

DOI: 10.20152/j.np.202312150038

魏嘉欣, 姜治国, 杨林森, 罗方林, 秦远知, 吴浩, 徐耀粘, 乔秀娟, 魏新增, 金胶胶, 姚辉, 余辉亮, 杨敬元, 江明喜. 神农架亚热带常绿落叶阔叶混交林大样地物种组成与结构. 国家公园(中英文), 2024, 2(1): - .

Wei J X, Jiang Z G, Yang L S, Luo F L, Qin Y Z, Wu H, Xu Y Z, Qiao X J, Wei X Z, Jin J J, Yao H, Yang J Y, Jiang M X. Community composition and structure of Shennongjia forest dynamic plot in a mid-subtropical mountain evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest, Hubei, China. National Park, 2024, 2(1): - .

神农架亚热带常绿落叶阔叶混交林大样地物种组成与结构

魏嘉欣^{1,2}, 姜治国^{3,4}, 杨林森^{3,4}, 罗方林^{1,2}, 秦远知^{1,2}, 吴浩¹, 徐耀粘^{1,*}, 乔秀娟¹, 魏新增¹, 金胶胶^{3,4}, 姚辉^{3,4}, 余辉亮^{3,4}, 杨敬元^{3,4}, 江明喜¹

1 中国科学院水生植物与流域生态重点实验室, 中国科学院武汉植物园, 武汉 430074

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 神农架国家公园科学研究院, 神农架 442421

4 神农架金丝猴保育生物学湖北省重点实验室, 神农架 442421

摘要:常绿落叶阔叶混交林是中亚热带的地带性植被类型。为完善神农架国家公园(候选区)生物多样性监测体系、补充中国森林动态监测网络,进一步探究中亚热带常绿落叶阔叶混交林的物种多样性维持机制和森林动态,中国科学院武汉植物园于2023年在湖北省神农架国家公园(候选区)官门山园区建立了1块面积为5 hm²(东西250 m,南北200 m,方向为正南正北)的常绿落叶阔叶混交林永久监测样地。基于调查数据,对样地内DBH ≥ 1 cm的木本植物(不含竹藤)的物种组成、基本特征、结构和空间分布等方面进行了初步研究。结果表明:样地内存活独立个体数为18450个,隶属于56科101属164种。其中,落叶树种118种,常绿树种46种;常见种(>10株/hm²)46个,偶见种(≥1, ≤10株/hm²)80个,稀有种(<1株/hm²)38个。常绿、落叶阔叶树种个体数占比分别为73.90%和26.10%,重要值占比分别为53.25%和46.75%,样地为典型的常绿落叶阔叶混交林。植物区系以北温带成分为主(33个属),占总属数的32.67%;同时兼具热带成分,共30个属,占总属数的29.70%。各林层层次清晰,群落以曼青冈(*Quercus oxyodon*, $n=5147$)、巴东栎(*Quercus engleriana*, $n=1041$)、雷公鹅耳枥(*Carpinus viminea*, $n=265$)和台湾水青冈(*Fagus hayatae*, $n=147$)为主要建群种,重要值分别占总数的16%、6%、1%和0.8%,其胸高断面面积分别占总胸高断面面积(159.5 m²/hm²)的15.3%、9.7%、4.4%和4.7%。川钓樟(*Acer oliverianum*)和多脉青冈(*Quercus multinervis*)为亚乔木层优势种,猫儿刺(*Ilex pernyi*)和细齿叶柃(*Eurya nitida*)为灌木层优势种。从物种径级结构来分析,动态样地内个体的平均胸径为7.05 cm,整体径级分布呈倒“J”型,DBH ≤ 5 cm的个体占优势(57.1%),群落结构稳定,物种更新良好。6个优势种均呈聚集分布,随着空间尺度的增加,种内聚集程度变小,趋向于随机分布;排除环境异质性后出现大尺度均匀分布。

关键词:生物多样性监测;植物区系;物种组成;群落结构;点空间格局分析

Community composition and structure of Shennongjia forest dynamic plot in a mid-subtropical mountain evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest, Hubei, China

WEI Jiaxin^{1,2}, JIANG Zhiguo^{3,4}, YANG Linsen^{3,4}, LUO Fanglin¹, QIN Yuanzhi¹, WU Hao¹, XU Yaozhan^{1,*}, QIAO Xiujuan¹, WEI Xinzeng¹, JIN Jiaojiao^{3,4}, YAO Hui^{3,4}, YANG Jingyuan^{3,4}, JIANG Mingxi¹

基金项目:国家自然科学基金(31700356);神农架国家公园本底资源综合调查研究项目(SNJNP2022001);神农架金丝猴保育生物学湖北省重点实验室开放课题基金(SNJGKL2022001)

收稿日期:2023-12-15; **采用日期:**2024-01-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xuyaozhan@wbgeas.cn

1 Key Laboratory of Aquatic Botany and Watershed Ecology, Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Science Research Institute of Shennongjia National Park, Shennongjia 442421, China

4 Hubei Provincial Key Laboratory for Conservation Biology of Shennongjia Snub-nosed Monkeys, Shennongjia 442421, China

Abstract: The evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest is a typical vegetation type in the central subtropical region. In order to improve the biodiversity monitoring system of Shennongjia National Park (candidate area), to supplement the forest dynamic monitoring network in China, and to further study the mechanism of species diversity maintenance and forest dynamic of the evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest in the middle subtropical zone, Wuhan Botanical Garden has established a forest dynamic plot of 5 hm² (250 m east-west, 200 m north-south, facing due north and south). The plot was established in the Shennongjia National Park in Hubei Province in 2023, following the standards of the Forest Global Earth Observatory (ForestGEO) and the Chinese Forest Biodiversity Monitoring Network (CForBio). Based on the plot survey data, a preliminary study was conducted on the community composition, basic characteristics, structure, and spatial distribution of woody plants (bamboo and liana not included) with diameter at breast height (DBH) ≥ 1 cm in the plot. The results show that there are 18,450 surviving individuals in the plot, belonging to 164 species, 56 families and 101 genera of woody plants. Among them, there are 118 species of deciduous trees and 46 species of evergreen trees. There are 46 common species (>10 plant/hm²), 80 occasional species ($\geq 1, \leq 10$ plant/hm²), and 38 rare species (<1 plant/hm²). The plot is a typical evergreen deciduous broad-leaved mixed forest. The proportion of evergreen and deciduous broad-leaved tree species are 73.90% and 26.10%, and the importance value are 53.25% and 46.75%, respectively. The flora is dominated by the northern temperate zone (33 genera), accounting for 32.67% of the total genera. It also has tropical components, with a total of 30 genera, accounting for 29.70% of the total genera. The forest layers are distinct, and the community is dominated by *Quercus oxyodon* ($n=5147$), *Quercus engleriana* ($n=1041$), *Carpinus viminea* ($n=265$) and *Fagus hayatae* ($n=147$), with importance values accounting for 16%, 6%, 1% and 0.8% of the total, respectively. Their basal area accounts for 15.3% and 9.7% of the total (159.5 m²/hm²), respectively. *Acer oliverianum* and *Quercus multinervis* are dominant species in the understory layer, while *Ilex pernyi* and *Eurya nitida* are dominant species in the shrub layer. In terms of size class distribution, the average breast diameter of individuals in the dynamic plot is 7.05 cm, and the overall size class shows an inverted "J" shape, with individuals with DBH ≤ 5 cm being dominant (57.1%) with successful regeneration. And the community structure is stable with good species renewal. The 6 dominant species are all clustered distributed, and as the spatial scale increases, the degree of intra-species clustering decreases, tending towards a random distribution; a large-scale uniform distribution appears after excluding environmental heterogeneity.

Key Words: biodiversity monitoring; flora; community composition; community structure; point pattern analysis

国家公园作为自然保护地体系的主体,以保护国家重要生态系统的原真性、完整性为主要目的,是保护自然资源的重要形式^[1-2]。通过大力推行国家公园的建设,能够有效应对生物多样性危机,同时保障国家生态安全^[3]。国家公园生物多样性的保护成效和适应性管理政策的制定依赖于对生态系统和生物多样性的长期监测,这不仅能深入了解生态系统长期动态过程,也对生态系统功能与生物多样性的恢复有重要意义^[4-5]。神农架国家公园(候选区)作为全球 36 个生物多样性保护的热点区域和关键地区之一,位于我国种子植物特有属三大分布中心之一的川东—鄂西分布区内,首批被划入国家公园体制试点区^[6],位于秦巴山脉的东端、中亚热带最北缘,拥有世界北半球中纬度地区少有保存完好的原始森林、亚高山泥炭藓沼泽湿地、北亚热带森林生态系统,以及完整的植被垂直带谱,是研究中国植物区系和地带性植被的关键区^[7-9]。

神农架自然遗产地地跨中亚热带和北亚热带,保存着北半球同纬度少有的地带性常绿落叶阔叶混交林,

是该生态系统的典型代表^[10]。该植被类型在神农架国家公园(候选区)广泛分布,其植物区系复杂,生物多样性丰富,且其优势树种不同于同纬度分布的其他同类型森林^[10],能很好的代表中亚热带到北亚热带气候过渡区特征,通常以水青冈属(*Fagus*)、栎属(*Quercus*)和鹅耳枥属(*Carpinus*)为其群落建群种^[11]。目前,中国的亚热带常绿阔叶阔叶混交林建设了八大公山 25 hm²、古田山 24 hm²和木论 25 hm²三个大型动态监测样地。绝大多数样地分布在中亚热带的中部和南部,而处于中亚热带北缘的长期监测样地存在空白。因此参照全球森林生物多样性监测网络(The Forest Global Earth Observatory, ForestGEO)和中国生物多样性监测网络(Chinese Forest Biodiversity Monitoring Network, CForBio)的建设标准^[12-13],中国科学院武汉植物园于 2023 年在官门山建立了 1 个 5 hm²(250 m×200 m)的常绿阔叶混交林监测样地。该样地不仅能完善神农架国家公园(候选区)生物多样性监测体系,也是对中国森林动态监测网络的有益补充。本研究以首次调查数据为基础,对该样地的物种组成、植物区系特征、径级结构和优势种的空间分布格局进行分析,以期今后的长期动态监测和理论研究提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区域概况

神农架处于我国中部山地与东部丘陵低山区的过渡地带,第二阶梯的东部边缘,属秦岭山系大巴山东段,平均海拔 1700 m,拥有 2700 m 的垂直落差,形成了从常绿阔叶林到灌丛草甸的完整山地植被垂直带^[14-15]。神农架横跨中亚热带和北亚热带,气候主要受东南季风影响,属于中纬度北亚热带季风气候区,森林覆盖率超过 70%,包含 15 个植被型、75 个群系;无霜期 220 d 左右,年均降水量 700—2700 mm,降水量有明显的季风性;地貌具有山高、坡陡、谷深等特点^[8,16]。

官门山样地(Guanmenshan, GMS)(31.433636° N, 110.37625° E)位于神农架国家公园(候选区)官门山园区内(图 1),是植被区划中的“中亚热带常绿阔叶林北部”,“IV Aiiia—5b”植被小区,处于中亚热带北缘,山地气候明显。年均气温 12.0℃,最冷月(1 月)平均气温-2℃,最热月(7 月)平均气温 19.7℃;降水量 1500—2500 mm,主要集中在 6—10 月;最大湿度(7 月)95.5%,最小湿度(4 月)71.6%,常年湿度较大;土壤以黄棕壤为主^[17]。样地坡度(20 m×20 m)范围为 8.73—55.63°,坡向为 22.06—310.49°,凹凸度范围-6.40—8.93。

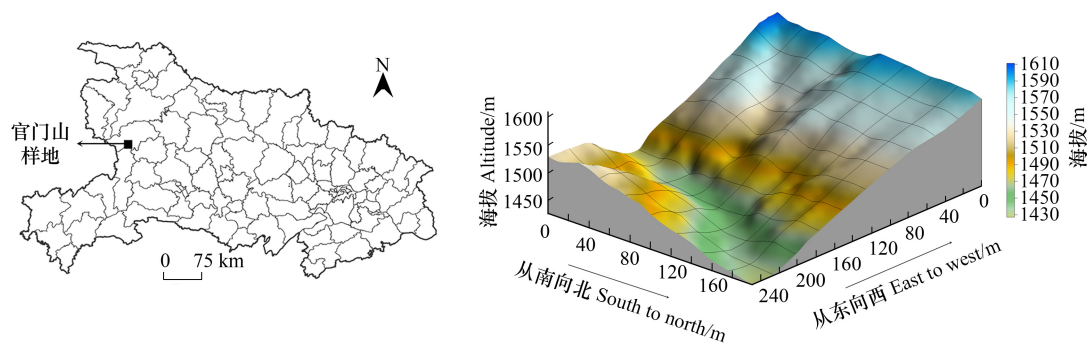


图 1 官门山(GMS) 5hm²样地在湖北和神农架地理位置分布图

Fig.1 Location of the 5 hm² Guanmenshan (GMS) plot in Shennongjia and in Hubei

1.2 样地设置与调查

官门山 5 hm²样地于 2023 年建成(图 1),样地长 250 m(东西方向),宽 200 m(南北方向),为正南正北方向。样地平均海拔 1518.43 m,最高海拔 1609.82 m。以西南角为原点,用差分 GPS 将样地划分为 120 个 20 m×20 m 和 10 个 20 m×10 m 的样方,在每个 20 m×20 m、20 m×10 m 样方端点处设置水泥桩,然后用 PVC 管和包装线将整个样地划分为 5 m×5 m 样方。对样地内所有胸径(DBH)(距离地面 1.3 m 高处主干直径)≥1 cm 的木本植物(不含藤、竹)进行刷漆、挂牌、物种鉴定、DBH 测量、坐标测量(东西方向为 X 轴,南北方向

为 Y 轴)。

1.3 数据分析

1.3.1 重要值计算

对大样地的物种组成进行统计分析,以 20 m×20 m 为取样单元计算重要值^[18]:重要值(IV)=(相对密度+相对频度+相对优势度)/3。相对密度=某个物种的个体数/所有物种的个体数;相对频度=某个物种的频度/所有物种的频度和;相对优势度=某个物种的胸高断面积和/所有物种的总胸高断面积之和。其中,所有的计算均不包含分枝。

1.3.2 物种累计曲线

以 20 m×20 m 样方为单元,使用 R 语言“vegan”^[19]程序包中的“specaccum”函数,物种累计方法采取随机取样法(random),分别绘制神农架样地所有挂牌木本植物、常绿以及落叶树种的物种累积曲线^[20]。

1.3.3 植物区系分布

参照《世界种子植物科的分布区类型系统》^[21]以及《中国种子植物属的分布区类型》^[22],对神农架官门山森林样地内的所有木本植物进行科、属分布区类型划分。

1.3.4 径级结构与空间分布

首先以 1 cm 为区间进行径级划分,统计分析所有个体及各林层优势物种个体径级分布情况。然后参考径级划分方式^[23],将官门山样地各林层优势物种依胸径(DBH)大小划分为 3 个等级:小径级(DBH≤10 cm),中等径级(10 cm<DBH≤30 cm),大径级(DBH>30 cm)。

1.3.5 点空间分布格局

使用单变量成对相关函数中的完全空间随机模型(spatial randomness, CSR)和异质泊松模型(heterogeneous Poisson, HP)分析各林层优势树种的空间分布格局,采用蒙特卡洛(Monte—Caelo)进行 99 次随机模拟,设定空间尺度为 50 m,步长 1 m,分别计算 g(r)值。其中,完全空间随机模型(同质泊松模型, Homogeneous Poisson process)计算时假设物种的空间点是完全互相独立的,不受任何非生物或生物过程影响,在研究区域内各点出现的概率相同,常作为零假设来检验当存在生境异质性时物种的空间分布^[24];异质性泊松模型则是在此基础上排除空间异质性效应的零假设模型,可检验消除大尺度上生境异质性的影响,反应种群真实的空间分布特征。结果的最大值和最小值生成上下两条 Poisson 分布包迹线形成的 95%的置信区间,当观测值位于上包迹线以上、两条包迹线之间以及下包迹线以下时,分别对应种群的聚集分布、随机分布和均匀分布的状态^[25]。

以上数据分析均使用 R 4.2.2^[26],其中点空间分布格局分析使用“spatstat”程序包^[27]。

2 结果与分析

2.1 群落物种组成和区系分布

官门山 5 hm²样地首轮清查挂牌木本植物(DBH ≥ 1 cm)共 164 种,隶属于 56 科 101 属。其中常绿树种 46 个,落叶树种 118 个。从重要值来看,常绿物种占 53.25%,落叶物种占 46.75%;从个体数来看,常绿物种和落叶物种的多度分别为 13634 和 4816,前者为后者的 2.83 倍;从胸高断面积来看,常绿物种和落叶物种的分别为 64.91m²/hm²、94.59m²/hm²,后者为前者的 1.46 倍。

物种数最多的科是蔷薇科(Rosaceae),包含 19 个物种;其次是无患子科(Sapindaceae)(12 种)和壳斗科(11 种);单种科 24 个,占总科数 42.8%。物种最多的属是槭属(Acer),包含 10 个物种;其次是栎属和李属(Prunus),均包含 8 个物种;单种属 77 个,占总属数 76.2%。根据吴征镒科级^[21]、属级^[22]的区系分类标准,样地物种 56 个科的区系可分为 10 个分布型,以北温带分布最多(15 科, 26.79%),其次是泛热带分布(11 科, 19.64%);101 个属的木本植物由 13 个分布型组成,以北温带为主,共 33 个(32.67%);东亚分布(17, 16.83%)次之。热带性质的科占 60.71%,多于温带性质的科(26.7%);温带性质的属(34.7%)略多于热带性质的

属(29.7%)(表1)。

表1 官门山(GMS) 5 hm²样地木本植物科属分布类型

Table 1 Family and genus distribution type for woody plants in the 5 hm² Guanmenshan (GMS) plot

编号 Code	分布类型 Distribution type	科数 Number of families	属数 Number of genera
1	世界分布	8	1
2	泛热带	11	11
3	热带亚洲及热带美洲间断	9	5
4	旧世界热带	1	1
5	热带亚洲至热带大洋洲	1	4
6	热带亚洲至热带非洲分布	1	1
7	热带亚洲	3	7
	热带总和(分布型2—7)	34	30
8	北温带	15	33
9	东亚及北美间断	4	12
10	旧世界温带		2
12	地中海区、西亚至中亚分布		1
14	东亚分布	3	17
15	中国特有		6
	总计	56	101

样地内被挂牌监测的活体独立植株共 18450 个,分枝 10688 个。本文统计使用的所有数据只包括独立活体植株。从物种多度来看,多度排在前 6 的物种个体数超过总个体数的 50%,前 30 个物种的个体数超过总个体数的 85%。个体数超过 1000 个的物种从大到小排列依次是位于乔木层的曼青冈(*Quercus oxyodon*)和巴东栎(*Quercus engleriana*)、位于亚乔木层的川钓樟(*Lindera pulcherrima*)以及灌木层的猫儿刺(*Ilex pernyi*),4 个物种均为常绿树种,个体数占全部个体数的 46.03%,其中曼青冈个体数最多,有 5147 个个体。而珂楠树(*Kingsboroughia alba*)、长叶冻绿(*Frangula crenata*)、猫儿屎(*Decaisnea insignis*)等 14 个物种只有 1 个个体。Hubbell 和 Foster^[28]将每公顷个体数大于 10 以上的物种定义为常见种;每公顷个体数 1—10 的物种定义为偶见种;每公顷个体数在 1 以下的物种定义为稀有种。样地内常见种 46 种、偶见种 80 种、稀有种 38 种,分别占物种总数的 28.05%、48.78%、23.17%;占个体总数的 91.62%、7.95%、0.43%。偶见种在物种数占据优势,其中落叶成分(58 种)占比较大;常见种在个体数占优势,其中常绿成分占比 78.02%。

GMS 样地内 DBH $\geq$ 1cm 的所有个体的总胸高断面积为 159.5 m²/hm²。其中胸高断面积大于 5 m²/hm² 的物种由大到小依次是曼青冈、巴东栎、湖北紫荆(*Cercis glabra*)、台湾水青冈(*Fagus hayatae*)、雷公鹅耳枥(*Carpinus viminea*)、多脉青冈(*Quercus multinervis*)和亮叶桦(*Betula luminifera*),其胸高断面积之和占总胸高断面积的 46.82%。基于物种的相对密度、相对频度和相对优势度,计算了各个物种的重要值(表 2),排名前 13 的物种重要值之和超过 0.5。其中曼青冈和巴东栎重要值最高,分别是 0.16、0.06,为该林型的绝对优势种。

从种-面积曲线可以看出,曲线的斜率在开始阶段(取样样方数为 0—40 个,取样面积 0—1.6 hm²)随取样面积的增加而迅速减小;取样样方数为 40—80 个(1.6—3.2 hm²)时,物种数随取样面积增加缓慢,曲线斜率减小变缓;当取样面积达到 3.2 hm²后,曲线斜率趋于稳定(图 2)。样方数达到全部数量的一半时(65 个样方),物种累计到 153 种,占全部物种数(164)的 92.73%;进一步增加样方数至 130 个,物种数仅增加 11 个。样地内 46 个常绿树种,118 个落叶树种,相比于物种数更多的落叶树种,累积常绿树种数量在较少的样方数内即可达到平台期。

据样地内所有木本植物物种-面积曲线显示,在取样样方数为 0—100 个(面积 0—4 hm²)时,累积树种数量随样地面积的增大而急剧增加;100—300 个样方数(4—12 hm²)时,累积树种数量增长变缓;当取样面积达

到 12 hm²后,曲线趋于平缓(图 2)。样方数达到全部数量的一半时(313 个样方),物种累计到 142 种,占全部物种数(149)的 95.3%,进一步增加样方数至 625 个,物种数仅增加 7 个。相比于物种数更多的落叶树种,累积常绿树种数量在较少的样方数内即可达到平稳期。

表 2 官门山(GMS)5 hm²样地 15 个优势物种特征
Table 2 Characteristics of the 15 most dominant woody plants in the 5 hm² Guanmenshan(GMS) plot

物种名 Species name	所属科 Family name	多度 Abundance	个体数比率 Population ratio/%	胸高断面积 Basal area/ (m ² /hm ²)	重要值 Importance value	生活型 Life form	林层 stratum
曼青冈 <i>Quercus oxyodon</i>	壳斗科 <i>Fagaceae</i>	5147	27.89	24.4092	0.1557	E	C
巴东栎 <i>Quercus engleriana</i>	壳斗科 <i>Fagaceae</i>	1041	5.64	15.5161	0.0613	E	C
川钓樟 <i>Lindera pulcherrima</i>	樟科 <i>Lauraceae</i>	1250	6.76	2.0093	0.0368	E	U
多脉青冈 <i>Quercus multinervis</i>	壳斗科 <i>Fagaceae</i>	727	3.94	6.0864	0.0353	E	U
猫儿刺 <i>Ilex pernyi</i>	冬青科 <i>Aquifoliaceae</i>	1054	5.71	1.4835	0.0322	E	S
四照花 <i>Cornus kousa</i>	山茱萸科 <i>Cornaceae</i>	544	2.95	4.5948	0.0293	D	U
雷公鹅耳枥 <i>Carpinus viminea</i>	桦木科 <i>Betulaceae</i>	265	1.43	7.0458	0.0252	D	C
城口桤叶树 <i>Eurya nitida</i>	桤叶树科 <i>Clethraceae</i>	560	3.04	3.1529	0.0242	D	U
细齿叶柃 <i>Toxicodendron vernicifluum</i>	五列木科 <i>Pentaphylacaceae</i>	617	3.34	1.8997	0.0226	E	S
簇叶新木姜子 <i>Neolitsea confertifolia</i>	樟科 <i>Lauraceae</i>	649	3.52	1.8792	0.0223	E	U
台湾水青冈 <i>Fagus hayatae</i>	壳斗科 <i>Fagaceae</i>	147	0.80	7.4261	0.0219	D	C
湖北紫荆 <i>Cercis glabra</i>	蝶形花科 <i>Papilionaceae</i>	44	0.24	8.3211	0.0212	D	C
巴山榧树 <i>Torreya fargesii</i>	红豆杉科 <i>Taxaceae</i>	573	3.11	1.0174	0.0209	E	U
多脉鹅耳枥 <i>Carpinus polyneura</i>	桦木科 <i>Betulaceae</i>	218	1.18	4.8161	0.0187	D	C
亮叶桦 <i>Betula luminifera</i>	桦木科 <i>Betulaceae</i>	55	0.30	5.8699	0.0171	D	C

D: 落叶树种 Deciduous species; E: 常绿树种 Evergreen species; C: 乔木层 Canopy layer; U: 亚乔木层 Understory layer; S: 灌木层 Shrub layer

2.2 群落结构与更新

样地内林层结构清晰,参考群落垂直结构划分方式^[29],按照物种的高度和生长型,将林层划分为:乔木层(≥15 m)、亚乔木层(<15 m, ≥5 m)、灌木层(<5 m)。乔木层分布 52 个物种(落叶 43 种,常绿 9 种);亚乔木层分布 58 个物种(落叶 41 种,常绿 17 种);灌木层分布 54 个物种(落叶 33 种,常绿 21 种)(表 3)。各林层重要值排名前二的物种均为常绿树种。其中曼青冈和巴东栎为乔木层优势种;川钓樟和多脉青冈为亚乔木层优势种;猫儿刺和细齿叶柃(*Eurya nitida*)为灌木层优势种(表 3)。该样地中,各林层的物种数分布较均匀,亚乔木层略占优势。常绿树种的重要值在亚乔木层、灌木层占绝对优势,重要值之和远高于落叶树种,重要值排名前 10 的常绿物种有 7 个;乔木层两种树型重要值占比相差甚微。

以样地内独立存活个体为统计单元进行分析(图 3),样地内木本植物所有个体的平均 DBH 为 7.05 cm,木本物种中最大胸径为 123.82 cm(亮叶桦)(图 3)。以 1 cm 为区间进行径级划分,样地中所有个体的径级分布呈现出明显的倒“J”型(图 3),DBH=1 cm 时个体数最大,并且个体数量随着胸径的增加而减少。不同径级的个体数表现出巨大的差异,其中,小径级(DBH≤10 cm)、中等径级(10 cm<DBH≤30 cm)、大径级(DBH>

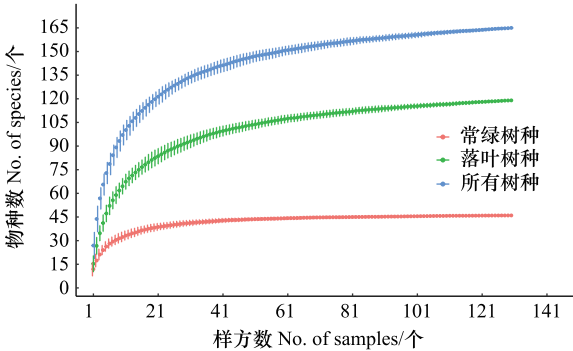


图 2 官门山样地木本植物物种累积曲线(样方总数=130)

Fig. 2 Species accumulation curve of woody plants in Guanmenshan plot (quadrat number=130)

30 cm)的个体数分别为 14634、3397 和 419 个,分别占总个体数的 79.3%、18.4%、2.3%。

表 3 官门山样地内物种在各林层数量分布

Table 3 The quantitative distribution of species in each forest layer in Guanmenshan(GMS) plot

所在林层 Stratum	生活型 Life form	物种数 Species number	占比/% Proportion
C	D	43	26.22
	E	9	5.49
U	D	41	25.00
	E	17	10.37
S	D	34	20.73
	E	20	12.19
总计 Total		164	100

D: 落叶树种 Deciduous species; E: 常绿树种 Evergreen species; C: 乔木层 Canopy layer; U: 亚乔木层 Understory layer; S: 灌木层 Shrub layer

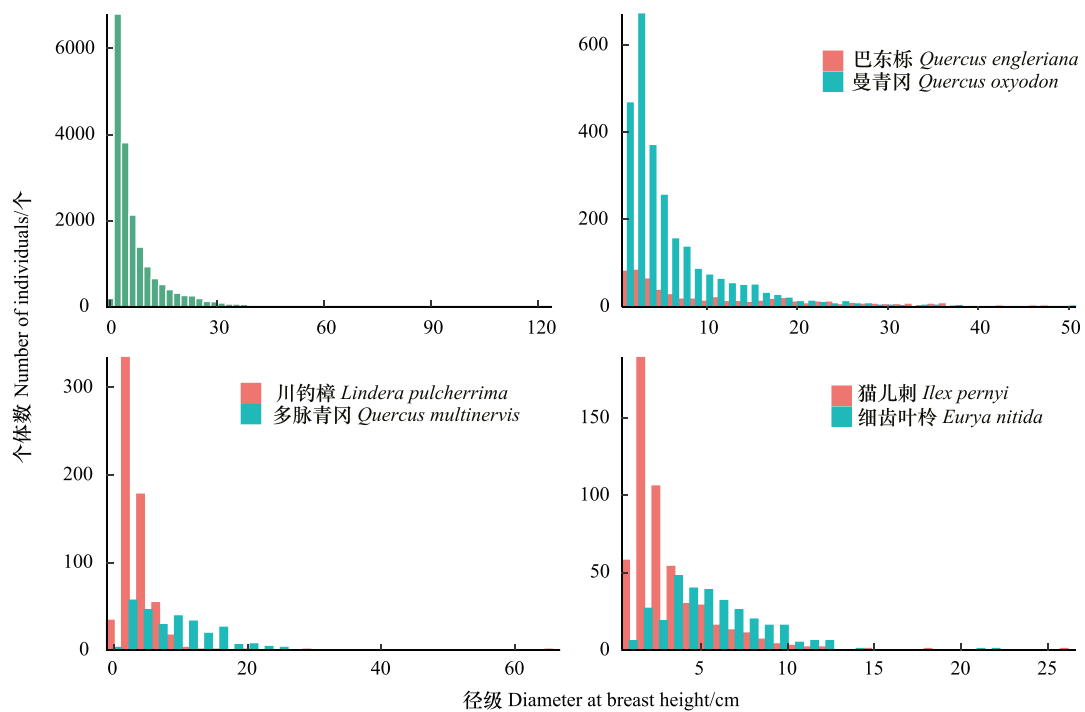


图 3 官门山样地物种径级结构分布图

Fig.3 Distribution map of species diameter class structure in Guanmenshan(GMS) plot

乔木层的优势种曼青冈和巴东栎的径级呈倒“J”型,在 3 个径级均有分布,物种个体数均集中在小径级 (1 cm<DBH≤10 cm)上,分别有 4311、670 个,占物种个体数的 83.8%和 64.36%,具绝对优势。亚乔木层优势物种川钓樟、多脉青冈的径级结构为偏正态型,主要由中小径级植株组成。灌木层优势种猫儿刺径级结构呈标准倒“J”型(图 3),绝大部分个体 DBH≤10 cm。细齿叶柃呈偏正态分布,92.7%的个体集中在 DBH≤10 cm,以 DBH 峰值两边递减,其中 1 cm<DBH≤5 cm 的个体数最多(51.2%),仅有 1 个植株胸径大于 30cm。

2.3 优势物种的空间分布格局

曼青冈几乎遍布整个样地,频度高达 98.5%,但其个体数在样方间存在较大差异,变化范围为 0—127。巴东栎和川钓樟出现在 80%以上的样方内,样方间的个体数差异不大,空间分布比较均匀。多脉青冈、猫儿刺和细齿叶柃的分布则表现出明显的空间异质性,多脉青冈在样地西南角呈明显聚集分布,其余位置分散分布;猫儿刺主要聚集分布在样地的西北角,其样方间的个体数(0—49)存在较大的差异;细齿叶柃主要分布在样

地的北边海拔 1477—1547 m 处,分布与地形具有一定的相关性。从不同径级个体的空间分布来看:曼青冈和巴东栎各径级的空间分布范围大致相当,均匀分布在样地各处;多脉青冈中小径级个体集中分布在样地西南角,大径级个体分布分散;川钓樟、猫儿刺和细齿叶桉小径级个体占主要组成,分布范围广泛,大径级树较少,分布较散(图 4)。

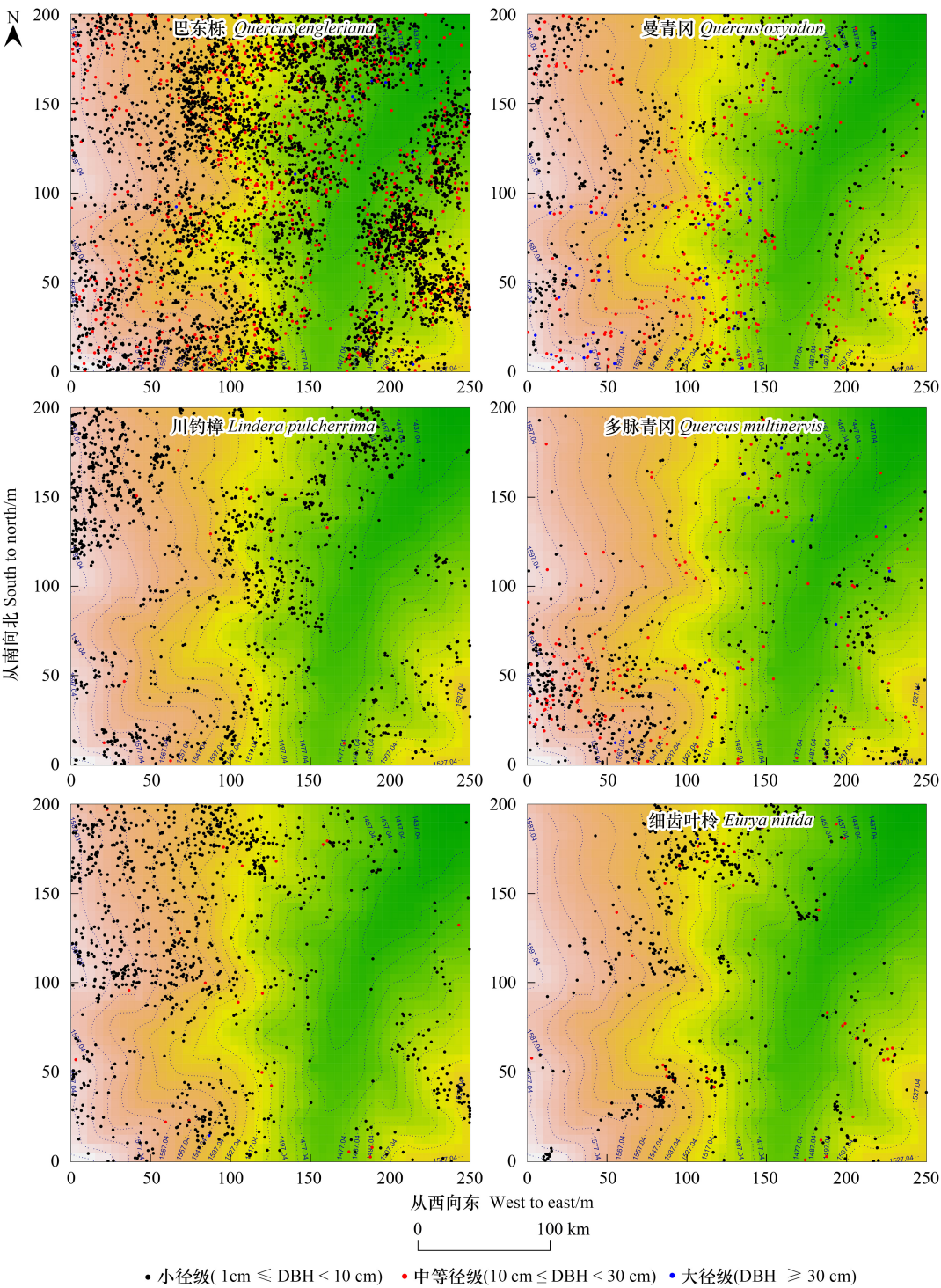


图 4 官门山(GMS) 5hm²森林动态监测样地各林层优势树种的空间分布图

Fig.4 Spatial distribution pattern of the dominant species in a 5 hm² forest dynamic plot in Guanmenshan, Hubei

完全空间随机模型分析表明(图5),曼青冈、川钓樟、多脉青冈、猫儿刺和细齿叶柃种群整体在所有尺度上均为聚集分布,在0—10 m尺度上聚集程度最强,聚集程度随着研究尺度的增加而减小,趋向随机分布;巴东栎在0—27 m呈聚集分布,余下尺度为随机分布。在异质泊松零模型下,各物种空间分布格局结果产生一定差异。其中,除猫儿刺外,曼青冈、巴东栎、川钓樟、多脉青冈和细齿叶柃均呈现三种分布类型:0—27 m、0—19 m、0—32 m、0—27 m、0—33 m 聚集分布;28—33 m、20—27 m、33—48 m、28—66 m、34—44 m 随机分布;33—100 m、28—100 m、48—100 m、29—100 m、45—100 m 均匀分布。

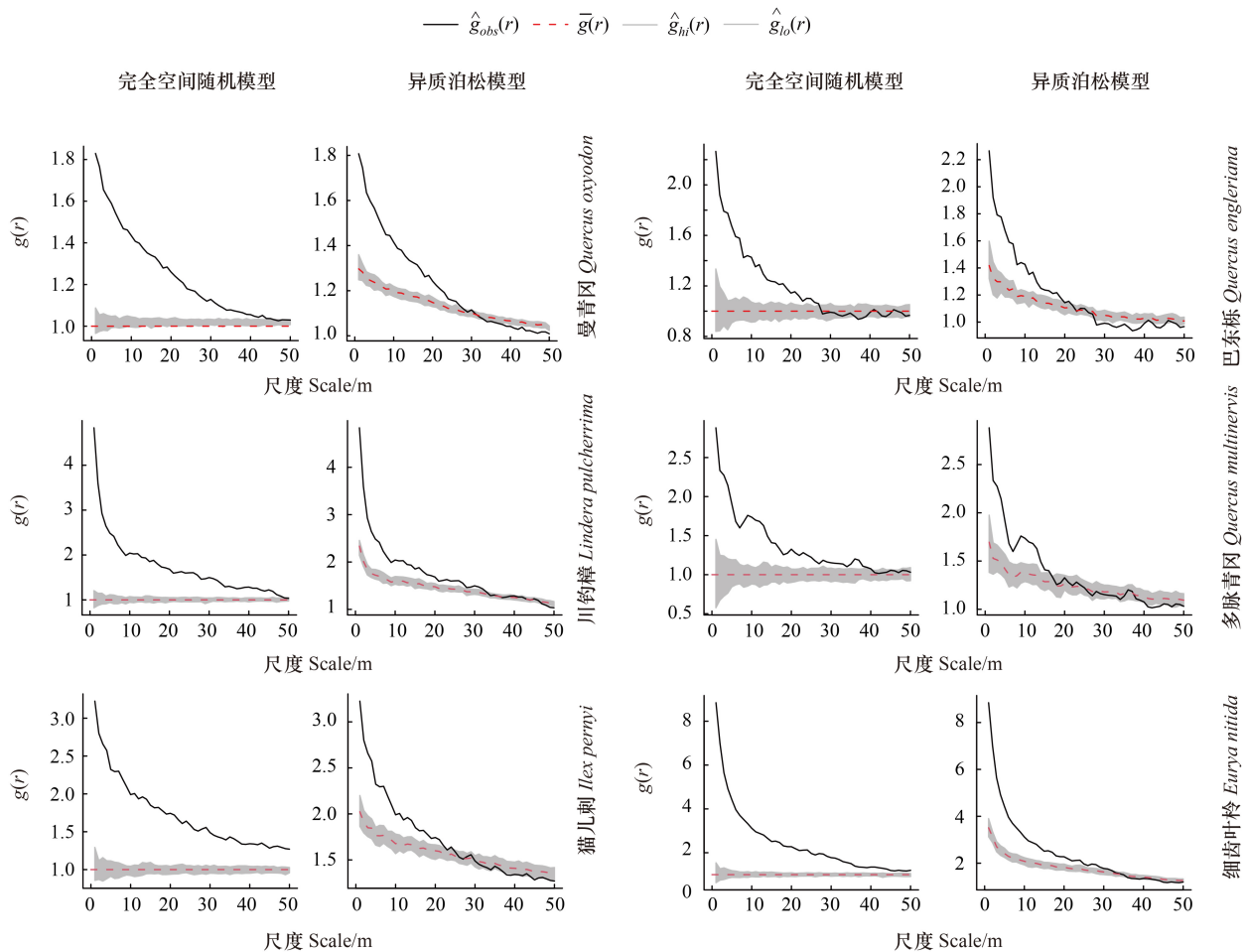


图5 官门山样地各林层优势物种在完全空间随机(CSR)和异质泊松(HP)零模型下的空间分布

Fig.5 Spatial distribution of dominant species in each forest layer in Guanmenshan sample plot under complete spatial randomness (CSR) and heterogeneous Poisson (HP) models

$\hat{g}_{obs}(r)$: $g(r)$ 的观测值 Observed value of $g(r)$; $\bar{g}(r)$: $g(r)$ 的理论均值 theoretical mean of $g(r)$; 灰色阴影部分为99%的置信区间 Gay shaded part was the 99 confidence interval.)

3 讨论

3.1 物种组成和植物区系

官门山位于我国南部亚热带与北部暖温带气候过渡区域,地处我国种子植物特有属三大分布中心之一的川东—鄂西分布区内,属于常年温暖湿润的北亚热带季风气候,促成了温带植物区系和热带植物区系的紧密联系,形成了高度的植被多样性^[8]。在本样地木本植物科的分布类型中,以热带分布和温带分布为主,热带分布更占优势,与处于中亚热带的天童山^[30]、八大公山^[31]和古田山^[29]相似;在属的分布类型中,以温带分布

为主,也有一定数量的热带分布,与处于暖温带的秦岭皇冠^[32]、花萼山^[33]、百山祖^[34]类似,呈现出明显的热带特征和温带特征。表明样地植物区系具有明显的从亚热带向温带过渡性质,此结论与神农架自然保护区区系组成分析^[35]结果基本一致,也说明样地选址具有较好的典型性,能凸显神农架地带性植被特征。

官门山样地是神农架典型的以曼青冈、巴东栎和台湾水青冈为主要优势的山地常绿落叶阔叶混交林,物种组成丰富,群落内少数物种占绝对优势,拥有大量的稀有种和偶见种(分别占总物种数的 23.17%、48.78%)。与同处中亚热带的八大公山常绿落叶阔叶混交林(亮叶水青冈—多脉青冈, *Fagus lucida*—*Quercus multinervis*)类似^[31],说明水青冈属—栎属为优势的森林类型是中亚热带较为稳定的一个植被类型^[36]。不过,该样地的顶层优势物种——台湾水青冈,是中国特有的国家二级重点保护植物,成林较为稀少,有较强的研究意义^[37—38]。从物种丰度来看,通过与临近纬度大样地相比,神农架地区生物多样性较高。虽然样地面积仅有 5 hm²,但所含物种有 65 科 101 属 164 种(单位面积物种数 32.8 种/hm²),高于处于亚热带、纬度更低的天童山 20 hm²样地(51 科 94 属 152 种)^[30]和古田山 24 hm²样地(49 科 103 属 159 种)^[29]。这与神农架地区的地形、气候环境密切相关。神农架地形复杂多变,立体气候明显,同时受到湿热的东南季风和干冷的大陆高压的交替影响,保存了较高的生物多样性^[39]。同时,常绿落叶阔叶混交林作为神农架的地带性植被,位于神农架植被垂直带中部,共包含 46 个常绿树种和 118 个落叶树种。相较于海拔较高的神农架落叶阔叶林样地,常绿成分增加,物种丰度更大。

3.2 群落结构与更新

该常绿落叶阔叶林林层结构清晰,乔木层以曼青冈、巴东栎、雷公鹅耳栎和台湾水青冈为主要建群种;亚乔木层以川钓樟、多脉青冈、四照花、城口桤叶树(*Eurya nitida*)、簇叶新木姜子(*Neolitsea confertifolia*)和巴山榧树(*Torreya fargesii*)等占优;灌木层则以猫儿刺、细齿叶柃、美丽马醉木(*Pieris formosa*)和披针叶胡颓子(*Elaeagnus lanceolata*)等占优。在物种数量上,各林层落叶树种占据优势,但从重要值分析,常绿树种占主导作用。常绿成分在亚乔木层、灌木层占据优势,落叶成分从林下灌木层开始积累,优势逐渐显现。

径级结构与群落更新密切相关,是判断植物生长发育状况和群落稳定性的重要指标^[40]。从径级结构来看,样地内所有物种全部个体的径级分布呈典型的倒“J”型,样地中存在大量的小径级更新个体,径阶分布比较连续,没有明显的断层,群落更新良好。不同物种的径级分布有一定差别,样地中 6 个优势树种的径级结构大致分为倒“J”型、偏正态型。其中,乔木层巴东栎、曼青冈和灌木层猫儿刺为倒“J”型径级结构,是样地中典型的增长型种群,种群生长良好、更新速率较快、较为稳定。偏正态型多见于样地中的亚乔木层和灌木层,例如川钓樟、多脉青冈和细齿叶柃,此种径级结构合理,个体集中分布于中小径级范围,大径级个体相对较少,群落处于稳定增长的状态。总体而言,神农架官门山 5 hm²森林动态监测样地的群落中不仅有中小径级个体作为主要的更新库,还有大径级个体来长期维持其在群落中的优势地位,群落的更新良好、发展稳定(图 3)。

3.3 物种分布格局

官门山样地地势复杂,环境异质性强。其中,样地海拔最低处(1437.036—1477.036m)由于两边山势走向形成一条沟谷,常年受雨水冲刷、林荫遮挡,生境异质性较高,物种分布较少。只有极个别物种,如簇叶新木姜子在此聚集性分布。6 个优势种在沟谷几乎没有分布,其中 5 个物种(细齿叶柃除外)在背阴面山脊、山坡均呈聚集分布;细齿叶柃在样地北部呈强烈的聚集分布,体现出明显的空间异质性。通过进一步点空间格局分析表明,各优势物种多呈聚集分布,随研究尺度的增大,空间分布格局由聚集分布逐渐转变为随机分布再过渡到均匀分布,变化趋势基本保持一致,这与国内大多数优势物种种群的空间格局研究结果相同^[41—42]。对比完全随机模型和异质泊松模型,在剔除环境异质性后,分析结果发生明显变化,均出现新的分布模式,呈现出大尺度范围的随机分布格局或者均匀分布。一般认为,种群在小空间尺度内的分布格局主要是受到植物自身生物学特性(种子的扩散限制、植物的繁殖方式等)的影响,在大空间尺度的分布格局则主要受到环境异质性的影响(土壤酸碱度、地形等)^[43]。与本研究结果进行比对,可以推测该样地内形成的种群空间分布格局不仅受到植物自身生物学特性的影响,还在很大程度上受到环境异质性的影响。本文仅初步探究了优势种的分布

格局,其形成机制和影响因素还需更长时间的监测和深入分析。

4 总结

本研究基于神农架官门山常绿阔叶混交林 5 hm²森林动态监测样地的植被调查数据,重点从物种组成、植物区系、群落结构和优势树种空间分布等角度分析,得出以下结论:1)神农架官门山 5 hm²样地是典型的以曼青冈、巴东栎、雷公鹅耳枥和台湾水青冈为主要优势的山地常绿阔叶混交林,其物种丰富,组成复杂。2)样地植物区系主要以热带性质的科(60.71%)、温带性质的属(34.7%)为主,具有典型的从亚热带向温带过渡的特点。3)样地内林层结构清晰,常绿成分占主导。4)物种径级分布存在物种间差异,样地中存在大量的小径级更新个体,群落更新良好。5)优势种的种群空间分布格局有种间差异,其空间分布格局不仅受到植物自身生物学特性的影响,还在很大程度上受到环境异质性的影响。

参考文献(References):

- [1] Strickland-Munro J, Moore S. Indigenous involvement and benefits from tourism in protected areas: a study of Purnululu National Park and Warmun Community, Australia. *Journal of Sustainable Tourism*, 2013, 21(1): 26-41.
- [2] 田美玲,方世明,冀秀娟. 自然保护类国家公园研究综述. *国际城市规划*, 2017, 32(6): 49-53.
- [3] 马克平. 森林与人类休戚相关,需要我们更多呵护. *生物多样性*, 2011, 19(3): 273-274, 387.
- [4] 米湘成. 生物多样性监测与研究是国家公园保护的基础. *生物多样性*, 2019, 27(1): 1-4.
- [5] 欧阳志云,唐小平,杜傲,臧振华,徐卫华. 科学建设国家公园:进展、挑战与机遇. *国家公园(中英文)*, 2023, 1(2): 67-74.
- [6] 田美玲,康玲,方世明. 社区居民感知视角神农架国家公园体制试点区管理机制研究. *林业经济问题*, 2020, 40(3): 236-243.
- [7] 樊大勇,高贤明,杨永,熊高明,中国珍,赵常明,徐文婷,周友兵,谢宗强. 神农架世界自然遗产地种子植物科属的古老性. *植物科学学报*, 2017, 35(6): 835-843.
- [8] 谢宗强,中国珍,周友兵,樊大勇,徐文婷,高贤明,杜彦君,熊高明,赵常明,祝燕,赖江山. 神农架世界自然遗产地的全球突出普遍价值及其保护. *生物多样性*, 2017, 25(5): 490-497.
- [9] 肖义发,王梦君,张天星. 神农架国家公园试点区社区协调发展研究. *林业建设*, 2023, 41(4): 17-21.
- [10] 马明哲,中国珍,熊高明,赵常明,徐文婷,周友兵,谢宗强. 神农架自然遗产地植被垂直带谱的特点和代表性. *植物生态学报*, 2017, 41(11): 1127-1139.
- [11] 吴征镒. *中国植被* // 北京:科学出版社,1980: 279-305.
- [12] Condit R. Tropical forest census plots: methods and results from Barro Colorado Island, Panama and a comparison with other plots. Springer, Berlin. 1998.
- [13] 米湘成,郭静,郝占庆,谢宗强,郭柯,马克平. 中国森林生物多样性监测:科学基础与执行计划. *生物多样性*, 2016, 24(11): 1203-1219.
- [14] 应俊生,马成功,张志松. 鄂西神农架地区的植被和植物区系. *植物分类学报*, 1979, 17(3): 41-59.
- [15] 郑重,詹亚华,谢继伦. *中国神农架* // 武汉:湖北科学技术出版社,1997.
- [16] 应俊生. 神农架的植物资源考察. *植物杂志*, 1977(2): 24,33.
- [17] 崔鸿侠,胡文杰,唐万鹏,杨敬元,余辉亮. 神农架华山松林内外气候特征比较. *湖北林业科技*, 2022, 51(2): 1-5.
- [18] Linares-Palomino R, Ponce Alvarez S I. Tree community patterns in seasonally dry tropical forests in the Cerros de Amotape Cordillera, Tumbes, Peru. *Forest Ecology and Management*, 2005, 209(3): 261-272.
- [19] Oksanen J, Simpson G L, Blanchet F G, Kindt R, Legendre P, Minchin P R, O'Hara R B, Solymos P, Stevens M H H, Szoecs E, Wagner H, Barbour M, Bedward M, Bolker B, Borcard D, Carvalho G, Chirico M, Caceres M D, Durand S, Evangelista H B A, FitzJohn R, Friendly M, Furrmeaux B, Hannigan C, Hill M O, Lahti L, McGlinn D, Ouellette M H, Cunha E R, Smith T, Stier A, Braak C J F T, Weedon J. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.6-2. 2022. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- [20] Gotelli N J, Colwell R K. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 2001, 4(4): 379-391.
- [21] 吴征镒,周浙昆,李德铎,彭华,孙航. 世界种子植物科的分布区类型系统. *云南植物研究*, 2003, 25(3): 245-257.
- [22] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型. *云南植物研究*, 1991, 13(增刊), 1-139.
- [23] 周秋静,韩文斌,赵常明,王杨,陈芳清,谢宗强. 神农架天然针阔混交林的物种组成和群落结构. *生态学杂志*, 2019, 38(1): 11-18.

- [24] Gabriel E. A. baddeley, E. rubak, R. Turner: spatial point patterns: methodology and applications with R. Mathematical Geosciences, 2017, 49 (6): 815-817.
- [25] Gu L, O'Hara K L, Li W Z, Gong Z W. Spatial patterns and interspecific associations among trees at different stand development stages in the natural secondary forests on the Loess Plateau, China. Ecology and Evolution, 2019, 9(11): 6410-6421.
- [26] R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2022. URL <https://www.R-project.org/>.
- [27] Baddeley A, Rubak E, Turner R. Spatial Point Patterns: Methodology and Applications with R. Boca Raton: CRC Press, 2016.
- [28] Hubbell S, Foster R. Commonness and rarity in a neotropical forest: implications for tropical tree conservation. In: Conservation Biology: the Science of Scarcity and Diversity (ed. Soulé ME), 1986; 205-231.
- [29] 祝燕, 赵谷风, 张俪文, 沈国春, 米湘成, 任海保, 于明坚, 陈建华, 陈声文, 方腾, 马克平. 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. 植物生态学报, 2008, 32(2): 262-273.
- [30] 杨庆松, 马遵平, 谢玉彬, 张志国, 王樟华, 刘何铭, 李萍, 张娜, 王达力, 杨海波, 方晓峰, 阎恩荣, 王希华. 浙江天童 20ha 常绿阔叶林动态监测样地的群落特征. 生物多样性, 2011, 19, 215-223.
- [31] 卢志军, 鲍大川, 郭屹立, 路俊盟, 王庆刚, 何东, 张奎汉, 徐耀粘, 刘海波, 孟红杰, 黄汉东, 魏新增, 廖建雄, 乔秀娟, 江明喜, 谷志容, 廖春林. 八大公山中亚热带山地常绿落叶阔叶混交林物种组成与结构. 植物科学学报, 2013, 31(4): 336-344.
- [32] 何春梅, 刘润清, 杨治春, 尹秋龙, 贾仕宏, 罗颖, 郝占庆. 秦岭皇冠暖温性落叶阔叶林物种组成与群落结构. 应用生态学报, 2021, 32 (8): 2737-2744.
- [33] 黄琴, 邓洪平, 王茜, 宗秀虹, 杨小艳, 王国行. 四川花萼山国家级自然保护区野生种子植物区系多样性分析. 西北植物学报, 2015, 35 (10): 2103-2110.
- [34] 徐敏, 骆争荣, 于明坚, 丁炳扬, 吴友贵. 百山祖北坡中山常绿阔叶林的物种组成和群落结构. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2007, 33(4): 450-457.
- [35] 陈大新, 朱兆泉, 欧阳志. 神农架自然保护区生物多样性特征分析. 湖北林业科技, 2000, 29(4): 5-10.
- [36] 葛结林, 熊高明, 邓龙强, 赵常明, 申国珍, 谢宗强. 湖北神农架山地米心水青冈-多脉青冈混交林的群落动态. 生物多样性, 2012, 20 (6): 643-653.
- [37] 陈子英, 谢长富, 毛俊杰, 赖玉菁, 林世宗, 胡哲明, 徐增峰, 杨正钊, 孔祥璿, 林哲荣, 陈品邑. 冰河孑遗的夏绿林-台湾水青冈 // 台北: 行政院农业委员会林务局, 2011.
- [38] 蒋露. 水青冈属系统发育和生物地理研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2022.
- [39] 赵常明, 陈庆恒, 乔永康, 潘开文. 青藏东缘岷江上游亚高山针叶林人工恢复过程中物种多样性动态. 植物生态学报, 2002, 26(S1): 20-29.
- [40] 沙迎迎, 袁志良, 朱学灵, 庄静静, 殷卫抗, 郭建荣, 叶永忠. 宝天曼短柄栎林 1 公顷样地物种组成与群落结构. 河南农业科学, 2012, 41(8): 148-153.
- [41] 田慧霞, 李钧敏, 毕润成, 闫明, 乔秀红. 山西太岳山白桦种群结构和空间分布格局. 生态学杂志, 2017, 36(1): 1-10.
- [42] 樊凡, 赵联军, 马添翼, 熊心雨, 张远彬, 申小莉, 李晟. 川西王朗亚高山暗针叶林 25.2 hm² 动态监测样地物种组成与群落结构特征. 植物生态学报, 2022, 46(9): 1005-1017.
- [43] 张晓红, 张会儒, 卢军, 胡雪凡. 长白山蒙古栎次生林群落结构特征及优势树种空间分布格局. 应用生态学报, 2019, 30(5): 1571-1579.