应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2019, 56(1): 62–71. DOI: 10.7679/j.issn.2095–1353.2019.007

八点广翅蜡蝉与其天敌空间关系的聚块样方方差分析*

毕守东[1**] 张书平[1] 余 燕[1] 王振兴[1] 周夏芝[2]
李 尚[1] 闫 萍[1] 邹运鼎[2] 王建盼[1] 郎 坤[1]

（1. 安徽农业大学理学院，合肥 230036；2. 安徽农业大学林学与园林学院，合肥 230036）

摘 要 **【目的】** 分析在不同聚块大小条件下，天敌对八点广翅蜡蝉 *Ricania speculum*（Walker）空间上跟随关系的密切程度、聚集原因和聚集范围，为评价八点广翅蜡蝉的天敌优势种提供科学依据。**【方法】** 用聚块样方方差分析法、灰色关联度法、空间聚集强度指数、种群聚集均数法和 ρ 指数法对安徽省合肥市白毫早茶园不同大小聚块条件下的八点广翅蜡蝉及其 7 种蜘蛛类天敌进行分析。**【结果】** 八点广翅蜡蝉与其 7 种蜘蛛类天敌均方差峰值时的聚块样方数的关联度分析结果表明，与八点广翅蜡蝉空间上跟随关系密切的天敌依次是草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*（0.781 1）、粽管巢蛛 *Clubiona japonicola*（0.692 8）和茶色新圆蛛 *Neoscona theisi*（0.688 7）。在聚块内基本样方数 K 为 1、2、4、8 时，随着聚块内基本样方数的增多，聚集分布格局时的扩散系数 C 不断增大，均匀和随机格局时扩散系数不断减小。聚块内基本样方数 K 为 2、4、8 时与 K 为 1 时之间的八点广翅蜡蝉及其天敌的空间分布聚集程度差异均不显著。八点广翅蜡蝉的种群聚集均数 λ 多数情况均大于 2，其聚集是该虫本身原因引起的，天敌和八点广翅蜡蝉的种群聚集均数 λ 绝对值均随聚块内基本样方数的增加，则种群聚集均数 λ 的绝对值不断增大。**【结论】** 用八点广翅蜡蝉不同大小聚块的 ρ 指数判断个体群聚集时的最小范围是聚块中有 4 个基本样方。这为该虫抽样时确定样方大小提供科学依据。

关键词 八点广翅蜡蝉；天敌；空间关系；聚块样方方差分析；灰色关联度分析

Spatial relationship between *Ricania speculum* and its natural enemies based on the square variance analysis of cluster samples

BI Shou-Dong[1**] ZHANG Shu-Ping[1] YU Yan[1] WANG Zhen-Xing[1] ZHOU Xia-Zhi[2]
LI Shang[1] YAN Ping[1] ZOU Yun-Ding[2] WANG Jian-Pan[1] LANG Kun[1]

(1. School of Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China;
2. School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract **[Objectives]** To analyze the spatial relationships between *Ricania speculum* and seven spider species under different block size conditions. **[Methods]** Block square variance analysis, grey correlation, spatial aggregation intensity index, population aggregation mean and the ρ index were used to analyze the spatial distribution of *R. speculum* and the seven spider species in the Baihaozao tea garden, Hefei, Anhui Province. **[Result]** Correlations between the peak of the mean square deviation of seven spider species and *R. speculum* indicated that the latter had the closest spatial relationship to *Erigonidium graminicolum* (0.781 1), *Clubiona japonicola* (0.692 8)and *Neoscona theisi* (0.688 7). When the basic block sample number, K, was 1, 2, 4 or 8, the diffusion coefficient C increased continuously with increasing number of basic samples in the cluster, then decreased continuously in a uniform and random manner. There was no significant difference in the spatial distribution of *R. speculum* and the spider species when the basic sample number *K* in the cluster was 2, 4, 8 or 1. The

*资助项目 Supported projects：国家自然科学基金项目（30871444）；安徽省自然科学基金项目（11040606M71）
**第一作者 First author，E-mail：bishoudong@163.com
收稿日期 Received：2018-05-08；接受日期 Accepted：2018-11-06

population aggregation of *Ricania speculum* was in most cases > 2 and the result of intraspecific factors alone. When the population aggregation mean, λ, was positive, that of the spider species and *R. speculum* increased with increasing basic sample number in the agglomeration. The minimum range of the aggregation of individual clusters of *R. speculum* as determined by the clustering method indicated a minimum of four basic samples in each cluster. **[Conclusion]** The results provide a scientific basis for determining the optimum sample size for sampling *Ricania speculum* and its natural enemies.

Key words *Ricania speculum*; natural enemy; space relation; analysis of square variance of cluster sample; grey relational analysis

广翅蜡蝉科 *Ricanidae* 属半翅目头喙亚目蜡蝉总科，已知约 41 属 400 余种，我国记载 30 多种，危害茶树的广翅蜡蝉近 10 种，常见的有可可广翅蜡蝉 *Ricania cacaonis*（Chou *et* Lu）、八点广翅蜡蝉 *Ricania speculum*（Walker）、眼纹广翅蜡蝉 *Euricania ocellus*（Walker）、柿广翅蜡蝉 *Ricania Sublimbata*（Jacobi）、钩纹广翅蜡蝉 *Ricania simulans*（Walker）、带纹广翅蜡蝉 *Euricaniafascialis*（Walker）、褐带广翅蜡蝉 *R. taeniala*（Stal）等（张汉鹄和谭济才，2004）。八点广翅蜡蝉在江淮茶园发生较多，在深圳福田红树林也发现其发生（包强等，2013），但对于不同大小样方对八点广翅蜡蝉及其天敌空间关系的研究未见报道。抽样调查的样方大小和样方数量多少，不光与成本有关，而且直接影响调查结果的准确性，本文采用聚块样方方差分析法等研究不同聚块大小对八点广翅蜡蝉及其天敌空间分布格局的影响，以及八点广翅蜡蝉个体群聚集的最小范围，为八点广翅蜡蝉天敌优势种的评定及最佳抽样样方大小的决定提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　调查地点和时间

调查地点为安徽农业大学科技示范园内茶园，调查茶树品种为树龄 13 年的白毫早，茶园面积为 0.2 hm^2。调查时间为 2015 年 3 月 28 日-11 月 14 日。2016 年 3 月 27 日-11 月 17 日，约 15d 调查 1 次，2015 年调查 17 次，2016 年调查 16 次。茶园周边为其他品种茶园，茶园按常规措施管理，但不施用农药。

1.2　调查方法

采用平行跳跃法随机在茶园选取 3 行，茶树行距为 1 m，每行间隔 1 m，取 2 m 长的样方。每行 10 个样方，共取 30 个样方，先目测调查，每样方随机选取 10 片叶，调查一些不易振落害虫及天敌种类和个体数，然后用沾有洗衣粉水液的搪瓷盘对样方中的所有枝条进行盘拍（搪瓷盘口长为 40 cm，宽 30 cm，洗衣粉水溶液浓度为 1 000 倍），调查记载害虫及其天敌物种数和个体数，对于部分不能准确鉴定的物种样本编号保存，装瓶带回室内鉴定。

1.3　数学分析方法

根据聚块样方方差分析的要求，参与数学分析的资料是第 1 个样方连续至第 24 个样方的调查资料。

1.3.1　八点广翅蜡蝉空间动态的聚块样方方差分析　聚块样方方差分析是在不同大小样方上的方差分析，是一种简单、有效的生态学空间格局分析方法。该法要求供试田块上的样方在空间上相互连接，随着聚块所包含的基本样方数 K 从 1、2、4、8…（指数级数）不断增加，聚块方差值常随之改变，通过不同大小聚块方差值的变化，了解研究对象随尺度增大的变化动态（傅伯杰等，2003）。

在一样带上连续分布的样方，变量（八点广翅蜡蝉或天敌在每个聚块上的数量）为 X，让聚块内基本样方数成指数增大，计算其均方差 MS，当每聚块仅包含一个基本样方时，其均方差计算公式为：

$$MS(1)=\frac{2k}{n}\sum_{i=1}^{n-zk+1}(X_{\mathrm{i}}-X_{\mathrm{i+1}})^2/2k=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n-1}(X_{\mathrm{i}}-X_{\mathrm{i+1}})^2$$

$MS(1)$为聚块含 1 个基本样方时的均方差值，k 为聚块所含基本样方数；

当每个聚块包含两个基本样方时，

$$MS(2)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n-3}((X_{\mathrm{i}}+X_{\mathrm{i+1}})-(X_{\mathrm{i+2}}+X_{\mathrm{i+3}}))^2$$

依此类推，直到聚块所含的基本样方数为 $n/2$，这时均方差的计算公式为：

$$MS(n/2)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{1}((X_{\mathrm{i}}+X_{\mathrm{i+1}}+\cdots+X_{\mathrm{i}+n/2-1})-(X_{\mathrm{i+1}}+X_{\mathrm{i+2}}+\cdots+X_{\mathrm{i}+n/2}))^2$$

聚块样方方差分析的目的是分析聚块大小对方差的影响，如果均方差在某一聚块大小上出现峰值，则表明田间害虫空间分布具有规律性。如果同时出现几个峰值，则表明田间害虫可能存在几种不同尺度的聚集空间。如果均方差值为一常数，即均方差值不随聚块大小而变化，表明害虫聚集的空间大小是无规律的。

1.3.2 八点广翅蜡蝉与 7 种天敌间在均方差峰值时基本样方数上的灰色关联度分析 将八点广翅蜡蝉及其 7 种天敌均方差峰值时的基本样方数（即聚块空间大小）分别看作一个本征系统，八点广翅蜡蝉每次峰值时的基本样方数 Y_{i} 作为该系统的参照序列，其各种天敌的基本样方数 X_{j} 作为该系统的比较序列，不同时间点上的八点广翅蜡蝉聚集空间大小及其天敌的聚块基本样方数作为序列在第 k 个样方上的效果白化值，进行双序列关系分析：

$$Y_{\mathrm{i}}=\{Y_{\mathrm{i}}(1),Y_{\mathrm{i}}(2),\cdots,Y_{\mathrm{i}}(n)\}\quad i=1,2,3,\cdots,n$$

$$X_{\mathrm{j}}=\{X_{\mathrm{j}}(1),X_{\mathrm{j}}(2),\cdots,X_{\mathrm{j}}(n)\}，j=1,2,3,\cdots,m$$

式中 n 是样方数，m 是天敌种类数。经数据均值化后得：

$$y_{\mathrm{i}}=\{y_{\mathrm{i}}(1),y_{\mathrm{i}}(2),...,y_{\mathrm{i}}(n)\}$$

$$x_{\mathrm{j}}=\{x_{\mathrm{j}}(1),x_{\mathrm{j}}(2),...,x_{\mathrm{j}}(n)\}，j=1,2,3,\cdots,m$$

利用关联度公式 $R(Y_{\mathrm{i}},X_{\mathrm{j}})=\frac{1}{n}\sum r_{\mathrm{ij}}(k)$ 求出 7 种天敌 (X_{j}) 与八点广翅蜡蝉 Y 均方差峰值时基本样方数间的关联度，r_{ij} 为关联系数，其公式为：

$$r_{\mathrm{ij}}=\frac{\min\min|Y_{\mathrm{i}}(k)-X_{\mathrm{j}}(k)|+\rho\max\max|Y_{\mathrm{i}}(k)-X_{\mathrm{j}}(k)|}{|Y_{\mathrm{i}}(k)-X_{\mathrm{j}}(k)|+\rho\max\max|Y_{\mathrm{i}}(k)-X_{\mathrm{j}}(k)|}$$

式中 ρ 为分辨系数，取值介于 0 到 1 之间，一般取 ρ=0.5，本文取 ρ=0.8，$\Delta_{\mathrm{ij}}=|y_{\mathrm{i}}(k)-x_{\mathrm{j}}(k)|$ 为序列 Y 与 X_{j} 在第 k 点上的绝对值差；$\min|y_{\mathrm{i}}(k)-x_{\mathrm{j}}(k)|$ 为 1 级最小差，表示找出 Y 与 X_{j} 序列对应点的差值中的最小差；而 $\min\min|y_{\mathrm{i}}(k)-x_{\mathrm{j}}(k)|$ 为 2 级最小差，表示在 1 级最小差的基础上再找出其中的最小差。$\max|y_{\mathrm{i}}(k)-x_{\mathrm{j}}(k)|$ 与 $\max\max|y_{\mathrm{i}}(k)-x_{\mathrm{j}}(k)|$ 分别为 1 级和 2 级最大差，其含义与上述最小差相似。第 j 种天敌 X_{j} 与八点广翅蜡蝉聚集空间大小的关联度为 $R(y_{\mathrm{i}},x_{\mathrm{j}})=\frac{1}{n}\sum r_{\mathrm{ij}}(k)$，关联度大小反映了天敌 X_{j} 对八点广翅蜡蝉 Y 空间上跟随的密切程度，关联度值越大，表明两者在空间上关系越密切（邓聚龙，1990）。

1.3.3 八点广翅蜡蝉及其天敌的空间格局及其差异原因分析 对聚块样方方差深入分析就涉及到研究对象的空间分布格局。本文采用 Poisson 扩散系数 C 分析测定八点广翅蜡蝉及其天敌的空间格局（邹运鼎和王弘法，1989）。为了判断八点广翅蜡蝉及其天敌在聚块中基本样方数为 2、4、8 时与为 1 时之间空间聚集程度的差异，用 David 和 Moore（1954）等提出的 $|W|$ 公式，$|W|=-\frac{1}{2}\ln\left(\frac{S_1^2/\bar{x}_1}{S_2^2/\bar{x}_2}\right)$，$S_1^2$、$S_2^2$、$\bar{x}_1$、$\bar{x}_2$ 分别为聚块内基本样方数为 2、4、8 与为 1 时的两种群的方差和均数，若 $|W|>2.5/\sqrt{n-1}$，则按 5%水平认为两者的空间分布格局显著不同。用 Arbous 和 Kerrich（1951）提出的种群聚集均数（λ）公式，$\lambda=\frac{\bar{x}}{2k}\cdot\nu$，分析不同聚块大小条件下八点广翅蜡蝉及其天敌的聚集原因，式中 $k=\bar{x}^2/(s^2-\bar{x})$，$s^2$ 为方差，V 为自由度等于 $2k$ 时的 $x_{0.50}^2$ 值。用 Blackith（1958）提出 λ 值判断

标准，分析引起种群聚集的原因。用（Iwao，1972）的 ρ 指数公式，$\rho=\frac{\overset{*}{m}_i-\overset{*}{m}_{i-1}}{\overline{x}_i-\overline{x}_i-1}$，依据一系列不同大小聚块的 ρ 指数来评定八点广翅蜡蝉个体群聚集时占据的最小空间，即最小的样方面积。式中 $\overset{*}{m}_i$ 和 $\overset{*}{m}_{i-1}$ 为 i 和 $i-1$ 聚块的平均拥挤度，$\overline{x}_i$ 和 $\overline{x}_{i-1}$ 为 i 和 $i-1$ 聚块的平均密度。

2　结果与分析

2.1　茶园八点广翅蜡蝉与其天敌种类及其种群动态

2015 年，茶园调查结果表明，白毫早茶园共采集到 39 种害虫，共 8 085 头，其中八点广翅蜡蝉是主要害虫之一，共 81 头，42 种捕食性天敌，共 6 111 头。2016 年茶园共采集到 31 种害虫，共 8 800 头，八点广翅蜡蝉共 165 头，捕食性天敌 31 种，共 6 045 头。蜘蛛类天敌是八点广翅蜡蝉的主要捕食性天敌之一，其中 2015 年调查数量大于 149 头，2016 年调查数量大于 212 头的前 7 位蜘蛛是鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata*、锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa*、草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*、三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus*、八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum*、棕管巢蛛 *Clubiona japonicola* 和茶色新圆蛛 *Neoscona theisi*。2015 年 7 种蜘蛛数量共 4 649 头，占全年捕食性天敌的 76.09%，2016 年 7 种蜘蛛数量为 4 271 头，占全年捕食性天敌的 70.67%。由种群动态图 1 和图 2 可知，八点广翅蜡蝉 5 月间陆续孵化，危害至 7 月下旬开始老熟羽化，鳞纹肖蛸（x_1）和锥腹肖蛸（x_2）种群数量相对较多，其次是八斑球腹蛛（x_5）和棕管巢蛛（x_6）。故 7 种蜘蛛作为八点广翅蜡蝉的主要天敌。

2.2　八点广翅蜡蝉及其 7 种天敌空间关系的聚块样方方差分析

为了体现研究结果的代表性，选择八点广翅蜡蝉数量多的、数量中等的和数量少的三种类型作为研究材料。2015 年选择 6 月 20 日（29 头）、7 月 4 日（12 头）、9 月 26 日（9 头），2016 年选择 5 月 12 日（55 头）、6 月 14 日（41 头）、6 月 29 日（38 头）的八点广翅蜡蝉及其天敌作为研究对象，将八点广翅蜡蝉及其 7 种天敌的聚块样方方差分析的均方差列于表 1。

由表 1 可看出，2015 年 6 月 20 日、7 月 4 日、9 月 26 日和 2016 年 5 月 12 日、6 月 14 日和 6 月 29 日的八点广翅蜡蝉的均方差均有一个峰值。7 种蜘蛛的均方差值均有 1-2 个峰值，这表明八点广翅蜡蝉和 7 种天敌的空间分布均具

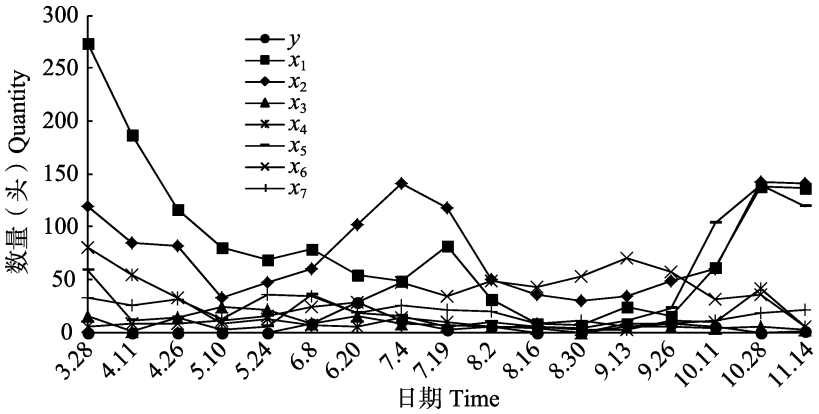

图 1　八点广翅蜡蝉和 7 种天敌数量动态变化（2015）

Fig. 1　Dynamic changes in the number of *Ricania speculum* and 7 natural enemies (2015)

y：八点广翅蜡蝉 *Ricania speculum*；x_1：鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata*；x_2：锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa*；x_3：草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*；x_4：三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus*；x_5：八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum*；x_6：棕管巢蛛 *Clubiona japonicola*；x_7：茶色新圆蛛：*Neoscona theisi*。

下同。The same as the following table and Fig.

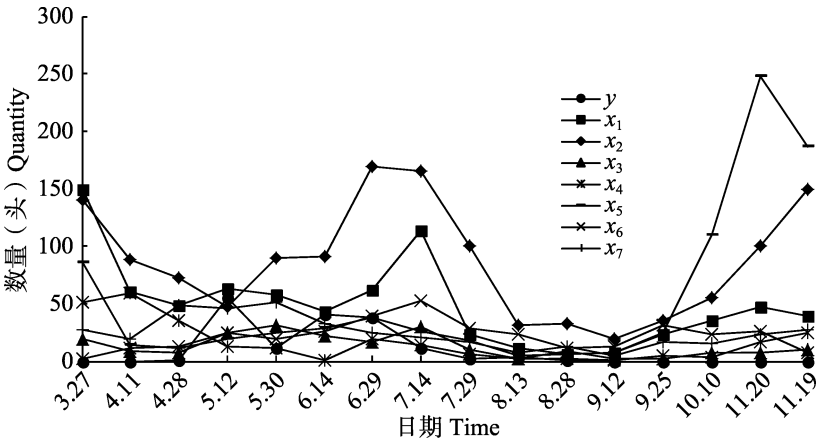

图 2　八点广翅蜡蝉和 7 种天敌数量动态变化（2016）

Fig. 2　Dynamic changes in the number of *Ricania speculum* and 7 natural enemies (2016)

表 1　不同聚块条件下八点广翅蜡蝉及其天敌的均方差 *MS*(*i*)

Table 1　The mean square deviation [*MS*(*i*)] of *Ricania speculum* and its 7 natural enemies in different size clusters

日期 Date	物种 Species	聚块内基本样方数（2015） Basic sample number in block				日期 Date	物种 Species	聚块内基本样方数（2016） Basic sample number in block			
		1	2	4	8			1	2	4	8
6.20	y	1.583 3	1.083 3	0.666 7	2.541 7	5.12	y	3.166 7	2.750 0	2.166 7	6.000 0
	x_1	5.166 7	5.625 0	3.250 0	1.083 3		x_1	4.333 3	5.375 0	8.000 0	3.750 0
	x_2	5.041 7	4.291 7	8.583 3	11.041 7		x_2	3.791 7	1.041 7	1.625 0	0.208 3
	x_3	1.041 7	0.375 0	0.500 0	1.083 3		x_3	1.250 0	0.833 3	2.083 3	1.541 7
	x_4	0.416 7	0.250 0	0.083 3	0.083 3		x_4	0.875 0	0.750 0	0.916 7	1.041 7
	x_5	1.291 7	1.750 0	0.541 7	2.166 7		x_5	1.041 7	1.000 0	0.500 0	2.208 3
	x_6	1.333 3	3.291 7	1.541 6	0.208 3		x_6	1.708 3	1.958 3	1.958 3	0.708 3
	x_7	1.416 7	1.083 3	0.291 7	0.083 3		x_7	2.541 7	1.916 7	0.875 0	3.333 3
7.04	y	0.541 7	0.333 3	0.375 0	0.541 7	6.14	y	3.666 7	5.125 0	3.541 7	1.041 7
	x_1	2.500 0	2.833 3	8.041 7	3.333 3		x_1	6.250 0	3.708 3	10.625 0	7.541 7
	x_2	3.583 3	6.125 0	12.250 0	6.208 3		x_2	11.916 7	4.333 3	11.000 0	1.208 3
	x_3	0.416 7	0.458 3	0.916 7	1.083 3		x_3	0.583 3	1.208 3	2.291 3	6.041 7
	x_4	1.208 3	0.375 0	0.500 0	0.416 7		x_4	0.041 7	0.041 7	0.041 7	0.041 7
	x_5	1.041 7	0.333 3	0.791 7	2.541 7		x_5	1.833 3	0.791 7	0.416 7	1.041 7
	x_6	2.708 3	3.625 0	1.875 0	6.208 3		x_6	0.875 0	1.541 7	1.291 7	2.208 3
	x_7	2.083 3	2.458 3	2.583 3	2.208 3		x_7	1.916 7	1.291 7	1.750 0	0.250 0
9.26	y	0.666 7	0.708 3	0.125 0	0.208 3	6.29	y	3.333 3	1.708 3	3.208 3	1.083 3
	x_1	2.125 0	2.000 0	6.166 7	6.208 3		x_1	4.375 0	0.875 0	0.375 0	0.750 0
	x_2	3.708 3	1.583 3	0.916 7	0.041 7		x_2	18.291 7	23.208 3	15.416 7	1.083 3
	x_3	0.333 3	0.458 3	0.458 3	0.083 3		x_3	0.708 3	0.958 3	1.416 7	0.208 3
	x_4	0.208 3	0.208 3	0.250 0	1.041 7		x_4	1.541 7	1.250 0	2.333 3	2.166 7
	x_5	2.666 7	0.958 3	2.750 0	1.041 7		x_5	1.958 3	3.541 7	3.291 7	4.708 3
	x_6	3.208 3	3.000 0	3.250 0	3.083 3		x_6	1.833 3	2.083 3	0.458 3	0.208 3
	x_7	1.208 3	0.333 3	0.750 0	2.208 3		x_7	2.541 7	2.916 7	3.333 3	1.333 3

有一定的规律性，可对其关系进行深入研究。为了分析 7 种天敌与八点广翅蜡蝉空间关系密切程度，将 7 种蜘蛛与八点广翅蜡蝉均方差峰值时聚块内基本样方数列于表 2，并进行灰色关联度分析，结果表明，草间小黑蛛与八点广翅蜡蝉的关联度最大，关联度值为 0.781 1，其次是粽管巢蛛（关联度值为 0.692 8），第三是茶色新圆蛛（关联度值为 0.688 7），鳞纹肖蛸、锥腹肖蛸、三突花蟹蛛和八斑球腹蛛与八点广翅蜡蝉的关联度分别是 0.656 1、0.675 5、0.656 2 和 0.630 6。表明茶色新圆蛛、粽管巢蛛和草间小黑蛛与八点广翅蜡蝉空间关系密切，鳞纹肖蛸（0.656 1）和八斑球腹蛛（0.630 6）与八点广翅蜡蝉的空间关系相对不密切。

表 2　均方差峰值时聚块内的基本样方数
Table 2　Number of basic samples in a block at peak mean square variance

年份 Year	日期 Date	y	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
2015	6.20	8	2	8	8	1	8	2	1
	7.04	8	4	4	8	1	8	8	4
	9.26	2	8	1	2	8	4	1	8
2016	5.12	8	4	1	4	8	8	4	8
	6.14	2	4	4	8	2	1	8	1
	6.29	4	1	2	4	4	8	2	4

2.3　聚块大小对八点广翅蜡蝉及其天敌空间分布格局的影响

用扩散系数 C 值作为判断空间分布格局类型的依据，将八点广翅蜡蝉和 7 种天敌在不同聚块大小条件下的扩散系数 C 值列于表 3。由表 3 可看出，八点广翅蜡蝉 2016 年 5 月 12 日聚块样方数 K 为 8 的 C 值大于 $F_{0.05}$，表明是聚集分布格局，鳞纹肖蛸（x_1）2015 年 9 月 26 日，2016 年 5 月 12 日 K 为 2 和 4 时及 6 月 14 日 K 为 1 和 4 时，以及锥腹肖蛸（x_2）2015 年 6 月 20 日 K 为 4 时，2016 年 6 月 14 日 K 为 1 和 2 时，草间小黑蛛（x_3）2015 年 7 月 4 日 K 为 4 时，三突花蟹蛛（x_4）2015 年 9 月 26 日 K 为 1、2、4、8 时，茶色新圆蛛（x_7）在 2015 年 9 月 26 日的 K 为 8 时，2016 年 6 月 29 日 K 为 1 和 2 时，C 值均大于 $F_{0.05}$，是聚集分布格局。由表 3 可看出，C 值为正值时，随着聚块内样方数的增加，C 值不断增大。八点广翅蜡蝉和 7 种蜘蛛在均匀分布和随机分布时，C 值变化的总趋势是，随着聚块内基本样方数的增加，C 值不断变小。

2.4　八点广翅蜡蝉及其天敌在聚块内基本样方数为 2、4、8 时与为 1 时的聚集程度差异

用 David 和 Moore（1954）提出的比较总体聚集程度的方法，求出 $|W|$ 值，结果列于表 4。由表 4 可看出无论是八点广翅蜡蝉还是 7 种蜘蛛类天敌，在聚块内基本样方数为 2、4、8 时与为 1 时的 $|W|$ 值均小于 $|W|_{0.05}$，表明聚块大小对八点广翅蜡蝉或 7 种蜘蛛的空间聚集程度影响不显著。

2.5　八点广翅蜡蝉及其天敌在不同聚块大小条件下种群聚集均数的变化及其聚集原因

将八点广翅蜡蝉和 7 种蜘蛛在不同聚块大小条件下的种群聚集均数 λ 列于表 5，八点广翅蜡蝉在 2 年的 6 个时间点不同聚块大小条件下的 λ 值，2016 年 5 月 12 日 K 为 2、4、8 时和 6 月 14 日 K 为 2、4、8 时，6 月 29 日 K 为 4 时的 λ 值大于 2，其余的 λ 值均小于 2，λ 值为正值时，随着聚块内基本样方数的增加，λ 值不断增大，即随着聚块面积增大，λ 值不断变大。如鳞纹肖蛸（x_1）2015 年 9 月 26 日、6 月 20 日 K 为 8 时，2016 年 5 月 12 日 K 为 2，4，8 时、6 月 14 日 K 为 2，4，8 时、6 月 29 日 K 为 4 时和锥腹肖蛸（x_2）2015 年 6 月 20 日 K 为 2，4，8 时，2016 年 6 月 14 日（除 K 为 8 时）及 6 月 29 日（除 K 为 8 时）λ 值都大于 2。当 λ 值为负值时，随着聚块内基本样方数的增加，λ 值不断变小，如 2016 年 6 月 29 日的鳞纹肖蛸（x_1）、2016 年 5 月 12 日的锥腹肖蛸（x_2），2015 年 6 月 20 日的三突花蟹蛛（x_4）。从表面看，λ 值的正与负似乎是与害虫（天敌）的数量多少有关，实际上是与方差与均数之间的大小有关。由表 5 可看出，

表 3 不同聚块大小条件下八点广翅蜡蝉及其 7 种天敌的扩散系数 C^*

Table 3 Diffusion coefficient of *Ricania speculum* and its 7 natural enemies under different block sizes

物种 Species	聚块内基本样方数 Basic sample number in block	日期 Date (2015)			日期 Date (2016)			备注 Remarks
		6.20	7.4	9.26	5.12	6.14	6.29	
y	1	0.845 8	0.565 3	0.956 0	1.173 9	1.370 2	1.125 6	
	2	0.776 9	0.487 6	0.909 0	1.412 1	1.524 7	0.933 9	
	4	0.727 3	0.527 3	0.500 0	1.746 7	1.811 4	1.072 7	
	8	1.409 1	0.636 4	0.875 0	3.200 0*	1.057 1	0.636 4	
x_1	1	1.404 1	0.857 1	1.912 9*	1.207 7	1.698 0*	0.749 4	
	2	1.588 2	1.013 0	2.363 7*	1.798 0*	1.540 7	0.262 0	
	4	0.929 4	0.388 6	4.449 9*	2.711 1*	2.694 8*	0.129 4	
	8	0.411 8	1.142 9	4.937 5*	2.166 7	2.394 7	0.176 5	
x_2	1	0.826 1	0.671 1	1.093 8	0.739 1	1.862 1*	1.713 0*	
	2	1.373 1	0.862 4	0.564 6	0.509 1	1.545 5	1.828 3*	
	4	2.257 1*	1.240 0	0.291 7	0.640 0	2.333 3*	1.186 7	
	8	1.727 3	0.687 0	0.026 3	0.175 0	0.541 7	0.155 6	
x_3	1	0.809 6	1.037 1	0.782 6	1.041 0	0.766 6	0.799 3	n_1=23
	2	0.545 5	1.389 7	0.909 1	1.213 9	1.200 0	1.083 9	n_2=∞ $F_{0.05}$=1.51
	4	0.800 0	2.542 8*	1.200 0	1.872 1	1.694 7	1.184 6	n_1=11
	8	1.750 0	4.428 6*	0.500 0	1.823 5	3.842 1*	0.538 5	n_2=∞ $F_{0.05}$=1.79
x_4	1	0.826 2	0.882 0	0.695 7	1.134 5	1.000 0	1.532 0*	n_1=5
	2	0.636 3	0.441 5	0.909 0	1.082 6	1.000 0	2.240 6*	n_2=∞ $F_{0.05}$=2.21
	4	0.200 0	0.628 5	1.400 0	1.400 0	1.000 0	3.588 3*	n_1=2
	8	0.199 6	0.500 0	3.125 0*	2.272 7	1.000 0	4.470 6*	n_2=∞ $F_{0.05}$=3.00
x_5	1	1.000 0	1.031 1	1.426 1	1.000 0	0.950 9	0.753 6	
	2	1.136 4	0.675 3	0.800 0	1.271 8	0.517 8	1.090 9	
	4	0.700 0	1.485 7	1.520 0	1.750 0	0.356 5	1.066 7	
	8	1.750 0	2.214 3	1.252 0	4.187 5*	0.565 2	1.583 3	
x_6	1	1.124 2	0.921 1	0.904 9	0.769 4	0.840 6	0.695 7	
	2	1.779 2	1.038 1	1.130 4	0.802 4	1.272 7	0.704 5	
	4	0.885 7	0.804 6	1.558 5	0.773 9	1.066 7	0.275 0	
	8	0.142 9	1.837 2	2.056 6	0.565 2	2.166 7	0.218 7	
x_7	1	1.031 1	1.130 4	1.347 8	0.936 8	0.797 1	1.634 8*	
	2	0.753 2	1.272 7	1.000 0	0.867 8	0.656 6	1.781 8*	
	4	0.285 7	1.200 0	1.800 0	0.636 4	0.688 9	1.640 0	
	8	0.012 0	1.625 0	4.333 3*	1.454 5	0.333 3	0.800 0	

为聚集格局。 For the aggregation pattern.

2016 年 5 月 12 日 K 为 2，4，8 时、6 月 14 日 K 为 2，4，8 时和 6 月 29 日 K 为 4 时的八点广翅蜡蝉的 λ 值均大于 2，其聚集是由该害虫本身原因引起的。同时也可看出，若按$|\lambda|$比较，随着聚块内基本样方数的增加，$|\lambda|$不断增大。

2.6 不同聚块大小条件下八点广翅蜡蝉的 ρ 指数

由表 6 可看出，聚块内基本样方数 K 由 8

表 4　不同聚块大小条件下八点广翅蜡蝉及其 7 种天敌在 *K* 为 2、4、8 时与 *K* 为 1 时的|W|值

Table 4　the |*W*| value of *Ricania speculum* and its seven natural enemies at *K* is 2, 4, 8 and *K* is 1 under different mass sizes

日期 Date	物种 Species	聚块内基本样方数（2015） Basic sample number in block			日期 Date	物种 Species	聚块内基本样方数（2016） Basic sample number in block			备注 Remarks
		2	4	8			2	4	8	
6.20	y	0.042 5	0.075 5	0.255 2	5.12	y	0.092 4	0.198 9	0.501 6	
	x_1	0.061 6	0.206 3	0.613 3		x_1	0.199 0	0.404 3	0.292 2	
	x_2	0.254 0	0.502 6	0.368 8		x_2	0.186 4	0.072 0	0.720 3	
	x_3	0.233 2	0.041 7	0.349 7		x_3	0.076 8	0.293 4	0.280 3	
	x_4	0.130 6	0.709 3	0.710 3		x_4	0.023 4	0.105 1	0.347 4	
	x_5	0.063 9	0.178 3	0.279 8		x_5	0.120 6	0.279 8	0.716 0	
	x_6	0.459 1	0.119 2	1.031 3		x_6	0.021 0	0.002 9	0.154 2	
	x_7	0.157 0	0.641 7	2.226 7		x_7	0.038 3	0.193 3	0.220 0	
7.04	y	0.073 9	0.034 8	0.059 2	6.14	y	0.106 8	0.139 6	0.129 7	
	x_1	0.083 6	0.395 5	0.143 9		x_1	0.048 6	0.230 9	0.171 9	n=24 $\|W\|_{0.05}$=11.9895 n=12 $\|W\|_{0.05}$=8.2916 n=6 $\|W\|_{0.05}$=5.5902 n=3 $\|W\|_{0.05}$=3.5355
	x_2	0.125 4	0.307 0	0.011 7		x_2	0.083 4	0.122 5	0.670 6	
	x_3	0.146 3	0.448 4	0.725 8		x_3	0.224 4	0.396 6	0.805 9	
	x_4	0.346 0	0.169 4	0.283 8		x_4	0.000 0	0.000 0	0.000 0	
	x_5	0.211 6	0.182 6	0.382 2		x_5	0.303 9	0.490 8	0.260 1	
	x_6	0.059 8	0.067 6	0.345 2		x_6	0.207 4	0.119 1	0.473 4	
	x_7	0.059 3	0.029 9	0.181 5		x_7	0.097 0	0.072 9	0.436 0	
9.26	y	0.025 2	0.648 1	0.044 3	6.29	y	0.093 8	0.024 5	0.285 5	
	x_1	0.105 8	0.422 1	0.474 1		x_1	0.529 3	0.878 2	0.723 0	
	x_2	0.330 6	0.655 6	1.863 9		x_2	0.032 6	0.183 5	1.199 4	
	x_3	0.074 9	0.213 7	0.224 0		x_3	0.152 3	0.196 7	0.197 5	
	x_4	0.133 7	0.349 7	0.751 1		x_4	0.190 1	0.425 6	0.535 3	
	x_5	0.289 0	0.031 9	0.065 9		x_5	0.184 9	0.173 7	0.371 2	
	x_6	0.111 3	0.271 8	0.415 0		x_6	0.006 3	0.464 1	0.578 6	
	x_7	0.142 9	0.144 7	0.583 9		x_7	0.043 1	1.587 9	0.357 3	

到 4 时，6 个时间的平均 ρ 指数最大，为 0.995 9±0.048 2，聚块内基本样方数由 4 到 2 时，平均 ρ 指数为 0.933 7±0.116 5，位列第二，聚块内基本样方数 K 由 2 到 1 时，平均 ρ 指数为 0.903 6±0.066 5，表明八点广翅蜡蝉个体群在聚集格局时种群的最小面积是聚块内基本样方数为 4 个。按照本研究的设计方案，即每一聚块面积是 16 m^2，即取样调查八点广翅蜡蝉时，每个样方面积应为 16 m^2。

刘飞飞等（2015）和王建盼等（2015）分别用聚块样方方差分析法与其他方法相结合研究了大别山区天柱山群体种茶园蜘蛛类天敌与茶尺蠖 *Ectropis oblique hypulina* Wehrli 幼虫的空间关系及柑橘粉虱 *Dialeurodes citri* Ashmead 与其捕食天敌之间的空间关系，在聚集格局、均匀格局和随机格局时扩散系数 C 和 λ 值变化动态上的研究结论与本文一致。

3　结论与讨论

运用聚块样方方差分析法，灰色关联度法和

表 5 不同聚块大小条件下八点广翅蜡蝉及其天敌的种群聚集均数 λ 值*

Table 5 Population aggregation mean λ value of *Ricania speculum* and its natural enemies under different block sizes

物种 Species	聚块内基本样方数 Basic sample number in block	日期 Date (2015)			日期 Date (2016)		
		6.20	7.4	9.26	5.12	6.14	6.29
y	1	- 0.874 0	- 0.315 1	- 0.311 9	1.855 7	1.358 7	1.349 5
	2	- 1.711 6	- 0.627 7	- 0.651 3	3.573 2*	2.712 6*	- 2.721 7
	4	- 3.591 8	- 1.734 8	- 1.084 9	7.220 3*	5.412 3*	5.503 3*
	8	7.228 7*	- 3.545 7	- 2.646 7	14.674 4*	11.637 1*	- 10.970 9
x_1	1	2.089 2 *	- 1.738 6	0.205 4	2.216 5*	1.514 6	- 2.047 7
	2	3.923 5 *	3.499 2*	0.988 8	4.125 5*	3.065 5*	- 4.184 3
	4	- 8.237 6	6.760 3*	2.501 1*	8.845 5*	5.372 4*	- 7.983 3
	8	- 16.864 7	13.952 9*	4.823 4*	17.698 3*	12.092 3*	- 16.610 6
x_2	1	- 3.159 6	- 4.003 0	1.564 5	- 1.609 6	2.618 7*	5.478 8*
	2	6.219 6 *	- 9.582 5	- 3.121 9	- 3.274 2	5.820 0*	10.908 5*
	4	12.156 6*	19.120 8	- 6.114 5	- 6.541 2	11.560 0*	22.432 5*
	8	25.318 0*	- 38.244 5	- - 12.336 6	- 12.927 8	- 23.848 5	- 44.899 1
x_3	1	- 0.478 5	0.283 9	- 0.157 5	0.731 8	- 0.740 0	- 0.446 5
	2	- 0.759 0	0.455 9	- 0.470 5	1.319 6	1.541 5	1.063 1
	4	- 1.547 2	1.118 5	0.934 0	2.387 4*	2.897 1*	2.062 1*
	8	3.877 5*	0.771 5	- 1.835 0	5.492 9*	4.630 7*	- 4.232 4
x_4	1	- 0.126 0	- 0.550 8	- 0.220 6	0.426 1	0.041 7	0.622 4
	2	- 0.263 6	- 0.932 6	- 0.651 7	0.881 1	0.083 3	0.899 4
	4	- 0.580 0	2.291 6*	1.268 2	1.668 2	0.166 7	1.876 4
	8	- 1.372 0	- 4.585 0	2.603 2*	3.398 2	0.333 3	4.251 4
x_5	1	0.483 4	0.579 3	0.711 6	0.483 4	- 0.942 2	- 1.397 1
	2	1.256 0	- 1.029 2	- 1.634 1	1.273 9	- 1.769 8	2.969 7
	4	- 2.601 0	2.268 5*	3.208 5*	2.377 5	- 3.648 4	5.978 0
	8	5.002 5*	4.456 4*	6.642 2*	3.904 7	- 7.465 3	11.765 8
x_6	1	0.828 6	- 1.748 4	- 2.156 8	- 0.846 4	- 0.665 0	- 1.269 2
	2	1.301 2	2.043 0*	4.388 8*	- 1.812 3	1.410 0	- 2.561 6
	4	- 3.448 0	- 7.065 7	8.751 7*	- 3.754 3	2.978 0*	- 5.198 2
	8	5.075 0*	13.956 3	17.085 1*	- 7.465 3	5.448 3*	- 10.289 1
x_7	1	0.579 3	0.935 0	0.252 1	- 1.339 5	- 1.049 2	0.777 1
	2	- 1.029 0	1.955 6	0.543 8	- 2.732 9	- 2.118 9	1.305 8
	4	- 2.264 3	3.934 0*	1.380 0	- 5.334 5	- 4.409 0	2.988 9*
	8	- 4.119 9	7.918 8*	2.416 7*	10.759 1*	- 8.780 0	- 6.634 3

*λ 值大于 2。

*λ value greater than 2.

聚集强度指数法相结合研究了茶园 7 种蜘蛛类天敌对八点广翅蜡蝉在空间上的跟随关系及聚集原因等。通过对八点广翅蜡蝉与其 7 种蜘蛛类天敌均方差峰值时的聚块大小（聚块内基本样方数）的灰色关联度分析及扩散系数、种群聚集均数和 ρ 指数的分析，结果表明：1）与八点广翅蜡蝉空间上跟随关系密切的前三位天敌是草间小黑蛛、粽管巢蛛和茶色新圆蛛；2）鳞纹肖蛸和八斑球腹蛛与八点广翅蜡蝉空间上的跟随关系较不密切；3）在聚块内基本样方数 K 为 1-8 时，聚集格局时的扩散系数 C 值随着聚块内基本样方数 K 的增加而增大，而均匀格局和随机格局

表 6　不同聚块大小条件下八点广翅蜡蝉的 ρ 指数*

Table 6　ρ index of *Ricania speculum* under different Block sizes

聚块内基本样方数变化 Change of basic sample number in block	日期 Date (2015)			日期 Date (2016)			$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
	6.20	7.04	9.26	5.12	6.14	6.29	
2→1	0.892 5	0.793 4	0.750 1	1.090 3	1.058 0	0.837 5	0.903 6±0.066 5
4→2	0.942 1	1.190 0	0.375 0	1.043 0	1.038 4	1.013 7	0.933 7±0.116 5
8→4	1.090 9	0.892 6	1.125 0	1.090 4	0.862 0	0.914 6	0.995 9±0.048 2

时 C 值不断变小：4）八点广翅蜡蝉在不同大小聚块条件下的聚集多是由该虫本身原因引起的；5）八点广翅蜡蝉及其天敌种群聚集均数 λ 的绝对值，随着聚块内基本样方数 K 的增加，$|\lambda|$值不断变大；6）用不同大小聚块的 ρ 指数判断八点广翅蜡蝉种群聚集时的最小面积为聚块内有 4 个基本样方。

为什么在聚集格局时害虫或天敌的扩散系数 C 随着聚块内基本样方数的增加而变大，久野（1968）指数公式为 $C_A = \frac{S^2 - \bar{x}}{\bar{x}^2}$，提出的判断标准是 C_A <0 时，种群为均匀分布格局；C_A =0 时，种群为 Poisson 分布格局，C_A >0 时，种群为聚集分布格局。因为分母 $\bar{x}^2$ 必大于零，所以 $S^2 - \bar{x}$ 必大于零，即 $S^2 > \bar{x}$，由于随着聚块内基本样方数的增多，$\bar{x}$ 值不断增大，$S^2 > \bar{x}$，$C = \frac{S^2}{\bar{x}}$，所以 C 值不断增大。由 λ 值公式可看出，$\lambda = \frac{\bar{x}}{2k}V$，$K = \frac{\bar{x}^2}{S^2 - \bar{x}}$，即 $\frac{1}{K} = C_A$，K 将代入 $\lambda = \frac{C_A \cdot \bar{x}}{2}V$，得 $\lambda = \frac{S^2 - \bar{x}}{2\bar{x}}V$，由于 λ 为正值，则 $\bar{x}$ 必大于零，$S^2 - \bar{x}$ 必大于零，$S^2 > \bar{x}$，由于聚块内基本样方数 K 由 1 至 2 至 4 至 8，$\bar{x}$ 随之增大，$S^2 - \bar{x}$ 也随之增大，所以 λ 值随之增大。本研究总共只用 24 个样方的数据，为了明确样方大小对害虫及其天敌空间关系影响的规律性，尚需扩大样方数；再者害虫虫体大小不同，活动范围不同，危害方式不同，样方大小对目标害虫及其天敌空间关系的影响如何尚需进行深入研究。

参考文献 (References)

Arbous AG, Kerrich JE, 1951. Accident statistics and the concept of accident-proneness. *Biometrics*, 7(4): 340–432.

Blackith RE, 1958. Nearest-neighbour distance measurements for the estimation of animal populations. *Ecology*, 39(1): 147–150.

Bao Q, Chen XQ, Xu HL, Jiang SH, 2013. Research on the occurrence regularity of *Ricabia speculum* Walker in Futian mangrove, Shenzhen. *Guangdong Agricultural Sciences*, (12): 37–40. [包强, 陈晓琴, 徐华林, 江世宏, 2013. 八点广翅蜡蝉在深圳福田红树林发生规律研究. 广东农业科学, (12): 37–40.]

Deng JL, 1990. Tutorial on Grey System Theory. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press. 33–84. [邓聚龙, 1990. 灰色系统理论教程. 武汉: 华中科技大学出版社. 33–84.]

Iwao S, 1972. Application of the m*-m method to the analysis of spatial patterns by changing the quadrat size. *Res. Popul. Ecol*., 14: 97–128.

Liu FF, Ke SB, Wang JP, 2015. Blocked quadrat variance analysis for spatial relation of *Ectropis oblique hypulina* larva and spider natural enemies. *Journal of Zhejiang University* (*Agricultrue and Life Sciences*), 41(2): 133–146. [刘飞飞, 柯胜兵, 王建盼, 2015. 蜘蛛类天敌与茶尺蠖幼虫空间关系的聚块样方方差分析. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 41(2): 133–146.]

Wang JP, Qin S, Liu FF, Ke SB, Zhou XZ, Bi SD, Zou YD, Dang FH, Xu JF, Yu K, Zhao XJ, 2015. Analysis of spatial relations of *Dialeurodes citri* and its principal natural enemies. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 23(4): 454–464. [王建盼, 覃盛, 刘飞飞, 柯胜兵, 周夏芝, 毕守东, 邹运鼎, 党凤花, 徐劲峰, 禹坤, 赵学娟, 2015. 柑橘粉虱与主要捕食性天敌之间的空间关系研究. 中国生态农业学报, 23(4): 454–464.]

Zhang HG, Tan JC, 2004. Chinese Tea Tree Pests and Their Pollution-Free Treatment. Hefei: Anhui Science and Technology Press. 271–274. [张汉鹄, 谭济才, 2004. 中国茶树害虫及其无公害治理. 合肥: 安徽科学技术出版社. 271–274.]

Zou YD, Wang HF, 1989. Agroforestry Insect Ecology. Hefei: Anhui Science and Technology Press. 152–157. [邹运鼎, 王弘法, 1989. 农林昆虫生态学. 合肥: 安徽科学技术出版社. 152–157.]