

不同配置模式林分中光肩星天牛 空间格局的地统计研究

王 涛^{1,2}, 温俊宝^{1,*}, 骆有庆¹, 许志春¹, Kari Heliövaara³

(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. 北京市门头沟区林业工作站, 北京 102308;

3. Department of Applied Biology, University of Helsinki, Finland)

摘要:运用地统计学方法对光肩星天牛在新疆杨和复叶槭混交林(新复混交林)、合作杨纯林以及新疆杨与合作杨混交林(新合混交林)3种林分中的空间格局进行了研究。结果表明:刻槽、排粪孔和羽化孔在新复混交林和合作杨纯林中呈现较明显的空间聚集状态,而在新合混交林中则呈现完全的随机分布。新复混交林中,刻槽和排粪孔在林内的扩散趋势完全相反,即刻槽由林地周围向中心扩散,而排粪孔则由林地中心向四周扩散,这在一定程度上反映了光肩星天牛喜好产卵于刻槽较少,危害较轻的树上,而羽化孔在新复混交林中的分布数量较少,仅有几处聚集分布,由这些零星分布的聚集斑块向周围扩散;合作杨纯林中,由于林缘通风透光,合作杨生长状况较好,受害严重,从而导致枯死,最终失去对光肩星天牛的诱集作用,光肩星天牛刻槽、排粪孔和羽化孔由林地周围向中心扩散;而新合混交林中,刻槽、排粪孔和羽化孔在林内有多个聚集区域,并以此为中心向四周扩散,保持聚集和扩散平衡状态,从而表现为随机分布,这主要是由林内树种的配置情况所决定的。就不同配置树种的空间依赖性范围而言,刻槽和羽化孔在新复混交林内的空间依赖性范围要远远大于合作杨纯林,而排粪孔则远小于合作杨;就样方内的空间连续性强度而言,新复混交林中刻槽大于合作杨纯林,而排粪孔和羽化孔均小于合作杨纯林,这些均说明光肩星天牛危害在新复混交林内较集中,而在合作杨纯林内较分散。

关键词:光肩星天牛;不同配置模式林分;空间格局;地统计学

文章编号:1000-0933(2006)09-3041-08 中图分类号:Q968.1 文献标识码:A

Geostatistical study on the spatial pattern of *Anoplophora glabripennis* in three types of stands

WANG Tao^{1,2}, WEN Jun-Bao^{1,*}, LUO You-Qing¹, XU Zhi-Chun¹, Kari Heliövaara³ (1. The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Mentougou Forestry Station, Beijing 102300, China; 3. Department of Applied Biology, University of Helsinki, Finland). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(9): 3041 ~ 3048.

Abstract: The spatial pattern of *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) (Asian Longhorned Beetle, ALB) population was studied by geostatistical methods in three types of stands in China. The study stands represented: (1) a mixed stand of *Populus alba* var. *pyramidalis* and *Acer negundo*, (2) a pure stand of *P. simonii* × *P. nigra* var. *italica*, and (3) a mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *P. simonii* × *P. nigra* var. *italica*. The incisions, frass holes and emergence holes all showed intense spatial aggregation in the mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *Acer negundo* as well as in the pure stand of *P. simonii* × *P. nigra* var. *italica*, but in the mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *P. simonii* × *P. nigra* var. *italica* they showed a random distribution. The spatial patterns of the incisions and frass holes were totally different in the mixed stand of *Populus alba* var. *pyramidalis* and *Acer negundo*: the incisions were spreading from the entire stand to the center of it, while the frass holes

基金项目:国家“十五”攻关资助项目(2001BA509B10)

收稿日期:2006-01-21;修订日期:2006-07-21

作者简介:王涛(1976~),女,山西介休市人,硕士,主要从事林业害虫种群动态及预测预报研究。E-mail:wtao315@126.com

*通讯作者 Corresponding author. E-mail:wenjib@bjfu.edu.cn

Foundation item: The project was supported by Key Project for the Tenth Five-year Plan, China (No. 2001BA509B10)

Received date: 2006-01-21; Accepted date: 2006-07-21

Biography: WANG Tao, Master candidate, mainly engaged in population dynamic and forecasting of insect. E-mail: wtao315@126.com

were spreading from the center of the stand to the entire stand. This result indicated that the beetles were capable of laying eggs on the trees with few incisions and with less damage. However, the number of the emergence holes was very low and showed only a few aggregation spots. The beetles spread from these spots to the entire stand. The trees in the edge of the pure stand of *P. simonii* $\times$ *P. nigra* var. *italica* were in good growth status but heavily damaged thus permeating light through their foliage. Gradually these trees withered, causing the incisions, frass holes and emergence holes to spread from the center of the stand to the entire stand. However, the incisions, frass holes and emergence holes had several scattered spots of distribution in the mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *P. simonii* $\times$ *P. nigra* var. *italica*. On the basis of aggregation and scatter balance, they showed a random distribution, spreading from the center of the spot to the entire stand. The stand types affected the spatial patterns of the incisions, frass holes and emergence holes. Regarding the range of spatial dependence of the different types of stands, the number of incisions and emergence holes was higher in the mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *Acer negundo*, than in the pure stand of *P. simonii* $\times$ *P. nigra* var. *italica*, but the number of frass holes was smaller. As far as the intensity of local spatial continuity in sampling is concerned, the number of incisions was higher but the number of frass holes and emergence holes smaller in the mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *Acer negundo* than in the pure stand of *P. simonii* $\times$ *P. nigra* var. *italica*. This indicated that the damage caused by *Anoplophora glabripennis* was aggregated in the mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *Acer negundo* and scattered in the pure stand of *P. simonii* $\times$ *P. nigra* var. *italica*.

Key words: *Anoplophora glabripennis*; cerambycidae; populus; acer; spatial distribution; geostatistics

光肩星天牛(*Anoplophora glabripennis* (Motschulsky)) (Asian Longhorned Beetle, 简称 ALB) 主要以幼虫取食林木主干和大枝的韧皮部和木质部, 影响养分和水分的输送, 在木材内部形成永久性的空洞和缺损, 严重影响林木的生长, 直到整株枯死, 对林木生长量、材质和林木寿命以及生态、社会效益造成极大的影响^[1]。光肩星天牛不但给我国三北地区的防护林建设造成了毁灭性危害, 而且还造成了巨大的经济损失。

空间格局是昆虫种群的重要特征之一, 它是由昆虫种群的生物学特性与特定生境条件相互作用协同进化的结果。研究昆虫的空间格局有助于了解昆虫的生态特性, 对于揭示种群的空间结构及种群下的结构状况, 提高抽样技术和对种群消长趋势和扩散范围的预测预报以及制订害虫防治策略都具有重要的意义。传统的生物学统计方法在研究空间格局时, 只是获得一些空间分布的定性信息, 而无法知道分布的具体位置和程度, 并且只注意了时间相关, 而忽略了格局内样点间的空间相关和格局的时间相关性。地统计学不仅可对区域化变量的空间相关进行定量化描述, 还可对未抽样位置进行估值, 对空间分布进行模拟, 从根本上改变了传统生物学以样本数都是随机选取为基础的理论体系。

目前, 地统计学在昆虫种群空间格局分析中得到了广泛应用^[2-14]。在光肩星天牛种群空间格局分析中, 张树怀等利用分布型指数法对杨树行道树和防护林内的光肩星天牛幼虫的空间分布进行了研究^[16]; 李友常等则应用地统计方法分别对干道、农田、干渠和村庄防护林内的光肩星天牛卵、幼虫和成虫种群的空间格局进行了研究^[17]。目前, 多树种合理配置的提出为有效地抗御天牛灾害提供了一条崭新的途径, 而有关光肩星天牛在不同配置模式林分中的空间格局分析还未见报道。为此, 作者利用地统计学方法对不同配置林分中光肩星天牛的空间分布进行了较深入的研究, 为深入了解其在不同配置林分中的发生发展规律提供了较好的理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于宁夏新华桥种苗场试验示范林内。示范区由综合防治区、混交林试验区、杨树品种对比试验区、品种杨收集区、品种杨混植区和其它树种纯林区 6 个试验林区组成, 共栽植杨树、白蜡、刺槐、臭椿、复叶槭等 10 余个树种, 总栽植面积 21.3 hm² (内含沟、渠)。其中, 综合防治区面积 8.6 hm², 造林树种为新疆杨纯林; 混交林试验区面积 4.42 hm², 栽植树种为新疆杨、刺槐、复叶槭、臭椿、合作杨等 8 个树种。

1.2 调查方法

2003 年 10 月末,分别选取面积大小为 140m ×150m 的新疆杨与复叶槭、刺槐、臭椿的混交林带(以下简称新复混交林)、30m ×88m 的合作杨纯林以及 18m ×200m 的新疆杨和合作杨(以 1:1 比例配置)的混交林(以下简称新合混交林),详细调查标准地中每株树上光肩星天牛的刻槽、排粪孔、羽化孔的数量,同时记录株行距,并将每株树的实际空间位置绘制于坐标纸上。

1.3 理论与方法

应用地统计学中最常用的变异函数来反映种群空间格局及空间相互依赖关系,以及两种种群的空间相关范围,同时对所得到的变异函数曲线图用不同的理论模型进行拟合,通过拟合模型中最重要的 3 个参数块金常数、变程和基台值来反映光肩星天牛种群分布随机部分的空间异质性和在某一范围内存在空间相关性等^[6,7]。

同时,为找到最适的理论模型,结合实际,使用多种地统计软件,通过采用不同种理论模型对实际得到的变异曲线进行拟合,比较它们之间的残差平方和、标准误及决定系数的大小选出最适的理论模型^[7]。

2 结果与分析

2.1 不同配置模式林分中光肩星天牛各危害指标的空间分布状况

2.1.1 不同配置模式林分中刻槽的空间分布状况 由图 1 可以看出,光肩星天牛刻槽在新复混交林、合作杨纯林两种林分中,均呈现较明显的空间聚集状态,其危害在空间上相距一定距离的任意两点间具有一定的相关性,两种林分聚集范围不同,新复混交林呈大范围聚集,合作杨纯林则为小范围聚集。新合混交林呈现完全随机分布或均匀分布。

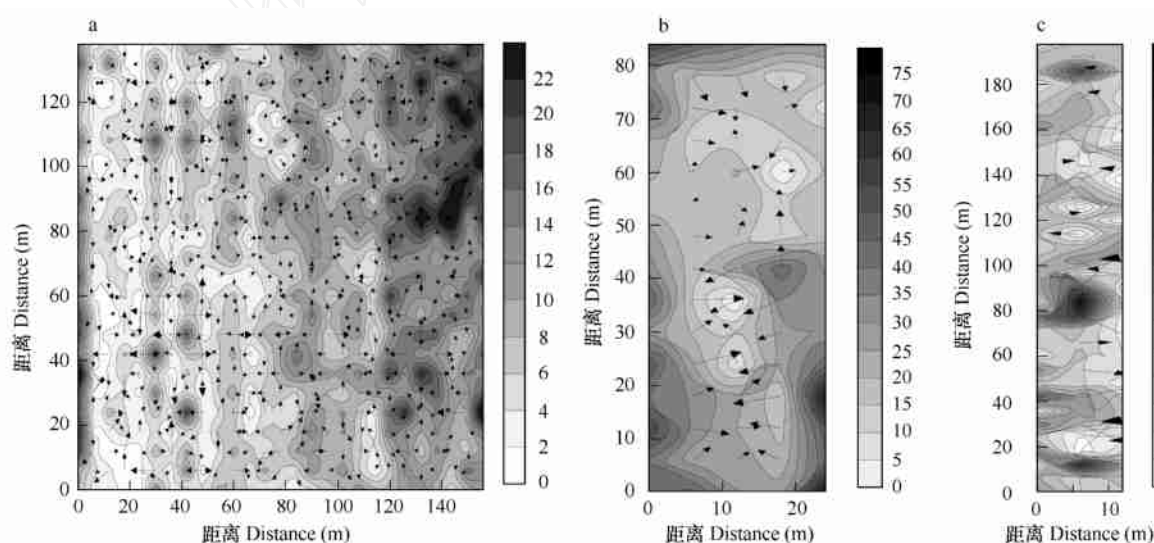


图 1 不同林地中光肩星天牛刻槽的等值线与矢量叠加图

Fig. 1 Overlaid maps of isoline and vector of the ALB incisions in different stands

a. 新复混交林 a. The mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *Acer negundo*; b. 合作杨纯林 b. The pure stand of *P. simonii* × *P. nigra* var. *italica*; c. 新合混交林 c. The mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *P. simonii* × *P. nigra* var. *italica*

新复混交林中,光肩星天牛刻槽在纵轴附近和横轴 100m 以外的地方呈现较强的聚集性,其危害由林缘向林地中心扩散。分析其原因主要是:与该林地相邻的一边是新疆杨与合作杨的混交林和合作杨纯林,而合作杨属感虫树种,其抗性远远不如新疆杨,因此,当合作杨上的光肩星天牛危害到一定程度,必然要向外扩散,逐渐向林内新疆杨和邻近新复混交林上转移;同时,新复混交林内的光肩星天牛,由于邻近合作杨的“诱集作用”而逐渐向林缘转移危害,从而出现新复混交林纵轴附近的高度聚集危害。光肩星天牛在横轴 100m 以外,纵轴 60m 以外的地方聚集,主要原因是此处每隔 17 棵新疆杨配置 1 棵复叶槭作为“诱饵树”来诱集光肩星天牛,但因复叶槭上已经布满了光肩星天牛的羽化孔,且几乎全部枯死。因此,复叶槭对光肩星天牛已经没有诱

集作用,此时,光肩星天牛危害开始向相邻的新疆杨转移,并逐渐向林内扩散。

合作杨纯林中,光肩星天牛刻槽在林缘的聚集密度较大。其原因是林缘通风、光线充足,合作杨生长状况较好,受害严重,枯死现象严重,最终失去对光肩星天牛的诱集作用,光肩星天牛由林地周围向中心扩散。而新合混交林中,光肩星天牛刻槽在林内有若干个聚集区域,并以此为中心向四周扩散,保持聚集和扩散平衡状态,从而表现为刻槽的随机分布,这主要是由林内树种的配置情况所决定的。

3 块林地危害最严重的是合作杨纯林,株平均刻槽数最多的达 75 个,其次是新合混交林,刻槽数最多的达 68 个,新复混交林最轻。

2.1.2 不同配置林分中排粪孔的空间分布状况 由图 2 可以看出,光肩星天牛排粪孔在新复混交林和合作杨纯林中,均呈现较明显的空间聚集性。在新复混交林中,光肩星天牛排粪孔除在纵轴和横轴 100m 以外的地方聚集外,在横轴 60~80m 之间也呈现较强的聚集性。由于光肩星天牛刻槽是其产卵位置所在,因此,在某种程度上,刻槽的分布位置决定了排粪孔的分布位置。但是,由于每一刻槽内不一定都有卵产下,并且所产下的卵也不一定完全能够孵化,因此,会产生刻槽和排粪孔在数量和分布位置上的差异。比较图 1 和图 2 不难看出,在新复混交林中,光肩星天牛刻槽和排粪孔呈现完全相反的扩散趋势,这种变化是否说明光肩星天牛成虫喜好产卵于刻槽较少,危害较轻的树上? 这样是为了有利于下代的生存发展,还是有其它原因,有待进一步研究。

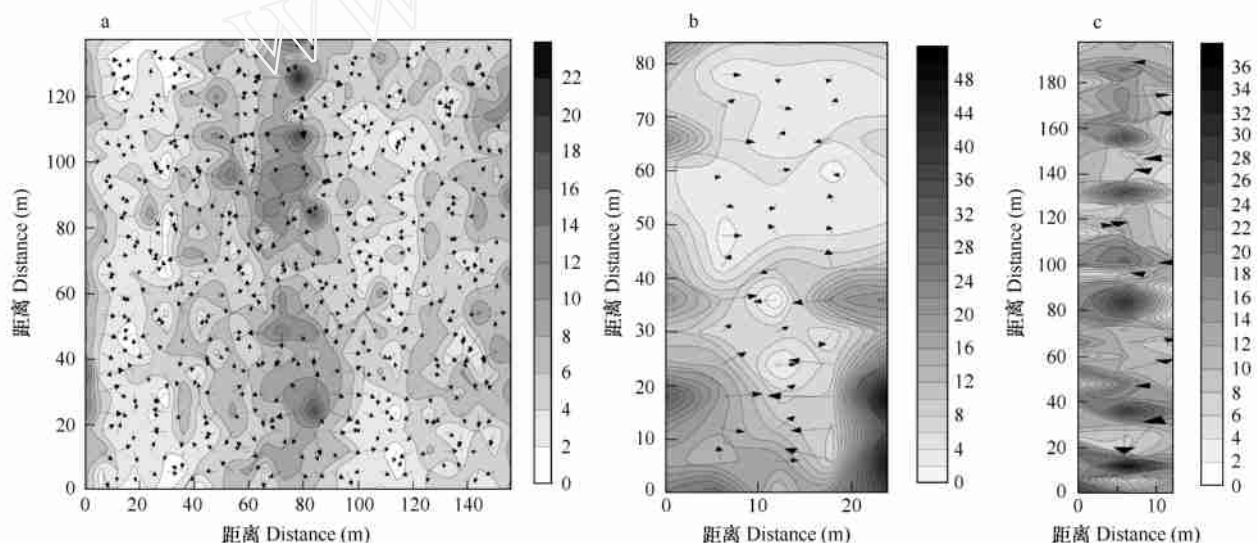


图 2 不同林地中光肩星天牛排粪孔的等值线与矢量叠加图

Fig. 2 Overlaid maps of isoline and vector of the ALB frass holes in different stands

- a. 新复混交林 a. The mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *Acer negundo*; b. 合作杨纯林 b. The pure stand of *P. simonii* × *P. nigra* var. *italica*;
c. 新合混交林 c. The mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *P. simonii* × *P. nigra* var. *italica*

在合作杨纯林中,光肩星天牛种群的聚集和扩散方式与刻槽基本一致。在新合混交林中,排粪孔分布表现为许多小斑块,且斑块均匀分布,大小也基本相同,这时可以期望空间空穴效应的出现。空穴效应的方差图是周期性的,因此这种现象也称为空间周期现象。方差图中的周期即斑块间的平均距离,表现为明显的小面积聚集,大面积均匀分布。

2.1.3 不同配置林分中羽化孔的空间分布状况 由图 3 可以看出,羽化孔在新复混交林中的分布数量较少,仅有几处聚集分布,由这些零星分布的聚集斑块向周围扩散。而在合作杨纯林中,羽化孔仍表现出和刻槽、排粪孔一样的聚集方式和扩散动态。新合混交林中的羽化孔也和其刻槽、排粪孔具有同样的分布格局,呈现出小面积聚集分布,大面积随机分布。

2.2 不同配置模式林分中光肩星天牛各危害指标的空间格局及其相关性分析

不同配置模式林分中光肩星天牛刻槽、排粪孔和羽化孔的全方向变异函数曲线参数如表 1 所示。

2.2.1 不同配置林分中光肩星天牛刻槽的全方向变异曲线图分析 由表 1 和图 4 可以看出,在新复混交林和合作杨纯林中,刻槽均表现出较强的空间聚集性,但就空间依赖性范围和空间连续性强度,新复混交远远大于合作杨纯林。另外,新复混交林中的空间依赖性范围超出了取样范围,说明在抽样空间内的各点刻槽数量间均有空间相关性,这也从侧面说明了光肩星天牛成虫的扩散距离在不同配置林分中具有一定的差别。块金效应的产生主要有以下两方面的原因引起:(1)调查的误差。由于树体较高大,有的树上刻槽数很多,且被树叶挡住,因此在统计时可能出现较大的偏差;(2)数据的缺失。因为有些地方的树被砍伐掉,在统计时只能以 0 来算,这样就与邻近的样方产生较大的差异。

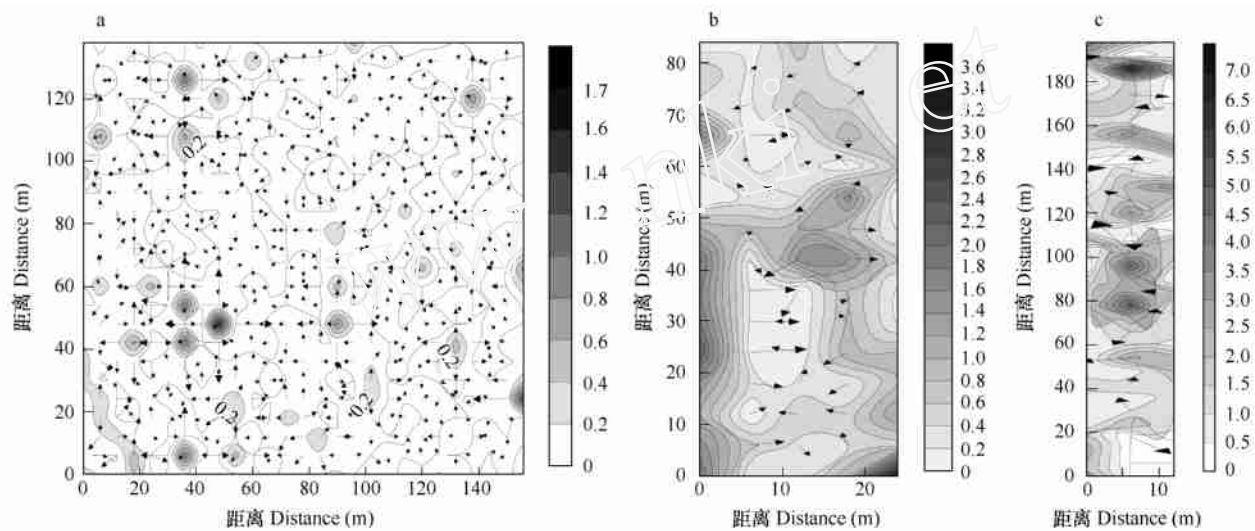


图 3 不同林地中光肩星天牛羽化孔的等值线与矢量叠加图

Fig. 3 Overlaid maps of isoline and vector of the ALB emergence holes in different stands

a. 新复混交林 a. The mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *Acer negundo*; b. 合作杨纯林 b. The pure stand of *P. simonii* × *P. nigra* var. *italica*; c. 新合混交林 c. The mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *P. simonii* × *P. nigra* var. *italica*

表 1 不同林分中光肩星天牛各危害指标的全方向变异函数的理论模型拟合参数

Table 1 Parameters of omnidirection variogram model of three infested indexes of ALB in different stands								
危害指标 Infested indexes	林分类型 Stands	理论模型 Theoretical models	C ₀	C	a	Sill	C/Sill (%)	R ²
刻槽 Incisions	新复混交林	高斯模型 Gaussian model	16.600	67.6	249.93	84.2	80.29	0.985
	合作杨纯林	球状模型 Spherical model	103.10	187.4	55.300	290.5	64.51	0.909
	新合混交林	纯块金效应 Pure nugget effect models	116.00	0.0	—	116.0	0.00	0.094
排粪孔 Frass holes	新复混交林	指数模型 Exponential model	0.010	7.951	30.600	7.961	99.87	0.613
	合作杨纯林	高斯模型 Gaussian model	49.900	181.8	95.600	231.7	78.46	0.983
	新合混交林	线性模型 Linear model	33.613	10.96	—	44.58	24.59	0.799
羽化孔 Emergence holes	新复混交林	高斯模型 Gaussian model	0.024	0.028	711.70	0.052	53.82	0.682
	合作杨纯林	指数模型 Exponential model	0.330	2.017	365.30	2.347	85.94	0.719
	新合混交林	线性模型 Linear model	1.370	0.009	—	1.379	0.65	0.002

新复混交林 The mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *Acer negundo*;合作杨纯林 The pure stand of *P. simonii* × *P. nigra* var. *italica*;新合混交林 The mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *P. simonii* × *P. nigra* var. *italica*. ;C₀:块金常数 Nugget ,C:拱高(height of arch) ,a:变程即空间依赖范围(range) ,Sill:基台值(sill) ,C/Sill %:空间变异(spatial variation) , R²:决定系数(decisive coefficient)

新合混交林中,其变异函数曲线图为纯金块效应,也就是说任意两个变量之间在空间分布上不存在任何相关关系,其空间分布格局为随机分布,这主要是由混交林中不同树种的配置所引起的。

对比各种配置林分的聚集范围可知,新复混交林光肩星天牛刻槽的空间依赖性范围最大,合作杨纯林次之;就样方内的空间连续性强度而言,新复混交林大于合作杨纯林。

2.2.2 不同配置林分中排粪孔的全方向变异曲线图分析 由表 1 和图 5 可以看出,光肩星天牛排粪孔在新复混交林和合作杨纯林中表现较强的空间聚集性,就空间依赖性范围而言,新复混交林远远小于合作杨纯林,但空间连续性强度却大于合作杨纯林,这说明光肩星天牛产卵在新复混交林内较集中,而在合作杨纯林内较分散。新复混交林中刻槽的空间依赖范围显著大于排粪孔,这是由光肩星天牛的聚集分布决定了刻槽的聚集分布,但由于刻槽中的卵不能完全孵化为幼虫,所以其幼虫的聚集分布相对卵不显著,即排粪孔的聚集强度和聚集范围小于刻槽。然而,在合作杨纯林中,结果恰恰相反,其原因可能是由于抽样面积太小,或夏季雨水较多,有些排粪孔被冲刷掉,不易被发现和记录,调查和统计所得到的光肩星天牛排粪孔的数量与实际数量有一定差别所造成的。新合混交林中,排粪孔的空间格局与刻槽完全一致。

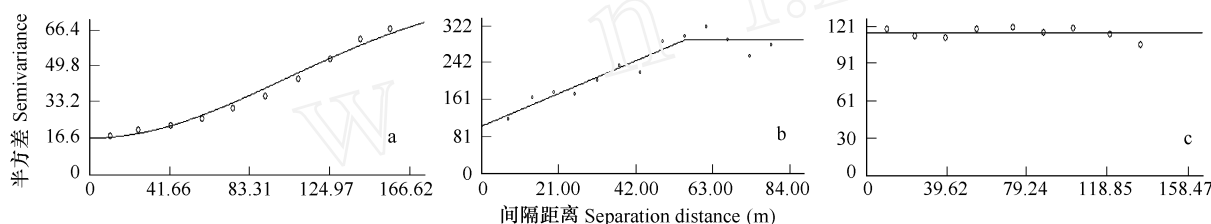


图 4 不同林地中光肩星天牛刻槽的全方向变异曲线图

Fig. 4 Omnidirectional variogram of the ALB incisions in different stands

- a. 新复混交林 a. The mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *Acer negundo*; b. 合作杨纯林 b. The pure stand of *P. simonii* × *P. nigra* var. *italica*;
c. 新合混交林 c. The mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *P. simonii* × *P. nigra* var. *italica*

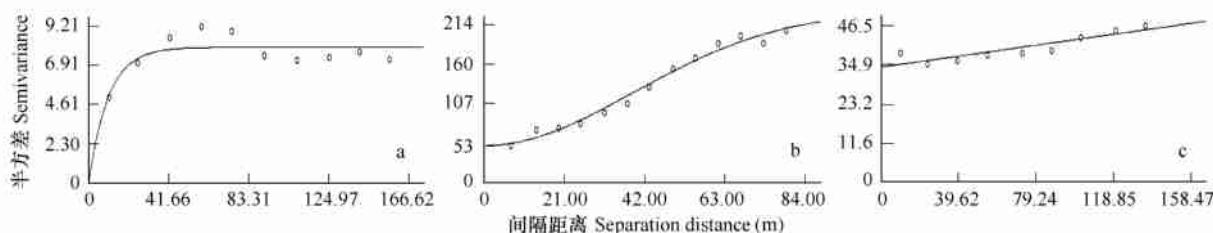


图 5 不同林地中光肩星天牛排粪孔的全方向变异曲线图

Fig. 5 Omnidirectional variogram of the ALB frass holes in different stands

- a. 新复混交林 a. The mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *Acer negundo*; b. 合作杨纯林 b. The pure stand of *P. simonii* × *P. nigra* var. *italica*;
c. 新合混交林 c. The mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *P. simonii* × *P. nigra* var. *italica*

2.2.3 不同配置林分中羽化孔的全方向变异曲线图分析 由表 1 和图 6 可以看出,新复混交林和合作杨纯林中的羽化孔变异曲线拟合图分别为高斯和指数模型,均为聚集分布,其聚集范围分别为 711.7m 和 365.3m,都超过了抽样范围。新复混交林的聚集范围接近合作杨的 2 倍,这种变化趋势与排粪孔恰好相反,从光肩星天牛的生物学特性来看,排粪孔与羽化孔的分布变化规律应该一致,但此时所表现出的完全相反的变化规律,其原因可能是由于在新复混交林内羽化孔数量太少,只有和有虫样方比较才会有差异,而其余样方对之间的差异均为零,由于不同间隔的样本对数量不同,因而造成不同的间隔所有样本对的平均数和方差不同,从而影响了结果的准确性。在新合混交林中,羽化孔的空间分布格局同刻槽和排粪孔一样,仍属随机分布,各样方间

的光肩星天牛羽化孔数量间没有空间依赖性。

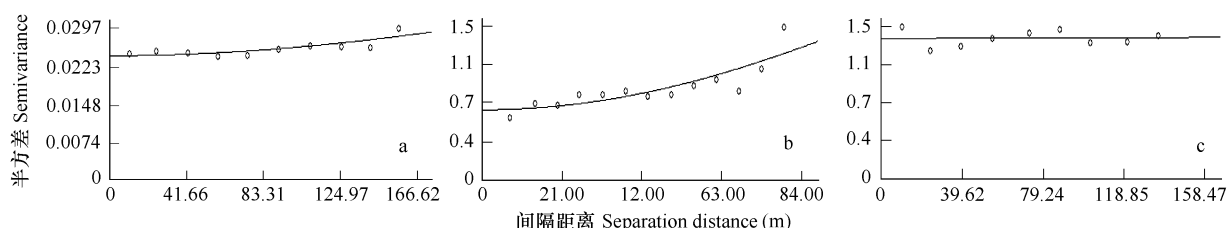


图6 不同林地中光肩星天牛羽化孔的全方向变异曲线图

Fig. 6 Omnidirection variogram of the ALB emergence holes in different stands

a. 新复混交林 The mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *Acer negundo*; b. 合作杨纯林 The pure stand of *P. simonii* × *P. nigra* var. *italica*; c. 新合混交林 The mixed stand of *P. alba* var. *pyramidalis* and *P. simonii* × *P. nigra* var. *italica*

3 小结和讨论

(1) 3种不同配置林分中,光肩星天牛的空间格局具有显著性差异,新复混交林和合作杨纯林内,光肩星天牛种群为聚集分布,但其聚集强度及聚集范围有所不同,这主要是由于配置的树种不同以及不同的配置模式所引起的。新合混交林中刻槽、排粪孔和羽化孔的空间格局均表现为完全随机分布或均匀分布,不具有连续性,这是由其混交配置模式和样方大小(6m × 6m)决定的,即新疆杨和合作杨以1:1比例株间混交,株行距为2m × 3m,使光肩星天牛在小范围2m ~ 3m内表现为聚集分布,这种小面积的聚集分布构成了整片林分的均匀分布,即每棵合作杨作为聚集点,构成整片混交林中合作杨上危害的均匀聚集,整体呈现均匀分布。

(2) 在同一林地中,由于各危害指标的数量及空间分布差异较大,不能很好地反映林地的总体危害水平及光肩星天牛总的空间格局,因此,反映光肩星天牛总体危害状况的综合指标的空间格局还有待于研究。另外,本文只讨论了光肩星天牛在不同配置林分中的空间格局以及相关的聚集程度和聚集范围,没有涉及到不同树种配置林分中,作为诱饵树的配置模式及配置数量不同时所引起的格局变化,从而为多树种合理配置的推广与应用提供理论依据,这一研究还有待进一步进行。

References:

- [1] Luo Y Q, Li J G. Strategy on Applied Technology and Basic Studies of *Poplar longhorned Beetle* Management. Journal of Beijing Forestry University, 1999, 21(4): 6 ~ 12.
- [2] Chen H H, Zhang J W, Yang S L. Biogeostatistics and Sampling Technique about Spatial Pattern of *Chinolyda flagellicornis* Diapause Larva. Forest Research, 2002, 15(5): 593 ~ 598.
- [3] Huang S S, Hu H J, Liang G W. The Spatial Pattern of Dipausing Larva of Triped Rice Borer, *Chilo suppressalis* Walker, With Geostatistics. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(2): 250 ~ 253.
- [4] Lu Y Y, Liang G W. The Spatial Pattern of the Cotton Bollworm Eggs with Geostatistics. Journal of Huazhong Agricultural University, 2002, 21(1): 13 ~ 15.
- [5] Shi G S, Li D M. Geostatistic analysis of spatial pattern of *Dendrolimus punctatus*. Chinese Journal of Applied Ecology, 1997, 8(6): 612 ~ 616.
- [6] Wang Z Q. Application of Geostatistics in Ecology. Beijing: Science Press, 1999.
- [7] Zhou G F, Xu R M. Biogeostatistics. Beijing: Science Press, 1997.
- [8] Zhou Q, Zhang R J, Gu D X. Review of Geostatistics in Applied Insect Population Spatial Structure. Zoological Research, 1998, 19(6): 482 ~ 488.
- [9] Hohn M E, Liebhold A M, Gibbo L S. Geostatistical model for forecasting spatial dynamics of defoliation caused by gypsy moth (*Lepidoptera*: *Lymantriidae*). Environ. Entomol., 1993, 22(5): 1066 ~ 1075.
- [10] Isaaks E H, Srivastava R M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989.
- [11] Journel A G. Non parametric estimation of spatial distributions. Math. Geol., 1983, 15: 445 ~ 468.
- [12] Liebhold A M, Simons E E, Sior A, et al. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. Annu. Rev. Entomol., 1993, 38: 303 ~ 327.

- [13] Liebhold A M, Zhang X, Hohn M E, *et al.* Geostatistical analysis of gipsy moth (*Lepidoptera*: *Lymantriidae*) egg mass populations. *Environ. Entomol.*, 1991, 20(5): 1407 ~ 1417.
- [14] Wright R J, Devries T A, Young L J, *et al.* Geostatistical Analysis of the Small-Scale Distribution of European Corn Borer (*Lepidoptera*: *Crambidae*) Larvae and Damage in Whorl Stage Corn. *Environ. Entomol.*, 2002, 31(1): 160 ~ 167.
- [15] Rossi R E, Mulla D J, Journel A G, *et al.* Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs*, 1992, 62(2): 277 ~ 314.
- [16] Zhang S H, Zhao J X, Xia X Q, *et al.* Studies in the Spatial Pattern of *Anoplophora glabripennis* Larvae. *Journal of Inner Mongolia Institute of Agriculture and Animal Husbandry*, 1996, 17(4): 23 ~ 28.
- [17] Li Y C, Xia N B, Tu H Q. A Geostatistical Analysis on Spatial Patterns of *Anoplophora glabripennis* in Poplars. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(4): 393 ~ 401.

参考文献:

- [1] 骆有庆, 李建光. 杨树天牛灾害控制的应用技术和基础研究策略. *北京林业大学学报*, 1999, 21(4): 6 ~ 12.
- [2] 陈绘画, 张建薇, 杨胜利. 鞭角华扁叶蜂滞育幼虫空间格局的生物地理统计学分析及抽样技术的研究. *林业科学研究*, 2002, 15(5): 593 ~ 598.
- [3] 黄寿山, 胡慧建, 梁广文. 二化螟越冬幼虫空间分布图式的地理统计学分析. *生态学报*, 1999, 19(2): 250 ~ 253.
- [4] 陆永跃, 梁广文. 棉铃虫卵空间分布的地理统计学分析. *华中农业大学学报*, 2002, 21(1): 13 ~ 15.
- [5] 石根生, 李典谟. 马尾松毛虫空间格局的地学统计学分析. *应用生态学报*, 1997, 8(6): 612 ~ 616.
- [6] 王政权. 地统计学在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999.
- [7] 周国法, 徐汝梅. 生物地理统计学. 北京: 科学技术出版社, 1998.
- [8] 周强, 张润杰, 古德祥. 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*, 1998, 19(6): 482 ~ 488.
- [16] 张树怀, 赵建兴, 夏秀清, 等. 光肩星天牛幼虫空间分布型的研究. *内蒙古农牧学院学报*, 1996, 17(4): 23 ~ 28.
- [17] 李友常, 夏乃斌, 屠泉洪, 等. 杨树光肩星天牛种群空间格局的地统计学研究. *生态学报*, 1997, 17(4): 393 ~ 401.