

我国落叶松林生产力的空间变化特征

张金屯

(北京师范大学生命科学院, 北京 100875)

摘 要: 落叶松林在我国有着广泛的分布, 其空间差异也比较大。采用地统计学方法对我国落叶松林生产力的空间特征进行了分析。结果表明, 落叶松种群和群落地理替代作用明显; 落叶松林生产力空间异质性较大, 其变化与空间尺度密切相关; 地理位置、海拔高度等是影响落叶松林生产力的重要因素; 在天然落叶松林的管理和保护以及人工落叶松林的发展上应考虑其空间特征。

关键词: 森林植被; 空间特征; 森林生产力; 落叶松林; 山地森林

中图分类号: S718.5 文献标识码: A

落叶松(*Larix*)林是我国分布广、面积大、生产力高的一类寒温性针叶林, 是重要的用材林。我国共有十余种落叶松可以作为优势种或建群种而形成落叶松森林群落, 主要有兴安落叶松(*Larix gemelinii*)、西伯利亚落叶松(*L. sibirica*)、长白落叶松(*L. olgensis* var. *changpaiensis*)、华北落叶松(*L. principis-rupprechtii*)、太白落叶松(*L. chinensis*)、西藏落叶松(*L. griffithiana*)、大果红杉(*L. potaninii* var. *macrocarpa*)、红杉(*L. potaninii*)、四川红杉(*L. mastersiana*)、西马拉雅落叶松(*L. himalaica*)、怒江落叶松(*L. speciosa*)等。它们可以形成天然纯林、针叶混交林和针阔混交林, 在东北、华北、西北、华中、西南等地都有分布, 其中在东北大兴安岭地区面积很大, 是水平地带性植被类型, 而其他大部分地区则分布于海拔较高的山地, 属于垂直地带性植被类型^[1]。在过去的 30 年中, 也有大面积的人工落叶松林出现, 但其林龄较小, 材积量不大。

落叶松林在空间分布上有明显的差异, 也形成了群落组成、结构、功能及生产力等方面的差异, 构成了区域特征^[2], 这就是落叶松林在大尺度上的空间异质性(spatial heterogeneity)。用景观生态学方法对空间异质性进行分析, 可以揭示落叶松林的空

间特征, 为落叶树林的保护和合理利用提供科学依据。本文用不同区域落叶树林的生物量和净第一性生产力数据来分析落叶松林的空间特征。

1 方法

1.1 空间特征分析方法

这里用空间自相关分析(spatial autocorrelation analysis)、空间变量图(variogram)和空间分形分析(fractal analysis)来研究落叶松群落的空间特征。

空间自相关分析是检验落叶松的某一指标观测值是否显著地与其相邻空间点上的观测值相关^[3]。如果相邻两点上的值均高或均低, 则我们称其为空间正相关, 否则称为空间负相关。空间自相关分析在景观生态学中应用较多, 现已有多种指数可以使用, 我们选最常用的 Moran 指数 I

$$I = \frac{N \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij}) \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (i \neq j) \quad (1)$$

式中 x_i 和 x_j 分别代表落叶松某指标 x 在空间单元 i 和 j 中的观测值, \bar{x} 为 x 的平均值, W_{ij} 为相邻权重, N 为空间单元总数。这里, I 指数与统计学上的相关系数相近, 其值变化于 0 和 -1 之间。当 $I=0$

时代表空间无关, 当 $I > 0$ 为正相关, 而 $I < 0$ 时为负相关。自相关系数可以与尺度结合起来, 以分析不同尺度下的空间相关关系, 这样的结果可以用尺度—自相关系数图表示, 其可以直观地看出空间相关性随尺度的变化^[4]。

变量图是分析落叶松某一指标值在空间的变异性, 其可定义为

$$\tau(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^N[x(i)-x(i+h)]^2\quad(2)$$

式中 $\tau(h)$ 为变异指数, h 为两点间的距离, $x(i)$ 和 $x(i+h)$ 分别代表落叶松某一指标在空间两点 i 和 $i+h$ 上的观测值, $N(h)$ 为距离为 h 时的样本总数。由于这里有 $1/2$ 因子, 有的学者称其为半变量图(semivariogram)。在取不同的 h 值时, 可求得不同的变异指数, 从而绘图得到变量图, 其可反映尺度变化与格局的关系^[5]。

分形分析也有叫分维分析的, 它是以分形几何为基础的, 由 Mandelbrot (1982) 所创立。分形几何在考虑空间尺度时更有效^[6-7]。在景观生态学中, 其可用于研究不规则景观斑块的周长、廊道(河流、小路等)的长度, 还可研究斑块面积与周长的关系等。这里我们只用其分析落叶松空间格局规模。该方法重要的是要确定格局的分维数(fractal dimension), 可用下式描述

$$2\tau_h=h^{(4-2D)}\quad(3)$$

式中 τ_h 为半方差, 相当于变量图中的变异系数, h 为空间距离(尺度), D 代表落叶松某一指标值空间变化的分维数^[8-9]。

1.2 落叶松群落的生产力数据

我们 used 在全国选取的 40 个各类落叶松群落样点的数据, 用森林的总生物量(total biomass, TB)和净初级生产量(net primary productivity, NPP)作为落叶松林生产力的指标来分析其空间变化特征。每组数据由样点所处的纬度、经度和指标值所组成。数据来源于中国科学院植物研究所“中国植被数据库”^[10]。

2 结果

2.1 落叶松种群及群落在空间的地理替代

在中国植被体系中, 落叶松林是一个群系组, 含十多个群系, 有十多个建群种和优势种。随着地理环境的变化, 这些种群和群落有明显的地理替代现象。图 1 是 9 个主要落叶松林群系在我国的分布。

随着地理位置的变化, 落叶松林的空间替代作用非常明显。其总体分布趋势是由东北向西南倾斜, 这与我国的山体走势相一致, 因为在纬度较低的地区其分布高度增加。我国自北向南, 落叶松林的替代顺序是: 兴安落叶松林→西伯利亚落叶松林→长白落叶松林→华北落叶松林→太白落叶松林→大果红杉林→红杉林→四川红杉林→西藏落叶松、喜马拉雅落叶松、怒江落叶松林。落叶松种群的分布范围比以其为建群种或优势种而形成的群落的分布范围要大的多, 并有交错分布区, 但其地理替代顺序与群落是一致的, 这是地理环境长期作用的结果。



图 1 我国 9 个主要落叶松林群系在空间的分布示意图
Fig. 1 The spatial distribution of the 9 main Larix formations in China

2.2 落叶松林的空间变化特征
2.2.1 空间自相关系数的变化特征

落叶松林总生物量的空间变化非常明显。图 2 (a)是总生物量空间自相关系数 I 的变化图, 其横坐标是空间尺度, 纵坐标是 I 值。从图中可以看出, 随着空间尺度的变化, 自相关系数有较大的差异。在尺度较小时, 空间自相关多为正值, 说明在小尺度下, 落叶松林总生物量相似, 这是因为小尺度下, 落叶松林的建群种或优势种基本一致, 群落的结构、内外环境都比较接近。当尺度增大时, 自相关系数逐渐变为负值, 在中尺度下, 其以负值占主导地位, 这是因为在中尺度下, 落叶松林建群种或优势种均发

生了替代作用,群落的特征和环境也发生了显著的变化,这必然影响群落生产力。随着尺度的进一步增加,总生物量的自相关系数的差异变得不显著,而在 0 值的附近摆动,说明大尺度下落叶松林生物量空间自相关性不强。图 2(b) 净初级生产量的空间自相关系数,其空间变化更为显著。与总生物量类似,随着空间尺度的增加,自相关系数有正值变为负值,但在中尺度时就接近于 0 值,而到大尺度时又变成显著负相关。对于净初级生产量来说,其受气候等自然地理环境条件的影响更大,因此空间变化就更明显。但对总生物量来说,它是多年生产量的累计,其空间变化就弱于净初级生产量。他们二者变化趋势基本一致,反映了落叶松林的空间特征。

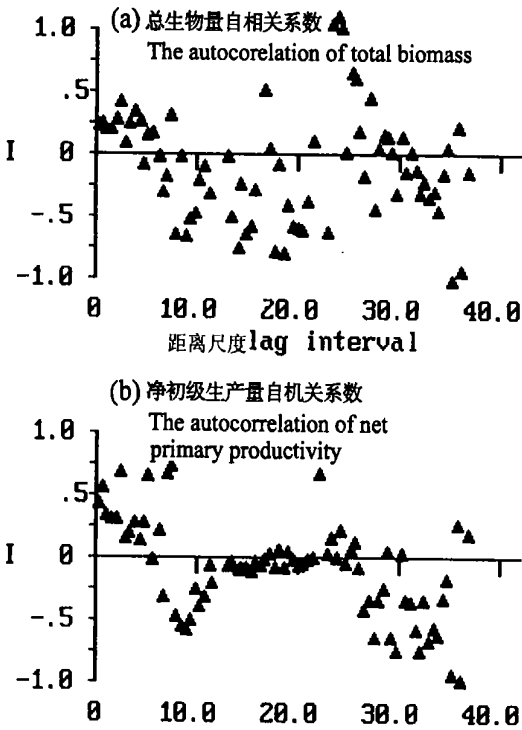


图 2 落叶松林空间自相关系数的变化
Fig. 2 The changes of autocorrelation coefficients of Larix forests

2.2.2 变量图分析

变量图实际上是半方差分析(semivariance analysis),其是反映空间两点间变异性大小的函数,变量图是描述随着尺度的变化半方差的变化。图 3(a)是落叶松林总生物量的变量图,由图可知,随着尺度的增大,半方差值逐渐增加,在尺度 18 度(经纬度)时达到最大值,然后又有所下降。说明落叶松生物量随着尺度的增大变异性增大,这是综合自然环境条件变异性增大的结果,到大尺度时,其变异性有所

下降,可能是局部环境趋同的结果,另外可能由于生物量是多年生产量的积累,其在大尺度下对空间因子作用的敏感性降低。图 3(b)是净初级生产量随尺度变化的变量图,随着尺度的增大,净初级生产量的变异性逐渐增大,基本上是线性关系,说明空间因子对净初级生产量影响更大,这与空间自相关分析的结果相吻合。说明空间因子对我国落叶松林的生产力有重要影响。

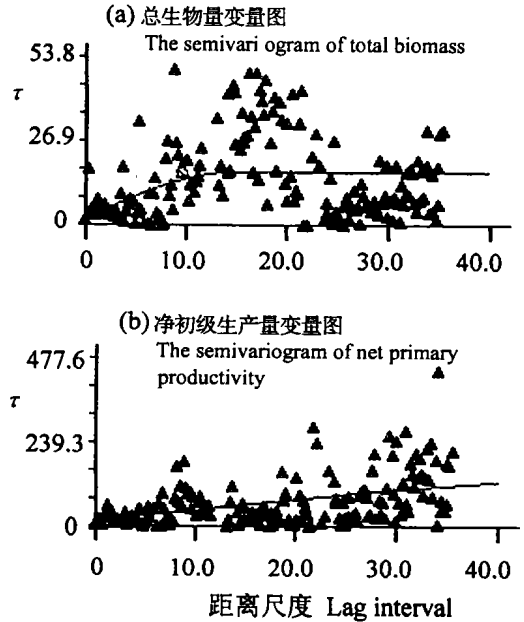


图 3 落叶松林空间变化的变量图
Fig. 3 The semivariogram of Larix forests in China

2.2.3 空间分形分析

分形分析主要是确定分维数 D,如图 4 所示,(a)是落叶松林总生物量的分形分析图,(b)是净初级生产量的分形分析图,前者 D=1.898,后者 D=1.778。说明生物量曲线的曲度较大,变异性较大,规律性不特别强。而净初级生产量曲线的曲度较小,直线的斜率较大,说明尺度变化与空间格局关系更密切,空间变化的规律性更强。这也与前面的分析结果相一致。

3 讨论

由于我国自然地理条件的复杂性,构成落叶松种群和群落的空间变化的复杂特征。落叶松种群和群落具有明显的地理替代现象(见图 1),这种替代现象也影响着生产力的空间变化^[1]。

本文用三种空间分析方法分析了我国落叶松林的空间特征,其结果是一致的。三种方法各有特色,从不同的角度反映了落叶松林的空间特征,可以独立使用。这里将三者结合使用,其结果可以相互印证,更有说服力。分析结果说明我国落叶松林的空间异质性较大,变化明显,落叶松林生产力显著地受空间因子影响(见图 2~4)。落叶松林的空间特征与尺度大小密切相关。自相关系数,在小尺度时为正值,中尺度时多为负值,大尺度下变化较大。半方差值基本上随着尺度的增大逐渐增加。影响落叶松

林空间特征的因子很多,表 1 是落叶松林生产力与某些因子的相关系数,可以看出,落叶松林生产力与经纬度间呈负相关,虽然有两个系数不显著,但趋势是明显的。因为随着纬度的升高,水热等条件逐渐变差,必然会影响到群落生产力。落叶松林的生产力与海拔高度呈正相关,这是因为越向西南,落叶松林的分布高度越高。生物量与林龄有极显著的正相关关系,另外生物量和净初级生产量均与叶面积指数显著关联,这符合一般的规律。

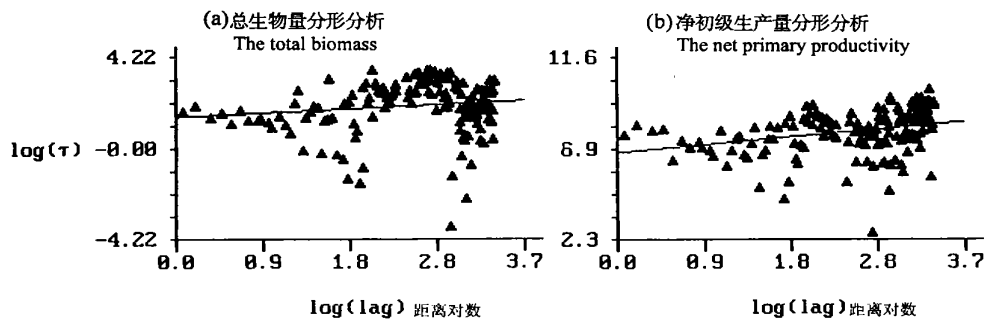


图 4 落叶松林空间变化分形分析图

Fig 4 The fractal dimension analysis of Larix forest in China

表 1 落叶松林生产力与某些因子的相关系数

Table 1 The correlation coefficients between productivity of Larix forests and some factors

生产力指标 Productivity index	纬度(°) Latitude	经度(°) Longitude	海拔高度(m) Elevation	林龄(a) Forest age	叶面积指数 Index of leave area
总生物量(t hm^{-2}) Total biomass	-0.274	-0.509 ***	0.317 *	0.637 ***	0.958 ***
净初级生产量($\text{t hm}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$) Net primary production	-0.347 *	-0.258	0.210	0.068	0.746 ***

注: * $P<0.5$ ** $P<0.1$ *** $P<0.001$

用群落总生物量和净初级生产量二指标都可以较好地反映落叶松林生产力的特征,但比较而言,净初级生产量能更好地反映其空间变异规律,因为它对环境因子的空间变化更敏感,而总生物量除空间因子外,时间因子对其有重要作用^[11]。

落叶松林是我国山地森林主要发展对象,本文的分析结果对我国落叶松林的管理和保护以及人工落叶松林的扩展有参考价值。譬如,在小尺度上林种选择、林型配置等方面应选择亲缘关系近、对环境要求一致的林种和林型。在中尺度上,则要选择地理替代种群和群落。而在大尺度上,要考虑异质性强,同时对局部地理环境适应性强的种类和林分。这样依据空间变化规律,人为造成空间异质性梯度,

促其发展,在全国范围内达到生产力最大,取得最好的经济和生态效益。

参考文献(References):

[1] Wu Zhengyi. Vegetation of China[M] . Beijing: Science Press, 1982 [吴征镒. 中国植被[M] . 北京: 科学出版社, 1982.]
[2] Hou Xueyu. Geography of vegetation and chemical elements of main dominant plants in China[M] . Beijing: Science Press, 1982.[侯学煜. 中国植被地理及其主要优势种的化学成分[M] . 北京: 科学出版社, 1982.]
[3] Cliff, A. D. and J. K. Ord. Spatial Processes[M] . London: Pion, 1981.
[4] Forman, R. Land mosaics, the ecology of landscapes and regions [M] . Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
[5] Forman, R. and Godron. Landscape Ecology[M] . New York: Wi-

ky & Sons, 1986.

- [6] Mandelbrot B. B. Fractal geometry of nature[M]. San Francisco: Freeman, 1982.
- [7] Zhang Jintun. Quantitative methods in vegetation ecology [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1995. [张金屯. 植被数量生态学方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.]
- [8] Zhang Jintun, Qiu Yang, Zheng Fengying. Quantitative methods in landscape analysis[J]. *Journal of Mountain Science*, 2000, **18** (4): 346~352. [张金屯, 邱扬, 郑风英. 景观格局的数量研究方

法[J]. 山地学报, 2000, **18**(4): 346~352.]

- [9] Wang, Zhengquan. Geostatistics and its application to ecology [M]. Beijing: Science Press, 1999. [王政权. 地统计学及其在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.]
- [10] Hppt//:www.ist.bot.ac.cn[DB/OI].
- [11] Zhang Jintun. A study on relations of vegetation, climate and soils in Shanxi province, China[J]. *Plant Ecology*, 2002, **162**(1): 23~31.

The Characteristics of Spatial Variation of *Larix* Forests in Mainland of China

ZHANG Jintun

(College of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract: The *Larix* forests are widely distributed in mountainous areas in China. There are more than ten species in *Larix* genus which can form forest communities as constructive species or dominant species, such as *Larix gemelini*, *L. sibirica*, *L. olgensis* var. *changpaiensis*, *L. principis-rupprechtii*, *L. chinensis*, *L. griffithiana*, *L. potaninii* var. *macrocarpa*, *L. potaninii*, *L. mastersiana*, *L. himalaica*, *L. speciosa* etc. The spatial distribution map of *Larix* forests in mainland of China is displayed in this paper. The spatial heterogeneity of *Larix* forests is obvious from the analyses. The geostatistical methods, such as autocorrelation index, semivariance analysis, fractal dimension etc. were applied to study the spatial variations of productivity of *Larix* forests in China in this study. The results show that the species and communities of *Larix* have a special series of spatial succession, which is closely related to the variation of geographical variables. The productivity heterogeneity of *Larix* forests is great and is correlated with spatial scale, i. e. the spatial autocorrelations being positive in small scale, negative in mid-scale, and with great variation in large-scale. The semivariance tends to increase with increasing of spatial scales. There are many factors affecting the spatial characteristics of *Larix* forests, among which the geographical position, elevation etc. are the main factors affecting productivity of *Larix* forests. The productivity of *Larix* forests is negatively correlated with the longitude and latitude, which is due to that the change of these two factors strongly influence the quantity of heating and water conditions. The productivity of *Larix* forest is positively related with elevation, for elevation is tending to increase from the northeast to the southwest of mainland, along this gradient the natural conditions being improved greatly. The biomass of *Larix* forests is closely related to the age of forests. The biomass and the primary net productivity of *Larix* forests are both positively correlated with the indices of leave areas. This is identical to the general hypothesis. The biomass and primary net productivity are both effective indices in the study of spatial characteristics of *Larix* forests, however the primary net productivity is comparatively better because it is independent of forest age. The spatial characteristics should be considered in the management and protection of native *Larix* forests and the development of artificial *Larix* forests. The selection and combination of *Larix* tree species in plantation, for example, are dependent on spatial scales, i. e. systematic closed species should be combined in small scale, the series species of geographical succession should be considered in mid- and large-scale, and the widely distributed and adapted species should be applied in large- and great large-scales. All the three geostatistical methods used in this study are effective in describing spatial characteristics of forests. They all have their own features and ecological meanings. The combination of them in similar researches should be suggested.

Key words: Forest vegetation, spatial characteristics, forest productivity, *Larix* forests, mountain forests