

邻体干扰指数通用模型及其应用

洪伟 吴承祯 蓝斌

(福建林学院林学系, 南平 353001)

摘要 本研究在前人工作的基础上提出邻体干扰指数的通用模型 $H = \sum_{i=1}^N S_i^\alpha \cdot S^\beta \cdot d_i^\gamma$, 并讨论邻体干扰指数模型中生长速度、邻体及基株大小的度量方法的选择, 进而提出通用模型在马尾松优势种群的经营管理中的具体应用。

关键词 邻体干扰 马尾松林 通用模型

A GENERAL MODEL FOR NEIGHBORHOOD INTERFERENCE INDEX AND ITS APPLICATION

Hong Wei, Wu Chengzhen and Lan Bin

(Forestry Department of Fujian Forestry College, Nanping 353001)

Abstract Based on the previous works, a general model for neighborhood interference index has been put forward; $H = \sum_{i=1}^N S_i^\alpha \cdot S^\beta \cdot d_i^\gamma$. And the methods of measuring growth rate, neighbor size and target individual size have been discussed. As an example, the general model was applied to the management of *Pinus massoniana* forest.

Key words Neighborhood interference, *Pinus massoniana* forest, A general model

植物个体的生长不仅取决于其自身的遗传特性, 还取决于其生境立地质量及其对环境资源的利用状况。生境影响植物的生长, 反过来, 植物的生命过程及生长过程也影响和改变着生境条件, 使之有利或不利于邻体生长, 这就是干扰 (Interference)。研究植物邻体干扰一方面通过分析群落植物个体生长速度与邻体干扰间的关系来分析植物群落演替过程中优势种之间的相互关系和演替动力; 另一方面可以分析单优势种的森林种群的竞争格局, 为林业生产的经营管理服务。因此, 研究植物邻体干扰指数模型不仅具有生态学意义, 还具有现实意义和实用价值。本文提出通用的邻体干扰指数模型, 讨论了邻体干扰指数模型中生长速度、基株及邻体大小的计量方法, 并探讨了马尾松人工林种群经营管理的优化模型。

1 邻体干扰指数通用模型的构建

前人对邻体干扰指数模型已经做了大量研究工作, 并取得了显著成效 (张大勇等,

1989; 张跃西, 1993; Weiner, 1982; Weiner, 1984)。Weiner (1982) 提出了邻体干扰指数的度量公式为:

$$I' = \sum_{i=1}^N d_i^{-2} \quad (1)$$

其中, d_i 为基株到第 i 邻体的距离, N 为邻体的数目。后来, Weiner (1984) 又在公式中增加了另一变量即邻体大小, 公式为:

$$I = \sum_{i=1}^N S_i d_i^{-2} \quad (2)$$

其中, S_i 为邻体 i 的大小。Weiner 研究表明在个体植物生长速度和邻体干扰指数之间存在非常显著的负相关关系, 模型 (2) 比模型 (1) 更为合理。

但模型 (2) 只描述邻体与基株距离越远, 则其对基株的影响就越小的机理, 忽视了其表现为距离的倒数形式的合理性, 因此, 以倒数形式计测影响强度只是假设。同时, 模型 (2) 表达了每一邻体对基株的影响与邻体大小成正比, 与邻体到基株的距离平方成反比, 与该基株的现状是无关的。当基株与邻体处于不同的资源利用等级时, 其合理性值得怀疑。因此, 张大勇等 (1989) 提出了改进模型:

$$I'' = \sum_{i=1}^N d_i^{-1} \quad (3)$$

$$I''' = \sum_{i=1}^N S_i \cdot d_i^{-1} \quad (4)$$

$$I_d = \sum_{i=1}^N S_i \cdot S \cdot d_i^{-1} \quad (5)$$

其中, S_i 为邻体胸高处主干周长大小; S 为基株胸高处主干周长大小; 其它参数同前。张大勇的研究认为模型 (5) 较理想。

张跃西 (1993) 根据生态学原理及自疏规律又提出新的改进模型:

$$I_x = \sum_{i=1}^N S_i^2 \cdot S^{-1} \cdot d_i^{-2} \quad (6)$$

其中, S_i 为第 i 邻体的胸高断面积大小; S 为基株的胸高断面积大小; d_i 为第 i 邻体到基株的距离。

笔者认为前人研究中, 对干扰指数模型中变量的幂都以一次幂、二次幂、倒数一次幂、倒数二次幂的形式出现, 是否还有其它的更好的模型值得研究。

本文结合实际工作, 提出一个邻体干扰指数的通用模型:

$$H = \sum_{i=1}^N S_i^\alpha \cdot S^\beta \cdot d_i^r \quad (7)$$

其中, S_i 为邻体大小; S 为基株大小; d_i 为第 i 邻体到基株的距离; α 、 β 、 r 为待定参数, 它依研究的对象不同而不同。

当 $\alpha=1$ 、 $\beta=0$ 、 $r=-2$, H 模型就演变成成为模型 (2); 当 $\alpha=1$ 、 $\beta=-1$ 、 $r=-1$, H 模型就演变成成为模型 (5); 当 $\alpha=2$ 、 $\beta=-1$ 、 $r=-2$, H 模型即为模型 (6); 其它模型可以经过类似演变而得到。因此, 模型 H 是邻体干扰指数模型的推广和拓宽, 其它模型都是它的特例。

2 通用模型与几种干扰指数模型比较

具体邻体干扰指数模型的构造, 涉及3个因素。一是邻体的确定; 二是基株大小 S 及

邻体大小 S_i 的度量方法; 三是生长速度的计测方法。有的研究以最近两年半径生长量来表示 (张大勇等, 1989), 有的以最近一年胸高断面积生长量来表示 (张跃西, 1993)。对生长较慢的植物种来说以选择最近两年胸高断面积生长量为宜。任何一个因素选择不当都可能影响干扰指数模型的回归优度。因此, 在构造邻体干扰指数通用模型时, 必须同时对这3个因素加以研究, 以构造一个理想的邻体干扰指数模型。

我们在闽北地区马尾松典型分布地段, 选择设置21块 (20m×20m) 生境条件大致均一的林分标准地, 在标准地范围内进行每木检测, 并在方格网上定位, 绘出相应的树冠投影图。共随机选择对象木 (基株) 300株, 在胸高处 (1.30m) 用生长锥钻取样芯, 利用精度为0.05mm的微标卡尺在放大镜下测出近两年的半径生长量, 两次重复测量的误差在0.1mm之内, 基株与邻体间的距离在定位图上测得。本研究也认为“那种不论基株与邻体大小, 一概以基株为中心, 2m圆周内的所有个体均定义为该基株邻体”的做法是不合适的。参考张跃西 (1993) 测定马尾松林分干扰指数中确定邻体的方法: 以基株为中心, 大致以2~6m为半径圆周内的所有个体。

本研究分别以近两年胸半径生长量 (Z_D)、胸高断面积生长量 (Z_S) 表示马尾松的生长速度, 以胸高处周长 (l) 和胸高断面积 (G) 来度量基株和邻体大小。

依据不同的计量方法, 分别用 (2)、(5)、(6)、(7) 式去拟合。模型 (7) 的参数 α 、 β 、 r 用非线性迭代法拟合, 再用改进单纯形法 (何宗明等, 1993) 对其进行优化, 得优化结果列于表1。

由表1可以看出, 当生长速度、基株及邻体大小采用不同的方法计量, 邻体干扰指数模型参数组合也不一样, 其中以胸高断面积生长量计测生长速度和胸高断面积计测基株及邻体大小为最好, 其回归相关系数为-0.84, 即与生长速度存在显著的负相关关系。

表1 参数优化结果

Table 1 The result of optimum parameter

生长速度指标 Growth rate index	以周长计 S 及 S_i 大小 Regarding the circumference as the size of S and S_i				以断面积计 S 及 S_i 大小 Regarding the sectional area as the size of S and S_i			
	α	β	γ	r	α	β	γ	r
Z_D	2.730000	-0.584290	-0.430990	-0.66	2.630000	-0.665930	-0.488192	-0.71
Z_S	1.045741	-0.840810	-0.434452	-0.76	1.045741	-0.704833	-0.626919	-0.84

用模型 (2)、(5)、(6)、(7) 计测的邻体干扰指数与马尾松生长速度依生长速度指标及基株与邻体大小计量方法不同, 直线回归关系列于表2。

由邻体干扰指数模型 (2)、(5)、(6)、(7) 与马尾松生长速度的回归关系可以看出, 本文所提出的模型 $H = \sum_{i=1}^N S_i^\alpha \cdot S_i^\beta \cdot d_i^r$ 不管生长速度及邻体与基株大小度量指标选择如何, 它都与生长速度存在十分显著的负相关关系 ($p < 0.01$), 显著地优于前人提出的干扰指数模型。而且在生长速度选择上, 以胸高断面积生长量为好; 在基株及邻体大小计测上以胸高主干周长或胸高断面积表示, 结果存在一定差异, 以胸高断面积计量为好。

表2 生长速度与邻体干扰指数回归关系

Table 2 The regressing relationship between growth rate and the neighbourhood interference index

指数模型号 Index models number	以胸高主干周长计 S 及 S_i 大小 Regarding the circumference at breast-high as the size of S and S_i			以胸高断面积计 S 及 S_i 大小 Regarding the sectional area at breast-high as the size of S and S_i		
	模型 Model		r	模型 Model		r
(2)	$Z_D = 0.2378014 - 0.00801808I$		-0.24	$Z_D = 0.238145 - 0.00374162I$		-0.28
(2)	$Z_S = 0.0006693187 - 0.0000253432I$		-0.28	$Z_S = 0.000661829 - 0.000007236889I$		-0.26
(5)	$Z_D = 0.2415139 - 0.00279649I_d$		-0.17	$Z_D = 0.2502058 - 0.004514687I_d$		-0.30
(5)	$Z_S = 0.001029959 - 0.000103019I_d$		-0.64	$Z_S = 0.000853812 - 0.00004869774I_d$		-0.64
(6)	$Z_D = 0.2405866 - 0.01063021I_x$		-0.28	$Z_D = 0.2449293 - 0.005150244I_x$		-0.37
(6)	$Z_S = 0.000692986 - 0.00005035035I_x$		-0.40	$Z_S = 0.000705431 - 0.00002135693I_x$		-0.49
(7)	$Z_D = 0.373763 - 0.3107637H$		-0.66	$Z_D = 0.3031156 - 0.01107386H$		-0.71
(7)	$Z_S = 0.001455892 - 0.0002079955H$		-0.76	$Z_S = 0.0008044679 - 0.00002631672H$		-0.84

由邻体干扰指数通用模型 $H = \sum_{i=1}^N S_i^\alpha \cdot S^\beta \cdot d_i^\gamma$ 拟合结果可以看出，邻体干扰与基株的大小成反比，与邻体的大小成正比，与邻体距基株间的距离成反比，但它们的幂次方并不一定表现为整数，参数随植物个体生物学以及生态学特性不同而不同。因此，通用模型具有更大的灵活性。

3 闽北马尾松人工林种群干扰规律及应用

福建省闽北地区地处福建北部，位于武夷山脉东南坡，属中低山丘陵。气候温和，雨量充沛，年均温度在 $17.5^\circ\text{C} \sim 19.3^\circ\text{C}$ 之间， $\geq 10^\circ\text{C}$ 的年活动积温在 5000°C 以上，属于典型的中亚热带季风气候。土壤以红壤、黄壤为主。马尾松单优势种群分布在海拔 1000m 以下，多为人工林单优群落。

根据植物生长及干扰的生态学意义，综合考虑回归分析的结果，得出闽北马尾松人工林种群在邻体干扰指数通用模型下的种群干扰规律：

A: 基株及邻体大小以胸高主干周长计测

$$Z_S = 0.001455892 - 0.0002079955H \quad r = -0.76 (p < 0.01)$$

B: 基株及邻体大小以胸高断面积计测

$$Z_S = 0.0008044679 - 0.00002631672H \quad r = -0.84 (p < 0.01)$$

综合上述研究结果及生态学原理，得出结论：

干扰指数模型：
$$H = \sum_{i=1}^N S_i^\alpha \cdot S^\beta \cdot d_i^\gamma$$

干扰规律模型：
$$Z_S = a + bH$$

其中， S_i 为第 i 株邻体胸高断面积大小； S 为基株胸高断面积大小； d_i 为第 i 邻体距基株

距离； Z_s 为近两年胸高断面积生长量； a 为回归常数； b 为回归系数。

植物个体的胸高断面积大小 (G) 与植株高度 H 之间存在显著的相关关系。因此，在一定程度上，可以用胸高断面积生长量来反映同时期的材积增量。

假设生境条件均一，植物个体对资源的利用处于相同等级。要使环境资源得以充分利用，处于相同资源利用等级的个体势必按六边形模式格局分布 (图1)。

在生境均一、处于相同资源利用等级情况下单优势种的森林群落中，如果森林种群个体按图1所示格局分布，则其密度 $N = \frac{8\sqrt{3}}{9}d^{-2}$ ，而

$$Z_s = a + bH$$

则材积增长的目标函数为：

$$W = N \cdot Z_s$$

- 其约束条件为：
- (1) $Z_s \geq 0, d > 0$
 - (2) $S_i = S$
 - (3) 生境均质、植物水平格局如图1

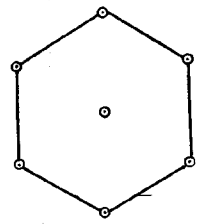


图1 植物水平格局理想模式

对目标函数等式两边求导，并令 $W' = 0$ ，得到： $a + 3(2-r) \cdot b \cdot S^{\alpha+\beta} \cdot d^r = 0$ 即

$$d = \left(\frac{-a}{3(2-r) \cdot b \cdot S^{\alpha+\beta}} \right)^{\frac{1}{r}}$$

考虑到回归方程误差的影响，增加校正系数 $\frac{1}{r^2}$ (杰费斯, Fig. 1 Theoretical model of plant horizontal pattern 1983), 得到在约束条件下, 单位面积上群落中种群的经营管理优化模型：

$$d = \frac{1}{r^2} \left(\frac{-a}{3(2-r) \cdot b \cdot S^{\alpha+\beta}} \right)^{\frac{1}{r}}$$

其中， d 为最适植株间距； S 为植株胸高断面积； a 为回归常数； b 为回归系数； α 、 β 、 r 为干扰指数通用模型参数； r^2 为回归优度。

根据马尾松林 $Z_s = 0.0008044679 - 0.00002631672H$ 及其相应邻体干扰指数模型参数，得到马尾松人工林经营管理的优化模型：

$$d = 0.1371829 \cdot l^{1.0875661}$$

其中， l 为胸径 (cm)； d 为最适间距。当胸径 $l = 16\text{cm}$ 时，最适间距 $d = 2.80\text{m}$ 。优化模型可以作为马尾松造纸原料林营林与间伐的科学依据。

4 讨论

邻体干扰指数模型不仅涉及邻体的数目、邻体到基株的距离、邻体及基株个体的大小，还涉及其模型参数的优化问题。本文在邻体干扰指数模型参数的设定、生长速度计测方法、基株及邻体大小度量方法以及植物种群经营优化模型等方面做了探索性研究，建立了邻体干扰指数模型的通用模型，它是前人模型基础上的改进和推广，前人模型是通用模型的特例。研究表明：邻体干扰指数通用模型 $H = \sum_{i=1}^N S_i^\alpha \cdot S^\beta \cdot d_i^r$ 更确切地反映了

植物间的干扰关系；植物生长速度以近期胸高断面生长量描述为宜；基株及邻体大小以胸高断面积计测为宜。

邻体干扰指数通用模型 $H = \sum_{i=1}^N S_i^{\alpha} \cdot S^{\beta} \cdot d_i^r$ 的参数 α 、 β 、 r 采用曲线拟合方法拟合，它们依树种不同而不同；也依生长速度、基株及邻体大小计量方法不同而不同。

马尾松种群经营的优化模型是在假设生境均一、处于相同资源利用等级情况下构造的，它为用材林单优势种群营林与间伐提供了科学的理论依据。对于处于不同资源利用等级及异质生境条件下如何建立优化模型还有待于进一步研究。

参 考 文 献

- 张大勇等, 1989: 青秆林恢复演替过程中的邻体竞争效应及邻体干扰指数的改进模型, *生态学报*, **9** (1) 53~58。
张跃西, 1993: 邻体干扰模型的改进及其在营林中的应用, *植物生态学与地植物学学报*, **17** (4) 352~357。
何宗明、洪伟, 1993: MSM 法优化材程方程的研究, *林业科学*, **29** (6) 558~562。
John N. R. 杰费斯, 1983: 系统分析及其在生态学上的应用, 科学出版社, 151~156。
Weiner, I., 1982: A neighborhood model of annual plant interference, *Ecol.*, **63**: 1237~1241。
Weiner, J., 1984: Neighborhood interference amongst *pinus rigida* individuals, *Journal of Ecology*, **72**: 183~195。