

松实小卷蛾幼虫空间分布型及抽样方法

袁荣兰 汤 才* 余其龙

(浙江林学院, 临安 311300) (浙江省华顶山林场)

摘 要 采用频次分布法和分布型指数法, 测定了松实小卷蛾幼虫的空间分布型, 并进行了序贯抽样分析以及平行线法、对角线法和棋盘式法 3 种不同抽样方法的可靠性比较。结果表明: 在黄山松幼林中, 松实小卷蛾幼虫空间分布型为一般的负二项分布。3 种抽样方法均可行, 其中以棋盘式法为最佳, 对角线法较差。

关键词 松实小卷蛾; 生态分布; 抽样

中图分类号 S763.42

昆虫的空间分布型是昆虫种群的生物学特性对其环境条件适应或选择的结果。它揭示种群个体某一时刻的行为习性和诸环境因子迭加的影响, 种选择环境的内禀特性以及空间结构的内禀特性和异质性程度。研究昆虫种群的空间分布型, 对于估计种群密度的抽样调查, 确定试验数据的统计分析方法, 考察林木受害形成过程, 确定必需的防治密度和取样方法都是不可缺少的。松实小卷蛾(*Petrova cristata*)幼虫系黄山松(*Pinus taiwanensis*)新梢和球果的主要害虫之一, 危害极大。测定其空间分布型无论在理论上还是在生产实践中都有重要意义。

1 调查时间及方法

1.1 调查时间

于1991~1993年每年的5月份进行, 共调查3次。

1.2 调查方法

选取4个不同坡向的坡面, 根据所在小区的定位图, 逐株调查记录松实小卷蛾幼虫数量。然后在记录纸上按上、中、下3个坡位共设12块标准地。每块标准地内有黄山松60~80株, 逐块统计松实小卷蛾幼虫的分布频次。在此基础上再分别采用平行线、对角线和棋盘式3种不同的取样方法, 在每个坡面上分别调查60~71株标准树, 记录每株树上松实小卷蛾幼虫的数量, 进行统计分析^[1]。

2 分布型的确定

2.1 频次分布法

收稿日期: 1995-11-28

* 现在华南农业大学昆虫生态研究室工作

根据实际调查的各标准株的虫数和频次,按各分布型的理论概率分布通式,分别计算出理论概率和理论频次,最后以 χ^2 检验理论频次与实测频次的吻合程度,以此来确定所属的分布型^[2]。

2.1.1 负二项分布

$$\text{概率分布通式: } P_{(x)} = \frac{(k+x-1)!}{x!(k-1)!} q^{-k} p^x$$

$$\text{理论频次: } f'_{(x)} = NP_{(x)} = N \frac{(k+x-1)!}{x!(k-1)!} q^{-k} p^x$$

其中: $P = \frac{s^2}{\bar{x}} - 1$, $q = P + 1$, x 为计算项数, N 为总株数, $f'_{(0)} = NP_{(0)} = Nq^{-k}$ 。

2.1.2 核心分布

$$\text{概率分布通式: } P_{(k)} = \frac{m_1 m_2 e^{-m_1}}{k!} \sum_{r=0}^{k-1} \frac{m_2}{r!} P_{(k-r-1)} \quad (k > 0, r \leq k-1)$$

$$\text{理论频次: } f'_{(k)} = NP_{(k)} = N \frac{m_1 m_2 e^{-m_1}}{k!} \sum_{r=0}^{k-1} \frac{m_2}{r!} P_{(k-r-1)}$$

其中: $m_1 = \frac{\bar{x}^2}{s^2 - \bar{x}} = \frac{\bar{x}}{m_2}$, $m_2 = \frac{s^2}{\bar{x}} - 1$, k 为各样方内虫数, r 为“ Σ ”内计算项数。

2.1.3 泊松分布

$$\text{概率分布通式: } P_{(k)} = \frac{m^k}{k!} e^{-m} \quad (m > 0, k = 0, 1, 2, \dots)$$

其中 m 用样本均值估计。

$$\text{理论频次: } f'_{(k)} = NP_{(k)} = N \frac{m^k}{k!} e^{-m}$$

2.2 分布型指数法

2.2.1 扩散型指数 C

$$C = \frac{s^2}{\bar{x}}$$

其中: s^2 为方差, $\bar{x}$ 为平均密度。当 $C > 1$, 聚集分布; $C = 1$, 随机分布; $C < 1$, 均匀分布。

2.2.2 David and Moore 的聚集度指标 I

$$I = \frac{s^2}{\bar{x}} - 1 = C - 1$$

当 $I = 0$, 随机分布; $I > 0$, 聚集分布; $I < 0$, 均匀分布。

2.2.3 Cassie R M 的 C_A 指标

$$C_A = \frac{s^2 - \bar{x}}{\bar{x}^2}$$

$C_A = 0$, 随机分布; $C_A > 0$, 聚集分布; $C_A < 0$, 均匀分布。

2.2.4 Liloyd M 的平均拥挤度与平均密度比值 $x^*/\bar{x}$

$$x^* = \bar{x} + \left(\frac{s^2}{\bar{x}} - 1 \right)$$

$\frac{x^*}{\bar{x}} = 1$, 随机分布; $\frac{x^*}{\bar{x}} > 1$, 聚集分布; $\frac{x^*}{\bar{x}} < 1$, 均匀分布。

2.2.5 种群聚集均数(λ)测定

$$\lambda = \frac{\bar{x}}{2k} r$$

其中: r 为自由度为 $2k$ 的 $\chi^2_{0.5}$ 值, $k \approx$ 负二项分布参数。当 $\lambda > 2$ 时, 聚集原因是由某些环境因子引起的; 当 $\lambda \geq 2$ 时, 聚集原因是由于昆虫本身行为或环境条件引起。

2.2.6 $L^*/(1+\bar{x})$ 指标

$$L^* = 1 + \bar{x} + \frac{\bar{x}}{k}$$

其中: k 为负二项分布参数; $L^*/(1+\bar{x}) = 1$, 随机分布; $L^*/(1+\bar{x}) > 1$, 聚集分布; $L^*/(1+\bar{x}) < 1$, 均匀分布。

2.2.7 森下证明(1957)的扩散指标法 I_d

$$I_d = \frac{s^2 - \bar{x} + \bar{x}^2}{\bar{x}^2} \cdot \frac{N}{N-1} = \frac{N}{N-1} \cdot \frac{x^*}{\bar{x}}$$

其中: N 为样本数。 $I_d = 1$, 随机分布; $I_d > 1$, 聚集分布; $I_d < 1$, 均匀分布。

2.2.8 Iwao 的平均拥挤度 x^* 与平均密度的回归关系

$$x^* = d - \beta \bar{x}$$

α 说明分布的基本成分。当 $\alpha = 0$ 时, 分布的基本成分是个体群; 当 $\alpha < 0$ 时, 个体间相互排斥。 β 说明基本成分的空间分布型。 $\beta = 1$, 随机分布; $\beta > 1$, 聚集分布; $\beta < 1$, 均匀分布。 α 与 β 的不同组合也可提供不同分布型的信息。当 $\alpha > 0$, $\beta = 1$ 时, 属于奈曼-A 型, 即泊松正二项分布; 当 $\alpha > 0$, $\beta > 1$ 时, 属于一般的负二项分布, 无固定的数学模型; 当 $\alpha = 0$, $\beta > 1$ 时, 属于负二项分布型, 具有公共 k 值; 当 $\alpha = 0$, $\beta = 0$ 时, 种群呈随机分布^[2]。

3 不同取样方法的可靠性比较

根据调查资料, 分别统计总体平均数 U 和各样本平均数 $\bar{x}_i$, 并进行 t 检验, 计算偏差率, 分析不同方法的可靠性^[2]。

$$t = \frac{|\bar{x}_i - u|}{s_{\bar{x}}}, \quad s_{\bar{x}} = \frac{s}{n-1}$$

$$\text{取样偏差率}(\%) = \frac{\text{取样平均数} - \text{总体平均数}}{\text{总体平均数}} \times 100\%$$

4 结果及分析

4.1 分布型的确定

4.1.1 频次分布法 根据计算结果(表1), 12块标准地中, 有5块同时符合核心分布和负二项分布, 有6块仅符合负二项分布, 有1块3种分布均不符合。对全林进行分析的结果表明仅符合负二项分布。

表1 幼虫分布调查与测验

Table 1 Investigations and examinations on *P. cristata* larvae

标准地号	调查株数 /株	平均虫口 /头·株 ⁻¹	泊松分布		负二项分布		核心分布		显著水平
			x^2	符合情况	x^2	符合情况	x^2	符合情况	
1	64	1.812 5	44.64	极不符合	4.94	符合	0.30	符合	$d_f=2, \chi^2_{0.05}=5.99$
2	63	2.793 7	21.16	极不符合	1.43	符合	12.19	极不符合	$\chi^2_{0.01}=9.21$
3	64	1.781 3	27.56	极不符合	1.83	符合	11.63	极不符合	$d_f=3, \chi^2_{0.05}=7.82$
4	62	2.161 3	41.14	极不符合	2.87	符合	1.82	符合	$\chi^2_{0.01}=11.34$
5	62	2.177 4	60.32	极不符合	1.47	符合	21.68	极不符合	$d_f=1, \chi^2_{0.05}=3.84$
6	63	2.444 0	76.07	极不符合	0.95	符合	5.13	符合	$\chi^2_{0.01}=6.64$
7	61	1.802 0	43.42	极不符合	21.87	极不符合	9.22	不符合	$d_f=4, \chi^2_{0.05}=9.49$
8	60	1.216 7	62.47	极不符合	0.94	符合	3.20	符合	$\chi^2_{0.01}=13.28$
9	61	0.672 1	10.39	极不符合	1.92	符合	0.30	符合	$d_f=8, \chi^2_{0.05}=15.51$
10	77	0.870 1	10.25	极不符合	2.03	符合	11.95	极不符合	$\chi^2_{0.01}=20.09$
11	80	0.762 5	19.21	极不符合	2.58	符合	0.06	符合	
12	75	0.906 7	19.43	极不符合	2.78	符合	3.66	符合	
全 林	792	1.521 5	678.08	极不符合	11.81	符合	383.68	极不符合	

4.1.2 分布型指数法 由表2得知, $\frac{x^*}{\bar{x}} > 1$ 、 $C > 1$ 、 $I > 0$ 、 $C_A > 0$ 、 $\frac{L^*}{1+\bar{x}} > 1$ 、 $I_d > 1$, 所以根据

各指数判断, 松实小卷蛾幼虫属于聚集分布。根据种群聚集均数 λ 判断, 有1块标准地的 $\lambda > 2$, 其聚集原因可能由昆虫行为或环境条件引起。其余11块标准地及全林的 $\lambda < 2$, 说明其聚集原因可能是由于某些环境因子引起的。根据 Iwao 的回归方程 $x^* = \alpha + \beta x$ 得 x^* 与 x 的关系式为: $x^* = 2.0845 + 1.5067x$ 。这里 $\alpha > 0$, 说明松实小卷蛾幼虫分布的基本成分是个体群; $\beta > 1$ 说明其空间分布型属于聚集分布。同时, 根据 α 与 β 联合提供的信息得知, 松实小卷蛾幼虫为一般的负二项分布, 无固定的数学模型。

原 Iwao $x^* - \bar{x}$ 模型用来描述线性关系, 而松实小卷蛾幼虫的 x^* 与 $\bar{x}$ 相关系数 $|r| = 0.45$, 即两者的线性关系较弱, 因此, 下面用改进了的 Iwao $x^* - \bar{x}$ 模型: $x^* = \alpha' + \beta' \bar{x} + m \bar{x}^2$ 。式中: α' 为每个基本成分中个体数分布的平均拥挤度, β' 为在低密度下基本成分分布数相对聚集度, m 为基本成分分布相对聚集度随种群而变化的速率。根据方程组:

$$\begin{cases} n\alpha + \beta \sum_{i=1}^{12} \bar{x}_i + m \sum_{i=1}^{12} \bar{x}_i^2 = \sum_{i=1}^{12} x_i^*, \\ \alpha \sum_{i=1}^{12} \bar{x}_i + \beta \sum_{i=1}^{12} \bar{x}_i^2 + m \sum_{i=1}^{12} \bar{x}_i^3 = \sum_{i=1}^{12} x_i^* \bar{x}_i, \\ \alpha \sum_{i=1}^{12} \bar{x}_i^2 + \beta \sum_{i=1}^{12} \bar{x}_i^3 + m \sum_{i=1}^{12} \bar{x}_i^4 = \sum_{i=1}^{12} x_i^* \bar{x}_i^2 \end{cases}$$

表 2 分布型各指数值
Table 2 Index of distribution patterns of *P. cristata* larvae

标准 地号	株数 <i>N</i>	平均密度 $\bar{x}$	平均拥挤 度 $\bar{x}^*$	$\frac{x^*}{\bar{x}}$	<i>C</i>	<i>I</i>	<i>K</i>	<i>C_d</i>	<i>r</i>	λ	<i>I₀</i>	$\frac{L^*}{1+\bar{x}}$	$\frac{x^* - \bar{x}}{a}$ 回归	方 差	
1	64	1.8125	3.6828	2.0319	2.8706	1.8703	0.9691	1.0319	1.328	1.2423	2.0642	1.6650	2.0845	1.5026	5.2024
2	63	2.7937	5.1556	1.8454	3.3619	2.3619	1.1828	0.8454	1.744	2.0599	1.8752	1.6226			9.3922
3	64	1.7813	3.9065	2.1942	3.1272	2.1272	0.8374	1.1942	1.083	1.1521	2.2290	1.7648			5.5704
4	62	2.1613	3.8645	1.7880	2.7032	1.7032	1.2619	0.7880	1.912	1.6293	1.8174	1.5388			5.8424
5	62	2.1774	8.0818	3.7117	6.9044	5.9044	0.3688	2.7117	0.455	1.3432	3.7725	2.8582			15.0336
6	63	2.4440	6.1263	2.5063	4.6819	3.6819	0.6639	1.5036	0.760	1.3994	2.5467	2.0689			11.4444
7	61	1.8020	4.0446	2.2445	3.2426	2.2426	0.8035	1.2445	1.020	1.1439	2.2819	2.2427			5.8432
8	60	1.2167	9.1904	7.5536	8.9737	7.9737	0.1526	6.5536	0.455	1.8140	7.6816	4.5968			10.9184
9	61	0.6721	1.5925	2.3695	1.9204	0.9204	0.7302	1.3695	0.884	0.4067	2.4609	1.5505			1.2907
10	77	0.8701	2.5422	2.9218	2.6721	1.6721	0.5204	1.9218	0.493	0.4121	2.9602	1.8941			2.3250
11	80	0.7625	1.9951	2.6166	2.2326	1.2326	0.6186	1.6166	0.676	0.4165	2.6497	2.9951			1.7024
12	75	0.9067	2.8036	3.0917	2.8966	1.8966	0.4781	2.0917	0.455	0.4315	3.1335	1.9946			2.6263
金林	792	1.5215	4.8486	3.1867	4.2371	3.3271	0.4573	2.1867	0.455	0.7569	3.1907	2.1395			6.5863

即:

$$\begin{cases} 12.000\ 0\ \alpha' + 19.400\ 7\ \beta' + 36.990\ 2\ m = 52.9879 \\ 19.400\ 7\ \alpha' + 36.990\ 2\ \beta' + 78.238\ 9\ m = 94.781\ 2 \\ 36.990\ 2\ \alpha' + 78.238\ 9\ \beta' + 176.301\ 3\ m = 190.559\ 6 \end{cases}$$

得: $\alpha' = -1.379\ 5$, $\beta' = 6.315\ 8$, $m = 1.432\ 5$ 。因此, 改进的 Iwao $x^* - \bar{x}$ 模型 关系为: $x^* = -1.379\ 5 + 6.318\ 5\ \bar{x} - 1.432\ 5\ \bar{x}^2$ 。

为了比较, 这里还引用了再次改进的 Iwao $x^* - \bar{x}$ 模型: $x^* = a + b\bar{x} + c\bar{x}^2 + d\bar{x}^3$ 。得 $a = -19.656\ 1$, $b = 45.464\ 0$, $c = -25.648\ 5$, $d = 4.544\ 8$ 。得关系式:

$$x^*_3 = -19.656\ 1 + 45.464\ 0\ \bar{x} - 25.648\ 5\ \bar{x}^2 + 4.544\ 8\ \bar{x}^3$$

为比较原 Iwao 模型、改进的 Iwao 模型和再次改进的 Iwao 模型, 三者在配合实测数据后的吻合程度, 以下做了偏离度的比较。

三者的偏离度分别为: $B_1 = \sum_{i=1}^{12} (x^*_{1i} - x^*)^2 / 12 = 4.312\ 5$, $B_2 = \sum_{i=1}^{12} (x^*_{2i} - x^*)^2 / 12 = 3.526\ 5$, $B_3 = \sum_{i=1}^{12} (x^*_{3i} - x^*)^2 / 12 = 3.123\ 8$ 。式中的 x^* 为实测平均拥挤度, x^*_{1i} 、 x^*_{2i} 和 x^*_{3i} 分别为按原 Iwao 模型、改进的 Iwao 模型和再次改进的 Iwao 模型所求得平均拥挤度的值。

通过比较得出结果: 用再次改进的 Iwao 模型描述松实小卷蛾幼虫的 x^* 与 $\bar{x}$ 的关系, 其偏离度较原 Iwao 和改进的 Iwao 模型的偏离度要小。

4.2 不同抽样方法的可靠性比较

根据总体平均数和各组样本平均数, 计算的 t 值与取样偏差率, 结果见表 3。从表 3 可见, 3 种取样方法的 t 值均小于 $t_{0.05}$ 与 $t_{0.01}$, 所以 3 种取样方法均可采用, 但其中又以棋盘式法的 t 值为最小, 因此, 在实际应用中应采用棋盘式的取样方法为宜。

表 3 不同取样方法 t 检验和取样偏差率

Table 3 The t -tested and sampling deviations of different sampling methods

取样方法	调查株数	平均虫口	偏差率/%	t	显著水平
每木调查	792	1.521 5			
平行线法	269	1.509 3	-0.80	0.086 4	$t_{0.05} = 1.960\ 0$
对角线法	260	1.503 8	-1.16	0.119 8	
棋盘式法	244	1.532 8	0.74	0.074 6	$t_{0.01} = 2.575\ 8$

4.3 最佳抽样数的确定

根据 Iwao 的统计方法, 知道 $x^* - \bar{x}$ 的回归 α 和 β 值及平均密度 $\bar{x}$, 再给定允许误差 D , 根据公式 $N = \frac{1}{D^2} \left(\frac{\alpha+1}{\bar{x}} + \beta - 1 \right)$ 可以获得在各种密度下的最佳抽样数。现将松实小卷蛾幼虫的最佳抽样数计算结果列入表 4。这里 $\alpha = 2.084\ 5$, $\beta = 1.507\ 6$ 。

4.4 松实小卷蛾幼虫空间分布型在序贯抽样中的应用

根据 Iwao 的统计方法, 当临界密度为 x_c 时: 上界 $d_1 = nx_c + t\sqrt{n[(\alpha+1)x_c + (\beta-1)x_c]}$, 下界为 $d_2 = nx_c - t\sqrt{n[(\alpha+1) + (\beta-1)x_c]}$ 。式中的 α 、 β 为 Iwao 的 x^* 与 $\bar{x}$ 回归参数, t 为

表 4 松实小卷蛾幼虫在各种密度及允许误差下的最佳抽样数

Table 4 The optimal sampling numbers under confidence limits and difference densities of *P. cristata* larvae

DNX	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0
0.1	668	360	257	205	175	154	128	113	103
0.2	167	90	65	52	44	39	32	29	26
0.3	75	40	29	23	20	18	15	13	12

95%置信限, n 为抽样数。

考虑到松实小卷蛾幼虫的危害特点及结合该种子园内松实小卷蛾发生的实际情况, 暂确定临界防治密度为 $0.4 \text{ 头} \cdot \text{株}^{-1}$, 将 $x_c = 0.4$ 、 $\alpha = 2.0845$ 、 $\beta = 1.5076$ 、 $t_{0.05} = 1.96$ 代入上式, 得出不同抽样数的 d_0 和 d_1 值, 将其排列成序贯抽样调查表(表 5)。这是为了开展调查工作

表 5 松实小卷蛾幼虫负二项分布序贯抽样分析

Table 5 Sequential sampling analysis of negative binomial distribution on *P. cristata* larvae

项 目	20株	25株	30株	35株	40株	50株	60株	70株	80株	100株	150株	200株
上 界 d_1	18	22	25	28	31	36	42	47	52	63	88	112
下 界 d_0	0	0	0	1	2	4	6	9	12	17	32	48

而预先计算的, 在已调查的黄山松株数中, 如果松实小卷蛾的累积量为 d_m , 若当 $d_m \leq d_0$ 时则表明调查的实际株数已满足了负二项分布的抽样数, 而且, 林间的实际虫口密度未达到应防治水平, 可以不进行防治; 当 $d_m \geq d_1$ 时, 虫口密度达到了防治水平, 必须及时防治; 当 $d_0 < d_m < d_1$ 时, 这说明调查株数不足, 应该增加调查株数, 直达到最大取样数为止。最大取样数的计算为:

$$N_{max} = \frac{t^2}{d^2} [(\alpha + 1)x_c + (\beta - 1)x_c^2]。 \text{ 设 } d \text{ 为当 } x = x_c \text{ 时估计种群密度所允许的置信限。}$$

若置信限为 0.4 ± 0.05 , 置信率为 80% 时, 最大抽样数 N_{max} 为 865 株。

5 结论

5.1 应用频次分布法测定结果表明, 松实小卷蛾幼虫在黄山松幼林中属于负二项分布。

5.2 应用分布型指数法测定结果表明, 松实小卷蛾幼虫在黄山松幼林中属于聚集分布, 它的基本成分为个体群, 即为一般的负二项分布, 无固定的数学模型。

5.3 通过对不同取样方法的可靠性分析表明, 所采用的 3 种取样方法均可在实践中应用, 其中以棋盘式法为最佳, 因为 t 值最小 ($t = 0.0746$), 其次为平行线法 ($t = 0.0864$), 对角线法相对较差 ($t = 0.1198$)。

感谢 浙江省天台县林业局和华顶山林场予以大力支持。浙江林学院学生郭仕祥、徐时武、李修鹏和郑小君参加了部分工作。深表感谢。

参 考 文 献

- 1 李宽胜, 孙文杰, 李友民. 油松种实害虫防治技术研究. 西安: 陕西科学技术出版社, 1992. 107~127
- 2 丁岩钦. 昆虫种群数学生态学原理与应用. 北京: 科学出版社, 1980. 113~124

Yuan Ronglan (Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, PRC), Tang Cai,
and Yu Qilong. **Spatial Distribution Pattern and Sampling Methods of *Petrova cristata* Larvae.** *J Zhejiang For Coll*, 1996, 13(4): 489~496

Abstract: The spatial distribution pattern of *Petrova cristata* larvae was tested by means of frequency distribution and distribution index. Sequential sampling and the confidence of tree different sampling methods were analyzed and evaluated. The results showed that the spatial distribution pattern of *Petrova cristata* larvae was generally negative binomial distribution in the young growth of *Pinus taiwansist*. The parallel sampling, diagonal line sampling and chessboard sampling methods were all fitted to sampling surveys of the larvae, and the chessboard sampling was much better than others.

Key words: *Petrova cristata*; ecological distribution; sampling

吴鸿博士新作——《华东百山祖昆虫》出版

浙江林学院副教授吴鸿博士主编的《华东百山祖昆虫》一书已由中国林业出版社出版。全书18+586页, 96万字, 印刷清晰, 装帧精良。

中国科学院张广学院士等著名学者担任该书顾问。该书是百山祖国家级自然保护区昆虫区系研究的专著, 系统介绍了百山祖的自然概况、昆虫区系、昆虫生态、珍稀昆虫和资源昆虫的保护利用, 共记述昆虫22目256科2203种, 描述了新属9个, 新种250个, 中国新记录的科1个, 属19个, 种40个。该书是建国以来继《横断山区昆虫》《西藏昆虫》之后记述新属新种最多, 研究成果较全面丰富的又一重要专著。

该书可供广大从事森林保护、自然保护、植物检疫、外贸商业和环境保护等工作的同志及大专院校师生和科研院所的科研人员参考。

(林 昆)