



乌鲁木齐板房沟林区天山重齿小蠹生物学特性

焦继鹏 张伟 郭天刚 任利利 俞琳锋 阿地力·沙塔尔

Study on the biological characteristics of *Ips hauseri* in the Banfanggou forest area of Urumqi

Jiao Jipeng, Zhang Wei, Guo Tiangang, Ren Lili, Yu Linfeng, Adil · Sattar

引用本文:

焦继鹏, 张伟, 郭天刚, 任利利, 俞琳锋, 阿地力·沙塔尔. 乌鲁木齐板房沟林区天山重齿小蠹生物学特性[J]. 北京林业大学学报, 2026, 48(9):69–78. doi: 10.12171/j.1000–1522.20260172

Jiao Jipeng, Zhang Wei, Guo Tiangang, Ren Lili, Yu Linfeng, Adil · Sattar. Study on the biological characteristics of *Ips hauseri* in the Banfanggou forest area of Urumqi[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2026, 48(9):69–78. doi: 10.12171/j.1000–1522.20260172

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20260172>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

华北落叶松人工林间伐后9~10年林下天然更新研究

Natural regeneration of *Larix principis-rupprechtii* plantations in 910 years after thinning

北京林业大学学报, 2021, 43(12): 17–28. <https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20200371>

铃斑翅夜蛾形态和生物学特性

Morphological and biological characteristics of *Serrododes campana*

北京林业大学学报, 2026, 48(4): 156–163. <https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20250455>

气候变化背景下光核桃的潜在分布区和生态位变化

Potential distribution area and niche change of *Prunus mira* under context of climate change

北京林业大学学报, 2024, 46(9): 45–56. <https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20230014>

竞争对红松树木的干旱适应性及生长衰退影响

Effects of competition on drought adaptability and growth decline of *Pinus koraiensis* trees

北京林业大学学报, 2022, 44(6): 1–9. <https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20210198>

天山云杉天然林优势高估计方法

Estimation methods for dominant height in natural forest of *Picea schrenkiana* var. *tianschanica*

北京林业大学学报, 2025, 47(12): 48–55. <https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20250299>

基于不同立地等级的天山云杉天然林碳汇潜力

Carbon sink potential of natural forests of *Picea schrenkiana* var. *tianschanica* based on different site grades

北京林业大学学报, 2025, 47(4): 74–81. <https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20240337>

DOI:10.12171/j.1000-1522.20260172

乌鲁木齐板房沟林区天山重齿小蠹生物学特性

焦继鹏¹ 张 伟¹ 郭天刚² 任利利³ 俞琳锋⁴ 阿地力·沙塔尔¹

(1. 新疆农业大学林学与风景园林学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆天山东部国有林管理局乌鲁木齐板房沟分局, 新疆 乌鲁木齐 830002;
3. 北京林业大学林学院, 北京 100083; 4. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

摘要:【目的】明确乌鲁木齐板房沟林区雪岭云杉天然林的蛀干害虫天山重齿小蠹的年生活史、世代发育规律及越冬情况等关键生物学特性, 以期对天山重齿小蠹的精准监测预警与科学防控提供科学依据。【方法】2025 年 5—11 月及 2026 年 4—5 月, 在板房沟雪岭云杉天然林林区, 通过定期解剖林间受害木, 系统观察天山重齿小蠹的发育过程。同时, 在林间用新砍伐的健康云杉木段自然接虫(即诱集小蠹成虫侵入其中), 并以其子代继续接虫(继代接虫), 系统观察其连续世代的发育历程。在越冬期对受小蠹侵害的样木主干、侧枝及根际土壤取样, 调查其越冬虫态以及主要分布场所。【结果】林间定期解剖观察表明, 天山重齿小蠹在研究区域 1 年可完成 2 个世代。林间健康木段自然接虫的观察表明, 天山重齿小蠹完成 1 个世代的发育历期约 30 d; 以其子代继续接虫, 第 2 代亦能顺利完成发育。综合观察表明, 天山重齿小蠹在乌鲁木齐板房沟林区 1 年可完成 2 代, 越冬代成虫于 4 月下旬出蛰扬飞, 5 月上旬侵入产卵, 第 1 代成虫在 6 月下旬出现, 第 2 代成虫在 8 月中旬出现。越冬调查显示, 土壤中越冬虫口数量(772.6 头/株)明显高于树干(87.6 头/株); 至于越冬虫态, 土壤中均为成虫, 树干上则兼有成虫和少量蛹, 其中蛹占树干上越冬虫口数量的 21.9%。【结论】天山重齿小蠹在天山东部板房沟林区的年生活史为 1 年 2 代, 以成虫在土壤越冬为主。研究结果为制定天山重齿小蠹的精准监测与防控策略提供了关键的科学依据。

关键词: 天山重齿小蠹; 雪岭云杉; 年生活史; 越冬; 世代发育; 精准防控; 森林保护

中图分类号: S763.38 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1522(2026)09-0069-10

引文格式: 焦继鹏, 张伟, 郭天刚, 等. 乌鲁木齐板房沟林区天山重齿小蠹生物学特性 [J]. 北京林业大学学报, 2026, 48(9): 69-78. Jiao Jipeng, Zhang Wei, Guo Tiangang, et al. Study on the biological characteristics of *Ips hauseri* in the Banfanggou forest area of Urumqi [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2026, 48(9): 69-78.

Study on the biological characteristics of *Ips hauseri* in the Banfanggou forest area of Urumqi

Jiao Jipeng¹ Zhang Wei¹ Guo Tiangang² Ren Lili³ Yu Linfeng⁴ Adil·Sattar¹

(1. College of Forestry and Landscape Architecture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China;

2. Urumqi Banfanggou Branch, Eastern Tianshan State-owned Forest Administration Bureau, Urumqi 830002, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China;

3. College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

4. Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: [Objective] To clarify the key biological characteristics of *Ips hauseri*, a stem-boring pest in natural *Picea schrenkiana* forests, including its annual life cycle, generational development patterns, and overwintering habits in the Banfanggou area of Urumqi, thereby providing a scientific basis for the precise

收稿日期: 2026-04-11 修回日期: 2026-05-11

基金项目: 新疆维吾尔自治区重点研发计划项目(2026B02001)。

第一作者: 焦继鹏, 讲师。主要研究方向: 森林保护。Email: jiaojipeng@xjau.edu.cn 地址: 830052 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市沙依巴克区农大东路 311 号新疆农业大学林学与风景园林学院。

责任作者: 阿地力·沙塔尔, 教授。主要研究方向: 森林保护。Email: adl1968@126.com 地址: 同上。

本刊网址: <https://j.bjfu.edu.cn>; <https://journal.bjfu.edu.cn>

monitoring, early warning, and scientific control of this pest. **[Method]** Field investigations were conducted from May to November 2025, with supplementary observations in April-May 2026, in the natural spruce forests of Banfanggou. The developmental process was systematically observed through periodic dissection of naturally infested trees in the field. Meanwhile, freshly cut healthy logs of *P. schrenkiana* were exposed in the field for natural colonization by adult bark beetles; their offspring were then used to inoculate additional logs (serial inoculation), and their development across successive generations was systematically monitored. During the overwintering period, samples were collected from tree trunks, lateral branches, and rhizosphere soil to determine overwintering life stages, sites, and spatial distribution of the pest. **[Result]** Regular field dissection revealed that *I. hauseri* completed two generations per year in the study area. Observations on naturally colonized logs showed that the developmental duration for one generation was approximately 30 days; when the emerging offspring were used for further inoculation, the second generation likewise completed its development successfully. Overall, the life cycle in Banfanggou is bivoltine: overwintered adults begin flying in late April and attack in early May, the first-generation adults emerge in late June, and the second-generation adults appear in mid-August. Overwintering surveys indicated that the overwintering abundance in the soil (772.6 individuals per tree) was substantially higher than on the trunks (87.6 individuals per tree). All overwintering individuals in the soil were adults, while those on the trunks consisted of adults and a small proportion of pupae (21.9% of the trunk population). **[Conclusion]** *I. hauseri* exhibits a bivoltine life cycle in the Banfanggou forests of the eastern Tianshan Mountains, overwintering mainly as adults in the soil. These results provide a crucial scientific basis for developing precise monitoring and management strategies for *I. hauseri*.

Key words: *Ips hauseri*; *Picea schrenkiana*; annual life history; overwintering; generational development; precise prevention and control; forest protection

天山山脉作为横亘新疆中部的地理标志,其森林生态系统对于区域水源涵养、水土保持及生态安全格局的维护具有不可替代的战略意义^[1]。雪岭云杉(*Picea schrenkiana*)作为该地区的建群种和绝对优势树种,构成了维系天山生态功能的关键屏障^[2]。近年来,在天山东部林区,出现了天然雪岭云杉林异常枯死的现象,对区域森林健康与生态安全构成了严重威胁。经实地调查,天山东部云杉林的衰退与本土小蠹的猖獗危害密切相关,其中优势种类为天山重齿小蠹(*Ips hauseri*)和天山星坑小蠹(*Pityogenes spessivtsevi*),而天山重齿小蠹为绝对优势种,其危害可导致雪岭云杉树势急剧下降直至枯死^[3]。

天山重齿小蠹隶属于鞘翅目(Coleoptera)象甲科(Curculionidae)小蠹亚科(Scolytinae)齿小蠹属(*Ips*),主要分布于中国新疆天山山脉林区及哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦等中亚国家,是雪岭云杉天然林重要的区域性蛀干害虫^[4]。历史上关于该虫的生物学记载最早见于20世纪60年代,文守易^[5]在哈密林区对其进行了初步调查,记载其生活史在当地为1年发生1代,主要以成虫在土壤中越冬。此外,据欧洲和地中海植物保护组织(EPPO)记载,该虫在海拔2 200~3 200 m的区域1年仅发生1代,而在海拔

1 200~1 400 m的区域1年可发生2代^[6]。近年来,国内外学者围绕天山重齿小蠹的化学生态学(如聚集信息素成分鉴定及引诱剂筛选)^[7]和分子快速鉴定技术研发^[8]等方面开展了部分研究。然而,由于天山林区地形错综复杂、局部小气候差异显著,长期以来关于环境变化对该虫发生规律影响的研究尚缺乏系统深入的探讨,对该虫生活史的认知仍多局限于早期的历史记载,尤其是缺乏在全域气候变暖大背景下对其世代分化的系统实证。

近年来,受全球气候变化影响,干旱等极端气候事件频发,导致林木生长势减弱,生态系统稳定性下降,进而引发了小蠹等蛀干害虫的暴发成灾^[9-10]。全球范围内的大量研究^[11]已证实,气候变暖通过直接影响昆虫的发育、繁殖和生存,成为小蠹暴发成灾的重要驱动力。温度升高能缩短小蠹的发育周期、增加其年世代数。例如,针对云杉八齿小蠹(*I. typographus*)的研究^[12-13]表明,气候变暖已促使其由1年1代向多代转化,这成为其在欧洲危害加剧的直接原因。针对北美山松大小蠹(*Dendroctonus ponderosae*)的研究^[14-15]表明,在气候变暖驱动下,其部分种群已出现由1年1代向1年2代转化的现象,这种世代数的增加是其种群暴发成灾的重要内因。据前人研究^[5]记载,天山重齿小蠹的年生活史为1

年1代;然而,本研究团队的前期观察显示,在当前气候背景下,其年生活史可能已转变为1年2代。这种世代数的显著变化,是导致小蠹种群数量激增、危害加剧的直接内因。然而,这一关键生物学现象尚未经系统、严谨的科学实证。因此,厘清天山重齿小蠹在气候变暖背景下的世代分化情况,是揭示天山东部云杉林天山重齿小蠹灾害暴发机制的核心科学问题。

在此背景下,本文以新疆天山东部国有林管理局乌鲁木齐板房沟分局林区为研究区域,以天山重齿小蠹为具体研究对象,拟通过野外监测与室内实验相结合,绘制天山重齿小蠹的年生活史图谱,实证其世代分化现象,并揭示其越冬生态等关键生物学特性,以期完善其暴发成灾机制理论提供直接证据,也为提升虫灾监测预警的精准性与防控措施的有效性评估提供科学基础。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于新疆天山东部国有林管理局乌鲁木齐板房沟分局辖区,地处天山中-东段北坡。根据研究内容分设两处试验地:世代发育观测在东白杨沟(43°25'24"N, 87°14'09"E, 海拔约1 832 m),越冬调查在同一分局的水西沟(43°26'43"N, 87°30'43"E, 海拔约1 800 m),两地相距约20 km,生境基本一致。区内属温带大陆性山地气候,植被为雪岭云杉天然纯林,林相整齐,林分结构较均一;土壤为山地灰褐色森林土,土层较厚,枯枝落叶层发育良好。林木胸径多为15~30 cm,树高多为12~18 m,试验地坡向为半阴坡(偏北),坡度约25°。近年受小蠹持续危害,林分整体呈中度至重度受害状态,具典型的天山重齿小蠹危害及越冬虫害木空间分布特征。

1.2 研究方法

1.2.1 林间样木定期解析观察天山重齿小蠹世代发育历程

为完整覆盖天山重齿小蠹1个自然年的世代发育历程,本研究分别于2025年5月21日至9月5日,以及2026年越冬成虫开始出蛰时,于2026年4月20日至5月26日,开展林间补充观测。每6 d在试验地现场随机选取5株受害木,在每株样木的树干基部(距地面0~2 m高度范围内),使用剥皮刀划取3块面积均为20 cm×30 cm的矩形样方。剖开样方树皮,观察并记录天山重齿小蠹的虫态、数量、坑道形态结构及危害特征。为辅助分析林间虫态发育与温度的关系,2026年在东白杨沟试验地林内架设自动气象站1台(型号:JD-QC10-D),连续记

录林间气温,记录间隔约5 h,记录时段为5月初至6月初。

在林间样木解剖与世代发育观察过程中,天山重齿小蠹成虫的鉴定主要依据形态学特征,参照《中国经济昆虫志(第二十九册:鞘翅目 小蠹科)》^[16]进行鉴定。鉴于雪岭云杉林内可能存在多种小蠹混发,且小蠹幼虫及蛹的形态特征难以直接区分,本研究对幼虫和蛹的鉴定主要依据坑道系统结构特征,并结合同一坑道系统内共存的、已明确鉴定的成虫进行综合判定。

1.2.2 林间健康木段自然接虫后解剖观察天山重齿小蠹的世代发育历程

为精准揭示天山重齿小蠹在林间的世代发育规律及其年生活史动态,本研究采用林间健康木段自然接虫与系统解剖观察相结合的方法,通过分阶段布设木段接虫、定期解剖记录虫态,系统追踪了该虫从卵至成虫的完整发育历程及各虫态发育历期;并辅以继代饲养,即将当季新羽化的成虫转接至新鲜健康木段,继续追踪其子代的发育,以验证该虫在越冬前、于当季连续完成多个世代发育的情况(即生长季内世代间不经滞育的连续性),并据此确认其越冬前完成的世代数(图1)。

本研究中的“自然接虫”特指:在成虫扬飞期于林间布设新鲜健康的雪岭云杉木段作为饵木,完全依靠林间自然扬飞的成虫凭借寄主挥发物自主搜寻、定位并聚集侵入,从而在木段内自然建立子代种群,全程不进行人工接入成虫。

1.2.2.1 健康木段布设与自然接虫

于2025年6月16日,在天山东部国有林管理局乌鲁木齐板房沟分局东白杨沟试验地林间,布设26根新鲜砍伐的健康、无虫害雪岭云杉木段(胸径10~20 cm,长度1 m)作为饵木,以诱引林间扬飞的成虫前来侵入、产卵(图2)。此时林间受害木解剖可见第1代的卵、幼虫和蛹,表明越冬代成虫仍处于持续扬飞、侵入阶段,故本批饵木所诱集的成虫主要为仍在扬飞的越冬代成虫,即上一年以成虫越冬,于当年春季出蛰扬飞的个体,为当年最早活动并引发新一轮侵入繁殖的虫源,其后代为第1代。经4 d自然诱集后,木段已被成虫大量侵入,平均每段约29.4个侵入孔,合计近765个,侵入孔以具新鲜蛀屑外排的钻蛀孔为准计数。随即将全部木段移至山下管护所院内露天置放(管护所海拔约1 687 m,与林间试验地海拔落差145 m),用石蜡密封两端切口以减缓水分散失、保持近自然状态,并将所有木段套上细密网纱。

于2025年7月21日,按上述方法再次在林间

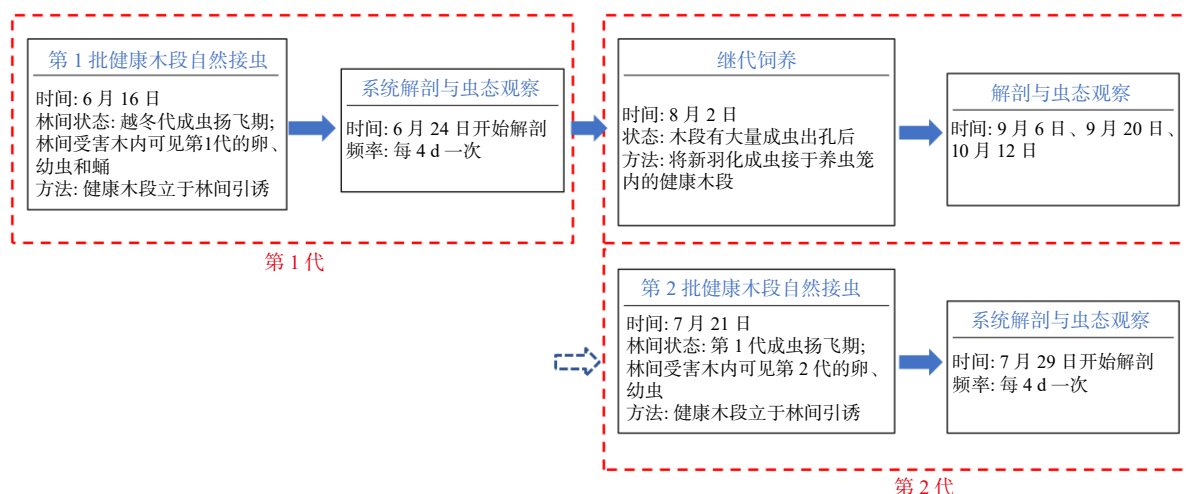


图1 林间健康木段自然接虫解剖观察流程示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the process of dissection and observation of naturally infested logs in the forest



a 林间布设木段

b 天山重齿小蠹成虫在林间布设的木段上钻蛀侵入

图2 林间布设木段及接虫

Fig. 2 Field placement of logs and natural infestation

布设 22 根健康饵木进行自然接虫。此时林间受害木内可见第 2 代的卵、幼虫和第 1 代成虫,故本批饵木所诱集的成虫主要为第 1 代成虫。经 4 d 自然诱集后,木段被侵入情况为平均每段约 9 个侵入孔,合计近 198 个,随即按上述方法移至管护所院内露天置放并作相同处理。

1.2.2.2 接虫木段的系统解剖与虫态观察

观察起始时间:分别以 2 批接虫木段上成虫集中蛀入的日期作为观察起点,即第 1 批木段起始时间为 6 月 20 日,此时为越冬代成虫的蛀入与产卵期;第 2 批木段起始时间为 7 月 25 日,此时为第 1 代成虫的蛀入与产卵期。

观察方法:自上述起始时间起,每 4 d 作为一个观察周期。在每个周期内,从对应批次的木段中随机选取不同木段,使用剥皮刀划取 5 块面积均为 20 cm × 30 cm 的矩形样方。剖开样方树皮,系统观察并记录天山重齿小蠹的虫态、数量、坑道形态结构及危害特征。

1.2.2.3 继代饲养

当观察到 6 月 16 日接虫的木段中有大量成虫出孔后(2025 年 8 月 2 日),将羽化的子代成虫人工转移至 5 个养虫笼(规格:60 cm × 60 cm × 80 cm)中,并在每个养虫笼内放入 1 段新砍伐的健康雪岭云杉木段(胸径 10 ~ 20 cm,长度 50 cm),供其自然侵入和产卵,定期解剖观察内部虫态及发育情况。

1.2.3 天山重齿小蠹越冬情况调查

1.2.3.1 主干及侧枝越冬虫口数量调查

2025 年 11 月初,在天山东部国有林管理局乌鲁木齐板房沟分局水西沟试验地随机选取 5 株受害程度不同的雪岭云杉作为样木(针叶全绿至全灰)。将每株样木自树干基部伐倒,对其主干进行分段:沿主干纵向,每隔一定高度截取长 1 m 的标准木段,具体包括:0 ~ 1 m、4 ~ 5 m、7 ~ 8 m、10 ~ 11 m、13 ~ 14 m、16 ~ 17 m 及 19 ~ 20 m 等位置。将所有木段带回实验室,由表及里,先树皮外后木质部,逐一解剖所有木段的树皮,全部进行细致解剖观察,详细记

录虫态及虫口数量。同时,对树冠部分进行调查:将每株样木的树冠纵向均分为上、中、下 3 个区间,于每个区间中部在南北方向各选取 1 条完整侧枝,解剖侧枝树皮,详细记录虫口数量与虫态。基于分段解剖结果,按取样木段累计长度与主干总长度的比例,将各样木取样木段的活虫数换算为单株主干虫口数量估算值,再取 5 株的平均值。

$$\overline{N}_{\text{trunk}} = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 \left(\sum_{i=1}^7 n_{ji} \right) \times 3$$

式中: $\overline{N}_{\text{trunk}}$ 为 5 株样木主干的越冬虫口数量均值(头/株), n_{ji} 为第 j 株样木第 i 标准木段的活虫数(头)。

1.2.3.2 根际土壤越冬虫口数量调查

为查明天山重齿小蠹越冬成虫在水平方向上远离树干距离的分布格局并兼顾方位差异,同时参照该虫土壤越冬范围的历史记载^[5],本研究以上述 5 株样木的树干基部为中心,沿东、南、西、北 4 个方向,分别于距树干基部 0.5、1.0、1.5 m 处各设 1 个取样点(间距 0.5 m 等距同心布设),每株样木周边共设 12 个取样点(图 3)。在每个取样点划定面积为 80 cm² 的取样方(10 cm × 8 cm),自地表向下依次分层挖取 0~10 cm 与 10~20 cm 两层土壤,每层体积均为 800 cm³。先整体取出 0~10 cm 表层土,再向下挖取 10~20 cm 下层土,两层依次采集,互不重叠;各虫体依据其实际所处深度归入相应土层,不重复计数。将全部土样带回实验室,采用人工手拣法收集其中的天山重齿小蠹成虫并记录数量,同一取样点两层的虫数合计即为该点 0~20 cm 土层的越冬虫口数量。土壤虫口数量统计范围为树干基部方圆 1.5 m(面积约 7 m²,即 70 000 cm²)。先计算各样木

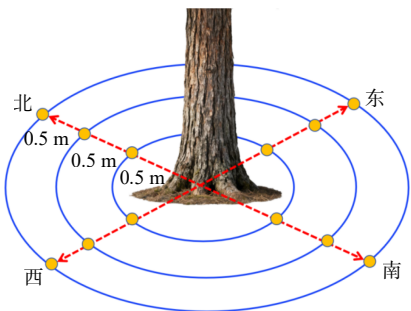


图 3 土壤取样采集越冬成虫示意图
Fig. 3 Schematic diagram of soil sampling for overwintering adults

所有取样点的平均虫口密度,再乘以该统计面积得到单株土壤虫口数量估算值,取 5 株平均值。

$$\overline{N}_{\text{soil}} = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 (\overline{\rho}_j \times 70\,000)$$

式中: $\overline{N}_{\text{soil}}$ 为 5 株样木根际土壤的越冬虫口数量均值(头/株); $\overline{\rho}_j$ 为第 j 株样木各取样点的平均虫口密度(头/cm²),即各取样点虫口数量的平均值除以取样面积(80 cm²)。

2 结果与分析

2.1 林间样木定期解剖观察天山重齿小蠹世代发育历程

为弥补 2025 年观测早期的数据空白,2026 年的补充解剖试验进一步明确了越冬代成虫出蛰后的早期繁殖情况。于 2026 年 4 月下旬首次监测到越冬代成虫扬飞,标志着其越冬期结束并进入活动期。综合系统解剖观察,林间天山重齿小蠹的各虫态均呈现两个明显的集中发生阶段(表 1)。第 1 代的发育过程始于 5 月上旬,各虫态的出现时间分别为卵最早于 5 月 8 日出现(2026 年 5 月 8 日及 2025 年 5

表 1 林间样木定期解剖观察天山重齿小蠹各世代虫态发生时间

Tab. 1 Occurrence timeline of *Ips hauseri* life stages across generations based on periodic dissection of sample trees in the forest

世代	5月			6月			7月			8月			9月
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬
越冬代	+	+	+	+	+								
第1代	•	•	•	•	•	—							
			—	—	—	—	△	△	△				
						+	+	+	+				
第2代									•	•	•		
									—	—	—	—	—
											△	△	△
												+	+

注: •为卵; —为幼虫; △为蛹; +为成虫。

月 21 日均观察到卵), 其发生阶段持续至 6 月 12 日; 幼虫最早于 5 月 26 日出现(2026 年 5 月 26 日及 2025 年 5 月 28 日均观察到幼虫), 其发生阶段持续至 6 月 22 日; 蛹最早于 6 月 12 日出现, 其发生期持续至 7 月 4 日; 成虫最早出现时间为 6 月 22 日, 其发生阶段持续至 7 月 23 日。第 2 代的发育自 7 月中旬开始, 各虫态的出现时间分别为卵最早于 7 月 19 日出现, 其发生阶段持续至 8 月 5 日; 幼虫最早于 7 月 19 日出现, 其发生阶段持续至 8 月 30 日; 蛹最早见于 8 月 11 日, 成虫最早见于 8 月 30 日; 至本阶段末次取样(9 月 5 日)时, 林间仍可见蛹与成虫。

在 2026 年的补充观测中, 第 1 代卵始见于 5 月 8 日, 初孵幼虫始见于 5 月 26 日, 卵至初孵幼虫的间隔为 18 d。同期林间气象站记录显示(图 4): 5 月 8—10 日日均气温约 18.0 ℃, 5 月 11 日起气温骤降, 5 月 11—20 日日均气温降至约 5.7 ℃, 期间多次出现夜间负温(最低-1.7 ℃, 见于 5 月 16 日); 在 5 月 11—26 日卵的孵化窗口内, 16 d 中有 13 d 日均气温低于 10.6 ℃, 至 5 月下旬气温逐步回升。综合上述气温动态与卵期观测, 第 1 代卵的孵化窗口内持续低温并伴夜间负温, 致使胚胎发育显著放缓, 卵

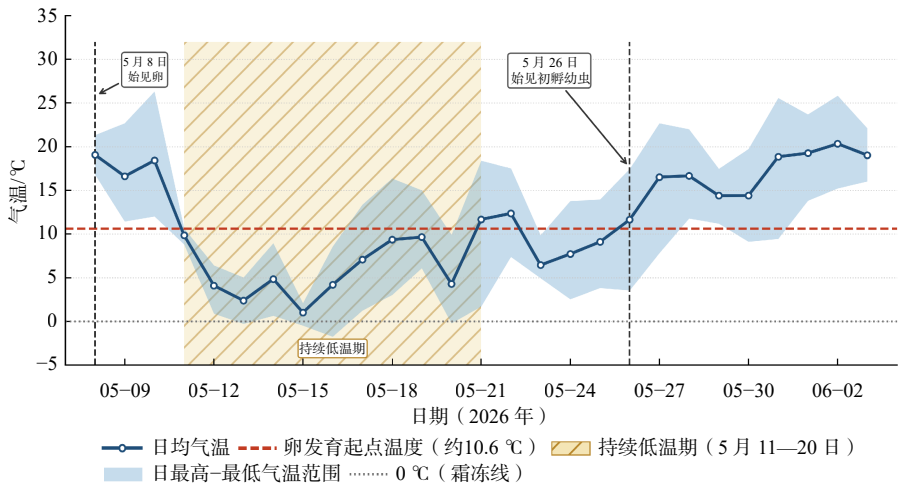
期延长, 孵化推迟, 卵至初孵幼虫的间隔长达 18 d。

2.2 林间健康木段自然接虫后解剖观察天山重齿小蠹的世代发育历程

2.2.1 第 1 批自然接虫木段的解剖观察

对第 1 批林间健康木段进行自然接虫后的系统解剖观察结果表明, 自成虫蛀入木段起始计算(6 月 20 日), 至第 4 天时在坑道内首次观察到卵, 第 8 天发现初孵幼虫, 幼虫持续发育, 至第 16 天观察到蛹, 第 24 天树皮可见新羽化的成虫(表 2, 图 5)。然而, 新羽化的子代成虫并未立即飞出, 而是在树皮下进行了一段时间的补充营养, 直至蛀入后的第 30~32 天(即 7 月 20—22 日期间), 才观察到成虫陆续出孔。因此, 从亲代成虫蛀入产卵到子代成虫发育成熟并钻出羽化孔飞出, 在本试验的院内环境条件下, 天山重齿小蠹完成 1 个完整世代的历期约为 30 d。

为验证该虫能否在同一生长季内连续完成多个世代的发育(即生长季内世代间的连续性), 本研究进一步观察了继代情况。第 1 批接虫木段中, 7 月 14 日树皮下已可见新羽化成虫, 至 7 月 20—22 日成虫开始陆续出孔, 至 8 月 2 日大量成虫出孔后, 随即将其转接新鲜健康木段, 开展继代饲养试验。后



卵的起点发育温度参照近缘种云杉八齿小蠹*I. typographus*^[17]。

图 4 2026 年 5 月 8 日至 6 月 3 日东白杨沟试验地林间逐日气温动态

Fig. 4 Daily air temperature at the Dongbaiyanggou plot from 8 May to 3 June 2026

表 2 第 1 批自然接虫木段中天山重齿小蠹虫态出现与蛀入天数的关系

Tab. 2 Relationship between the occurrence of *I. hauseri* life stages and days since gallery initiation in the 1st batch of naturally infested logs

虫态	蛀入天数/d							
	4 (6月24日)	8 (6月28日)	12 (7月2日)	16 (7月6日)	20 (7月10日)	24 (7月14日)	28 (7月18日)	32 (7月22日)
卵	√	√						
幼虫		√	√	√	√	√	√	
蛹				√	√	√	√	√
成虫						√	√	√



A 为钻蛀侵入孔; B 为咬蛀交配室; C 为卵; D 为坑道系统和幼虫; E 为蛹; F 为蛹和新羽化成虫。

图 5 林间健康木段自然接虫的天山重齿小蠹世代发育过程
Fig. 5 Developmental process of *I. hauseri* generations in naturally infested healthy logs

续解剖观察发现,至 9 月 6 日,新接虫木段内已出现新羽化的下一代成虫,未见成虫出孔;至 9 月 20 日,部分成虫仍滞留于树皮未出孔;至 10 月 12 日,大部分成虫已出孔,但仍有少量成虫滞留树皮。因此,林间健康木段自然接虫后解剖观察证实,天山重齿小蠹在当季可完成 2 个世代的发育。

2.2.2 第 2 批自然接虫木段的解剖观察

对第 2 批林间健康木段进行自然接虫后的系统

表 3 第 2 批自然接虫木段中天山重齿小蠹虫态出现与蛀入天数的关系

虫态	蛀入天数/d								
	4 (7月29日)	8 (8月2日)	12 (8月6日)	16 (8月10日)	20 (8月14日)	24 (8月18日)	28 (8月22日)	32 (8月26日)	36 (8月30日)
卵	√	√							
幼虫		√	√	√	√	√			
蛹				√	√	√	√	√	
成虫						√	√	√	√

解剖观察结果表明,自成虫蛀入木段起始计算(7 月 25 日),至第 4 天时坑道内首次观察到卵,第 8 天发现初孵幼虫,幼虫持续发育,至第 16 天观察到蛹,第 24 天树皮可见新羽化的成虫(表 3)。

2.3 天山重齿小蠹在雪岭云杉主干和土壤中的越冬情况

对 5 株云杉样木进行了系统解剖及树干周边土壤的虫口数量调查,经虫口数量推算,每株样木主干上天山重齿小蠹的平均数量为 87.6 头(包括成虫和蛹),每株样木方圆 1.5 m 范围的(约 7 m²)土壤中,天山重齿小蠹的平均数量为 772.6 头,距离树干 0.5 m、1.0 m 和 1.5 m 处土壤中的虫口数量分别占土壤中虫口总数的 30.4%、41.3% 和 28.3%。因此,越冬期调查显示,天山重齿小蠹的虫口数量在土壤中的数量远高于主干,二者比例约为 8.82:1。

在越冬虫态方面,土壤中发现的越冬个体全部为成虫,而在主干上越冬的各虫态中,成虫占 78.1%,此外还存在 21.9% 的蛹,具体形态如图 6 所示。而在雪岭云杉的侧枝上未发现天山重齿小蠹。

2.4 天山重齿小蠹的年生活史

林间受害云杉的定期解剖显示,在板房沟林区,天山重齿小蠹 1 年出现了 2 个明显的世代。结合林间健康木段自然接虫后的解剖观察及继代饲养试验结果,明确天山重齿小蠹在板房沟林区 1 年可发生 2 代(表 4)。越冬代成虫于 4 月下旬出蛰扬飞;5 月上旬,越冬成虫侵入雪岭云杉,在其中咬蛀交配室并交尾,5 月上旬开始出现第 1 代卵,5 月下旬至 7 月中旬为第 1 代幼虫期,幼虫于 6 月中旬开始化蛹,6 月下旬开始出现第 1 代成虫。7 月中旬出现第 2 代卵,7 月中旬至 8 月下旬为第 2 代幼虫期,8 月上旬开始出现第 2 代蛹,第 2 代成虫于 8 月中旬开始出现,成虫于秋冬季开始越冬。

3 讨 论

3.1 气候变暖背景下天山重齿小蠹年世代数的增加

本研究通过连续 2 个年度的林间系统解剖观测,



A 为树皮越冬的成虫；B 为树皮越冬的蛹；C 为土壤中越冬的成虫

图 6 主干和土壤中的天山重齿小蠹越冬虫态

Fig. 6 Overwintering life stages of *I. hauseri* in trunks and soil

表 4 乌鲁木齐板房沟林区天山重齿小蠹的年生活史和世代发育（2025—2026 年）

Tab. 4 Annual life cycle and generational development of *Ips hauseri* in Banfanggou forest area, Urumqi (2025–2026)

世代	5月			6月			7月			8月			9月			10月至 次年4月
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	
越冬代	+	+	+	+	+	+										
第1代	●	●	●	●	●	●										
			—	—	—	—	—	—								
					△	△	△	△	△							
第2代						+	+	+	+							
							●	●	●							
							—	—	—	—	—	—				
										△	△	△	△			
											+	+	+	+	+	+

注：●为卵；—为幼虫；△为蛹；+为成虫。本表为综合林间样本定期解剖(表1)、林间接虫观察(表2、表3)与继代饲养结果绘制的整体发生期；越冬代成虫于4月下旬已开始出蛰扬飞，本表自5月起绘制。

完整覆盖了天山重齿小蠹 1 个自然年的发育历程，证实天山重齿小蠹在板房沟林区 1 年可完成 2 代，而历史记载该虫在天山林区为 1 年完成 1 代^[5]。造成这一世代数差异的原因，可能与温度相关的两方面因素有关：一是历史调查样地与本研究样地在海拔、坡向等地理条件上可能存在差异，由此引起的局域温度异质性可形成世代数的空间差异；二是近年来天山东部山区气候呈显著的“暖干”趋势，其增温速率高于全疆乃至全国和全球平均水平，降水偏少，升温可直接缩短该虫的发育历期，增加其年世代数。这一结果与欧洲对云杉八齿小蠹的研究相吻合，已有研究^[12–13,18]证实，气候变暖可显著缩短云杉八齿小蠹的发育历期，使其由 1 年完成 1 代向多代转变，从而加剧危害，提示天山区域的增温可能对该虫的生活史产生了类似影响。

值得注意的是，年世代数并不会随积温升高而无限增多，而是受温度与光周期的共同调控。夏末秋初日照缩短是触发云杉八齿小蠹进入滞育的关键环境信号^[13]。本研究中，第 2 代成虫于 8 月中下旬

羽化，此时板房沟林区已入初秋，光周期明显缩短，受其调控，新羽化成虫不再交配产卵。但在气候持续变暖的背景下，越冬成虫的春季出蛰与扬飞将进一步提前，有效积温的累积亦随之加快，单世代发育历期相应缩短^[12–13]；这种物候的整体提前可能使该虫未来的年世代数进一步增加。

温度对该虫发育进程的调控具有双向性，增温缩短历期，短期低温则延缓发育。本研究 2026 年的补充观测即为例子，第 1 代卵历经 5 月中下旬的持续低温后，迟至 5 月 26 日才孵化，卵至孵化的间隔长达 18 d(图 4)。已有研究^[17]表明，在近缘种云杉八齿小蠹的各未成熟虫态中，卵的发育起点温度最高(约 10.6 ℃，高于幼虫的 8.2 ℃ 与蛹的 9.9 ℃)，即卵期对低温最为敏感。本研究中卵的孵化窗口内气温多数时段低于该阈值并伴有夜间霜冻，胚胎发育因此显著放缓乃至停滞，致使卵期延长、孵化推迟。这一现象与前文增温缩短发育历期相互印证，表明温度对天山重齿小蠹的发育速率具有直接而灵敏的调控作用，也进一步凸显了开展室内控温试验、精确测

定各虫态发育起点温度与有效积温常数的必要性。

3.2 天山重齿小蠹发育历程与世代界定

本研究林间系统观测发现,第1代成虫最早于6月22日出现,而第2代卵于7月19日才首次被观察到,二者间隔达28 d。结合接虫木段的解剖结果与小蠹生物学特性,该间隔主要源于新羽化成虫的补充营养阶段。解剖中可见,成虫羽化后并不立即出孔,而是在原坑道系统及其附近取食,留下明显取食痕迹;第一批接虫木中,7月14日树皮已出现新羽化成虫,但至7月20—22日才陆续出孔。这与EPPO的记载^[6]一致,即天山重齿小蠹新羽化成虫须在树皮经历补充营养期,以促进生殖系统发育成熟。因此,上述28 d间隔实质上是新一代成虫羽化后于树皮补充营养、继而寻偶交配并产卵的过程。

在确认该虫1年2代的基础上,本研究结合林间诱捕与解剖观测对世代重叠问题进行了判定。越冬代成虫的出蛰与扬飞具有一定延续性,林间部分活动较晚的越冬代成虫与6月下旬羽化的第1代成虫在时间上存在一定程度的世代重叠,这也使林间诱捕器在5—8月上旬持续诱到扬飞成虫。但第1代与第2代成虫之间界限清晰:林间诱捕结果显示,8月初扬飞成虫已降至极低水平,表明第1代成虫基本完成蛀入产卵;而院内连续解剖结果表明,第2代成虫于9月中下旬才出孔。

3.3 天山重齿小蠹以土壤为主的越冬格局

越冬调查结果表明,天山重齿小蠹在土壤中的越冬虫口数量明显高于树干,其中土壤中占越冬虫口数量的89.8%,树干上占10.2%,土壤中越冬个体全部为成虫,树干上除成虫外还有蛹(占树干越冬虫口总数的21.9%)。这一空间格局具有明确的生态适应意义:土壤可有效缓冲冬季极端低温与温度波动,提供相对稳定的微环境,从而降低越冬死亡率^[19]。以土壤为主的越冬策略,与云杉八齿小蠹等多种小蠹在寒冷地区多选择土壤、枯落层等隐蔽场所越冬的习性一致,是昆虫适应不良环境的重要对策^[20-21]。Annala的研究^[20]表明,云杉八齿小蠹主要在积雪下的苔藓层或倒木中越冬,极少在立木内越冬。究其原因,积雪覆盖下的苔藓层微气候稳定,地表以下约7 cm处温度约0℃,冬季波动仅1~2℃,可显著提高越冬存活率,其成虫在土壤中越冬的死亡率仅2%~7%,而在立木中越冬死亡率则高达65%~100%;幼虫和蛹虽也可在树皮越冬,但通常难以存活。这一存活率差异为本研究的结果提供了合理解释,天山重齿小蠹主要以成虫状态在土壤中越冬,正是对上述选择压力的适应策略。据此亦可对越冬

虫态的构成作出合理判断:本研究于11月初调查时,虽在主干树皮观察到少量蛹,但参照上述近缘种幼虫和蛹在树皮越冬存活率极低的规律,可以推断这部分滞留树皮下的蛹难以成功越冬并参与次年繁殖;因此,在绘制年生活史(表4)时,10月至次年4月的越冬期内仅列出成虫,而未将蛹计入。

3.4 对精准防控的启示与研究展望

本研究为制定精准防控策略提供了依据:基于已明确的年生活史,防治关键期应聚焦于春季成虫扬飞盛期,于该期集中布设信息素诱捕器或喷施触杀性药剂,可有效降低越冬代成虫的侵入成功率。此外,鉴于该虫主要以成虫在土壤中越冬,可在冬季至早春对林地土壤环境采取干预措施,直接压低越冬成虫基数,从源头控制次年虫源数量。

本研究在方法与尺度上存在的局限性主要体现在以下几个方面:木段移至管护所后的微环境差异可能影响发育进程;野外定期解剖的观测间隔限制了各虫态发生起点的精确判定;土壤取样半径(1.5 m)可能未能完全涵盖越冬分布边界;主干分段取样未严格遵循等距系统抽样原则,且未引入有效树皮面积等单株形态指标。此外,研究范围集中于板房沟单一林区,尚未系统评估海拔、坡向、林龄等因子对该虫生活史节律的差异影响,也未测定土壤与树干中越冬种群的存活率。基于上述局限,未来研究可从以下方面深入:一是布设跨海拔、跨坡向、跨林龄(径级)的梯度样地,结合多年度连续监测与室内控温试验,系统比较上述因子对该虫世代数、发育历期、种群密度与危害程度的影响,以明确本研究揭示的1年2代现象是局域特征还是种群对气候变暖的普遍适应性响应,从而为气候变暖背景下森林害虫的暴发机制提供更坚实的依据;二是通过室内控温试验精确测定各虫态的发育起点温度与有效积温常数,结合当地气象资料构建发生期预测模型,为精准防控提供定量依据;三是在越冬前后系统取样,比较土壤与树干中越冬种群的存活率;四是遵循等距系统抽样原则并引入样木形态指标,构建基于有效树皮面积的虫口估算模型,以实现越冬种群数量的精确量化。

4 结 论

本研究针对气候变暖背景下天山重齿小蠹的世代分化这一关键科学问题,通过系统观测证实天山重齿小蠹在新疆天山东部乌鲁木齐板房沟林区1年可完成2代;其单世代发育历期在接虫试验条件下约30 d,但受夏末短日照诱导滞育的限制,现阶段自然条件下年世代数为2代,未来持续增温可能进一

步影响其世代发育节律。研究进一步明确土壤为其主要越冬场所,土壤中越冬虫口占89.8%,明显高于树干(10.2%);越冬虫态方面,土壤中越冬个体全部为成虫,树干上则兼有成虫与少量蛹(蛹占树干越冬虫口的21.9%)。本研究成果为准确预测该害虫的发生期、制定以降低越冬虫源基数为目标的精准防控策略提供了科学依据。

参 考 文 献

- [1] 兰洁, 雷相东, 张毓涛. 天山中部雪岭云杉林多功能权衡与协同关系[J]. 林业科学, 2019, 55(11): 9–18.
Lan J, Lei X D, Zhang Y T. Analysis on trade-offs and synergies of multiple functions of *Picea schrenkiana* forests in central Tianshan Mountains [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2019, 55(11): 9–18.
- [2] 刘贵峰, 丁易, 臧润国, 等. 天山云杉种群分布格局[J]. 应用生态学报, 2011, 22(1): 9–13.
Liu G F, Ding Y, Zang R G, et al. Distribution patterns of *Picea schrenkiana* var. *tianshanica* population in Tianshan Mountains [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(1): 9–13.
- [3] 张学会, 李笑宇, 阿不都艾则孜·买提卡斯木, 等. 新疆天山东部雪岭云杉小蠹种类及危害调查[J/OL]. 北京林业大学学报, 2026. [2026–08–21]. DOI: 10.12171/j.1000-1522.20250409.
Zhang X H, Li X Y, Abuduaizezi Maitiqiasimu, et al. Investigation on the species and harm of bark beetle on *Picea schrenkiana* in the Forestry Administration Bureau of the eastern Tianshan Mountains in Xinjiang, China[J/OL]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2026. [2026–08–21]. DOI: 10.12171/j.1000-1522.20250409.
- [4] Fan Y H, Dai L L, Gao H M. Gallery architecture and reproductive strategy of *Ips hauseri* (Coleoptera: Curculionidae) in a *Picea schrenkiana* forest: implications for population dynamics under outbreak conditions [J]. *Insects*, 2026, 17(3): 238.
- [5] 文守易. 哈密林区小蠹虫种类初步调查和防治意见[J]. 新疆农业科学, 1962(11): 456–457, 446.
Wen S Y. Preliminary investigation on the species of bark beetles in Hami forest area and suggestions for control [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 1962(11): 456–457, 446.
- [6] EPPO. Data sheets on quarantine pests: *Ips hauseri* [J]. EPPO Bulletin, 2005, 35: 450–452.
- [7] Fang J, Du H, Shi X, et al. Monoterpenoid signals and their transcriptional responses to feeding and juvenile hormone regulation in bark beetle *Ips hauseri* [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2021, 224(9): jeb238030.
- [8] Jiao J, Zhang W, Yan L, et al. Development of a loop-mediated isothermal amplification (LAMP) assay for rapid molecular identification of the bark beetle *Ips hauseri* (Coleoptera: Curculionidae) [J]. *Insects*, 2026, 17(8): 838.
- [9] Marini L, Ayres M P, Battisti A, et al. Climate affects severity and altitudinal distribution of outbreaks in an eruptive bark beetle [J]. *Climatic Change*, 2012, 115(2): 327–341.
- [10] Kędziora W, Szyk K, Silva J S, et al. Drought and suboptimal habitats shape Norway spruce vulnerability to bark beetle outbreaks in Białowieża Forest, Poland [J]. *Land*, 2025, 14(10): 2014.
- [11] Singh V V, Naseer A, Mogilicherla K, et al. Understanding bark beetle outbreaks: exploring the impact of changing temperature regimes, droughts, forest structure, and prospects for future forest pest management [J]. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 2024, 23(2): 257–290.
- [12] Jönsson A M, Appelberg G, Harding S, et al. Spatio-temporal impact of climate change on the activity and voltinism of the spruce bark beetle, *Ips typographus* [J]. *Global Change Biology*, 2009, 15(2): 486–499.
- [13] Jönsson A M, Harding S, Krokene P, et al. Modelling the potential impact of global warming on *Ips typographus* voltinism and reproductive diapause [J]. *Climatic Change*, 2011, 109(3–4): 695–718.
- [14] Bentz B J, Régnière J, Fettig C J, et al. Climate change and bark beetles of the western United States and Canada: direct and indirect effects [J]. *BioScience*, 2010, 60(8): 602–613.
- [15] Mitton J B, Ferrenberg S M. Mountain pine beetle develops an unprecedented summer generation in response to climate warming [J]. *The American Naturalist*, 2012, 179(5): E163–E171.
- [16] 殷蕙芬, 黄复生, 李兆麟. 中国经济昆虫志 第二十九册 鞘翅目小蠹科[M]. 北京: 科学出版社, 1984: 121–135.
Yin H F, Huang F S, Li Z L. Economic insect fauna of China, Fasc. 29, Coleoptera: Scolytidae[M]. Beijing: Science Press, 1984: 121–135.
- [17] Wermelinger B, Seifert M. Analysis of the temperature dependent development of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae) [J]. *Journal of Applied Entomology*, 1998, 122(1–5): 185–191.
- [18] Rouault G, Candau J N, Lieutier F, et al. Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in western Europe [J]. *Annals of Forest Science*, 2006, 63(6): 613–624.
- [19] Bale J S, Hayward S A L. Insect overwintering in a changing climate [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2010, 213(6): 980–994.
- [20] Annala E. Influence of temperature upon the development and voltinism of *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolytidae) [J]. *Annales Zoologici Fennici*, 1969, 6(2): 161–208.
- [21] Botterweg P F. Dispersal and flight behaviour of the spruce bark beetle *Ips typographus* in relation to sex, size and fat content [J]. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 1982, 94(1–5): 466–489.

(责任编辑 范娟 赵田芸
责任编辑 骆有庆)