

## 昆虫种群距离聚集度指标的研究

李天生

(中国林业科学研究院林业研究所, 北京)

周国法

(北京大学分校应用数学系)

## 摘 要

本文提出一种判定昆虫种群聚集度的新指标——距离聚集度指标 $I(d)$ 。 $I(d)$ 的定义充分考虑了昆虫种群中个体在空间的距离及相关性的大小,因此它准确地反映了昆虫在空间的分布格局。文中给出了 $I(d)$ 的计算方法及用 $I(d)$ 判定昆虫种群空间分布型的标准,并以马尾松毛虫的空间分布为例进行了实例研究。与以往的聚集度指标相比, $I(d)$ 不仅可以判定昆虫种群空间分布型,而且可以给出聚集分布时聚集的范围及聚集的程度,为研究昆虫种群分布型提供了更为有力的手段。

关键词: 距离聚集度指标, 空间自相关, 马尾松毛虫。

有关昆虫种群空间分布的聚集度指标已有不少报道<sup>[1]</sup>,本文提出一种判定昆虫种群聚集度的新指标。昆虫种群由个体组成,一方面由于昆虫种群和外部环境之间相互作用,另一方面昆虫种群内部个体间存在相互作用,使昆虫种群在一定空间内呈一定的分布格局,同时个体间在分布空间上有一定相关性。正是上述相关性决定了昆虫种群的扩散或聚集(排斥或吸引)的趋势。本文正是从上述观点出发,定义昆虫个体间在空间上的相关性,并探索它与昆虫种群的聚集性。本文的方法不仅能判定昆虫种群的聚集性,同时可以判定聚集的强弱及聚集的范围,因此它对于昆虫种群生态学理论及有害昆虫的综合防治都有重要意义。

## 一、距离聚集度指标的定义及计算方法

距离聚集度指标是根据昆虫个体在空间中的距离及相关性大小而定义的。提到相关性,自然想到回归分析中因变量与自变量的相关系数和时间序列分析中的自相关系数<sup>[2]</sup>,二者都表示某种相关程度。这里的聚集度指标则是为了表示空间相关(自相关)关系,而且加入了距离因素,因此尽管它来源于上述两种相关,但它远比上述两种相关关系复杂。下面的距离聚集度指标的定义是综合上述两种相关系数的特点给出的<sup>[3-5]</sup>。

设 $i$ 是空间点的位置,如平面坐标 $(i_x, i_y)$ , $x_i$ 是样方 $i$ 处的种群观测结果,记 $\bar{x}_i = x_i - \bar{x}$ , $i = 1, 2, \dots, n$ , $\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n$ 是样本平均值, $n$ 是样方个数。为了表示样方间的空间相关性

及聚集的范围,定义距离阶 $l_d$ 如下: $d = 0, 1, \dots, D$ ,

$$l_0 = 0 < l_1 < \dots < l_D,$$

其中 $l_D$ 是研究域的最大直径, $l_d$ 的大小由问题要求给出;定义样方集合 $S(d)$ 如下:

$$S(d) = \{(i, j) : l_{d-1} < d_{ij} \leq l_d, d_{ij} \text{是样方 } i, j \text{ 间的距离}\},$$

$d = 1, 2, \dots, D, \max\{d_{ij}\} < l_D$ 。一维情况下 $S(d)$ 相当于把数轴分成区间,二维情况下相当于将平面区域分成同心的圆环。由此可定义距离聚集度指标为:

$$I(d) = \frac{n}{S_0(d)} \frac{Z'W(d)Z}{Z'Z}, \quad d=1,2,\dots,D,$$

其中  $Z' = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ ,  $W(d) = (W_{ij}(d))$  是  $n \times n$  阶矩阵,  $S_0(d) = \sum_{(i,j) \in S(d)} W_{ij}(d)$  即对  $S(d)$  中点对求和.  $W_{ij}(d)$  表示距离在  $l_{i-1}$  与  $l_i$  之间的样方对间的空间关系称为空间距离权, 一般它与  $d_{ij}$  有关, 最简单形式的距离权定义为:

$$W_{ij}(d) = \begin{cases} 1, & (i,j) \in S(d) \\ 0, & \text{其它,} \end{cases}$$

这时  $S_0(d)$  正好是  $S(d)$  中元素的个数.

$I(d)$  的大小与种群聚集性的关系如下表.

表 1 距离聚集度与分布的关系

Table 1 The relationships between  $I(d)$  and distribution patterns

| 距离聚集度  | 距离阶 $d$ 对应的分布   |           |
|--------|-----------------|-----------|
|        | $d$ 值较小         | $d$ 值较大   |
| $I(d)$ | ① 强聚集           | ① 大范围对称分布 |
|        | ② 中度聚集          | ② 块状排列    |
|        | ③ 有聚集趋势         |           |
|        | ① 样本空间异质        | ① 不相关趋势   |
|        | ② 均匀分布<br>小块状异质 |           |

在聚集分布(均匀分布)时聚集范围(块)的大小与距离阶  $d$  有关.

求得  $I(d)$  值后, 判断  $I(d)$  正、负值的方法如下. 设  $n_d$  为  $S(d)$  中点对数, 若  $n_d$  很大, 可用渐近正态分布的方法检验  $I(d)$  的显著性<sup>[4]</sup>. 若  $n_d < 10$ , 记  $A$  为  $W_{ij}(d) \neq 0$  的点对数,  $R = 2(\sqrt{n} - 1)/\sqrt{n}$ ,  $Q = 2(\sqrt{n} - 1)(2\sqrt{n} - 1)/n$ ,

$$\text{若 } R < A/n < Q \begin{cases} \text{对单侧检验* 设 } k_\alpha = \sqrt{10\alpha}, \\ \text{对双侧检验设 } k_\alpha = \sqrt{5\alpha}, \end{cases}$$

其余情况设  $k_\alpha = 1$ ,

其中  $\alpha$  是给定的显著性水平. 检验临界值为:

$$I_\alpha = t_\alpha(\infty) \hat{\sigma}_I^2 - k_\alpha / (n-1),$$

其中  $\hat{\sigma}_I^2$  是  $I$  的方差估计值. 判断准则为:

当  $I > 0$  时若  $I > I_\alpha$ , 则  $I$  显著为正 ( $I$  即  $I(d)$ ),

当  $I < 0$  时若  $I < -I_\alpha$ , 则  $I$  显著为负,

其余情况下认为  $I = 0$ .

注意若取  $(i,j) \in S(d)$  时  $W_{ij}(d) = 1$  则  $A = nd$ .

## 二、以松毛虫为例的距离聚集度指标分析

\* 单侧检验  $I(d) > 0$  或  $I(d) < 0$ , 双侧检验  $I(d) \neq 0$ .

应用1984年在浙江省安吉县龙山林场越冬代松毛虫调查资料(部分如图1)作距离聚集度指标分析。以两样方中心距离(约7m)为1阶即:

$$\frac{d \quad d_0 \quad d_1 \quad d_2 \quad d_3 \dots\dots}{\text{距离} \quad 0 \quad 7 \quad 14 \quad 21 \dots\dots}$$

计算南北方向、东西方向及半径方向(图2)的距离聚集度值,以判断不同方向及整体的聚集情况。



图1 自然虫情记录

Fig.1 The natural distribution patterns of pine moth

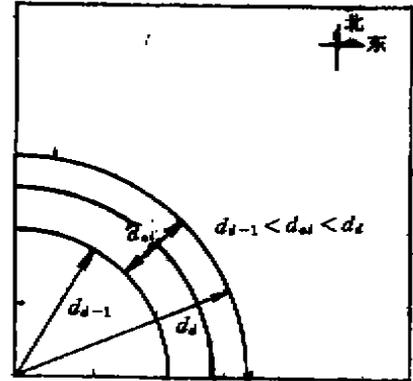


图2 距离的选取方法

Fig.2 The selected methods of distance

计算所得 $I(d)$ 值如表2。画出 $d-I(d)$ 的图(图3)以便更直观了解 $I(d)$ 的特点。

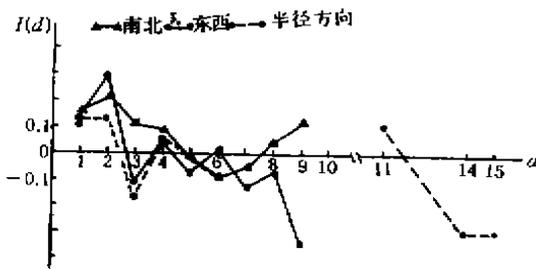


图3 距离阶d与聚集指标I(d)的关系  
Fig.3 The  $d-I(d)$  graph

从表2可以看出,对于所研究的林区,不论什么方向都存在小范围聚集块,因为东西及南北方向 $I(2)$ 、半径方向 $I(2)$ 显著为正,但由于上述 $I(d)$ 值不是很大(接近于1)因此聚集程度不强。但从较大范围看,南北方向表现出随机分布偏向于南北对称的分布( $I(9) = 0.126$ ),东西方向则由随机分布( $d = 3-8$ )变为不相关趋势( $I(9) < 0$ )。半径方向 $I(d)$ 在

表2 距离聚集度指标 $I(d)$ 的计算结果  
Table 2 The calculated results of  $I(d)$

| 距离阶d | 1      | 2      | 3      | 4     | 5      | 6      | 7 (11) <sup>Δ</sup> | 8 (14) | 9 (15)  |
|------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|---------------------|--------|---------|
| 南北方向 | 0.167  | 0.205* | 0.106  | 0.091 | -0.019 | -0.002 | -0.068              | 0.040  | 0.126   |
| 东西方向 | 0.104  | 0.299* | -0.129 | 0.044 | -0.088 | 0.003  | -0.123              | -0.050 | -0.336* |
| 半径方向 | 0.181* | 0.122  | -0.163 | 0.058 | -0.004 |        | 0.107               | -0.286 | -0.286  |

<sup>Δ</sup> 半径方向 $I(d)$ 对应的d为括号内的值,\*表示 $I(d)$ 值显著不为0( $\alpha = 0.10$ )。

$d = 2-15$ 的不显著性说明, 从整体看所研究林区松毛虫呈随机分布格局。

### 三、结果及讨论

本文提出了距离聚集度指标 $I(d)$ 及相应的判定昆虫种群空间分布的方法。与其它聚集度指标相比,  $I(d)$ 更充分地反映了昆虫种群分布的空间特征, 它不仅判断空间分布型, 同时可以给出聚集的程度, 因而它具有较高的生态学理论价值及实用价值。距离聚集度指标判定的研究域内松毛虫分布为整体的随机分布, 没有明显的较高密度区(因为没有接近于1的 $I(d)$ )。

需要说明的是, 距离间隔 $l_{i+1} - l_i$ 的大小应根据具体情况确定, 一般以相邻样方间最小距离为 $l_i$ , 同时使 $S(d)$ 中应至少包含一个元素。距离权 $W_{ij}(d)$ 的选择应充分反映距离对相关性的影响, 如选取 $W_{ij}(d) = d_{ij}^{-1}$ 、 $e^{-d_{ij}}$ 等, 在〔4〕中给出了权的几种取法, 这是使用 $I(d)$ 必须注意的问题。

### 参 考 文 献

- 〔1〕丁岩钦, 1980, 昆虫种群数学生态学原理与应用, 第121—130页, 科学出版社。
- 〔2〕Parzen, E., 1962, Stochastic Processes. Holden-Day, Oakland, CA. 324.
- 〔3〕Liebholt, A. M. & Joseph S. Elkinton, 1980, Characterizing spatial patterns of gypsy moth regional defoliation. *Forest Science*, 35(2):557—588.
- 〔4〕Cliff, A. D. & J. K. Ord, 1973, Spatial Autocorrelation. Poin Press, London, 175.
- 〔5〕Oden, N. L. & R. R. Sokal, 1980, Directional autocorrelation: An extension of spatial correlograms to two dimensions. *Syst. Zool.*, 35:608—617.

## A STUDY ON THE DISTANCE AGGREGATION INDEX OF INSECT POPULATION

Li Tian-Sheng

(Department of Applied Mathematics, Branch Campus of Beijing University)

Zhou Guo-Fa

(Department of Applied Mathematics, Branch Campus of Peking University)

A new aggregation index of insect population—distance aggregation index  $I(d)$  was proposed in this paper and defined by the distance and correlation of individuals of insect population in space.

The calculation method of  $I(d)$  was given. Besides, how to apply it in determining the distribution patterns of insect population was explained through the calculation of the  $I(d)$  of *Dendrolimus punctatus*.

**Key words:** *Dendrolimus punctatus*, distance aggregation index, spatial autocorrelation.