

网络出版时间:2019-07-10 10:35 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2020.01.015
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20190710.1033.030.html

赤松梢斑螟在藏东南高山松上的生物学特性

唐晓琴^{a,b}, 卢杰^{c,d}, 李照青^{c,d}, 臧建成^{a,b}, 付彩青^{a,b}

(西藏农牧学院 a 植物科学学院, b 西藏高原资源昆虫与应用昆虫实验室, c 高原生态研究所,
d 西藏高原森林生态教育部重点实验室, 西藏 林芝 860000)

【摘要】【目的】研究赤松梢斑螟(*Dioryctria sylvestrella* (Ratzeburg))在藏东南高山松上的生物学特性,为监测和防治该害虫提供理论依据。【方法】在藏东南选择 4 块有代表性的高山松林进行野外观察,每 7 d 从观察林地采集 5 个有虫球果于室内解剖,测量其中的赤松梢斑螟幼虫形态指标;然后将赤松梢斑螟幼虫饲养在室外水培枝高山松球果中,观察其取食、结茧、羽化、交配、产卵、孵化、越冬等生物学特性。【结果】赤松梢斑螟成虫雌雄同型,体长 13~17 mm,翅展 23~28 mm;老熟幼虫体长约 12 mm,头宽约 2.5 mm,头部黑褐色、有光泽;初龄幼虫乳白色,后渐变为淡红色,腹足趾钩单序环式,臀足趾钩双序缺环式;卵呈卵圆形,黄白色;蛹体长约 13 mm,宽约 3.5 mm,尾部有 6 根臀棘。赤松梢斑螟在藏东南高山松上 1 年发生 1 代,以幼虫危害高山松当年生球果并以幼虫越冬,幼虫期约 300 d、5 龄,蛹期约 40 d,成虫期约 8 d,卵期约 10 d。赤松梢斑螟成虫多数白天上午羽化,次日傍晚交尾,交尾时间长达 6~9 h,幼虫一果一虫,无转移危害现象;被害球果畸形,结实不良。【结论】赤松梢斑螟危害高山松球果,成虫和卵阶段在球果外,幼虫和蛹阶段在球果内,有较强隐蔽性。每年 6~7 月是防治赤松梢斑螟的关键期。

【关键词】 赤松梢斑螟;生物学特性;高山松;藏东南

【中图分类号】 S763.3

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2020)01-0119-07

Biological characteristics of *Dioryctria sylvestrella* on *Pinus densata* in Southeast Tibet

TANG Xiaoqin^{a,b}, LU Jie^{c,d}, LI Zhaoqing^{c,d}, ZANG Jiancheng^{a,b}, FU Caiqing^{a,b}

(a Plant Sciences College, b Lab of Resource and Applied Insects in the Tibetan Plateau, c Res. Institute of Tibet Plateau Ecology, d Key Laboratory of Forest Ecology in Tibet Plateau, Ministry of Education, Tibet Agriculture & Animal Husbandry University, Nyingchi, Tibet 860000, China)

Abstract: 【Objective】The biological characteristics of *Dioryctria sylvestrella* (Ratzeburg) on *Pinus densata* in southeast Tibet were studied to provide basis for monitoring and controlling of the pest. 【Method】Four representative *P. densata* forest observation bases were selected in southeast Tibet and five larvae were anatomized every 7 days and the morphological index was recorded. Then they were kept in the outdoor hydroponic *P. densata* cones, and characteristics including feeding, scab, emergence, mating, spawning, hatching, and wintering were observed. 【Result】Adults of *D. sylvestrella* were sexual isotype, with a body length of 13—17 mm and a wingspan of 23—28 mm. The mature larvae had a body length of about 12 mm and a head width of about 2.5 mm. The head was dark brown and shiny. The larva of the first instar was milky white, and gradually changed to reddish. The crochets from 1st to 4th of larvae were single-ordered ring, and its last crochets were double-ordered missing ring. The egg was a yellow-white ovoid in

【收稿日期】 2018-12-21

【基金项目】 国家自然科学基金项目(31460200)

【作者简介】 唐晓琴(1977—),女,四川乐山人,副教授,主要从事森林保护学研究。E-mail: tibettqx@sina.com

【通信作者】 卢杰(1973—),男,四川安岳人,教授,主要从事高原植物生态与植物保护研究。E-mail: tibetlj@163.com

shape. The pupa was about 13 mm long and about 3.5 mm wide, and there were 6 hip spines in the tail. *D. sylvestrella* occurred one generation per year on *P. densata* in southeast Tibet. The larvae endangered current year cones of *P. densata* and overwintered as larvae in cones. The larvae stage was long with 300 days and 5 ages, the pupal stage was about 40 days, the adult stage was about 8 days, and the egg stage was about 10 days. Adults of *D. sylvestrella* mostly emerged in the morning, mated in the evening of the second day for 6—9 h. There was one insect per fruit without damage metastasis. The damaged cones were malformed and cone production was affected. 【Conclusion】 *D. sylvestrella* harmed *P. densata* cones. The adult and egg stages were outside cones, while the larvae and pupa stages were highly concealed in cones. The adult stage from June to July was the key period for prevention and control in southeast Tibet.

Key words: *Dioryctria sylvestrella*; biological characteristics; *Pinus densata*; southeast Tibet

赤松梢斑螟(*Dioryctria sylvestrella* (Ratzeburg))是针叶树球果和枝梢的主要害虫。目前许多研究人员对赤松梢斑螟的生物学特性、危害等进行了研究。王平远等^[1]描述了中国分布的赤松梢斑螟种团(1新种,4旧种)。陆文敏等^[2]研究了赤松梢斑螟在黑龙江红松上的生物学特性。冯德刚等^[3]研究了赤松梢斑螟在红松上的空间分布型。周彪等^[4]研究了不同化学药剂对赤松梢斑螟的防治效果。Piao等^[5]研究了赤松梢斑螟幼虫在韩国红松上的形态特征。徐波等^[6]对赤松梢斑螟的生物学特性和危害特征进行了补充研究。王琪等^[7-8]研究了健康和虫害红松挥发物对赤松梢斑螟及其寄生蜂寄主选择行为的影响,以及冷杉梢斑螟和赤松梢斑螟幼虫的生存策略差异与寄主红松化学防御的相互关系。上述研究主要集中在东北林区的红松上。高山松(*Pinus densata*)是中国特有的植物,广泛分布于川滇和青藏高原地区,在西藏多分布于海拔2 600~3 500 m的山坡、河谷和山谷等阳坡地带,是藏东南地区森林的主要建群树种之一^[9],具有重要的生态价值。高山松高可达30 m,胸径可达1.3 m,花期为每年的5月份,球果于第二年10月份成熟。目前对藏东南高山松的研究主要集中在种群分布^[10]、群落特性^[11]、水文过程养分元素的变化特征^[12]、幼苗生长^[13]、天然林更新^[14-15]等方面,而对其球果害虫的研究尚未见报道。笔者2015年调查发现,赤松梢斑螟幼虫在藏东南高山松健康球果中取食危害,导致球果中空、畸形、不结实或少结实;同时,因赤松梢斑螟幼虫和蛹的发育完全在高山松球果内完成,隐蔽性很强,不易被发现,所以难以防治。为了掌握该害虫在藏东南高山松上的生物学特性,本试验于2016年3月至2017年10月对该害虫的生物学特性进行研究,以期为该害虫的有效控制提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于藏东南林芝地区,即雅鲁藏布江和尼洋河交汇处的高山松林区。该地区平均海拔3 500 m,属高原温带半湿润至半干旱季风气候区,干湿季分明;年均气温8.3℃,最热月(7月)平均气温15.6℃,最冷月(1月)平均气温-0.2℃。研究区海拔由低到高分布的主要植被依次是杨桦林为主的落叶阔叶林、川滇高山栎为主的常绿硬叶阔叶林、高山松为主的亮针叶林、云冷杉为主的暗针叶林,林线以上为高山稀疏垫状植被。研究林地建群种为高山松天然林,调查林地分别位于卡丁沟(94°09.90'E, 29°44.85'N,海拔3 033 m)、米林雪卡村(94°13.47'E, 29°14.48'N,海拔2 919 m)、林芝镇电站旁(94°04.60'E, 29°04.00'N,海拔3 172 m)、八一镇桃花村(94°25.19'E, 29°36.02'N,海拔2 980 m)。

1.2 研究方法

1.2.1 林内取样观察 在2016年3月至2017年10月,每7 d从4个调查地的高山松林采回基部有明显虫粪的有虫球果各5个,在实验室解剖,观察并记录球果内赤松梢斑螟的发育进度和活动情况,确定赤松梢斑螟的年生活史。

1.2.2 饲养观察 形态特征:将野外采集的赤松梢斑螟蛹放在养虫笼中饲养,待其羽化后观察描述形态特征;解剖球果后将老熟幼虫和蛹制作成浸渍标本,在解剖镜下观察描述其形态特征;收集卵并进行特征描述。

成虫期习性:将雌、雄蛹各20头分别置于2个羽化笼中,羽化后将雌雄成虫分别单头放入200 mL烧杯中,用吸持质量分数10%蜂蜜水的棉球饲喂,杯口用纱布罩住,观测雌雄成虫历期,雌雄虫各重复

10 次。再将同日羽化的雌雄成虫配对,每 500 mL 烧杯中放置 1 对,重复 10 次,杯底放 1 个直径 3 cm 吸持蜂蜜水的棉球饲喂,同时放置高山松当年生和前一年生新鲜球果各 1 个,杯口罩纱布,每天从上午 08:00 开始,每隔 2 h 观察记录其补充营养、交尾、产卵等行为及产卵量。

卵期:收集成虫习性观察中同批次产的卵 20 粒,放入培养皿中,室温(15~25 ℃)下保湿培养,每天观察记录卵颜色变化、孵化情况及卵的发育历期。

幼虫期:将上述观察中的初孵幼虫用毛笔转移至当年生和前一年生携带水培枝的高山松球果上,一虫一果,每 4 d 更换水 1 次,每隔 45 d 更换球果水培枝。更换水培枝时,在靠近球果柄基部往端部方向打 1 个深约 1.5 cm、直径 3 mm 的小孔,再将赤松梢斑螟小幼虫移进小孔中,模拟赤松梢斑螟野外的生存环境,待小幼虫完全钻入球果后将水培枝置于实验室外的露台上,每天定时观察记录其排粪情况,球果外有虫粪则视幼虫有取食活动,否则视为幼虫没有取食,一直观察到幼虫化蛹,共观察幼虫 20 头。

蛹期:收集 20 头赤松梢斑螟蛹,单头放入 100 mL 烧杯中保湿培养,其上覆盖 3 cm 厚捣碎的高山松果,杯口罩纱布,置于室外露台上,观察记录赤松梢斑螟的羽化时间,记录蛹的发育历期。野外收集 40 头赤松梢斑螟蛹,放入 30 cm×40 cm×50 cm 的羽化笼中,保湿培养,在室外环境条件下观察记录其羽化情况。

1.2.3 幼虫虫龄的测定 于 2016 年 7 月 10 日至 10 月 20 日及 2017 年 3 月 20 日至 5 月 20 日,在赤松梢斑螟幼虫活动期,每隔 20 d 在样地内采集 10~20 个高山松被害球果,共取样 11 次。于 2016 年 11 月 10 日至 2017 年 3 月 10 日,在赤松梢斑螟幼虫越冬期,每隔 30 d 在样地内采集 5~10 个高山松被害球果,共取样 5 次。将上述有虫高山松球果带回实验室解剖,收集赤松梢斑螟幼虫,用体积分数 40% 的甲醛浸渍液保存,然后在解剖镜下用测微尺测定其头壳宽度。根据杨美红等^[16]和宗世祥等^[17]的方法确定赤松梢斑螟幼虫的龄数,其中 Brooks 指数 = x_n/x_{n-1} ,式中 x_n 和 x_{n-1} 分别表示 n 龄和 $n-1$ 龄赤松梢斑螟幼虫头壳宽的平均值;Grosby 指数 = $(b_n - b_{n-1})/b_{n-1}$,式中 b_n 和 b_{n-1} 分别表示第 n 和第 $n-1$ 个 Brooks 指数。

1.3 数据处理

采用 Excel 2013 和 SPSS 18.0 统计分析软件进行频次分布分析,并绘制频次分布图。

2 结果与分析

2.1 赤松梢斑螟在高山松上的形态特征

成虫:赤松梢斑螟成虫雌雄同型,体长 13~17 mm,翅展 23~28 mm;头长椭圆形,着生灰褐色鳞片;触角丝状,密生短褐色小茸毛;复眼大;喙卷曲,棕黄色,着生细鳞毛,下唇须向上弯曲似香蕉状;第 2 节粗壮,第 2 和第 3 节交接处鳞毛灰白色,第 3 节尖端越过头顶。前翅灰褐色,翅面覆盖黑白相间的鳞片,基横线、内横线由白色鳞片形成,中横线为白色波状纹,内横线与中横线间区的后方域有一新月形白斑,波纹状外横线向翅基伸出 2 个尖突,向翅外缘伸出 1 尖突,中室端脉斑明显;外缘线为黑色点刻相连而成,内侧覆盖白色鳞片。后翅灰白色,缘毛灰色。足黑褐色,着生黑白相间的鳞片;中足胫节端部有 1 个距和 1 个刺,后足胫节端部各有 1 个距和 1 个刺,靠近端部 1/3 位置处有 1 根刺。腹部灰褐色,覆盖白色及褐色鳞片。

幼虫:赤松梢斑螟老熟幼虫体长约 12 mm,头宽约 2.5 mm;头部黑褐色,有光泽。初龄幼虫乳白色,后渐变为淡红色。背中线灰色,前胸气门前毛片上有 2 根刚毛,每节着生 3 对黑色毛瘤,气门线上方靠近背中线处 4 个毛瘤各着生 1 根刚毛,气门线下 2 个毛瘤各着生 2 根刚毛(其中偏向体前的刚毛较短);腹足趾钩单序环式,臀足趾钩双序缺环式。

卵:赤松梢斑螟卵黄白色,圆形,约 0.6 mm×0.3 mm,孵化前颜色变暗发黑。

蛹:赤松梢斑螟蛹为被蛹,化蛹初期体白色,后为淡褐色,即将羽化前黑褐色;蛹体长约 13 mm,宽约 3.5 mm,尾部有 6 根臀棘。

2.2 赤松梢斑螟在高山松上的年生活史

赤松梢斑螟在藏东南高山松上 1 年发生 1 代(表 1),以幼虫在高山松当年生球果内越冬。幼虫于 11 月上旬陆续进入越冬状态,越冬幼虫于第二年 3 月下旬开始活动,取食至 5 月下旬,幼虫期约 300 d;5 月上旬幼虫便进入化蛹阶段,蛹期约 40 d;6 月中旬—7 月上旬为成虫阶段,成虫期约 8 d;卵于 6 月中旬末期开始出现,一直持续到 7 月中旬,卵期约 10 d。

2.3 赤松梢斑螟的生活习性

2.3.1 成虫期 赤松梢斑螟成虫于 6 月中旬开始羽化,羽化盛期为 6 月下旬,末期是 7 月上旬,从野外采集的 40 头蛹的羽化率为 90%(图 1)。大多数赤松梢斑螟白天羽化,其中以上午 10:00 左右羽化

较多。成虫羽化时直接顶破蛹壳爬出，蛹壳遗留在原坑道内，随后穿过蛀道中丝网状通道爬出羽化孔，在排粪孔处停息片刻(约 1 min)，再爬至高山松的小枝上，伸展体躯、抖翅，排出奶状粪便，1.5 h 后跳跃飞行。

表 1 赤松梢斑螟年生活史
Table 1 Life cycle of *D. sylvestrella*

月份 Month 旬	1—3 月 Jan. — Mar.			4 月 Apr.			5 月 May.			6 月 Jun.			7 月 Jul.			8—10 月 Aug. — Oct.			11—12 月 Nov. — Dec.			
	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L	
	(—)	(—)	—	—	—	—	—	—	—	△	△	△	△	+	+	+	●	●	●	●	—	—
虫态 Stage																						

注：U、M、L 分别表示各月的上旬、中旬、下旬；(—)，越冬幼虫，—，幼虫，△，蛹，+，成虫，●，卵。
Note: U, M, L indicate the first, middle and lower ten days of each month, respectively; (—) overwintering larvae, —, Larva, △, Pupa, +, Adult, and ●, Egg.

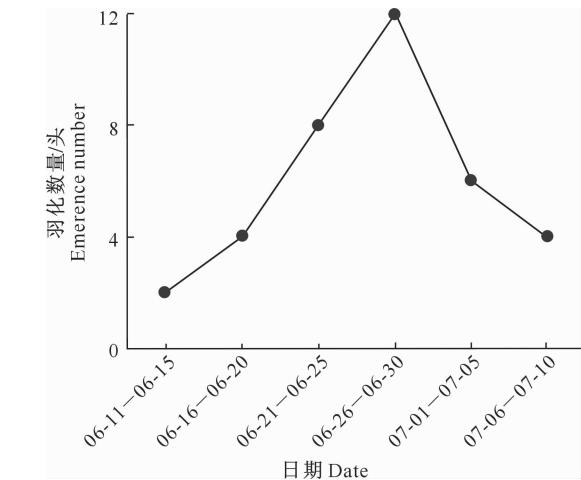


图 1 赤松梢斑螟成虫羽化曲线
Fig. 1 Adult feathering curve of *D. sylvestrella*

观察表明，未交配赤松梢斑螟雌、雄蛾平均寿命分别为 7.80 和 5.20 d(表 2)，成虫羽化当天不交尾，白天时而静伏时而爬行于高山松梢部的针叶上，傍晚飞舞于松梢上寻觅异性；大多数雌虫于次日傍晚交尾，少数在第 3 天晚上交尾；在求偶过程中，雄成虫飞向求偶雌虫停息的枝条，在距离雌虫 50 mm 左右处停息，然后缓慢爬向雌虫，雌虫接受雄虫后以“一”字形交配，交配时间长达 6~9 h。赤松梢斑螟成虫交尾后次日开始产卵，卵产于高山松当年生球果基部，多产在当年生球果基部靠近梢轴处，球果轮生枝基部也有卵；卵以散产为主，可持续 3~5 d，单头雌虫产卵量 20~34 粒，平均(26.60±3.50)粒(n=10)。

表 2 赤松梢斑螟雌、雄成虫寿命
Table 2 Life expectancy of female and male adults of *D. sylvestrella*

性别 Sex	虫数 Number of insects	最长寿命/d Maximum life span	最短寿命/d Minimum life span	平均寿命/d Average life span
雌虫 Female	10	10	6	7.80±0.93
雄虫 Male	10	7	4	5.20±0.81

2.3.2 幼虫期 赤松梢斑螟幼虫在高山松当年生球果内取食、危害、越冬，历期达(300±7) d(n=20)，幼虫无转果危害现象。6 月下旬幼虫陆续孵化，初孵幼虫白天躲在球果基部的缝隙处休息，夜晚蛀食球果基部表面，蛀食面直径达 0.5 cm 时便开始钻蛀危害；被害球果停滞生长或畸形弯曲成弓状，但不会脱落。8 月下旬幼虫取食量增加，排出大量虫粪，取食活动持续至 10 月下旬，11 月上旬幼虫陆续开始越冬。翌年 3 月下旬温度回升后，越冬幼虫逐渐开始活动、取食，被害球果柄可见与丝质相联的新鲜虫粪。幼虫多在夜晚活动，接近老熟时用口器将

虫道内的粪粒搬运至排泄孔处并推出孔外。幼虫在转移粪粒时受到惊扰便会立刻停止工作，迅速退缩回洞内，待平静后又继续工作。幼虫常吐丝连缀粪粒，再与松脂粘连成粪疱。4 月气温升高后，幼虫活动频率增加，4 月上旬越冬幼虫陆续脱皮老熟，蜕皮前 3 d 不食不动，蜕皮 2 d 后开始取食，可见排泄孔处排出虫粪，此时食量增加很快，连续危害取食约 15 d，于 5 月上旬停止活动陆续进入化蛹阶段。
通过观察幼虫排粪情况可知，幼虫排粪量因季节和虫龄不同差异明显。幼虫越冬期不排粪；蛀入球果约 40 d 后可连续 3 d 不排粪，然后经过约 35 d

后 3 d 内不排粪,再经过约 30 d 后 4 d 内不排粪,最后经过约 170 d(含越冬期)后 5 d 内不排粪;气温降至 8℃ 以下幼虫排粪量减少,气温达 5℃ 每天排粪量 2~3 粒,3℃ 以下停止排粪。根据幼虫生长发育习性推测,不排粪期应该是赤松梢斑螟幼虫的蜕皮期。

2.3.3 蛹 期 5 月上旬赤松梢斑螟幼虫开始化蛹,化蛹前老熟幼虫在排粪孔处做蛹室(蛹室长约 2.1 cm),在蛹室内吐丝作一白色椭圆形薄茧,同时在蛀道中吐丝构建丝网状羽化通道,通道孔口邻接羽化洞口。幼虫在茧内头部朝向羽化洞口化蛹,蛹

历期(38.05±3.87) d (n=20)。

2.3.4 卵 期 观察结果发现,在林芝市巴宜区 7 月份室温(15~25℃)条件下,赤松梢斑螟卵的历期为(10.60±1.85) d(n=20)。

2.4 赤松梢斑螟幼虫虫龄的测定

对 194 头不同发育期赤松梢斑螟幼虫的头壳宽度测量值进行频次分布统计,结果表明,头壳宽分布频次有 5 个峰值(图 2),且 Grosby 指数均小于 10%,由 Dyar 定律^[18]推断赤松梢斑螟幼虫有 5 个龄期,各龄期头壳宽见表 3。

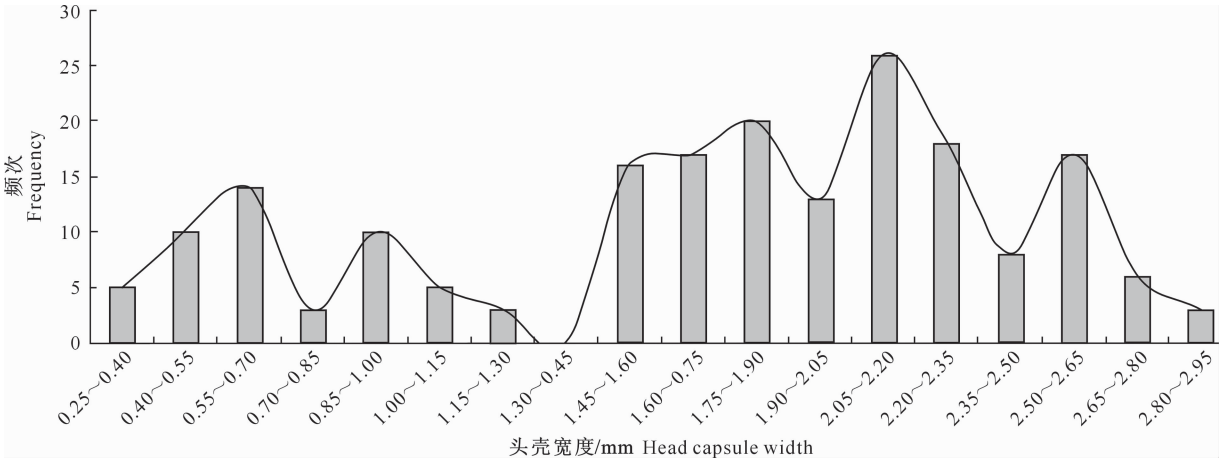


图 2 赤松梢斑螟幼虫头壳宽频次分布

Fig. 2 The frequency distribution of larve head capsule width of *D. sylvestrella*

表 3 赤松梢斑螟幼虫头壳宽测量值及统计分析

Table 3 Measurement and statistical analysis of head capsule width of larvae of *D. sylvestrella*

虫龄 Larva instar	样本数 Samples	头壳宽 Head capsule width		Brooks 指数 Brooks index	Grosby 指数 Grosby index
		测量值/mm Measurement	变异系数 Coefficient of variation		
1	24	0.50±0.13	0.26		
2	26	0.92±0.19	0.21	1.83	
3	31	1.60±0.11	0.07	1.75	-0.04
4	81	2.04±0.20	0.10	1.27	-0.27
5	32	2.60±0.15	0.06	1.28	0.00

3 讨论与结论

在藏东南高山松上,赤松梢斑螟幼虫从当年生健康球果基部蛀入取食,幼虫和蛹在同一个球果内完成发育,无转移危害现象,也未见危害枝梢和枝干;但该虫在东北红松上幼虫从球果中、下部蛀入取食,被害部位具白色透明松脂和褐色虫粪,有转移危害现象,除危害球果外还危害枝梢和幼树树干^[19-20],这说明同种昆虫在不同寄主上所表现的习性存在差异。赤松梢斑螟在藏东南 1 年发生 1 代,以幼虫在高山松当年生球果内越冬,成虫期、卵期、幼虫期和

蛹期分别约 8,10,300 和 40 d,而在东北林区其幼虫期和蛹期分别约 330 和 16 d^[21],这可能是因为东北入冬早,第二年开春气温回升晚,导致赤松梢斑螟幼虫期在东北比在藏东南要长近 1 个月。

本研究发现,每个高山松球果内只有 1 头赤松梢斑螟幼虫,这种严格的一果一虫习性可能与成虫的产卵选择行为有关,这种产卵选择习性应该是其成虫在产卵时释放了寄主标记信息素 HMP^[22-25]。昆虫寄主标记信息素一般由雌成虫产生,其主要生态学功能是调节昆虫的产卵行为,阻止同种或近缘种对已标记寄主的产卵选择,以减少产卵量,从而减

少后代之间对寄主资源的竞争^[26]。

在饲养过程中发现,赤松梢斑螟在室内室温条件能越冬,第二年不能化蛹而逐渐死亡,推测这可能是因为林芝地区冬天野外昼夜温差变化较大,刺激了该虫的正常生长发育。昆虫必须经过越冬才能正常发育多与蜕皮激素相关^[27-29],因此只有在自然环境和室内不同温度条件下,研究该虫发育过程中蜕皮激素水平的变化,才能揭示越冬条件与该虫幼虫发育的关系。

本研究结果表明,藏东南赤松梢斑螟成虫每年6月中旬至7月上旬羽化,其卵、幼虫和蛹生活隐蔽,因此防治该虫应在成虫关键期进行。

[参考文献]

[1] 王平远,宋士美. 中国赤松梢斑螟种团的种类订定 [J]. 昆虫学报,1985,28(3):302-314.
Wang P Y, Song S M. Revision of species about the *Sylvestrella* group of China [J]. Acta Entomologica Sinica, 1985, 28(3): 302-314.

[2] 陆文敏,田 丰,毕湘虹,等. 赤松梢斑螟的研究 [J]. 林业科技,1993,18(3):23-27.
Lu W M, Tian F, Bi X H, et al. Study on *Dioryctria sylvestrella* [J]. Forestry Science & Technology, 1993, 18(3): 23-27.

[3] 冯德刚,姚小平,夏树东. 赤松梢斑螟空间分布型的研究 [J]. 林业科技,1997,22(3):26-28.
Feng D G, Yao X P, Xia S D. Study on the spatial distribution pattern of *Dioryctria sylvestrella* [J]. Forestry Science & Technology, 1997, 22(3): 26-28.

[4] 周 彪,宋小双,毛子军,等. 赤松梢斑螟防治技术的研究 [J]. 防护林科技,2006(6):34-35.
Zhou B, Song X S, Mao Z J, et al. Control techniques of *Dioryctria sylvestrella* [J]. Protection Forest Science and Technology, 2006(6): 34-35.

[5] Piao M H, Chen X X, Lee C Y. The morphology of mature larvae of three species injurious to red pine cone from Korea (Lepidoptera) [J]. Acta Entomologica Sinica, 2002, 45(3): 371-376.

[6] 徐 波,严善春,聂唯良,等. 两种红松种实害虫的生物学特性及危害特征的补充研究 [J]. 林业科学,2010,46(7):188-192.
Xu B, Yan S C, Nie W L, et al. A complementary study on biological characteristics of two species of *Dioryctria* (Lepidoptera: Pyralidae) and their damage to cones and twigs of Korean pine [J]. Forestry Science, 2010, 46(7): 188-192.

[7] 王 琪,严善春,严俊鑫,等. 健康和虫害的红松挥发物对赤松梢斑螟及其寄生蜂寄主选择行为的影响 [J]. 生态学报,2013,33(23):7437-7444.
Wang Q, Yan S C, Yan J X, et al. Effect of volatiles from healthy or worm bored Korean pine on host selective behavior of *Dioryctria sylvestrella* and its parasitoid *Macrocentrus* sp. [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(23): 7437-7444.

[8] 王 琪,严善春,徐 波. 红松的化学防御及冷杉梢斑螟和赤松梢斑螟的生存策略 [J]. 林业科学,2012,48(7):79-85.
Wang Q, Yan S C, Xu B. Two *Dioryctria* species with different survival strategies to adapt to chemical defense of host plant *Pinus koraiensis* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2012, 48(7): 79-85.

[9] 李文华. 西藏森林 [M]. 北京:科学出版社,1985.
Li W H. Tibet forest [M]. Beijing: Science Press, 1985.

[10] 禄树晖,潘朝晖. 藏东南高山松种群分布格局 [J]. 东北林业大学学报,2008,36(11):22-24.
Lu S H, Pan Z H. The distribution pattern of *Pinus densata* populations in southeastern Tibet [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2008, 36(11): 22-24.

[11] 卢 杰,郭其强,郑维列,等. 藏东南高山松种群结构及动态特征 [J]. 林业科学,2013,49(8):154-160.
Lu J, Guo Q Q, Zheng W L, et al. The structure and dynamic characteristics of *Pinus densata* population in southeastern Tibet [J]. Scientia Silvae Sinica, 2013, 49(8): 154-160.

[12] Lu J, Zhang S X, Fang J P, et al. Nutrient fluxes in rainfall, throughfall, and stemflow in *Pinus densata* natural forest of Tibetan plateau [J]. Clean-Soil Air Water, 2017, 45(7): 1-9.

[13] 蔡年辉,许玉兰,白青松,等. 不同种群高山松年生播种苗木生长节律及其变异 [J]. 东北林业大学学报,2013,41(5):11-15.
Cai N H, Xu Y L, Bai Q S, et al. Growth rhythm and variation of seedlings of different populations of *Pinus densata* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2013, 41(5): 11-15.

[14] 杨 冬. 高山松天然更新特性 [J]. 林业科技,2005,30(6):15-17.
Yang D. Natural regeneration characteristics of *Pinus densata* [J]. Forestry Science & Technology, 2005, 30(6): 15-17.

[15] 吴明山,许彦红,王俊峰,等. 因子分析在林地更新评价中的应用:以香格里拉高山松为例 [J]. 西南林业大学学报,2011,31(6):36-44.
Wu M S, Xu Y H, Wang J F, et al. Application of factor analysis in forest land renewal evaluation: a case study of Shangri-La *Pinus densata* [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2011, 31(6): 36-44.

[16] 杨美红,张金桐,宗世祥,等. 榆木蠹蛾幼虫龄数的确定 [J]. 昆虫学报,2012,55(6):710-718.
Yang M H, Zhang J T, Zong S X, et al. Determination of the larvae instar number of the carpenter moth *Holcocerus vicarius* [J]. Acta Entomologica Sinica, 2012, 55(6): 710-718.

[17] 宗世祥,骆有庆,许志春,等. 沙棘木蠹蛾幼虫龄期的初步研究 [J]. 昆虫知识,2006,43(5):626-631.
Zong S X, Luo Y Q, Xu Z C, et al. Preliminary study on the age of larvae of *Eogystia hippophaecolus* [J]. Chinese Bulletin of Entomology, 2006, 43(5): 626-631.

[18] 采万志. 普通昆虫学 [M]. 北京:中国农业大学出版社,2001:263.
Cai W Z. General Entomology [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2001: 263.

[19] 臧 楠. 吉林省梢斑螟属 *Dioryctria* spp. 及其为害红松的 4

- 种梢斑螟生物学研究 [D]. 长春:吉林农业大学,2007.
- Zang N. Studies on the genus *Dioryctria* spp. and the biology of four species on the Korean pine [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2007.
- [20] 董金宝. 赤松梢斑螟的发生危害及防控技术 [J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2010, 23(2): 34-35.
- Dong J B. Occurrence and control technology of *Dioryctria sylvestrella* [J]. Journal of Heilongjiang Vocational Institute of Ecological Engineering, 2010, 23(2): 34-35.
- [21] 周 彪, 邓 勋, 孙家宝, 等. 红松种害虫生物学特性的研究 [J]. 防护林科技, 2006(6): 38-40.
- Zhou B, Deng X, Sun J B, et al. Bionomics of cone and seed insects injurious to *Pinus koraiensis* [J]. Protection Forest Science and Technology, 2006(6): 38-40.
- [22] 李国清, 慕莉莉. 拟寄生蜂搜索产卵过程中对寄主的竞争 [J]. 生态学报, 2006, 26(4): 1261-1269.
- Li G Q, Mu L L. The competition of host parasitoids in the search for spawning process [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(4): 1261-1269.
- [23] 王素琴, 练永国, 康总江, 等. 玉米螟赤眼蜂 (*Trichogramma ostrinae*) 寄主标记信息素和学习经历对产卵行为的影响 [J]. 生态学报, 2007, 27(9): 3910-3915.
- Wang S Q, Lian Y G, Kang Z J, et al. Effects of host marker pheromones and learning experience on oviposition behavior of *Trichogramma ostrinae* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(9): 3910-3915.
- [24] Martin A, Francisco D F. Foraging behavior of *Anastrepha ludens*, *A. oblique* and *A. serpentine* in response to feces extracts containing host marking pheromone [J]. Journal of Chemical Ecology, 2006, 32(2): 367-389.
- [25] 唐晓琴, 臧建成, 任毅华, 等. 藏东南主要针叶林球果害虫种类及危害情况调查 [J]. 中国森林病虫, 2019, 38(1): 31-37.
- Tang X Q, Zang J C, Ren Y H, et al. Investigation on the species and damage of cone pests in the main coniferous forests in southeastern Tibet [J]. Chinese Forest Diseases and Pests, 2019, 38(1): 31-37.
- [26] 陈华才, 程家安. 昆虫寄主标记信息素 [J]. 生态学报, 2005, 25(2): 346-350.
- Chen H C, Cheng J A. Insect host marker pheromones [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(2): 346-350.
- [27] Riddiford L M, Hiruma K, Zhou X, et al. Insights into the molecular basis of the hormonal control of molting and metamorphosis from *Manduca sexta* and *Drosophila melanogaster* [J]. Insect Biochem Mol Biol, 2003, 33(12): 1327-1338.
- [28] 周 娇, 李 娟, 翁 强, 等. 蜕皮激素对昆虫生长及生殖过程的调控 [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(5): 1413-1418.
- Zhou J, Li J, Weng Q, et al. The regulation of ecdysteroid on insect growth and productive processes [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2013, 50(5): 1413-1418.
- [29] 姜 嫻, 张翌楠, 李志强, 等. 蜕皮激素对大麦虫化蛹的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(5): 93-100.
- Jiang Y, Zhang Y N, Li Z Q, et al. Effects of *Zophobas atratus* pupation on feeding ecdysone [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2018, 46(5): 93-100.