



天山重齿小蠹引诱剂筛选与诱捕技术研究

葛舒悦 石冰杰 阿不都艾则孜·买提卡斯木 郭添祎 唐光辉

Screening of attractants and trapping technology of *Ips hauseri*

Ge Shuyue, Shi Bingjie, Abuduaizezi · Maitikasimu, Guo Tianyi, Tang Guanghui

引用本文:

葛舒悦, 石冰杰, 阿不都艾则孜·买提卡斯木, 郭添祎, 唐光辉. 天山重齿小蠹引诱剂筛选与诱捕技术研究[J]. 北京林业大学学报, 2026, 48(9):88–96. doi: 10.12171/j.1000–1522.20260121

Ge Shuyue, Shi Bingjie, Abuduaizezi · Maitikasimu, Guo Tianyi, Tang Guanghui. Screening of attractants and trapping technology of *Ips hauseri*[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2026, 48(9):88–96. doi: 10.12171/j.1000–1522.20260121

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20260121>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

新疆哈密林区天山重齿小蠹发生及其时空分布规律

Spatio-temporal distribution characteristics and occurrence patterns of *Ips hauseri* in the Hami forest region, Xinjiang of northwestern China

北京林业大学学报, 2026, 48(9): 1–9. <https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20260082>

长林小蠹林间种群扬飞日节律观察及飞行能力测定

Flight daily rhythm observation and flight ability assessment of *Hylurgus ligniperda* populations in forests

北京林业大学学报, 2025, 47(4): 1–9. <https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20240236>

短毛切梢小蠹幼虫头部感器的类型、分布与数量特征

Type, distribution and quantitative characteristics of sensory organs on the larval head of *Tomicus brevipilosus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae)

北京林业大学学报, 2024, 46(4): 63–73. <https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20230105>

小陇山林区不同类型锐齿槲栎次生林乔木层多样性与碳储量研究

Arboreal layer diversity and carbon storage in secondary forests of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* across different types in Xiaolongshan Mountain forest area, Gansu Province of northwestern China

北京林业大学学报, 2025, 47(9): 14–23. <https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20250096>

长林小蠹气味降解酶基因的鉴定与分子对接

Identification and molecular docking of odorant-degrading enzyme genes in *Hylurgus ligniperda*

北京林业大学学报, 2025, 47(2): 79–94. <https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20240102>

东北地区榛园内一种小蠹的外部形态特征描述及分子鉴定

Description of external morphological characteristics and molecular identification of a bark beetle in hazel garden of northeastern China

北京林业大学学报, 2025, 47(10): 120–127. <https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20230359>

DOI:10.12171/j.1000-1522.20260121

天山重齿小蠹引诱剂筛选与诱捕技术研究

葛舒悦¹ 石冰杰¹ 阿不都艾则孜·买提卡斯木² 郭添祎¹ 唐光辉¹

(1. 西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 新疆天山东部国有林管理局, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要:【目的】天山重齿小蠹是新疆哈密地区云杉天然林的重要蛀干害虫, 通过不同聚集信息素引诱剂、诱捕器类型、诱捕器悬挂高度及悬挂位置林间试验, 优化天山重齿小蠹诱捕技术。【方法】在新疆天山东部国有林管理局哈密分局西黑沟云杉林开展 13 种不同聚集信息素引诱剂筛选、不同诱捕器类型(十字交叉型、窗型和漏斗型)、不同诱捕器悬挂高度(0.5、1.0、1.5 m)、距林缘不同悬挂距离(5、50、100 m)等林间诱捕试验, 比较分析不同处理对天山重齿小蠹成虫的诱集效果。【结果】引诱剂筛选结果表明, 活性成分为小蠹烯醇的引诱剂 I 对天山重齿小蠹具有良好的林间诱捕效果, 在此基础上优化的小蠹烯醇引诱剂(L)和改良引诱剂 4(M) 2 种引诱剂具有更优的林间诱捕效果和持效期。3 种不同类型诱捕器对天山重齿小蠹诱捕数量存在差异, 十字交叉型诱捕器诱捕量显著高于漏斗型诱捕器, 其次为窗型诱捕器。诱捕器悬挂距离地面 0.5、1.0 和 1.5 m 3 种不同悬挂高度对天山重齿小蠹的诱捕数量无显著差异。距离林缘 100 m 范围内悬挂诱捕器均可诱集到天山重齿小蠹。但不同距离诱捕效果存在差异, 距离林缘越近诱捕效果越好。【结论】林间诱捕时, 采用小蠹烯醇引诱剂(L)和改良引诱剂 4(M), 十字交叉型诱捕器, 诱捕器悬挂高度距地面 0.5~1.5 m, 林缘悬挂时距林缘 5 m, 可取得良好诱捕效果。研究结果为利用诱捕技术防控天山重齿小蠹的危害提供了科学依据。

关键词: 天山重齿小蠹; 引诱剂; 诱捕器类型; 诱捕效果

中图分类号: S763.38 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1522(2026)09-0088-09

引文格式: 葛舒悦, 石冰杰, 阿不都艾则孜·买提卡斯木, 等. 天山重齿小蠹引诱剂筛选与诱捕技术研究 [J]. 北京林业大学学报, 2026, 48(9): 88-96. Ge Shuyue, Shi Bingjie, Abuduaizezi·Maitikasimu, et al. Screening of attractants and trapping technology of *Ips hauseri* [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2026, 48(9): 88-96.

Screening of attractants and trapping technology of *Ips hauseri*

Ge Shuyue¹ Shi Bingjie¹ Abuduaizezi·Maitikasimu² Guo Tianyi¹ Tang Guanghui¹

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China;

2. Eastern Tianshan State-Owned Forest Bureau, Urumqi 830000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China)

Abstract: [Objective] *Ips hauseri* is a kind of significant stem-boring pest affecting spruce forests in the Hami region of Xinjiang, northwestern China. Through field experiments involving different aggregation pheromone attractants, trap types, hanging heights and positions of traps, this paper aims to explore the trapping technology of *I. hauseri*. [Method] Different field experiments, including evaluated thirteen varied aggregation pheromone lures, three types of traps (cross-vane, window-pane, and funnel traps), three trap placement heights (0.5, 1.0 and 1.5 m aboveground), and three placement distances from the forest edge (5, 50 and 100 m) were conducted in the *Picea asperata* forest at Xiheigou, Hami Branch of State-Owned Forest Management Bureau of East Tianshan in Xinjiang of northwestern China. The trapping efficacy for adult *I. hauseri* of different treatment groups was compared and analyzed. [Result] The results of attractant screening showed that attractant I, containing the active component ipsenol, had a satisfactory field trapping

收稿日期: 2026-03-15 修回日期: 2026-05-10

基金项目: 新疆天山东部国有林管理局云杉小蠹防控项目(NO.2025006)。

第一作者: 葛舒悦。主要研究方向: 森林病虫害。Email: geshuyue@nwafu.edu.cn 地址: 712100 陕西省杨凌示范区西北农林科技大学林学院。

责任作者: 唐光辉, 教授。主要研究方向: 林业有害生物防治。Email: tanggh@nwafu.edu.cn 地址: 同上。

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

efficacy on *I. hauseri*. On this basis, the two optimized attractants L and M exhibited better field trapping efficacy and effective duration. Significant differences were observed in the trapped number of *I. hauseri* among the three trap types. The trap catch of cross-vane trap was significantly higher than that of the funnel trap, followed by the window trap. No significant difference was found in trap catches among three placement heights (0.5, 1.0 and 1.5 m). *I. hauseri* could be trapped when traps were hung within 100 m from the forest edge. However, trapping efficacy varied with distance, and the trapping effect improved as the distance from the forest edge decreased. [Conclusion] During forest trapping, the use of attractants L and M with a cross-shaped trap, suspends at a height of 0.5–1.5 m above ground level, and places 5 m from the forest edge when deploys along the forest boundary, can achieve effective trapping results. These findings provide a scientific basis for utilizing trapping techniques to control infestations of *I. hauseri* in the Tianshan Mountains, Xinjiang of northwestern China.

Key words: *Ips hauseri*; attractants; trap types; trapping efficacy

近年来,受全球气候变暖及极端天气事件频发的影响,小蠹类害虫的种群暴发频率与危害程度显著加剧,对北美和欧亚大陆温带森林造成大面积严重的树木死亡,成为驱动全球针叶林衰退的重要因素之一^[1-2]。1999—2003年,美国境内受山松大小蠹(*Dendroctonus ponderosae*)暴发危害影响的森林面积超过500万 hm^2 ^[3]。2018年以来,欧洲云杉八齿小蠹(*Ips typographus*)发生危害严重,造成超过上亿 m^3 的云杉木材损失^[4]。国内学者对欧洲云杉八齿小蠹^[5]、落叶松八齿小蠹(*I. subelongatus*)^[6]、重齿小蠹(*I. duplicatus*)^[7]、云杉四眼小蠹(*Polygraphus polygraphus*)^[8]、长林小蠹(*Hylurgus ligniperda*)^[9]和华山松大小蠹(*Dendroctonus armandi*)^[10]等小蠹害虫在中国的分布也进行了相关报道。有效监测与防控小蠹类蛀干害虫的危害已成为当前针叶林有害生物防治的重要工作之一。

目前,针对小蠹的防治手段主要包括虫害木清除、信息素诱捕、化学防治等^[11]。随着小蠹信息素研究的深入,信息素诱捕技术作为一种环境友好的生物防治手段,凭借其高选择性、天敌安全等显著优势,已成为小蠹综合治理体系中的关键技术^[12-13]。白国栋等^[14]利用信息素诱捕技术,使白音敖包国家级自然保护区沙地云杉林分内重齿小蠹致死木数量显著降低33.33%,有效遏制了种群扩散速率,显著降低了虫口密度。宋丽文等^[15]在长白山林区利用聚集信息素,对云杉八齿小蠹进行诱捕,经过连续3年防治,诱捕器的平均诱集量下降了86.42%,防治区云杉枯死木和衰弱木的增长率比对照区减缓了83.73%。同时林间使用信息素诱捕小蠹时,引诱剂活性成分的匹配度及其与诱捕环境因子的交互作用共同影响诱捕效率,诱捕器类型和布设参数(如距离、高度、位置)等对诱捕效果具有显著影响^[16-17]。

雪岭云杉(*Picea schrenkiana*)是我国新疆天山

林区的主要乔木建群种^[18],该树种在当地防止水土侵蚀、保持水分、调节局部气候等方面具有不可替代的生态功能^[19]。近年来,小蠹类蛀干害虫在新疆天山东部多地天然云杉林中发生危害,在林区内扩散蔓延趋势加重,并已在局部林区造成严重危害,导致雪岭云杉大量枯死,造成极大经济损失,然而,目前针对该区域小蠹发生危害规律及防治技术的研究仍相对匮乏。本研究以哈密林区天山重齿小蠹(*Ips hauseri*)为主要研究对象,开展高效引诱剂筛选,不同诱捕器类型、布设地点及距林缘距离对诱捕效果的影响试验,以期为天山重齿小蠹的科学防控提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验区域位于新疆维吾尔自治区天山东部国有林管理局哈密分局巴里坤营林区西黑沟管护所72、73林班(43°32'33"N、92°56'05"E),海拔2100 m。该区域位于天山山脉东端,属温带大陆性干旱气候,降水稀少、昼夜温差大^[20]。植被类型为以雪岭云杉为优势树种的天然林^[21]。近年来小蠹等蛀干害虫在该林区危害严重,经前期调研,西黑沟管护所林地面积5282.6 hm^2 ,小蠹等蛀干害虫危害发生面积为2782.3 hm^2 ,占云杉林总面积52.67%,急需进行有效防治。

1.2 试验材料

引诱剂:试验采用市售的几种松科(Pinaceae)植物小蠹和天牛(Cerambycidae)引诱剂,以及活性成分为小蠹烯醇(ipsenol)引诱剂和在小蠹烯醇引诱剂基础上的4种改良引诱剂,共13种引诱剂。分别为小蠹属(*Scolytus*)引诱剂、云杉八齿小蠹引诱剂、十二齿小蠹(*I. sexdentatus*)引诱剂、云杉大小蠹(*Dendroctonus micans*)引诱剂、六齿小蠹(*I.*

acuminatus)引诱剂、重齿小蠹引诱剂、墨天牛属(*Monochamus*)引诱剂、松褐天牛(*Monochamus alternatus*)植物源引诱剂、小蠹烯醇引诱剂、改良引诱剂 1、改良引诱剂 2、改良引诱剂 3、改良引诱剂 4, 对应编号为 A~M(表 1)。以上引诱剂由中捷四方生物科技股份有限公司、北京格瑞碧源科技有限公司、杭州费洛蒙生物科技有限公司及宁波纽康生物技术有限公司提供。

表 1 引诱剂种类
Tab. 1 Attractant types

序号	种类
A	小蠹属引诱剂
B	云杉八齿小蠹引诱剂
C	十二齿小蠹引诱剂
D	云杉大小蠹引诱剂
E	六齿小蠹引诱剂
F	重齿小蠹引诱剂
G	墨天牛属引诱剂
H	松褐天牛植物源引诱剂
I	小蠹烯醇引诱剂
J	改良引诱剂1
K	改良引诱剂2
L	改良引诱剂3
M	改良引诱剂4

诱捕器: 十字交叉型诱捕器、窗型诱捕器及漏斗型诱捕器 3 种类型诱捕器, 由中捷四方生物科技股份有限公司提供。

1.3 天山重齿小蠹高效引诱剂筛选

2024 年 8 月, 利用市售松科植物小蠹和天牛相关引诱剂及小蠹烯醇引诱剂, 在西黑沟云杉林 72 林班开展云杉蛀干害虫引诱试验, 共 9 种类型引诱剂(编号 A~I)。使用十字交叉型诱捕器悬挂于林缘, 诱捕器距离林缘距离 5 m, 使用铁质支撑杆固定诱捕器, 诱捕器底端距地面 1.5 m, 间距 > 30 m^[22]。随机完全区组设计布设引诱剂, 按诱捕器悬挂顺序编号, 设 3 组重复。试验期间每天检查 1 次诱捕器(雨天除外), 调查并记录诱捕器中虫体的数量, 清理诱捕瓶内的虫体和杂物。同时每次调查时将同一组内不同引诱剂诱芯轮流调换位置。

2025 年 6 月, 以引诱剂 I(小蠹烯醇引诱剂)为对照, 在林间继续开展针对在引诱剂 I 及不同公司的优化配方引诱剂产品(编号 J~M)诱捕天山重齿小蠹效果及持效期评价试验。共设置 5 组重复, 其中 3 组样地位于林缘, 2 组样地位于林内, 同一样地随机悬挂 I~M 这 5 种引诱剂。在林内样地悬挂诱

捕器时, 选择林间空地悬挂诱捕器。诱捕器类型、距离、悬挂方法等同上。试验自 6 月 15 日开始, 至 8 月 30 日结束, 试验期间定期检查(雨天除外), 记录天山重齿小蠹诱捕数量、清理诱捕器和调换不同引诱剂诱芯位置, 调换方法同上。

1.4 不同类型诱捕器诱捕效果比较

在试验林地随机完全区组布设十字交叉型、窗型及漏斗型诱捕器, 使用引诱剂 I, 诱捕器底端距地面 1.5 m, 间距 > 30 m, 设 3 个重复。于 2025 年 5 月 30 日布设诱捕器, 每 2 d 检查 1 次, 记录天山重齿小蠹诱捕数量和清理诱捕器, 方法同 1.3。

1.5 诱捕器不同布设高度诱捕效果比较

在试验林地随机完全区组设计布设十字交叉型诱捕器, 诱捕器悬挂高度分别为诱捕器底端距地面 0.5、1.0、1.5 m, 间距 > 30 m。使用引诱剂 I, 设 3 个重复。于 2025 年 5 月 22 日布设诱捕器, 每 2 d 检查 1 次, 记录和清理方法同 1.3。

1.6 诱捕器距林缘不同布设距离诱捕效果比较

在试验林地采用随机完全区组设计, 沿垂直林缘方向设置样线, 分别在距林缘 5、50、100 m 的位置布设 1 个十字交叉型诱捕器, 使用引诱剂 I, 诱捕器底端距地面 1.5 m。设 3 个重复, 每重复之间水平距离大于 200 m^[6]。于 2025 年 6 月 9 日布设诱捕器, 每 2 d 检查 1 次, 记录和清理方法同 1.3。

1.7 数据处理

数据使用 Excel 进行初步汇总与归类, 分别计算每日的诱捕量, 利用 SPSS 26.0 对数据进行正态性检验和方差齐性检验。当数据同时满足正态性和方差齐性假设时, 采用单因素方差分析(one-way ANOVA)比较不同处理间差异, 以 $P < 0.05$ 为显著性判断标准; 若检验结果显著, 进一步采用最小显著差异法(least significant difference, LSD)进行事后多重比较。当数据不满足正态性或方差齐性假设时, 则采用 Kruskal-Wallis 非参数检验进行组间差异分析。

2 结果与分析

2.1 不同引诱剂对天山重齿小蠹的诱捕效果

调查发现, 2024 年 8 月在西黑沟云杉林悬挂的多种小蠹和天牛引诱剂可引诱到多种蛀干害虫, 主要包括天山重齿小蠹、重齿小蠹、天山星坑小蠹(*Pityogenes spessivtsevi*)、黑条木小蠹(*Trypodendron linetum*)、根小蠹(*Hylastes* sp.)、光胸断眼天牛(*Tetropium castaneum*)、树蜂(*Sirex* sp.)等。其中天山重齿小蠹占诱捕到虫体总数的 98% 以上。不同引诱剂对天山重齿小蠹的诱捕量存在显著差异(表 2)。引诱剂 I、E 和 G 均可诱集到天山重齿小蠹, 其中引

表 2 不同引诱剂对天山重齿小蠹的诱捕量

Tab. 2 Trapping quantity of *I. hauseri* under different attractants

头/d

引诱剂编号	日期				
	08-05	08-06	08-07	08-10	08-12
A	0.00 ± 0.00 c	0.00 ± 0.00 c	0.00 ± 0.00 c	0.00 ± 0.00 d	0.00 ± 0.00 c
B	0.00 ± 0.00 c	0.00 ± 0.00 c	0.00 ± 0.00 c	0.33 ± 0.58 d	1.00 ± 1.00 c
C	0.00 ± 0.00 c	0.00 ± 0.00 c	0.33 ± 0.58b c	1.00 ± 1.00 d	0.00 ± 0.00 c
D	0.00 ± 0.00 c	0.00 ± 0.00 c	0.00 ± 0.00 c	0.00 ± 0.00 d	0.33 ± 0.58 c
E	114.67 ± 39.72 b	225.67 ± 94.80 b	259.00 ± 87.43 a	76.67 ± 37.61 b	249.33 ± 167.99 b
F	1.00 ± 1.00 c	0.33 ± 0.58 c	3.67 ± 1.79 b	0.33 ± 0.58 b	1.67 ± 2.08 c
G	71.00 ± 14.73 b	105.00 ± 28.45 b	233.67 ± 34.96 a	29.00 ± 3.46 c	296.67 ± 55.37 b
H	0.00 ± 0.00 c	0.00 ± 0.00 c	0.33 ± 0.58b c	0.00 ± 0.00 d	0.00 ± 0.00 c
I	418.00 ± 68.69 a	509.33 ± 110.15 a	369.33 ± 85.69 a	116.33 ± 66.52 a	564.33 ± 180.00 a

注:8月8日、9日和11日因降雨未进行调查。同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

诱剂 I 诱捕量最多,且在 5 次调查中有 4 次显著高于其他引诱剂,总体表现最优,其次为 E 和 G。如 8 月 6 日引诱剂 I 的诱捕量为(509.33 ± 110.15)头/d,为当日引诱剂 E 诱捕量的 2.26 倍,引诱剂 G 的 4.85 倍。

2025 年 6 月 15 日至 8 月 30 日,开展了 77 d 的林间诱捕试验。在 I 引诱剂的基础上优化形成 4 种不同配方,并对其对天山重齿小蠹的诱捕效果及持效期进行了比较分析。结果表明,各改良引诱剂均对天山重齿小蠹具有一定引诱作用,但不同产品在引诱强度及持效期方面存在显著差异(表 3)。综合评价与对照引诱剂 I 相比,L 和 M 2 种引诱剂在引诱效果和持效期方面总体表现良好,诱捕效果明显优于对照。其中 L 引诱剂在 6 月 20 日至 7 月 17 日

期间,每诱捕器日均诱捕量为(353.10 ± 86.74)~(1 426.27 ± 246.52)头/d,显著高于同期其他引诱剂。M 引诱剂在试验初期诱捕量较高,6 月 16 日和 6 月 18 日分别为(1 507.20 ± 635.25)头/d 和(721.60 ± 162.27)头/d,随后诱捕量逐渐下降并趋于稳定,在整个试验期间其诱捕量均显著高于对照 I 处理。J 引诱剂在试验前 3 d 诱捕量较高,但随后迅速下降。K 引诱剂在试验前期与对照处理差异不显著,后期诱捕量逐渐降低。

2.2 不同类型诱捕器对诱捕效果的影响

3 种不同类型诱捕器对天山重齿小蠹的诱捕数量存在差异。从每日诱捕数量比较可看出,十字交叉型诱捕器诱捕量最高,其次为窗型诱捕器,漏斗型诱捕器最低。如 6 月 11 日十字交叉型诱捕器诱捕量

表 3 不同改良引诱剂对天山重齿小蠹的诱捕量

Tab. 3 Trapping quantity of *I. hauseri* under different modified attractants

头/d

引诱剂编号	日期						
	06-16	06-18	06-19	06-20	06-21	06-23	06-26
J	1 265.20 ± 456.44 a	1 183.80 ± 637.35 a	881.20 ± 653.14 a	373.20 ± 183.67 c	134.60 ± 61.65 c	22.80 ± 4.83 d	37.87 ± 30.96 d
K	412.60 ± 234.84 c	284.60 ± 148.58 c	188.60 ± 81.27 c	346.80 ± 209.52c	170.60 ± 49.11 c	89.90 ± 46.93 c	109.13 ± 30.55 c
L	787.00 ± 245.77 b	746.80 ± 325.98 b	999.00 ± 474.12 a	1 131.60 ± 310.82 a	1 331.40 ± 280.06 a	726.90 ± 275.26 a	1 426.27 ± 246.52 a
M	1 507.20 ± 635.25 a	721.60 ± 162.27 b	375.60 ± 189.03 b	601.60 ± 363.85 b	510.60 ± 142.17 b	178.30 ± 138.98 b	326.80 ± 279.22 b
I	695.20 ± 313.78 b	386.00 ± 197.16 c	291.80 ± 223.30 b	351.20 ± 183.22 c	150.00 ± 47.08 c	76.80 ± 45.93 c	116.60 ± 62.57 c

引诱剂编号	日期					
	07-07	07-17	07-27	08-06	08-20	08-30
J	9.71 ± 8.41 d	8.48 ± 11.00 e	1.78 ± 1.17 e	0.24 ± 0.09 e	0.17 ± 0.06 e	0.00 ± 0.00 b
K	57.00 ± 37.69 c	35.56 ± 14.00 d	22.28 ± 14.17 d	6.00 ± 3.18 d	1.50 ± 0.24 d	0.25 ± 0.04 b
L	409.6 ± 269.99 a	353.1 ± 86.74 a	305.27 ± 44.06 b	62.43 ± 27.96 b	5.43 ± 1.18 c	0.25 ± 0.18 b
M	195.96 ± 102.65 b	253.56 ± 88.17 b	397.38 ± 169.40 a	145.75 ± 79.70 a	20.36 ± 6.75 a	1.87 ± 0.75 a
I	43.15 ± 28.32 c	84.18 ± 32.94 c	107.90 ± 61.22 c	35.75 ± 9.02 c	10.23 ± 2.45 b	0.25 ± 0.04 b

为(376.67±73.71)头/d,为窗型诱捕器的1.20倍,为漏斗型诱捕器的1.50倍。差异性显著分析结果表明,不同类型诱捕器诱捕量差异显著,其中十字交叉型诱捕器显著高于漏斗型诱捕器,窗型诱捕器介于两者之间(表4)。

2.3 诱捕器不同悬挂高度对诱捕效果的影响

从表5可看出诱捕器悬挂高度为1.0 m时,每日每诱捕器平均诱捕量整体上略高于0.5和1.5 m。但差异性显著分析结果表明,0.5、1.0和1.5 m 3种悬挂高度对天山重齿小蠹的诱捕数量无显著差异。

2.4 诱捕器距林缘不同距离对诱捕效果的影响

试验结果表明,距离林缘100 m范围内,悬挂诱捕器均可诱集到天山重齿小蠹。但不同距离诱捕效果存在差异,距离林缘越近诱捕效果越好(表6)。如6月11日距林缘5 m处的日均诱捕量为(543.33±60.28)头/d,为距林缘50 m处诱捕量的1.56倍,为距林缘100 m处的2.90倍。虽然6月19日和6月23日距林缘5 m处的日均诱捕量和距林缘50 m处诱捕量无显著差异,但试验期间多数时间段距林缘5 m处的日均诱捕量均明显高于距林缘50及100 m处。

3 讨 论

相关研究表明在出现衰退、枯死的针叶林中,存在多种蛀干害虫同时发生、复合危害的现象^[23]。云南切梢小蠹(*Tomicus yunnanensis*)、横坑切梢小蠹(*T. minor*)、短毛切梢小蠹(*T. brevopilosus*)、松墨天牛(*Monochamus alternatus*)等钻蛀性害虫在受害云南松林内均大量发生,其中云南切梢小蠹和横坑切梢小蠹成虫危害导致树冠局部枯梢、树势下降,松墨天牛与云南切梢小蠹的危害导致树冠系统性萎蔫、树木死亡^[9, 24]。华山松大小蠹为秦岭华山松(*Pinus armandii*)的毁灭性先锋害虫,其危害导致树木衰弱,抗性下降后,其他10多种小蠹入侵和定居危害^[10]。不同种类小蠹依据其对寄主树木营养和空间需求的不同、种群密度的相互制约以及入侵寄主树木时序的差异达到竞争的平衡和共存^[10]。本研究通过林间悬挂的多种小蠹和天牛引诱剂在云杉林中诱集到了多种小蠹、天牛、树蜂的成虫,其中诱集到数量最多的种类为天山重齿小蠹。结合在样地林间开展的发黄、枯死云杉树干解剖调查,在树皮下发小蠹、天牛、树蜂、吉丁虫(Buprestidae)等多种钻蛀性害虫危害症状或虫体,其中天山重齿小蠹在树干上呈现分

表 4 不同类型诱捕器对天山重齿小蠹的诱捕量
Tab. 4 Trapping quantity of *I. hauseri* under different types of traps 头/d

诱捕器 类型	日期						
	06-01	06-03	06-05	06-07	06-09	06-11	06-13
十字交叉型	413.33±70.95 a	299.00±21.52 a	318.33±62.52 a	207.67±46.44 a	281.67±57.52 a	376.67±73.71 a	278.33±32.53 a
漏斗型	271.67±33.29 b	171.33±32.35 b	210.00±30.00 b	117.33±20.53 b	193.33±27.54 b	252.33±33.26 b	206.67±30.55 b
窗型	390.00±60.83 a	275.00±22.91 a	313.33±35.12 a	196.67±47.26 ab	229.33±20.03 ab	313.33±32.15 ab	259.00±32.60 ab

表 5 诱捕器在不同悬挂高度下对天山重齿小蠹的诱捕量
Tab. 5 Trapping quantity of *I. hauseri* by traps at different hanging heights 头/d

高度/m	日期						
	05-24	05-26	05-28	05-30	06-01	06-03	06-05
0.5	88.33±27.54 a	101.67±32.53 a	70.67±9.02 b	75.00±15.00 a	94.33±18.88 a	171.67±37.53 a	196.67±27.54 a
1.0	117.33±20.53 a	108.33±12.58 a	93.33±5.77 a	75.67±17.21 a	118.33±10.41 a	206.67±55.08 a	211.67±45.37 a
1.5	76.67±15.28 a	96.67±20.82 a	86.67±20.82 ab	72.67±16.17 a	98.33±20.21 a	183.33±33.29 a	208.33±25.66 a

表 6 距林缘不同距离诱捕器对天山重齿小蠹的诱捕量
Tab. 6 Trapping quantity of *I. hauseri* by traps at different distances from the edge of forest 头/d

距离/m	日期						
	06-11	06-13	06-15	06-17	06-19	06-21	06-23
5	543.33±60.28 a	430.00±85.44 a	473.33±77.67 a	383.33±65.06 a	349.33±65.74 a	311.67±43.11 a	197.67±48.95 a
50	348.33±57.95 b	241.67±37.53 b	325.00±52.68 b	271.67±60.07 b	272.00±53.08 a	186.33±40.50 b	117.00±51.16 ab
100	187.33±49.41 c	142.00±28.16 b	196.67±45.09 c	120.00±30.00 c	117.67±28.57 b	86.67±19.22 c	75.00±26.21 b

布范围广、数量大的现象,表明目前在哈密林区云杉存在多种钻蛀性害虫同时发生危害,其中天山重齿小蠹是优势危害种类,是导致云杉针叶发黄、死亡的主要原因,是当前雪岭云杉林蛀干害虫灾害防控工作的重点对象。

小蠹聚集信息素成分主要为小蠹烯醇(ipsenol)、小蠹二烯醇(ipsdienol)、顺式马鞭草烯醇(*cis-verbenoltrans*)和马鞭草烯酮(verbenone)等萜烯醇类化合物^[25]。一些昆虫的聚集信息素对近源种也具有一定的引诱作用,研究表明分别利用(S)-(-)-小蠹烯醇、(S)-(+)-小蠹二烯醇、(4S)-顺式-马鞭草烯醇对橡胶小蠹及云南切梢小蠹都具有良好的诱集效果^[26-27]。利用2种松科植物挥发物引诱剂,在林间均对华山松大小蠹、横坑切梢小蠹和松幽天牛(*Asemum amurense*)等蛀干害虫有良好的诱集效果^[28]。随着小蠹聚集信息素应用技术研究的不断深入,发现一些小蠹种类对聚集信息素的响应不同地理种群间存在差异^[29-31]。孙晓玲^[32]研究发现,云杉八齿小蠹中国种群的信息素与欧洲种群的信息素成分存在一定的差异, Song等^[29]报道了中国内蒙古地区和东北吉林不同地理种群落叶松八齿小蠹对不同的聚集信息素成分表现出的活性差异。本研究利用小蠹烯醇引诱剂、六齿小蠹引诱剂和墨天牛属引诱剂3种引诱剂均可诱集到一定数量的天山重齿小蠹,但诱捕效果存在差异。小蠹属引诱剂、云杉八齿小蠹引诱剂、重齿小蠹引诱剂和松褐天牛引诱剂等对天山重齿小蠹无引诱效果。小蠹烯醇引诱剂在林间表现出了良好的诱集活性,并且在此基础上优化的2种新引诱剂配方(L、M)展示出了更强的引诱活性。孔祥波等^[33]公开了一种诱捕天山重齿小蠹的引诱剂配方(含S-(-)-小蠹烯醇、顺式马鞭草烯醇和2-甲基-3-丁烯-2-醇),但尚未见其商业化产品与林间应用效果报道。上述研究结果揭示了小蠹对不同聚集信息素活性成分、配方行为反应的响应差异与多样性。聚集信息素诱捕技术是防控小蠹的重要技术之一。为有效控制天山重齿小蠹的危害,2025年新疆天东林管局哈密分局在所辖天山重齿小蠹危害云杉林利用诱捕技术实施了大面积防治,在4万亩发生危害区域悬挂了2.7万套十字交叉型诱捕器,利用小蠹烯醇引诱剂进行诱捕防治。5月初悬挂诱捕器,6月下旬更换诱芯时,收集统计了诱集到的小蠹数量,表明5月初至6月下旬,2.7万套诱捕器共诱集到了7100多万头天山重齿小蠹成虫,取得了良好的林间诱捕效果,有效地降低了小蠹对云杉的危害。这表明市场上近期开发出的天山重齿小蠹的引诱剂配方与产品,可用于林间监测与防控实践,但还存在一定

的优化空间。鉴于小蠹化学通讯中的复杂性,进一步深入研究天山重齿小蠹聚集信息素、抗聚集信息素和利它素等化学通讯物质,有望开发出更高效的引诱剂、趋避剂产品,为控制天山重齿小蠹林间危害提供更理想的技术产品支持。

聚集侵染是多种蛀干害虫普遍具有的重要生态适应性策略,在林间呈现出聚集性集中危害特征^[34-35]。Negrón^[36]对山松大小蠹的研究表明,危害初期死亡木空间分布格局呈显著聚集分布。林间调查时发现天山成虫小蠹在林间也呈现出聚集性危害特性,林间虫口密度分布不均匀,这导致了同一引诱剂悬挂于林地不同位置,诱捕数量存在一定差异。有研究发现,树干1.5 m高度是落叶松八齿小蠹聚集信息素诱捕器的最佳悬挂位置,该高度下的诱集量可达总诱集量的72%,而树干基部悬挂时的诱集量占比仅为28%,二者诱集效果差异明显^[6]。林间调查发现虽然不同样地各引诱剂重复之间诱捕数量存在一定差异,但同一样地内不同引诱剂不同时间对天山重齿小蠹诱捕效果高低顺序总体保持不变。同时,林分郁闭度、林间微环境气候条件差异等对诱集效果也有较大的影响,山脊、林中开阔地带、林缘等通风条件较好的地点悬挂诱捕器,阳光充足,引诱剂挥发、扩散效果好,引诱效果好^[17, 37]。研究^[27]表明,将挂于油松林阴暗处每天仅诱集1~2头小蠹的诱捕器移至开阔的林缘,诱集到的虫口数量成倍增加;气温与湿度也显著影响诱集效果,温度过低的微环境会抑制小蠹的飞行活性,而阳光充足、温度较高的微环境能显著提升信息素的挥发速率,从而增加诱集量^[38]。本试验结果也表明在同一时间段,不同诱捕微环境条件下,同一引诱剂诱捕虫口数量会出现一定波动,这种波动既体现了天山重齿小蠹林间危害分布的不同,也反映了环境因子对引诱剂释放、诱捕效果的调控影响。

适宜的诱捕器是配合引诱剂实现对害虫有效诱集的重要工具,不同类型的诱捕器结构存在差异,而不同结构对昆虫飞行轨迹和碰撞时诱捕效率产生不同的影响^[39-40]。常用于小蠹类害虫的诱捕器主要包括漏斗型诱捕器、十字交叉型诱捕器和窗型诱捕器^[41]。一般来说,上述诱捕器均可用于小蠹的种群监测和防控,但在实际应用中,不同类型诱捕器的诱虫效果存在明显差异。不同类型的诱捕器诱虫效果差异与诱捕器的形状以及诱捕器的有效活性面积有关, Bashford^[42]试验发现,拦截式诱捕器平均每周捕获量为 (3.80 ± 1.09) 只,漏斗型诱捕器平均每周捕获量为 (2.40 ± 1.52) 只,前者的诱集的数量较后者高出约40%,拦截式诱捕器显著优于漏斗式诱捕器,主要

是由于拦截式具有更大的捕获表面积和单一的入料漏斗口,能更有效地捕获高速飞行的小蠹。迟德富等^[16]对云杉八齿小蠹的林间诱捕效果表明具有更大活性面积的塑料薄膜管诱捕器的捕获效能明显优于粘虫板。陈国发等^[7]对重齿小蠹林间诱捕试验表明窗式诱捕器诱虫效果最好,其次为十字交叉式诱捕器,漏斗式诱捕器的最低。其分析认为是由于试验时使用的窗式诱捕器有效活性面积最大,其诱虫效果最好。而漏斗式诱捕器的有效活性面积虽然比十字交叉式的大,但其宽度比十字交叉式的窄,加之撞击到上一个漏斗的小蠹,不一定全部掉入下一个漏斗,最终掉落到收集瓶中,因此导致漏斗式诱捕器的诱虫效果差于十字交叉型。本研究使用的3种诱捕器的有效活性面积大小顺序为十字交叉型诱捕器>窗型诱捕器>漏斗型诱捕器。结果表明,十字交叉型诱捕器对天山重齿小蠹诱捕虫量显著高于漏斗型诱捕器,窗型诱捕器介于两者之间,但十字交叉型诱捕器诱捕虫量与窗型诱捕器无显著差异。研究结果也再次验证了不同类型的诱捕器诱虫效果差异与诱捕器的有效活性面积和形状有关。此外,在实际推广应用时,诱捕器的选择还需考虑诱捕器的使用成本等因素,十字交叉型诱捕器目前市场价约为55元/套;窗型诱捕器成本约为90元/套,故在天山重齿小蠹防治中推荐使用十字交叉型诱捕器。

林缘作为森林与开阔地的交界,其独特的微气候条件(如光照强度、温度梯度、风速分布)与生态位结构(如植被结构复杂度)通常与森林内部存在显著差异,这种空间异质性被统称为边缘效应(edge effect),通常是害虫入侵和扩散的起点^[43-44]。林缘光照充足、空气流动条件好,可促进信息素的挥发和在空气中的扩散,从而扩大诱捕半径并提高诱捕效率^[45]。在林缘悬挂诱捕器,聚集信息素对落叶松八齿小蠹的有效引诱距离可达到200 m左右^[6]。Hofmann等^[13]在林缘对纵坑切梢小蠹(*T. piniperda*)诱捕效果和陈国发等^[7]对重齿小蠹诱捕效果均显示,设置于距林缘不同距离的诱捕器的诱捕效果不同,随着设置距离的增加诱捕量逐渐减少,距林缘近的诱捕器诱虫效果最好。本研究结果显示当诱捕器布设于距林缘5、50和100 m的位置时均可诱集到天山重齿小蠹,靠近林缘的诱捕量最多,与上述研究结论相一致。此外,在防控天山重齿小蠹作业时,诱捕器的布设需结合地形、林分结构和操作便利性综合考虑。靠近林缘布设诱捕效率高,适用于平坦或缓坡林地。但在地形复杂,林缘难以接近的区域(如崖边、陡坡、河流),在考虑兼具诱捕效果和布设条件的前提下,可在距林缘50 m范围内进行布设。

4 结 论

本研究通过林间诱捕试验,明确了天山重齿小蠹是当前危害新疆哈密地区云杉天然林的重要蛀干害虫,筛选出了可用于林间诱捕天山重齿小蠹的L型、M型引诱剂,明确了最优诱捕器类型为十字交叉型,窗型可作为备选,诱捕器悬挂距地面高度0.5~1.5 m均可,在林缘悬挂时,悬挂距离距林缘5 m效果最好。本研究初步建立了天山重齿小蠹林间诱捕技术,为利用诱捕技术监测与防治天山重齿小蠹提供了技术支持,然而,更高效的引诱剂配方及信息素诱捕技术对天山重齿小蠹的林间控制效果仍需进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Seidl R, Schelhaas M J, Lexer M J. Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe [J]. *Global Change Biology*, 2011, 17(9): 2842-2852.
- [2] Andrus R A, Hicke J A, Meddens A J H. Spatiotemporal characteristics of tree mortality from bark beetle outbreaks vary within and among bark beetle-host tree associations in the western United States [J]. *Forest Ecology and Management*, 2025, 576: 122382.
- [3] Wulder M A, Dymond C C, White J C, et al. Surveying mountain pine beetle damage of forests: a review of remote sensing opportunities [J]. *Forest Ecology and Management*, 2006, 221(1-3): 27-41.
- [4] Daniel P, Ewald G, Paal K, et al. A highly-contiguous genome assembly of the Eurasian spruce bark beetle, *Ips typographus*, provides insight into a major forest pest [J]. *Communications Biology*, 2021, 4(1): 1059.
- [5] 孙晓玲, 程彬, 刘国东, 等. 云杉八齿小蠹的扬飞与物候观测 [J]. *中国森林病虫*, 2011, 30(2): 21-23.
Sun X L, Cheng B, Liu G D, et al. Flight and phenological observation of *Ips typographus* [J]. *Forest Pest and Disease*, 2011, 30(2): 21-23.
- [6] 袁菲, 骆有庆, 石娟, 等. 落叶松八齿小蠹聚集信息素的时空诱集效果 [J]. *中国森林病虫*, 2010, 29(1): 33-35.
Yuan F, Luo Y Q, Shi J, et al. Temporal and spatial trapping effect of aggregation pheromone on *Ips subelongatus* [J]. *Forest Pest and Disease*, 2010, 29(1): 33-35.
- [7] 陈国发, 王艳军, 陈玉成. 重齿小蠹信息素诱捕器设置技术的研究 [J]. *内蒙古农业大学学报*, 2009, 30(4): 284-288.
Chen G F, Wang Y J, Chen Y C. Study on the setting technology of pheromone traps for *Ips duplicatus* [J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*, 2009, 30(4): 284-288.
- [8] 胡岳, 徐炜超, 魏志成, 等. 青海云杉重要蛀干害虫云杉四眼小蠹研究初报 [J]. *中国森林病虫*, 2025, 44(3): 32-36.
Hu Y, Xu W C, Wei Z C, et al. Preliminary study on *Polygraphus poligraphus*: an important borer pest of *Picea crassifolia* [J]. *Forest Pest and Disease*, 2025, 44(3): 32-36.

- [9] 顾颖, 任利利, 骆有庆, 等. 长林小蠹林间种群扬飞日节律观察及飞行能力测定 [J]. *北京林业大学学报*, 2025, 47(4): 1–9.
- Gu Y, Ren L L, Luo Y Q, et al. Flight daily rhythm observation and flight ability assessment of *Hylurgus ligniperda* populations in forests [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2025, 47(4): 1–9.
- [10] 陈辉, 唐明, 叶宏谋, 等. 秦岭华山松小蠹生态位研究 [J]. *林业科学*, 1999, 35(4): 40–44.
- Chen H, Tang M, Ye H M, et al. Niche of bark beetles within *Pinus armandi* ecosystem in inner Qinling Mountains [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 1999, 35(4): 40–44.
- [11] 孙文玉, 姚斌, 邹传山, 等. 樟子松云杉八齿小蠹发生规律及防治初探 [J]. *中国植保导刊*, 2022, 42(8): 46–48.
- Sun W Y, Yao B, Zou C S, et al. Occurrence and control of *Ips typographus* in *Pinus sylvestris* var. *mongolica* [J]. *China Plant Protection*, 2022, 42(8): 46–48.
- [12] 高长启, 徐桂莲, 张晓军, 等. 应用聚集信息素监测与防治纵坑切梢小蠹 [J]. *中国森林病虫*, 2004(2): 30–32.
- Gao C Q, Xu G L, Zhang X J, et al. Monitoring and control of *Tomicus piniperda* using aggregation pheromone [J]. *Forest Pest and Disease*, 2004(2): 30–32.
- [13] Hofmann S, Kautz M, Sonnemann S, et al. Significant uncertainty in bark beetle trap catches due to varying pheromone release from dispensers and local trap position [J]. *Journal of Pest Science*, 2025, 98(4): 1–12.
- [14] 白国栋, 包英霞, 陈万明, 等. 沙地云杉重齿小蠹聚集信息素及其应用 [J]. *内蒙古林业科技*, 2023, 49(3): 49–52.
- Bai G D, Bao Y X, Chen W M, et al. Aggregation pheromone of *Ips duplicatus* in *Picea mongolica* and its application [J]. *Inner Mongolia Forestry Science and Technology*, 2023, 49(3): 49–52.
- [15] 宋丽文, 李兴鹏, 孙伟, 等. 聚集信息素大量诱捕防治云杉八齿小蠹效果研究 [J]. *中国森林病虫*, 2016, 35(2): 39–41.
- Song L W, Li X P, Sun W, et al. Mass trapping of *Ips typographus* with aggregation pheromone [J]. *Forest Pest and Disease*, 2016, 35(2): 39–41.
- [16] 迟德富, 苗建才, 杜兴堂, 等. 几种类型诱捕器对云杉八齿小蠹引诱效果的研究 [J]. *东北林业大学学报*, 1990, 18(6): 89–93.
- Chi D F, Miao J C, Du X T, et al. Trapping effect of different trap types on *Ips typographus* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 1990, 18(6): 89–93.
- [17] 赵明振, 代鲁鲁, 陈辉. 华山松大小蠹野外诱捕探究 [J]. *西北林学院学报*, 2018, 33(5): 137–141.
- Zhao M Z, Dai L L, Chen H. Technology of field trapping of *Dendroctonus armandi* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytidae) [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2018, 33(5): 137–141.
- [18] Honghua Z, Yaning C, Chenggang Z, et al. Warming increases the carbon sequestration capacity of *Picea schrenkiana* in the Tianshan Mountains, China [J]. *Forests*, 2021, 12(8): 1066.
- [19] 刘江慧, 崔东, 刘淑琪. 新疆西天山雪岭云杉不同季节土壤中中型节肢动物群落结构特征 [J]. *新疆师范大学学报 (自然科学版)*, 2025, 44(4): 20–28.
- Liu J H, Cui D, Liu S Q. Community structure of soil mesofauna in different seasons in *Picea schrenkiana* forest in western Tianshan, Xinjiang [J]. *Journal of Xinjiang Normal University (Natural Sciences Edition)*, 2025, 44(4): 20–28.
- [20] 李泽龙, 汪亘, 王永莉, 等. 哈密市典型煤矿区重金属污染特征、生态风险评价及来源解析 [J]. *中国沙漠*, 2025, 45(2): 142–154.
- Li Z L, Wang G, Wang Y L, et al. Characteristics, ecological risk assessment and source analysis of heavy metal pollution in typical coal mining areas in Hami City [J]. *Journal of Desert Research*, 2025, 45(2): 142–154.
- [21] 陈玉雯, 赵善超, 张国林, 等. 天山中部雪岭云杉林土壤团聚体分形特征对地形因素的响应研究 [J]. *新疆农业大学学报*, 2023, 46(3): 252–260.
- Chen Y W, Zhao S C, Zhang G L, et al. Study on the response of fractal characteristics of soil aggregates to topographic factors in *Picea schrenkiana* forest in central Tianshan Mountains [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2023, 46(3): 252–260.
- [22] 青海省市场监督管理局. 小蠹虫防控技术规范: DB63/T 1201—2023[S]. 西宁: 青海省市场监督管理局, 2023.
- Qinghai Provincial Administration for Market Regulation. Technical specification for prevention and control of bark beetles: DB63/T 1201–2023[S]. Xining: Qinghai Provincial Administration for Market Regulation, 2023.
- [23] 杨丽元, 刘仁军, 赵筱菲, 等. 油松蛀干害虫及其寄生蜂在树干上的垂直分布 [J]. *中国生物防治学报*, 2021, 37(4): 701–708.
- Yang L Y, Liu R J, Zhao X F, et al. Vertical distribution of trunk borers and their parasitoids in *Pinus tabulaeformis* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2021, 37(4): 701–708.
- [24] 刘宇杰, 宗世祥, 任利利, 等. 云南松树冠受害表征与有害生物复合危害的关系 [J]. *应用昆虫学报*, 2017, 54(6): 947–954.
- Liu Y J, Zong S X, Ren L L, et al. The relationship between degrees of *Pinus yunnanensis* canopy dieback and the types of damage caused by specific pests [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2017, 54(6): 947–954.
- [25] 方加兴, 张苏芳, 刘福, 等. 小蠹虫类异戊二烯类聚集信息素的生物合成 [J]. *昆虫学报*, 2018, 61(10): 1222–1236.
- Fang J X, Zhang S F, Liu F, et al. Biosynthesis of isoprenoid aggregation pheromones in bark beetles [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2018, 61(10): 1222–1236.
- [26] 陈青, 梁晓, 伍春玲, 等. 12种聚集信息素对橡胶小蠹虫的诱捕效果 [J]. *热带作物学报*, 2019, 40(12): 2432–2439.
- Chen Q, Liang X, Wu C L, et al. Trapping effect of 12 aggregation pheromones on rubber bark beetles [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2019, 40(12): 2432–2439.
- [27] 左天兴, 黄桂英. 利用信息化合物诱捕防治云南切梢小蠹试验效果分析 [J]. *林业调查规划*, 2018, 43(2): 64–68, 98.
- Zuo T X, Huang G Y. Analysis on control effect of trapping *Tomicus yunnanensis* with semiochemicals [J]. *Forest Inventory and Planning*, 2018, 43(2): 64–68, 98.
- [28] 唐光辉, 戴建昌, 江志利, 等. 6种引诱剂对几种针叶树蛀干害虫的诱捕效果研究 [J]. *西北林学院学报*, 2007, 22(1): 84–86.

- Tang G H, Dai J C, Jiang Z L, et al. Trapping effect of six attractants on conifer borers [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2007, 22(1): 84–86.
- [29] Song L W, Zhang Q H, Chen Y Q, et al. Field responses of the Asian larch bark beetle, *Ips subelongatus*, to potential aggregation pheromone components: disparity between two populations in northeastern China [J]. *Insect Science*, 2011, 18(3): 311–319.
- [30] Lakatos F, Grodzki W, Zhang Q H, et al. Genetic comparison of *Ips duplicatus* (Sahlberg, 1836) (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) populations from Europe and Asia [J]. *Journal of Forestry Research*, 2007, 12(5): 345–349.
- [31] Chen D F, Li Y J, Zhang Q H, et al. Population divergence of aggregation pheromone responses in *Ips subelongatus* in northeastern China [J]. *Insect Science*, 2015. DOI:10.1111/1744-7917.12221.
- [32] 孙晓玲. 云杉八齿小蠹化学信息物质的研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006.
- Sun X L. Study on semiochemicals of *Ips typographus* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2006.
- [33] 孔祥波, 方加兴, 刘福, 等. S-(–)-小蠹烯醇在引诱天山重齿小蠹中的应用、引诱剂、诱芯和应用: CN110999918B [P]. 2021–06–08.
- Kong X B, Fang J X, Liu F, et al. Application of S-(–)-ipsenol in attracting *Ips duplicatus* in Tianshan: CN110999918B [P]. 2021–06–08.
- [34] 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.
- [35] Haack R A, Hérard F, Sun J, et al. Managing invasive populations of Asian longhorned beetle and citrus longhorned beetle: a worldwide perspective [J]. *Annual Review of Entomology*, 2010, 55(1): 521–546.
- [36] Negrón J F. Within-stand distribution of tree mortality caused by mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae* [J]. *Insects*, 2020, 11(2): 112.
- [37] 阿布都木塔力甫·玉苏甫卡地尔, 任利利, 任家儒, 等. 新疆阿勒泰地区针叶林内天牛科昆虫的信息素诱捕调查研究 [J]. *林业科学研究*, 2025, 38(5): 127–133.
- Abudumutalifu Yusufukadier, Ren L L, Ren J R, et al. Investigation on pheromone trapping of cerambycid beetles in coniferous forests in Altay, Xinjiang [J]. *Forest Research*, 2025, 38(5): 127–133.
- [38] Huh J M, Nam I, Park H J, et al. Effect of trap color, pheromone and kairomone release rates, and α -pinene and limonene enantiomers on the capture of *Monochamus saltuarius* Gebler (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2025, 118(4): 1783–1792.
- [39] Miller R D, Crowe M C, Barnes F B, et al. Attaching lures to multiple-funnel traps targeting saproxylic beetles (Coleoptera) in pine stands: inside or outside funnels? [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2013, 106(1): 206–214.
- [40] 李路瑶, 孟庆繁, 李燕, 等. 三种诱捕器对天牛科昆虫的诱集效率 [J]. *应用昆虫学报*, 2015, 52(5): 1305–1311.
- Li L Y, Meng Q F, Li Y, et al. Relative efficiency of three trap types for monitoring longhorn beetles (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2015, 52(5): 1305–1311.
- [41] 张真, 王鸿斌, 陈国发, 等. 信息化学物质在害虫监测中的应用 [J]. *昆虫学报*, 2022, 65(3): 351–363.
- Zhang Z, Wang H B, Chen G F, et al. Application of semiochemicals in pest monitoring [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2022, 65(3): 351–363.
- [42] Bashford R. The development of static trapping systems to monitor for wood-boring insects in forestry plantations [J]. *Australian Forestry*, 2008, 71(3): 236–241.
- [43] Kautz M, Schopf R, Ohser J. The “sun-effect”: microclimatic alterations predispose forest edges to bark beetle infestations [J]. *European Journal of Forest Research*, 2013, 132(3): 453–465.
- [44] Huntley B. The influence of edges on the internal structure and composition of fragmented forest [J]. *Ecology*, 1991, 72(1): 284–295.
- [45] Mezei P, Jakuš R, Blaženec M, et al. The relationship between potential solar radiation and spruce bark beetle catches in pheromone traps [J]. *Annals of Forest Research*, 2012, 55(2): 243–252.

(责任编辑 范娟 李 契
责任编辑 骆有庆)