

## 江西油岭 3 种南方红豆杉植被群系空间点格局分析

王静轩 张佳鑫 张昭臣 习 丹 向泽宇 彭焱松 ,  
胡余楠 唐忠炳 梁同军 周赛霞\*

( 1.碳中和与生态系统碳汇江西省重点实验室 江西 九江 332900;

2.江西省、中国科学院庐山植物园 江西 九江 332900)

**摘要:** 为探究濒危植物南方红豆杉( *Taxus wallichiana* var. *mairei*) 种群在江西植被群系中与其他树种的空间关联,选取江西油岭南方红豆杉自然保护区内南方红豆杉数量较为丰富的 3 个区域做样方调查,使用空间点格局的方法对南方红豆杉种群空间格局以及与优势种的空间关联进行分析,对比探讨南方红豆杉在不同植被群系中的空间分布差异。结果表明 杉木针阔混交林、毛竹林、南方红豆杉针阔混交林 3 种植被群系中,幼龄南方红豆杉为聚集或随机分布,成年南方红豆杉偏聚集分布。幼龄南方红豆杉与杉木呈聚集分布,而成年南方红豆杉与杉木呈随机分布;幼龄南方红豆杉与毛竹呈随机分布,而成年南方红豆杉与毛竹呈显著互相排斥关系。南方红豆杉在杉木林、毛竹林和南方红豆杉针阔混交林等植被群系中可顺利生长,但成年南方红豆杉与毛竹空间上有强烈排斥关系。该研究结果证实南方红豆杉幼树可与杉木、毛竹混交,但幼树成长为成树过程中与杉木、毛竹存在竞争关系,需要一定的空间生态位。

**关键词:** 南方红豆杉; 空间点格局; 植被群系; 空间关联; 毛竹; 杉木; 里普利的  $K$  函数

中图分类号: Q948.1 文献标志码: A

引用格式: 王静轩 张佳鑫 张昭臣 等.江西油岭 3 种南方红豆杉植被群系空间点格局分析[J].湖北民族大学学报(自然科学版) 2025 43( 2): 158-166.

## Spatial Point Pattern Analysis of Three *Taxus wallichiana* var. *mairei* Vegetation Formations in Youling Jiangxi

WANG Jingxuan ZHANG Jiaxin ZHANG Zhaochen XI Dan XIANG Zeyu PENG Yansong ,  
HU Yunan TANG Zhongbing LIANG Tongjun ZHOU Saixia\*

( 1.Jiangxi Provincial Key Laboratory of Carbon Neutrality and Ecosystem Carbon Sink Jiujiang 332900 ,China;

2.Lushan Botanical Garden of Chinese Academy of Sciences in Jiangxi Province Jiujiang 332900 ,China)

**Abstract:** In order to explore the space association of the endangered plant *Taxus wallichiana* var. *mairei* population with other tree species in the vegetation community of Jiangxi Province ,three forest plots with relatively abundant *Taxus wallichiana* var. *mairei* within the *Taxus wallichiana* var. *mairei* Nature Reserve in Youling of Jiangxi Province were selected for quadrat surveys ,the spatial point pattern method was used to analyze the spatial pattern of the *Taxus wallichiana* var. *mairei* population and its spatial association with dominant species ,and the spatial distribution differences of *Taxus wallichiana* var. *mairei* in different vegetation communities were compared.The result showed that of the three vegetation formations ( *Cunninghamia lanceolata* mixed forest ,*Phyllostachys edulis* forest and *Taxus wallichiana* var. *mairei* mixed forest) the saplings of *Taxus wallichiana* var. *mairei* were clustered or randomly distributed ,while the adult trees of *Taxus wallichiana* var. *mairei* were slightly clustered; the saplings of *Taxus wallichiana* var. *mairei* were clustered with *Cunninghamia lanceolata* while the adult trees of *Taxus wallichiana* var. *mairei* were randomly distributed with *Cunninghamia lanceolata*; the saplings of *Taxus wallichiana* var. *mairei* were randomly distributed with *Phyllostachys edulis* while the adult trees of *Taxus wallichiana* var. *mairei* were significantly mutually exclusive.According to the results of spatial analysis ,*Taxus wallichiana* var. *mairei* could grow smoothly in the vegetation formations of *Cunninghamia lanceolata* mixed forest ,*Phyllostachys edulis* forest and *Taxus wallichiana* var. *mairei* mixed forest ,but there was a strong spatial exclusion between adult trees of *Taxus wallichiana* var. *mairei* and *Phyllostachys edulis*.The results confirmed that the saplings of *Taxus wallichiana* var. *mairei* could be mixed with *Cunninghamia lanceolata* and *Phyllostachys edulis* ,but they competed with the latter in the process of growing into adult trees and certain spatial niches were required.

收稿日期: 2025-03-26

基金项目: 中央财政林业改革发展资金国家重点野生动植物保护项目( 庐植字(2022)3 号)。

第一作者简介: 王静轩( 1994- ) ,男,硕士,助理研究员,主要从事植物种群生态学、动植物互作关系的研究;\* 通信作者: 周赛霞( 1976- ) ,女,硕士,副研究员,主要从事森林生态学、森林生物多样性、珍稀植物保护的研究。

**Keywords:** *Taxus wallichiana* var. *mairei*; spatial point pattern; vegetation formation; spatial association; *Phyllostachys edulis*; *Cunninghamia lanceolata*; Ripley's *K*-function

南方红豆杉(*Taxus wallichiana* var. *mairei*) 是红豆杉科(Taxaceae) 红豆杉属(*Taxus*) 高大乔木,第三纪子遗物种,国家Ⅰ级重点保护野生植物。南方红豆杉是亚热带常绿阔叶林、常绿与落叶阔叶混交林的特征种,常与其他阔叶树、竹类以及针叶树混生,分布于海拔800~1600 m的山地中,为耐荫种,常散生于山谷和溪流旁<sup>[1]</sup>。作为优良的资源树种,南方红豆杉遭砍伐破坏严重,且因为其生长缓慢,对生境要求较高,因此长期处于濒危灭绝状态<sup>[2]</sup>。目前,南方红豆杉相关研究内容包括保护生物学<sup>[3]</sup>、繁殖技术<sup>[4]</sup>、紫杉醇提取和制备<sup>[5]</sup>、种群群落生态学<sup>[6-8]</sup>等。南方红豆杉种群群落生态学中,空间分布格局是研究重点之一。空间格局分析是联系生态学过程、研究物种分布与共存机制、检验多样性维持相关假说的重要途径<sup>[9]</sup>。空间分布格局的研究中,植物种群分布格局与空间尺度有着密切关系,因此,点格局法凭借其多尺度的特点被引入空间分析中<sup>[10]</sup>。点格局法近年来在生态学中的应用越来越多,其中尤其以里普利的*K*函数(Ripley's *K*-function)及相关变形函数的使用最为常见<sup>[11]</sup>。

南方红豆杉空间格局研究多停留在南方红豆杉种群或群落的研究尺度<sup>[12]</sup>,缺乏同一地区不同植被类型中南方红豆杉空间格局差异的研究。在江西省,杉木林、毛竹林、南方红豆杉林是南方红豆杉出现的典型植被类型,而南方红豆杉在同一区域的3种植被群系中的种群空间格局和种间空间关联上,缺乏对比研究。为此,选取同一区域中的3种南方红豆杉植被群系,进行不同植被中南方红豆杉种群内与种间空间格局的对比分析。南方红豆杉为典型耐荫树种,有与杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、毛竹(*Phyllostachys edulis*)混交,进行人工种植<sup>[13-15]</sup>的案例。杉木是亚热带森林常见天然次生林树种和人工造林树种,常与阔叶树种混交成林;毛竹作为扩张性极强的物种,会抑制其环境中乔木的生长<sup>[16]</sup>。因此,野生环境中南方红豆杉与杉木、毛竹等常见伴生树种的空间关系,是南方红豆杉空间分布格局研究的重要科学问题。

## 1 研究区与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区为修水县油岭南方红豆杉自然保护区,位于东经114°41'53"~114°46'6",北纬28°55'7"~28°57'40",属九岭山脉向北延伸至修水境内第2支脉中段。保护区气候温暖湿润,属亚热带湿润季风气候区,日照偏少,日温差悬殊,雨热同期,气候温和,属典型山区小气候区域。据修水县气象局气象数据,保护区多年平均气温为16.7℃,平均最高气温为22.5℃,极端最高气温为42.1℃,平均最低气温为12.6℃,极端最低气温为-12.1℃。日照时间为1424.2 h,年均降水量为2039.8 mm,相对湿度为85%,年均无霜期为254 d,土壤类型为山地黄壤<sup>[17]</sup>。

按《中国植被》划分方法,江西油岭南方红豆杉自然保护区主要植被类型可以分为暖性针叶林、温性针叶林、常绿阔叶林、落叶阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、山顶矮林、灌丛和灌草丛、湿地等9种植被型,具体可分为枫香林、马尾松林、南方红豆杉林、杉木林、钩栲林、丝栗栲林、甜槠林、细叶青冈林、深山含笑林、茅栗林、鹿角杜鹃林、毛竹林、箬竹林、油茶林、小蘗灌丛等22个群系。保护区中南方红豆杉成片林分布不多,常散生于林缘或伴生在各类森林中,经常出现在杉木林、常绿落叶阔叶混交林和毛竹林中<sup>[18]</sup>。

### 1.2 研究方法

采用样方法进行植被调查,选取拥有南方红豆杉的3个不同植被群系样方。其中,样方1和样方2为50 m×50 m的样方,样方3为40 m×40 m的样方。将大样方划分为若干10 m×10 m的小样方,采取每木调查法,调查每个小样方的所有1.5 m以上高度的乔木,记录种类并测量其高度、胸径(diameter at breast height, DBH),根据其在样方中的位置来记录坐标。样方均在修水县油岭南方红豆杉自然保护区内选取,样方1所属地名为高台,位于北纬28°56.77',东经114°44.06',海拔765 m,为50 m×50 m样方;样方2所属地名为叶家栋,位于北纬28°55.46',东经114°43.24',海拔564 m,为50 m×50 m样方;样方3所属地名为黄家山,位于北纬28°55.65',东经114°44.14',海拔578 m,为40 m×40 m样方。南方红豆杉常为散生状态,样方选取为保证一定的样本量,选择了南方红豆杉种群数量较高的地区。3个样方环境均为排水良好的阴湿山地,温暖多雨,土壤为酸性、中性土或钙质土壤。其中,样方3受限于南方红豆杉数量稀少且地形陡峭等因素,只选取了

40 m×40 m 范围。有研究表明,南方红豆杉空间格局多在 25 m 等中小空间尺度内发生变化,因此,样方面积差异对该研究影响不大<sup>[7]</sup>。

植被群系的分类主要参考江西植被相关文献<sup>[19]</sup>、油岭保护区科考报告<sup>[18]</sup>和样方各树种重要值信息。重要值(importance value, IV)是以综合数值来表示不同植物相对重要性的指标。乔木重要值计算公式为  $S_{IV} = [(S_{RA} + S_{RH} + S_{RD}) / 3] \times 100\%$ 。式中:  $S_{IV}$  为乔木重要值;  $S_{RA}$  为相对多度(relative abundance, RA),为样方内某物种的个体数量占全部物种个体数量的比例;  $S_{RH}$  为相对高度(relative height, RH),为样方内某物种的高度之和占全部物种高度之和的比例;  $S_{RD}$  为相对优势度,为样方内某树种的胸高断面积之和占有所有物种胸高断面积之和的比例<sup>[20]</sup>。计算各植物种的重要值并进行排序。

为了解南方红豆杉种群的种群结构,根据该区树种的生长特征和红豆杉属的已有研究<sup>[21]</sup>,用径级代替南方红豆杉树龄,将立木划分为 8 个年龄级( $S_{DBH}$  为植株的胸径): S1 级( $S_{DBH} < 4$  cm)、S2 级( $4 \text{ cm} \leq S_{DBH} < 8$  cm)、S3 级( $8 \text{ cm} \leq S_{DBH} < 16$  cm)、S4 级( $16 \text{ cm} \leq S_{DBH} < 24$  cm)、S5 级( $24 \text{ cm} \leq S_{DBH} < 32$  cm)、S6 级( $32 \text{ cm} \leq S_{DBH} < 40$  cm)、S7 级( $40 \text{ cm} \leq S_{DBH} < 48$  cm)、S7 级以上( $S_{DBH} \geq 48$  cm)。另外,将南方红豆杉按株高( $H$ )区分为更新层( $H < 1$  m)、演替层( $1 \text{ m} \leq H < 5$  m)和乔木层( $H \geq 5$  m)<sup>[20]</sup>。

多距离空间聚类分析(里普利的  $K$  函数)是点空间格局分析最常用的函数手段,可以在多距离尺度下对分布点的聚集程度进行分析<sup>[22-24]</sup>。R 语言中的 Spatstat 包拥有  $K$  函数功能,借助此功能对 3 个样方南方红豆杉种群个体进行空间点格局分析<sup>[25]</sup>。使用 Spatstat 包中的 Kcross 指令对南方红豆杉进行一对一的多类型  $K$  函数分析。 $K$  函数中零模型的选择为同质泊松模型<sup>[11]</sup>。使用  $K(r)$  函数分析种群(也可以是某一群落或是某个径级个体)的空间分布格局时,若  $\hat{K}(r) > \pi r^2$ ,说明种群在尺度  $r$  上为聚集分布;若  $\hat{K}(r) = \pi r^2$ ,说明种群在尺度  $r$  上为随机分布;若  $\hat{K}(r) < \pi r^2$ ,说明种群在尺度  $r$  上为均匀分布<sup>[26]</sup>。泊松过程可通过 Monte-Carlo 模拟生成包迹线,获得 99% 的置信区间。

## 2 结果与分析

### 2.1 植被群系分类

3 个样方各乔木种重要值结果如表 1 所示。由表 1 可知,样方 1 乔木层杉木为优势种,形成与枫香、油茶、南方红豆杉混交状态;样方 2 优势种为毛竹,与钩栲、杉木等混交;样方 3 南方红豆杉为优势种,与枫香等阔叶树种混交。3 个样方代表 3 种典型的南方红豆杉植被群系。样方 1 植被群系为杉木针阔混交林;样方 2

表 1 3 个样方各乔木种重要值排序  
Tab.1 Importance values of arbors on three plots

样方编号	乔木种	重要值 / %	样方编号	乔木种	重要值 / %
1	杉木( <i>Cunninghamia lanceolata</i> )	20.65	2	玉兰( <i>Yulania denudata</i> )	4.86
	枫香( <i>Liquidambar formosana</i> )	15.20		锥栗( <i>Castanea henryi</i> )	2.05
	油茶( <i>Camellia oleifera</i> )	9.69		其他	16.69
	南方红豆杉( <i>Taxus wallichiana</i> var. <i>mairei</i> )	7.74		南方红豆杉( <i>Taxus wallichiana</i> var. <i>mairei</i> )	12.14
	蓝果树( <i>Nyssa sinensis</i> )	5.62	3	枫香( <i>Liquidambar formosana</i> )	9.48
	鹿角杜鹃( <i>Rhododendron latoucheae</i> )	4.35		杉木( <i>Cunninghamia lanceolata</i> )	9.29
	鹅耳枥( <i>Carpinus turczaninowii</i> )	4.23		苦槠( <i>Castanopsis sclerophylla</i> )	8.77
	马尾松( <i>Pinus massoniana</i> )	3.11		油茶( <i>Camellia oleifera</i> )	6.96
	南烛( <i>Vaccinium bracteatum</i> )	2.60		小叶栎( <i>Quercus chenii</i> )	6.96
	玉兰( <i>Yulania denudata</i> )	2.36		栲木石楠( <i>Photinia bodinieri</i> )	4.86
	苦槠( <i>Castanopsis sclerophylla</i> )	2.24		玉兰( <i>Yulania denudata</i> )	4.43
	其他	22.23		蓝果树( <i>Nyssa sinensis</i> )	3.96
	毛竹( <i>Phyllostachys edulis</i> )	20.42		冬青( <i>Ilex chinensis</i> )	3.20
	钩栲( <i>Castanopsis tibetana</i> )	13.53		拟赤杨( <i>Alniphyllum fortunei</i> )	2.99
	杉木( <i>Cunninghamia lanceolata</i> )	12.17		棕榈( <i>Trachycarpus fortunei</i> )	2.88
	苦槠( <i>Castanopsis sclerophylla</i> )	9.74		江南越橘( <i>Vaccinium mandarinorum</i> )	2.15
	树参( <i>Dendropanax dentiger</i> )	7.30		黄檀( <i>Dalbergia hupeana</i> )	2.07
2	南方红豆杉( <i>Taxus wallichiana</i> var. <i>mairei</i> )	7.02		其他	19.86
	油茶( <i>Camellia oleifera</i> )	6.24			

为毛竹林; 样方3为南方红豆杉针阔混交林。

## 2.2 种群年龄级结构

对比不同样方南方红豆杉年龄级结构, 结果如图1所示。

由图1可知, 杉木针阔混交林中南方红豆杉前3年龄级占比为65.6%, 而毛竹林中前3年龄级占比为78.0%, 这2种群系中南方红豆杉年龄级结构均为倒“J”型, 幼树较多但大龄级的树较少。而南方红豆杉针阔混交林的幼树少, 但有大龄级的成树。杉木针阔混交林、毛竹林的南方红豆杉种群处在发展阶段, 成熟植株个体占比大, 幼树比例也较为可观; 南方红豆杉针阔混交林有大径级的南方红豆杉成树, 但幼树比例较低。

## 2.3 种群空间格局分析

2.3.1 种群分布格局 在R语言中使用Spatstat包, 添加胸径指标作为南方红豆杉分布图的标注, 得到南方红豆杉种群分布如图2所示。

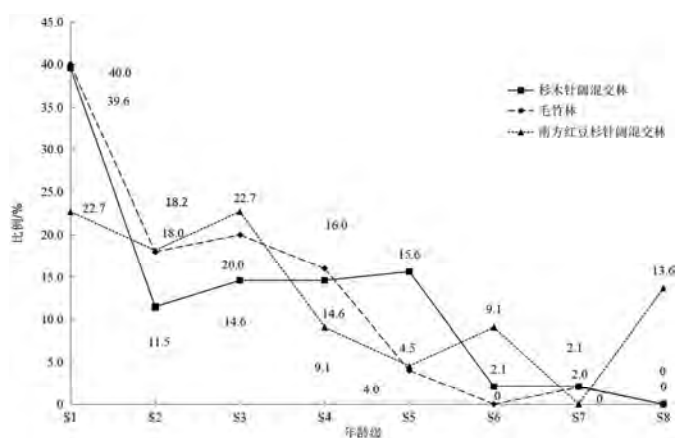
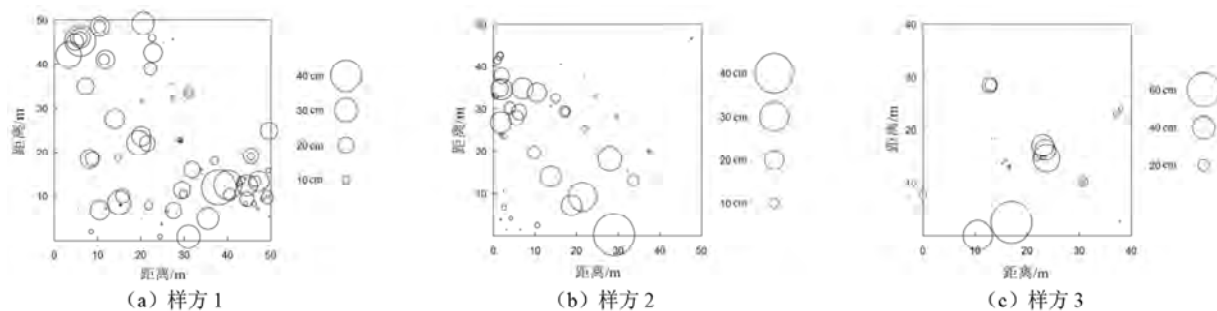


图1 南方红豆杉龄级

Fig.1 Age degrees of *Taxus wallichiana* var. *mairei*



注: 圆圈代表树木胸径。

图2 南方红豆杉种群分布

Fig.2 The population distribution of *Taxus wallichiana* var. *mairei*

由图2可知, 样方1的南方红豆杉数量较多, 样方3的南方红豆杉数量较为稀少。杉木针阔混交林中径级树木较多, 而毛竹林、南方红豆杉针阔混交林大径级树木多, 尤其是南方红豆杉针阔混交林, 存在胸径60 cm以上的成树。3种植被群系中南方红豆杉基本呈聚集分布。

## 2.3.2 种群点格局分析

幼龄与成年南方红豆杉分布格局可能不同, 因此将南方红豆杉分年龄级进行空间点格局分析。将更新层、演替层 ( $H < 5$  m) 划分为1组, 乔木层 ( $H \geq 5$  m) 划分为1组, 进行分组的空间点格局分析<sup>[20]</sup>。更新、演替层南方红豆杉种群K函数分析结果如图3所示。

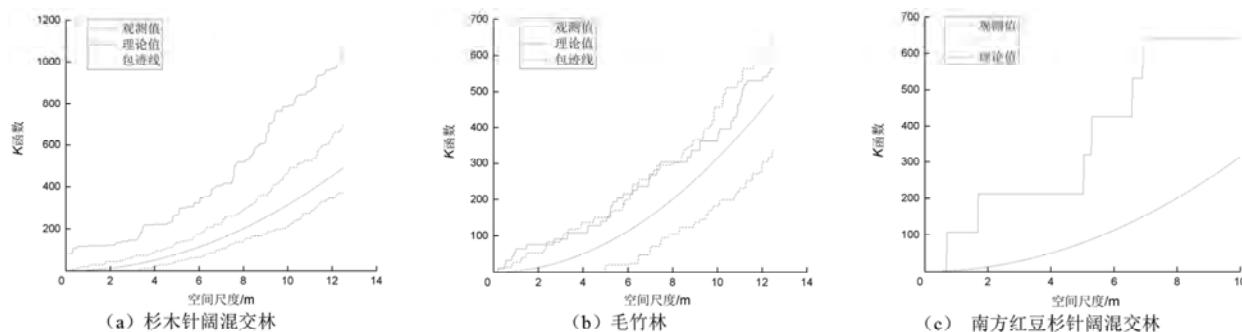


图3 更新层、演替层南方红豆杉种群K函数分析

Fig.3 K-function of *Taxus wallichiana* var. *mairei* population in regeneration layer and succession layer

由图3可知, 杉木针阔混交林中, 更新、演替层南方红豆杉为聚集性分布; 毛竹林中, 更新、演替层南方红豆杉在空间尺度为2 m以内存在聚集分布趋势, 2 m以外均为随机分布; 南方红豆杉针阔混交林中, 更新、演

替层南方红豆杉为随机分布。杉木针阔混交林中幼树的聚集性分布,可能与样方生境适宜,且幼苗较多有关。因南方红豆杉针阔混交林幼龄个体数量较少,未能模拟出包迹线。乔木层南方红豆杉种群  $K$  函数结果如图 4 所示。

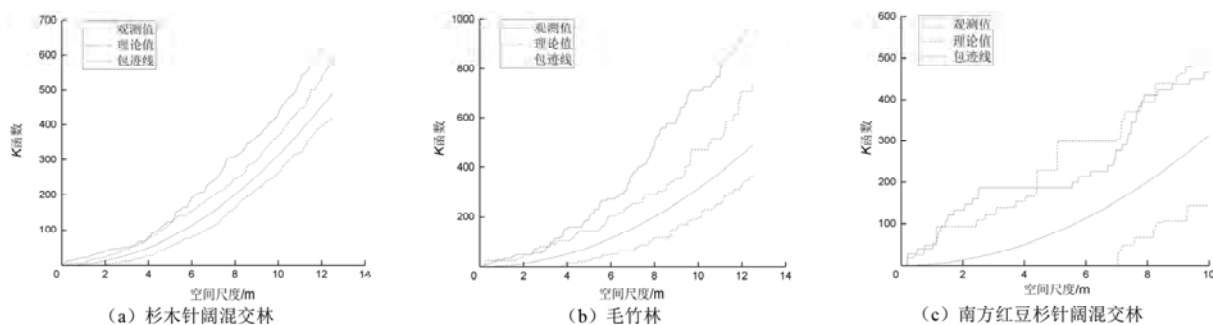


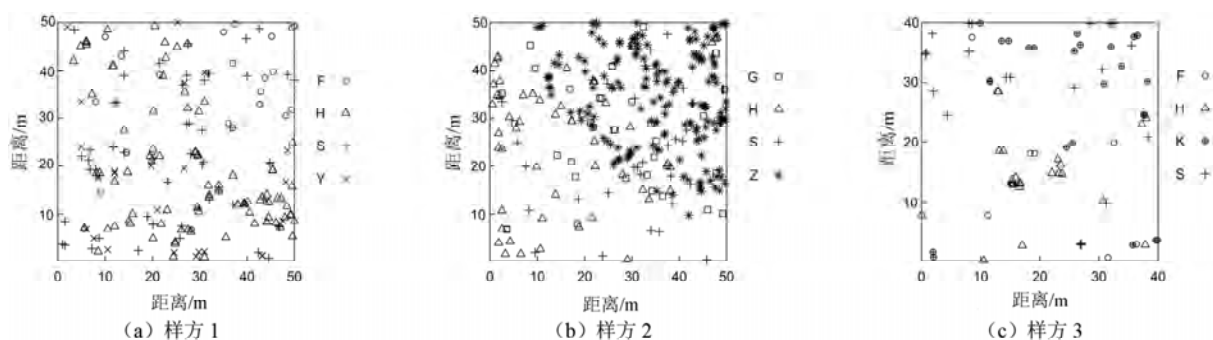
图 4 乔木层南方红豆杉种群  $K$  函数分析

Fig.4  $K$ -function of *Taxus wallichiana* var. *mairei* population in arboreal layer

由图 4 可知,杉木针阔混交林中,乔木层南方红豆杉种群为聚集分布;毛竹林中,乔木层南方红豆杉种群在 3 m 之内偏随机分布,在 3 m 之外为聚集分布;南方红豆杉针阔混交林中,乔木层南方红豆杉种群在 5 m 尺度以内偏聚集分布,在 5 m 之外为随机分布。成树在杉木针阔混交林和毛竹林中聚集,可能与 2 个样方地势较为平坦(坡度均为  $20^\circ$  以下)有关;南方红豆杉针阔混交林所处样方地势十分陡峭,成树呈散生状态。

#### 2.4 南方红豆杉与优势种空间关联

2.4.1 样方优势种分布格局 选择每个植被群系中除南方红豆杉外的重要值排名前 3 的物种作为优势种,对不同样方中优势种进行标记,再进行多变量  $K$  函数分析。南方红豆杉与各样方优势树种的空间分布格局如图 5 所示。



注: H 表示南方红豆杉, S 表示杉木, F 表示枫香, Y 表示油茶, Z 表示毛竹, G 表示钩栲, K 表示苦槠。

图 5 3 个样方乔木优势种分布

Fig.5 Distribution of dominant species on three plots

由图 5 可知,样方 1 中,除南方红豆杉以外的树种分布较为均匀,而南方红豆杉虽数量较多,但集中分布在小部分区域;样方 2 中,毛竹数量众多且集中分布,与南方红豆杉基本平分了整个区域;样方 3 中,南方红豆杉分布区域更为集中,其他树种较为分散。

2.4.2 南方红豆杉与样方优势种点格局分析 样方 1 的南方红豆杉与其他优势种多变量  $K$  函数结果如图 6 所示。

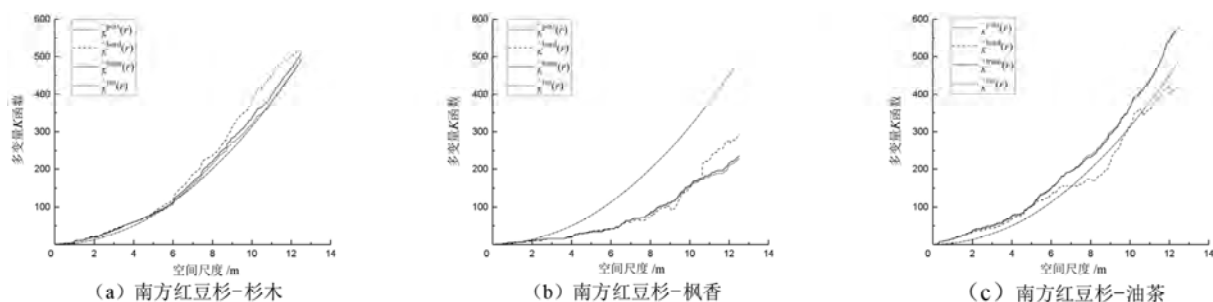


图 6 样方 1 南方红豆杉与优势种多变量  $K$  函数分析

Fig.6 Multivariate  $K$ -function between *Taxus wallichiana* var. *mairei* and dominant species on plot 1

由图6可知,杉木针阔混交林中,南方红豆杉与杉木之间偏向于随机分布;其与枫香之间为均匀分布,分布相互排斥;其与油茶之间在7m以内偏向于聚集分布,7m以外有随机分布趋势。杉木针阔混交林中杉木虽为优势种,但大径级个体不多;而枫香为次优势树种,数量不多但存在大径级个体,因此与南方红豆杉产生了较为明显的竞争关系。样方2南方红豆杉与其他优势种多变量K函数结果如图7所示。

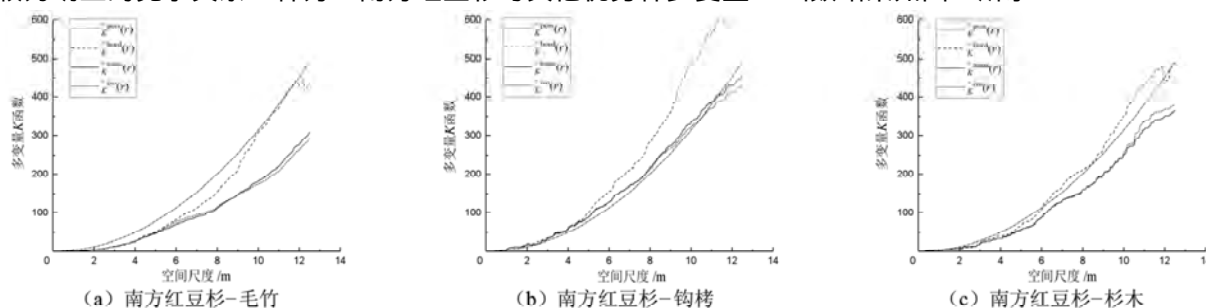


图7 样方2南方红豆杉与优势种多变量K函数分析

Fig.7 Multivariate K-function between *Taxus wallichiana* var. *mairei* and dominant species on plot 2

由图7可知,毛竹林中,南方红豆杉与毛竹之间为均匀分布,互相排斥;与钩栲之间随机分布;与杉木之间小范围内偏随机分布。毛竹林所处样方地势较为平坦,毛竹处于扩张阶段,南方红豆杉表现出与毛竹在空间上互相排斥。样方3南方红豆杉与其他优势种多变量K函数结果如图8所示。

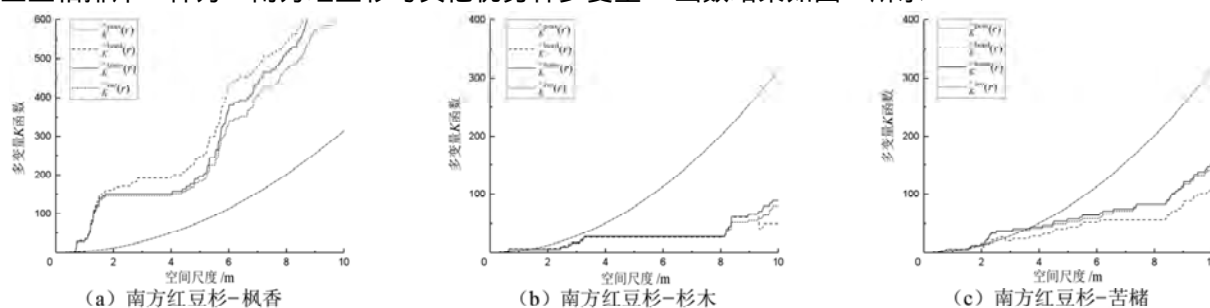


图8 样方3南方红豆杉与优势种多变量K函数分析

Fig.8 Multivariate K-function between *Taxus wallichiana* var. *mairei* and dominant species on plot 3

由图8可知,南方红豆杉针阔混交林中,南方红豆杉与枫香之间明显聚集分布;与杉木和苦槠之间为均匀分布。南方红豆杉针阔混交林所处样方地势陡峭,其树种间空间关系可能更多受地形、土壤等环境异质性因素影响。

总体来看,在不同的植被群系中,南方红豆杉与其他树种的空间关系不同。南方红豆杉与杉木并没有明显的聚集分布,多互为随机分布甚至均匀分布;但是南方红豆杉与毛竹分布上却明显互相排斥。南方红豆杉与枫香,在不同植被群系表现出了不同的互为分布模式,在杉木针阔混交林中为互相排斥,在南方红豆杉针阔混交林中互为聚集分布。除此之外,南方红豆杉在杉木针阔混交林中与油茶有明显聚集关系。

南方红豆杉幼苗在荫蔽条件下正常生长发育,其幼苗对直射光尤其敏感。但是随着年龄增长,南方红豆杉对光照的需求增加,过于荫蔽的环境不利于南方红豆杉生长。因此不同高度的、处于不同生长阶段的南方红豆杉,与其他优势种的分布关系可能会有变化。

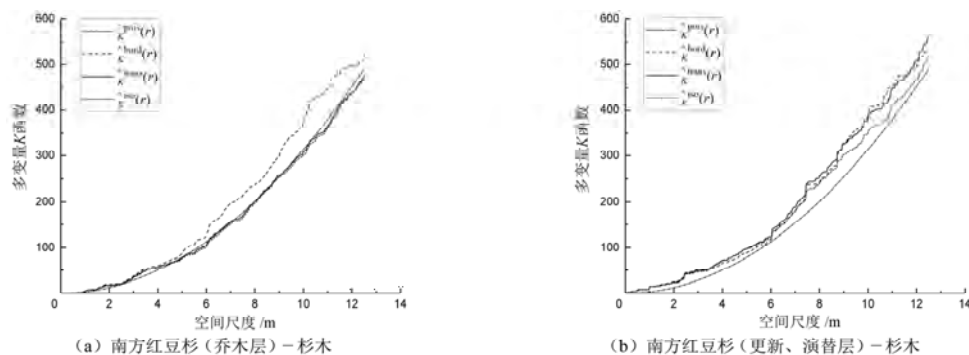
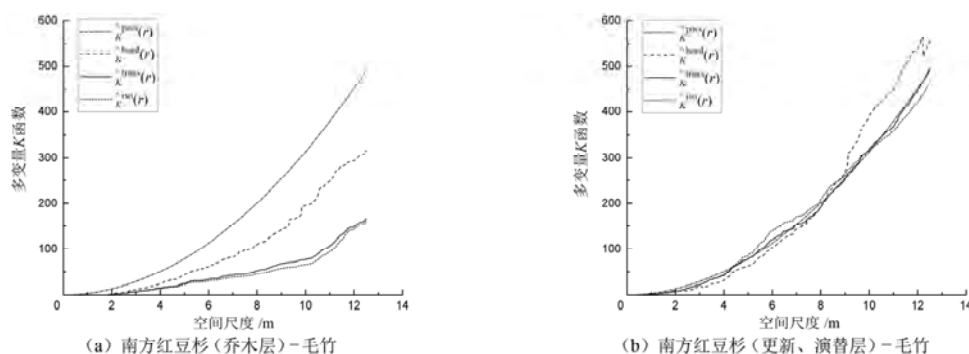
同样,将每个样方南方红豆杉更新层与演替层划分为1组,将乔木层划分为另1组,将每个样方除南方红豆杉外的第1优势种与不同高度的南方红豆杉作空间点格局分析。样方1中杉木与不同年龄级南方红豆杉多变量K函数结果如图9所示。

由图9可知,杉木针阔混交林中,杉木与不同高度的南方红豆杉呈现出了分布关系的差异:较高大的南方红豆杉与杉木间偏随机分布;而较矮小的幼龄南方红豆杉与杉木呈聚集分布。

样方2中毛竹与不同年龄级南方红豆杉多变量K函数结果如图10所示。由图10可知,毛竹林中,毛竹与南方红豆杉的空间分布关系差异明显:大龄南方红豆杉与毛竹之间排斥强烈,而幼龄南方红豆杉与毛竹则互为随机分布,甚至在大于9m的尺度上还偏向于聚集分布,这与南方红豆杉和杉木分布关系的情况类似。

南方红豆杉针阔混交林未出现大小龄级南方红豆杉与优势树种分布关系差异的情况,这可能与该样方南方红豆杉数量相对稀少有关。



图 9 样方 1 杉木与不同年龄级南方红豆杉多变量  $K$  函数分析Fig.9 Multivariate  $K$ -function between *Taxus wallichiana* var. *mairei* with different ages and *Cunninghamia lanceolata* on plot 1图 10 样方 2 毛竹与不同年龄级南方红豆杉多变量  $K$  函数分析Fig.10 Multivariate  $K$ -function between *Taxus wallichiana* var. *mairei* with different ages and *Phyllostachys edulis* on plot 2

### 3 讨论

#### 3.1 南方红豆杉种群结构差异

从年龄结构看,杉木针阔混交林、毛竹林中南方红豆杉各年龄比例较为均衡,低龄个体较多,种群处于发展阶段;南方红豆杉针阔混交林中南方红豆杉虽然是优势树种,且有大径级的成树,但存在幼树缺乏的情况,且种群数量稀少,种群状况较不稳定,有成熟植株得不到更新补充的风险。不同样方中南方红豆杉的种群结构差异,可能是因为在不同植被群系中,南方红豆杉与不同优势种有不同强度的种间竞争关系<sup>[27-28]</sup>。南方红豆杉针阔混交林的南方红豆杉缺乏幼龄个体,也可能与调查范围有限有关。南方红豆杉由于物种间的距离隔离或花期不遇等原因,传粉和授精过程受阻,种子产生数量较少;同时,南方红豆杉种子具有综合型的休眠特性,自然条件下种子一般要经过 2 个冬季和 1 个夏季才能萌发,且萌发率较低。这些原因可能导致南方红豆杉缺乏幼苗个体。

#### 3.2 南方红豆杉植被群系差异

江西油岭南方红豆杉自然保护区中 3 个调查样方,代表了该保护区较为典型的 3 种植被群系,分别为杉木针阔混交林、毛竹林、南方红豆杉针阔混交林。这与报道中常见的南方红豆杉生长群系相符<sup>[29]</sup>。但南方红豆杉作为群系优势种的现象则比较罕见,可能与保护区长期对南方红豆杉这一树种有针对性保护有关。

#### 3.3 南方红豆杉种群空间格局

3 种植被群系中南方红豆杉均表现为较为明显的聚集分布,这可能与该区域南方红豆杉的繁殖方式有关。南方红豆杉有很强的分蘖能力,散落的枝条等构件会萌生不定根并有机会长成幼树,完成无性繁殖<sup>[7]</sup>。种子传播限制假说也可以解释幼树聚集生长的情况<sup>[30]</sup>。同时,3 种植被群系中的南方红豆杉种群,无论是幼树还是成年树均为聚集分布,可能与地形、土壤等环境异质性因素有关,说明这些样方中可能有小片适合南方红豆杉生长的优良生境。而且,种群中幼龄个体居多,种内竞争关系还未到激烈程度,因此可以聚集生长,如杉木针阔混交林、毛竹林中的情况。南方红豆杉在该区域种子传播受限也可能是其聚集分布的原因。

#### 3.4 不同群系的南方红豆杉与优势种的分布关系

3 个样方代表不同植被群系,其中的南方红豆杉与优势种总体的分布关系也不同:样方 1、3 中它们之间

偏聚集生长,而在样方2中则是互相排斥、均匀分布。这可能与主要优势种有关,样方2中主要优势种为毛竹,而南方红豆杉与毛竹是互为均匀分布的。

在不同的植被群系中,南方红豆杉与优势乔木种的空间分布关系,有较为明显的差异。与预期不同,南方红豆杉和杉木之间并没有明显的聚集分布,但是和毛竹之间存在互为排斥的关系。南方红豆杉与枫香,在不同样方表现出了不同的互为分布模式:在杉木针阔混交林中互相排斥,在南方红豆杉针阔混交林中互为聚集分布。南方红豆杉的这种分布模式说明,在不同的植被群系中,南方红豆杉伴生树种也不同。

不同生长阶段南方红豆杉与优势树种的空间格局分析结果表明,幼年南方红豆杉与杉木互为聚集分布,而高大的成树与杉木互为随机分布;幼龄树与毛竹互为随机分布,而成树与毛竹林呈现明显的排斥关系。因此,不同样方中处于不同生长阶段的南方红豆杉,与优势种之间的分布关系不尽相同。在不同植被群系中,南方红豆杉与毛竹、杉木等优势种之间的空间关系,总体表现出幼龄南方红豆杉与优势树种互为随机分布甚至趋于聚集分布;而成树的高大南方红豆杉,在不同样方中均与这些优势种互相排斥。成片毛竹或杉木林有一定郁闭度,空气湿度大,且林下有适合灌木或矮小乔木生长的空间,比较适合南方红豆杉幼苗的生长;然而幼苗生长到一定高度后需要一定的光照条件,但幼苗无法与毛竹、杉木这些优势种相竞争,因此成活率较低<sup>[31-32]</sup>。毛竹无性繁殖能力强大,依靠地下竹鞭强大的对外穿透和繁衍能力,能够迅速扩张到附近林地,并逐步改变相邻森林的林分结构、生态功能,形成混交林甚至最后取代相邻森林形成毛竹纯林<sup>[33-34]</sup>。

### 3.5 南方红豆杉保护与管理建议

从研究结果看,南方红豆杉在杉木针阔混交林、毛竹林和南方红豆杉针阔混交林中,均可顺利生长,但种群状况存在差异。虽然与杉木间没有明显的互相聚集关系,南方红豆杉在杉木为主的天然林型中,种群结构稳定,个体数量丰富。毛竹林中的南方红豆杉,与毛竹在空间分布上互相排斥。作为优势树种的南方红豆杉,在南方红豆杉针阔混交林中,虽有成熟大树,但种群缺乏幼树,林木更新可能存在问题。因此,在保护工作中要留意此植被群系下南方红豆杉的生长状态,必要时须对幼树进行针对性保护,以维持其种群增长。需特别注意的是,茂密的毛竹、杉木林中生长的南方红豆杉幼树,最终可能无法成活,必要时可采取间伐手段开辟林窗,以促进南方红豆杉的采光,用人为手段给予南方红豆杉充足的生长空间。过度扩张的毛竹林须引起注意,为保证南方红豆杉的正常生长,可适当清理毛竹地下竹鞭。

## 4 结论

在江西油岭南方红豆杉自然保护区内的杉木针阔混交林、毛竹林、南方红豆杉针阔混交林3种植被群系中,幼龄南方红豆杉为聚集或随机分布,成年南方红豆杉偏聚集分布。3种植被群系中南方红豆杉与群系中各优势种空间关联有所不同。幼龄南方红豆杉与杉木呈聚集分布,而成年红豆杉与杉木呈随机分布;幼龄南方红豆杉与毛竹呈随机分布,而成年南方红豆杉与毛竹呈互相排斥关系。这证明南方红豆杉幼树可与杉木、毛竹混交,但幼树成长为成树过程中与杉木、毛竹存在竞争关系,需要一定空间生态位。南方红豆杉人工繁育工作中,可尝试将南方红豆杉幼树与杉木、毛竹进行混交种植,但成年南方红豆杉与毛竹空间上有强烈排斥关系,建议适当清除毛竹以确保南方红豆杉的正常生长。但是,该研究选取的样方只代表有限的南方红豆杉植被类型,且种群数量有限,未来可针对这一濒危树种进行更大规模的种群现状及群落空间格局研究,为南方红豆杉保护提供更加坚实的理论基础。

### 参考文献:

- [1] 郑万钧,傅立国.中国植物志(第七卷)[M].北京:科学出版社,1978:438.
- [2] 茹文明,张金屯,张峰,等.濒危植物南方红豆杉濒危原因分析[J].植物研究,2006,26(5):624-628.
- [3] 陈立新,叶健,占剑锋,等.江西省南方红豆杉资源分布现状与保护对策[J].景德镇学院学报,2023,38(6):47-50.
- [4] 李燕.濒危植物南方红豆杉扦插繁殖技术研究综述[J].山西水土保持科技,2012,39(2):3-5.
- [5] 吴世龙,李妍妍.紫杉醇药物资源的研究概况[J].国土与自然资源研究,2024(4):79-83.
- [6] 茹文明.濒危植物南方红豆杉生态学研究[D].太原:山西大学,2006.
- [7] 王磊.南方红豆杉种群生态学与种质资源评估[D].芜湖:安徽师范大学,2010.
- [8] 张莉.福建三明东牙溪流域南方红豆杉自然种群结构与动态研究[J].安徽农学通报,2019,25(11):57-61.
- [9] 王丽萍,乌俊杰,柴勇,等.高黎贡山中山湿性常绿阔叶林优势种空间分布格局及其关联性[J].植物生态学报,2024,48(2):180-191.



- [10] 张金屯. 植物种群空间分布的点格局分析[J]. 植物生态学报, 1998, 22(4): 344-349.
- [11] 马志波, 肖文发, 黄清麟, 等. 生态学中的点格局研究概况及其在国内的应用[J]. 生态学报, 2017, 37(19): 6624-6632.
- [12] 李先琨, 黄玉清, 苏宗明. 元宝山南方红豆杉种群分布格局及动态[J]. 应用生态学报, 2000(2): 169-172.
- [13] 连培华. 红豆杉木混交林林分生长研究[J]. 林业勘察设计, 2008, 27(2): 151-153.
- [14] 刘建福, 王明元, 杨晨, 等. 不同立地条件下南方红豆杉幼苗的生长和生理特性[J]. 生态学杂志, 2012, 31(12): 3011-3017.
- [15] 施小弟, 廖远明, 王勇, 等. 宜春区域南方红豆杉生境及其生长量分析[J]. 现代园艺, 2018, 25(1): 26-28.
- [16] 程明圣, 邹娜. 毛竹扩张对森林生态的影响及其管控研究进展[J]. 江汉大学学报(自然科学版), 2021, 49(3): 49-55.
- [17] 彭焱松, 周赛霞, 詹选怀, 等. 江西油岭山地花榈木群落特征及空间分布格局[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(11): 81-88.
- [18] 钱华, 郑乃员. 江西油岭南方红豆杉自然保护区综合科学考察报告[R]. 杭州: 浙江省林业科学研究院, 2011: 1.
- [19] 刘仁林, 刘剑锋, 谢宜飞. 江西植被类型及其历史比较[J]. 中国科学: 生命科学, 2021, 51(3): 314-320.
- [20] 高润梅, 石晓东, 樊兰英, 等. 山西省南方红豆杉自然分布与群落生态学特征[J]. 应用生态学报, 2016, 27(6): 1820-1828.
- [21] 洪伟, 王新功, 吴承祯, 等. 濒危植物南方红豆杉种群生命表及谱分析[J]. 应用生态学报, 2004, 15(6): 1109-1112.
- [22] BADDELEY A, TURNER R. Spatstat: an R package for analyzing spatial point patterns[J]. J STAT SOFTW, 2005, 12(6): 1-42.
- [23] 王本洋, 余世孝. 种群分布格局的多尺度分析[J]. 植物生态学报, 2005, 29(2): 235-241.
- [24] 詹小豪, 王旭航, 叶诺楠, 等. 浙江建德典型天然次生林群落主要乔木树种空间分布格局及种间关系[J]. 浙江农林大学学报, 2021, 38(4): 659-670.
- [25] 谭雪莲, 敬小丽, 阙蕾, 等. 亚热带常绿阔叶林锥和木荷枯立木点格局分析[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2019, 39(1): 132-138.
- [26] 朱德意. 南盘江流域松栎混交林群落特征及主要种群空间格局研究[D]. 南宁: 广西大学, 2019.
- [27] 陈龙涛, 石晓东, 高润梅. 山西陵川南方红豆杉群落种间联结与生态位特征研究[J]. 植物科学学报, 2016, 34(4): 521-529.
- [28] 茹文明, 铁军, 张桂萍, 等. 南方红豆杉群落种间关系的数量分析[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2010, 33(4): 609-614.
- [29] 喻龙华, 厉月桥, 陈珍明, 等. 江西天然南方红豆杉群落及种群结构特征[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(11): 164-172.
- [30] 李宁, 白冰, 鲁长虎. 植物种群更新限制: 从种子生产到幼树建成[J]. 生态学报, 2011, 31(21): 6624-6632.
- [31] 林贤山. 杉木林林分郁闭度对南方红豆杉幼树生长的影响[J]. 林业勘察设计, 2007, 27(1): 150-152.
- [32] 欧建德, 吴志庄, 罗宁. 林窗大小对杉木林内南方红豆杉生长与形质的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(10): 3098-3104.
- [33] 周德中, 叶继生, 宋怀芬, 等. 毛竹扩张对森林生态系统影响的研究进展[J]. 南方林业科学, 2024, 52(2): 66-69.
- [34] 王秀云, 宋绪忠, 杨华, 等. 毛竹不同扩张阶段林分的结构特征[J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(11): 39-44.

责任编辑: 郑玥雷

(上接第 157 页)

- [14] RAUNKIAER C. The life forms of plants and statistical plant geography[M]. Oxford: Oxford University Press, 1934: 1-633.
- [15] 周赛霞, 彭焱松, 高浦新, 等. 狭果秤锤树群落结构与更新特征[J]. 植物资源与环境学报, 2019, 28(1): 96-104.
- [16] 张志祥, 刘鹏, 刘春生, 等. 浙江九龙山南方铁杉(*Tsuga tchekiangensis*)群落结构及优势种群更新类型[J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4547-4558.
- [17] 魏宗贤, 周赛霞, 彭焱松, 等. 鄱阳湖沙地沙漠化过程中单叶蔓荆群落结构和功能特征[J]. 广西植物, 2011, 31(5): 620-626.
- [18] 李大东, 董廷发, 陈坚, 等. 四川米仓山自然保护区台湾水青冈群落学特征及多样性研究[J]. 西北植物学报, 2016, 36(1): 174-182.
- [19] 廖文波, 王英永, 李贞, 等. 中国井冈山地区生物多样性综合科学考察[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 257-270.
- [20] 中国植被编辑委员会. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 3-4.
- [21] 高贤明, 陈灵芝. 植物生活型分类系统的修订及中国暖温带森林植物生活型谱分析[J]. 植物学报, 1998, 40(6): 553-559.
- [22] 鲜骏仁, 万芙蓉, 胡庭兴, 等. 亚高山针叶林自然恢复过程中的物种多样性变化[J]. 四川农业大学学报, 2008, 26(2): 158-162.
- [23] 郭微, 沈如江, 吴金火, 等. 江西三清山华东黄杉群落的组成及结构分析[J]. 植物资源与环境学报, 2007, 16(3): 46-52.
- [24] 郭微, 景慧娟, 凡强, 等. 江西井冈山穗花杉群落及其物种多样性研究[J]. 黑龙江农业科学, 2013(7): 71-76.
- [25] 丁巧玲, 刘志成, 王蕾, 等. 湖南桃源洞国家级自然保护区南方铁杉种群结构与生存分析[J]. 西北植物学报, 2016, 36(6): 1233-1244.
- [26] 陈子林, 康华靖, 刘鹏, 等. 大盘山自然保护区香果树群落结构特征[J]. 云南植物研究, 2007, 29(4): 461-466.
- [27] 孙儒泳, 李博, 诸葛阳, 等. 普通生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993: 132-135.
- [28] 陈睿, 汤孟平. 天目山针阔混交林与常绿阔叶林的空间结构比较[J]. 林业科学, 2023, 59(5): 21-31.
- [29] 高泽兵, 李卫忠, 贺征兵, 等. 巴山松生长及数量成熟龄初步研究[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(2): 131-135.
- [30] 许凯扬, 刘胜祥, 叶万辉, 等. 湖北后河自然保护区水丝梨群落研究[J]. 武汉植物学研究, 2002, 20(5): 359-364.
- [31] 黄永涛, 姚兰, 艾训儒, 等. 鄂西南两个自然保护区亚热带常绿阔叶阔叶混交林类型及其常绿和落叶物种组成结构分析[J]. 植物生态学报, 2015, 39(10): 990-1002.

责任编辑: 郑玥雷