

广西猫儿山高山湿地植物区系特征与群落演替进程

黄歆怡¹, 谢强^{2*}, 丁丽琼¹, 谢振兴¹, 陆祖正¹, 谢彦军³, 余炳宁¹

1. 广西壮族自治区亚热带作物研究所, 广西南宁 530001; 2. 广西师范大学生命科学学院, 广西桂林 541006; 3. 河池学院化学与生物工程学院, 广西宜州 546300

摘要: 采用样方调查法对广西猫儿山高山湿地湿生草本植物到木本植物阶段的群落类型、物种多样性、演替度和径级结构进行分析, 探究植物区系特征与群落演替进程与趋势。结果共记录到维管植物 136 种, 隶属于 62 科 103 属, 单属科、单种属所占比例大。物种组成的地理成分较为复杂, 属的地理分布兼具热带、亚热带和北温带的过渡特征, 包含中国特有分布的 3 个属及特有树种铁杉, 多样性程度较高。铁杉湿地很少见, 该区域的铁杉湿地却保持得非常原始, 保护意义重大。植物种类数量一般会随着演替进程先增加后减少, 在演替中后期出现最大值, 植物种类丰富度高低并不能很准确地衡量群落的演替程度。根据重要值划分植物群系, 比较各演替度, 推测出该区域湿生草本植物到木本植物阶段的演替顺序为笋石菖草丛→条穗薹草丛→尾叶悬钩子灌丛→中华槭灌丛→华西箭竹灌丛→针阔混交林铁杉群落→常绿阔叶林褐叶青冈+山桂花群落→常绿落叶混交林吴茱萸五加林群落, 为自然条件下的正向演替。演替的最终结果会形成顶级群落。分析乔木群落优势种的径级结构, 在乔木群落阶段演替进程中, 各优势种群落发展趋势为铁杉群落波动较大, 褐叶青冈和山桂花为稳定群落, 以吴茱萸五加为主要落叶树种的种群发展有衰退趋势。故猫儿山高山湿地自然植被还处在进展演替中, 未形成最终稳定的森林群落。

关键词: 区系特征; 多样性; 群落演替; 高山湿地; 猫儿山

中图分类号: Q948 文献标识码: A

Floristic Characteristics and Community Succession in Alpine Wetland of Mao'er Mountain, Guangxi, China

HUANG Xinyi¹, XIE Qiang^{2*}, DING Liqiong¹, XIE Zhenxing¹, LU Zuzheng¹, XIE Yanjun³, YU Bingning¹

1. Guangxi Subtropical Crops Research Institute, Nanning, Guangxi 530001, China; 2. College of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541006, China; 3. College of Chemistry and Bioengineering, Hechi University, Yizhou, Guangxi 546300, China

Abstract: Based on the investigation of communities, the community type, species composition, diversity, succession degree and diameter breast-high structure of alpine wetland from wet herbaceous to woody plant stage in alpine wetland of Mao'er Mountain, Guangxi and exploring the succession process and trends of plant communities were analyzed using the quadrat method. 136 vascular plant species, belonging to 103 genera and 62 families, were recorded in the survey area. The proportion of single family and single species was large. Simpson index was high and the species diversity was rich. It had important status and high research value in the alpine wetland of Mao'er Mountain. The geographical composition of species was complex, with transitional characteristics of tropical, subtropical and north temperate zones, which containing the endemic genera of *Latouchea*, *Notoseris* and *Tsuga chinensis*. Wetlands of *T. chinensis* was rare, and the wetlands in this area remained pristine, which had great conservation significance. It was a composite structure which including grass, scrub and tree layers. Flora was divided several different communities by calculating the importance values of the species. Plant species richness was not an accurate measure of community succession. The number of

收稿日期 2022-05-17; 修回日期 2022-06-28

基金项目 广西自然科学基金项目 (No. 2022GXNSFBA035455); 广西农科院科技发展基金项目 (桂农科 2022YM15); 广西农科院基本科研业务专项项目 (桂农科 2021YT152)。

作者简介 黄歆怡 (1988—), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 植物分类学和保育生物学。*通信作者 (Corresponding author): 谢强 (XIE Qiang), E-mail: xieqiangbios@sina.com。

plant species generally increased and then decreased as succession progresses. And the maximum value occurred in the middle and late period of succession. It can be inferred that the succession sequence from wet herbaceous plant stage to woody plant stage is *Juncus prismatocarpus* grass→*Carex nemostachys* grass→*Rubus caudifolius* shrub→*Acer sinense* shrub→*Fargesia nitida* shrub→theropencedrymion of *T. chinensis* community→*laurilignosa* of *Cyclobalanopsis stewardiana* + *Bennettiodendron leprosipes* community→Mixed evergreen deciduous forest of *Gamblea ciliata* var. *Evodiaefolia* community. It was the forward succession under natural conditions. By analyzing the DBH structure of the dominant species in tree communities, the community succession was in process. *T. chinensis* community was large fluctuations, *C. stewardiana* and *B. leprosipes* was stable community, and there was a tendency of decline in population development of *G. ciliata* var. *Evodiaefolia* community. The end result of succession was formed a climax community. So it's still in the progress of succession in alpine wetland of Mao'er Mountain, the final stable forest community had not been formed so far.

Keywords: floristic characteristics; diversity; community succession; alpine wetland; Mao'er Mountain

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.04.022

广西猫儿山国家级自然保护区位于广西东北部, 为原生性亚热带山地植被保存最为完好的地区之一, 是具有国际意义的陆地生物多样性关键地区。猫儿山高山湿地于2006年被发现, 是世界上罕见的高山湿地。湿地生态系统生物多样性丰富, 与森林、海洋并列为全球三大生态系统类型。高山湿地是一种特殊的生态系统, 与湿地和森林相互依存, 又区别于2种纯粹的生态系统。湿地能涵养水源, 该生态系统中的微生物作为分解者能分解有机物, 为森林提供水分和养分, 而森林则为湿地提供了庇护。猫儿山是漓江、资江和浔江三大河流的主要发源地, 高山湿地蓄水量高, 保水能力强, 对维持当地生态系统的稳定发挥重要作用。而由于猫儿山景区的开发, 缺乏科学合理规划, 植被长期受到人为干扰和破坏, 水土流失严重, 一些植被退化为灌丛和草丛^[1]; 当地营造的多种人工竹林, 植物成分单一, 衰退较快, 区域生态环境问题突出; 森林管理的缺失和无限砍伐, 导致蓄水能力降低, 造成山体滑坡, 泥石流等自然灾害的发生, 严重地破坏了生态环境^[2]。协调猫儿山森林资源的开发利用与保护是当下亟待解决的生态问题。

生物多样性及其与生态系统功能之间的关系等研究是生态学研究热点之一^[3-4]。植物群落的多样性与演替研究为应对全球气候变化、森林经营与管理、退化山地植被恢复及生物多样性保护等提供理论基础^[5-7]。在自然条件下, 生物群落演替顺序遵循从简单到复杂, 最终会建立处于相对稳定的生态系统^[8], 群落演替受人类活动影响远超于其他自然因子。群落植被种类组成等的研究对群落演替等属性等具有重要的参考意义^[9]。恢

复与重建退化山地植被应参照当地自然植被种类组成, 选择优良的乡土适生物种^[10-11]。目前对猫儿山物种组成等植被的研究较多^[12-15], 湿地植被资源分类和群落恢复生态的研究也有较多报道^[16-18], 而对猫儿山高山湿地群落演替及其多样性研究尚未见报道。群落演替的原理可为人类的经济活动提供思路, 建立人工群落, 将演替的方向和速度置于人为控制之下。生态系统退化实为干扰下的逆向演替^[19], 生态恢复则是变群落的逆行演替为进展演替^[20]。通过群落演替规律, 结合森林恢复生态学理论, 可以调控森林群落, 为营造人工群落生境与植物种类的选择与搭配提供科学依据, 也可为本区域退化山地植被提供恢复和重建的参照系统。研究猫儿山高山湿地植物区系特征和群落演替对保护区的科学管理和经营具有现实意义。

1 材料与方法

1.1 材料

猫儿山属于中亚热带山地气候, 林区气候复杂, 局部地区变化非常大。研究区域位于广西猫儿山国家级自然保护区的八角田一带, 地处山间低洼盆地, 周围是海拔约1900 m的山峰, 沼泽地多, 地表水丰富, 湿地面积约240 km²。气候湿润, 相对湿度95%左右, 年均降雨量达2100 mm, 年均气温7~8℃。在高山与矮林之间, 形成了较为独特的气候环境, 为该区域植物的生存和群落演替提供了特殊的生境条件。

1.2 方法

以空间变化替代时间变化的方法, 对高山湿地生态系统区域内湿生草本植物到木本植物阶段

的植物群落进行实地调查。通过 Simpson 多样性指数、演替度和胸径级结构等评价指标分析物种多样性与植物演替规律。利用最小面积法原理,对区域内自然植物群落进行样地取样调查,设置草丛群落、灌丛群落和乔木群落 3 种样地类型。草丛群落设置 3 个大小为 5 m×5 m 的样地,每个样地设置 16 个 1 m×1 m 的套方,标记为 CB-01~03,地点分别为野人湖草丛、铁杉荟萃右上角湖泊草丛和猫儿山顶湖泊草丛;灌丛群落共设置 9 个大小为 5 m×5 m 的样地,标记为 GM-01~09,其中 GM-01~05 选在野人湖旁灌丛,GM-06~09 为猫儿山顶湖泊旁灌;根据不同的林相表征和地形特点,调查乔木群落样地 15 个,每个样地设置样方面积 20 m×20 m,标记为 QM-01~15,每个样方设置灌木套方 2 个(面积 4 m×4 m),草本套方 4 个(面积 1 m×1 m)。对样方中乔木种群记录其种名、株数、高度、胸径、冠幅等;灌木和草本植物记录其种名、株数、高度、盖度;记录各样方的环境因子,海拔、坡向、土壤类型等。

1.3 数据处理

1.3.1 重要值计算 重要值可以反映植物在群落中的重要程度,是计算和评估物种多样性的重要指标。利用 Excel 软件计算各群落乔木层和灌木层的植物种群的相对密度、相对频度、相对盖度、重要值(IV),通过计算群落物种重要值的方法来确定植物群系。计算公式为:

乔木重要值(IV)=(相对密度+相对频度+相对优势度)/3

灌草重要值(IV)=(相对密度+相对频度+相对盖度)/3

式中,相对密度=某个种个体数/植物总个体数×100%,相对频度=某个种的频度/所有种的频度总和×100%,相对优势度=某个种胸高断面面积/所有种胸高断面面积总和×100%,相对盖度=某个种盖度/全部种的总盖度×100%。

1.3.2 Simpson 多样性指数计算 采用 Simpson 多样性指数(D)表征植物丰富度。计算公式为:

$$\text{Simpson 指数 } D=1-(N_i/N)^2$$

式中, N_i 为第*i*种的个体数, N 为群落中全部物种的数量之和。

1.3.3 演替度计算 演替度(degree of succession)是判断演替进行程度的指标,用静态演替分析的演替度(D_j)法进行群落演替特征判断。

计算公式为:

$$\text{演替度 } D_j = \sum_{i=1}^P I_i d_i / P \times V$$

式中, D_j 为第*j*个群落(样方)的演替度; I_i 为种*i*的寿命,依据生活型确定,地上芽植物、地面芽植物和隐芽植物为 10,乔木记为 100; d_i 为种*i*的优势度,选择群落中各种群的重要值来计算; P 为种数; V 为植被率,为 100%。

1.3.4 径级结构计算 个体年龄常难以确定,采用胸径级结构(diameter breast-high)代替年龄结构的方法进行分析^[21-22]。选取乔木群落演替阶段中种群重要值较大的褐叶青冈(*Cyclobalanopsis stewardiana*)、铁杉(*Tsuga chinensis*)、山桂花(*Bennettiodendron leprosipes*)和吴茱萸五加(*Gamblea ciliata* var. *evodiaefolia*)乔木进行径级划分,按照 5 cm 级差逐级增加。将种群划分为 5 个径级,<3 cm 为 I 级,3 cm≤DBH<8 cm 为 II 级,8 cm≤DBH<13 cm 为 III 级,13 cm≤DBH<18 cm 为 IV 级,DBH≥18 cm 为 V 级。按此标准分别统计各径级株数,以径级为横轴,以各径级的现存个体数为纵轴,绘制 4 个优势种群径级结构形状图。

2 结果与分析

2.1 广西猫儿山高山湿地植被种群组成

样地调查结果(表 1)显示,在调查区中共记录到维管植物(蕨类植物采用秦仁昌分类系统,裸子植物采用郑万钧分类系统,被子植物遵循哈钦松系统)136 种,隶属 62 科 103 属,其中蕨类植物 13 种,隶属 10 科 11 属;裸子植物仅有铁杉 1 种,隶属松科(Pinaceae)铁杉属;被子植物 122 种,隶属 51 科 91 属。其中,菊科(Compositae)植物记录了 12 种、杜鹃花科(Ericaceae)植物 8 种、蔷薇科(Rosaceae)和莎草科(Cyperaceae)植物各 7 种等;杜鹃属(*Rhododendron*)植物记录了 6 种、薹草属(*Carex*)植物 5 种和悬钩子属(*Rubus*)植物 5 种等。根据各分类群的种类组成数量多样性大小比较其优势程度,可推测出研究区域植被优势科为菊科,其次为杜鹃花科、蔷薇科、莎草科等;优势属为杜鹃属,其次为薹草属、悬钩子属等。单属科 42 个,占总科数的 67.74%;单种属 86 个,占总属数的 83.50%,单属科、单种属所占比例很大,种类较为丰富。植物种类组

成是研究群落特征的第一步，也是鉴别不同群落类型的基本特征。猫儿山高山湿地植被主要包括了湿生草本植物和陆生木本植物，其中湿生植物种类主要为灯心草科（*Juncaceae*）、莎草科

（*Cyperaceae*）和禾本科（*Gramineae*）等科的植物，以笄石菖（*Juncus prismatocarpus*）、条穗薹草（*C. nemostachys*）和无芒山涧草（*Chikusichloa mutica*）等植物为优势种。

表 1 广西猫儿山高山湿地植被物种组成
Tab. 1 Vegetation species composition in alpine wetland of Mao'er Mountain, Guangxi

科名 Family name	物种 Species	学名 Scientific name	科名 Family name	物种 Species	学名 Scientific name
石松科	垂穗石松	<i>Palhinhaea cernua</i>	五加科	食用土当归	<i>Aralia cordata</i>
紫萁科	紫萁	<i>Osmunda japonica</i>	五加科	树参	<i>Dendropanax dentigerus</i>
膜蕨科	华东膜蕨	<i>Hymenophyllum barbatum</i>	五加科	吴茱萸五加	<i>Gamblea ciliata</i> var. <i>evodi-aeifolia</i>
稀子蕨	大叶稀子蕨	<i>Monachosorum subdigitatum</i>	伞形科	紫花前胡	<i>Angelica decursiva</i>
蹄盖蕨科	介蕨	<i>Dryoathyrium boryanum</i>	椴叶树科	贵定椴叶树	<i>Clethra delavayi</i>
蹄盖蕨科	华中介蕨	<i>D. okuboanum</i>	杜鹃花科	灯笼树	<i>Enkianthus chinensis</i>
金星蕨科	渐尖毛蕨	<i>Cyclosorus acuminatus</i>	杜鹃花科	美丽马醉木	<i>Pieris formosa</i>
球子蕨科	东方荚果蕨	<i>Pentarhizidium orientalis</i>	杜鹃花科	丁香杜鹃	<i>Rhododendron farrerae</i>
鳞毛蕨科	镰羽贯众	<i>Cyrtomium balansae</i>	杜鹃花科	猫儿山杜鹃	<i>R. maoerense</i>
鳞毛蕨科	暗鳞鳞毛蕨	<i>Dryopteris atrata</i>	杜鹃花科	毛棉杜鹃花	<i>R. moulmainense</i>
鳞毛蕨科	华南鳞毛蕨	<i>D. tenuicula</i>	杜鹃花科	稀果杜鹃	<i>R. oligocarpum</i>
水龙骨科	灰鳞假瘤蕨	<i>Phymatopteris albopes</i>	杜鹃花科	心基杜鹃	<i>R. orbiculare</i>
禾叶蕨科	锯蕨	<i>Micropolypodium okuboi</i>	杜鹃花科	厚叶杜鹃	<i>R. pachyphyllum</i>
松科	铁杉	<i>Tsuga chinensis</i>	安息香科	野茉莉	<i>Styrax japonicus</i>
木兰科	阔瓣含笑	<i>Michelia cavaleriei</i> var. <i>platypetala</i>	山矾科	光亮山矾	<i>Symplocos lucida</i>
木兰科	天女花	<i>Oyama sieboldii</i>	山矾科	总状山矾	<i>S. sumuntia</i>
八角科	假地枫皮	<i>Illicium jiadifengpi</i>	马钱科	大叶醉鱼草	<i>Buddleja davidii</i>
八角科	大八角	<i>I. majus</i>	木犀科	小蜡	<i>Ligustrum sinense</i>
五味子科	绿叶五味子	<i>Schisandra arisanensis</i>	茜草科	茜草	<i>Rubia cordifolia</i>
樟科	山鸡椒	<i>Litsea cubeba</i>	忍冬科	淡红忍冬	<i>Lonicera acuminata</i>
樟科	资源木姜	<i>L. merrilliana</i>	忍冬科	金腺荚蒾	<i>Viburnum chunii</i>
樟科	红叶木姜子	<i>L. rubescens</i>	败酱科	败酱	<i>Patrinia scabiosifolia</i>
樟科	锈叶新木姜子	<i>Neolitsea cambodiana</i>	败酱科	白花败酱	<i>Patrinia villosa</i>
毛茛科	打破碗花花	<i>Anemone hupehensis</i>	菊科	长穗兔儿风	<i>Ainsliaea henryi</i>
毛茛科	毛柱铁线莲	<i>Clematis meyeniana</i>	菊科	香青	<i>Anaphalis sinica</i>
毛茛科	扬子毛茛	<i>Ranunculus sieboldii</i>	菊科	三脉紫菀	<i>Aster ageratoides</i>
小檗科	豪猪刺	<i>Berberis julianae</i>	菊科	狭叶三脉紫菀	<i>A. ageratoides</i> var. <i>gerlachii</i>
堇菜科	浅圆齿堇菜	<i>Viola davidii</i>	菊科	圆耳紫菀	<i>A. sphaerotus</i>
虎耳草科	钻地风	<i>Schizophragma integrifolium</i>	菊科	大狼把草	<i>Bidens frondosa</i>
蓼科	长箭叶蓼	<i>Polygonum hastatosagittatum</i>	菊科	绵毛尼泊尔天名精	<i>Carpesium nepalense</i> var. <i>lanatum</i>
蓼科	尼泊尔蓼	<i>P. nepalense</i>	菊科	鱼眼草	<i>Dichrocephala auriculata</i>
柳叶菜科	毛脉柳叶菜	<i>Epilobium amurense</i>	菊科	多须公	<i>Eupatorium chinense</i>
大风子科	山桂花	<i>Bennettiodendron leprosipes</i>	菊科	细梗紫菊	<i>Notoseris gracilipes</i>
山茶科	西南红山茶	<i>Camellia pitardii</i>	菊科	峨眉千里光	<i>Senecio faberi</i>
山茶科	尖叶毛柃	<i>Eurya acuminatissima</i>	菊科	广西蒲儿根	<i>Sinosenecio guangxiensis</i>
山茶科	短柱柃	<i>E. brevistyla</i>	龙胆科	五岭龙胆	<i>Gentiana davidii</i>
山茶科	岩柃	<i>E. saxicola</i>	龙胆科	匙叶草	<i>Latouchea fokiensis</i>
野牡丹科	肥肉草	<i>Frdiophyton fordii</i>	龙胆科	獐牙菜	<i>Swertia bimaculata</i>

续表 1 广西猫儿山高山湿地植物物种组成

Tab. 1 Vegetation species composition in alpine wetland of Mao'er Mountain, Guangxi (continued)

科名 Family name	物种 Species	学名 Scientific name	科名 Family name	物种 Species	学名 Scientific name
金丝桃科	金丝桃	<i>Hypericum monogynum</i>	龙胆科	双蝴蝶	<i>Tripterospermum chinense</i>
大戟科	黄苞大戟	<i>Euphorbia sikkimensis</i>	车前草科	车前	<i>Plantago asiatica</i>
绣球花科	圆锥绣球	<i>Hydrangea paniculata</i>	桔梗科	江南山梗菜	<i>Lobelia davidii</i>
蔷薇科	腺叶野樱	<i>Laurocerasus phaeosticta</i>	唇形科	灯笼草	<i>Clinopodium polycephalu</i>
蔷薇科	尾叶悬钩子	<i>Rubus caudifolius</i>	唇形科	长冠鼠尾草	<i>Salvia plectranthoide</i>
蔷薇科	掌叶复盆子	<i>R. chingii</i>	谷精草科	小谷精草	<i>Eriocaulon luzulifolium</i>
蔷薇科	小柱悬钩子	<i>R. columellaris</i>	百合科	多星韭	<i>Allium wallichii</i>
蔷薇科	厚叶悬钩子	<i>R. crassifolius</i>	百合科	山麦冬	<i>Liriope spicata</i>
蔷薇科	腺毛高粱泡	<i>R. lambertianus</i> var. <i>glandulosus</i>	百合科	疏花无叶莲	<i>Petrosavia sakurai</i>
蔷薇科	毛序花楸	<i>Sorbus keissleri</i>	百合科	岩菖蒲	<i>Tofieldia thibetica</i>
蔷薇科	红果树	<i>Stranvaesia davidiana</i>	菝葜科	托柄菝葜	<i>Smilax discotis</i>
黄杨科	黄杨	<i>Buxus sinica</i>	菝葜科	土茯苓	<i>S. glabra</i>
桦木科	江南桤木	<i>Alnus trabeculosa</i>	菝葜科	红果菝葜	<i>S. polycolea</i>
壳斗科	褐叶青冈	<i>Cyclobalanopsis oxyodon</i>	菝葜科	鞘柄菝葜	<i>S. stans</i>
壳斗科	包果柯	<i>Lithocarpus cleistocarpus</i>	兰科	斑叶兰	<i>Goodyera schlechtendalian</i>
壳斗科	硬壳柯	<i>L. hancei</i>	灯心草科	笄石菖	<i>Juncus prismatocarpus</i>
冬青科	枸骨	<i>Ilex cornuta</i>	莎草科	浆果薹草	<i>Carex baccans</i>
冬青科	齿叶冬青	<i>I. crenata</i>	莎草科	茅叶薹草	<i>C. cryptostachys</i>
冬青科	长梗冬青	<i>I. macrocarpa</i> var. <i>longipedunculata</i>	莎草科	毛叶薹草	<i>C. eriophylla</i>
冬青科	四川冬青	<i>I. szechwanensis</i>	莎草科	穹隆薹草	<i>C. gibba</i>
卫矛科	小南蛇藤	<i>Celastrus cuneatus</i>	莎草科	条穗薹草	<i>C. nemostachys</i>
卫矛科	扶芳藤	<i>Euonymus fortunei</i>	莎草科	水毛花	<i>Schoenoplectus mucronatus</i> subsp. <i>robustus</i>
芸香科	茵芋	<i>Skimmia reevesiana</i>	莎草科	玉山针蔺	<i>Trichophorum subcapitatum</i>
芸香科	楝叶吴萸	<i>Tetradium glabrifolium</i>	竹亚科	华西箭竹	<i>Fargesia nitida</i>
芸香科	吴茱萸	<i>T. ruticarpum</i>	禾亚科	无芒山涧草	<i>Chikusichloa mutica</i>
槭树科	疏花槭	<i>Acer laxiflorum</i>	禾亚科	止血马唐	<i>Digitaria ischaemum</i>
槭树科	中华槭	<i>A. sinense</i>	禾亚科	白花柳叶箬	<i>Isachne albens</i>
漆树科	野漆	<i>Toxicodendron succedaneum</i>	禾亚科	柔枝莠竹	<i>Microstegium vimineum</i>
胡桃科	化香	<i>Platycarya strobilacea</i>	禾亚科	日本求米草	<i>Oplismenus undulatifolius</i> var. <i>japonicus</i>
山茱萸科	桃叶珊瑚	<i>Aucuba chinensis</i>	禾亚科	鹅观草	<i>Roegneria kamoji</i>

2.2 广西猫儿山高山湿地植被地理成分分析

种子植物属的分布具备地域性特征, 参照中国种子植物属的分布区类型的划分原则^[23], 广西猫儿山高山湿地植被区系可划分为 17 个分布区类型 (表 2)。其中热带性分布 (2~7 类) 占主要地位, 共有 28 个属, 占非世界分布总属数的 37.83%, 是该植物区系的主要组成成分; 其次是北温带分布 (8 类), 共有 18 个属, 占非世界分布总属数的 24.33%; 中国特有分布包含了 3 个属, 分别为匙叶草属 (*Latouchea*)、紫菊属 (*Notoseris*) 和箭竹属 (*Fargesia*); 其他地理成分分布的较少。

从属的地理分布来看, 猫儿山高山湿地植被

物种组成的地理成分较为复杂, 以亚热带、热带成分和北温带占优势。壳斗科 (Fagaceae)、樟科 (Lauraceae)、山茶科 (Theaceae)、杜鹃花科等植物为中国大陆北热带及亚热带地区森林生态系统中的优势类群^[24-25]; 铁杉为优势种的针阔混交林是常绿阔叶林向亚高山针叶林过渡的一种垂直带森林类型, 属于中亚热带森林植被类型^[26]。复杂的地质气候与植物多样性密切相关, 研究区域内森林植被类型包含了褐叶青冈、资源木姜 (*Litsea merrilliana*)、西南红山茶 (*Camellia pitardii*) 等具备亚热带性质的植物组成的常绿阔叶林, 也包含了中国特有分布的铁杉与其他阔叶

树种组成的针阔混交林，表明广西猫儿山高山湿地植被群落分布兼具热带、亚热带和北温带的过渡特征，生态环境多样，植物种类丰富。

表 2 猫儿山高山湿地维管植物属的分布区类型

Tab. 2 Areal-types of vascular plant genera in alpine wetland of Mao'er Mountain

分布类型 Distribution type	属数 Genera number	占总属数 Proportion in total genera/%
世界分布	18	—
泛热带分布	14	18.92
热带亚洲、非洲和中、南美洲间断分布	1	1.35
热带亚洲和热带美洲间断分布	3	4.05
旧大陆热带分布	1	1.35
热带亚洲至热带非洲分布	2	2.70
热带亚洲分布	6	8.11
越南（或中南半岛）至华南（或西南）分布	1	1.35
北温带分布	13	17.57
北温带和南温带间断分布“全温带”	4	5.41
东亚和北美间断分布	10	13.51
旧世界温带分布	2	2.70
地中海区、西亚和东亚间断分布	1	1.35
东亚分布	8	10.81
中国-喜马拉雅分布	4	5.41
中国-日本分布	1	1.35
中国特有分布	3	4.05

2.3 猫儿山高山湿地植被层群落结构特征分析

演替是植物群落动态的一个最重要的特征，是一个群落代替另一个群落的连续变化过程^[27]。山地常绿落叶阔叶混交林植物种类和群落结构复杂，而优势种群对群落环境与结构起明显控制作用^[28]。伴随演替的变化，群落中各层次物种的地位和作用发生了变化，重要值是植物在群落中的作用和地位的综合数量指标，通过计算各群落物种的重要值的方法来确定各群落中的主要优势种（表 3、表 4）。

分析表 3 中数据可知，草本层样方 CB-01、03 中笋石菖重要值较高，同时为 2 个草本样地群落的优势种；CB-02 中条穗薹草重要值较高，为该草本群落的优势种，白花柳叶箬（*Isachne albens*）的重要值也较高，为该群落的共建种，笋石菖则为伴生种；灌丛阶段 9 个样方中，7 个样方以华

表 3 猫儿山高山湿地维管植物不同群落重要值
Tab. 3 Importance values of different vascular plant communities in alpine wetland of Mao'er Mountain

样方号 Sample No.	种名 Species name	重要值 Important value/%
CB-01	笋石菖	15.17
	白花柳叶箬	10.49
	无芒山洞草	9.81
CB-02	条穗薹草	29.58
	白花柳叶箬	25.23
CB-03	笋石菖	7.73
	笋石菖	24.92
	五岭龙胆	11.07
GM-01	东方荚果蕨	10.02
	华西箭竹	50.95
GM-02	稀果杜鹃	25.07
	丁香杜鹃	23.98
	华西箭竹	26.28
GM-03	总状山矾	21.40
	枸骨	13.27
	华西箭竹	35.05
GM-04	褐叶青冈	14.86
	厚叶杜鹃	14.43
	华西箭竹	48.18
GM-05	吊钟花	21.77
	厚叶杜鹃	16.86
GM-06	华西箭竹	71.16
	锈叶新木姜	28.84
GM-07	尾叶悬钩子	25.39
	华西箭竹	18.16
	猫儿山杜鹃	16.54
GM-08	中华槭	41.48
	尾叶悬钩子	33.09
	厚叶悬钩子	13.77
GM-09	华西箭竹	43.83
	红果树	12.20
	尾叶悬钩子	10.35
GM-09	华西箭竹	21.45
	红果树	16.60
	尾叶悬钩子	11.34

西箭竹（*F. nitida*）为优势种，其余 2 个分别以尾叶悬钩子（*R. caudifolius*）和中华槭（*Acer lsinense*）为优势种。华西箭竹为灌丛群落中的优势种，具备明显的群落特征；GM-06 中，尾叶悬钩子重要值最高，为该群落的优势物种，华西箭竹和猫儿山杜鹃（*R. maoerense*）等作物成为伴生种；GM-07

中, 中华槭为优势种, 尾叶悬钩子与厚叶悬钩子
(*R. crassifolius*) 等植物成为伴生种。

乔木植物阶段 (表 4) 生境更加丰富, 允许
更多的新物种进入群落成为新成员, 呈现出乔木

表 4 猫儿山高山湿地维管植物乔木样方群落重要值

Tab. 4 Importance values of tree quadrat community in alpine wetland of Mao'er Mountain

样方号 Sample No.	草本层 Herbaceous layer		灌木层 Shrub layer		乔木层 Arbor layer	
	种名 Species name	重要值 Important value/%	种名 Species name	重要值 Important value/%	种名 Species name	重要值 Important value/%
QM-01	条穗薹草	47.38	华西箭竹	37.89	铁杉	18.97
	山麦冬	35.94	资源木姜	23.12	山桂花	18.48
	匙叶草	16.68	锈叶新木姜	22.21	四川冬青	7.01
QM-02	长穗兔儿风	37.57	华西箭竹	42.81	褐叶青冈	20.18
	山麦冬	25.72	锈叶新木姜	18.14	铁杉	18.10
	条穗薹草	24.42	西南红山茶	14.86	吴茱萸五加	13.96
QM-03	山麦冬	57.02	华西箭竹	49.71	褐叶青冈	20.55
	匙叶草	38.27	齿叶冬青	12.00	铁杉	11.85
	长穗兔儿风	4.71	尖叶毛柃	11.83	包果柯	11.46
QM-04	毛叶薹草	57.93	华西箭竹	43.43	褐叶青冈	19.09
	山麦冬	42.07	岩柃	15.27	硬壳柯	11.77
			资源木姜	14.87	包果柯	10.00
QM-05	山麦冬	31.66	华西箭竹	49.97	山桂花	16.59
	条穗薹草	31.34	资源木姜	20.12	吴茱萸五加	9.19
	扶芳藤	12.58	尖叶毛柃	18.82	褐叶青冈	8.95
QM-06	条穗薹草	89.59	华西箭竹	68.09	山桂花	16.59
	圆耳紫菀	10.41	资源木姜	31.91	包果柯	11.24
					总状山矾	10.03
QM-07	山麦冬	60.63	华西箭竹	67.06	褐叶青冈	17.86
	匙叶草	39.37	铁杉	19.25	山桂花	15.31
			总状山矾	13.69	假地枫皮	9.88
QM-08	条穗薹草	100.00	华西箭竹	32.76	吴茱萸五加	18.36
			红叶木姜子	12.87	山桂花	15.72
			尖叶毛柃	9.07	褐叶青冈	13.39
QM-09	浅圆齿堇菜	61.22	锈叶新木姜	28.10	褐叶青冈	19.65
	匙叶草	38.78	华西箭竹	21.46	红果树	16.68
			假地枫皮	6.85	铁杉	16.03
QM-10	山麦冬	57.41	西南红山茶	34.40	铁杉	21.05
	条穗薹草	42.59	华西箭竹	20.24	褐叶青冈	20.53
			鞘柄菝葜	9.15	包果柯	12.87
QM-11	山麦冬	63.18	总状山矾	63.18	山桂花	23.87
	条穗薹草	36.82	华西箭竹	31.98	褐叶青冈	13.28
			西南红山茶	27.47	假地枫皮	9.66
QM-12	山麦冬	54.52	华西箭竹	35.27	褐叶青冈	18.06
	条穗薹草	45.48	西南红山茶	23.04	山桂花	14.99
			资源木姜	12.63	总状山矾	9.26
QM-13	山麦冬	58.46	华西箭竹	22.35	褐叶青冈	24.45
	条穗薹草	41.54	野茉莉	16.34	吴茱萸五加	15.90
			西南红山茶	6.15	厚叶杜鹃	8.99
QM-14	山麦冬	84.69	华西箭竹	20.37	铁杉	15.35
	匙叶草	15.31	灯笼树	11.02	褐叶青冈	15.31
			锈叶新木姜	9.97	吴茱萸五加	10.04
QM-15	山麦冬	100.00	华西箭竹	61.76	吴茱萸五加	27.54
			西南红山茶	13.06	褐叶青冈	23.00
			长梗冬青	6.29	山桂花	16.80

层、灌木层和草本层的垂直方向复合结构, 具备山地常绿落叶针阔混交林植被特征。乔木层植物分布在森林的顶层, 属于阳生植物, 主要是高大乔木如褐叶青冈、铁杉、山桂花、吴茱萸五加等作为优势物种。青冈属植物是常绿阔叶林阶段主要的顶极树种^[29], 褐叶青冈除了在群落 QM-01、06 中不作为优势种, 在其他样方群落中均与其他乔木作为群落的共建种; 铁杉在群落 QM-01、02、03、09、10、14 中与其他阔叶树种共同作为群落的共建种; 吴茱萸五加为五加属落叶乔木, 在群落 QM-02、05、08、13、14、15 中有记录到, 也作为群落的共建种。此外, 重要值较高的还有一些常绿阔叶类乔木包果柯 (*Lithocarpus cleistocarpus*)、硬壳柯 (*L. hancei*)、总状山矾 (*Symplocos sumuntia*)、四川冬青 (*Ilex szechwanensis*) 等树种。灌木层植物属于耐阴植物, 能适应弱光环境, 主要由乔木幼苗、灌木和层间植物等组成; 草本层则为阴生植物, 能在较弱光照下正常生长, 主要由山麦冬 (*Liriope spicata*)、条穗薹草、匙叶草 (*Latouchea fokiensis*) 等喜荫的草本种类组成。乔木植物阶段分层现象是植物适应环境的结果。

2.4 猫儿山高山湿地植物群落物种多样性与演替分析

优势种群对群落结构和群落环境形成和维持具有重要作用^[28, 30]。根据优势种的生态外貌来划分各群系的群落植被型, 运用 Simpson 指数、静态演替分析法测定各演替阶段群落植物物种多样性和演替度, 结果见表 5。

分析结果可知, 演替初期主要为杂草群落, 分别是以筭石菖和条穗薹草等为优势种的草本植物群系, 演替度均低于木本群落阶段。条穗薹草群系 Simpson 多样性指数低于筭石菖群系, 水热等气候条件是决定植被和植物群落分布的主要因素。与筭石菖比较, 条穗薹草对水的需求相对低。条穗薹草群系中, 筭石菖仅作为伴生物种。筭石菖群系演替度低于条穗薹草群系, 推测草丛阶段的演替顺序为筭石菖草丛→条穗薹草草丛。水生演替始于湿生环境, 会向陆地群落发展^[31]。水分条件制约植物的分布与演替, 随着土壤积水的减少, 旱生草类会取代湿生草类; 若环境适宜, 草本植物群落将会继续向木本植物群落方向进行演替。

草本阶段为灌木阶段群落形成创造了适宜条件, 草丛阶段的优势草本层种类消失, 灌木取而代之。比较表中数据可知, 灌丛阶段 Simpson 多

表 5 猫儿山高山湿地主要群落演替度及多样性指数
Tab. 5 Succession degree and diversity index of main community in alpine wetland of Mao'er Mountain

样方号 Sample No.	群系 Formation	植被型 Vegetation type	Simpson 多样性指数/D	演替度 D _j
CB-01	筭石菖草丛	草丛	0.84	0.47
CB-02	条穗薹草草丛	草丛	0.69	1.19
CB-03	筭石菖草丛	草丛	0.81	0.53
GM-01	华西箭竹灌丛	灌丛	0.46	3.23
GM-02	华西箭竹灌丛	灌丛	0.69	1.21
GM-03	华西箭竹灌丛	灌丛	0.67	1.39
GM-04	华西箭竹灌丛	灌丛	0.43	2.43
GM-05	华西箭竹灌丛	灌丛	0.07	4.85
GM-06	尾叶悬钩子灌丛	灌丛	0.78	1.39
GM-07	中华槭灌丛	灌丛	0.47	2.43
GM-08	华西箭竹灌丛	灌丛	0.72	0.88
GM-09	华西箭竹灌丛	灌丛	0.83	1.08
QM-01	铁杉林	针阔混交林	0.87	6.40
QM-02	褐叶青冈林	常绿阔叶林	0.72	6.96
QM-03	褐叶青冈林	常绿阔叶林	0.83	6.72
QM-04	褐叶青冈林	常绿阔叶林	0.69	6.31
QM-05	山桂花林	常绿阔叶林	0.87	6.67
QM-06	山桂花林	常绿阔叶林	0.78	11.43
QM-07	褐叶青冈林	常绿阔叶林	0.68	10.44
QM-08	吴茱萸五加林	常绿落叶混交林	0.67	6.67
QM-09	褐叶青冈林	常绿阔叶林	0.88	4.85
QM-10	褐叶青冈林	常绿阔叶林	0.86	5.33
QM-11	山桂花林	常绿阔叶林	0.85	6.96
QM-12	褐叶青冈林	常绿阔叶林	0.87	6.15
QM-13	褐叶青冈林	常绿阔叶林	0.65	5.33
QM-14	铁杉林	针阔混交林	0.91	4.71
QM-15	吴茱萸五加林	常绿落叶混交林	0.83	10.67

样性指数较低, 演替度介于草丛与乔木群落阶段之间。华西箭竹为优势种的群落显著多于尾叶悬钩子和中华槭为优势种的群落。尾叶悬钩子等攀援灌木作为层间植物, 其种类数量可作为衡量森林演替阶段的一个指标, 在无外力干扰下, 层间植物种类随着群落演替的进行而减少^[32]。结合灌丛群系演替度的比较, 推测演替序列为尾叶悬钩子灌丛→中华槭灌丛→华西箭竹灌丛。

灌丛阶段的乔木幼苗长大后成为乔木, 乔木的侵入使得湿生生境最终改变成中生生境, 逐渐形成森林。乔木群落阶段 Simpson 多样性较高, 植物种类丰富, 演替度值大于草、灌丛阶段。乔

木群落阶段分别演替出了以铁杉为优势种的针阔混交林,以褐叶青冈、山桂花为优势种的常绿阔叶林和以吴茱萸五加林为优势种的常绿落叶混交林植被类型。将表中演替度值标准化处理后,比较各植被型演替度值,结果为:吴茱萸五加林>山桂花林>褐叶青冈林>铁杉林,以山桂花、褐叶青冈和吴茱萸五加为优势种的阔叶林演替度高于以铁杉为优势种的针阔混交林,据此推测演替序列为针阔混交林→常绿阔叶混交林。这与随着演替的进行,以针叶林为优势的针阔混交林会逐步过渡为阔叶树种占优势的针阔混交林,最后演变为地带性顶极植被常绿阔叶林结论相符^[29]。

2.5 乔木群落阶段优势种径级结构和演替趋势

由图 1 可知,乔木群落阶段中褐叶青冈Ⅲ级、Ⅳ级大径级的成熟个体较多,中径级个体较多,

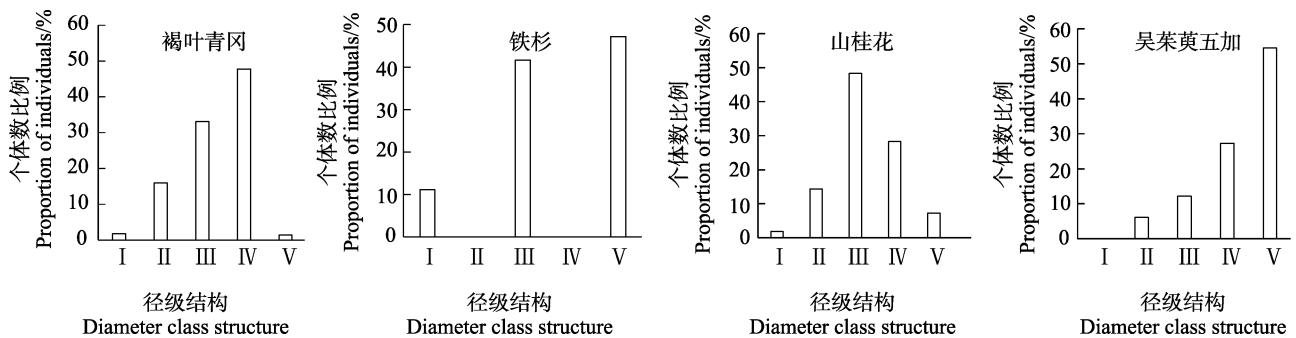


图 1 乔木群落阶段乔木优势种径级结构

Fig. 1 Diameter class structure of dominant species of trees in tree community stage

3 讨论

猫儿山高山湿地群落植被组成地理成分兼具热带、亚热带和北温带的过渡特征。共记录到 136 种维管植物,单属科、单种属所占比例较大,物种多样性水平较高,包含了许多优良的乡土树种,可为林区的经营和管理提供参考依据。其中,华西箭竹在灌丛群落中为明显的优势种,对山地水土保持、涵养水源、调节小气候环境等都起不同程度的促进作用,为优良的适生乡土植物;褐叶青冈和铁杉是猫儿山高海拔常绿针阔叶混交林中的 2 个优势树种^[34],褐叶青冈耐贫瘠,适生能力强,能保持水土、改善土壤肥力,有重要的生态效益,是具有开发前景的用材树种;铁杉为我国特有的第三纪孑遗树种,分布较少,不易形成湿地,研究区域的铁杉湿地却保持得非常原始,而其种群发展趋势不稳定,容易受到环境的影响,为区域生物多样性的研究提供数据支撑,保护意

I、V 级径级的个体较少,径级结构呈单峰模式,为稳定型种群;铁杉缺乏 II 级、IV 级个体,Ⅲ级、V 级径级的个体较多,径级结构浮动较大,种群发展呈波动趋势;山桂花Ⅲ级中径级个体较多,Ⅰ级、Ⅱ级小径级幼树较少,径级结构呈单峰模式,为稳定型种群;吴茱萸五加径级结构呈“J”型分布,Ⅳ级、V 级大径级的成熟个体较多,大径级个体群相对稳定,而林下幼树不足,种群发展有衰退趋势。

主要树种的更新能力关系到演替过程中群落中能否取得优势种地位^[33]。根据径级结构分析种群发展趋势,推测乔木群落阶段优势种在演替进程中发展趋势为褐叶青冈和山桂花为稳定群落,铁杉群落波动较大,而以吴茱萸五加为主要落叶树种的群落种群发展有衰退趋势。

义重大;高山湿地在高纬度或是高原地区较多,在我国南方地区则很少见^[35];多数湿地植物群落(积水较多的沼泽湿地除外)的垂直方向分层不明显,复合结构的群落类型也相对较少^[36]。而猫儿山高山湿地植被在木本植物演替的阶段中出现了草本、灌木和乔木 3 种垂直方向的分层结构,分层现象是植物适应环境的结果,这些对研究中亚热带地区植物群落的演替进程等都具有重大意义。

群落的演替在很大程度上表现为种类组成的变化,也是生态系统结构从低级演变为高级的过程^[37]。自然条件下,水生演替系列中湿生草本植物到木本植物阶段的群落演替的正向演替为:草丛阶段→灌木阶段→乔木阶段,典型的亚热带山地森林水平演替顺序为针叶林→针阔叶混交林→演替后期阔叶林。结果显示猫儿山高山湿地植物各阶段的演替为自然条件下的正向演替。这与典

型的南方亚热带山地森林的演替后期树种以成熟演替后期常绿阔叶林的优势树种为代表^[38]的研究结果一致。影响演替的主要因素可能为内因性演替, 土壤含水量是高山湿地植物群落演替的重要生态因子。随着土壤积水的减少, 先锋群落依次为草本群落到木本植物群落。生境改变导致植物种类改变, 种内种间的竞争关系等变化引起群落内部环境变化, 改变的生态位又作用于群落本身, 如此相互促进, 演替不断向前发展。

群落中优势种的动态可以揭示演替的过程和群落结构变化规律, 而植物种类丰富度高低并不能很准确地衡量群落的演替程度。植物种类数量一般会随着演替进程先增加后减少, 在演替中后期出现最大值^[39]。处于演替早期的群落稳定性较差; 随着正向演替的进行, 物种组成和群落结构将逐渐趋于复杂化, 群落稳定性逐渐提高^[40]。群落演替中后期植被结构趋于复杂, 生态位重叠将会更加明显, 种内竞争更加激烈^[41], 随后因种间竞争关系, 一些种类被淘汰, 植物多样性有所下降, 但却形成了相对稳定的群落; 演替的最终结果会形成顶级群落, 植物群落与生态因子长时间内保持稳定即为演替的顶级^[42]。结合对猫儿山高山湿地群落自然植被演替度比较, 推测出研究区域湿生草本植物阶段到木本植物阶段的演替顺序为: 条箕石菖草丛→穗薹草草丛→尾叶悬钩子灌丛→中华槭灌丛→华西箭竹灌丛→针阔混交林铁杉群落→常绿阔叶林褐叶青冈+山桂花群落→常绿落叶混交林吴茱萸五加林群落。演替的过程可以通过优势种数量的增减来体现^[43], 幼树幼苗占植株总数的比例可以作为评价种群更新潜力的依据。分析乔木群落优势种的径级结构, 在乔木群落阶段演替进程中, 各优势种群落发展趋势为铁杉群落波动较大, 褐叶青冈和山桂花为稳定群落, 以吴茱萸五加为主要落叶树种的种群发展有衰退趋势。故猫儿山高山湿地自然植被还处在进展演替中, 并未形成最终的稳定的森林群落。

参考文献

- [1] 金彪. 基于 SMS 的广西猫儿山森林景观开发与规划研究[D]. 桂林: 桂林理工大学, 2017.
JIN B. The research of development and planning of forest landscape in Guangxi Ma'er Mountain based on Scenery Management System[D]. Guilin: Guilin University of Technology, 2017. (in Chinese)
- [2] 唐朝辉. 兴安县林业生态建设与发展的思考[J]. 农业开发与装备, 2017(5): 37-38.
- [3] TANG C H. Thinking on forestry ecological construction and development in Xing'an[J]. Agricultural Development & Equipments, 2017(5): 37-38. (in Chinese)
- [4] ODUM E P. The strategy of ecosystem development[J]. Science, 1969, 164(3877): 262-270.
- [5] KENNEDY T A, NAEEM S, HOWE K M, KNOPS J M H, TILMAN D, REICH P. Biodiversity as a barrier to ecological invasion[J]. Nature, 2002, 417(6889): 636-638.
- [6] ROSENTHAL G. Selecting target species to evaluate the success of wet grassland restoration[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2003, 98(1/3): 227-246.
- [7] THEVATHASAN N V, GORDON A M. Ecology of tree intercropping systems in the north temperate region: experiences from southern Ontario, Canada[J]. Agroforestry Systems, 2004, 61(1/3): 257-268.
- [8] MCGILL B J, ENQUIST B J, WEIHER E, WESTOBY M. Rebuilding community ecology from functional traits[J]. Trends in Ecology and Evolution, 2006, 21(4): 178-185.
- [9] 白聪, 乔秀红, 毕润成, 闫明. 五鹿山国家级自然保护区森林群落演替分析[J]. 广西植物, 2013, 33(3): 421-427.
BAI C, QIAO X H, BI R C, YAN M. Succession analysis of forest communities in Wulu Mountain National Nature Reserve[J]. Guihaia, 2013, 33(3): 421-427. (in Chinese)
- [10] TETETLA-RANGEL E, DUPUY J M, HERNANDEZ-STEFANONI J L, HOEKSTRA P H. Patterns and correlates of plant diversity differ between common and rare species in a neotropical dry forest[J]. Biodiversity and Conservation, 2017, 26(7): 1705-1721.
- [11] XIANG W S, DING T, LV S H, LI X K. A comparison of tree species diversity in two subtropical forests, Guangxi, Southwest China[J]. Journal of Resources and Ecology, 2015, 6(4): 208-216.
- [12] 张文馨, 王蕙, 范小莉, 王强, 房用, 梁玉. 山东孔林植物群落动态变化及演替分析[J]. 山东大学学报(理学版), 2021, 56(11): 43-50.
ZHANG W X, WANG H, FAN X L, WANG Q, FANG Y, LIANG Y. Analysis on plant community dynamics and succession in the Confucian Cemetery, Shandong Province, China[J]. Journal of Shandong University (Natural Science), 2021, 56(11): 43-50. (in Chinese)
- [13] 欧芷阳, 庞世龙, 何峰, 谭一波, 申文辉, 郑威, 陈始贵. 猫儿山主峰常见植物叶功能性状的变异与关联[J]. 广西林业科学, 2021, 50(5): 557-562.
OU Z Y, PANG S L, HE F, TAN Y B, SHEN W H, ZHENG W, CHEN S G. Variation and correlation of leaf functional traits of common plants at main peak of Mao'er Mountain, Guangxi[J]. Guangxi Forestry Science, 2021, 50(5): 557-562. (in Chinese)
- [14] 谭一波, 申文辉, 田红灯, 付孜, 叶建平, 郑威, 黄善琪. 猫儿山不同海拔植物群落树木构型差异及其影响因子[J]. 应用生态学报, 2019, 30(8): 2614-2620.

- TAN Y B, SHEN W H, TIAN H D, FU Z, YE J P, ZHENG W, HUANG S Q. Tree architecture variation of plant communities along altitude and impact factors in Mao'er Mountain, Guangxi, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(8): 2614-2620. (in Chinese)
- [14] 郭津. 猫儿山4种森林类型群落结构及养分分布特征[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2015.
- GUO J. The community structure and characteristics of nutrient distribution of four forests in Mao'er Mountain[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2015. (in Chinese)
- [15] 朱彪, 陈安平, 刘增力, 李光照, 方精云. 广西猫儿山植物群落物种组成、群落结构及树种多样性的垂直分布格局[J]. 生物多样性, 2004(1): 44-52.
- ZHU B, CHEN A P, LIU Z L, LI G Z, FANG J Y. Changes in floristic composition, community structure, and tree species diversity of plant communities along altitudinal gradients on Mt. Mao'er, Guangxi, China[J]. Biodiversity Science, 2004(1): 44-52. (in Chinese)
- [16] 宗影, 李玉凤, 刘红玉. 基于面向对象随机森林方法的滨海湿地植被分类研究[J]. 南京师范大学学报(工程技术版), 2021, 21(4): 47-55.
- ZONG Y, LI Y F, LIU H Y. A study of coastal wetland vegetation classification based on object-oriented random forest method[J]. Journal of Nanjing Normal University (Engineering and Technology Edition), 2021, 21(4): 47-55. (in Chinese)
- [17] 谢玉斌. 黄金峡湿地植被群落修复研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2021.
- XIE Y B. Study on simulation and restoration of wetland vegetation community in Huangjinxia[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2021.
- [18] 高铭悦. 滩涂湿地盐生植物群落生态恢复模式研究[J]. 环境科学与管理, 2020, 45(7): 171-174.
- GAO M Y. Study on ecological restoration model of halophyte community in tidal flat wetland[J]. Environmental Science and Management, 2020, 45(7): 171-174. (in Chinese)
- [19] 包维楷, 陈庆恒. 生态系统退化的过程及其特点[J]. 生态学杂志, 1999(2): 37-43.
- BAO W K, CHEN Q H. The degraded processes and features of ecosystem[J]. Chinese Journal of Ecology, 1999(2): 37-43. (in Chinese)
- [20] 张厚华, 傅德志, 孙谷畴. 森林植被恢复重建的理论基础[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(1): 97-99.
- ZHANG H H, FU D Z, SUN G C. Theoretical fundamentals of restoration and reconstruction of degraded forest vegetation[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2004, 26(1): 97-99. (in Chinese)
- [21] 项小燕, 吴甘霖, 段仁燕, 王志高, 张中信, 王广艳, 张小平. 大别山五针松种群结构及动态研究[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(1): 55-62.
- XIANG X Y, WU G L, DUAN R Y, WANG Z G, ZHANG Z X, WANG G Y, ZHANG X P. Studies on population structure and dynamics of *Pinus dabeshanensis*[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2016, 25(1): 55-62. (in Chinese)
- [22] 覃弦, 龙翠玲. 茂兰喀斯特森林不同演替阶段优势乔木种群结构及数量动态[J]. 林业资源管理, 2016(6): 57-63.
- QIN X, LONG C L. Population structure and quantitative dynamics of dominant arbor species at different succession stages in Maolan karst forest[J]. Forest Resources Management, 2016(6): 57-63. (in Chinese)
- [23] 吴征镒. 中国种子植物属分布区类型[J]. 云南植物研究, 1991(增刊IV): 1-139.
- WU Z Y. Areal types of seed plant genera in China[J]. Acta Botanica Yunnanica, 1991(supplement IV): 1-139. (in Chinese)
- [24] 李缓. 中国亚热带常绿阔叶林壳斗科群落的物种组成及其地理分异[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2019.
- LI H. Species composition and geographical differentiation of the Fagaceae community in subtropical evergreen broad-leaved forest in China[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2019. (in Chinese)
- [25] 郑维艳, 曾文豪, 唐一思, 石慰, 曹坤芳. 中国大陆北热带及亚热带地区樟科、壳斗科物种多样性及其生物地理格局分析[J]. 生态学报, 2018, 38(24): 8676-8687.
- ZHENG W Y, ZENG W H, TANG Y S, SHI W, CAO K F. Species diversity and biogeographical patterns of Lauraceae and Fagaceae in northern tropical and subtropical regions of China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(24): 8676-8687. (in Chinese)
- [26] 陈斌, 赵家豪, 关庆伟, 薛建辉, 郭英荣. 江西武夷山中亚热带南方铁杉针阔混交林群落组成与结构[J]. 生态学报, 2018, 38(20): 7359-7372.
- CHEN B, ZHAO J H, GUAN Q W, XUE J H, GUO Y R. Community composition and structure of a mid-subtropical coniferous (*Tsuga chinensis* var. *tchekiangensis*) and broadleaf mixed forest in Jiangxi Wuyishan, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(20): 7359-7372. (in Chinese)
- [27] 袁长春. 植物群落演替过程分析[J]. 湘潭师范学院学报(社会科学版), 1998, 19(3): 89-95.
- YUAN C C. A analysis of the process of plant community succession[J]. Journal of Xiangtan Normal College (Social Science Edition), 1998, 19(3): 89-95. (in Chinese)
- [28] 陈斯, 艾训儒, 姚兰, 林勇, 黄伟, 陈俊. 不同恢复群落的山地常绿落叶阔叶混交林优势种及主要伴生种群结构与动态[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 2016, 34(4): 467-474.
- CHEN S, AI X R, YAO L, LIN Y, HUANG W, CHEN J. The structure and dynamics of dominant and associated populations in mixed evergreen and deciduous broad leaved forest in mountainous region of different recovery communities[J]. Journal of Hubei University for

- Nationalities (Natural Science Edition), 2016, 34(4): 467-474. (in Chinese)
- [29] 宋新章, 江洪, 余树全, 马元丹, 周国模, 窦荣鹏, 郭培培. 中亚热带森林群落不同演替阶段优势种凋落物分解试验[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 537-542.
SONG X Z, JIANG H, YU S Q, MA Y D, ZHOU G M, DOU R P, GUO P P. Little decomposition of dominant plant species in successional stages in mid-subtropical zone[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(3): 537-542. (in Chinese)
- [30] 张钦弟, 毕润成, 张金屯, Lambert Nyobe, 苗艳明, 刘晓宁. 庞泉沟自然保护区寒温带性针叶林演替优势种格局动态分析[J]. 生态学报, 2012, 32(18): 5713-5720.
ZHANG Q D, BI R C, ZHANG J T, NYOBE L, MIAO Y M, LIU X N. Dynamic analysis on spatial pattern of dominant tree species of cold-temperate, coniferous forest in the succession process in the Pangquangou Nature Reserve[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(18): 5713-5720. (in Chinese)
- [31] 杨持. 生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
YANG C. Ecology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2008. (in Chinese)
- [32] 易俗, 黄忠良, 欧阳学军. 鼎湖山生物圈保护区层间植物物种多样性的研究[J]. 生物多样性, 2001, 9(1): 56-61.
YI S, HUANG Z L, OUYANG X J. Study on the species diversity of interlayer plants of Dinghushan biosphere reserve[J]. Biodiversity Science, 2001, 9(1): 56-61.
- [33] 丁圣彦, 宋永昌. 演替研究在常绿阔叶林抚育和恢复上的应用[J]. 应用生态学报, 2003, 14(3): 423-426.
DING S Y, SONG Y C. Application of succession study in tending and restoration of evergreen broadleaved forest[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(3): 423-426. (in Chinese)
- [34] 张强, 郭传友, 张兴旺, 白坤栋, 蒋得斌. 基于光合作用和抗氧化机制的南方铁杉和褐叶青冈越冬策略研究[J]. 植物研究, 2015, 35(2): 200-207.
ZHANG Q, GUO C Y, ZHANG X W, BAI K D, JIANG D B. Photosynthesis and antioxidant defense strategies in overwintering plants of *Tsuga chinensis* and *Cyclobalanopsis stewardiana*[J]. Bulletin of Botanical Research, 2015, 35(2): 200-207. (in Chinese)
- [35] 罗菊春. 高山湿地[J]. 人与生物圈, 2011(5): 4-9.
LUO J C. Mountain wetland[J]. Man and Biosphere, 2011(5): 4-9. (in Chinese)
- [36] 郭旭. 湿地植被资源与保护策略分析[J]. 林业勘查设计, 2021, 50(3): 62-65.
GUO X. Analysis of wetland vegetation resources and protection strategies[J]. Forest Investigation Design, 2021, 50(3): 62-65. (in Chinese)
- [37] 张梦戩, 张青, 亢新刚, 杨应军, 徐光, 张立新. 长白山云冷杉林不同演替阶段群落稳定性[J]. 应用生态学报, 2015, 26(6): 1609-1616.
ZHANG M T, ZHANG Q, KANG X G, YANG Y J, XU G, ZHANG L X. Community stability for spruce-fir forest at different succession stages in Changbai Mountains, Northeast China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(6): 1609-1616. (in Chinese)
- [38] 白坤栋, 宁世江, 莫凌, 曾丹娟, 周翠鸣, 罗艾滢. 广西猫儿山森林不同演替阶段优势树种的碳固定和水分运输策略[R]. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 2016.
BAI K D, NING S J, MO L, ZENG D J, ZHOU C M, LUO A Y. Carbon sequestration and water transport strategies of dominant tree species at different succession stages in the forest of Mao'er Mountain, Guangxi[R]. Guangxi: Guangxi Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, 2016. (in Chinese)
- [39] 张金屯, 柴宝峰, 邱扬, 陈廷贵. 晋西吕梁山严村流域撂荒地植物群落演替中的物种多样性变化[J]. 生物多样性, 2000, 8(4): 378-384.
ZHANG J T, CHAI B F, QIU Y, CHEN T G. Changes in species diversity in the succession of plant communities of abandoned land in Luliang Mountain western Shanxi[J]. Chinese Biodiversity, 2000, 8(4): 378-384. (in Chinese)
- [40] 涂洪润, 农娟丽, 朱军, 赵佳佳, 杨婉琳, 朱琪琪, 谢彦军, 刘润红. 桂林岩溶石山密花树群落主要物种的种间关联及群落稳定性[J]. 生态学报, 2022, 42(9): 1-18.
TU H R, NONG J L, ZHU J, ZHAO J J, YANG W L, ZHU Q Q, XIE Y J, LIU R H. Interspecific associations of main species and community stability of *Myrsine seguinii* community in Karst hills of Guilin, southwestern China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(9): 1-18. (in Chinese)
- [41] 余飞燕, 叶鑫, 周润惠, 董洪君, 王敏, 陈聪琳, 郝建锋. 金马河温江段河岸带不同生境植物物种多样性与土壤理化性质的动态变化[J]. 热带亚热带植物学报, 2021, 29(1): 1-8.
YU F Y, YE X, ZHOU R H, DONG H J, WANG M, CHEN C L, HAO J F. Dynamic changes in plant diversity and soil physical and chemical properties in different habitats in Wenjiang section of Jinma River[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2021, 29(1): 1-8. (in Chinese)
- [42] 李俊清. 森林生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
LI J Q. Forest ecology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2010. (in Chinese)
- [43] 彭少麟. 植物群落演替研究 II. 动态研究的方法[J]. 生态学, 1994(2): 117-119.
PENG S L. Study on community succession. II. Methods of dynamic studying[J]. Ecological Science, 1994(2): 117-119. (in Chinese)