

白星花金龟的羽化及交配行为

王萍莉^{1,2}, 李小万², 高朋¹, 温俊宝^{1*}

(1. 北京林业大学林学院, 北京 100083; 2. 新疆农业职业技术学院, 昌吉 831100)

摘要 为了探明白星花金龟 *Protaetia brevitarsis* Lewis 的羽化节律和羽化进程、交配行为及交配节律, 在室内恒定条件下(光照周期为 L/D=14 h//10 h, 温度为(25±2)℃, 相对湿度为 75%~80%), 对白星花金龟的羽化及交配行为进行了观察, 结果表明: 1) 羽化在白天和晚上均可发生, 雌雄羽化节律均表现出驼峰型, 雌虫羽化最高峰出现在 04:00—06:00, 雄虫的羽化最高峰出现在 16:00—18:00; 2) 羽化进程为 33 d, 羽化高峰期开始羽化后的 15~33 d, 羽化数占总数的 76.77%, 雌虫较雄虫羽化早; 3) 交配行为分为相遇和交配。相遇包括相互避让、相互攻击、爬背、抱对、交配等; 交配包括爬背、抱对和交配, 部分具有配后保护行为; 4) 72 h 内交配不止一次的占 30%, 交配持续时间最短的为 95 s, 最长的 295 s, 平均(182±28) s; 5) 24 h 内抱对出现了两个高峰: 18:00—20:00 和 20:00—22:00, 抱对率分别为 92.5% 和 90%, 且差异不显著($P>0.05$), 但是和其他时间段具有显著性差异($P<0.05$); 6) 24 h 内有两个交配高峰, 分别为 12:00—14:00 和 20:00—22:00, 交配率分别为 35% 和 40%, 且和其他时间段呈显著差异($P<0.05$)。白星花金龟在 00:00—08:00 和 16:00—20:00 时间段未发生交配现象。

关键词 白星花金龟; 羽化节律; 交配节律; 交配行为

中图分类号: S 433.5 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2017226

The emergence and mating behavior of *Protaetia brevitarsis* Lewis

WANG Pingli^{1,2}, LI Xiaowan², GAO Peng¹, WEN Junbao¹

(1. College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Xinjiang Agricultural Vocational and Technical College, Changji 831100, China)

Abstract In order to ascertain emergence rhythm and emergence process, mating behavior and mating rhythm of *Protaetia brevitarsis* Lewis, the emergence and mating behavior of this beetle were investigated under constant conditions (25°C±2°C, RH 75%—80%, L/D=14 h//10 h). The results showed that the beetle could emerge in the daytime and at night. The emergence rhythm showed the hump pattern, with the female's emergence peak at 04:00—06:00 am and the male's emergence peak at 16:00—18:00 pm. The emergence lasted for 33 days, and the peak appeared from the fifteenth to thirty-third day after the beginning. The number of emerged adults at peak time accounted for 76.77% of the total. The female emerged earlier than the male. The mating behavior is divided into meeting and mating. Meeting included the avoidance, fighting, climbing on female's back, mounting, mating, etc., Mating included climbing on female's back, mounting, mating, post-copulatory guarding behavior observed in some beetles. Mating frequency more than once within 72 h accounted for 30% of the total. The shortest mating duration was 95 seconds, the longest was 295 seconds, and the average was 182±28 seconds. There were two mounting peaks within 24 hours, with the mounting rate of 92.5% and 90% at 18:00—20:00 pm and 20:00—22:00 pm, which was not significantly different ($P>0.05$), but significantly different from the mounting rate at other time ($P<0.05$). There were two mating peaks within 24 hours, with the mating rate of 35% and 40% at 12:00—14:00 pm and 20:00—22:00 pm, respectively, significantly different from the mating rate at other time ($P<0.05$). Mating didn't occur between 00:00—08:00 am and 16:00—20:00 pm.

Key words *Protaetia brevitarsis*; emergence rhythm; mating rhythm; mating behavior

白星花金龟 *Protaetia brevitarsis* Lewis 属鞘翅目 Coleoptera, 花金龟亚科 Cetoniidae, 星花金龟属

收稿日期: 2017-06-15

修订日期: 2017-08-11

基金项目: 国家自然科学基金(31060115); 新疆农业职业技术学院院长基金(XJNZYKJ2015016)

* 通信作者 E-mail: wenjb@bjfu.edu.cn

Protaetia, 分布于东北、华北、华中、华东、西北等地区^[1]。该虫 2001 年首次传入新疆昌吉, 之后迅速蔓延, 且危害严重^[1-3]。白星花金龟食性杂, 为害玉米、小麦、蔬菜、果树等作物, 取食花器、果实及穗部, 尤其喜食桃、李、苹果、葡萄、梨等果树, 造成葡萄、桃、李等的商品性大大降低, 为害严重的地块损失率高达 50% 以上^[4], 对农业和林果业造成了严重威胁。

交配行为是昆虫选择最佳配偶以及繁殖后代必不可少的重要环节之一^[5]。交配行为的研究可为昆虫的繁殖行为以及昆虫进化、性别选择和精子竞争甚至近缘种交配机制提供合理的解释^[6]。受光周期和温度等因素的影响, 昆虫的羽化通常表现出一定的节律, 羽化节律同交配和繁殖有着一定的联系, 因此, 了解昆虫的羽化和交配节律是应用性信息素监测和防治害虫的基础, 有利于提高性诱剂的田间防治效果^[7-8]。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

白星花金龟幼虫 2016 年 4 月采集于昌吉市六工镇东五工村混合堆粪(牛粪和羊粪), 在室内温度(25±2)℃, 相对湿度 75%~80%, 光周期 L//D=14 h//10 h 的条件下饲养至化蛹。

1.2 羽化行为观察

收集同日化的蛹, 每 99 头放置于透明的塑料养虫盒(高 24 cm, 直径 14 cm)内, 以混合堆粪(牛粪和羊粪)和细土的混合物将蛹完全覆盖, 放置于温度(25±2)℃, RH 75%~80%, L//D=14 h//10 h 的人工气候箱内, 重复 3 次。每日将其轻轻倒出进行观察, 待发现有白星花金龟羽化后每 4 h 观察一次, 记录羽化时间、性别及数量。羽化盛期每 2 h 记录一次羽化的雌雄成虫数, 连续记录 4 d, 制作羽化节律图。

1.3 交配行为观察

将同期羽化的白星花金龟成虫 5 雌 5 雄放入观察盒(高 11 cm, 下口径 8 cm, 上口径 5 cm), 重复 6 次, 以成熟的哈密瓜饲喂, 每天更换一次食物, 清理虫粪, 更换观察盒。在观察盒前安装摄像机, 将镜头调整至最佳观察点, 当发现白星花金龟开始爬背、抱对或雄虫阳具插入雌虫生殖器开始计时, 持续观察 24 h。

1.4 交配节律观察

取同日羽化的白星花金龟处女雌雄成虫共 20 对放入观察盒, 以成熟的哈密瓜饲喂, 每天更换一次食物, 清理虫粪, 更换观察盒, 相同日龄的设 3 次重复, 昼夜观察 72 h, 每 2 h 记录一次白星花金龟抱对数、交配对数、交配次数、交配持续时间, 计算抱对率和交配率。

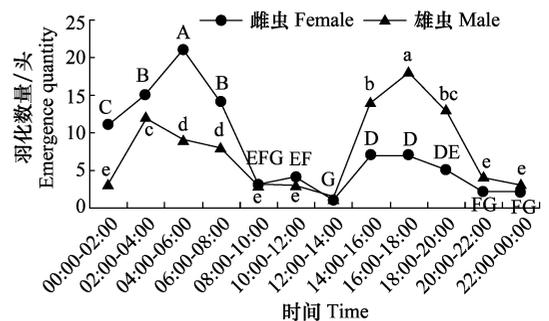
1.5 数据处理

使用单因素方差分析(One-Way ANOVA)对数据进行分析, 并结合最小显著性差异法(LSD), 分析交配节律, 数据分析采用 SPSS 17.0。

2 结果与分析

2.1 白星花金龟羽化节律

由图 1 可知: 白星花金龟雌、雄成虫白天和晚上均可发生羽化, 雌、雄虫羽化节律均表现为驼峰型, 雌虫羽化最高峰出现在 4:00—6:00, 第二高峰出现在 14:00—16:00, 且和其他时间段呈显著差异($P < 0.05$); 雄虫的羽化最高峰出现在 16:00—18:00, 第二高峰出现在 2:00—4:00, 和其他的时间段呈显著差异($P < 0.05$)。14:00—22:00 之间雄虫的羽化数明显高于雌虫, 00:00—08:00 之间雌虫羽化数量明显大于雄虫。



不同大写字母和小写字母分别代表雌虫和雄虫不同时间羽化数量在 0.05 水平差异显著。下同

Different capital and small letters indicate significant difference in eclosion number of female and male at 0.05 levels, respectively. The same below

图 1 白星花金龟的羽化节律

Fig. 1 Emergence rhythm of *Protactia brevitarsis*

2.2 白星花金龟羽化动态

白星花金龟自 5 月下旬开始羽化, 羽化后第 3 天达到性成熟。从图 2 可见, 大多数羽化发生在开始羽化后 15 d 至 33 d, 羽化数占总数的 76.77%。在第 19 天之前, 雌虫羽化数量远远大于雄虫, 从第 20 天开始, 雄虫羽化数量逐渐增多, 雌雄日羽化数量基本一致。成虫羽化期持续时间较长, 约 33 d。

羽化进度并非昆虫常见的单峰型,说明白星花金龟世代发育不整齐。白星花金龟雌虫比雄虫早羽化

2 d。雌虫的较早羽化可能与其等待性成熟和产卵有关。

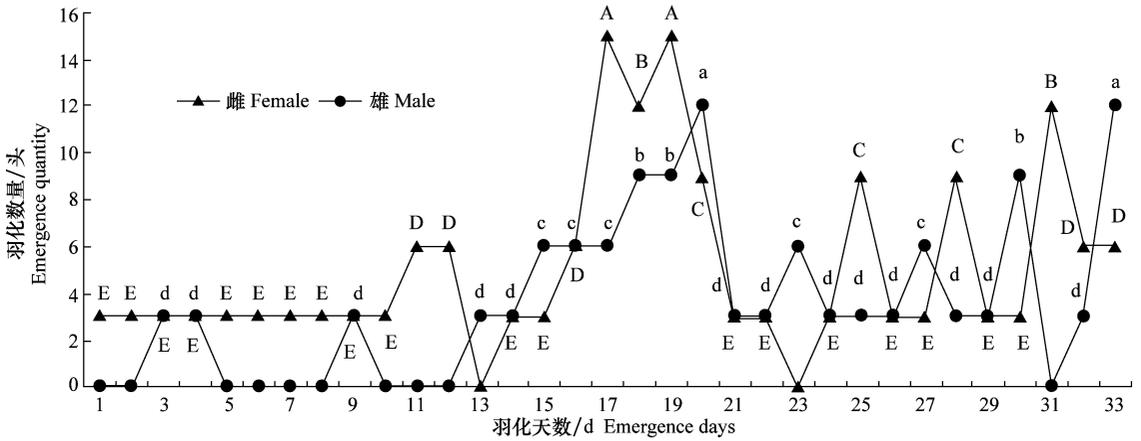


图 2 白星花金龟成虫羽化动态

Fig. 2 Emergence dynamics of *Protactia brevitarsis* adult

2.3 白星花金龟相遇行为

当雌雄虫相遇后,有几种情况:1)雌雄相互避让,不交配,各自贴着养虫盒壁相互背对着转圈爬行;2)雄虫爬向雌虫背部,雌虫用力反抗;3)雄虫爬向雌虫背部,雌虫不反抗,雄虫伸出阳具插入雌虫尾部,调整身体姿势到合适的位置时,完成交配。

雌虫遇到雌雄抱对或者多头雄虫争夺一头雌虫时,该雌虫一般会选择避让,用后足拨弄食物或者静卧,且保持这个状态较长时间。

当雄虫遇到雌雄虫抱对,它会迅速爬向抱对的雌雄成虫,用前足攻击正抱对的雄虫。

雌雌相遇后,未见任何抱对和交配行为发生。

当雄虫和雌虫在养虫盒中遇到时,有相互避让,偶尔也有雄虫相互爬背和抱对的行为,但均未发生交配。

2.4 白星花金龟的交配行为

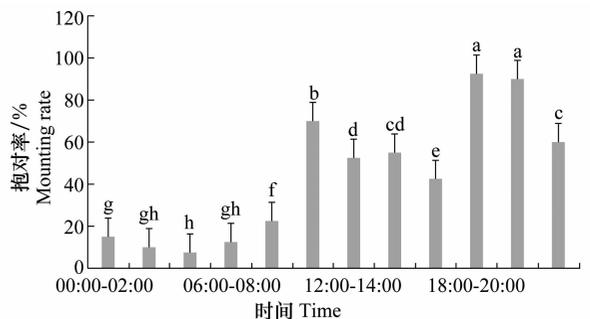
白星花金龟的交配行为分为爬背、抱对、交配 3 个连续过程,部分还有配后保护行为。交配持续时间最短的为 95 s,最长为 295 s,平均(182±28) s。雌雄成虫相遇后,雌虫若不反抗,雄虫则会迅速完成爬背,将生殖器插入到雌虫体内,完成交配。观察中发现,交配过程中若遇外界声音或强光干扰,雄虫会立即抽出阳具,停止交配。

交配结束后,雄虫缩回阳具,离开雌虫,静卧在某地长时间不动。雌虫大多数非常兴奋,表现为爬行、飞翔,或腹部朝上静躺多时。有部分雌雄交配结束后,依然保持抱对的姿势行走或静止,偶尔还出现

雄虫用后足拍打雌虫尾部的现象,这一行为被称为配后保护行为(post-copulatory guarding behavior),这种配后保护行为会持续数小时,即使从高处摔落,依然保持抱对姿势。

2.5 白星花金龟日交配节律

由图 3 可见,白星花金龟成虫在 24 h 内均有抱对现象,18:00—20:00 和 20:00—22:00 抱对率最高,达 92.5%和 90%,且两时间段差异不显著($P > 0.05$),但和 10:00—12:00 之间的抱对率(70%)呈显著差异($P < 0.05$),00:00—10:00 之间抱对率普遍较低,且和其他时间段呈显著性差异($P < 0.05$)。观察雌雄抱对时还发现,18:00 之后,未抱对的白星花金龟表现得异常活跃。



数据上方标有不同字母表示在0.05水平上差异显著(最小显著性差异法LSD检验)。下同
Data with different letters indicate significant difference at 0.05 level by least significant difference method of LSD test. The same below

图 3 白星花金龟 24 h 抱对节律

Fig. 3 Mounting rhythm of *Protactia brevitarsis* adults within 24 hours

由图 4 可见,白星花金龟在 24 h 之内有两次交配高峰,分别为 12:00—14:00 和 20:00—22:00,交配率分别为 35%和 40%,且两时间段之间存在显著差异($P < 0.05$),并与其他时间段也呈显著性差异($P < 0.05$),在 00:00—08:00 和 16:00—20:00 之间未见交配。

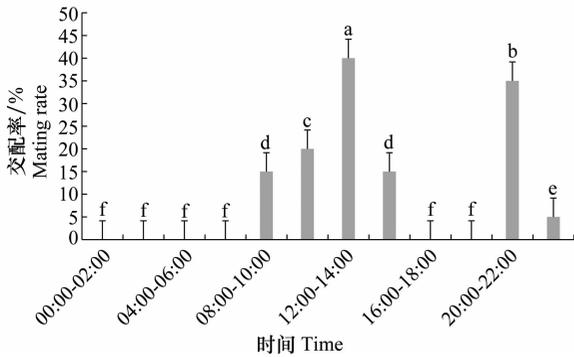


图 4 白星花金龟 24 h 交配节律

Fig. 4 Mating rhythm of *Protactia brevitarsis* adults within 24 hours

3 结论与讨论

自然条件下昆虫羽化的节律周期约为 24 h,但是不同的昆虫羽化节律可能存在差异。且羽化可能受羽化激素、蜕皮触发激素和甲壳纲心肌活性肽等一系列激素和光照、温度等外界环境的共同调控^[9]。很多昆虫雄虫的羽化高峰期早于雌虫,这是一种普遍的现象,如水稻二化螟和一种卵寄生蜂^[10-11]。白星花金龟的羽化和以上昆虫有所不同,它的羽化有两个高峰,第一个高峰,雌虫早于雄虫,第二个高峰,雄虫早于雌虫。可见,雌、雄虫羽化高峰期的先后问题可能会因昆虫种类而异。

作者在羽化观察中发现,刚羽化的白星花金龟受到外界因素(如人或者其他昆虫接触)干扰时会从尾部喷出白色液体,液体腥臭且量多,这是白星花金龟受到外界干扰时的自我保护行为,这种行为在麻楝蛀斑螟和气步甲的羽化行为中也曾有相关报道^[12-13]。白星花金龟一生交配不止一次^[14]。本文也证实了这一点,但是研究发现 20 对雌雄成虫在 72 h 的观察中发生了 26 次交配行为,可见,多次交配并非共性,而是发生于部分对象。

很多昆虫的交配活动表现为 24 h 的行为节律^[15-17]。本文研究发现,白星花金龟的交配主要发生于两个时间段,08:00—16:00 和 20:00—00:00,

在 00:00—08:00 和 16:00—20:00 之间未见交配。而前人研究表明,其交尾活动主要发生在前半夜、早晨、傍晚,上午 09:00 和下午 17:00 左右^[14,18]。本文发现雌虫有拒绝交配的现象,而前人研究显示雌虫一般不拒绝交配。以上这些在同一种昆虫中因为研究对象地点不同而产生较大差异,可能是因为昆虫的交配行为受到环境温度、光照、食物等生态因子的影响^[19]。

白星花金龟交配持续时间最短的 95 s,最长的 295 s,平均(182±23)s,与前人研究中显示的最短为 100 s,最长为 180 s^[14]有较大差异。原因可能有多种,昆虫的交配时间会受到交配起始时间、昆虫体重、日龄、交配经历和温度多种因素影响^[20]。

配后保护行为在昆虫中广泛存在,如寄生蜂 *Cephalonomia tarsalis*^[21]、双斑蟋 *Gryllus bimaculatus*^[22-23]、马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata*^[24]、日本弧丽金龟 *Popillia japonica*^[25]、象甲 *Euscepes postfasciatus*^[26]、松褐天牛 *Monochamus alternatus*^[27]、蜻蜓 *Libellula pulchella*^[28]。本研究中也发现白星花金龟具有配后保护行为,但不是所有研究对象都有这种行为;在交配过程中,当受到外界较大的声音或者强光照射时会立即停止交配。上述两种行为仅在一些个体中观察到,是否为白星花金龟的普遍交配行为,还需要进一步研究。

参考文献

- [1] 郭文超,许建军. 新疆农作物和果树新害虫—白星花金龟[J]. 新疆农业科学, 2004, 41(5): 322—323.
- [2] 何笙,周泽容,吴赵平,等. 白星花金龟发生与防治技术研究初报[J]. 中国农学通报, 2006, 22(6): 314—316.
- [3] 许建军,刘忠军,郭文超,等. 白星花金龟在新疆为害、扩散趋势及其防治技术初探[C]//成卓敏. 植物保护与现代农业. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008: 470—473.
- [4] 许建军. 白星花金龟在新疆农田生态区的寄主、分布及其发生规律[J]. 新疆农业科学, 2009, 46(5): 1042—1046.
- [5] 匡先钜,徐婧,孙兴华,等. 温度对大猿叶虫 *Colaphellus bowringi* Baly 交配行为的影响[J]. 环境昆虫学报, 2010, 32(3): 307—311.
- [6] 匡先钜,刘兴平,徐婧,等. 大猿叶虫交配行为的观察[J]. 应用昆虫学报, 2010, 47(4): 740—743.
- [7] 戴华国,杨亦桦,吴小毅. 稻褐飞虱成虫的羽化节律[J]. 南京农业大学学报, 1996(3): 120—121.
- [8] 冉红凡,路子云,刘文旭,等. 梨小食心虫成虫性比、日羽化节律及活动规律[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(6): 1524—1531.
- [9] 余国志,陈超,刘伟,等. 温度和光周期对亚洲玉米螟羽化节律

- 的影响[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(1): 180-185.
- [10] 孙丽娟, 戴华国, 衣维贤, 等. 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[J]. 昆虫知识, 2002, 39(6): 421-423.
- [11] FANTINO A A, ALEXANDRI M P, TSITSIPIS J A. Adult emergence rhythm of the egg-parasitoid *Telenomus busseolae* [J]. *BioControl*, 1998, 43(2): 141-151.
- [12] 刘红. 气步甲虫与二元汽油[J]. 科技潮, 1998(5): 85.
- [13] 马涛, 孙朝辉, 李奕震, 等. 麻楝斑螟成虫的羽化节律及生殖行为[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2014, 43(1): 6-10.
- [14] 郝双红, 李广泽, 张涛, 等. 白花金龟行为学观察及其信息素的诱虫效果[J]. 中国生物防治, 2005, 21(2): 124-126.
- [15] THORNHILL R, ALCOCK J. The evolution of insect mating systems [M]. America: Harvard University Press, 1983: 41-42.
- [16] SAKAI T, ISHIDA N. Circadian rhythms of female mating activity governed by clock genes in *Drosophila* [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2001, 98(16): 9221-9225.
- [17] RYMER J, BAUERNFEIND A L, BROWN S, et al. Circadian rhythms in the mating behavior of the cockroach, *Leucophaea maderae* [J]. *Journal of Biological Rhythms*, 2007, 22(1): 43-57.
- [18] 陈日翌, 何康来, 尹娇, 等. 白花金龟主要习性及其群集为害玉米行为机制的初步研究[J]. 吉林农业大学学报, 2006, 28(3): 240-243.
- [19] 韩桂彪, 杜家纬, 李捷, 等. 枣粘虫交配行为生态学研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(1): 99-102.
- [20] 刘兴平, 何海敏, 匡先钜, 等. 影响大猿叶虫交配持续时间的因素[J]. 昆虫学报, 2010, 53(5): 549-554.
- [21] CHENG L L, HOWARD R W, CAMPBELL J F, et al. Behavioral interaction between males of *Cephalonomia tarsalis* (Ashmead) (Hymenoptera: Bethyridae) competing for females [J]. *Journal of Insect Behavior*, 2003, 16(5): 625-645.
- [22] SAKALUK S K. Post-copulatory mate guarding in decorated crickets [J]. *Animal Behaviour*, 1991, 41(2): 207-216.
- [23] PARKER D J. The intensity of pre-and post-copulatory mate guarding in relation to spermatophore transfer in the cricket *Gryllus bimaculatus* [J]. *Journal of Ethology*, 2010, 28(2): 245-249.
- [24] BOITEAU G. Sperm utilization and post-copulatory female-guarding in the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1988, 47(2): 183-187.
- [25] SAEKI Y, KRUSE K C, SWITZER P V. The social environment affects mate guarding behavior in Japanese beetles, *Popillia japonica* [J]. *Journal of Insect Science*, 2005, 5(18): 1-6.
- [26] SATO Y, KOHAMA T K. Post-copulatory mounting behavior of the West Indian Sweet Potato Weevil, *Euscepes postfasciatus* (Fairmaire) (Coleoptera: Curculionidae) [J]. *Ethology*, 2007, 113(2): 183-189.
- [27] 杨洪, 王进军, 赵志模, 等. 松褐天牛的交配行为[J]. 昆虫学报, 2007, 50(8): 807-812.
- [28] MCMILLAN V E. Postcopulatory behavior in *Libellula pulchella* Drury (Odonata: Libellulidae) and female tactics for avoiding male interference with oviposition [J]. *Journal of Insect Behavior*, 2000, 13(4): 573-583.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 165 页)

- [10] 刘红霞. 新疆石河子总场棉花双斑莹叶甲的发生与防治[J]. 中国棉花, 2016, 43(2): 41-42.
- [11] 刘杰, 姜玉英. 2012 年玉米病虫害发生概况特点和原因分析[J]. 中国农学通报, 2014, 30(7): 270-279.
- [12] 田永浩, 张建萍, 陈静, 等. 新疆棉花新害虫双斑长跗莹叶甲的发生特点及防治策略[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(10): 120-121.
- [13] 李广伟, 陈秀琳. 新疆棉区双斑长跗莹叶甲生活习性及其动态调查[J]. 中国植保导刊, 2010, 30(6): 8-10.
- [14] 李永林, 李维艳, 孔凡祥. 玉米田双斑莹叶甲的发生及无公害综合防治技术[J]. 农业科技通讯, 2011(4): 131-132.
- [15] 庄业贵. 呼图壁县 2015 年玉米病虫害发生概况及原因分析[J]. 农村科技, 2016(1): 38-39.
- [16] 沈佐锐. 昆虫生态学及害虫防治的生态学原理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 1-529.
- [17] SOLOMON M E. The natural control of animal populations [J]. *Journal of Animal Ecology*, 1949, 18(1): 1-35.
- [18] NICHOLSON A J. Supplement: the balance of animal populations [J]. *Journal of Animal Ecology*, 1933, 2(1): 131-178.
- [19] ANDREWARTHA H G, BIRCH L C. Distribution and abundance of animals [M]. University of Chicago Press, 1954: 389-390.
- [20] MILNE A. On a theory of natural control of insect population [J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1962(3): 19-50.
- [21] 袁海滨, 齐兴林, 孙长东, 等. 温度对水稻田双斑长跗莹叶甲种群发生动态的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2015, 37(6): 654-657.
- [22] 张凯. 寄生多样性对 B 型烟粉虱和马铃薯木虱影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [23] 张丽花, 延军平, 陈利民. 近 52a 山西气温变化特征[J]. 干旱区研究, 2014(6): 1068-1072.
- [24] 王立仁, 刘斌侠, 付泓. 玉米田双斑长跗莹叶甲的发生为害情况与防治对策[J]. 陕西农业科学, 2006(2): 123+131.
- [25] 王恩瑞, 金建强. 别让“小杂粮王国”陷入窘境[J]. 北京农业, 2011(23): 8-9.
- [26] 陈光辉, 尹弯, 李勤, 等. 双斑长跗莹叶甲研究进展[J]. 中国植保导刊, 2016(10): 19-26.

(责任编辑: 杨明丽)