祁连山圆柏大痣小蜂成虫产卵特性

吕 东， 张宏斌*， 李秉新， 赵 祜， 赵兴鹏， 赵 明， 闫克林

（甘肃省祁连山水源涵养林研究院，祁连山特有植物繁育及推广国家地方联合工程研究中心，
甘肃省祁连山特有珍稀树种保护繁育工程研究中心，张掖 734000）

摘要 圆柏大痣小蜂 *Megastigmus sabinae* Xu *et* He 以幼虫在祁连圆柏健康球果内蛀食胚乳，并随球果同步发育，导致球果成熟后有果无仁，造成种子质量严重下降，严重影响祁连圆柏种子生产。为准确掌握圆柏大痣小蜂产卵特性，为其监测与防控提供基础信息，通过室内观察和室外布设样地，进行了圆柏大痣小蜂产卵特性研究。结果表明：圆柏大痣小蜂产卵行为包括交尾、产卵球果选择、穿刺及产卵 4 个阶段；圆柏大痣小蜂在球果不同部位的产卵量差异显著，在球果近柄部 1/3 处平均产卵率为 70.34%、球果中部 26.26%、球果脐部 3.40%；在不同大小的祁连圆柏球果间其产卵量具显著差异，在纵径 10.13～12.67 mm，横径 9.18～10.38 mm 的球果上产卵率最高(95.67%)；在祁连圆柏树冠中部产卵量高于树冠上部和下部，在树冠中部的产卵数占总产卵数的 53.43%，产卵量在树冠东、南、西、北方位上所占的比例分别为 25.57%、34.10%、21.62%、18.71%；祁连圆柏幼龄林和成熟林与中龄林、混交林及林缘球果受害程度差异显著，($P<0.05$)；不同坡位祁连圆柏林分球果受害程度差异显著($P<0.05$)；祁连圆柏球果受害程度随着海拔升高呈逐渐减小趋势。圆柏大痣小蜂产卵行为分为 4 个阶段，产卵时对产卵位点、球果大小及树冠不同方位具有明显的选择性，不同林龄、坡位、海拔间祁连圆柏林分球果受害程度明显不同。

关键词 圆柏大痣小蜂； 蛀果； 产卵特性

中图分类号： S 763.7 **文献标识码**： A **DOI**： 10.16688/j.zwbh.2019265

Egg-laying characteristics of adult *Megastigmus sabinae* Xu *et* He on its host tree *Juniperus przewalskii* in Qilian Mountains

LÜ Dong， ZHANG Hongbin*， LI Bingxin， ZHAO Hu， ZHAO Xingpeng， ZHAO Ming， YAN Kelin

（*Academy of Water Resource Conservation Forests of Qilian Mountains in Gansu Province*，
National-Local Joint Engineering Research Center for Unique Plant Breeding and Extension in Qilian Mountains，*Engineering Research Center for Conservation and Breeding of Endemic and Rare Tree Species in Qilian Mountains*，*Gansu Province*，*Zhangye* 734000，*China*）

Abstract *Megastigmus sabinae* Xu *et* He (Hymenoptera: Torymidae) attacks the seeds by eating endosperm in the healthy cone of *Juniperus przewalskii*, develops synchronously with the cone, resulting in no kernel after the cone is mature, and thus caused a serious decline on seed quality and a serious impact on the production of *J. przewalskii*. In order to accurately determine the egg-laying characteristics of *M. sabinae* and provide effective and basic information for its monitoring and management, the egg-laying characteristics of *M. sabinae* on the cypress was studied through indoor observation and outdoor layout of plots. The results showed that the egg-laying behavior of *M. sabinae* included four stages: mating, cone selection, puncture and oviposition. The egg-laying behavior of *M. sabinae* larvae was significantly different on different parts of the cones. The average oviposition rates were 70.34% near the 1/3 of the stalk, 26.26% in the middle of the cone, and 3.40% in the umbilical part of the cone. There were significant differences in the egg-laying amounts between the host trees of different sizes, ranging from 10.13 to 12.67 mm in longitudinal diameter and 9.18 to 10.38 in transverse diameter. The highest oviposition rate was observed in the cones of 9.18—10.38 mm in transverse diameter (95.67%); the amount of eggs laid in the middle of the canopy of the cypress was higher than that in the upper and lower parts of the canopy;

收稿日期： 2019－05－29 **修订日期**： 2019－07－05
基金项目： 国家自然科学基金(31860210)
* 通信作者 E-mail:shyzhanghb1788@163.com

the number of eggs laid in the middle of the canopy accounted for 53.43% of the total number of eggs laid, and the number of eggs laid in the canopy was in the east. The proportions in the south, west and north accounted for 25.57%, 34.10%, 21.62%, 18.71%, respectively; the degrees of damage to the cones in the young and mature forests of *J. przewalskii* and the middle-aged forests, mixed forests and forest edge were significantly different ($P<0.05$); the degrees of damage to the coniferous cones in different slopes were significantly different ($P<0.05$), and the degree of damage in the cypress cones of *J. przewalskii* gradually decreased with the elevation. The egg-laying behavior of *M. sabinae* could be divided into four stages. During egg-laying, it had obvious selectivity for egg-laying sites, cone size and canopy. The damage degrees of cones were significantly different between different forest ages, slope positions and elevations.

Key words *Megastigmus sabinae*; bored cone; egg-laying characteristics

圆柏大痣小蜂 *Megastigmus sabinae* Xu *et* He 属膜翅目 Hymenoptera 长尾小蜂科 Torymidae 大痣小蜂属 *Megastigmus*,是为害祁连圆柏 *Juniperus przewalskii* 种实的重要害虫。圆柏大痣小蜂成虫产卵于祁连圆柏健康幼嫩球果,幼虫孵化后蛀食球果内的胚乳,致使球果成熟后有果无仁。圆柏大痣小蜂幼虫从孵化到羽化前一直在祁连圆柏球果内生活,给防治带来了很大难度。昆虫在其寄主植物上的产卵选择性是其与寄主植物及其周边环境长期协同进化的结果[1-5]。行为是昆虫为适应环境而调节生活方式的活动,准确掌握昆虫行为特性及活动规律是害虫防治基础工作[6-10]。产卵是植食性昆虫生命周期中繁衍后代和维持种群数量的重要环节,雌虫在产卵前对寄主的选择关系到其后代的存活甚至会影响种群的演化和繁衍[11-16]。研究昆虫的产卵特性,可以利用其产卵行为机制,开发害虫防治及人工繁育新方法[17-23]。目前,关于圆柏大痣小蜂,国内学者主要开展了其生物生态学[24]、羽化期预测预报[25]、生活习性及防治技术[26]、幼虫空间分布格局[27]以及圆柏大痣小蜂羽化的生态学特性及幼虫空间分布[28]等方面的研究。关于圆柏大痣小蜂产卵特性尚未见报道。本研究通过对圆柏大痣小蜂产卵行为进行探究,以期增加对其繁殖行为习性的认识,同时为其有效监测与防控提供基础信息和依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验地位于祁连山北坡东段寺大隆林场盆沟祁连圆柏天然母树林(99°55′11″E,38°25′46″N,海拔 2 600～3 400 m),年降水量 401.9 mm,年蒸发量 1 081.7 mm;年日照时数 1 892.6 h。主要树种有青海云杉 *Picea crassifolia* Kom.、祁连圆柏 *Juniperus przewalskii*、山杨 *Populus davidiana* Dode、高山杜鹃 *Rhododendron lapponicum* (L.) Wahl、鬼箭锦鸡儿 *Caragana jubata* (Pall.) Poir、吉拉柳 *Salix gilashanica* C. Wang *et* P. Y. Fu、高山绣线菊 *Spiraea alpina* Pall.、灰栒子 *Cotoneaster acutifolius* Turcz. 等。

1.2　调查方法

1.2.1　圆柏大痣小蜂产卵与蛀果的关系

圆柏大痣小蜂成虫产卵于祁连圆柏健康幼嫩球果,幼虫孵化后直至成虫羽化一直生活在球果内蛀食球果内的胚乳,羽化后在为害球果上留下羽化孔。因此,有羽化孔的球果即为蛀果,本文在分析圆柏大痣小蜂产卵特点时都是根据其为害后造成的蛀果数和蛀果率来分析。

1.2.2　昆虫饲养及产卵行为观察

6 月初,圆柏大痣小蜂羽化前期从试验地不同分布区选取祁连圆柏结实株 20 株,在每株样树上采集球果 100 枚带回实验室,置于室内温度(23±2)℃、相对湿度 75%±5%,45 cm×25 cm×25 cm 的养虫笼内。圆柏大痣小蜂羽化后,放入 100 枚新鲜健康球果作为产卵寄主,设置重复 3 次,每天 8:00－20:00 进行产卵行为观察,连续观察 10 d,共观察 30 对成虫。

1.2.3　球果不同部位及不同大小产卵情况调查

室内在 45 cm×25 cm×25 cm 养虫笼中放入已交配的雌蜂 20 头,每个养虫笼内放置 24.6 cm×14.3 cm×10.2 cm 发芽盒一个,在未带盖子的发芽盒内均匀放置 100 枚当年生大小不同新鲜健康球果,设 3 个重复,每天连续观察记录球果不同部位产卵情况。统计雌蜂在球果近柄部 1/3 处、中部及脐部产卵的球果数及对不同大小球果的为害情况。

1.2.4　祁连圆柏蛀果在树冠的空间分布调查

7 月底,在试验地内随机选取 10 块样地,样地面积 100 m×100 m,在每块样地内按平行线取样法

随机抽取 10 株样株。分别在每样株树冠上、中、下部的东、西、南、北 4 个方位随机抽取 100 枚球果(3 个重复)并编号记录,带回实验室解剖球果,记录球果蛀果数,整理调查数据。

1.2.5 不同林龄、坡位、海拔间祁连圆柏球果蛀果调查

7 月底,根据试验区地理特征及祁连圆柏分布状况,在不同林龄、不同坡位、不同海拔具有一定代表性区域进行样地设置,不同林龄、不同坡位、不同海拔设置 10 m×10 m 的固定样地 5 个,共设置 15 个固定样地,每个固定样地内采用五点取样法调查。每个样点随机选择 10 株祁连圆柏植株逐株调查,在祁连圆柏植株上随机抽取 100 枚球果(3 个重复),带回实验室解剖球果,记录球果受害数,整理调查数据。

1.2.6 数据分析

祁连圆柏蛀果调查数据,运用软件 SPSS 17.0,进行方差分析、Duncan 氏多重比较后在 0.05 水平下分析。

2 结果与分析

2.1 圆柏大痣小蜂产卵行为特征

刚羽化钻出祁连圆柏球果的圆柏大痣小蜂成虫触角覆有膜质套,羽化后的成虫经过脱膜套、整理足、展翅、清理身体黏附的碎屑后,开始在球果上爬行、颤动翅膀、跳跃,随后就能飞行。圆柏大痣小蜂产卵行为分为背负交尾、产卵球果选择、穿刺及产卵 4 个阶段,各个阶段行为特征见表 1。

表 1 圆柏大痣小蜂成虫产卵行为特征

Table 1 Characteristics of oviposition behavior of *Megastigmus sabinae* adults

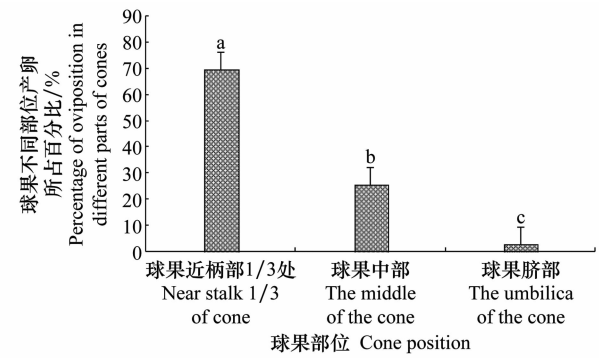
阶段 Stage	行为特征 Behavioral characteristics
背负交尾 Sex-bearing mating	圆柏大痣小蜂羽化后生理已经成熟,不需要补充营养,当天便可交尾,交尾时雌雄背负,雄虫颤动翅膀,同时用触角敲打雌虫触角,雌雄成虫交尾只有 1 次,但有多次背负现象,交尾多在寄主树枝和球果上进行
产卵球果选择 Cone selection for egg laying	雌雄成虫交尾后便产卵。雌成虫找到当年生幼嫩健康的祁连圆柏小球果后,先用触角敲击幼嫩球果表面,再用产卵器刺探,选择含有种仁的球果
穿刺 Puncture	雌虫多将头朝向球果端部,产卵器位于球果近柄部 1/3 处,躬起腹部将产卵器竖起,从背腹之间向下伸出产卵器,在靠近球果近柄部 1/3 处进行刺试,若球果空瘪不含种仁,则不产卵,另选小球果;如果未刺到合适的部位,则重新换位试刺
产卵 Oviposition	雌虫产卵器刺入球果的合适位置且球果内含有种仁时,直接产卵于球果种仁内,1 枚球果只产 1 粒卵,羽化后前 3 d 雌成虫产卵最多

2.2 圆柏大痣小蜂在球果不同部位的产卵特点

圆柏大痣小蜂在祁连圆柏球果不同部位产卵情况分析结果(图 1)表明:其在健康球果不同部位产卵所占百分比差异显著($P<0.05$),在健康幼嫩球果近柄部 1/3 处产卵量显著高于球果中部和脐部。在当年生健康饱满球果柄部近 1/3 处的产卵百分比高达 70.34%,在球果中部的产卵百分比为 26.26%,在球果脐部产卵百分比为 3.40%。说明圆柏大痣小蜂成虫在产卵过程中对球果的部位具有明显的选择性。

2.3 圆柏大痣小蜂在不同大小祁连圆柏球果上的产卵特点

对圆柏大痣小蜂在不同大小球果上的产卵情况进行分析,发现祁连圆柏不同大小球果受害程度存在显著差异(表 2)。在调查的 4 类球果中,直径 6.64～7.47 mm 的球果受害最轻,受害率为 5.67%,直径 7.48～9.38 mm 的球果受害率为 29.33%,直径 9.39～10.12 mm 的球果受害率为 76.00%,直径 10.13～12.67 mm 的球果受害率为 95.67%。圆柏大痣小蜂成虫的选择与祁连圆柏球果大小不同有一定的相关性。产卵时尽可能选择生长较大、健康、且种仁饱满的球果进行产卵,以使球果内孵化后的 1～4 龄幼虫有充足的种仁可取食,完成其世代繁衍(表 3),这是圆柏大痣小蜂产卵长期选择进化的结果。



柱上标有不同字母表示差异显著($P<0.05$)

Histograms with different letters indicate significantly different at 0.05 level

图 1 圆柏大痣小蜂产卵与球果部位的关系

Fig. 1 Relationships between oviposition and cone parts of *Juniperus przewalskii*

表 2　不同大小祁连圆柏球果蛀果率调查

Table 2　Investigation on the bored cone rate of different sizes of *Juniperus przewalskii*

球果类型 Cone type	球果纵径/mm Longitudinal diameter of cone	球果横径/mm Transverse diameter of cone	调查球果数/个 No. of cones investigated	蛀果数/个 No. of bored cones	蛀果率/% The rate of bored cones
A	6.64～7.47	6.96～7.12	300	17	5.67
B	7.48～9.38	7.13～8.20	300	88	29.33
C	9.39～10.12	8.21～9.17	300	228	76.00
D	10.13～12.67	9.18～10.38	300	287	95.67

表 3　不同大小球果受害差异性检验[1)]

Table 3　Test of the damage for *Juniperus przewalskii* cones of different sizes

项目 Item	离差平方和 Sum of squares	*df*	均方 Mean square	*F*	*P*
组间 Between groups	948.549	3	302.173	11.004	0.003
组内 Within groups	228.432	8	28.901		
合计 Total	1 088.424	11			

1) $P=0.05$, $F_{0.05}(3,8)=2.984$。

2.4　圆柏大痣小蜂在祁连圆柏树冠不同部位的产卵特点

根据祁连圆柏树冠垂直空间上部、中部、下部的东、南、西、北 4 个方向的平均球果蛀果数(图 2),圆柏大痣小蜂在祁连圆柏树冠中部产卵量高于树冠上部和下部,且树冠上部、中部、下部南面和东面产卵量高于西面和北面,在树冠中部的产卵量占总产卵量的 53.43%,在下部产卵量占总产卵量的 29.94%,上部产卵量占总产卵量的 16.63%,在树冠在东、南、西、北方位上产卵量占总产卵量比例分别为 25.57%、34.10%、21.62%、18.71%,(树冠上部、中部、下部产卵总数,即受害球果数为 481 粒)。调查表明,祁连圆柏树冠上部球果的空瘪率比中部和下部高,球果含种仁率低,种子质量较差,致使圆柏大痣小蜂成虫产卵时选择回避,因此种子受害率最低,而树冠中部球果饱满,含种仁率高,种子质量好,导致树冠中部球果受害最为严重;树冠南面种子受害率最高,其次是东面,北面最低,分析原因:树冠南面和东面光照和温度条件相对较好,这与圆柏大痣小蜂成虫具有趋光性,喜欢活动于光照较好、气温较暖的枝条和树间的生物学习性密切相关。

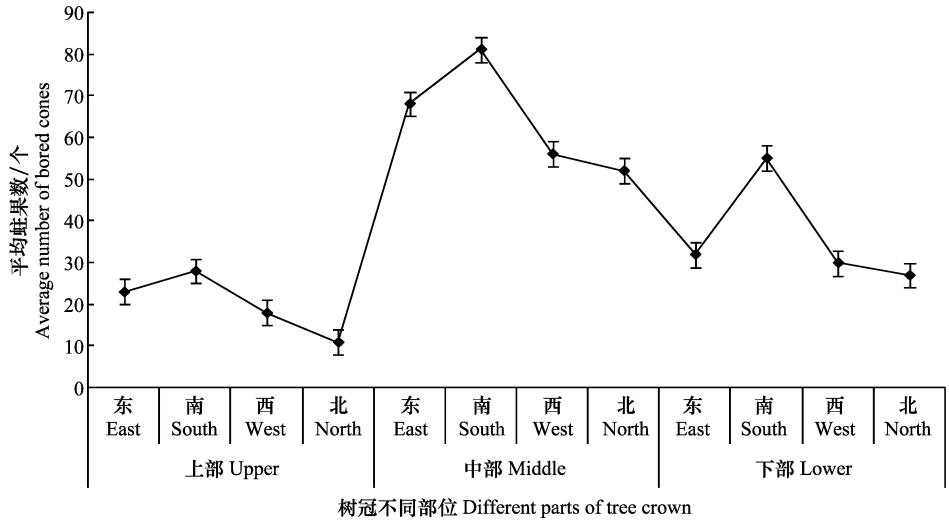


图 2　祁连圆柏树冠不同方位及不同层次上蛀果的分布

Fig. 2　The distribution of the bored cones in different directions and at different levels of *Juniperus przewalskii* tree

2.5　圆柏大痣小蜂在祁连圆柏不同林分类型的产卵特点

对 5 种祁连圆柏林分的球果蛀果数和蛀果率进行调查,分析结果见图 3。在 5 种祁连圆柏林分中,祁连圆柏幼龄林和成熟林球果的蛀果数和蛀果率差异不显著,而其他林分间球果蛀果数和蛀果率差异显著($P<0.05$)。5 种祁连圆柏林分中,中龄

林和林缘的蛀果数和蛀果率高，受害严重，这是由于祁连圆柏林缘和中龄林光照条件好，温度高，结实量大，有利于圆柏大痣小蜂产卵；而幼龄林、成熟林和混交林由于林分光照条件较差，结实量小，所以球果受害程度较轻，球果蛀果率低。造成差异的主要原因是：祁连圆柏不同类型林分间的林龄、林分结构以及光照和温度等环境因子均存在差异。

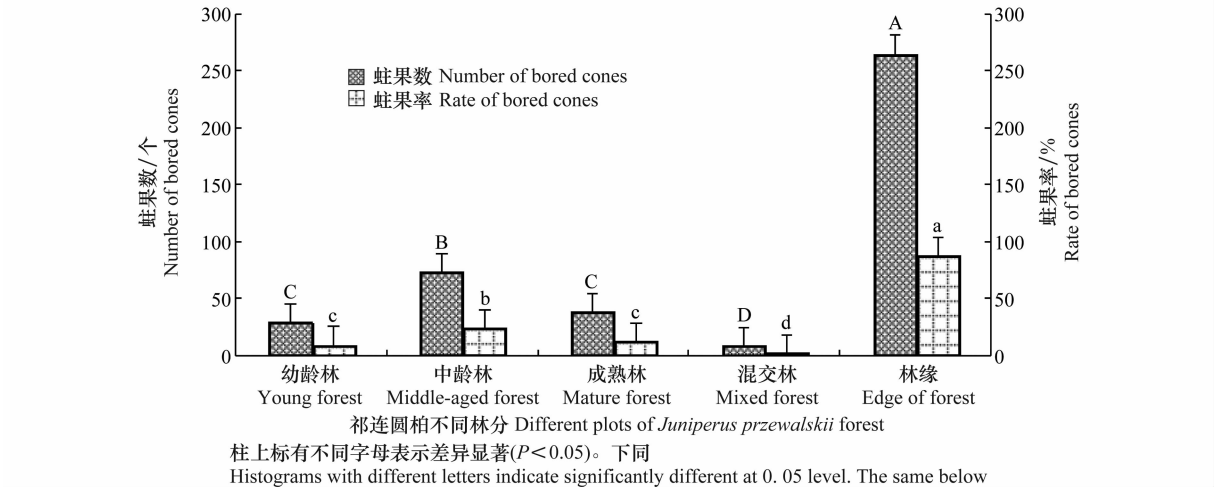


图 3 祁连圆柏不同林分类型球果蛀果数与蛀果率

Fig. 3 The number of bored cones and the rate of bored cones in different forest types of *Juniperus przewalskii*

2.6 圆柏大痣小蜂在不同坡位祁连圆柏林分的产卵特点

对祁连圆柏坡下、坡中、坡上林分球果蛀果数和蛀果率进行调查分析，结果表明(图 4)，祁连圆柏坡下、坡中、坡上林分球果蛀果数和蛀果率差异显著($P<0.05$)，祁连圆柏球果受害程度从坡上到坡下逐渐加重，坡下林分的蛀果数和蛀果率最高，尤其是坡下林缘、沟边、路旁和散生的祁连圆柏球果受害最为严重。因为坡下较坡上温度高，风小，且坡下林分树体光照好，结实量多，有利于圆柏大痣小蜂产卵，说明圆柏大痣小蜂产卵与祁连圆柏林分所处坡位关系密切。

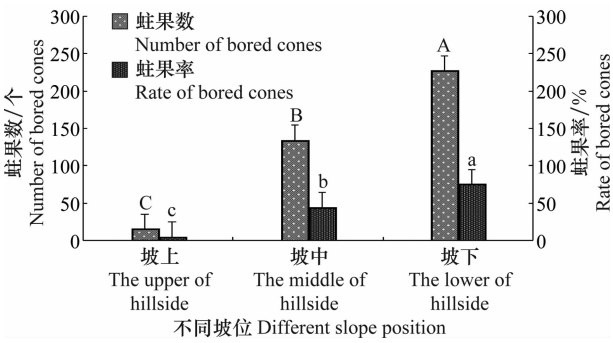


图 4 不同坡位的祁连圆柏林分球果蛀果数与蛀果率

Fig. 4 The number of bored cones and the rate of bored cones of *Juniperus przewalskii* in different slope positions

2.7 圆柏大痣小蜂在不同海拔祁连圆柏林分的产卵特点

对不同海拔祁连圆柏林分的球果蛀果数、蛀果率和健康球果数进行调查，分析结果(图 5)表明，圆柏大痣小蜂对祁连圆柏球果的产卵(为害)因海拔而异。圆柏大痣小蜂适宜产卵的海拔高度为 2 650～3 000 m，蛀果数和蛀果率随着海拔升高呈逐渐减小的趋势。海拔超过 3 200 m，随着海拔的升高，气温逐步降低、湿度逐渐增大，祁连圆柏种子成熟期推迟，致使圆柏大痣小蜂幼虫难以生存，为害率明显降低。

3 讨论

圆柏大痣小蜂 *M. sabinae* 是为害祁连圆柏球果种仁的主要害虫，属寡食性害虫，专一为害寄主植物球果给祁连圆柏种子产量和质量造成严重的影响。但是，一直以来对圆柏大痣小蜂的预防效果不佳。究其原因有两方面：第一，长期以来，圆柏大痣小蜂幼虫发育与祁连圆柏球果的生长发育形成了完美的协同进化机制。圆柏大痣小蜂卵在球果内孵化，1～4 龄幼虫在寄主球果内取食胚乳，初孵幼虫经 4 次脱皮，这时候球果的种仁正好被取食殆尽，此时幼虫开始化蛹至羽化。由于圆柏大痣小

蜂幼虫一直在寄主球果内生活,给防治带来了很大难度。第二,圆柏大痣小蜂幼虫在寄主球果内活动,成虫羽化后飞走,用化学杀虫剂防治难以发挥理想的作用。

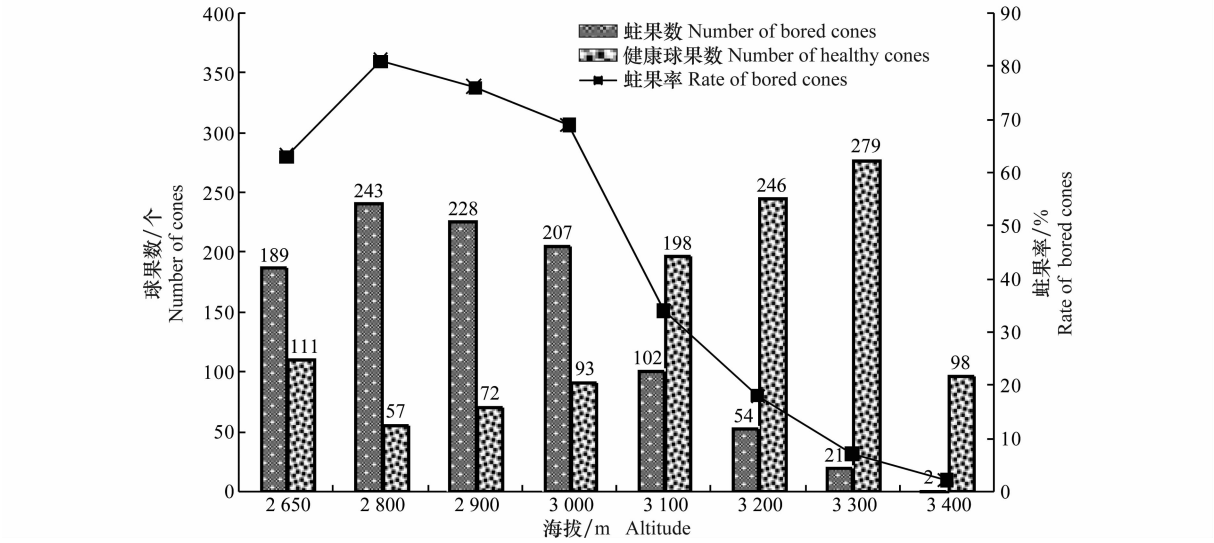


图 5　不同海拔祁连圆柏林分球果蛀果数、健康球果数及蛀果率

Fig. 5　The number of bored cones, the number of healthy cones and the rate of bored cones in different plots of *Juniperus przewalskii* forest

本研究观察记录了圆柏大痣小蜂雌虫在寄主球果上的产卵过程,室内观察发现,刚羽化的圆柏大痣小蜂成虫当日即可交尾产卵,多在树枝和球果上以背负式交尾。圆柏大痣小蜂成虫有多次背负现象,但无重复交尾现象。交尾后便可产卵,卵产在当年生有种仁的健康祁连圆柏球果内。整个产卵过程历时 20～60 min,平均 38 min,1 粒球果产 1 粒卵,每只雌蜂一生产卵 8～18 粒,平均 14 粒。圆柏大痣小蜂雌蜂在产卵过程对产卵位点具有明显的选择性,在祁连圆柏健康幼嫩球果近柄部的 1/3 处产卵量显著高于球果中部和脐部。圆柏大痣小蜂雌蜂在不同大小祁连圆柏球果间的产卵存在显著差异,趋向于在当年生健康、饱满、有种仁的祁连圆柏球果(纵径 10.13～12.67 mm,横径9.18～10.38 mm)上产卵。但不同大小祁连圆柏球果的化学成分及含量有何区别,是哪种(些)成分影响着圆柏大痣小蜂雌蜂的产卵选择性,还需进一步研究。

通过野外调查分析发现,圆柏大痣小蜂的雌蜂喜好在祁连圆柏树冠的中部和下部以及树冠南面和东面分布的球果上产卵,这与圆柏大痣小蜂成虫具有趋光性,喜欢活动于光照较好、气温较高的枝条和树间的生物学习性密切相关;造成祁连圆柏中龄林、混交林、林缘与幼龄林和成熟林林分间球果受害(产卵)差异显著的原因是不同类型林分间的林龄、林分结构以及光照和温度等环境因子均存在差异;坡下、坡中、坡上祁连圆柏林分球果受害程度(产卵)差异显著的原因是坡下祁连圆柏林分光照好,结实量多,有利于圆柏大痣小蜂产卵。祁连圆柏球果受害(产卵)程度随海拔升高,呈逐渐减小趋势,海拔越高,气温逐步降低、湿度逐渐增大,祁连圆柏种子成熟期推迟,致使圆柏大痣小蜂幼虫难以生存,为害率明显较低。以上研究结果与吴洪源和张德海等[24-25]、李秉新和张继义等[26]的结果相一致,与姚文锋[29]的研究结果相似。

本试验在室内和野外自然条件下进行,通过对圆柏大痣小蜂产卵行为特征、在祁连圆柏球果不同部位、不同大小球果、树冠不同部位、不同林分类型及不同海拔祁连圆柏林分圆柏大痣小蜂产卵特点分析,基本明确了圆柏大痣小蜂产卵行为与习性,为全面掌握圆柏大痣小蜂寄生产卵行为从而对其进行有效防治提供参考依据。

参考文献

[1] 钦俊德. 昆虫与植物关系的研究进展和前景[J]. 动物学报, 1995, 41(1): 12-20.

[2] 刘雨芳, 古德祥. 荔蝽卵平腹小蜂对寄主的搜索行为[J]. 中国生物防治学报, 2000, 16(1): 1-4.

[3] PATT J M, SETAMOU M. Responses of the Asian citrus psyllid to volatiles emitted by the flushing shoots of its ruta-

ceous host plants [J]. Environmental Entomology, 2010, 39(2): 618 - 624.
[4] SHI Xiaobin, CHEN Gong, TIAN Lixia, et al. The salicylic acid-mediated release of plant volatiles affects the host choice of *Bemisia tabaci* [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2016, 17(7): 1048.
[5] 龚建. 白星花金龟对植物挥发物的选择行为研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2017.
[6] 秦玉川. 昆虫行为学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
[7] 宋静, 黄静, 王雷英, 等. 二化螟性信息素对稻螟赤眼蜂寄生能力及田间寄生效果的影响[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(4): 481 - 486.
[8] 符文俊, 杜家伟. 昆虫利它素[J]. 昆虫知识, 1981, 18(3): 132 - 135.
[9] NYASEMBE V O, TEAL P E A, MUKABANA W R, et al. Behavioural response of the malaria vector *Anopheles gambiae* to host plant volatiles and synthetic blends [J]. Parasites & Vectors, 2012, 5(1): 234.
[10] ANFORA G, VITAGLIANO S, LARSSON M C, et al. Disruption of *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae) oviposition by the application of host plant volatiles [J]. Pest Management Science, 2014, 70(4): 628 - 635.
[11] 钦俊德. 昆虫与植物的关系: 论昆虫与植物的相互作用及其演化[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
[12] LU Wen, WANG Qiao, TIAN Mingyi, et al. Host selection and colonization strategies with evidence for a female-produced oviposition attractant in a longhorn beetle [J]. Environmental Entomology, 2011, 40(6): 1487 - 1493.
[13] 王振营, 周大荣. 玉米螟赤眼蜂的产卵行为研究[J]. 中国生物防治学报, 1996, 12(4): 145 - 149.
[14] 张毅波, 刘万学, 万方浩, 等. 豌豆潜蝇姬小蜂对美洲斑潜蝇幼虫的寄生产卵和取食寄主行为描述[J]. 中国生物防治学报, 2010, 26(3): 248 - 253.
[15] HANY M K. Antennal sensory receptors of *Pteromalus puparum* female (Hymenoptera: Pteromalidae), a gregarious pupal endoparasitoid of *Pieris rapae* [J]. Microbiology, 2009, 40(8): 769 - 774.
[16] 何俊华. 寄生蜂怎样寻找寄主[J]. 昆虫知识, 1980(2): 83 - 85.
[17] 唐宇翀, 周成理, 陈晓鸣. 植食性昆虫产卵行为生态学研究进展[J]. 林业科学研究, 2010, 23(5): 770 - 777.
[18] 李胜振, 张文娟, 熊梅, 等. 调节昆虫产卵行为的化学物质研究进展[J]. 华中昆虫研究, 2014, 10(12): 117 - 123.
[19] 张丛丛, 王蒙, 苏鹏, 等. 香樟齿喙象的交配和产卵行为[J]. 昆虫学报, 2017, 60(10): 1208 - 1215.
[20] 唐宇翀, 陈晓鸣, 周成理. 金斑蝶成虫行为学特征[J]. 林业科学研究, 2017, 30(1): 131 - 136.
[21] 董子舒, 张玉静, 段云博, 等. 植食性昆虫产卵寄主选择影响因素及机制的眼睛进展[J]. 南方农业学报, 2017, 48(5): 837 - 843.
[22] HARVEY J A. The developmental strategies of endoparasitoid wasps vary with host feeding ecology [J]. Ecology, 2002, 83(29): 2439 - 2451.
[23] 江婷, 付道猛, 吴珍平, 等. 蝶蛹金小蜂对黑纹粉蝶蛹的寄生产卵习性[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(2): 240 - 246.
[24] 吴洪源, 张德海, 陈道玉. 圆柏大痣小蜂生物生态学研究[J]. 林业科学, 1992, 28(4): 367 - 371.
[25] 吴洪源, 张德海, 陈道义. 圆柏大痣小蜂羽化期的预测预报研究[J]. 林业实用技术, 1992(7): 22 - 23.
[26] 李秉新, 张继义, 傅辉恩. 圆柏大痣小蜂生活习性及防治技术的研究[J]. 甘肃林业科技, 1991(4): 30 - 35.
[27] 李秉新, 吕东, 张宏斌, 等. 祁连圆柏林圆柏大痣小蜂幼虫空间分布格局[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(2): 276 - 282.
[28] 吕东, 李秉新, 张宏斌, 等. 圆柏大痣小蜂羽化的生态学特性及幼虫空间分布[J]. 应用昆虫学报, 2017, 54(1): 169 - 174.
[29] 姚文锋. 小果垂枝柏大痣小蜂生物学和生态学特性研究[D]. 昆明: 西南林学院, 2008.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 144 页)

[16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T15798 - 2009, 粘虫测报调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
[17] 张韵梅, 牟吉元. 棉铃虫卵巢发育的组织化学及测报分级的研究[J]. 山东农业科学, 1994(3): 7 - 9.
[18] 钱仁贵. 玉米螟卵巢解剖及应用初报[J]. 昆虫知识, 1982(5): 15 - 17.
[19] 芦芳, 齐国君, 秦冉冉, 等. 褐飞虱卵巢发育的形态变化过程及分级标准[J]. 应用昆虫学报, 2011(5): 1394 - 1400.
[20] KENDRA P E, MONTGOMERY W S, EPSKY N D, et al. Assessment of female reproductive status in *Anastrepha suspensa* (Diptera: Tephritidae) [J]. Florida Entomologist, 2006, 89: 144 - 151.
[21] 刘宁, 张彩虹, 张艳, 等. 苹果蠹蛾卵成熟过程及卵巢发育分级研究[J]. 果树学报, 2018, 35(9): 1098 - 1104.
[22] CHOU M Y, MAU R F L, JANG E B, et al. Morphological features of the ovaries during oogenesis of the Oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*, in relation to the physiological state [J]. Journal of Insect Science, 2012, 12: 1 - 12.
[23] 齐国君, 芦芳, 胡高, 等. 卵巢解剖在我国迁飞昆虫研究中的应用[J]. 中国植保导刊, 2011, 31(7): 18 - 22.
[24] 张孝羲, 郑祖强, 谢俊英, 等. 棉铃虫兼性迁飞的初步研究[J]. 植保技术与推广, 1998(3): 3 - 5.
[25] 郑作涛, 江幸福, 张蕾, 等. 二点委夜蛾飞行行为特征[J]. 应用昆虫学报, 2014, 51(3): 643 - 653.
[26] FU Xiaowei, LIU Yongqiang, LI Yunhe, et al. Does *Athetis lepigone* moth (Lepidoptera: Noctuidae) take a long-distance migration? [J]. Journal of Economic Entomology, 2014, 107(3): 995 - 1002.
[27] 郭于蒙, 曹美琳, 白雪纯, 等. 光周期对二点委夜蛾生长发育的影响[J]. 植物保护学报, 2018, 45(4): 731 - 738.

(责任编辑: 田 喆)