

沙鲁里山系野生种子植物的区系特征

杨睿^a, 曾英^a, 石松林^{a,b,①}, 周蕴涵^a, 甘慧^a, 姜雨萱^a, 彭培好^{a,b}

[成都理工大学: a. 旅游与城乡规划学院, b. 四川省社会科学重点研究基地(扩展) 国家公园研究中心, 四川 成都 610059]

摘要: 为了明确沙鲁里山系野生种子植物的概况和区系特征, 结合野外实地调查和相关资料记载, 对该地区野生种子植物的物种组成、生活型、区系成分、垂直分布格局进行研究, 并将该地区野生种子植物与横断山脉白马雪山国家级自然保护区、贡嘎山、高黎贡山和卧龙国家级自然保护区的野生种子植物进行比较。结果表明: 沙鲁里山系野生种子植物共有 156 科 941 属 4 872 种(含种下等级, 下同), 包含国家一级和二级重点保护野生植物 64 种、极危和濒危植物 77 种、极小种群植物 4 种。沙鲁里山系野生种子植物生活型包括常绿乔木、落叶乔木、灌木、半灌木、一二年生草本、多年生草本(含竹类植物)、木质藤本和草质藤本 8 个类型, 其中, 草本植物占比最大(68.0%)。统计结果显示: 随着海拔升高, 沙鲁里山系乔木、灌木、草本和藤本植物种数均先逐渐增多后逐渐减少, 但不同生活型种数达到峰值的海拔存在明显差异。区系成分分析结果表明: 沙鲁里山系野生种子植物在科水平上以热带成分为主(占比 53.6%), 在属水平上以温带成分为主(占比 66.6%), 同时, 富含中国特有属(30 属)和中国特有种(2 280 种), 尤其是横断山脉特有种(816 种)。比较发现, 沙鲁里山系、白马雪山国家级自然保护区、贡嘎山、高黎贡山和卧龙国家级自然保护区的野生种子植物共有科有 116 科, 共有属有 372 属, 共有种有 316 种。从相似性系数看, 沙鲁里山系野生种子植物与上述 4 个地区野生种子植物的科相似性较高(均在 80% 以上)、种相似性偏低(均在 50% 以下), 并且与白马雪山国家级自然保护区的科相似性最高、与贡嘎山的属和种相似性最高。综上所述, 沙鲁里山系野生种子植物物种多样性高, 垂直分布特征明显, 区系成分丰富, 特有现象明显, 并且, 该区域可能是横断山脉野生种子植物的重要分化中心。

关键词: 横断山脉; 沙鲁里山系; 野生种子植物; 植物区系; 植物多样性

中图分类号: Q948.15⁺6; Q948.5; Q949.4 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2023)06-0067-13
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2023.06.08

Floristic characteristics of wild seed plants in Shaluli Mountains, China YANG Rui^a, ZENG Ying^a, SHI Songlin^{a,b,①}, ZHOU Yunhan^a, GAN Hui^a, JIANG Yuxuan^a, PENG Peihao^{a,b} (Chengdu University of Technology; a. College of Tourism and Urban-Rural Planning, b. Research Center of National Park, Sichuan Key Research Base for Social Sciences, Chengdu 610059, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2023, 32(6): 67-79

Abstract: To clarify the general situations and floristic characteristics of wild seed plants in Shaluli Mountains, species compositions, life forms, floristic elements, and vertical distribution characteristics of wild seed plants in this region were studied by combining field investigation and related records, and wild seed plants in this region and those in Baima Snow Mountain National Nature Reserve, Gongga Mountain, Gaoligong Mountain, and Wolong National Nature Reserve of Hengduan Mountains were compared. The results show that there are 4 872 species (containing subspecies grade, the same below) of wild seed plants in 941 genera of 156 families in Shaluli Mountains, containing 64 species of national first class and second class key protected wild plants, 77 species of critically endangered and endangered plants, and

收稿日期: 2023-02-16

基金项目: 第二次青藏高原综合科学考察项目(2019QZKK0402); 生态环境部生物多样性调查评估项目(2019HJ2096001006); 国家大学生创新创业训练计划项目(202110616030)

作者简介: 杨睿(1998—), 男, 四川巴中人, 硕士研究生, 主要从事植物地理学和区域生态学研究。

①通信作者 E-mail: shisonglin17@cdut.edu.cn

引用格式: 杨睿, 曾英, 石松林, 等. 沙鲁里山系野生种子植物的区系特征[J]. 植物资源与环境学报, 2023, 32(6): 67-79.

4 species of extremely small population plants. There are 8 types of life forms in wild seed plants in Shaluli Mountains, namely evergreen tree, deciduous tree, shrub, subshrub, annual or biennial herb, perennial herb (containing bamboo species), woody vine, and herbaceous vine, in which, the proportion of herb is the largest (68.0%). The statistical result shows that with the increase of elevation, the species number of arbor, shrub, herb, and vine in Shaluli Mountains all gradually increase first and then gradually decrease, but there are evident differences in elevations with the highest species number of different life forms. The floristic composition analysis result shows that the wild seed plants in Shaluli Mountains are mainly of tropical element at the family level (accounting for 53.6%), and are mainly of temperate element at the genus level (accounting for 66.6%), meanwhile, they are rich in Chinese endemic genera (30 genera) and Chinese endemic species (2 280 species), especially Hengduan Mountains endemic species (816 species). The comparison result shows that there are 116 common families, 372 common genera, and 316 common species of wild seed plants among Shaluli Mountains, Baima Snow Mountain National Nature Reserve, Gongga Mountain, Gaoligong Mountain, and Wolong National Nature Reserve. In terms of similarity coefficient, the family similarities between wild seed plants in Shaluli Mountains and those in four above-mentioned regions are relatively high (all greater than 80%) and species similarities are low (all lower than 50%), moreover, the family similarity with Baima Snow Mountain National Nature Reserve is the highest and the genus and species similarities with Gongga Mountain are the highest. In conclusion, the species diversity of wild seed plants in Shaluli Mountains is high, the vertical distribution characteristics are evident, the floristic elements are rich, and the endemism is evident, in addition, this region may be an important differentiation center of wild seed plants in Hengduan Mountains.

Key words: Hengduan Mountains; Shaluli Mountains; wild seed plants; flora; plant diversity

植物区系是某一地区或某一时期所有植物种类的总和,能够反映当地植物起源和进化历史以及自然地理环境的时空演变^[1]。植物区系研究对于探究区域植物的起源和演化、资源清查和利用、生态与物种保护有重要意义^[2]。吴征镒等^[3-4]、^[5]¹⁰⁹⁻¹¹⁵将中国种子植物科的分布区类型划分为15个分布型和36个变型,将属的分布区类型划分为15个分布型和35个亚型,为中国植物区系研究奠定了基础。随着国家及各地区植物科学考察相继实施,国内研究者已经完成全国范围及大部分地区植物志的编研工作,并对东北、西北、华北、青藏高原和黄土高原等区域的植物区系进行了系统研究,基本揭示了中国植物区系的组成和特征及地理分布格局^[6]。

在3 000万年前,横断山脉(Hengduan Mountains)开始隆起,开启了世界上最古老的高山植物群进化历程。由于地理位置特殊、地形地势复杂^[7],横断山脉已经成为全世界研究生物多样性起源与演化的热点地区之一^[8]。目前,整个横断山脉的种子植物种类、区系组成和地理分布格局已基本厘清^[9-15]。然而,近年来随着分子系统学的飞速发展,研究者们发表了一些新种,部分分类系统发生了变动,致使横断山脉原有的植物区系成分发生了明显改变^[6],其内部相对独立的地理区域的植物区系特征也缺乏深入研究,因

此,有必要对横断山脉及其相对独立的地理区域的植物区系特征进行系统研究。

沙鲁里山系(Shaluli Mountains)主要位于四川省内,为青藏高原和四川盆地的过渡地带,属于横断山脉的腹心地带^[16],植物多样性丰富^[17]。沙鲁里山系与新世纪冰期后的植物避难所存在重叠^[18],为新世纪冰期古老植物的生存提供了有利条件,留存了一些古老的特有种和孑遗种。然而,迄今为止,尚未见学者将沙鲁里山系作为一个单独的地理单元进行植物区系研究,区域内植物组成及区系特征尚不清楚。鉴于此,本研究对沙鲁里山系的野生种子植物种类组成、生活型、区系成分、垂直分布格局进行了研究,并将该地区野生种子植物与横断山脉其他4个地区的野生种子植物进行了比较,以期明确沙鲁里山系野生种子植物的概况和区系特征,为探究高原植物区系形成和演化提供重要启示,并为后期该地区的野生种子植物研究和资源利用保护提供重要依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

沙鲁里山系是金沙江和雅砻江的分水岭^[8],主要由雀儿山、海子山和格聂山等山体构成,面积约

65 000 km²,地理范围为东经 98°58′~102°04′、北纬 27°06′~30°43′。该地区以高山峡谷和高原为主,海拔 1 190~6 204 m。区域气候整体为典型高原季风气候,但在金沙江流域的河谷地带为典型的干旱河谷气候。依据四川理塘、巴塘、稻城、木里和盐源的气象站数据,年均温 9.2 °C,最冷月(1月)均温 1.1 °C,最暖月(7月)均温 15.7 °C,年均降水量 695.9 mm,年均日照时数 2 487.8 h,年均空气相对湿度 54.5%。该区域植被的垂直地带性特征明显,从河谷到山顶依次分布着亚热带常绿阔叶林、亚热带落叶阔叶林、亚热带山地针叶林、常绿落叶阔叶混交林、亚高山针叶林、亚高山硬叶常绿阔叶灌丛、亚高山常绿针叶灌丛、高山草甸和高山稀疏植被等^[19]。

1.2 研究方法

以沙鲁里山系范围内的县级行政区划为调查单元,于 2019 年至 2021 年在高原植物生长季(即每年的 5 月至 10 月)进行多次野外调查。选取保护较好且具代表性的山体布设调查样线,采取徒步行走方式开展野外调查,重点调查得荣下拥自然保护区、得荣嘎金雪山、乡城佛珠峡自然保护区、稻城海子山自然保护区、盐源泸沽湖、木里恰朗多吉自然保护区和雅江格西沟自然保护区等区域。调查时,随时记录沿途发现的野生种子植物的种类、分布、生境等信息,同时,采集植物标本,拍照记录植物形态及生境,并记录调查样线轨迹。在国家重点保护野生植物和濒危植物集中分布地布设样方,重点调查。共设置 40 条调查样线,包含 57 个乔木样方(20 m×20 m)、171 个灌木样方(5 m×5 m)和 171 个草本样方(2 m×2 m),总计 6 162 个样点,共采集 898 份植物标本。

依据四川省植物资源信息网(<http://www.sepri.ac.cn/mplant/#!/list/ZwkPtw/0/0>)、《中国植物志》(<http://www.iplant.cn/frps>)和《Flora of China》(<http://www.iplant.cn/foc>)对标本和照片进行鉴定,初步确定该区域野生种子植物名录(简称名录);根据中国植物图像库(<http://ppbc.iplant.cn>)、中国数字植物标本馆(<http://www.cvh.org.cn>)、全球生物多样性信息网络(<http://www.gbif.org>)、《横断山区维管束植物》^[14-15]等对名录进行补充,并剔除栽培种;依据中国植物物种名录(2022 版)(<http://www.sp2000.org.cn>)对名录进行修正;依据最新的分子系统学和分类修订结果将名录中的种类进行排列,其中,裸子植物按 Christenhusz 系统排列^[20],被子植物按目前应

用最广泛的 APG IV (Angiosperm Phylogeny Group IV) 系统进行排列^[21],最终建立沙鲁里山系野生种子植物基本信息数据库。植物保护级别数据来自 2021 年国家重点保护野生植物名录(http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-09/09/content_5636409.htm);植物红色名录等级数据来自世界自然保护联盟濒危物种红色名录(<https://www.iucnredlist.org>);极小种群数据来自极小种群(狭域分布)保护物种库(<http://www.nsii.org.cn/2017/minglu>)。

依据吴征镒等^{[5]109-115}对种子植物科和属的分布区类型进行统计分析,并将中国特有种按照李锡文等^[9]划分的横断山脉特有种分布小区进行统计分析。选取横断山脉的白马雪山国家级自然保护区、贡嘎山、高黎贡山、卧龙国家级自然保护区 4 个典型区域,计算这些区域野生种子植物与沙鲁里山系野生种子植物的相似系数(S_c),计算公式为 $S_c = [2C/(A+B)] \times 100\%$ ^[22-23],式中,A 和 B 分别为甲、乙两地植物的数量,C 为两地共有植物的数量。4 个典型区域野生种子植物名录数据来源于中国植物图像库、中国数字植物标本馆等网站以及《白马雪山国家级自然保护区》^[24]、《察青松多竹巴龙贡嘎山生物多样性调查报告》^[25]、《高黎贡山植物资源与区系地理》^[26]、《四川卧龙国家级自然保护区综合科学考察报告》^[27],以上数据皆剔除栽培种,分类标准与沙鲁里山系一致。

1.3 数据处理和统计

使用 EXCEL 365 软件进行数据统计,使用 R 4.1.0 软件中的 ggplot2 包完成数据可视化,使用 R 4.1.0 软件中的 LPSC 包整理植物名录。

2 结果和分析

2.1 物种组成分析

统计结果表明:沙鲁里山系野生种子植物有 156 科 941 属 4 872 种(含种下等级,下同),其中,裸子植物有 4 科 13 属 53 种,被子植物有 152 科 928 属 4 819 种。在科水平,包含 50 种以上的科有 24 个(表 1),共 3 460 种,占沙鲁里山系野生种子植物总种数的 71.0%;其中,包含 200 种以上的科有菊科(Asteraceae)、蔷薇科(Rosaceae)、毛茛科(Ranunculaceae)、豆科(Fabaceae)、禾本科(Poaceae)、唇形科(Lamiaceae)。

表1 沙鲁里山系野生种子植物中50种以上的科的统计结果
Table 1 Statistical result of families containing more than 50 species of wild seed plants in Shaluli Mountains, China

科 Family	种数 Species number	占比/% Proportion
菊科 Asteraceae	505	10.4
蔷薇科 Rosaceae	304	6.2
毛茛科 Ranunculaceae	251	5.2
豆科 Fabaceae	249	5.1
禾本科 Poaceae	225	4.6
唇形科 Lamiaceae	220	4.5
伞形科 Apiaceae	184	3.8
龙胆科 Gentianaceae	137	2.8
报春花科 Primulaceae	128	2.6
列当科 Orobanchaceae	128	2.6
杜鹃花科 Ericaceae	124	2.5
兰科 Orchidaceae	106	2.2
石竹科 Caryophyllaceae	103	2.1
杨柳科 Salicaceae	98	2.0
蓼科 Polygonaceae	95	2.0
虎耳草科 Saxifragaceae	92	1.9
十字花科 Brassicaceae	89	1.8
莎草科 Cyperaceae	70	1.4
罂粟科 Papaveraceae	67	1.4
忍冬科 Caprifoliaceae	61	1.3
景天科 Crassulaceae	58	1.2
茜草科 Rubiaceae	57	1.2
小檗科 Berberidaceae	57	1.2
桔梗科 Campanulaceae	52	1.1

根据属包含的种数(n),沙鲁里山系野生种子植物的属分为超大属($n \geq 100$)、大属($50 \leq n \leq 99$)、多种属($10 \leq n \leq 49$)、少种属($2 \leq n \leq 9$)和单种属($n = 1$)5个等级(表2)。超大属有2属217种,占该区域

野生种子植物总属数和总种数的0.2%和4.4%,其中,马先蒿属(*Pedicularis* Linn.)和杜鹃花属(*Rhododendron* Linn.)的种数分别为115和102种。大属有9属600种,占该区域野生种子植物总属数和总种数的1.0%和12.3%,其中,龙胆属[*Gentiana* (Tourn.) Linn.]、柳属(*Salix* Linn.)、风毛菊属(*Saussurea* DC.)、报春花属(*Primula* Linn.)、虎耳草属(*Saxifraga* Tourn. ex Linn.)、薹草属(*Carex* Linn.)、翠雀属(*Delphinium* Linn.)、紫菀属(*Aster* Linn.)和小檗属(*Berberis* Linn.)的种数分别为84、81、76、73、71、55、54、54和52种。多种属有113属2088种,占该区域野生种子植物总属数和总种数的12.0%和42.8%。少种属和单种属共有817属1967种,占该区域野生种子植物总属数和总种数的86.8%和40.4%。

对沙鲁里山系分布的127种国家重点保护野生植物的保护和濒危等级进行统计分析,结果见表3。从保护等级看,国家一级重点保护野生植物仅有西藏

表2 沙鲁里山系野生种子植物属的统计结果
Table 2 Statistical result of genera of wild seed plants in Shaluli Mountains, China

属分级 Genus grade	n^1	属 Genus		种 Species	
		数量 Number	占比/% Proportion	数量 Number	占比/% Proportion
超大属 Superlarge genus	$n \geq 100$	2	0.2	217	4.4
大属 Large genus	$50 \leq n \leq 99$	9	1.0	600	12.3
多种属 Many species genus	$10 \leq n \leq 49$	113	12.0	2088	42.8
少种属 Fewer species genus	$2 \leq n \leq 9$	418	44.4	1568	32.2
单种属 Single species genus	$n = 1$	399	42.4	399	8.2

¹⁾ n : 属包含的种数 Number of species included in genus.

表3 沙鲁里山系国家重点保护野生植物的保护及濒危等级
Table 3 Protection and endangered grades of national key protected wild plants in Shaluli Mountains, China

种类 Species	PG ¹⁾	EG ²⁾	种类 Species	PG ¹⁾	EG ²⁾
西藏红豆杉 <i>Taxus wallichiana</i>	I	EN	水母雪兔子 <i>Saussurea medusa</i>	II	
斑叶杓兰 <i>Cypripedium margaritaceum</i>	II	EN	绵头雪兔子 <i>Saussurea laniceps</i>	II	
丽江杓兰 <i>Cypripedium lichiangense</i>	II	EN	具柄重楼 <i>Paris fargesii</i> var. <i>petiolata</i>	II	
榆中贝母 <i>Fritillaria yuzhongensis</i>	II	EN	花叶重楼 <i>Paris marmorata</i>	II	
冬麻豆 <i>Salweenia wardii</i>	II	EN	杏 <i>Prunus armeniaca</i>	II	
大花红景天 <i>Rhodiola crenulata</i>	II	EN	茶 <i>Camellia sinensis</i>	II	
白及 <i>Bletilla striata</i>	II	EN	三刺草 <i>Aristida trisetata</i>	II	
手参 <i>Gymnadenia conopsea</i>	II	EN	黑紫披碱草 <i>Elymus atratus</i>	II	
独花兰 <i>Changnienia amoena</i>	II	EN	短柄鹅观草 <i>Elymus brevipes</i>	II	
毛重楼 <i>Paris mairei</i>	II	EN	云南红景天 <i>Rhodiola yunnanensis</i>	II	
玫瑰 <i>Rosa rugosa</i>	II	EN	长鞭红景天 <i>Rhodiola fastigiata</i>	II	
金铁锁 <i>Psammosilene tunicoides</i>	II	EN	四裂红景天 <i>Rhodiola quadrifida</i>	II	
甘松 <i>Nardostachys jatamansi</i>	II	CR	喜马拉雅红景天 <i>Rhodiola himalensis</i>	II	
五小叶槭 <i>Acer pentaphyllum</i>	II	CR	水青树 <i>Tetracentron sinense</i>	II	

续表3 Table 3 (Continued)

种类 Species	PG ¹⁾	EG ²⁾	种类 Species	PG ¹⁾	EG ²⁾
西藏杓兰 <i>Cypripedium tibeticum</i>	II		镰座景天 <i>Sedum celiae</i>		EN
紫点杓兰 <i>Cypripedium guttatum</i>	II		冰川景天 <i>Sedum sinoglaciale</i>		EN
独蒜兰 <i>Pleione bulbocodioides</i>	II		丽江鱗冠花 <i>Cystacanthus affinis</i>		EN
红椿 <i>Toona ciliata</i>	II		滇西青冈 <i>Quercus lobbii</i>		EN
金荞麦 <i>Fagopyrum dibotrys</i>	II		裂唇虎舌兰 <i>Epipogium aphyllum</i>		EN
丽江山荆子 <i>Malus rockii</i>	II		云南鸟足兰 <i>Satyrum yunnanense</i>		EN
甘肃桃 <i>Prunus kansuensis</i>	II		小巧玉凤花 <i>Habenaria diploema</i>		EN
光核桃 <i>Prunus mira</i>	II		黄花白及 <i>Bletilla ochracea</i>		EN
川桑 <i>Morus notabilis</i>	II		短距手参 <i>Gymnadenia crassinervis</i>		EN
滇牡丹 <i>Paeonia delavayi</i>	II		小白及 <i>Bletilla formosana</i>		EN
桃儿七 <i>Sinopodophyllum hexandrum</i>	II		五角马先蒿 <i>Pedicularis pentagona</i>		EN
红花绿绒蒿 <i>Meconopsis punicea</i>	II		贯叶马兜铃 <i>Aristolochia delavayi</i>		EN
乳头百合 <i>Lilium papilliferum</i>	II		短柄乌头 <i>Aconitum brachypodum</i>		EN
川贝母 <i>Fritillaria cirrhosa</i>	II		丽江翠雀花 <i>Delphinium likiangense</i>		EN
尖叶栎 <i>Quercus oxyphylla</i>	II		木里翠雀花 <i>Delphinium muliense</i>		EN
狭叶重楼 <i>Paris polyphylla</i> var. <i>stenophylla</i>	II		圆齿鸦跖花 <i>Oxygraphis endlicheri</i>		EN
黑籽重楼 <i>Paris thibetica</i>	II		黄毛翠雀花 <i>Delphinium chrysotrichum</i>		EN
香果树 <i>Emmenopterys henryi</i>	II		黄毛乌头 <i>Aconitum chrysotrichum</i>		EN
油樟 <i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	II		槭叶铁线莲 <i>Clematis acerifolia</i>		EN
澜沧黄杉 <i>Pseudotsuga forrestii</i>	II		苹果 <i>Malus pumila</i>		EN
梭砂贝母 <i>Fritillaria delavayi</i>	II		赛良苕 <i>Anisodus carniolicoides</i>		EN
岷江柏木 <i>Cupressus chengiana</i>	II		短管瑞香 <i>Daphne brevituba</i>		EN
芒苞草 <i>Acahochlamys bracteata</i>	II		丽江当归 <i>Angelica likiangensis</i>		EN
三蕊草 <i>Sinochasea trigyna</i>	II		西藏山龙眼 <i>Helicia tibetensis</i>		EN
红景天 <i>Rhodiola rosea</i>	II		异萼柿 <i>Diospyros anisocalyx</i>		EN
圣地红景天 <i>Rhodiola sacra</i>	II		黄山药 <i>Dioscorea panthaica</i>		EN
云南独蒜兰 <i>Pleione yunnanensis</i>	II		小花盾叶薯蓣 <i>Dioscorea sinoparviflora</i>		EN
黄花杓兰 <i>Cypripedium flavum</i>	II		毛胶薯蓣 <i>Dioscorea subcalva</i>		EN
西南手参 <i>Gymnadenia orchidis</i>	II		鳞皮云杉 <i>Picea retroflexa</i>		EN
春兰 <i>Cymbidium goeringii</i>	II		云南卫矛 <i>Euonymus yunnanensis</i>		EN
七叶一枝花 <i>Paris polyphylla</i>	II		广南槭 <i>Acer kwangnanense</i>		EN
华重楼 <i>Paris polyphylla</i> var. <i>chinensis</i>	II		粉叶紫堇 <i>Corydalis leucanthema</i>		EN
西康天女花 <i>Oyama wilsonii</i>	II		银叶桂 <i>Cinnamomum mairei</i>		EN
疙瘩七 <i>Panax bipinnatifidus</i>	II		山紫茉莉 <i>Oxybaphus himalaicus</i>		EN
八角莲 <i>Dysosma versipellis</i>	II		黄波罗花 <i>Incarvillea lutea</i>		EN
楠木 <i>Phoebe zhennan</i>	II		巴蜀报春 <i>Primula rupestris</i>		CR
大叶假百合 <i>Notholirion macrophyllum</i>		EN	木里堇菜 <i>Viola muliensis</i>		CR
黄洼瓣花 <i>Lloydia delavayi</i>		EN	长柱石莲 <i>Sinocrassula longistyla</i>		CR
豹子花 <i>Lilium pardanthinum</i>		EN	二型叶景天 <i>Sedum dimorphophyllum</i>		CR
总序报春 <i>Primula pauliana</i>		EN	禄劝花叶重楼 <i>Paris luquanensis</i>		CR
丽江铃子香 <i>Chelonopsis lichiangensis</i>		EN	帚状马先蒿 <i>Pedicularis fastigiata</i>		CR
木里冠唇花 <i>Microtoena muliensis</i>		EN	贡噶翠雀花 <i>Delphinium hui</i>		CR
大叶鼠尾草 <i>Salvia grandifolia</i>		EN	美国白栎 <i>Fraxinus americana</i>		CR
短翼黄耆 <i>Astragalus breviaulatus</i>		EN	三分三 <i>Anisodus acutangulus</i>		CR
滨海木蓝 <i>Indigofera litoralis</i>		EN	三分七 <i>Anisodus acutangulus</i> var. <i>breviflorus</i>		CR
苞叶杜鹃 <i>Rhododendron bracteatum</i>		EN	光亮薯蓣 <i>Dioscorea nitens</i>		CR
纯白杜鹃 <i>Rhododendron wardii</i> var. <i>puralbum</i>		EN	三角叶薯蓣 <i>Dioscorea deltoidea</i>		CR
盐源野青茅 <i>Deyeuxia yanyuanensis</i>		EN	柔毛薯蓣 <i>Dioscorea martini</i>		CR
变光软毛黄杨 <i>Buxus mollicula</i> var. <i>glabra</i>		EN	裂叶波罗花 <i>Incarvillea dissectifoliola</i>		CR
小果蜡瓣花 <i>Corylopsis microcarpa</i>		EN			

1) PG: 保护等级 Protection grade. I: 一级 First class; II: 二级 Second class.

2) EG: 濒危等级 Endangered grade. EN: 濒危 Endangered; CR: 极危 Critically endangered.

红豆杉(*Taxus wallichiana* Zucc.) 1种,分布在盐源县泸沽湖镇和凉山彝族自治州木里县鸭嘴自然保护区、巴丁拉姆自然保护区、乔瓦镇、卡拉乡、博窝乡、博科乡及白碉乡等地;国家二级重点保护野生植物有63种,以兰科(Orchidaceae)、景天科(Crassulaceae)、藜芦科(Melanthiaceae)和蔷薇科种类为主,分别有12、7、7和5种。从濒危等级看,濒危植物有61种,极危植物有16种,并且,这些植物以兰科、毛茛科、薯蓣科(Dioscoreaceae)和景天科种类为主,分别有12、8、6和5种。另外,沙鲁里山系还分布有4种极小种群植物,分别是斑叶杓兰(*Cypripedium margaritaceum* Franch.)、丽江杓兰(*Cypripedium lichiangense* S. C. Chen)、澜沧黄杉(*Pseudotsuga forrestii* Craib)、喜树(*Camptotheca acuminata* Decne.)。

2.2 生活型分析

生活型分析结果(表4)表明:沙鲁里山系野生种子植物的生活型有常绿乔木、落叶乔木、灌木、半灌木、一二年生草本、多年生草本(含竹类植物)、木质藤本和草质藤本8个类型,分别有115、244、1 011、41、582、2 733、97和49种,其中,多年生草本种类占比最高(56.1%),灌木种类占比次之(20.8%),一二年生草本种类占比(11.9%)排第3位,其余生活型种类占比均不超过5%,且半灌木占比最低(0.8%)。

由表4还可见,该区域野生种子植物中,草本植物(包括一二年生草本和多年生草本)占比最大(68.0%);灌木(包括灌木和半灌木)占比次之(21.6%);乔木(包括常绿乔木和落叶乔木)占比7.4%,且落叶乔木种类占比约为常绿乔木种类占比的2倍;藤本植物(包括木质藤本和草质藤本)占比最小(3.0%)。

表4 沙鲁里山系野生种子植物生活型统计结果

Table 4 Statistical result of life forms of wild seed plants in Shaluli Mountains, China

生活型 Life form	种数 Species number	占比/% Proportion
常绿乔木 Evergreen tree	115	2.4
落叶乔木 Deciduous tree	244	5.0
灌木 Shrub	1 011	20.8
半灌木 Subshrub	41	0.8
一二年生草本 Annual or biennial herb	582	11.9
多年生草本 ¹⁾ Perennial herb ¹⁾	2 733	56.1
木质藤本 Woody vine	97	2.0
草质藤本 Herbaceous vine	49	1.0

¹⁾ 含竹类植物 Containing bamboo species.

2.3 垂直分布格局分析

沙鲁里山系野生种子植物总种数垂直分布格局分析结果(图1)表明:沙鲁里山系野生种子植物总种数随着海拔升高呈现先逐渐增多后逐渐减少的趋势,其中,海拔3 000 m左右区域分布的野生种子植物总种数最多,接近2 000种。

对沙鲁里山系不同生活型野生种子植物的垂直分布格局进行分析,结果(图1)表明:该区域乔木、灌木、草本和藤本植物种数也随着海拔升高呈现先逐渐增多后逐渐减少的趋势,但不同生活型种数达到峰值的海拔明显不同,其中,乔木种数在海拔2 200 m左右达到峰值,灌木种数在海拔2 600 m左右达到峰值,草本种数在海拔3 300 m左右达到峰值,藤本种数在海拔2 100 m左右达到峰值。

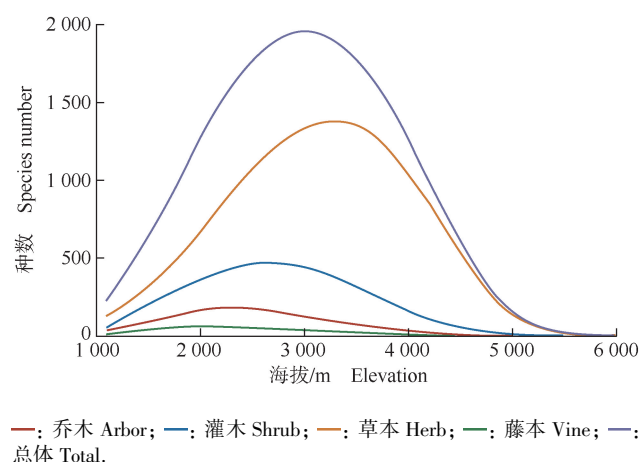


图1 沙鲁里山系野生种子植物的垂直分布特征

Fig. 1 Vertical distribution characteristics of wild seed plants in Shaluli Mountains, China

2.4 区系成分分析

2.4.1 科区系成分分析 科区系成分的分析结果(表5)表明:沙鲁里山系野生种子植物科的分布区类型包括12个分布型和12个变型。世界广布型有46科,以菊科、蔷薇科、毛茛科、豆科、禾本科、唇形科等为典型科,包含种数均大于或等于200种。热带成分共有59科,占该区域野生种子植物(不包括世界广布型,下同)总科数的53.6%。其中,泛热带分布型及其变型科数最多(42科),占该区域野生种子植物总科数的38.2%;东亚(热带、亚热带)及热带南美间断分布型科数次之(10科),占该区域野生种子植物总科数的9.1%。温带成分共有51科,占该区域野生种子

植物总科数的46.4%。其中,北温带分布型及其变型科数最多(35科),占该区域野生种子植物总科数的31.8%;东亚及北美间断分布型科数次之(7科),占该区域野生种子植物总科数的6.4%。

2.4.2 属区系成分分析 属区系成分的分析结果

(表5)表明:沙鲁里山系野生种子植物属的分布区类型包括15个分布型和13个亚型。世界广布型有67属,其中,龙胆属、藜草属、蒿属(*Artemisia* Linn.)、铁线莲属(*Clematis* Linn.)、黄耆属(*Astragalus* Linn.)、鼠尾草属(*Salvia* Linn.)等为典型属,包含种数均大于或

表5 沙鲁里山系野生种子植物的区系成分分析

Table 5 Analysis on floristic composition of wild seed plants in Shaluli Mountains, China

分布区类型 Areal type	科 Family		属 Genus	
	数量 Number	占比/% ¹⁾ Proportion ¹⁾	数量 Number	占比/% ¹⁾ Proportion ¹⁾
1. 世界广布 Wide spread	46		67	
2. 泛热带分布 Pantropic	34	30.9	127	14.5
2-1. 热带亚洲-大洋洲和热带美洲(南美洲或/和墨西哥)分布 Trop. Asia-Australasia and Trop. Amer. (S. Amer. or/and Mexico)	1	0.9	1	0.1
2-2. 热带亚洲-热带非洲-热带美洲(南美洲)分布 Trop. Asia-Trop. Afr.-Trop. Amer. (S. Amer.)	2	1.8	1	0.1
2S. 以南半球为主的泛热带分布 Pantropic especially S. Hemisphere	5	4.5	—	—
3. 东亚(热带、亚热带)及热带南美间断分布 Trop. and Subtr. E. Asia and (S.) Trop. Amer. disjuncted	10	9.1	18	2.1
4. 旧世界热带分布 Old World Trop.	2	1.8	42	4.8
5. 热带亚洲至热带大洋洲分布 Trop. Asia to Trop. Australasia	2	1.8	27	3.1
6. 热带亚洲至热带非洲分布 Trop. Asia to Trop. Africa	1	0.9	30	3.4
7. 热带亚洲(即热带东南亚至印度-马来,太平洋诸岛)分布 Trop. Asia (Trop. SE. Asia to Indo-Malaya+Trop. S. and SW. Pacific Isl.)	2	1.8	44	5.0
7-1. 爪哇(或苏门答腊),喜马拉雅间断或星散分布到华南、西南 Java (or Sumatra), Himalaya disjuncted or diffused to S., SW. China	—	—	2	0.2
8. 北温带分布 N. Temp.	9	8.2	168	19.2
8-1. 环极(环北极,环南极)分布 Circumpolar (Circumarctic and Amphipolar)	2	1.8	1	0.1
8-2. 北极-高山分布 Arctic-Alpine	1	0.9	10	1.1
8-3. 北极至阿尔泰和北美洲间断分布 Arctic to Altai and N. Amer. disjuncted	1	0.9	—	—
8-4. 北温带和南温带间断分布 N. Temp. and S. Temp. disjuncted	17	15.5	32	3.7
8-5. 欧亚和南美洲温带间断分布 Eurasia and Temp. S. Amer. disjuncted	2	1.8	2	0.2
8-6. 地中海、东亚、新西兰和墨西哥-智利间断分布 Mediterranean, E. Asia, N. Z. and Mexico-Chile disjuncted	3	2.7	1	0.1
9. 东亚及北美间断分布 E. Asia and N. Amer. disjuncted	7	6.4	53	6.1
10. 旧世界温带分布 Old World Temp.	2	1.8	96	11.0
10-1. 地中海区,至西亚(或中亚)和东亚间断分布 Mediterranean, W. Asia (or C. Asia) and E. Asia disjuncted	—	—	3	0.3
10-3. 欧亚和南非(有时也在澳大利亚)间断分布 Eurasia and S. Afr. (sometimes also Australia) disjuncted	—	—	1	0.1
11. 温带亚洲分布 Temp. Asia	—	—	20	2.3
12. 地中海区、西亚至中亚分布 Medit., W. Asia to C. Asia	1	0.9	16	1.8
12-1. 地中海区至中亚和南非洲和/或大洋洲间断分布 Mediterranean to C. Asia and S. Afr. and/or Australasia disjuncted	1	0.9	—	—
12-2. 地中海区至西亚或中亚和墨西哥或古巴间断分布 Mediterranean to W. or C. Asia and Mexico or Cuba disjuncted	1	0.9	—	—
13. 中亚分布 C. Asia	—	—	18	2.1
13-2. 中亚东部至喜马拉雅和中国西南部分布 E. C. Asia to Himalaya and SW. China	—	—	3	0.3
14. 东亚分布 E. Asia	3	2.7	44	5.0
14-1. 中国-喜马拉雅分布 Sino-Himalaya	—	—	67	7.7
14-2. 中国-日本分布 Sino-Japan	1	0.9	17	1.9
15. 中国特有分布 Endemic to China	—	—	30	3.4

¹⁾ 计算时不包括世界广布型 The wide spread type is not included in the calculation. —: 无数据 No datum.

等于30种。热带成分共有292属,占该区域野生种子植物(不包括世界广布型,下同)总属数的33.4%。其中,泛热带分布型及其亚型属数最多(129属);热带亚洲分布型及其亚型属数次之(46属);接下来依次为旧世界热带分布型、热带亚洲至热带非洲分布型、热带亚洲至热带大洋洲分布型以及东亚(热带、亚热带)及热带南美间断分布型(含亚型)分别有42、30、27和18属。温带成分共有582属,占该区域野生种子植物总属数的66.6%。其中,北温带分布型及其亚型属数最多(214属),占该区域野生种子植物总属数的24.5%,马先蒿属、杜鹃花属等超大属均属于该分布型;东亚分布型及其亚型属数次之(128属),占该区域野生种子植物总属数的14.6%;旧世界温带分布型及其亚型属数较多(100属),占该区域野生种子植物总属数的11.4%。

2.4.3 中国特有植物分布小区分析 统计结果显示:沙鲁里山系的中国特有属有30属,总计48种,其中,毛冠菊属(*Nannoglottis* Maxim.)、羌活属(*Notopterygium* H. Boissieu)均有5种,秦岭藤属(*Biondia* Schltr.)、翅茎草属(*Pterygiella* Oliv.)均有3种,双盾木属(*Dipelta* Maxim.)、弓翅芹属(*Arcuatopterus* M. L. Sheh et R. H. Shan)、环根芹属(*Cyclorhiza* M. L. Sheh et R. H. Shan)、舟瓣芹属(*Sinolimprichtia* H. Wolff)、半脊茅属(*Hemilophia* Franch.)、鹭鸶草属(*Diuranthera* Hemsl.)均有2种;其余属均为单种属,包括细穗玄参属(*Scrofella* Maxim.)、四棱草属(*Schnabelia* Hand.-Mazz.)、冬麻豆属(*Salweenia* Baker f.)、芒苞草属(*Acanthochlamys* P. C. Kao)、三蕊草属(*Sinochasea* Keng)、虎榛子属(*Ostryopsis* Decne.)、苞叶姜属〔*Pyrgophyllum* (Gagnep.) T. L. Wu et Z. Y. Chen〕、岷江景天属(*Ohbaea* V. V. Byalt et I. V. Sokolova)、复芒菊属(*Formania* W. W. Sm. et J. Small)、栉菊木属(*Nouelia* Franch.)、长冠苣苔属(*Rhabdothamnopsis* Hemsl.)、独花兰属(*Changnienia* S. S. Chien)、喜树属(*Camptotheca* Decne.)、罂粟莲花属〔*Anemoclema* (Franch.) W. T. Wang〕、藤山柳属(*Clematoclethra* Maxim.)、马蹄黄属(*Spenceria* Trimen)、滇芹属(*Sinodielsia* H. Wolff)、金铁锁属(*Psammosilene* W. C. Wu et C. Y. Wu)、栌属(*Koelreuteria* Laxm.)、长蕊斑种草属(*Antiotrema* Hand.-Mazz.)。

从种来看,沙鲁里山系的中国特有种有2280

种,其中,横断山脉特有种有816种,占该区域野生种子植物总种数的16.7%,占该区域中国特有种总种数的35.8%;非横断山脉特有种有1464种,占该区域野生种子植物总种数的30.0%,占该区域中国特有种总种数的64.2%。对沙鲁里山系野生种子植物中横断山脉特有种进行分布小区分析,结果(表6)表明:在14个分布小区中,滇西北川西南小区种数最多(404种),占该区域中国特有种总种数的17.7%;而川西南、川西南川西北、川西北藏东南、川西南川西北藏东南、滇西北川西南川西北和滇西北川西北藏东南小区种数较少,均在10种以下。

2.5 与横断山脉相邻地区植物的比较

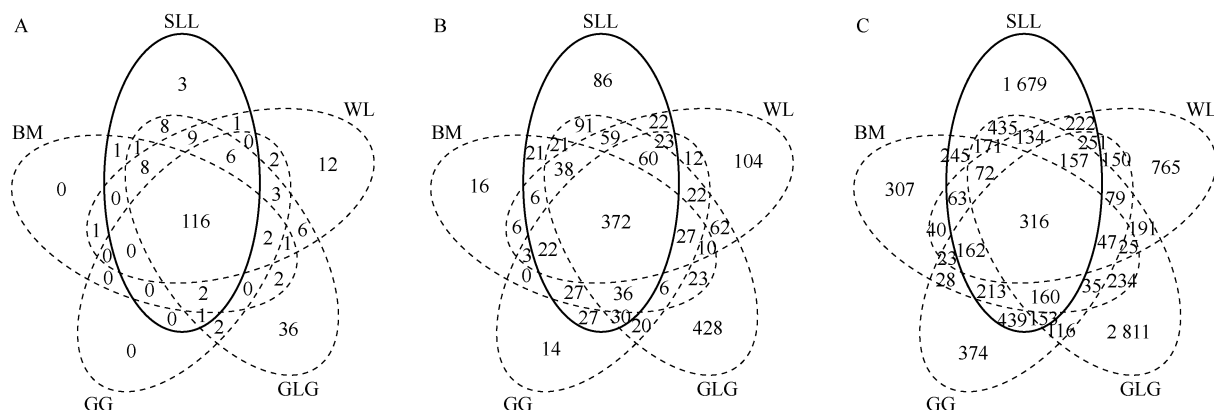
对横断山脉白马雪山国家级自然保护区、贡嘎山、高黎贡山、卧龙国家级自然保护区4个地区的野生种子植物进行统计分析,结果显示:白马雪山国家级自然保护区野生种子植物有134科634属2146种,贡嘎山野生种子植物有134科701属2703种,高黎贡山野生种子植物有203科1306属5136种,卧龙国家级自然保护区野生种子植物有167科848属2699种。将沙鲁里山系及上述4个地区的野生种子植物进行科、属、种分布韦恩图分析,结果见图2。结果表明:5个地区的共有科有116科,其中,高黎贡山的特有科最多(36科),卧龙国家级自然保护区的特有科次之(12科),沙鲁里山系的特有科较少(3科),而白马雪山国家级自然保护区和贡嘎山无特有科(图2-A);5个地区的共有属有372属,其中,高黎贡山的特有属同样最多(428属),卧龙国家级自然保护区的特有属次之(104属),沙鲁里山系的特有属居中(86属),而白马雪山国家级自然保护区和贡嘎山的特有属较少,分别只有16和14属(图2-B);5个地区的共有种有316种,其中,高黎贡山和沙鲁里山系的特有种较多,分别有2811种和1679种,卧龙国家级自然保护区的特有种居中(765种),而白马雪山国家级自然保护区和贡嘎山的特有种相对较少,分别有307和374种(图2-C)。

相似性分析结果(表7)表明:沙鲁里山系野生种子植物与横断山脉其他4个地区野生种子植物的科相似性系数均在80%以上,其中,与白马雪山国家级自然保护区的科相似性系数最高(88.3%),与高黎贡山的科相似性系数最低(84.1%);与4个地区野生种子植物的属相似性系数均在60%以上,其中,与贡嘎山的属相似性系数最高(72.7%),与高黎贡山的属相

似性系数最低(63.8%);与 4 个地区野生种子植物的种相似性系数偏低,均在 50% 以下,其中,与贡嘎山种相似性系数最低(32.2%)。与高黎贡山的种相似性系数最高(48.9%),与高黎贡山的种相似性系数最低(32.2%)。

表 6 沙鲁里山系野生种子植物中横断山脉特有种的分布小区分析
Table 6 Analysis on distribution plots of endemic species of Hengduan Mountains in wild seed plants in Shaluli Mountains, China

分布小区 Distribution plot	科数 Family number	属数 Genus number	种数 Species number
a. 滇西北 Northwest Yunnan	35	61	97
b. 川西南 Southwest Sichuan	6	7	7
c. 川西北 Northwest Sichuan	15	23	30
d. 藏东南 Southeast Tibet	25	40	59
e. 滇西北川西南 Northwest Yunnan and southwest Sichuan	68	193	404
f. 滇西北藏东南 Northwest Yunnan and southeast Tibet	27	36	41
g. 川西南川西北 Southwest Sichuan and northwest Sichuan	3	3	3
h. 川西南藏东南 Southwest Sichuan and southeast Tibet	21	32	34
i. 川西北藏东南 Northwest Sichuan and southeast Tibet	2	2	2
j. 滇西北川西南藏东南 Northwest Yunnan, southwest Sichuan and southeast Tibet	10	13	13
k. 川西南川西北藏东南 Southwest Sichuan, northwest Sichuan and southeast Tibet	1	1	1
l. 滇西北川西南川西北 Northwest Yunnan, northwest Sichuan and northwest Sichuan	5	5	5
m. 滇西北川西北藏东南 Northwest Yunnan, northwest Sichuan and southeast Tibet	2	2	2
n. 全区 Whole area	40	84	118



SLL: 沙鲁里山系 Shaluli Mountains; BM: 白马雪山国家级自然保护区 Baima Snow Mountain National Nature Reserve; GG: 贡嘎山 Gongga Mountain; GLG: 高黎贡山 Gaoligong Mountain; WL: 卧龙国家级自然保护区 Wolong National Nature Reserve.

图 2 沙鲁里山系野生种子植物与横断山脉其他 4 个地区野生种子植物的科(A)、属(B)、种(C)分布韦恩图
Fig. 2 Venn diagrams of family (A), genus (B), species (C) of wild seed plants in Shaluli Mountains and those in other four regions of Hengduan Mountains, China

表 7 沙鲁里山系野生种子植物与横断山脉其他 4 个地区野生种子植物的相似性分析
Table 7 Analyses on similarities between wild seed plants in Shaluli Mountains and those in other four regions of Hengduan Mountains, China

地区 ¹⁾ Region ¹⁾	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Elevation	面积/km ² Area	种数 Species number	与沙鲁里山系野生种子植物的相似性系数/% Similarity coefficient with wild seed plants in Shaluli Mountains		
						科 Family	属 Genus	种 Species
BM	E98°47'-99°21'	N27°25'-28°36'	2 011-5 366	2 825	2 146	88.3	69.0	40.3
GG	E101°29'-102°12'	N29°01'-30°05'	1 513-7 143	4 516	2 703	86.2	72.7	48.9
GLG	E98°08'-98°52'	N24°56'-28°22'	1 174-5 167	3 243	5 136	84.1	63.8	32.2
WL	E102°52'-103°24'	N30°45'-31°25'	1 168-6 132	2 119	2 699	86.7	67.3	36.7

¹⁾ BM: 白马雪山国家级自然保护区 Baima Snow Mountain National Nature Reserve; GG: 贡嘎山 Gongga Mountain; GLG: 高黎贡山 Gaoligong Mountain; WL: 卧龙国家级自然保护区 Wolong National Nature Reserve.

3 讨论和结论

3.1 沙鲁里山系野生种子植物的多样性

中国是全球种子植物区系最丰富的国家之一,根据中国植物物种名录(2022版)统计,中国共分布有种子植物282科3410属38844种。笔者在野外调查时发现,在沙鲁里山系海拔1190~6000m区间内皆有植物分布,低海拔区域以干旱河谷灌丛植被种类为主,物种数量较少;中海拔区域分布有针阔混交林和亚高山暗针叶林,具有较高的物种丰富度;而在海拔4500m以上高海拔区域的高山流石滩和永久冰雪带植被稀少,仅零星散布低矮的草本种类。与横断山脉其他地区相比,沙鲁里山系野生种子植物的丰富度明显高于白马雪山国家级自然保护区、贡嘎山和卧龙国家级自然保护区,但略低于高黎贡山。总体来看,沙鲁里山系是横断山脉野生种子植物较为丰富的典型区域之一,共有野生种子植物4872种,隶属于156科941属,包含裸子植物4科13属53种、被子植物152科928属4819种,该区域裸子植物的科、属、种数量占整个横断山脉裸子植物科、属、种总数^[13]的80.0%、81.2%、68.0%,占青藏高原地区裸子植物科、属、种总数^[13]的57.1%、92.9%、64.6%,占四川省裸子植物科、属、种总数〔数据来自中国植物物种名录(2022版)〕的57.1%、41.9%、32.9%,占全国裸子植物科、属、种总数〔数据来自中国植物物种名录(2022版)〕的40.0%、28.9%、13.1%;该区域被子植物的科、属、种数量占整个横断山脉被子植物科、属、种总数^[13]的84.9%、72.2%、57.7%,占青藏高原裸子植物科、属、种总数^[13]的78.0%、59.3%、40.1%,占四川省被子植物科、属、种总数〔数据来自中国植物物种名录(2022版)〕的81.3%、60.1%、42.5%,占全国被子植物科、属、种总数〔数据来自中国植物物种名录(2022版)〕的55.9%、27.6%、12.5%。

值得注意的是,沙鲁里山系野生种子植物中超级大科(包含种数大于或等于100)优势明显,包含50种以上的科共3460种;该区域的少种属和单种属众多,共有817属,占该区域野生种子植物总属数的86.8%,表现出明显的特有现象。另外,沙鲁里山系分布有众多国家重点野生保护植物(64种)、极危和濒危植物(77种)、极小种群植物(4种),表明该区域野生种子植物种类复杂、多样,这可能与该区域存在

一些高山流石滩、高寒草甸等狭窄的特殊生境有关。鉴于该区域野生种子植物的上述分布特征,笔者认为沙鲁里山系可能会成为未来横断山脉植物保护研究的一个热点区域。

3.2 沙鲁里山系野生种子植物的垂直分布格局

笔者在野外调查时发现,沙鲁里山系的海拔多在3000m以上,物种数量随海拔升高呈现先增多后减少的变化趋势,并且这一分布趋势在乔木、灌木、草本、藤本上皆有体现,但不同生活型野生种子植物种数达到峰值的海拔区间存在差异,这些研究结果与横断山脉其他地区的研究结果类似^[10,13,28]。说明沙鲁里山系野生种子植物垂直分布特征明显,海拔可能是导致其垂直分布特征的主要原因。

在沙鲁里山系海拔2200m左右,乔木种类多样性最高,且大部分乔木种类为北温带成分,其中,常绿乔木主要为栎属(*Quercus* Linn.)、刺柏属(*Juniperus* Linn.)、云杉属(*Picea* A. Dietr.)、冷杉属(*Abies* Mill.)等属的种类,落叶乔木主要为李属(*Prunus* Linn.)、槭属(*Acer* Linn.)、杨属(*Populus* Linn.)、山茱萸属(*Cornus* Linn.)等属的种类。该区域灌木种数的峰值分布在海拔2600m左右,主要由蔷薇科、杜鹃花科、豆科、小檗科(*Berberidaceae*)、唇形科、忍冬科(*Caprifoliaceae*)等科的种类组成。草本植物是沙鲁里山系野生种子植物的主要生活型,占比达68.0%。从科来看,菊科、毛茛科、豆科、禾本科、唇形科、伞形科(*Apiaceae*)等世界广布科是沙鲁里山系野生草本植物的绝对优势科;而从属来看,马先蒿属、龙胆属、风毛菊属、虎耳草属、报春花属、蓼草属、翠雀属、紫堇属(*Corydalis* DC.)、乌头属(*Aconitum* Linn.)、紫菀属等温带属占比较高,且属下物种大多呈现高山寒带特征。研究发现,海拔对植物的分布具有限制和过滤作用^[12],植物为了适应环境会呈现不同的海拔偏好和适宜海拔范围^[29],这可能是沙鲁里山系乔木、灌木、草本分布的海拔峰值和海拔上限依次升高,以及在流石滩和永久冰雪带仅零星散布一些低矮草本种类的主要原因。除铁线莲属外,该区域绝大多数藤本植物隶属于热带属,如马兜铃属(*Aristolochia* Linn.)、赤爬属(*Thladiantha* Bunge)、千金藤属(*Stephania* Lour.)等,加之藤本植物的攀援性和缠绕性特征,沙鲁里山系的藤本植物主要分布在低海拔的干旱河谷灌丛以及针阔混交林中。

3.3 沙鲁里山系野生种子植物的区系特征

横断山脉是青藏高原野生种子植物最丰富的区域,虽然热带、亚热带、温带以及高山寒带植物在横断山区皆有分布,但统计结果显示温带属比例显著高于其余区系成分属^[9],其中北温带成分和喜马拉雅成分与该区域特殊的地理环境和第四纪以来新构造运动导致的横断山脉隆起密切相关^[8]。相关调查研究发现,横断山脉的野生种子植物由1993年的226科1325属7954种^[9]变为2020年的184科1273属8439种^[13],这种变化不仅是资料不足、信息缺乏导致的统计误差,更是分子证据在植物分类学中的广泛应用导致的部分科、属、种分类系统变动(如新种发表,原种修订,以及科和属的拆分、归并和独立)^[30]。因此,沙鲁里山系部分科和属的区系成分发生改变。例如:芒苞草(*Acanthochlamys bracteata* P. C. Kao)由中国特有科芒苞草科(*Acanthochlamydaceae*)归入翡翠科(*Velloziaceae*),因此,原属于热带非洲-热带美洲间断分布型的翡翠科出现亚洲性质^[4],区系特征呈现热带亚洲-热带非洲-热带美洲(南美洲)分布变型特征^[31-32];被子植物八纲系统中玄参科(*Scrophulariaceae*)的通泉草属(*Mazus* Lour.)和肉果草属(*Lancea* Hook. f. et Thomson),在APG IV系统中均被划分为通泉草科(*Mazaceae*)^[33-34],因此,玄参科和新独立的通泉草科的区系类型皆需要重新认定;藏莓草属(*Dryadanthë* Endl.)、吴黄木属(*Vuhuangia* Solomon Raju, Molinari et Mayta)等新属的区系类型也需要确立。

统计结果显示:沙鲁里山系野生种子植物区系成分在科水平以热带成分为主,在属水平则以温带成分为主,表明沙鲁里山系野生种子植物受热带植物区系影响较深。同时,沙鲁里山系野生种子植物的特有现象明显,拥有中国特有属30属、中国特有种2280种,其中横断山脉特有种有816种,表明沙鲁里山系野生种子植物具有明显的温带区系特征,在科、属、种水平上温带成分依次递增,由此推测,沙鲁里山系野生种子植物在分化过程中热带成分向温带成分过渡。并且,该区域具有丰富的单种属,如芒苞草属^[32]、冬麻豆属、鹭鸶草属、桃儿七属(*Sinopodophyllum* T. S. Ying)^[35]、狼毒属(*Stellera* Linn.)^[36]等,表明沙鲁里山系野生种子植物的区系特征具有古老性和子遗性。系统发育和地质研究结果也表明:新世纪冰期和气候振荡期植物的避难所出现在横断山脉东南边缘区

域^[37],南横断山脉亚地区被认为是横断山区植物区系的核心^{[5]87},该地区与沙鲁里山系存在一定的地理重叠,使得古南大陆和古地中海的孑遗种类芒苞草、中华黏腺果[*Commicarpus chinensis* (Linn.) Heim.]、冬麻豆(*Salweenia wardii* Baker f.)、独尾草(*Eremurus chinensis* Fedtsch.)、星叶草(*Circaeaster agrestis* Maxim.)等^[9]被保留下来,表明沙鲁里山系植物区系是在第四纪的新构造运动后,随着青藏高原隆升、古地中海退缩、古热带植物汇入,并经过适应及特化而形成的。

沙鲁里山系野生种子植物中的横断山脉特有植物以包含滇西北区域的占比较大,说明沙鲁里山系与滇西北植物类群关联密切。与横断山脉其他地区野生种子植物相似性对比发现,沙鲁里山系与距离较近的白马雪山国家级自然保护区和贡嘎山的野生种子植物相似性较高,而与距离较远的高黎贡山和卧龙国家级自然保护区的野生种子植物相似性较低,反映出横断山脉野生种子植物的不连续分布特征^[38]。比较而言,高黎贡山和沙鲁里山系的特有种较多,这可能与地理隔离导致高黎贡山和沙鲁里山系在横断山脉形成了分化中心或特有中心有关^[11,39]。例如:沙鲁里山系存在原始的东俄芹属(*Tongoloo* H. Wolff)和环根芹属(*Cyclorhiza* M. L. Sheh et R. H. Shan),由此推测该区域可能是中国伞形科特有属的起源和分化中心^[40];分子生物学证据表明红景天属(*Rhodiola* Linn.)^[41]、龙胆属^[42]的起源地在喜马拉雅-横断山脉地区,而沙鲁里山系拥有中国近1/3的红景天属(24种)和近1/3的龙胆属(84种)种类,由此推测沙鲁里山系可能是横断山脉野生种子植物的重要分化中心。

3.4 结论

以沙鲁里山系为单独地理单元进行野生种子植物调查分析,结果表明:该区域共有野生种子植物156科941属4872种,包括国家一级和二级重点保护野生植物64种、极危和濒危植物77种、极小种群植物4种;该区域植物生活型以草本植物为主,且该区域野生种子植物的垂直分布格局明显,乔木、灌木、草本、藤本植物均随着海拔升高呈现先逐渐增多后逐渐减少的趋势,但不同生活型种数达到峰值的海拔存在明显差异。综合分析认为,沙鲁里山系野生种子植物物种多样性高,垂直分布特征明显,区系成分丰富,特有现象明显,并且,该区域可能是横断山脉野生种子植物的重要分化中心。

值得注意的是,本研究存在一些不足:1) 受限于野外调查,文中涉及的野生种子植物中约 2/3 的种类来源于志书记载和电子标本,这可能会导致统计结果出现误差,与实际情况存在差异;2) 本研究仅分析了中国特有种在横断山脉的亚区划分,在非中国特有种的分区上存在欠缺,有待后续深入研究。

参考文献:

- [1] 王荷生. 植物区系地理[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 1-3.
- [2] 陈之端, 张晓霞, 胡海花, 等. 中国植物地理学研究进展与展望[J]. 地理学报, 2022, 77(1): 120-132.
- [3] 吴征镒. 论中国植物区系的分区问题[J]. 云南植物研究, 1979, 1(1): 1-20.
- [4] 吴征镒, 周浙昆, 李德铎, 等. 世界种子植物科的分布区类型系统[J]. 云南植物研究, 2003, 25(3): 245-257.
- [5] 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, 2011.
- [6] 孙航, 邓涛, 陈永生, 等. 植物区系地理研究现状及发展趋势[J]. 生物多样性, 2017, 25(2): 111-122.
- [7] 李炳元. 横断山脉范围探讨[J]. 山地研究, 1987, 5(2): 74-82.
- [8] DING W N, REE R H, SPICER R A, et al. Ancient orogenic and monsoon-driven assembly of the world's richest temperate alpine flora[J]. Science, 2020, 369(6503): 578-581.
- [9] 李锡文, 李捷. 横断山脉地区种子植物区系的初步研究[J]. 云南植物研究, 1993, 15(3): 217-231.
- [10] ZHANG D C, ZHANG Y H, BOUFFORD D E, et al. Elevational patterns of species richness and endemism for some important taxa in the Hengduan Mountains, southwestern China[J]. Biodiversity and Conservation, 2009, 18: 699-716.
- [11] SUN H, ZHANG J W, DENG T, et al. Origins and evolution of plant diversity in the Hengduan Mountains, China[J]. Plant Diversity, 2017, 39: 161-166.
- [12] LI X H, SUN H. Phylogenetic pattern of alpine plants along latitude and longitude in Hengduan Mountains Region[J]. Plant Diversity, 2017, 39: 37-43.
- [13] YU H B, MIAO S Y, XIE G W, et al. Contrasting floristic diversity of the Hengduan Mountains, the Himalayas and the Qinghai-Tibet Plateau sensu stricto in China[J]. Frontiers in Ecology and Evolution, 2020, 8: 163.
- [14] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 横断山区维管植物: 上册[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 186-1363.
- [15] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 横断山区维管植物: 下册[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1365-2608.
- [16] 周尚哲, 许刘兵, 崔建新, 等. 沙鲁里山第四纪地貌发育与环境演变[J]. 科学通报, 2004, 49(23): 2480-2484.
- [17] HUANG J H, CHEN B, LIU C R, et al. Identifying hotspots of endemic woody seed plant diversity in China[J]. Diversity and Distributions, 2012, 18: 673-688.
- [18] LÓPEZ-PUJOL J, ZHANG F M, SUN H Q, et al. Centres of plant endemism in China: places for survival or for speciation? [J]. Journal of Biogeography, 2011, 38: 1267-1280.
- [19] 《四川森林》编辑委员会. 四川森林[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 40-68.
- [20] CHRISTENHUSZ M J M, REVEAL J L, FARJON A, et al. A new classification and linear sequence of extant gymnosperms [J]. Phytotaxa, 2011, 19(1): 55-70.
- [21] The Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV [J]. Botanical Journal of the Linnean Society, 2016, 181: 1-20.
- [22] SØRENSEN T. A Method of Establishing Groups of Equal Amplitude in Plant Sociology Based on Similarity of Species Content and Its Application to Analyses of the Vegetation on Danish Commons[M]. København, Denmark: Bianco Lunos Bogtrykkeri, 1948: 1-34.
- [23] 张懿铨. 植物区系地理研究中的重要参数: 相似性系数[J]. 地理研究, 1998, 17(4): 429-434.
- [24] 云南省林业厅, 迪庆藏族自治州人民政府, 白马雪山国家级自然保护区管理局, 等. 白马雪山国家级自然保护区[M]. 昆明: 云南民族出版社, 2003: 59-178.
- [25] 隆廷伦, 刘少英, 周材权, 等. 察青松多竹巴龙贡嘎山生物多样性调查报告[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2010: 262-288.
- [26] 李恒, 李嵘. 高黎贡山植物资源与区系地理[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2020: 471-1190.
- [27] 杨志松, 周材权, 何廷美, 等. 四川卧龙国家级自然保护区综合科学考察报告[M]. 北京: 中国林业出版社, 2019: 341-505.
- [28] 于海彬, 张懿铨, 刘林山, 等. 青藏高原特有种子植物区系特征及多样性分布格局[J]. 生物多样性, 2018, 26(2): 130-137.
- [29] RIXEN C, WIPF S, RUMPF S B, et al. Intraspecific trait variation in alpine plants relates to their elevational distribution[J]. Journal of Ecology, 2022, 110: 860-875.
- [30] DU C, LIAO S, BOUFFORD D E, et al. Twenty years of Chinese vascular plant novelties, 2000 through 2019[J]. Plant Diversity, 2020, 42: 393-398.
- [31] 高宝蕊. 芒苞草科——单子叶植物一个新种的确认兼论其系统位置[J]. 云南植物研究, 1998, 20(1): 23-31.
- [32] XU B, LIAO M, DENG H N, et al. Chromosome-level de novo genome assembly and whole-genome resequencing of the threatened species *Acanthochlamys bracteata* (Velloziaceae) provide insights into alpine plant divergence in a biodiversity hotspot[J]. Molecular Ecology Resources, 2022, 22: 1582-1595.
- [33] DENG T, LIN N, HUANG X H, et al. Phylogenetics of Mazaceae (Lamiales), with special reference to intrageneric relationships within *Mazus*[J]. Taxon, 2019, 68(5): 1037-1047.
- [34] CHI X F, WANG J L, GAO Q B, et al. The complete chloroplast

- genomes of two lancea species with comparative analysis [J]. *Molecules*, 2018, 23(3): 602.
- [35] LI Y, ZHAI S N, QIU Y X, et al. Glacial survival east and west of the 'Mekong-Salween Divide' in the Himalaya-Hengduan Mountains region as revealed by AFLPs and cpDNA sequence variation in *Sinopodophyllum hexandrum* (Berberidaceae) [J]. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2011, 59: 412-424.
- [36] ZHANG Y H, VOLIS S, SUN H. Chloroplast phylogeny and phylogeography of *Stellera chamaejasme* on the Qinghai-Tibet Plateau and in adjacent regions [J]. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2010, 57: 1162-1172.
- [37] XING Y W, REE R H. Uplift-driven diversification in the Hengduan Mountains, a temperate biodiversity hotspot [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, 114: E3444-E3451.
- [38] TU T Y, VOLIS S, DILLON M O, et al. Dispersals of Hyoscyameae and Mandragoreae (Solanaceae) from the New World to Eurasia in the early Miocene and their biogeographic diversification within Eurasia [J]. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2010, 57: 1226-1237.
- [39] WEN J, ZHANG J Q, NIE Z L, et al. Evolutionary diversifications of plants on the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Frontiers in Genetics*, 2014, 5: 4.
- [40] 潘泽惠, 余孟兰, 刘心恬, 等. 中国伞形科特有属的核型演化及地理分布 [J]. *植物资源与环境*, 1995, 4(3): 1-8.
- [41] LEI Y D, GAO H, TSERING T S, et al. Determination of genetic variation in *Rhodiola crenulata* from the Hengduan Mountains Region, China using inter-simple sequence repeats [J]. *Genetics and Molecular Biology*, 2006, 2: 339-344.
- [42] NI L H, LI W T, ZHAO Z L, et al. Migration patterns of *Gentiana crassicaulis*, an alpine gentian endemic to the Himalaya-Hengduan Mountains [J]. *Ecology and Evolution*, 2022, 12: e8703.

(责任编辑: 佟金凤)

(上接第66页 Continued from page 66)

- 4) 题目: 不宜过长, 以不超过 25 个字为宜, 中、英文题目应一致; 一般情况下, 不要设置副标题。
- 5) 作者: 一般不超过 8 人, 中国作者的英文姓名用汉语拼音, 按照 GB/T 28039—2011《中国人名汉语拼音字母拼写规则》拼写, 姓全大写, 名首字母大写, 双名间不分隔。外籍作者姓在前、名在后, 姓全大写, 名首字母大写。第 1 作者需附简介: 姓名, 出生年份, 性别, 民族, 籍贯, 学位, 职称, 研究方向; 置于第 1 页下方。
- 6) 计量单位: 以 GB 3100—1993、GB 3101—1993 和 GB 3102.1—1993 至 GB 3102.13—1993 系列标准为准。
- 7) 图和表: 图表应少而精, “自明性”强。插图应线条匀称, 最大(包括图题和图注)不超过 16.0 cm(宽)×21.5 cm(高), 图题和图注应有中英文对照。图版照片应清晰, 均应使用原图, 按 16.0 cm(宽)×19.0 cm(高)的版芯整齐拼版, 图版说明须用中英文对照, 附于文后。表格请用三线表格式制作, 表内文字都应有中英文对照。
- 8) 参考文献: 选择主要文献列入, 文献的标注方式采用“顺序编码制”(GB/T 7714—2015), 即按正文中引用文献出现的先后顺序连续编码, 文献序号用方括号在正文中出现处的右上角注明。文献作者 3 人以下(包括 3 人)者, 全部列出; 3 人以上者, 只列出前 3 人, 后加“等”(中文)或“et al”(外文)。文末参考文献表按序号依次编排, 不分文种。
- 9) 文中涉及的植物类群均需附完整正确的拉丁学名; 栽培植物请按照《国际栽培植物命名法规》进行命名及拉丁学名的书写。
4. 来稿请注明科研项目来源及项目编号, 对国家自然科学基金资助项目、省部级以上重大攻关项目和基础研究基金项目等资助的论文可优先发表。
5. 来稿请通过网上投稿系统(<http://zwzy.cnbg.net>)投稿, 请勿一稿多投。稿件处理情况请登录网上投稿系统查询。录用稿件收取一定的发表服务费。稿件一经刊登, 酌付稿酬并赠送当期样刊。不拟刊登的稿件恕不退回, 请自留底稿。编辑部对稿件有删改权。
6. 来稿文责由作者自负。凡在本刊发表的论文将编入数据库供交流、查阅及检索, 作者的著作权使用费与本刊稿酬一次性给付, 不再另付。如作者不同意将论文编入数据库, 请在来稿时声明。
7. 联系方式: 江苏省南京市中山门外 江苏省中国科学院植物研究所内(邮编 210014)。电话: 025-84347014; QQ: 2219161478; E-mail: zwzybjb@163.com。