

# 杉木种子涩籽的空间特征分析

吴承祯<sup>1,2</sup>, 洪伟<sup>1,2\*</sup>, 林思祖<sup>2</sup>

(1. 福建农林大学森林生态研究所, 福建 福州 350002 2 福建农林大学林学院, 福建 福州 350002)

**摘要:** 杉木为我国南方山地主要造林树种, 其分布范围广, 造林种子需求量大, 而涩籽是造成其种子发芽率低的重要原因之一。杉木不同分布区, 山地环境条件差异较大, 杉木种子涩籽的空间差异也较大。采用空间自相关、空间关联和分形理论等方法对福建省杉木种子涩籽的空间特征进行了分析, 结果表明杉木种子涩籽空间异质性较大, 其自相关系数和半方差函数变化与空间尺度密切相关; 地理位置是影响杉木种子涩籽的重要因素之一, 在杉木种子园的建立及种子调拨过程中应考虑杉木种子涩籽空间特征。

**关键词:** 空间自相关; 分形; 空间特征; 涩籽; 杉木

**中图分类号:** Q946.66+6

**文献标识码:** A

杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 是我国南方山地主要造林树种<sup>[1]</sup>, 造林苗木需求量大, 但由于涩籽的原因造成种子发芽率低。杉木的不同分布区, 其所处的地理位置及气候等生态环境存在显著差异, 形成了杉木种子涩籽在空间分布上存在明显的差异, 构成了区域特征, 这就是杉木种子在尺度上的空间异质性<sup>[2]</sup>。有关专家对杉木种子涩籽的形成、流形病理学、预测与防治等都进行了大量研究<sup>[3-6]</sup>, 但对杉木种子涩籽的空间变化特征及其统计分析的研究鲜见报道。地学变量区别于数学上随机变量的显著特征在于其在空间分布上的相关性, 它们既有随机性, 又有规律性<sup>[7-8]</sup>。用传统的数理统计方法对其进行研究, 由于其不完全满足随机条件而可能产生偏差, 由此产生了空间统计学, 从而对空间分布变量及其分布结构进行定量研究。空间自相关分析是认识空间分布特征、选择适宜的空间尺度以完成空间分析的最常用的方法<sup>[9-10]</sup>, 其研究的是空间实体与其相邻的空间实体之间相似的程度; 空间关联研究的是空间上属性之间关联的程度, 它与空间自相

关一样, 研究的都是一个多边形或一个点与它最近的多边形或点的关系<sup>[11]</sup>。空间自相关、空间关联和分形理论作为空间统计分析的主要方法, 在地学变量的空间结构分析中得到广泛应用<sup>[7-10]</sup>。本文以福建省杉木种子涩籽含量为研究对象, 应用空间自相关 (Spatial autocorrelation)、空间关联 (Spatial association) 和分形 (Fractal) 探讨其空间分布特征, 为杉木种子涩籽生态研究提供理论依据和方法。

## 1 材料的收集

调查区域 (福建省) 地处我国东南沿海, 介于  $115^{\circ}50' \sim 120^{\circ}43'E$ ,  $23^{\circ}33' \sim 28^{\circ}19'N$  之间, 东西宽约 540 km, 南北宽约 550 km, 属杉木适生区范围。收集福建省 25 个杉木种子产地 (县、市) 的杉木种批, 供试种子取量于 250~500 g, 每一产地种批随机抽取并解剖 500 粒种子。以 50 粒种子为一重复, 共 10 个重复, 计算每重复的涩籽数, 并求该产地平均涩籽流行百分率 (简称涩籽率), 将收集的不同产地

收稿日期 (Received date): 2005-04-10 改回日期 (Accepted): 2005-10-11

基金项目 (Foundation item): 中国博士后科研基金、福建省科技厅重大科技攻关项目 (2001F007)、福建省科技厅重点科技攻关项目 (2002N031) 资助。 [Supported by the Post doctor Research Foundation Project of China and the key project of the provincial Science and Technology Department of Fujian, China (2001F007, 2002N031)]

作者简介 (Biography): 吴承祯 (1970-), 男 (汉), 江西吉安人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事森林生态学研究。 [Wu Chengzhen (1970-), Male, Born in Jiangxi, Ph.D., Professor, majors on Forest Ecology]

\*通讯作者 Corresponding author

供试种批的经纬度及涩籽率列于表 1<sup>[2]</sup>。

2 研究方法

2 1 空间自相关方法

只要变量在空间上表现出一定的规律性,即不是随机分布的,则存在空间自相关。空间自相关是指同一变量在不同空间位置上的相关性,某一位置变量值高,其附近位置上该量值也高,这是正相关;反之,为负相关。

常用的空间自相关指标是 Moran's I 其表达式为<sup>[7]</sup>

$$I=\frac{\sum_{i\neq j}^n\sum_{j=1}^nW_{ij}(X_i-\bar{X})(X_j-\bar{X})}{S^2\sum_{i\neq j}^n\sum_{j=1}^nW_{ij}}\tag{1}$$

式中  $S^2=\frac{1}{n}\sum_i^n(X_i-\bar{X})^2$ ,  $\bar{X}=\frac{1}{n}\sum_i^nX_i$

$X_i$  为区域  $i$  的观测值,  $w_{ij}$  为空间权重矩阵。双求和号表示对全区域的单元求和;  $W_{ij}$  为空间权重系数,表示单元对间的位置关系。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。

当 Moran  $I$  为正时在距离  $d$  的范围内的观测值有趋同的趋势,为正相关;当 Moran  $I$  为负时,在距离  $d$  的范围内有不同的趋势,为负相关;当 Moran  $I$  为零时,观测值属于独立随机分布,代表空间无关<sup>[7]</sup>。

2 2 空间关联—G 统计

Ord 和 Getis<sup>[11]</sup> 研究了空间关联的 G 统计,其计算公式为

$$G_i=\frac{\sum_{j\neq i}^nW_{ij}X_j}{\sum_{j\neq i}^nX_j}\tag{2}$$

$$E(G_i)=\frac{W_i}{n-1}\tag{3}$$

$$Var(G_i)=\frac{W_i(n-1-W_i)}{(n-1)^2(n-2)}-\frac{Y_{i2}}{Y_{i2}^2}\tag{4}$$

式中  $n$  为观测值的个数,  $x_i$  为位置  $i$  的观测值,  $W_{ij}$  为空间权重矩阵,而  $W_i=\sum_{j\neq i}^nW_{ij}$ ,  $Y_{i1}=\sum_{j\neq i}^nX_j^2$ ,  $Y_{i2}=\sum_{j\neq i}^n$

$\frac{X_j^2}{n-1}-Y_{i1}^2$ ,  $G_i(d)$  的标准形式

$$Z(G_i)=\frac{G_i-E(G_i)}{\sqrt{Var(G_i)}},\text{当 } i\neq j\text{ 时}\tag{5}$$

表 1 基础数据

Table 1 The basic data of Cuunningham lanceolata sterile seed

产地 Site	东经 Longitude (E)	北纬 Latitude (N)	涩籽率 Rate of sterile seed (%)	G (i)	E (i)	Var (i)	Z (G <sub>i</sub> )
平和 Pinghe	117.30	24.37	42.9	0.156 6	0.166 7	1.006 0	-0.010 0
南靖 Nanjing	117.36	24.51	33.4	0.192 1	0.208 3	1.007 2	-0.016 2
华安 Huan	117.52	25.00	42.8	0.038 7	0.041 7	1.001 7	-0.003 0
安溪 Anxi	118.18	25.06	43.7	0.077 2	0.083 3	1.003 3	-0.006 1
龙岩 Longyan	117.03	25.11	40.8	0.116 7	0.125 0	1.004 8	-0.008 3
连城 Lianchang	116.75	25.68	44.2	0.196 8	0.208 3	1.007 2	-0.011 5
长汀 Changting	116.36	25.84	37.2	0.113 3	0.125 0	1.004 8	-0.011 6
永泰 Yongtai	118.93	25.87	64.5	0.253 0	0.250 0	1.008 2	0.003 0
闽侯 Minhou	119.14	26.15	56.4	0.151 3	0.166 7	1.006 0	-0.015 3
尤溪 Youxi	118.11	26.17	44.9	0.120 6	0.125 0	1.004 8	-0.004 4
三明 Saming	117.60	26.24	41.4	0.078 4	0.083 3	1.003 3	-0.005 0
明溪 Mingxi	117.19	26.36	44.8	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0
沙县 Shaxian	117.78	26.40	41.2	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0
古田 Gutian	118.74	26.58	42.8	0.092 9	0.083 3	1.003 3	0.009 5
南平 Nanping	118.17	26.65	41.2	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0
将乐 Jiangle	117.46	26.74	45.2	0.122 7	0.125 0	1.004 8	-0.002 3
顺昌 Shunchang	117.80	26.80	48.2	0.038 9	0.041 7	1.001 7	-0.002 7
建宁 Jianning	116.84	26.84	44.2	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0
霞浦 Xiapu	119.99	26.89	50.8	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0
泰宁 Taining	117.17	26.90	49.2	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0
屏南 Pingnan	118.98	26.91	48.6	0.039 7	0.041 7	1.001 7	-0.002 0
建阳 Jianyang	118.22	27.34	42.2	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0
柘荣 Zherong	119.89	27.23	54.0	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0
建瓯 Jianou	118.32	27.04	32.2	0.046 4	0.041 7	1.001 7	0.004 7
寿宁 Shouning	119.51	27.46	35.6	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0

当  $Z(G_i)$  为正时, 说明位置  $i$  被数量大的观测值所包围; 当  $Z(G_i)$  为负时, 说明位置  $i$  被数量小的观测值所包围,  $Z(G_i)$  统计可以用来判断空间聚类是大数值型或小数值型的。但是,  $Z(G_i)$  统计不能用其正负号判断空间类型的相似性。

2 3 分形方法

分形分析是以分形几何学为基础, 由 Mandelbrot<sup>[13]</sup> 创立, 其在考虑空间尺度时非常有效。该方法的核心是计算格局的分形维数(分维), 分维是描述分形结构的一种参数, 其数学定义常见的有信息维数  $D_1$ 、关联维数  $D_2$ 、豪斯道夫维数等。对于形形色色的研究对象, 采用的具体做法更多种多样, 以半方差函数法计算分维数。正如地统计学所述<sup>[8]</sup>, 半方差函数表达了点对间区域变量(本文为杉木种子涩籽率)间的半方差随着距离的变化, 其表达式为

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \tag{6}$$

式中  $\gamma(h)$  表示半方差函数,  $Z(X_i)$  表示在位置  $X_i$  变量观察值(杉木种子涩籽率),  $Z(X_i+h)$  表示与  $X_i$  距离为  $h$  处的种子涩籽率,  $n$  为所有距离为  $h$  的点对数。杉木种子涩籽率数据一般具有空间自相关性, 点对间距离越近, 涩籽率的差异就越小; 反之亦然。当然, 当距离达到一定程度后, 空间自相关消失, 其差异趋于稳定, 不再随距离而变化。半方差函数随距离稳定增长的范围正是自相关的范围, 这种

自相关是由在各种尺度上分形结构自相似性所产生的<sup>[13-14]</sup>, 该范围又反映了分形存在的尺度。对于分形结构, 半方差函数可表示如下<sup>[15-16]</sup>

$$\gamma(h) = \left(\frac{h}{\gamma}\right)^{2H} \tag{7}$$

式中  $\gamma$  为常数,  $H$  为 Hurst 指数, 它与分形维数间的关系如下

$$D = 2 - H \tag{8}$$

因此, 可以通过对式(7)的双对数图进行回归分析, 求出分维数。分维数  $D$  表征样本之间的结构性,  $D$  值越小, 表示样本之间种子涩籽率差异越大, 即均一程度越差; 相反,  $D$  值越大, 表示样本间涩籽率差异越小, 即均一性程度越好。

3 结果与分析

3 1 杉木种子涩籽特性的传统统计值

按传统统计方法计算杉木种子涩籽均值、方差、标准差等(表 2), 杉木种子涩籽率的变化范围为 32.2%~64.5%, 测定值变异很大, 而表 2 中其他统计值都与均值相关, 因此, 这些统计量只能在一定程度上反映样本总体, 无法刻画杉木种子涩籽分布的随机性和不规则性、独立性与相关性, 必须进行空间分布特征研究。

表 2 杉木种子涩率的统计特征值

Table 2 The characters value of sterile seeds of Cunninghamia lanceolata

均值 Mean	方差 Variance	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
44.50	47.66	6.90	0.155

3 2 杉木种子涩籽空间自相关分析

以空间尺度为横坐标, 空间自相关系数  $I$  值为纵坐标绘制杉木种子涩籽空间自相关系数  $I$  的变化图(图 1), 表明杉木种子涩籽的空间变化较明显。随着空间尺度的变化, 杉木种子涩籽空间变化的自相关系数存在较大的差异。在小尺度范围内, 空间自相关多为正值, 说明在小尺度下, 杉木种子涩籽率相似, 这是因为小尺度下, 杉木林经营措施基本一致, 更主要的是所处的生态环境很相似。当尺度增大时, 自相关系数逐渐变为负值, 这是因为在大尺度下, 杉木林群落结构和生态环境如温度、湿度等均发生了显著的变化, 这必然影响杉木种子的生殖生育, 从而影响了种子涩籽率。进一步对自相关系数  $I$  值

进行显著性检验, 表明仅在小尺度范围下, 杉木种子涩籽空间自相关较明显, 随着尺度的进一步增大, 其自相关系数的差异变得不显著, 而在 0 值附近摆, 说明在中、大尺度下杉木种子涩籽存在空间自相关但不强。

若根据邻接标准, 空间权重矩阵的元素  $\{w_{ij}\}$  当区域  $i$  和区域  $j$  相邻时为 1, 其他情况下为 0 则此时经计算福建杉木种子涩籽的空间自相关 Moran  $I = 0.046$  经检验  $Z = 0.07$  表明福建各县市杉木种子涩籽率之间存在一定的空间自相关。同时 Moran  $I$  系数值为正, 表明存在一定程度的趋同趋势, 即说明杉木种子涩籽率高区域和高区域有相互邻接的趋势, 种子涩籽率低区域和低区域有相互邻接的趋势。

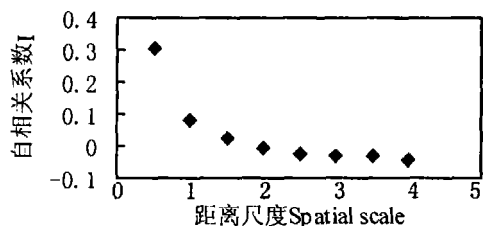


图 1 杉木种子涩籽空间自相关系数的变化

Fig 1 The changes of autocorrelation coefficients of sterile seeds of Chinese fir

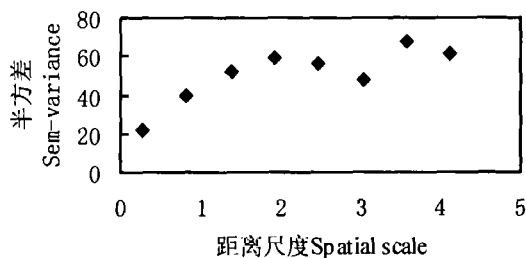


图 2 杉木种子涩籽空间半方差的变化

Fig 2 The Sem-variogram of sterile seeds of Chinese fir

### 3.3 杉木种子涩籽空间关联分析

杉木种子涩籽率空间关联分析表明(见表 1),永泰、古田、建瓯等县市的杉木种子涩籽率  $Z(G_i)$  统计值为正值,说明这几个县市被杉木种子涩籽率较高的杉木种子产区所包围,如建瓯被柘荣、顺昌及建阳等较高涩籽率区域包围;其余大部分县市的杉木种子涩籽率  $Z(G_i)$  统计值均表现为负值,尤其以南靖、连城、长汀等县市的  $Z(G_i)$  统计数值较大,说明这些县市有被种子涩籽率低的杉木种子产区所包围的趋势,如连城被龙岩、三明等较低涩籽区包围。据此可以将福建杉木种子涩籽流行进行空间聚类分区,总体上说,福建省杉木种子涩籽空间变化特征的低涩籽流行区在建阳、建瓯等闽北区域,其涩籽率在 35%~40%,其中建瓯、建阳、顺昌为生态环境良好的杉木中心产区,具有十分有利于杉木种子生育的独特环境,适宜杉木种子生殖生育;高涩籽率区在永泰、古田等区域,其涩籽率在 45%以上,为杉木的一般和边缘产区;福建省的其他区域,为杉木种子的中涩籽流行区,其涩籽率在 40%~45%,略低于全省平均水平。因此,从杉木种子园建设布局考虑,应将种子园建立在低涩籽流行区,这样有助于提高种子播种品质,即杉木种子园应建立在建瓯、建阳等地,这些区域为福建杉木的中心产区,而一般认为中心产区的种子质量较其它产区的好<sup>[3]</sup>。

### 3.4 杉木种子涩籽空间分形分析

半方差是反映空间两点间杉木种子涩籽变异性大小的函数,半方差图可以用于描述随着尺度的变化半方差的变化过程。分析表明,随着尺度的增大,半方差值逐渐增加,在尺度 3 575°(经纬度)时达到最大值,其后又有所下降(图 2)。说明杉木种子涩籽随着空间尺度的增大,其变异性增大,这是杉木生长区土壤、气候等环境综合作用的结果,从而造成空间变异性增加;到大尺度时,其变异性有所降低,与福建作为杉木的适宜区,可以分为边缘产区、一般产区及中心产区,而这 3 个产区的分布本身不是连续的而是间断的,由此导致空间点为大尺度时有可能属于同一杉木产区,从而使得其杉木生殖生育环境相似,种子涩籽相近,因此空间变异性变小。分形分析的主要参数是分维数  $D$ ,计算得到杉木种子涩籽的分维数  $D=1.816$  说明杉木种子涩籽空间格局与尺度变化存在一定的关系,变异性较大,具有一定的规律性。这与采用自相关分析及空间关联分析结构相一致,说明采用上述 3 种方法分析杉木种子涩籽空间变化特征是可行的,能取得一致结果。

## 4 讨论

杉木林是我国南方山地森林的主要人工用材林培育类型,由于山地自然地理条件的复杂性,形成了杉木林生态环境的空间异质性,从而对杉木种子涩籽形成过程的生殖生育产生一定的胁迫,造成其涩籽分布存在一定的空间变化格局。

应用 3 种空间分析方法对福建省杉木种子涩籽的空间特征进行了分析,其结果是一致的。由于 3 种方法各有特色,从而从不同的角度反映了杉木种子涩籽的空间特征,它们既可单独使用,也可三者结合使用,结合其结果可以相互印证,具有说服力。研究表明,福建杉木种子涩籽的空间异质性较大,变化较明显,且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,大尺度时为负值;半方差值基本上随着尺度的增大而增大。影响杉木种子涩籽空间特征的因子很多<sup>[17-18]</sup>,杉木种子涩籽与经纬度间呈显著相关,因为随着经纬度的变化,山地水热条件等将发生变化,必然影响到杉木林的生长、影响杉木种子生殖生育;同时也与气象因素如 3 月降水量、5 月蒸发量、7 月相对湿度、8 月降水量及 9 月最高气温等因素存在显著关系,这些气象因素都对杉木

种子的生殖、生育及生长产生影响, 而这些气象因素的综合又体现在区域空间特征上。

福建为我国南方山地杉木的适宜区和中心产区, 杉木种子需求量大, 但由于涩籽量较大 (30% ~ 60%), 严重影响了杉木种子的播种品质<sup>[19]</sup>。本文的分析结果表明福建杉木种子涩籽空间特征较明显, 因此在杉木种子园建立过程中, 应充分考虑杉木涩籽分布的空间特征, 即应将种子园建立在建瓯、建阳、顺昌等生态环境良好的区域, 该区域生态环境条件有利于杉木种子生育, 从而在充分保证杉木种子数量的同时, 保证其种子具有优良的遗传品质。

## 参考文献 (References)

- [1] Wu Chengzhen Hong Wei Introduces of quantity management of Cunninghamia lanceolata [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2000. [吴承祯, 洪伟. 杉木数量经营学引论 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2000.]
- [2] Wu Chengzhen Hong Wei Lin Sizu Study on spatial variability of Chinese fir sterile seeds [J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 1998, 4(1): 15~19 [吴承祯, 洪伟, 林思祖. 杉木种子涩籽的空间变异性研究 [J]. 应用与环境生物学报, 1998, 4(1): 15~19]
- [3] Yu Xintuo Primary report on forming of Chinese fir shriveled seed [J]. Journal of Fujian College of Forestry, 1960 (1): 1~7 [俞新妥. 杉木种子瘪粒形成观察初报 [J]. 福建林学院学报, 1960 (1): 1~7]
- [4] Du Hongbin Preliminary study on quality and sterile seed of Chinese fir [J]. Subtrop For Sci Techn, 1980 (4): 42~48 [杜宏彬. 杉木种子品质及涩籽的初步研究 [J]. 亚林科技, 1980 (4): 42~48]
- [5] He Fuji Study on the cause of formation on Chinese fir sterile seed [J]. Seed, 1986, 20(6): 4~6 [何福基. 杉木种子涩籽的初步研究 [J]. 种子, 1986, 20(6): 4~6]
- [6] Lin Sizu You Songlin Lin Rulan Forecasting models for the epidemic of the Chinese fir sterile seed [J]. Journal of Fujian College of Forestry, 1990, 10(1): 72~78 [林思祖, 游松龄, 林如兰. 杉木不稔种子流行的数量化预测模型 [J]. 福建林学院学报, 1990, 10(1): 72~78]
- [7] Ashraf M, Loftis J G, Hubbard K G. Application of geostatistics to evaluate partial station networks [J]. Agri For Meteorol, 1997, 84: 225~271
- [8] Zhang Chaosheng Zhang Shen He Jianbang Spatial distribution characteristics of heavy metals in the sediments of Changjiang river system: geostatistics method [J]. Acta Geogr Sin, 1997, 52(2): 184~192 [张朝生, 章申, 何建邦. 长江水系沉积物重金属含量空间分布特征研究——地统计学方法 [J]. 地理学报, 1997, 52(2): 184~192]
- [9] Fomenko R. Land mosaics: the ecology of landscapes and regions [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [10] Zhang Jintun The characteristics of spatial variation of Larix forests in mainland of China [J]. Journal of Mountain Science, 2004, 22(3): 298~302 [张金屯. 我国落叶松林生产力的空间变化特征 [J]. 山地学报, 2004, 22(3): 298~302]
- [11] Ord JK Getis A. Distributional issues concerning distance statistics [M]. Working Paper The Pennsylvania State University and San Diego State University, 1994
- [12] Mandelbrot B. B. Fractal geometry and dimension [M]. Freeman: San Francisco, 1977
- [13] Wu Chengzhen Hong Wei Study on fractal feature of soil aggregate structure under different management patterns [J]. Acta Pedol Sin, 1999, 36(2): 162~167 [吴承祯, 洪伟. 不同经营模式土壤团粒结构的分形特征研究 [J]. 土壤学报, 1999, 36(2): 162~167]
- [14] Feng Lei Hong Wei Wu Chengzhen et al. Fractal feature of soil aggregation in different management patterns of Chinese fir plantation mixed with Tsongiodendron odoratum [J]. Journal of Mountain Science, 2004, 22(3): 315~320 [封磊, 洪伟, 吴承祯等. 杉木-观光木混交林不同经营模式土壤团粒结构的分形特征 [J]. 山地学报, 2004, 22(3): 315~320]
- [15] Holdaway M R. Spatial modeling and interpolation of monthly temperature using Kriging [J]. Clim. Res., 1996, 24: 1835~1845
- [16] Zhang Chaosheng Zhang Shen Jianbang Spatial distribution characteristics of heavy metals in the sediments of Changjiang river system——autocorrelation and fractal methods [J]. Acta Geogr Sin, 1998, 53(1): 87~96 [张朝生, 章申. 长江水系沉积物重金属含量空间分布特征研究——空间自相关与分形方法. [J]. 地理学报, 1998, 53(1): 87~96]
- [17] Lin Sizu Song Shuxia A study on the trend of geographic epidemic of Chinese fir sterile seeds [J]. Acta Phytocole ET Geobot Sin, 1990, 14(1): 40~45 [林思祖, 宋淑霞. 杉木种子涩籽地理流行趋势的研究 [J]. 植物生态学与地植物生态学报, 1990, 14(1): 40~45]
- [18] Lin sizu Huang Langzeng Ye Jianchun et al. Effect of meteorological factors on the epidemic of Chinese fir sterile seed studied by means of stepwise regression analysis [J]. Journal of Fujian College of Forestry, 1992, 12(3): 317~321 [林思祖, 黄琅增, 叶建春等. 应用逐步回归分析气象因素对杉木涩籽流行的影响 [J]. 福建林学院学报, 1992, 12(3): 317~321]
- [19] Wu Chengzhen Hong Wei Lin Sizu. Studies on interpolation method for estimating the geographical distribution of sterile seeds of Cunninghamia lanceolata [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2004, 12(4): 318~312 [吴承祯, 洪伟, 林思祖. 杉木种子涩籽地理分布的空间插值法研究 [J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12(4): 318~312]

# Analysis on Spatial Characteristics of Sterile Seeds of *Cunninghamia lanceolata*

WU Chengzhen<sup>1,2</sup>, HONG Wei<sup>1,2</sup>, LIN Sizu<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Institute of Forest Ecology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

<sup>2</sup> Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract** *Cunninghamia lanceolata* is the main planted tree in mountain areas of southern China, and because *Cunninghamia lanceolata* forests are widely distributed in 16 provinces of southern China, the seed need is very big for plantation. But sterile seed of *Cunninghamia lanceolata* is an important reason for its lower germination rate, the spatial heterogeneity of sterile seeds of *Cunninghamia lanceolata* is significantly affected by environmental conditions in different distributed area. The spatial statistics methods, such as spatial autocorrelation, spatial association and fractal dimension etc. were applied to study the spatial distribution characteristics of sterile seeds of *Cunninghamia lanceolata* in Fujian province in this paper. The results show that the heterogeneity of sterile seeds of *Cunninghamia lanceolata* is obvious and is correlated with spatial scale, i.e. the spatial autocorrelations being positive in small scale, negative in large scale, and the semi-variance tends to increase with increasing of spatial scale. There are many factors affecting the spatial characteristics of sterile seeds of *Cunninghamia lanceolata*, but geographical location is an important factor affecting seeds quality, because longitude and latitude strongly influence the quantity of heating and water distribution. So spatial characteristics of sterile seeds of *Cunninghamia lanceolata* must be considered when establishing seed orchard and allotting seed of *Cunninghamia lanceolata*.

**Key words** Spatial autocorrelation; Fractal; spatial characteristics; sterile seeds; *Cunninghamia lanceolata*