成虫期饲养密度、性比及补充营养对孟氏隐唇瓢虫生殖力的影响

杨希陶[1,2]， 张月青[1,2]， 符悦冠[3]， 朱俊洪[2*]， 叶政培[1]， 郑丽旧[1]，
陈俊谕[1]， 张方平[1*]

(1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所，天敌昆虫繁育与产业化技术海南省工程研究中心，海南省热带农业有害生物监测与控制重点实验室，农业农村部热带作物有害生物综合治理重点实验室，海口 571101；2. 海南大学热带农林学院，热带农林生物灾害绿色防控教育部重点实验室，海口 570228；3. 中国热带农业科学院三亚研究院，三亚 572024)

摘要 为明确成虫期的饲养密度、性比及补充营养对孟氏隐唇瓢虫 *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant 生殖力的影响，在温度(27±1)℃、光周期 L//D=8 h//16 h，以柑橘臀纹粉蚧 *Planococcus citri* (Risso)为猎物观察了不同瓢虫密度(1♂+2♀、2♂+4♀、3♂+6♀、4♂+8♀、5♂+10♀/1 000 mL)、性比(♂:♀=1:1、1:2、1:3、1:4、1:5)、补充营养物质(柑橘臀纹粉蚧、丰年虾卵、蔗糖水、清水)的产卵情况。结果表明，随着成虫密度的增加，孟氏隐唇瓢虫单雌产卵量呈下降趋势，当成虫密度为(1♂+2♀)/1 000 mL 时，单雌产卵量最高为 514.5 粒，密度为(5♂+10♀)/1 000 mL 时，单雌产卵量最低，为 331.3 粒；性比(♂:♀)为 1:1时的单雌产卵量最高，性比为 1:5时的单雌产卵量最低；成虫期替代食物为柑橘臀纹粉蚧时产卵量最高，其次为 20%蔗糖水。综上，在成虫密度较低、雌雄性比 1:1条件下，孟氏隐唇瓢虫雌虫的生殖力更强，成虫期在食物不足的情况下，可用 20%蔗糖水作为暂时补充，这些结果为孟氏隐唇瓢虫的商品化生产及田间应用提供了理论依据及指导。

关键词 孟氏隐唇瓢虫； 生殖力； 饲养密度； 性比； 补充营养

中图分类号： S 476.2 **文献标识码**： A **DOI**： 10.16688/j.zwbh.2024678

Effects of adult rearing density, sex ratio and supplementary nutrition on the fecundity of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant

YANG Xitao[1,2]， ZHANG Yueqing[1,2]， FU Yueguan[3]， ZHU Junhong[2*]， YE Zhengpei[1]， ZHENG Lijiu[1]，
CHEN Junyu[1]， ZHANG Fangping[1*]

(1. *Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Hainan Provincial Engineering Research Center for the Breeding and Industrialization of Natural Enemies, Hainan Provincial Key Laboratory of Tropical Agricultural Pest Monitoring and Control, Key Laboratory of Tropical Crop Pest Integrated Management, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Haikou* 571101, *China*; 2. *College of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Key Laboratory of Green Prevention and Control of Tropical Agricultural and Forestry Biological Disasters, Ministry of Education, Haikou* 570228, *China*; 3. *Sanya Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Sanya* 572024, *China*)

Abstract To elucidate the impacts of adult rearing density, sex ratio, and supplementary nutrition on the fecundity of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant, egg-laying was observed under controlled conditions (27±1)℃, L//D=8 h//16 h with *Planococcus citri* (Risso) as prey. Different adult densities (1♂+2♀、2♂+4♀、3♂+6♀、4♂+8♀、5♂+10♀ per 1 000 mL), sex ratios (♂:♀ = 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5), and supplementary diets (*P. citri*, brine shrimp eggs, sucrose water, water) were tested. Results showed that single-female fecundity decreased with increasing adult density. At a density of 1♂+2♀ per 1 000 mL, the highest mean egg number per

收稿日期： 2024-12-26 **修订日期**： 2025-04-07
基金项目： 海南省重点研发项目(ZDYF2023XDNY085)；海南省科技人才创新项目(KJRC2023B18)；国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-33-GW-BC2)
* 通信作者 E-mail：朱俊洪 Junhongz@163.com；张方平 Fangpingz97@163.com

female was 514.5, whereas at 5♂+10♀ per 1 000 mL it was the lowest (331.3 eggs). The highest fecundity occurred at a sex ratio of 1∶1, while the lowest was at 1∶5. Among supplementary diets, *P. citri* yielded the greatest oviposition, followed by 20% sucrose solution. In conclusion, under low adult density and a 1∶1 sex ratio, females of *C. montrouzieri* exhibited stronger reproductive capacity. When food is limited during the adult stage, 20% sucrose solution can serve as a temporary nutritional supplement. These results provide theoretical and practical guidance for the commercial mass production and field application of *C. montrouzieri*.

Key words *Cryptolaemus montrouzieri*; fecundity; rearing density; sex ratio; supplementary nutrition

生殖是昆虫种群繁衍、维持以及扩张的关键环节[1]。昆虫生殖力受内源因子(遗传基因、生殖方式、激素调控、繁殖能力)与外源因子(温湿度、光周期、食物、天敌、种群密度、人类活动)的协同调控,其表达强度随多种因子的互作而呈动态变化[2-6]。在诸多影响因子中,昆虫成虫期饲养密度、性比、营养是其中几个重要因子[3,7]。对于两性生殖的昆虫,两性交配是产生后代及维持种群繁衍的必要环节,交配的成功率及交配次数与其性比有关[8],例如,随雌雄比例上升,蠋蝽 *Arma chinensis* 交配次数增加,其生殖输出衰减[9];异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 在雌雄比为 1∶1时产卵量最高,而雌雄比例偏高或偏低,其产卵量均呈下降趋势[10]。另外,昆虫种内不同个体间通常存在对食物、空间、交配等方面的资源竞争[11-12],对有自残习性的捕食性昆虫来说,在空间限制下,其种内的竞争尤为激烈,会导致发育迟滞、存活率下降及生殖力衰减的级联效应[13],例如十二斑点瓢虫 *Coleomegilla maculata* 产卵量随其成虫个体生存空间缩小而下降,其后代孵化率随之降低[14]。成虫期的营养物同样会影响昆虫的生理、寿命、卵子发育、产卵等行为,例如给旋小蜂 *Eupelmus vuilleti* 补充碳水化合物后能增加其体内的脂质;给豌豆潜蝇姬小蜂 *Diglyphus isaea* 补充葡萄糖能延长其寿命、促进卵子形成[15-16]。鉴于成虫期是昆虫交配、育卵、产卵(产幼)等繁殖行为的关键阶段,且该阶段空间环境、性比及营养等条件关乎其种群增长的最终结果[17],因此,研究成虫期饲养密度、性比及营养对天敌昆虫的室内扩繁及田间应用具有重要意义。

孟氏隐唇瓢虫 *Cryptolaemus montrouzieri* 属鞘翅目 Coleoptera 瓢虫科 Coccinellidae 小毛瓢虫亚科 Scymninae 小毛瓢虫族 Scymnini 隐唇瓢虫属 *Cryptolaemus*,是粉蚧的一种重要捕食天敌[18]。该虫原产于澳大利亚,目前已引种到 20 多个国家和地区并成功定殖,对柑橘臀纹粉蚧 *Planococcus citri*、长尾粉蚧 *Pseudococcus longispinus*、新菠萝灰粉蚧 *Dysmicoccus neobrevipes* 等农业害虫均起到良好的控制作用[19-20]。据报道,孟氏隐唇瓢虫的繁殖能力受温度、食物(猎物)等因子的影响明显,在温度 24、28、32℃条件下,以扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* 为食,28℃时产卵量最高,为 235.1 粒/雌;以柑橘臀纹粉蚧、地中海粉螟 *Ephestia kuehniella*、麦二叉蚜 *Schizaphis graminum* 等 3 种粉蚧为食时,取食柑橘臀纹粉蚧的产卵量最高,达 1 049.7 粒/雌[5,21]。目前,与孟氏隐唇瓢虫生殖力相关的研究大部分为环境条件及发育期的食物,尚未见成虫期饲养密度、性比与补充营养对其生殖力影响的报道。由于孟氏隐唇瓢虫成虫期的空间密度、性比及营养补充通过级联调控其寿命、生殖潜力,最终对其种群的繁殖能力产生影响,因此,本研究以柑橘臀纹粉蚧为食物,比较了成虫期饲养密度、性比与补充营养对孟氏隐唇瓢虫产卵量的影响,以期为优化其室内扩繁技术提供数据支持。

1　材料与方法

1.1　试验材料

柑橘臀纹粉蚧:在中国热带农业科学院环境与植物保护研究所儋州试验基地内用南瓜 *Cucurbita moschata*(品种:'蜜本')在室内隔离饲养,连续繁殖数代备用。

孟氏隐唇瓢虫:从中山大学获取,在中国热带农业科学院环境与植物保护研究所儋州试验基地用柑橘臀纹粉蚧及蜡泌物组成的混合物(后文以柑橘臀纹粉蚧为食物时,均为包含蜡泌物的混合物)在室内连续饲养数代备用。

1.2　试验方法

1.2.1　饲养密度对孟氏隐唇瓢虫生殖力的影响

在南瓜表面挑选含有较多柑橘臀纹粉蚧成虫、卵、初孵若虫及蜡泌物的混合物放在长×宽=4 cm×4 cm 的纱布上,作为产卵介质及食物补充。将该介质放入 5 个 1 000 mL 产卵盒(长×宽×高=20.00 cm×10.00 cm×5.00 cm)内,然后以 1♂∶2♀的性比分别向每个盒内投放 1♂+2♀、2♂+4♀、3♂+6♀、4♂+8♀、5♂+10♀的初羽化孟氏隐唇瓢虫成虫,将产卵盒放入温度(27±1)℃,相对湿度(75±5)%,光周期

L//D=8 h//16 h 的人工气候箱(上海一恒科学仪器有限公司;型号:MGC-350HP-2)内,每 48 h 更换 1 次产卵介质,取出的产卵介质放在 JSZ8 体视镜(南京江南永新光学有限公司)下观察、统计瓢虫的产卵量。试验持续观察 30 d,重复 4 次。

1.2.2 不同性比对孟氏隐唇瓢虫生殖力的影响

按试验 1.2.1 准备孟氏隐唇瓢虫的产卵介质,放入 200 mL(长×宽×高=8.00 cm×6.25 cm×4.00 cm)、400 mL(长×宽×高=12.50 cm×6.40 cm×5.00 cm)、600 mL(长×宽×高=15.00 cm×10.00 cm×4.00 cm)、800 mL(长×宽×高=20.00 cm×12.50 cm×3.20 cm)、1 000 mL(长×宽×高=20.00 cm×10.00 cm×5.00 cm)产卵盒内,再按 2♂+2♀、2♂+4♀、2♂+6♀、2♂+8♀、2♂+10♀(性比为 1∶1、1∶2、1∶3、1∶4、1∶5)的配比分别放入初羽化孟氏隐唇瓢虫成虫。将产卵盒放入温度(27±1)℃,相对湿度(75±5)%,光周期 L//D=8 h//16 h 的人工气候箱内,每 48 h 更换 1 次产卵介质,取出的产卵介质放在 JSZ8 体视镜下观察、统计瓢虫的产卵量。试验持续观察 30 d,重复 4 次。

1.2.3 成虫期暂时替代食物对孟氏隐唇瓢虫产卵量的影响

选取 4 个容积为 1 000 mL(长×宽×高=20.00 cm×10.00 cm×5.00 cm)的产卵盒,每盒投放 5♂+10♀孟氏隐唇瓢虫成虫,分别补充 20%蔗糖水、丰年虾卵、柑橘臀纹粉蚧、清水为食物饲养 3 d,然后在上述盒内放入柑橘臀纹粉蚧及蜡泌物组成的混合物作为产卵介质及食物供给,放入温度(27±1)℃、相对湿度(75±5)%、光周期 L//D=8 h//16 h 的人工气候箱内,每 48 h 换入新的产卵介质,取出的产卵介质在 JSZ8 体视镜下观察、记录其产卵量。试验持续观察 30 d,重复 4 次。

1.3 数据统计与分析

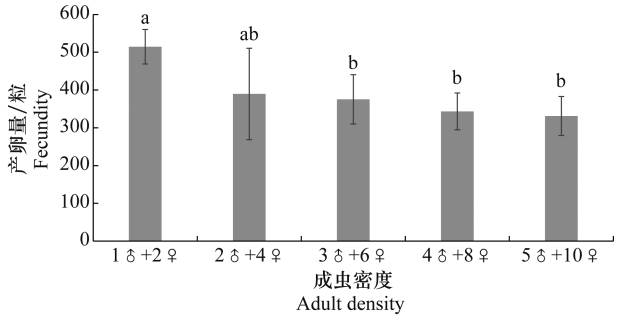
均采用 SAS9.4 统计软件进行分析。孟氏隐唇瓢虫产卵量进行单因素方差分析,采用 Duncan 氏新复极差法又称“最短显著极差法(shortest significant ranges, SSR)”进行差异显著性检验,图表制作在 Microsoft Excel 2010 版完成。

2 结果与分析

2.1 饲养密度对孟氏隐唇瓢虫生殖力的影响

2.1.1 不同成虫密度对孟氏隐唇瓢虫繁殖的影响

饲养密度显著影响孟氏隐唇瓢虫的产卵量($F_{4,15}=6.142\ 6$;$P<0.05$)。随着成虫密度的增加,孟氏隐唇瓢虫雌成虫产卵量逐渐降低。当成虫密度为(1♂+2♀)/1 000 mL 时,30 d 的产卵量最高,为 514.5 粒,与成虫密度为(2♂+4♀)/1 000 mL 相比无显著差异,但显著高于成虫密度为(3♂+6♀)、(4♂+8♀)、(5♂+10♀)/1 000 mL 时产卵量;成虫密度为(5♂+10♀)/1 000 mL 时孟氏隐唇瓢虫的产卵量最低,仅为 331.3 粒(图 1)。



图中不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。下同。

Different lowercase letters indicate significant differences according to Duncan's new multiple range test ($P<0.05$). The same applies below.

图 1 不同成虫密度对孟氏隐唇瓢虫产卵量的影响

Fig. 1 Effects of different adult densities on the fecundity of *Cryptolaemus montrouzieri*

2.1.2 不同成虫密度下孟氏隐唇瓢虫的产卵动态

同一密度下,孟氏隐唇瓢虫单雌产卵量总体均随雌虫日龄的增加呈先增加后降低的趋势。当成虫密度(1♂+2♀)/1 000 mL 时,单雌产卵量高峰为 10~12 日龄的雌成虫;密度为(2♂+4♀)/1 000 mL、(3♂+6♀)/1 000 mL、(4♂+8♀)/1 000 mL 时,产卵高峰分别为雌成虫 7~8 日龄、9~10 日龄、9~10 日龄,产卵高峰期较(1♂+2♀)/1 000 mL 均提前;而在密度为(5♂+10♀)/1 000 mL 时,产卵高峰为 13~14 日龄(图 2)。

2.2 饲养性比对孟氏隐唇瓢虫生殖力的影响

2.2.1 不同性比对孟氏隐唇瓢虫繁殖的影响

成虫性比显著影响孟氏隐唇瓢虫的产卵量($F_{4,15}=28.429\ 3$,$P<0.05$)。随着雌雄比的增加,孟氏隐唇瓢虫单雌产卵量呈下降趋势。当性比(♂∶♀)为 1∶1 时(群体密度 4 头/200 mL,简称“群密 4”),30 d 内的产卵量最高,为 741.1 粒,显著高于雄、雌性比为 1∶2(群密 6)、1∶3(群密 8)、1∶4(群密 10)、1∶5(群密 12)的产卵量;在性比为 1♂∶5♀(群密 12)时,30 d 的雌虫产卵量最低,仅为 331.3 粒(图 3)。

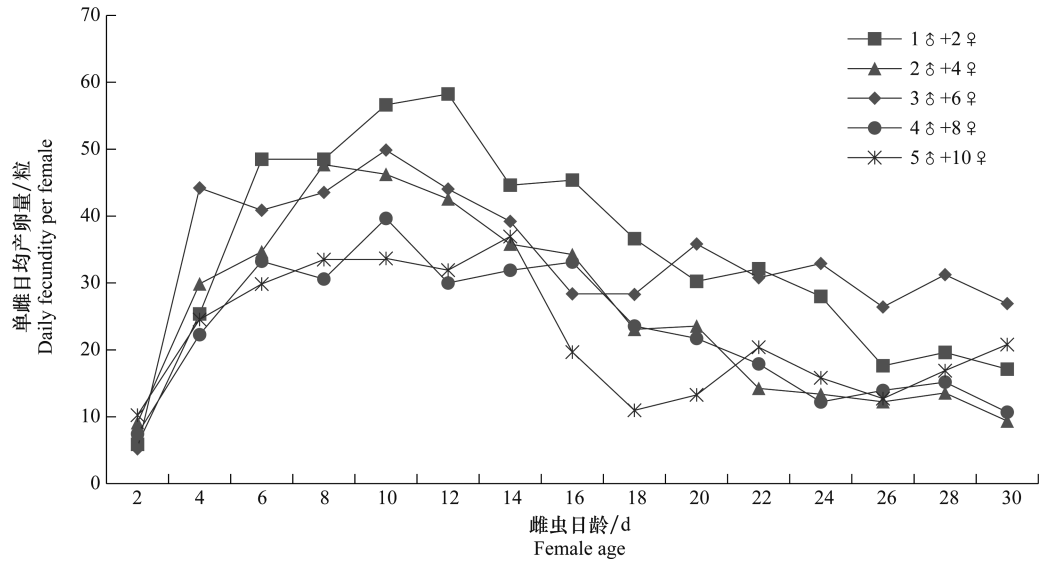


图 2　不同成虫密度下孟氏隐唇瓢虫的产卵动态

Fig. 2　Oviposition dynamics of *Cryptolaemus montrouzieri* at different adult densities

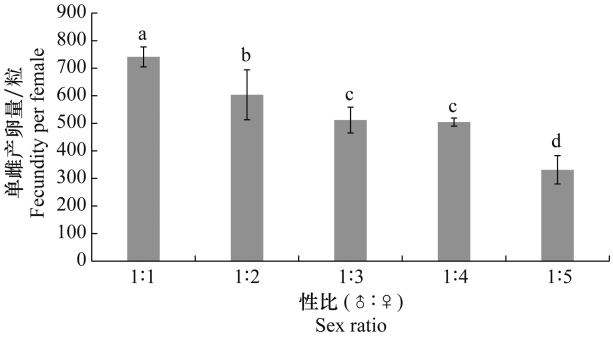


图 3　不同性比对孟氏隐唇瓢虫产卵量的影响

Fig. 3　Effects of different sex ratios on the fecundity of *Cryptolaemus montrouzieri*

2.2.2　不同性比下孟氏隐唇瓢虫的产卵动态

在同一性比下,孟氏隐唇瓢虫单雌 2 d 的产卵量随雌虫日龄的增加呈先增加后降低的趋势。当性比(♂:♀)为 1:1、1:2、1:3、1:4时,产卵高峰均为雌成虫 9～10 日龄,当性比为 1:5时,产卵高峰为 13～14 日龄(图 4)。

2.3　成虫期营养对孟氏隐唇瓢虫生殖力的影响

2.3.1　短期替代食物饲养对孟氏隐唇瓢虫产卵量的影响

短期替代食物种类对孟氏隐唇瓢虫产卵量有显著影响($F_{3,12}=23.132, P<0.05$)。先采用 4 种食源

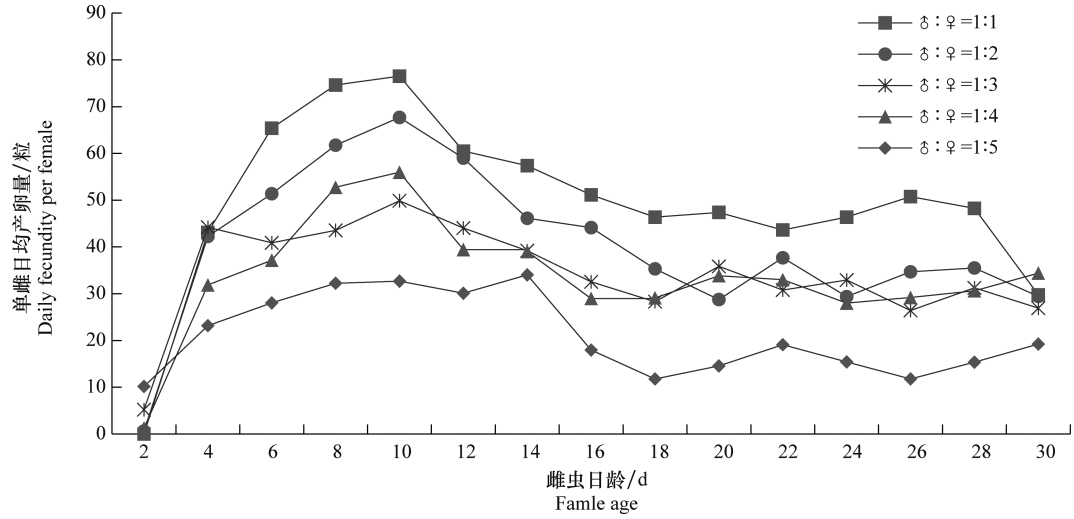


图 4　不同性比下孟氏隐唇瓢虫的产卵动态

Fig. 4　Oviposition dynamics of *Cryptolaemus montrouzieri* at different sex ratios

(20%蔗糖水、丰年虾卵、柑橘臀纹粉蚧、清水)饲喂初羽化孟氏隐唇瓢虫成虫 3 d 后,统一采用柑橘臀纹粉蚧饲养。随后 30 d 内的产卵量以前期食物为柑橘臀纹粉蚧的最高,为 333.5 粒/雌,显著高于其他处理,其次为 20%蔗糖水处理(257.3 粒/雌),补充清水的最低,为 203.8 粒/雌(图 5)。

2.3.2 短期用替代食物饲养后孟氏隐唇瓢虫的产卵动态

以 20%蔗糖水、丰年虾卵、柑橘臀纹粉蚧、清水饲养初羽化的孟氏隐唇瓢虫成虫 3 d 后统一转换为采用柑橘臀纹粉蚧饲喂,在随后 30 d 内,每隔 2 d 记录雌虫的产卵量,结果表明,雌成虫产卵量总体均呈先增加后下降的趋势,期间有小幅回升。以柑橘臀纹粉蚧和 20%蔗糖水为短期替代食物的处理组在转换为柑橘臀纹粉蚧饲喂后立即开始产卵(柑橘臀纹粉蚧处理组产卵量高于 20%蔗糖水处理组),而丰年虾卵或清水处理组延迟 3～4 d 才开始产卵;各处理组的产卵高峰期分布具有特异性:20%蔗糖水处理组峰值出现最早,在转接后第 5～6 天,其次为丰年虾卵处理组与清水处理组,在转接后第 11～12 天。而持续喂饲柑橘臀纹粉蚧的处理组和对照组表现出独特的双峰型产卵动态,峰值分别出现在转接后第 13～14 天及第 29～30 天(图 6)。

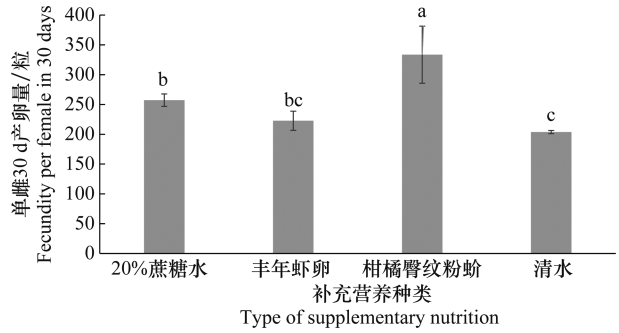


图 5 不同补充营养对孟氏隐唇瓢虫产卵量影响

Fig. 5 Effects of different types of supplementary nutrition on the fecundity of *Cryptolaemus montrouzieri*

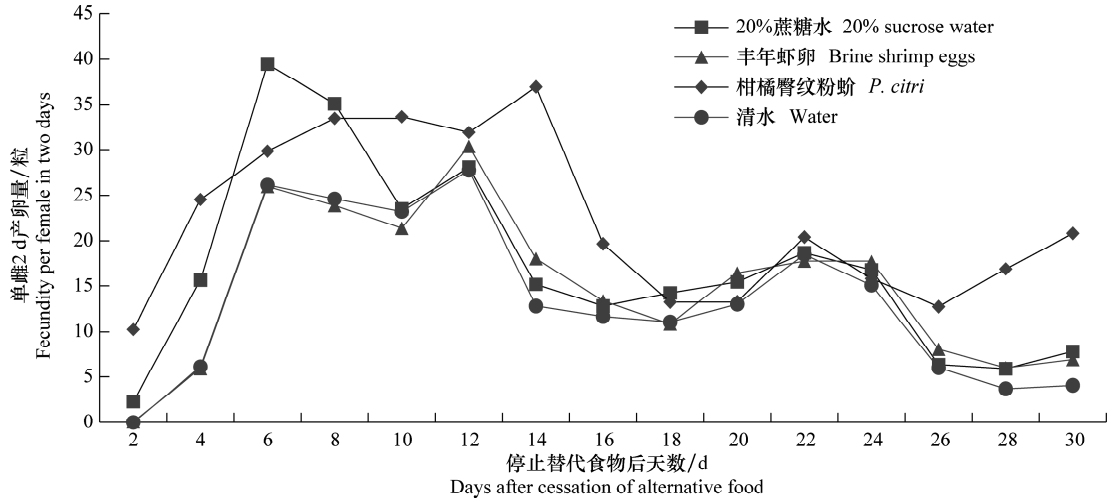


图 6 不同营养条件对孟氏隐唇瓢虫的产卵动态

Fig. 6 Oviposition dynamics of *Cryptolaemus montrouzieri* under different nutritional conditions

3 结论与讨论

在自然环境中,昆虫的种内竞争不可避免会导致资源抢夺和繁殖成功率的下降,从而间接影响其生殖力[22],而密度越高,往往导致种内竞争越强烈,对生殖力的负面影响越突出。在孟氏隐唇瓢虫的人工饲养过程中,种群大小、空间内环境因素与个体差异会对瓢虫雌虫产卵造成影响[23]。本研究发现,在相同性比条件下,随着空间内成虫密度的增加,雌虫平均产卵量逐步降低,该结果与异色瓢虫、黄粉虫 *Tenebrio molitor* 等相似[24-25],这表明成虫密度越高对昆虫的生殖能力抑制越显著。对于捕食性昆虫而言,相同或不同发育阶段的昆虫间均会出现自相残杀,如西沙大眼长蝽 *Geocoris xishaensis*、短小长颈盲蝽 *Macrolophus pygmaeus* 等高龄若虫均出现捕食低龄若虫的现象[26-27],有自相残杀行为的捕食性昆虫的营养积累远低于正常取食的个体,此现象是存在环境胁迫时的一种自保行为。有关孟氏隐唇瓢虫自残行为研究目前仅见蒋瑞鑫报道该瓢虫成虫对其幼虫有明显的自残行为[28]。在本研究中,密度对

其生殖与存活有明显影响,当性比(♂:♀)为 1∶2 时,随着其成虫数量的增加,空间内虫口密度升高,单雌的产卵量减少,可能原因为成虫密度增加,资源匮乏,成虫会取食未孵化的卵,保证种群的延续[29],也可能是随着群体密度增加,资源紧缩,雌虫积累的营养不足以产卵,导致瓢虫种群结构不稳定。说明当孟氏隐唇瓢虫的饲养密度超过临界密度时,环境压力(如空间竞争、信息素干扰)显著抑制瓢虫产卵行为,导致生殖力下降。

交配行为对瓢虫雄虫来说是一个高耗能的生理过程,性别比例的失衡可能导致其雌虫的交配不充分[30]。Klowden 等[31]提出雄虫在交配过程中可能会向雌虫体内输入一种物质,而这种物质可能调动雌虫体内促进卵子发育的某种物质,从而使卵子生成。因此,瓢虫性别比例的失衡可能导致繁殖行为改变,进而影响繁殖成功率和后代数量。本研究发现在性比(♂:♀)为 1∶1时,孟氏隐唇瓢虫的产卵量最高,这与麦蛾茧蜂 *Habrobracon hebetor*、草地螟 *Loxostege sticticalis* 性比适合时产卵量高的结果相似[3,32],其可能原因是当性比相近时,雄虫输入至雌虫体内用来调节其卵子的发育物质量得以保障,可促使卵子发育成熟,且顺利形成受精卵,生殖效率增加。配偶选择是昆虫在交配之前进行的识别行为,以六斑月瓢虫 *Cheilomenes sexmaculata* 为例无论是有单配偶经历还是多配偶经历,雌虫会更加偏向与拥有多配偶经历的雄虫交配,同时雌性可能会避免与近亲交配,从而防止生殖能力下降;而雄虫更加偏向与拥有单配偶经历的雌虫交配[33-34]。本研究中,孟氏隐唇瓢虫雄性比例较高时雌虫的产卵量较多,可能是因为当雄虫占比较高时,与雌虫的交配较为充分,对卵子的发育及生殖产卵有利,这与蝇蛹金小蜂 *Pachycrepoideus vindemmiae*、会纹长足瓢虫 *Hippodamia convergens* 相似[35-36];而雄性占比低时,由于连续多次交配后需要更长的时间来恢复精液量及机体平衡,导致再次交配间隔时间延长、交配时长缩短,可能导致雌虫产卵量降低以及卵质量下降等现象凸显[37]。另外,本研究的性比试验中,考虑上雄虫个体因素,还同时存在饲养性比与密度的差异,在性比(♂:♀)为 1∶1、1∶2、1∶3、1∶4、1∶5下,存在体密度饲养密度(2.00、1.50、1.33、1.25、1.20 头/100 mL)细微差异,但最终产卵量以性比规律为主,说明在有限密度差异下性比可能是影响生殖力的主导因子。因此,在人工扩繁时需合理配置雌雄比例,在增加饲养空间利用率的同时保证产卵量处于高水平。

人工饲养孟氏隐唇瓢虫通常使用天然猎物粉蚧作为其食物,大量扩繁时常存在食物短缺的情况。在雌虫生殖过程中,需持续供给食物保证其繁殖能力,但当食物不充足时,可暂时供给营养类物质以维持其生殖的稳定,如副珠蜡蚧阔柄跳小蜂 *Metaphycus parasaissetiae*、微小赤眼蜂 *Trichogramma minutum* 通过糖类物质以提高产卵量[38-39]。在补充营养试验中,初羽化孟氏隐唇瓢虫以 20%蔗糖水饲养 3 d,然后供给柑橘臀纹粉蚧与蜡泌物组成的产卵介质,能马上进行产卵,说明在食物短缺时可暂时用 20%蔗糖水为替代食物维持其生殖力。同时在孟氏隐唇瓢虫生防运输中,20%蔗糖水可替代柑橘臀纹粉蚧规避生物入侵风险,但需协同调控密度与性比。高密度会引发资源稀释导致个体营养摄入不足,削弱生殖力;而适宜性比仅在营养充足时提升生殖效率,营养短缺下性比优化无法突破摄入限制,会导致生殖力下降[6]。另外,本试验只研究了暂时替代食物对孟氏隐唇瓢虫生殖力的影响,其对寿命及卵成熟的影响还需进一步研究。

综上所述,在孟氏隐唇瓢虫成虫期合理配置饲养密度、性比及食物有利其种群增长。在雌虫(包括群体)密度较低、雌雄性比 1∶1条件下,孟氏隐唇瓢虫雌虫的生殖力强;成虫期在食物不足的情况下,可以在短期内以 20%蔗糖水作为补充。本试验仅从成虫期饲养密度、性比及成虫期暂时替代食物及其交互作用几个方面进行研究,但在生产实践中,孟氏隐唇瓢虫生殖能力还与其幼虫期的环境及食物等多种因素相关。因此,若要实现大规模饲养,不仅要关注成虫饲养条件,还要合理配置幼虫的饲养条件,如温度、光周期、密度、食物等。

参考文献

[1] LABEYRIE V. Reproduction of insects and coevolution of insects and plants [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1978, 24(3): 496-504.

[2] 黄星星, 郑宛莹, 薛汇, 等. 沉默蜕皮激素受体对雌性中黑盲蝽生殖力的影响[J]. 植物保护, 2023, 49(1): 164-177.

[3] 黄宁, 王秀琴, 王博, 等. 寄主密度、寄生蜂密度和寄生蜂性比对麦蛾茧蜂繁殖的影响[J]. 植物保护, 2022, 48(6): 313-318.

[4] JRPHILOGENE B, MCNEIL J N. The influence of light on the non-diapause related aspects of development and reproduction in insects [J]. Photochemistry and Photobiology, 1984, 40(6): 753 - 762.

[5] NASIR M, KHAN J, ASAD N, et al. The impact of temperature on biological and life table parameters of *Cryptoleamus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) fed on cotton mealy bug, *Phenococcus solenopsis* Tinsley [J]. Pakistan Journal of Zoology, 2014, 46(6): 1591 - 1597.

[6] WIGGLESWORTH V. Nutrition and reproduction in insects [J]. Proceedings of the Nutrition Society, 1960, 19(1): 18 - 23.

[7] 张李香，范锦胜，王贵强. 草地螟成虫期补充营养与其生殖力的关系[J]. 植物保护，2011，37(2)：59 - 62.

[8] 胡阳，杨洪，李志宇，等. 昆虫多次交配的策略和利益[J]. 昆虫知识，2010，47(1)：16 - 23.

[9] 潘明真，张海平，张长华，等. 饲养密度和性比对蠋蝽存活和繁殖生物学特性的影响[J]. 中国生物防治学报，2018，34(1)：52 - 58.

[10] 王雪，付雪，赛序岐，等. 性比自调节:捕食性天敌异色瓢虫爆发成因[J]. 中山大学学报(自然科学版)，2021，60(5)：119 - 125.

[11] YAN Zhou, ZHANG Haowen, LIU Dazhou, et al. Long-term insect censuses capture progressive loss of ecosystem functioning in East Asia [J/OL]. Science Advances, 2023, 9(5): eade9341. DOI:10.1126/sciadv.ade9341.

[12] TANG Chufei, LI Xuankun, LIU Xingyue, et al. A Cretaceous balloon lifts the veil on the antiquity and evolution of nuptial gifts [J]. Gondwana Research, 2022, 107: 146 - 153.

[13] 赵静，肖达，张帆，等. 三种捕食性瓢虫成虫对卵的种内自残及其集团内捕食作用[J]. 环境昆虫学报，2016，38(2)：299 - 304.

[14] ALLEN M L, RIDDICK E W. A system for harvesting eggs from the pink-spotted lady beetle [J/OL]. Psyche: A Journal of Entomology, 2012, 2012(1): 923653. DOI:10.1155/2012/923653.

[15] CASAS J, PINCEBOURDE S, MANDON N, et al. Lifetime nutrient dynamics reveal simultaneous capital and income breeding in a parasitoid [J]. Ecology, 2005, 86(3): 545 - 554.

[16] 王伟，刘万学，程立生，等. 取食不同糖分对卵育型寄生蜂潜蝇姬小蜂雌蜂寿命和卵子发生的影响[J]. 昆虫学报，2012，55(8)：964 - 970.

[17] NICHOLSON A. Dynamics of insect populations [J]. Annual Review of Entomology, 1958, 3(1): 107 - 136.

[18] KAIRO M, PARAISO O, GAUTAM R D, et al. *Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant) (Coccinellidae: Scymninae): a review of biology, ecology, and use in biological control with particular reference to potential impact on non-target organisms [J/OL]. CABI Reviews, 2013, 8(5): 1 - 20. DOI: 10.1079/PAVSNNR20138005.

[19] QIN Zhengqiang, WU Jianhui, QIU Baoli, et al. The impact of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) on control of *Dysmicoccus neobrevipes* Beardsley (Hemiptera: Pseudococcidae) [J/OL]. Insects, 2019, 10(5): 131. DOI: 10.3390/insects/0050131.

[20] 杨书美，王春燕，张月青，等. 孟氏隐唇瓢虫对 4 种粉蚧的捕食作用研究[J]. 热带作物学报，2024，45(9)：1912 - 1918.

[21] ATTIA A R, EL ARNAOUTY S, AFIFI A I, et al. Development and fecundity of the coccinellid predator, *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant on different types of preys [J]. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 2011, 21(2): 283 - 289.

[22] WU Pengxiang, ZHANG Jing, HASEEB M, et al. Functional responses and intraspecific competition in the ladybird *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) provided with *Melanaphis sacchari* (Homoptera: Aphididae) as prey [J]. European Journal of Entomology, 2018, 115: 232 - 241.

[23] 匡先钜，戈峰，薛芳森. 环境因素和个体差异对雌虫产卵量的影响[J]. 环境昆虫学报，2016，38(6)：1275 - 1281.

[24] 孙莉，陈霞，张艳璇，等. 异色瓢虫饲养密度对成虫获得率及繁殖的影响[J]. 中国生物防治学报，2019，35(1)：15 - 19.

[25] BERGGREEN I, OFFENBERG J, CALIS M, et al. Impact of density, reproduction period and age on fecundity of the yellow mealworm *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) [J]. Journal of Insects as Food and Feed, 2018, 4(1): 43 - 50.

[26] 甘杨子，符悦冠，韩冬银，等. 西沙大眼长蝽形态和生物学特性观察[J]. 昆虫学报，2024，67(5)：674 - 682.

[27] HAMDI F, CHADOEUF J, CHERMITI B, et al. Evidence of cannibalism in *Macrolophus pygmaeus*, a natural enemy of whiteflies [J]. Journal of Insect Behavior, 2013, 26(4): 614 - 621.

[28] 蒋瑞鑫，张宇宏，吴红胜，等. 孟氏隐唇瓢虫成虫自残幼虫的研究[J]. 环境昆虫学报，2012，34(1)：63 - 68.

[29] OSAWA N. Sex-dependent effects of sibling cannibalism on life history traits of the ladybird beetle *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. Biological Journal of the Linnean Society, 2002, 76(3): 349 - 360.

[30] DE LIMA C H, N'BREGA R L, FERRAZ M L, et al. Mating duration and spermatophore transfer in *Cryptolaemus montrouzieri* (Coccinellidae) [J]. Biologia, 2022, 77(1): 149 - 155.

[31] KLOWDEN M J, CHAMBERS G M. Reproductive and metabolic differences between *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* (Diptera: Culicidae) [J]. Journal of medical entomology, 1992, 29(3): 467 - 471.

[32] 李敏敏，程云霞，肖永红，等. 性比对草地螟生殖潜力和寿命的影响[J]. 应用昆虫学报，2014，51(6)：1589 - 1596.

[33] 唐良德，臧连生. 六斑月瓢虫生物生态学及其生物防治研究进展[J]. 中国生物防治学报，2023，39(3)：697 - 709.

(下转 177 页)

[30] 马思娟，李乐. 天敌昆虫在林业害虫防治中的应用[J]. 乡村科技，2023，14(10)：111－113.
[31] ALHARBI W，SANDHU S K，ARESHI M，et al. Revisiting implementation of multiple natural enemies in pest management [J/OL]. Scientific Reports，2022，12(1)：15023. DOI：10.1038/s41598-022-18120-z.
[32] 郑永全，马永胜，刘红宜，等. 不同浓度华碘抗胁迫生态膜对免套袋苹果叶片和果实性状及栽培效果的影响[J]. 陕西农业科学，2024，70(7)：22－28.
[33] 张肖肖. 东方钝绥螨对烟粉虱和朱砂叶螨的捕食、喜好性以及生命表的研究[D]. 北京：中国农业科学院，2015.
[34] 王龙，胡月. 5 种杀虫剂对朱砂叶螨的室内生测活性比较[J]. 绿色科技，2021，23(11)：172－174.
[35] 张志刚，沈慧敏，段辛乐，等. 二斑叶螨对螺螨酯抗药性及对 18 种杀螨剂交互抗性[J]. 植物保护，2011，37(1)：82－85.
[36] 韩玉侠，李前进，刘向阳，等. 苹果喷施碳酸钙保护剂与果实套袋效应的比较试验[J]. 落叶果树，2024，56(4)：31－34.
[37] 沈煜铠，何意林. 香芹酚水剂对苹果树红蜘蛛农药学评价[J]. 兰州交通大学学报，2022，41(3)：133－138.
[38] 杨莉. MG-1S 型无人机作业参数及喷洒生物制剂对枣果病害和品质的影响[D]. 阿拉尔：塔里木大学，2018.
[39] 左太强，张永军，吴平. 几丁聚糖水剂对桃蚜的田间防效研究[J]. 中国果菜，2017，37(10)：13－16.

（责任编辑：杨明丽）

（上接 134 页）

[34] SAXENA S，MISHRA G，OMKAR. Inbreeding avoidance in aphidophagous ladybird beetles：a case study in *Menochilus sexmaculatus* [J]. Canadian Journal of Zoology，2016，94(5)：361－365.
[35] 孙芳，陈中正，段毕升，等. 蝇蛹金小蜂的交配行为及雄蜂交配次数对雌蜂繁殖的影响[J]. 生态学报，2013，33(14)：4354－4360.
[36] BAYOUMY M H，MICHAUD J. Female fertility in *Hippodamia convergens* (Coleoptera：Coccinellidae) is maximized by polyandry，but reduced by continued male presence [J]. European Journal of Entomology，2014，111(4)：513－520.
[37] FOX C. Multiple mating，lifetime fecundity and female mortality of the bruchid beetle，*Callosobruchus maculatus* (Coleoptera：Bruchidae) [J]. Functional Ecology，1993，7(2)：203－208.
[38] 张方平，朱俊洪，陈俊谕，等. 补充营养对副珠蜡蚧阔柄跳小蜂成虫寿命及生殖能力的影响[J]. 中国生物防治学报，2023，39(4)：767－773.
[39] LEATEMIA J，LAING J，CORRIGAN J. Effects of adult nutrition on longevity，fecundity，and offspring sex ratio of *Trichogramma minutum* Riley (Hymenoptera：Trichogrammatidae) [J]. The Canadian Entomologist，1995，127(2)：245－254.

（责任编辑：杨明丽）

（上接 154 页）

[23] WHITE T，BRUNS T，LEE S，et al. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics [J]. Guide to Methods and Applications，1990，31(38)：315－322.
[24] 李乾，艾玉廷，刘萌晓，等. 24%氰霜·嘧菌酯 SC 对马铃薯黑痣病的防效[J]. 农药，2024，63(5)：382－385.
[25] 刘霞，冯蕊，高达芳，等. 云南省马铃薯黑痣病病原菌融合群鉴定及 8 种药剂对其的毒力[J]. 植物保护，2016，42(2)：165－170.
[26] 曹春梅，王晓娇，许飞，等. 内蒙古地区马铃薯黑痣病立枯丝核菌融合群及致病性研究[J]. 中国马铃薯，2018，32(5)：293－302.
[27] 牟明，赵伟，杨明秀，等. 黑龙江马铃薯黑痣病菌生物学特性及菌丝融合群的鉴定[J]. 中国瓜菜，2017，30(10)：12－17.
[28] YANG Yonggang，ZHAO Can，GUO Zejian，et al. Potato stem canker caused by binucleate *Rhizoctonia* AG-G in China [J]. Journal of General Plant Pathology，2015，81(17)：48－53.
[29] 乔广行，黄金宝，刘梅，等. 10 种杀菌剂对马铃薯黑痣病病菌的室内毒力测定[J]. 中国植保导刊，2016，36(12)：64－65.
[30] 杨春. 45%噻呋酰胺·嘧菌酯 SC 对马铃薯黑痣病的田间防效[J]. 农药，2019，58(11)：838－840.
[31] 侯作鹏，惠娜娜，李继平，等. 6 种杀菌剂对马铃薯黑痣病菌的毒力和拌种防效[J]. 植物保护，2022，48(2)：260－265.
[32] 杨茹薇，邢斌德，刘易，等. 马铃薯黑痣病防治药剂筛选试验[J]. 现代农业科技，2021(14)：91－92.
[33] 吴志会，陆晴，甄志华，等. 杀菌剂对马铃薯黑痣病菌的室内毒力及田间防效[J]. 中国瓜菜，2021，34(6)：68－72.
[34] 王天君，陈志垚，杨霞，等. 木霉菌对马铃薯黑痣病菌的拮抗作用及防效研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报，2021，33(5)：22－29.
[35] 董爱菊，邱慧珍，魏茹云，等. 类芽孢杆菌 qhz11 对马铃薯黑痣病的生防效果[J]. 微生物学通报，2021，48(11)：4087－4099.
[36] 许丽婷，陈佳欣，李欢欢，等. 生防菌 xc-1 的筛选、鉴定及其对马铃薯黑痣病的防效研究[J]. 植物病理学报，2021，51(3)：413－422.
[37] 金山，吴京姬，金日，等. 杀菌剂对马铃薯黑痣病防效及安全性[J]. 农业与技术，2022，42(20)：16－18.

（责任编辑：杨明丽）