。之后把带有叶柄的新鲜蚕豆叶片(保证叶柄切口光滑平整，叶片生长状况一致)插入插口中，调整好叶片姿态，最后用纱网(80 目)和橡皮筋封口。

1.4　蚜虫发育历期的测定

用毛笔将供试蚜虫成蚜按 1 头/盒接于上述饲养装置内的蚕豆叶上，用纱网和橡皮筋封口后置于人工气候箱内，培养条件同 1.1。待成蚜产蚜后，仅留 1 头刚出生若蚜，其他蚜虫用毛笔剔除，之后每

天在上午 8:00 和下午 8:00 观察记录其蜕皮时间和发育历期，蚜虫发育历期以蚜虫的蜕皮次数为准，每种蚜虫的试虫数均为 22 头。装置内的海绵每隔 1 d 注入等量营养液，蚕豆叶每 15 d 更换 1 次（转移蚜虫时需小心保护口针，蚕豆叶生长状况保持一致）。

1.5 蚜虫存活率曲线的测定

试验方法同 1.4。从若蚜出生开始每天观察记录蚜虫的生存天数和死亡时间，直至供试蚜虫死亡。每种蚜中重复观察 22 头。观察期间若测试蚜虫产蚜，需剔除新产若蚜。通过统计每天蚜虫的存活个数，计算蚜虫的存活率，制定蚜虫的存活率曲线。

1.6 蚜虫生殖力的测定

试验方法同 1.4。待两种蚜虫产蚜后，记录每天剔除的刚出生若蚜数，直至蚜虫不产蚜，通过统计每天蚜虫的产蚜量制作蚜虫的产蚜量曲线。同时，记录每次重复中单头蚜虫的总产蚜量、产蚜历期和产蚜次数，计算日产蚜均数和每次产蚜的均数，重复 22 次。

1.7 蚜虫种群生命表的组建

参照方美娟等[20]的方法，相关的生命表参数计算公式如下：

净增殖率：$R_0 = \sum l_x m_x$；

平均世代周期：$T = \sum l_x m_x x / R_0$；

内禀增长率：$r_m = (\ln R_0)/T$；

周限增长率：$\lambda = e^{r_m}$；

种群加倍时间：$t = \ln 2 / r_m$。

其中：x 为以日表示的蚜虫年龄阶段（d），l_x 为蚜虫在 x 年龄阶段的存活率（%），m_x 为在 x 年龄阶段平均每头蚜虫的产蚜量（头）。

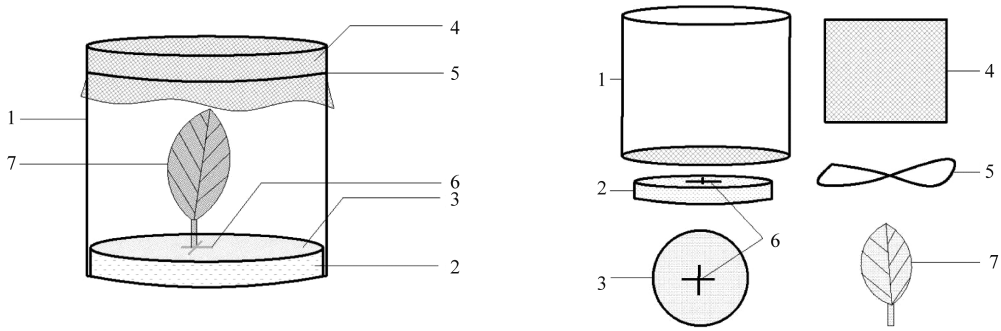
1.8 数据统计与分析

采用 SPSS 24.0 软件、Excel 2019 对获得的发育周期完整的蚜虫数据（$N=22$）进行统计分析。使用独立样本 t 测验检验蚜虫在蚕豆苗上的各发育历期和生殖力等参数差异显著性。

2 结果与分析

2.1 蚜虫的饲养装置

本试验参考前人的研究[21]，改进了蚜虫的饲养装置。该饲养装置制作简易，小巧方便，不仅延长了叶片新鲜的时间，还便于蚜虫的接种、剔除和观察（图 1）。



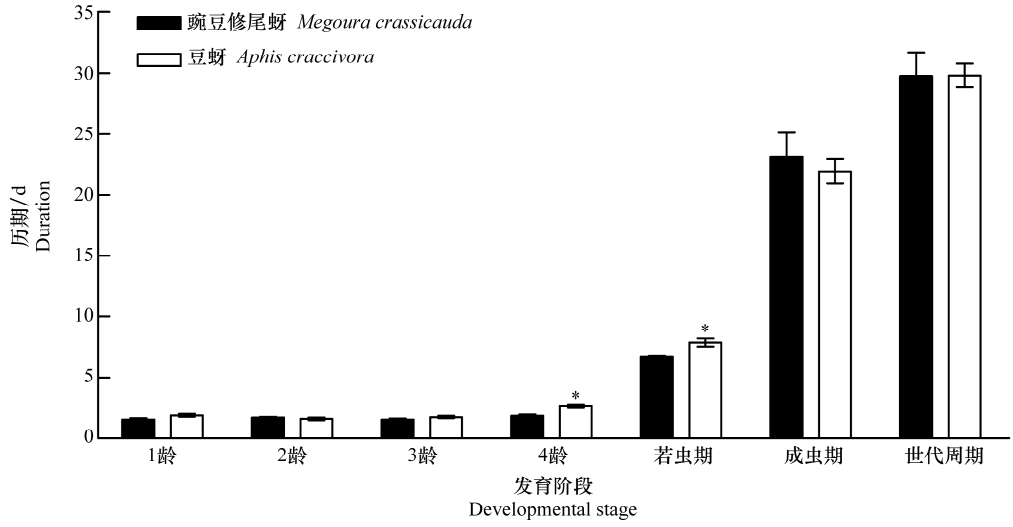
1: 单面底塑料盒; 2: 海绵块; 3: 白色滤纸; 4: 纱网; 5: 橡皮筋; 6: “十”字形插口; 7: 蚕豆叶片
1: Plastic box with single-sided bottom; 2: Sponge block; 3: White filter paper; 4: Gauze net; 5: Rubber band; 6: “Cross” socket; 7: Broad bean leaf

图 1 蚜虫饲养装置

Fig. 1 Aphid feeding device

2.2 2 种蚜虫在蚕豆苗上各阶段发育历期的比较

通过对试验数据的统计分析，2 种蚜虫相同条件下在蚕豆苗上的发育历期如图 2 所示。由图 2 可知，2 种蚜虫在蚕豆苗上均可完成其生长发育，且各阶段发育历期有一定差异。豌豆修尾蚜与豆蚜的 1～3 龄历期差异不显著，豌豆修尾蚜的 4 龄历期和若虫历期均显著低于豆蚜，其中豌豆修尾蚜和豆蚜的 4 龄期分别为 1.86 d 和 2.64 d，若虫期分别为 6.66 d 和 7.86 d；豌豆修尾蚜成虫期 23.11 d，相对于豆蚜成虫期为 21.93 d 差异不显著；从整个世代发育历期看，豌豆修尾蚜为 29.77 d，相对于豆蚜 29.80 d 差异不显著。



* 表示同一阶段2种蚜虫发育历期差异显著(独立样本t测验, $P < 0.05$)
* indicate significant difference in duration between two aphids at the same developmental stage (independent sample t-test, $P < 0.05$)

图 2　豌豆修尾蚜和豆蚜在蚕豆苗上的发育历期

Fig. 2　Developmental duration of *Megoura crassicauda* and *Aphis craccivora* on *Vicia faba* seedlings

2.3　2 种蚜虫在蚕豆苗上生殖力的比较

2 种蚜虫的平均产蚜量曲线如图 3 所示，豌豆修尾蚜与豆蚜在不同时间段的产蚜量存在一定差异，且产蚜量均先升后降。豌豆修尾蚜在短时间内可以达到生殖高峰，在第 8 天产量为 4.1 头，在第 8 天之后繁殖力进入衰退期。豆蚜在第 12 天的时候进入生殖高峰，为 3.9 头，在第 12 天之后进入衰退期，衰退期之后比豌豆修尾蚜多繁殖 1 d。由此可知，在前期豌豆修尾蚜相对于豆蚜，可以很快地进入生殖高峰期，但是后期豌豆修尾蚜的日均产蚜量大多低于豆蚜。

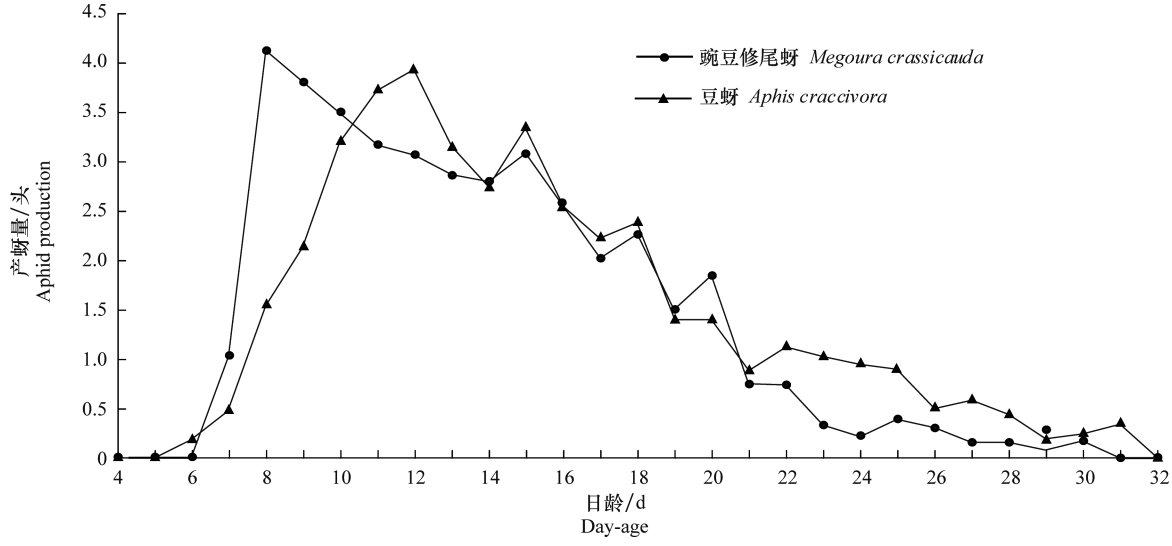


图 3　单头蚜虫在蚕豆苗上的平均产蚜量曲线

Fig. 3　Average aphid yield curve of single aphid on *Vicia faba* seedlings

由表 1 可知，两种蚜虫在产蚜历期、产蚜总量、产蚜代数、每代产蚜均数和日产蚜均数上差异均不显著。豌豆修尾蚜的产蚜历期 15.00 d、产蚜量 76.27 头和产蚜代数 11.89 代，均稍低于豆蚜。统计分析表明，这两种蚜虫在蚕豆苗上的生殖力差异不显著。

表 1 豌豆修尾蚜和豆蚜在蚕豆苗上的繁殖力比较[1)]

Table 1 Comparison of the fecundity of *Megoura crassicauda and Aphis craccivora* on *Vicia faba* seedlings

蚜虫种类 Aphid species	产蚜历期/d Reproduction duration	产蚜总量/头 Total number of offspring	产蚜代数 Reproduction generations	每代产蚜均数/头 Average progenies per generation	日产若蚜均数/头 Average progenies per day
豌豆修尾蚜 *M. crassicauda*	(15.00±1.11)a	(76.27±5.98)a	(11.89±0.72)a	(6.39±0.32)a	(5.18±0.30)a
豆蚜 *A. craccivora*	(15.89±1.02)a	(79.64±5.17)a	(12.91±0.77)a	(6.25±0.30)a	(5.26±0.39)a

1) 表中数值为平均值±标准误,同一列后不同字母表示差异显著(独立样本 t 测验,$P<0.05$)。
Data were mean±SE. Data followed by different letters in the same column are significantly different at 0.05 level ((independent sample *t*-test, $P<0.05$).

2.4 2 种蚜虫在蚕豆苗上的种群存活率比较

2 种蚜虫的存活率曲线见图 4。在 14 d之前 2 种蚜虫在蚕豆上的种群存活率无差异,14～36 d之后,豌豆修尾蚜存活率平稳下降,36 d之后大幅下降。豆蚜在第 17～27 d之间存活率呈平稳状态下降,但 27 d之后,其存活率呈直线下滑,直至死亡。在 14～30.5 d内豌豆修尾蚜的存活率略低于豆蚜,30.5 d之后豌豆修尾蚜的存活率高于豆蚜,表明豌豆修尾蚜整体存活状态的持续时间长于豆蚜。

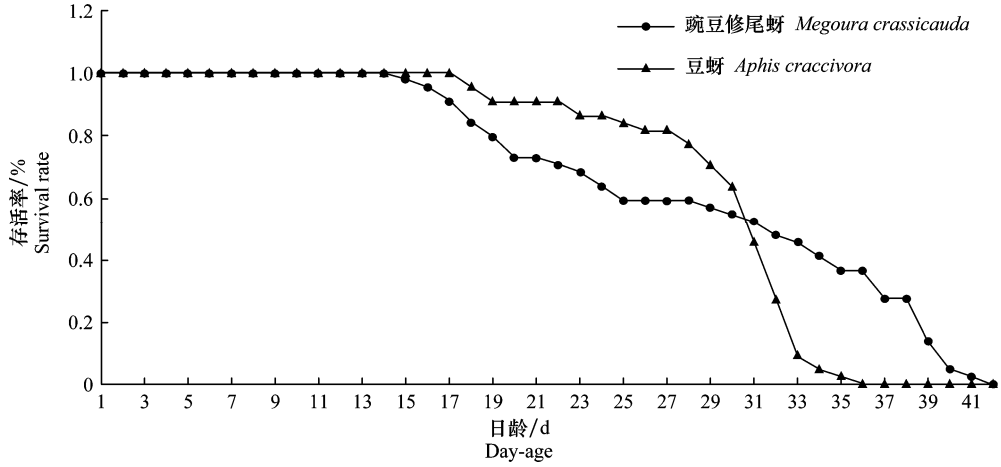


图 4 豌豆修尾蚜和豆蚜在蚕豆苗上的种群存活率曲线

Fig. 4 Survivorship curve of *Megoura crassicauda and Aphis craccivora* populations on *Vicia faba* seedlings

2.5 2 种蚜虫在蚕豆苗上的种群生命参数比较

2 种蚜虫在蚕豆苗上的生命表参数见表 2。2 种蚜虫在蚕豆苗上的种群生命参数有一定差异。豌豆修尾蚜和豆蚜的净增殖率分别为 76.27 和 79.64,平均世代周期分别为 13.55 d和 15.25 d,种群加倍时间分别为 2.17 d和 2.41 d,豌豆修尾蚜的种群加倍时间、净增殖率和平均世代周期均低于豆蚜。但豌豆修尾蚜的内禀增长率 0.32 和周限增长率 1.38 均高于豆蚜的内禀增长率 0.29 和周限增长率 1.33,表明豌豆修尾蚜的种群在单位时间里的理论增长倍数以及在蚕豆苗上的适合度均高于豆蚜。

表 2 豌豆修尾蚜和豆蚜在蚕豆苗上的种群生命参数表

Table 2 Life table parameters of *Megoura crassicauda and Aphis craccivora* populations on *Vicia faba* seedlings

蚜虫种类 Aphid Species	净增殖率(R_o) Net reproductive rate	平均世代周期/d Mean generation time	内禀增长率(r_m) Intrinsic rate of increase	周限增长率(λ) Finite rate of increase	种群加倍时间/d Population doubling time
豌豆修尾蚜 *M. crassicauda*	76.27	13.55	0.32	1.38	2.17
豆蚜 *A. craccivora*	79.64	15.25	0.29	1.33	2.41

3 讨论

适合度是衡量个体或群体生长繁殖的量化特征，一般包括存活率、生命周期、生长发育速度和产卵量等[22]。周晓榕等[23]和陈应武等[24]认为生命参数表中内禀增长率是反映种群适合度的最具代表性的指数，同时也是对不同物种间及不同种群间进行差异分析较为理想的参数。

不同寄主植物对蚜虫的适合度有显著影响，韩秀楠等[25]的研究表明，豌豆蚜取食蚕豆、豌豆 *Pisum sativum*、紫苜蓿 *Medicago sativa* 和红豆草 *Onobrychis viciifolia* 4 种植物时，对蚕豆的适合度最好，且繁殖速度最快，表明蚕豆是适宜繁殖豌豆蚜的寄主植物。Frazer[26]研究黑豆蚜 *Aphis fabae* 和豌豆蚜在蚕豆上的生命参数时，也发现 2 种蚜虫的繁殖力和存活率差异明显，黑豆蚜在蚕豆上的适合度高于豌豆蚜。本试验结果中，豌豆修尾蚜的 4 龄历期和若虫历期均显著低于豆蚜。豌豆修尾蚜在 14～30.5 d 存活率略低于豆蚜，30.5 d 后高于豆蚜，但其整体存活率趋势比豆蚜稳定。产蚜量曲线显示，豌豆修尾蚜相对豆蚜，前期产蚜量增长迅速，最先达到生殖高峰。生命参数表显示，豌豆修尾蚜的内禀增长率和周限增长率比豆蚜高，说明豌豆修尾蚜在蚕豆苗上的适应能力更强，单位时间里的理论增长倍数高于豆蚜，这与产蚜量曲线中豌豆修尾蚜前期产蚜量迅速增长相符。综合表明，豌豆修尾蚜相较豆蚜在蚕豆苗上有更高的适合度。

本试验初步明确了豌豆修尾蚜在蚕豆苗上较豆蚜有更高的适合度，但在蚕豆苗上可繁育的蚜虫还有其他常见种类，进一步探明蚕豆苗上豌豆修尾蚜与其他蚕豆蚜虫适合度的差异，可完善扩大蚜虫繁殖量进而提高天敌规模化生产效率的技术体系。蚜虫天敌规模化生产效率的提高除与其食物数量相关，还与食物种类有关。张岩等[27]报道用 5 种蚜虫饲喂异色瓢虫，结果显示菜缢管蚜 *Lipaphis erysimi* 是饲养异色瓢虫较好的饲料。范文红[28]研究黑带食蚜蝇 *Episyrphus balteatus* 取食不同蚜虫种类时生长发育的差异，发现用甘蓝蚜 *Brevicoryne brassicae* 饲喂的黑带食蚜蝇成活率、化蛹率要高于其他 2 种蚜虫。周娟等[29]在分析黄玛草蛉 *Mallada basalis* 对蚜虫的捕食效率过程中表明，黄玛草蛉不同龄期取食玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis* 和甘蓝蚜的数量有明显差异。因此天敌昆虫取食所嗜食物后，生长发育快，死亡率低，且繁殖力高，所以在蚜虫天敌的实际生产中，还需进一步结合不同蚜虫种类对其天敌生长发育及繁殖影响的因素，从而确定最佳饲喂的蚜虫种类。此外，研究表明大白菜成熟的叶子在离体条件下，会加快桃蚜的发育速率，更适合其取食[19]，所以还需进一步试验比较离体蚕豆叶片与活体植株对蚜虫生长状况的影响是否存在一定差异。同时，未来应进一步研究蚕豆上蚜虫及其天敌昆虫之间的相互关系，继续完善蚜虫天敌的规模化繁育技术，从而为蚜虫的生物防治提供理论依据。

参考文献

[1] ZHANG Shize, CAO Zhu, WAMG Qiaoli, et. al. Exposing eggs to high temperatures affects the development, survival and reproduction of *Harmonia axyridis* [J]. Journal of Thermal Biology, 2014, 39(1): 40－44.

[2] 张润志，张蓉. 宁夏危害枸杞的蚜虫种类为棉蚜、桃蚜和豆蚜[J]. 应用昆虫学报，2016，53(1)：218－222.

[3] CICHOCKAI E, GOSZCZYNSKI W, LUBIARZI M. Chemical and physiological changes caused by aphids feeding on their host plants [J]. Polish Journal of Entomology, 2015, 84(4): 233－248.

[4] DEDRYVER C A, RALEC A L, FBRE F. The conflicting relationships between aphids and men: a review of aphid damage and control strategies [J]. Comptes Rendus Biologies, 2010, 333(6/7): 539－553.

[5] TRINH D N, HA T K L, QIU Dewen. Biocontrol potential of some entomopathogenic fungal strains against bean aphid *Megoura japonica* (Matsumura) [J]. Agriculture, 2020, 10(4): 1－10.

[6] BLAIR A, RITZ B, WESSELING C, et al. Pesticides and human health [J]. Occupational & Environmental Medicine, 2015, 72(2):81－82.

[7] OBRYCKI J J, HARWOOD J D, KRING T J, et al. Aphidophagy by Coccinellidae: Application of biological control in agroecosystems [J]. Biological Control, 2009, 51(2): 244－254.

[8] 王红托，张伟东，陈新中，等. 异色瓢虫规模化生产技术及瓢虫工厂的建立[J]. 应用昆虫学报，2012，49(6)：1726－1731.

[9] 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.

[10] STARY P. Methods of mass-rearing, collection and release of *Aphidius smithi* (Hymenoptera, Aphidiidae) in Czechoslovakia [J]. Acta Entomologica Bohemoslovaca, 1970, 67(5): 339－346.

（下转 164 页）

版社，2014：727－729.
[9] 周娇，李娟，翁强，等. 沙棘木蠹蛾生殖系统形态学和组织学观察[J]. 应用昆虫学报，2012，49(6)：1629－1635.
[10] 彭云飞. 桃小食心虫和梨小食心虫生殖及消化系统发育的形态学研究[D]. 晋中：山西农业大学，2014.
[11] 李传瑛，章玉苹，黄少华，等. 草地贪夜蛾室内人工饲养技术的研究[J]. 环境昆虫学报，2019，41(5)：986－991.
[12] 王世英，朱启绽，谭煜婷，等. 草地贪夜蛾室内人工饲料群体饲养技术[J]. 环境昆虫学报，2019，41(4)：742－747.
[13] 和伟，赵胜园，葛世帅，等. 草地贪夜蛾种群性诱测报方法研究[J]. 植物保护，2019，45(4)：48－53.
[14] 冯波，郭前爽，姚晓明，等. 二化螟雄蛾交配行为与精巢大小的关系[J]. 昆虫学报，2019，62(7)：849－856.
[15] 刘琳，冯启理. 鳞翅目昆虫精巢融合的研究[J]. 华南师范大学学报(自然科学版)，2014，46(5)：1－7.
[16] 文靓，陈丰，陈亚青，等. 斜纹夜蛾精巢的发育和精子的发生[J]. 华南师范大学学报(自然科学版)，2019，51(4)：47－56.
[17] THORNHILL R，ALCOCK J. The evolution of insect mating systems [M]. Massachusetts：Harvard University Press，1983.
[18] SIMMONS A M，MARTI O G. Mating by the fall armyworm (Lepidoptera：Noctuidae)：frequency，duration，and effect of temperature [J]. Environmental Entomology，1992，21(2)：371－375.
[19] 冯波，张万民，张丹，等. 日龄和交配状态对亚洲玉米螟雄蛾内生殖器特征的影响[J]. 昆虫学报，2020，63(3)：317－326.
[20] 郭前爽，王春荣，宋显东，等. 日龄和交配状态对二化螟雄蛾内生殖器特征的影响[J]. 昆虫学报，2019，62(7)：838－848.

（责任编辑：杨明丽）

(上接 130 页)

[19] 刘雨芳，TADASHI M. 杀扑磷抗性获得对奥氏钝绥螨发育历期与繁殖能力的影响[J]. 昆虫学报，2007，50(11)：1181－1184.
[20] 李培征，陆永跃，梁广文，等. 桔小实蝇抗多杀霉素的生物适合度代价[J]. 环境昆虫学报，2014，36(1)：68－71.
[21] LI Xiaoyu，WAN Yanran，YUAN Guangdi，et al. Fitness trade-off associated with spinosad resistance in *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera：Thripidae) [J]. Journal of Economic Entomology，2017，110(4)：1755－1763.
[22] 张万娜. 棉铃虫保幼激素作用机制及其对 Bt 抗性适合度代价的调控[D]. 北京：中国农业科学院，2016.
[23] MANSOOR M M，ABBAS N，SHAD S A，et al. Increased fitness and realized heritability in emamectin benzoate-resistant *Chrysoperla carnea* (Neuroptera：Chrysopidae) [J]. Ecotoxicology，2013，22(8)：1232－1240.
[24] ABBAS N，MANSOOR M M，SHAD S A，et al. Fitness cost and realized heritability of resistance to spinosad in *Chrysoperla carnea* (Neuroptera：Chrysopidae) [J]. Bulletin of Entomological Research，2014，104(6)：707－715.
[25] 王争艳，王文芳，苗世远，等. 抗药性昆虫相对适合度的研究进展[J]. 应用昆虫学报，2021，58(3)：487－496.

（责任编辑：杨明丽）

(上接 141 页)

[11] 张帆，耿小丽，黄宁兴. 瓢虫、草蛉人工繁殖生产方法：1631127[P]. 2005－06－29.
[12] 曾斌. 异色瓢虫人工大量繁殖与田间释放技术研究[D]. 武汉：华中农业大学，2013.
[13] 王瑞，周兴苗，谭军，等. 一种人工大量繁殖异色瓢虫的方法：102948401A[P]. 2013－03－06.
[14] 谢佳沁，吴红胜，潘畅，等. 一种龟纹瓢虫人工饲养、保种和繁殖生产方法：104396881A[P]. 2015－03－11.
[15] 周宇航，程英，金剑雪，等. 七星瓢虫规模化生产与释放的应用效果[J]. 西南农业学报，2017，30(3)：602－605.
[16] 于晓飞，韩小斌，宋冬梅，等. 食蚜瘿蚊工厂化繁殖技术规程[J]. 贵州农业科学，2018，46(5)：38－40.
[17] 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.
[18] 程丽媛，廖先骏，徐龙祥，等. 以豌豆修尾蚜为猎物的大草蛉两性生命表和捕食率[J]. 植物保护学报，2014，41(6)：680－686.
[19] 刘树生. 介绍一种饲养蚜虫的方法——新的叶子圆片法[J]. 应用昆虫学报，1987，24(2)：113－115.
[20] 方美娟，何晓庆，刘冬，等. 3 种蚜虫在大麦上生命表参数的研究[J]. 安徽农业科学，2015，43(32)：263－265.
[21] 周岳阳，刘顺，秦秋菊，等. 单头豌豆修尾蚜的饲养装置：211211047U [P]. 2020－08－11.
[22] 刘凤沂，须志平，薄仙萍，等. 昆虫抗药性与适合度[J]. 应用昆虫学报，2008，45(3)：374－378.
[23] 周晓榕，卜庆国，庞保平. 温度对桃蚜和马铃薯长管蚜实验种群生命表参数的影响[J]. 昆虫学报，2014，57(7)：837－843.
[24] 陈应武，窦彩虹. 5 种恒定温度下苜蓿斑蚜实验种群生命表的研究[J]. 河南农业科学，2008 (4)：78－82.
[25] 韩秀楠，王小强，赵林平，等. 不同寄主植物对豌豆蚜生长发育和繁殖的影响[J]. 植物保护，2012，38(1)：40－43.
[26] FRAZER B D. Life tables and intrinsic rates of increase of apterous black bean aphids and pea aphids，on broad bean (Homoptera：Aphididae) [J]. The Canadian Entomologist，1972，104(11)：1717－1722.
[27] 张岩，秦秋菊，陈洁，等. 五种蚜虫对异色瓢虫生长发育和繁殖的影响[J]. 植物保护学报，2008，35(5)：394－394.
[28] 范文红. 不同蚜虫种类对黑带食蚜蝇生长发育的影响[J]. 云南农业科技，2015(3)：16－17.
[29] 周娟，生惠宇，李子园，等. 黄玛草蛉对两种蚜虫的捕食效能[J]. 环境昆虫学报，2020，42(1)：152－156.

（责任编辑：杨明丽）