

# 岷江干旱河谷灌丛土壤种子库及其自然更新潜力评估

李彦娇<sup>1,2</sup>, 包维楷<sup>1,\*</sup>, 吴福忠<sup>1</sup>

(1. 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 为了解岷江干旱河谷区灌丛植被土壤种子库的特征及预测灌丛植被自然更新的潜力, 利用土壤种子库“萌发法”(每个地段 15 个 2 m × 2 m 样方内分土层、0—5 cm 土层和 5—10 cm 土层采集土样)及野外植被调查方法(每个地段 15 个 1 m × 1 m 的调查样方), 研究了岷江干旱河谷 3 个地段(河谷下游边缘汶川地段、核心茂县地段以及上游边缘松潘地段)阳坡灌丛植被土壤种子库及其与地上植物群落的关系。发现: 土壤种子库发芽试验共观察到 4274 株幼苗, 分属于 113 个物种。土壤种子库密度在  $10^2$ — $10^3$  ind./m<sup>2</sup>, 物种数在 12—23 种/0.06 m<sup>2</sup>, 边缘地段的土壤种子库平均种子密度(ind./m<sup>2</sup>)和平均物种数(种/0.06 m<sup>2</sup>)均比中心地段(茂县)高。3 个地段土壤种子库和地上植被的组成物种均多为多年生植物, 地上灌丛与其土壤种子库的密度及物种数均呈不显著相关性; 物种组成的 Sorensen 相似性指数较低, 不足 30%, 但土壤种子库均比地上植被具有更高的物种丰富度。综合分析表明, 岷江干旱河谷灌丛具有依靠土壤种子库实现自然更新的潜力, 但由于物种组成相似性较低, 现存灌丛植被一旦遭到破坏后, 单依靠土壤种子库自然恢复到现存植被是困难的, 需要在自然恢复潜力评估基础上积极充分采取人工促进自然恢复的策略, 同时也应充分考虑干旱河谷植被及其自然更新潜力的空间异质性。探明岷江干旱河谷区灌丛植被的土壤种子库特征, 是认识灌丛植被自然更新潜力的基础, 是合理制订该区植被恢复与管理措施的重要依据。

**关键词:** 地上植被; 土壤种子库萌发; 恢复; 物种组成; 物种丰富度

## Soil seed bank and natural regeneration potential of shrubland in dry valleys of Minjiang River

LI Yanjiao<sup>1,2</sup>, BAO Weikai<sup>1,\*</sup>, WU Fuzhong<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

<sup>2</sup> Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

**Abstract:** To evaluate and predict the natural regeneration potential of shrub vegetation in dry valleys, we investigated the soil seed bank and its associated vegetation in the lower (Wenchuan valley), middle (Maoxian valley), and the upper reaches (Songpan valley) of the Minjiang River, using the “seed germination” method. Research sites covered by shrub vegetation are selected on south-facing slopes in the three valleys. Fifteen plots (2 m × 2 m) at each site were established for soil seed bank investigation. Soil samples were taken according to soil surface, 0—5 cm and 5—10 cm soil depth. Vegetation investigation at each site was carried out in 15 plots with a size of 1 m × 1 m. A total of 4274 seeds belonging to 113 species were recorded in soil seed banks. The soil seed bank density was  $10^2$ — $10^3$  ind./m<sup>2</sup> and the number of species was 12—23 species/0.06 m<sup>2</sup>. Both the mean seed density (ind./m<sup>2</sup>) and the mean number of species (species/0.06 m<sup>2</sup>) were found to be lower in Maoxian, the middle reaches of the Minjiang River, than in the other two sites. Most of the species found in the soil seed banks and in aboveground vegetations at the three sites were perennial grasses. Most fruits found were achene, capsule and caryopsis with small seed size. The mean density and the mean number of species of soil seed banks were not correlated with the vegetation covered. The soil seed bank had low similarity (Sorensen's index < 30%) to its associated vegetation in species composition. The species richness in soil seed banks was higher than that in aboveground vegetations. Comprehensive analysis showed that the natural regeneration potential of the shrublands by

**基金项目:** 中国科学院西部行动计划资助项目(KZCX2-XB2-02); “西部之光”博士资助项目(08C2041100)

**收稿日期:** 2008-10-30; **修订日期:** 2009-02-16

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: baowk@cib.ac.cn

germination of seed-banks in the dry valleys of the Minjiang River is low. Once the present vegetation is destroyed, the natural restoration of vegetations is hardly possible. Artificial restoration strategy in combination with natural regeneration should be employed, to accelerate recovery of vegetation. In addition, spatial heterogeneity of the existed vegetation and natural regeneration potential should also be considered. The present study provides foundational data for estimating the natural regeneration potential of vegetation and developing restoration and management strategy for vegetation in the dry valleys of the Minjiang River.

**Key Words:** aboveground vegetation; germination of seed-bank; restoration; species composition; species richness

土壤种子库是繁殖体的储备库,可保存植被自然更新潜力并减少一些种群灭绝几率,是植被发生、发展和演替的基础<sup>[1]</sup>。在自然更新过程中,种子库的种子数量、质量、组成及其空间格局和动态,对群落组成、结构、多样性和生产力都有关键性影响<sup>[2]</sup>,在植被更新和恢复、生物多样性维护、植被演替过程和扩散过程中有不容低估的作用<sup>[3]</sup>。干旱和半干旱地区约占世界陆地面积的 30%,其植物繁殖、植被发育与更新常常受多变的降水事件制约,而种子库是干旱区植被结构、植物多样性与植物有性繁殖能力以及对局地环境与多变降水事件适应的综合反映,揭示干旱区土壤种子库的数量特征、种类组成、空间分布格局以及与地上植被的关系等是认识干旱植被繁殖与依靠种子自然更新的潜力的重要途径,能够为干旱区植被保护、恢复和持续管理提供科学依据。

横断山区干旱河谷是我国重要的干旱山区,植被生长缓慢,自然更新能力弱。主要植被以旱生灌丛为代表<sup>[4]</sup>。大面积的干旱灌丛在干旱河谷生态环境保护中发挥着重要作用。目前横断山区干旱河谷土壤种子库的研究仅在金沙江干热河谷开展过,而对于干旱河谷种子生态学研究还集中于地上部分,研究尺度也仅限于某些种群<sup>[5]</sup>。对该区土壤种子库的调查和评估是揭示干旱河谷区植被恢复更新潜力的重要手段,是评估干旱河谷植被演替变化趋势的突破口。因此,本文选择横断山区典型的干旱河谷——岷江干旱河谷,开展了灌丛植被土壤种子库调查研究,目的是:(1)揭示岷江干旱河谷灌丛植被土壤种子库的基本特征;(2)比较旱生灌丛下土壤种子库与其相应地上植被的密度、物种数、物种组成的关系;(3)评估土壤种子库对地上植被自然恢复与更新的贡献潜力。特别关注的问题是不同干旱程度的河谷地段种子库与更新潜力的差异性。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究地区

岷江干旱河谷位于岷江上游,隶属四川省阿坝藏族羌族自治州之汶川、理县、茂县、黑水和松潘诸县,而取样选择位于汶川县绵虬乡至松潘县安宏乡的主河谷进行。主河谷地理位置为北纬 31°22′11″—32°19′33″,东经 103°30′42″—103°43′43″,南北长 200km,东西宽 1—3km,由北向南地势北高南低,从汶川县绵虬乡谷底河岸 1100m 升高到松潘县安宏乡的 2700m,地貌以高山峡谷为主。基本气候特征是干燥少雨,蒸发强烈,干湿季十分明显。河谷内旱生灌丛植被稀疏,主要分布在河岸以上 300—400m 的海拔范围内,盖度多在 20%—30%<sup>[6]</sup>,个别地段达 60% 以上;在一些地段,块状分布的耐旱灌丛群落被严重冲刷的裸地分隔开,退化严重,呈现出旱生半荒漠景观。土壤类型以山地褐土为主<sup>[7]</sup>。

干旱河谷内,生态因子特别是水热条件沿海拔高度和主河道的变化比较显著<sup>[6,4,8]</sup>,干旱程度、植被状况在河谷内部均呈现明显的空间差异性,河谷两端的汶川县桃关至绵虬镇以及松潘的镇江关乡至安宏的干旱程度相对较轻,植被盖度相对较大,而汶川县城至茂县两河口为岷江干旱河谷中心地段,干旱程度相对较高,植被盖度也相对较小。

### 1.2 取样设计

为了更好了解岷江干旱河谷灌丛植被土壤种子库特征及其空间异质性,选择了 3 个研究地段,分别设置于干旱河谷北端边缘地段松潘县镇江关乡羌阳桥、干旱河谷中心地段茂县飞虹乡的野鸡坪以及干旱河谷南端边缘地段汶川县绵虬镇青纱坪(表 1)。在 3 个地段,取样均严格限制在干旱河谷的灌丛植被中,因此取样在

坡面上距江岸垂直距离 0—400m 的地段内进行。具体取样时,分别于每个地段设置 3 条 60m 长、垂直间隔 100m 的平行样线,然后在每条样线上设置 5 个大小为 2m × 2 m 的样方,样方间隔 15 m。每个地段共设置 15 个样方,3 个地段共设置 45 个样方用于地上植被调查与种子库取样。

表 1 岷江干旱河谷三个地段基本特点

Table 1 Major characteristics of the three sites in the dry valley of Minjiang River

项目 Item	松潘地段 Songpan site	茂县地段 Maoxian site	汶川地段 Wenchuan site
经纬度 Latitude & Longitude	103°43'E, 32°07'N	103°41'E, 31°52'N	103°32'E, 31°26'N
年平均温 Mean annual temperature/°C	5.7	11.2	14.1
年降水量 Annual rainfall/mm	729.7	492.7	833.0
年蒸发量 Annual evaporation/mm	1113.64	1332.4	1220.8
年干燥度 Annual dryness	1.1	2.1	1.4
干湿状况 Humidity	半湿润	半干旱	半湿润
海拔 Elevation/m	2300—2600	1600—1900	1300—1600
坡向 Aspect/(°)	SE 45	SW 59	SW 80
植被总盖度 Vegetation cover/%	80	35	70
主要物种 Dominant species	辽东栎 <i>Quercus wutaishanica</i> 圆锥山蚂蝗 <i>Desmodium elegans</i>	细叶亚菊 <i>Ajania tenuifolia</i> 小叶香茶菜 <i>Rabdosia parvifolia</i>	四川黄栌 <i>Cotinus szechuanensis</i> 槲子栎 <i>Quercus baronii</i>

\* 数据来源于 2007 年夏季调查结果

### 1.3 土壤种子库土样采集

土壤种子库的取样于 2007 年 3 月初进行。在这个时段,前一年进入土壤中的种子经历了一个自然冷藏的过程还未萌发,而当年还未有新的种子输入,因此土样中包含短暂土壤种子库和长期土壤种子库,这是土壤种子库较佳的取样时间<sup>[9-10]</sup>。土样采集具体是将每个 2m × 2 m 的样方利用两条水平线和一条垂直线均匀分割成 6 个等面积的小区,在每个小区的中央设置 1 个大小为 10cm × 10cm 的小样方,然后分土表面、0—5cm、5—10cm 3 层采集;土表面指枯枝落叶层,此层在干旱河谷厚度较薄,约为 0.5—2mm,取样时用毛刷扫取。最后将同一 2m × 2 m 样方内的同层土壤混合为一个土样,因此每个 2m × 2 m 样方内采集了 3 个土样。最后共采集 135 份(3 个地段 × 3 条样线 × 5 个样方 × 3 个土层)土壤种子库样品。取样时尽量减小对样方的破坏,取样后一一标记各样地,以便进一步开展地上植被调查。

### 1.4 土壤种子库萌发实验

采用“萌发幼苗”的方法确定土壤种子库的密度、物种数、物种组成。将野外采集回的 135 份土样分别通过 5mm 的土壤筛,除去大的砾石、枯落物和粗大根系等,以浓缩土样<sup>[1,10]</sup>,然后将每份土样按体积等分成 3 份,置于底部铺有 2mm 无种子细砂的发芽盘(长 45cm,宽 25cm,高 5cm)。无种子细砂是将细砂置于恒温 150℃ 烘箱内烘 4h 后得到的。另外用 10 个无种子细砂的发芽盘作为对照来监测萌发过程中是否有空中传播的种子污染萌发装置。

发芽试验开始于 2007 年 3 月底,将发芽盘随机置于中国科学院茂县山地生态系统定位研究站(东经 103°53'58", 北纬 31°41'07", 海拔 1816m)的避雨大棚内。试验点气候比较接近岷江干旱河谷,但干旱程度略轻,利于种子萌发及管理。种子发芽实验期间,每天下午定时喷洒适量的水分,使盆内的土壤保持湿润状态,以保证尽可能多的植物种子萌发出苗。定期观测种子萌发情况(前 2 个月每 7d 观测 1 次,后期每 30d 为一周期),对已萌发的幼苗进行种类鉴定、计数后清除,暂时不能鉴定的幼苗进行标记后移栽至大棚内的其它育苗容器内,直至幼苗长到能鉴定为止,来自于同一份土样的数据合并处理。90d 搅动 1 次土样,保持土样的肥力。2007 年 11 月已不再有幼苗长出,将土样搅拌混合,继续观察,直至 2008 年 8 月仍未有种子萌发时丢弃土样,结束萌发实验。实验结束时未发现对照发芽盘中有物种出现,证明整个发芽试验未受外界种子污染。

### 1.5 地上植被特征调查

地上植被调查于 2007 年夏季进行,此时,植物多样性通常达到一年中的最大值<sup>[10]</sup>。调查在土壤种子库

取样的样地内进行,在每个土壤种子库取样的  $2\text{m} \times 2\text{m}$  样方中心设置 1 个  $1\text{m} \times 1\text{m}$  样方,调查  $1\text{m} \times 1\text{m}$  样方内所有植物种类及其个体数。灌木及禾本科植物个体数目均按地上植株数计数。

## 1.6 数据整理与统计分析

利用密度、物种数和物种组成描述土壤种子库的特征;土壤种子库 3 个样地及土壤层次间的密度、物种数的差异性利用单因素方差分析进行比较,置信区间为 95%;Pearson 相关分析测度土壤种子库与相应的地上植被的密度之间及物种数之间的相关性;Sorensen 相似性系数(CC)测度土壤种子库和地上植被物种组成的相似性关系。

$$\text{Sorensen 相似性系数(CC): } CC = \frac{2B}{S + V}$$

式中,  $B$  为土壤种子库和相应的现状植被的共有物种数,  $S$  为土壤种子库中的物种数,  $V$  为相应的现状植被中的物种数。

## 2 结果

### 2.1 土壤种子库的种子密度和物种数

3 个地段土壤种子库发芽试验共观察到 4274 株幼苗,分属于 113 个物种。其中,松潘地段观察到 1780 株、67 个物种,茂县地段 696 株、44 种,汶川地段 1798 株、84 种。土壤种子库平均种子密度在  $10^2$ — $10^3$  ind./ $\text{m}^2$ 。方差分析显示(表 2):干旱边缘地段(松潘和汶川)土壤种子库密度比干旱中心地段茂县的高,而边缘地段间的差异不显著;干旱边缘地段(松潘和汶川)土壤种子库的平均物种数也比河谷中心地段的高,3 个地段的差异均显著。在土壤种子库物种构成上,乔木种极少,仅在松潘地段的土样中萌发了 7 株栎树苗。3 个地段的土壤种子库中灌木种和多年生草本种占据绝对优势,其中松潘地段淡黄香青(*Anaphalis flavescens*)、大叶醉鱼草(*Buddleja davidii*)、白苞蒿(*Artemisia lactiflora*)、毛莲蒿(*Artemisia vestita*)的相对多度较高,分别占种子总个体数的 15%、10%、9%、6%;汶川地段淡黄香青(*Anaphalis flavescens*)、车前(*Plantago asiatica*)、白苞蒿(*Artemisia lactiflora*)、藁草(*Carex* spp.)的相对多度较高,分别占种子总个体数的 19%、8%、6%、6%;茂县地段山蒿(*Artemisia brachyloba*)、菊叶香藜(*Chenopodium foetidum*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、朝阳芨芨草(*Achnatherum nakaii*)、小叶香茶菜(*Rabdosia parvifolia*)的相对多度较高,分别占种子总个体数的 24%、8%、8%、7%、6%。3 个地段土壤种子库中的 1 年生草本种均以茄科(*Solanaceae*)和蓼科(*Polygonaceae*)为主。

表 2 不同地段的土壤种子库平均种子密度及物种数

Table 2 Mean seed densities and number of species in soil seed banks of the three sites

地段 Site	平均种子密度 Mean seed density/(ind./ $\text{m}^2$ )	平均物种数(种/0.06 $\text{m}^2$ ) Mean number of species
松潘地段 Songpan site	1977.7 $\pm$ 313.9b	22.7 $\pm$ 1.2c
茂县地段 Maoxian site	773.3 $\pm$ 105.0a	12.5 $\pm$ 1.1a
汶川地段 Wenchuan site	1997.9 $\pm$ 308.9b	22.1 $\pm$ 1.7b

\* 表中数值为平均值  $\pm$  SE( $n=15$ ),数值后的字母表示进行 LSD 多重比较时在  $\alpha=0.05$  水平上的差异显著性,同一列中具不同字母表示差异显著

### 2.2 土壤种子库在土层中的分布差异性

干旱边缘的松潘地段的土样萌发出的 1780 粒种子中,土表面有 721 粒种子,0—5cm 土层中有 654 粒种子,5—10cm 土层中有 405 粒种子,3 个层次间种子密度没有显著差异;干旱中心的茂县地段的土样萌发出的 696 粒种子,其中土表有 541 粒种子,0—5cm 土层有 125 粒种子,5—10cm 土层仅 30 粒种子,土表面与 0—5cm 土层或 5—10cm 土层间的种子密度差异显著,而 0—5 cm 土层与 5—10cm 土层差异不显著;河流下段干旱边缘的汶川地段的土样萌发出的 1798 粒种子,其中土表有 807 粒种子,0—5cm 土层有 647 粒种子,5—10cm 土层有 344 粒种子,土表面种子密度显著大于 5—10cm 土层。3 个地段的 3 个层次的平均种子密度均是随土层加深而减小的(图 1)。

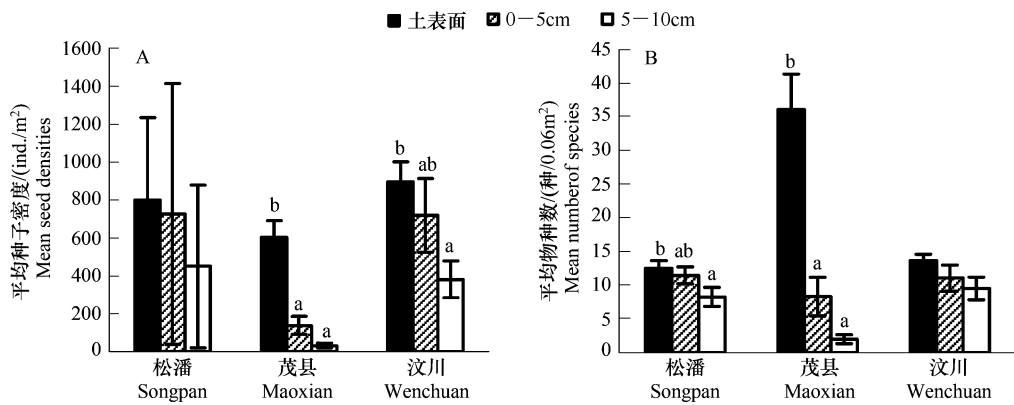


图1 3个地段不同土壤层次的平均种子密度(A)及物种数目(B)

Fig.1 Mean seed densities (A) and number of species (B) of different soil layers in the three sites

干旱边缘松潘地段的土样共萌发出 67 个种,其中土表有 46 个种,0—5cm 层的土中有 48 个种,5—10cm 土层中有 45 个种,土表面与 5—10cm 土层物种数差异显著;干旱中心地段茂县的土样共萌发出 44 个种,其中土表有 41 个种,0—5cm 土层中有 19 个种,5—10cm 土层中有 15 个种,其土表面与 0—5cm 土层或 5—10cm 土层物种数均差异显著,0—5cm 土层与 5—10cm 土层的物种数差异不显著;来自干旱边缘的汶川土样萌发出 84 个种,土表有 64 个物种,0—5cm 土层中有 45 个物种,5—10cm 土层中有 45 个物种,3 个层次物种数均差异不显著。3 个地段的 3 个层次的平均物种数均是随土层加深而减少的(图 1)。

### 2.3 土壤种子库与地上植被的关系

Pearson 相关分析表明:土壤种子库与相应地上植被的密度在干旱边缘的松潘地段( $r = -0.011, n = 15, P = 0.969$ )和汶川地段( $r = 0.173, n = 15, P = 0.538$ )及干旱中心的茂县地段( $r = 0.171, n = 15, P = 0.543$ )均呈不显著相关;土壤种子库与相应地上植被的物种数在干旱边缘的松潘地段( $r = 0.026, n = 15, P = 0.927$ )和汶川地段( $r = 0.091, n = 15, P = 0.746$ )及干旱中心的茂县地段( $r = 0.011, n = 15, P = 0.969$ )也均呈不显著相关。

松潘、茂县、汶川 3 个地段的土壤种子库的物种丰富度分别为 67、44、84,相应地上植被的物种丰富度分别为 52、35、47,说明 3 个地段的土壤种子库相对于地上植被均具有较高的物种丰富度。3 个地段的土壤种子库和地上植被中的物种大多为多年生植物(表 3),多年生草本占的比例较大,在 3 个地段的土壤种子库和地上植被中均占总种数的 50% 左右,其次为灌木。松潘地段的土壤种子库和地上植被各生活型的共有种数分别为:0、2、1、11、2、0,茂县地段的土壤种子库和地上植被各生活型的共有种数分别为:0、4、0、6、0、0,汶川地段的土壤种子库和地上植被各生活型的共有种数分别为:0、6、2、9、1、0,3 个地段的土壤种子库和地上植被的各个生活型的共有种数均较少。

在 3 个地段的土壤种子库和地上植被中,植物种的果实类型均多为瘦果、蒴果、荚果和颖果(表 4)。

利用 Sorensen 相似性指数对土壤种子库及地上植被的物种组成进行比较(表 5)发现,干旱河谷边缘地段北端的松潘和南端的汶川的地上现存植被物种组成具有较高的相似性,土壤种子库物种组成也具有较高的相似性。中心地段茂县的土壤种子库和地上植被的物种组成相似性较松潘和汶川的低。

表 3 3 个地段土壤种子库及地上植被的植物生活型组成

Table 3 Life forms composition of species of soil seed banks and aboveground vegetations (s/v) in the three sites

生活型组成 Life forms composition/%	松潘地 Songpan site (s/v)	茂县地 Maoxian site (s/v)	汶川地段 Wenchuan site (s/v)
乔木 Tree	1/4	0/0	0/4
灌木 Shrub	15/25	25/31	15/43
亚灌木 Sub-shrub	7/2	7/6	5/4
多年生草本 Perennial herb	58/60	57/54	62/47
1 年生草本 Annual herb	15/8	9/6	18/2
藤本 Vine	3/2	2/3	0/0

\* s: 土壤种子库;v: 地上植被;“/”:分隔符;下同

### 3 讨论

土壤种子库的库容量不仅受植被类型及其结构的影响<sup>[11-14]</sup>,也受干旱环境或干扰等因素的影响<sup>[15]</sup>。本项研究发现,岷江干旱河谷耐旱灌丛的土壤种子库密度在  $10^2-10^3$  ind./m<sup>2</sup>,接近于森林土壤种子库密度( $10^2-10^3$  ind./m<sup>2</sup>),略小于草地和耕地土壤种子库密度( $10^3-10^6$  ind./m<sup>2</sup>和  $10^3-10^5$  ind./m<sup>2</sup>)<sup>[16-17]</sup>,也略小于金沙江干热河谷灌丛植被的土壤种子库密度( $10^3-10^4$  ind./m<sup>2</sup>),而物种数(12—23 种/0.06m<sup>2</sup>)则是远大于金沙江干热河谷(7 种/m<sup>2</sup>)<sup>[10]</sup>。本研究中,河谷不同地段的土壤种子库的密度和物种数也有较大差异性,干旱边缘地段的水分和养分条件相对较好,其土壤种子库的密度和物种数较高,因为水分是影响干旱河谷植株生长与有性繁殖的关键因素<sup>[5-6,8,18]</sup>,干旱中心茂县地段的干旱程度较为剧烈,植物个体需要在营养生长和有性繁殖之间进行权衡,为保证亲代的存活,植物会降低繁殖能力即减少延续后代的种子<sup>[19-20]</sup>,种子的产量因而会较低,向土壤种子库中输入的种子量也较低,因而土壤种子库的库容量较小。综合分析表明,岷江干旱河谷土壤种子库存在明显的水平地段差异性,并与干旱程度紧密相关。本项研究也发现,土壤种子库平均密度及平均物种数随土层的垂直变化规律与其它针对横断山区干旱河谷土壤种子库的研究结果相一致<sup>[21-22]</sup>。

岷江干旱河谷不同地段灌丛植被下的土壤种子库种子密度及物种数与相应地上植被的种子密度及物种数均无明显的相关性,不支持干旱区科尔沁围封沙质草甸土壤种子库的研究结果(地上植被密度与土壤种子库密度之间存在显著的正相关)<sup>[23]</sup>,而支持 Thompson 和 Grime 等的研究结果<sup>[24]</sup>。分析其原因,至少应该包括植被盖度、植物种子繁殖特性及种子产量、种子散布以及种子特性等多种因素<sup>[25]</sup>。岷江干旱河谷的基本特征是复杂地形导致局地风大、风频,而植被稀疏,盖度较小,植物有性繁殖受干旱严重制约时主要靠无性萌蘖维持种群发展<sup>[26]</sup>,大多数植物个体的种子小且为瘦果或核果或颖果,因此,秋季频繁的大风、易于长距离扩散的种子性状、以及地表灌丛低矮稀疏、凋落物覆盖缺乏而无法更好的保存种子等这些因素的相互作用,是种子库密度较小并在干旱河谷呈现出显著的空间差异的根本原因,表 2 的结果为这一原因提供了可靠的佐证。

岷江干旱河谷边缘的松潘和汶川地段较茂县地段的地上植被和土壤种子库都具有更高的物种丰富度,表明比较而言岷江河谷干旱边缘地段的灌丛植被潜在更新能力更好。而 3 个地段土壤种子库的物种丰富度指数均高于地上植被,说明这些比地上植被多出来的植物种类应该是来自于历史植被的积累以及其它地段群落因为强烈的地形风输入的(如沼生柳叶菜 *Epilobium palustre*),因为在干旱区植物生活史中种子对极端环境具

表 4 三个地段的土壤种子库及地上植被的植物果实类型构成

Table 4 Fruit types composition of species of the soil seed banks and aboveground vegetations (s/v) in the three sites

果实类型组成 Fruit types composition/%	松潘地 (s/v) Songpan site	茂县地 (s/v) Maoxian site	汶川地 (s/v) Wenchuan site
胞果 Utricle	3/0	5/6	2/0
蓇葖果 Follicle	1/0	5/3	1/4
荚果 Legumen	4/10	14/23	6/15
坚果 Nut	9/8	7/3	5/6
浆果 Berry	4/12	2/3	8/15
角果 Horn	4/0	5/0	4/2
蓇葖果 Meng pod	1/0	0/0	0/2
瘦果 Achene	43/37	27/17	38/13
蒴果 Capsule	18/13	20/14	23/19
颖果 Caryopsis	7/10	11/20	8/6
翅果 Key fruit	0/2	0/0	0/0
核果 Drupe	3/4	5/0	5/11
双悬果 Two-hanging fruit	0/6	0/6	0/2
孢子 Spore	0/0	0/6	0/0
梨果 Pome	0/0	0/0	0/4

表 5 3 个样地的土壤种子库及地上植被物种组成的 Sorensen 指数 (CC)

Table 5 Sorensen's index (CC) of species composition in soil seed bank and aboveground vegetation of the three sites

地段 Site	松潘地段 Songpan	茂县地段 Maoxian	汶川地段 Wenchuan
松潘地段 Songpan	0.269sv	0.468s	0.596s
茂县地段 Maoxian	0.092v	0.253sv	0.516s
汶川地段 Wenchuan	0.263v	0.171v	0.275sv

\* 表中, v 前的数据表示不同的地上植被间物种组成的相似性; s 前的数据表示不同的土壤种子库间物种组成的相似性; sv 前的数据表示土壤种子库与其相应的地上植被间物种组成的相似性

有很强忍耐力,而萌发后的幼苗忍耐环境胁迫的能力脆弱<sup>[1]</sup>,植物往往选择种子或幼苗库去持续生命是普遍的生存适应策略。此外,干旱河谷灌丛土壤种子库及相应地上植被的物种大多为多年生植物果实多为瘦果、颖果或蒴果,种子较小而不易被摄食也是土壤种子库中留存较多物种的原因之一。

土壤种子库与其相应地上植被的物种组成及其相似性是判断植被潜在更新能力的重要依据。岷江干旱河谷灌丛植被的土壤种子库和地上灌丛物种组成相似性系数较低(松潘地段 0.269、茂县地段 0.253、汶川地段 0.275),远低于已有的一些研究结果<sup>[27]</sup>,如森林( $0.31 \pm 0.037$ )、草地( $0.54 \pm 0.027$ )、湿地( $0.47 \pm 0.024$ ),其原因既有研究方法带来的技术性差异,也有物种本身的生物学特征所导致的差异<sup>[28-29]</sup>。就干旱河谷而言,首先不同物种种子萌发所需的适宜条件不同,大多数干旱区植物种子具有程度不一的休眠特性,很难在一个实验中满足所有物种种子的最适宜萌发条件,因而库中一些种可能因给定的萌发条件制约而不能萌发,特别是一些木本植物种子在土壤种子库中长期休眠形成了永久性土壤种子库而在常规实验中难以萌发,从而会低估种子库的物种组成<sup>[29]</sup>;其次,现存灌丛中的植物繁殖产生种子不断进入种子库,但种子库中的种子并非全部来自现存群落,土壤种子库中的种子是群落长期积累,因而种子库与现存群落也会有一定的差异<sup>[30]</sup>;第三,地上植被的种子未能进入土壤种子库或种子虽进入土壤种子库但属于短暂留存种子<sup>[31]</sup>;第四,一些 1 年生的植物在种子库中出现而在夏季植被调查前已死亡,一些主要靠营养繁殖以更新种群的多年生植物经常在植被中出现而不在种子库中出现<sup>[32]</sup>,本研究中多年生的植物种在样地中就占较大的比例,这些都会造成土壤种子库和地上植被物种组成的相似性较低。此外,土壤种子库和地上植被调查取样面积的大小也会影响土壤种子库和相应地上植被物种组成的相似性。

本研究结果显示,尽管干旱河谷灌丛植被下的土壤种子库具有相对于地上植被较为丰富的物种组成,并且土壤种子库和地上植被中的物种种子形态较小,在逃避被动物采食和形成持久的土壤种子库成为植被更新的后备动力方面也具有较大的优势<sup>[1]</sup>,但是土壤种子库密度与地上植被密度的不显著相关性、土壤种子库物种数与地上植被物种数的不显著相关性、土壤种子库与地上植被物种组成较低的相似性都表明,岷江干旱河谷现存灌丛一旦遭到破坏,要依靠土壤种子库实现现存植被自然更新恢复是困难的。汶川大地震对干旱河谷植被破坏大,而后的滑坡、泥石流、崩塌等次生灾害也不断加剧干旱河谷区植被退化,寻找切实可行的干旱植被恢复途径和方法成为当前岷江上游地区生态建设与灾区生存环境保护面临的迫切任务。在地震灾区开展的本研究将有利于明确植被恢复的途径和方向。鉴于研究中已揭示的干旱河谷自然植被土壤种子库和其相应的地上植被的关系,单靠自然途径恢复原有植被将是不可行的,而通常依靠邻近群落种子散播和入侵与定植来恢复原有植被也是困难的,因此,岷江干旱河谷地震灾区植被恢复需要以现有植被潜在更新能力为基础,充分采用人工促进植被恢复的途径才有可能较快实现。此外,干旱河谷土壤种子库及其相应地上植被在各个空间位置的差异性表明,在干旱河谷植被恢复过程中也需要考虑干旱环境与更新潜力的空间异质性。

**致谢:**感谢中国科学院茂县山地生态系统定位研究站在萌发实验中所给予的支持和协助。

## References:

- [1] Li Q Y, Zhao W Z. Advances in the soil seed bank of arid regions. *Advances in Earth Science*, 2005, 20 (3): 350-358.
- [2] Guo J P, Xue J J, Li S G, Wang J T. Study on soil seedbank of *Larix principis-rupprechtii* under canopy in Pangquangou National Natural Reserve, Shanxi, China. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1998, 16 (2): 131-136.
- [3] Young K R, Evel J J, Brown B J. Seed dynamics during forest succession in Costa Rica. *Vegetation*, 1987, 71 (3): 157-173.
- [4] Zhang R Z. Dry river valley in Hengduan Mountains, Southwest China. Beijing: Scientific Press, 1992: 1-200.
- [5] Zhou Z Q, Bao W K, Wu F Z, He X, Wu N. Differences in growth and reproductive characters of *Rosa hugonis* in the dry valley of the Upper Minjiang River, Sichuan. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (4): 1820-1828.
- [6] Liu G H, Zhang J Y, Zhang Y X, Zhou J Y, Guan W B, Ma K M, Fu B J. Distribution regulation of aboveground biomass of three main shrub types in the dry valley of Minjiang River. *Journal of Mountain Science*, 2003, 21 (1): 24-32.
- [7] Liu W B. Flora of semi-arid valley shrubs at the upper reaches of the Minjiang River. *Mountain Reach*, 1992, 10 (2): 83-88.
- [8] He Q H, He Y H, Bao W K. Dynamics of soil water contents on south-facing slope of dry valley area in the upper reaches of the Minjiang River.

- Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2004, 10 (1): 68-74.
- [9] Leckie S, Vellend M, Bell G, Waterway M J, Lechowicz M J. The seed bank in an old growth, temperate deciduous forest. Canadian Journal of Botany, 2000, 78(2): 181-192.
- [10] Luo H, Wang K Q. Soil seed bank and aboveground vegetation within hillslope vegetation restoration sites in Jinshajiang hot-dry river valley. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26 (8): 2432-2442.
- [11] Yu S L, Jiang G M. The research development of soil seed bank and several hot topics. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27 (4): 552-560.
- [12] Zhang Z Q. Soil seed bank. Chinese Journal of Ecology, 1996, 15 (6): 36-42.
- [13] Yang Y J, Sun X Y, Wang B P. Forest soil seed bank and natural regeneration. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12 (2): 304-308.
- [14] Pugnaire F I, Lázaro R. Seed bank and understorey species composition in a semi-arid environment: The effect of shrub age and rainfall. Annals of Botany, 2000, 86(4): 807-813.
- [15] Ban Y. Structure and dynamics of seeds banks in soil. Chinese Journal of Ecology, 1995, 14(6): 42-47.
- [16] Harper J L. Population Biology of Plants. New York: Academic Press, 1977: 57-116.
- [17] Silvertown J W. Introduction to Plant Population Ecology. London: Longman, 1982: 20-22.
- [18] Liu G H, Ma K M, Fu B J, Guan W B, Kang Y X, Zhou J Y, Liu S L. Aboveground biomass of main shrubs in dry valley of Minjiang River. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23 (9): 1757-1764.
- [19] Zhang D Y, Jiang X H. Mating system evolution resource allocation, and genetics diversity in plants. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25 (2): 130-143.
- [20] Zhang L J, Shi Y J, Pan X L. Analysis of correlativity between reproductive allocation and altitude in plants. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2007, 37 (1): 77-80.
- [21] Liu W S, Cao M, Tang Y. A comparison in the soil seed banks of a corylus mandshurica-quercus liaotungensis mixed scrub community and three young forest plantations in the upper reach of Minjiang River. Journal of Mountain Science, 2003, 21 (2): 162-168.
- [22] Shen Y X, Liu W Y. Persistent soil seed bank of *Eupatorium adenophorum*. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28 (6): 768-772.
- [23] Zhao L Y, Li F R. Study on the characteristics of soil seed banks in desertification process. Arid zone Research, 2003, 20 (4): 317-321.
- [24] Thompson K, Grime J P. Seasonal variation in the seed bank of herbaceous species in ten contrasting habitats. Journal of Ecology, 1979, 67(3): 893-921.
- [25] Sun J H, Wang Y P, Zeng Y J. Characteristics of the soil seed banks in degenerated grasslands under grazing and grazing suspension. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2005, 25 (10): 2035-2042.
- [26] Zhou Z Q, Bao W K, Wu F Z, Pang X Y, He X, Wu N. Growth and reproduction of *Rosa multibracteata* population in Minjiang River dry valley. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18 (7): 1407-1413.
- [27] Hopfensperger K N. A review of similarity between seed bank and standing vegetation across ecosystems. Oikos, 2007, 116(9): 1438-1448.
- [28] Li W, Liu G H, Zhou J, Huang P S. Studies on the seed bank of freshwater wetland: A review. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22 (3): 395-402.
- [29] Liu J L, Yuan Y X, Peng W X, Ma C M, Guan W. Relationship between the soil seed banks and vegetation in Gushi Pasture, Bashang, Fengning, Hebei Province. Arid Zone Research, 2005, 22 (3): 295-300.
- [30] Liu J M, Zhong Z C. Nature of seed rain, the seed bank and regeneration of a *Castanopsis fargesii* community on Fanjing Mountain. Acta Phytocologica Sinica, 2000, 24 (4): 402-407.
- [31] Zhang Y M, He J, Pan K W, Chen H Z, Zhao Y F. Potential contribution of soil seed banks to the restoration of native plants. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2003, 9 (3): 326-332.
- [32] Wang Z W, Zhu Y C. The seedbank features and its relations to the established vegetation following flooding disturbance on Songnen Steppe. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22 (9): 1392-1398.

#### 参考文献:

- [1] 李秋艳, 赵文智. 干旱区土壤种子库的研究进展. 地球科学进展, 2005, 20 (3): 350-358.
- [2] 郭晋平, 薛俊杰, 李世广, 王俊田. 庞泉沟自然保护区华北落叶松土壤种子库的研究. 武汉植物学研究, 1998, 16 (2): 131-136.
- [4] 张荣祖. 横断山区干旱河谷. 北京: 科学出版社, 1992: 1-200.
- [5] 周志琼, 包维楷, 吴福忠, 何晓, 吴宁. 岷江干旱河谷黄蔷薇 (*Rosa hugonis*) 生长与繁殖特征及其空间差异. 生态学报, 2008, 28 (4): 1820-1828.
- [6] 刘国华, 张洁瑜, 张育新, 周建云, 关文彬, 马克明, 傅伯杰. 岷江干旱河谷 3 种主要灌丛地上生物量的分布规律. 山地学报, 2003, 21 (1): 24-32.
- [7] 刘文彬. 岷江上游半干旱河谷灌丛植物区系. 山地研究, 1992, 10 (2): 83-88.



- [ 8 ] 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. 应用与环境生物学报, 2004, 10 (1): 68-74.
- [10] 罗辉, 王克勤. 金沙江干热河谷山地植被恢复区土壤种子库和地上植被研究. 生态学报, 2006, 26 (8): 2432-2442.
- [11] 于顺利, 蒋高明. 土壤种子库的研究进展及若干研究热点. 植物生态学报, 2003, 27 (4): 551-560.
- [12] 张志权. 土壤种子库. 生态学杂志, 1996, 15 (6): 36-42.
- [13] 杨跃军, 孙向阳, 王保平. 森林土壤种子库与天然更新. 应用生态学报, 2001, 12 (2): 304-308.
- [15] 班勇. 土壤种子库的结构与动态. 生态学杂志, 1995, 14 (6): 42-47.
- [18] 刘国华, 马克明, 傅伯杰, 关文彬, 康永祥, 周建云, 刘世梁. 岷江干旱河谷主要灌丛类型地上生物量研究. 生态学报, 2003, 23 (9): 1757-1764.
- [19] 张大勇, 姜新华. 植物交配系统的进化、资源分配对策与遗传多样性. 植物生态学报, 2001, 25 (2): 130-143.
- [20] 张林静, 石云霞, 潘晓玲. 草本植物繁殖分配与海拔高度的相关分析. 西北大学学报(自然科学版), 2007, 37 (1): 77-90.
- [21] 刘文胜, 曹敏, 唐勇. 岷江上游毛榛、辽东栎灌丛及3种人工幼林土壤种子库的比较. 山地学报, 2003, 21 (2): 162-168.
- [22] 沈有信, 刘文耀. 长久性紫茎泽兰土壤种子库. 植物生态学报, 2004, 28 (6): 768-771.
- [23] 赵丽娅, 李锋瑞. 沙漠化过程土壤种子库特征的研究. 干旱区研究, 2003, 20 (4): 317-321.
- [25] 孙建华, 王彦荣, 曾彦军. 封育和放牧条件下退化荒漠草地土壤种子库特征. 西北植物学报, 2005, 25 (10): 2035-2042.
- [26] 周至琼, 包维楷, 吴福忠, 庞学勇, 何晓, 吴宁. 岷江干旱河谷多苞蔷薇生长与繁殖特征. 应用生态学报, 2007, 18 (7): 1407-1413.
- [28] 李伟, 刘贵华, 周进, 黄德四. 淡水湿地种子库研究综述. 生态学报, 2002, 22 (3): 395-402.
- [29] 刘建立, 袁玉欣, 彭伟秀, 马长明, 管伟. 河北丰宁坝上孤石牧场土壤种子库与地上植被的关系. 干旱区研究, 2005, 22 (3): 295-300.
- [30] 刘济明, 钟章成. 梵净山栲树群落的种子雨、种子库及更新. 植物生态学报, 2000, 24 (4): 402-407.
- [31] 张咏梅, 何静, 潘开文, 陈宠志, 赵云锋. 土壤种子库对原有植被恢复的贡献. 应用与环境生物学报, 2003, 9 (3): 326-332.
- [32] 王正文, 祝廷成. 松嫩草地水淹干扰后的土壤种子库特征及其与植被关系. 生态学报, 2002, 22 (9): 1392-1398.