

DOI:10.11913/PSJ.2095-0837.2021.40389

韦丹丹, 刘鑫, 王子龙, 包维楷. 岷江上游干旱河谷西康扁桃灌丛生长繁殖特征[J]. 植物科学学报, 2021, 39(4): 389-397

Wei DD, Liu X, Wang ZL, Bao WK. Growth and reproduction of *Amygdalus tangutica* (Batal.) Korsh. population in arid valley sites along the Minjiang River[J]. *Plant Science Journal*, 2021, 39(4): 389-397

岷江上游干旱河谷西康扁桃灌丛生长繁殖特征

韦丹丹^{1,2}, 刘鑫¹, 王子龙^{1,2}, 包维楷^{1*}

(1. 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, 生态恢复与多样性保育四川省重点实验室, 成都 610041; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:以西康扁桃 (*Amygdalus tangutica* (Batal.) Korsh.) 为材料, 在岷江干旱河谷四川省阿坝藏族羌族自治州茂县至松潘段设置 47 个调查点进行该物种的自然分布调查; 选取 4 个典型分布点, 随机选择 20 株灌丛, 测定西康扁桃的年龄、基径、高度、冠幅等生长指标以及结实量、结实重量等特征指标; 并设置 5 个 4 m × 6 m 的灌木样方, 调查西康扁桃的群落结构与物种组成情况。结果显示: 西康扁桃广泛分布于岷江上游干旱河谷, 并在松潘县南部安宏乡形成优势群落, 群落主要由灌木及多年生草本植物组成, 物种丰富度较高 (43 ~ 55 种/24 m²); 西康扁桃当年结实量较小, 平均值为 (8.83 ± 2.25) 粒/丛; 灌丛平均萌生枝数为 (7.38 ± 0.46) 枝/丛, 其中 25.68% 的萌生枝处于 5 ~ 10 a 的年龄阶段, 而果重/枝叶重仅为 (0.69 ± 0.16) %, 表明其结实能力较低, 主要依靠产生萌生枝维持种群稳定; 各生长与结实参数关系密切, 灌丛年龄、高度是影响结实量的主要因素。研究结果表明, 西康扁桃广泛分布于岷江上游干旱河谷内, 灌丛有性繁殖贡献率较低, 依靠无性繁殖维持群落稳定, 亟需开展资源保护。

关键词: 干旱河谷; 西康扁桃; 植被恢复; 繁殖更新

中图分类号: Q945.5

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2021)04-0389-09

Growth and reproduction of *Amygdalus tangutica* (Batal.) Korsh. population in arid valley sites along the Minjiang River

Wei Dan-Dan^{1,2}, Liu Xin¹, Wang Zi-Long^{1,2}, Bao Wei-Kai^{1*}

(1. Chinese Academy of Sciences 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; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: *Amygdalus tangutica* (Batal.) Korsh. is a native shrub species with high ecological and economic value found in the arid valley area of Southwest China. Here, we surveyed arid valley sites along the Minjiang River from the Maoxian to Songpan counties. We recorded 47 survey points where *A. tangutica* was abundant. Among these points, five plots were established to investigate community structure. Six shrub quadrats and 12 herb quadrats were investigated in each plot. To examine vegetative and reproductive characteristics, four sites were selected, with 20 shrubs randomly selected at each site. Variables of shrub and ramet growth (e.g., age, height, basal diameter, canopy area, branch number) and reproduction (e.g., number of fruits and fresh weight of fruit) were determined. Results showed that: (1) *A. tangutica* formed communities with high species richness (43 – 55 species/24 m²)

收稿日期: 2021-01-06, 修回日期: 2021-02-04。

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFC0505106)。

This work was supported by a grant from the National Key R&D Program of China (2017YFC0505106)。

作者简介: 韦丹丹 (1996–), 女, 硕士研究生, 研究方向为植物群落生态学 (E-mail: weidd@cib.ac.cn)。

* 通讯作者 (Author for correspondence. E-mail: baowk@cib.ac.cn)。

and was widely distributed in the arid valley sites along the Minjiang River. (2) An average of 8.83 ± 2.25 fruits were found on each shrub. (3) An average of 7.38 ± 0.46 sprouts were found on each shrub, with 25.68% of sprouts within the age range of 5 – 10 years. The ratio of fruit weight to vegetative organ weight was only $(0.69 \pm 0.16)\%$, indicating weak sexual reproduction capacity. (4) Growth and fruiting parameters were significantly correlated, and fruit number was significantly affected by age and height. Our results suggest that *A. tangutica* has adapted to the arid valley environment by producing sprouts. However, resource conservation is urgently needed.

Key words: Arid valley; *Amygdalus tangutica*; Vegetation restoration; Reproduction

西康扁桃 (*Amygdalus tangutica* (Batal.) Korsh.) 也称四川扁桃、唐古特扁桃, 是蔷薇科桃属的密生落叶灌木, 为中国的特有植物。西康扁桃种子营养丰富、油脂含量高, 是良好的木本油料作物^[1-3]; 内果皮是制作优质活性炭的重要原料; 植株可作为经济果树的砧木, 嫁接成活率高^[4, 5]。由于其植株兼具根系发达、喜光、耐旱、耐寒、耐贫瘠等特点, 环境适应性极强, 是干旱河谷区荒山造林和植被恢复的优良树种^[6]。此外, 西康扁桃枝叶繁茂, 花色艳丽, 栽培管理简单, 也是良好的园林绿化树种和蜜源植物^[7]。因此, 该物种具有良好的开发前景, 是岷江干旱河谷区兼具生态价值与经济价值的特色乡土树种。

目前, 关于我国野生扁桃资源保护利用研究主要集中于蒙古扁桃 (*Amygdalus mongolica* (Maxim.)) 与长柄扁桃 (*Amygdalus pedunculata* Pall.), 已在种质资源分布^[8, 9]、群落结构特征^[10, 11]、抗旱生理机制^[12-14]、种仁药用价值^[15]、引种培育^[16, 17]等方面开展了研究工作。然而, 迄今对西康扁桃的群落结构、多样性和生长特征等研究仍开展较少^[7, 18-20]。西康扁桃分布于四川西北部和甘肃南部的河谷中, 该区域受横断山脉对湿润气流的阻隔及焚风效应的影响, 气候条件复杂多变。同时该区域也是我国少数民族聚居地, 是区域社会、经济和农业发展的核心地带, 生态敏感、环境脆弱, 面临诸如局部植被破坏与水土流失等方面的问题。研究表明, 以乡土灌木为建群种的灌丛作为干旱、半干旱区的主要植被类型, 在敏感、脆弱的生境中表现出较高的稳定性^[21, 22]。西康扁桃作为具有较强环境适应性和良好景观效果的乡土灌木, 可作为干旱河谷区村落周边道路和植被退化区域景观恢复重建的备选物种。

本文通过对西康扁桃在岷江干旱河谷的分布范围及其生长与繁殖特征进行调查, 旨在探明西康扁桃在岷江干旱河谷的群落分布现状, 群落结构与物种组成; 揭示西康扁桃灌丛生长繁殖特征及其空间差异, 分析环境对西康扁桃生长繁殖的潜在影响, 以期为岷江干旱河谷生态恢复树种的选择和西康扁桃资源的充分开发利用提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

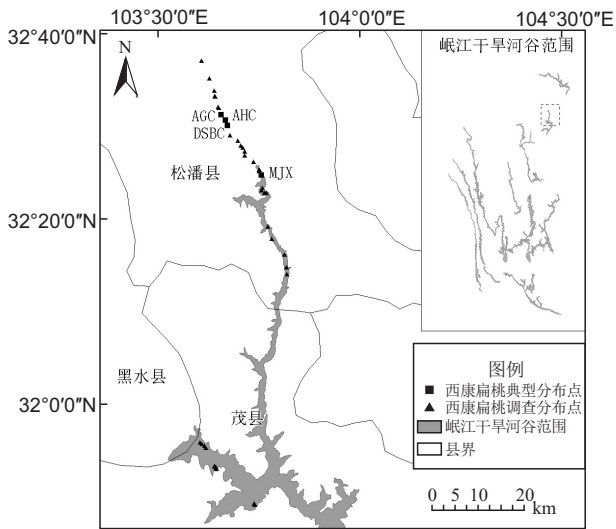
1.1 研究区概况

研究区域位于四川省阿坝藏族羌族自治州茂县和松潘县境内 ($31^{\circ}52' \sim 32^{\circ}51' \text{ N}$, $103^{\circ}32' \sim 103^{\circ}73' \text{ E}$), 海拔 2135 ~ 2724 m。该区域属高原季风气候, 干湿季节交替明显, 年均温 $10^{\circ}\text{C} \sim 11^{\circ}\text{C}$, 年降水量 493 mm, 主要集中在 5 – 10 月, 年蒸发量 1332 mm, 蒸发量是降水量的 2 ~ 6 倍, 气候干燥^[23, 24]。土壤类型以山地褐土与山地棕壤为主, 土层浅薄, 厚度多在 30 ~ 50 cm, 部分区域基岩裸露^[25]。研究区域植被稀疏, 植被覆盖率低 (20% ~ 30%), 植被类型以适应干旱贫瘠生境的灌丛和灌草丛为主, 群落呈斑块状散布, 层次结构单一, 优势种有白刺花 (*Sophora davidii* (Franch.) Skeels)、四川黄栌 (*Cotinus szechuanensis* A. Penzes)、川甘亚菊 (*Ajania potaninii* (Krasch.) Poljak.)、小鞍叶羊蹄甲 (*Bauhinia brachycarpa* Wall. ex Benth.)、竹叶草 (*Oplismenus compositus* (L.) Beauv.) 和金仙草 (*Pulicaria chrysantha* (Diels) Ling) 等^[26, 27]。

1.2 野外调查方法

于 2020 年 8 月西康扁桃结实期开展群落分布调查及种子收集工作。对岷江干流茂县上关村至松

潘县城河段及岷江支流黑水河部分河段的两侧山地进行沿途调查，共记录西康扁桃灌丛分布样点 47 个(图 1)。



AGC、AHC、DSBC、MJX 分别表示西康扁桃群落 4 个典型分布点的地理位置。下同。
AGC, AHC, DSBC, and MJX represent geographic locations of four typical distribution points of *Amygdalus tangutica* communities, respectively. Same below.

图 1 岷江干旱河谷西康扁桃群落调查点位图
(改自范建容等^[29]的文献)
Fig. 1 Vegetation survey sites in arid valley along the Minjiang River (modified from Fan *et al.*^[29])

1. 2. 1 灌丛群落结构与物种组成的调查

参考方精云等^[28]提出的植物群落清查技术规范，在松潘县岷江乡附近选取 5 个样地开展西康扁桃灌丛群落结构和物种组成调查。每个样地设置 1 个 4 m × 6 m 的样方；为提高调查准确度，将样方划分为 6 个 2 m × 2 m 的灌木样方；每个灌木样方对角布设 2 个 1 m × 1 m 的草本样方。清查灌木样方和草本样方内出现的所有植物种类，测量样方内灌木的冠幅，计数并测量每种灌木、草本植物的多度、平均高度等指标。记录出现在样方中，但不在草本样方内的草本植物，用于统计样方草本植物丰

富度。

1. 2. 2 灌丛生长与繁殖特征的调查

在西康扁桃分布集中的地段，选择 4 个典型分布点，测量西康扁桃生长与结实状况。用 GPS 记录样点的经纬度和海拔，用手持式罗盘仪测量坡度和坡向(表 1)。在每个典型分布点随机选取 20 丛西康扁桃，测量灌丛最大高度、平均高度、冠幅、计数灌丛的结实数量及萌生枝数。采用收割法测量西康扁桃地上生物量，在距地面 5 cm 处将灌丛砍掉，用电子秤称量所有萌生枝的单枝鲜重以及灌丛的结实鲜重。就地计数所有萌生枝的年轮确定灌丛年龄，用游标卡尺测定萌生枝基径，用钢卷尺测量萌生枝长度和冠幅。每个灌丛的所有萌生枝取适量枝叶样品，混匀得到约 200 g 混合样品，立即称量鲜重；带回实验室，65℃烘干至恒重，测定含水率，计算地上生物量。共计测量与收割 80 丛西康扁桃灌木。

1. 3 数据处理

依据 *Flora of China*，对野外采集标本进行物种鉴定，建立植物数据库。以样地为单元，分别计算灌木层与草本层各物种的重要值，分析物种群落结构与物种组成。计算公式为：

$$IV = (\text{相对多度} + \text{相对频度} + \text{相对优势度}) / 3 \times 100\%$$
 (1)

$$\text{相对优势度} = \frac{\text{单一物种的盖度}}{\text{样方中全部物种的总盖度}}$$
 (2)

以灌丛为单元对生长繁殖数据进行整理和分析。灌丛高(*H*)为实测的灌丛最大高度，年龄(*a*)为各萌生枝的最大年龄，灌丛基径(*D*)、结实数量(*n*)、结实重量(*m*)为各萌生枝相应指标之和。结实重量为灌丛结实鲜重，果重/枝叶重为灌丛结实鲜重与枝叶鲜重的比值。灌丛地上生物量为各萌生枝地上生物量之和。以东西(*a*)、南北(*b*)方向冠幅的平均值作为直径，按照圆形面积计算冠幅面积(*C*)，即：

表 1 岷江干旱河谷西康扁桃 4 个典型分布点的环境因子
Table 1 Sampling sites of *Amygdalus tangutica* in arid valley along the Minjiang River

群落 Community	经纬度 Longitude and Latitude	海拔 Altitude (m)	坡向 Aspect	坡度 Slope	坡位 Position
安关村 AGC	32°18'41.50" N, 103°22'48.74" E	2769	西偏南 215°	20.5°	下坡
安宏村 AHC	32°18'05.87" N, 103°22'55.03" E	2731	东偏南 122°	13.7°	下坡
得胜堡村 DSBC	32°17'25.61" N, 103°23'27.24" E	2695	西偏南 243°	20.5°	下坡
岷江乡 MJX	32°13'56.43" N, 103°26'00.16" E	2549	西偏北 87°	26.3°	下坡

$$d=(a+b)/2 \quad (3)$$

$$C=\pi r^2=\pi \times (d/2)^2 \quad (4)$$

坡向量化方法为:以正北为 0°, 顺时针、逆时针两个方向均逐渐增大, 数值为 0° ~ 180°。利用单因素方差以及 Tukey HSD 多重比较方法分析各群落西康扁桃生长与结实特征参数及二者空间差异。Pearson 相关系数分析结实特征与生长参数间的相关关系。采用 Excel 2019、SPSS 23.0 和 Origin 2019 软件进行数据分析和作图。

2 结果与分析

2.1 西康扁桃灌木丛的分布情况

本研究发现, 在 47 个调查点中均有西康扁桃群落分布, 其中 33 个点分布于松潘县, 13 个点分布于茂县(图 1)。西康扁桃广泛分布于岷江干旱河谷中(31°31' ~ 32°31'N, 103°19' ~ 103°43'E, 海拔 2135 ~ 2890 m), 主要分布于松潘县境内, 并在松潘县南部安宏乡形成优势群落; 在岷江支流黑水河流域也有分布, 且植株更高(1.34 ~ 3.08 m)。调查结果显示, 西康扁桃灌木丛主要生长在河谷两岸山坡上, 由于放牧、开荒等人为干扰严重, 灌丛常长于田坎、石缝、乡道边等资源贫瘠的生境中, 环境适应力极强。

2.2 西康扁桃灌丛群落结构与物种组成

西康扁桃群落总盖度为 55% ~ 83%, 高度 1.20 ~ 1.60 m。灌木盖度 43% ~ 90%, 除西康扁桃外, 优势度较高的物种有毛莲蒿(*Artemisia vestita* Wall. ex Bess.)、小叶香茶菜(*Isodon parvifolius* (Batalin) H. Hara) 等, 常见种包括匍匐忍冬(*Lonicera crassifolia* Batal.)、陕西绣线菊(*Spiraea wilsonii* Duthie)、细叶亚菊(*Ajania tenuifolia* (Jacq.) Tzvel.)、光果蕨(*Caryopteris tangutica* Maxim.) 等。草本盖度 6% ~ 74%, 优势种为贵州獐牙菜(*Swertia kouitchensis* Franch.)、打箭藁草(*Carex tatsiensis* (Franch.) Kukenth.)、川滇槲蕨(*Drynaria delavayi* Christ) 等; 常见种包括法氏早熟禾(*Poa faberi* Rendle)、台南大油芒(*Sporopogon tainanensis* Hayata)、华火绒草(*Leontopodium sinense* Hemsl.)、纤枝香青(*Anaphalis gracilis* Hand. -Mazz.) 等。凋落物盖度 22% ~

80%, 厚度 0.5 ~ 3.5 cm, 苔藓盖度 2% ~ 93%, 厚度 0.1 ~ 1.7 cm。

5 个样方内共调查到 71 种植物, 分属 36 科 63 属, 物种丰富度为 43 ~ 55 种/24 m²。群落主要由灌木和多年生草本植物构成(附表 1¹⁾), 其中常绿灌木 6 种, 占总物种数的 8.45%; 落叶灌木 10 种, 占总物种数的 14.08%; 一年生草本植物 6 种, 占总物种数的 8.45%; 2 年至多年生草本植物 38 种, 占总物种数的 53.52%。

2.3 西康扁桃灌丛生长繁殖特征及其空间差异

2.3.1 生长特征

调查中发现, 西康扁桃灌木丛平均高度(1.67 ± 0.05) m, 平均萌生枝数(7.38 ± 0.46) 枝/丛, 平均冠幅(9.87 ± 0.71) m²。4 个典型分布点西康扁桃灌丛的萌生枝数、高度、冠幅无明显差异($P > 0.05$); 年龄、基径、萌生枝数差异显著($P < 0.05$), 灌丛地上生物量的空间差异性最为显著($P < 0.01$)。其中安宏村灌丛群落长势较好, 年龄、基径、萌生枝数、地上生物量等 6 个生长参数指标均高于其它 3 个分布点。岷江乡西康扁桃灌丛平均年龄仅次于位于安宏村的灌丛(24.40 ± 1.42) a, 但灌丛基径、萌生枝数和地上生物量等指标均低于其他 3 个分布点的灌丛(表 2)。

2.3.2 西康扁桃的年龄结构

调查结果显示, 西康扁桃灌丛年龄在 9 ~ 44 a 之间, 平均年龄为(22.66 ± 0.85) a, 年龄结构呈“钟型”(图 2: a), 其中 20 ~ 25 a 的灌丛最多, 占灌丛总数的 27.50%。平均萌生枝数为(7.38 ± 0.46) 枝/丛, 各萌生枝年龄结构呈“金字塔”型, 处于 5 ~ 10 a 阶段的萌生枝最多, 占萌生枝总数的 25.68%, 萌生枝数量随年龄增加而减少(图 2: b)。

2.3.3 有性繁殖特征

本研究发现(图 3), 岷江干旱河谷西康扁桃灌丛平均结实数量为(8.83 ± 2.25) 粒/丛, 平均结实重量为(34.68 ± 11.15) g/丛。灌丛的平均结实数量和平均结实重量在样点间存在明显差异($P < 0.01$), 其中位于德胜堡村的西康扁桃灌丛平均结实数量和重量最大((16.05 ± 3.90) 粒/丛, (54.20 ± 13.26) g/丛); 位于安关村的西康扁桃

1) 如需查阅附表内容请登录《植物科学学报》网站(<http://www.plantscience.cn>)查看本期文章。

灌丛平均结实数量和重量最小((0.75 ± 0.27) 粒/丛, (2.55 ± 1.12) g/丛); 而岷江乡群落灌丛无结实。西康扁桃结实鲜重/枝叶鲜重的均值为 $(0.69 \pm 0.16)\%$, 结实数量最大的德胜堡村西康扁桃灌丛果重占枝叶重的比例 $(1.59 \pm 0.36)\%$, 显著高于位于安关村的 $(0.13 \pm 0.08)\%$ 和安宏村

的 $(0.36 \pm 0.19)\%$ 。
2.3.4 生长特征与繁殖特征间的关联
生长参数与无性繁殖(萌生枝数)的相关性表现为: 地上生物量、冠幅、基径、高度与萌生枝呈极显著相关($P < 0.01$), 而年龄与萌生枝间无明显相关性(图 4)。生长参数与有性繁殖参数之

表 2 岷江干旱河谷西康扁桃生长特征

群落 Community	年龄 Age (a)	基径 Base diameter (cm)	萌生枝数 Ramet number (n)	高度 Height (m)	冠幅 Canopy area (m ²)	地上生物量 Above-biomass (kg)
安关村	18.90 ± 1.80b	12.34 ± 1.84ab	8.25 ± 0.82a	1.77 ± 0.10a	10.70 ± 1.47a	3.48 ± 0.86ab
安宏村	25.55 ± 1.96a	15.04 ± 2.12a	8.45 ± 1.23a	1.67 ± 0.09a	12.31 ± 1.69a	3.68 ± 0.64a
德胜堡村	21.80 ± 1.21ab	11.32 ± 1.04ab	7.55 ± 0.78ab	1.74 ± 0.10a	8.31 ± 0.84a	1.93 ± 0.22bc
岷江乡	24.40 ± 1.42a	8.44 ± 0.95b	5.25 ± 0.61b	1.50 ± 0.07a	8.12 ± 1.38a	1.36 ± 0.21c
平均值	22.66 ± 0.85	11.78 ± 0.81	7.38 ± 0.46	1.67 ± 0.05	9.87 ± 0.71	2.61 ± 0.30
F	3.324	3.008	2.655	1.823	2.093	4.184
P	0.024	0.035	0.054	0.150	0.108	0.009

注: 数值为平均值 ± 标准误($n=80$), 同列不同小写字母表示各位置灌丛间差异显著($P < 0.05$)。
Notes: Values are mean ± SE ($n = 80$). Lower case letters indicate significant differences among communities ($P < 0.05$).

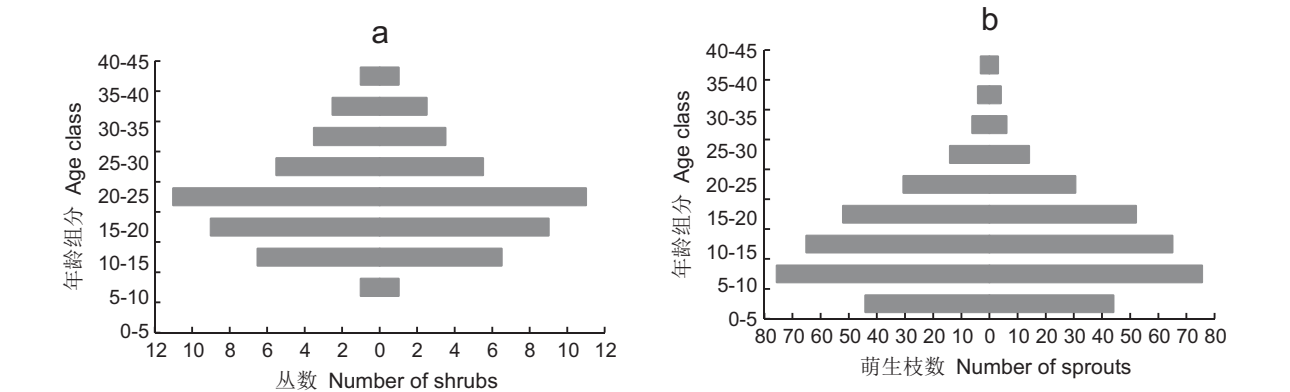
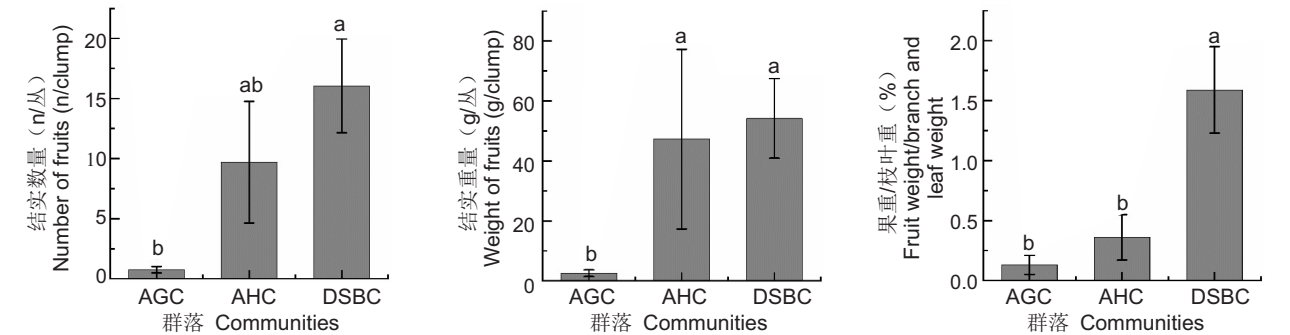


图 2 岷江干旱河谷西康扁桃灌丛和萌生枝的年龄结构
Fig. 2 Age structures of *Amygdalus tangutica* shrubs (a, $n = 80$) and ramets (b, $n = 587$) in arid valley sites along the Minjiang River



不同小写字母表示不同群落之间差异显著($P < 0.05$)。
Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$) between communities.

图 3 岷江干旱河谷不同群落西康扁桃灌丛结实量及其空间差异

Fig. 3 Fruit production in *Amygdalus tangutica* communities among arid valley sites along the Minjiang River

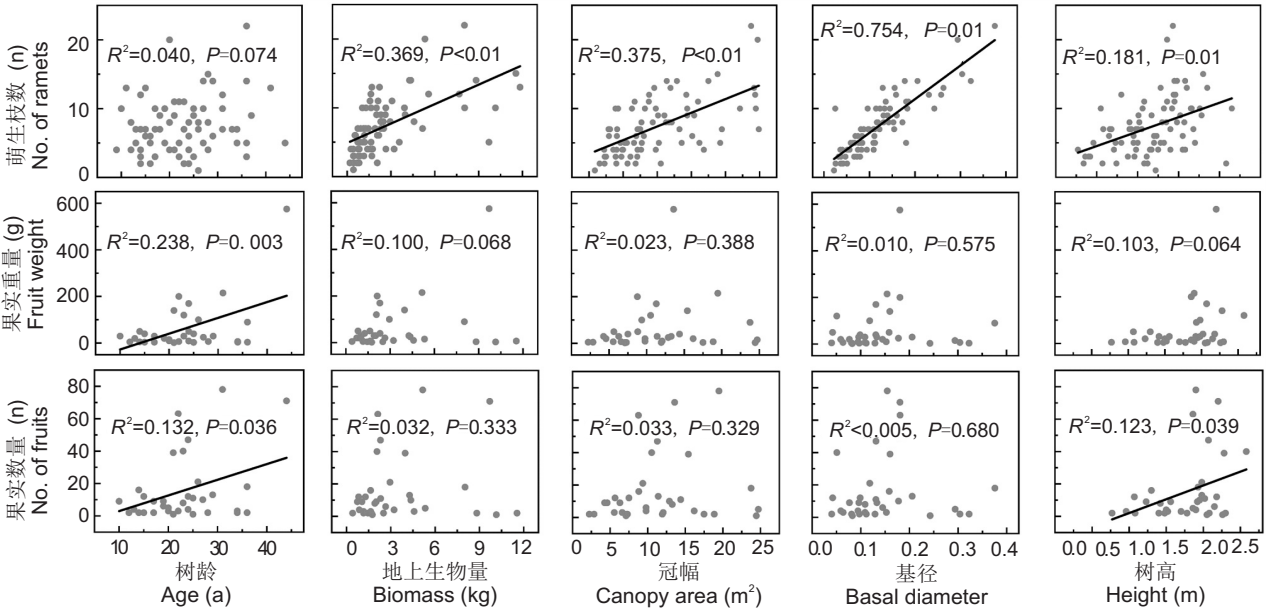


图 4 西康扁桃灌丛生长与繁殖特征间的关系

Fig. 4 Pearson correlation analyses between growth and reproduction parameters of *Amygdalus tangutica*

间的相关性表现为：年龄、树高与结实数量呈正相关 ($R^2 = 0.132, P = 0.036$; $R^2 = 0.123, P = 0.039$)，年龄与结实重量呈正相关 ($R^2 = 0.238, P = 0.003$)，其余生长参数与繁殖参数间未表现出相关性。

3 讨论

3.1 西康扁桃灌木丛生殖分配模式

受可利用资源的限制，植物营养生长和生殖生长间常表现出权衡关系。多年生木本植物的个体大小与生殖分配之间可能呈现出以下 3 种模式：随植株增大，对生殖的资源分配减少^[30, 31]、对生殖的资源分配增加^[32]、对生殖的资源分配先增加后减少^[33]。本研究发现，西康扁桃结实量随灌丛年龄、高度的增加而显著增加，其中高度对灌丛结实量和结实重量影响最大，说明西康扁桃生殖资源分配随个体大小的增加而增加，即随着年龄的增加，高生长越好、地上生物量增大，西康扁桃营养生长与有性生殖的资源投入增多，结实数量与质量提高。与有性生殖相比，西康扁桃具有较强的无性繁殖能力，萌生枝多，且呈现出“增长型”的年龄结构，果重/枝叶重的均值仅为 $(0.69 \pm 0.16)\%$ ，以上结果均表明西康扁桃种群主要通过增加生长器官的资源投入，确保种群在干旱河谷贫瘠生境中得以延续。

本研究发现西康扁桃灌木丛结实数量少，远低

于宋鹏等^[19]的调查结果 (469.38 ± 192.44) 粒/丛。差异的产生可能有以下原因：(1) 与小个体植株相比，大个体植株可利用性资源更多，有效地降低营养生长与生殖生长间的权衡作用，果实产量更高^[34–36]。与本研究的随机均匀取样调查相比，宋鹏等^[19]通过设置标准地进行灌丛选优调查，其调查时间更长，灌木丛选择更具针对性，长势更好，平均高度为 (1.84 ± 0.23) m，平均总萌生枝数为 (34.21 ± 4.12) 枝/丛，灌丛有性生殖的整体资源投入更大，结实量更多。(2) 本研究与宋鹏等^[19]的调查研究虽均位于松潘县，但具体研究区域不同，不同研究区域环境条件(坡向、坡度、海拔、土壤肥力、土壤含水量等)差异也可能对灌丛有性繁殖产生影响。(3) 多数植物结实量在种群水平上具有年际变化的特征，即“间隔结实”现象，该现象符合资源分配假说，即大年结实期间大量消耗植株储备的内部资源，导致次年植株生长与繁殖资源匮乏，无法连续多年结实^[37, 38]。本研究调查时可能正值西康扁桃灌丛结实小年，因此所获取的结实量数据较低。(4) 年际气候变化也是影响果实产量的重要因素，适宜的气候条件有利于植株同步开花，提高传粉效率，从而提高结实量^[39, 40]。(5) 本研究调查时间正值干旱河谷雨季，雨水拍打使部分果实掉落，可能导致结果量数据产生一定的误差。此外，动物贮食行为、人为干扰强度等因素

也会影响结实量的大小^[40-43]。综上所述，植株结实量受多种因素的共同影响，未来仍需通过长期生态监测及定位控制实验，揭示西康扁桃灌丛结实量大小的变化规律及调控机制。

3.2 西康扁桃植物繁殖策略

早期，Grime^[44]系统地将植物繁殖对策概括为以下 5 个方面：营养体扩张、植被空隙中季节性更新、持久种子库(或传播体)更新、大量风媒种子(或传播体)更新和持久幼苗库更新。根据其分类体系，西康扁桃的繁殖策略主要为营养体扩张与持久种子库(或传播体)更新。在调查过程中，未发现西康扁桃更新的幼苗，说明其有性繁殖对种群更新与延续贡献率低，这可能有 3 个方面的原因。首先，西康扁桃种子具有核果种子深度休眠的基本特征，大量种子受坚硬致密的内外种皮、各部位高浓度的萌发抑制物以及种胚的生理后熟等因素的共同制约而无法及时萌发，最终受啮齿动物取食或进入土壤种子库中。其次，干旱河谷水温条件不均衡、土壤贫瘠、植被覆盖率低等多种环境因素制约种子的萌发质量以及后续的幼苗定居。最后，西康扁桃种子营养丰富，可作为油料及药材来源，当地人对种子进行采摘收购，过度的人为干扰也是导致有性繁殖更新能力低的重要原因。

4 结论

综上所述，西康扁桃在岷江干旱河谷中分布广泛，群落物种组成丰富，种群生长状况良好，但灌木丛有性繁殖贡献率低，应加强对植物的长期物候观察，充分了解其生长繁殖特性及调控机制，及时开展种子繁育研究工作，提高种子野外萌发率，以维持种群的正常生长。

参考文献：

[1] 朱强,李永华,李瑞,贾巧霞.四川扁桃种仁的含油率及其脂肪酸组成分析[J].西部林业科学,2013,42(4):100-103.
Zhu Q, Li YH, Li R, Jia QX. Analysis on oil content and fatty acid composition of *Amygdalus tangutica* seed kernel [J]. *Journal of West China Forestry Science*, 2013, 42 (4): 100-103.
[2] 王伟,许新桥.木本油料西康扁桃资源评价及产业化发展策略[J].中国油脂,2016,41(11):1-5.
Wang W, Xu XQ. Resource evaluation and industrialization development strategy of woody oil plant *Amygdalus* [J].

China Oils and Fats, 2016, 41(11): 1-5.
[3] 李倩,权博文,常虹,周红兵,白万富,石松利.扁桃属植物的化学成分及药理作用研究进展[J].中国药房,2020,31(21):2683-2688.
Li Q, Quan BW, Chang H, Zhou HB, Bai WF, Shi SL. Research progress on chemical constituents and pharmacological effects of *Amygdalus* [J]. *China Pharmacy*, 2020, 31(21): 2683-2688.
[4] 张善云.用四川扁桃作普通扁桃的砧木[J].中国果树,1983(3):53.
[5] 张善云,黄光志.四川扁桃嫁接普通扁桃的试验[J].四川林业科技,1983(3):53-54.
[6] 梅立新,刘文倩,魏钰,蒋宝.中国扁桃资源与利用价值分析[J].西北林学院学报,2014,29(1):69-72.
Mei LX, Liu WQ, Wei Y, Jiang B. Evaluation of the resources and development potential of *Amygdalus* spp. in China [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2014, 29(1): 69-72.
[7] 苏贵兴,姚玉卿,张善云,黄光志.四川扁桃的调查研究[J].中国果树,1982(4):21-23.
[8] 马松梅,聂迎彬,段霞,余存生,王荣学.蒙古扁桃植物的潜在地理分布及居群保护优先性[J].生态学报,2015,35(9):2960-2966.
Ma SM, Nie YB, Du X, Yu CS, Wang RX. The potential distribution and population protection priority of *Amygdalus mongolica* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(9): 2960-2966.
[9] 褚建民,李毅夫,张雷,李斌,高明远,等.濒危物种长柄扁桃的潜在分布与保护策略[J].生物多样性,2017,25(8):799-806.
Chu JM, Li YF, Zhang L, Li B, Gao MY, et al. Potential distribution range and conservation strategies for the endangered species *Amygdalus pedunculata* [J]. *Biodiversity Science*, 2017, 25(8): 799-806.
[10] 红雨,邹林林,朱清芳.珍稀濒危植物蒙古扁桃群落结构特征[J].生态学杂志,2010,29(10):1907-1911.
Hong Y, Zhou LL, Zhu QF. Community structure characteristics of endangered plant *Prunus mongolica* [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(10): 1907-1911.
[11] 段义忠,王佳豪,王驰,王海涛,杜忠毓.未来气候变化下西北干旱区 4 种扁桃亚属植物潜在适生区分析[J].生态学报,2020,39(7):2193-2204.
Duan YZ, Wang JH, Wang C, Wang HT, Du ZY. Analysis on the potential suitable areas of four species of the subgen. *Amygdalus* in arid Northwest China under future climate change [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2020, 39 (7): 2193-2204.
[12] 郭改改,封斌,麻保林,井赵斌,张应龙,郭春会.不同区域长柄扁桃抗旱性的研究[J].植物科学学报,2013,31(4):360-369.

- Guo GG, Feng B, Ma BL, Jing ZB, Zhang YL, Guo CH. Studies on drought resistance of different regional *Amygdalus pedunculata* Pall. [J]. *Plant Science Journal*, 2013, 31(4): 360–369.
- [13] Wang JG, Zheng R, Bai SL, Guo XM, Liu M, Yan W. Mongolian almond (*Prunus mongolica* Maxim): The morpho-physiological, biochemical and transcriptomic response to drought stress[J]. *PLoS One*, 2015, 10(4): e0124442.
- [14] 黄来明, 邵明安, 裴艳武, 张应龙. 沙地濒危植物长柄扁桃生物学特性与抗逆性及应用综述[J]. *土壤*, 2019, 51(2): 217–223.
- Huang LM, Shao MA, Pei YW, Zhang YL. Review on biological characteristics and abiotic stress tolerance mechanisms and applications of *Amygdalus pedunculata* [J]. *Soils*, 2019, 51(2): 217–223.
- [15] Chang H, Liu Q, Bai WF, Bai YC, Jia XY, et al. Protective effects of *Amygdalus mongolica* on rats with renal fibrosis based on serum metabolomics [J]. *J Ethnopharmacol*, 2020, 257: 112858.
- [16] 王进, 颜霞, 李军元, 谢全刚, 张勇, 等. 蒙古扁桃(*Amygdalus mongolica*)种子萌发及幼苗生长对胁迫的响应[J]. *中国沙漠*, 2018, 38(1): 140–148.
- Wang J, Yan X, Li JY, Xie QG, Zhang Y, et al. Response of the seed germination and seedling growth of *Amygdalus mongolica* to stresses [J]. *Journal of Desert Research*, 2018, 38(1): 140–148.
- [17] 张瑞琦, 王进鑫, 王秀青, 狄龙. 4 种草本植物浸提液对长柄扁桃种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *西北林学院学报*, 2018, 33(5): 94–99.
- Zhang RQ, Wang JX, Wang XQ, Di L. Effects of the water extract from four herbs on seed germination and seedling growth of *Amygdalus pedunculata* [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2018, 33(5): 94–99.
- [18] 王子婷, 莫保儒. 甘肃省白龙江流域西康扁桃灌丛群落分布特征[J]. *甘肃林业科技*, 2015, 40(4): 5–9.
- Wang ZT, Mo BR. Study on distribution characteristics of *Amygdalus tungutica* shrub community at Bailongjiang Watershed in Gansu [J]. *Journal of Gansu Forestry Science and Technology*, 2015, 40(4): 5–9.
- [19] 宋鹏, 张庭端, 刘芙蓉, 王伟, 罗建勋, 贾晨. 川西地区西康扁桃优树选择技术与综合评价[J]. *四川林业科技*, 2017, 38(2): 79–84.
- Song P, Zhang TR, Liu FR, Wang W, Luo JX, Jia C. Superior variety selection and overall evaluations of *Amygdalus tangutica* in Western Sichuan [J]. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2017, 38(2): 79–84.
- [20] 曾继娟, 朱强. 水分胁迫对 3 种扁桃的生长与耗水特征的影响[J]. *西北林学院学报*, 2018, 33(4): 145–152.
- Zeng JJ, Zhu Q. Effects of water stress on the growth and water consumption characteristics of three *Amygdalus* species [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2018, 33(4): 145–152.
- [21] 刘国华, 马克明, 傅伯杰, 关文彬, 康永祥, 等. 岷江干旱河谷主要灌丛类型地上生物量研究[J]. *生态学报*, 2003(9): 1757–1764.
- Liu GH, Ma KP, Fu BJ, Guan WB, Kang YX, et al. Aboveground biomass of main shrubs in dry valley of Minjiang River [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003(9): 1757–1764.
- [22] Chu JM, Yang HX, Lu Q, Zhang XY. Endemic shrubs in temperate arid and semiarid regions of northern China and their potentials for rangeland restoration [J]. *AoB Plants*, 2015, 7: plv063.
- [23] 何其华, 何永华, 包维楷. 岷江上游干旱河谷典型阳坡海拔梯度上土壤水分动态[J]. *应用与环境生物学报*, 2004, 10(1): 68–74.
- He QH, He YH, Bao WK. Dynamics of soil water contents on south-facing slope of dry valley area in the upper reaches of the Minjiang River [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2004, 10(1): 68–74.
- [24] 庞学勇, 包维楷, 吴宁. 岷江上游干旱河谷气候特征及成因[J]. *长江流域资源与环境*, 2008, 17(S1): 46–53.
- Pang XY, Bao WK, Wu N. Reasons of dry valley climate characteristic and its formation reason in upstream of Minjiang River [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2008, 17(S1): 46–53.
- [25] 冷民生, 关文彬, 谭辉, 马克明, 刘国华, 汪西林. 岷江干旱河谷灌丛 α 多样性分析[J]. *生态学报*, 2004, 24(6): 1123–1130.
- Ye MS, Guan WB, Tan H, Ma KP, Liu GH, Wang XL. The α diversity of shrubs community in the arid valley of the Minjiang River [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(6): 1123–1130.
- [26] 包维楷, 陈庆恒, 陈克明. 岷江上游干旱河谷植被恢复环境优化调控技术研究 [J]. *应用生态学报*, 1999(5): 542–544.
- Bao WK, Chen QH, Chen KM. Environment control techniques for vegetation restoration in dry valley of upper reaches of Minjiang River [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999(5): 542–544.
- [27] 晏兆莉, 陈克明, 陈建中, 王春明. 岷江干旱河谷的生态特征与植被恢复研究[J]. *世界科技研究与发展*, 2000(S1): 36–38.
- Yan ZL, Chen KM, Chen JZ, Wang CM. Studies on ecological characteristics and reforestation in dry valley area of Minjiang River [J]. *World Sci-Tech R & D*, 2000(S1): 36–38.
- [28] 方精云, 王襄平, 沈泽昊, 唐志尧, 贺金生, 等. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范 [J]. *生物多样性*, 2009,

- 17(6): 533–548.
- Fang JY, Wang XP, Shen ZH, Tang ZR, He JS, *et al.* Methods and protocols for plant community inventory[J]. *Biodiversity Science*, 2009, 17(6): 533–548.
- [29] 范建容, 杨超, 包维楷, 刘佳丽, 李炫. 西南地区干旱河谷分布范围及分区统计分析[J]. *山地学报*, 2020, 38(2): 303–313.
- Fan JR, Yang C, Bao WK, Liu JL, Li X. Distribution scope and district statistical analysis of dry valleys in Southwest China[J]. *Mountain Research*, 2020, 38(2): 303–313.
- [30] Martin D, Vazquez-Pique J, Carevic FS, Fernandez M, Alejano R. Trade-off between stem growth and acorn production in holm oak[J]. *Trees*, 2015, 29(3): 825–834.
- [31] 李清河, 辛智鸣, 高婷婷, 王赛宵, 徐军, 孙非. 荒漠植物白刺属4个物种的生殖分配比较[J]. *生态学报*, 2012, 32(16): 5054–5061.
- Li QH, Xin ZM, Gao TT, Wang SX, Xu J, Sun F. Reproductive allocation in four desert species of the genus *Nitraria* L. [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(16): 5054–5061.
- [32] Tamaki I, Nomura K, Nomura R, Tate C, Fukaya S, *et al.* Survival, growth and reproduction of sprouted individuals of star magnolia two years after clearcutting[J]. *J Forest Res*, 2020, 26(1): 26–31.
- [33] 操国兴, 钟章成, 谢德体, 刘芸. 不同群落中川鄂连蕊茶的生殖分配与个体大小之间关系的探讨[J]. *植物生态学报*, 2005, 29(3): 261–266.
- Cao GX, Zhong ZC, Xie DT, Liu Y. The relationship between reproductive allocation, fruit set and individual size of *Camellia rosthorniana* in different communities[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2005, 29(3): 261–266.
- [34] Norghauer JM, Newbery DM. Tree size and fecundity influence ballistic seed dispersal of two dominant mast-fruited species in a tropical rain forest[J]. *Forest Ecol Manag*, 2015, 338: 100–113.
- [35] Bogdziewicz M, Szymkowiak J, Calama R, Crone EE, Espelta JM, *et al.* Does mast seeding scale with plant size? High reproductive variability and low synchrony in small and unproductive individuals[J]. *Ann Bot*, 2020, 126(5): 971–979.
- [36] Minor DM, Kobe RK. Fruit production is influenced by tree size and size-asymmetric crowding in a wet tropical forest[J]. *Ecol Evol*, 2019, 9(3): 1458–1472.
- [37] Mund M, Herbst M, Knohl A, Matthaus B, Schumacher J, *et al.* It is not just a ‘trade-off’ indications for sink- and source-limitation to vegetative and regenerative growth in an old-growth beech forest[J]. *New Phytol*, 2020, 226(1): 111–125.
- [38] 殷东生, 沈海龙. 林木大年结实特征及其影响因素研究进展[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(2): 542–550.
- Yin DS, Shen HL. Research review on the characteristics of mast seeding in forest trees and its influencing factors[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 35(2): 542–550.
- [39] Nussbaumer A, Waldner P, Apuhtin V, Aytar F, Benham S, *et al.* Impact of weather cues and resource dynamics on mast occurrence in the main forest tree species in Europe[J]. *Forest Ecol Manag*, 2018, 429: 336–350.
- [40] 杨锡福, 张洪茂, 张知彬. 植物大年结实及其与动物贮食行为之间的关系[J]. *生物多样性*, 2020, 28(7): 821–832.
- Yang XF, Zhang HM, Zhang ZB. Mast seeding and its relationship to animal hoarding behaviour[J]. *Biodiversity Science*, 2020, 28(7): 821–832.
- [41] Bogdziewicz M, Espelta JM, Munoz A, Aparicio JM, Bonal R. Effectiveness of predator satiation in mast seeding oaks is negatively affected by conspecific density[J]. *Oecologia*, 2018, 186(4): 983–993.
- [42] 罗永红, 闫兴富, 周立彪, 苗迎权, 张金峰. 种子特征和结实量对啮齿动物取食和扩散种子行为的影响[J]. *应用生态学报*, 2018, 29(12): 4181–4190.
- Luo YH, Yan XF, Zhou LB, Miao YQ, Zhang JF. Effects of seed traits and seed production on the seed predation and dispersal behavior of rodent[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(12): 4181–4190.
- [43] 黄财智, 张文辉, 邢忠利, 余碧云, 叶权平, 薛文艳. 间伐强度对黄桥林区辽东栎生殖构件的影响[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(12): 3838–3844.
- Huang CZ, Zhang WH, Xing ZL, Yu BY, Ye QP, Xue WY. Effects of thinning intensities on reproductive modules of *Quercus liaotungensis* in Huanglong and Qiaoshan Mountains, Northwest China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(12): 3838–3844.
- [44] Grime JP. Plant strategies and vegetation processes[J]. *Biol Plant*, 1979, 23(4): 254–254.

(责任编辑:周媛)