

云南松林两种切梢小蠹成虫蛀梢期的空间分布格局*

俞琳锋^{1**} 黄华国¹ 泽桑梓² 任利利¹ 宗世祥¹ 卢文娟³ 骆有庆^{1***}

(1. 北京林业大学林木有害生物防治北京市重点实验室, 北京 100083; 2. 云南省林业有害生物防治检疫局, 昆明 650000; 3. 祥云县林业局, 祥云 672100)

摘要 【目的】云南松 *Pinus yunnanensis* Faranch 是我国西南地区的重要造林绿化树种。近年来, 云南省祥云县云南松林受到云南切梢小蠹 *Tomicus yunnanensis* Kirkendall & Faccoli 和横坑切梢小蠹 *Tomicus minor* Hartig 的共同危害。本文对两种害虫在蛀梢期的危害特性和空间分布进行了研究, 以为切梢小蠹的发生监测及防治提供依据。【方法】利用地统计学方法分析不同受害程度云南松林内两种切梢小蠹成虫蛀梢期的空间分布特性。【结果】受害程度不同的云南松林内两种切梢小蠹的危害差异显著, 轻度受害林分内受害梢率为 11.38%, 中度受害林分内受害梢率为 36.56%, 而重度受害林分则达到 59.7%。分析全方向的变异函数曲线图得知, 蛀梢期两种切梢小蠹在不同受害云南松林中均呈聚集分布。其中, 两种切梢小蠹在不同受害林分中空间依赖范围依次是: 轻度受害林分>中度受害林分>重度受害林分, 而局部空间连续性依次是: 轻度受害林分>中度受害林分>重度受害林分。【结论】云南松林两种切梢小蠹成虫在蛀梢期的空间分布格局为聚集分布, 明确两者在该时期存在聚集危害的特性, 导致云南松因树梢受到聚集危害变为衰落木, 从而有利于成虫蛀干危害和繁殖。本文为探究两种切梢小蠹在云南松林中的危害机制提供理论基础, 也为虫害监测及防治提供参考与技术支持。

关键词 地统计学, 云南切梢小蠹, 横坑切梢小蠹, 聚集分布

Research on the spatial distribution patterns of *Tomicus* sp. in *Pinus yunnanensis* during the shoot feeding period

YU Lin-Feng^{1**} HUANG Hua-Guo¹ ZE Sang-Zi² REN Li-Li¹
ZONG Shi-Xiang¹ LU Wen-Juan³ LUO You-Qing^{1***}

(1. Beijing Key Laboratory for Forest Pest Control, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Bureau of Harmful Forest Pest Management of Yunnan Province, Kunming 650000, China; 3. Xiangyun Forestry Bureau, Xiangyun 672100, China)

Abstract [Objectives] *Pinus yunnanensis*, which is generally regarded as a key species for the conservation of soil and water in southwest China, is heavily damaged by *Tomicus yunnanensis* and *Tomicus minor* in pine forests in Xiangyun county, Yunnan province. The characteristic damage caused by these pests during the shoot feeding period was studied in order to provide guidance and suggestions for their monitoring and prevention. [Methods] The spatial distribution of *T. yunnanensis* and *T. minor* were analyzed using geostatistical methods in three forests with different levels of damage. [Results] Damage levels caused by these species differed significantly among the three forests; only 11.38% of shoots were damaged in lightly infested forest, 36.56% of shoots were damaged in moderately infested forest, and 59.70% of shoots were damaged in severely infested forest. An isotropic variogram indicated that *T. yunnanensis* and *T. minor* have an aggregated distribution in the three forests. The level of spatial dependence in the three forests could be ranked as follows: lightly infested forest > moderately infested forest > severely infested forest, and the intensity of local spatial continuity could be ranked as follows: lightly infested

*资助项目 Supported projects: 公益性行业科研专项 (201404401)

**第一作者 First author, E-mail: ylf1801@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: youqingluo@126.com

收稿日期 Received: 2017-09-28, 接受日期 Accepted: 2017-11-01

forest > moderately infested forest > severely infested forest. **[Conclusion]** Both *T. yunnanensis* and *T. minor* have aggregated distributions during the shoot feeding period. The damage to shoots caused by these aggregations can weaken Yunnan pine making it more conducive for adults to bore into the trunk and to reproduce. This study contributes to understanding the mechanism through which *T. yunnanensis* and *T. minor* damage pine trees, and provides technical guidance for their monitoring and control.

Key words geostatistics, *Tomicus yunnanensis*, *Tomicus minor*, aggregate distribution

云南松 *Pinus yunnanensis* Faranch 是我国西南地区特有的针叶用材树种, 广泛分布于云南、贵州、四川、广西、西藏等地区, 具有生长较快、材质较好、耐干旱瘠薄、天然更新能力强等优良品性, 是云南省主要的森林植被类型之一, 在水土保持、经济发展及生态建设等方面有着不可替代的作用(罗方书等, 1987; 金振洲和彭鉴, 2004; 戴开结等, 2006)。然而近年来, 云南省祥云县的云南松林主要受到云南切梢小蠹 *Tomicus yunnanensis* Kirkendall & Faccoli 和横坑切梢小蠹 *Tomicus minor* Hartig 的危害, 给当地的云南松林造成了巨大的损失。

云南切梢小蠹和横坑切梢小蠹, 均属于鞘翅目 (Coleoptera) 小蠹科 (Scolytidae) 切梢小蠹属 (*Tomicus*), 主要寄主有云南松、思茅松 *P. kesiya* var. *langbianensis*、马尾松 *P. massoniana* 等 20 余个松属树种, 以云南松受害最为严重, 在云南省祥云县为 1 年 1 代, 每年的 5 月到 11 月期间为“蛀梢期”, 主要以成虫在云南松树梢进行钻蛀危害, 在危害严重的林分中, 两种切梢小蠹的成虫会危害整株云南松的全部树梢, 导致树木死亡。当秋天温度降低, 性成熟的成虫会从树梢向树干转移, 从 11 月到第 2 年 5 月份为“蛀干期”, 成虫在树干蛀食坑道, 交配产卵, 卵、幼虫和蛹的生长发育均是在云南松的主干上进行, 等到成虫羽化后, 又飞到树梢上进行危害 (Ye, 1991, 1997; 叶辉和李隆术, 1994, 1996; 李丽莎等, 1997; Hui and Lieutier, 1997; Långström et al., 2002)。从 1980 年开始, 切梢小蠹在中国西南地区已经造成了几百万公顷的云南松林死亡 (Ye, 1991; Ye and Ding, 1999; 季梅等, 2007)。

昆虫的空间分布格局是昆虫种群重要特征

之一, 研究昆虫的空间分布格局有助于了解昆虫的生态特性, 对于了解其生态学及实施防治措施都具有重要的意义 (周强等, 1998; 于新文和刘晓云, 2001)。在两种小蠹在蛀梢期的空间分布格局研究方面, 前人主要侧重于单株云南松上切梢小蠹的空间分布, 如叶辉和李隆术 (1994), 许庆亮等 (2002), 李红等 (2003) 对纵坑切梢小蠹 *Tomicus piniperda* Linnaeus 蛀梢期空间分布型进行研究, 结果表明在不同的受害林分中, 纵坑切梢小蠹在整个树冠及树冠不同方位层次均属聚集分布, 而对蛀梢期的切梢小蠹在林分尺度上的空间分布研究较少, 张毅宁等 (1990) 利用多种分布型指数对轻度到中度危害的云南松纯林中松纵坑切梢小蠹蛀梢期的空间分布进行了研究, 叶辉等 (1994) 利用抽样调查的方法对中度危害云南松林中松纵坑切梢小蠹蛀梢期空间分布型进行了研究, 结果都表明在蛀梢期松纵坑切梢小蠹在枝梢中的分布为聚集分布, 但是传统的空间分布格局分析忽略了研究对象的空间分布位置, 无法反应局部的变化特征, 同时前人研究未涉及重度受害云南松林。在运用地统计学对昆虫空间格局研究方面, 宗世祥等 (2004), 潘杰等 (2011) 和章一巧等 (2012) 用地统计学方法分别对沙棘木蠹蛾 *Eogystia hippophaecolus* Hua, Chou, Fang et Chen 幼虫、红脂大小蠹 *Dendroctonus valens* LeConte 种群和栎黄枯叶蛾 *Trabala vishnou gigantina* Yang 蛹幼虫的空间分布进行了研究, 地统计学技术已经广泛应用于研究昆虫的空间分布格局。

在前人对切梢小蠹空间分布的研究中, 利用地统计学对不同受害程度林分中受害梢的空间分布格局的研究还未见报道。本研究选择了 3 种不同受害程度 (轻度危害, 中度危害, 重度危害)

的云南松林样地,对受害梢的空间分布格局运用地统计学分析,明确两种切梢小蠹在蛀梢期的危害特性,为揭示云南松林大面积受害机制,有效控制两种切梢小蠹在云南松上的危害,实现综合管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

普淜镇位于云南省大理市祥云县东南部,海拔在 850~2 745 m 之间,气候属北亚热带高原季风型中温带气候,干湿季节分明,降水集中,光照充足。年平均气温 14.7℃,年均降雨量 783.7 mm。

2016 年 11 月在祥云县普淜镇云南松林内根据林业有害生物发生及成灾标准(轻度受害林枯梢率:10%~20%;中度受害林枯梢率:20%~50%;重度受害林枯梢率:>50%)选取 3 块受害程度不同的云南松林地作为试验地。(1)轻度受害云南松林,平均胸径为 10.84 cm,平均树高约 5.50 m,被小蠹蛀食受害梢率为 11.38%。(2)中度受害云南松林,平均胸径为 9.63 cm,平均树高约 5.20 m,受害梢率为 36.56%。(3)重度受害云南松林,平均胸径为 11.83 cm,平均树高约 5.60 m,受害梢率为 59.70%。

1.2 研究方法

1.2.1 样方调查方法 在祥云县云南松林中选取 3 块不同受害程度的云南松林(30 m×30 m)作为试验地,用于受害梢的调查。首先记录云南松的株行距,将样方内所有云南松的相对空间位置绘于坐标纸上,然后采用每木检尺的方法调查云南松的树高、胸径、受害梢数量及总梢数量。

受害梢率的计算方法:

$P=a/A*100\%$, P 为单株云南松的受害梢率, a 为当年危害的受害梢数量, A 为单株云南松的全部梢的数量。

1.2.2 分析方法

(1) 半方差函数

半方差函数是指区域化变量 $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$

的增量平方的数学期望,即区域化变量增量的方差。其公式如下所示:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

式中, $\gamma(h)$ 为半方差函数值,半方差函数曲线图是半方差函数 $\gamma(h)$ 对距离 h 的坐标图形。 $N(h)$ 为被 h 分隔的数据对的数量, $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$ 分别是在点 x_i 和 $x_i + h$ 处样本的测量值, h 是两分隔样点的距离。

变异曲线图中有 3 个最重要的参数:基台值(Sill)、块金常数(Nugget)和变程(Range)。基台值可以反映区域化变量的总体变异水平。块金常数表示原点处变异函数的不连续性,代表了观测误差等导致的随机变化。变程是当变异函数的值达到平衡时的间隔距离,它反映了区域化变量的自相关范围。

(2) 变异函数理论模型的拟合

地统计学中常用来拟合实际变异曲线图的理论模型有线性模型、指数模型、球状模型和高斯模型。其中线性模型表示种群的空间分布为随机分布,其他 3 种均表示种群的空间分布为聚集分布。在选择最优拟合模型时要先考虑决定系数 R^2 的大小,其次残差 RSS 的大小,最后变程和块金常数的大小,综合考虑理论模型的优劣程度。本文使用 GS+9.0 软件对受害梢的空间分布格局进行地统计学分析。

(3) 空间分布图的生成

在 Surfer 8 软件中借助 Kriging 插值法进行插值分析,并生成空间分布图(图 1)。

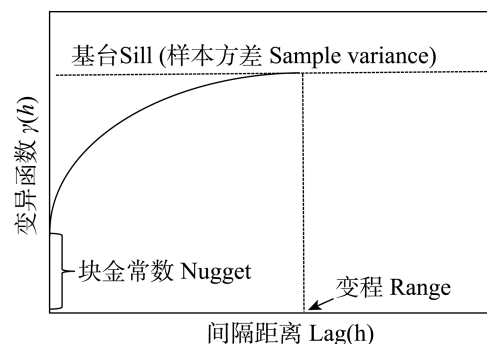


图 1 典型的变异曲线图

Fig. 1 A typical variogram

2 结果与分析

2.1 样地调查结果

通过对样地内的云南松进行每木检尺调查，统计了不同受害程度云南松林内受害梢的数量分布状况（图 2~图 4）。轻度受害林分内受害梢个数 0~20 个/株的云南松所占的比例最大，为 91.50%，而>20 个/株的云南松占 8.5%；中度受害林分内受害梢个数 0~20 个/株的云南松所占的比例约为 56%，受害梢个数>40 个/株的云南松约占 16%；与前两者相比，重度受害林分内受害梢个数 40~60 及>60 个/株的云南松占的比例较大，分别占 18%和 20%左右。从样方调查结果表明 3 块样地内云南松受害梢数量的百分比分布差别较大。

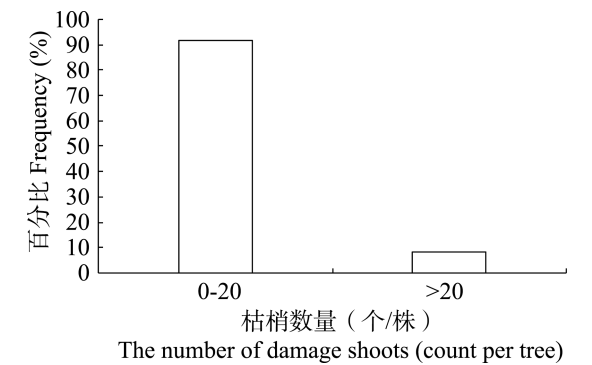


图 2 轻度受害林分受害梢密度分布
Fig. 2 Histogram of density for damage shoots in lightly-infested forest

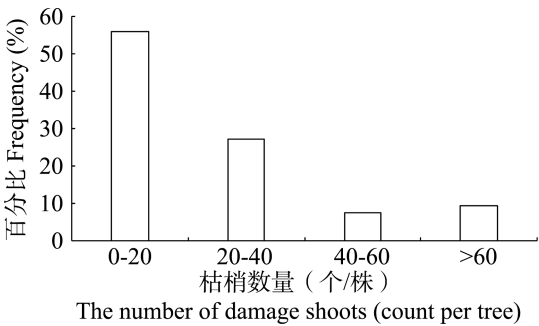


图 3 中度受害林分受害梢密度分布
Fig. 3 Histogram of density for damage shoots in moderate-infested forest

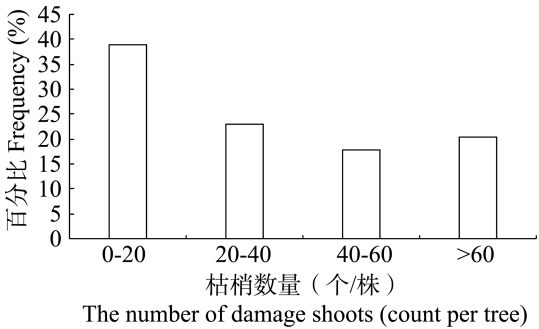


图 4 重度受害林分受害梢密度分布
Fig. 4 Histogram of density for damage shoots in severe-infested forest

2.2 不同受害云南松林内云南松林内受害梢的变异函数和空间分布格局

使用 GS+软件 ,对不同受害云南松林内云南松林内受害梢空间格局进行地统计学分析 ,其变异函数理论模型各参数及空间格局见表 1。

表 1 不同受害云南松林内受害梢的变异函数理论模型拟合参数及空间分布格局
Table 1 Parameters of variogram models and spatial distribution for damage shoots in different damage level forests

分析对象 Analysis objects	理论模型 Theoretical models	C_0	C	A	Sill	$C/Sill$	R^2	RSS	分布格局 Distribution Pattern
轻度受害林分 Slight infested forest	球状模型 Spherical model	0.300	6.741	11.150	7.041	0.957	0.794	14.800	聚集分布 Aggregation distribution
中度受害林分 Moderate infested forest	球状模型 Spherical model	0.460	5.084	4.250	5.544	0.917	0.746	4.410	聚集分布 Aggregation distribution
重度受害林分 Severe infested forest	指数模型 Exponential model	0.690	6.603	2.670	7.293	0.905	0.286	9.280	聚集分布 Aggregation distribution

C_0 为块金常数， C 为拱高， A 为变程，Sill 为基台值， $C/Sill$ 为空间变异， R^2 为决定系数，RSS 为残差平方和。

不同受害云南松林内受害梢的变异函数理论模型拟合参数及空间分布格局(表 1、图 5~图 7)表明不同受害云南松林中的受害梢都具有空间依赖性,其空间格局均为聚集分布。空间依赖范围为 11.15、4.25、2.67 m,即在此距离范围之内,抽样空间上任意两样点种群数量间都存在着一定的相关关系,空间相关性随着距离的增大逐渐减小,说明受害梢在中度和重度受害林中的相互依赖性比轻度受害林大,中度和重度受害林中受害梢的空间聚集程度大于轻度受害林。变异函数图中拱高 C 所占的比例分别为 95.7%, 91.7%和 90.5%,说明总空间变异中有 95.7%, 91.7%和 90.5%是由空间自相关现象产生。

由受害梢数量的等值线与矢量叠加图(图 5)

可以看出,轻度受害云南松林内受害梢呈斑块状分布,在整个区域内主要有 2 个聚集点,受害梢数量高的云南松主要聚集于林内中部位位置。每个聚集点分别由聚集点中心区域向四周逐渐减小,与聚集点中心距离相近的受害梢数量差异不大,但距离较远的受害梢数量差别较大。

由受害梢数量的等值线与矢量叠加图(图 6)可以看出,中度受害云南松林内受害梢呈斑块状分布,与轻度受害云南松林相比,在整个区域内有多个聚集点,受害梢数量高的云南松主要聚集于林内左上部位位置。

由受害梢数量的等值线与矢量叠加图(图 7)得知,重度受害云南松林内受害梢呈聚集分布,在整个区域内受害梢数量整体要高于轻度和中

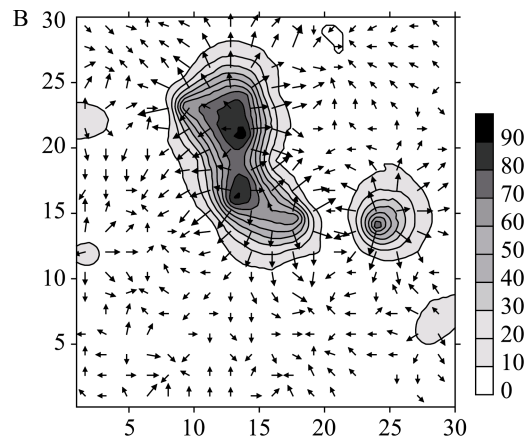
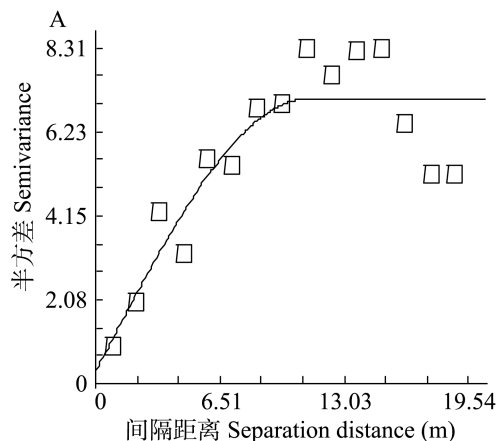


图 5 轻度受害林分中受害梢数量的变异函数图(A)和等值线与矢量叠加图(B)

Fig. 5 Variogram (A), overlay map of isoline and vector (B) of the number for damage shoots in lightly infested forest

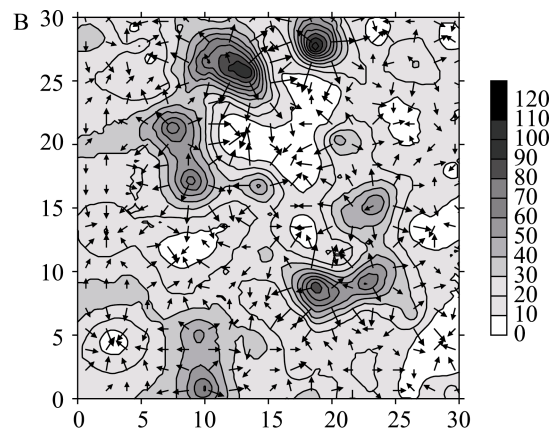
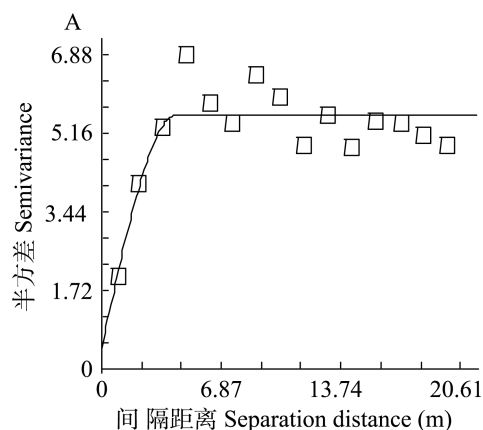


图 6 中度受害林分中受害梢数量的变异函数图(A)和等值线与矢量叠加图(B)

Fig. 6 Variogram (A), overlay map of isoline and vector (B) of the number for damage shoots in moderate infested forest

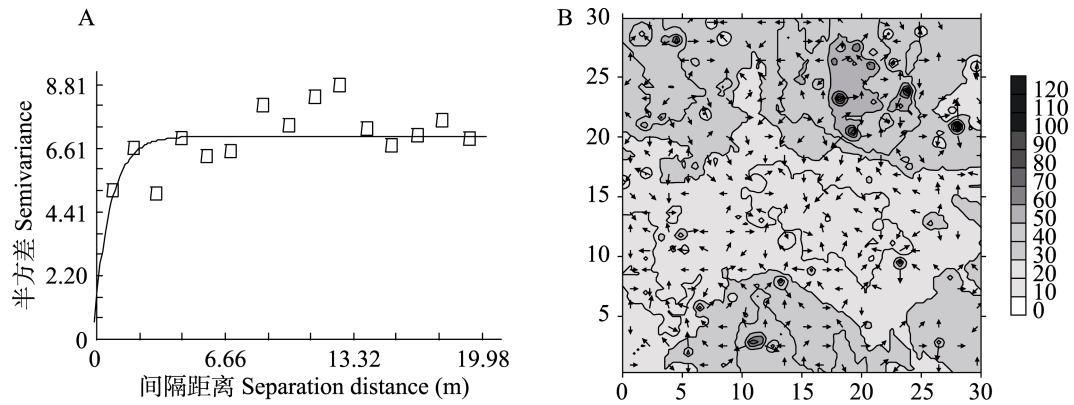


图 7 重度受害林分中受害梢数量的变异函数图 (A) 和等值线与矢量叠加图 (B)
Fig. 7 Variogram (A), overlay map of isoline and vector (B) of the number for damage shoots in severe infested forest

度受害云南松林,同时也存在多个聚集点,受害梢数量高的云南松主要聚集于林内右上部和中下部位置。

3 讨论

本文通过地统计学分析表明 3 种不同受害程度的云南松林中被切梢小蠹危害的树梢的空间分布均表现出聚集分布。轻度受害林分内受害梢的空间依赖范围要大于中度受害和重度受害林分内的空间依赖范围。这说明两种切梢小蠹在蛀梢期的空间格局,与林分受害程度有关。叶辉和李隆术(1994)研究表明在中度受害的云南松林中,蛀梢期松纵坑切梢小蠹在云南松树梢上存在聚集危害的习性,与我们研究得到的在中度受害林中受害梢的空间分布为聚集分布一致。叶辉和李隆术(1994)还发现新成虫主要集中于蛀干木周围的云南松的树梢上,以蛀干木为中心向四周扩散。此外, Lieutier 等(2003)发现云南松干部坑道数量与受害梢率存在线性关系,坑道数量随着受害梢率的增大而增大,说明切梢小蠹在蛀梢期聚集危害能降低云南松的树势,逐步使其变为衰落木,而有利于性成熟的成虫产卵繁殖。

对于切梢小蠹在树梢聚集危害的原因,韩平等(2009),姬贵平(2012)研究表明两种切梢小蠹都表现出对被害云南松枝梢及枝梢粗提物有着明显的趋向选择,说明蛀梢期小蠹能够识别出合适的寄主及主要的危害部位。王军辉

(2015)进一步研究发现在蛀梢期,健康云南松枝梢与被害的云南松枝梢的挥发物存在差异,横坑切梢小蠹雌雄虫和云南切梢小蠹雌雄虫对自身为害的枝梢挥发物有强烈的趋性,说明被害云南松梢的挥发物是切梢小蠹趋向被害梢的一个重要的识别因素。

综合前人和我们的研究,得出初步结论,在不同受害程度的云南松林中,切梢小蠹在蛀梢期都聚集危害,导致部分云南松因高枯梢率变成衰落木,性成熟的成虫又偏好在衰落木上蛀干产卵繁殖,在树干新羽化的成虫又飞到附近的云南松的树梢上进行聚集蛀梢危害;此外,被害云南松梢的挥发物是切梢小蠹趋向被害梢的一个重要原因,切梢小蠹在云南松树梢上聚集危害的机制还有待进一步研究。

基于在不同受害程度云南松林中,切梢小蠹在云南松树梢上成聚集危害的现象,在防治切梢小蠹时,可以羽化期前,针对受害梢率高的云南松以及红冠木进行清理,一定程度上能降低林分中的虫口数量,达到综合治理的目的。

参考文献 (References)

- Dai KJ, He F, Shen YX, Zhou WJ, Li YP, Tang L, 2006. Advances in the research on *Pinus yunnanensis* forest. *Journal of Central South Forestry University*, 26(2): 138-142. [戴开结, 何方, 沈有信, 周文君, 李扬苹, 唐丽, 2006. 云南松研究综述. 中南林业科技大学学报, 26(2): 138-142.]
- Han PD, Cao P, Zhang Z, Wu W, 2009. Selectivity of 3 *Tomicus* spp. attacked *Pinus yunnanensis* to different health hosts during the shoot feeding period. China Forestry Academic Conference.

- Guangxi, Nanning. [韩平定, 曹鹏, 张真, 吴伟, 2009. 云南松 3 种切梢小蠹蛀梢期对不同状态寄主的选择性. 中国林业学术大会. 广西, 南宁.]
- Hui YC, Lieutier F, 1997. Shoot aggregation by *Tomicus piniperda* L. (Coleoptera: Scolytidae). Southwestern China. *Annales des Sciences Forestières*, 54(7): 635–641.
- Ji GP, 2012. Semiochemical based host selection mechanism of three *Tomicus* spp. Attacking Yunnan pine during shoot-feeding phase. Master dissertation. Beijing: Chinese Academy of Forestry. [姬贵平, 2012. 云南松 3 种切梢小蠹蛀梢期寄主选择的化学生态学机制. 硕士学位论文. 北京: 中国林业科学研究院.]
- Ji M, Dong XQ, Liu HP, Li LS, XU H, Yang XP, Li HR, Ze SZ, 2007. Preliminary study on remote sensing detection of Yunnan pine forest damaged by *Tomicus piniperda*. *Journal of West China Forestry Science*, 36(1): 87–90. [季梅, 董谢琼, 刘宏屏, 李丽莎, 徐虹, 杨晓鹏, 李浩然, 泽桑梓, 2007. 云南松林纵坑切梢小蠹灾害遥感监测的初步研究. 西部林业科学, 36(1): 87–90.]
- Jin ZZ, Peng J, 2004. *Pinus yunnanensis*. Yunnan Science and Technology Publishing Press. 5–13. [金振洲, 彭鉴, 2004. 云南松. 昆明: 云南科技出版社. 5–13.]
- Långström B, Li LS, Liu HP, Peng, CAO P, Li HR, Hellqvist C, Lieutier F, 2002. Shoot feeding ecology of *Tomicus piniperda*, and *T. minor*, (Col. Scolytidae) in southern China. *Journal of Applied Entomology*, 126(7/8): 333–342.
- Li H, Chen F, Liu HP, 2003. Study on the spatial distribution type of *Tomicus piniperda* during the period of feeding shoot. *Journal of Northwest Forestry University*, 23(1): 71–75. [李红, 陈方, 刘宏屏, 2003. 纵坑切梢小蠹蛀梢期空间分布型研究. 西南林业大学学报, 23(1): 71–75.]
- Li LS, Wang HL, Chai XS, Wang YX, Shu NB, Yang DS, 1997. Study on the biological characteristics of *Tomicus piniperda* and its damage. *Yunnan Forestry Science & Technology*, (2): 1–7. [李丽莎, 王海林, 柴秀山, 王用贤, 舒凝碧, 杨道生, 1997. 云南松纵坑切梢小蠹危害及生物学特性研究. 西部林业科学, (2): 1–7.]
- Lieutier F, Ye H, Yart A, 2003. Shoot damage by *Tomicus* sp. (Coleoptera: Scolytidae) and effect on *Pinus yunnanensis* resistance to subsequent reproductive attacks in the stem. *Agricultural & Forest Entomology*, 5(3): 227–233.
- Luo FS, Wan GH, Pi WL, 1987. Studies on the geographical provenance of *Pinus yunnanensis* I. seeding test. *Acta Botanica Yunnanica*, 9(4): 427–435. [罗方书, 万国华, 皮文林, 1987. 云南松地理种源研究. 云南植物研究, 9(4): 427–435.]
- Pan J, Wang T, Zong SX, Wen JB, Luo YQ, 2011. Geostatistical analysis and sampling technique on spatial distribution pattern of *Dendroctonus valens* population. *Acta Ecologica Sinica*, 31(1): 195–202. [潘杰, 王涛, 宗世祥, 温俊宝, 骆有庆, 2011. 红脂大小蠹种群空间格局地统计学分析及抽样技术. 生态学报, 31(1): 195–202.]
- Wang JH, 2015. Chemical ecological relationships of three *Tomicus* species. Doctoral dissertation. Beijing: Chinese Academy of Forestry. [王军辉, 2015. 三种切梢小蠹化学生态学关系研究. 博士学位论文. 北京: 中国林业科学研究院.]
- Xu QL, Yang ZX, 2002. Study on the spatial distribution of *Tomicus piniperda* during the shoot feeding period. *Journal of Liaoning Forestry Science & Technology*, (s1): 1–2. [许庆亮, 杨振学, 2002. 纵坑切梢小蠹成虫蛀梢期空间分布型的研究. 辽宁林业科技, (s1): 1–2.]
- Ye H, 1991. On the bionomy of *Tomicus piniperda* (L.) (Col. , Scolytidae) in the Kunming region of China. *Journal of Applied Entomology*, 112(1/5): 366–369.
- Ye H, 1996. Studies on the biology of *Tomicus piniperda* (Col. , Scolytidae) in the shoot-feeding period. *Acta Entomologica Sinica*, 39(1): 58–62. [叶辉, 1996. 纵坑切梢小蠹蛀梢期生物学研究. 昆虫学报, 39(1): 58–62.]
- Ye H, Ding XS, 1999. Impacts of *Tomicus minor* on distribution and reproduction of *Tomicus piniperda* (Col. , Scolytidae) on the trunk of the living *Pinus yunnanensis* trees. *Journal of Applied Entomology*, 123(6): 329–333.
- Ye H, Li LS, 1994. The distribution of *Tomicus piniperda* (L.) population in the crown of Yunnan pine during the shoot feeding period. *Acta Entomologica Sinica*, 37 (3): 311–316. [叶辉, 李隆术, 1994. 纵坑切梢小蠹蛀梢期空间分布. 昆虫学报, 37(3): 311–316.]
- Ye H, 1997. Mass attack by *Tomicus piniperda* L. (Col. , Scolytidae) on *Pinus yunnanensis* tree in the Kunming region, Southwestern China// Gregoire JC, Liebhold FM, Stephen FM, Day KR, Salom SM (eds.). Proceedings: Integrating Cultural Tactics into the Management of Bark Beetles and Reforestation Pests. yUSDA Forest Service, General Technical Report NE-236. 22 Radnor, PA: USDA, Forest Service. 225–227.
- Yu XW, Liu XY, 2001. Review of research methods on spatial pattern of insect population. *Journal of Northwest Forestry University*, 16(3): 83–87. [于新文, 刘晓云, 2001. 昆虫种群空间格局的研究方法评述. 西北林学院学报, 16(3): 83–87.]
- Zhang YN, Yang HM, Shi XC, Jiang ZX, 1990. Research on the spatial distribution type and application of *Tomicus piniperda* adult during shoot damage. *Yunnan Forestry Science and Technology*, (2): 59–61. [张毅宁, 杨红明, 石新成, 江志祥, 1990. 松纵坑切梢小蠹侵害枝梢成虫空间分布型及应用. 云南林业科技, (2): 59–61.]
- Zhang YQ, Zong SX, Liu YH, Wen JB, Yan ZW, Luo YQ, 2012. Spatial distribution of *Trabala vishnou gigantina* Yang pupae in Shaanxi Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 32(20): 6308–6317. [章一巧, 宗世祥, 刘永华, 温俊宝, 闫占文, 骆有庆, 2012. 陕西省栎黄枯叶蛾蛹的空间分布. 生态学报, 32(20): 6308–6317.]
- Zhou Q, Zhang RJ, Gu DX, 1998. Review of geostatistics in applied insect population spatial structure. *Zoological Research*, 19(6): 482–488. [周强, 张润杰, 古德祥, 1998. 地统计学在昆虫种群空间结构研究中的应用概述. 动物学研究, 19(6): 482–488.]
- Zong SX, Jia FY, Xu ZC, Luo YQ, Zhang LS, Liang SJ, 2004. Spatial distribution and sampling methods of *Holcocerus hippophaecolus*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 41(6): 552–555. [宗世祥, 贾峰勇, 许志春, 骆有庆, 张连生, 梁树军, 2004. 沙棘木蠹蛾幼虫空间分布和抽样技术. 昆虫知识, 41(6): 552–555.]