

马尾松毛虫幼虫低密度种群¹⁾空间分布型 与落粪分布的研究

张旭

周国法

(中国林业科学研究院林业研究所)

(北京大学分校应用数学系)

关键词 马尾松毛虫; 低密度种群; 空间分布型; 落粪

虫情监测是森林害虫综合治理的前提。直接观测虫情, 常因树木高大而难以实现。对我国林业大害虫马尾松毛虫(*Dendrolimus punctatus*), 已有较理想的模型^[1], 通过对林间落粪的调查来估计幼虫数。由于低密度虫情监测尤为困难, 而用落粪作间接观测的价值就随之增加, 林间一定时段内的落粪是幼虫种群在该时段内活动的结果, 其分布则是该时段内种群分布的综合反映。可以设想, 落粪分布与种群分布间存在一定关系。对落粪的调查取样, 应建立在了解其分布特征的基础上。为此, 研究了低密度幼虫种群的空间分布型及落粪分布的规律。

一、研究方法

(一) 调查地概况及调查方法

调查林地位于安徽省宿松县, 116°18' E, 30°07' N, 为大别山南麓与长江中下游平原的过渡带。多为海拔400 m以下的低山丘陵, 这里气候温和, 雨量充沛, 适宜马尾松生长, 也属马尾松毛虫常发生区, 一年繁殖2~3代。

1987年4月和9月, 在马尾松毛虫常发型和偶发型林区分别设置若干调查小区, 面积为20 m×20 m, 内按棋盘格局布点, 安放100只落粪取样器, 24 h内连续收集落粪, 然后取得幼虫数据(条/m²)。为方便计, 将24 h内的落粪数换算成落粪速率(粒/h), 取其整数。

(二) 确定分布型的方法

1. Iwao的 m^*-m 回归法^[2,3] $m^* = a + \beta m$

2. Taylor, L. R.的方法^[4] $S^2 = am^b$, 即 $\lg S^2 = \lg a + b \cdot \lg m$

3. 其它分布型指数法^[6] 用了以下4种:

(1) Morisita(1959)指数^[6] $I_b = Q \cdot \sum_{i=1}^Q (x_i - 1)x_i / [N(N-1)]$

(2) Lloyd(1967)指数^[6] m^*/m

本文于1989年3月10日收到。

1) 密度的高低具有模糊性, 作者认为, 满足以下两条可以认为是幼虫低密度种群: ①由当代害虫造成寄主生长的损失难以觉察或可以忽略; ②常规抽查认为无虫或少虫。

(3) Kuno(1968)指数 C_A ^[6] $C_A = 1/K$ (K 为负二项分布参数, 用矩法求得)

(4) David & morre (1954)指数 I ^[6] $I = S^2/m - 1$

以上各式中 x_i 是第 i 个样本的实测值, m 是样本均值, S^2 是样本方差, Q 是样本容量,

N 是个体总数 ($N = \sum_{i=1}^Q x_i$), m^* 是平均拥挤度, 其定义式为: $m^* = \sum_{i=1}^Q x_i(x_i - 1) / \sum_{i=1}^Q x_i$

4. 频次比较法 用了 5 种分布型理论公式拟合^[6]。即二项分布、Poisson 分布、负二项分布、Neyman 分布和 Poisson—二项复合分布。

(三) 资料代换的方法^[4]

1. 一般对数代换 $x' = \ln(x+1)$

2. Taylor 法代换 $x' = x^{1-1/2b}$

3. Iwao 法代换 $x' = c \int \frac{1}{\sqrt{(\alpha+1)x + (\beta-1)x^2}} dx$, 其中, c 为任意常数, 取近似式:

$$x' = \ln(\sqrt{x} + \sqrt{x+B}), \text{ 其中, } B = \begin{cases} (\alpha+1)/(\beta-1) & \text{当 } \beta > 1 \\ (\alpha+1)/(1-\beta) & \text{当 } \beta < 1 \end{cases}, \alpha \neq 1.$$

代换效果通过比较代换前后样本均值 m 与样本方差 S^2 的相关性来评价^[6]。

二、结果与分析

(一) 分布型的确定和分析

1. Iwao 法 经计算, 6 组越冬幼虫资料($Q=200$)的 Iwao 回归式为:

$$m^* = -0.387 + 3.521 m \quad (1) \quad (r_{14} = 0.916)$$

由于 $\alpha = -0.387 < 0$, 可认为分布的基本成分是单个个体, 且个体间相互排斥。这恰好反映了越冬后幼虫的特性: 幼虫出蛻后上树, 打乱了越冬前多少由卵块决定的个体群格局, 使其种群的聚集程度比其它世代同龄级种群有所下降。随着个体的发育, 取食量剧增, 种内竞争日趋激烈, 导致个体群的最后解体。但从 $\beta = 3.521 > 1$ 来看, 种群依然有着很强的聚集趋势。

对与越冬幼虫来源相同的 6 组落粪资料($Q=100$)作同样分析, 得:

$$m^* = 0.056 + 0.719 m \quad (2) \quad (r_{14} = 0.824)$$

其中, $\alpha = 0.056 \approx 0$, $\beta = 0.719 < 1$, 故可认为越冬幼虫落粪不成集群, 其分布趋于均匀。可见幼虫种群的分布型与相应的落粪分布存在着差别。后者的聚集度低于前者。造成这种差别的原因之一前已述及, 落粪速率为 24 h 内落粪的均值, 反映了 24 h 内幼虫种群动态结果; 原因之二是树冠及风对落粪的分散作用。

第二代幼虫数据较少(仅一组 200 个), 不能进行 Iwao 回归分析, 但从其它方法分析可知其种群高度聚集(见表 1)。

第二代幼虫落粪资料共 16 组($Q=200$), 所得回归式为:

$$m^* = 0.528 + 1.304 m \quad (3) \quad (r_{14} = 0.608)$$

从 $\alpha = 0.528 > 0$, $\beta = 1.304 > 1$ 可知, 这些资料符合普通的聚集分布。这在某种程度

表1 马尾松毛虫幼虫种群
及落粪聚集度指标测定

资料	指标	m	I_b	m^*/m	C_A	I	
幼虫	越冬代	1	0.260	1.786	1.775	0.775	0.202
		2	0.340	2.524	2.509	1.509	0.513
		3	0.480	2.569	2.561	1.561	0.749
		4	0.375	2.501	2.489	1.489	0.558
		5	0.355	2.553	2.539	1.539	0.546
		6	0.415	2.741	2.729	1.729	0.718
	第二代	7	0.185	4.758	4.675	3.675	0.680
落粪	越冬代	8	1.030	0.924	0.924	-0.076	-0.079
		9	1.010	0.804	0.804	-0.196	-0.198
		10	0.800	0.624	0.625	-0.375	-0.300
		11	0.680	0.473	0.476	-0.524	-0.356
		12	0.290	0.950	0.951	-0.049	-0.014
		13	0.400	1.254	0.250	0.250	0.100
	第二代	14	1.520	1.487	1.489	0.489	0.743
		15	1.690	0.994	0.994	-0.006	-0.010
		16	1.510	1.918	1.921	0.921	1.391
		17	1.120	1.323	1.323	1.323	0.362
		18	2.130	2.027	2.032	1.032	2.199
		19	2.140	1.482	1.485	0.485	1.038
		20	1.580	2.430	2.436	1.436	2.268
粪	二代	21	1.700	1.624	1.626	0.626	1.065
		22	1.100	1.999	2.000	1.000	1.100
		23	1.320	1.777	1.779	0.779	1.028
		24	1.620	1.515	1.517	0.517	0.837
		25	1.650	1.380	1.381	0.381	0.629
		26	1.330	1.491	1.492	0.492	0.655
		27	1.520	1.090	1.091	0.091	0.138
		28	0.780	2.964	2.959	1.959	1.528
		29	1.020	1.692	1.692	0.692	0.735

1, C_A 及 I 均小于零,说明落粪的分布趋于均匀。第二代幼虫资料的计算结果类似于越冬代,但其 I_b 、 m^*/m 和 C_A 都高于越冬代资料的相应指数,故可以认为第二代幼虫种群的聚集度高于越冬代。第二代16组落粪资料中,有15组结果类似,均说明其分布趋于聚集,印证了幼虫种群聚集分布的特性。

4. 频次比较法 用5种理论分布对两类资料进行拟合, χ^2 检验的结果列于表2。由于 χ^2 检验要求样本容量大于100为宜,故对落粪资料采取如下处理:每3组($Q=100$)合并为2组($Q=150$),这样,作频次比较分析时,越冬代落粪资料取4组,第二代取10组。

从表2可见,6组越冬代幼虫资料中,符合Neyman分布的有5组,其中又有4组同时符合负二项分布;符合Poisson分布的有两组,存在一组资料同时符合两种以上分布的现象(如第5组)。相应的落粪资料也出现类似现象(如第11组)。越冬代落粪资料还出现另一极

上反映了种群高度聚集的本质。

2. Taylor法 6组越冬幼虫的Taylor式为:

$$\lg S^2 = 1.067 + 1.632 \lg m \quad (4)$$

$$(r_4 = 0.996)$$

由于 $\ln a = 1.067 > 0$, $b = 1.632 > 1$,可以认为,越冬幼虫种群呈聚集分布,而且在样本所包括的密度范围内,种群的聚集度随密度增加而增大。

对相应的b组越冬幼虫落粪作同样分析,得:

$$\ln S^2 = -0.267 + 0.785 \ln m \quad (5)$$

$$(r_4 = 0.919)$$

从 $\ln a = -0.267 < 0$ 和 $b = 0.785 < 1$ 可知,密度越高,分布越均匀。同前面用Iwao法分析所得结果类似,越冬代幼虫落粪的分布不能与种群的分布互相替代。

对16组第二代幼虫落粪资料,得:

$$\ln S^2 = 0.611 + 1.065 \ln m \quad (6)$$

$$(r_{14} = 0.657)$$

其中 $\ln a = 0.611 > 0$, $b = 1.065 > 1$,证实了种群的分布呈聚集型。

3. 其它分布型指数 7组幼虫资料($Q=200$)和22组落粪资料($Q=100$)的4种分布型指数测定结果均列于表1。可见越冬代幼虫资料的 $I_b > 1$, $m^*/m > 1$, C_A 及 I 均大于零,说明种群的分布为聚集型。越冬代6组落粪资料中,有5组的 $I_b < 1$, $m^*/m <$

表 2 五种理论分布拟合马尾松毛虫幼虫及落粪资料的 χ^2 检验

资 料		分 布	二 项		Poisson		负 二 项		Neyman		Poisson-二项	
			χ^2	χ^2	$\chi_{0.05}^2$	χ^2	$\chi_{0.05}^2$	χ^2	$\chi_{0.05}^2$	χ^2	$\chi_{0.05}^2$	χ^2
幼 虫	越 冬 代	1	82.2	5.99	19.0	5.99	1.11	<3.84	1.68	<3.84	10.8	3.84
		2	9.4	3.84	1.95	<3.84						
		3	93.5	5.99	31.8	5.99	4.19	3.84	1.15	<3.84	10.3	3.84
		4	70.4	5.99	19.8	5.99	0.74	<3.84	0.05	<3.84	3.49	<3.84
		5	18.3	5.99	5.60	<5.99	1.39	<3.84	2.25	<3.84	8.28	3.84
		6	92.4	5.99	23.7	5.99	0.06	<3.84	0.44	<3.84	26.3	3.84
	第二代	7	15.9	3.84	6.28	3.84						
落 粪	越 冬 代	8	1.94	<5.99	8.55	5.99	3.60	<3.84	3.82	<3.84	4.31	3.84
		9	0.40	<3.84	1.17	<3.84						
		10	9.71	5.99	27.8	5.99	10.5	3.84	12.1	3.84	15.1	3.84
		11	5.50	<5.99	0.17	<5.99	0.09	<3.84	0.09	<3.84	0.09	<3.84
	第二代	12	87.6	9.49	6.63	<9.49	6.43	<7.81	7.24	<7.81	13.2	7.81
粪	第 二 代	13	890.0	11.1	54.1	11.1	4.77	<9.49	6.35	<9.49	185.0	9.49
		14	794.0	11.1	52.2	11.1	7.81	<9.49	14.3	9.49	329.0	9.49
		15	1977.0	12.6	84.7	12.6	16.8	11.1	22.3	11.1	144.0	11.1
		16	744.0	11.1	57.9	11.1	8.46	<9.49	20.2	9.49	406.0	9.49
		17	997.0	11.1	64.9	11.1	3.15	<9.49	4.35	<9.49	465.0	9.49
		18	174.0	9.49	23.3	9.49	22.3	7.81	28.2	7.81	339.0	7.81
		19	60.8	9.49	7.88	<9.49	13.1	7.81	15.9	7.81	75.1	7.81
		20	100.0	9.49	9.35	<9.49	8.81	7.81	9.48	7.81	13.1	7.81
		21	449.0	11.1	38.4	11.1	16.0	9.49	24.1	9.49	117.0	9.49

端：不符合所拟的任何分布(第10组)。但全部 4 组资料中，有 3 组符合二项分布，于是认为二项分布大体可以代表越冬代落粪的分布。第二代幼虫资料用此法未能确定合适的分布型。相应的10组落粪资料，也有 3 组不能拟合所拟理论分布，其余 7 组中，符合负二项分布的最多，共 5 组，其中有 3 组同时符合 Neyman 分布；符合 Poisson 分布的也占 3 组。说明第二代落粪的分布大致可用负二项分布表示。

综合表 2 结果可知，当种群密度较低时，用频次比较法分析只能了解种群分布的大致趋势，不能解决种群应属哪种理论分布的问题。

(二) 资料代换

资料代换的检验结果见表 3。两类原始资料的均值 m 与方差 S^2 都密切相关，因此代换

表 3 马尾松毛虫低密度种群取样资料中均数与方差的关系

资 料	相关系数	代 换 式			备 注	
		未 代 换	$x' = \ln(x+1)$	$x' = \ln(\sqrt{x} + \sqrt{x+B})$		$x' = x^{1-b/2}$
6 组越冬代幼虫	0.997 9		0.996 2	0.994 6	0.996 6	$a = 0.05$
6 组越冬代落粪	0.917 6		0.853 1	0.779 9	0.860 4	$r_4 = 0.811$
16 组第二代落粪	0.699 7		0.247 3	-0.112 0	0.003 6	$r_{14} = 0.497$

是必要的。但6组越冬代幼虫资料无论经哪种方法代换均未改变其 m 与 S^2 的相关性,可能是由于所取样本的零样率高而相近,实测值变化范围较窄的缘故(6组数据的零样率为72%~79%,均值为0.26~0.48条/ m^2)。但相应的6组落粪资料经Iwao法代换后 m 与 S^2 独立,再次证明在低密度下落粪资料灵敏度较高的特性。对第二代16组落粪资料,三种代换方法均得到满意的结果。

三、结 论

①马尾松毛虫越冬代幼虫低密度种群呈聚集分布,分布的基本成分是互相排斥的单个个体,但相应的落粪则趋于均匀分布。②第二代幼虫低密度种群呈聚集分布,其聚集度高于越冬代,相应的落粪也趋于聚集分布。③用频次比较法难以判定马尾松毛虫幼虫低密度种群的具体分布。④对其落粪资料,用Iwao方法作资料代换效果好。

参 考 文 献

- [1] 张旭等, 1986, 马尾松毛虫落粪及有关因子与种群密度关系的研究, 林业科学, 22(3), 252~259。
 [2] 徐汝梅等, 1980, 温室白粉虱空间分布型的研究, 昆虫学报, 23(3), 265~275。
 [3] Iwao, S. et al., 1971, An approach to the analysis of aggregation pattern in biological populations, *Stat. Ecol.*, 1, 461~514。
 [4] 徐汝梅, 1988, 昆虫种群生态学, 北京师范大学出版社, 409。
 [5] 丁岩钦, 1980, 昆虫种群数学生态原理与应用, 科学出版社, 417。

A STUDY ON THE SPATIAL DISTRIBUTION PATTERN OF LARVAE FRASS-DROP OF *DENDROLIMUS PUNCTATUS* AT LOW DENSITY POPULATION

Zhang Xu

(The Research Institute of Forestry CAF)

Zhou Guofa

(Application Mathematic Department, Branch Campus of Peking University)

Abstract Frass-drop and characteristics of spatial distribution patterns of the larvae of *Dendrolimus punctatus* in low population were studied by means of Frequency Distribution, Iwao's and Taylor's method, and some other aggregation indices. The result shows that: ① The spatial distribution pattern of the overwintering larvae was aggregated, and the basic components of the distribution were single individuals which repel each other, and that of the frass-drop in the same generation tended to be uniform. ② In the second generation, both larvae and the frass-drop were spatially aggregated, and the degrees of aggregation were higher than that of the overwintering generation. The experimental data were transformed separately with three methods, among which the Iwao's method is the best for frass-drop data.

Key words *Dendrolimus punctatus*; low density population; distribution pattern; frass-drop