一个新的格局检验模型及在天然次生林生态采伐中的应用

罗传文 黄 楠
(东北林业大学 哈尔滨 150040)

摘 要: 对植物空间格局提出独占圆的新概念,证明与独占圆有关的 3 个引理,从而提出均匀度指标,进一步推导均匀度的理论分布及格局类型检验方法。用高精度仪器测量林木空间位置分布,应用新的均匀度指标进行格局类型检验。新的均匀度指标计算方便,有更好的理论依据和直观性,特别适用于森林择伐对空间格局的控制。

关键词: 空间格局; 格局类型检验; 均匀度; 独占圆; 择伐
中图分类号:S752.2 文献标识码:A 文章编号:1001 - 7488(2005)05 - 0101 - 05

A New Pattern Testing Model and Application on Secondary Forest Cutting

Luo Chuanwen Huang Nan
(*Northeast Forestry University Harbin* 150040)

Abstract: The new concept monopolized circle was put forward to plant pattern, three theorems relating with monopolized circle was proved and then uniform index was put forward, the theoretical distribution and testing method of pattern type was derived. The forest tree's positions were measured with high precision instruments and the patterns were tested with new uniform index. The new uniform index is easy to calculate, intuitionistic to understand and rational, which is actually used to control the forest tree's pattern in forest thinning.

Key words: pattern; pattern testing; uniform index; monopolized circle; thinning

1 问题的提出与研究概况

森林具有生产力功能也具有生态功能,森林采伐时必须尽量保护森林的生态环境,所以就需要为森林采伐提出必要的经营规则和方法,使森林经营更进一步改善森林的内部结构,以利于发挥森林的生态效益。

现在,我国的大部分林区已经停止了大面积皆伐这种粗放的经营方式,而主要采取择伐的方式。择伐是调整林木空间格局的手段,较好的择伐方式可以改善林木的空间格局、改善生态系统的内部环境,使森林有更高稳定性和生产力。

对帽儿山国家森林公园内白桦(*Betula platyphylla*)种群的空间格局曾有报道(孙冰等,1994),在幼苗和幼树阶段是集聚分布的,在成年大树则是随机分布的。对山杨(*Populus davidiana*)次生林的研究表明,中度抚育能提高乔木层的多样性(任立中等,2000)。

对于种群空间格局的研究有其悠久的历史,Hopkins 等(1954)将随机植物到最近邻体的距离与随机点到最近植物的距离比较,创立了格局检验方法(后面详述)。Clark 等(1954)提出了基于随机植物到其最近邻体距离的格局检验方法,Donnelly(1978)在考虑边缘效应后提出了如下指标:

$$CE = \frac{r_A}{r_E} = \frac{\frac{1}{N}\sum_{i}^{N} r_i}{0.5\left|\frac{A}{N}\right|^{1/2} + 0.051\,4\frac{P}{N} + 0.041\,\frac{P}{N^{3/2}}}$$

式中: r_i 为第 i 株植物与邻体的距离; P 为样地周长; A 为样地面积。

当 N 充分大时, r_A 趋于正态分布,所以 CE 的检验用正态分布。

收稿日期:2003 - 07 - 09。
基金项目:国家"十五"攻关课题(2001BA510B - 07 - 02)。

CE 对于集聚的林分而言有缺点(Smaltschinski,1998)。对于集聚的样地,若旨在比较林分间的指数值应考虑别的指数(Gleichmar *et al*.,1998);但对现在经营的西欧的林分而言,大多是栽植或均匀化作业的,集聚的可能不大,所以 *CE* 仍可使用(Fuldner,1995)。

2 Hopkins 等(1954)的林木空间格局检验

如果个体是独立、随机地分配到可占用的空间中去,则称它们的格局是随机的。对林木空间格局的随机性检验服从如下事实:当且仅当一个格局是随机的,从随机点到其最近林木与从随机的林木到其最近邻体两者的距离分布相同(皮洛,1978)。

令 d_{1i} 代表点到林木的距离,d_{2i} 代表林木到邻体的距离,并设每一类距离均得到 n 个样本。如果格局是随机的,那么统计量 $A = \sum d_{1i}^2 / \sum d_{2i}^2 = n\bar{d}_1^2 / n\bar{d}_2^2$ 的数学期望值为1,也可以将 A 用于非随机性的度量。如果植物是集聚的,则有 $A > 1$;相反,如果它们比随机分布的个体排列得更均匀(负集聚分布),则有 $A < 1$。

为了检验 A 是否显著不同于它的数学期望值1,需要确定 x 的分布:

$$x = \frac{A}{1 + A} = \frac{n\bar{d}_1^2}{n\bar{d}_2^2} \Big/ \left| 1 + \frac{n\bar{d}_1^2}{n\bar{d}_2^2} \right| = \frac{n\bar{d}_1^2}{n\bar{d}_1^2 + n\bar{d}_2^2} = \frac{a}{a + b} \tag{1}$$

式中:

$$a = n\bar{d}_1^2 \tag{2}$$

$$b = n\bar{d}_2^2 \tag{3}$$

对于随机格局,可证明(皮洛,1978) x 的均值和方差是:$E(x) = 0.5$,$\mathrm{var}(x) = [4(2n + 1)]^{-1}$。

x 的分布随 n 增加迅速地趋于正态分布,对于 $n > 50$,可以把

$$y = \frac{x - E(x)}{\sqrt{\mathrm{var}(x)}} = 2(x - 0.5)\sqrt{2n + 1} \tag{4}$$

当成标准的正态变量,可用于检验格局随机性。

3 新的均匀性指标及论证

3.1 几个基本概念及引理

最近邻体:与一个植物个体最近的同种或同类植物个体;独占圆:以一个植物个体为圆心,以最近邻体距离的一半为半径所画的圆;独占圆面积:一个植物个体的独占圆的面积。

独占圆是植物体能够相对自由发展的空间,当植物体及最近邻体的实际占有空间大于独占圆就会发生竞争。独占圆既能反映植物体发展的潜在空间,又能反映植物群体的密度,还能反映植物体的受限制空间。在一定的地段上,当一个新的植物体生长起来时,就必须重新分配独占圆。

引理1:在一定的地段上,在没有新加入植物体的情况下,植物体之间的独占圆是不会重叠的。

证明:设植物体 A 为第1株植物,B 为 A 的最近邻体,A 与 B 之间的距离为 AB

又设 B 的最近邻体为 C,B 与 C 之间的距离为 BC

若 A≠B 则有 $AB > BC$

否则 若 $AB \leqslant BC$,根据最近邻体的定义,A 将为 B 的最近邻体,与假设矛盾

所以 $AB > BC$

同理 若 C 的最近邻体为 D,且 B≠D 则有 $BC > CD$

依此类推

显然,若 A 与 B 互为最近邻体,则以 A 和 B 为圆心,以 $AB/2$ 为半径的圆将相切而不会重叠

另外,从上面的证明可知,若 A 与 B 不互为最近邻体

则 $AB > BC$

所以,以 A 为圆心,以 $AB/2$ 为半径画的圆不会与 B 为圆心以 $BC/2$ 为半径画的圆重叠

引理2:设在一块长方形样地上有 $a \times b = n$ 个均匀分布的植物体,植物体与最近邻体之间的距离均为 s,这样的格局称为完全均匀格局,则当样地上的植物株数为 n,$4n$,…$4^k n$ 时,独占圆面积的总和保持不变。

证明 :由假设可知 ,以任一植物体为圆心 ,以 $s/2$ 为半径的圆是上述植物体的独占圆

在独占圆外有一个唯一的外接正方形 ,其边长为 s ,显然 ,所有的外接正方形覆盖整块样地

所以 ,样地总面积为 : ns^2

而 ,独占圆的总面积为 : $n\pi s^2/4$

若将每一个外接正方形均匀分割成 4 份 ,在每一个小正方形的中心放一株植物

这时样地总面积为 : $4n|s/2|^2 = ns^2$

独占圆的总面积为 : $4n\pi|s/4|^2 = \pi ns^2/4$

这时的植物株数为 $4n$

所以 ,对于上述完全均匀格局而言 ,当株数为 n ,$4n$, ...$4^k n$ 时 ,独占圆总面积保持不变 ,且是样地总面积的 $\pi/4$ 倍。

以上是对规则长方形得到的结论 ,对于连通的多边形 ,根据分形理论有(夏德勇等 ,1994) : $N(\varepsilon) = C\varepsilon^{-2}$ 。

C 是不依赖于 ε 的形状因子 , ε 是独占圆的半径 ,用这样的圆充满整个多边形 ,而得到 $N(\varepsilon)$ 个圆 ,相当于独占圆面积为 $\pi\varepsilon^2$ 的 $N(\varepsilon)$ 株植物 。上式说明 ,当独占圆半径缩小 50 % 时 ,独占圆个数为原来的 4 倍 ,而总独占圆面积不变 ,结论仍然成立 。

3.2　均匀度定义

根据引理 1 ,独占圆是不重叠的 ,独占圆面积的总和被格局唯一确定 。

根据引理 2 ,对于完全均匀分布而言 ,在适当假设条件下 ,独占圆面积的总和与株数无关 ,它是样地总面积的 $\pi/4$ 倍 。

基于上述 2 个引理 ,可以引入均匀度定义 :在一定地段上 ,植物个体的总独占圆面积与地段总面积的 $\pi/4$ 倍之比称作均匀度 。

设 a 为植物个体的总独占圆面积 , A 为样地总面积 ,令 $L = 4a/\pi A$ 为均匀度 。

设 $\bar{\omega} = \sum_i d_i^2/n$ 为植物体的平均平方距离 ,则 $a = \frac{\pi}{4} n\bar{\omega}$ 。

对于随机格局而言 ,根据皮洛(1978) 的证明 ,$\bar{\omega}$ 有密度函数 : $f(\bar{\omega}) = \frac{(n\lambda)^n \bar{\omega}^{n-1} e^{-n\lambda\bar{\omega}}}{\Gamma(n)}$

$2n\lambda\bar{\omega}$ 服从 χ^2 分布 , λ 为每单位半径圆内的平均个体数 , $\lambda = \pi n/A$

则有 $2n\lambda\bar{\omega} = 2n\frac{\pi n}{A}\frac{AL}{n} = 2\pi nL$ 服从自由度为 $2n$ 的 χ^2 分布 ,即

$$2\pi nL \sim \chi^2(2n) \text{ , } L \sim \frac{\chi^2(2n)}{2\pi n}$$

设 $\chi^2(2n)$ 的 95 % 置信区间为[X_1 , X_2]

则当 $L < X_1/2\pi n$ 时 ,格局判定为集聚格局 ;当 $L > X_2/2\pi n$ 时 ,格局判定为均匀格局 ;当 $X_1/2\pi n < L < X_2/2\pi n$ 时 ,格局判定为随机格局 。

引理 3 :任意去掉一株林木 A ,以 A 为最近邻体的林木 B 的最近邻体的距离将增大 , A 的最近邻体 C 的最近邻体距离不会减少 。

证明 :因为 A 是 B 的最近邻体 ,去掉 A 后 , B 将以第二最近邻体 D 为最近邻体

所以　$BD \geqslant AB$

由题义 C 是 A 的最近邻体 ,设 E 为 C 的最近邻体

若 E = C ,则从本引理的上述证明可知

去掉 A 后 , C 将以第二最近邻体为最近邻体 ,即 C 的最近邻体距离增大

若 E ≠C ,则从引理 1 的证明可知

有 $AC > CE$,这说明 ,去除 A 不会改变 C 的最近邻体

3.3　择伐去小原则

根据孙冰等(1994) 的研究表明 ,白桦种群的幼苗和幼树阶段是集聚格局 ,而成年大树阶段是随机格局 。

随着林木的生长,个体需要更大的独占圆。为此,提出择伐过程中增加平均独占圆面积的择伐去小原则。

择伐去小原则:在择伐中去掉最近邻体比平均最近邻体距离低的林木,会增加最近邻体距离的平均数,即增加林木独占圆的平均面积。

证明:设共有 n 株林木,第 i 株林木的最近邻体距离为 d_i

令 $\bar{d} = \sum_i d_i$, $\bar{s} = \sum_i \frac{\pi}{4} d_i^2$ 分别为平均最近邻体距离和平均独占圆面积

不失一般性,设去掉第 1 株林木,且

$$d_1 < \bar{d} \tag{6}$$

则有 $\frac{\pi}{4} d_1^2 < \bar{s}$

设去掉第 1 株林木后,第 i 株林木的最近邻体距离为 e_i,由引理 3 可知

$e_i \geqslant d_i \quad i = 2, 3, \cdots n$

$$\frac{1}{n-1}\sum_{i=2}^{n} e_i \geqslant \frac{1}{n-1}\sum_{i=2}^{n} d_i = \frac{n}{n-1}\frac{1}{n}\left|\sum_{i=1}^{n} d_i - d_1\right| = \frac{n}{n-1}\bar{d} - \frac{1}{n-1}d_1 > \frac{n}{n-1}\bar{d} - \frac{1}{n-1}\bar{d} = \bar{d}$$

同样

$$\frac{1}{n-1}\sum_{i=2}^{n}\frac{\pi}{4}e_i^2 \geqslant \frac{1}{n-1}\sum_{i=2}^{n}\frac{\pi}{4}d_i^2 = \frac{n}{n-1}\frac{1}{n}\frac{\pi}{4}\left|\sum_{i=1}^{n} d_i^2 - d_i^2\right| = \frac{n}{n-1}\bar{s} - \frac{1}{n-1}\frac{\pi}{4}d_1^2 > \frac{n}{n-1}\bar{s} - \frac{1}{n-1}\bar{s} = \bar{s}$$

值得注意的是:上述证明只证明了择伐去小会增加平均独占圆面积,但并不一定能增加总独占圆面积,所以不一定能增加均匀度。

4 均匀度与 Hopkins 指标的对比

4.1 野外调查与样地概况

为了验证本文定义的均匀度对格局检验的正确性,进行了野外调查工作。样地设在帽儿山实验林场中林施业区 13 林班 20 小班和 14 林班 5 小班之间,坡度 13°。在本次调查中使用了工程测量中使用的红外测距仪和经纬仪,这种测量仪器能达到毫米级的精度。

使用红外测距仪(RED2L)测量测站与林木之间的距离,测量最少 2 人进行。一人操作测量仪器,另一人将一个棱镜安放在高度为 1.3 m 的支架上,将支架贴树放在正对观测仪器的方向上;并测量对应林木的胸径和树高。测站上测得的距离是测站对林木的 1.3 m 处的距离。在测量距离的同时,用经纬仪(误差 2″)测量树的方位角和仰角,通常在大地测量中使用方向观测法或全圆方向观测法,要使用 2 个半个测回来进行测量。在本次测量中,由于由 2 个人组成测量组,对每株林木使用了 2 个半个测回来进行,即对每一株数,先用盘左方式照准目标并读数,然后纵转望远镜(盘右)照准目标并读数。根据立体几何原理,上述 3 个参数可以唯一确定林木的(x, y, h)。值得一提的是:在测量后对样地的边界进行了规范化处理,使样地呈长方形,去除了规范样地外的已测量的林木(图 1)。

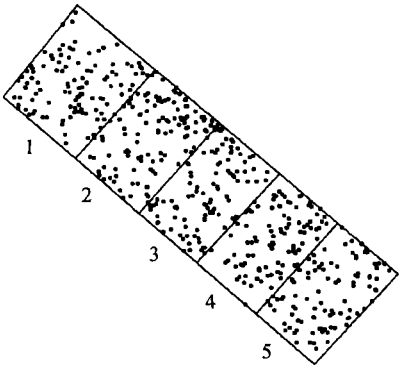


图 1 样地调查结果

Fig. 1 The surveying result on the plot

4.2 计算方法与计算结果

在求 χ^2 的 95 %置信区间过程中,由于自由度较大,难以找到现成的统计检验表格查,必须自行编制求 χ^2 概率的程序。对 χ^2 概率的求算应用了不完全伽马函数,并应用了 Chebyshev(切比雪夫)多项式逼近伽马函数的算法。

对 Hopkins 格局检验应用了 ArcView GIS 的 Avanue 语言进行编程计算,过程如下:计算全部已测林木的最近邻体平方距离并求和及求平均得(2)式中的 a;根据实测林木株数产生相同个数的随机点,求每一随机点与最近林木的平方距离,求得(3)式中的 b;通过 a、b 计算统计量 y。见表 1。

表 1　均匀度指数与 Hopkins 格局检验指数(y) 对照表

Tab. 1　The contrast between the uniform index and Hopkins' testing index(y)

样地号 Sample code	1	2	3	4	5
株数 Number	106	124	104	97	98
样地面积 Sample plot area/ m^2	1 177.18	1 019.53	943.95	953.706	969.97
单位半径圆内植物株数估计量 Plant number in unit radius circle	0.282 887	0.382 095	0.346 126	0.319 527	0.317 408
平均独占圆面积 Average monopolized circle area	2.850 23	1.825 12	1.867 610	2.081 38	2.526 76
均匀度 Uniform index	0.323 702	0.280 353	0.259 466	0.266 759	0.321 727
点到植物平方距离之和 Total square distance between random point and plant(a)	391.67	430.695	457.279	374.901	321.343
植物到最近邻体平方距离 Total square distance between plant and proximate neighbour(b)	381.06	285.829	244.925	254.410	312.066
标准正态变量 Standard normal variable(y)	0.199	3.177 48	4.350 95	2.659 92	0.204 54
随机格局检验域值 Random pattern criteria	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
经典检验方法检验结果 Testing result	随机格局 Random pattern	集聚格局 Amass pattern	集聚格局 Amass pattern	集聚格局 Amass pattern	随机格局 Random pattern
χ^2 检验自由度 χ^2 degree of freedom	212	248	208	194	196
$\chi^2_{0.95}$ 置信区间最大值 $\chi^2_{0.95}$ maximum value	246.85	285.75	242.67	227.50	229.68
$\chi^2_{0.95}$ 置信区间最小值 $\chi^2_{0.95}$ minimum value	179.32	212.55	175.63	162.78	164.61
均匀度 χ^2 检验最大域值 Uniform index χ^2 maximum value	0.374 166	0.369 744	0.374 972	0.377 164	0.376 853
均匀度 χ^2 检验最小域值 Uniform index χ^2 minimum value	0.271 806	0.275 028	0.271 382	0.269 867	0.270 088
均匀度 χ^2 检验结果 Uniform χ^2 testing result	随机格局 Random pattern	集聚格局 Amass pattern	集聚格局 Amass pattern	集聚格局 Amass pattern	随机格局 Random pattern

5　结论

新的均匀度指标有较好的理论基础 ;新指标计算方便 ,适合野外操作 ;新指标更适合于控制林木空间集聚度 ;新的均匀度指标能正确反映林木空间格局 。

参　考　文　献

孙　冰 ,杨国亭 ,迟福昌 ,等 .1994 .白桦种群空间分布格局的研究 . 植物研究 ,14(2) :201 - 207

任立忠 ,罗菊春 ,李新彬 . 2000 .抚育采伐对山杨次生林植物多样性影响的研究 . 北京林业大学学报 , 22(4) :14 - 17

皮　洛著 .卢泽愚译 . 1978 .数学生态学引论 . 北京 :科学出版社 ,161 - 166

夏德勇 ,罗传文编著 .1994 .非线性现象 .哈尔滨 :黑龙江省科学技术出版社 ,132

Clark P J, Evans F C. 1954. Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. Ecology, 35: 445 - 453

Donnelly K P. 1978. Simulation to determine the variance and edge-effects of total nearest neighbour distance. In: Hodder I R. Simulation methods in archaeology. Cambridge University Press, London, United Kingdom, 91 - 95

Fuldner K. 1995. Zur strukturbeshreibung in mischbestanden. Forstarchiv, 66: 235 - 240

Gleichmar W, Gerold D. 1998. Indizes zur charakteristierung der horizontalen baumverteilung. Forswiss. Cent bl, 117: 69 - 80

Hopkins B, Skellam J G. 1954. A new method for determining the type of distribution of plant individuals. Ann Bot Lond N S, 18: 213 - 227

Kint V, Meirvenne M V, Nachtergale L, *et al*. 2003. Lust spatial methods for quantifying forest stand structure development: a comparison between nearest-neighbor indices and variogram analysis. Forest Science, 49(1): 36 - 49

Pielou E C. 1977. Mathematical ecology. Wiley, Oxford, United Kingdom, 385

Smaltschinski T. 1998. Charakterisierung von baumverteilungen. Forstwiss. Cent bl, 117: 355 - 363