

木林子高山矮曲林群落结构与物种多样性

艾鑫¹, 唐丽², 艾训儒¹, 朱江¹, 向钦¹, 吴举扬¹, 薛卫星^{2*}

(1. 湖北民族大学园艺学院, 湖北 恩施 445000; 2. 华中农业大学园艺林学学院, 武汉 430000)

摘要: 为加强木林子高山矮曲林的保护, 采用样地调查法, 对其群落基本结构和物种多样性进行了分析。结果表明, 矮曲林中共有木本植物 19 科 31 属 53 种, 青冈(*Quercus glauca*)是群落的优势种, 壳斗科(Fagaceae)和杜鹃花科(Ericaceae)是矮曲林群落的优势科。群落的 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数分别为 1.411、0.559 和 0.522, 受环境影响, 矮曲林群落多样性水平较低, 多数植物在演替中被环境淘汰。该群落区系起源古老, 深受热带区系的影响, 具有温带区系的性质, 表现出明显的亚热带到温带过渡的特性。在群落中, 整体径级结构呈倒“J”型分布, 自然更新良好, 优势种青冈的径级结构与群落整体相似, 在演替过程中占据优势地位。这为木林子高山矮曲林的保护和科学管理以及后期建设提供理论依据。

关键词: 高山矮曲林; 物种多样性; 植物区系; 群落结构

doi: 10.11926/jtsb.4850

CSTR:32235.14.jtsb.4850

Community Structure and Species Diversity of the Krummholz in Mulinzi Nature Reserve

AI Xin¹, TANG Li², AI Xunru¹, ZHU Jiang¹, XIANG Qin¹, WU Juyang¹, XUE Weixing^{2*}

(1. School of Forestry and Horticulture, Hubei Minzu University, Enshi 445000, Hubei, China; 2. College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430000, China)

Abstract: In order to strengthen the protection of krummholz in Mulinzi Nature Reserve, its community structure and species diversity were analyzed by means of sample site survey. The results showed that there were 53 species of woody plants belonging 19 families 31 genera. *Quercus glauca* was dominant species, and Fagaceae and Ericaceae were dominant family in the community. Shannon-Wiener diversity index, Simpson dominance index and Pielou evenness index were 1.411, 0.559 and 0.522, respectively, indicating that the diversity of the community was low, and most plants were eliminated by the environment during succession. The community flora had an ancient origin, was deeply influenced by tropical flora with temperate character, showing obvious transition characteristics from subtropical to temperate zone. The diameter class structure of the community showed an inverted “J” type distribution, and the natural regeneration was good. The dominant species *Q. glauca* had a similar diameter class structure to the community, and occupied a dominant position in the succession process. Therefore, it would provide a theoretical basis for the protection, scientific management and later construction of the moss dwarf forest on the top of the mountain.

Key words: Krummholz; Species diversity; Plant flora; Community structure

在人类活动、自然灾害等多方面因素作用下, 系统的主体, 受环境变化的影响是直接且多方面的, 尤其是本身就处于极端环境下的群落^[1]。高山全球性生态环境问题愈发严峻, 森林作为陆地生态

收稿日期: 2023-09-30 接受日期: 2023-12-19

基金项目: 中国生态环境部生物多样性调查评估项目(2019HJ2096001006)资助

This work was supported by the Project for Biodiversity Investigation and Assessment of Ministry of Ecology and Environment of China (Grant No. 2019HJ2096001006).

作者简介: 艾鑫(2000 年生), 硕士研究生, 研究方向为森林生态系统结构与功能。E-mail: 3521471989@qq.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 1290529342@qq.com

矮曲林是生长在高海拔山顶或山脊上的一种特殊群落植被类型^[2], 具有独特的群落外貌特征, 如树木低矮, 树干分枝多而稠密, 树冠常顺主风方向倾斜, 树干、分枝及生境中常覆有较厚苔藓植物, 也常被称为高山矮林^[3]、山顶矮林^[4]、云雾林^[5]。高山矮曲林由于地处高海拔的森林生态系统边缘林线处, 独特的生态环境条件使其对气候变化的反应相对其他植被类型更为敏感, 当前极端天气频发, 可能导致该生态系统退化, 甚至消失, 因此研究该特殊群落生态学和了解全球气候变化响应具有极为重要的指示意义^[6-8]。

木林子国家级自然保护区拥有典型的亚热带常绿阔叶混交林, 区内垂直高差大, 植物多样性丰富, 林分结构复杂, 其中部分亚热带常绿阔叶混交林在高海拔区域山地特殊环境的长期作用下演化形成了特殊的高山矮曲林群落, 被确认为该保护区内最具特色的保护对象之一。目前对于高山矮曲林系统性的研究较少^[9], 除部分地区对其基本生境特点、本底调查^[10]、物种组成^[11]、物种空间分布格局^[12]和区系分析^[13]有初步研究外, 鲜见群落结构和物种多样性研究。森林生态系统群落结构与物种多样性一直是生态学领域的研究重点^[14]。群落结构的研究直观体现了群落的形态与结构特征, 反映出群落对环境的适应与调节能力^[15-16]。物种多样性则是衡量一定区域物种丰富程度的客观指标, 物种多样性的大小会影响群落的稳定性和生态系统功能^[17]。该地区高山环境下矮曲林物种的分布和多度还不明确, 群落形成和演化机制有待研究。本研究采用样地调查法对木林子保护区高山矮曲林进行研究, 明确木林子高山矮曲林群落物种组成、区系特征、群落结构与物种多样性, 揭示群落发展现状与发展趋势, 为木林子高山矮曲林的保护和科学管理以及后期建设提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于湖北省恩施土家族苗族自治州鹤峰县木林子国家级自然保护区(109°59'30"~110°17'58" E, 29°55'59"~30°10'47" N)核心区境内, 该区域属武陵山余脉, 海拔 1 100.0~2 095.6 m, 平均 1 200 m 以上。保护区植被属亚热带常绿阔叶混交林, 因相对高差差距显著, 立体气候差异显著, 低山、

中山、高山依次表现为湿润、温和、温凉, 区域内动植物资源丰富, 森林植被类型丰富, 群落及群系发育健全。常绿阔叶混交林是鄂西南地区最典型、最具代表性和最占优势的生态系统, 主要由壳斗科(Fagaceae)、樟科(Lauraceae)、木兰科(Magnoliaceae)和山茶科(Theaceae)等常绿阔叶树种组成。木林子保护区核心区“牛池峰”最高海拔达 2 095.6 m, 是湖北长江以南第一高峰, 沿牛池峰向西北、东南方向沿伸的主山脊线上的群落外貌独特, 是特殊的高山矮曲林群落, 其生境特点是光照强、温度较低、昼夜温差大、湿度大、生境条件差。

1.2 研究方法

在保护区内高山矮曲林资源分布较集中的地段, 按照国家标准《森林生态系统长期定位观测方法(GB 33027—2016)》并参照 CTFS 大样地建立标准和技术规范, 设置面积为 0.6 hm² 的固定样地, 用全站仪将整个样地划分 15 个 20 m×20 m 的大样方。在每个大样方内细分为 16 个 5 m×5 m 的小样方, 以样地西南角为原点, 东西向为横轴(X), 南北向为纵轴(Y), 对小样方依次调查, 记录胸径(DBH)≥1 cm 的树木个体的位置、胸径、树高和生长状况等, 位置以坐标值表示, 坐标值直接用相对距离(m)表示, 并记录每个样地的经纬度、海拔、坡度、坡向、坡位等基础信息。

1.3 数据的统计分析

重要值 统计各木本植物物种的多度和频度, 计算重要值, 以反映其在群落中的优势度。重要值(IV)=(相对多度+相对频度+相对显著度)/3×100%^[18], 相对多度(RA)= $a_i / \sum_{i=1}^n a_i \times 100\%$, 相对频度(RF)= $f_i / \sum_{i=1}^n f_i \times 100\%$; 相对显著度(RP)= $P_i / \sum_{i=1}^n P_i \times 100\%$, 式中, a_i 为物种 i 的密度, f_i 为物种 i 在样地中出现的频度, P_i 为物种 i 的显著度。

物种多样性 采用 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数及 Pielou 均匀度指数分析调查区域内矮曲林群落物种多样性特征^[19], Shannon-Wiener 指数: $H' = -\sum P_i \ln P_i$, Simpson 指数: $D = 1 / \sum P_i^2$, Pielou 均匀度指数: $J = H' / \ln S$, 式中, P_i 为第 i 种的相对多度; S 为样地内出现的物种数; $P_i = N_i / N$, N_i 表示物种 i 的个体数量。

群落区系分析 参照吴征镒等^[20-21]关于世

界种子植物区系的分布区类型以及我国科、属地理区系成分的划分,对木林子高山矮曲林样地木本植物进行区系特征分析。

径级与高度级划分 根据矮曲林群落中木本植物个体的胸径(DBH)和树高(H)分布,将 DBH 分为 7 个等级,第 I 级: 0~5 cm,第 II 级: 5~10 cm,第 III 级: 10~15 cm,第 IV 级: 15~20 cm,第 V 级: 20~25 cm,第 VI 级: 25~30 cm 和第 VII 级: >30 cm。将树高(H)划分为 4 个等级,第 1 级 H1: 0~3 m,第 2 级 H2: 3~6 m,第 3 级 H3: 6~9 m 和第 4 级 H4: >9 m。

2 结果和分析

2.1 物种组成

高山矮曲林群落物种较为单一,木本植物个体(活立木)共有 2 832 株 53 种,隶属于 19 科 31 属,个体数最多的为青冈(*Quercus glauca*),有 1 735 株,占总株数的 61.23%,其次为齿缘吊钟花(*Enkianthus serrulatus*),有 303 株,占总株数的 10.7%。主要的科属为壳斗科 4 属 7 种、杜鹃花科 3 属 5 种和蔷薇科 3 属 7 种等。杜鹃花属(*Rhododendron*)和花楸属(*Sorbus*)含有最多的物种数,均为 5 种,其次为青冈属(*Cyclobalanopsis*),有 4 种。矮曲林群落中杜鹃

资源较为丰富,耳叶杜鹃(*R. auriculatum*)、云锦杜鹃(*R. fortunei*)、粉白杜鹃(*R. hypoglaucum*)、长蕊杜鹃(*R. stamineum*)总株数达 164 株。群落中立木最大胸径达 41.5 cm,平均为 9.94 cm,立木密度 0.48 ind./m²。

从表 1 可见,群落林冠层的优势种是青冈,其重要值达 47.87%,在群落中作用和地位最大,其相对频度、相对多度和相对显著度均位居首位,在很大程度上决定了该群落的基本环境和群落外貌。其次是齿缘吊钟花,其重要值为 7.80%,相比其他乔木树种,也具有一定的优势,但优势不明显,且在 15 个样地中齿缘吊钟花幼树个体偏多,物种更新良好,说明其能适应矮曲林所处的环境。除青冈、齿缘吊钟花外,还有其他乔木 50 余种,如美脉花楸(*Sorbus caloneura*)、绿叶甘槠(*Lindera neesiana*)、耳叶杜鹃、云锦杜鹃、合轴荚蒾(*Viburnum sympodiale*)、康定冬青(*Fraxinus insularis*)、木姜子(*Litsea pungens*)、鹅耳枥(*Carpinus turczaninowii*)、多脉青冈(*Cyclobalanopsis multinervis*)、簇叶新木姜子(*Neolitsea confertifolia*)等,虽然各种在群落中的重要值均不超过 4%,但在提高群落物种多样性,增强群落稳定性上具有重要作用。木林子高山矮曲林群落中,除乔木层外,无明显的草本层,其灌木层大多属于杜鹃属

表 1 木林子高山矮曲林物种的重要值(前 20)

Table 1 Importance value (top 20) of species of krummholz in Mulinzi

植物 Species	相对频度 /% Relative frequency	相对多度 /% Relative abundance	相对显著度 /% Relative significance	重要值 /% Importance value
青冈 <i>Quercus glauca</i>	6.76	61.26	75.58	47.87
齿缘吊钟花 <i>Enkianthus serrulatus</i>	6.31	10.70	6.40	7.80
美脉花楸 <i>Sorbus caloneura</i>	6.31	3.14	2.48	3.98
绿叶甘槠 <i>Lindera neesiana</i>	5.41	2.51	1.77	3.23
耳叶杜鹃 <i>Rhododendron auriculatum</i>	4.50	2.26	0.99	2.59
云锦杜鹃 <i>R. fortunei</i>	3.60	2.22	1.09	2.31
合轴荚蒾 <i>Viburnum sympodiale</i>	4.05	0.99	0.08	1.71
康定冬青 <i>Fraxinus insularis</i>	3.60	0.78	0.70	1.69
木姜子 <i>Litsea pungens</i>	3.60	1.13	0.30	1.68
鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>	3.60	0.42	0.72	1.58
多脉青冈 <i>Cyclobalanopsis multinervis</i>	1.80	1.59	1.32	1.57
簇叶新木姜子 <i>Neolitsea confertifolia</i>	3.15	0.92	0.44	1.50
小果珍珠花 <i>Lyonia ovalifolia</i>	2.25	1.27	0.55	1.36
山矾 <i>Symplocos sumuntia</i>	2.70	0.67	0.50	1.29
中华槭 <i>Acer sinense</i>	3.15	0.35	0.33	1.28
中华石楠 <i>Photinia beauverdiana</i>	2.70	0.53	0.42	1.22
小叶青冈 <i>Quercus myrsinifolia</i>	2.70	0.60	0.25	1.18
城口桤叶树 <i>Clethra fargesii</i>	2.25	0.81	0.18	1.08
狭叶冬青 <i>Ilex fargesii</i>	1.80	0.81	0.55	1.05
白檀 <i>Symplocos tanakana</i>	1.80	0.39	0.72	0.97

植物幼苗，这是其群落特殊性之一，整个群落基本以矮小乔木为主，构成了整个木林子高山矮曲林的群落外貌。

2.2 群落物种多样性分析

从表 2 可见，样地中平均有 14.8 种植物，最多的样地有 24 种，最少的有 9 种；Shannon-Wiener 多

样性指数均值为 1.411，最大为 2.341，最小为 0.835；Simpson 多样性指数均值为 0.559，最大为 0.835，最小为 0.327；Pielou 均匀度指数均值为 0.522，最大为 0.737，最小为 0.348。多数物种不能适应山顶大风、低温、积雪等恶劣环境，在群落演替过程中被淘汰，而生存下来的物种已逐渐适应恶劣的环境。

表 2 木林子高山矮曲林样地的物种多样性指数
Table 2 Species diversity index of krummholz in Mulinzi

样地 Plot	物种数 Number of species	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	Simpson 指数 Simpson index	Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index
1	11	0.909	0.376	0.379
2	20	1.803	0.685	0.602
3	11	0.835	0.327	0.348
4	13	1.141	0.455	0.445
5	9	0.979	0.403	0.445
6	16	1.341	0.527	0.484
7	12	1.029	0.425	0.414
8	15	1.538	0.648	0.568
9	15	1.042	0.403	0.385
10	19	1.639	0.640	0.557
11	13	1.617	0.716	0.630
12	17	2.080	0.795	0.734
13	12	1.422	0.585	0.572
14	15	1.442	0.559	0.533
15	24	2.341	0.835	0.737
平均 Mean	14.8	1.411	0.559	0.522

2.3 区系特征

调查区域中共有木本植物 53 种，隶属于 19 科 31 属，从科的分布区类型来看，木本植物的 19 科可划分为 7 类型 2 亚型(表 3)，除世界广布，泛热带分布、北温带分布最多，占总科数的 23.53%；东亚及热带南美间断分布、旧世界热带分布各有 3 科，均占总科数的 17.65%；热带亚洲-大洋洲和热带美洲、热带亚洲(印度-马来西亚)、北温带和南温带间断分布 3 种分布类型在所有科中都仅有 1 科，分别为山矾科(Symplocaceae)、五列木科(Pentaphylacaceae)、木兰科。其中尤其以壳斗科植物数量居多，青冈占据优势地位，构成了群落的基本外貌特征。

属的分布类型可分为世界广布、热带、温带 3 大类(表 4)，除世界广布类型，温带分布最多，占 65.52%，温带中又以北温带分布最多，共 10 属，占 34.48%，其中典型属包括杜鹃花属、花楸属、荚蒾属(*Viburnum*)、栎属(*Quercus*)、水青冈属(*Fagus*)、桦木属(*Betula*)等，这些属所含植物占据群落大部分资源，竞争较强，同时体现出矮曲林群落中温带分

布植物较多。而热带分布总和为 10 属，占 34.48%，其中泛热带分布包括冬青属(*Ilex*)、海桐属(*Pittosporum*)、山矾属(*Symplocos*) 3 属，东亚及热带南美间断分布包括柃属(*Eurya*)、木姜子属(*Litsea*)、桫欏树属(*Clethra*)，旧世界热带、中国-日本 2 种分布类型在 31 属里面都仅有 1 属，分别是新木姜子属(*Neolitsea*)和锦带花属(*Weigela*)，对应簇叶新木姜子、半边月 2 种植物。各个分布类型的属所对应的物种构成了木林子高山矮曲林的基础生态系统，相互竞争，相互协助，获取生长发育所需的营养物质。对各物种属分布类型的划分能够更好的分析矮曲林的起源。

2.4 径级结构

从图 1 可见，矮曲林群落径级结构呈半正态分布，林木个体数随着径级的增大而逐渐降低，为典型天然异龄林直径分布结构，其中Ⅰ级和Ⅱ级林木个体数最多，分别为 872 和 814 株，占总株数的 30.79% 和 28.74%，表明幼树数量充足，自然更新状况良好；而胸径在 20 cm 以上的林木个体总计有 269

株, 仅占总株数的 9.5%, 且所有林木个体胸径平均值仅为 10 cm, 结合该森林生态系统的林分起源, 表明林木生长缓慢, 这可能是由于海拔、温度、风向、风速、太阳辐射等因素综合作用的结果。群落中青冈种群胸径在 20 cm 以上的个体数为 236 株, 占胸径 20 cm 以上个体数的 87.73%, 表明在该群落种间竞争过程中青冈占据绝对优势, 且青冈小径级个体充足, 在未来一段时间内青冈将依然占据优势地位。

表 3 木林子高山矮曲林种子植物科的分布类型

Table 3 Areal type of seed plant family of krummholz in Mulinzi

分布区类型 Areal type	科数 Number of family	%
1 世界广布 Cosmopolitan	2	—
2 泛热带分布 Pantropic	4	23.53
2-1 热带亚洲-大洋洲和热带美洲分布 Trop. Asia-Australasia & Trop. Amer.	1	5.88
3 东亚及热带南美间断分布 E. Asia & Trop. South Amer. disjunct	3	17.65
4 旧世界热带分布 Old World Trop.	3	17.65
7 热带亚洲(印度-马来西亚)分布 Trop. Asia (Indo-Malesia)	1	5.88
8 北温带分布 North Temperate	4	23.53
8-4 北温带和南温带间断分布 North Temperate & South Temperate disjunct	1	5.88

表 4 木林子高山矮曲林种子植物属的分布类型

Table 4 Areal type of seed plant genera of krummholz in Mulinzi

分布区类型 Areal type	属数 Number of genus	%
1 世界广布 Cosmopolitan	2	—
2 泛热带分布 Pantropic	3	10.34
3 东亚及热带南美间断分布 E. Asia & Trop. South Amer. disjunct	3	10.34
4 旧世界热带分布 Old World Trop.	1	3.45
7 热带东南亚至印度-马来, 太平洋诸岛分布 Trop. Southeast Asia to Indo-Malaya & Trop. Southwest	3	10.34
8 北温带分布 North Temperate	10	34.48
9 东亚及北美间断分布 E. Asia & North Amer. disjunct	4	13.79
14 东亚分布 E. Asia	4	13.79
14SJ 中国-日本分布 Sino-Japan	1	3.45

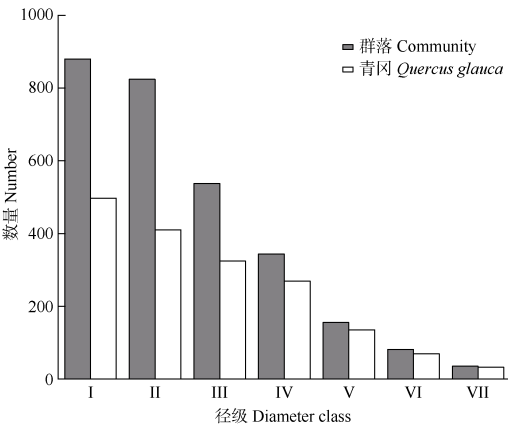


图 1 高山矮曲林群落和青冈的径级结构

Fig. 1 Diameter class structure of krummholz community and *Quercus glauca*

2.5 树高结构

从图 2 可见, 群落中树高以 H2 和 H3 的个体数最多, 占 85.66%, H4 的个体仅占 1.98%, 且树高最大仅为 12 m, 林分整体平均树高仅为 5.68 m, 可见乔木层垂直结构无明显林分分层, 为典型的单层林。主要形成原因可能是由于该群落生长于山脊线上, 受低温、降雪、大风、高紫外线等环境因素的综合影响, 导致林木个体树干弯曲、匍匐状生长, 以此适应特殊的生态环境。

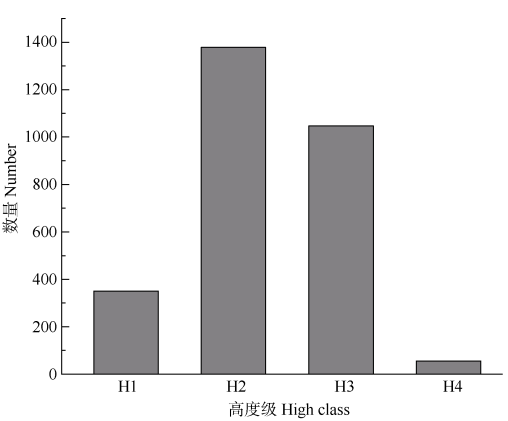


图 2 群落的树高结构

Fig. 2 Tree height structure of community

3 讨论和结论

3.1 木林子高山矮曲林物种组成特征

森林生态系统物种组成与群落结构分析对阐释森林稳定性和演替规律具有重要意义^[22]。通过对木林子高山矮曲林群落结构特征的分析,样地内物种数 19 科 31 属 53 种,而在同区域低海拔地区的常绿阔叶混交林群落中木本植物达到了 61 科 112 属 228 种^[23],可见矮曲林群落因海拔、气候、地形等多方面因素的作用,物种数量大大降低;而位于云南中部的哀牢山高山矮曲林群落物种数达到 38 科 53 属 73 种,物种数多于本区域,主要原因可能是湖北木林子国家级自然保护区的矮曲林群落已接近我国矮曲林分布的北边缘,该类群落主要分布于我国南方部分区域,最北限分布于秦巴山区^[24],而湖北地区已属于这些省份的较北端,其区域温度低于低纬度地区,故物种数量有所降低,这也符合物种数随纬度升高而逐渐降低的一般规律^[25]。本研究区矮曲林群落中青冈的重要值达到 47.87%,在群落中占据绝对优势地位,该种群在很大程度上决定了该群落的群落外貌特征。根据国内相关研究,高山矮曲林主要优势种为杜鹃花科植物,杜鹃林系是我国东部区域最具代表性的高山矮曲林^[26-27],热带和亚热带山区曾是杜鹃花科分化发展的最大集中中心,经过高山气候的演变逐渐形成现在各地区形形色色的矮曲林,这也是如今各地区矮曲林群落内杜鹃花科植物成为优势种或者主要种的原因。而该研究区域矮曲林主要优势种为壳斗科和杜鹃花科植物,且以壳斗科植物为主导,区别于其他的矮曲林杜鹃林系,这可能与研究区所处地域及群落演替规律有关,构成又一独特的森林生态系统。不同林系矮曲林的探索加大了矮曲林的研究意义,丰富了矮曲林的群落类型。

3.2 木林子高山矮曲林群落物种多样性

物种多样性反映了群落物种的数量和分布的均匀程度,其丰富度值越高说明群落内物种越丰富^[28]。木林子矮曲林群落的物种多样性不管是用物种多样性指数(Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数)还是均匀度指数(Pielou)来衡量,结果比较一致,总体上矮曲林群落物种多样性不高,均匀度较低,但 Simpson 指数相对较大,说明群落内优势种明显。木林子矮曲林所处的位置纬度较高,群落各项多样性指标明显低于中越边境西隆山(中国部分)的山地苔

藓林^[11]、无量山地区的山顶苔藓矮林^[13]等,且矮曲林物种多样性各项指标又明显低于木林子海拔较低处的森林群落^[29]。随着纬度和海拔的升高,群落的物种多样性会随之降低,而对于木林子矮曲林这一群落来看,这 3 个多样性指数能够清晰的反映这一趋势,另外,坡度、林龄、郁闭度等也都是影响群落物种多样性的因素之一^[4]。青冈是木林子矮曲林群落的主要优势种,而位于矮曲林下方的大样地,青冈也是其优势种之一;同时,两个群落在物种组成上存在相似性,可以推测木林子矮曲林的林分构成受下方森林群落的影响很大,甚至是下方森林群落的延伸部分。在木林子矮曲林群落仅有 1 株的物种有灰柯(*Lithocarpus henryi*)、陕甘花楸(*Sorbus koehneana*)、水榆花楸(*Sorbus alnifolia*)、微毛樱桃(*Cerasus clarifolia*)、尖叶四照花(*Cornus elliptica*)、冻绿(*Rhamnus utilis*)、细枝柃(*Eurya loquaiana*),这些稀有种虽然在样地中不占优势,但对于维持森林生态系统生物多样性和群落稳定性具有重要作用,有助于矮曲林群落更好的应对外界干扰。另外,由于木林子矮曲林分布的海拔较高,很少受到人类活动的干扰,群落保留了较原始的状态,这为研究木林子山地植被的基本分布和生态等提供了良好条件。

3.3 木林子高山矮曲林植物区系分布特征

木林子矮曲林群落的植物区系特征明显,以青冈为优势种的壳斗科,群落内广泛出现的樟科、桦木科、木兰科等表明群落植物区系起源较为古老。科的分布类型中,热带分布类型及其分布变型占区系科的第一位,而属的分布类型中,温带分布类型及其变型占了区系属的最大比例,由此可见,木林子矮曲林群落区系深受热带区系的影响,又具有温带区系的性质。其区系特点与分布在其下部的常绿阔叶林有所不同^[23],与之相比,木林子矮曲林科级的热带成分增加了,这与矮曲林内广布的壳斗科等植物有关^[30],为矮曲林热带起源提供了部分依据。下一步研究方向可加大木林子矮曲林的研究范围,纳入更多物种的区系分析,这将进一步剖析矮曲林的起源问题,为木林子矮曲林接下来的演替和发展提供参考方向,促进该特殊群落的研究进展。

3.4 木林子高山矮曲林群落径级、树高结构特征

群落内物种的径级结构和垂直结构是种群的重要特征,分析种群的径级、垂直结构,能够反映群落在一定时间段内的更新状况,同时可以体现群

落的动态变化特征^[31]。木林子矮曲林样地中所有乔木个体径级结构呈现倒“J”型,小径级个体充足,说明鄂西南地区矮曲林群落自然更新良好,但不能排除恶劣环境导致各种群生长缓慢的原因。林分整体平均胸径达 9.9 cm,相较于浙江古田山^[16]、湖南八大公山^[32]及同地区的七姊妹山^[15]大,可见木林子矮曲林林分年龄较大。林分垂直结构为典型的单层林,乔木层无明显的林层分化,所有植株都相对曲化、低矮,主要原因可能是土壤贫瘠,温度较低、山风强烈等环境因素抑制了植株垂直方向的生长发育。矮曲林这一特殊群落在生态学上意味着山地森林带的发展上限,但其本身并不是真正的林线,而是在山体的高度或山地特殊环境因素的影响下出现的一种植物群落,可称之为假林线,这在地理学和生态学上具有重要的研究意义。

群落中优势种青冈的径级结构与群落整体相似,小径级个体数较多,这表明青冈种群为增长型,天然更新状态良好,在群落演替过程中青冈种群将依然占据优势地位;调查过程中发现青冈种群更新方式主要为萌蘖,而各种杜鹃花科植物天然更新方式依然为种子繁殖,这可能是木林子矮曲林群落青冈种群占据绝对优势的原因之一。另外,群落中的植株具有分支多且粗壮,无明显主干,冠幅较大的形态特征;说明在恶劣的环境中,植物采取特殊的生长策略适应环境,进而更好的占据空间、利用资源,增加自身竞争力。这种独特的环境所形成的特殊群落结构为研究我国亚热带地区植被与环境的相互影响关系提供了一个很好的研究对象。

综上,通过对木林子国家级自然保护区高山矮曲林样地的调查分析,共发现木本植物 19 科 31 属 53 种,整体物种多样性较低,主要优势物种为青冈,但群落物种区系组成丰富,总体表现为泛热带、温带性质较强的特点。在山地特殊环境的影响下,部分种群为适应环境,繁殖方式发生变化,形成了明显的单层林结构,样地内小径级个体充足,群落天然更新良好。高山矮曲林作为一种高海拔分布的特殊植被类型,对其群落结构和物种多样性的研究有着重要的生态作用。

参考文献

- [1] LI F L, BAO W K. Responses of the morphological and anatomical structure of the plant leaf to environmental change [J]. *Chin Bull Bot*, 2005, 22(S1): 118–127. [李芳兰, 包维楷. 植物叶片形态解剖结构对环境变化的响应与适应 [J]. *植物学通报*, 2005, 22(S1): 118–127.]
- [2] WU Z Y, ZHU Y C. *Vegetation of Yunnan* [M]. Beijing: Science Press, 1987. [吴征镒, 朱彦丞. 云南植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1987.]
- [3] WU Z Y. *Vegetation of China* [M]. Beijing: Science Press, 1980: 353–355. [吴征镒. 中国植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1980: 353–355.]
- [4] Guangdong Institute of Botany. *Guangdong Vegetation* [M]. Beijing: Science Press, 1976: 211–213. [广东省植物研究所. 广东植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1976: 211–213.]
- [5] STADTMÜLLER T. *Cloud Forests in the Humid Tropics: A Bibliographic Review* [M]. Tokyo: United States University, 1987.
- [6] BANWA T P. Diversity and endemism in mossy/montane forests of Central Cordillera Region, Northern Philippines [J]. *Biodiversity*, 2011, 12(4): 212–222. doi: 10.1080/14888386.2011.649561.
- [7] HU J, RIVEROS-IREGUI D A. Life in the clouds: Are tropical montane cloud forests responding to changes in climate? [J]. *Oecologia*, 2016, 180(4): 1061–1073. doi: 10.1007/s00442-015-3533-x.
- [8] SHI J P. Community ecology and biogeography of the mossy dwarf forest in Yunnan [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2007. [施济普. 云南山顶苔藓矮林群落生态学与生物地理学研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2007.]
- [9] XU J, WANG X H. Distribution and characteristics of the mossy dwarf forests in China [J]. *J E China Norm Univ (Nat Sci)*, 2010(4): 44–57. [徐捷, 王希华. 中国高山矮曲林的分布及其特征 [J]. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2010(4): 44–57. doi: 10.3969/j.issn.1000-5641.2010.04.006.]
- [10] JIN Z Z. The Mossy Dwarf Forest and Secondary Shrub in Daxueguoshan and Ailaoshan in Xinping [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 1983. [金振洲. 哀牢山新平大雪锅山山顶苔藓矮林及其次生灌丛 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 1983.]
- [11] SHUI Y M, ZHANG G J, CHEN W H, et al. Montane mossy forest in the Chinese part of the Xilongshan Mountain, bounding China and Vietnam, Yunnan Province, China [J]. *Acta Bot Yunnan*, 2003, 25(4): 397–414. [税玉民, 张广杰, 陈文红, 等. 中越边境西隆山(中国部分)的山地苔藓林 [J]. *云南植物研究*, 2003, 25(4): 397–414. doi: 10.3969/j.issn.2095-0845.2003.04.002.]
- [12] LEDO A, CONDÉS S, ALBERDI I. Forest biodiversity assessment in Peruvian Andean montane cloud forest [J]. *J Mountain Sci*, 2012, 9(3): 372–384. doi: 10.1007/s11629-009-2172-2.
- [13] PENG H, YANG S X, KONG D R. Study on the floristic characteristics of summit dwarf forest in Mt. Wuliangshan [J]. *J Yunnan Univ (Nat Sci)*, 2001, 23(S1): 5–10. [彭华, 杨世雄, 孔冬瑞. 无量山山顶苔藓矮林植物区系特征研究 [J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2001, 23(S1): 5–10.]
- [14] IVES A R, CARPENTER S R. Stability and diversity of ecosystems [J]. *Science*, 2007, 317(5834): 58–62. doi: 10.1126/science.1133258.
- [15] YAO L, AI X R, YI Y M, et al. Structure and dynamics of dominant populations in the mixed forest of subtropical evergreen and deciduous

- broad-leaved tree species in the southwest of Hubei Province [J]. *Sci Silv Sin*, 2017, 53(2): 10–18. [姚兰, 艾训儒, 易咏梅, 等. 鄂西南亚热带常绿阔叶混交林优势种群的结构与动态特征 [J]. 林业科学, 2017, 53(2): 10–18. doi: 10.11707/j.1001-7488.20170202.]
- [16] 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]. *Chin J Plant Ecol*, 2008, 32(2): 262–273. [祝燕, 赵谷凤, 张偲文, 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, 32(2): 262–273. doi: 10.3773/j.issn.1005-264x.2008.02.004.]
- [17] XU W, MA Z Y, JING X, et al. Biodiversity and ecosystem multifunctionality: advances and perspectives [J]. *Biodiv Sci*, 2016, 24(1): 55–71. [徐炜, 马志远, 井新, 等. 生物多样性与生态系统多功能性: 进展与展望 [J]. 生物多样性, 2016, 24(1): 55–71. doi: 10.17520/biods.2015091.]
- [18] DENG X L, WU Y, LAI M Y, et al. Studies on the characteristics of *Michelia odora* population and its community in south-central Jiangxi [J]. *Guihaia*, 2012, 32(2): 179–184. [邓贤兰, 吴杨, 赖弥源, 等. 江西中南部观光木种群及所在群落特征研究 [J]. 广西植物, 2012, 32(2): 179–184. doi: 10.3969/j.issn.1000-3142.2012.02.008.]
- [19] MA K P. Measurement method of community diversity: 1α diversity measurement method [J]. *Biodiv Sci*, 1994, 2(3): 162–168. [马克平. 生物群落多样性的测度方法: 1α 多样性的测度方法(上) [J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 162–168.]
- [20] WU Z Y, SUN H, ZHOU Z K, et al. Floristics of Seed Plants from China [M]. Beijing: Science Press, 2010. [吴征镒, 孙航, 周浙昆, 等. 中国种子植物区系地理 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.]
- [21] WU Z Y. The areal-types of Chinese genera of seed plants [J]. *Acta Bot Yunnan*, 1991, 13(S4): 1–139. [吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型 [J]. 云南植物研究, 1991, 13(S4): 1–139.]
- [22] FARDUSI M J, CASTALDI C, CHIANUCCI F, et al. A spatio-temporal dataset of forest mensuration for the analysis of tree species structure and diversity in semi-natural mixed floodplain forests [J]. *Ann Forest Sci*, 2018, 75(1): 11. doi: 10.1007/s13595-018-0688-8.
- [23] YAO L. The forest community structure and diversity of 15 hm² dynamics plot in Hubei Mulinzi Nature Reserve [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2016. [姚兰. 湖北木林子保护区 15 hm² 大样地森林群落结构及多样性 [D]. 北京: 北京林业大学, 2016.]
- [24] YAO Y H, ZHANG B P, ZHAO C. Geographical distribution of cripple tree forest and its importance for forest line in China [J]. *Prog Geogr*, 2017, 36(4): 491–499. [姚永慧, 张百平, 赵超. 中国矮曲林的分布特征及生态意义 [J]. 地理科学进展, 2017, 36(4): 491–499. doi: 10.18306/dlkxjz.2017.04.010.]
- [25] WU A C, DENG X W, REN X L, et al. Biogeographic patterns and influencing factors of the species diversity of tree layer community in typical forest ecosystems in China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2018, 38(21): 7727–7738. [吴安驰, 邓湘雯, 任小丽, 等. 中国典型森林生态系统乔木层群落物种多样性的空间分布格局及其影响因素 [J]. 生态学报, 2018, 38(21): 7727–7738. doi: 10.5846/stxb201710191882.]
- [26] JIN Z X, ZHOU R M, YE L X. Population structure and distribution pattern of *Rhododendron simiarum* population in Fengyang Mountain Natural Reservation [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2006, 34(22): 5860–5862. [金则新, 周荣满, 叶立新. 猴头杜鹃种群结构和分布格局研究 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34(22): 5860–5862. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2006.22.046.]
- [27] HU W Q, HUANG S N, LI J X, et al. Interspecific associations among dominant tree populations in an elfin forest community in Shikengkong of Nanling Mountains, China [J]. *Chin J Ecol*, 2013, 32(10): 2665–2671. [胡文强, 黄世能, 李家湘, 等. 南岭石坑崆山顶矮林乔木优势种群的种间关联性 [J]. 生态学杂志, 2013, 32(10): 2665–2671. doi: 10.13292/j.1000-4890.2013.0289.]
- [28] TANG Z H, ZHU Y J, TAN Y D, et al. Study on community characteristics and species diversity of *Forsythia suspensa* (Thunb.) Vahl community in Henan [J]. *J CS Univ Forest Technol*, 2013, 33(4): 28–33. [汤正辉, 祝亚军, 谭运德, 等. 河南省连翘灌丛群落特征及物种多样性研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(4): 28–33. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2013.04.012.]
- [29] YAO L, CUI G F, YI Y M, et al. Species diversity of woody plants in Mulinzi Nature Reserve of Hubei Province [J]. *Sci Silv Sin*, 2016, 52(1): 1–9. [姚兰, 崔国发, 易咏梅, 等. 湖北木林子保护区大样地的木本植物多样性 [J]. 林业科学, 2016, 52(1): 1–9. doi: 10.11707/j.1001-7488.20160101.]
- [30] DENG X L, GUO Z H, ZHANG S R, et al. Floristic characteristics and species diversity of vascular plants in montane elfin forest in Jinggangshan [J]. *J Jinggangshan Univ (Nat Sci)*, 2023, 44(1): 54–61. [邓贤兰, 郭智慧, 张水荣, 等. 井冈山山顶矮林维管植物区系特征与物种多样性研究 [J]. 井冈山大学学报(自然科学版), 2023, 44(1): 54–61. doi: 10.3969/j.issn.1674-8085.2023.01.009.]
- [31] CHEN J, AI X R, YAO L, et al. The typical forest community structure and diversity of the secondary forest in Mulinzi [J]. *J SW For Univ*, 2017, 37(6): 75–82. [陈俊, 艾训儒, 姚兰, 等. 木林子次生林中典型群落的结构及多样性研究 [J]. 西南林业大学学报, 2017, 37(6): 75–82. doi: 10.11929/j.issn.2095-1914.2017.06.013.]
- [32] LU Z J, BAO D C, GUO Y L, et al. Community composition and structure of Badagongshan (BDGS) forest dynamic plot in a mid-subtropical mountain evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest, central China [J]. *Plant Sci J*, 2013, 31(4): 336–344. [卢志军, 鲍大川, 郭屹立, 等. 八大公山中亚热带山地常绿阔叶混交林物种组成与结构 [J]. 植物科学学报, 2013, 31(4): 336–344. doi: 10.3724/spj.1142.2013.40336.]