

## 2种经营方式下早竹林虫瘿的空间分布研究

耿显胜, 舒金平, 孟海林

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400)

关键词:早竹虫瘿;空间分布型;冠层;三级分枝

中图分类号:S763

文献标识码:A

### Spatial Distribution of *Phyllostachys praecox* Gall under Two Management Patterns

GENG Xian-sheng, SHU Jin-ping, MENG Hai-lin

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China)

**Abstract:** [ **Objective** ] The objective of the study is to clarify the characteristics of spatial distribution of *Phyllostachys praecox* gall under two management patterns. [ **Methods** ] Five aggregated indices and an aggregated formula were used to describe the spatial distribution patterns of *Ph. praecox* gall. The gall distribution under two different management patterns were compared. Through regression analysis, the relationship between the third-level shoots and the number of galls was determined. [ **Results** ] Statistical model analysis showed that the gall spatial distribution followed an uniformly aggregated pattern, and the basic components of gall was colony. The reasons for aggregation were the aggregation and characteristics of bamboo gall-makers. On the bamboo plant, significant difference was found in gall density among three layers of bamboo canopy. In rough management plots, the galls were concentrated in the middle layer of the canopy, the height is 3 - 4 m and 4 - 5 m sections. In intensively managed plots, the galls were concentrated in the upper layer of the canopy, the height is 2 - 3 m section. In two different management patterns, there is a significant linear regression relation between the number of gall and the number of third-level shoots. [ **Conclusion** ] The spatial distribution of *Ph. praecox* gall followed an aggregated distribution pattern. There are significant differences in gall density among different heights of bamboo canopy. Management patterns will affect the distribution of gall, while obtruncation will affect the number of third-level shoots. The number of third-level shoots are related to the number of gall.

**Keywords:** *Phyllostachys praecox* gall; spatial distribution pattern; canopy; third-level shoots

早竹 (*Phyllostachys praecox* C. D. Chu et C. S. Chao) 别名早园竹 (浙江德清), 属禾本科 (Gramineae) 刚竹属 (*Phyllostachys* Sieb. et Zucc) 刚竹组 (Sect. *Phyllostachys*), 产于我国江苏、安徽、浙江、江西、湖南、福建等省<sup>[1-3]</sup>。早竹因其笋期早、产量高、笋味美, 而成为我国南方的重要笋用竹种<sup>[1]</sup>。据统计, 我

国南方早竹的种植面积在 6.7 万  $\text{hm}^2$  以上, 年产值达 10 亿多元<sup>[4]</sup>。然而, 随着早竹大面积的推广种植和新的生产经营方式的推广应用, 早竹遭受造瘿昆虫的严重危害。在部分严重危害的地块, 有虫株率高达 70%, 单株竹子上的造瘿昆虫数量达 292 头<sup>[5]</sup>, 故造瘿昆虫已成为早竹林地的主要害虫之一。

早竹造瘿昆虫生活史的绝大多数阶段存在于封闭的虫瘿中,隐蔽危害,防治困难。发展造瘿昆虫的预测预报方法和高效治理技术,保障早竹生产经营的可持续发展,是早竹生产经营中迫切需要解决的问题。目前竹子虫瘿或造瘿昆虫空间分布情况的研究,仅为竹瘿广肩小蜂(*Aiolomorpha rhopaloides* Walker)形成毛竹(*Phyllostachys edulis*(Carr.) H. de Lehaie)虫瘿<sup>[6-9]</sup>,并未涉及早竹虫瘿。本文采用5种聚集性指标和1种聚集性测度式,测定了虫瘿在早竹上的空间分布型;通过对冠层上虫瘿的分层统计,比较了虫瘿在2种不同经营方式下的早竹冠层的分布情况;通过回归分析法,明确了三级分枝数量与虫瘿数量间的关系。本研究的结果不仅有助于了解造瘿昆虫的生态习性,而且也有助于发展精确而有效的抽样技术,为害虫的测报和防治决策提供参数,为制定合理的害虫管理措施提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地选择和取样

在造瘿昆虫严重危害的浙江省德清县,选取粗放经营和精细经营2种类型的早竹林地进行试验。粗放经营的样地,未进行耕地、施肥、除草、种竹钩梢和病虫害防治,而只在春天挖竹笋,林下分布有杂草和灌木;精细经营的早竹样地,发笋季节进行挖笋,种竹在当年展叶后的5—6月份钩梢,6—7月份翻耕、施肥和地下害虫的化学防治,冬季施肥和覆盖增温。试验选取早竹8株,采用整株取样法获得虫瘿。整株早竹伐倒后,自下而上测定和统计每一盘枝条的高度、虫瘿的数量和三级分枝的数量。计算每株竹子上的每盘枝条的平均虫瘿数 $\bar{X}$ 及其方差 $S^2$ 。

### 1.2 虫瘿在早竹冠层的分布测定

依据早竹冠层的高度,将整株早竹的冠层等分成上、中、下3层,统计每一层中虫瘿占整株虫瘿的百分比和每一层的虫瘿密度(每盘枝条上的虫瘿的平均数)。同时也将竹子按照绝对高度分成0~1 m、1~2 m、2~3 m、3~4 m、4~5 m、5~6 m 6段,统计每一段中虫瘿占整株虫瘿的百分比和每一段的虫瘿密度。使用线性回归法拟合2种经营方式样地的竹子上的虫瘿数量与三级分枝数量之间的关系。

### 1.3 早竹虫瘿空间分布型的测定

参考前人的研究空间分布型的方法,采用5种聚集性指标和1种聚集性测度式来测定早竹虫瘿的

空间分布型<sup>[10-11]</sup>。这些聚集性指标和测度式包括扩散系数 $C$ 、丛生指数 $I$ 、Kuno指标 $C_A$ 、Lloyd平均拥挤度指数 $\bar{m}$ 、Lloyd平均拥挤度和平均密度的比值(Lloyd聚集性指数) $\bar{m}/m$ 、Iwao的 $\bar{m}-m$ 回归模型。聚集性指标和测度式的公式及其评价标准如下:

扩散系数 $C = \frac{S^2}{\bar{X}}$ 。其中 $\bar{X}$ 为每株竹子上的虫瘿

的平均数, $S^2$ 为方差。 $C=1$ 为随

机分布, $C>1$ 为聚集分布, $C<1$ 为均匀分布。

丛生指数 $I = \frac{S^2}{\bar{X}} - 1$ 。 $I=0$ 为随机分布, $I>0$ 为

聚集分布, $I<0$ 为均匀分布。

Kuno指标 $C_A = \frac{1}{K}$ 。其中, $K$ 为负二项分布值 $K$

$= \frac{\bar{X}^2}{S^2 - \bar{X}}$ 。 $C_A=0$ 为随机分布, $C_A>0$ 为聚集分布,

$C_A<0$ 为均匀分布。

Lloyd平均拥挤度指标 $\bar{m} = \frac{S^2}{\bar{X}} + \bar{X} - 1$ 。平均拥

挤度为平均每个个体与多少个其它个体在同一样方中, $\bar{m}>1$ ,表明种群中存在个体群。

Lloyd平均拥挤度和平均密度的比值(Lloyd聚

集性指数) $\bar{m}/m = \frac{S^2 - \bar{X}}{\bar{X}^2} + 1$ 。 $\bar{m}/m=1$ 随机分布, $\bar{m}/m$

$>1$ 聚集分布, $\bar{m}/m<1$ 均匀分布。

Iwao的 $\bar{m}$ 回归模型 $\bar{m} = \alpha + \beta m$ 。式中, $m$ 为竹

子上的虫瘿的平均密度; $\bar{m}$ 为拥挤度, $\bar{m} = m + \frac{S^2}{m} -$

1。两个系数 $\alpha$ 、 $\beta$ 为判断空间分布型的指标。 $\alpha>0$ 时,种群个体间相互吸引,分布基本成为个体群, $\alpha=0$ 时,为单个个体; $\alpha<0$ 时个体间相互排斥。 $\beta=1$ 时,随机分布, $\beta>1$ 时,聚集分布, $\beta<1$ 时,均匀分布。

使用种群聚集均数 $\lambda = \frac{\bar{X}}{2k}\gamma$ (式中 $2k$ 为负二项

分布的参数值, $\gamma$ 为自由度等于 $2k$ 的 $x^2$ 分布函数)分析虫瘿聚集原因<sup>[7]</sup>。当 $\lambda<2$ ,其聚集可能是由于环境因子造成,当 $\lambda\geq 2$ 时,其聚集是由昆虫本身和环境因子共同作用或其中一个因素所引起。

### 1.4 数据处理

使用Microsoft Excel 2010和SPSS 13.0软件对数据进行计算、方差分析和回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 虫瘿在早竹冠层的分布规律及其与三级分枝

## 间的关系

依据冠层高度将早竹冠层等分成上、中、下3层并分别进行统计处理,结果见表1。从表中可以看出,在精细经营的样地中虫瘿在早竹冠层3层之间的分布比例差异显著( $F=4.20, P=0.041$ ),其主要分布在冠层的上层,达到50.238%。而粗放经营样地的虫瘿集中分布在冠层的中层,占45.372%。虫瘿密度在上、中、下3层之间也存在差异,其中粗放经营样地早竹冠层的中部虫瘿密度最高,下层次之,上层虫瘿密度最低;对于精细经营的地块,早竹冠层的上层的虫瘿密度最高,达到48.375个·盘枝条<sup>-1</sup>,中层和下层虫瘿密度较低。

通过测量和统计,粗放经营样地早竹最大高度为5.870 m,最小高度为4.680 m,平均高度为5.327 m;而精细经营样地的早竹最大高度为3.600 m,最小高度为2.570 m,平均高度为3.106 m。以虫瘿在早竹上的绝对高度计,粗放经营的早竹林地的虫瘿绝大多数分布在3~4 m和4~5 m的高度段处,达到69.75%。而在精细经营的地块中,虫瘿绝大多数分布在2~3 m高度段处,达到62.657% (表1)。综合分析可知,在粗放经营的林地,虫瘿集中分布在早竹冠层的中层,竹株的3~4 m和4~5 m高度段处;而在精细经营的林地,虫瘿集中分布于早竹冠层的上层,竹株的2~3 m高度段处。

单株竹子水平上,比较平均每株早竹上的虫瘿密度,发现粗放经营地块虫瘿密度低于精细经营地块;而分析2种不同类型样地的单株竹子上三级分枝的密度,也同样是粗放经营地块的密度低于精细经营地块的密度(表2)。通过回归分析拟合三级分枝数量与虫瘿数量之间的关系,发现在两种类型样地中,虫瘿数量与三级分枝数量间都存在显著的线性回归关系(粗放经营样地, $F=44.941, P=0.000 < 0.01$ ;精细经营样地, $F=8.299, P=0.005 < 0.01$ ),其回归方程分别为 $y = -3.733 + 1.463x$

( $R=0.607$ )和 $y = 6.039 + 1.217x$  ( $R=0.332$ ) (表2)。表明早竹在不同经营方式下,植株的内部结构(三级分枝数量)发生变化,这种变化影响虫瘿在竹子冠层的分布。

表1 虫瘿在早竹的不同冠层的分布

项目		粗放经营样地		精细经营样地	
		虫瘿百 分比/%	虫瘿密度/(个· 盘枝条 <sup>-1</sup> )	虫瘿百 分比/%	虫瘿密度/(个· 盘枝条 <sup>-1</sup> )
早竹 冠层	下层	19.903	16.450	21.030	20.250
	中层	45.372	31.250	28.732	28.870
	上层	34.725	15.944	50.238*	48.375
早竹 高度 段	0~1m	0.726	12.000	0.000	0.000
	1~2 m	6.473	11.889	18.607	19.143
	2~3 m	11.736	14.923	62.657	38.105
	3~4 m	32.789*	28.526	18.736	43.300
	4~5 m	36.963*	28.381	-	-
	5~6 m	11.313	11.688	-	-

注:“-”表示未进行统计的项目,“\*”表示差异显著。

表2 早竹上的虫瘿密度和三级分枝密度

样地 类型	虫瘿密度/ (个·盘枝条 <sup>-1</sup> )	三级分枝密度/ (个·盘枝条 <sup>-1</sup> )	虫瘿数与三级分 枝数的回归分析
粗放经 营样地	20.520	16.513	$y = -3.733 + 1.463x$ ( $R=0.607$ )
精细经 营样地	33.508	21.592	$y = 6.039 + 1.217x$ ( $R=0.332$ )

## 2.2 虫瘿的分布型

2.2.1 聚集度指标测定 早竹虫瘿的空间分布型采用扩散系数 $C$ 、丛生指数 $I$ 、Kuno指标 $C_A$ 、Lloyd平均拥挤度 $\bar{m}$ 和平均拥挤度与平均密度的比值(Lloyd聚集性指数) $\bar{m}/m$  5种聚集度指标计算,其结果见表3。从表中可以看出,所有取样的植株都是扩散系数 $C > 1$ 、丛生指数 $I > 0$ 、负二项分布 $K$ 值较小、Cassie指标 $C_A > 0$ 、Lloyd平均拥挤度和平均密度的比值(Lloyd聚集性指数) $\bar{m}/m > 1$ ,表明2种经营方式下的早竹虫瘿的空间分布型都为聚集分布。同时,平均拥挤度指标 $\bar{m} > 1$ ,表明种群中存在个体群。

表3 早竹虫瘿的聚集性指数

样株	虫瘿密度 $\bar{x}$ / (个·盘枝条 <sup>-1</sup> )	方差 $S^2$	扩散系 数 $C$	丛生指 数 $I$	Kuno 指标 $C_A$	Lloyd 聚集性 指数 $\bar{m}/m$	拥挤度 $\bar{m}$	$\lambda$	分布型
1	9.04	40.358	4.464	3.464	0.383	1.383	12.504	7.914	聚集
2	29.52	537.028	18.192	17.192	0.582	1.582	46.712	23.898	聚集
3	23.00	167.231	7.271	6.271	0.273	1.273	29.271	20.953	聚集
4	25.43	159.187	6.260	5.260	0.207	1.207	30.690	23.694	聚集
5	39.67	197.515	4.979	3.979	0.100	1.100	43.649	38.357	聚集
6	12.06	101.559	8.421	7.421	0.615	1.615	19.481	9.715	聚集
7	47.38	1542.383	32.553	31.553	0.667	1.667	78.933	37.443	聚集
8	43.00	533.455	12.406	11.406	0.265	1.265	54.406	39.265	聚集

2.2.2 Iwao 的  $\bar{m} - m$  回归模型测定 利用虫瘿的平均密度  $\bar{X}$  和方差  $S^2$  求出平均拥挤度  $\bar{m}$  (表 3), 利用 SPSS 13.0 软件拟合平均拥挤度与平均密度之间的关系, 得到回归方程  $\bar{m} = -1.025 + 1.414 m$  ( $R^2 = 0.874$ )。因回归方程的系数  $\alpha = -1.025 < 0$ 、 $\beta = 1.414 > 1$ , 表明虫瘿的分布为聚集分布, 虫瘿个体之间相互排斥。

2.2.3 聚集原因分析 使用种群聚集均数  $\lambda$  分析虫瘿聚集的原因, 由表 3 可知, 所有取样植株的  $\lambda$  都大于 2, 故虫瘿的聚集由造瘿昆虫本身的习性和环境因素共同决定。

### 3 讨论

虫瘿因在形态上很容易与正常的组织、器官区分开来, 虫瘿内部的造瘿昆虫的卵、幼虫、蛹营固着生活, 故虫瘿已广泛用于生态学研究<sup>[12-13]</sup>。竹子造瘿昆虫或虫瘿的空间分布情况的研究, 主要集中于竹瘿广肩小蜂及其形成的毛竹虫瘿<sup>[6-9]</sup>, 并没有涉及刚竹瘿蚊 (*Procytiphora* sp.)、竹泰广肩小蜂 (*Tetramesa bambusae* Philips)、刚竹泰广肩小蜂 (*T. phyllostrachitis* Gahan) 等形成的竹子虫瘿。本研究以浙江省广泛栽培的早竹为研究材料, 研究 2 种不同经营方式的早竹林地中虫瘿的空间分布及其与三级分枝之间的关系, 研究结果有助于发展早竹造瘿昆虫的抽样技术和种群监测技术, 为制定合理的害虫管理措施提供支撑。

本研究采用 5 种聚集性指标和 Iwao 的  $\bar{m} - m$  回归模型, 分析虫瘿在早竹上的空间分布型, 结果表明早竹上的虫瘿空间分布型均属于聚集分布。通过对早竹冠层分层统计, 发现在粗放经营样地的完整竹株上, 虫瘿集中分布在冠层的中层, 竹株的 3~4 m 和 4~5 m 高度段处; 而在包括种竹钩梢处理在内的精细经营样地的竹株上, 虫瘿集中分布于冠层的上层, 竹株的 2~3 m 高度段处。通过计算  $\lambda$ , 分析早竹虫瘿聚集原因, 所有统计竹株的  $\lambda$  均大于 2, 表明虫瘿的聚集由造瘿昆虫本身的习性和环境因素共同决定。早竹造瘿昆虫一般在竹子叶柄、小枝顶部等幼嫩部位造瘿, 而竹子幼嫩部位的集中分布, 可能是虫瘿聚集分布的原因。另外, 原先研究发现, 早竹上有较多的虫瘿以 2 个串联一起的联瘿形式存在, 表明造瘿昆虫有聚集产卵并致瘿的习性<sup>[5]</sup>。

植物活力假说认为, 造瘿昆虫常在活力生长的植物或植物模块上形成虫瘿<sup>[14-15]</sup>, 同样的早竹造瘿

昆虫也是偏好在早竹活力生长的幼嫩部位产卵并形成虫瘿, 故活力生长的早竹幼嫩部位是影响虫瘿形成的重要因素。本研究中, 作者选取能够反映竹子幼嫩部位多少的三级分枝数作为统计指标, 并建立了每盘枝条上的三级分枝数量与虫瘿数量的线性回归模型, 结果表明两者之间存在显著的线性回归关系。研究还发现早竹虫瘿密度和三级分枝密度在不同经营方式下存在差异, 并且都是精细经营样地高于粗放经营样地。这种差异与经营方式中的种竹钩梢处理有关。竹子顶梢被钩除, 其顶端优势被打破, 下部枝条上的侧生分生组织开始活动, 产生更多的小枝, 更多的小枝的存在, 为竹子造瘿昆虫提供了更多的造瘿位点, 故在钩梢竹子上虫瘿密度高于未钩梢的竹子。

虫瘿空间分布的影响因素的研究, 主要集中于海拔、纬度等环境因素<sup>[16]</sup>, 仅有少量文献研究植物内部结构对虫瘿昆虫的影响<sup>[17-19]</sup>。而本研究分析了早竹三级分枝的差异对造瘿昆虫分布的影响, 研究结果支持植物结构假说, 为进一步研究造瘿昆虫寄主种内个体间结构的差异对虫瘿昆虫群落结构的影响提供新的线索。同时, 本研究对虫瘿在早竹上的分布规律的揭示, 对于建立精确的抽样技术并制定合理的害虫管理措施也具有重要的意义。

### 4 结论

研究表明早竹虫瘿的空间分布型为聚集分布。不同经营方式下早竹虫瘿的聚集规律为: 在粗放经营的林地, 虫瘿集中分布在冠层的中层, 竹株的 3~4 m 和 4~5 m 高度段处; 而在精细经营的林地, 虫瘿集中分布于早竹冠层的上层, 竹株的 2~3 m 高度段处。不同经营方式影响早竹虫瘿的分布, 钩梢处理影响早竹三级分枝的数量, 而三级分枝的数量正相关于虫瘿数量, 研究结果支持植物结构假说。

### 参考文献:

- [1] 易同培, 史军义, 马丽莎, 等. 中国竹类图志[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [2] 易同培, 马丽莎, 史军义, 等. 中国竹亚科属种检索表[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [3] 叶致云. 德清县早园竹培育管理技术[J]. 浙江林业科技, 1985, (1): 18-19.
- [4] 丁兴萃. 覆盖栽培早竹开花的激素机制研究[J]. 林业科学, 2007, 43(7): 10-15.
- [5] 耿显胜, 舒金平, 王浩杰. 早园竹林 2 种造瘿小蜂及其形成的虫

- 瘿的研究[J]. 林业科学研究, 2014, 27(6): 764-768.
- [6] 莫建初, 王问学, 宋运堂, 等. 竹小蜂幼虫空间分布型及其抽样技术研究[J]. 中南林学院学报, 1992, 12(2): 116-123.
- [7] 陈顺立, 吴 晖, 陈更新. 竹小蜂幼虫空间分布型及抽样技术研究[J]. 华东昆虫学报, 1997, 6(1): 50-54.
- [8] Shibata E. Oviposition site preference of the bamboo gall maker, *Aiolomorphus rhopaloides* (Hymenoptera: Eurytomidae), on bamboo in terms of plant-vigor hypothesis[J]. Applied Entomology and Zoology, 2005, 40(4): 631-636.
- [9] Shibata E. Spatial density-independent parasitism of the inquiline, *Diomorus aiolomorphi* (Hymenoptera: Torymidae), on the bamboo gall maker, *Aiolomorphus rhopaloides* (Hymenoptera: Eurytomidae) [J]. Applied Entomology and Zoology, 2006, 41(3): 493-498.
- [10] 徐汝梅, 李兆华, 李祖萌, 等. 温室白粉虱成虫空间分布型的研究[J]. 昆虫学报, 1980, 23(3): 265-275.
- [11] 丁岩钦. 昆虫数学生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [12] Stone G M, Schönrogge K, Atkinson R J, et al. The population biology of oak gall wasps (Hymenoptera: Cynipidae) [J]. Annual Review of Entomology, 2002, 47(1): 633-668.
- [13] Fernandes G W, Coelho M S, Santos J C. Population ecology of galling arthropods in the Neotropics [M] // Fernandes G W, Santos J C. Neotropical insect galls. Dordrecht: Springer Science and Business Media, 2014: 69-98.
- [14] Price P W. The plant vigor hypothesis and herbivore attack [J]. Oikos, 1991, 62(2): 244-251.
- [15] Cornelissen T, Fernandes W G, Vasconcelos - Neto J. Size does matter: variation in herbivory between and within plants and the plant vigor hypothesis [J]. Oikos, 2008, 117(8): 1121-1130.
- [16] Ozaki K, Yukawa J, Ohgushi T, et al. Galling arthropods and their associates [M]. Tokyo: Springer Verlag, 2006.
- [17] Araújo A P A, De Paula J D A, Carneiro M A A, et al. Effects of host plant architecture on colonization by galling insects [J]. Austral Ecology, 2006, 31(3): 343-348.
- [18] Espírito-Santo M M, Neves F S, Andrade-Neto F R, et al. Plant architecture and meristem dynamics as the mechanisms determining the diversity of gall-inducing insects [J]. Oecologia, 2007, 153(2): 353-364.
- [19] Lara D P, Oliveira L A, Azevedo I F P, et al. Relationships between host plant architecture and gall abundance and survival [J]. Revista Brasileira de Entomologia, 2008, 52(1): 78-81.

(责任编辑: 金立新)