

DOI: 10.5846/stxb201506291334

李建庆,梅增霞,杨忠岐.不同林分白蜡树云斑白条天牛种群空间格局地统计学分析.生态学报,2016,36(14): - .

Li J Q, Mei Z X, Yang Z Q. Geostatistical analysis on the spatial distribution of *Batocera lineolata* (Coleoptera: Cerambycidae) populations in different types of ash tree forests. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(14): - .

不同林分白蜡树云斑白条天牛种群空间格局地统计学分析

李建庆¹, 梅增霞¹, 杨忠岐^{2,*}

1. 滨州学院, 山东省黄河三角洲生态环境重点实验室, 滨州 256603

2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林保护学重点实验室, 北京 100091

摘要: 云斑白条天牛是我国重要林业害虫, 在黄河三角洲地区对白蜡树造成严重危害。本研究利用地统计学方法, 通过调查城市行道绿化林、庭院绿化林、公路林和片林 4 种不同林分类型的白蜡树林地, 以产卵刻槽、排粪孔和羽化孔为调查指标, 对危害白蜡云斑白条天牛种群卵、幼虫、成虫(蛹)的空间格局进行了研究。结果表明: 除片林样点成虫(蛹)的半变异函数模型为指数模型外, 危害白蜡云斑白条天牛种群卵、幼虫、成虫(蛹)在不同林分类型下的半变异函数模型均为球形模型, 其指明空间分布均为聚集分布, 种群的聚集分布习性与林分类型相关性不强。但不同林分类型云斑白条天牛种群的空间相关性地统计学参数存在差异, 片林调查样点的卵、幼虫和成虫(蛹)的变程 a 、块金值 C_0 和基台值 $C_0 + C$ 均小于其他三种林分类型的统计值, 片林样点成虫(蛹)的半变异函数模型不同于其他林分类型为指数模型。

关键词: 云斑白条天牛; 空间分布; 地统计学; 白蜡树

Geostatistical analysis on the spatial distribution of *Batocera lineolata* (Coleoptera: Cerambycidae) populations in different types of ash tree forests

LI Jianqing¹, MEI Zengxia¹, YANG Zhongqi^{2,*}

1 Shandong Province Key Laboratory on Eco-environments of Yellow River Delta, Binzhou University, Binzhou 256603, China

2 Key Laboratory of Forest Protection of State Forestry Administration, Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

Abstract: *Batocera lineolata* is an important wood-borer pest in China, mainly attacking the trunk of ash trees *Fraxinus velutina*, a predominant forest species in the Yellow River Delta, causing severe damage. In the present study, the spatial distribution patterns of eggs, larvae, and adults or pupae of the *B. lineolata* population were analyzed using geostatistical methods. The egg niche, frass hole, and emergence hole at four ash tree sample plots, including a city road greening forest, yard greening forest, highway forest, and patch forest, were investigated. The results showed that the semivariogram curve models of eggs, larvae, and adults (pupae) of *B. lineolata* populations in different types of ash forests were all spherical, except the adults (pupae) in the patch forest plot were exponential, and the spatial distribution patterns were all aggregated. There were no obvious correlations between the aggregated behavior and living habitat of *B. lineolata* populations. However, the geostatistical parameters of the spatial correlation of *B. lineolata* populations in different types of ash forests were obviously different. The range (a), nugget (C_0), sill ($C_0 + C$) of eggs, larvae, and adults (pupae) in

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD08A12); 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目(BS2013NY014); 山东省自然科学基金项目(ZR2014CL031, ZR2015CL043); 山东高等学校科技计划项目(J13LF10)

收稿日期: 2015-06-29; 修订日期: 2015-10-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yzhqi@caf.ac.cn

the patch forest were lower than those of the other three types of forests. At the same time, the semivariogram model of adults (pupae) at the patch forest was exponential.

Key Words: *Batocera lineolata*; spatial distribution; geostatistics; ash trees

白蜡树是一优良园林绿化树种,由于其耐盐碱能力强,在土壤盐渍化较为严重的黄河三角洲地区广泛种植。云斑白条天牛 *Batocera lineolata*, 又名云斑天牛,属鞘翅目天牛科,是我国重要林业害虫,在黄河三角洲地区对白蜡树的危害尤其严重,在当地滨州和东营城区管理不善的路段,白蜡行道林受害株率可达 88.24%^[1],笔者调查路段甚至达 100%,受害严重的白蜡树虫口数可达 32 个^[2],云斑白条天牛的危害已经限制了当地白蜡树的扩大种植。因此,研究危害白蜡树云斑白条天牛种群空间格局、动态变化和增长趋势,对指导云斑白条天牛的防治具有重要意义。

为做好白蜡树云斑白条天牛 (*Batocera lineolata*) 的防治工作,需要进一步深入研究其空间布局等种群分布特点。利用地统计学的方法来分析云斑白条天牛的种群空间格局,可弥补传统统计方法的不足,最大限度分析利用其调查数据,获取精确的种群信息,可有效的避免系统误差,更好的指导生产防治^[3-4]。李友常、柳林俊等利用地统计学分析了杨树光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* 和青杨天牛 *Saperda papulnea* 的空间格局^[5-6],但由于天牛类害虫蛀干危害的特殊性,利用地统计学方法来研究天牛空间格局的报道还不多,云斑白条天牛种群空间格局地统计学分析的研究报道尚未见到。本研究利用地统计学方法研究了不同林分白蜡树云斑白条种群不同虫态空间格局,以期种群预测预报和制定合理防治策略提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在黄河三角洲地区的山东省东营和滨州市,地理位置为北纬 36°41′—38°16′,东经 117°15′—119°10′E,属北温带湿润气候区,一年四季分明,年平均气温在 11.7—12.6℃ 之间。该区域地势平坦,海拔较低且蒸发量较大,土壤次生盐碱化严重,耐盐碱的白蜡树是当地重要绿化树种,大量用于城区和道路园林绿化。

试验地栽植树种为绒毛白蜡,主要林分类型为城市行道绿化林、庭院绿化林、公路林和片林,依据林分类型选取试验地 4 块(见表 1)。选取的试验地代表了不同胸径大小的白蜡林地,片林由于栽植密度高,种间竞争大,生长慢,平均胸径 8.69 cm,城市行道绿化林、庭院绿化林和公路林为道路两侧单行种植,种间竞争小,生长快,平均胸径在 14.38—18.27 cm 之间。选取的试验地云斑白条天牛危害率较高,有虫株率在 22.93%—100% 之间,但白蜡树处于天牛入侵危害的前期和中期,外在长势基本正常。

表 1 白蜡调查样地基本情况统计表

Table 1 Basic information of ash survey stands

样地号 No. plot	林分类型 Forest type	平均胸径/cm Average DBH	有虫株率/% Rate of infested trees	样地号 No. plot	林分类型 Forest type	平均胸径/cm Average DBH	有虫株率/% Rate of infested trees
1	城市行道绿化林	14.38±0.72	45.00	3	公路林	18.27±0.57	100.00
2	庭院绿化林	15.66±0.0.36	75.61	4	片林	8.69±0.11	22.93

表中数据为平均数±标准误

1.2 调查方法

分别选取城市行道绿化林、庭院绿化林、公路林和片林各 1 块,采取逐株取样调查的方法,统计每株白蜡上的云斑白条天牛产卵刻槽、排粪孔和羽化孔的数量,分别代表云斑白条天牛的卵、幼虫和成虫(或蛹)的虫口数。排粪孔调查时间为 5 月中旬,产卵刻槽和羽化孔的调查时间为 7 月上旬。

1.3 空间格局分析方法^[7]

半方差函数分析种群空间格局,实质是分析表征种群数量的变量空间变异特征和程度。对观察数据序列 $Z(x_i), i=1, 2, \dots, n$, 样本半变异函数值 $\gamma(h)$ 的公式如下:

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

式中, $N(h)$ 是被 h 分割的数据对 (x_i, x_i+h) 的对数, $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$ 分别是点 x_i 和 x_i+h 处样本的测量值, h 是分隔两样点的距离。

半方差函数曲线图的形状反映了变量空间分布的结构及相关类型,以及空间相关范围的大小,一般常用模型为球形模型、指数模型、高斯模型等,这三种模型所对应的空间分布均可为聚集分布,其理论模型及公式如下:

球状模型

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ C_0 + C \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right), & 0 < h \leq a \\ C_0 + C, & h > a \end{cases}$$

指数模型

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ C_0 + C(1 - e^{-h^2/a^2}), & h > 0 \end{cases}$$

高斯模型

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ C_0 + C(1 - e^{-\frac{h^2}{a^2}}), & h > 0 \end{cases}$$

不同理论模型的变异函数方程中, C_0 为块金值其大小反映变量的随机程度。 $C+C_0$ 为基台值其大小可反映变量变化幅度的大小。 a 为变程表示以 a 为半径的邻域内的任何其它 $Z(x_i)$ 与 $Z(x_i+h)$ 间存在的空间相关性。 $C/(C+C_0)$ 为空间结构比率,反映了空间结构系数在样点变量差异中所占的比率,大小可判定系统内变量的空间相关程度,介于 25%—75% 之间,有中等程度的空间相关性,大于 75% 则具有较强的空间相关性。

1.4 数据统计与分析

本文数据应用 DPS 软件的地理统计模块作地统计学分析。

2 结果与分析

2.1 云斑白条天牛的危害与分布

云斑白条天牛在黄河三角洲地区主要危害白蜡树,2 年 1 代,跨 3 个年度,以幼虫在树干内部蛀干危害,通过排粪孔排出虫粪和木屑,第二年秋在树干内化蛹越冬,第三年春天羽化在树干上咬一羽化孔,钻出树体,取食白蜡嫩枝条补充营养,然后在树干上咬一产卵刻槽产卵。因此,以产卵刻槽、排粪孔和羽化孔 3 个指标,分别调查云斑白条天牛不同虫态卵、幼虫、成虫(蛹)的种群数量,其基本统计学特征见表 2。由表 1 和表 2 的数据可见,片林的平均胸径最小,受害率也最轻,其株均产卵刻槽、排粪孔和羽化孔的数量均明显低于城市行道绿化林、庭院绿化林和公路林,这也表明白蜡树林分类型与云斑白条天牛的危害密切相关,在实际栽植环境中,城市行道绿化林、庭院绿化林和公路林的立地条件较为类似,而片林栽植密度较大,与其他林分类型差别较大,种群空间分布特征可能存在差异。

2.2 卵种群数量的半变异函数与空间格局

对 4 个不同林分类型白蜡林地产卵刻槽的分布进行半变异函数理论模型拟合,拟合函数模型及参数见表 3,拟合曲线见图 1。各林分白蜡林地,云斑白条天牛卵种群数量的半变异函数拟合模型均为球形模型,半变

异函数的决定系数 R^2 介于 0.70—0.88, 平均值为 0.75, 决定系数值均较大, 说明拟合模型的拟合程度均较高。根据拟合模型可知, 危害白蜡云斑白条天牛卵种群数量(产卵刻槽)的空间分布有明显的空间结构, 均为球形模型, 其指明的空间分布型为聚集分布。

表 2 危害白蜡云斑白条天牛统计指标调查数据的基本统计参数
Table 2 The statistic parameters of investigation data on *Batocera lineolata* attacking ash trees

林分类型 Forest type	统计指标 Statistic index	调查株数 No. of tress surveyed	平均值 Mean	方差 Variance	最小值 Min.	最大值 Max.	中位数 Median	标准误 S.D.	标准差 S.E.	峰度 Kurtosis	偏度 Skewness
城市行道绿化林 City Road greening forest	产卵刻槽	40	4.55	30.72	0.00	23.00	2.50	0.88	5.54	1.77	1.36
	排粪孔	40	2.68	18.38	0.00	19.00	0.00	0.68	4.29	4.67	2.07
	羽化孔	40	0.75	1.68	0.00	5.00	0.00	0.20	1.30	2.41	1.76
庭院绿化林 Yard greening forest	产卵刻槽	41	4.37	22.99	0.00	15.00	3.00	0.75	4.79	-0.74	0.77
	排粪孔	41	2.90	7.89	0.00	11.00	2.00	0.44	2.81	1.21	1.19
	羽化孔	41	1.02	2.12	0.00	4.00	0.00	0.23	1.46	-0.53	1.03
公路林 Highway forest	产卵刻槽	41	10.66	95.83	0.00	30.00	9.00	1.53	9.79	-1.17	0.41
	排粪孔	41	4.95	26.30	1.00	24.00	3.00	0.80	5.13	3.79	1.78
	羽化孔	41	1.59	3.80	0.00	9.00	1.00	0.30	1.95	4.27	1.81
片林 Patch forest	产卵刻槽	205	1.40	5.57	0.00	9.00	0.00	0.16	2.36	0.43	1.37
	排粪孔	205	0.73	4.04	0.00	16.00	0.00	0.14	2.01	24.20	4.46
	羽化孔	205	0.43	0.87	0.00	6.00	0.00	0.07	0.93	8.36	2.68

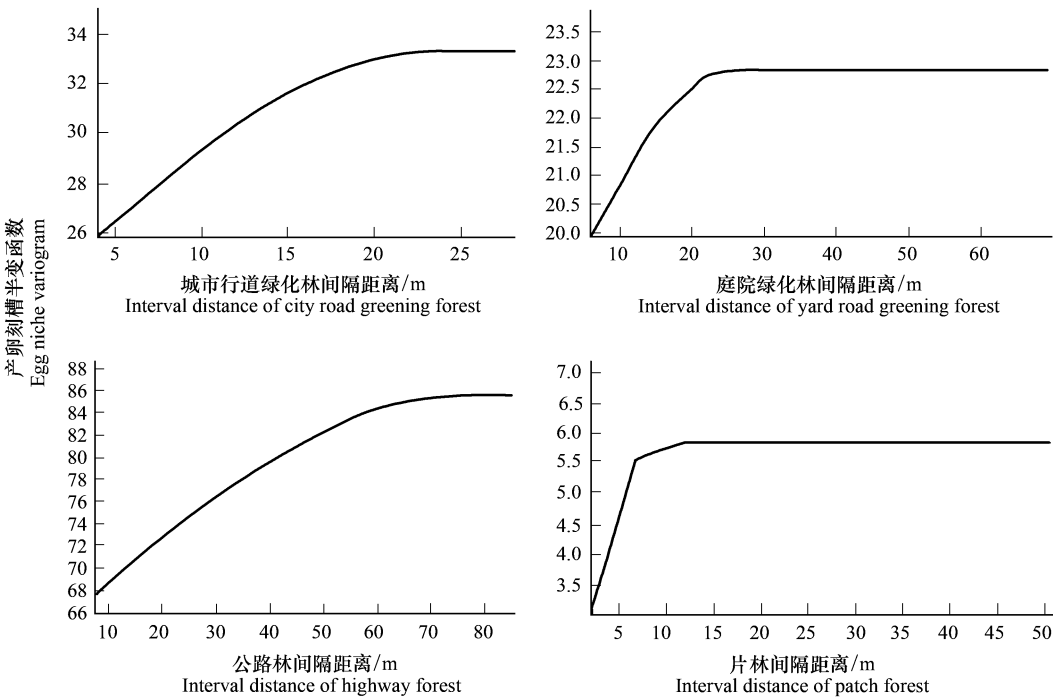


图 1 不同林分白蜡林地云斑白条天牛产卵刻槽的半变差异函数
Fig.1 Variogram of *B. lineolata* egg niche at different type ash forest

从拟合函数参数的块金值 C_0 看, 最小块金值 1.55, 表明引起变量的随机程度较小, 最大块金值为 62.58, 表明引起变量的随机程度较大。从变程 a 看, 在 8.63—75.08 m 之间, 其空间依赖范围均在研究尺度之内, 当间隔距离在变程之内时, 具有明显的空间依赖性, 当间隔距离超过变程时, 半方差函数趋于稳定, 不存在空间

表 3 危害白蜡云斑白条天牛各调查指标的半变异函数模型及参数
Table 3 Variogram model and parameter of *B. lineolata* investigation indexes in ashes

调查指标 Investigation index	样地序号 No. plot	模型类型 Model type	块金 C_0 Nugget	C	变程 a Range	基台值 $C_0 + C_{Sill}$	空间结构 比率 C/($C_0 + C$)/%		决定系数 R^2 Determination coefficient	分布型 Distribution pattern	F 检验 F test	半变异函数 Variogram
							Proportion of spatial structure	Proportion of spatial structure				
产卵刻槽 Incisions	1	球形模型	23.19	10.06	22.83	33.24	30.26	0.88	0.88	聚集	10.99 *	$\gamma(h) = 23.19 + 0.66h - 4.23 \times 10^{-4}h^3$
	2	球形模型	18.31	4.52	24.59	22.83	19.81	0.70	0.70	聚集	7.12 *	$\gamma(h) = 18.31 + 0.27h - 1.52 \times 10^{-4}h^3$
	3	球形模型	62.58	22.86	75.08	85.44	26.76	0.72	0.72	聚集	7.83 *	$\gamma(h) = 62.58 + 0.46h - 2.70 \times 10^{-5}h^3$
	4	球形模型	1.55	4.30	8.63	5.85	73.53	0.70	0.70	聚集	8.01 *	$\gamma(h) = 1.55 + 0.74h - 3.34 \times 10^{-3}h^3$
排粪孔 Frass holes	1	球形模型	13.23	7.38	49.06	20.61	35.81	0.70	0.70	聚集	6.00 *	$\gamma(h) = 13.23 + 0.23h - 3.13 \times 10^{-5}h^3$
	2	球形模型	6.56	1.28	25.73	7.84	16.36	0.64	0.64	聚集	5.21 *	$\gamma(h) = 6.56 + 7.48 \times 10^{-2}h - 3.77 \times 10^{-5}h^3$
	3	球形模型	16.40	7.92	67.02	24.32	32.57	0.79	0.79	聚集	9.24 *	$\gamma(h) = 16.40 + 0.18h - 1.32 \times 10^{-5}h^3$
	4	球形模型	2.92	0.73	15.49	3.64	19.98	0.85	0.85	聚集	16.82 **	$\gamma(h) = 2.92 + 7.05 \times 10^{-2}h - 9.80 \times 10^{-5}h^3$
羽化孔 Emergence holes	1	球形模型	1.42	0.32	12.82	1.74	18.53	0.74	0.74	聚集	7.00 *	$\gamma(h) = 1.42 + 3.77 \times 10^{-2}h - 7.64 \times 10^{-5}h^3$
	2	球形模型	0.96	1.21	19.95	2.16	55.84	0.75	0.75	聚集	7.30 *	$\gamma(h) = 0.96 + 9.09 \times 10^{-2}h - 7.61 \times 10^{-5}h^3$
	3	球形模型	2.66	1.72	31.24	4.37	39.27	0.77	0.77	聚集	9.85 *	$\gamma(h) = 2.66 + 8.24 \times 10^{-2}h - 2.82 \times 10^{-5}h^3$
	4	指数模型	0.66	0.22	6.95	0.88	25.08	0.80	0.80	聚集	12.10 **	$\gamma(h) = 0.88 - 0.22e^{-2.07 \times 10^{-2}h}$

* 表示差异显著, ** 表示差异极显著.

相关性。从基台值 C_0+C 看,最小为 5.85,变量的变化幅度较小,最大为 85.44,表明变量的变化幅度较大。从空间结构比率 $C/(C_0+C)$ 看,最小值为 19.81%,最大为 73.53%,平均为 37.59%,介于 25%—75%之间,有中等程度的空间相关性,其中庭院绿化林小于 25%,空间相关性不高。

2.3 幼虫种群数量的半变异函数与空间格局

对 4 个不同林分类型白蜡林地排粪孔的分布进行半变异函数理论模型拟合,拟合函数模型及参数见表 3,拟合曲线见图 2。各林分白蜡林地,云斑白条天牛幼虫种群数量的半变异函数拟合模型均为球形模型,半变差函数的决定系数 R^2 介于 0.64—0.85,平均值为 0.75,决定系数值均较大,说明拟合模型的拟合程度均较高。根据拟合模型可知,危害白蜡云斑白条天牛幼虫种群数量(排粪孔)的空间分布有明显的空间结构,均为球形模型,其指明的空间分布型均为聚集分布。

从拟合函数参数的块金值 C_0 看,最小块金值 2.92,表明引起变量的随机程度较小,最大块金值为 16.40,表明引起变量的随机程度较大。从变程 a 看,在 15.49—67.02 m 之间,其空间依赖范围均在研究尺度之内,当间隔距离在变程之内时,具有明显的空间依赖性,当间隔距离超过变程时,半方差函数趋于稳定,不存在空间相关性。从基台值 C_0+C 看,最小为 3.64,变量的变化幅度较小,最大为 24.32,表明变量的变化幅度较大。从空间结构比率 $C/(C_0+C)$ 看,最小值为 16.29%,最大为 35.81%,平均为 26.18%,介于 25%—75%之间,有中等程度的空间相关性,庭院绿化林和片林小于 25%,空间相关性不强。

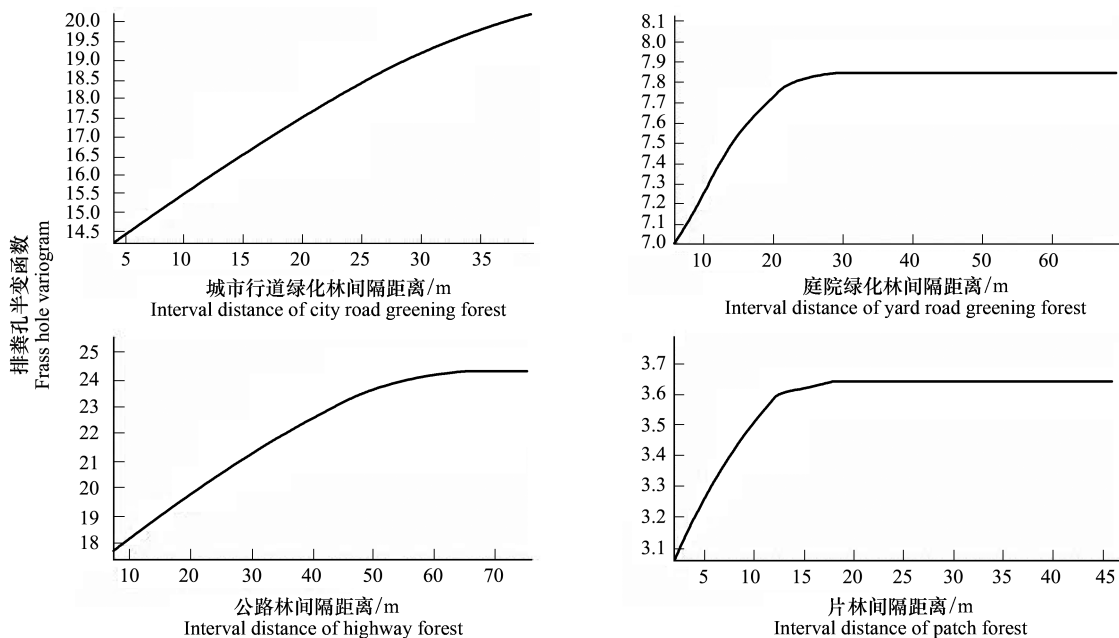


图 2 不同林分白蜡林地云斑白条天牛排粪孔的半变差异函数

Fig.2 Variogram of *B. lineolata* frass holes at different type ash forest

2.4 成虫(蛹)种群数量的半变异函数与空间格局

对 4 个不同林分类型白蜡林地羽化孔的分布进行半变异函数理论模型拟合,拟合函数模型及参数见表 3,拟合曲线见图 3。各林分白蜡林地,云斑白条天牛成虫(蛹)种群数量的拟合模型除片林样点(为指数模型)外均为球形模型,半变差函数的决定系数 R^2 介于 0.74—0.80,平均值为 0.77,决定系数值均较大,说明拟合模型的拟合程度均较高。根据拟合模型可知,白蜡上云斑白条天牛成虫(蛹)种群数量(羽化孔)的空间分布有明显的空间结构,球形模型和指数模型指明的空间分布型均为聚集分布。片林样点羽化孔的拟合模型为指数模型,主要原因为羽化孔种群密度较低仅为 0.43 个/株,结合实际调查的分布情况,数量不多的羽化孔主要分布于片林周边林缘的树木上,处于片林内部的树木基本无分布,导致片林羽化孔的分布较其他林分类型要相对集中。

从拟合函数参数的块金值 C_0 看,最小块金值 0.66,表明引起变量的随机程度较小,最大块金值为 2.66,表明引起变量的随机程度较大。从变程 a 看,在 6.95—31.24 m 之间,其空间依赖范围均在研究尺度之内,当间隔距离在变程之内时,具有明显的空间依赖性,当间隔距离超过变程时,半方差函数趋于稳定,不存在空间相关性。从基台值 C_0+C 看,最小为 0.88,变量的变化幅度较小,最大为 4.37,表明变量的变化幅度较大。从空间结构比率 $C/(C_0+C)$ 看,最小值为 18.53%,最大为 55.84%,平均为 34.68%,介于 25%—75% 之间,有中等程度的空间相关性,其中城市行道绿化林小于 25%,空间相关性不强。

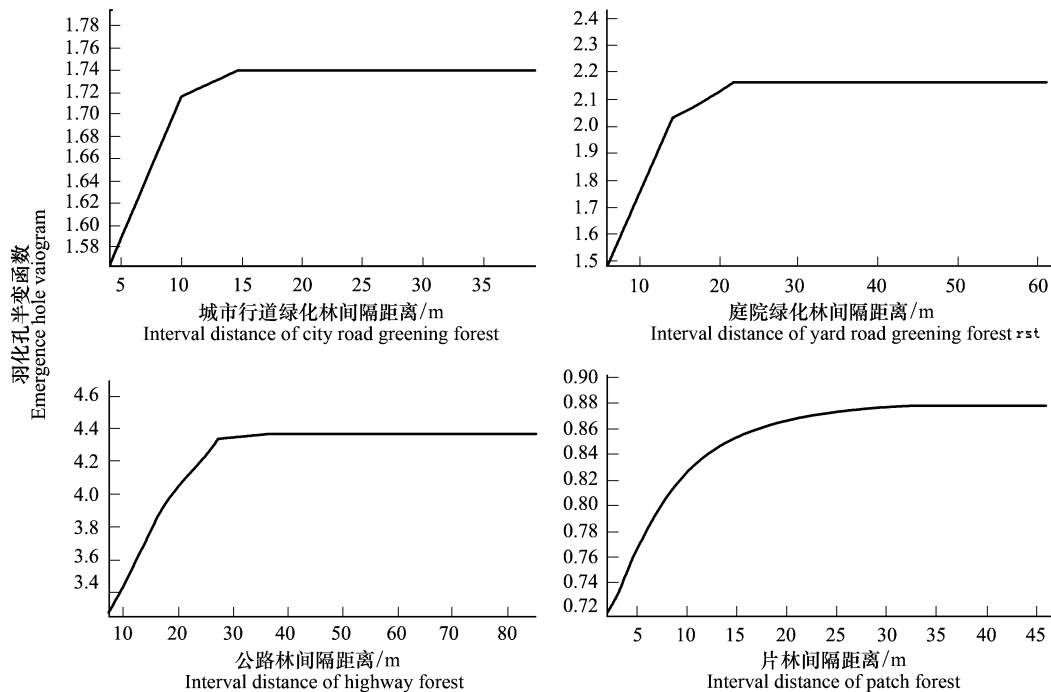


图 3 不同林分白蜡林地云斑白条天牛羽化孔的半变差异函数

Fig.3 Variogram of *B. lineolata* emergence holes at different type ash forest

3 结论与讨论

通过对不同林分白蜡林地调查数据的地统计学分析,表明危害白蜡云白条天牛的各个虫态在不同林分类型下的空间格局均呈聚集分布,卵、幼虫、成虫(蛹)在城市行道绿化林、庭院绿化林、公路林和片林环境中均表现为聚集分布,聚集分布的习性与其生存的林分环境关系不大。

本研究调查的 4 种林分类型中,城市行道绿化林、庭院绿化林和公路林的立地条件较为类似,片林的栽植密度大,环境条件明显不同,因此在一些统计指标上与其他三种林分类型表现出较大差异,片林调查样点的卵、幼虫和成虫(蛹)的变程 a 、块金值 C_0 、基台值 C_0+C 均小于其他三种林分类型的统计值。同时,仅在片林环境下成虫(蛹)的半变异函数模型为指数模型,除此之外,不同虫态在不同林分类型下的半变异函数模型均为球形模型。这均与片林条件下云斑白条天牛的危害特点和分布情况有关,片林受害率较轻,且分布不均,主要为害在林缘树木,林地内部树木受害较少。

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,对提高抽样技术和揭示种群消长规律、预测预报及制订害虫防治策略都具有重要意义^[8-10]。由于云斑白条天牛一生只有一个排粪孔,以排粪孔来统计其种群数量是科学的,据此,通过传统生物统计学技术研究表明云斑白条天牛幼虫在杨树、桑树和核桃上的空间分布型为聚集分布^[11-14],但传统生物统计方法忽略了研究对象的空间位置,且对取样单位的大小依赖较大,而地统计学能

够最大限度地利用野外调查所提供的各种信息,不仅可对区域化变量的空间相关性进行定量化描述,还可对空间分布进行模拟,能获得更多的统计结果^[3,15-18]。本研究通过地统计学的方法,除获得了不同林分类型白蜡林地云斑白条天牛卵、幼虫、成虫(蛹)的空间分布型外,还得出各个虫态的空间拟合模型、空间依赖性的变程等信息,对指导云斑白条天牛虫情测报和防治更具指导价值。

参考文献(References):

- [1] 杨忠岐,李建庆,梅增霞,王小艺,景志高,孟向东. 释放花绒寄甲防治危害白蜡的云斑天牛. 林业科学, 2011, 47(12): 78-84.
- [2] 梅增霞,李建庆. 黄河三角洲地区云斑白条天牛的发生危害与防治. 滨州学院学报, 2014, 30(3): 58-62.
- [3] 潘杰,王涛,宗世祥,温俊宝,骆有庆. 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, 2011, 31(1): 195-202.
- [4] Yünsel T Y, Ersoy A, Çetin M. Geostatistical analysis of spatial distribution of salt bed thickness. Journal of Mining Science, 2002, 38(6): 565-572.
- [5] 李友常,夏乃斌,屠泉洪,骆有庆,温俊宝. 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.
- [6] 柳林俊. 雁北地区青杨天牛空间分布型的地统计学研究. 陕西林业科技, 2005, (3): 28-30, 33-33.
- [7] 唐启义,冯明光. DPS数据处理系统——实验设计、统计分析 & 数据挖掘. 北京: 科学出版社, 2007: 504-528.
- [8] 丁岩钦. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社, 1994: 22-69.
- [9] Wang Z Q. Application of Geostatistics in Ecology. Beijing: Science Press, 1999: 10-72.
- [10] Hohn M E, Liebhold A M, Gribko L S. Geostatistical model for forecasting spatial dynamics of defoliation caused by the gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae). Environmental Entomology, 1993, 22(5): 1066-1075.
- [11] 李建庆,杨忠岐,张雅林,梅增霞. 杨树上云斑天牛种群的空间格局及抽样技术. 昆虫学报, 2009, 52(8): 860-866.
- [12] 梅爱华. 云斑天牛幼虫空间分布型及抽样技术. 昆虫知识, 1997, 34(2): 94-95.
- [13] 张世权,杨宝祥,郑丽芳. 云斑天牛空间分布型与种群密度估计的研究. 河北林学院学报, 1992, 7(3): 210-213.
- [14] 吴开明,张建强,代方银,许恩远,唐万成,邵春明,鞠先奎. 云斑天牛危害桑树及生物学特性研究. 蚕业科学, 1995, 21(1): 53-54.
- [15] Farley R A, Fitter A H. Temporal and spatial variation in soil resources in a deciduous woodland. Journal of Ecology, 1999, 87(4): 668-696.
- [16] Liebhold A M, Rossi R E, Kemp W P. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. Annual Review of Entomology, 1993, 38(1): 303-327.
- [17] 孙鹏举,骆有庆,姚东华,刘春亮,宗世祥. 柳毒蛾幼虫和蛹的空间分布的地统计学分析. 植物保护学报, 2015, 42(4): 604-611.
- [18] 蒋杰贤,万年峰,季香云. 基于地统计学和 GIS 的化学农药胁迫下桃树桃蚜与草间钻头蛛种群空间格局. 中国生态农业学报, 2015, 23(7): 906-913.