

# 四川巴塘海子山高寒灌丛群落的基本特征

刘秋蓉<sup>1,2</sup> 李 丽<sup>1,2</sup> 罗 垚<sup>1</sup> 陈冬东<sup>1</sup> 黄 鑫<sup>1,2</sup> 胡 君<sup>1\*</sup> 刘 庆<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>中国科学院成都生物研究所, 中国科学院山地生态恢复与生物资源利用重点实验室, 生态恢复与生物多样性保育四川省重点实验室, 成都 610041;

<sup>2</sup>中国科学院大学, 北京 100049

**摘 要** 高寒灌丛作为高寒地区的地带性植被广泛分布于青藏高原, 在区域生态系统中具有保持水土、涵养水源及生物多样性保护等生态功能。该研究采用统一规范的方法设置了58个样方, 对巴塘海子山主要高寒灌丛群落的物种组成、数量特征、生境信息等进行调查。基于最新的中国植被分类系统修订方案, 该地区高寒灌丛可划分为3个植被型、11个群系、21个群丛。该研究对每个群丛的特征进行了描述, 提供了所有样方的原始数据。

**关键词** 海子山; 高寒灌丛; 群落特征; 物种组成

刘秋蓉, 李丽, 罗垚, 陈冬东, 黄鑫, 胡君, 刘庆 (2022). 四川巴塘海子山高寒灌丛群落的基本特征. 植物生态学报, 46, 1334-1341. DOI: 10.17521/cjpe.2022.0136

## Species composition and structure characteristics of alpine shrubland communities of Haizi Mountain in Batang, Sichuan, China

LIU Qiu-Rong<sup>1,2</sup>, LI Li<sup>1,2</sup>, LUO Yao<sup>1</sup>, CHEN Dong-Dong<sup>1</sup>, HUANG Xin<sup>1,2</sup>, HU Jun<sup>1\*</sup>, and LIU Qing<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>CAS Key Laboratory of Mountain Ecological Restoration and Bioresource Utilization, Ecological Restoration and Biodiversity Conservation Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; and <sup>2</sup>University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

### Abstract

Alpine shrublands, as a zonal vegetation, are widely distributed on the Qingzang Plateau, and play ecological functions such as soil and water conservation, conservation of water resources, and biodiversity protection in the regional ecosystem. This study used a unified and standardized method to set up 58 quadrats to investigate the species composition, quantitative characteristics and habitat information of the main alpine shrublands of the Haizi Mountain in Batang, China. Based on “Vegeography of China” compilation and research standards, the alpine shrublands in this area can be divided into three vegetation types, 11 alliances, and 21 associations. This paper presents descriptions on the characteristics for each association and provides the original data from all survey plots.

**Key words** Haizi Mountain; alpine shrubland; community characteristics; species composition

Liu QR, Li L, Luo Y, Chen DD, Huang X, Hu J, Liu Q (2022). Species composition and structure characteristics of alpine shrubland communities of Haizi Mountain in Batang, Sichuan, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 46, 1334-1341. DOI: 10.17521/cjpe.2022.0136

高寒灌丛是由耐寒、耐旱灌木为优势种而形成的特殊群落(中国植被编辑委员会, 1980), 是青藏高原植被的重要组成部分, 常大面积连续分布于针叶林带和冰雪带之间, 多为原生植被(四川植被协作组, 1980)。高寒灌丛分布面积广、类型复杂, 不仅具有丰富的植物种质资源(中国植被编辑委员会, 1980; 王文颖和王启基, 2001), 而且是白马鸡、藏马鸡、藏原羚、喜马拉雅旱獭等高原野生动物的栖息

地(彭隆, 2014)和牦牛、藏羊等藏系家畜的放牧地, 其稳定状况具有重要的生态意义。高寒灌丛生长季短, 分布面积大, 且多分布于交通不便的高山地区, 因此高寒灌丛的研究难度大, 研究进展十分缓慢。近年来, 国内外开展的青藏高原东部高寒灌丛的研究, 多集中于单一物种的群落结构(杨路存等, 2013; 王金兰等, 2019)、生物量(高巧等, 2014; Liu *et al.*, 2020; Nie *et al.*, 2020)及土壤理化特征(魏巍等, 2012;

收稿日期Received: 2022-04-12 接受日期Accepted: 2022-07-24

基金项目: 国家科技基础性工作专项(2015FY110300)和第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK0301)。Supported by the Special Foundation for National Science and Technology Basic Research Program of China (2015FY110300) and the Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research Program (STEP)(2019QZKK0301).

\* 通信作者Corresponding authors (Hu J, hujun@cib.ac.cn; Liu Q, liuqing@cib.ac.cn)

李文等, 2020)等方面, 而关于青藏高原东部高寒灌丛群落特征的本底资料仍然十分缺乏。

巴塘海子山在四川植被区划上属于川西山原针叶林、灌丛、草甸亚带, 沙鲁里山南部植被小区(四川植被协作组, 1980)。关于这一植被区高寒灌丛的描述多集中在20世纪80年代的植被专著, 比如《中国植被》(中国植被编辑委员会, 1980)和《四川植被》(四川植被协作组, 1980)等。该区海拔高, 空气含氧量低, 道路交通设施较差, 自然生态系统保持较为原始的状态。目前关于巴塘海子山主要高寒灌丛群落的专门研究未见报道。因此, 量化描述巴塘海子山主要高寒灌丛群落的基本结构和物种组成等特征, 对于该区域高寒灌丛的保护与利用, 高寒生态系统和全球变化的研究等具有重要意义。综上所述, 本研究沿坡向、海拔梯度详细调查了巴塘海子山主要的高寒灌丛群落, 并以样方数据为依托, 详细描述了每个高寒灌丛群落的基本特征, 以期为《中国植被志》的编研提供基础数据和资料。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

海子山地处青藏高原东部, 位于四川省甘孜藏族自治州巴塘县内, 行政上隶属于巴塘县德达乡,

山脉总体为南北走向, 主峰海拔高达5 833 m (温钧浩, 2022)。本研究进行植被调查的地理坐标范围为30.17°–30.30° N, 99.49°–99.63° E, 海拔在4 200–4 800 m之间, 相对高差600 m, 具体样方分布如图1所示。

该区属于阿坝、理塘寒温带区, 气温低, 年平均气温–2.88–0.65 °C, 全年无夏, 冬季长达180–270天(四川植被协作组, 1980)。最冷月气温达–20.2 °C, 最冷月与最热月平均气温之差为–4.4 °C; 年降水量596–643 mm, 最干月份降水量为3 mm, 最干月与最湿月降水量之差为149 mm (气候数据来源于WorldClim (www.worldclim.org)提供的30"分辨率的全球生物气候因子数据集(1970–2000年)(Fick & Hijmans, 2017), 提取了58个调查位点的值)。该区多冰雹和大风, 霜雪全年可见。土壤主要有酸性高山灌丛草甸土和石灰性高山灌丛草甸土两种类型(四川植被协作组, 1980)。

### 1.2 群落调查

#### 1.2.1 样地设置

2020年8月和2021年6月, 在全面勘查海子山的基础上, 选择了4条具有不同坡向, 植被垂直带明显的样带。根据地形、地貌、海拔、植被等特征确定采样点, 选择人为干扰相对较少的地点设置研究样

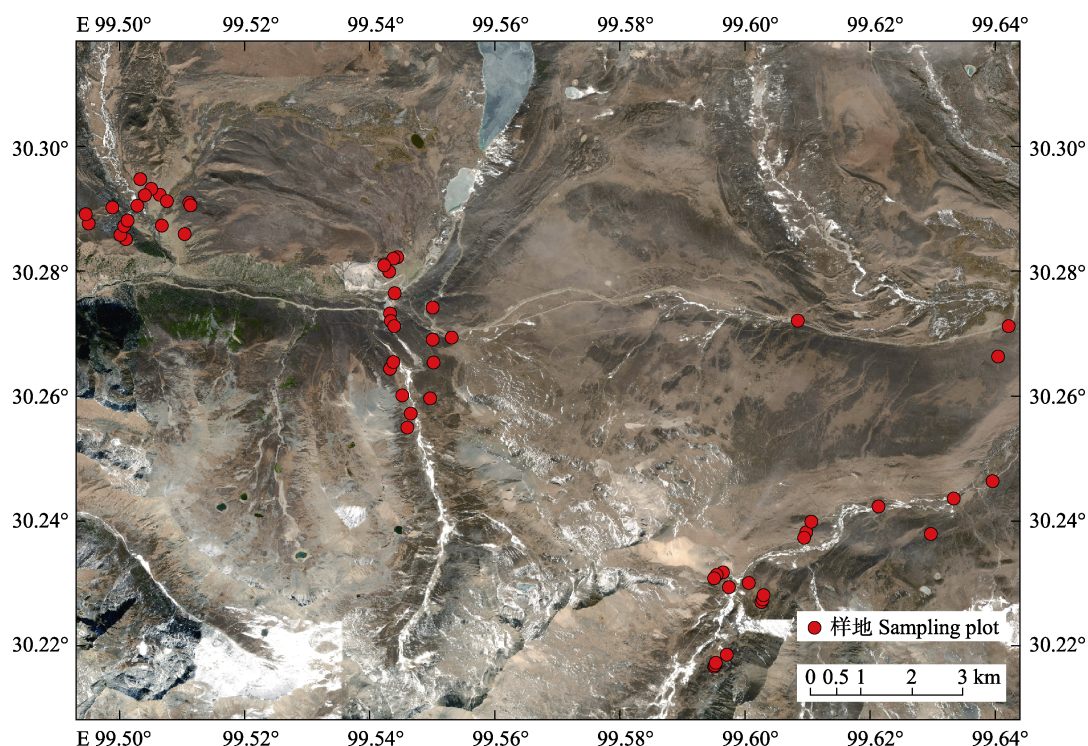


图1 四川巴塘海子山高寒灌丛群落研究区及样地分布图。

Fig. 1 Study area of alpine shrubland communities and distribution of sampling plots in Haizi Mountain in Batang, Sichuan, China.

DOI: 10.17521/cjpe.2022.0136

地。在不同坡向的垂直方向上,从山脚到山顶根据植被类型差异依次选择样地。当群落类型发生变化时,选择斑块面积大于 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的灌丛群落,选取群落物种组成、群落结构和生境相对均匀的样地,布置1个 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 的灌丛样方。在每个灌丛样方内沿对角线布置3个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的小样方进行草本植物、苔藓植物调查。共设置58个样地,调查灌丛样方58个,草本小样方174个。58个样地的基本信息和详细样方数据见附录。

### 1.2.2 调查内容

本研究的调查内容包括:(1)样地基本信息,包括调查地点、群落类型、经度、纬度、海拔、坡度、坡向、有无干扰及干扰类型和强度等。干扰类型包括自然(地质灾害、气候灾害)、火烧、放牧、砍伐等。干扰强度分为无、轻微、中度和重度干扰;若草本层受到影响而灌木层未受影响视为轻微干扰;当灌木层受到轻微影响时视为中度干扰;若灌木层物种组成或优势种生长受到较大影响,则视为重度干扰。(2)对灌木层,目测估计灌丛样方内灌木层总盖度、平均高度,记录每种灌木种名,逐丛记录高度(最大高度、平均高度)、茎秆数量、茎秆平均基径、冠幅(以丛为单位)、物候期。(3)对草本层,目测估计草本样方内草本层总盖度、平均高度,记录小样方全部草本物种种名、平均高度、盖度、多度级和物候期。(4)对苔藓层,目测草本样方内苔藓层总盖度,并测量平均高度、厚度。(5)调查完成后,对灌丛样方进行踏查,补充记录草本样方内未出现的草本物种。调查中无法确定种名的植物需要进行标本采集和编号。

### 1.2.3 土壤理化性质测定

群落特征调查完成后,在每个样方内随机选择3个点,先去除未分解及半分解的凋落物层,取0–20 cm的土样,混合均匀后装入塑封袋,带回实验室。将采集的土壤样品,过2 mm筛,同时人工除去可见的植物细根及其他杂物,置于阴凉、通风处自然风干。用于测定土壤pH、碳、氮和磷等含量。

土壤pH用pH计测定,土壤有机碳含量采用重铬酸钾氧化-外加热法测定,全氮含量采用元素分析仪(Vario Macro Cube, Elementar, Hanau, Germany)进行分析,全磷含量采用钼锑抗比色法测定(鲍士旦, 2000)。

### 1.3 数据分析

采用双向指示种分析法(TWINSPAN),利用JUICE 7.1软件进行初步分类,结合各样方灌木层和草本层的优势种实际组成情况,进行群落数量分类,分类单元为群系-群丛(分类结果见附录)。采用王国宏等(2020)有关群落命名原则对植物群系和群丛进行命名,群系名称由群落建群种的植物名称(包括中文名和拉丁名)加限定词组成,群丛的命名原则为灌木层优势种-草本层优势种或特征种。以重要值作为划分建群种和优势种的依据。重要值(%)=(相对高度+相对盖度+相对密度)/3  $\times 100$ 。

## 2 结果和分析

将海子山58个样方划分为3个植被型、11个群系、21个群丛。群系和群丛的特征分别描述如下。

### 2.1 常绿针叶灌丛(Evergreen Needleleaf Shrubland)

#### 2.1.1 方枝柏灌丛(*Juniperus saltuaria* Evergreen Needleleaf Shrubland Alliance)

此群系调查了2个样方,划分为1个群丛:方枝柏-天蓝龙胆 常绿针叶灌丛(*Juniperus saltuaria* - *Gentiana caelestis* Evergreen Needleleaf Shrubland),分布在海拔4 374–4 499 m的阳坡、半阳坡,坡度 $15^{\circ}$ – $32^{\circ}$ ,中坡、中下坡位。0–20 cm土壤有机碳含量为 $(70.89 \pm 9.05)\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (平均值 $\pm$ 标准误,下同),全氮含量为 $(4.06 \pm 0.07)\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,全磷含量为 $(0.76 \pm 0.01)\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,pH为 $6.91 \pm 0.84$ 。主要受放牧、砍伐等轻度干扰。

方枝柏-天蓝龙胆 常绿针叶灌丛(样方编号P30、P49),灌木层盖度74%,高度范围195–230 cm,平均高度180 cm,物种丰富度7,优势种为方枝柏,主要物种有硬叶柳(*Salix sclerophylla*)、银露梅(*Potentilla glabra*)等。草本层盖度34%,高度范围2–17 cm,平均高度7 cm,物种丰富度56,特征种为天蓝龙胆、川木香(*Dolomiaea souliei*)和尖叶藁本(*Ligusticum acuminatum*)等,主要优势种为天蓝龙胆、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、密生藁草(*Carex crebra*)、马蹄黄(*Spenceria ramalana*)等。地被层盖度23%,高度0.6 cm。凋落物盖度13%–56%,平均厚度0.5 cm。

#### 2.1.2 香柏灌丛(*Juniperus pingii* var. *wilsonii* Evergreen Needleleaf Shrubland Alliance)

此群系调查了3个样方,划分为1个群丛:香柏-

肉菊 常绿针叶灌丛(*Juniperus pingii* var. *wilsonii* - *Soroseris umbrella* Evergreen Needleleaf Shrubland), 分布在海拔4 315–4 622 m的阳坡, 坡度31°–35°, 中坡、中上坡位。0–20 cm表层土壤有机碳含量为(74.32 ± 15.80) mg·g<sup>-1</sup>, 全氮含量为(5.41 ± 2.39) mg·g<sup>-1</sup>, 全磷含量为(1.00 ± 0.35) mg·g<sup>-1</sup>, pH为6.38 ± 0.79。主要受放牧、砍伐等轻度干扰。

香柏-肉菊 常绿针叶灌丛(样方编号P02、P21、P26), 群落盖度51%–71%, 高度范围37–73 cm, 平均高度60 cm, 物种丰富度5, 优势种为香柏, 主要物种有小叶金露梅(*Potentilla parvifolia*)、无粉刺红珠(*Berberis dictyophylla* var. *epuinosa*)。草本层盖度1%–64%, 平均盖度26%, 高度范围1–11 cm, 平均高度7 cm, 物种丰富度65, 特征种为肉菊、小洼瓣花(*Lloydia serotina* var. *parva*)、反折花龙胆(*Gentiana choanantha*)、山岭麻黄(*Ephedra gerardiana*)等, 优势种为肉菊、高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)、短轴嵩草(*Kobresia vidua*)等。地被层盖度1%–23%, 高度0.5 cm, 厚度0.8 cm。凋落物盖度17%–41%, 平均厚度1.1 cm。

## 2.2 常绿阔叶灌丛(Evergreen Broadleaf Shrubland)

### 2.2.1 北方雪层杜鹃灌丛(*Rhododendron nivale* subsp. *boreale* Evergreen Broadleaf Shrubland Alliance)

此群系调查了20个样方, 划分为5个群丛: 北方雪层杜鹃-云南高山豆 常绿阔叶灌丛(*Rhododendron nivale* subsp. *boreale* - *Tibetia yunnanensis* Evergreen Broadleaf Shrubland)、北方雪层杜鹃-密穗嵩草 常绿阔叶灌丛(*Rhododendron nivale* subsp. *boreale* - *Kobresia condensata* Evergreen Broadleaf Shrubland)、北方雪层杜鹃-喙齿马先蒿 常绿阔叶灌丛(*Rhododendron nivale* subsp. *boreale* - *Pedicularis rhynchodonta* Evergreen Broadleaf Shrubland)、北方雪层杜鹃-皱叶绢毛苣 常绿阔叶灌丛(*Rhododendron nivale* subsp. *boreale* - *Soroseris hookeriana* Evergreen Broadleaf Shrubland)和北方雪层杜鹃-叠裂银莲花 常绿阔叶灌丛(*Rhododendron nivale* subsp. *boreale* - *Anemone imbricata* Evergreen Broadleaf Shrubland)。此群系分布在海拔4 301–4 670 m的阴坡、半阴坡和半阳坡, 坡度6°–38°, 中坡、中上坡位。主要受放牧、踩踏等轻度干扰。0–20 cm土壤有机碳含量为(62.98 ± 4.06) mg·g<sup>-1</sup>, 全氮含量为(5.56 ± 0.54) mg·g<sup>-1</sup>, 全磷含量为(0.95 ± 0.05) mg·g<sup>-1</sup>, pH为5.43 ± 0.05。

北方雪层杜鹃-云南高山豆 常绿阔叶灌丛(样方编号P03、P52、P53), 灌木层盖度67%, 高度范围26–53 cm, 平均高度为43 cm, 物种丰富度7, 优势种为北方雪层杜鹃, 主要物种有香柏、方枝柏等。草本层盖度71%, 高度范围6–21 cm, 平均高度14 cm, 物种丰富度55, 特征种为云南高山豆、少花粉条儿菜(*Aletris pauciflora*)、宿根肋柱花(*Lomatogonium perenne*)等, 优势种为藏东薹草(*Carex cardiolepis*)、双叉细柄茅(*Ptilagrostis dichotoma*)、康定委陵菜(*Potentilla stenophylla* var. *emergens*)、圆穗蓼(*Polygonum macrophyllum*)等。地被层盖度2%–60%, 高度3.6 cm, 厚度4.7 cm。凋落物盖度2%–6%, 厚度0.9 cm。

北方雪层杜鹃-密穗嵩草 常绿阔叶灌丛(样方编号P58), 灌木层盖度44%, 平均高度为44 cm, 物种丰富度2, 优势种为北方雪层杜鹃。草本层盖度67%, 高度范围6–14 cm, 平均高度8 cm, 物种丰富度34, 特征种为密穗嵩草、红冠紫菀(*Aster handelii*)、短腺小米草(*Euphrasia regelii*)等, 优势种为康定委陵菜和短轴嵩草。地被层盖度3%, 高度0.2 cm, 厚度0.3 cm。凋落物盖度4%, 平均厚度0.3 cm。

北方雪层杜鹃-喙齿马先蒿 常绿阔叶灌丛(样方编号P13、P18、P27、P29、P34), 灌木层盖度66%, 高度范围24–68 cm, 平均高度32 cm, 物种丰富度8, 优势种为北方雪层杜鹃, 主要物种有光亮杜鹃(*Rhododendron nitidulum*)、山生柳(*Salix oritrepha*)等。草本层盖度47%, 高度范围5–21 cm, 平均高度11 cm, 物种丰富度64, 特征种为喙齿马先蒿和禾叶嵩草(*Kobresia graminifolia*), 优势种有糙喙薹草(*Carex scabrirostris*)、展毛银莲花(*Anemone demissa*)、藏异燕麦(*Helictotrichon tibeticum*)等。地被层盖度21%–55%, 高度2.1 cm。凋落物盖度31%–62%, 厚度1.0 cm。

北方雪层杜鹃-皱叶绢毛苣 常绿阔叶灌丛(样方编号P16、P31、P32、P33、P41、P43、P47), 灌木层盖度61%, 高度范围14–69 cm, 平均高度38 cm, 物种丰富度6, 优势种为北方雪层杜鹃, 主要物种为光亮杜鹃、小叶金露梅等。草本层盖度50%, 高度范围2–14 cm, 平均高度7 cm, 物种丰富度77, 特征种为皱叶绢毛苣, 优势种有康定委陵菜、圆穗蓼、皱叶绢毛苣、甘肃嵩草(*Kobresia kansuensis*)等。地被层盖度3%–68%, 高度1.5 cm, 厚度2.3 cm。凋落物



盖度2%–31%, 厚度0.6 cm。

北方雪层杜鹃-叠裂银莲花 常绿阔叶灌丛(样方编号P06、P09、P45、P55), 灌木层盖度67%, 高度范围17–37 cm, 平均高度28 cm, 物种丰富度4, 优势种为北方雪层杜鹃, 主要物种有光亮杜鹃、山生柳和黄花垫柳(*Salix souliei*)。草本层盖度51%, 高度范围3–11 cm, 平均高度8 cm, 物种丰富度48, 特征种为叠裂银莲花、库门鸢尾(*Iris kemaonensis*)和费尔氏马先蒿(*Pedicularis pheulpinii*), 优势种有糙喙薹草、康定委陵菜、喜马拉雅嵩草(*Kobresia royleana*)、羊茅(*Festuca ovina*)等。地被层盖度11%–69%, 高度1.8 cm, 厚度2.0 cm。凋落物盖度2%–52%, 厚度0.7 cm。

### 2.2.2 光亮杜鹃灌丛(*Rhododendron nitidulum* Evergreen Broadleaf Shrubland Alliance)

此群系调查了12个样方, 划分为4个群丛: 光亮杜鹃-滇芹 常绿阔叶灌丛(*Rhododendron nitidulum* - *Meeboldia yunnanensis* Evergreen Broadleaf Shrubland)、光亮杜鹃-狮牙草状风毛菊 常绿阔叶灌丛(*Rhododendron nitidulum* - *Saussurea leontodontoides* Evergreen Broadleaf Shrubland)、光亮杜鹃-条裂黄堇 常绿阔叶灌丛(*Rhododendron nitidulum* - *Corydalis linarioides* Evergreen Broadleaf Shrubland)、光亮杜鹃-展苞灯心草 常绿阔叶灌丛(*Rhododendron nitidulum* - *Juncus thomsonii* Evergreen Broadleaf Shrubland)。此群系分布在海拔4 267–4 631 m的谷地、阳坡和半阳坡, 坡度2°–19°, 中坡、中下坡位。主要受放牧、踩踏等轻度干扰。0–20 cm表层土壤有机碳含量为( $66.55 \pm 7.54$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 全氮含量为( $5.39 \pm 0.64$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 全磷含量为( $0.87 \pm 0.09$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , pH为 $5.48 \pm 0.16$ 。

光亮杜鹃-滇芹 常绿阔叶灌丛(样方编号P04、P48), 灌木层盖度87%, 高度范围86–120 cm, 平均高度81 cm, 物种丰富度13, 优势种为光亮杜鹃, 主要物种有山生柳、金露梅和高山绣线菊(*Spiraea alpina*)等。草本层盖度35%, 高度范围1–64 cm, 平均高度13 cm, 物种丰富度43, 特征种为滇芹、沼生橐吾(*Ligularia lamarum*)、海韭菜(*Triglochin maritima*)、假水生龙胆(*Gentiana pseudoaquatica*), 优势种有唐古碎米荠(*Cardamine tangutorum*)、太白韭(*Allium prattii*)、花薹驴蹄草(*Caltha scaposa*)、西藏嵩草(*Kobresia tibetica*)等。地被层盖度64%, 高度

1.4–5.0 cm。凋落物盖度52%, 厚度1.0 cm。

光亮杜鹃-狮牙草状风毛菊 常绿阔叶灌丛(样方编号P23、P42、P44、P57), 灌木层盖度68%, 高度范围36–141 cm, 平均高度47 cm, 物种丰富度14, 优势种为光亮杜鹃, 主要物种有山生柳、北方雪层杜鹃等。草本层平均盖度33%, 高度范围6–22 cm, 平均高度10 cm, 物种丰富度81, 特征种为狮牙草状风毛菊、多苞藁本(*Ligusticum involucreatum*)、微药野青茅(*Deyeuxia nivicola*)和渐尖早熟禾(*Poa attenuata*)等, 优势种有康定委陵菜、红棕薹草(*Carex przewalskii*)、圆穗蓼、羊茅、矮生野决明(*Thermopsis smithiana*)等。地被层盖度11%–56%, 高度2.0–2.5 cm。凋落物盖度6%–54%, 厚度0.8 cm。

光亮杜鹃-条裂黄堇 常绿阔叶灌丛(样方编号P25、P28), 灌木层盖度67%, 高度范围49–66 cm, 平均高度58 cm, 物种丰富度4, 优势种为光亮杜鹃, 主要物种有山生柳、小叶金露梅和北方雪层杜鹃。草本层盖度50%, 高度范围3–8 cm, 平均高度6 cm, 物种丰富度33, 特征种为条裂黄堇, 优势种有喜马拉雅嵩草、法氏早熟禾(*Poa faberi*)、高山唐松草、花薹驴蹄草。地被层盖度4%–82%, 高度1.2–5.0 cm, 厚度1.4–6.0 cm。凋落物盖度47%, 厚度0.8 cm。

光亮杜鹃-展苞灯心草 常绿阔叶灌丛(样方编号P07、P15、P17), 灌木层盖度66%, 高度范围44–68 cm, 平均高度42 cm, 物种丰富度5, 优势种为光亮杜鹃, 主要物种有山生柳、北方雪层杜鹃等。草本层盖度55%, 高度范围6–16 cm, 平均高度9 cm, 物种丰富度43, 特征种为展苞灯心草, 优势种有糙喙薹草、喜马拉雅嵩草、展毛银莲花、西藏嵩草、圆穗蓼等。地被层盖度2%–81%, 高度0.3–2.5 cm, 厚度0.6–3.5 cm。凋落物盖度50%, 厚度1.5 cm。

### 2.2.3 毛嘴杜鹃灌丛(*Rhododendron trichostomum* Evergreen Broadleaf Shrubland Alliance)

此群系调查了4个样方, 划分为1个群丛: 毛嘴杜鹃-尾穗嵩草 常绿阔叶灌丛(*Rhododendron trichostomum* - *Kobresia cercostachys* Evergreen Broadleaf Shrubland), 分布在海拔4 339–4 683 m的半阴坡、阴坡和半阳坡, 坡度10°–33°, 中坡、上坡位。主要受放牧轻度干扰。0–20 cm表层土壤有机碳含量为( $78.34 \pm 22.17$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 全氮含量为( $6.35 \pm 1.94$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 全磷含量为( $0.95 \pm 0.13$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , pH为 $5.64 \pm 0.11$ 。

毛嘴杜鹃-尾穗嵩草 常绿阔叶灌丛(样方编号

P12、P14、P37、P38), 灌木层盖度56%, 高度范围66–121 cm, 平均高度96 cm, 物种丰富度6, 优势种为毛嘴杜鹃, 主要物种有山生柳、北方雪层杜鹃和雪山杜鹃(*Rhododendron aganniphum*)等。草本层盖度55%, 高度范围1–18 cm, 平均高度9 cm, 物种丰富度59, 特征种为尾穗嵩草、糙叶早熟禾(*Poa asperifolia*)、长柄小芹(*Sinocarum dolichopodum*)和唐古特岩黄耆(*Hedysarum tanguticum*)等, 优势种有糙喙嵩草、禾叶嵩草、弯齿风毛菊(*Saussurea przewalskii*)、圆穗蓼等。地被层盖度6%–89%, 高度0.8 cm。凋落物盖度27%–62%, 厚度1.3 cm。

#### 2.2.4 草原杜鹃灌丛(*Rhododendron telmateium* Evergreen Broadleaf Shrubland Alliance)

此群系调查了2个样方, 划分为1个群丛: 草原杜鹃-糠秕风毛菊 常绿阔叶灌丛(*Rhododendron telmateium* - *Saussurea paleacea* Evergreen Broadleaf Shrubland), 分布在海拔4 572–4 599 m的半阴、半阳坡, 坡度16°–17°, 上坡位。主要受放牧轻度干扰。0–20 cm表层土壤有机碳含量为( $80.56 \pm 18.97$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 全氮含量为( $4.07 \pm 0.57$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 全磷含量为( $0.73 \pm 0.04$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , pH为 $6.79 \pm 1.25$ 。

草原杜鹃-糠秕风毛菊 常绿阔叶灌丛(样方编号P50、P54), 灌木层盖度54%, 高度范围38–48 cm, 平均高度32 cm, 物种丰富度4, 优势种为草原杜鹃, 主要物种有硬叶柳、鬼箭锦鸡儿(*Caragana jubata*)和小垫柳(*Salix brachista*)。草本层盖度34%, 高度范围6–21 cm, 平均高度13 cm, 物种丰富度25, 特征种为糠秕风毛菊、梭沙韭(*Allium forrestii*)和带叶风毛菊(*Saussurea loriformis*)等, 优势种有线叶嵩草(*Kobresia capillifolia*)、糙喙嵩草、圆穗蓼等。地被层盖度10%, 高度1.3 cm, 厚度2.3 cm。凋落物盖度13%–56%, 厚度0.5 cm。

#### 2.2.5 雪山杜鹃灌丛(*Rhododendron aganniphum* Evergreen Broadleaf Shrubland Alliance)

此群系调查了1个样方, 划分为1个群丛: 雪山杜鹃 常绿阔叶灌丛(*Rhododendron aganniphum* Evergreen Broadleaf Shrubland Alliance), 分布在海拔4 680–4 727 m的阴坡, 坡度28°, 上坡位。主要受放牧轻度干扰。该群落接近流石滩, 灌丛基部覆盖较多枯落物和腐殖质, 石砾覆盖度40%–60%。0–20 cm表层土壤有机碳含量为 $149.78 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 全氮含量为 $9.95 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 全磷含量为 $1.67 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , pH为4.44。

雪山杜鹃 常绿阔叶灌丛(样方编号P11), 外貌深绿色, 密集丛生。雪山杜鹃茎干多匍匐枝, 分枝密。叶簇生于枝条顶端。灌木层盖度高达94%, 平均高度1.96 m, 灌木层物种仅有雪山杜鹃1种。草本层盖度极低, 灌丛间隙散生有圆穗蓼、德钦红景天(*Rhodiola atuntsuensis*)、弯齿风毛菊和展毛银莲花4种草本。地被层盖度12%, 高度2.0 cm。凋落物盖度99%, 厚度3.0 cm。

### 2.3 落叶阔叶灌丛(Deciduous Broadleaf Shrubland)

#### 2.3.1 鬼箭锦鸡儿灌丛(*Caragana jubata* Deciduous Broadleaf Shrubland Alliance)

此群系调查了2个样方, 划分为1个群丛: 鬼箭锦鸡儿-苞芽粉报春 落叶阔叶灌丛(*Caragana jubata* - *Primula gemmifera* Deciduous Broadleaf Shrubland), 分布在海拔4 528–4 562 m的半阴坡, 坡度5°–8°, 下坡位。主要受放牧轻度干扰。0–20 cm表层土壤有机碳含量为( $77.26 \pm 3.00$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 全氮含量为( $1.60 \pm 0.07$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 全磷含量为( $0.44 \pm 0.01$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , pH为 $7.87 \pm 0.07$ 。

鬼箭锦鸡儿-苞芽粉报春 落叶阔叶灌丛(样方编号P35、P36), 灌木层盖度64%, 高度范围36–45 cm, 平均高度41 cm, 物种丰富度3, 优势种为鬼箭锦鸡儿, 主要物种有吉隆垫柳(*Salix gyirongensis*)和迟花柳(*Salix opsimantha*)。草本层盖度60%, 高度范围4–18 cm, 平均高度11 cm, 物种丰富度56, 特征种为苞芽粉报春, 优势种有圆穗蓼、喜马拉雅嵩草、藏东嵩草、短轴嵩草、红嘴嵩草(*Carex haematostoma*)等。地被层盖度16%, 高度0.4 cm, 厚度0.6 cm。凋落物盖度34%, 厚度1.2 cm。

#### 2.3.2 金露梅灌丛(*Potentilla fruticosa* Deciduous Broadleaf Shrubland Alliance)

此群系调查了3个样方, 划分为1个群丛: 金露梅-二色香青 落叶阔叶灌丛(*Potentilla fruticosa* - *Anaphalis bicolor* Deciduous Broadleaf Shrubland), 分布在海拔4 513–4 546 m的谷地、半阴坡, 坡度9°–10°。主要受放牧轻度干扰。0–20 cm表层土壤有机碳含量为( $81.69 \pm 27.24$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 全氮含量为( $7.05 \pm 2.22$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 全磷含量为( $1.37 \pm 0.20$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , pH为 $5.92 \pm 0.17$ 。

金露梅-二色香青 落叶阔叶灌丛(样方编号P10、P19、P20), 灌木层盖度66%, 高度范围24–54 cm, 平均高度12 cm, 物种丰富度2, 金露梅

占绝对优势, 只有1丛岩生忍冬(*Lonicera rupicola*)。草本层盖度51%, 高度范围3–13 cm, 平均高度8 cm, 物种丰富度60, 特征种为二色香青, 优势种有铁棒锤(*Aconitum pendulum*)、康定委陵菜、短颖披碱草(*Elymus burchan-buddae*)、羽叶花(*Acomastylis elata*)等。地被层盖度4%, 高度0.4 cm, 厚度1.0 cm。凋落物盖度31%, 厚度1.2 cm。

### 2.3.3 坡柳灌丛 (*Salix myrtilleacea* Deciduous Broadleaf Shrubland Alliance)

此群系调查了2个样方, 划分为1个群丛: 坡柳-硬毛蓼 落叶阔叶灌丛(*Salix myrtilleacea* - *Polygonum hookeri* Deciduous Broadleaf Shrubland), 分布在海拔4 233–4 486 m的宽谷阶地的湿润地区, 坡度1°–3°。主要受放牧轻度干扰。0–20 cm表层土壤有机碳含量为( $78.29 \pm 20.11$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 全氮含量为( $6.42 \pm 2.05$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 全磷含量为( $0.93 \pm 0.11$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , pH为 $7.03 \pm 0.51$ 。

坡柳-硬毛蓼 落叶阔叶灌丛(样方编号P01、P56)。灌木层盖度76%, 高度范围55–153 cm, 平均高度104 cm, 物种丰富度9, 优势种为坡柳, 主要物种有金露梅、窄叶鲜卑花和方枝柏等。草本层盖度56%, 高度范围5–24 cm, 平均高度12 cm, 物种丰富度53, 特征种为硬毛蓼、毛舟马先蒿(*Pedicularis trichocymba*)和中华耳蕨(*Polystichum sinense*)等, 优势种有肉果草(*Lancea tibetica*)、明亮薹草(*Carex laeta*)、线叶嵩草、珠芽蓼等。地被层盖度4%, 高度0.8 cm。凋落物盖度37%, 厚度0.5 cm。

### 2.3.4 山生柳灌丛 (*Salix oritrepha* Deciduous Broadleaf Shrubland Alliance)

此群系调查了8个样方, 划分为4个群丛: 山生柳-甘青大戟 落叶阔叶灌丛(*Salix oritrepha* - *Euphorbia micractina* Deciduous Broadleaf Shrubland)、山生柳+香柏-细叶亚菊 落叶阔叶灌丛(*Salix oritrepha* + *Juniperus pingii* var. *wilsonii* - *Ajania tenuifolia* Deciduous Broadleaf Shrubland)、山生柳-椭圆叶花锚 落叶阔叶灌丛(*Salix oritrepha* - *Halenia elliptica* Deciduous Broadleaf Shrubland)、山生柳+硬叶柳-丝秆薹草 落叶阔叶灌丛(*Salix oritrepha* + *Salix sclerophylla* - *Carex capilliculmis* Deciduous Broadleaf Shrubland)。此群系分布在海拔4 259–4 643 m的半阴坡、谷地和半阳坡, 坡度4°–30°, 下坡、中上坡位。主要受放牧、踩踏轻度干扰。0–20 cm表层土壤有机碳含

量为( $75.09 \pm 12.19$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 全氮含量为( $4.88 \pm 1.06$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 全磷含量为( $0.95 \pm 0.10$ )  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , pH为 $6.24 \pm 0.44$ 。

山生柳-甘青大戟 落叶阔叶灌丛(样方编号P05、P08), 灌木层盖度64%, 高度范围64–105 cm, 平均高度65 cm, 物种丰富度3, 优势种为山生柳, 主要物种有光亮杜鹃。草本层盖度70%, 高度范围4–11 cm, 平均高度8 cm, 物种丰富度46, 特征种为甘青大戟, 优势种有康定委陵菜、羊茅、梭果黄耆(*Astragalus ernestii*)、圆穗蓼等。地被层盖度26%, 高度1.2 cm。凋落物盖度57%, 厚度0.7 cm。

山生柳+香柏-细叶亚菊 落叶阔叶灌丛(样方编号P22), 灌木层盖度56%, 高度范围6–49 cm, 平均高度41 cm, 物种丰富度3, 优势种为山生柳和香柏。草本层盖度36%, 高度范围6–18 cm, 平均高度9 cm, 物种丰富度24, 特征种为细叶亚菊、紫绿红景天(*Rhodiola purpureoviridis*)和密生波罗花(*Incarvillea compacta*), 优势种有法氏早熟禾、狭囊薹草(*Carex cruenta*)、珠芽蓼等。地被层盖度范围2%–14%, 高度0.2–1.2 cm, 厚度0.4–2.7 cm。凋落物盖度5%, 厚度1.0 cm。

山生柳-椭圆叶花锚 落叶阔叶灌丛(样方编号P24、P39、P40、P46), 灌木层盖度68%, 高度范围52–174 cm, 平均高度114 cm, 物种丰富度11, 优势种为山生柳, 主要物种有小叶金露梅、光亮杜鹃、北方雪层杜鹃等。草本层盖度70%, 高度范围6–18 cm, 平均高度11 cm, 物种丰富度76, 特征种为椭圆叶花锚、毛茛状金莲花(*Trollius ranunculoides*)和蓝白龙胆(*Gentiana leucomelaena*)等, 优势种有东方草莓(*Fragaria orientalis*)、高原嵩草(*Kobresia pusilla*)、狭穗针茅(*Stipa regeliana*)、藏东薹草等。地被层盖度11%–28%, 高度1.1 cm。凋落物盖度47%, 厚度1.1 cm。

山生柳+硬叶柳-丝秆薹草 落叶阔叶灌丛(样方编号P51), 灌木层盖度61%, 高度范围20–168 cm, 平均高度164 cm, 物种丰富度6, 优势种为山生柳和硬叶柳。草本层盖度91%, 高度范围9–14 cm, 平均高度10 cm, 物种丰富度27, 特征种为丝秆薹草、甘肃风毛菊(*Saussurea kansuensis*)、髯毛无心菜(*Arenaria barbata*), 优势种有丝秆薹草、珠芽蓼、红柄雪莲(*Saussurea erubescens*)等。地被层盖度11%, 高度2.3 cm, 厚度2.7 cm。凋落物盖度8%, 厚度1 cm。

**致谢** 重庆师范大学何海老师为本研究做了大量的标本鉴定工作, 中国科学院成都生物研究所蒋洪老师和西华师范大学的贾瑜娜同学为野外调查提供了很多帮助, 在此一并表示感谢!

## 参考文献

- Bao SD (2000). *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*. 3rd ed. China Agriculture Press, Beijing. [鲍士旦 (2000). 土壤农化分析. 3版. 中国农业出版社, 北京.]
- Fick SE, Hijmans RJ (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37, 4302-4315.
- Gao Q, Yang XC, Yin CY, Liu Q (2014). Estimation of biomass allocation and carbon density in alpine dwarf shrubs in Garzê Zangzu Autonomous Prefecture of Sichuan Province, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 38, 355-365. [高巧, 阳小成, 尹春英, 刘庆 (2014). 四川省甘孜藏族自治州高寒矮灌丛生物量分配及其碳密度的估算. 植物生态学报, 38, 355-365.]
- Li W, Li XL, Liu YZ, Wang WH, Qiao HH, Shi SL, Wang SL, Wang XJ, Wang JL, Yin GL, Cao WX (2020). Effects of long-term grazing with different intensities on soil physicochemical characteristics of alpine shrub in the eastern Qilian Mountains. *Grassland and Turf*, 40(4), 8-15. [李文, 李小龙, 刘玉祯, 王文虎, 乔欢欢, 师尚礼, 王世林, 王小军, 王金兰, 尹国丽, 曹文侠 (2020). 不同强度放牧对东祁连山高寒灌丛土壤理化特征的影响. 草原与草坪, 40(4), 8-15.]
- Liu M, Li DD, Hu J, Liu DY, Ma ZL, Cheng XY, Zhao CZ, Liu Q (2020). Altitudinal pattern of shrub biomass allocation in Southwest China. *PLOS ONE*, 15, e0240861. DOI: 10.1371/journal.pone.0240861.
- Nie XQ, Dong W, Yang LC, Fan L, Zhou GY (2020). Belowground biomass of alpine shrublands across the northeast Tibetan Plateau. *Ecology and Evolution*, 10, 5315-5322.
- Peng L (2014). *The Geographical Pattern of Wild Vertebrates and Assessment for Biodiversity Conservation Priority in Ganzi*. Master degree dissertation, Chengdu University of Technology, Chengdu. [彭隆 (2014). 甘孜州野生脊椎动物地理格局与生物多样性保护优先性评价. 硕士学位论文, 成都理工大学, 成都.]
- Sichuan Vegetation Cooperation Group (1980). *Vegetation of Sichuan*. Sichuan People's Publishing House, Chengdu. [四川植被协作组 (1980). 四川植被. 四川人民出版社, 成都.]
- The Editorial Committee of Vegetation of China (1980). *Vegetation of China*. Science Press, Beijing. [中国植被编辑委员会(1980). 中国植被. 科学出版社, 北京.]
- Wang GH, Fang JY, Guo K, Xie ZQ, Tang ZY, Shen ZH, Wang RQ, Wang XP, Wang DL, Qiang S, Yu D, Peng SL, Da LJ, Liu Q, Liang CZ (2020). Contents and protocols for the classification and description of Vegetation Formations, Alliances and Associations of vegetation of China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 44, 128-178. [王国宏, 方精云, 郭柯, 谢宗强, 唐志尧, 沈泽昊, 王仁卿, 王襄平, 王德利, 强胜, 于丹, 彭少麟, 达良俊, 刘庆, 梁存柱 (2020). 《中国植被志》研编内容与规范. 植物生态学报, 44, 128-178.]
- Wang JL, Cao WX, Zhang DG, Li W, Li XL, Wang SL, Liu YZ, Wang XJ (2019). Responses of community structure and species diversity of alpine *Rhododendron* shrublands to altitude gradients in the East Qilian Mountains. *Grassland and Lawn*, 39(5), 1-9. [王金兰, 曹文侠, 张德罡, 李文, 李小龙, 王世林, 刘玉祯, 王小军 (2019). 东祁连山高寒杜鹃灌丛群落结构和物种多样性对海拔梯度的响应. 草原与草坪, 39(5), 1-9.]
- Wang WY, Wang QJ (2001). The structure and plant species diversity of the degraded ecosystems in alpine *Kobresia* meadow. *Acta Prataculturae Sinica*, 10(3), 8-14. [王文颖, 王启基 (2001). 高寒嵩草草甸退化生态系统植物群落结构特征及物种多样性分析. 草业学报, 10(3), 8-14.]
- Wei W, Cao WX, Qi J, Zhang DG, Shi SL (2012). Influence of grazing disturbance on stoichiometric characteristics of alpine *Rhododendron* shrublands underground soil nutrient pool. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 20, 1024-1029. [魏巍, 曹文侠, 祁娟, 张德罡, 师尚礼 (2012). 放牧干扰对高寒杜鹃灌丛草地地下养分库化学计量特征的影响. 中国生态农业学报, 20, 1024-1029.]
- Wen JH (2022). *The High Mountains of Ganzi Tibetan Autonomous Prefecture*. Chengdu Cartographic Publishing House, Chengdu. [温钧浩 (2022). 甘孜州高海拔山峰图录. 成都地图出版社, 成都.]
- Yang LC, Zhong ZB, Liu HC, Song WZ, Xu WH, Zhou GY, Nie XM (2013). Community characteristics of alpine shrub *Salix oritrepha*. *Bulletin of Botanical Research*, 33, 653-658. [杨路存, 钟泽兵, 刘何春, 宋文珠, 徐文华, 周国英, 聂学敏 (2013). 高寒山生柳灌丛的群落特征研究. 植物研究, 33, 653-658.]

责任编辑: 谢宗强 编辑: 乔鲜果

附录 四川巴塘海子山高寒灌丛样方数据集

**Supplement A plot-based dataset of alpine shrubland communities of Haizi Mountain in Batang, Sichuan, China**

<https://www.plant-ecology.com/fileup/1005-264X/PDF/cjpe.2022.0136-D1.xlsx>

DOI: 10.17521/cjpe.2022.0136