

沙棘木蠹蛾卵和幼虫空间分布的地统计学分析

宗世祥, 骆有庆*, 许志春, 温俊宝, 贾峰勇

(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)

摘要:沙棘木蠹蛾(*Holcocerus hippophaecolus* Hua, Chou, Fang et Chen)是近几年在内蒙古、辽宁、山西、宁夏和陕西等地大面积爆发的一种钻蛀性害虫,其危害发生在幼虫期,主要危害沙棘(*Hippophae rhamnoides*)的根干部。为了有效地控制其危害,深入了解种群的空间结构,利用地统计学方法分析了两种受害程度不同的林分内沙棘木蠹蛾幼虫种群和重度受害林分内卵块的空间分布特性。结果表明:两种受害程度不同的林分内,沙棘木蠹蛾的危害具有显著差异,轻度受害林分内无虫样本所占的比例较大,达 70%,而重度受害林分内不到 20%;虫口密度在轻度受害林分内超过 6 头/株的只有 6.9%,而重度受害林分内高达 31.9%。根据全方向的变异函数曲线图分析得知:重度受害林分和轻度受害林分内幼虫种群的空间依赖范围分别为 7.3m 和 87.418m,而局部空间连续性强度分别为 0.914 和 0.178。重度受害林分内幼虫表现较强的空间聚集性,而轻度受害林分则表现为随机分布。在重度受害林分中,单株沙棘树上沙棘木蠹蛾卵块数量最多的为 11 个,最少的为 1 个,有卵株率达 72%。分别采用四种不同的理论模型来拟合卵块的实际变异曲线图,得知其全方向的变异函数曲线为指数型,空间依赖范围大小为 3.6m,局部空间连续性强度为 0.876,卵块在重度受害林分中呈现较强的空间聚集性,其聚集中心主要集中在林地的中心,由林地中心株向整个林地扩散。

关键词:沙棘木蠹蛾;卵;幼虫;地统计学;空间分布

Geostatistical analysis on spatial distribution of *Holcocerus hippophaecolus* eggs and larvae

ZONG Shi-Xiang, LUO You-Qing*, XU Zhi-Chun, WEN Jun-Bao, JIA Feng-Yong (The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing 100083, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 831~836.

Abstract: The seabuckthorn carpenterworm, *Holcocerus hippophaecolus* Hua, Zhou, Fang et Chen has been a severe boring pest of seabuckthorn in Inner Mongolia Autonomous region, Liaoning, Shanxi, Ningxia and Shaanxi provinces in China in recent years. Larvae cause damage primarily to stems and roots of seabuckthorn. Spatial characteristics were analyzed using geo-statistical methods for population of carpenterworm larvae in two woodlands with different damage levels and egg masses in heavily-infested woodland in order to effectively control the insect and to further study the spatial distribution of its population. The result showed that the damage level caused by the carpenterworm differed significantly in the two woodlands. Only 20% of trees in lightly-infested woodland were infested compared with 70% in heavily-infested woodland. The percentage of trees with 6 or more larvae was 6.9% for the lightly-infested woodland and 31.9% for the heavily-infested one. Analysis of the isotropic variogram indicated that the distance of spatial dependence of the carpenterworm larvae was 7.3 m in the heavily-infested woodland and 87.418m in the lightly-infested one, while the intensity of local spatial continuity was 0.914 and 0.178, respectively. Intense spatial aggregation of larvae was observed in the heavily-infested woodland, while random distribution was observed in the lightly-infested one. In the heavily-infested woodland, 72% of trees were found to have egg masses,

基金项目:国家水利部沙棘开发管理中心资助项目(200208)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: yqluo@bjfu.edu.cn

收稿日期:2004-03-04; **修订日期:**2004-11-09

作者简介:宗世祥(1976~),男,辽宁省建平县人,博士,主要从事森林害虫的生物生态学与营林控制技术研究. E-mail: zongshixiang@sohu.com

Foundation item: China National Administration Center for Seabuckthorn Development(No. 200208)

Received date: 2004-03-04; **Accepted date:** 2004-11-09

Biography: ZONG Shi-Xiang, Ph. D., mainly engaged in biology and ecology of insect and control technique of afforestation. E-mail: zongshixiang@sohu.com

ranging from 1 to 11 per tree. We used 4 different types of theoretical models (spherical, exponential, Gaussian, and linear will sill) to represent the observed spatial correlation of egg masses and found that the exponential isotropic model fit best with 3.6 m spatial dependence and 0.876 intensity of local spatial continuity. Intensive spatial aggregation of egg masses was found in the heavily-infested woodland. The aggregation was primarily centered at the center of the woodland and spread from there to the entire woodland.

Key words: *Holcocerus hippophaecolus*; eggs; larvae; geostatistics; spatial characteristics

文章编号:1000-0933(2005)04-0831-06 中图分类号:Q968.1 文献标识码:A

任何一个种群都是在空间不同位置分布的,由于种群内个体间的相互作用以及种群对环境的适应,使得不同种群、同一种群在不同的环境条件下表现出不同的空间分布格局^[1]。昆虫种群的空间分布研究不仅可以揭示种群内和种群间的空间结构,而且还可以为抽样设计和预测预报提供较好的依据。在其研究过程中产生了各种各样的研究方法,总得说来就是传统的生物学统计方法^[2,3]和地统计学方法^[4~8]。传统的生物学统计方法是以不同位置的样本间相互独立,不存在空间位置差异为假设前提的,所研究的对象必须都是纯随机变量。事实中,任何一个变量都不是独立存在的,都同时具有随机性和结构性,而地质统计学能够同时较准确地描述地质变量的随机性和结构性变化,最大限度地利用野外调查所提供的各种信息,包括稀疏的或无规律的空间数据,揭示周期性和无周期性生态参数的本质。因此运用地统计学方法来研究昆虫种群的空间结构已为越来越多的学者所采纳^[5,7,8]。

沙棘木蠹蛾(*Holcocerus hippophaecolus* Hua, Chou, Fang et Chen)^[9]是近几年在内蒙古、辽宁、山西、宁夏、陕西和甘肃等地大面积爆发的一种钻蛀性害虫,它主要危害沙棘(*Hippophae rhamnoides*)的根干部,使其大部分被蛀空,导致沙棘整株枯死^[10~14]。目前,全国受害总面积达 13.3 万 hm^2 以上,其中超过 6.67 万 hm^2 的沙棘林成片死亡,并且正呈加剧之势。沙棘木蠹蛾卵和幼虫的空间分布格局的研究对于采取适宜的防治方法及其预测预报、抽样技术等均可提供较好的理论指导。因此,作者运用地统计学中的各种理论和方法,对其卵和幼虫种群的空间分布及变化特征做了较深入的研究。

1 试验地概况

辽宁省建平县,地处辽宁省西部,境内丘陵起伏,地形北高南低,为蒙古高原向松辽平原的过渡带,属暖温带半湿润半干旱大陆性季风气候,年均气温为 5.7℃,年均降水量 487mm。拥有世界上最大的人工沙棘林 6.85 万 hm^2 ,其中纯林 4 万 hm^2 ,主要分布在建平的北部。2003 年 5 月初,分别在深井乡内沙棘林带抽取两块受害程度完全不同的 20 年生沙棘林地作为试验地。

(1)轻度受害林分 林地内土壤较硬且含有大量的石头,树种主要以沙棘为主,其间混有部分油松和樟子松。沙棘树的平均胸径为 7.24cm,树高 3m 左右,危害株率不到 32%,平均虫口密度仅为 1.5 头/株。

(2)重度受害林分 沙棘纯林,平均胸径为 5.42cm,树高约 3.59m,林地内土壤较疏松,土质较好,平均虫口密度 7 头/株,最多的达 81 头/株(5 月 13 日调查),危害株率达 85% 以上。

2 研究方法

2.1 调查方法

2.1.1 幼虫 根据试验地的大小及沙棘的分布情况,5 月中旬在两块林地内分别抽取面积大小为 0.5 hm^2 的样方,采取逐株取样、解析的方法,统计每株沙棘树上的幼虫数量,并同时记录沙棘行株间距,将每株沙棘的实际空间位置绘制于坐标纸上。

2.1.2 卵 7 月末成虫产卵高峰期,在重度受害林分中选取面积大小约为 0.5 hm^2 的样地,逐株调查树干上的卵块数,同时记录卵块所在树干上的位置和沙棘行株间距,将每株沙棘的实际空间位置绘于坐标纸上。

2.2 分析方法

2.2.1 变异函数 变异函数^[1,4~8]是表示所有分隔距离相等的任意两样本间的差异,即假设区域化变量 Z_i 和 Z_{i+h} 分别表示间隔为 h 的两个样本的观测值,则在整个样本空间内,所有这些间隔为 h 的样本对之间的空间相关性即可用半变异函数表示,其公式如下所示:

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

式中, $N(h)$ 为间隔 h 的样本点的对数,以 $\gamma(h)$ 对间隔 h 作图即得变异曲线图。如图 1 所示,变异曲线图中有 3 个最重要的

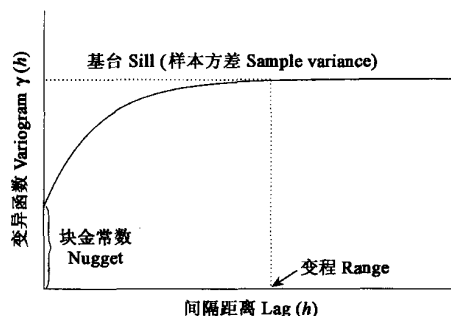


图 1 典型的变异曲线图

Fig. 1 A typical variogram

参数:块金常数(nugget),基台值(sill)和变程(range)^[1,4]。块金常数是指变异函数曲线被延伸到间隔距离为零时的截距,它反映了区域化变量内部随机性的可能程度。基台值是指达到平衡时的变异函数值,它反映了变量变化幅度的大小。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影响范围的大小。

2.2.2 变异函数理论模型的拟合 地统计学中用来拟合实际变异曲线图的理论模型有很多种,如球状模型、指数模型、高斯模型、线性有基台值模型和线性无基台值模型等^[1,4]。在拟合过程中,究竟采用哪种理论模型拟合,需要根据判断最优拟合模型的方法,即先考虑决定系数 R^2 的大小,其次考虑残差 RSS 的大小,最后再考虑变程和块金值的大小来判断不同的理论模型在拟合实际变异曲线图时的优劣程度^[4]。结合实际调查数据的分析情况和几种不同的理论模型比较,最后确定线性有基台值模型和线性无基台值模型为沙棘木蠹蛾幼虫空间分布格局的最佳拟合模型,而卵的空间分布格局的最佳拟合模型为指数模型。各模型的计算公式如下所示:

线性有基台值模型^[4]

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 & h = 0 \\ Ah & 0 < h \leq a \\ C_0 + C & h > a \end{cases} \tag{2}$$

线性无基台值模型^[4]

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 & h = 0 \\ Ah & h > 0 \end{cases} \tag{3}$$

指数模型^[4]

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ C_0 + C(1 - e^{-\frac{h}{a}}) & h > 0 \end{cases} \tag{4}$$

(2)~(4)式中, C_0 为块金常数, C 为拱高, C_0+C 为基台值, A 为常数,表示直线的斜率,在(2)式中 a 为变程。而(4)式中, a 不是变程,其变程为 $3a$ 。

3 结果与分析

3.1 沙棘木蠹蛾幼虫的空间分布格局

3.1.1 两种受害程度不同的林地内沙棘木蠹蛾幼虫的分布状况 由图1和图2可以看出:轻度受害林分内无虫样本所占的比例非常大,基本上达到70%,而密度超过6头/株的样本比例则非常小,只有6.9%。重度受害林分内无虫样本所占的比例则较小,不到20%,密度超过6头/株的样本比例较大,达到31.9%。由此可以看出两样地的危害程度差别较大。

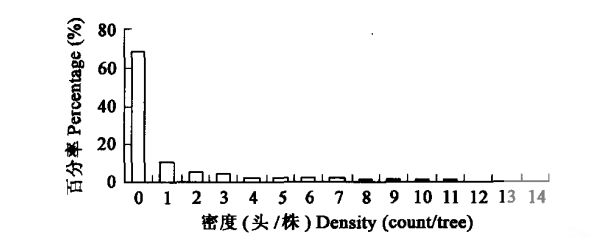


图2 轻度受害林分幼虫密度分布直方图
Fig. 2 Histogram of density for the carpenterworm larvae in the lightly-infested woodland

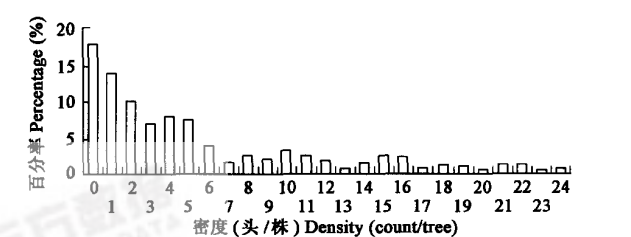


图3 重度受害林分内幼虫密度分布直方图
Fig. 3 Histogram of density for the carpenterworm larvae in the heavily-infested woodland

3.1.2 沙棘木蠹蛾幼虫种群数量的变异函数和空间分布格局 两种受害程度不同的林分内沙棘木蠹蛾幼虫种群数量的变异函数的理论模型各参数及空间分布格局如表1所示。

表1 沙棘木蠹蛾幼虫种群数量的变异函数的理论模型拟合参数及空间分布型									
林分类型	理论模型	C_0	C	a	Sill	$C/Sill(\%)$	R^2	RSS	分布型
Forest types	Theoretic model								Distribution
轻度受害	线性无基台值模型	0.926	0.2	87.418	1.127	0.178	0.855	0.136	随机分布
Lightly-infested	Linear without sill model								Random
重度受害	线性有基台值模型	0.105	1.121	7.3	1.226	0.914	0.56	0.009	聚集分布
Heavily-infested	Linear with sill model								Aggregation

* C_0 为块金常数 Nugget, C 为拱高 Height of arch, a 为变程即空间依赖范围 Range,Sill为基台值 Sill, $C/Sill(\%)$ 为空间变异 Spatial variation, R^2 为决定系数 Decisive coefficient, RSS 为残差平方和 Residual sum of square

(1)重度受害林分内沙棘木蠹蛾幼虫种群数量的空间分析 由表1、图4可以看出重度受害林分中,沙棘木蠹蛾幼虫种

群呈现较明显的空间聚集状态,其空间依赖范围大小为 7.3m,即在此距离范围内的任何两样点幼虫的数量间都存在着一一定的相关关系,这说明沙棘木蠹蛾幼虫在空间上的分布具有连续性,其强度随着距离的增加而减小。变异函数图中拱高 C 所占的比例为 91.4%,说明总空间变异中有 91.4%是由空间自相关现象产生。块金常数的产生主要由以下两方面的因素所引起:①试验地内经常有人放牧、砍柴,造成试验地内沙棘树的大量缺失,从而使幼虫的分布数量相对减少;②试验误差,由于每株沙棘树上的幼虫数量较多,在树木解析过程中,容易出现统计误差。

由幼虫的空间分布指示图(图 4B)可以看出其密度聚集的分布特点,基本上呈斑块状分布,在整个区域内有很多聚集点,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格间幼虫数差异不大,但距离较远的格间幼虫数目差别较大。

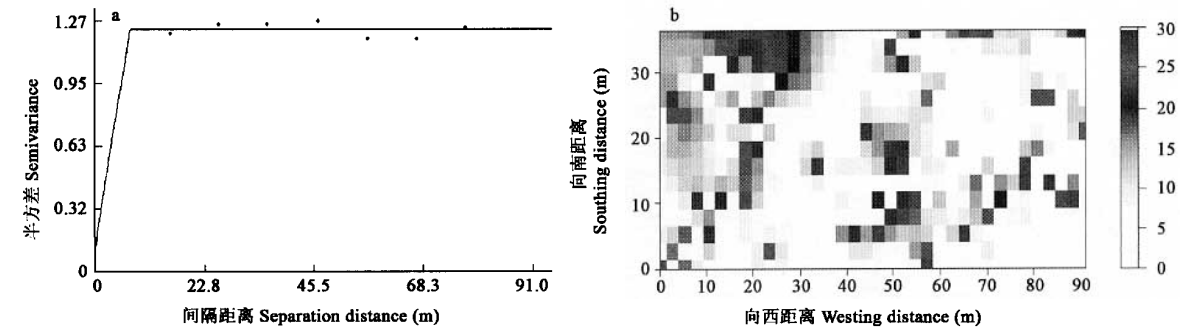


图 4 重度受害林分中沙棘木蠹蛾幼虫种群数量的变异函数图(a)和指示图(b)

Fig. 4 Variogram(a) and indicating diagram (b) of the population number for the carpenterworm larvae in the heavily-infested woodland

(2)轻度受害林分内沙棘木蠹蛾幼虫种群数量的空间分析 由表 1、图 5 可以看出轻度受害林分中沙棘木蠹蛾幼虫种群的空间分布格局呈现较弱的聚集性,基本上接近于随机分布。由其变异函数曲线图可知,其空间依赖范围大小为 87.418m,即在此范围内空间上的任意两点间的幼虫具有相关关系。总空间变异中只有 17.8%是由空间依赖性产生的,基本上接近于纯块金变异图。块金常数较大,主要是由于试验地内幼虫的虫口密度比较低,其分布呈现较大的随机性。另外,试验地处在海拔 600 多米的山坡阳面,常年干旱少雨,土壤中含有较多的石头,土质坚硬,树林较密集,林地周围是硅石含量较高的石头山等,这些因素对林地内沙棘木蠹蛾幼虫所呈现的分布格局是否有不同程度的影响,还有待于进一步研究。

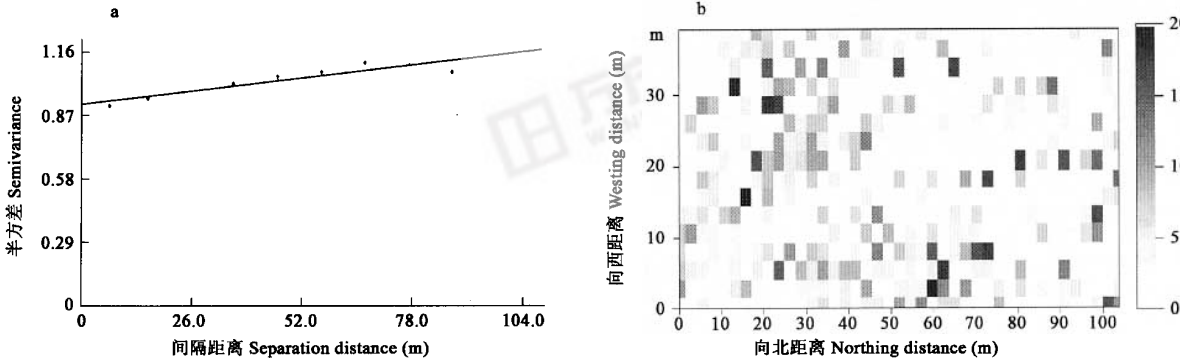


图 5 轻度受害林分中沙棘木蠹蛾幼虫种群数量的半变异函数图(a)和指示图(b)

Fig. 5 Variogram(a) and indicating diagram (b) of the population number for the carpenterworm larvae in lightly-infested woodland

3.2 沙棘木蠹蛾卵块的空间分布格局

3.2.1 沙棘木蠹蛾卵块在林地内的分布状况 由表 2 可以看出,单株沙棘树上卵块数最多的为 11 个,最少的为 1。沙棘木蠹蛾的有卵株率达 72%。据观察得知,通常情况下,成虫从树干基部开始将卵分批产在树干的各个位置,同一成虫在树上产卵的位置最少的 1 处,最多的 5 处,也有的将卵产在相邻的几棵树上。由于单株树上卵块数最多的为 11 个,因此可知同一棵树上会有多个成虫在上面产卵。

3.2.2 沙棘木蠹蛾卵块数量的变异曲线图及空间分布格局 用 4 种不同的理论模型来拟合沙棘木蠹蛾卵块的实际变异曲线

图,各拟合参数如表 3 所示。

表 2 样地内沙棘木蠹蛾卵块的分布统计
Table 2 Distribution of the carpenterworm egg masses in samples

卵块数(ind.) Number of the egg masses	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
频数(株) Frequency(tree)	185	95	70	60	39	18	6	6	5	1	1	1
百分率(%) Percentage	38	19.5	14.4	12.3	8	3.7	1.2	1.2	1.1	0.2	0.2	0.2
累积百分率(%) Accumulated percentage	38	57.5	71.9	84.2	92.2	95.9	97.1	98.3	99.4	99.6	99.8	1

表 3 沙棘木蠹蛾卵块的变异函数 4 种理论模型拟合参数
Table 3 Parameters of variogram models of the carpenterworm egg masses at four theoretical models

理论模型 Theoretical models	C_0	C	a	$Sill$	$C/Sill(\%)$	R^2	RSS
球状模型 Spherical model	0.24	3.452	2.6	3.692	93.5	0.613	0.811
指数模型 Exponential model	0.46	3.242	3.6	3.702	87.6	0.617	0.802
高斯模型 Gaussian model	0.659	3.034	2.252	3.693	82.2	0.614	0.807
线性有基台值模型 Linear with sill model	0.34	3.352	1.9	3.692	90.8	0.613	0.812

C_0 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 , R^2 决定系数 Decisive coefficient , RSS 残差平方和 Residual sum of square

由表中的各拟合参数来看,指数模型的残差最小(0.802),决定系数最大(0.617),因此选择指数模型来拟合沙棘木蠹蛾卵块的变异函数。应用指数模型拟合卵块的变异函数除了具有较高的拟合精度外,另外对于变程以内的模型也可以得到较满意的结果^[2],卵块的理论拟合模型如图 6 所示。由表 3 和图 6 可知沙棘木蠹蛾卵块的空间依赖范围大小为 3.6m,即在此距离范围之

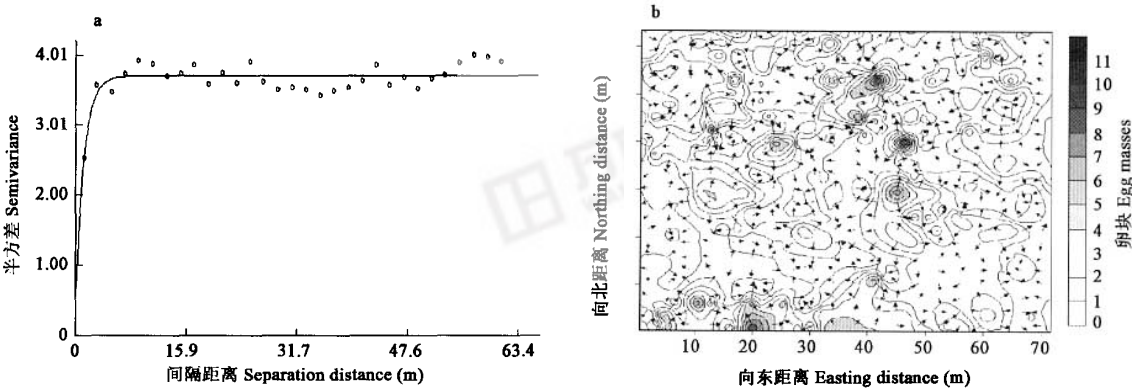


图 6 沙棘木蠹蛾卵块的变异函数曲线图(a)和等值线与矢量叠加图(b)

Fig.6 Variogram(a) and overlayed maps of isoline and vector of the carpenterworm egg masses(b)

内任何两样点间的卵块都存在着一定的相关关系,这说明沙棘木蠹蛾卵块在空间上的分布具有连续性,其强度随着距离的增加而减小。变异函数图中拱高 C 所占的比例为 87.6%,说明总空间变异中有 87.6%是由空间自相关现象产生的。通过用指数模型拟合得到的方程为: $\gamma(h)=0.46+3.242(1-e^{-h/3.6})$ 。结合野外的观察和实际的调查结果分析,沙棘木蠹蛾卵块的空间依赖范围的大小主要与成虫的产卵习性有关。由于成虫体内怀有大量的卵,其飞翔能力较弱,产卵时先从树干基部开始,逐渐向上,在树干的同一位置将卵分堆产下。大多数情况在同一棵树上将所有卵产下,只有当成虫在一棵树上没有将卵产完时,才会飞向与其相邻的树上,继续产卵。变异函数的块金常数,主要是由试验地的状况所引起的,其原因主要有以下几种:(1)由于试验地离村庄非常近,受人类活动的影响较大,在成虫活动期间,试验地内经常有人放牧,而且常持续到 20:00~21:00,而成虫交配产卵多

集中在 20:00~22:00 之间,所以严重影响了成虫正常的交配产卵习性;(2)由于沙棘树的燃烧量非常高,经常有人到试验地内砍一些沙棘树作柴火,因此造成试验地内沙棘树的大量缺失,从而使卵的分布数量相对减少;(3)调查的误差。由图 6 的沙棘木蠹蛾卵块分布的等值趋势图和矢量图叠加可以看出,沙棘木蠹蛾卵块的空间分布具有较强的聚集性,其聚集中心主要集中在林地的中心,由林地中心株向整个林地扩散。

4 小结

4.1 两种受害程度完全不同的林地内,沙棘木蠹蛾幼虫种群所呈现的空间分布格局具有较大的差异。在重度受害林分内幼虫表现为聚集分布,而在轻度受害林分内则为随机分布。这主要是由于轻度受害林分内的虫口密度较低,从而使其空间分布呈现较大的随机性。卵的空间分布格局在重度受害林分中呈现较强的空间聚集性。

4.2 沙棘木蠹蛾卵和幼虫的空间分布格局,不仅与其各自的生物学特性有关,而且还与林分类型、林分内树木本身的生长状况以及所处的环境有关。在所调查的林地内,沙棘长势较好,呈现亚乔木状,其树高和胸径都比较大。而在内蒙、山西和宁夏等地,由于自然条件所限,沙棘长势较差,基本上为灌木。据 2002 年在内蒙的调查,其平均树高只有 1.5~2.0m 左右,所以卵和幼虫的空间分布特性可能会与本文有一定的出入,需要在实际应用中加以修正。

References:

- [1] Zhou G F, Xu R M. *Biogeostatistics*. Beijing: Science Press, 1997.
- [2] Ding Y Q. *Entomological Mathematics Ecology*. Beijing: Science Press, 1999. 22~69.
- [3] Zheng H Y, Xia N B. *Forestry Entomological Ecology*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1993. 120~167.
- [4] Wang Z Q. *Application of Geostatistics in Ecology*. Beijing: Science Press, 1999.
- [5] Wright R J, Deveries T A, Young L J, et al. Geostatistical Analysis of the Small-Scale distribution of European Corn Borer (Lepid optera: Crambidea) Larvae and Damage in whorl stage corn. *Environ. Entomol.* 2002, **31**(1): 160~167.
- [6] Isaaks E H, srivastava R M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989.
- [7] Li Y C, Xia N B, Tu H Q, A Geostatistical Amalysis on Spatial Patterns of *Anoplophora glabripennis* in Poplars. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, **17**(4): 393~401.
- [8] Shi G S, Li D M. Geostatistic analysis of spatial pattern of *Dendrolimus punctatus*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997, **8**(6): 612~616.
- [9] Hua B Z, Zhou Y, Fang D Q, et al. *Chinese Cossidae*. Bejing: Tianze Press, 1990. 56~57.
- [10] Luo Y Q, Lu C K, Xu Z C. Control Strategies on *Holcocerus hippophaecolus*. *The Global Seabuckthorn Research and Development*. 1(1): 31~33.
- [11] Luo Y Q, Lu C K, Xu Z C. Control Strategies on a new serious forest pest insect-seabuckthorn carpenterworm, *Holcocerus hippophaecolus*. *Forsest Pest and Disease*. 22(5): 25~28.
- [12] Zhou Z Y. Causes of Death and Strategies to Deal with *Holcocerus hippophaecolus* in the east of E'er duosi City, Inner Mongolia Autonomous region. *Hippophae*, 2002, **15**(2): 7~11.
- [13] Lu C K, Zong S X, Luo Y Q, et al. Adult behaviors and sex attraction of *Holcocerus hippophaecolus*. *Journal of Bejing Forestry University*, 2004, **26**(2): 79~83.
- [14] Zong S X, Wang T, Luo Y Q, et al. A Study on Effective Accumulated and Developmental Threshold Temperaturer of *Holcocerus Hippophaecolus*. *The Global Seabuckthorn Research and Development*, 2004, **2**(2): 31~34.

参考文献:

- [1] 周国法,徐汝梅.生物地理统计学.北京:科学出版社,1997.
- [2] 丁岩钦.昆虫数学生态学.北京:科学出版社,1994. 22~69.
- [3] 郑汉业,夏乃斌.森林昆虫生态学.北京:中国林业出版社,1993. 120~167.
- [4] 王政权.地质统计学在生态学中的应用.北京:科学出版社,1999.
- [7] 李友常,夏乃斌,屠洪泉,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.
- [8] 石根生,李典谟.马尾松毛虫空间格局的地统计学分析.应用生态学报,1997, **8**(6): 612~616.
- [9] 花保祯,周尧,方德齐,等.中国木蠹蛾志.北京:天则出版社,1990. 56~57.
- [10] 骆有庆,路常宽,许志春.暴发性新害虫沙棘木蠹蛾的控制技术.国际沙棘研究与开发,2003, **1**(1)创刊号: 31~33.
- [11] 骆有庆,路常宽,许志春.林木新害虫沙棘木蠹蛾的控制策略.中国森林病虫,2003, **22**(5): 25~28.
- [12] 周章义.内蒙古鄂尔多斯市东部老龄沙棘死亡原因及其对策.沙棘,2002, **15**(2): 7~11.
- [13] 路常宽,宗世祥,骆有庆,等.沙棘木蠹蛾成虫行为学特征及性诱效果研究.北京林业大学学报,2004, **26**(2): 79~83.
- [14] 宗世祥,王涛,骆有庆,等.沙棘木蠹蛾蛹的发育起点温度和有效积温研究.国际沙棘研究与开发,2004, **2**(2): 31~34.