

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2011.05.010

大院资源冷杉种群的空间分布格局分析

刘招辉^{1,2}, 张建亮^{1,3}, 刘燕华⁴, 唐绍清^{1,2*}

(1. 珍稀濒危动植物生态与环境保护省部共建教育部重点实验室 广西师范大学 生命科学学院, 广西 桂林 541004;

2. 广西环境工程与保护评价重点实验室, 广西 桂林 541004; 3. 广西壮族自治区 广西植物研究所, 中国科学院

广西 桂林 541006; 4. 广西师范大学 附属中学, 广西 桂林 541001)

摘要: 资源冷杉是极度濒危的我国特有植物, 其中的湖南省炎陵县大院资源冷杉种群是种群规模最大的种群。该研究采用点格局分析方法分析了该种群的种群分布格局, 用计盒维数和信息维数研究了种群格局的分形特征。结果表明: 大院资源冷杉种群的空间分布格局总体上呈聚集分布; 种群的计盒维数在 1.047~1.354 之间, 种群占据空间程度较弱; 种群的信息维数在 1.093~1.434 之间, 种群格局强度尺度变化程度较低。

关键词: 资源冷杉; 大院种群; 空间分布格局

中图分类号: Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2011)05-0614-06

Spatial pattern analysis of *Abies ziyuanensis* population in Dayuan

LIU Zhao-Hui^{1,2}, ZHANG Jian-Liang^{1,3},
LIU Yan-Hua⁴, TANG Shao-Qing^{1,2*}

(1. Ministry of Education Key Laboratory for Ecology of Rare and Endangered Species and Environmental Protection, School of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Environmental Engineering, Protection and Assessment, Guilin 541004, China; 3. Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China; 4. The High School Affiliated to Guangxi Normal University, Guilin 541001, China)

Abstract: *Abies ziyuanensis* is a critically endangered plant species endemic to China, and its population in Dayuan of Yanling County, Hunan Province has the largest size. In this research, the spatial pattern of *A. ziyuanensis* population in Dayuan was analyzed using point pattern analysis and the fractal characteristics of pattern was analyzed by applying box-counting dimension and information dimension. The results suggested that *A. ziyuanensis* population in Dayuan presented an aggregating distribution. The box-counting dimension ranged from 1.047 to 1.354, which reflected a low spatial occupation degree of the population. The information dimension of population patterns were low (1.093 to 1.434). The scale variation degree of pattern intensities was low.

Key words: *Abies ziyuanensis*; population in Dayuan; spatial pattern

资源冷杉(*Abies ziyuanensis*)是极度濒危的国家一级保护植物, 20世纪70年代末发现于广西资源县和湖南城步县交界的银竹老山及湖南新宁县和

东安县交界的舜黄山, 后来在湖南炎陵县大院也发现了冷杉属植物, 定名为大院冷杉(*Abies dayuanensis*), 现分类学家已将它并入资源冷杉(傅

收稿日期: 2010-08-16 修回日期: 2011-06-14

基金项目: 国家自然科学基金(30760029); 广西环境工程与保护评价重点实验室研究基金(桂科能0702Z016) [Supported by the National Natural Science Foundation of China (30760029); the Research Funds of the Guangxi Key Laboratory of Environmental Engineering, Protection and Assessment (0702Z016)]

作者简介: 刘招辉(1985-), 女, 江西萍乡人, 硕士, 主要从事植物学研究, (E-mail) lzhmichelle@yahoo.com.cn.

* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: shaoqing@mailbox.gxnu.edu.cn)

立国等,1980;Li等,1997;向巧萍等,1999;Farjón, 2001;宁世江等,2005)。已知的资源冷杉分布点中,湖南省炎陵县大院是种群规模最大的分布点(张玉荣等,2004)。资源冷杉的种群遗传结构和遗传分化的研究结果表明,资源冷杉大院种群与银竹老山种群和舜黄山种群之间有较大的遗传分化(Tang等,2008;苏何玲等,2004;代文娟等,2006)。对大院资源冷杉种群和群落状况已有初步的研究(肖学菊等,1992;贺良光等,2002;张玉荣等,2004)。研究植物种群的空间格局,是了解植物种群特征及种群与环境关系的重要基础(闫海冰等,2010;缪宁等,2009),而有关湖南省炎陵县大院的资源冷杉种群的空间分布格局未见有报道。本研究对大院资源冷杉种群的空间分布格局进行了研究,目的在于为资源冷杉种群有效保护提供依据。

1 自然环境条件与群落概况

贺良光等(2002)及肖学菊等(1991)对湖南省炎陵县大院的自然条件作了描述。在大院仅中牛石、香菇棚、鸡麻捷与和平坳等4个地点有资源冷杉自然分布。中牛石分布点较平坦,坡度在 10° 以内,周围为人工毛竹(*Phyllostachys heterocysla* cv. *pubescens*)林,为纯资源冷杉林,混生有少量毛竹,距资源冷杉林100 m范围内有几户人家居住。香菇棚分布点位于一山脊,呈东西向,东高西低,脊两侧坡度为 $20^\circ\sim 40^\circ$,四周为人工毛竹林,资源冷杉群落乔木层以资源冷杉占优势,乔木层的上层混生有马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)和毛竹,乔木层的下层混生有杜鹃一种(*Rhododendron* sp.)、吴茱萸五加(*Acanthopanax evodiaefolius*)等种类。鸡麻捷分布点主要分布于东向的山坡,坡度较陡($40^\circ\sim 60^\circ$),有较多的花岗岩石块,与杜鹃一种(*Rhododendron* sp.)、银木荷(*Schima argentea*)、缺萼枫香(*Liquidambar acalycina*)和毛竹等形成混交林,坡底部也有资源冷杉分布,有人居住过的痕迹,周围为人工毛竹林。和平坳分布点是种群最大的分布点,公路及小溪将其分隔成4个小片,坡度 $10^\circ\sim 30^\circ$,与石灰花楸(*Sorbus folgneri*)、交让木(*Daphniphyllum macropodum*)、杉木、吴茱萸五加、杜鹃一种(*Rhododendron* sp.)、银木荷等形成混交林。

2 研究方法

2.1 野外调查

调查在2008年8月进行,根据4个资源冷杉亚种群(中牛石、香菇棚、鸡麻捷和和平坳)的分布特征,并尽可能使样地包括各亚种群绝大部分资源冷杉个体,分别设置以下大小样方:中牛石($50\text{ m}\times 50\text{ m}$)、香菇棚($45\text{ m}\times 65\text{ m}$)、鸡麻捷($50\text{ m}\times 40\text{ m}$)、和平坳(A: $100\text{ m}\times 100\text{ m}$;B: $40\text{ m}\times 60\text{ m}$ 两个样方)。为了消除格局计算时的样方效应,在每个亚种群资源冷杉集中分布的区域再次统一设置 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 的样方。对样方内每株高度 $\geq 1\text{ m}$ 的资源冷杉个体的坐标位置进行定位,并记录其高度、胸径等指标。

2.2 种群分布格局

种群的分布格局采用点格局分析方法,这里采用考虑边缘校正后的Ripley's $K(d)$ 函数,其表达式为(Youngblood等,2004;汤孟平等,2003):

$$K(d) = A \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{W_{ij}(d)}{n^2}$$

式中: n 为植物个体总数, A 为样方面积, d 表示植物个体 i 与 j 之间的距离, W_{ij} 为植物个体 i 与 j 之间的校正权重。为了消除边界效应,Besag提出用 $L(d)$ 取代 $K(d)$,并对 $K(d)$ 作开平方的线性变换,以保持方差稳定(Besag,1977)。 $L(d)$ 的计算表

$$L(d) = \sqrt{\frac{K(d)}{n}} - d$$

当 $L(d)=0$,为随机分布; $L(d)<0$,为均匀分布; $L(d)>0$,为集群分布。为检验 $L(d)$ 偏离零值的显著程度,采用ADE-4软件进行数据处理,用Monte-Carlo法随机模拟1000次(Hou等,2004),得到由上下2条包迹线围成的99%置信区间。当 $L(d)$ 值在置信区间内时,种群偏离随机分布不明显,未达显著水平,种群呈随机分布;当 $L(d)$ 值小于置信区间下限时,种群呈均匀分布;当 $L(d)$ 值大于置信区间上限时,种群呈聚集分布。种群表现为聚集分布时,将偏离随机置信区间的最大值当作最大聚集强度指标,而聚集规模则为以聚集强度为半径的圆。

2.3 格局分形分析

2.3.1 计盒维数 种群格局分析的计盒维数反映了种群占据空间能力的大小。有效的计盒维数在1~2之间,计盒维数越接近2,表明种群占据空间、利用资源能力越强,反之则弱。其计算公式(马克明等,

2000a)为: $D_b = -\lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\epsilon)}{\ln \epsilon}$

式中: D_b 为计盒维数; ϵ 为划分尺度; $N(\epsilon)$ 为对应于尺度 ϵ 的非空格子数。本文采用 Excel 中 Visual basic 编辑器进行编程, 将样方边长 30 m 从 1 等分至 30 等分, 所对应的尺度 ϵ 边长分别 30、15、10 m……1 m, 统计每个尺度 ϵ 所对应的非空格子数 $N(\epsilon)$, 两者在双对数坐标下直线拟合斜率的绝对值即

为计盒维数的估计。

2.3.2 信息维数 信息维数揭示了种群格局强度的尺度变化特征。信息维数越大, 表明种群格局尺度变化强烈, 具有高的结构复杂性; 小的信息维数则表明种群格局强度尺度变化微弱, 结构简单。信息维数的

计算公式(马克明等, 2000b): $D_i = -\lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln I(\epsilon)}{\ln \epsilon}$

在对种群格局进行网格覆盖的过程中, 进一步

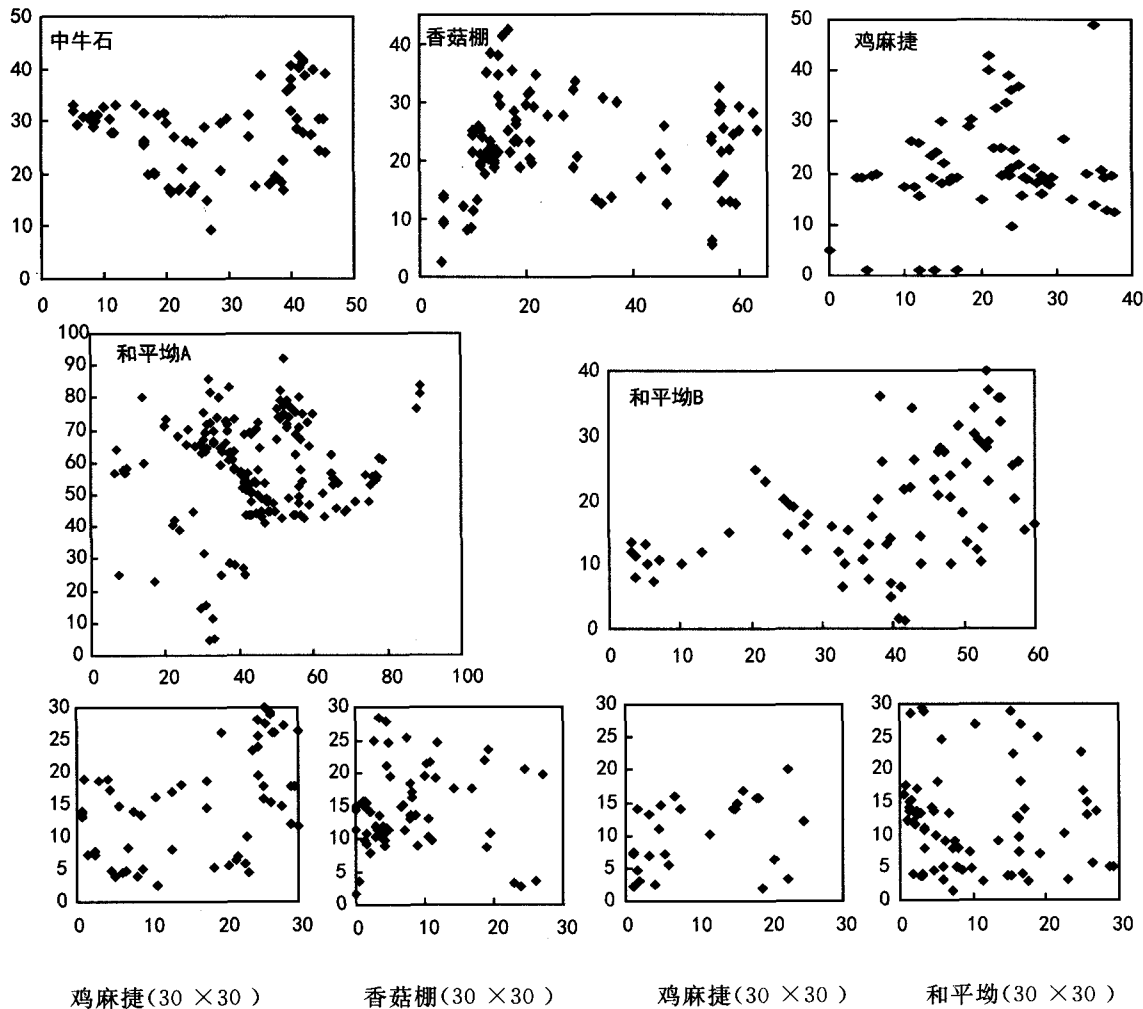


图 1 各地段种群格局分布位点图

Fig. 1 Point diagram of individual distribution in the sample plot

统计每个非空格子中拥有的个体数目 (N_i)。若样方内的总个体数量为 N , 那么单一格子中个体分布的概率为 $P_i = N_i/N$, 信息量为 $I_i = -P_i \ln P_i$, 则该网格边长为 ϵ 时总信息量为 $I(\epsilon) = \sum I_i$ 。将与之相应的网格边长 (ϵ) 在双对数坐标下进行直线拟合(或分段直线拟合), 所得到的拟合直线斜率的绝对值为信息维数的估计值。网格边长 ϵ 的划分等同于计盒

维数尺度 ϵ 的确定。

3 结果与分析

3.1 种群分布格局

图 1 为各样方的设置及个体分布的点图。大院资源冷杉各亚种群的空间点格局分析结果见图 2,

图中实线表示 $L(d)$ 的值, 虚线即为种群在 99% 的置信度下, 种群随机分布的置信区间。

在样方大小分别为: 中牛石 (50 m × 50 m)、香菇棚 (45 m × 65 m)、鸡麻捷 (50 m × 40 m)、和平坳 (100 m × 100 m; 40 m × 60 m 两个样方) 时, 除了香

菇棚亚种群在大于 28 ~ 30 m 的尺度上随机分布外, 种群在其它尺度上均成聚集分布; 而当样方大小统一为 30 m × 30 m 时, 中牛石亚种群在较小的尺度上聚集分布, 在尺度大于 8 m 以后, 成随机分布。其余三个亚种群, 种群在 1 m ~ 15 m 的尺度上均呈

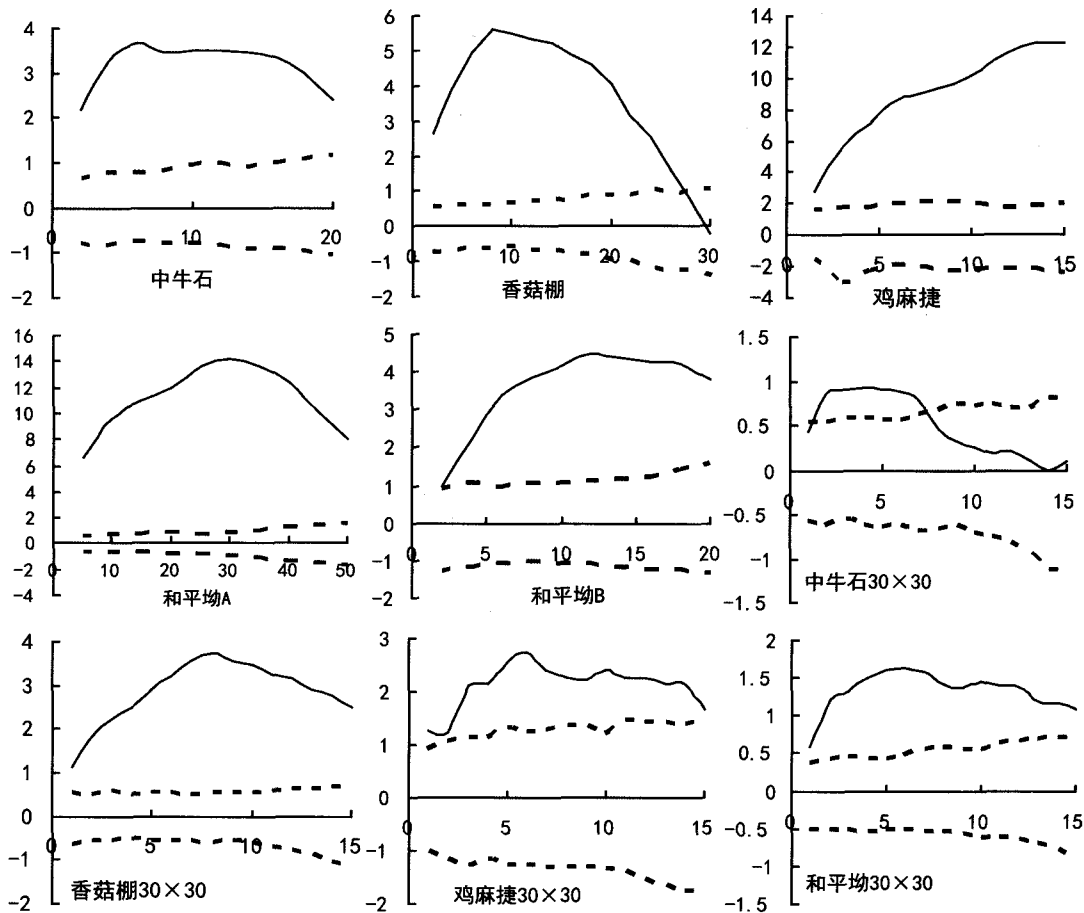


图 2 种群点格局分析

Fig. 2 Point pattern analysis of populations

聚集分布。

3.2 格局分形特征

大院资源冷杉种群四个亚种群格局的计盒维数计算结果 (图 3) 分别为: 1. 282、1. 271、1. 047 和 1. 354, 均远小于 2。由图 4 可知, 四个亚的种群格局信息维数大小依次为: 和平坳 > 中牛石 > 香菇棚 > 鸡麻捷, 在 1. 093 ~ 1. 434 之间, 均较低。

4 讨论

因为仅有很少比例的幼苗能发育生长成幼树, 本研究只研究了高 1 m 以上资源冷杉植株的分布

格局。研究表明, 与另外两种冷杉属濒危植物元宝山冷杉 (*Abies yuanbaoshanensis*) 和秦岭冷杉 (*A. chensiensis*) 的种群空间分布格局相似 (李先琨等, 2002), 大院资源冷杉种群在小尺度上的空间分布格局总体上呈聚集分布。这种空间分布格局的形成与资源冷杉的生物生态学特性相关, 资源冷杉结实周期长、结实植株少, 同时尽管资源冷杉的种子有翅, 但其传播能力仍有限, 使得幼苗多聚集在母树周围; 我们在种群取样调查的过程中注意到仅局部林下光照较好的地方才有小树, 说明个体从幼苗向小树阶段生长过程中, 对营养空间和光照需求增强, 林下光照条件的不均一性也使得资源冷杉呈聚集分

布。在大的尺度上大院的资源冷杉仅聚集分布于4个地点,一方面是因为气候条件的变化,冷杉属植物是喜冷湿的植物,气温上升,不利于资源冷杉的生长,它退缩到生境条件适于资源冷杉的生长局部地

点,成为几个小的亚种群;另一方面可能受到人类活动的影响,资源冷杉种群的周围均为人工毛竹林,其主人会定期清理林下植物,限制了资源冷杉种群的扩展。因此形成了大院的资源冷杉仅以聚集分布的

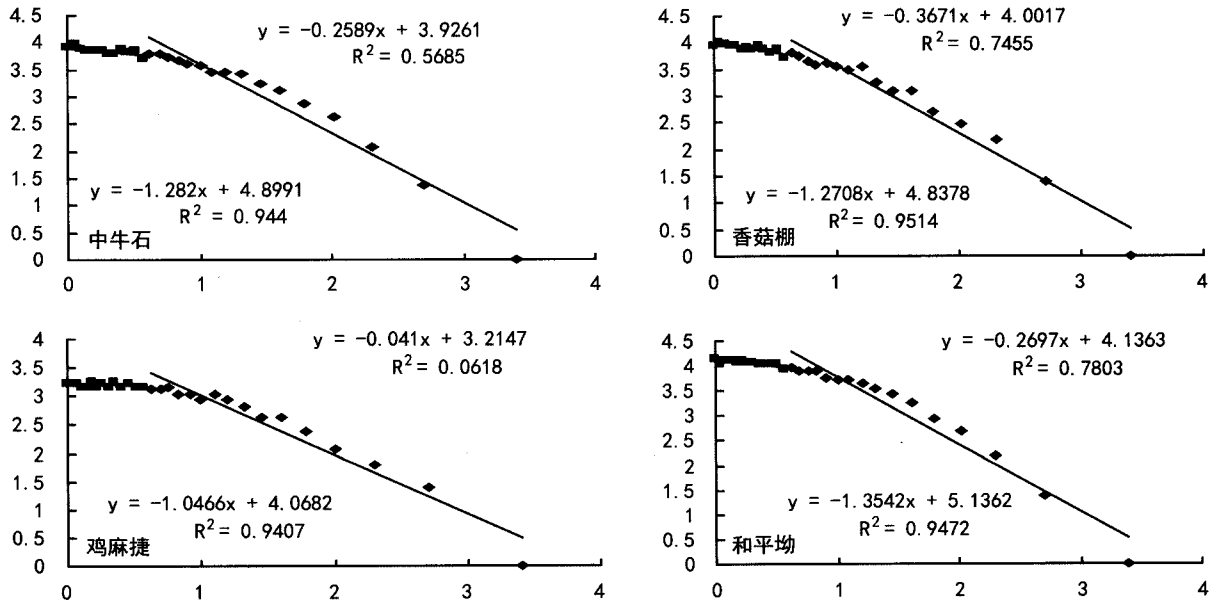


图3 种群格局计盒维数曲线(横坐标为 $\ln\epsilon$, 纵坐标为 $\ln N(\epsilon)$)

Fig. 3 The $\ln\epsilon$ - $\ln N(\epsilon)$ curves of the information dimension in four populations(The x-axis was $\ln\epsilon$, y-axis was $\ln N(\epsilon)$)

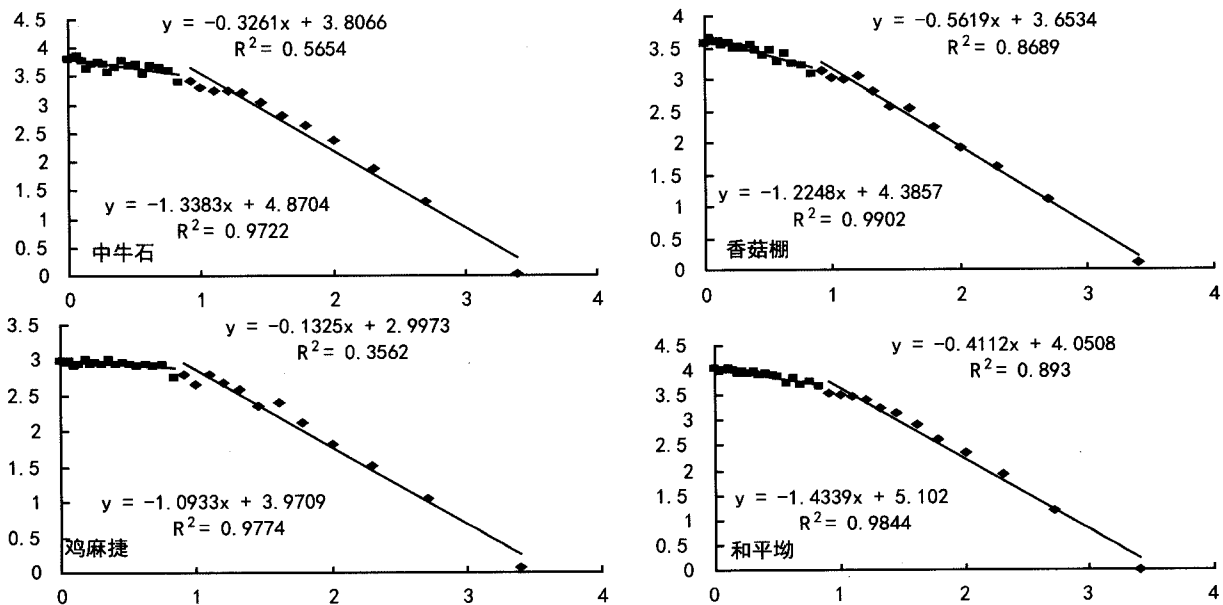


图4 种群格局信息维数曲线(横坐标为 $\ln\epsilon$, 纵坐标为 $\ln I(\epsilon)$)

Fig. 4 The $\ln\epsilon$ - $\ln I(\epsilon)$ curves of the information dimension in four populations(The x-axis was $\ln\epsilon$, y-axis was $\ln I(\epsilon)$)

状态局限分布在少数地点。

种群格局计盒维数能够揭示出种群格局的空间占据程度(马克明等,2000a)。大院资源冷杉种群4

个亚种群的计盒维数都远小于2,说明各亚种群占据空间程度很弱。种群格局信息维数能够刻画格局强度的尺度变化程度,揭示出种群个体分布的非均

匀性状况(马克明等,2000b),各亚种群的信息维数均较低,表明格局强度尺度变化程度较低,个体分布比较均匀。四个亚种群中和平坳亚种群的计盒维数和信息维数相对较大,其空间利用程度最大,个体分布复杂性相对最大,这主要是因为和平坳亚种群是最大的亚种群,该分布点的生态环境最适于资源冷杉的生长。

基于以上研究结果,在大院资源冷杉的保护中,一方面要深入研究人工毛竹林对资源冷杉种群的影响,另一方面考虑寻找新的与原分布点生境条件相似的地点,人工种植资源冷杉幼苗,以扩展种群。

参考文献:

- 向巧萍,于永福. 1999. 中国冷杉属的保护植物[J]. 植物杂志, (5):1
- 肖学菊,康华魁. 1991. 关于大院冷杉的考查报告[J]. 湖南林业科技,18(3):38-40
- 贺良光,全平,覃树玉. 2002. 桃源洞自然保护区中山针叶林研究[J]. 中南林业调查规划,21(2):58-60
- Besag J. 1977. Contribution to the discussion of Dr Ripley's paper [J]. *J R Stat Soc B*,39:193-195
- Dai WJ(代文娟),Tang SQ(唐绍清),Liu YH(刘燕华). 2006. Study on genetic diversity of the endangered plant *Abies ziyuanensis* by using chloroplast SSR marker(叶绿体微卫星分析濒危植物资源冷杉的遗传多样性)[J]. *Guangxi Sci(广西科学)*,13(2):151-155
- Farjón A. 2001. World Checklist and Bibliography of Conifers [M]. 2nd edn. London:Royal Bot Gard,Kew Publishing
- Fu LK(傅立国),Lu YJ(吕庸浚),Mo SL(莫新礼). 1980. The genus *Abies* discovered for the first time in Guangxi and Hunan (冷杉属植物在广西与湖南首次发现)[J]. *Acta Phytotax Sin(植物分类学报)*,18(2):205-210
- Hou JH,Mi XC,Liu CR, et al. 2004. Spatial patterns and associations in a *Quercus-Betula* forest in northern China[J]. *J Veg Sci*,15:407-414
- Li N,Fu LG. 1997. Notes on gymnosperms I. Taxonomic treatments of some Chinese conifers[J]. *Novon*,7:261-264
- Li XK(李先琨),Su ZM(苏宗明),Xiang WS(向悟生), et al. 2002. Study on the structure and spatial pattern of the endangered plant population of *Abies yuanbaoshanensis*(濒危植物元宝山冷杉种群结构与分布格局)[J]. *Acta Ecol Sin(生态学报)*,22(12):2 246-2 253
- Ma KM(马克明),Zu YG(祖元刚). 2000a. Fractal properties of the spatial pattern of *Larix gmelini* population; box-counting dimension(兴安落叶松种群格局的分形特征:计盒维数)[J]. *Bull Bot Res(植物研究)*,20(1):104-111
- Ma KM(马克明),Zu YG(祖元刚). 2000b. Fractal properties of the spatial pattern of *Larix gmelini* population; information dimension(兴安落叶松种群格局的分形特征:信息维数)[J]. *Acta Ecol Sin(生态学报)*,20(2):187-192
- Miao N(缪宁),Liu SR(刘世荣),Shi ZM(史作民), et al. 2009. Spatial patterns of dominant tree species in sub-alpine *Betula-Abies* forest in West Sichuan of China(川西亚高山红桦-岷江冷杉林优势种群的空间格局分析)[J]. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*,20(6):1 263-1 270
- Ning SJ(宁世江),Tang RQ(唐润琴),Cao JW(曹基武). 2005. Current status and conservation countermeasures of germplasm resources of *Abies ziyuanensis*(资源冷杉现状及保护措施研究)[J]. *Guihaia(广西植物)*,25(3):197-200
- Su HL(苏何玲),Tang SQ(唐绍清). 2004. Genetic diversity of the endangered plant *Abies ziyuanensis* in two populations(濒危植物资源冷杉遗传多样性研究)[J]. *Guihaia(广西植物)*,24(5):414-417
- Tang MP(汤孟平),Tang SZ(唐守正),Lei XD(雷相东), et al. 2003. Edge correction of Ripley's K(d)function on population spatial pattern analysis(Ripley's K(d)函数分析种群空间分布格局的边缘校正)[J]. *Acta Ecol Sin(生态学报)*,23(8):1 533-1 538
- Tang SQ,Dai WJ,Li MS, et al. 2008. Genetic diversity of relictual and endangered plant *Abies ziyuanensis* (Pinaceae) revealed by AFLP and SSR markers[J]. *Genetica*,133:21-30
- Yan HB(闫海冰),Han YZ(韩有志),Yang XQ(杨秀清), et al. 2010. Spatial distribution patterns and associations of tree species in typical natural secondary mountain forest communities of Northern China(华北山地典型天然次生林群落的树种空间分布格局及其关联性)[J]. *Acta Ecol Sin(生态学报)*,30(9):2 311-2 321
- Youngblood A,Max T,Coe K. 2004. Stand structure in eastside old-growth ponderosa pine forests of Oregon and northern California [J]. *For Ecol Manag*,199:191-217
- Zhang YR(张玉荣),Luo JC(罗菊春),Gui XJ(桂小杰). 2004. Study on the protection and breeding of the imminent danger species *Abies ziyuanensis*(濒危植物资源冷杉的种群保育研究)[J]. *Hunan Fore Sci Tech(湖南林业科技)*,31(6):26-29