

北京地区红脂大小蠹空间分布型与 抽样技术研究*

潘杰¹ 王涛² 宗世祥¹ 温俊宝^{1**} 骆有庆¹

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室 北京 100083;

2. 北京市门头沟林业站 北京 102300)

The spatial distribution pattern and sampling technique of *Dendroctonus valens* in Beijing. PAN Jie¹, WANG Tao², ZONG Shi-Xiang¹, WEN Jun-Bao^{1**}, LUO You-Qing¹ (1. Key Laboratory for Silviculture and Conservation, Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Mentougou Forestry Station, Beijing 102300, China).

Abstract The spatial distribution pattern of *Dendroctonus valens* (LeConte) was investigated in Beijing. The results indicate that spatial distribution was aggregated, probably because *D. valens* has an innate tendency to aggregate, or because of a combination of this and environmental heterogeneity. Using Iwao's statistical methods, models to determine the optimal theoretical sampling number and the optimal sequential sampling number are presented.

Key words *Dendroctonus valens*, spatial distribution pattern, sampling technique, sequential sampling

摘要 对北京地区红脂大小蠹 *Dendroctonus valens* LeConte 空间分布型进行了研究。结果表明红脂大小蠹成聚集分布,其聚集原因是由红脂大小蠹本身的聚集行为或聚集行为与环境的异质性共同作用引起。同时,应用 Iwao 统计方法,提出了最适理论抽样数和最佳序贯抽样模型。

关键词 红脂大小蠹,空间分布型,抽样技术,序贯抽样

红脂大小蠹 *Dendroctonus valens* LeConte, 又叫强大小蠹,在我国为一新记录的外来入侵种。国外分布于美国、加拿大、洪都拉斯等国,危害各种松树,有时也危害云杉和冷杉^[1,2]。该虫于 1998 年在我国山西省阳城、沁水首次被发现。目前已知主要寄主树种为油松、白皮松和华山松。截止到 2004 年底,红脂大小蠹在我国已经扩散到山西、陕西、河北、河南 4 省,发生面积超过 5×10^5 hm²,枯死松树达 600 多万株^[1,3,4],给我国林业经济的发展造成严重损失。

北京地区于 2005 年首次在门头沟西峰寺林场发现,此后又相继在清水林场、小龙门、戒台寺多处被监测到。油松 (*Pinus tabulaeformis*) 是北京主要造林和绿化树种,面积达 7.9 万 hm²,占林分面积的 17.3%;蓄积量为 193 万 m³,占林分蓄积的 14.9%。随着红脂大小蠹在

北京地区的成功入侵定殖,使松树资源遭受到严重威胁,从而影响到北京地区林业生产和生态。

作为一种外来入侵物种,红脂大小蠹入侵后的危害特点与原产地有很大差异,甚至同一地区的危害特点也不完全一样^[5,6]。由于其传入北京地区的时间较短,因此对其危害特点、种群生物学特性等方面的研究较少,而种群空间分布型及抽样技术研究对于制定有效的防治对策具有非常重要的意义。对红脂大小蠹的空间分布已有一些报道^[7-9],均认为其为聚集分布,但有关聚集原因却存在不同的观点,一种

* 资助项目:北京市教育委员会共建项目建设计划 (JD100220888)、中央高校基本科研业务费专项资金。

** 通讯作者, E-mail: wenjb@bjfu.edu.cn

收稿日期:2010-01-08, 修回日期:2010-04-20

观点认为是由于某些环境因素所致^[7];而另一种观点则认为这是由于生物本身的聚集行为与环境的异质性共同作用引起^[8]。然而,有关红脂大小蠹的理论抽样数模型和序贯抽样模型的研究至今还未见报道,为此本文对北京小龙门林场红脂大小蠹种群空间分布型与理论抽样技术进行了深入研究,从而为北京地区红脂大小蠹的调查取样方式与防治决策提供必要的理论依据。

1 试验地概况

北京小龙门林场位于北京西部门头沟区东灵山地区,西、南分别与河北涿鹿、涑水两县接壤,北纬 $40^{\circ}01'$ 东经 $115^{\circ}27'$ 。林场及其附近地区海拔 $1.0\sim 2.3$ km,为典型的中山地带,属太行山脉小五台山区余脉。气候类型为温带半湿润季风气候,年均温度 $2\sim 8^{\circ}\text{C}$,昼夜温差大。年均降水量 700 mm以上,全年无霜期 170 d左右。植被以次生天然落叶阔叶林(主要树种有桦、槭、榆、核桃、揪等);人工针叶林(油松、落叶松等);天然灌丛(荆条、绣线菊、山杏、太平花、六道木等);野生草被(蒿、苔草等)为主^[10]。

2 材料与方法

2.1 调查方法

于2008年7月在小龙门林场选择平均树龄20年、平均胸径 14 cm、郁闭度 $0.5\sim 0.8$ 的7块被害油松纯林为样地,每块样地逐株调查60株以上,调查记载其当年侵入孔数量并以此作为密度指标分析红脂大小蠹空间分布型。

2.2 研究方法

2.2.1 空间分布型

2.2.1.1 测定方法 将样地调查所得的数据,以1块样地为1组,计算其侵入孔平均值(\bar{x})、方差(s^2)、平均拥挤度(x^*)。再采用以下聚集度指标法分析测定其分布型:

扩散系数 C : $C = s^2/\bar{x}$ 。当 $C < 1$ 时,为均匀分布;当 $C = 1$ 时,为随机分布;当 $C > 1$ 时,为聚集分布。

David 和 Moore 指标 $I^{[11]}$: $I = s^2/\bar{x} - 1$ 。当 $I < 0$ 时,为均匀分布;当 $I = 0$ 时,为随机分布;当 $I > 0$ 时,为聚集分布。

Cassie 指标 Ca : $Ca = (s^2 - \bar{x})/\bar{x}^2$ 。当 $Ca < 0$ 时,为均匀分布;当 $Ca = 0$ 时,为随机分布;当 $Ca > 0$ 时,为聚集分布。

扩散型指数 I_{δ} : $I_{\delta} = n(\sum fx_i^2 - N)/N(N-1)$ 。当 $I_{\delta} = 1$ 时,为随机分布;当 $I_{\delta} > 1$ 时,为聚集分布;当 $I_{\delta} < 1$ 时,为均匀分布。

负二项分布的 K 指标: $K = x^2/(s^2 - x)$ 。当 $K < 0$ 时,为均匀分布;当 $K \rightarrow +\infty$ 时,为随机分布;当 $K > 0$ 时,为聚集分布。

Lloyd M. 指标 x^*/\bar{x} :当 $x^*/\bar{x} < 1$ 时,为均匀分布;当 $x^*/\bar{x} = 1$ 时,为随机分布;当 $x^*/\bar{x} > 1$ 时,为聚集分布。

同时,应用 Blackity (1961) 的种群聚集均数(λ)检验分析聚集的原因,公式为 $\lambda = rx/2k$,式中 r 是当自由度为 $2k$ 、 $\alpha = 0.05$ 时的卡方分布的函数值^[12],当 $\lambda < 2$ 时,聚集原因是由于某种环境因素所致;当 $\lambda \geq 2$ 时,其聚集原因可能是由于生物本身的聚集行为或由于生物本身的聚集行为与环境的异质性共同作用引起。

2.2.1.2 回归模型分析法 根据 Iwao (1968) 建立的平均拥挤度(x^*)与平均数(\bar{x})的回归模型^[13]: $x^* = \alpha + \beta\bar{x}$ 计算研究测定红脂大小蠹的空间分布型。当 $\alpha = 0$ 时,分布的基本成分为单个个体, $\alpha > 0$ 时,分布的基本成分为个体群,个体间相互吸引,当 $\alpha < 0$ 时,个体之间相互排斥; $\beta = 1$ 为随机分布, $\beta > 1$ 为聚集分布, $\beta < 1$ 为均匀分布。

2.2.2 抽样技术

2.2.2.1 理论抽样数

应用 Iwao (1977) 的理论抽样原理,建立理论抽样数模型: $N = t^2 [(\alpha + 1)/\bar{x} + \beta - 1]/D^2$,式中 N 为最适抽样数, D 为允许误差, t 为概率保证值(实际调查中 $t = 1$) \bar{x} 为平均数, α 、 β 指 $x^* = \alpha + \beta\bar{x}$ 直线回归方程的常数^[14]。然后求出理论抽样数,以此作为实际调查取样数量。

2.2.2.2 序贯抽样 应用 Iwao (1977) 提出的

新序贯抽样理论,建立新序贯抽样模型,制定序贯抽样表,并以此作为防治决策依据。基本原理为:设种群临界密度(防治指标)为 m_0 ,把抽样过程中接受和拒绝的 2 条直线定义为:在特定 t 值下抽样样本中个体总数 $T_0(n)$ 的上、下界。其通式为:

$$T_0(n) = m_0 n \pm t \sqrt{n [(\alpha + 1)m_0 + (\beta - 1)m_0^2]}$$

式中, $T_0(n)$ 为累计成虫数, m_0 为防治指标, n 为抽样数, t 为自由度 ∞ 时的 t 值,即 $t =$

1.96 α 、 β 指 $x^* = \alpha + \beta x$ 直线回归方程的常数^[15]。

3 结果与分析

3.1 空间分布型

3.1.1 扩散型指数的测定 采用以上 6 种聚集度指标测定红脂大小蠹空间格局,结果见表 1。

表 1 红脂大小蠹各项聚集度指标

样地号	C	I	Ca	K	x^*/x	I_δ	λ
1	1.9589	6.2551	3.5514	0.2816	4.5515	2.2500	1.8414
2	1.7387	10.5911	4.9244	0.2031	5.9247	1.6667	1.4184
3	1.6925	13.1042	5.7708	0.1733	6.7708	4.2857	1.3298
4	2.0845	8.4752	4.9298	0.2028	5.9295	2.9670	2.0834
5	4.7624	5.8035	5.3749	0.1861	6.3749	2.5758	7.2238
6	2.7660	26.6600	17.6600	0.0566	18.6600	12.0000	3.3931
7	3.4777	10.5922	8.2589	0.1211	9.2590	4.3137	4.7576
合计	18.4807	81.4813	50.4702	1.2246	57.4704	30.0589	22.0475
平均	2.6401	11.6402	7.2100	0.1749	8.2101	4.2941	3.1496

由表 1 可见, $C > 1$, $I > 0$, $Ca > 0$, $K > 0$, $x^*/x > 1$, $I_\delta > 1$, 表明红脂大小蠹在林间分布均呈聚集分布。

3.1.2 回归模型分析法 根据 Iwao(1968) 建立红脂大小蠹的空间分布型模型。经计算得: $x^* = 0.3905 + 5.7029x$, 其中 $\alpha = 0.3905 > 0$, $\beta = 5.7029 > 1$ 。可知红脂大小蠹空间分布的基本成分为个体群且个体间相互吸引, 为典型的聚集分布。

3.2 影响红脂大小蠹聚集分布的原因

应用 Blackity(1961) 的种群聚集均数 (λ)

检验分析聚集的原因, 经计算 $\lambda = 3.1496 > 2$ (表 1), 所以红脂大小蠹聚集原因可能是由于生物本身的聚集行为或由于生物本身的聚集行为与环境的异质性共同作用引起。

3.3 抽样技术

3.3.1 理论抽样数 根据 Iwao(1977) 统计方法建立理论抽样数模型 $N = (1.3905/x + 4.7029)/D^2$, 在允许一定误差值(设 $D = 0.1$ 、 0.15 、 0.2 、 0.3)的前提下, 应用上述模型, 即可求得红脂大小蠹不同虫口密度 (x) 与不同精度要求下应抽取的理论抽样点数, 结果如表 2 所示。

表 2 红脂大小蠹理论抽样数表

允许误差	平均虫口密度(头/株)										
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	3	4	5	10
0.1	1861	1166	934	818	748	609	540	517	505	498	484
0.15	827	518	415	364	333	271	240	230	224	221	215
0.2	465	291	233	204	187	152	135	129	126	125	121
0.3	207	130	104	91	83	68	60	57	56	55	54

由表 2 可知, 在允许误差相同的情况下, 随着平均虫口密度的增加, 抽样数逐渐减少。如

在允许误差为 0.3, 虫口密度为 0.5 头/株时, 抽样数为 83 株; 平均虫口密度为 1 头/株时, 抽

样数为 68 株。因此,采用公式 $N = (1.3905/x + 4.7029) / D^2$ 即可求出红脂大小蠹在林间不同密度下的最适抽样数。

3.3.2 序贯抽样 目前,对于红脂大小蠹并无统一的防治指标,根据实际的生产经验可取 1、2、3、4、5 头/株,取 $n = 10、20、30、40、50、60、70、$

80、90、100 时,根据 Iwao (1977) 提出的新序贯抽样理论,即可制定红脂大小蠹序贯抽样表(表 3)。从表 3 可知,若取防治指标 $m_0 = 5$ 时,如调查 10 株累计虫口数高于 86 头需防治,低于 15 头不需防治。处于 15 ~ 86 头之间时,需继续抽样至最大抽样数。

表 3 红脂大小蠹序贯抽样表

防治指标 (头/株)		抽样数 (株)									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$m_0 = 1$	上界	19	33	45	58	70	82	93	105	116	128
	下界	2	8	16	23	31	39	48	56	65	73
$m_0 = 2$	上界	35	61	86	110	133	156	179	202	225	247
	下界	6	20	35	51	68	85	102	119	136	154
$m_0 = 3$	上界	52	91	128	164	199	233	268	301	335	369
	下界	9	30	53	77	102	128	153	180	206	232
$m_0 = 4$	上界	69	121	170	217	264	310	356	401	445	490
	下界	12	40	71	104	137	171	205	240	275	311
$m_0 = 5$	上界	86	150	212	271	329	387	444	500	556	612
	下界	15	51	89	130	172	214	257	301	345	389

4 结论与讨论

4.1 入侵北京原因

由于北京地区每年引进各种林木花卉、种子苗木等,而且植物种苗来源广泛、种类繁多、品系复杂,检疫性有害生物随之传入的风险较大。而一些人为因素的传播,如薪材调运则可以造成该害虫远距离扩散。因为刚砍伐下的原木和伐桩等本身是红脂大小蠹侵入的理想对象,可以避免大量的流脂,增加它的侵入成功率,入侵后也有比较长的存活时间和较高的存活率。109 国道承载着京西物流通道的重任,其中小龙门林场一段,由于道路崎岖、蜿蜒盘旋,经常发生交通堵塞、货物滞留的现象,甚至严重时可以持续 1 周至 1 个月不等,如果所运的木材中有害虫发生地未经检疫和脱皮处理的原木,这就给红脂大小蠹入侵小龙门油松林提供了必要条件,这也可能是红脂大小蠹入侵北京地区的原因。

另外,红脂大小蠹自然扩散能力很强,其飞翔距离可达 20 km 左右^[5]。因此通过自然扩散完全可以跨越农田、河流等非寄主的天然隔离

带,寻找到寄主目标。虽然地理屏障如高大山脉对红脂大小蠹的扩散有一定的阻遏作用,但目前此虫已扩散到太行山东麓的河北西南地区,中条山南麓的河南北部。而北方油松林分布甚广,大面积的油松纯林较有利于其扩散。

4.2 空间分布状态

北京地区红脂大小蠹分布型属于典型的聚集分布,分布的基本成分为个体群且个体间相互吸引。聚集原因分析表明,可能是由于生物本身的聚集行为或由于生物本身的聚集行为与环境的异质性共同作用引起而非环境因素所致。现已证明红脂大小蠹能通过松树挥发性物质中的 3-(+)-萜烯等单萜烯、红脂大小蠹本身产生的挥发性物质马鞭草烯酮的特定浓度来确定其适宜的寄主^[16-18],而雌虫在确定其适宜寄主的过程中更为主动^[19-21]。调查表明该虫主要为害树龄 20 年以上胸径在 10 cm 以上的健康油松及新鲜伐桩等。

4.3 抽样技术

林间调查最适抽样数与虫口密度和允许误差有关,在同一虫口密度下,允许误差不同,其最适抽样数差距较大,故在实际调查中,应根据

人力与时间的实际情况,选择适当的允许误差。应用 Iwao 统计方法,建立不同密度下的理论抽样数表。因此,对于调查测报,就可以对照理论数表进行,也为今后确定抽样技术提够理论依据。

4.4 决策应用

由于红脂大小蠹空间分布格局为聚集分布,所以在进行大规模的防治时不能大面积盲目的使用广谱性农药,以免造成天敌的大量死亡和环境污染。针对北京地区的新疫情,可以组织工作人员在其聚集分布范围内普查虫情,制定一套行之有效的防治方法避免在北京地区的大规模扩散。

参 考 文 献

- 李计顺,常国彬,宋玉双,等. 实施工程治理控制红脂大小蠹虫灾——对红脂大小蠹爆发成因及治理对策的探讨. 中国森林病虫, 2001, (4): 41~44.
- 刘广生,王俊华,韩惠娟,等. 红脂大小蠹发生危害及其防治. 植物保护, 2003, 29(1): 58~59.
- 宋玉双,杨安龙,何嫩江. 森林有害生物红脂大小蠹的危险性分析. 森林病虫通讯, 2000, (6): 34~37.
- 杨星科. 外来入侵种——强大小蠹. 北京: 中国林业出版社, 2005. 106.
- 张历燕,陈庆昌,张小波. 红脂大小蠹形态学特征及生物学特性研究. 林业科学, 2002, 38(4): 95~99.
- 张海军,寇巧玲,王爱萍. 红脂大小蠹发生规律与习性调查. 山西林业科技, 2005, (3): 33~35.
- 苗振旺. 红脂大小蠹成虫侵入孔的空间分布型研究. 山西林业科技, 2002, (3): 7~9.
- 张历燕,张京陶,翟银海. 化学防治红脂大小蠹的策略与实践. 北京林业大学学报, 2003, 25(3): 37~41.
- 李建康,李有忠,李莉,等. 红脂大小蠹的分布型与防治指标研究. 西北林学院学报, 2006, 21(5): 109~112.
- 赵欣如,宋杰,张正旺,等. 北京小龙门雀形目鸟类环志研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1994. 8~15.
- 商胜华,张永春. 烟田南美斑潜蝇空间分布型研究. 贵州农业科学, 2002, 30(6): 20~22.
- 丁岩钦. 昆虫数学生态学原理与应用. 北京: 科学出版社, 1980. 18~31.
- 赵德良. 植物病虫测报. 北京: 中国农业出版社, 2000. 40~46.
- Zahner P. Sampling statistics for *Panonychus nimi* and *Tetranychus urticae* feeding on apple tree. *Res. Popul. Ecol.* 1984, (26): 97~112.
- Iwao S. The $m^* - m$ statistics as a comprehensive method for analyzing spatial patterns of biological populations and its application to sampling problems. *Jap. Int. Bio. Pro. Synth.*, 1977, (17): 21~46.
- 张龙娃,鲁敏,刘柱东,等. 红脂大小蠹入侵机制与化学生态学研究. 昆虫知识, 2007, 44(2): 172~177.
- 贾洪敏,黄大庄,曹逸霞,等. 松脂单萜类物质与油松对红脂大小蠹抗性的关系. 东北林业大学学报, 2008, 36(1): 48~50.
- 王鸿斌,张真,孔祥波. 油松萜烯类挥发物释放规律与红脂大小蠹危害的关系. 北京林业大学学报, 2005, 27(2): 75~80.
- 闫争亮,方宇凌,孙江华,等. 红脂大小蠹后肠挥发性物质的鉴定、触角电位和室内趋向实验. 昆虫学报, 2004, 47(6): 695~700.
- Yan Z. L., Sun J. H., Owen D., et al., The red turpentine beetle, *Dendroctonus valens* LeConte (Scolytidae): an exotic invasive pest of pine in China. *Biodiversity and Conservation*, 2005, (14): 1735~1760.
- 王鸿斌,王玉刚,张真,等. 油松挥发性物质分析及红脂大小蠹的触角电位反应. 林业科学, 2006, 42(5): 85~88.