

DOI:10.12171/j.1000-1522.20230240

福建省牛姆林常绿阔叶林木本植物组成与结构特征

赵芸¹ 江蓝¹ 李志辉¹ 韦鑫¹ 朱静¹
何中声¹ 刘金福¹ 郭相亿² 张朝鹏²

(1. 福建农林大学林学院, 福建农林大学海峡自然保护区研究中心, 生态与资源统计福建省高校重点实验室, 福建 福州 350002;
2. 福建牛姆林自然保护区管理处, 福建 永春 362600)

摘要:【目的】探究福建省牛姆林自然保护区长期固定监测样地的木本植物组成和结构特征, 为深入了解其植被多样性提供重要参考。【方法】以福建省牛姆林自然保护区为研究对象, 在保护区内建立 3.04 hm² 长期固定监测样地, 调查并鉴定样地内 DBH ≥ 1 cm 的木本植物, 分析该样地物种组成、径阶结构、高度级结构、物种累积曲线、多度累积曲线以及林分结构特征。【结果】(1)牛姆林亚热带常绿阔叶林 DBH ≥ 1 cm 木本植物共 121 种, 隶属于 36 科 64 属, 重要值排名前三的物种分别为米槠、马尾松和细枝桉, 重要值均小于 0.1, 优势种的优势地位不明显。样地中常见种、偶见种和稀有种分别占总物种数的 50.41%、23.97% 和 25.62%。(2)当样地数量小于 13 时, 物种数随样地数量的增加而急剧增加, 其后增加速率下降。(3)牛姆林样地的植物径阶结构与高度级结构相似, 均为倒“J”型; 优势种米槠和细枝桉的径阶结构为增长型, 而优势种马尾松为衰退型。(4)除个体密度, 19 个样地的单位面积胸高断面面积、单位面积蓄积量和单位面积生物量均不存在显著差异, 样地单位面积生物量均值为 270.84 t/hm²。【结论】牛姆林样地的物种组成丰富但优势种不突出, 牛姆林属于增长型森林, 林分生产力略低于福建省平均水平。随着森林演替发展, 未来有较大增长空间。

关键词: 物种组成; 森林结构; 径阶结构; 生物量; 牛姆林

中图分类号: S718.54⁺2 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2024)12-0011-10

引文格式: 赵芸, 江蓝, 李志辉, 等. 福建省牛姆林常绿阔叶林木本植物组成与结构特征 [J]. 北京林业大学学报, 2024, 46(12): 11-20. Zhao Yun, Jiang Lan, Li Zhihui, et al. Composition and structural characteristics of evergreen broadleaved forest in Niumulin, Fujian Province of eastern China [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(12): 11-20.

Composition and structural characteristics of evergreen broadleaved forest in Niumulin, Fujian Province of eastern China

Zhao Yun¹ Jiang Lan¹ Li Zhihui¹ Wei Xin¹ Zhu Jing¹ He Zhongsheng¹
Liu Jinfu¹ Guo Xiangyi² Zhang Chaopeng²

(1. College of Forestry, Cross-Strait Nature Research Center, Key Laboratory of Ecology and Resources Statistics of Fujian Colleges, Key Laboratory of Ecology and Resources Statistics of Fujian Colleges, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China;

2. Fujian Niumulin National Nature Reserve Administration, Yongchun 362600, Fujian, China)

Abstract: [Objective] This paper investigates the composition and structural characteristics of woody plants in the permanent monitoring sample plots of Niumulin Nature Reserve, Fujian Province of eastern China, aiming to provide an important reference for deeper understanding of vegetation diversity. [Method] Taking the Niumulin Nature Reserve in Fujian Province as research subject, a 3.04 ha permanent monitoring sample plot was established within the reserve. Woody plants with DBH ≥ 1 cm within the sample plot were surveyed and identified. The species composition, diameter and height class structure,

收稿日期: 2023-09-20 修回日期: 2024-04-02

基金项目: 福建农林大学林学高峰学科建设项目(72202200205), 福建省科技计划项目(星火项目)(2023S0039)。

第一作者: 赵芸。主要研究方向: 群落生态学。Email: zyunhn@126.com 地址: 350002 福建省福州市仓山区上下店路 15 号福建农林大学林学院。

责任作者: 何中声, 副教授。主要研究方向: 森林生态学。Email: jxhzs85@126.com 地址: 同上。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

species and abundance accumulation curve, and stand structure characteristics of the sample plots were analyzed. [Result] (1) A total of 121 woody plant species with DBH ≥ 1 cm were identified in Niumulin, belonging to 36 families and 64 genera. The top three species by importance value were *Castanopsis carlesii*, *Pinus massoniana*, and *Eurya loquaiana*, all with importance values less than 0.1, the dominance of these species was not significant. Common, occasional, and rare species accounted for 50.41%, 23.97%, and 25.62% of the total species, respectively. (2) The relationship between number of sample plots and species richness showed a sharp increase in species with less than 13 sample plots, followed by a decrease in the rate of increase thereafter. (3) The structure of DBH was similar to that of height structure, both following an inverted “J”-shaped pattern. Dominant species like *C. carlesii* and *E. loquaiana* showed an increasing type in DBH class structure, while *P. massoniana* exhibited a declining type. (4) Except for individual density, 19 sample plots showed no significant differences in breast height per unit stand area, volume per unit stand area and biomass per unit stand area. The mean biomass per unit stand area of the Niumulin sample plot was 270.84 t/ha. [Conclusion] These results indicate that the Niumulin forest is rich in species, but the dominant species are not prominent and belong to the growth type. The stand productivity is slightly lower than that of the average in Fujian Province. However, with forest succession and development, the stand productivity of this forest will have great growth potential in the future.

Key words: species composition; forest structure; DBH class structure; biomass; Niumulin

森林是生物多样性保护中最重要的陆地生态系统之一,在维持地球生态平衡中起着关键作用^[1]。1975年,巴拿马热带森林动态监测大样地的建立对于理解生物多样性保护机制、物种分布模式和群落演替等具有重要科学意义^[2]。基于长期固定样地的森林生物多样性监测日益受到重视,我国已在不同地区建立多个大型固定监测样地,如吉林长白山^[3]、广东鼎湖山^[4]、浙江古田山^[5]、河南白云山^[6]以及广东车八岭^[11]等,旨在从国家层面认识生物多样性变化趋势,以期实现生物多样性保护以及生物资源可持续利用等目标^[7]。

近年来,关于森林样地物种组成与结构特征方面的研究已有报道。叶万辉等^[4]在鼎湖山建立大型固定监测样地,从区系特征、物种累积曲线、多度累积曲线和径阶结构等方面研究样地群落特征。孙越等^[2]对张广才岭样地的物种组成、种-面积曲线和径阶结构等方面进行了详细分析。伊贤贵等^[8]开展了江苏宜兴龙池山自然保护区固定样地物种组成分析。通过物种组成、物种累积曲线、多度累积曲线、径阶结构和高度级结构等方面评估样地物种组成和结构特征的基础状况,有助于揭示样地内物种丰富度、森林稳定性和生长更新情况。

福建是我国南方重点林区之一,森林资源丰富,森林覆盖率居全国首位,福建林区可分为中西部亚热带常绿阔叶林区和东部亚热带季风雨林区^[9]。近年来,许多学者对福建地区亚热带常绿阔叶林的物种组成和群落结构进行了大量研究,如武夷山常绿阔叶林群落^[10]、戴云山黄山松(*Pinus taiwanensis*)群

落^[11]、云中山福建青冈(*Quercus chungii*)天然林群落^[12]等。牛姆林自然保护区为南亚热带常绿阔叶林,区内植被生长旺盛,结构复杂多样,群落组成相对稳定,属于南亚热带向中亚热带过渡的森林生态系统^[13]。2001年郭相亿等^[14]研究了牛姆林青钱柳(*Cyclocarya paliurus*)群落的种间关联特征,李裕红等在2001和2002年开展了牛姆林区系组成^[15]、森林多样性特征^[16]和种群空间格局^[17]的研究。2002年潘文钻^[18]分析了牛姆林观光木(*Tsoongiodendron odorum*)种群和群落特征。然而,前人^[17-20]关于牛姆林群落的研究大多是基于较小尺度样地水平上的工作,并且相关研究以青钱柳、观光木等单一种群研究为主,缺乏该地区大面积、全面、系统的调查分析。为此,本研究以牛姆林自然保护区3.04 hm²固定样地数据为基础,对其物种组成、径阶结构和高度级结构、物种累积曲线和多度累积曲线以及林分结构特征进行研究,旨在解决以下科学问题:(1)牛姆林样地的物种组成如何?(2)物种径阶结构和高度级结构有何特点?(3)牛姆林样地具有怎样的林分结构特征?研究旨在为牛姆林物种空间分布和森林周转动态研究提供理论基础,为进一步理解生物多样性的维持机制提供参考。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于福建省泉州市永春县下洋镇的牛姆林自然保护区内(117°55'~117°57'E, 25°23'~25°25'N)。牛姆林自然保护区总面积为250 hm²,海

拔为 490 ~ 1 100 m, 坡度为 30° ~ 35°^[18]。气候属于亚热带季风山地气候, 年平均气温 18 °C, 极端最高气温 35 °C, 极端最低气温 -6 °C, 全年无霜期 354 d, 年平均降水量 1 500 ~ 2 000 mm, 降水集中在 5—6 月, 空气湿度大^[18]。土壤为沙页岩发育而成的暗红壤和黄红壤, 土层深厚^[14]。牛姆林自然保护区的植被区划属于中亚热带常绿阔叶林南部亚地带^[21]。牛姆林于 1958 年被划为禁伐区, 1984 年 7 月永春牛姆林省级自然保护区成立, 保护区成立以来未经过重大采伐作业, 是我国南方保留最完好、最具特色的原始森林^[20], 包含常绿阔叶林、常绿阔叶—落叶阔叶林及针阔混交林等植物群落类型^[15], 保护区内物种繁多, 国家 I 级保护植物有银杏(*Ginkgo biloba*)、苏铁(*Cycas revoluta*)、南方红豆杉(*Taxus wallichiana* var. *mairei*)、水松(*Glyptostrobus pensilis*)、伯乐树(*Bretschneidera sinensis*) 5 种, 国家 II 级保护植物有黑桫欏(*Alsophila podophylla*)、红豆树(*Ormosia hosiei*)、半枫荷(*Semiliquidambar cathayensis*)、青钱柳等 15 种^[20]。

1.2 样地设置

2022 年 8 月, 在牛姆林自然保护区内选择人为干扰少、林相整齐的地块, 设置 3.04 hm² 的固定样地(图 1)。依据 CTFS 调查技术标准^[22], 使用森林罗盘仪将样地划分为 19 个 40 m × 40 m 样地, 每样地细分为 4 个 20 m × 20 m 的小样地, 共 76 个小样地, 在样地节点与中心处使用 PVC 管做永久标定。样地布

设完成后, 对样地内所有胸径(DBH) ≥ 1 cm 的木本植物挂牌标记, 调查并记录植物种名、DBH 和树高。同时, 测定每个样地的环境因子, 包括海拔、经纬度、郁闭度、坡度、坡位等。

1.3 数据分析

1.3.1 物种组成

为了解样地的物种组成现状并确定样地优势种, 首先依据《中国植物志》^[23]对样地内 DBH ≥ 1 cm 的木本植物进行定名, 确定植物科、属和种名。其次, 计算物种重要值以确定样地优势种。重要值 = (相对多度 + 相对频度 + 相对显著度)/3^[24], 相对多度为某物种个体数与所有种个体数之和的比值, 相对频度为某物种频度与所有种频度总和的比值, 相对显著度为某物种的胸高断面积与所有种的胸高断面积之和的比值^[24]。最后, 按重要值高低对物种进行排序, 从而得到样地物种组成及其优势树种分布。

1.3.2 物种累积曲线和多度累积曲线

物种累积曲线是评估该地区生物多样性的的重要工具^[25]。物种累积曲线的绘制以 20 m × 20 m 小样地作为取样基本单位, 通过随机抽样, 逐步增加取样样本数量, 并以样本数量为横坐标, 以物种数为纵坐标, 绘制抽样面积对物种丰富度影响的物种累积曲线。该过程由 R 4.0.1 的 vegan 包实现。

多度累积曲线有助于揭示不同物种个体数的累积情况。多度累积曲线以物种多度排序为横坐标, 以物种累积多度为纵坐标绘制而成。根据 Hubbell



白色框为 40 m × 40 m 的样地, 共 19 个; 黄色虚线将其划分为 20 m × 20 m 小样地, 共 76 个。The white boxes are 40 m × 40 m sample plots, 19 in total, and the yellow dotted line divides sample plot into 20 m × 20 m quadrats, 76 in total.

图 1 牛姆林样地布设示意图

Fig. 1 Layout map of Niumulin sample plot

和 Foster 的定义, ≤ 1 株/hm² 的物种为稀有种, 1 ~ 10 株/hm² 的物种为偶见种, > 10 株/hm² 的物种为常见种^[26]。稀有种、偶见种和常见种标注在多度累积曲线上。

1.3.3 径阶结构和高度级结构

径阶结构可反映样地内森林群落的稳定情况。径阶结构划分参照苏松锦等^[27]研究, 结合牛姆林样地径阶分布实际情况, 采用上限排外法将物种径阶结构划分为 11 个等级, 起测阶为 1 cm, 径阶距为 4 cm。高度级结构反映了木本植物在垂直空间层次的分布情况。高度级结构也采用上限排外法以 0.5 m 为起测高度, 3 m 为间隔, 划分为 6 个等级^[28]。最后, 统计各径阶和高度级的物种和个体数量。

1.3.4 林分结构特征

为评估牛姆林样地林分结构特征和生产力水平, 从 19 个样地的物种数、个体密度、单位面积胸高断面积、单位面积蓄积量以及单位面积生物量 5 个方面进行分析。其中, 物种数为每个样地的物种总数量; 个体密度为每个样地的个体数与该样地面积的比值; 单位面积胸高断面积为每个样地各个树种胸高断面积之和与样地面积的比值, 各个树种胸高断面积为其胸径一半的平方与圆周率之积^[29]; 单位面积蓄积量为每个样地各个树种的蓄积量之和与样地面积的比值, 各个树种的蓄积量为其树高与胸

高断面积的乘积; 单位面积生物量为每个样地各个树种的生物量之和与样地面积的比值, 各个树种的生物量则是通过 R 4.0.1 的 allodb 包计算得出^[30]。此外, 通过 SPSS 27.0 统计得出各样地的个体密度、单位面积胸高断面积、单位面积蓄积量以及单位面积生物量的平均值和标准差, 并利用单因素方差分析进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 物种组成

牛姆林 3.04 hm² 样地内共调查 DBH ≥ 1 cm 木本植物共 17 383 株, 隶属于 36 科 64 属 121 种 (表 1)。裸子植物为马尾松 (*P. massoniana*) 和杉木 (*Cunninghamia lanceolata*), 共 2 科 2 属 2 种, 分别占样地全部科、属、种数量的 5.56%、3.13%、1.65%。被子植物为 34 科 62 属 119 种, 分别占样地全部科、属、种数量的 94.44%、96.87%、98.35%, 其中单子叶植物 1 科 1 属 1 种, 双子叶植物 33 科 61 属 118 种。

牛姆林样地重要值排名前 10 的物种如表 2 所示。米槠 (*Castanopsis carlesii*) 重要值 (0.095) 最高, 马尾松次之 (0.088), 但其相对显著度最大 (0.251), 在样地内多为胸径较大的成树。细枝桉 (*E. loquaiana*) 重要值 (0.082) 排名第三, 且其相对多度

表 1 牛姆林样地物种组成

Tab. 1 Species composition of Niumulin sample plot

类别 Category	科数量(占比) Family number (proportion)	属数量(占比) Genus number (proportion)	种数量(占比) Species number (proportion)
裸子植物 Gymnosperms	2 (5.56%)	2 (3.13%)	2 (1.65%)
被子植物 Angiosperms	34 (94.44%)	62 (96.87%)	119 (98.35%)
单子叶植物 Monocotyledons	1 (2.78%)	1 (1.56%)	1 (0.83%)
双子叶植物 Dicotyledons	33 (91.66%)	61 (95.31%)	118 (97.52%)
合计 Total	36	64	121

表 2 牛姆林样地重要值排名前 10 的物种

Tab. 2 Top 10 ranking species in terms of importance value in Niumulin sample plot

物种 Species	重要值 Important value	相对显著度 Relative prominence	相对多度 Relative abundance	相对频度 Relative frequency
米槠 <i>Castanopsis carlesii</i>	0.095	0.185	0.075	0.026
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	0.088	0.251	0.003	0.010
细枝桉 <i>Eurya loquaiana</i>	0.082	0.019	0.202	0.026
罗浮柿 <i>Diospyros morrisiana</i>	0.068	0.067	0.111	0.026
毛竹 <i>Phyllostachys pubescens</i>	0.051	0.063	0.064	0.025
拉氏栲 <i>Castanopsis lamontii</i>	0.045	0.112	0.006	0.017
栲树 <i>Castanopsis fargesii</i>	0.041	0.093	0.011	0.020
木荷 <i>Schima superba</i>	0.040	0.063	0.032	0.025
黄丹木姜子 <i>Litsea elongata</i>	0.020	0.005	0.032	0.025
黄绒润楠 <i>Machilus grijsii</i>	0.019	0.003	0.030	0.025
合计 Total	0.550	0.859	0.566	0.225

最高(0.202)。重要值排名前三的米槠、马尾松和细枝桉为群落优势种,但三者重要值均小于 0.1,表明牛姆林优势种在样地中的优势地位不突出,以混交群落为主。

牛姆林样地树木个体数排名前 10 的科、属、种如表 3 所示。样地中个体数最多的科为山茶

科(Theaceae)(4 592),最多的属为桉木属(*Eurya*)(3 524),最多的种为细枝桉(3 504)。个体数超过 1 000 的科、属、种分别有 6 科、5 属、4 种。排名前 10 的科、属、种总个体数分别占样地总个体数的 90.65%、75.76% 和 61.26%,表明样地物种个体数集中在少数物种上。

表 3 牛姆林树木个体数排名前 10 的科、属、种

Tab. 3 Top 10 ranking families, genera, and species in terms of number of individuals in Niumulin sample plot

科 Family	个体数 Number of individual	属 Genus	个体数 Number of individual	种 Species	个体数 Number of individual
山茶科 Theaceae	4 592	桉木属 <i>Eurya</i>	3 524	细枝桉 <i>Eurya loquaiana</i>	3 504
樟科 Lauraceae	2 545	锥属 <i>Castanopsis</i>	2 137	罗浮柿 <i>Diospyros morrisiana</i>	1 925
壳斗科 Fagaceae	2 252	柿属 <i>Diospyros</i>	1 930	米槠 <i>Castanopsis carlesii</i>	1 303
柿科 Ebenaceae	1 930	山矾属 <i>Symplocos</i>	1 382	毛竹 <i>Phyllostachys pubescens</i>	1 109
山矾科 Symplocaceae	1 382	刚竹属 <i>Phyllostachys</i>	1 109	木荷 <i>Schima superba</i>	557
禾本科 Gramineae	1 109	润楠属 <i>Machilus</i>	749	黄丹木姜子 <i>Litsea elongata</i>	549
茜草科 Rubiaceae	782	木姜子属 <i>Litsea</i>	628	黄绒润楠 <i>Machilus grijsii</i>	527
冬青科 Aquifoliaceae	463	樟属 <i>Cinnamomum</i>	625	密花山矾 <i>Symplocos congesta</i>	402
虎耳草科 Saxifragaceae	392	木荷属 <i>Schima</i>	557	峨眉鼠刺 <i>Itea oblonga</i>	392
杜英科 Elaeocarpaceae	311	新木姜子属 <i>Neolitsea</i>	528	闽粤栲 <i>Castanopsis fissa</i>	381
合计 Total	15 758	合计 Total	13 169	合计 Total	10 649

2.2 物种累积曲线

当样地数量小于 13 时,物种数随样地数量的增加而急剧增长;当样地数量超过 13 后,曲线趋于平缓,物种数随样地数量的增加而缓慢增长(图 2)。这说明牛姆林样地物种较为丰富,样地数量充分,所选样地可有效代表牛姆林森林群落状况。

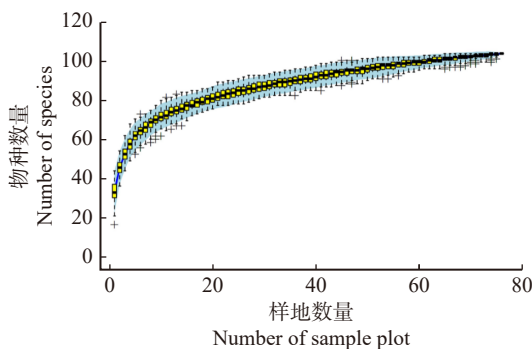


图 2 牛姆林样地的物种累积曲线

Fig. 2 Species accumulation curves of Niumulin sample plot

2.3 多度累积曲线

图 3 显示:在牛姆林样地 121 种植物中,常见种 61 种,偶见种 29 种,稀有种 31 种,分别占总物种数的 50.41%、23.97% 和 25.62%。个体数排名前 11 的物种累积多度为 11 028, 占总个体数 63.44%;随着物种数量的增加,个体数排名前 21 的物种累积多度为 13 628, 占总个体数 78.40%, 个体数排名前 31

的物种累积多度为 15 100, 占总体个数 86.87%。因此,样地内物种个体数主要集中在前 11 个物种中,后续物种个体数的增加速度随物种累积逐渐减缓。

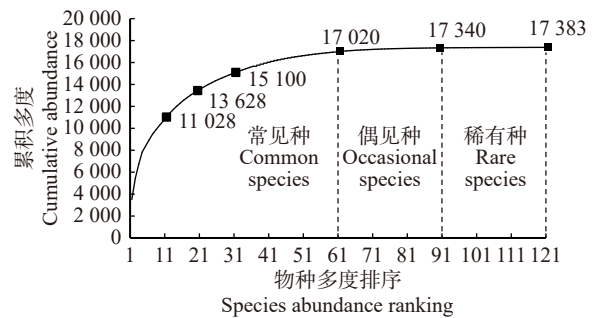


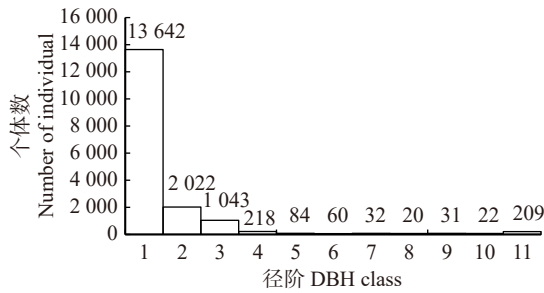
图 3 牛姆林样地的物种多度累积曲线

Fig. 3 Species abundance accumulation curve of Niumulin sample plot

2.4 径阶结构

径阶结构可用来分析样地内物种更新情况和森林群落稳定性。牛姆林样地木本植物径阶结构为典型倒“J”型,物种个体数随径阶增加而减少(图 4)。径阶为 1 级的植物株数最多,共 13 642 株,占总株数 78.48%;2 级次之,为 2 022 株,占总株数 11.63%。这表明样地内幼树个体数量较多,群落呈稳定增长趋势。

重要值排名前三的细枝桉、米槠和马尾松的径阶结构可分为增长型和衰退型 2 类(图 5)。增长型表现为植物个体数随径阶增加而逐渐减少,多为小



1 级 DBH 为 1~5 cm, 2 级 DBH 为 5~9 cm, 3 级 DBH 为 9~13 cm, 4 级 DBH 为 13~17 cm, 5 级 DBH 为 17~21 cm, 6 级 DBH 为 21~25 cm, 7 级 DBH 为 25~29 cm, 8 级 DBH 为 29~33 cm, 9 级 DBH 为 33~37 cm, 10 级 DBH 为 37~41 cm, 11 级 DBH ≥ 41 cm。采用上限排除法。下同。1st class, DBH from 1 to 5 cm; 2nd class, DBH from 5 to 9 cm; 3rd class, DBH from 9 to 13 cm; 4th class, DBH from 13 to 17 cm; 5th class, DBH from 17 to 21 cm; 6th class, DBH from 21 to 25 cm; 7th class, DBH from 25 to 29 cm; 8th class, DBH from 29 to 33 cm; 9th class, DBH from 33 to 37 cm; 10th class, DBH from 37 to 41 cm; 11th class, DBH ≥ 41 cm. The upper limit exclusion method is adopted. The same below.

图4 牛姆林样地 DBH ≥ 1 cm 木本植物径阶分布

Fig. 4 DBH class distribution of woody plant with DBH ≥ 1 cm in Niumulin sample plot

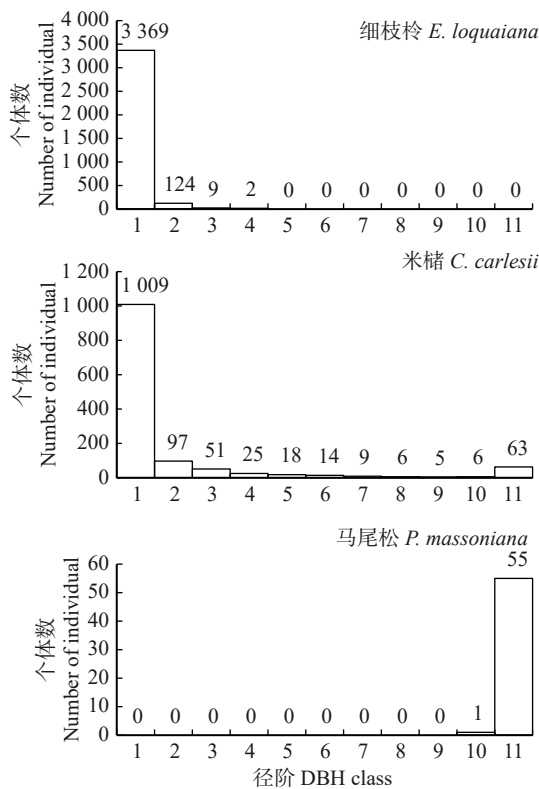


图5 牛姆林样地 3 种优势树种的径阶结构

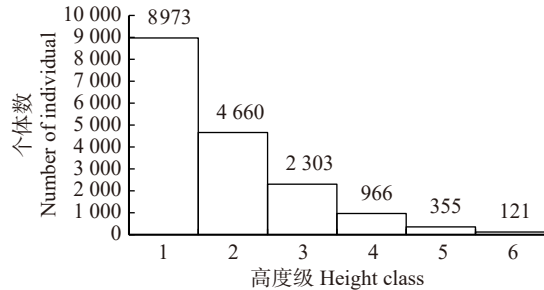
Fig. 5 DBH class structure of three dominant tree species in Niumulin sample plot

径阶个体, 如细枝桉、米楮; 衰退型则以大树为主, 均为大径阶个体, 如马尾松。

2.5 高度级结构

根据物种树高划分高度级, 对各高度级个体数进行统计分析得到高度级结构(图 6)。牛姆林木本

植物高度级结构呈典型倒“J”型, 植物个体数随高度级增加而逐渐降低。样地物种平均高度为 4.5 m, 高度级 1、2、3、4、5、6 的个体数分别为 8 973、4 660、2 303、966、355、121, 表明样地内木本植物处于稳定生长状态。



1 级高度为 0.5~3.5 m, 2 级高度为 3.5~6.5 m, 3 级高度为 6.5~9.5 m, 4 级高度为 9.5~12.5 m, 5 级高度为 12.5~15.5 m, 6 级高度 ≥ 15.5 m。1st level, height from 0.5 to 3.5 m; 2nd level, height from 3.5 to 6.5 m; 3rd level, height from 6.5 to 9.5 m; 4th level, height from 9.5 to 12.5 m; 5th level, height from 12.5 to 15.5 m; 6th level, height ≥ 15.5 m.

图6 牛姆林样地木本植物高度级分布

Fig. 6 Distribution pattern of height classes for woody plants in Niumulin sample plot

2.6 林分结构特征

从物种数、个体密度、单位面积的胸高断面面积、单位面积的蓄积量和单位面积的生物量 5 个方面评估牛姆林各样地林分结构特征和生产力水平。除个体密度外, 19 个样地的单位面积胸高断面面积、单位面积蓄积量和单位面积生物量均不存在显著差异(表 4)。样地 10 的物种数最大(72)。样地 17 的个体密度值最大(8 556.25 株/hm²)。牛姆林样地的单位面积胸高断面面积均值为 36.91 m²/hm², 其中样地 12 单位面积的胸高断面面积最大(57.51 m²/hm²)。牛姆林样地单位面积蓄积量均值为 5.15 × 10⁴ m³/hm², 其中样地 14 单位面积的蓄积量最大(8.70 × 10⁴ m³/hm²)。牛姆林样地单位面积生物量均值为 270.84 t/hm², 其中样地 3 单位面积生物量最大(485.38 t/hm²)。

3 讨论

牛姆林 3.04 hm² 样地内共调查到 DBH ≥ 1 cm 木本植物 36 科 64 属 121 种 17 383 株, 重要值排名前三的物种分别为米楮、马尾松和细枝桉。米楮重要值高的原因在于其相对显著度、相对多度和相对频度均较高, 表明该物种分布广泛、个体丰富, 通过扩大分布范围、增加种群个体的方式维持自身优势。马尾松虽然个体数量较少, 但其重要值仅次于米楮, 这主要得益于其较大的相对显著度, 样地内的马尾松多为胸径较大的成熟大树。细枝桉均为小径阶个体, 多度最高, 个体最为丰富, 这有助于提高细

表 4 牛姆林各样地林分结构特征

Tab. 4 Characterization of stand structure for each sample plot in Niumulin

样地 Sample plot	物种数 Number of species	个体密度/(株数·hm ⁻²) Density of individual/ (plant·ha ⁻¹)	单位面积胸高 断面积/(m ² ·hm ⁻²) Basal area per unit stand area/(m ² ·ha ⁻¹)	单位面积蓄积量 × 10 ⁻⁴ /(m ³ ·hm ⁻²) Volume per unit area × 10 ⁻⁴ /(m ³ ·ha ⁻¹)	单位面积生物量/(t·hm ⁻²) Biomass per unit area/(t·ha ⁻¹)
1	58	4 337.50 ± 1 877.11bc	44.93 ± 30.97a	6.86 ± 5.56a	301.15 ± 246.78a
2	58	3 493.75 ± 516.95c	32.26 ± 14.11a	5.48 ± 3.86a	227.70 ± 132.92a
3	64	4 787.50 ± 597.74bc	61.35 ± 9.34a	8.31 ± 1.97a	485.38 ± 88.82a
4	65	5 168.75 ± 969.83bc	41.25 ± 14.16a	5.94 ± 2.24a	308.84 ± 115.85a
5	60	5 412.50 ± 782.76abc	23.81 ± 10.71a	2.85 ± 1.86a	167.20 ± 102.36a
6	64	5 037.50 ± 2 220.22bc	30.37 ± 11.59a	4.08 ± 1.76a	224.52 ± 48.56a
7	67	6 762.50 ± 1 295.59abc	37.40 ± 12.68a	4.39 ± 1.84a	277.92 ± 135.71a
8	68	5 931.25 ± 1 409.69abc	31.69 ± 13.52a	3.88 ± 1.92a	223.07 ± 123.04a
9	67	5 837.50 ± 1 364.81abc	25.88 ± 7.72a	3.20 ± 1.57a	192.38 ± 68.51a
10	72	7 412.50 ± 1 894.78ab	31.47 ± 7.21a	4.21 ± 1.71a	213.95 ± 153.76a
11	53	4 656.25 ± 1 072.26bc	24.40 ± 9.55a	2.76 ± 1.30a	153.74 ± 94.09a
12	57	6 443.75 ± 605.66abc	57.51 ± 15.02a	8.65 ± 2.47a	436.35 ± 144.96a
13	55	5 256.25 ± 735.80bc	41.86 ± 15.37a	6.03 ± 2.63a	311.34 ± 172.90a
14	61	7 337.50 ± 1 925.43ab	57.35 ± 16.89a	8.70 ± 4.47a	412.09 ± 136.76a
15	64	6 562.50 ± 1 621.92abc	35.60 ± 10.95a	4.56 ± 2.18a	287.59 ± 38.23a
16	71	6 375.00 ± 857.08abc	31.33 ± 21.60a	5.56 ± 5.79a	197.60 ± 210.46a
17	70	8 556.25 ± 1 238.68a	30.73 ± 13.09a	3.93 ± 2.04a	214.40 ± 130.08a
18	63	5 193.75 ± 1 204.92bc	36.15 ± 19.54a	4.89 ± 2.16a	304.08 ± 216.58a
19	63	4 087.50 ± 607.08bc	25.91 ± 7.40a	3.65 ± 1.67a	206.57 ± 74.47a
均值 Mean	63.15	5 718.42 ± 1 687.58	36.91 ± 17.05	5.15 ± 3.11	270.84 ± 151.04

注: 同一列中不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。Note: different lowercase letters in same column indicate significant differences ($p < 0.05$).

枝桠在样地中的重要程度。戴云山优势种黄山松重要值为 0.38^[11], 而牛姆林优势种米槠、马尾松和细枝桠的重要值均低于 0.1, 这表明牛姆林样地优势种的优势地位较戴云山植物群落不突出。丁晖等^[31]将武夷山没有绝对优势种归因于人为干扰导致群落处于恢复演替阶段。牛姆林样地内, 重要值较高的马尾松都是大径阶个体, 无幼苗幼树, 其作为演替阶段的先锋树种, 在演替发展过程中逐渐被替代, 且在演替后期其比较稳定的种群将衰退消失^[32]。样地内物种出现小径阶化, 种间竞争激烈, 难以出现在多度、频度和显著度上表现俱佳的物种, 从而导致牛姆林优势树种优势地位不突出。另外, 潘文钻^[18]也曾在牛姆林开展过样地调查, 研究表明米槠为牛姆林样地的优势种之一, 与本研究结果相同, 其原因一方面可能与米槠的生态适应性强^[25]有关, 另一方面牛姆林被划为禁伐区后受人为干扰影响较小。

稀有种对维护生物多样性和森林生态系统功能稳定重要的作用^[33]。牛姆林样地物种多度排序前 11 的物种累积度达到 11 028, 前 21、31 的物种累

积度达到 13 628、15 100, 可以看出此样地内的物种个体数优势主要集中在前 11 个物种中, 这些物种可能存在较强的竞争力, 在光照、水分和养分等资源竞争中展现出优势, 使其个体数在群落中占据了优势地位。此外, 牛姆林样地内稀有种占比 25.62%, 高于武夷山(16.96%)^[31], 低于黄山(45.10%)^[34]和哀牢山(47.10%)^[35]。稀有种是影响种-面积格局的“关键少数”, 稀有种越多, 对种-面积曲线的影响越大^[34]。鉴于牛姆林样地的稀有种占比小于哀牢山、黄山, 大于武夷山, 可以推断出哀牢山稀有种对种-面积格局的影响最大, 黄山第二, 牛姆林样地次之, 武夷山最小。

径阶结构是植物群落稳定和生长更新的重要指标^[35]。牛姆林样地径阶分布呈典型的倒“J”型, 个体主要集中在小径阶, 而大径阶和中径阶相对较少, 这说明样地中有充足的幼苗, 具有稳定的增长趋势, 体现出增长型森林的特征。其中, 重要值排名前三的优势种米槠、细枝桠和马尾松的径阶结构可分为两类: 增长型的和衰退型。米槠和细枝桠属于增长型,

有较为丰富的幼树, 增长良好; 马尾松为衰退型, 幼龄个体缺乏, 以年龄较大的成树为主, 属于样地内的衰退种, 随着演替进行有可能被其他树种代替。从牛姆林的高度级结构得出, 样地中物种平均高度为 4.54 m, 个体数随高度级增加而降低, 表明样地植被资源丰富, 且随高度级增加, 植物对光、热、水和其他资源的竞争逐渐增加。另外, 牛姆林样地的高度级和径阶结构比较接近, 都表现出典型的倒“J”型特征, 即随着量级的增加个体数逐渐减少。综上分析, 牛姆林样地属于增长型森林。

牛姆林样地的单位面积生物量均值为 270.84 t/hm², 低于福建省全林平均生物量(288.99 t/hm²)^[36]。生产力与群落结构变异、环境、胸高断面面积、密度等具有较强相关性^[37-38]。各地区环境和林分特征不同, 从而导致了生物量估算差异。其次, 本研究仅考虑胸径 ≥ 1 cm 的物种, 并且生物量估算时未考虑植物地下部分, 这些也可能对估算结果产生影响。未来, 可补充调查环境因子与植物根系, 进一步深入分析生物量的差异性, 以提高估算的准确性和可靠性。

4 结 论

通过研究牛姆林保护区的物种组成、物种累积曲线和多度累积曲线、径阶结构和高度级结构以及林分结构特征, 初步了解牛姆林自然保护区的森林群落结构特征。牛姆林样地内物种丰富, 但优势种不突出; 样地内植物个体数随径阶和高度级的增加而减少, 体现出增长型森林的特征; 样地生产力略低于福建省平均值, 有较大增长空间。本研究对深入了解牛姆林自然保护区的植被组成全貌具有重要现实意义。未来牛姆林样地还可深入研究植物功能性状、物种空间分布格局、森林周转动态以及环境关系等, 有助于进一步揭示样地内群落动态变化机制、生物多样性维持和群落构建机制。

参 考 文 献

- [1] 吴智宏, 王梓, 栾福臣, 等. 车八岭 20 hm² 中亚热带常绿阔叶林监测样地群落物种组成和区系特征 [J]. 林业与环境科学, 2021, 37(3): 86-91.
Wu Z H, Wang Z, Luan F C, et al. Community composition and floral characteristics of the Chebaling 20 hm² forest dynamic plot in a mid-subtropical evergreen broad-leaved forest[J]. Forestry and Environmental Science, 2021, 37(3): 86-91.
- [2] 孙越, 夏富才, 赵秀海, 等. 张广才岭温带次生针阔混交林物种组成和群落结构特征 [J]. 生态学报, 2017, 37(10): 3425-3436.
Sun Y, Xia F C, Zhao X H, et al. The composition and community structure of coniferous and broadleaved mixed forest species in the Zhangguangcai Mountains, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(10): 3425-3436.
- [3] 郝占庆, 李步杭, 张健, 等. 长白山阔叶红松林样地 (CBS): 群落组成与结构 [J]. 植物生态学报, 2008(2): 238-250.
Hao Z Q, Li B H, Zhang J, et al. Broad-leaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest plot in Changbaishan (CBS) of China: community composition and structure[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2008(2): 238-250.
- [4] 叶万辉, 曹洪麟, 黄忠良, 等. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林 20 公顷样地群落特征研究 [J]. 植物生态学报, 2008, 32(2): 274-286.
Ye W H, Cao H L, Huang Z L, et al. Community structure of a 20 ha lower subtropical evergreen broadleaved forest plot in Dinghushan, China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2008, 32(2): 274-286.
- [5] 祝燕, 赵谷风, 张儒文, 等. 古田山中亚热带常绿阔叶林动态监测样地——群落组成与结构 [J]. 植物生态学报, 2008(2): 262-273.
Zhu Y, Zhao G F, Zhang L W, et al. Community composition and structure of gutianshan forest dynamic plot in a mid-subtropical evergreen broad-leaved forest, east China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2008(2): 262-273.
- [6] 陈云, 郭凌, 姚成亮, 等. 暖温带-北亚热带过渡区落叶阔叶林群落特征 [J]. 生态学报, 2017, 37(17): 5602-5611.
Chen Y, Guo L, Yao C L, et al. Community characteristics of a deciduous broad-leaved forest in a temperate subtropical ecological transition zone: analyses of a 5-ha forest dynamics plot in Baiyunshan Nature Reserve, Henan Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(17): 5602-5611.
- [7] 吴慧, 徐学红, 冯晓娟, 等. 全球视角下的中国生物多样性监测进展与展望 [J]. 生物多样性, 2022, 30(10): 196-210.
Wu H, Xu X H, Feng X J, et al. Progress and prospect of China biodiversity monitoring from a global perspective[J]. Biodiversity Science, 2022, 30(10): 196-210.
- [8] 伊贤贵, 董鹏, 谢春平, 等. 江苏宜兴龙池山自然保护区固定样地物种组成分析 [J]. 南京林业大学学报 (自然科学版), 2021, 45(6): 159-168.
Yin X G, Dong P, Xie C P, et al. An analysis on species composition of a permanent plot on the Longchi Mountain, Yixing City, Jiangsu Province[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2021, 45(6): 159-168.
- [9] 杨宗武, 高兆蔚. 福建森林资源现状和林业可持续发展建议 [J]. 福建林业科技, 1995(4): 1-6.
Yang Z W, Gao Z W. The present status of forest resources in Fujian and the proposals for forestry sustainable development[J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 1995(4): 1-6.
- [10] 黄雍容, 林捷, 叶功富, 等. 武夷山黄溪洲常绿阔叶林植物多样性及群落结构特征分析 [J]. 防护林科技, 2021(6): 15-18.
Huang Y R, Lin J, Ye G F, et al. Structure and species diversity of natural forest of evergreen broad-leaved forest in Huangxizhou area of Wuyi Mountain[J]. Protection Forest Science and Technology, 2021(6): 15-18.
- [11] 刘艳会, 刘金福, 何中声, 等. 基于戴云山固定样地黄山松群落物种组成与结构研究 [J]. 广西植物, 2017, 37(7): 881-890.

- Liu Y H, Liu J F, He Z S, et al. *Pinus taiwanensis* community composition and structure based on fixed sample Daiyun Mountain[J]. Guihaia, 2017, 37(7): 881–890.
- [12] 黄雍容, 马祥庆, 叶功富, 等. 福建省云中山福建青冈天然林群落特征分析 [J]. 福建林学院学报, 2011, 31(4): 304–308.
Huang Y R, Ma X Q, Ye G F, et al. Community characteristics of natural forest of *Cyclobalanopsis chungii* on Yunzhong Mountain[J]. Journal of Forest and Environment, 2011, 31(4): 304–308.
- [13] 潘建华. 牛姆林自然保护区生物多样性资源现状及保护利用对策 [J]. 安徽农学通报, 2011, 31(4): 304–308.
Pan J H. The protection strategies and current situation of the biodiversity in Niumulin Nature Reserve[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2011, 31(4): 304–308.
- [14] 郭相亿, 李裕红, 林慧萍. 牛姆林区青钱柳群落的主要种群间关联特征 [J]. 福建林学院学报, 2001, 21(2): 181–185.
Guo X Y, Li Y H, Lin H P. Studies on the inter specific association among main species of *Cyclocarya paliurus* community in Niumulin Natural Reserve[J]. Journal of Forest and Environment, 2001, 21(2): 181–185.
- [15] 李裕红. 福建牛姆林自然保护区天然林植物区系组成分析 [J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(4): 47–49.
Li Y H. Analysis of the seed plant flora in the nature forests of Niumulin Nature Reserve zone, Fujian Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2001, 9(4): 47–49.
- [16] 李裕红, 戴聪杰, 陈怀宇, 等. 牛姆林自然保护区几种森林群落的多样性特征研究 [J]. 厦门大学学报 (自然科学版), 2002, 41(3): 359–363.
Li Y H, Dai C J, Chen H Y, et al. Studies on the characteristic of species diversity of the natural forests in Niumulin Nature Reserve[J]. Journal of Xiamen University Natural Science, 2002, 41(3): 359–363.
- [17] 李裕红, 严重玲. 福建省牛姆林自然保护区常绿阔叶混交林主要种群空间格局研究 [J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(3): 12–14.
Li Y H, Yan C L. Study on the spatial pattern of major populations in the needle and broad-leaved mixed evergreen forest in Niumulin Nature Reserve[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2002, 10(3): 12–14.
- [18] 潘文钻. 福建牛姆林自然保护区观光木群落特征的初步研究 [J]. 林业勘察设计, 2002(1): 13–16.
Pan W Z. Preliminary study on the characteristics of *Tsoongiodendron odorum* community in Fujian Niululin Nature Reserve[J]. Forestry Prospect and Design, 2002(1): 13–16.
- [19] 李裕红, 严重玲, 黄国勇, 等. 牛姆林自然保护区常绿阔叶混交林群落特征初探 [J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(4): 91–93.
Li Y H, Yan C L, Huang G Y, et al. Preliminary studies on phytocenological features of the needle and broad-leaved mixed evergreen forest in Niumulin Nature Reserve zone of Fujian Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2002, 10(4): 91–93.
- [20] 郭相亿, 张朝鹏. 福建牛姆林生态定位监测站 [J]. 福建林业, 2016(6): 15.
Guo X Y, Zhang C P. Fujian Niumulin ecological positioning monitoring station[J]. Fujian Forestry, 2016(6): 15.
- [21] 吴征镒. 中国植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1980.
Wu Z Y. Vegetation of China [M]. Beijing: Science Press, 1980.
- [22] Condit R. Tropical forest census plots methods and results from Barro Colorado Island, Panama and a comparison with other plots[M]. Berlin: Springer and Verlag, 1998.
- [23] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 1993.
Flora Reipublicae Popularis Sinicae Editorial Committee, Chinese Academy of Sciences. Flora reipublicae popularis sinicae [M]. Beijing: Science Press, 1993.
- [24] 王艳红, 李帅锋, 郎学东, 等. 地形异质性对云南普洱季风常绿阔叶林物种多样性的影响 [J]. 植物生态学报, 2020, 44(10): 1015–1027.
Wang Y H, Li S F, Lang X D, et al. Effects of topographic heterogeneity on species diversity in a monsoon evergreen broad-leaved forest in Pu'er, Yunnan, China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2020, 44(10): 1015–1027.
- [25] 王睿智, 国庆喜. 小兴安岭阔叶红松林木本植物种-面积关系 [J]. 生态学报, 2016, 36(13): 4091–4098.
Wang R Z, Guo Q X. Woody plants species-area relationships in a broad-leaved Korean pine forest in the Xiaoxing'an Mountains[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(13): 4091–4098.
- [26] Hubbell S P, Foster R B. Commonness and rarity in a neotropical forest: implications for tropical tree conservation[M]//Soule M E. Conservation biology: the science of scarcity and diversity. Sunderland: Sinauer Press, 1986: 205–231.
- [27] 苏松锦, 刘金福, 马瑞丰, 等. 戴云山黄山松种群的空间分布格局与关联性 [J]. 资源科学, 2015, 37(4): 841–848.
Su S J, Liu J F, Ma R F, et al. Spatial distribution patterns and associations of *Pinus taiwanensis* population in Daiyun Mountain, Southeast China[J]. Resources Science, 2015, 37(4): 841–848.
- [28] 邢聪, 江蓝, 何中声, 等. 戴云山不同海拔黄山松群落的高度级结构研究 [J]. 森林与环境学报, 2019, 39(4): 380–385.
Xing C, Jiang L, He Z S, et al. Height class structure of *Pinus taiwanensis* community growing at different elevations on Daiyun Mountain[J]. Journal of Forest and Environment, 2019, 39(4): 380–385.
- [29] 合金鑫, 李莲芳, 李俞鑫, 等. 云南松不同林龄人工林的林木分化特征分析 [J]. 绿色科技, 2021, 23(21): 115–120.
He J X, Li L F, Li Y X, et al. Analysis on stand-tree differentiation characteristics of *Pinus yunnanensis* plantations for different age stands[J]. Journal of Green Science and Technology, 2021, 23(21): 115–120.
- [30] Gonzalez A, Piloniot C, Lepore M, et al. Allodb: an R package for biomass estimation at globally distributed extra tropical forest plots[J]. Methods In Ecology and Evolution, 2022, 13(2): 330–338.
- [31] 丁晖, 方炎明, 杨青, 等. 武夷山中亚热带常绿阔叶林样地的群落特征 [J]. 生物多样性, 2015, 23(4): 479–492.

- Ding H, Fang Y M, Yang Q, et al. Community characteristics of a mid-subtropical evergreen broad-leaved forest plot in the Wuyi Mountains, Fujian, southeastern China[J]. *Biodiversity Science*, 2015, 23(4): 479–492.
- [32] 达良俊, 杨永川, 宋永昌. 浙江天童国家森林公园常绿阔叶林主要组成种的种群结构及更新类型 [J]. *植物生态学报*, 2004, 28(3): 376–384.
- Da L J, Yang Y C, Song Y C. Population structure and regeneration types of dominant species in an evergreen broadleaved forest in Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province, eastern China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2004, 28(3): 376–384.
- [33] 谢峰淋, 周全, 史航, 等. 秦岭落叶阔叶林 25 ha 森林动态监测样地物种组成与群落特征 [J]. *生物多样性*, 2019, 27(4): 439–448.
- Xie F L, Zhou Q, Shi H, et al. Species composition and community characteristics of a 25 ha forest dynamics plot in deciduous broad-leaved forest, Qinling Mountains, north-central China[J]. *Biodiversity Science*, 2019, 27(4): 439–448.
- [34] 丁晖, 方炎明, 杨新虎, 等. 黄山亚热带常绿阔叶林的群落特征 [J]. *生物多样性*, 2016, 24(8): 875–887.
- Ding H, Fang Y M, Yang X H, et al. Community characteristics of a subtropical evergreen broad-leaved forest in Huangshan, Anhui Province, east China[J]. *Biodiversity Science*, 2016, 24(8): 875–887.
- [35] 温韩东, 林露湘, 杨洁, 等. 云南哀牢山中山湿性常绿阔叶林 20 hm² 动态样地的物种组成与群落结构 [J]. *植物生态学报*, 2018, 42(4): 419–429.
- Wen H D, Lin L X, Yang J, et al. Species composition and community structure of a 20 hm² plot of mid-mountain moist evergreen broad-leaved forest on the Mts. Ailaoshan, Yunnan Province, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2018, 42(4): 419–429.
- [36] 罗天祥. 中国主要森林类型生物生产力格局及其数学模型 [D]. 北京: 中国科学院, 1996.
- Luo T X. Patterns of net primary productivity for Chinese major forest types and their mathematical models[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 1996.
- [37] 吴兆飞, 张雨秋, 张忠辉, 等. 东北温带森林林分结构与生产力关系研究 [J]. *北京林业大学学报*, 2019, 41(5): 48–55.
- Wu Z F, Zhang Y Q, Zhang Z H, et al. Study on the relationship between forest structure and productivity of temperate forests in Northeast China[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2019, 41(5): 48–55.
- [38] 谭凌照, 范春雨, 范秀华. 吉林蛟河阔叶红松林木本植物物种多样性及群落结构与生产力的关系 [J]. *植物生态学报*, 2017, 41(11): 1149–1156.
- Tan L Z, Fan C Y, Fan X H. Relationships between species diversity or community structure and productivity of woody-plants in a broad-leaved Korean pine forest in Jiaohe, Jilin, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2017, 41(11): 1149–1156.

(责任编辑 吴娟 赵田芸
责任编辑 张会儒)