

点格局分析函数的边缘校正及其在昆虫种群格局分析中的应用

欧阳芳^{1,2}, 戈 峰^{1,*}, 袁哲明³, 曾菊平^{1,2}

(1. 中国科学院动物研究所, 农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室 北京, 100101; 2. 中国科学院研究生院 北京, 100049;
3. 湖南农业大学, 生物安全科学技术学院 长沙, 410128)

摘要:点格局分析函数是分析种群空间分布格局的常用方法之一,其关键问题是边缘效应的校正。将边缘效应的权重值定义为以分布点为圆心,尺度距离为半径作圆,圆在样地内的面积部分与整个圆面积之比。利用该面积比定义的边缘效应系数分析了越冬水稻二化螟幼虫在不同尺度下的空间分布型。研究结果显示点格局分析函数能够反映出不同尺度下昆虫种群空间格局,其分析结果对合理制定抽样计划具有重要的指导作用。点格局分析函数在水稻越冬二化螟幼虫的应用分析中表明:在田间研究中其取样尺度不应小于 2m。

关键词:点格局分析;昆虫种群;空间分布格局;面积比;边缘效应;二化螟

文章编号:1000-0933(2009)04-1804-10 中图分类号:Q143 文献标识码:A

Edge correction of point pattern analysis'function and its application on spatial pattern analysis of insect population

OUYANG Fang^{1,2}, GE Feng^{1,*}, YUAN Zhe-Ming³, ZENG Ju-Ping^{1,2}

1 State Key Laboratory of Integrated Management of Pests and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 College of Bio-safety Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1804 ~ 1813.

Abstract: Function in analysis of spatial point pattern is one of the prevalent analysis tools for studying population spatial pattern, and the method of edge correction is the key part of the function. The method of area ratio, the area of a circle in sample plot to the whole area of the circle, in which the distributing point is the center and the scale distance is the radius, is defined as the weighted coefficient of edge correction in this paper. Spatial distribution pattern in the population of *Chilo suppressalis* was analyzed using the method of area ratio. Results indicate that the function can reflect the spatial distribution pattern of insect population in different scales, and are of benefit to make a reasonable plan in sampling. It also shows that the sampling-size in *chilo suppressalis* should be not less than 2m in field.

Key Words: point pattern analysis; insect population; spatial distribution pattern; area ratio; edge effect; *Chilo suppressalis*

种群的空间格局分析是研究种群特征、种群间相互作用及种群-环境关系的重要手段,在生态学中一直是研究热点^[1]。掌握昆虫种群的空间分布格局和动态,有利于明确捕食-被捕食关系,理解物种种内竞争状态,及实验中选择制定合理的抽样计划,且在区域害虫管理策略的研究等方面都具有重要意义^[2,3]。种群的空间

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2006CB102006)

收稿日期:2007-12-10; 修订日期:2008-06-23

致谢:感谢江西农业大学农学院昆虫学研究所研究生时培建提供部分文献资料。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Gef@ioz.ac.cn

分布格局一般表现出 3 种分布形式,即随机分布、聚集分布和均匀分布。当前,在植物种群空间格局分析研究中,点格局分析 Ripley's $K(d)$ 函数应用较广泛^[1,4~9,10]。然而,在昆虫种群空间分布型研究中,有关应用该函数分析的研究报道很少,本文旨在探讨点格局分析 Ripley's $K(d)$ 函数在昆虫种群空间分布的应用。应用 Ripley's $K(d)$ 进行种群空间分布格局分析的关键是边缘校正^[10],在分析植物种群空间分布时,通常采用弧长比来校正边缘效应。本文通过定义面积比来校正边缘效应,并以此分析水稻二化螟种群空间分布状况。

1 点格局边缘效应分析方法

1.1 点格局分析函数的基本理论

点格局分析函数就是把种群的生物个体视为平面上的一个点,根据点坐标绘制点图,以点图为基础分析种群空间分布格局^[1]。

Ripley's $K(d)$ 函数定义为:

$$K(d) = \frac{A}{n^2} \sum_i^n \sum_j^n \frac{I_d(u_{ij})}{w_{ij}} \quad (i \neq j) \quad (1)$$

式中, d 是距离尺度,是设定的尺度距离长度, A 是样方的面积($A = a \times a$, a 是样方边长), n 是样方内生物的数量, i, j 是样方内任意距离的两个具有相同特征的生物个体,当 $u_{ij} \leq d$ 时, $I_d(u_{ij}) = 1$ (u_{ij} 是生物个体 i 到生物个体 j 之间的距离), 当 $u_{ij} > d$ 时, $I_d(u_{ij}) = 0$ 。 w_{ij} 是边缘校正的权重,等于以生物个体 i 为圆心以 u_{ij} 为半径的圆落在样方内的弧长和整个圆弧长的比值。

Besag 提出用 $L(d)$ 取代 $K(d)$, 并对 $K(d)$ 作开平方的线性变换,以保持方差稳定^[11]。在随机分布的假设下 $L(d)$ 的期望值等于 0, $L(d)$ 为:

$$L(d) = \sqrt{K(d)/\pi} - d \quad (2)$$

$L(d)$ 与 d 的关系图可用于检验依赖于尺度 d 的种群分布格局。如果 $L(d)$ 小于随机分布下的期望值,即是负值,则可认为种群有均匀分布趋势;相反, $L(d)$ 大于期望值,即是正值,则种群有聚集分布趋势;否则为随机分布^[1,10]。

1.2 面积比校正边缘效应

当圆心点离样地边缘的距离小于其半径 d 时,圆有部分处于样地外,因而会导致边缘效应^[5], w_{ij} 正是消除边缘效应的权重值。本文提出用面积比校正边缘效应,将其作为权重值。将式(1)变式得:

$$\frac{n}{A} = \frac{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{I_d(u_{ij})}{w_{ij}}}{K(d)} \quad (3)$$

式(3)等式右边分子部分是以 d 为半径的圆中期望点数的估计值,相应的式(3)等式右边分母部分 $K(d)$ 是对以 d 为半径的圆面积 πd^2 的测度值,但两者并不一定相等。式(2)中 $\sqrt{K(d)/\pi}$ 是对 d 的测度值,两者也并不一定相等。

$$\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{I_d(u_{ij})}{w_{ij}} \quad (4)$$

式(4)是样地 A 内以某点 i 为圆心, d 为半径的圆中平均点数量,即以 d 为半径的圆中期望点数的估计值。

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{I_d(u_{ij})}{w_{ij}} \quad (5)$$

式(5)是以 d 为半径,圆心点 i 取遍样地 A 内所有点位,即: $i \in (1, 2, \dots, n)$, n 个圆中点数累计量。

$$\sum_{j=1}^n \frac{I_d(u_{ij})}{w_{ij}} \quad (6)$$

式(6)是样地 A 内以某点 i 为圆心, d 为半径的圆中点数量。

本文考虑到式(6)是对点分布在圆内范围的点数量,当圆心点离样地边缘的距离小于其半径 d 时,圆有

一部分处于样地外,另一部分在样地内。此时,设定 N 为整个圆内的点数量, S 为圆面积, n 为处于样地内圆中的部分点数量, s 为处于样地内圆部分面积。假设条件是圆在样地内的与圆在样地外的点分布密度相等, 即 $\frac{N}{S} = \frac{n}{s}$ 。由于无法统计样地外的点数量, 进而无法直接得出 N 值。则采用 $N = \frac{n}{s} \cdot S$ 来推算整个圆内的点

数量 N 的值, $\frac{s}{S}$ 可看作为用 n 估算 N 值时的权重系数或者修正系数。故将边缘效应的权重值 $w_{xy}(d)$ 定义为以点 $i(x, y)$ 为圆心, 尺度距离 d 为半径作圆, 圆在样地内的面积部分与整个圆面积之比。根据定义, $w_{xy}(d)$ 应是与圆心点 $i(x, y)$ 位置, 尺度距离 d 大小有关的函数。

$$w_{xy}(d) = \frac{\text{圆在样地内的面积部分}}{\text{整个圆面积}} \quad (7)$$

由以 d 为半径的圆面积 πd^2 不应超过样地面积 A , 即设定 $K(d) \leq A$, 则 $0 < d \leq \sqrt{\frac{A}{\pi}}$, d 变化的步长 d_{step} 应与研究对象的大小有关, $d_{\text{step}} \geq R$, R 为研究对象的长度或者直径大小。则由面积比定义的点格局分析函数为:

$$K(d) = \frac{A}{n^2} \sum_i^n \sum_j^n \frac{I_{ij}(d)}{w_{xy}(d)} \quad 0 < d \leq \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (8)$$

$$L(d) = \sqrt{K(d)/\pi - d} \quad 0 < d \leq \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (9)$$

1.3 边缘效应系数 $w_{xy}(d)$ 的求值

1.3.1 点坐标区划图

以尺度距离 d 值和圆心落在样地内半径为 d 的圆与样地边线相交点数两个标准为依据将样地区域划分为四类子区域, 即: I、II、III、IV, 见图 1。图 2 显示了圆与样地的位置关系。

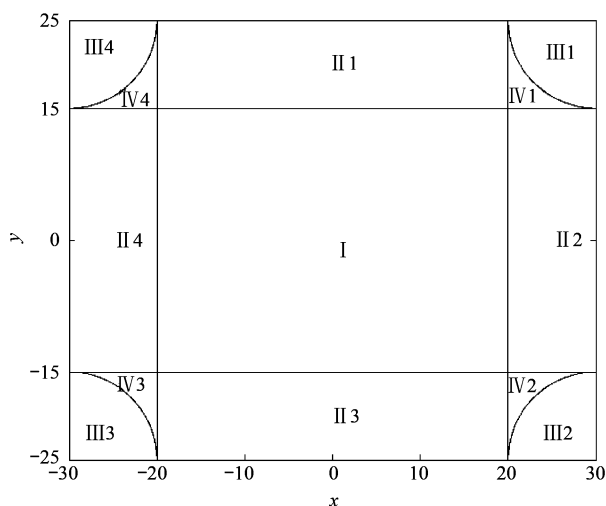


图 1 区域划分

Fig. 1 Region partition

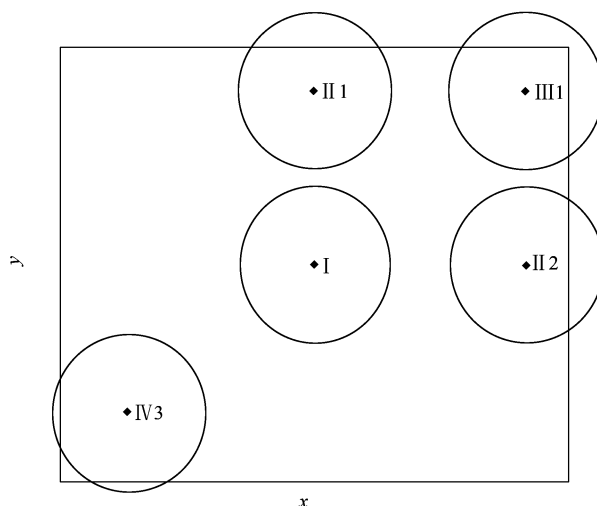


图 2 圆与样地的位置关系

Fig. 2 Position Relations between circle and plot

1.3.2 不同区域范围的 $w_{xy}(d)$ 值

将矩形样地中心设为坐标原点 $O(0, 0)$, $\pm X$ 为样地顶点横坐标, $\pm Y$ 为样地顶点纵坐标, x, y 分别是分布点的横坐标和纵坐标。根据各类子区域的坐标范围和尺度距离 d 值求出 $w_{xy}(d)$ 值。

(1) 圆心点位于 I 区时:

$$|x| \in [0, X - d], |y| \in [0, Y - d]$$

圆心点到样地边缘距离:

$l_x = X - |x|$ 圆心点到样地纵向边的距离(与左右边的距离)

$l_y = Y - |y|$ 圆心点到样地横向边的距离(与上下边的距离)

当圆心点位于 I 区时,要求满足 $l_x \geq d$, 且 $l_y \geq d$ 。该圆与纵边和横边无相交点或者有且只有一个相切点,即圆完全位于样地内。故, $w_{xy}(d) = 1$

(2) 圆心点位于 II 区时:

在 II1, II3 区间时 $|x| \in [0, X-d]$, $|y| \in [Y-d, Y]$

可证得: $l_x > d$, $0 \leq l_y < d$ 。结合图 3 可知,圆与横向边相交两点,与纵向边无相交点。根据 $w_{xy}(d)$ 定义:

$$w_{xy}(d) = \frac{\text{扇形面积} + \text{三角形面积}}{\text{圆面积}}$$

$$w_{xy}(d) = \frac{\frac{(2\pi - 2\alpha)}{2\pi} \cdot \pi d^2 + 2 \times \frac{1}{2} \cdot d \cdot l_y \sin \alpha}{\pi d^2}$$

$$\cos \alpha = \frac{l_y}{d}, l_y = Y - |y|, \alpha = \arccos\left(\frac{Y - |y|}{d}\right)$$

在 II2, II4 区间时 $|x| \in (X-d, X]$, $|y| \in (0, Y-d]$

同样可证得: $0 \leq l_x < d$, $l_y > d$ 。结合图 4 可知,圆与纵向边相交两点,与横向边无相交点。根据 $w_{xy}(d)$ 定义:

$$w_{xy}(d) = \frac{\text{扇形面积} + \text{三角形面积}}{\text{圆面积}}$$

$$w_{xy}(d) = \frac{\frac{(2\pi - 2\beta)}{2\pi} \cdot \pi d^2 + 2 \times \frac{1}{2} \cdot d \cdot l_x \sin \beta}{\pi d^2}$$

$$\cos \beta = \frac{l_x}{d}, l_x = X - |x|, \beta = \arccos\left(\frac{X - |x|}{d}\right)$$

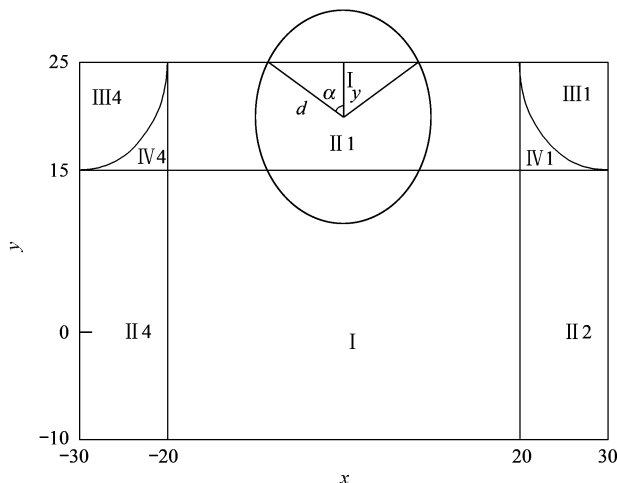


图3 圆心点位于 II1 区

Fig. 3 The centre in II1

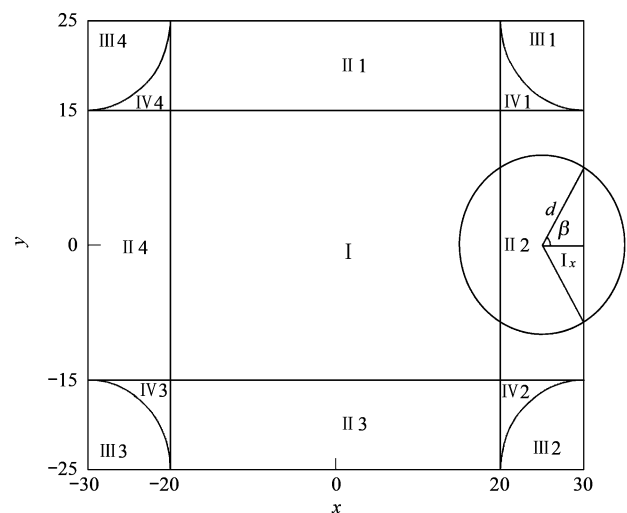


图4 圆心点位于 II2 区

Fig. 4 The centre in II2

(3) 圆心点位于 III 区时:

$|x| \in (X-d, X]$, $|y| \in (Y-d, Y]$, 且 $(|x| - X)^2 + (|y| - Y)^2 \leq d^2$

样地顶点为 $a(\pm X, \pm Y)$, l_a 为圆心到顶点 $a(\pm X, \pm Y)$ 的距离, $l_a = (|x| - X)^2 + (|y| - Y)^2$ 。可证得, $l_x < d$, $l_y < d$, $l_y \leq d$ 。结合图 5 可知,当 $l_y = d$ 时圆与样地边缘相交三点,顶点 a 是其中的一个相交点。根据 w_{xy}

(d) 定义:

$$w_{xy}(d) = \frac{\text{扇形面积} + \text{三角形面积} + \text{矩形面积}}{\text{圆面积}}$$

$$w_{xy}(d) = \frac{\frac{(2\pi - \alpha - \beta - \frac{\pi}{2})}{2\pi} \cdot \pi d^2 + \frac{1}{2} \cdot d \cdot l_y \sin \alpha + \frac{1}{2} \cdot d \cdot l_x \sin \beta + l_x l_y}{\pi d^2}$$

$$\cos \alpha = \frac{l_y}{d}, \cos \beta = \frac{l_x}{d}, l_x = X - |x|, l_y = Y - |y|,$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{Y - |y|}{d}\right), \beta = \arccos\left(\frac{X - |x|}{d}\right)$$

(4) 圆心点位于 IV 区时:

$$|x| \in (X - d, X], |y| \in (Y - d, Y], \text{且 } (|x| - X)^2 + (|y| - Y)^2 > d^2$$

同样可得, $l_x < d, l_y < d, l_y > d$ 。结合图 6 可知, 圆与样地边缘相交四点, 即分别与纵边和横边各相交两点。

根据 $w_{xy}(d)$ 定义:

$$w_{xy}(d) = \frac{\text{扇形面积} + \text{三角形面积}}{\text{圆面积}}$$

$$w_{xy}(d) = \frac{\frac{(2\pi - \alpha - \beta - \frac{\pi}{2})}{2\pi} \cdot \pi d^2 + 2 \times \frac{1}{2} \cdot d \cdot l_y \sin \alpha + 2 \times \frac{1}{2} \cdot d \cdot l_x \sin \beta}{\pi d^2}$$

$$\cos \alpha = \frac{l_y}{d}, \cos \beta = \frac{l_x}{d}, l_x = X - |x|, l_y = Y - |y|,$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{Y - |y|}{d}\right), \beta = \arccos\left(\frac{X - |x|}{d}\right)$$

化简整理圆心点位于不同区的 $w_{xy}(d)$, 见下表 1。

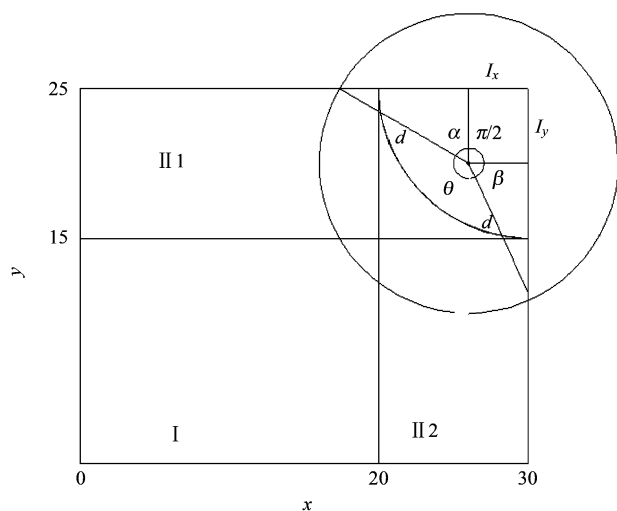


图 5 圆心点位于 III1 区

Fig. 5 The centre in III1

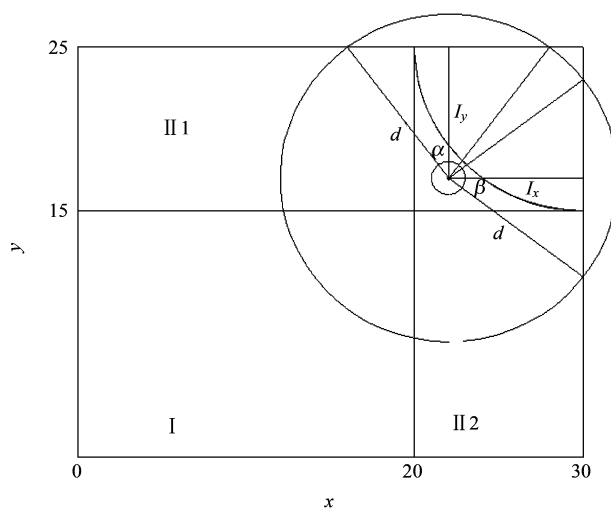


图 6 圆心点位于 IV1 区

Fig. 6 The centre in IV1

由此看出 $w_{xy}(d)$ 值与 $\left(\frac{X - |x|}{d}\right)$ 和 $\left(\frac{Y - |y|}{d}\right)$ 有关, 即与圆心点 $i(x, y)$ 位置, 尺度距离 d 大小有关。

2 研究实例

2.1 样地调查与数据预处理

于 2004 年 3 月 14 日在湖南省湖南农业大学选取一丘晚稻田(株行列距:16 cm × 18 cm),逐窠剥查稻桩,顺序记录越冬二化螟幼虫数。去除田边 1 行(列)数据,建立原始二维数据矩阵 A(63 × 107)。样地大小约为 10m × 20m。以田块样地中心为原点,分别绘出稻桩含有 1、2、3 条及其以上的 3 种点分布图,如图所示,图 7A 包含 1571 个点(每个点有 1 条二化螟幼虫数),图 7B 有 523 个点(每个点有 2 条),图 7C 有 306 个点(每个点有 3 条及其以上)。

表 1 不同区的 $w_{xy}(d)$ 值

Table 1 The value of $w_{xy}(d)$ in subdistricts

类型 Type	交点数 Number of cross	坐标范围 Range of coordinate	权重系数 Weight index $w_{xy}(d)$
I	0	$ x \in [0, X-d]$ $ y \in [0, Y-d]$	1
II	2	$ x \in [0, X-d]$ $ y \in [Y-d, Y]$	$1 - \frac{1}{\pi} \cdot \arccos\left(\frac{Y- y }{d}\right) + \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{Y- y }{d}\right) \cdot \sin \arccos\left(\frac{Y- y }{d}\right)$
		$ x \in [X-d, X]$ $ y \in [0, Y-d]$	$1 - \frac{1}{\pi} \cdot \arccos\left(\frac{X- x }{d}\right) + \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{X- x }{d}\right) \cdot \sin \arccos\left(\frac{X- x }{d}\right)$
III	2 或 3	$ x \in [X-d, X]$ $ y \in [Y-d, Y]$ $(x - X)^2 + (y - Y)^2 \leq d^2$	$\frac{3}{4} - \frac{1}{2\pi} \cdot \left[\arccos\left(\frac{Y- y }{d}\right) + \arccos\left(\frac{X- x }{d}\right) \right]$ $+ \frac{1}{2\pi} \cdot \left[\left(\frac{Y- y }{d}\right) \cdot \sin \arccos\left(\frac{Y- y }{d}\right) \right]$ $+ \frac{1}{2\pi} \cdot \left[\left(\frac{X- x }{d}\right) \cdot \sin \arccos\left(\frac{X- x }{d}\right) \right]$ $+ \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{Y- y }{d}\right) \cdot \left(\frac{X- x }{d}\right)$
			$1 - \frac{1}{\pi} \cdot \left[\arccos\left(\frac{Y- y }{d}\right) + \arccos\left(\frac{X- x }{d}\right) \right]$ $+ \frac{1}{\pi} \cdot \left[\left(\frac{Y- y }{d}\right) \cdot \sin \arccos\left(\frac{Y- y }{d}\right) \right]$ $+ \frac{1}{2} \cdot \left[\left(\frac{X- x }{d}\right) \cdot \sin \arccos\left(\frac{X- x }{d}\right) \right]$
IV	4	$ x \in [X-d, X]$ $ y \in [Y-d, Y]$ $(x - X)^2 + (y - Y)^2 > d^2$	

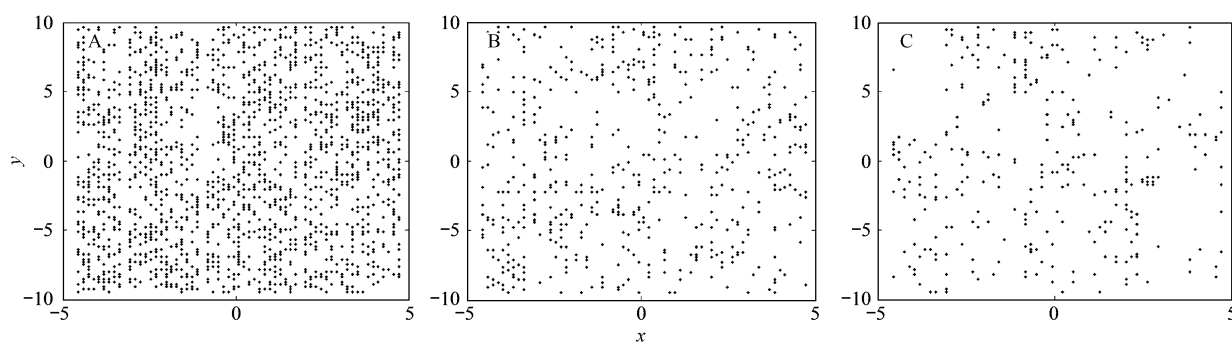


图 7 3 种情况的点分布图

Fig. 7 Mapped point pattern of three cases

A. 每一桩含有 1 条幼虫的点分布图 one larva in a point; B. 每一桩含有 2 条幼虫的点分布图 two larvae in a point; C. 每一桩含有 1 条幼虫及其以上的点分布图 three and above larvae in a point; 下同 the same below

2.2 结果分析

利用 Matlab7.0 软件编程计算不同尺度 d 下的 $L(d)$ 值,并绘图。蒙特卡罗法计算上下包迹线(Envelopes),即置信区间。假定种群是随机分布,则用随机模型拟合一组点的坐标值,对每一 d 值,计算 $L(d)$;同样用随机模型再拟合新一组点坐标,分别计算不同尺度 d 的 $L(d)$ 这一过程重复进行直到达到事先确定的次数, $L(d)$ 的最大值和最小值分别为上下包迹线的坐标值^[1,10]。拟合次数对 95% 的置信水平应为 20 次,99% 的置信水平就为 100 次^[12]。本文采用的上下包迹线拟合置信水平为 95%。

不同尺度下的 $L(d)$ 值若在包迹线以内,则符合随机分布;若在包迹线以外,则显著偏离随机分布^[1,10]。亦即 $L(d)$ 值位于包迹线上方,呈聚集分布;位于包迹线下方,呈均匀分布。

本文 3 种情况的点格局分析结果如图 8 所示。图中实线为用实际数据计算的 $L(d)$ 值,虚线为拟合的上下包迹线,计算时取尺度距离 d 的间隔为 0.02m(与二化螟幼虫长度大小有关), d 的最大值与样地面积有关: $d_{\max} = \sqrt{A/\pi}$, (大约 7m)。图 8 的横坐标 d 的范围 0~7m,纵坐标为 $L(d)$ 值。图 8 中 A、B、C 分别为每一桩含有 1 条二化螟幼虫不同尺度 d 下的 $L(d)$ 值图、含有 2 条幼虫的 $L(d)$ 值图、含有 3 条及其以上幼虫的 $L(d)$ 值图。

图 8A 对于每一桩含有 1 条二化螟幼虫,尺度距离 d 在 0~2m 时, $L(d)$ 值变化比较敏感,随机分布、聚集分布和均匀分布 3 种形式均出现; d 在 2~5.5m 时,为随机分布; d 在 5.5~7m 时,为均匀分布。

图 8B 对于每一桩含有 2 条二化螟幼虫, d 在 0~1m 时,随机分布、聚集分布和均匀分布 3 种形式均出现; d 在 1~4m 时,为聚集分布; d 在 4~7m 时,为随机分布。

图 8C 对于每一桩含有 3 条及其以上二化螟幼虫, d 在 0~0.5m 时,随机分布、聚集分布和均匀分布 3 种形式均出现; d 在 0.5~5m 时,为聚集分布; d 在 5~7m 时,为随机分布。从图 10 明显可以看出 3 种情况的空间分布格局依赖尺度距离 d 而变化。

对比图 8A、B、C,3 条曲线存在一定的相似性,说明同种昆虫(二化螟)幼虫不同存在形式(图 7A、B、C)的分布型有某种相关性。

表 2 反映出点数量密度与分布型尺度范围的关系,点数量密度越大敏感变化的尺度范围越宽,如每桩含虫数 1 条,点数量密度等于 8.09 时,敏感变化尺度范围为 0~2m;而点数量密度越小呈聚集分布型的起始尺度距离越小,如每桩含虫数 2 条,点数量密度等于 2.69 时,起始尺度距离为 1m,每桩含虫数 3 条及以上,点数量密度等于 1.58 时,起始尺度距离为 0.5m。

表 2 点数量密度与分布型尺度范围的关系

Table 2 Relationship between point density and range of scale

每桩含虫数 Number of larva in a point	点数量密度 Point density n/A	敏感变化(m) Sensitive change	聚集分布(m) Aggregative distributor	随机分布(m) Random distribution	均匀分布(m) Uniform distribution
1	8.09	0~2		2~5.5	5.5~7
2	2.69	0~1	1~4	4~7	
≥3	1.58	0~0.5	0.5~5	5~7	

3 结论与讨论

3.1 面积比与弧长比较正边缘效应的比较

相同之处:

面积比与弧长比都是用来校正边缘效应的权重系数。当圆心点位于图 1 中 I 区时,二者权重值均为 1。

区别之处:

弧长比较正的权重系数 w_{ij} 是以点 i 为圆心,以 i,j 两点距离 u_{ij} 为半径的圆弧长在面积 A 中的比例,其为一个点可被观察到的概率^[1]。 $w_{ij} = \frac{\text{圆在样地内的弧长部分}}{\text{整个圆周长}}$,可表达为 $w_{ij} = \frac{\delta \cdot u_{ij}}{2\pi \cdot u_{ij}}$, δ 为圆在样地内的弧长部

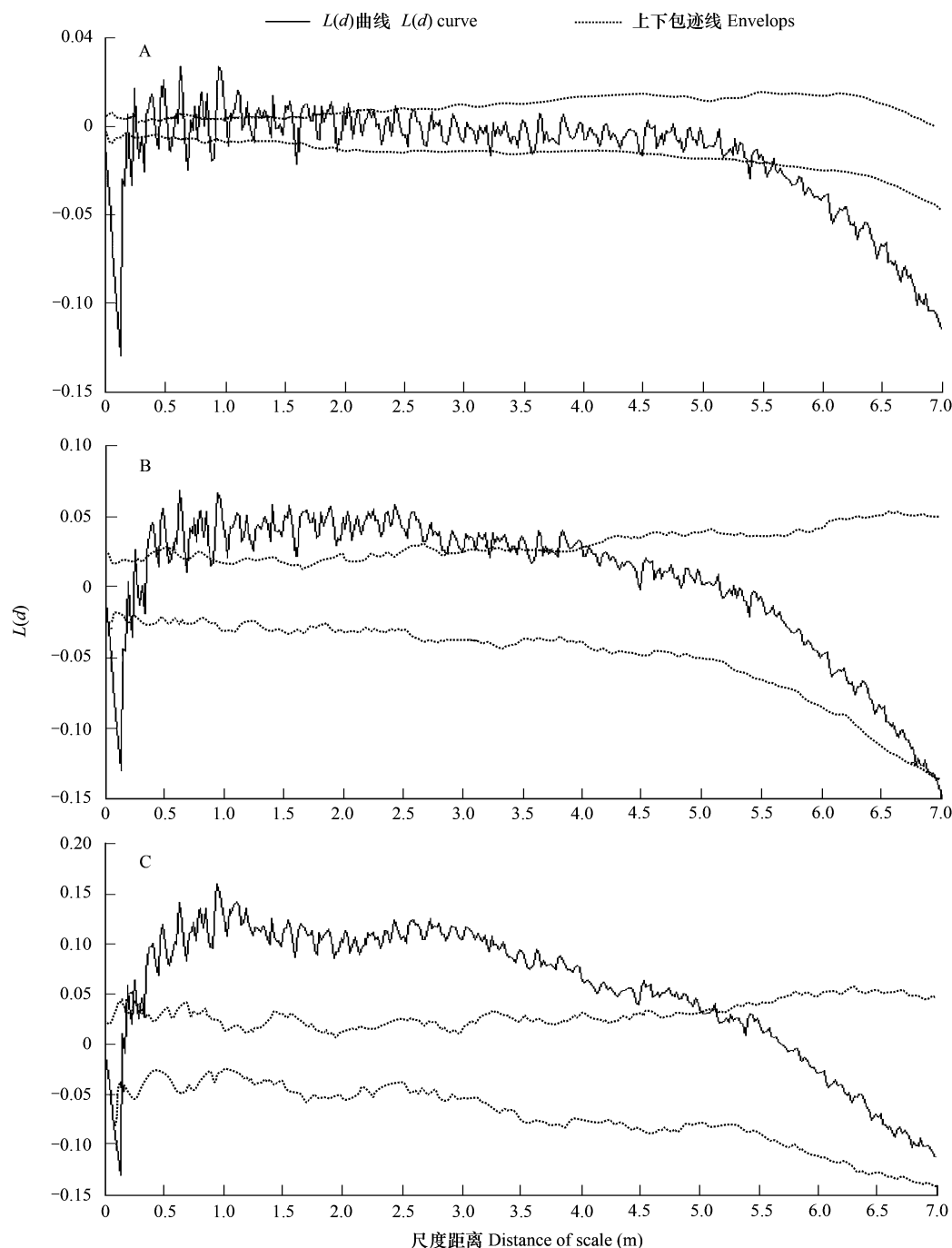


图8 3种情况的值

Fig. 8 Spatial pattern in three cases

每一桩含有1条不同尺度 d 下的 $L(d)$ 值图 Spatial pattern of one larvae in a point; 每一桩含有2条不同尺度 d 下的 $L(d)$ 值图 Spatial pattern of two larvae in a point; 每一桩含有3条及其以上不同尺度 d 下的 $L(d)$ 值图 Spatial pattern of three and above larvae in a point;

分所对应的角度。利用此方法计算 $K(d)$ 值的步骤:以点 $i(x,y)$ 为圆心,尺度距离 d 为半径作圆(此圆与样地边缘相交),先将圆内每个的点(不包括圆心点)以弧长比进行边缘校正,再将圆内校正后的值累加求和;若圆内有 m 个点,则此圆要计算出 m 个权重系数 w_{ij} 值。接着将每个圆的累加求和值再累加求和;若样地内有 n 个与样地相交的圆,即需计算 n 个圆的值。然后将两次累加求和的值乘以 A/n^2 ,求得出尺度距离 d 时的 $K(d)$ 值。设尺度距离 d 时每个圆内的平均点数为 $\bar{m}$,故在每个尺度距离 t 需计算 $\bar{m} \times m$ 个权重系数。

而本文定义的面积比权重系数可归结为 $w_{xy}(d) = (\text{扇形面积} + \text{其他面积}) / \text{整个圆面积}$, 可表达为 $w_{xy}(d) = (\frac{\theta}{2\pi} \cdot \pi d^2 + S_{\text{其他面积}}) / \pi d^2$, θ 为圆在样地内的弧长部分所对应的角度, 其值只与圆心点 $i(x, y)$ 位置, 尺度距离 d 大小有关的, 不会随分布点与圆心的距离变小而变化。用此方法计算 $K(d)$ 值的步骤: 以点 $i(x, y)$ 为圆心, 尺度距离 d 为半径作圆, 先将圆内每个的点 (不包括圆心点) 累加求和, 再将面积校正累加求和值; 显然此时只需要计算出一个权重系数 $w_{xy}(d)$ 值。接着将每个圆的累加求和值的校正值再累加求和; 若样地有 n 个与样地相交的圆, 即需计算 n 个圆的值。然后将两次累加求和的值乘以 A/n^2 , 求得出尺度距离 d 时的 $K(d)$ 值。在每个尺度距离 d 需计算 n 个权重系数。对比可知两种方法在计算步骤上有所不同。具体哪种方法更适合反映出种群在现实中的空间分布格局和节约计算时间还需进一步理论论证和实践验证。

当圆心点位于样地边线上时 (不包括离样地 4 个顶点的距离小于 d 的边线线段上), 即 $\delta = \pi$ 、 $\theta = \pi$ 、 $S_{\text{其他面积}} = 0$, 两种方法定义的权重系数值相等: $w_{ij} = w_{xy}(d) = 0.5$, 这说明在特定情况下两种方法定义的权重系数是等效的。

本文定义的面积比校正边缘效应也同样适合分析多个种群的种间关系。

3.2 点格局分析函数在昆虫种群空间分布研究中的应用前景

昆虫种群空间分布图式类型, 即随机分布、均匀分布或聚集分布, 通常采用频次比较法、Taylor 法和 Iwao 法测定^[13]。与以上方法相比, 点格局分析方法在以下一些方面表现出一定的优势, 如能够反映出不同尺度条件下的种群空间分布情况; 可以明确空间分布型的尺度范围。但该方法也有其自身的缺陷, 主要表现在两个方面: 一者, 对较大面积样地需要采取系统调查法来收集数据, 这在人力物力方面要求较高; 另者, 运算时间相对较长。但随着计算机配置及性价比的提升, 这方面的不足可以逐渐步得以解决。

地统计学分析方法是近年来应用较为广泛的一种空间格局分析方法, 利用此方法对二化螟种群的空间相关性作了深入的研究, 得到了较为理想的分析结果^[14~17]。点格局分析方法与地统计学分析方法应用的条件有所不同。地统计学就是定量的描述并模拟空间变异规律的科学, 或者说是通过测定区域化变量分隔等距离的样点间的差异来研究区域化变量的空间相关性和空间结构的科学, 其内在假设是: 空间相关即在空间上某一位置的变量值总与附近位置的值接近或相似, 大值的周围总是大值, 而小值周围也多为小值^[13]。而点格局分析以生物个体在空间的坐标为基本数据, 每个个体都可以视为二维空间里的一个点, 由此, 所有个体便组成空间分布的点图, 再以点图为基础进行格局分析。该分析方法的内在条件是: 每个点只有质的区别而不考虑量的变化。尽管, 以上两种方法均可用于种群的空间分布、时空动态和种间关系的分析研究, 但它们对种群的空间分析与解释却是在不同层面上进行的。

昆虫种群的数量和空间分布类型随季节影响而变化, 点格局分析模型在分析空间分布格局中若结合不同时间进行, 则不仅可以描述在同一空间尺度内不同时间的种群空间格局和不同时空的种群空间格局, 而且有利于寻找影响种群分布格局动态的主要生态因子。本文中, 对水稻越冬二化螟幼虫数据的分析结果分析说明: 取样尺度过小, 其尺度值则可能落入敏感变化尺度范围内, 在此基础上对种群空间格局类型的判断误差较大。点格局分析模型对水稻越冬二化螟幼虫的分析结果表明: 在田间研究中, 其取样尺度不应小于 2 m。然而, 若取样尺度过偏, 则分布型在不同情况下可能表现不一致。比如, 当取样尺度为 6 m 时, 分布型在每桩水稻的含虫数的 3 种情况 (含 1 条、2 条或 3 条) 之间的表现不一致, 每一桩含 1 条幼虫情况者呈均匀分布型, 而其他两种情况则均为随机分布型。因此, 取样尺度过偏同样会给抽样估计带来误差。本文对水稻越冬二化螟幼虫的点格局分析以 3 种不同含虫数的情况分别进行, 正是考虑到以上因素。合理的抽样计划对于昆虫种群研究十分关键, 而以点格局分析函数分析某昆虫种群空间格局的结果为指导, 十分有利于合理抽样计划的制定。在这方面, 点格局分析函数具有广阔的应用前景。本文首次将点格局分析函数应用于昆虫种群研究, 结果表明该函数同样适合于分析昆虫种群的空间分布类型。

Reference:

- [1] Zhang J T. Analysis of spatial point pattern for plant species. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(4): 344—349.

- [2] Wang Z J, Cheng J A, Shi Z. Spatial distribution pattern and dynamics of egg masses of the 1st generation of *Chilo suppressalis* (Walker) in the 1st rice crop season in Zhejiang Province. 2000,26(5):465—473.
- [3] Bi S D, Zou Y D, Geng J G, Wang G M, et al. Geostatistical analysis on spatial patterns of *Aphis gossypii* and *Propylaea japonica*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000,11(3):421—424.
- [4] Zhang J T, Meng D P, et al. Spatial pattern analysis of individuals in different age-class of *Larix principis-rupprechtii* in Luya Mountain Reserve, Shanxi, China. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(1):35—40.
- [5] Li M H, He F H, Liu Y, et al. Spatial distribution pattern of tree individuals in the Schrenk spruce forest, northwest China. Acta Ecologica Sinica, 2005,25(5):1000—1006.
- [6] Qian B Y, Li Y X, Liao Y M, et al. Characteristics of the Ramet population of *Epimedium brevicornum* and analysis of spatial point pattern for *E. brevicornum* and *E. sagittatum*. Acta Botanica Yunnanica, 2005,27(5):479—488.
- [7] Yang H X, Zhang J T, Wu B, et al. Point pattern analysis of *Artemisia Ordosica* population in the MU US Sandy Land, Journal of Plant Ecology, 2006,30(4):563—570.
- [8] Tang M P, Zhou G M, Shi Y J, et al. Study of dominant plant populations and their spatial patterns in evergreen broadleaved forest in Tianmu Mountain, Chian. Journal of Plant Ecology, 2006,30(5):743—775.
- [9] Wang B Y, Yu S X, Wang Y F. Anisotropy analyses of population distribution pattern. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2006,45(2):83—87.
- [10] Tang M P, Tang S Z, Lei X D, et al. Edge correction of Ripley's $K(d)$ function on population spatial pattern analysis. Acta Ecologica Sinica, 2003,23(8):1533—1538.
- [11] Ripley B D. Modelling spatial patterns. Journal of the Royal Statistical Society (Series B), 1977,39,172—212.
- [12] Moeur M. Characterizing spatial patterns of trees using stem-mapped data. Forest Science, 1993,39(4):756—775.
- [13] Ge F (editor in chief), Modern Ecology. Beijing: Science Press, 2004. 95—99.
- [14] Yuan Z M, He Z Y. Population spatial distribution pattern of *Chilo suppressalis* and simulated sampling in different scales and directions. J Hunan Agric Univ, 2001, 27(2):102—106.
- [15] Yuan Z M, Xu H Q, He Z Y, et al. Geostatistical analysis on the spatial distribution pattern of *Chilo suppressalis*. J Hunan Agric Univ, 2003, 29(2):154—157.
- [16] Yuan Z M, Bo L Y, Wang K W, et al. Kriging estimation and its simulated sampling of *Chilo suppressalis* population density. Chin J Appl Ecol, 2004, 15(7):1166—1170.
- [17] Yuan Z M, Li F Y, Xu H Q, et al. Geostatistical analysis on temporal patterns of *Chilo suppressalis* population. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006,17(4):673—677.

参考文献:

- [1] 张金屯. 植物种群空间分布的点格局分析. 植物生态学报, 1998,22(4):344—349.
- [2] 王正军, 程家安, 史舟. 早稻二化螟一代卵块的区域性空间分布格局及动态. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2000,26(5):465—473.
- [3] 毕守东, 邹运鼎, 耿继光等. 棉蚜及龟纹瓢虫空间格局的地统计学研究. 应用生态学报, 2000,11(3):421—424.
- [4] 张金屯, 孟东平. 芦芽山华北落叶松林不同龄级立木的点格局分析. 生态学报, 2004,24(1):35—40.
- [5] 李明辉, 何风华, 刘云等. 天山云杉种群空间格局与动态. 生态学报, 2005,25(5):1000—1006.
- [6] 钱宝英, 黎云祥, 廖咏梅, 等. 淫羊藿株种群特征及其与箭叶淫羊藿空间分布的点格局分析. 云南植物研究, 2005,27(5):479—488.
- [7] 杨洪晓, 张金屯, 吴波, 等. 毛乌素沙地油蒿种群点格局分析. 植物生态学报, 2006,30(4):563—570.
- [8] 汤孟平, 周国模, 施拥军, 等. 天目山常绿阔叶林优势种群及其空间分布格局. 植物生态学报, 2006,30(5):743—775.
- [9] 王本洋, 余世孝, 王永繁. 种群分布格局的各向异性分析. 中山大学学报(自然科学版), 2006,45(2):83—87.
- [10] 汤孟平, 唐守正, 雷相东, 等. Ripley's $K(t)$ 函数分析种群空间分布格局的边缘校正. 生态学报, 2003,23(8):1533—1538.
- [13] 戈峰(主编). 现代生态学. 北京: 科学出版社, 2002.
- [14] 袁哲明, 贺智勇. 尺度和方向依赖的二化螟种群空间格局分析及其模拟抽样研究. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2001,27(2):102—106.
- [15] 袁哲明, 徐惠清, 贺智勇, 等. 二化螟种群空间格局的地统计学分析. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2003,29(2):154—157.
- [16] 袁哲明, 柏连阳, 王奎武, 等. 二化螟种群密度的克力格估值及其模拟抽样. 应用生态学报, 2004,15(7):1166—1170.
- [17] 袁哲明, 李方一, 胡湘粤, 等. 基于地统计学的二化螟种群时间格局分析. 应用生态学报, 2006,17(4):673—677.