

白星花金龟交配行为观察*

崔志浩^{1, 2**} 陈立² 谢广林¹ 王文凯^{1***}

(1. 长江大学农学院, 荆州 434025; 2. 河北大学生命科学学院, 生命科学与绿色发展研究院, 保定 071002)

摘要 【目的】白星花金龟 *Protaetia brevitarsis* 是重要农林业害虫, 明确其交配节律, 可为白星花金龟的监测、预测预报和有效防治提供科学依据。【方法】本研究在温度 (23 ± 1) °C、相对湿度 $60\% \pm 5\%$ 、光周期 14L : 10D 的环境条件下, 观察不同日龄白星花金龟成虫的交配行为。【结果】白星花金龟交配行为为分求偶、抱对、交尾和交配后保护四个阶段。1-5 日龄段白星花金龟成虫没有求偶行为, 10 日龄以上的成虫有求偶、交尾现象, 30-35 日龄段为交配高峰。其中 10-15 日龄段成虫的求偶频率显著低于 20-25、30-35 和 40-45 日龄段。10-15 日龄段和 20-25 日龄段成虫的交尾频率显著低于 30-35 日龄段和 40-45 日龄段成虫。成虫交配时间主要在 11:00-14:00, 夜间无交配行为。交配持续 1-12 min, 平均 7.47 min, 53.85% 的成虫交配持续 6-9 min。【结论】白星花金龟成虫交配行为有明显的昼夜节律性, 补充营养对交配行为没有明显影响。

关键词 白星花金龟; 求偶; 交配; 补充营养; 昼夜节律

The mating behavior of *Protaetia brevitarsis* (Lewis) (Coleoptera, Scarabaeidae)

CUI Zhi-Hao^{1, 2**} CHEN Li² XIE Guang-Lin¹ WANG Wen-Kai^{1***}

(1. School of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434025, China; 2. School of Life Sciences, Institute of Life Science and Green Development, Hebei University, Baoding 071002, China)

Abstract 【Objectives】To investigate the mating rhythm of *Protaetia brevitarsis*, an important agricultural and forestry pest, in order to improve the monitoring, prediction and control of this species. 【Methods】Mating behaviors of *P. brevitarsis* adults of different ages were observed at (23 ± 1) °C, $60\% \pm 5\%$ relative humidity, under a 14L : 10D photoperiod. 【Results】The mating behavior of *P. brevitarsis* can be divided into four stages; courtship, mounting, copulation and post-copulatory guarding. No courtship behavior was observed in 1-5 day-old adults. Courtship and copulation occurred in adults over 10 days of age, and peaked in those 30-35 days of age. Significantly fewer 10-15-day-old adults engaged in courtship than those aged 20-25, 30-35, or 40-45 day-old. The mating rate of 30-35 and 40-45 day-old adults was significantly higher than that of those 10-15 and 20-25 days old. Moreover, mating mostly occurred from 11:00-14:00; no mating behavior was observed at night. The duration of copulation ranged from 1 to 12 min, with an average of 7.47 min. 53.85% of observed copulation lasted for 6-9 min. 【Conclusion】The results indicate that the mating behavior of *P. brevitarsis* adults has an obvious circadian rhythm, and that supplemental feeding has no significant effect on mating success.

Key words *Protaetia brevitarsis*; courtship; mating; nutrition supplement; circadian rhythm

昆虫的交配行为是选择配偶及繁殖后代必不可少的重要环节之一 (Miyatake, 1997; 匡先钺等, 2010b), 具有与自然界昼夜变化相一致的

周期性规律, 即昼夜节律。昼夜节律具有物种特异性, 昆虫随外界环境变化而进化出的可遗传的一种适应 (孙丽娟等, 2002; Allada and Chung,

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金地区项目 (31460474)

**第一作者 First author, E-mail: 1723664893@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: ww@yangtzeu.edu.cn

收稿日期 Received: 2021-11-10; 接受日期 Accepted: 2022-04-23

2010; 张坤胜等, 2012; Horn *et al.*, 2019)。昆虫的交配节律是开展昆虫生态学及生理学等研究的基础,也是进行害虫预测预报及防治的重要依据(魏玉红等, 2014)。根据成虫交配节律及性信息素释放节律可制定有效的性信息素诱杀防控方案(Nascimento *et al.*, 2016; 修春丽等, 2018; Kim *et al.*, 2019; 孙晓婷等, 2019)。

白星花金龟 *Protaetia brevitarsis* (Lewis) 属鞘翅目 Coleoptera 金龟科 Scarabaeidae 花金龟亚科 Cetoniinae, 分布于日本、朝鲜、俄罗斯远东地区、蒙古和我国绝大部分地区(章士美等, 1955; 郭文超等, 2004)。澳大利亚和美国已将其列为外来入侵物种(Park *et al.*, 1994; Kim *et al.*, 2008a, 2008b)。2001 年,在我国新疆维吾尔自治区昌吉市首次发现该虫,而后分布区迅速扩大,并对农作物和果树造成严重危害,给农业和林果业带来严重威胁(郭文超等, 2004; 何笙等, 2006; 许建军等, 2007)。白星花金龟成虫食性杂,不仅取食小麦、玉米及蔬菜等作物的嫩梢部分,也取食果树的花及果实,尤其喜食桃、李、苹果、葡萄和梨等果实,降低果实品质,影响果树产量,损失率可高达 50%以上(许建军等, 2009)。该虫主要以成虫为害,多钻入果实内部取食果肉,此取食方式导致化学农药的防治效果不理想(郑建新和邓世荣, 2010; 陈永峰, 2015; 杜晶等, 2018)。关于白星花金龟生物学特性的研究主要集中在年生活史(周洪亮等, 2016; 周智颖, 2020; 蔡欢欢等, 2021)、发育起点温度及有效积温(刘政等, 2012)、寄主转移规律(蔡欢欢, 2020)和对寄主植物挥发物的电生理和行为反应(王瑞迪, 2019; 吴学三等, 2021)等,但对白星花金龟交配行为的报道极少。白星花金龟成虫交配高峰期为 9:00 和 17:00 左右,交配持续的时间为 100-180 s(郝双红等, 2005)。但王萍莉等(2018)研究发现白星花金龟成虫交配高峰期为 8:00-16:00 和 20:00-00:00,交配持续时间为 95-295 s。本研究系统地观察了白星花金龟雄虫的交配行为和交配的昼夜节律及交配发生高峰期等主要生物学特性,分析了成虫的交配节律、日龄及补充营养对交配行为的影响。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

新羽化白星花金龟成虫由河北省沧州市农业科学院提供,在养虫笼(62.5 cm × 43 cm × 31 cm)内用苹果饲养。根据成虫外部形态(雌虫腹部有凹缝,雄虫没有)特征区分新羽化雌虫和雄虫(刘广瑞等, 1997),雌虫和雄成虫分开饲养。养虫室环境条件为:温度(23 ± 1)℃、相对湿度为 60% ± 5%、光照周期为 14L:10D,其中光期 06:00-20:00,暗期为 20:00-06:00,每 2 d 更换一次食物。

1.2 试验方法

1.2.1 雄成虫交配行为观察 随机选取 1-5、10-15、20-25、30-35 和 40-45 日龄的白星花金龟雌成虫和雄成虫各 10 只,用白色油漆标记雄虫鞘翅,用白色油漆标记雌虫腹部后,分别置于蚊帐(2.0 m×1.5 m×1.6 m)的对角位置,距离约 4 m。每隔 24 h 观察并记录雄成虫求偶、抱对、交尾、交尾次数及时长,实验重复 3 次。

1.2.2 成虫期补充营养对交配的影响 取 80 只刚羽化的白星花金龟成虫(雌:雄 = 1:1),随机配对后分别放置于一次性塑料杯(直径 7 cm、高 7 cm),将蒸馏水润湿的棉花球放入杯中,每天更换一次棉球。一半试虫不提供食物,作为未补充营养组;另一半提供食物,作为补充营养组。每天早上 8:00 开始观察白星花金龟成虫求偶、抱对、交尾、交尾持续时间及交配后保护时间,暗期借助包裹着红布的手电筒进行观察记录,直至未补充营养的成虫死亡。实验重复 3 次。

1.2.3 数据分析 试验所得数据统计分析均在 SPSS 26.0 软件中进行。成虫的求偶次数、交配次数和交配时长利用单因素方差分析(One-way ANOVA)和 Tukey-HSD 法进行差异显著性比较分析。

2 结果与分析

2.1 求偶行为

2.1.1 抱对前行为 实验开始后,雌虫和雄虫缓

慢地爬向高处, 逐渐爬向异性所在的方向。爬行时, 雌虫和雄虫的触角鳃瓣会分开并不停的摆动, 雌虫爬行时会伸出白色的外生殖器触碰蚊帐并会留下少量的透明粘液。当爬行到一定高度时, 雌虫和雄虫均会出现振翅动作, 并飞行一段距离, 一般是雄虫趋向雌虫。在雄虫逐渐接近雌虫但尚未接触时, 雄虫更快速的振动触角并迅速冲向雌虫。

2.1.2 相遇行为 当雌虫和雄虫相遇后, 会出现以下几种情况: 1) 雌虫雄虫继续各自沿着原先的方向爬行, 不发生交配行为; 2) 雄虫爬上雌虫背部, 但雌虫极力反抗, 用后足将雄虫从背上踢下; 3) 雄虫爬上雌虫背部, 雌虫不反抗, 雄虫用中足和后足抱紧雌虫, 前足轻轻拍打雌虫, 并伸出阳具插入雌虫腹部末端, 持续一段时间直至完成交配。

当 2 只雄虫相遇时, 有时会出现雄虫爬背抱对的行为, 背上的雄虫甚至会伸出外生殖器试图

进行交配。

2.1.3 求偶节律 白星花金龟成虫主要在白天活动, 光线变暗后活动逐渐减弱。白天大部分时间均存在求偶行为, 多集中于 11:00-14:00 时段内, 求偶率达 30%, 显著高于 14:00-17:00、17:00-20:00、20:00-23:00、23:00-2:00、2:00-5:00 和 5:00-8:00 这 6 个时段 ($P < 0.05$), 但与 8:00-11:00 时段间的差异不显著 ($P > 0.05$)。8:00-11:00、14:00-17:00 和 17:00-20:00 各时间段之间无显著差异 ($P > 0.05$), 求偶率分别为 22%、14% 和 12% (图 1: B)。

所有日龄雄虫 24 h 发生的求偶率为 26%。随着日龄增加, 雄成虫求偶率呈现先增加后降低的趋势 (图 1)。其中, 30-35 日龄的成虫求偶率为 53.33%, 显著高于其它日龄段 ($P < 0.05$); 10-15、20-25 和 40-45 日龄段的成虫求偶率分别为 20%、26.67% 和 30.00%, 1-5 日龄段未出现求偶行为 (图 1: A)。

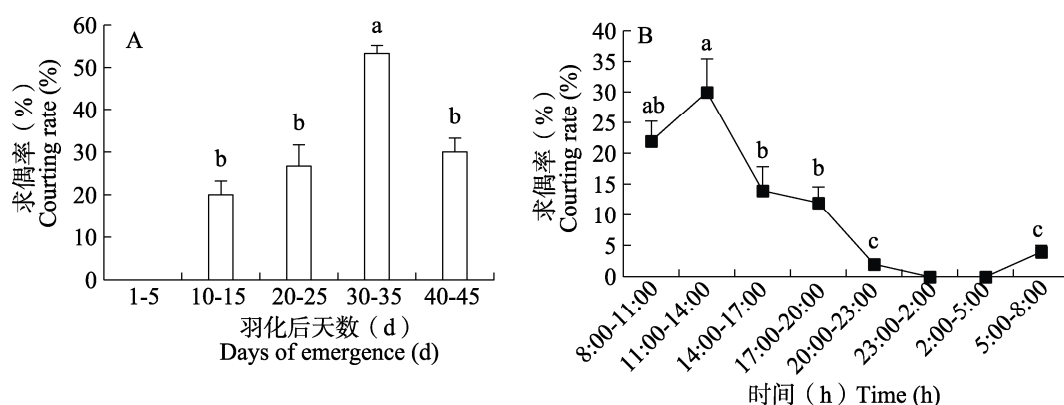


图 1 白星花金龟雄成虫求偶节律

Fig. 1 Courting rhythm of male adult of *Protactia brevitaris*

A. 不同日龄段雄成虫求偶率; B. 雄成虫日求偶节律。

A. Percentages of courtship of male adults at different ages; B. Courting circadian rhythm of male adults.

图中数据为平均值 $\pm$ 标准误, 柱上标有不同小写字母表示不同日龄或不同时间的求偶次数

在 0.05 水平上差异显著。图 2, 图 4, 图 5 同。

Data are mean $\pm$ SE, histograms with different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$) in courtship rate among different ages or time periods. The same as Fig. 2, Fig. 4 and Fig. 5.

2.2 交配行为

2.2.1 交配行为特征 白星花金龟的交配行为分为爬背、抱对、交配和交配后保护四个阶段。共观察到完整的交配行为 26 次, 有交配后保护行为 24 次。交配后保护时间较长, 平均时长为

54.61 min, 最长达 224 min。交配完成后, 雄虫从雌虫背部向前爬行离开。白星花金龟配后保护行为主要表现为雄虫用前足和中足紧紧抱住雌虫, 并用腹部挡住雌虫生殖器部位, 以阻止其它雄虫同雌虫交配。

当雄虫遇到正在交配的雌虫和雄虫时, 雄虫

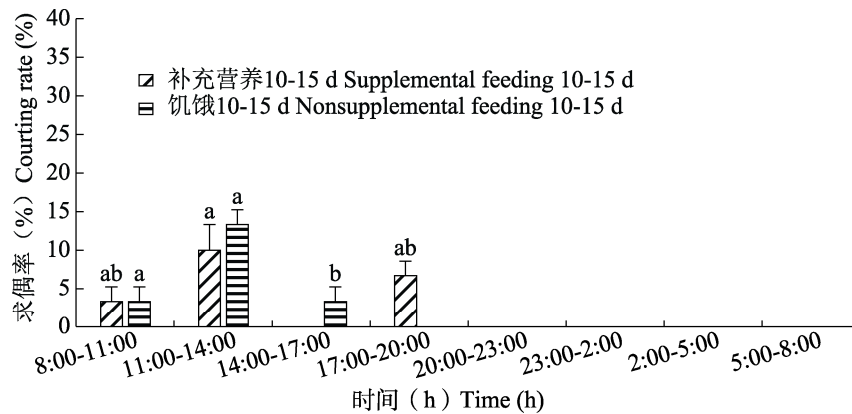


图2 补充营养对 10-15 日龄的白星花金龟成虫的求偶节律的影响

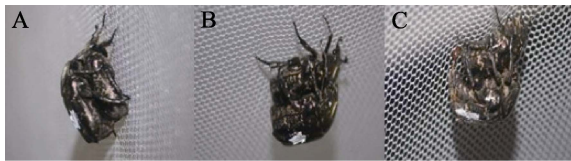
Fig. 2 Effects of supplemental feeding on courtship rate of the *Protactia brevitaris* adults aged 10-15 days

图3 白星花金龟求偶、交尾和配后保护

Fig. 3 Mating behavior of *Protactia brevitaris* adults

A. 求偶状 B. 交尾状; C. 配后保护。
A. Courting behavior; B. Copulating behavior;
C. Post-copulatory guarding.

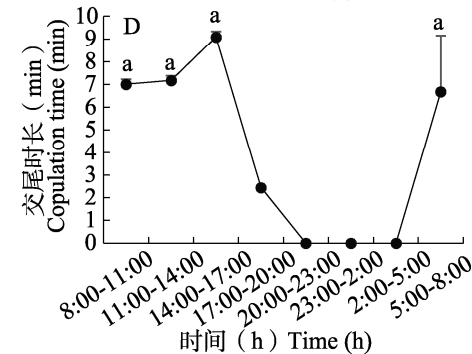
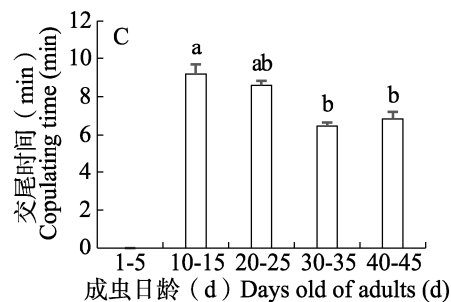
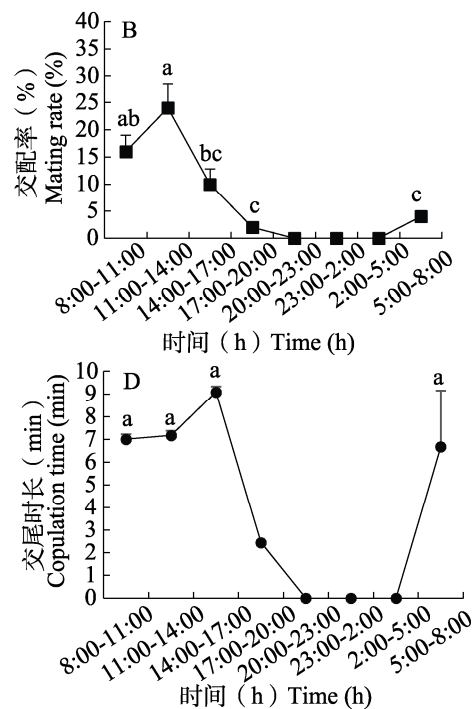
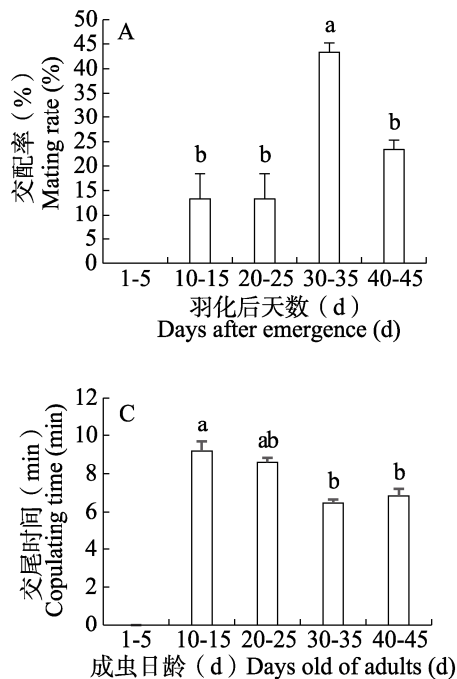


图4 白星花金龟交尾行为节律

Fig. 4 Copulation rhythm of *Protactia brevitaris* adults

A. 不同日龄段成虫的交尾行为节律; B. 交尾昼夜节律; C. 不同日龄段成虫的交尾持续时间; D. 昼夜交尾持续时间。

A. Copulation rhythm of adults at different ages; B. Circadian rhythm of copulation;
C. The duration of copulation in the adults at different ages; D. Circadian rhythm of the duration of copulation.

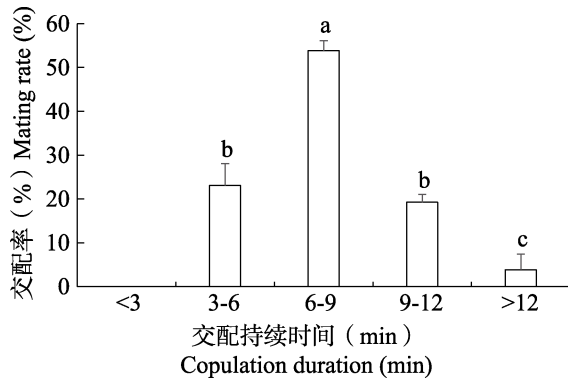


图5 白星花金龟交尾持续时间的发生百分率

Fig. 5 Percentages of different duration of copulation of *Protactia brevittarsis* adults

发生交配行为, 交配高峰出现在第 30-35 天, 交配平均率为 43.33%, 显著大于其它日龄段的交配次数 ($P < 0.05$)。交配行为主要发生在白天, 在 8:00-11:00, 只有少数个体交配, 交配率为 16.00%; 在 11:00-14:00, 交配活动达到高峰, 交配率为 24.00%; 14:00-17:00, 交配率为 10.00%; 暗期 (20:00-6:00) 基本不发生交配活动; 在 5:00-8:00, 会发生少数交配行为, 交配率仅为 4.00% (图 4: B)。

成虫交配持续时间在不同日龄段不同。在 10-15 日龄段, 成虫交配持续时间最长, 为 9.19 min; 显著高于 30-35 日龄段 (6.47 min) 和 40-45 日龄段 (6.84 min) 的交配持续时间, ($P < 0.05$); 20-25 日龄段的成虫交配持续时间为 8.60 min (图 4: C)。同一日龄的成虫交配持续时间在一日内的不同时间段之间无显著差异 ($P > 0.05$) (图 4: D)。

成虫交配持续时间最短的约 1 min, 最长的达 12 min, 平均为 7.47 min。其中以 6-9 min 最多, 占 53.85%, 显著高于其它交配持续时间的比率 ($P < 0.05$); 交配持续时间在 3-6 min 和 9-12 min 的成虫数量分别占 23.08% 和 19.23%, 两者之间差异不显著 ($P > 0.05$); 交配持续时间大于 12 min 的成虫数量仅有 3.85% (图 5)。

2.3 补充营养对求偶行为和交配行为的影响

补充营养和经饥饿处理的成虫求偶行为主要发生在 8:00-17:00, 进入夜间后成虫没有求偶行为 (图 2)。通过对处于 1-5 日龄和 10-15 日龄段的雌虫经补充营养和饥饿处理, 雌虫均没有求偶行为。而 10-15 日龄段的成虫经补充营养和饥饿处理均出现求偶行为, 求偶率分别为 10.00% 和 13.33%, 且在 11:00-14:00 达到求偶高峰 (图 2)。经饥饿处理的 10-15 日龄成虫在 11:00-14:00 求偶行为显著大于 8:00-11:00 和 14:00-17:00 的求偶行为 ($P < 0.05$); 取食的 10-15 日龄成虫在不同时间段的求偶行为则无显著差异 ($P > 0.05$)。

补充营养与经饥饿处理的 10-15 日龄成虫的交配次数和交配时间均无差异 ($P > 0.05$)。补充营养的成虫在 8:00-11:00 和 11:00-14:00 的交配时间存在显著差异 ($P < 0.05$)。补充营养的成虫在 8:00-11:00 和 11:00-14:00 的交配率分别为 3.30% 和 10.00%, 交配持续时间分别为 1.50 min 和 6.66 min; 而经饥饿处理的成虫仅在 11:00-14:00 有交配活动, 交配率和交配持续时间分别为 10.00% 和 7.06 min (图 6)。

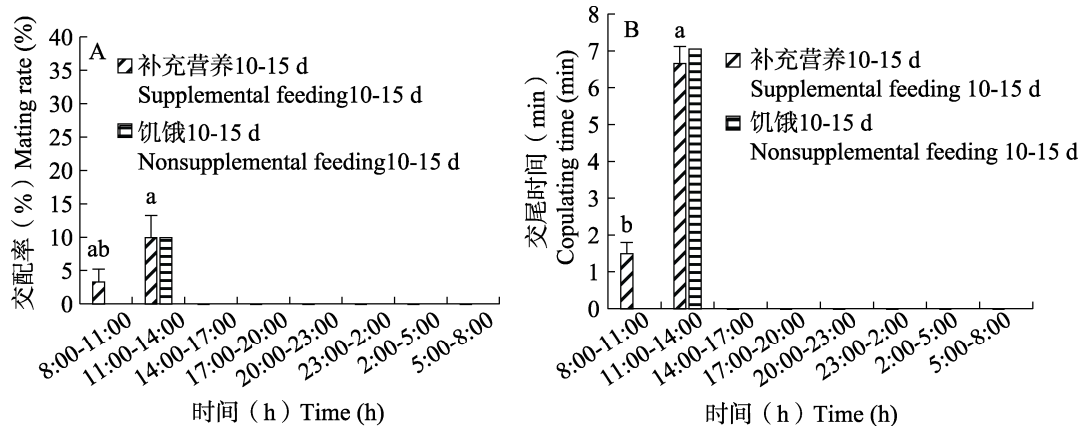


图6 补充营养对 10-15 d 白星花金龟成虫的交尾节律的影响

Fig. 6 Effects of supplemental feeding on mating rhythm of 10-day-old to 15-day-old *Protactia brevittarsis* adults

3 结论与讨论

昆虫的交配行为会随昼夜交替而表现出一定的节律性(Sakai and Ishida, 2001; Rymer *et al.*, 2007; 涂小云和陈元生, 2013; Bonduriansky and Russell, 2015)。本研究发现, 在 $(23\pm 1)^\circ\text{C}$ 、14L:10D 光周期环境中, 白星花金龟成虫交配高峰集中于 30-35 日龄段, 交配高峰发生在 11:00-14:00, 这与黄边食蚜花金龟 *Campsitura mirabilis* Faldermann、小青花金龟 *Oxycetonia jucunda* 及褐锈花金龟 *Poecilophilides rusticola* 相似, 均在白昼交配(张治良和吕文仲, 1987; 范永贵和郑方强, 1993); 与鳃金龟亚科金龟成虫如暗黑鳃金龟 *Holotrichia parallela* Motschulsky、东北大黑鳃金龟 *Holotrichia diomphalia* Bates、华北大黑鳃金龟 *Holotrichia oblita* Faldermann 和小黄鳃金龟 *Metabolus flavescens* (Brenske) 及丽金龟亚科铜绿丽金龟 *Anomala corpulenta* Motschulsky 均在夜晚交配及补充营养的行为不同(Leal *et al.*, 1993; 刘广瑞等, 1997; 罗宗秀, 2010; 王哲等, 2019), 说明不同亚科昆虫的交配节律存在差异, 可能是由于不同的生物学习性导致的。因此, 只有准确掌握各种农业害虫的交配节律, 才能针对其制定精准的防治措施。

补充营养是很多鞘翅目昆虫具有的习性。白星花金龟成虫羽化后就开始补充营养, 一般是在白天取食, 且在交配前 1 d 出现明显的取食行为, 说明补充营养对白星花金龟交配行为有重要作用(赵仁贵和陈日璽, 2008), 这种现象在多种昆虫也有发现。这一现象可能是因为昆虫(特别是雌虫)羽化后卵细胞处于未成熟状态、需要补充营养以促进其卵巢发育成熟(陈志辉等, 1980; Zalucki *et al.*, 1986; 江幸福等, 2000; 王竑晟等, 2004), 也可能是为成虫飞行寻找配偶提供能量物质(江幸福等, 2000)。白星花金龟补充营养和经饥饿处理的成虫均能交配, 推测补充营养可能是为其求偶行为提供能量, 以保证产卵量, 并延长寿命(Purohit *et al.*, 1975; Hogg and Gutierrez, 1980)。白星花金龟羽化后 30-35 日龄

出现交配高峰, 与中喙丽金龟 *Adoretus sinicus* Burmeister 出土后需补充营养后才进行交配相一致(方惠兰等, 1985, 1994), 与毛黄鳃金龟 *Holotrichia trichophora* Fairmairs、明亮长脚金龟 *Hoplia spectabilis* Medvedev 及大栗鳃金龟 *Melolontha hippocastan mongolica* 羽化后便开始交配不同(方惠兰等, 1994; 郭建蒲等, 2014; 周宇燊等, 2014)。白星花金龟 30-35 日龄成虫的求偶次数最多, 而 1-5 日龄段未出现求偶行为, 这可能是成虫经过一段时间补充营养后才会进行求偶活动, 且随着日龄的增长活力越强。白星花金龟的交配行为主要发生在 11:00-14:00 时间段, 交配持续时间最短为 3.17 min, 最长为 12.42 min, 主要集中在 6-9 min (53.85%), 这与前人(郝双红等, 2005; 王萍莉等, 2018)的研究差异较大, 可能的原因是昆虫的交配高峰及交配持续时间会受到不同时段、昆虫日龄、温度、湿度、体重及雄虫密度等多种因素影响(刘兴平等, 2010)。

白星花金龟成虫交配持续时间随日龄增大而降低, 10-15 日龄和 20-25 日龄交配持续时间显著大于 30-35 日和 40-45 日龄($P < 0.05$)。而 10-15 日龄与 20-25 日龄之间的交配持续时间无显著差异, 但 20-25 日龄相比 10-15 日龄的交配持续时间也有所减少, 这与大猿叶虫 *Colaphellus bowringi* Baly 和甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 交配持续时间随日龄增加而延长不同(罗礼智等, 2003; 匡先钜等, 2010a)。

王萍莉等(2018)将白星花金龟的交配行为分为相遇和交配 2 个阶段。实际上交配行为是一个非常复杂的过程, 它涉及到插入输精过程前后的多个阶段(杨洪等, 2007)。本研究将白星花金龟交配行为分为求偶、抱对、交配和配后保护 4 个阶段。这与许多昆虫的交配行为是一致的。如红棕象甲 *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliver) (纪田亮, 2018)、香樟齿喙象 *Pagiophloeus tsushimanus* (张丛丛等, 2017)、长足大竹象 *Cyrtotrachelus buqueti* Guerin-Meneville (杨桦等, 2015)、云斑天牛 *Batocera horsfieldi* (杨桦等, 2011)、异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas)

(申智慧等, 2011)、松褐天牛 *Monochamus alternatus* Hope (杨洪等, 2007)、寄生蜂 *Cephalonomia tarsalis* (Ashmead) (Cheng *et al.*, 2003)、双斑蟋 *Gryllus bimaculatus* (Sakaluk, 1991; Parker and Vahed, 2010)、蜻蜓 *Libellula pulchella* Drury (McMillan, 2000)、马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata* (Boiteau, 1988) 和日本丽金龟 *Popillia japonica* (Saeki *et al.*, 2005)。配后保护行为是性内竞争的重要指标 (Hanks, 1999; Simmons, 2001; 嵇保中等, 2002), 可以使雄虫产生的生殖配子和雌虫的生殖配子的结合机会变大 (胡阳等, 2009; 杨桦等, 2015)。

本研究只对白星花金龟交配行为过程进行了观察, 确定了白星花金龟交配高峰在羽化后 30-35 d, 主要是在 11:00-14:00 时间段进行。这些结果为开展及研究使用食诱剂和性信息素诱杀等防治技术提供了基础。今后尚需对交配经历对交配的影响、性信息素释放节律、活性成分鉴定及产卵行为进行探索研究, 开发白星花金龟的预测预报及防治技术。

参考文献 (References)

- Allada R, Chung BY, 2010. Circadian organization of behavior and physiology in *Drosophila*. *Annual Review of Physiology*, 72: 605–624.
- Boiteau G, 1988. Sperm utilization and post-copulatory female-guarding in the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 47(2): 183–187.
- Russell B, 2015. The evolution of insect mating systems. *Choice* (Chicago, Ill.), 69(5): 1358–1359.
- Cai HH, 2020. Movements among hosts and control technology of *Potosia brevitaris* Lewis. Master dissertation. Shihezi: Shihezi University. [蔡欢欢, 2020. 白星花金龟成虫的寄主转移规律和控制技术研究. 硕士学位论文. 石河子: 石河子大学.]
- Cai HH, HUXIDAN M, Wang ZY, Liu YQ, Wang SS, 2021. Occurrence regularity of *Potosia brevitaris* adults in Turpan and effect of the host on its reproduction. *Plant Protection*, 47(3): 237–241. [蔡欢欢, 胡西旦·买买提, 王忠跃, 刘永强, 王少山, 2021. 白星花金龟成虫在吐鲁番葡萄上的发生规律及寄主对其繁殖能力的影响. 植物保护, 47(3): 237–241.]
- Chen ZH, Chen EY, Yan FS, 1980. Effects of diets on the feeding and reproduction of *Coccinella septempunctata* L. *Acta Entomologica Sinica*, 23(2): 141–148. [陈志辉, 陈娥英, 严福顺, 1980. 食料对于七星瓢虫取食和生殖的影响. 昆虫学报, 23(2): 141–148.]
- Cheng LL, Howard RW, Campbell JF, Charlton RE, Nechols JR, Ramaswamy S, 2003. Behavioral interaction between males of *Cephalonomia tarsalis* (Ashmead) (Hymenoptera: Bethyridae) competing for females. *Journal of Insect Behavior*, 16(5): 625–645.
- Cheng YF, 2015. Control technology of *Protaetia brevitaris* Lewis in vineyard. *Agriculture of Jilin*, 2015(14): 89. [陈永峰, 2015. 葡萄园白星花金龟防治技术. 吉林农业, 2015(14): 89.]
- Du J, Zhang J, Hong W, 2018. Occurrence regularity and control measures of *Protaetia brevitaris* Lewis in vineyards of Kuitun reclamation area. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2018(2): 220–221. [杜晶, 张军, 洪伟, 2018. 奎屯垦区葡萄园白星花金龟发生规律与防治措施. 农业科技通讯, 2018(2): 220–221.]
- Fan YG, Zheng FQ, 1993. Reproductive systems and reproductive activities of three common species of mottle beetles. *Journal of Shandong Agricultural University*, 24(2): 211–246. [范永贵, 郑方强, 1993. 3 种常见花金龟生殖系统与生殖活动的研究. 山东农业大学学报, 24(2): 211–216.]
- Fang HL, Lan YY, Tong JY, 1985. Preliminary study of *Adoretus sinicus* Burmeister. *Forest Science and Technology*, 1985(2): 26–28. [方惠兰, 廉月琰, 童普元, 1985. 中喙丽金龟的初步研究. 林业科技通讯, 1985(2): 26–28.]
- Fang HL, Lan YY, Tong JY, 1994. A survey on the habits of three scarabs. *Scientia Silvae Sinicae*, 30(5): 478–480. [方惠兰, 童普元, 廉月琰, 1994. 三种金龟子生活习性的观察. 林业科学, 30(5): 478–480.]
- Guo JP, Nong XQ, Wang F, 2014. Observation of behavior of *Hoplia spectabilis* Medvedev in Tianjun county of China. *China Plant Protection*, 34(9): 44–47. [郭建蒲, 农向群, 王峰, 2014. 天峻县明亮长脚金龟生活习性及其行为观察. 中国植保导刊, 34(9): 44–47.]
- Guo WC, Xu JJ, He J, A KD, Zhai GR, Xu JS, 2004. The discovery of a new rest of fruit trees and crop in Xinjiang—*Protaetia brevitaris* Lewis. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 41(5): 322–323, 397. [郭文超, 许建军, 何江, 阿克旦, 翟国荣, 徐介寿, 2004. 新疆农作物和果树新害虫——白星花金龟. 新疆农业科学, 41(5): 322–323, 397.]
- Hanks LM, 1999. Influence of the larval host plant on reproductive strategies of cerambycid beetles. *Annual Review Entomology*, 44: 483–505.
- Hao HS, Li GZ, Zhang T, Zhang Q, Feng JT, Zhang X, 2005.

- Behavior of the scarab beetle, *Protaetia brevitarsis* and pheromone attraction effects. *Chinese Journal of Biological Control*, 21(2): 124–126. [郝双红, 李广泽, 张涛, 张强, 冯俊涛, 张兴, 2005. 白星花金龟行为学观察及其信息素的诱虫效果. 中国生物防治, 21(2): 124–126.]
- He S, Zhou ZR, Wu ZP, Wang ZY, Han XX, Ye XY, Zhao ZL, Wang Y, 2006. A study on the occurrence of *Protaetia brevitarsis* Lewis and its prevention & control technology. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 22(6): 314–316. [何笙, 周泽容, 吴赵平, 王朝阳, 韩先旭, 叶新宇, 赵珠莲, 王烨, 2006. 白星花金龟发生与防治技术研究初报. 中国农学通报, 22(6): 314–316.]
- Hogg DH, Gutierrez AP, 1980. A model of the flight phenology of the beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in central California. *Hilgardia*, 48(4): 1–36.
- Horn M, Mitesser O, Hovestadt T, Yoshii T, Rieger D, Helfrich-Forster C, 2019. The circadian clock improves fitness in the fruit fly, *Drosophila melanogaster*. *Frontiers in Physiology*, 10: 1374.
- Hu Y, Yang H, Li ZY, Fu Q, 2009. Mating strategies and benefits of multiple mated insects. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 47(1): 16–23. [胡阳, 杨洪, 李志宇, 傅强, 2009. 昆虫多次交配的策略和利益. 应用昆虫学报, 47(1): 16–23.]
- Kim BY, Kim HJ, Lee KS, Seo SJ, Jin BR, 2008a. Catalase from the white-spotted flower chafer, *Protaetia brevitarsis*: cDNA sequence, expression, and functional characterization. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 149(1): 183–190.
- Kim BY, Lee KS, Choo YM, Kim I, Hwang JS, Sohn HD, Jin BR, 2008b. Molecular cloning and characterization of a transferrin cDNA from the white-spotted flower chafer, *Protaetia brevitarsis*. *DNA Sequence*, 19(2): 146–150.
- Kim KN, Huang QY, Lei CL, 2019. Advances in insect phototaxis and application to pest management: A review. *Pest Management Science*, 75(12): 3135–3143.
- Ji TL, 2018. The mating behavior of *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliver). Master dissertation. Fuzhou: Fujia Agriculture and Forestry University. [纪田亮, 2018. 红棕象甲的交配行为研究. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- Jiang XF, Luo LZ, Hu Y, 2000. The effect of comoensatory nutrition condition on flight ability of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner). *Journal of Plant Protection*, 27(4): 327–332. [江幸福, 罗礼智, 胡毅, 2000. 成虫期营养对甜菜夜蛾生殖和飞行的影响. 植物保护学报, 27(4): 327–332.]
- Kang XJ, Liu XP, Xu J, Xiao HJ, Xue FS, 2010a. Mating behavior of *Colaphellus bowringi*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(4): 740–743. [匡先钜, 刘兴平, 徐婧, 肖海军, 薛芳森, 2010a. 大猿叶虫交配行为的观察. 昆虫知识, 47(4): 740–743.]
- Kang XJ, Xu J, Sun XH, Huang F, Xue FS, 2010b. Effect of temperature on mating behavior of the *Colaphellus bowringi* Baly. *Journal of Environmental Entomology*, 32(3): 307–311. [匡先钜, 徐婧, 孙兴华, 黄芳, 薛芳森, 2010b. 温度对大猿叶虫 *Colaphellus bowringi* Baly 交配行为的影响. 环境昆虫学报, 32(3): 307–311.]
- Ji BZ, Wei Y, Huang ZY, 2002. Present situations and prospects of researches on adult's behavior of longicorn beetles. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 26(2): 79–83. [嵇保中, 魏勇, 黄振裕, 2002. 天牛成虫行为研究的现状与展望. 南京林业大学学报(自然科学版), 26(2): 79–83.]
- Leal WS, Sawada M, Matsuyama S, Kuwahara Y, Hasegawa M, 1993. Unusual periodicity of sex pheromone production in the large black chafer *Holotrichia parallela*. *Journal of Chemical Ecology*, 19(7): 1381–1391.
- Liu Z, Wang SS, Sun Y, Li GY, 2012. Studies on threshold temperature and effective accumulated temperature of *Potosia brevitarsis*. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 21(3): 198–201. [刘政, 王少山, 孙艳, 李国英, 2012. 白星花金龟发育起点温度和有效积温的研究. 西北农业学报, 21(3): 198–201.]
- Liu GR, Zhang YW, Wang R, 1997. Colored Illustration of Common Chinese Scarab Beetles in North China. Beijing: China Forestry Press. 117. [刘广瑞, 章有为, 王瑞, 1997. 中国北方常见金龟子彩色图鉴. 北京: 中国林业出版社. 117.]
- Liu XP, He HM, Kang XJ, Xue FS, 2010. Factors influencing mating duration in cabbage beetle, *Colaphellus bowringi* Baly (Coleoptera: Cerambycidae). *Acta Entomologica Sinica*, 53(5): 549–554. [刘兴平, 何海敏, 匡先钜, 薛芳森, 2010. 影响大猿叶虫交配持续时间的因素. 昆虫学报, 53(5): 549–554.]
- Luo LZ, Cao WJ, Qian K, Hu Y, 2003. Mating behavior and capacity of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 46(4): 494–499. [罗礼智, 曹卫菊, 钱坤, 胡毅, 2003. 甜菜夜蛾交配行为和能力. 昆虫学报, 46(4): 494–499.]
- Luo ZX, 2010. Investigation of scarab beetle and study on identification and application of sex pheromone of dominant species. Master dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [罗宗秀, 2010. 金龟甲调查及其优势种性信息素鉴定与应用研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]
- McMillan VE, 2000. Postcopulatory behavior in *Libellula pulchella* Drury (Odonata: Libellulidae) and female tactics for avoiding

- male interference with oviposition. *Journal of Insect Behavior*, 13(4): 573–583.
- Miyatake T, 1997. Correlated responses to selection for developmental period in *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae): Time of mating and daily activity rhythms. *Behavior Genetics*, 27(5): 489–498.
- Nascimento ES, Ambrogi BG, Pinto-Zevallos DM, Sousa-Souto L, 2016. Age-dependent pattern of calling behavior in *Atheloca subrufella* (Hulst)(Lepidoptera: Phycitidae). *Journal of Insect Behavior*, 29(2): 190–198.
- Park HY, Park SS, Oh HW, 1994. General characteristics of the white-spotted flower chafer, *Protaetia brevitarsis* reared in the laboratory. *Korean Journal of Entomology*, 24(1): 1–5.
- Parker DJ, Vahed K, 2010. The intensity of pre- and post-copulatory mate guarding in relation to spermatophore transfer in the cricket *Gryllus bimaculatus*. *Journal of Ethology*, 28(2): 245–249.
- Purohit ML, Khatri AK, Agrwal RK, 1975. Effect of nutrition on fecundity, longevity and egg viability of *Laphygma exigua*. *Indian J. Ent.*, 37: 7–10.
- Rymer J, 2007. Circadian rhythms in the mating behavior of the cockroach, *Leucophaea maderae*. *Journal of Biological Rhythms*, 22(1): 43–57.
- Saeki Y, Kruse KC, Switzer PV, 2005. The social environment affects mate guarding behavior in Japanese beetles, *Popillia japonica*. *Journal of Insect Science*, 5(18): 1–6.
- Sakai T, Ishida N, 2001. Circadian rhythms of female mating activity governed by clock genes in *Drosophila*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(16): 9221–9225.
- Sakaluk SK, 1991. Post-copulatory mate guarding in decorated crickets. *Animal Behaviour*, 41(2): 207–216.
- Shen ZH, Yang H, Yuan H, Zhang F, 2011. An investigation in mating behavior and post-copulatory guarding behavior of *Harmonia axyridis* Pallas. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 30(1): 27–31. [申智慧, 杨洪, 袁瑞, 张帆, 2011. 异色瓢虫的交配及配后的保护行为研究. 山地农业生物学报, 30(1): 27–31.]
- Simmons LW, 2001. *Sperm Competition and its Evolutionary Consequences in the Insects*. New Jersey: Princeton University Press. 144–186.
- Sun LJ, Dai HG, Yi WX, Lu YQ, 2002. The adult emergence rhythm and mating rhythm of rice host population and water-oats host population of the rice stem borer, *Chilo suppressalis*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 39(6): 421–423. [孙丽娟, 戴华国, 衣维贤, 陆永钦, 2002. 二化螟水稻类群与茭白类群成虫羽化节律和交配节律研究. 应用昆虫学报, 39(6): 421–423.]
- Sun XT, Xu RB, Ge SS, Fu XW, Zhao XC, Wu KM, 2019. Effects of photoperiod on the eclosion, reproduction and flight performance of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Environmental Entomology*, 41(5): 1045–1056. [孙晓婷, 徐瑞斌, 葛世帅, 付晓伟, 赵新成, 吴孔明, 2019. 光周期对棉铃虫羽化、生殖和飞行的影响. 环境昆虫学报, 41(5): 1045–1056.]
- Tu XY, Chen YS, 2013. Circadian behavior rhythms in moths. *Biological Disaster Science*, 36(1): 18–21. [涂小云, 陈元生, 2013. 蛾类昆虫行为节律. 生物灾害科学, 36(1): 18–21.]
- Wang HS, Xu HH, Cui F, 2004. Effects of adult foods on fecundity and development of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner). *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 17(1): 34–37. [王斌晟, 徐洪富, 崔峰, 2004. 成虫期营养对甜菜夜蛾生殖力及卵巢发育的影响. 西南农业学报, 17(1): 34–37.]
- Wang PL, Li XW, Gao P, Wen JB, 2018. The emergence and mating behavior of *Protaetia brevitarsis* Lewis. *Plant Protection*, 44(1): 174–178. [王萍莉, 李小万, 高朋, 温俊宝, 2018. 白星花金龟的羽化及交配行为. 植物保护, 44(1): 174–178.]
- Wang RD, 2019. Behavioral responses of *Potosia brevitarsis* Lewis to different volatiles. Master dissertation. Shihezi: Shihezi University. [王瑞笛, 2019. 白星花金龟对不同挥发物的行为反应. 硕士学位论文. 石河子: 石河子大学.]
- Wang Z, Zhong T, Zhao TH, Xu GQ, 2019. Research progress of an important underground insect pest *Holotrichia diomphalia*. *Journal of Environmental Entomology*, 41(5): 1023–1030. [王哲, 钟涛, 赵彤华, 许国庆, 2019. 重要地下害虫东北大黑鳃金龟研究进展. 环境昆虫学报, 41(5): 1023–1030.]
- Wei YH, Luo JC, Liu YY, Zhou ZX, Zhang DW, 2014. Circadian rhythm of adult eclosion, oviposition and hatching in the codling moth, *Cydia pomonella*. *Plant Protection*, 40(3): 143–146. [魏玉红, 罗进仓, 刘月英, 周昭旭, 张大为, 2014. 苹果蠹蛾羽化产卵及卵孵化的昼夜节律. 植物保护, 40(3): 143–146.]
- Wu XS, Guo F, Tian H, Jiang L, Yang YT, Chen WL, 2021. Orientation behavior of *Protaetia brevitarsis* to nine plants. *Plant Protection*, 47(6): 141–147. [吴学三, 郭峰, 田翔, 姜霖, 杨玉婷, 陈文龙, 2021. 白星花金龟对9种植物的趋避行为. 植物保护, 47(6): 141–147.]
- Xiu CL, Li AL, Lu W, Liu Z, Lu YH, 2018. The effectiveness of using food attractant to lure cotton bollworm moths intotrap under field conditions. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(1): 44–48. [修春丽, 栗爱丽, 路伟, 刘政, 陆宴辉, 2018. 棉铃虫食诱剂的田间诱捕效果. 应用昆虫学报, 55(1): 44–48.]
- Xu JJ, Liu ZJ, Guo WC, AHMETI T, Tursun, He J, 2007. A preliminary study on damage, spread and control technique of

- Protaetia brevitarsis* in Xinjiang. The 2007 Annual China Society of Plant Protection Academic Conferences. Guilin. [许建军, 刘忠军, 郭文超, 吐尔逊·阿合买提, 何江, 2007. 白星花金龟在新疆为害、扩散趋势及其防治技术初探. 中国植物保护学会 2007 年学术年会. 桂林.]
- Xu JJ, Yuan Z, Liu ZJ, Liu H, Guo WC, AHMETI Tuersun, He J, 2009. A study on host, distribution and occurrence pattern of *Protaetia brevitarsis* Lewis in Xinjiang. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 46(5): 1042–1046. [许建军, 袁洲, 刘忠军, 刘红, 郭文超, 吐尔逊·阿合买提, 何江, 2009. 白星花金龟在新疆农田生态区的寄主、分布及其发生规律. 新疆农业科学, 46(5): 1042–1046.]
- Yang H, Wang JJ, Zhao ZM, Yang DM, Tang ZQ, 2007. Mating behavior of *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae). *Acta Entomologica Sinica*, 50(8): 807–812. [杨洪, 王进军, 赵志模, 杨德敏, 唐志强, 2007. 松褐天牛的交配行为. 昆虫学报, 50(8): 807–812.]
- Yang H, Yang W, Yang CP, Cai Y, Pu YF, Fu YW, He ZR, 2015. Mating behavior of *Cyrtotrachelus buqueti* (Coleoptera: Curculionidae). *Acta Entomologica Sinica*, 58(1): 60–67. [杨桦, 杨伟, 杨春平, 蔡艳, 蒲远凤, 付焱文, 何芝然, 2015. 长足大竹象交配行为. 昆虫学报, 58(1): 60–67.]
- Yang H, Yang W, Yang MF, Yang CP, Pan WQ, Feng B, 2011. Mating and oviposition behavior of *Batocera horsfieldi*. *Scientia Silvae Sinicae*, 47(6): 88–92. [杨桦, 杨伟, 杨茂发, 杨春平, 潘武全, 冯波, 2011. 云斑天牛的交配产卵行为. 林业科学, 47(6): 88–92.]
- Zalucki MP, Daglish G, Firempong S, Pwene P, 1986. The biology and ecology of *Heliothis armigera* (Hubner) and *Heliothis punctigera* Wallengren (Lepidoptera, Noctuidae) in Australia - what do we know. *Australian Journal of Zoology*, 34(6): 779–814.
- Zhang CC, Wang M, Su P, Fan BQ, Wang Y, Hao DJ, 2017. Mating and oviposition behaviors of *Pagiophloeus tsushimanus* (Coleoptera: Curculionidae). *Acta Entomologica Sinica*, 60(10): 1208–1215. [张丛丛, 王蒙, 苏鹏, 樊斌琦, 王焱, 郝德君, 2017. 香樟齿喙象的交配和产卵行为. 昆虫学报, 60(10): 1208–1215.]
- Zhang CS, Yang W, Zhuo ZH, Deng ZB, Yang CP, Yang H, Zhou JH, Xiao YB, Jia YZ, 2012. Reproduction behavior and circadian rhythm of sex pheromone production and release in *Parocneria orientalis* (Lepidoptera: Lymantriidae). *Acta Entomologica Sinica*, 55(1): 46–54. [张坤胜, 杨伟, 卓志航, 邓忠彬, 杨春平, 杨桦, 周建华, 肖银波, 贾玉珍, 2012. 蜀柏毒蛾生殖行为及性信息素产生与释放节律. 昆虫学报, 55(1): 46–54.]
- Zhang ZL, Lv WZ, 1987. A study of *Campsiura mirabilis*. *Natural Enemies of Insects*, 9(2): 82–83. [张治良, 吕文仲, 1987. 黄边食蚜花金龟研究简报. 昆虫天敌, 9(2): 82–83.]
- Zhang SM, Wang G, Ouyang L, Ding DM, 1955. A study of *Adoretus tenuimaculatus* and *Protaetia brevitarsis*. *Acta Entomologica Sinica*, 5(2): 199–210. [章士美, 汪广, 欧阳凉, 丁道模, 1955. 茶色金龟子和铜色白纹金龟子的初步研究. 昆虫学报, 5(2): 199–210.]
- Zhao RG, Chen RZ, 2008. Observation on the living habits of *Protaetia brevitarsis*. *China Plant Protection*, 28(6): 19–20. [赵仁贵, 陈日翌, 2008. 白星花金龟生活习性观察. 中国植保导刊, 28(6): 19–20.]
- Zheng JX, Deng SR, 2010. Integrated control technology of *Protaetia brevitarsis* Lewis. *Rural Science & Technology*, 2010(4): 23–24. [郑建新, 邓世荣, 2010. 白星花金龟综合防治技术. 农村科技, 2010(4): 23–24.]
- Zhou HL, Mou FS, Chen L, 2016. Occurrence and control of maize *Protaetia brevitarsis* Lewis. *Agriculture of Jilin*, 2016(15): 93. [周洪亮, 牟丰盛, 陈磊, 2016. 玉米白星花金龟的发生与防治. 吉林农业, 2016(15): 93.]
- Zhou YJ, Pu DQ, Zhou ZJ, Zhu TH, Han KH, 2014. Study on mating and reproduction of adult *Melolontha hippocastani mongolica* Menetries. *Sichuan Journal of Zoology*, 33(1): 81–85. [周宇燭, 蒲德强, 周祖基, 朱天辉, 韩开华, 2014. 大栗鳃金龟蒙古亚种成虫交配与生殖习性研究. 四川动物, 33(1): 81–85.]
- Zhou ZY, 2020. Study on the occurrence regularity and bait technique of *Potosia brevitasis* in vineyard. Master dissertation. Yangling: Northwest A&F University. [周智颖, 2020. 葡萄园白星花金龟发生规律与诱杀技术研究. 硕士学位论文. 杨陵: 西北农林科技大学.]