

## 高寒荒漠半荒漠区花棒和杨柴引种栽培可行性分析

柳隽瑶, 吴普侠, 李军保, 马延东, 赵国平\*

(陕西省林业科学院, 黄土高原水土保持与生态修复国家林业和草原局重点实验室, 陕西西安 710082)

**摘要** [目的]探究高寒荒漠半荒漠区花棒和杨柴引种栽培的可行性。[方法]针对阿里地区荒漠化防治中可利用乡土植被贫乏的问题,结合榆林治沙绿化经验,试验引种榆林治沙先锋植物(花棒和杨柴)至西藏阿里地区狮泉河盆地,并对阿里地区狮泉河盆地和榆林毛乌素沙地气候指标、土壤条件与引种栽培植物的相关生态指标进行对比研究。[结果]气候因素是限制花棒和杨柴生长的关键因素,导致引种区花棒和杨柴萌芽期较天然分布区推后约45 d,花期时间缩短近60 d,落叶时间提前近30 d;经过客土改良,土壤条件已不是限制引种栽培植物成活的主要因素,引种区的基质可基本满足花棒和杨柴苗木成活需求;在狮泉河镇引种5年间花棒和杨柴只开花不结实,植被群落更新主要依靠地下萌蘖,克隆繁殖。[结论]花棒和杨柴对高寒荒漠半荒漠区气候具有一定的适应性,建议加强推广应用。

**关键词** 阿里地区狮泉河盆地;花棒;杨柴;毛乌素沙地;引种栽培

**中图分类号** S 728.2 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2022)18-0104-05

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.18.026



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Feasibility Analysis of Introduction and Cultivation of *Hedysarum scoparium* and *Hedysarum laeve* in Alpine Desert and Semi Desert Area

LIU Jun-yao, WU Pu-xia, LI Jun-bao et al (Key Laboratory of State Forestry Administration on Soil and Water Conservation & Ecological Restoration of Loess Plateau, Shaanxi Academy of Forestry, Xi'an, Shaanxi 710082)

**Abstract** [Objective] To explore the feasibility of introduction and cultivation of *Hedysarum scoparium* and *Hedysarum laeve* in Alpine desert and semi desert area. [Method] In view of the problem of poor available local vegetation in the control of desertification in Ali area, this study combined with the experience of sand control and greening in Yulin, experimented with the introduction of Yulin Mu Us Sandland pioneer plants (*H. scoparium* and *H. laeve*) to the Shiquanhe Basin in Ali Region, Tibet for sand control and compared the climatic indicators, soil conditions and ecological indicators of the introduced cultivated plants in the two places. [Result] The results showed that climatic factors were the key factors restricting the growth of *H. scoparium* and *H. laeve*, the germination period in the introduction area being delayed by about 45 d compared with the natural distribution area, shortening the flowering time by nearly 60 d, and advancing the leaf defoliation time by nearly 30 d; After soil amendment, soil conditions were not the main factors restricting the growth of introduced cultivated plants, and the substrate of the introduction area could meet the basic needs of two plants seedling growth; during the 5 years of introduction in Shiquanhe Town, the two plants only flowered and did not bear fruit, and the renewal of vegetation communities mainly relied on underground tillers and clonal reproduction. [Conclusion] *H. scoparium* and *H. laeve* have certain adaptability to the climate of alpine desert and semi-desert areas, and it is recommended to strengthen the promotion and application.

**Key words** Shiquanhe Basin in Ali Region; *H. scoparium*; *H. laeve*; Mu Us Sandland; Introduction and cultivation

狮泉河盆地处于西藏阿里地区,平均海拔4 500 m以上,年均降雨量不足100 mm,年均大风日(8级以上)达159 d以上,常年高寒干旱、风力强劲,地表物质不稳定,极易发生风蚀沙化和水土流失<sup>[1]</sup>。该区受自然因素和人为活动长期影响,原本茂密的秀丽水柏枝灌丛林几乎绝迹,林地变成荒芜的沙砾质戈壁滩,每到冬春,黄沙漫漫,遮天蔽日,长期处于被流沙掩埋的境地<sup>[2]</sup>。中国科学院兰州沙漠研究所曾于1994年将花棒、杨柴等26个固沙植物引种到海拔高度3 790~3 810 m日喀则市江当乡境内,结果表明花棒等治沙植物对该地区具有一定适应性<sup>[3]</sup>。阿里地区为了摆脱沙进人退的困境,从1994年开始,狮泉河人民在科研人员带领下努力探索治理风沙灾害的有效途径,因地制宜、因害设防,充分利用狮泉河盆地沙害防治的有利资源,建立了“砾石沙障+防护林带+人工草地+灌溉系统”四位一体的防沙治沙技术模式<sup>[4]</sup>,取得了良好的生态效益和社会效益,但与同纬度地区相比,阿里地区具有太阳辐射强、气温日较差大、降水量差

异大、大风时间长、可利用乡土树种草种贫乏等显著特征,严重制约着区域的社会经济和生态发展。由于生态环境脆弱、水热条件限制和人为活动等多重因素影响,阿里地区的荒漠化仍处于发展阶段。由于阿里地区乡土树种防沙治沙效果有限,急需加强该地区引种栽培治沙树种的试验研究。

花棒(*Hedysarum scoparium*)又名细枝岩黄芪,杨柴(*Hedysarum laeve*)又名塔落岩黄芪,同为豆科岩黄芪属多年生灌木或半灌木,广泛分布于我国毛乌素沙地、库布奇沙漠东部、乌兰布和沙漠与浑善达克沙地西部,具有耐寒、耐旱、耐贫瘠、抗风沙的特点,是干旱半干旱地区早期飞播造林的主要树种,也是适口性好的优良饲料。榆林毛乌素沙地是我国最早开展飞播造林试验的地区之一,曾大量引用花棒、杨柴造林,其生态、经济与社会效益非常显著<sup>[5]</sup>。笔者结合榆林治沙绿化经验,试验引种榆林治沙先锋植物(花棒和杨柴)至西藏阿里地区狮泉河盆地,并对阿里地区狮泉河盆地和榆林毛乌素沙地气候指标、土壤条件与引种治沙植物的相关生态指标进行对比分析,探索适宜于阿里地区的防沙治沙路径,为阿里地区植物治沙、生态恢复与重建提供技术支撑和试验示范。

## 1 材料与方法

**1.1 研究区概况** 引种试验区为阿里地区噶尔县狮泉河镇(80°05'24.6"E, 32°29'44.4"N),位于狮泉河盆地核心区,地表

**基金项目** 陕西省援藏项目“西藏阿里地区沙旱生植物引种栽培技术研究及示范”。

**作者简介** 柳隽瑶(1994—),女,陕西蓝田人,助理工程师,硕士,从事植物生态学、林业研究。\*通信作者,研究员,博士,从事水土保持与荒漠化防治、生态修复研究。

**收稿日期** 2022-04-14

为次生砾石戈壁风沙滩区。阿里地区属二类风区,年平均风速 3.2 m/s 以上,高达 8 级以上大风时间 149 d 左右。试验样地设置在阿里地区治沙工程项目林内,海拔 4 280 m,属高原寒带季风气候。年降水量不足 100 mm,年平均蒸发量 2 454.6 mm,年际变幅达 1 547.9 mm,常年干燥少雨,干燥度 34.1,属极端干旱荒漠区,每年 5—9 月降水量占全年降水量的 80% 以上。年平均气温 0 °C,日温差极大,多年极端最高气温 32.1 °C,极端最低气温 -41 °C。晴天多,光照强,年辐射量大于 7 000 MJ/m<sup>2</sup>[6]。狮泉河盆地狭长,分布于阿里地区巴康塔木切隆山和孔龙砬山之间,狮泉河穿行而过,地势东高西低,总面积约 3 290 km<sup>2</sup>,平均海拔约为 4 500 m 以上,空气稀薄干燥,空气含氧量、植被覆盖度和土壤有机质含量低。暖季出现在 6—9 月,植物有效生长期为 85~96 d;冷季为 10 月至次年 5 月,大气和地表极度干燥,植被疏萎,风沙活动强烈,裸露或半裸露的地表为“就地起沙”提供了有利条件[2,7]。

立地为河谷沙砾石滩地,土壤贫瘠,保水保肥能力极差,盐碱化较重。试验地表层土壤有机碳含量为 41.03 g/kg,全氮、全磷、全钾含量分别为 0.37、1.76、0.09 g/kg。研究区沙物质相对集中或以夹层形式出现,或直接覆盖地表,区域内除基岩山地以外,各地貌单元上的沉积物中普遍含有沙与粉沙组分。现代风成沙下伏沉积物包括沙砾石、戈壁沙砾石、河流冲积物,是目前风成沙的主要沙源[2]。盆地内广大地表一般无植被覆盖,仅在朗久河与狮泉河沿岸散生或片状分布着班公柳 (*Salix bangongensis*)、秀丽水柏枝 (*Tamariaceae myricariaelegans*) 和变色锦鸡儿 (*Caragana versicolor*) 等灌丛植物,以及少量禾本科针茅属 (*Stipa*)、羊茅属 (*Festuca*) 和莎草科嵩草属 (*Kobresia*) 等禾草群落。

**1.2 引种栽培方法** 杨柴和花棒种子为 2015 年 4 月于榆林毛乌素沙地收集获得,优选颗粒饱满的健康种子空运至阿里地区狮泉河镇。试验示范引种地位于狮泉河镇林业局苗圃风沙滩地,引种杨柴和花棒地块,长 34.4 m,宽 16.0 m,分为 10 块畦地,每块畦宽 3 m,长约 16 m,埂宽 0.4 m。播种前该地块已经过平整,垫 pH 在 8.0~9.0 的风沙土 20 cm,施用牛羊粪肥 30 t/hm<sup>2</sup>,拖拉机翻耕 10~15 cm 的处理,地块西侧边缘有宽 0.6 m 的水渠保证灌溉。播种采用条播的方式,播种时间为 2015 年 5 月 10 日,人工开沟条播,条距 30 cm,播种深

度 3~5 cm,花棒、杨柴播种量分别为 20、12 kg/hm<sup>2</sup>,试验引种种子质量见表 1。播前种子经高锰酸钾消毒,温水浸种 24 h。播种后,1~2 年内加强管护,长时间无降水时浇水周期为 10~15 d,适时中耕、施肥和除杂草,防牲畜啃食、践踏。第 3 年开始刈割、平茬、复壮,以后每年平茬。

表 1 引种植物及其种子质量

Table 1 Introducing plants and their seed quality

试验材料 Test materials	种子净度 Seed clarity %	千粒重 1 000 grain weight//g	发芽率 Germination percentage//%
花棒 <i>Hedysarum scoparium</i>	92	24.82	91
杨柴 <i>Hedysarum laeve</i>	91	15.40	82

### 1.3 试验观测方法

**1.3.1 气候适应性观测。**选取花棒和杨柴天然分布区榆林市引种区狮泉河镇 1981—2010 年的气象因子进行统计,分析生长季(4—9 月)降水量、相对湿度、气温、大气压、日照时长和风速等差异,探讨花棒和杨柴对阿里地区气候的适应性。数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)。

**1.3.2 土壤基质调查。**以榆林毛乌素沙地和狮泉河镇野外沙土为对照,对引种栽培 3 年后花棒和杨柴混播试验区 0~5 cm 表土 pH、土壤有机质、速效氮、速效磷、速效钾进行测定,对比分析花棒和杨柴对阿里地区土壤 pH、土壤养分等的适应性。

**1.3.3 试验效益分析。**对狮泉河镇引种试验栽植的花棒、杨柴生长状况进行调查,包括成活、保存、长势和物候情况,进一步论证阿里地区引种花棒和杨柴的可行性。

## 2 结果与分析

### 2.1 气候生态适应性

**2.1.1 降水量与相对湿度。**降水量和空气相对湿度是决定自然植被类型的关键因素,也是干旱区植物生长的主要限制因子。花棒和杨柴天然分布区榆林毛乌素沙地年均降水量为 383.6 mm,生长季平均降水量 335.3 mm,是全年总降水量的 87.4%;8 月降水量达到峰值,为全年降水量的 27.5%。引种地阿里狮泉河镇年均降水量 66.4 mm,年际变化率达 15.5%;该地区生长季平均降水量为 58.9 mm,占全年降水量的 88.7%;年降水量峰值同样在 8 月,是全年降水量的 34.9%(图 1a)。

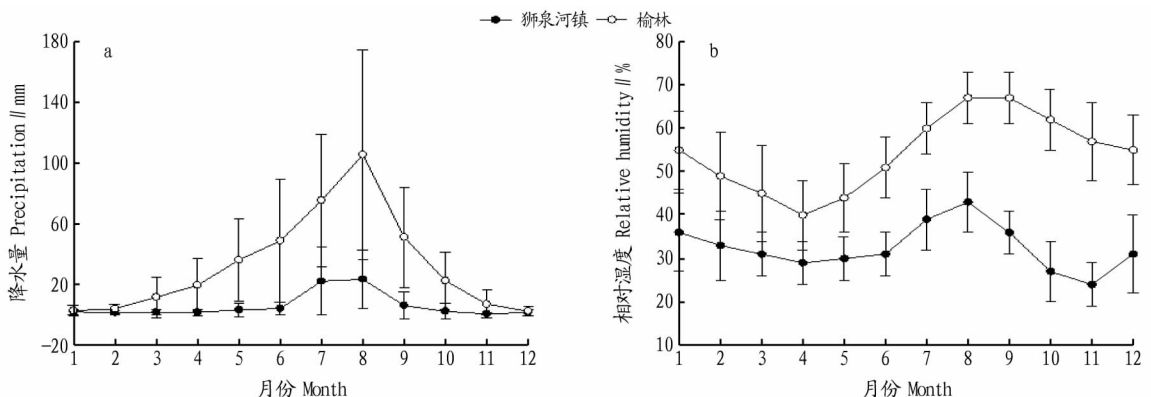


图 1 狮泉河镇、榆林市降水量(a)和相对湿度(b)的差异

Fig.1 Difference between precipitation(a) and relative humidity (b) between Shiquanhe and Yulin

空气相对湿度间接影响植物的蒸腾和光合作用,对植物水分平衡也有重要意义。由于降水量差异,两地空气相对湿度呈现狮泉河镇普遍低于榆林市,两地相对湿度的最大值与降水量峰值一致,均出现在8月,分别为43%和67%。狮泉河和榆林地区生长季平均相对湿度分别为34.7%和54.8%(图1b)。引种地狮泉河镇相较于榆林市更为干旱,花棒和杨柴幼苗在该地区生长可能会受到水分限制。

**2.1.2 温度适应性。**花棒、杨柴在其适生区播种后,当5 cm土层日均温达到6~8℃时开始发芽<sup>[8]</sup>。天然分布区榆林年均温度8.8℃,4月平均气温为(11.0±1.6)℃,达到花棒和杨柴的发芽温度;7月气温最高,为(23.7±1.0)℃,生长季平均气温为18.6℃。引种区狮泉河镇年均气温1.0℃,6月平均气温为(10.7±1.5)℃,达到发芽温度;7月气温最高,为(14.4±1.2)℃,生长季平均气温为8.9℃(图2)。花棒和杨柴的萌芽时间受到两地平均气温的影响。

**2.1.3 大气条件。**大气压力差异会使植物生化反应速度和平衡受到影响,101 kPa的大气压是植物生长的理想条件。花棒和杨柴原生区榆林全年大气压力稳定在88.6 kPa左右,引种地狮泉河镇全年大气压保持在60.5 kPa左右,为榆林平

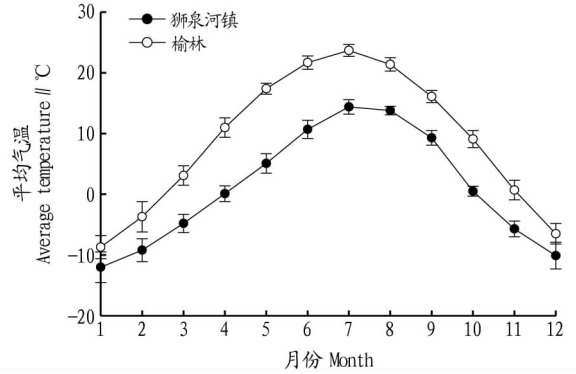


图2 狮泉河镇、榆林市平均气温的差异

Fig.2 Difference between the average temperature of Shiquanhe and Yulin

均大气压力的68.2%(图3a)。

花棒和杨柴喜光,萌蘖能力强,根系发达,具有较强耐风蚀和抗沙埋特性,天然分布区榆林年日照时数为2 284.8 h,年平均风速为2.1 m/s;引种地狮泉河镇年日照时数2 879.5 h,年平均风速为2.7 m/s,略高于榆林地区(图3b)。

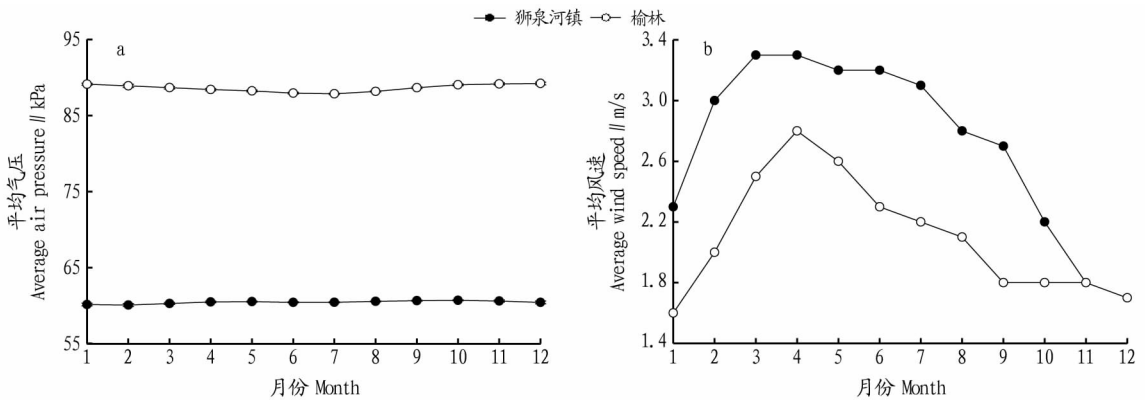


图3 狮泉河镇、榆林市平均气压(a)和平均风速(b)的差异

Fig.3 Difference between average air pressure (a) and average wind speed (b) in Shiquanhe and Yulin

**2.2 土壤基质情况** 狮泉河镇地貌类型以次生沙砾化戈壁风沙滩地为主,形成的土壤基质大多为高寒荒漠草原盐碱土,盐碱含量普遍较高,荒地土壤pH达9.71,榆林毛乌素沙地pH为8.42;狮泉河镇土壤相对较为贫瘠,引种区平均有机质含量仅为1.46 g/kg,与榆林毛乌素沙地土壤有机质含量相

差不多,而速效氮和速效钾含量高于毛乌素沙地,速效磷含量与毛乌素沙地相差不多(表1)。经过客土改良,花棒和杨柴引种混播区土壤基质pH为9.35,有机质含量是狮泉河荒地的3.84倍,土壤养分普遍高于狮泉河荒地和毛乌素沙地(表2)。

表2 花棒和杨柴混播表土基质情况

Table 2 Topsoil substrates of *H.scoparium* and *H.laevae*

样地 Sample plot	pH	有机质 Organic matter g/kg	速效氮 Available nitrogen mg/kg	速效磷 Available phosphorus mg/kg	速效钾 Available potassium mg/kg
狮泉河镇 Shiquanhe Town	9.71	1.46	28.07	3.22	43.52
毛乌素沙地 Mu Us sandy land <sup>[9-10]</sup>	8.42	1.13	5.96	2.31	27.10
混播区 Mixed seeding area	9.35	5.60	37.50	38.25	74.67

注:0~5 cm 土层数据

Note: Data of 0~5 cm soil layer

## 2.3 花棒和杨柴混播生长状况

**2.3.1 物候期观察。**由于狮泉河镇与榆林气候、立地条件的

差异,花棒和杨柴在两地生长的物候期也有所不同(表3)。狮泉河镇花棒和杨柴的萌芽期较毛乌素沙地推后约45 d,盛

花期缩短 60 d, 落叶期提前近 30 d, 生长期少了 91~92 d。在狮泉河镇引种 5 年间花棒和杨柴只开花不结实, 群落更新主要依靠地下萌蘖繁殖。

**2.3.2 生长发育状况。**2015 年 5 月 10 日播种, 花棒和杨柴混播区当年平均出苗数为 64 株/m<sup>2</sup>, 最高可达 115 株/m<sup>2</sup>, 6 月 16 日株高 1.5 cm, 播种当年株高达到 12.0 cm。2016 年 5 月, 地表刚刚解冻无新芽产生时, 地下生物量已开始蓄积, 花

棒、杨柴地下根系的平均生长深度分别达到 15、14 cm, 平均分根量分别为 16 和 9 个。播种后在无任何越冬防护条件下, 越冬后发芽率为 89%。幼苗不耐旱, 杨柴 4~5 年后地下根茎的生长产生萌蘖苗。花棒耐寒性强, 保存率 95% 以上。花棒和杨柴均未出现抽梢现象, 2016—2018 年保存率均达到 90% 以上, 苗木长势旺盛, 对引种地有较好的适应性(图 4)。

表 3 花棒和杨柴物候情况

Table 3 Phenology of *H.scoparium* and *H.laeve*

样地 Sample plot	萌芽返青期 Sprout and turn green	盛花期 Flowering period	结实期 Fruiting period	落叶期 Deciduous stage	生长期 Growth period//d
狮泉河镇 Shiquanhe Town	6 月中上旬	7 月下旬至 8 月上旬	/	9 月中上旬	89~95
毛乌素沙地 Mu Us sandy land	4 月中下旬	6 月上旬至 8 月中旬	8 月下旬至 9 月下旬	10 月下旬至 11 月中旬	181~186

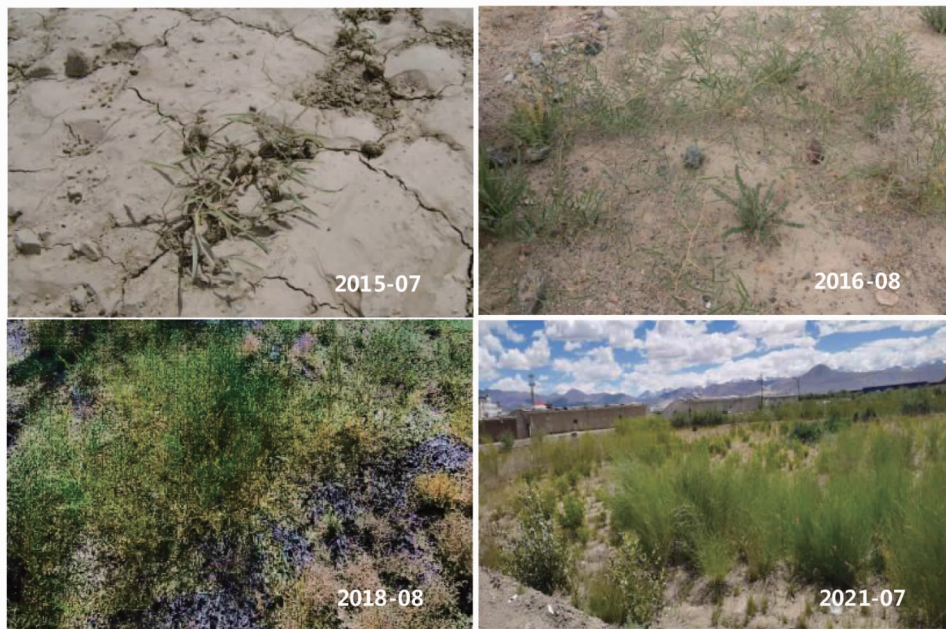


图 4 狮泉河镇引种混播区花棒和杨柴生长情况

Fig.4 Growth of *H.scoparium* and *H.laeve* in the introduction area in Shiquanhe

### 3 结论与建议

从 2015 年 5 月播种至 2021 年 7 月, 已栽植的花棒、杨柴生长状况较好, 说明引种地高寒荒漠半荒漠区具有较好适应性。对比分析花棒和杨柴天然分布区榆林毛乌素沙地与引种地阿里狮泉河盆地的气候指标和土壤基质条件, 狮泉河镇的 平均温度、大气压、风速和光照等气候指标和土壤条件基本能满足花棒、杨柴的生长发育需求, 降水量、空气湿度对引种植物幼苗生长有一定的限制, 播种初期仍需人工干预。花棒和杨柴的引种栽植有利于丰富阿里地区防沙治沙物种的多样性, 为构建更加稳定的植被群落, 仍需对引种植物生理性状改变、生物生态学特性开展进一步观测研究。笔者为阿里地区狮泉河镇花棒和杨柴的引种栽培提出以下建议。

**3.1 幼苗存活** 土壤水分和温度是调节种子萌发的重要因素。引种区狮泉河镇水分条件和温度条件相较于原生区榆林毛乌素沙地差异较大。花棒、杨柴最低发芽温度(5 cm 土层日均温)为 6~8 °C, 最适发芽温度为 17~24 °C, 引种地气

温可基本满足种子萌发条件。花棒和杨柴会普遍受到干旱胁迫, 为保证花棒和杨柴植株的正常生长, 引种前 2 年内给幼苗定期补水至关重要。播种第 3 年后, 混播区花棒和杨柴达到旺盛生长期, 群落结构逐渐稳定, 可适量减少人为补水。单次天然降水量 > 8.8 mm, 降水强度达到 1.5 mm/h, 可被成熟的杨柴群落有效利用<sup>[11]</sup>。同时, 狮泉河盆地存在以鼠、虫为主的生物灾害, 而花棒和杨柴的种子为老鼠喜食, 播种后应加强管理。

**3.2 生长繁殖** 狮泉河盆地立地为河谷沙砾石滩地, 土壤贫瘠, 保水保肥能力极差。狮泉河荒地土壤有机质、速效氮、速效磷和速效钾含量普遍高于原生区榆林毛乌素沙地, 这表明土壤养分含量可基本满足花棒和杨柴苗木的成活, 不是引种植物生长的主要限制因素。而狮泉河荒地土壤 pH 比榆林毛乌素沙地高, 这表明土壤盐碱化可能是引种植物生长的主要限制因素。为保证引种植物成活, 需要人为创造土壤条件。可使用山前盆地风沙土进行客土改良, 覆土高度以 20 cm 左



右为宜,施用牛羊粪肥并进行深耕。通过土壤改良减轻狮泉河荒地高盐碱、低有机质的问题,有利于引种植物成活。

高原环境大气压低,表现为氧气稀薄,由于氧气扩散速率降低,植物种子萌发速度趋缓,萌芽率也可能降低。研究表明,植物至少需要 10 kPa 总压和相应氧气、二氧化碳及水蒸气分压才能正常发育,但为了适应低气压的大气环境条件,植物生理生态特征会发生改变<sup>[12]</sup>。笔者通过观察发现,引种的花棒和杨柴长势旺盛,可以开花,但是普遍存在不结实的特点。低压引起的氧气分压下降有利于植物的营养生长,但对生殖生长存在一定抑制作用,小麦在 50 kPa 总压下降穗增加,生物量增加,严重抑制了种子形成<sup>[13]</sup>。

花棒和杨柴作为游击型克隆植物,当无性克隆繁殖为主要繁殖方式时,有性繁殖会相对减弱,再加上高原低压环境对生殖生长存在的抑制作用,又进一步促进了花棒和杨柴的克隆繁殖。该研究表明,在狮泉河镇引种 5 年间花棒和杨柴只开花不结实,群落更新主要依靠地下萌蘖,克隆繁殖。花棒和杨柴树龄一般可达 70 年以上,旺盛生长 5~10 年后开始衰退,15 年灌丛不再萌发新枝,结实量下降。定期适当平茬可以起到更新复壮和扩大郁闭度的作用,5~10 年平茬一次,时间宜在春初土壤解冻前,留茬高度宜在 20 cm<sup>[14-15]</sup>。

**3.3 推广应用** 狮泉河盆地西部盐碱、沼泽地区以风蚀为主;中部形成斑块状积沙区,表现为零星分布的沙丘和灌丛沙堆,风沙危害以沙丘前移为主;其他广大戈壁区除局部地区存在风沙沉积、沙丘前移过程外,大部分区域以风蚀和戈壁风沙流过程为主<sup>[4]</sup>。经过多次治理和研究,该地区形成了由砾石沙障、防护林带、人工草地和灌溉工程组成的风沙灾害治理工程<sup>[1]</sup>。花棒和杨柴耐旱、耐瘠薄、抗风蚀,可在砾石

沙障和防护林带间合理种植<sup>[16]</sup>,构建生物活沙障防护体系,改善小气候,提高整个栽植体系防风固沙和植被恢复效果,发挥生态效益。同时,花棒和杨柴枝叶茂盛,营养丰富,播种后 3 年即可刈割,干青草粉碎后是良好的牲畜饲料,有独特的经济价值。

### 参考文献

- [1] 张春来,邹学勇,刘玉璋,等.狮泉河盆地风沙灾害成因及其防治[J].自然灾害学报,2006,15(2):1-9.
- [2] 金炯,董光荣,邵立业.阿里地区狮泉河镇风沙危害与整治规划[J].中国沙漠,1991,11(3):20-28.
- [3] 刘志民.西藏日喀则固沙植物引种的比较研究[J].中国沙漠,1996,16(3):326-330.
- [4] 张春来,邹学勇,靳鹤龄,等.狮泉河盆地第二期风沙灾害整治研究[J].中国沙漠,2001,21(2):157-163.
- [5] 郝超,刘东林,王建梅.榆林沙区飞播造林治沙的形势与对策[J].防护林科技,2013(4):40-41.
- [6] 幸福梅,柳文杰,王玉婷,等.平茬对西藏阿里地区班公柳和秀丽水柏枝人工林生长的影响[J].东北林业大学学报,2021,49(11):35-38.
- [7] 康志鸿.阿里地区草原分布及其利用现状[J].西藏农业科技,1989(1):47-52.
- [8] 古松.花棒、杨柴、毛条苗期生长特性与气候因子的关系[J].干旱区研究,1994,11(2):60-63.
- [9] 王春杰,朱志梅,张仁慧,等.陕北榆林地区沙漠化土壤理化性质、土壤酶活性及其与植物 C、N 的关系[J].水土保持通报,2010,30(5):57-62.
- [10] 王彦武,廖超英,孙长忠,等.毛乌素沙地固沙林土壤化学性质差异[J].土壤通报,2009,40(4):776-780.
- [11] 洪光宇,王晓江,刘果厚,等.毛乌素沙地杨柴灌木林土壤水分对不同降雨格局的响应[J].水土保持通报,2021,41(2):76-83,121.
- [12] 唐永康,郭双生,林杉,等.低压环境中植物的生长特性及适应机理研究进展[J].植物生态学报,2011,35(8):872-881.
- [13] SCHWARTZKOPF S H, GROTE J R, STROUP T L. Design of a low atmospheric pressure plant growth chamber [C]//SAE Technical Paper Series. Warrendale, PA, United States: SAE International, 1995.
- [14] 杨伟,孙婧瑜,王建梅,等.毛乌素沙地榆林沙区退化飞播灌木林平茬复壮效果分析[J].防护林科技,2019(2):1-2.
- [15] 金红宇,徐文娣,陈国雄.花棒生理生态研究及其展望[J].西北农业学报,2018,27(11):1563-1577.
- [16] 赵国平,尼马平措,李军保,等.一种高海拔戈壁风沙滩区班公柳扦插治沙方法:CN201510515320.5[P].2015-12-02.

(上接第 103 页)

### 参考文献

- [1] 刘艳会,刘金福,何中声,等.基于戴云山固定样地黄山松群落物种组成与结构研究[J].广西植物,2017,37(7):881-890.
- [2] 李左玉.寿宁县黄山松林分结构初探[J].林业勘察设计,2019,39(4):26-29.
- [3] 方全.江西天然针叶林群落特征研究[D].南昌:南昌大学,2016.
- [4] 郑天才,张建设,董卉卉,等.黄山松人工林生长规律研究[J].绿色科技,2019(15):230-231,233.
- [5] 朱成琦.皖西大别山区典型森林群落结构与碳储量研究[D].合肥:安徽农业大学,2019.
- [6] 邱林,张建设,郑天才,等.间伐对不同龄级黄山松人工林生长的影响[J].林业资源管理,2019(1):44-51.
- [7] 邢聪,江蓝,何中声,等.戴云山不同海拔黄山松群落的高度级结构研究[J].森林与环境学报,2019,39(4):380-385.
- [8] 田晓萍,占玉芳,马力,等.河西走廊沙漠人工林群落结构特征[J].林业科技通讯,2021(6):35-39.
- [9] 刘纪建,李明君.华北人工林资源现状、问题分析和经营对策[J].现代园艺,2017(13):44-45.
- [10] 蔡群.黄山市人工林现状及近自然经营探讨[J].绿色科技,2019(7):63-64.
- [11] 张馨予.我国工业人工林培育现状及其在林业建设中的战略意义[J].林业科技情报,2018,50(4):40-41.
- [12] 张浩洋.我国人工林经营现状与健康经营途径探讨[J].防护林科技,2016(12):92-93.
- [13] 常晖.红松人工林近自然化改造的必要性及可行途径探讨[J].安徽农业科学,2013,41(1):181-182,240.
- [14] 郑晓晓.北京松山油松林群落特征研究[D].北京:北京林业大学,2020.
- [15] 巢林,洪滔,李健,等.中亚热带不同林龄杉木人工林径级结构与林下物种多样性分析[J].植物资源与环境学报,2015,24(2):88-96.
- [16] 韦彩丽,谢正生,邓丽婷,等.黄牛木种群空间分布格局研究[J].浙江林业科技,2021,41(2):1-7.
- [17] 谢春平,方文明.将石自然保护区乌冈栎群落组成与结构分析[J].西南林学院学报,2009,29(5):1-7.
- [18] 左政.长白山落叶松林多功能评价与经营:以金沟岭林场为例[D].北京:北京林业大学,2020.
- [19] 崔宁洁,陈小红,刘洋,等.不同林龄马尾松人工林林下灌木和草本多样性[J].生态学报,2014,34(15):4313-4323.
- [20] 方元平,项俊,刘聪,等.英山吴家山森林公园榉树种群结构[J].黄冈师范学院学报,2005,25(3):27-29,52.
- [21] 傅松玲,黄成林,曹恒生,等.黄山松更新特性与光因子关系的研究[J].应用生态学报,2000,11(6):801-804.
- [22] 张利权.浙江省松阳县黄山松种群的年龄结构与分布格局[J].植物生态学与地植物学学报,1990,14(4):328-335.
- [23] 郑世群,刘金福,冯雪萍,等.戴云山不同类型植物群落的物种多样性与稳定性研究[J].西北林学院学报,2016,31(6):50-57,64.
- [24] 王蒙.大别山区苔藓样品中的花粉组合及其与植被的关系[D].合肥:安徽大学,2019.
- [25] 许元科,吴初平,叶丽敏,等.景宁荒田湖林场黄山松与木荷混交林主要树种径级结构与空间分布格局研究[J].浙江林业科技,2019,39(5):10-16.