

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2012.02.004

红棕象甲幼虫空间格局研究

陈顺立^{1*}, 童文钢², 张飞萍¹, 林富贵¹

¹福建农林大学林学院, 福建 福州 350002; ²连城县林业局, 福建 连城 366200

摘要:【背景】红棕象甲是外来危险性有害生物,近十年来在我国南方严重危害棕榈科植物。【方法】为了确定其调查抽样方法、准确获得虫情,应用聚集度指标法和回归模型分析法等,对红棕象甲幼虫的空间格局进行了研究。【结果】在 Iwao 模型中, $\alpha=0.4208>0$, $\beta=1.5133>1$, 这说明了红棕象甲幼虫的种群空间格局的分布图式为聚集型;用马占山重新解释的 Taylor 幂法则分析表明,红棕象甲幼虫的空间格局归属于聚集型,个体之间相互吸引。【结论与意义】红棕象甲幼虫在林内呈聚集型分布,分布的基本成分为个体群;运用 Iwao 法确定了林间最适理论抽样数和序贯抽样模型,为该虫的监测与防治提供了依据。
关键词: 红棕象甲; 幼虫; 空间格局; 序贯抽样; Iwao 模型; Taylor 幂法

The spatial distribution pattern of *Rhynchophorus ferrugineus* larvae

Shun-li CHEN^{1*}, Wen-gang TONG², Fei-ping ZHANG¹, Fu-gui LIN¹

¹College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China;

²Forestry Bureau of Liancheng, Liancheng, Fujian 366200, China

Abstract: 【Background】*Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) is an alien and dangerous insect pest, which had been attacking various palmaceous plants and had led to a vast loss in southern China in the past ten years. 【Method】This paper deals with the spatial pattern and relevant parameters in the larval population of *R. ferrugineus* by means of field investigations, aggregation index and regression analysis methods. 【Result】In the Iwao's model, the parameters $\alpha=0.4208>0$, and $\beta=1.5133>1$, indicated that *R. ferrugineus* larvae showed an aggregated distribution pattern in the field. Taylor power law analysis indicated that the larvae spatial pattern was aggregated, due to mutual attraction among individuals. 【Conclusion and significance】*R. ferrugineus* larvae are highly aggregated in the field in China, which requires an optimal sampling and sequential sampling model for field investigations.

Key words: *Rhynchophorus ferrugineus*; larvae; spatial distribution pattern; sequential sampling; Iwao's index; Taylor's power law

空间格局是昆虫种群的重要属性之一,由物种的生物学特性和生境条件所决定,反映了种群栖息生境的行为习性和环境同质性或异质性的迭加影响,也是反映种群有效占有资源的一个重要生态特征。空间格局分析是研究种群特征、种群间相互作用以及种群与环境关系的重要手段;不同的格局类型可以反映种群利用环境资源的状况,揭示种群生殖生物学内涵,也是生态研究的热点之一。通过对昆虫种群空间格局的研究,了解种群的空间分布状况,为确定抽样技术、抽样数量、预测预报以及综合防治等提供依据(王玲萍等,2002; Iwao, 1972; Taylor, 1978)。

红棕象甲 *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier), 属鞘翅目 Coleoptera 象甲科 Curculionidae,是世界性的重要林业检疫性有害生物。目前,该虫已分布于我国的海南、广西、广东、福建、云南、上海、西藏(墨脱)和台湾等地区(刘奎等,2002; 覃伟权等, 2002; 叶军等,2006; Vidyasagar *et al.*, 2000)。自 2003 年传入福建以来,红棕象甲在我省莆田、厦门、福州、漳州等市严重危害加拿利海枣 *Phoenix canariensis* Hort ex Chabaud 等棕榈科植物,其中莆田湄洲岛及忠门镇的受害株率达 87% 以上,导致大量植株死亡。2009 年,笔者调查了莆田市该虫的发生危害情况,并对其幼虫的空间格局进行了研究。

收稿日期(Received): 2012-03-07 接受日期(Accepted): 2012-04-18

基金项目: 福建省发改委重点资助项目(闽发改投资 2006[985])

作者简介: 陈顺立,男,教授,博士生导师。研究方向: 森林害虫综合治理与检疫

* 通讯作者(Author for correspondence), E-mail: csfjau@126.com

1 材料与方法

1.1 样地设置与调查方法

1.1.1 调查地基本情况 调查样地设在莆田市湄洲湾和忠门镇,位于东经 118°36'5.2",北纬25°40'4.8",地处福建沿海中部。属亚热带海洋性季风气候,雨量充沛,光热充足,常年温和湿润,年平均气温 20.2 ℃,年降水量 1300 mm,无霜期 359 d,常年多东南风;土壤以轻度和中度水力侵蚀为主,属水力侵蚀一级类型区中的南方红壤丘陵区。

1.1.2 调查方法 于 2009 年 4 月上旬~5 月中旬在红棕象甲幼虫危害盛期,选取莆田湄洲湾、忠门镇分布区具有代表性的加拿利海枣样地 10 块,每块样地面积约 0.2 hm²,株行距 2.5~3.0 m,在每块样地抽取 50 株 5~6 年生加拿利海枣,采用直接观察法,调查、统计每株加拿利海枣的幼虫数量(死亡及濒死植株剖开调查,其他植株蛀孔开口调查)。

1.2 测定方法

1.2.1 频次分布法 将调查资料列成次数分配表,依次按 Poisson 分布、Neyman 分布(采用 A 型, $n=0$)、负二项分布(K 值用矩法确定)理论公式计算,并将实测频数与理论频数进行卡方检验,只有当卡方值的概率大于 5% ($P<0.05$),才能定为符合某种分布。

1.2.2 聚集度指标测定 扩散系数 C ,David-Moore

丛生指标 I ,负二项分布指标 K ,Cassie-Kuno 指标 C_A , Lloyd 平均拥挤度指标 M^* ,聚集性指标 $C^*=M^*/M$, Morisita 扩散型指数 $I_\delta=n\sum x_i(x_i-1)/N(N-1)$ (王玲萍等,2002)。

1.2.3 回归分析法 Iwao (1972) 的“ M^*-M ”模型: $M^*=\alpha+\beta M$;徐汝梅(1984)“ M^*-M ”模型的改进型: $M^*=\alpha+\beta M+\gamma M^2$;Taylor (1978) 的幂法则即 $V=aM^b$ 可转换为 $\log V=\log a+b\log M$;马占山(1989)的 M^*-M 幂法则模型: $M^*=aM^b$;兰星平(1996a)的 $La-M$ 模型(设 $La=M-M/V+1$,建立 $La=\theta+\eta M$ 模型);兰星平(1995)的 $L'-V$ 模型(设 $L'=V+V/M$,建立 $L'=a+bV$ 模型);兰星平(1996b)的 $C'-M$ 模型(设 $C'=M+M/V$,建立 $C=a+bM$ 模型)。

2 结果与分析

2.1 红棕象甲幼虫危害程度

从莆田市湄洲湾和忠门镇红棕象甲幼虫的危害情况看出,加拿利海枣的被害株率高达 87.4%。其中,每株有幼虫 1~8 头的占 70.8%,每株 8 头以上幼虫的被害株较少。在 10 块样地中,幼虫平均密度最高的是样地 10,达到 6.46 头·株⁻¹,样地 9 次之,为 5.90 头·株⁻¹,样地 5 最低,仅有 3.68 头·株⁻¹(表 1)。这说明在莆田市湄洲湾和忠门镇加拿利海枣受害较严重。

表 1 红棕象甲幼虫的危害情况调查

Table 1 The hazard investigation of the larvae of *R. ferrugineus*

样地号 Plot no.	虫口数(头) Population number	虫口密度 (头·株 ⁻¹) Population density	样地号 Plot no.	虫口数(头) Population number	虫口密度 (头·株 ⁻¹) Population density	样地号 Plot no.	虫口数(头) Population number	虫口密度 (头·株 ⁻¹) Population density
1	207	4.14	5	184	3.68	9	295	5.90
2	186	3.72	6	230	4.60	10	323	6.46
3	242	4.84	7	201	4.02	合计 Total	2282	
4	219	4.38	8	195	3.90	平均值 Average		4.56

2.2 红棕象甲幼虫空间格局

2.2.1 比较频次法检验 将调查资料的实测频次分布与 Poisson 分布、负二项分布、Neyman A 型分布的理论频次分别进行卡方检验(表 2)。由表 2 可知,所调查的 10 块样地中红棕象甲幼虫的空间格局均符合负二项分布。

2.2.2 聚集度指标测定结果 红棕象甲幼虫空间格局的聚集度指标测定结果见表 3。从表 3 可知,各样地的 M^* 均大于 M , C 、 C^* 、 I_δ 均大于 1, I 、 C_A 均大于 0, K 均小于 8;根据各项聚集度指标判定标准,幼虫在各样地的空间格局均呈聚集型分布状态。

表 2 红棕象甲幼虫空间格局比较频次卡方检验

Table 2 The spatial distribution pattern of the *R. ferrugineus* larvae by the frequency Chi-square test

虫口数(头) Population number (<i>x</i>)	实际次数 Practical observation times (<i>f</i>)	实际观测频率 Practical observation frequency (<i>f'</i>)	<i>f_c</i>			<i>x</i> ² = (<i>f</i> - <i>f_c</i>) ² / <i>f_c</i>		
			泊松分布 Poisson distribution	奈曼分布 Neyman distribution	负二项分布 Negative binomial distribution	泊松分布 Poisson distribution	奈曼分布 Neyman distribution	负二项分布 Negative binomial distribution
0	63	0.126	5.2101	115.3450	63.8191	640.9929	23.7548	0.0105
1	70	0.140	23.7791	27.5890	69.9991	89.8423	65.1958	0.0000
2	69	0.138	54.2639	43.9755	64.9772	4.0018	14.2403	0.2491
3	57	0.114	82.5535	49.9728	56.6642	7.9098	0.9882	0.0020
4	51	0.102	94.1936	47.3870	47.8227	19.8069	0.2755	0.2111
5	38	0.076	85.9799	41.4825	39.5546	26.7745	0.2924	0.0611
6	28	0.056	65.4020	35.3823	32.2714	21.3894	1.5403	0.5654
7	22	0.044	42.6421	29.8074	26.0702	9.9924	2.0450	0.6355
8	19	0.038	24.3273	24.6850	20.9036	1.1666	1.3093	0.1734
9	9	0.018	12.3367	20.0087	16.6631	0.9025	6.0569	3.5241
10	15	0.030		15.8840	13.2204	0.0492	0.2396	
11	14	0.028	9.3117	12.3870	10.4484	67.8984	0.2100	1.2072
12	9	0.018		9.5145	8.2310	0.0278	0.0718	
13	9	0.018		7.2093	6.4664	0.4448	0.9927	
14	8	0.016		5.3932	5.0681	1.2600	1.6962	
15	5	0.010		6.8988		2.4381		
16	6	0.012			5.5074		5.4779	
17	5	0.010		7.0779	7.3018	2.1734	0.9971	
18	1	0.002			5.0114		3.2109	
19	1	0.002				<i>k</i> = 1669.6725	<i>k</i> = 122.3238	<i>k</i> = 19.1353
20	1	0.002				<i>p</i> = 0.0001	<i>p</i> = 0.0001	<i>p</i> = 0.2617
Σ	500	1	500	499.99	500	1669.672	122.324	19.136
概率 Probability						0.0001	0.0001	0.2617
<i>X</i> _{0.01} ²						23.209	30.578	32
适合度 Fit level						不适合 Unfit	不适合 Unfit	适合 Fit

表 3 红棕象甲幼虫的聚集度指标

Table 3 The aggregation indices of the *R. ferrugineus* larvae

样地号 Plot no.	<i>M</i>	<i>C</i>	<i>I</i>	<i>K</i>	<i>I</i> _δ	<i>M</i> [*]	<i>C</i> [*]	<i>C_A</i>	空间格局 Spatial distribution pattern
1	4.14	2.20	1.20	3.45	16.39	5.34	1.29	0.29	聚集分布 Aggregation distribution
2	3.72	2.14	1.14	3.26	11.88	4.86	1.31	0.31	聚集分布 Aggregation distribution
3	4.84	3.95	2.95	1.64	32.82	7.79	1.61	0.61	聚集分布 Aggregation distribution
4	4.38	3.46	2.46	1.78	24.51	6.84	1.56	0.56	聚集分布 Aggregation distribution
5	3.68	4.42	3.42	1.08	19.88	7.10	1.93	0.93	聚集分布 Aggregation distribution
6	4.6	3.14	2.14	2.15	25.84	6.74	1.47	0.47	聚集分布 Aggregation distribution
7	4.02	4.08	3.08	1.31	22.67	7.10	1.77	0.77	聚集分布 Aggregation distribution
8	3.9	4.74	3.74	1.04	23.82	7.64	1.96	0.96	聚集分布 Aggregation distribution
9	5.9	4.53	3.53	1.67	52.02	9.43	1.60	0.60	聚集分布 Aggregation distribution
10	6.46	4.99	3.99	1.62	64.59	10.45	1.62	0.62	聚集分布 Aggregation distribution

2.2.3 回归分析法 红棕象甲幼虫空间格局的回归模型群见表 4。从表 4 可知,在 Iwao 模型 $M^* = \alpha + \beta M$ 中, $\alpha = 0.4208 > 0, \beta = 1.5133 > 1$,这说明红棕象甲幼虫种群空间格局的分布图式为聚集型。 $M^* - M$ 模型的改进型: $M^* = \alpha + \beta M + \gamma M^2$ 中, $\alpha = 9.0801 > 0$ 为个体间相互吸引,分布的基本成分

为个体群; $\beta = -2.0713 < 1$,表明红棕象甲幼虫在加拿利海枣中呈群体性的聚集分布; $\gamma = 0.3562 \rightarrow 0$ 表明红棕象甲基本成分分布的相对聚集度随种群密度变化的速率不显著,且随种群密度的增大逐步减小,说明该改进型可以替代原 Iwao 模型。在 Taylor 幂法则 $V = aM^b$ 中, $a = 1.2605 > 1, b = 1.7033 > 1$,

说明幼虫的分布在一切密度下都呈聚集分布状态,但聚集强度随种群密度的升高而增大。在兰星平(1995、1996a、1996b)提出的3个模型中, $La = \theta + \eta M$ 模型($\theta = 0.505 > 0, \eta = 1.0452 > 1$)、 $L' = a + bv$ 模型($a = 1.7148 > 1, b = 1.1165 > 1$)、 $C = a + bM$ 模型($a = 0.495 < 1, b = 0.9548 < 1$)都反映红棕象甲呈

聚集分布状态,相关系数 $R \rightarrow 1$ 表明各模型的变量之间存在极显著的相关性。从表4还可以看出,以上7个模型的相关系数 R 均较高,表明7个模型都是有效的,分别从不同角度说明红棕象甲幼虫呈聚集分布。

表4 红棕象甲幼虫的聚集度指标回归模型
Table 4 The aggregation index regression model of the *R. ferrugineus* larvae

模型名称 Model name	模型 Model	<i>R</i>	空间格局 Spatial distribution pattern
Iwao	$M^* = 1.5133M + 0.4208$	0.8477	聚集分布 Aggregation distribution
徐汝梅(Ru-mei XU)	$M^* = 0.3562M^2 - 2.0713M + 9.0801$	0.8607	聚集分布 Aggregation distribution
Taylor	$V = 1.2605M^{1.7033}$	0.7652	聚集分布 Aggregation distribution
马占山(Zhan-shan MA)	$M^* = 1.738M^{0.943}$	0.7854	聚集分布 Aggregation distribution
兰星平(Xing-ping LAN)	$La = 1.0452M + 0.505$	0.9960	聚集分布 Aggregation distribution
兰星平(Xing-ping LAN)	$L' = 1.1165V + 1.7148$	0.9978	聚集分布 Aggregation distribution
兰星平(Xing-ping LAN)	$C' = 0.9548M + 0.495$	0.9952	聚集分布 Aggregation distribution

2.3 空间格局在实践中的应用

2.3.1 最适抽样数的确定 根据 Iwao 模型,只要明确了 $M^* = \alpha + \beta M$ 线性回归模型中的参数 α 与 β , 就可根据种群的平均虫口密度 M 和允许误差 D 来确定合理的理论抽样数。该抽样公式为 $N = t^2[(\alpha + 1)/M + \beta - 1]/D^2$ 。式中, N 为最适抽样数; t 为置信程度, 通常取 1; D 为允许误差; M 为平均虫口密度; α 、 β 为参数。根据已知 α 、 β 值(表4), 可求得红棕象甲幼虫在各种密度下的林间最适抽样数(表5)。从表5可知, 在同一允许误差条件下, 抽样数随平均虫口密度的增大而减少; 在相

同虫口密度下, 抽样数随允许误差的增大而减少。
2.3.2 序贯抽样 根据 Iwao 方法, 当确定临界防治指标 m_0 , 按序贯抽样公式计算不同调查株数时, 可得到累计幼虫数的上下限(表6)。公式为 $T(n) = nm_0 \pm t[n(\alpha + 1)m_0 + (\beta - 1)m_0^2]^{1/2}$ 。 $T(n)$ 为不同调查株数时累积虫数的上下限, n 为调查株数, 取 $t = 1$ 。从表6可以看出, 当 $m_0 = 3$ 头·株⁻¹时, 调查5株加拿利海枣的累积幼虫数若超过20头, 则需要进行治疗; 若不到10头则不需防治。若累积幼虫数在上下限之间, 则继续往下取样, 直到累积幼虫数大于上限或小于下限为止。

表5 红棕象甲幼虫林间调查的最适抽样数(株)
Table 5 The optimal sampling number of the *R. ferrugineus* larvae in field survey (plant)

虫口密度 (头·株 ⁻¹) Population density	<i>D</i> = 0.1	<i>D</i> = 0.2	虫口密度 (头·株 ⁻¹) Population density	<i>D</i> = 0.1	<i>D</i> = 0.2	虫口密度 (头·株 ⁻¹) Population density	<i>D</i> = 0.1	<i>D</i> = 0.2
1	183	48	15	61	15	30	56	14
5	80	20	20	58	15	35	55	14
10	66	16	25	57	14	40	55	14

表6 红棕象甲幼虫序贯抽样分析表
Table 6 The analysis table of the sequential sampling regime for *R. ferrugineus* larvae under field conditions

调查株数 Investigation number (plant)	$m_0 = 3$ (头·株 ⁻¹)		调查株数 Investigation number (plant)	$m_0 = 3$ (头·株 ⁻¹)		调查株数 Investigation number (plant)	$m_0 = 3$ (头·株 ⁻¹)	
	上限(头) Upper limit	下限(头) Lower limit		上限(头) Upper limit	下限(头) Lower limit		上限(头) Upper limit	下限(头) Lower limit
5	20	10	40	133	107	75	243	207
10	37	23	45	149	121	80	259	221
15	53	37	50	165	135	85	274	235
20	69	51	55	181	150	90	290	250
25	86	64	60	196	164	95	305	265
30	102	78	65	212	178	100	321	279
35	117	93	70	227	193			

3 结论与讨论

从所调查的 10 块样地中加拿利海枣受害情况看,成片或零星种植的加拿利海枣都受虫害,但长势良好的植株受害程度轻于长势弱的植株。通过解剖受害严重的植株,发现加拿利海枣树的茎秆已被红棕象甲蛀空。幼虫平均密度最高的是样地 10,达到 $6.46 \text{ 头} \cdot \text{株}^{-1}$,样地 9 次之,为 $5.90 \text{ 头} \cdot \text{株}^{-1}$,最少的是样地 5,也有 $3.68 \text{ 头} \cdot \text{株}^{-1}$,这说明红棕象甲在莆田湄洲湾、忠门镇危害较为严重。

应用频次法检验表明,各样地红棕象甲幼虫的空间格局均符合负二项分布。聚集度指标测定结果表明,红棕象甲幼虫为聚集分布;多种回归分析模型所得结果也进一步说明红棕象甲幼虫种群空间格局的分布图式为聚集型,所得的 7 个回归模型的相关系数 $R > 0.76$,均较高,尤其是兰星平提出的 3 个模型,其相关系数 $R > 0.99$,说明具有显著的相关性(兰星平,1995、1996a、1996b)。

通过研究提出的红棕象甲幼虫林间调查最适取样数,可以提高林间虫情调查的精度,为该虫的监测预警和疫情调查提供依据,具有重要的应用价值;提出的序贯抽样分析表对该虫的综合控制也具有重要的参考价值。

参考文献

兰星平. 1992. M^*/V 指标在判断昆虫种群空间分布型中的应用. 林业科学, 28(4): 386–388.

- 兰星平. 1995. $L'-V$ 模型在检验昆虫种群空间分布型中的应用. 动物学研究, 16(3): 281–288.
- 兰星平. 1996a. $La-M$ 模型在检验昆虫种群空间分布型与抽样调查中的应用. 林业科学研究, 9(1): 41–46.
- 兰星平. 1996b. $C'-M$ 回归模型在确定昆虫种群空间分布型中的应用. 南京林业大学学报, 20(2): 59–64.
- 刘奎, 彭正强, 符悦冠. 2002. 红棕象甲研究进展. 热带农业科学, (2): 21–28.
- 马占山. 1989. M^*-M 幂法则在昆虫种群抽样技术研究中的应用. 北京林业大学学报, 11(2): 92–95.
- 覃伟权, 赵辉, 韩超文. 2002. 红棕象甲在海南发生为害规律及其防治. 云南热作科技, (4): 51–57.
- 王玲萍, 陈顺立, 武福华, 汤陈生, 谢毅璇. 2002. 松墨天牛幼虫空间格局的研究. 福建林学院学报, 22(1): 78–81.
- 徐汝梅, 刘来福, 丁岩钦. 1984. 改进的 $Iwao M^*-M$ 模型. 生态学报, 4(2): 111–117.
- 叶军, 周国梁, 印丽萍. 2006. 红棕象甲在上海地区适生性分析. 植物检疫, (1): 71–87.
- Iwao S. 1972. Application of the M^*-M method to analysis of spatial pattern by changing the Ouadra size. *Researches on Population Ecology*, 14: 97–128.
- Taylor L R, Woiwod I P and Perry J N. 1978. The density-dependence of spatial behavior and the rarity of randomness. *Journal of Animal Ecology*, 47: 383–406.
- Vidyasagar P S P V, Saihati A A and Mo-hanna O E. 2000. Management of redpalm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier, a serious pest of datepalmlinal Qatif, Kingdom of Saudi Arabia. *Journal of Plantation Crops*, 28: 35–43.

(责任编辑:彭露)