

沙棘木蠹蛾蛹的空间分布

宗世祥¹, 骆有庆^{1,*}, 许志春¹, 王 涛², 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: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, 该虫约 4a 完成 1 代, 主要以幼虫危害沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 的根部和干部, 老熟幼虫在土壤中化蛹。为了解种群的空间结构, 从而有效控制其危害, 应用生物学统计方法和地质统计学 (Geostatistics) 方法对沙棘木蠹蛾蛹的空间分布特性进行了分析研究。结果表明: 约 90 % 的蛹在 6 月初到 7 月末之间羽化, 而 7 月份羽化的数量占总数的一半之多。在调查样地中, 雌雄蛹的比例基本为 1:1。每株沙棘树周围, 蛹的数量为 0~4 个, 有蛹株率仅为 24.3 %。蛹在距离根基部周围 1.3 m 的范围内均有分布, 不同分布区间内蛹的数量变化没有一定的规律性, 但 90 % 的蛹分布在距根基部 1 m 的范围内。沙棘木蠹蛾蛹的种群呈现较明显的空间聚集状态, 空间依赖范围大小为 11.1 m, 局部空间连续性强度为 90.7 %, 呈现较明显的斑块状分布, 在整个区域内有很多聚集点。对不同样方大小的变异曲线图进行比较得知: 样方边长分别为 5、6、7 m 时, 变程、空间局部连续性强度和基台值的变化幅度均很小, 几乎相等, 而样方边长为 5 m 时的决定系数较大, 此样方为最适样方大小。

关键词:沙棘木蠹蛾; 蛹; 空间分布; 地统计学

文章编号: 1000-0933(2006)10-3232-06 **中图分类号:** Q143, Q968.1 **文献标识码:** A

Spatial distribution regularities of *Holcocerus hippophaecolus* Pupae

ZONG Shi-Xiang¹, LUO You-Qing^{1,*}, XU Zhi-Chun¹, WANG Tao², 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(10): 3232~3237.

Abstract: The seabuckthorn carpenter moth, *Holcocerus hippophaecolus* Hua, Chou, Fang et Chen is recently a major pest of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides*) in Inner Mongolia Autonomous region, Liaoning, Shanxi, Ningxia and Shaanxi provinces in China. The generation time of *H. hippophaecolus* is four years. The larvae cause damage primarily to the stems and roots of seabuckthorn, and the mature larvae pupate in soil. Spatial distribution regularities were analyzed using biostatistics and geostatistical methods for the carpenter moth pupae in order to effectively control the insect and to further study the spatial distribution of the population. The results showed that the eclosion time of most of the pupae (90 %) is from early June to the end of July. The sex ratio of the pupae was nearly 1:1 in the woodland samples. 24.3 % of the trees were found to have pupae, ranging from 0 to 4 pupae per tree. The pupae were found within a distance of 1.3 m from the base of the stem, but 90 % of the pupae were found to be aggregated within the distance of 1 m from the base of the stem. The pupae showed intense spatial aggregation in the studied woodland, 11.1 m spatial dependence and 90.7 % intensity of local spatial continuity were found, the population presented intensive spotted distribution, and many aggregated spots were found in the whole woodland. In the study on

基金项目: 国家水利部沙棘开发管理中心资助项目 (200208); 国家林业局科技司资助项目 (2003-034-L34)

收稿日期: 2005-08-07; **修订日期:** 2006-02-11

作者简介: 宗世祥 (1976~), 男, 博士, 辽宁人, 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: zongsx@126.com

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

致谢: 本文在研究过程中还得到了辽宁省建平县森林防护站张连生站长、梁树军副站长的大力支持和帮助, 特此致谢!

Foundation item: The project was supported by China National Administration Center for Seabuckthorn Development (No. 200208); State Forestry Administration of China (No. 2003-034-L34)

Received date: 2005-08-07; **Accepted date:** 2006-02-11

Biography: ZONG Shi-Xiang, Ph. D., mainly engaged in biology and ecology of insect and control technique of afforestation. E-mail: zongsx@126.com

the relationship between different grid sizes and variogram of the pupae, the variation in the range, the intensity of local spatial continuity and the sill was very low or non-existent when the grid size was 5m, 6m or 7m, the value of the decisive coefficient was more bigger when the grid size was 5m, so, it is ideal grid size.

Key words: *Holcocerus hippophaecolus*; *Hippophae rhamnoides*; pupae; spatial distribution; geo-statistics

沙棘木蠹蛾 (*Holcocerus hippophaecolus* Hua, Chou, Fang et Chen)^[1] 是近几年在内蒙古、辽宁、山西、宁夏、河北、陕西和甘肃等地大面积爆发的一种钻蛀性害虫,主要危害沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 的根部和干部,使其大部分被蛀空,导致沙棘整株枯死^[2~10]。沙棘木蠹蛾约 4a 为 1 代,主要以幼虫危害沙棘的主干和根部,老熟幼虫在树干基部周围的土壤中化蛹,化蛹深度约在地下 10cm 左右。成虫羽化后,蛹壳半露于土壤中或部分被带出地面裸露于地表,极易被发现。卵多产于干部树皮裂缝、伤口等处,极少数产在枝条上,而产卵高度则由于沙棘长势不同而有所差异。幼虫常常十几头至上百头聚集在一起危害,且具有转移危害的习性,即初孵幼虫开始蛀食树干的韧皮部,而后于同年入冬前通过树干表面向下转移至树干基部和根部危害。

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^[11,12]。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。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统计学以样本数都是随机选取为基础的理论体系。作者于 2003 年曾经利用地统计学方法对沙棘木蠹蛾幼虫和卵的空间格局做了详细的研究^[7],而关于其蛹的空间分布特性及其变化特征还未见报道。本文应用地统计学方法^[13~19]对沙棘木蠹蛾蛹的空间分布进行较深入的研究,为采取适宜的防治方法并为种群预测预报、抽样技术等提供较好的理论指导。

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 hm²,其中纯林 4 万 hm²,主要分布在建平的北部。2004 年 7 月初,在建平县深井乡金沟门村的沙棘林带内进行蛹的空间分布格局调查,调查样地内的沙棘均为 20 年生,平均胸径 5.42cm,树高 3.60m 左右,株行距为 1m × 2.5m。

2 研究方法

2.1 调查方法

根据试验地的大小及沙棘的分布情况,2004 年 7 月初,在沙棘林地内选取 1 块面积大小为 70m × 70m 的样方。首先,记录沙棘株行距,并将每株沙棘的实际空间位置绘制于坐标纸上,然后每隔 5d 调查 1 次试验地内所有出现的蛹壳数量,区分雌雄蛹后,将其对应于树干基部的实际位置绘制于坐标纸上,调查时间持续到基本上没有成虫出现为止(8 月末)。

2.2 分析方法

2.2.1 变异函数 变异函数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 个最重要的参数:块金常数(nugget),基台值(sill)和变程(range),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^[13,14]。在拟合过程中,究竟采用哪种理论模型拟合,需要作者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^[14]。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,最后确定指数模型为沙棘木蠹蛾蛹的空间分布格局的最佳拟合模型。

3 结果分析

3.1 沙棘木蠹蛾蛹种群数量的动态变化

沙棘木蠹蛾蛹(不同性别)出现的时间即为成虫的羽化时间,通过以往的观察,作者发现:沙棘木蠹蛾成虫始见于6月初,终见于8月末,期间经历两次羽化高峰,第1次在6月中旬,第2次在7月下旬。由表1可以看出:6月份,蛹出现的数量约为119个,7月份为154个,8月份为33个,分别占总数的38.9%、50.3%和10.8%,由此说明,接近90%的蛹出现在6月初到7月末之间,而7月份蛹出现数量占总数的一半之多,这也从侧面说明了成虫羽化的第2个高峰期要比第1个高峰期在数量上有较大幅度的增加。另外,在调查样地中,蛹的雌雄性比几乎为1:1。

由图2可知:从7月初至8月末之间,雌雄蛹出现的数量呈现交替变化的趋势,其中从7月12日至21日,蛹的数量明显减少,而雌蛹的减少幅度略小于雄蛹;从7月21日至8月3日,蛹出现的数量明显增加,其中雌蛹增加的数量远远大于雄蛹,此后,雌蛹数量急剧减少,其幅度远大于雄蛹。

3.2 沙棘木蠹蛾蛹在树干基部的分布情况

将蛹距沙棘树干基部的距离按半径10cm为一分布区域,等距地划分成若干个区域,统计每一区域内蛹的数量,结果如表2所示,距离基部1.3m的范围内均有蛹分布,除1.2~1.3m这一区间内有一个蛹以外,其它区间内均分布有不同数量的蛹,分别占总数的3.03%~15.15%不等,不同区间内蛹的分布没有一定的规律性。由累积百分率可以看出接近90%的蛹分布在距根基部1m的范围内。蛹在根基部周围的分布情况主要取决于以下两种因素:①沙棘水平根和垂直根的长度,因为老熟幼虫化蛹时,先从根部钻出,然后在其周围的土壤

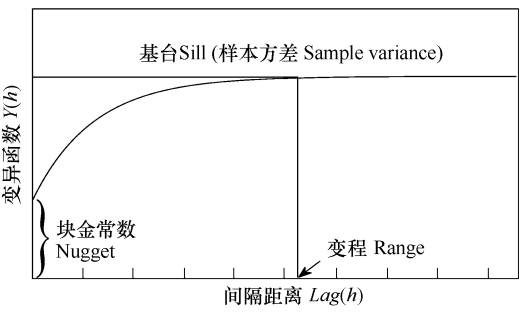


图1 典型的变异曲线图

Fig. 1 A typical variogram

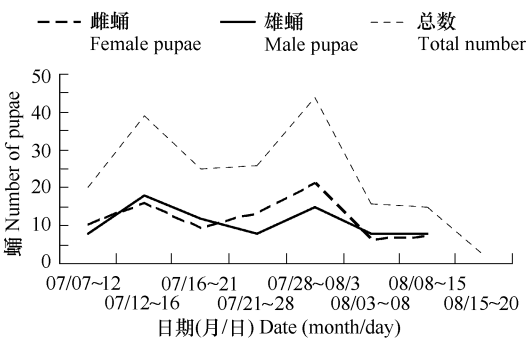


图2 沙棘木蠹蛾蛹种群数量的动态变化

Fig. 2 Population dynamics of the seabuckthorn carpenterworm pupae

表2 沙棘木蠹蛾蛹在树干基部周围分布位置统计

Table 2 Pupal distribution of the seabuckthorn carpenterworm around the stem base													
离树干基部距离 Distance from the base of the stem(m)	0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	0.8~0.9	0.9~1	1~1.1	1.1~1.2	1.2~1.3
蛹数 No. of pupae	24	30	14	17	27	22	10	8	6	17	11	11	1
百分率 Percentage(%)	12.12	15.15	7.07	8.59	13.64	11.11	5.05	4.04	3.03	8.59	5.56	5.56	0.51
累积百分率 Total percentage(%)	12.12	27.27	34.34	42.93	56.56	67.68	72.73	76.77	79.80	88.38	93.94	99.49	100

中化蛹,也有个别先从根部钻出,然后爬到一些较空旷的地方再钻进土里化蛹。因此,一般情况下,如果老熟幼虫所在水平根的位置距离基部很远,相应地,其蛹所在位置也距离基部较远。②老熟幼虫化蛹场所与其所危害根部位置之间的距离。

3.3 沙棘木蠹蛾蛹的空间格局

3.3.1 沙棘木蠹蛾蛹在林地内的分布状况 通过对标准地内所有沙棘树干基部周围蛹的调查统计发现,每株沙棘树周围,蛹数最多的为4个,最少的为0个,沙棘木蠹蛾的有蛹株率仅为24.3%(表3)。

3.3.2 沙棘木蠹蛾蛹的空间变异与样方大小的关系

要能够正确反映种群的空间结构,需要有合适的样方大小。样方太小时,样方间的数据差异较大,这种差异足以掩盖由于空间位置关系而带来的样本值的相关性;当样方太大时,样方间的数据差异不明显,使得各样方的数据在空间形成均匀分布,因而其空间依赖性距离减少,形成纯块金变异图。因此,为了准确了解沙棘木蠹蛾蛹的空间结构,作者分别比较了不同样方大小蛹的变异参数,从而得出合适的样方大小。其结果如图3~图6所示。

随着样方增大,沙棘木蠹蛾蛹的变异函数曲线图的变程、空间局部连续性强度和决定系数均呈现较大的变动趋势。如图3、图5和图6所示:当样方边长为5~7m时,其变程值和空间局部连续性强度的变化幅度均很小,几乎相等,而样方边长为3、5m和7m时,决定系数较大,变异曲线拟合精度较高。基台值呈现减小的变化趋势(图4),这是由于随着取样面积的增大,样方内部的变异增大,而样方之间的变异减小的缘故。当样方边长为5~7m时,基台值变化幅度很小。因此,在合适的样方大小下,沙棘木蠹蛾蛹的变异函数曲线图的变程、空间连续性强度和基台值是相对稳定的,并不随样方大小而变化的。这种稳定性可以看作是种群的内在因素引起的,而与调查时所选取的样方大小无关。因此,结合实际情况,作者选取大小为5m×5m的样方来研究其种群的空间结构和变化规律。

表3 样地内每株沙棘树周围蛹的分布数量

Table 3	Number of the pupae per seabuckthorn in sample plot				
蛹数 No. of the pupae	0	1	2	3	4
频数(株) Frequency (tree)	735	202	26	7	1
百分率(%) Percentage (%)	75.70	20.80	2.68	0.72	0.10
累积百分率(%) Accumulative percentage (%)	75.70	96.50	99.18	99.90	100.00

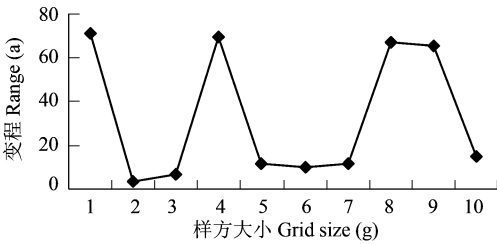


图3 蛹变异函数曲线图变程与样方大小的关系

Fig. 3 Relationship between range and grid size of variogram for pupae

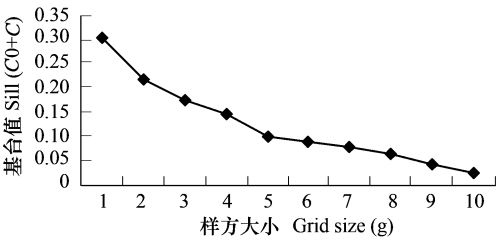


图4 蛹变异函数曲线图基台值与样方大小的关系

Fig. 4 Relationship between sill and grid size of variogram for pupae

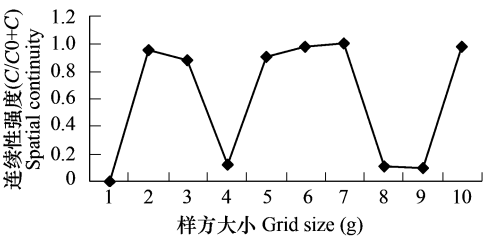


图5 蛹变异函数曲线图连续性强度与样方大小的关系

Fig. 5 Relationship between spatial continuity and grid size of variogram for pupae

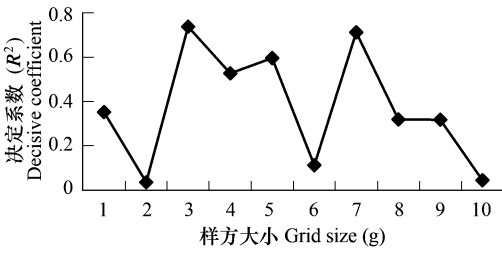


图6 蛹变异函数曲线图决定系数与样方大小的关系

Fig. 6 Relationship between decisive coefficient and grid size of variogram for pupae

3.3.3 全方向上的沙棘木蠹蛾蛹数量的变异曲线图及空间分布格局分析 应用指数模型拟合蛹的实际变异函数曲线如图 7(a) 所示,可以看出:沙棘木蠹蛾蛹的种群呈现较明显的空间聚集状态,其空间依赖范围大小为 11.1m,即在此空间距离范围内的任何两样点蛹的数量间都存在着一定相关关系,这说明沙棘木蠹蛾蛹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 90.7%,说明总空间变异中有 90.7%是由空间自相关现象产生的。根据野外的观察和实际的调查结果分析,蛹的空间分布特性主要与幼虫的空间分布有关,通过对同一试验地中沙棘木蠹蛾幼虫的空间分布分析得知:幼虫种群也呈现较明显的空间聚集状态,其空间依赖范围大小为 7.3m^[7],小于蛹的空间依赖范围,这主要是由于危害每株沙棘树的幼虫中只有一小部分老熟幼虫化蛹,导致蛹的分布数量远远小于幼虫数量,使得蛹的空间聚集强度略小于幼虫,从而扩大了蛹的空间依赖范围。块金常数的产生主要是因为试验地内经常有人放牧、砍柴,造成沙棘树的大量缺失,从而使幼虫的分布数量相对减少,从而引起了蛹的数量的下降;另外,由于不利环境条件的影响,如雨水过多,造成一部分蛹死亡,从而影响了实际的调查结果。由蛹空间分布的等值线与矢量叠加图可以看出其密度聚集的分布特点,基本上呈现斑块状分布,在整个区域内有很多聚集点,每个聚集点分别由聚集中心区域向周围逐渐减小,与聚集点中心距离相近的格间蛹数差异不大,但距离较远的格间蛹的数目差别较大。

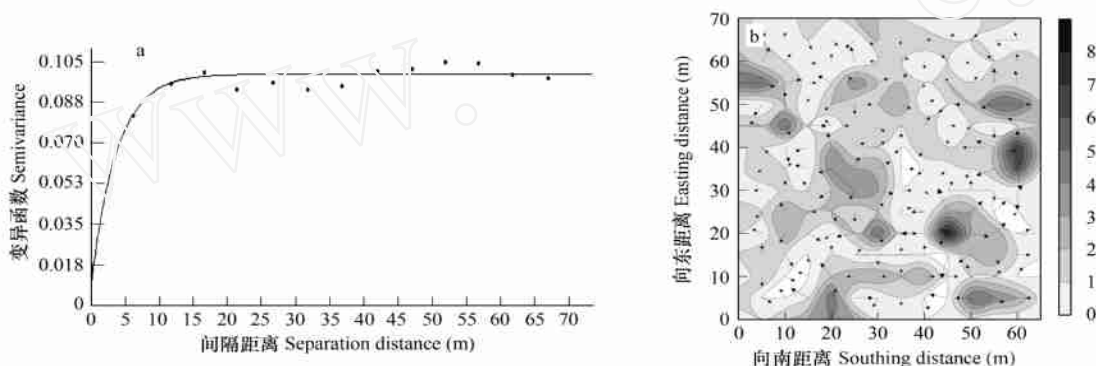


图 7 沙棘木蠹蛾蛹的变异函数曲线图(a)和等值线与矢量叠加图(b)

Fig. 7 Variogram(a), overlay map of isoline and vector(b) of the seabuckthorn carpenterworm pupae

4 讨论

4.1 沙棘木蠹蛾在树干基部周围的分布情况主要取决于沙棘水平根和垂直根的长度以及老熟幼虫化蛹场所与其所危害根部位置之间的距离,但总的来看,绝大部分蛹分布在距树干基部 1m 的范围内,这一结果为人工捕捉未交配成虫提供了较好的理论依据。由沙棘木蠹蛾成虫的生物学特性得知:成虫羽化后先在蛹壳附近的地面上静伏不动,天黑后,大约 8:00 左右才离开最初羽化的地方开始活动;另外,成虫羽化主要集中在 16:00~19:00 之间,因此可以在这段时间内,在沙棘树干基部周围 1m 的范围内进行人工捕捉刚羽化的成虫来控制下一代的发生数量。由于沙棘具有较强的萌蘖能力且浑身具刺,在野外,沙棘林生长茂密,人很难进入,使其在实际应用中受到了限制,但沙棘作为一种生态经济树种,由于其叶果深加工技术的日益成熟,以及市场对以沙棘为原料的保健品和饮品的认可,沙棘的发展必然会以田园式的栽培管理模式为主,因此,在此管理模式下,人工捕捉成虫必然会为有效地防治沙棘木蠹蛾危害提供有效的途径。

4.2 沙棘木蠹蛾蛹的空间格局取决于幼虫的空间分布状况及老熟幼虫的化蛹场所,而不同的林分类型、林分内树木本身的生长状况以及所处环境等也会对其空间分布产生一定的影响。在沙棘木蠹蛾蛹的空间格局分析中采用 5m × 5m 的样方最为适宜,试验地中,蛹的空间分布格局呈现较明显的聚集状态,其空间依赖范围大小为 11.1m,与幼虫(7.3m)相比,其空间依赖范围略大于幼虫。

4.3 在空间格局分析中,地统计学作为一种统计分析工具,其分析结果必须与害虫的生物学特性相符合,否

则分析无任何意义。在分析中,地质统计学同时利用了昆虫种群的数量和空间位置的关系,较好地解决了其空间相关和依赖问题,为更好地反映种群的空间分布状态提供了有效的途径。随着生态学的不断发展,昆虫种群随空间位置的数量变化关系已经成为研究热点,因此,探索新的统计分析方法以及完善和综合运用多种空间格局分析方法,使其相互补充,必将为更加准确了解昆虫的空间结构提供较好的理论依据。

References:

- [1] Hua B Z, Zhou Y, Fang D Q, *et al.* Chinese Cossidae. Beijing: Tianze Press, 1990. 56~57.
- [2] Zhou Z Y. Causes of Death and Strategies to Deal with *Holcocerus hippophaecolus* in the east of Erdos City, Inner Mongolia Autonomous region. *Hippophae*, 2002, 15(2): 7~11.
- [3] Luo Y Q, Lu C K, Xu Z C. Control Strategies on *Holcocerus hippophaecolus*. The Global Seabuckthorn Research and Development, 1(1): 31~33.
- [4] Luo Y Q, Lu C K, Xu Z C. Control Strategies on a new serious forest pest insect — seabuckthorn carpenterworm, *Holcocerus hippophaecolus*. *Forest Pest and Disease*, 22(5): 25~28.
- [5] Lu C K, Zong S X, Luo Y Q, *et al.* Adult behaviors and sex attraction of *Holcocerus hippophaecolus*. *Journal of Beijing Forestry University*, 2004, 26(2): 79~83.
- [6] 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.
- [7] Zong S X, Luo Y Q, Xu Z C, *et al.* Geostatistical analysis on spatial distribution of *Holcocerus hippophaecolus* eggs and larvae. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 831~836.
- [8] Zong S X, Jia F Y, Xu Z C, *et al.* A study on Spatial Distribution and Sampling Method of *Holcocerus hippophaecolus*. *Entomological Knowledge*, 2004, 41(6): 552~555.
- [9] Zong S X, Luo Y Q, Wang T, *et al.* Developmental threshold temperature and effective accumulative temperature of pupae and eggs of *Holcocerus hippophaecolus*. *Forestry Studies in China*, 2004, 6(4): 34~38.
- [10] Jia F Y, Xu Z C, Zong S X, *et al.* Chemical control of *Holcocerus hippophaecolus* Larva. *Forest Pest and Disease*, 2004, 23(6): 16~19.
- [11] Ding Y Q. *Entomological Mathematics Ecology*. Beijing: Science Press, 1999. 22~69.
- [12] Zheng H Y, Xia N B. *Forestry Entomological Ecology*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1993. 120~167.
- [13] Zhou G F, Xu R M. *Biogeostatistics*. Beijing: Science Press, 1997.
- [14] Wang Z Q. *Application of Geostatistics in Ecology*. Beijing: Science Press, 1999.
- [15] 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.
- [16] Shi G S, Li D M. Geostatistic analysis of spatial pattern of *Dendrolimus punctatus*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997, 8(6): 612~616.
- [17] 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.
- [18] Yunsel T Y, Ersoy A, Cetin M. Geostatistical Analysis of Spatial Distribution of Salt Bed Thickness. *Journal of Mining Science*, 2002, 38(6): 565~572.
- [19] Hohn M E, Liebhold A M, Gribko L S. Geostatistical Model for Forecasting Spatial Dynamics of Defoliation Caused by the Gypsy Moth (*Lepidoptera: Lymantriidae*). *Environ. Entomol*, 1993, 22(5): 1066~1075.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 宗世祥,骆有庆,许志春,等.沙棘木蠹蛾卵和幼虫空间分布的地统计学分析. *生态学报*, 2005, 25(4): 831~836.
- [8] 宗世祥,贾峰勇,许志春,等.沙棘木蠹蛾幼虫空间分布和抽样技术研究. *昆虫知识*, 2004, 41(6): 552~555.
- [10] 贾峰勇,许志春,宗世祥,等.沙棘木蠹蛾幼虫化学防治的研究. *中国森林病虫*, 2004, 23(6): 16~19.
- [11] 丁岩钦. *昆虫数学生态学*.北京:科学出版社,1994. 22~69.
- [12] 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.
- [13] 周国法,徐汝梅. *生物地理统计学*.北京:科学出版社,1997.
- [14] 王政权. *地质统计学在生态学中的应用*.北京:科学出版社,1999.
- [15] 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.
- [16] 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.