

雄性偏向的性比对黑肩绿盲蝽生殖力和子代生长发育的影响*

徐一洁** 王 影 刘 芳 胡 奎***

(扬州大学植物保护学院, 扬州 225009)

摘 要 【目的】明确雄性偏向的性比对黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* 生殖力和子代生长发育的影响, 促进黑肩绿盲蝽的规模化饲养和应用。【方法】在室内条件下, 测定雌雄性比分别为 1 : 1、1 : 2 和 1 : 3 时, 黑肩绿盲蝽雌虫的产卵前期、产卵量和产卵历期, 以及子代卵孵化率、若虫历期、羽化率、性比和成虫寿命等参数。【结果】不同性比对黑肩绿盲蝽亲代产卵前期 ($F = 1.239$, $df = 2, 57$, $P = 0.2973$) 及子代卵孵化率 ($F = 1.883$, $df = 2, 57$, $P = 0.1615$)、成虫羽化率 ($F = 0.047$, $df = 2, 12$, $P = 0.9541$) 和性比 ($F = 0.815$, $df = 2, 12$, $P = 0.4659$) 无显著影响。雌雄性比为 1 : 3 时, 平均每头雌虫产卵量 [(137.15±32.29) 粒]较性比 1 : 1 处理[(115.65±30.49) 粒]显著增加 18.59% ($LSD = 2.350$, $df = 57$, $P = 0.0222$); 性比为 1 : 2 和 1 : 3 时, 子代若虫发育历期分别为 (11.25±1.65) 和 (11.11±1.13) d, 较雌雄性比 1 : 1 处理[(10.06±1.21) d]显著提高 1.18 ($LSD = 3.518$, $df = 97$, $P = 0.0007$) 和 1.05 d ($LSD = 3.205$, $df = 97$, $P = 0.0018$)。此外, 性比 1 : 2 处理[雌虫 (18.80±2.11) d, 雄虫 (17.41±4.12) d]较 1 : 1 处理[雌虫 (15.28±3.29) d, 雄虫 (14.77±3.14) d]子代的雌虫和雄虫寿命分别显著延长 3.52 ($LSD = 2.980$, $df = 45$, $P = 0.0046$) 和 2.64 d ($LSD = 2.061$, $df = 49$, $P = 0.0446$)。【结论】雄性偏向的性比有利于促进黑肩绿盲蝽的生殖力和子代的生长发育。

关键词 黑肩绿盲蝽; 性比; 生殖力; 子代生长发育

Effects of male-biased sex ratios on the reproduction and offspring development of the predatory mirid bug, *Cyrtorhinus lividipennis* (Hemiptera: Miridae)

XU Yi-Jie** WANG Ying LIU Fang HU Kui***

(College of Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract 【Aim】To clarify the effects of a male-biased sex ratio on the fecundity and development of offspring of the predatory mirid bug *Cyrtorhinus lividipennis*, and to promote the large-scale breeding of this species as a biological control for rice planthoppers and rice leafhoppers. 【Methods】We conducted an experiment to examine the effects of a male-biased parental sex ratio (female: male ratios of 1 : 1, 1 : 2, and 1 : 3) on various reproductive parameters, including pre-oviposition period, fecundity (eggs laid per female), oviposition duration, as well as egg hatchability, nymph developmental duration, emergence rate, sex ratio and adult lifespan, of offspring. 【Results】The pre-oviposition period ($F = 1.239$, $df = 2, 57$, $P = 0.2973$), egg hatchability ($F = 1.883$, $df = 2, 57$, $P = 0.1615$), offspring emergence rate ($F = 0.047$, $df = 2, 12$, $P = 0.9541$) and sex ratio ($F = 0.815$, $df = 2, 12$, $P = 0.4659$) were not significantly affected by the parental sex ratio. However, compared to the control population [1 : 1 sex ratio, (115.65±30.49) grain/female], the fecundity of a population with a 1 : 3 sex ratio was significantly higher [(137.15±32.29) grain/female; 18.59%] ($LSD = 2.350$, $df = 57$, $P = 0.0222$). Nymphs from populations

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金项目 (32001894; 31872928)

**第一作者 First author, E-mail: 201805324@stu.yzu.edu.cn

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: hukui@yzu.edu.cn

收稿日期 Received: 2023-12-14; 接受日期 Accepted: 2024-06-04

with sex ratios of 1 : 2 [(11.25±1.65) d] and 1 : 3 [(11.11±1.13) d] had prolonged developmental durations of 1.18 ($LSD = 3.518$, $df = 97$, $P = 0.0007$) and 1.05 d ($LSD = 3.205$, $df = 97$, $P = 0.0018$), respectively. Furthermore, the lifespan of the offspring of a population with a 1 : 2 sex ratio was 3.52 d ($LSD = 2.980$, $df = 45$, $P = 0.0046$) longer for female adults [(18.80±2.11) d] and 2.64 d ($LSD = 2.061$, $df = 49$, $P = 0.0446$) longer for male adults [(17.41±4.12) d] compared to the control population [female: (15.28±3.29) d, male: (14.77±3.14) d]. **[Conclusion]** These results indicate that a male-biased sex ratio has positive effects on the fertility and offspring development of *C. lividipennis*.

Key words *Cyrtorhinus lividipennis*; sex ratio; fecundity; offspring development

黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* 广泛分布于亚洲水稻产区, 主要以褐飞虱 *Nilaparvata lugens*、白背飞虱 *Sogatella furcifera*、灰飞虱 *Laodelphax striatella* 和稻叶蝉 *Nephotettix* spp. 的卵和若虫为食 (陈建明等, 1994; Matsumura *et al.*, 2005; Jiang *et al.*, 2015; Bai *et al.*, 2022)。在田间, 黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵和若虫的捕食率可达 30%-70% (周集中和陈常铭, 1986)。当上述猎物稀缺时, 黑肩绿盲蝽还可捕食稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*、二化螟 *Chilo suppressalis* 和大螟 *Sesamia inferens* 等鳞翅目害虫的幼虫和卵, 或取食水稻植株汁液, 这种特性保障了其种群的延续 (Zhu *et al.*, 2014)。因此, 黑肩绿盲蝽是稻田生态系统中害虫生物防治的重要天敌资源。

性比是影响昆虫种群增长的关键因素, 能够调节性选择以及同性和异性间的竞争强度, 进而对昆虫的繁殖力产生影响 (Weir *et al.*, 2011; Carrillo *et al.*, 2012; Barradas-Juanz *et al.*, 2016; Kong *et al.*, 2021)。例如, 叉角厉蝽 *Cantheconidea furcellata* 性别比例偏向雌性 (雌雄性比 3 : 1) 时, 产卵量显著下降 39.90%, 且卵孵化率下降近 10% (姚明勇等, 2019); 甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 产卵量随雌雄性比的下降而降低 (王思芳等, 2017)。但多项研究表明, 一定程度的雄性偏向性比可提高雌虫的生殖力。例如, 鳞翅目昆虫 *Comadia redtenbacheri* 雌雄比为 1 : 2 和 1 : 3 时, 产卵量是性比 1 : 1 时的 2.71 和 2.17 倍 (Miranda-Perkins *et al.*, 2016); 井上蛀果斑螟 *Assarea inouei* 和大豆食心虫 *Leguminivora glycinivorella* 雌虫的产卵量在雌雄性比小于 1 时高于性比等于 1 (何超等, 2017; 李文敬等, 2020)。明确昆虫性比对雌虫生殖适合度和子代生长发

育的影响, 不仅可为害虫发生的预测预报和防治提供理论指导, 对天敌昆虫的人工饲养和应用也具有重要意义。

规模化人工饲养是应用天敌昆虫防治害虫的重要前提。目前, 雄性偏向性比对黑肩绿盲蝽生殖力和子代生长发育的影响尚不明确。本研究分别评价了黑肩绿盲蝽雌雄性比为 1 : 1、1 : 2 和 1 : 3 时, 对亲代雌虫产卵前期、产卵历期、产卵量和卵孵化率, 及子代若虫发育历期、性比和羽化率等参数的影响, 为室内调控黑肩绿盲蝽种群性别比例, 提高人工繁殖效率提供了理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

黑肩绿盲蝽和褐飞虱于 2019 年 8 月采自扬州大学文汇路校区水稻育种试验田。带回实验室后, 以水稻 (南粳 9108, 购自江苏省高科种业科技有限公司) 幼苗 (15 日龄, 2 株/cm²) 在人工气候箱 (DFQ-1000-3E, 常州海博仪器设备有限公司) 内饲养, 温度 (28±2) °C, 相对湿度 75%±5%, 光照周期 14 L : 10 D, 水稻苗每 10 d 更换一次。褐飞虱与黑肩绿盲蝽混养, 黑肩绿盲蝽以褐飞虱卵或若虫为食。另以水稻幼苗单独饲养褐飞虱, 随时补充混合饲养体系中的褐飞虱数量, 保证虱蝽比为 3 : 1。2 种昆虫已在室内饲养 30 代以上。

1.2 试验方法

1.2.1 不同雌雄性比对成虫生殖力的影响 试验均在人工气候箱内进行, 气候箱环境条件同 1.1 节。将羽化 6 h 内的黑肩绿盲蝽成虫分别按

照雌雄性比 1:1、1:2 和 1:3 配对(即 1 头雌虫和 1 头雄虫、1 头雌虫和 2 头雄虫及 1 头雌虫和 3 头雄虫), 配对后分别接入杯苗中。杯苗制作参照 Lu 等(2017)方法, 稍有改进: 将 1 株分蘖期水稻去除叶片, 仅保留距根部 12 cm 的茎秆; 在直径 6.5 cm 和高 18 cm 的一次性塑料杯底部加入高 1 cm 的纯水, 剪取与塑料杯底部高 3 cm 处内径大小一致的圆形海绵薄板(厚度约为 0.5 cm), 将水稻茎秆从圆形海绵板中央孔口穿过, 置于塑料杯中; 使用杯苗前, 提前 2 d 接入 2 头产卵期的褐飞虱, 以保证足够的褐飞虱卵供黑肩绿盲蝽取食。配对前 5 d, 每天更换新的杯苗, 此后每 2 d 更换一次, 直至雌成虫死亡。将每次被更换的杯苗按时间编号并继续培养, 待黑肩绿盲蝽若虫不再孵出时, 解剖水稻茎秆, 统计未孵化卵的数量, 若虫与未孵化卵数量的总和为总产卵量。每组处理, 首次在显微镜下观察到卵或肉眼观察到有若虫孵出时, 记录已培养配对成虫的天数, 即为产卵前期。每组配对中首次观察到雌虫开始产卵到结束产卵的时间为产卵历期。统计雌虫产卵前期、产卵历期和卵孵化率。每个性比组合重复 20 次。

1.2.2 不同雌雄性比对子代若虫发育历期和成虫寿命的影响 随机选取 1.2.1 节中不同雌雄配比条件下孵化出的初孵若虫 30 头以上, 置于杯苗(制作方法同 1.2.1 节)中饲养。每杯放入 5 头黑肩绿盲蝽若虫, 每 2 d 更换一次杯苗。每天进行观察, 待若虫羽化为成虫, 将雌雄虫分开单独饲养。统计若虫从孵化到羽化的时间, 即为若虫发育历期, 并分别记录雌雄虫寿命。

1.2.3 不同雌雄性比对子代成虫羽化率和性比的影响 分别随机收集 1.2.1 节中不同雌雄配比条件下的初孵若虫各 5 组, 每组若虫约 50 头, 参照 1.1 节中黑肩绿盲蝽饲养方法饲养若虫, 待若虫羽化, 统计各组中雌雄虫的比例, 并计算各组黑肩绿盲蝽的羽化率。

1.3 数据分析

所有数据采用 DPS V9.5 和 GraphPad Prism 9.0 软件进行统计分析和作图。采用 Student's *t* 检验法分别分析黑肩绿盲蝽雌雄虫在 1:1、1:

2 和 1:3 配比下, 单头雌虫每 2 d 产卵量的差异显著性, 其他数据均进行单因素方差分析并采用 Fischer's Protected LSD 事后检验进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同雌雄性比对成虫生殖力的影响

黑肩绿盲蝽雌雄性比为 1:1、1:2 和 1:3 时, 雌虫产卵前期无显著差异($F = 1.239$, $df = 2, 57$, $P = 0.2973$)(图 1: A)。与雌雄性比 1:1 处理[(13.75±0.91) d]相比, 性比 1:2 处理雌虫的产卵历期[(14.00 ± 1.52) d]无显著变化($LSD = 0.691$, $df = 57$, $P = 0.4926$), 而性比为 1:3 时雌虫产卵历期显著延长 0.80 d($LSD = 2.210$, $df = 57$, $P = 0.0311$)(图 2: B)。雌雄性比为 1:1 时, 黑肩绿盲蝽单雌产卵量为(115.65±30.49)粒, 与性比 1:2 处理[(113.50±23.21)粒]无显著差异($LSD = 0.235$, $df = 57$, $P = 0.8150$); 雌雄性比为 1:3 时, 单雌产卵量较性比 1:1 处理显著增加 18.59%($LSD = 2.350$, $df = 57$, $P = 0.0222$)(图 1: C)。黑肩绿盲蝽成虫不同性比不影响卵的孵化率($F = 1.883$, $df = 2, 57$, $P = 0.1615$)(图 1: D)。为进一步分析不同性比处理中黑肩绿盲蝽在不同时间产卵量的差异, 将第 2 天和第 3 天、第 4 天和第 5 天的产卵量进行合并, 分析了不同性比处理中黑肩绿盲蝽雌虫每 2 d 的产卵量差异, 当雌雄性比为 1:3 时, 雌虫的日产卵量更高, 在第 1 天($t = 3.002$, $df = 38$, $P = 0.0061$)、第 12 和 13 天($t = 2.072$, $df = 38$, $P = 0.0451$)及第 14 和 15 天($t = 3.002$, $df = 38$, $P = 0.0047$), 产卵量显著高于雌雄性比 1:1 处理(图 2)。综上所述, 雌雄比 1:3 的雄性偏向比例可提高黑肩绿盲蝽雌成虫的生殖力。

2.2 不同雌雄性比对子代若虫发育历期和成虫寿命的影响

与黑肩绿盲蝽雌雄性比 1:1 [(10.06±1.21) d]相比, 性比 1:2 [(11.25±1.65) d]和 1:3 [(11.11±1.13) d]处理子代若虫的发育历期分别

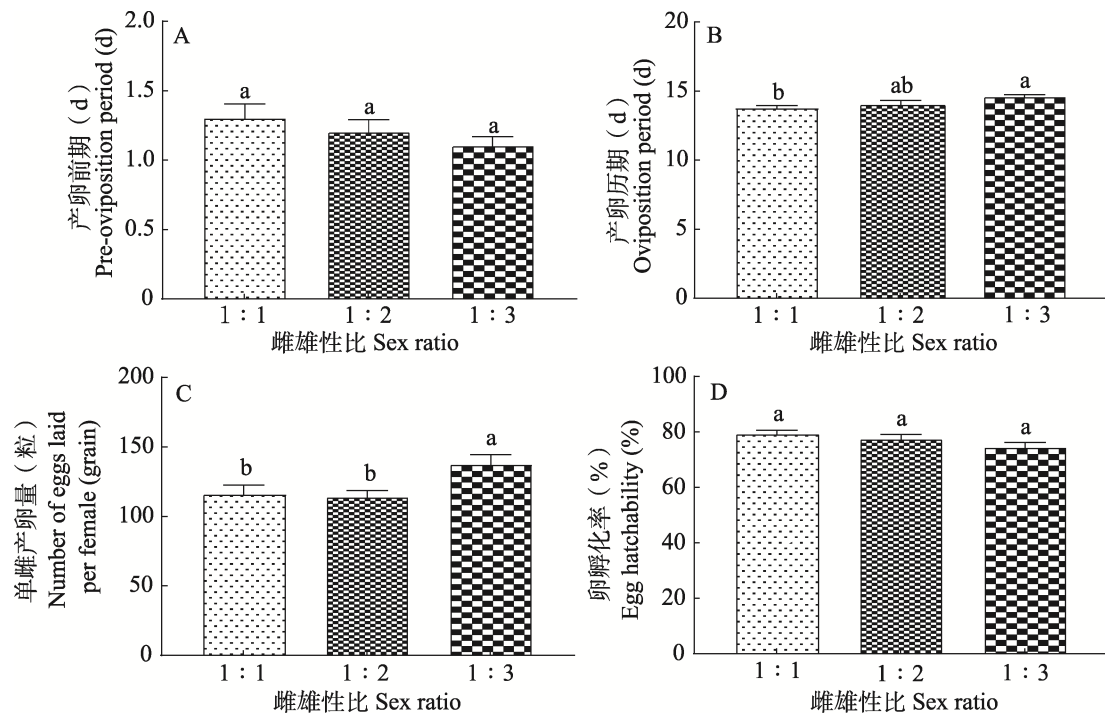


图 1 不同雌雄性比对黑肩绿盲蝽雌虫生殖力的影响

Fig. 1 Effects of different sex ratios on the reproduction of female *Cyrtorhinus lividipennis*

A. 产卵前期; B. 产卵历期; C. 产卵量; D. 卵孵化率。图中数据为平均值±标准误。柱上不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$, Fischer's Protected LSD 事后检验)。图 3 和图 4 同。

A. Pre-oviposition period; B. Oviposition period; C. Number of eggs laid per female; D. Egg hatchability. Data in the figure are mean±SE. Different lowercase letters above bars indicate significant difference ($P < 0.05$, Fischer's Protected LSD test). The same for Fig.3 and Fig.4.

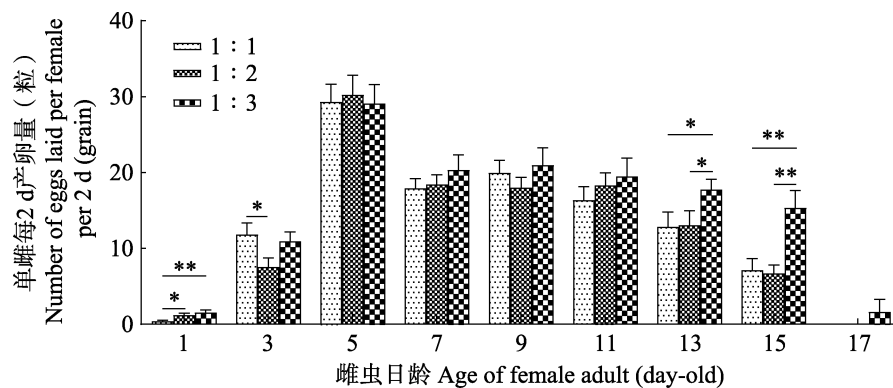


图 2 不同雌雄性比对黑肩绿盲蝽雌虫每 2 d 产卵量的影响

Fig. 2 Effects of different sex ratios on the number of eggs laid per female every 2 d by *Cyrtorhinus lividipennis*

图中 1:1、1:2 和 1:3 代表雌雄性比。星号 (*) 表示不同处理间显著差异

(* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, Student's t 检验)。

1:1, 1:2 and 1:3 are sex ratios (female : male). Asterisk (*) indicates statistical significance (* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, Student's t -test).

显著提高 1.18 ($LSD = 3.518$, $df = 97$, $P = 0.0007$) 和 1.05 d ($LSD = 3.205$, $df = 97$, $P = 0.0018$) (图 3: A)。雌雄性比 1:2 处理子代雌成虫的

寿命 [(18.80±2.11) d] 较性比 1:1 处理 [(15.28±3.29) d] 显著延长 3.52 d ($LSD = 2.980$, $df = 45$, $P = 0.0046$); 雌雄性比为 1:3 和 1:1 时, 子代

雌成虫的寿命无显著差异 ($LSD = 1.288$, $df = 45$, $P = 0.2044$) (图 3: B)。黑肩绿盲蝽雌雄性比 1:2 处理, 子代雄成虫的寿命为 (17.41 ± 4.12) d, 较性比为 1:1 时 [(14.77 ± 3.14) d] 显著延长 2.64 d ($LSD = 2.061$, $df = 49$, $P = 0.0446$); 雌雄性比 1:3 [(14.68 ± 3.11) d] 和 1:1 处理间子代雄成虫的寿命无显著差异 ($LSD = 0.072$, $df = 49$, $P = 0.943$) (图 3: C)。结果表明, 雄性偏向的性比为 1:2 时可延长黑肩绿盲蝽子代成虫的寿命。

2.3 不同雌雄性比对子代成虫羽化率和性比的影响

黑肩绿盲蝽雌雄性比为 1:1、1:2 和 1:3 时, 子代成虫羽化率分别为 $74.79\% \pm 6.36\%$ 、 $75.82\% \pm 4.15\%$ 和 $74.98\% \pm 6.25\%$, 三者之间无显著差异 ($F = 0.047$, $df = 2, 12$, $P = 0.9541$) (图 4: A); 且子代的雌雄性比分别为 (1.06 ± 0.22)、(1.01 ± 0.12) 和 (1.20 ± 0.33), 三者之间无显著差异 ($F = 0.815$, $df = 2, 12$, $P = 0.4659$) (图 4: B)。

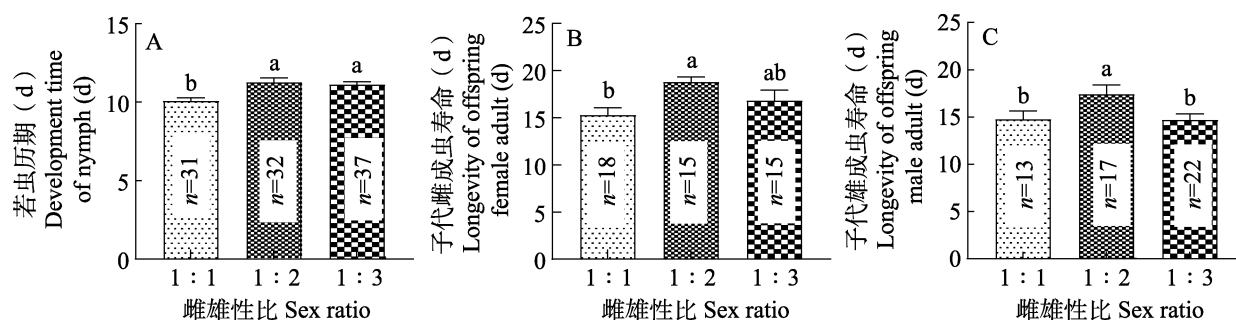


图 3 不同雌雄性比对黑肩绿盲蝽子代发育历期的影响

Fig. 3 Effects of different sex ratios on the development of offspring in *Cyrtorhinus lividipennis*

A. 若虫历期; B. 子代雌成虫寿命; C. 子代雄成虫寿命。

A. Development time of nymph; B. Longevity of offspring female adult; C. Longevity of offspring male adult.

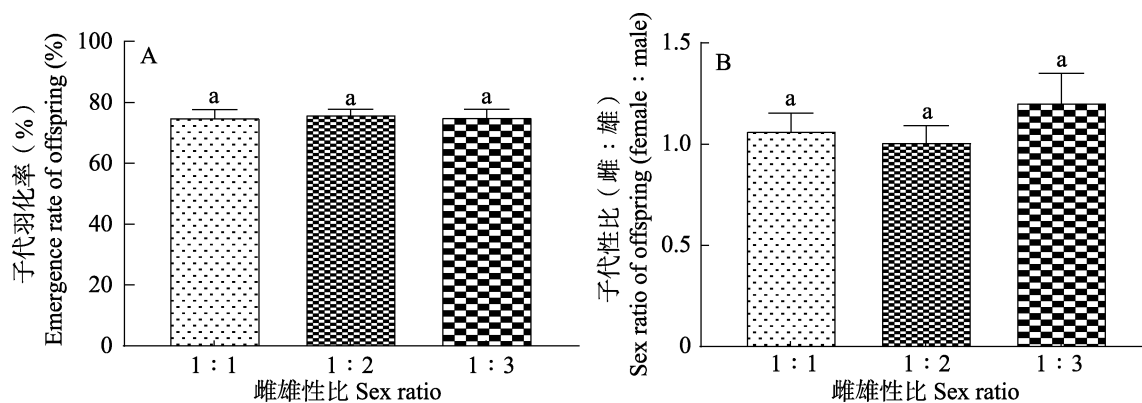


图 4 不同性比对黑肩绿盲蝽子代成虫羽化率和性比的影响

Fig. 4 Effects of different sex ratios on the emergence rate and sex ratio of offspring in *Cyrtorhinus lividipennis*

A. 子代羽化率; B. 子代性比。A. Emergence rate of offspring; B. Sex ratio of offspring.

3 讨论

雄性偏向的性比通常可增强雌虫的生殖力。例如, 对六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculatus* 的研究发现, 雌雄性比为 1:5 时雌虫产卵量最高

(Saxena *et al.*, 2020); 在大豆食心虫 (李文敬等, 2020)、井上蛀果斑螟 (何超等, 2017)、草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (韩海亮等, 2023)、家蝇 *Musca domestica* (Carrillo *et al.*, 2012) 和马铃薯块茎蛾 *Phthorimaea operculella*

(马艳粉等, 2011) 等昆虫中都发现了一定比例的雄性偏向性比可提高雌虫的产卵量。本研究也发现了类似结果, 黑肩绿盲蝽雌雄性比为 1 : 3 时雌成虫产卵量显著增加。出现该现象的主要原因有: 一是雄性偏向的性比为雌成虫提供了筛选优秀配偶的机会 (Carrillo *et al.*, 2012; Soffan *et al.*, 2012)。二是在多个雄性存在时, 获得交配权力的雄虫往往会调整交配策略。例如, 延长交配时长、转移更多的精子和精液蛋白来应对可能的精子竞争, 更多的精子可以保证雌虫充分受精, 从而产下更多的卵 (Wang and Shi, 2004; Wigby *et al.*, 2009; Bretman *et al.*, 2013; Ramm, 2020), 此外, 精液蛋白富含营养成分, 可能有助于雌虫的生殖发育或刺激雌虫的生殖 (Wigby *et al.*, 2009; Ge *et al.*, 2019; Meuti and Short, 2019)。本研究未发表数据也表明雌雄性比为 1 : 3 时, 黑肩绿盲蝽的交配时长显著长于性比 1 : 1 处理。然而, 黑肩绿盲蝽雌雄性比为 1 : 3 时, 雄虫是否转移了更多的精子和精液蛋白以应对潜在的精子竞争需要进一步试验证明。

亲代昆虫的生殖条件对后代生长发育存在一定影响。当多个雄性竞争同一雌性时, 竞争获胜的雄性往往能带给后代更强的生存能力 (Simmons, 2005)。研究发现, 随着甜菜夜蛾亲代雄性比例增加, 子代卵孵化率、性比和蛹重都呈上升趋势 (王思芳等, 2017)。本研究发现, 亲代雌雄性比为 1 : 2 和 1 : 3 时, 黑肩绿盲蝽子代若虫的发育历期显著延长, 而且亲代雌雄性比为 1 : 2 时, 显著延长了子代雌雄成虫的寿命。这可能是由于在精子竞争的情况下, 条件优秀的雄性获得交配权, 或者质量高的精子优先参与受精, 使得子代从中获益。但是, 雄性偏向的性比通过何种机理延长子代寿命还需深入研究。

本研究发现, 黑肩绿盲蝽雌雄性比为 1 : 3 时, 雌虫的单雌产卵量和产卵历期均显著增加, 但对产卵前期和卵孵化率没有影响。雄性偏向的比例 (雌雄性比为 1 : 2 和 1 : 3) 延长了子代若虫发育历期, 且雌雄性比 1 : 2 处理延长了子代雌雄成虫的寿命。研究结果表明, 雄性偏向的性比有利于天敌昆虫黑肩绿盲蝽发挥对害虫的控

制作用, 为推进黑肩绿盲蝽的规模化饲养和应用提供了理论依据。

参考文献 (References)

- Bai YL, Shi ZM, Zhou WW, Wang GY, Shi XX, He K, Li F, Zhu ZR, 2022. Chromosome-level genome assembly of the mirid predator *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter (Hemiptera: Miridae), an important natural enemy in the rice ecosystem. *Molecular Ecology Resources*, 22(3): 1086–1099.
- Barradas-Juanz N, Diaz-Fleischer F, Perez-Staples D, 2016. Mating behavior of *Hypsipyla grandella* (Lepidoptera: Pyralidae) under laboratory conditions. *Annals of the Entomological Society of America*, 109(3): 377–383.
- Bretman A, Westmancoat JD, Chapman T, 2013. Male control of mating duration following exposure to rivals in fruitflies. *Journal of Insect Physiology*, 59(8): 824–827.
- Carrillo J, Danielson-Francois A, Siemann E, Meffert L, 2012. Male-biased sex ratio increases female egg laying and fitness in the housefly, *Musca domestica*. *Journal of Ethology*, 30(2): 247–254.
- Chen JM, Chen JA, He JH, 1994. Effects of temperature and food on the development, survival and reproduction of *Cyrtorhinus lividipennis* (Reuter). *Acta Entomologica Sinica*, 37(1): 63–70. [陈建明, 程家安, 何俊华, 1994. 温度和食物对黑肩绿盲蝽发育、存活和繁殖的影响. 昆虫学报, 37(1): 63–70.]
- Ge LQ, Zhou YK, Gu HT, Wu Q, Zhou Z, Zheng S, Stanley D, Song QS, 2019. Male selenoprotein F-Like (SPF-L) influences female reproduction and population growth in *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). *Frontiers in Physiology*, 10: 1196.
- Han HL, Bao F, Chen B, Xu HX, Wang GY, Lü ZX, Zhao FC, 2023. Effect of sex ratio on mating and reproductive capacity of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 35(6): 1375–1384. [韩海亮, 包斐, 陈斌, 徐红星, 王桂跃, 吕仲贤, 赵福成, 2023. 性比对草地贪夜蛾交配和繁殖能力的影响. 浙江农业学报, 35(6): 1375–1384.]
- He C, Shen DR, Yin LH, Yuan SY, Tian XJ, 2017. Effects of different sex ratios on longevity and fecundity of adults of *Assara inouei* Yamanaka. *Plant Protection*, 43(5): 62–66, 118. [何超, 沈登荣, 尹立红, 袁盛勇, 田学军, 2017. 不同性比对井上蛀果斑螟成虫寿命及生殖力的影响. 植物保护, 43(5): 62–66, 118.]
- Jiang XB, Huang Q, Ling Y, Chen YC, Xiao GY, Huang SS, Wu BQ, Huang FK, Cai JH, Long LP, 2015. Functional and numerical responses of *Cyrtorhinus lividipennis* to eggs of *Nilaparvata lugens* are not affected by genetically modified herbicide-tolerant rice. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(10): 2019–2026.

- Kong WN, Wang Y, Guo YF, Chai XX, Li J, Ma RY, 2021. Effects of operational sex ratio, mating age, and male mating history on mating and reproductive behavior in *Grapholita molesta*. *Bulletin of Entomological Research*, 111(5): 616–627.
- Li WJ, Li XC, Li X, Cui J, Xu W, Zhang JP, Shi SS, 2020. Effect of sex ratio on fecundity and lifetime of *Leguminivora glycinivorella* adults. *Soybean Science*, 39(3): 451–457. [李文敬, 李新畅, 李旋, 崔娟, 徐伟, 张金平, 史树森, 2020. 大豆食心虫成虫性比对寿命和生殖力的影响. *大豆科学*, 39(3): 451–457.]
- Lu WW, Xu QJ, Zhu J, Liu C, Ge LQ, Yang GQ, Liu F, 2017. Inductions of reproduction and population growth in the generalist predator *Cyrtorhinus lividipennis* (Hemiptera: Miridae) exposed to sub-lethal concentrations of insecticides. *Pest Management Science*, 73(8): 1709–1718.
- Ma YF, Li ZY, Xiao C, Wu SR, Li N, He YQ, 2011. Mating behavior of potato tuber moth, *Phthorimaea operculella*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(2): 355–358. [马艳粉, 李正跃, 肖春, 伍苏然, 李娜, 何月秋, 2011. 马铃薯块茎蛾的交配行为. *应用昆虫学报* 48(2): 355–358.]
- Matsumura M, Urano S, Suzuki Y, 2005. Evaluating augmentative releases of the mirid bug *Cyrtorhinus lividipennis* to suppress brown planthopper *Nilaparvata lugens* in open paddy fields// Toriyama K, Heong KL, Hardy B (eds.). *Rice is Life: Scientific Perspectives for the 21st Century*. Manila, Philippines: International Rice Research Institute. 473–475.
- Meuti ME, Short SM, 2019. Physiological and environmental factors affecting the composition of the ejaculate in mosquitoes and other insects. *Insects*, 10(3): 74.
- Miranda-Perkins K, Llanderal-Cazares C, Cadena-Barajas M, Lopez-Sauceda J, 2016. Adult emergence and reproductive behavior of *Comadia redtenbacheri* in confinement. *Southwestern Entomologist*, 41(3): 657–665.
- Ramm SA, 2020. Seminal fluid and accessory male investment in sperm competition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1813): 20200068.
- Saxena S, Mishra G, Omkar O, 2020. Operational sex ratio and paternal age sway mating and reproductive performance in *Menochilus sexmaculatus* (Coleoptera: Coccinellidae). *Canadian Entomologist*, 152(3): 298–310.
- Simmons LW, 2005. The evolution of polyandry: Sperm competition, sperm selection, and offspring viability. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 36(1): 125–146.
- Soffan A, Aldryhim YN, Aldawood AS, 2012. Effects of sex ratio and pairing duration on the biological performance of adult almond moth, *Ephesia cautella* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, 28(1): 25–33.
- Wang Q, Shi GL, 2004. Mating frequency, duration, and circadian mating rhythm of New Zealand wheat bug *Nysius huttoni* White (Heteroptera: Lygaeidae). *New Zealand Entomologist*, 27(1): 113–117.
- Wang SF, Zhou Q, Zhang X, Wang FH, Zhang B, 2017. Effect of maternal sex ratio on the reproductive potentials of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(3): 440–445. [王思芳, 周倩, 张雪, 万方浩, 张彬, 2017. 母代性比对甜菜夜蛾实验种群繁殖潜力的影响. *应用昆虫学报*, 54(3): 440–445.]
- Weir LK, Grant JW, Hutchings JA, 2011. The influence of operational sex ratio on the intensity of competition for mates. *The American Naturalist*, 177(2): 167–176.
- Wigby S, Sirot LK, Linklater JR, Buehner N, Calboli FC, Bretman A, Wolfner ME, Chapman T, 2009. Seminal fluid protein allocation and male reproductive success. *Current Biology*, 19(9): 751–757.
- Yao MY, Wang L, Zhou L, Huang M, Chen WL, 2019. Effects of different sex ratios on longevity and fecundity of adults *Cantheconidea furcellata* (Hemiptera: Asopinae). *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 38(3): 78–81. [姚明勇, 王岚, 周吕, 黄敏, 陈文龙, 2019. 性比对叉角厉蝽成虫寿命和繁殖力的影响. *山地农业生物学报*, 38(3): 78–81.]
- Zhou JZ, Chen CM, 1986. Study on the predation of *Cyrtorhinus lividipennis* on the eggs of *Nilaparvata lugens* and its simulation model. *Hunan Agricultural Science*, 1986(6): 22–25. [周集中, 陈常铭, 1986. 黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的捕食作用及其模拟模型的研究. *湖南农业科学*, 1986(6): 22–25.]
- Zhu PY, Lu ZX, Heong K, Chen GH, Zheng XS, Xu HX, Yang YJ, Nicol HI, Gurr GM, 2014. Selection of nectar plants for use in ecological engineering to promote biological control of rice pests by the predatory bug, *Cyrtorhinus lividipennis*, (Heteroptera: Miridae). *PLoS ONE*, 9(9): e108669.