

延迟交配对皂角豆象寿命及繁殖的影响*

黄成艳^{1,2**} 张升³ 廖俊¹ 罗康¹ 李猷⁴
武承旭^{1***} 徐芳玲^{1***} 杨茂发^{5,6}

(1. 贵州大学林学院, 贵阳 550025; 2. 兴仁市农业农村局, 兴仁 562300; 3. 贵州省植保植检站, 贵阳 550001;
4. 福建农林大学植物保护学院, 福州 350002; 5. 贵州大学昆虫研究所, 贵州山地农业病虫害重点实验室, 贵阳 550025;
6. 贵州大学烟草学院, 贵阳 550025)

摘要 【目的】为了明确延迟交配对皂角豆象 *Megabruchidius dorsalis* (Fahraeus)(Coleoptera: Bruchinae) 寿命及繁殖的影响。【方法】在室内条件下, 分别对初羽化未交配的皂角豆象雌雄虫、雄虫、雌虫分别延迟 1-7 d 后配对饲养, 研究延迟交配对该虫产卵前期、产卵期、产卵量、卵孵化率、子代性比及雌、雄成虫寿命等参数的影响。【结果】雌、雄同时延迟交配和雌虫延迟交配显著延长雌虫寿命 ($P<0.05$), 但 3 种延迟交配处理均对雄性寿命无显著影响 ($P>0.05$)。在 3 种延迟交配模式下, 延迟交配对皂角豆象产卵期、产卵次数、产卵量和孵化率均有不利影响(皮尔森相关系数 $r<0$), 而对产卵前期则无显著影响($P>0.05$), 其中皂角豆象雌虫在延迟交配 1 和 2 d 时的产卵量最高, 在延迟交配 6 和 7 d 时的产卵量明显下降; 雌、雄同时延迟交配和雄虫延迟交配显著降低卵的孵化率 ($P<0.05$)。【结论】延迟交配会降低皂角豆象的繁殖潜力, 结果将为深入探讨田间使用信息素迷向法防治皂角豆象提供依据。

关键词 皂角豆象; 延迟交配; 寿命; 繁殖; 产卵

Effect of delayed mating on adult longevity and reproduction of *Megabruchidius dorsalis* (Fahraeus) (Coleoptera: Bruchinae)

HUANG Cheng-Yan^{1,2**} ZHANG Sheng³ LIAO Jun¹ LUO Kang¹ LI You⁴
WU Cheng-Xu^{1***} XU Fang-Ling^{1***} YANG Mao-Fa^{5,6}

(1. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Agricultural Bureau of Xingren City, Guizhou Province, Xingren 562300, China; 3. Guizhou Plant Protection and Quarantine Station, Guiyang 550001, China; 4. College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 5. Guizhou Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management of the Mountainous Region, Institute of Entomology, Ministry of Agriculture, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 6. College of Tobacco Science, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract 【Aim】 To determine the effects of delayed mating on the longevity and reproduction of *Megabruchidius dorsalis* (Fahraeus) (Coleoptera: Bruchinae). 【Methods】 Indoor experiments were carried out to investigate the effects of three delayed mating treatments (delayed mating of both sexes, delayed mating of the male only, delayed mating of the female only) on preoviposition period, oviposition period, number of eggs, hatching rate, offspring sex ratio, and adult longevity. 【Results】 Simultaneous delayed mating of both sexes, and delayed female mating, significantly increased female *M. dorsalis* longevity. However, there was no significant effect of any of the delayed mating treatments on male longevity. Of the three delayed mating treatments, delayed mating had adverse effects on *M. dorsalis* oviposition period, oviposition frequency, number of eggs, and hatching rate. In contrast, there was no significant effect of delayed mating on preoviposition period. Female

*资助项目 Supported projects: 贵州省科技计划项目(黔科合基础-ZK[2022]一般 120); 贵州省林业局基础科研项目(黔林合(2021) 06); 贵州省特色林业产业科研项目(GZMC-ZD20202098)

**第一作者 First author, E-mail: hcyzs2020@163.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: cxwu3@gzu.edu.cn; fc.flxu@163.com

收稿日期 Received: 2024-01-22; 接受日期 Accepted: 2024-02-28

oviposition was highest after 1-2 days delay in mating and decreased significantly after a delay of 6-7 days. There was a significant decrease in hatching rate with delayed mating of both sexes and by males alone. **[Conclusion]** Delayed mating reduces the reproductive potential of *M. dorsalis*. The findings of this research provide a foundation for further exploration into utilizing pheromone attraction in field-based *M. dorsalis* control strategies.

Key words *Megabruchidius dorsalis*; delayed mating; longevity; reproduction; oviposition

皂角豆象 *Megabruchidius dorsalis* (Fahraeus, 1839), 又名皂荚豆象, 属鞘翅目 Coleoptera, 豆象亚科 Bruchinae, 是豆科 Leguminosae 皂荚属 *Gleditsia* 植物果实的主要害虫。其成虫通常在皂荚表面产卵, 幼虫孵化后钻入种子内隐蔽为害, 防控难度较大。由于野外皂角果期长, 该虫在贵州可能发生多代, 室内仓储环境下一年可以发生 3-4 代, 且易随荚果扩散或进入仓储环境持续危害, 严重降低皂角的产量和质量(李猷等, 2014)。

目前, 生产实践中皂角豆象防控仍首选化学农药, 通常野外采用毒死蜱、氟啶脲等药剂交替使用, 在室内使用磷化铝、磷化锌和磷化钙等药剂熏蒸消灭种子内幼虫。但由于该虫钻蛀危害, 喷施化学农药不易接触虫体而难达到理想防治效果, 长期依赖化学农药且不合理使用化学农药还易带来抗药性增强、农药残留及环境污染等问题(李猷等, 2014; 陈思雨等, 2021)。因此, 迫切需要寻找一种安全、有效的防控方法。

昆虫性信息素在鞘翅目、鳞翅目、双翅目等害虫测报防治中已得到广泛应用, 其中昆虫性信息素迷向是利用昆虫性信息素进行交配干扰防治害虫的环境友好型植保策略, 可大面积防控虫害(陈思雨等, 2021; 相会明等, 2023)。通过延迟昆虫成虫交配日龄来干扰昆虫的交配行为, 从而降低其繁殖能力, 这是一种间接控制害虫数量的有效手段(易小龙等, 2022)。延迟交配对昆虫的繁殖适度有显著影响, 且其影响因昆虫种类不同而异。例如, 延迟交配会使茶尺蠖 *Ectropis obliqua* Prout 雌虫产卵量和卵孵化率都呈明显的下降趋势, 且成虫寿命显著延长(赵信, 2012); 朱红毛斑蛾 *Phauda flammans* 延迟交配的行为虽然减少了交配频率、产卵数量和卵孵化成功率, 但并未显著改变该虫的预期寿命(Zheng *et al.*, 2020); 桃小食心虫 *Carposina sasakii* 雌蛾延迟交配对交配率和卵的孵化率影响较大, 但对产卵

量则没有明显影响(邱同铎和李磊, 1985); 绿豆象 *Callosobruchus chinensis* (Linnaeus) 雄虫延迟交配, 可降低雌成虫的产卵量, 缩短雌成虫的产卵期, 延长雌成虫寿命(余慧萍等, 2022)等。截至目前, 延迟交配是否影响皂角豆象繁殖能力及寿命未见报道。

为了综合评估延迟交配对皂角豆象的影响, 本研究探讨了延迟交配对皂角豆象的雄性和雌性成虫的寿命、产卵性能、孵化率以及后代性比的影响, 目的是为预测皂角豆象的种群动态和应用信息素进行有效防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

供试虫源于 2020 年 10 月采自贵州织金县(106°03"-106°04"E、26°32"-26°33"N)周边皂角荚中, 连同荚果一起带回实验室在人工气候箱(RXZ-380A-LED, 宁波江南仪器厂, 浙江宁波)恒定条件下饲养连续饲养多代, 饲养条件为(28±1)℃, 相对湿度 65%-75%, 光周期 L:D=10:14。在透明塑料盒(长×宽×高=8 cm×6 cm×4 cm)内放置适量皂角种子饲养, 塑料盒顶部钻孔透气。获得稳定种群后, 待成虫羽化, 根据臀板上的凹陷等特征区别雌雄虫(李猷等, 2014), 挑选雌、雄成虫按 1:1 的比例进行交配产卵, 用毛笔将当日产下的卵挑出, 单粒放入培养皿(直径 2.5 cm, 高 1 cm), 集中放在托盘上, 置于人工气候箱中饲养。待其羽化后, 选取初羽化、未交配及个体大小相近的成虫备用。

1.2 研究方法

1.2.1 延迟交配对皂角豆象成虫寿命和雌虫产卵的影响 将羽化后未交配的不同延迟天数(1、2、3、4、5、6 和 7 d 日龄)的雌虫和雄虫分别

作为延迟交配实验的供试虫源, 实验设置雌、雄同时延迟交配、雄虫延迟交配和雌虫延迟交配 3 个处理。

(1) 雌、雄延迟交配实验, 选择相同日龄(1、2、3、4、5、6 和 7 d) 未交配的单头雌虫和未交配单头雄虫进行交配;

(2) 雄虫延迟交配实验, 选择不同日龄(1、2、3、4、5、6 和 7 d) 未交配的单头雄虫与 2 日龄未交配的单头雌虫进行交配;

(3) 雌虫延迟交配实验, 选择不同日龄(1、2、3、4、5、6 和 7 d) 未交配的单头雌虫与 2 日龄未交配的单头雄虫进行交配。

每日定时(20:00)记录已交配皂角豆象雌成虫的产卵情况, 以评定延迟交配对其繁殖能力的影响, 直至雌、雄虫死亡为止, 记录成虫寿命。每个处理重复 10 次。

1.2.2 延迟交配对皂角豆象卵孵化率及子代性比的影响 每处理随机选取 50 粒卵, 置于有 50 粒皂角种子的培养皿(直径 5 cm, 高 1 cm)中, 适时观察卵的孵化, 并放置于人工气候箱继续饲养, 饲养条件为(28±1)℃, 相对湿度 65%-75%, 光周期 L:D=10:14。直至成虫羽

化为止, 同 1.2.1 方法鉴定成虫性别, 记录子代性比, 并计算孵化率、雌性占比。每个处理重复 5 次。

1.3 数据分析

数据通过 Excel 2010 和 SPSS 22.0 (IBM, 美国) 软件进行整理与分析, 除雌、雄成虫寿命采用 *t*-test 分析比较外, 其余数据均采用单因素方差分析, 利用 Duncan's 多重比较。利用 Pearson 相关系数评估皂角豆象的延迟日龄与生殖力和雌、雄虫寿命的相关性。

2 结果与分析

2.1 延迟交配对皂角豆象成虫寿命的影响

雌、雄虫同时延迟交配模式下对雌虫寿命有显著的影响(表 1), 延迟交配 7 d 的雌虫寿命显著长于延迟 1-6 d 交配的雌虫($F=2.492$, $df=(6, 63)$, $P<0.05$)。随着延迟交配天数的增加, 雌虫的寿命呈上升趋势。除延迟 7 d 处理, 雌虫寿命长于雄虫寿命, 其他处理均短于雄虫寿命, 但各延迟天数处理下的雌雄虫寿命之间均无显著性

表 1 延迟交配对皂角豆象成虫寿命的影响
Table 1 Effects of delayed mating on adult longevity of *Megabruchidius dorsalis*

延迟天数 (d) Delayed days (d)	雌雄虫延迟交配		雄虫延迟交配		雌虫延迟交配	
	Delayed mating of both sexes		Delayed mating of male alone		Delayed mating of female alone	
	雄虫寿命(d)	雌虫寿命(d)	雄虫寿命(d)	雌虫寿命(d)	雄虫寿命(d)	雌虫寿命(d)
	Male longevity (d)	Female longevity (d)	Male longevity (d)	Female longevity (d)	Male longevity (d)	Female longevity (d)
1	17.80±1.19 a	15.50±0.95 b	16.10±0.53 a	17.00±1.45 a	18.00±0.89 a*	14.10±0.60 b
2	16.10±1.35 a	14.40±1.01 b	16.10±1.35 a	14.40±1.01 b	16.10±1.35 a	14.40±1.01 b
3	16.20±1.47 a	15.70±1.15 b	16.50±1.18 a	13.50±0.96 b	17.40±0.82 a	15.30±0.97 ab
4	16.40±0.98 a	16.10±1.02 b	17.70±0.63 a*	14.40±0.76 ab	15.50±1.06 a	14.20±0.71 b
5	18.20±1.10 a	16.70±0.83 ab	15.90±0.69 a	15.90±0.53 ab	15.30±1.09 a	17.70±1.10 a
6	17.40±1.46 a	15.90±0.77 b	16.20±0.74 a	15.90±1.52 ab	16.40±0.72 a	16.70±0.99 ab
7	17.20±0.66 a	19.40±1.13 a	17.40±0.96 a	16.30±0.96 ab	16.50±1.04 a	17.00±1.31 ab

表中同列数据后面标有不同小写字母代表同一延迟交配模式下不同延迟时间皂角豆象雌虫和雄虫寿命的差异显著($P<0.05$, Tukey HSD); * 表示每个处理雌、雄寿命之间的差异($P<0.05$, *t*-test)。
The different lowercase letters in table indicate that there is significant difference among different delayed days in the same delayed mating patterns for males and females of *M. dorsalis* (Tukey HSD); * indicates significant difference between male and female longevity for each treatment ($P<0.05$, *t*-test).

差异 (1 d: $t=1.53$, $df=18$, $P>0.05$; 2 d: $t=1.00$, $df=18$, $P>0.05$; 3 d: $t=2.68$, $df=18$, $P>0.05$; 4 d: $t=2.13$, $df=18$, $P>0.05$; 5 d: $t=1.09$, $df=18$, $P>0.05$; 6 d: $t=0.91$, $df=18$, $P>0.05$; 7 d: $t=-1.68$, $df=18$, $P>0.05$); 雄虫延迟交配模式下雌虫的寿命从延迟 3 d 开始随延迟时间增加呈上升趋势, 但未达显著水平 (雌: $F=1.36$, $df=(6, 63)$, $P>0.05$), 从延迟 2 d 开始雄虫寿命长于雌虫寿命, 仅延迟 4 d 处理下雌、雄虫寿命之间差异显著 ($t=3.328$, $df=18$, $P<0.05$); 雌虫延迟交配模式下雌虫延迟 5 d 交配时, 雌虫寿命最长, 显著长于其他处理 ($F=2.31$, $df=(6, 63)$, $P<0.05$), 延迟 1 d 时

雄虫寿命显著长于雌虫寿命 ($t=3.612$, $df=18$, $P<0.05$), 从延迟 5 d 开始雌虫寿命长于雄虫寿命, 但均未达到显著水平 (5 d: $t=-1.56$, $df=18$, $P>0.05$; 6 d: $t=-0.25$, $df=18$, $P>0.05$; 7 d: $t=-0.3$, $df=18$, $P>0.05$)。

3 种延迟类型均对雄虫寿命无显著影响 ($F=0.467$, $df=(6, 63)$, $P>0.05$; $F=0.45$, $df=(6, 63)$, $P>0.05$; $F=0.75$, $df=(6, 63)$, $P>0.05$)。

2.2 延迟交配对皂角豆象产卵的影响

雌、雄同时延迟交配结果表明 (表 2), 随着延迟交配天数的增加, 雌虫的产卵期、产卵次

表 2 延迟交配对皂角豆象产卵的影响

Table 2 Effects of delayed mating on the oviposition of *Megabruchidius dorsalis*

处理 Treatments	延迟天数 (d) Delayed days (d)	产卵前期 (d) Preoviposition period (d)	产卵期 (d) Oviposition period (d)	产卵次数 (次) Oviposition frequency (times)	产卵量 (粒) Number of eggs laid (grains)
雌雄虫延迟交配 Delayed mating of both sexes	1	2.88±0.13 a	5.63±0.38 a	5.00±0.42 a	69.50±9.74 ab
	2	3.10±0.31 a	5.40±0.50 a	5.10±0.46 a	93.00±10.00 4a
	3	3.22±0.74 a	4.33±0.73 ab	4.11±0.68 ab	49.00±12.02 bcd
	4	2.80±0.29 a	4.30±0.30 ab	4.00±0.37ab	52.70±6.03 bc
	5	3.33±0.33 a	4.22±0.57 ab	3.33±0.29 b	36.11±6.43 cd
	6	3.30±0.60 a	2.80±0.55 b	2.70±0.47 b	23.40±7.16 d
	7	2.75±0.31 a	3.13±0.44 b	3.13±0.44 b	27.25±7.44 cd
雄虫延迟交配 Delayed mating of male alone	1	4.11±0.87 a	5.33±0.94 b	4.78±0.74 bc	69.44±17.65 ab
	2	3.10±0.31 a	5.40±0.50 a	5.10±0.46 a	93.00±10.04 a
	3	2.10±0.10 b	5.90±0.31 ab	5.80±0.29 ab	90.60±6.17 a
	4	2.60±0.27 b	7.20±0.57 a	6.40±0.43 a	67.20±8.40 ab
	5	1.90±0.18 b	5.30±0.42 b	4.80±0.29 bc	72.40±8.71 ab
	6	2.50±0.38 b	4.5±0.53 b	4.38±0.50 bc	71.25±12.26 ab
	7	3.13±0.52 ab	4.00±0.71 b	4.00±0.71 c	40.13±10.38 b
雌虫延迟交配 Delayed mating of female alone	1	2.60±0.16 a	7.60±0.31 a	7.20±0.29 a	102.00±5.36 a
	2	3.10±0.31 a	5.40±0.50 a	5.10±0.46 a	93.00±10.04 a
	3	2.10±0.10 a	6.10±0.41 b	5.80±0.39 b	83.50±8.88 a
	4	2.33±0.33 a	4.33±0.71 cd	4.78±0.49 bc	79.11±12.58 a
	5	2.60±0.22 a	5.20±0.66 bc	3.80±0.47 cd	39.80±7.24 b
	6	2.11±0.11 a	3.89±0.42 cd	3.33±0.37 d	48.11±7.22 b
	7	2.56±0.24 a	3.22±0.43 d	3.11±0.42 d	40.33±8.80 b

表中的数据为平均值±标准误, 同列数据后标有不同字母表示在 0.05 水平差异显著 ($P<0.05$, Tukey HSD)

Data are mean±SE, and followed by the different lowercase letters in the same column indicate significant difference at the 0.05 level ($P<0.05$, Tukey HSD).

数、产卵量具有显著下降趋势(产卵期: $F=4.090$, $df=(6, 57)$, $P<0.05$; 产卵次数: $F=4.003$, $df=(6, 57)$, $P<0.05$; 产卵量: $F=8.469$, $df=(6, 57)$, $P<0.05$), 而对雌虫产卵前期无显著影响($F=0.298$, $df=(6, 57)$, $P>0.05$)。雌雄虫延迟 2 d 时, 雌虫的产卵总量最高为 (93.00 ± 10.04) 粒, 当延迟交配 6-7 d 时, 较延迟交配 1-2 d 雌虫产卵量降低了 68.83%。延迟交配天数与雌虫产卵期、产卵次数、产卵量间的线性回归方程分别为 $y=-0.4575x+6.0881$ ($R^2=0.8893$)、 $y=-0.4001x+5.5103$ ($R^2=0.8848$)、 $y=-9.9585x+89.9710$ ($R^2=0.7596$)。

雄虫延迟交配时(表 2), 雄虫延迟交配影响雌虫的产卵前期、产卵期、产卵次数、产卵量(产卵前期: $F=3.113$, $df=(6, 58)$, $P<0.05$; 产卵期: $F=2.982$, $df=(6, 58)$, $P<0.05$; 产卵次数: $F=2.749$, $df=(6, 58)$, $P<0.05$; 产卵量: $F=2.507$, $df=(6, 58)$, $P<0.05$), 且随着雄虫延迟交配天数的增加, 产卵期、产卵次数、产卵量表现为先增加后减少, 总体减少的趋势, 尤其

是雌虫的产卵量在延迟 6 d 后下降明显。当雄虫延迟 3-5 d 时, 产卵前期较短, 产卵期较长和产卵次数较多。

雌虫延迟交配时(表 2)随着延迟交配天数的增加, 雌虫的产卵期、产卵次数、产卵量具有显著下降趋势(产卵期: $F=8.356$, $df=(6, 60)$, $P<0.05$; 产卵次数: $F=12.332$, $df=(6, 60)$, $P<0.05$; 产卵量: $F=8.926$, $df=(6, 60)$, $P<0.05$), 对雌虫产卵前期具有下降趋势($F=2.368$, $df=(6, 60)$, $P<0.05$)。延迟交配天数与雌虫产卵期、产卵次数、产卵量间的线性回归方程分别为 $y=-0.6091x+7.5429$ ($R^2=0.8035$)、 $y=-0.6357x+7.2746$ ($R^2=0.8826$)、 $y=-11.374x+114.9$ ($R^2=0.8863$)。

2.3 延迟交配对皂角豆象卵孵化率及子代性比的影响

雌、雄同时延迟交配(图 1: A, D)、雄虫延迟交配显著降低卵的孵化率(图 1: B, E), 而雌虫延迟交配对卵的孵化率影响不显著(图 1: C, F)。

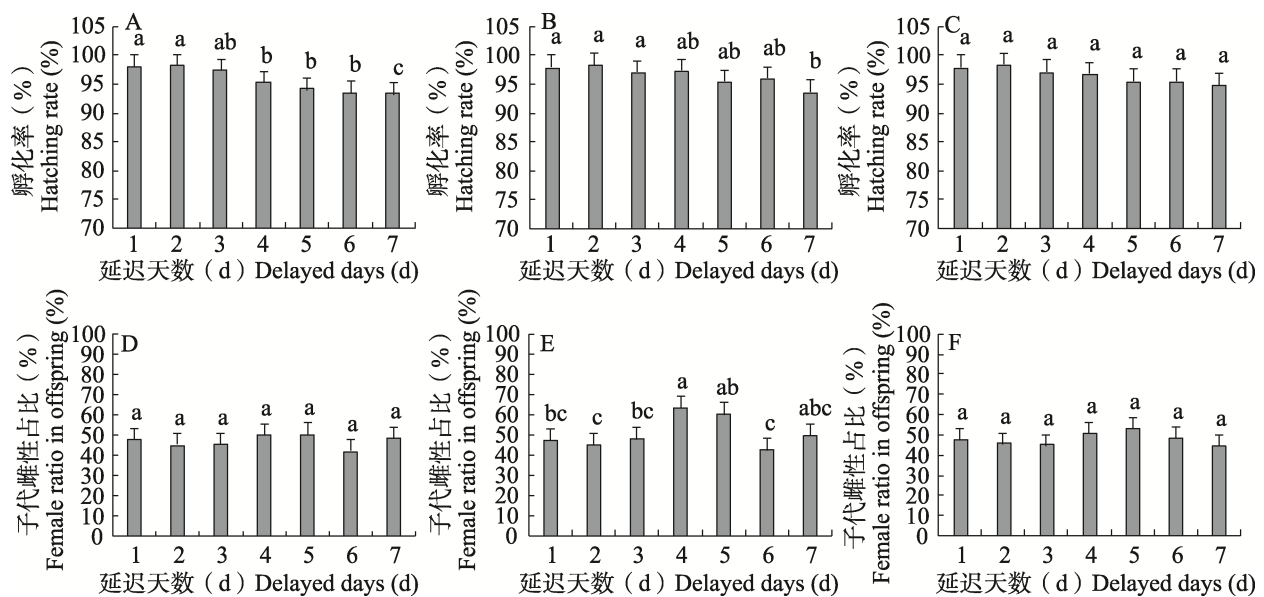


图 1 延迟交配对皂角豆象孵化率及子代雌性占比的影响

Fig. 1 Effects of delayed mating on the hatching rate and offspring female ratio of *Megabruchidius dorsalis*

A, D. 雌雄虫同时延迟交配; B, E. 雄虫延迟交配; C, F. 雌虫延迟交配。柱上标有不同小写字母表示

不同延迟天数上差异显著 ($P<0.05$, Duncan's 多重比较)。

A, D. Delayed mating of both sexes; B, E. Delayed mating of male alone; C, F. Delayed mating of female alone.

The lowercase letters above bars indicate the significant difference at different delayed days

($P<0.05$, Duncan's multiple range test).

延迟交配对种群子代性比有影响, 3 种延迟交配模式下, 延迟交配 4-5 d 时, 皂角豆象子代雌性占比均大于 50%, 其中雄虫延迟交配显著高于延迟 1-3 d 和 6 d。其他延迟交配情况子代雌性占比均小于 50%, 且子代雌性占比无显著差异 (图 1: A-F)。

2.4 生殖变量与延迟交配日龄的关系

相关分析结果表明, 雌、雄虫延迟交配、雄虫延迟交配和雌虫延迟交配均对皂角豆象的产卵期、产卵量和卵孵化率呈负相关性; 而对皂角豆象的雌寿命呈正相关性 (表 3)。

表 3 皂角豆象的生殖变量与延迟交配的关系
Table 3 Relationship between reproductive variables and delayed mating in *Megabruchidius dorsalis*

变量 Variable	皮尔森相关系数 Pearson correlation coefficient		
	雌雄虫延迟交配 Delayed mating of both sexes	雄虫延迟交配 Delayed mating of male alone	雌虫延迟交配 Delayed mating of female alone
产卵期 Oviposition period	- 0.943**	- 0.482	- 0.896**
产卵量 Number of eggs	- 0.872*	- 0.660	- 0.941**
卵孵化率 Hatching rate	- 0.899**	- 0.913**	- 0.965**
子代雌性占比 Sex ratio in offspring	0.018	0.145	0.084
雄虫寿命 Male longevity	0.262	0.165	- 0.628
雌虫寿命 Female longevity	0.778*	0.203	0.611

*表示在 0.05 水平显著相关; **表示在 0.01 水平极显著相关 (* $P<0.05$, ** $P<0.01$, Pearson 相关分析)。
* indicates a significant correlation at the 0.05 level; ** indicates a extremely significant correlation at the 0.01 level (* $P<0.05$, ** $P<0.01$, Pearson correlation analysis).

3 结论与讨论

在自然界, 昆虫交配延迟是一种常见现象, 对不同种类昆虫的生育行为和成功率有差异化的影响。通常雌虫的延迟交配可能会降低其繁殖能力、卵孵化的比率, 并可能降低交配的成功率, 同时增加交配周期和成虫的存活期(王香萍和张钟宁, 2004)。本研究结果表明延迟交配对皂角豆象雌虫寿命有利, 但是影响程度因雌雄延迟方式而异, 我们发现随着延迟交配天数的增加, 显著影响雌虫寿命, 这与绿豆象 *C. chinensis* Linnaeus(余慧萍等, 2022)、橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* Hendel(易小龙等, 2022)、山楂叶螨 *Tetranychus viennensis* Zacher(李定旭等, 2009)、葡萄花翅小卷蛾 *Lobesia botrana* (Torres-Vila et al., 2002) 等研究结果一致, 可能原因是延迟交配减少了雌性成虫在繁殖上的能量消耗, 或者雌性成虫吸收了从卵中转移的一些营养物质 (Huang and Subramanyam, 2003)。但是延迟交

配对雄虫寿命无显著影响, 而在雌虫延迟交配条件下雄虫寿命呈负面影响, 其可能原因是由于雌虫延迟交配时间增加, 为提高雌虫生殖力需要消耗雄虫更多的体力和能量进而缩短其寿命, 但还需进一步研究证实。

研究结果还表明, 延迟交配对皂角豆象的生殖力产生不利的影响, 其中延迟交配对产卵期、产卵次数、产卵量影响较大, 雌雄延迟交配、雄虫延迟交配、雌虫延迟交配均在延迟交配 1-2 d 时产卵量最高, 在延迟交配 6-7 d 时产卵量较低, 与绿豆象 (余慧萍等, 2022)、马铃薯块茎蛾 *Phthorimaea operculella* Zeller (韩瑞等, 2021)、烟草甲 *Lasioderma serricorne* (Barbara et al., 2019) 等研究结果相同。分析上述结果发现皂角豆象随着延迟交配时间的增加而生殖力降低, 雌雄虫同时延迟交配对皂角豆象生殖力影响最大, 雌虫延迟交配对皂角豆象生殖力影响次之, 而雄虫延迟交配对生殖力的影响最小, 这可能是由于雌虫延迟交配时间增加导致其产卵有效性或对

雄虫精子的接受能力降低, 雄虫延迟交配其生殖附腺逐渐衰退而精子数量减少、质量下降, 进而造成延迟时间与生殖力有负面影响 (Park *et al.*, 1998; Foster and Howard, 1999; Huang and Subramanyam, 2003; Xu and Wang, 2009), 但导致皂角豆象延迟交配后其生殖力有负面影响的具体原因需要进一步探讨。

目前, 对豆象昆虫信息素研究集中于性信息素, 少量文献报道其信息素用于防治或监测 (陈思雨等, 2021), 但对于皂角豆象性信息素迷向技术研究目前处于空白。延迟交配被认为是性信息素迷向技术间接控制害虫种群的一种方法, 通过交配干扰来降低成虫的交配频率, 进而控制害虫群体的扩张, 最终达到保护作物免受损害的目的。(张诗语等, 2016)。本研究表明了皂角豆象的延迟交配行为对雌虫生殖产量的影响并确定了这种差异是否受到延迟交配模式的影响; 且通过该研究评价了延迟交配行为对皂角豆象的雌性产卵量、卵孵化率和成虫寿命等生殖适合度参数的影响, 支持成虫日龄与雌虫生殖产量之间存在明显的相关性, 一方面表明产卵期、产卵量和孵化率确实与延迟交配有关, 另一方面也表明利用性信息素迷向技术来防治皂角豆象具有一定的可行性。

本研究表明无论是雌雄成虫同时延迟交配、仅雄性成虫或仅雌性成虫延迟交配, 都对对皂角豆象的产卵期、产卵次数、产卵量和孵化率产生不利的影响, 从而在不同程度上减弱了其繁殖能力。这一发现对于指导皂角豆象的防控措施具有参考价值, 然而, 延迟交配雌性成虫寿命有积极影响, 在田间延迟交配是否能有效降低种群数量, 还需要进一步的研究。

参考文献 (References)

- Barbara A, Rizana M, Alison R, James F, 2019. Effect of delayed mating on longevity and reproductive performance of *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae). *Journal of Economic Entomology*, 112(1): 475–484.
- Chen SY, Li Y, Wang XR, Wu CX, 2021. Research progress on sex pheromone of seed beetle, Bruchinae. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 40(6): 44–52. [陈思雨, 李猷, 王秀荣, 武承旭, 2021. 豆象亚科昆虫性信息素研究进展. 山地农业生物学报, 40(6): 44–52.]
- Foster SP, Howard AJ, 1999. The effects of mating, age at mating, and plant stimuli, on the lifetime fecundity and fertility of the generalist herbivore *Epiphyas postvittana*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 91(2): 287–295.
- Han R, Yang F, Chai YF, Deng F, Xiao C, 2021. Effects of delayed mating on the reproduction of the potato tuber moth *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 58(4): 973–978. [韩瑞, 杨帆, 柴永飞, 邓芳, 肖春, 2021. 延迟交配马铃薯块茎蛾繁殖的影响. 应用昆虫学报, 58(4): 973–978.]
- Huang F, Subramanyam B, 2003. Effects of delayed mating on reproductive performance of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Stored Products Research*, 39(1): 53–63.
- Li DX, Tian J, Guo YL, Zhang XN, Yang YL, 2009. Effects of delayed mating on the reproduction of the haw thorn spidermite *Tetranychus viennensis* Zacher (Acari: Tetranychidae). *Acta Entomologica Sinica*, 52(12): 1312–1318. [李定旭, 田娟, 郭艳兰, 张晓宁, 杨玉玲, 2009. 延迟交配山楂叶螨繁殖的影响. 昆虫学报, 52(12): 1312–1318.]
- Li Y, Zhang RZ, Guo J, Qin M, Zhao SQ, Chen XL, 2014. Effectiveness of three pesticides on *Megabruchidius dorsalis* (Fahraeus) (Coleoptera: Bruchinae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(1): 221–225. [李猷, 张润志, 郭建军, 秦萌, 赵守岐, 陈小龙, 2014. 三种杀虫剂对皂角豆象的致死效果. 应用昆虫学报, 51(1): 221–225.]
- Park YI, Ramaswamy SB, Srinivasas A, 1998. Spermatophore formation and regulation of egg maturation and oviposition in female *Heliothis virescens* by the male. *Journal of Insect Physiology*, 44(10): 903–908.
- Qiu TD, Li L, 1985. Effect of delayed mating on adult longevity and fertility in female moth *Carposina niponensis* Walsingham. *Journal of Fruit Science*, 1988(1): 23–24. [邱同铎, 李磊, 1985. 桃小食心虫雌蛾延迟交配寿命及其繁殖力的影响. 果树科学, 1988(1): 23–24.]
- Torres-Vila LM, Rodríguez-Molina MC, Stockel J, 2002. Delayed mating reduces reproductive output of female European grapevine moth, *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Bulletin of Entomological Research*, 92(3): 241–249.
- Wang XP, Zhang ZN, 2004. Effect of delayed mating on the insect procreation behavior and its relationship with the pheromone control method. *Chinese Bulletin of Entomology*, 41(4):

- 295–298. [王香萍, 张钟宁, 2004. 延迟交配对昆虫生殖行为的影响以及与性信息素防治害虫的关系. 昆虫知识, 41(4): 295–298.]
- Xiang HM, Diao HL, Li XW, Zhao ZG, Li YH, Ma RY, 2023. Advances in research on the application of disruptive mating formulations. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 60(2): 524–533. [相会明, 刁红亮, 李先伟, 赵志国, 李拥虎, 马瑞燕, 2023. 交配干扰缓释剂研究及应用进展. 应用昆虫学报, 60(2): 524–533.]
- Xu J, Wang Q, 2009. Male moths undertake both pre- and in-copulation mate choice based on female age and weight. *Behavioral Ecology & Sociobiology*, 63(6): 801–808.
- Yi XL, Dong ZS, Zheng GN, Wang XY, Zheng XL, Lu W, 2022. Effect of delayed mating on reproductive fitness of *Bactrocera dorsalis* Hendel (Diptera: Tephritidae). *Journal of Environmental Entomology*, 44(3): 736–742. [易小龙, 董子舒, 郑光楠, 王小云, 郑霞林, 陆温, 2022. 延迟交配对橘小实蝇繁殖适度的影响. 环境昆虫学报, 44(3): 736–742.]
- Yu HP, Wu XL, Li CX, Li ZL, Hong HX, Zhang LX, 2022. Delayed mating impacts on the reproductive performance and development of the male testis in *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera: Bruchidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(4): 900–906. [余慧萍, 武晓龙, 李春峡, 李卓丽, 洪黄熙, 张李香, 2022. 绿豆象雄虫延迟交配对雌虫繁殖及精巢的影响. 应用昆虫学报, 59(4): 900–906.]
- Zhang SY, Zeng JP, Wu XF, Peng LH, Liu XP, 2016. A meta analysis of the effect of delayed mating on female reproductive fitness in moths. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 38(1): 113–123. [张诗语, 曾菊平, 吴先福, 彭龙慧, 刘兴平, 2016. 延迟交配对蛾类生殖适合度影响的 Meta 分析. 江西农业大学学报, 38(1): 113–123.]
- Zhao X, 2012. Synthesis and application of the sex pheromone of *Ectropis obliqua* Prout and effects of delayed mating on longevity and reproductive performance. Master dissertation. Hefei: Anhui Agricultural University. [赵信, 2012. 茶尺蠖性信息素的合成、应用及延迟交配对茶尺蠖寿命和繁殖力的影响. 硕士学位论文. 合肥: 安徽农业大学.]
- Zheng XL, Liu JY, Lu W, He XZ, Wang Q, 2020. Mating delay reduces reproductive performance but not longevity in a monandrous moth. *Journal of Insect Science* (Online), 20(2): 3.