

岷江干旱河谷 5 种乡土植物的出苗、存活和生长

李芳兰, 包维楷*, 庞学勇, 冷 俐

(中国科学院成都生物研究所, 成都 610041)

摘要:为了阐明干旱河谷自然条件下乡土植物种子出苗与幼苗定居能力的空间差异性,选择环境适应能力较强的植被恢复物种,试验选择岷江上游干旱河谷水热条件具有明显差异的两个试验地点:四川省茂县撮箕山(南坡)和两河口(北坡),采用 4 因素随机区组设计,开展大量的野外播种对比试验,研究了微生境类型改变及不同播种处理方式对白刺花(*Sophora davidii* (Franch.) Skeels.)、小马鞍羊蹄甲(*Bauhinia faberi* var. *microphylla*)、岷谷木蓝(*Indigofera lenticallata* Craib)、落芒草(*Oryzopsis munroi* Stapf)和川芒(*Miscanthus szechuanensis* Keng)5 种干旱河谷乡土植物种子出苗、幼苗存活及生长的影响。发现:(1)在干旱河谷自然气候条件下,播种后 1 个月是所有受试植物出苗的高峰期,但是种子出苗率都很低,达不到 30%;幼苗存活能力也极低,在播种 1 个月后所有幼苗死亡数量增加而保存数明显下降;在播种 2 个月后幼苗存活数均为 0。相同条件下小马鞍羊蹄甲、岷谷木蓝与落芒草的出苗数量明显高于白刺花和川芒。这说明干旱河谷地区种子出苗与幼苗存活的限制是自然植被更新能力弱,并且恢复困难的主要原因。(2)种子出苗及幼苗存活能力在不同区域之间具有明显的差异,湿润地段种子出苗数量与幼苗保存数量都较大。但是,种子出苗及幼苗存活能力在同一地段灌丛、半灌丛与裸地等不同类型的微生境之间无明显变化。(3)小容器播种能够有效地增加种子出苗率与短期幼苗存活,但是未能提高幼苗最终的存活能力及生长速率;采用保水剂与腐殖质土壤改良措施对种子出苗数与幼苗保存数没有明显影响,因而这些措施不能解除干旱河谷地区极端环境胁迫对幼苗定居的阻碍。

关键词:干旱河谷;乡土物种;微生境;幼苗定居;植被恢复

文章编号:1000-0933(2009)05-2219-12 中图分类号:Q143,Q948 文献标识码:A

Seedling emergence, survival and growth of five endemic species in the dry valley of Minjiang River

LI Fang-Lan, BAO Wei-Kai*, PANG Xue-Yong, LENG Li

Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2219 ~ 2230.

Abstract: Although many scientists have primarily concentrated on vegetation restoration in the dry valley of Minjiang River, few species have been demonstrated to be suitable for the restoration now. We investigated seedling emergence, survival, and growth of five endemic species, *Bauhinia faberi* var. *microphylla*, *Sophora davidii* (Franch.) Skeels, *Indigofera lenticallata* Craib, *Oryzopsis munroi* Stapf and *Miscanthus szechuanensis* Keng in order to assess the species' ability of drought tolerance and the spatial difference in seedling establishment. Seeds of the five species were collected in October 2005 from the dry valleys in Maoxian County, Sichuan Province, China. The seeds were treated with 2.5% of sodium hypochlorite (NaOCl) for 1h and healthy seeds were sowed from May 19 to 23, 2006, for a field experiment. The experiment was arranged using a Completely Randomized Block Design with four factors: two contrasting field sites (wet Zuoqishan and dry Lianghekou sites), five species, two microhabitats (vegetated and bareland patches), and three seeding treatments (direct seeding, potted seeding with humus, and potted seeding with soil in dry valley). Seedling survival,

基金项目:中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX2-XB2-02);国家“西部之光”博士资助项目(08C2041100)

收稿日期:2008-01-29; 修订日期:2008-04-01

致谢:中国科学院成都生物研究所何其华提供了部分气象数据,特此致谢。

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

height and leaf number were recorded three times: June 25, July 23 and August 23, 2006. All observed species exhibited the flash of seedling emergence after 1 month since sowing. *B. faberi* var. *microphylla*, *O. munroi* and *I. lenticallata* presented greater seedling emergence and survival than *M. szechuanensis* and *S. davidii*. However, dieback of all the seedlings was observed in both study sites after 2 months since seeding, although seedling lived longer in the wet site than in the dry site. The seedling emergence, survival and leaf number of the five species were not significantly affected by microhabitat type and seeding treatments. Nevertheless, seedlings of the five species were more likely to establish under the potted seeding conditions than the direct seeding treatment. These results show that low seedling establishment resulting from environmental stress is a vital factor limiting population regeneration of those native species and vegetation restoration success in the dry valleys of Minjiang River.

Key Words: dry valley; endemic species; microhabitat; seedling establishment; vegetation restoration

种子出苗与幼苗定居是植物群落更新过程中的关键环节。种子发芽及出苗受植物种类、种子大小及活力、埋藏深度和环境因子等的综合影响。对于某一物种而言,气候可能是决定出苗率高低的重要因素,如果不同区域气候条件存在着较大的差异,则种子出苗能力的空间差异性也较大^[1]。幼苗是植物生活史中最弱的时期,它对环境改变的反应也最为敏感^[2],自然界中只有具有环境适应能力的幼苗才能生长发育为成年植株。在退化生态系统的恢复重建过程中,种子直播业已被公认的较经济实效的途径^[3]。微生境条件如上层树冠大小及类型、地表植被类型、地表覆盖物,以及土壤基质保水性、透气性和肥力等的改变是影响种子出苗、幼苗存活及生长的重要因素^[4]。

干旱或荒漠地区,种子繁殖在绝大多数植物的生活史起着非常重要的作用^[5],而水分则是这些区域影响种子出苗和幼苗定居最重要的因子。因而在干旱地区有效地提高种子出苗率和幼苗存活率是植被恢复过程中的关键步骤^[6]。在这方面,施加保水剂、浇水和遮荫通常是人们采取的抗旱措施,这些方法能够缓解干旱胁迫对种子出苗及幼苗定居的阻碍,可显著提高幼苗的成活率^[7,8]。此外,土壤中施加腐殖质既可供种子发芽所需要的养分^[9],也能增强土壤的保水与透气能力^[3,10],有利于种子出苗与幼苗定居。

岷江上游干旱河谷区是植被恢复中的困难地带,也是国家生态建设工程的重点地带。长期以来,人们一直在该地区进行着以遏制生态退化为目标的理论研究^[11~16]和技术探索^[8,17]。但是有关干旱河谷乡土植物在自然条件下的出苗与幼苗定居能力缺乏必要的定量研究,使得这些乡土耐旱灌木和草本植物在植被恢复中的重要性未能得到充分体现,影响了区域植被恢复效益。然而,深入研究乡土植物幼苗存活及生长状况在干旱河谷不同微生境条件下的差异性,并全面地开展种子生态学研究,提高自然气候条件下种子出苗能力和幼苗的存活能力是有效促进干旱河谷地区植被恢复的重要突破口。

干旱温暖的气候和干燥贫瘠的土壤是干旱河谷生境的基本特征^[18],孕育着斑块状不均匀分布的矮小灌木植被。这种单调贫乏的干旱生境导致水土流失,生态环境退化严重^[12,19]。因而推测,在整体上,干旱河谷区受试植物种子出苗率较低,幼苗死亡率很高。但是,受横断山区高山峡谷地形地貌的影响,干旱河谷区生态环境因子具有明显的空间分异,导致种子出苗与幼苗存活能力在不同区域之间具有显著差异,对于某一物种而言,干旱河谷核心地段较边缘地段的其出苗率更低,而死亡率更高。出苗和存活能力在微生境之间也存在差异,一般植被覆盖斑块下苗木生长优于裸地斑块。

基于以上分析,本试验以岷江上游干旱河谷 5 种乡土灌木和草本植物为试验对象,选择岷江河谷水分与温度条件具有明显差异的两个试验地点:茂县凤仪镇静州村撮箕山(南坡)和茂县飞虹乡两河口(北坡)进行比较研究,通过野外播种试验与监测,目的在于探讨以下问题:(1)两个地段生境条件下植物出苗数,幼苗存活数和生长参数有何差异?同一地段不同微生境之间出苗数,幼苗存活数和生长参数是否存在差异?(2)干旱河谷条件下那些物种适应环境胁迫的能力较强?(3)干旱河谷幼苗死亡率高的原因是什么?

1 试验地概况和试验物种

1.1 试验地选择

播种试验选择岷江干旱河谷的两个地点:撮箕山和两河口,行政均属于四川省阿坝藏羌自治州茂县。撮箕山位于岷江上游一级支流大沟流域沟口的凤仪镇撮箕山中段,两河口属于岷江上游正河谷的飞虹乡。这两个试验地都受高原季风气候的控制,总体上均表现为降水少,蒸发大,气候干燥、多风,干湿季交替明显,但是由于受到高山峡谷区特殊地形的影响,两地段的自然环境具有明显差异。

撮箕山试验点地理坐标为 103°54' E, 31°44' N, 海拔 1650 ~ 1700 m, 坡向为南偏东 27°。由于位于支流, 属干旱河谷边缘地段, 空气和土壤湿度相对较大, 年均温 10.64 °C, 年降水量 574 mm。自然植被是以白刺花 (*Sophora davidi* (Franch.) Skeels)、矮探春 (*Jasminum humile* L.)、灌木亚菊 (*Ajania fruticulosa* (Ledeb.) Poljak) 为主的灌丛或半灌丛, 植被覆盖度相对较大, 一般在 30% ~ 45%, 植被发育较好。两河口试验点位于 103° 54' E, 31° 50' N, 海拔 1800 ~ 1912 m, 北偏西 54 度。由于处于岷江正河谷, 属于岷江干旱河谷的核心区, 气候十分干燥, 土壤含水量极低, 年均温 13.33 °C, 年降水量 369 mm。自然植被主要为小马鞍羊蹄甲 (*Bauhinia faberi* var. *microphylla*)、灌木亚菊等组成的灌丛或半灌丛, 植被盖度低, 一般在 8% ~ 20%。

1.2 试验物种

本试验选择了 2 种禾本科草本植物: 川芒 (*Miscanthus szechuanesis* Keng) 和落芒草 (*Oryzopsis munroi* Stapf) 和 3 种豆科灌木: 岷谷木蓝 (*Indigofera lenticallata* Craib)、小马鞍羊蹄甲 (*B. faberi* var. *microphylla*) 和白刺花 (*S. davidii* (Franch.) Skeels), 试验物种都为干旱河谷的多年生乡土植物, 具有很强的耐旱能力, 是岷江上游干旱河谷局部地区的优势物种。

试验种子于 2005 年 10 月在四川省阿坝藏族羌族自治州茂县干旱河谷段采集。通过水选与肉眼选择形态大小基本一致, 表皮光滑, 健康无虫害的种子晒干备用。种子基本特征和常规条件下 (25 °C, 35 mol·m⁻²·s⁻¹) 的发芽率见表 1。白刺花和岷谷木蓝种子在播种前通过摇床沙磨处理以突破硬实种皮对发芽的制约。

表 1 岷江干旱河谷 5 种乡土植物种子特征 (平均值 ± 标准误, N = 5)

Table 1 Seed characteristics (means ± S. E, N = 5) of five endemic species in the dry valley of Minjiang River

物种 Species	千粒重 (g) 1000-seeds weight	种子含水量 (%) Seed water content	种皮厚度 (μm) Seedcoat thickness	发芽率 (%) Germination percentages
川芒 <i>Miscanthus szechuanesis</i> Keng	0.4 ± 0.1	11.3 ± 0.1	2.4 ± 1.1	76
落芒草 <i>Oryzopsis munroi</i> Stapf	2.0 ± 0.1	11.2 ± 0.1	30.0 ± 2.5	92
白刺花 <i>Sophora davidi</i> (Franch.) Skeels	21.9 ± 0.3	8.3 ± 0.1	95.0 ± 5.0	41
岷谷木蓝 <i>Indigofera lenticallata</i> Craib	5.4 ± 0.9	10.0 ± 0.1	62.5 ± 5.0	64
小马鞍羊蹄甲 <i>Bauhinia faberi</i> var. <i>microphylla</i>	53.2 ± 0.2	8.0 ± 0.3	97.5 ± 7.5	98

2 试验研究方法

2.1 试验设计

在两个试验地点, 分别随机选择植被覆盖斑块与裸地斑块两种微生境类型开展播种试验。撮箕山选择了 700 个植被覆盖斑块, 其中 300 个用于种子直接撒播, 其余 400 个植被覆盖斑块用于容器播种。直接撒播时 5 个物种分别播种 60 个; 容器播种时 5 个物种分别播种 80 个。该试验地选择裸地斑块 350 个, 用于种子直播 150 个, 5 个物种分别播种 30 个; 其余 200 个用于容器播种, 5 个物种分别播种 40 个。

两河口选择 700 个植被覆盖斑块, 350 个裸地斑块, 其播种试验布局与撮箕山相同。另外, 在两河口试验地选择 350 个前期造林整地斑块。

2.2 播种方法

2006 年 5 月 19 日至 23 日进行播种。播种采取直接点播和容器内基质改良后播种两种方式进行。

2.2.1 不同微生境下种子直播试验方法

在撮箕山选择植被 (包括灌丛和半灌丛) 覆盖地和裸地 2 种不同的微生境类型进行种子直播, 每一微生

境斑块作为一个播种点。该试验地点灌丛微生境选择白刺花,半灌丛微生境选择灌木亚菊。每个物种同一斑块类型重复 30 次,各物种设置植被覆盖斑块 60 个(其中灌丛与半灌丛各 30 个),裸地斑块 30 个。每个斑块下随机地撒播 50 粒同一种种子,播种种子共计 450 粒。播种时,种子均匀地撒播在灌丛与半灌丛下方面积 20 cm × 20 cm 的范围内,上面覆盖土厚度 1 ~ 2 cm。播种时记录灌丛及半灌丛的冠幅,作为微生境参数(表 2)。

表 2 岷江上游干旱河谷两个试验地点微生境斑块特征参数

Table 2 Microhabitat patch parameters of the two study sites in the dry valley of Minjiang River

试验地点 Study site	微生境类型 The type of microhabitat	数量 Number	平均高度(cm) Average height	冠幅 (cm ²) Crown diameter
撮箕山 Zuojishan	植被覆盖 Vegetated patch	700	45.2 ± 8.8	5465.4 ± 361.4
	裸地 Bareland patch	350	0	0
两河口 Lianghekou	植被覆盖 Vegetated patch	700	52.3 ± 9.3	9537.4 ± 415.6
	裸地 Bareland patch	700	0	0

两河口选择植被(包括灌丛与半灌丛)覆盖地、前期造林整地与裸地 3 种微生境类型进行种子直播。该试验地灌丛与半灌丛微生境分别是小马鞍羊蹄甲和灌木亚菊。在灌丛、半灌丛与落地上播种方法与撮箕山相同。在整地上,种子播于前期种植树种的附近。每个物种分别设置植被覆盖斑块 60 个(灌丛和半灌丛各 30 个),裸地斑块 30 个,前期造林整地 30 个播种点。由于整地上植被极少,微生境参数也按照裸地计算。

2.2.2 保水剂与腐殖土基质改良播种方法

在上述两个试验地上以同样的方法选择植被覆盖斑块与裸地斑块,采用一次性饮水纸杯(口径 7.5 cm, 高度 9 cm)进行容器播种。纸杯内填充基质分别采取了以下 2 种处理方法:

(1) 保水剂处理 以不加保水剂作为对照,按每 10 粒种子加 0.1 g 保水剂(Ciba Alcosorb 英国汽巴精华水处理有限公司)的比例将种子与保水剂混合,然后播入预先装有生长基质的纸杯内,播种深度是种子大小的 2 倍,上面覆盖基质大约 1 ~ 1.5 cm。

(2) 腐殖土处理 以干旱河谷土作对照,在纸杯内填充透气性良好、肥力较高的森林腐殖质。

容器播种共有 4 个处理方式,分别是:① 干旱河谷土,不加保水剂;② 腐殖土,不加保水剂;③ 干旱河谷土,加保水剂;④ 腐殖土,加保水剂,每个物种各处理设置相同类型的微生境斑块 10 个。每个斑块内埋放播种同一物种的纸杯 3 个作为 1 个计数单元,埋放时纸杯口与地面平行。每个物种分别设置植被覆盖斑块 80 个(灌丛与半灌丛各 40 个),裸地斑块 40 个。

2.3 数据收集

播种后分别 2006 年 6 月 25 日、7 月 23 日及 8 月 23 日跟踪调查 3 次。每次调查植物出苗数、幼苗保存数、存活幼苗高度及叶片数量等参数。8 月调查时幼苗已全部死亡,也没有新生幼苗。

2.4 数据整理与统计分析

灌丛与半灌丛冠幅面积采用椭圆面积公式计算。通过初步分析,施加保水剂对种子出苗、幼苗存活数量以及幼苗生长参数都没有显著影响,因此将加保水剂与不保水剂处理进行数据合并。采用单因素方差分析(One-way ANOVA) 每个月的出苗数、幼苗存活数、高度和叶片数在不同微生境类型,以及不同播种处理方式之间的差异;并分析同一微生境类型中不同物种之间出苗与生长情况的差异。采用多因素方差(Multivariate ANOVA) 分析试验地、物种、播种处理方式及微生境 4 种因子对种子出苗数及幼苗存活数的交互作用,平均数之间的多重比较采用 LSD 检验。0.01 < P < 0.05 为差异显著, P < 0.01 为极显著,所有统计分析过程在 SPSS 软件系统下进行。

3 结果与分析

3.1 干旱河谷条件下 5 种子出苗与幼苗存活情况

川芒、落芒草、岷谷木蓝、小马鞍羊蹄甲与白刺花 5 种植物种子在岷江上游干旱河谷播种后的出苗率与存

活率都很低。图 1 显示受试物种在两河口和撮箕山试验地播种后 1 个月(6 月份)的出苗数量。可以看出,在撮箕山川芒、落芒草、岷谷木蓝、小马鞍羊蹄甲及白刺花种子的平均出苗率分别是 0.1%,15.4%,0.2%,3.7%,25.5%。在两河口,所有物种出苗更少,平均出苗率分别是 0.08%,8.5%,0.1%,0.9%,21.9%(图 1);播种 2 个月后(7 月份),5 种植物种子出苗均逐渐降低而死亡数明显增加(表 7);8 月份幼苗全部死亡。

3.2 不同物种出苗数、幼苗保存数量和幼苗生长的比较

从撮箕山与两河口试验地 5 种植物种子的出苗及幼苗存活情况可以看出(表 3),播种后 1 个月,种子出苗率具有明显的种间差异。无论种子直播还是容器播种,小马鞍羊蹄甲、落芒草和岷谷木蓝种子的出苗数及幼苗存活数明显高于白刺花和川芒(两个物种的出苗数基本为 0,表 3)。在植被覆盖的斑块和裸地斑块之间所有受试物种出苗数量及幼苗保存数量在植被覆盖斑块和衣果地斑块之间均无显著差异。

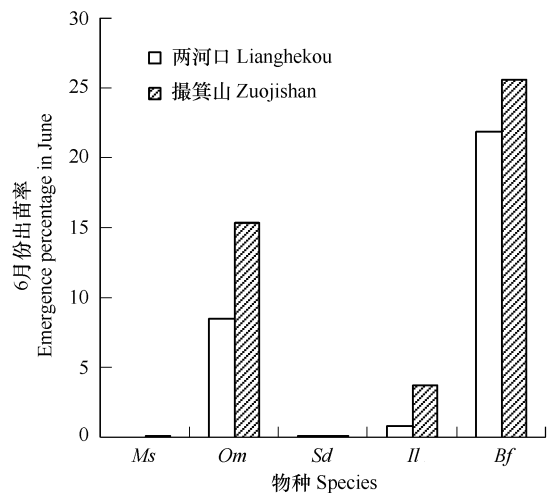


图 1 播种 1 个月后 5 种植物种子平均出苗率

Fig. 1 Average emergence percentage of the five species after one month of sowing

Ms: 川芒 *Miscanthus szechuanesis* Keng; Om: 落芒草 *Oryzopsis munroi* Stapf; Il: 岷谷木蓝 *Indigofera lenticallata* Craib; Bf: 小马鞍羊蹄甲 *Bauhinia faberi* var. *microphylla*; Sd: 白刺花 *Sophora davidii* (Franch.) Skeels

表 3 播种 1 个月后 5 种植物种子出苗数量(平均值±标准误)

Table 3 Seedling number (means ± S. E) of five species after one month of sowing

试验地点 Study sites	微生境 Microhabitats	处理 Treatments	川芒 Ms	落芒草 Om	白刺花 Sd	岷谷木蓝 Il	小马鞍羊蹄甲 Bf
撮箕山 Zuojishan	植被 Vegetation	盆-腐殖质 P-H	0.09 ± 0.05a	8.84 ± 0.80a	0.09 ± 0.05abc	2.00 ± 0.32a	19.59 ± 0.84a
		盆-河谷土 P-S	0.06 ± 0.04ab	11.22 ± 0.98b	0.06 ± 0.04abc	2.05 ± 0.29a	11.84 ± 1.39b
		直播 D-S	0.00b	0.00c	0.00ac	0.33 ± 0.11bd	0.00c
	裸地 Baraland	盆-腐殖质 P-H	0.00ab	4.44 ± 1.08b	0.15 ± 0.11b	1.00 ± 0.24c	7.36 ± 1.44d
		盆-河谷土 P-S	0.00ab	2.61 ± 0.75e	0.10 ± 0.07abc	0.69 ± 0.19bc	5.60 ± 1.20d
		直播 D-S	0.00b	0.06 ± 0.03c	0.00c	0.23 ± 0.08d	0.00c
两河口 Lianghekou	植被 Vegetation	盆-腐殖质 P-H	0.03 ± 0.03a	6.75 ± 0.59a	0.00a	0.38 ± 0.09a	13.13 ± 0.93a
		盆-河谷土 P-S	0.05 ± 0.03a	4.63 ± 0.78b	0.03 ± 0.03a	0.15 ± 0.09ab	7.69 ± 1.09b
		直播 D-S	0.02 ± 0.02a	1.39 ± 0.54c	0.00a	0.00b	0.38 ± 0.29c
	裸地 Baraland	盆-腐殖质 P-H	0.03 ± 0.03a	5.70 ± 0.71ab	0.10 ± 0.05b	0.98 ± 0.17c	15.28 ± 0.74a
		盆-河谷土 P-S	0.03 ± 0.03a	1.68 ± 0.41cd	0.05 ± 0.03ab	0.58 ± 0.17a	13.29 ± 0.98a
		直播 D-S	0.00a	0.00e	0.00b	0.00b	2.13 ± 0.64d

P-H potted with humus; P-S potted with soil; D-S direct seeding; Ms: 川芒 *Miscanthus szechuanesis* Keng; Om: 落芒草 *Oryzopsis munroi* Stapf; Il: 岷谷木蓝 *Indigofera lenticallata* Craib; Bf: 小马鞍羊蹄甲 *Bauhinia faberi* var. *microphylla*; Sd: 白刺花 *Sophora davidii* (Franch.) Skeels, 下同 the same below

同一试验地的同列参数不同字母指示不同处理之间差异明显 ($P < 0.05$) Different letters within a column for each study site indicate the significant differences among the treatments ($P < 0.05$)

腐殖质及河谷土容器播种 $N = 40$; 直播 $N = 60$ $N = 40$ for potted seeding with humus and with soil in dry valley; $N = 60$ for direct seeding

3.3 两个试验地种子出苗数、幼苗保存数及幼苗生长的比较

由表 3 与表 4 反映出,播种后 1 个月,在种子直播及容器播种处理下同一物种在撮箕山试验地点的种子

出苗数量与幼苗保存数量都大于两河口,但是所有物种存活幼苗的株高与叶片数量在两个试验地之间都没有显著差异(表5和表6)。

表4 播种1个月后5种幼苗的存活数量(平均值±标准误)

Table 4 The number (means ± S. E) of five species seedlings surviving one month after sowing

试验地点 Study sites	微生境 Microhabitats	处理 Treatments	川芒 <i>Ms</i>	落芒草 <i>Om</i>	白刺花 <i>Sd</i>	岷谷木蓝 <i>Il</i>	小马鞍羊蹄甲 <i>Bf</i>
撮箕山 Zuojishan	植被 Vegetation	盆-腐殖质 P-H	1.00 ± 0.00a	9.43 ± 0.74a	1.00 ± 0.00a	2.13 ± 0.33a	20.19 ± 0.58a
		盆-河谷土 P-S	1.00 ± 0.00a	11.90 ± 0.89a	1.00 ± 0.00a	2.00 ± 0.30a	12.66 ± 1.36b
		直播 D-S	—	—	—	1.82 ± 0.38a	—
	裸地	盆-腐殖质 P-H	—	9.94 ± 1.56a	1.00 ± 0.00a	2.25 ± 0.35a	16.56 ± 0.81a
	Baraland	盆-河谷土 P-S	—	7.15 ± 1.34a	1.00 ± 0.00a	1.77 ± 0.32a	12.25 ± 1.32a
		直播 D-S	—	1.25 ± 0.25b	—	1.80 ± 0.33a	—
两河口 Lianghekou	植被 Vegetation	盆-腐殖质 P-H	1.00 ± 0.00a	6.90 ± 0.58a	—	1.15 ± 0.10a	13.03 ± 0.92a
		盆-河谷土 P-S	1.00 ± 0.00a	5.47 ± 0.79a	1.00 ± 0.00a	2.00 ± 0.58a	7.91 ± 1.16a
		直播 D-S	1.00 ± 0.00a	6.64 ± 1.93a	—	—	0.60 ± 0.40b
	裸地	盆-腐殖质 P-H	1.00 ± 0.00a	5.70 ± 0.77a	1.00 ± 0.00a	1.63 ± 0.19a	13.15 ± 0.79a
	Baraland	盆-河谷土 P-S	1.00 ± 0.00a	3.50 ± 0.68a	1.00 ± 0.00a	1.83 ± 0.37a	7.66 ± 0.90a
		直播 D-S	—	—	—	—	4.17 ± 0.95ab

同一试验地的同列参数不同字母指示不同处理之间差异明显 ($P < 0.05$) Different letters within a column for each study site indicate the significant differences among the treatments ($P < 0.05$) “—”表示无数据 “—” indicate no data

腐殖质及河谷土容器播种 $N = 40$; 直播 $N = 60$ $N = 40$ for potted seeding with humus and with soil in dry valley; $N = 60$ for direct seeding

表5 播种1个月后5种幼苗的株高(平均值±标准误)

Table 5 Seedling height (means ± S. E) of the five species after one month of sowing

试验地点 Study sites	微生境 Microhabitats	处理 Treatments	川芒 <i>Ms</i>	落芒草 <i>Om</i>	白刺花 <i>Sd</i>	岷谷木蓝 <i>Il</i>	小马鞍羊蹄甲 <i>Bf</i>
撮箕山 Zuojishan	植被 Vegetation	盆-腐殖质 P-H	1.43 ± 0.19a	4.57 ± 0.22a	0.75 ± 0.20a	2.09 ± 0.13a	4.06 ± 0.09a
		盆-河谷土 P-S	1.10 ± 0.10a	4.28 ± 0.19a	1.40 ± 0.10a	2.92 ± 0.20a	2.70 ± 0.27a
		直播 D-S	—	—	—	2.01 ± 0.21a	—
	裸地	盆-腐殖质 P-H	—	3.79 ± 0.35a	0.88 ± 0.38a	2.19 ± 0.16a	3.71 ± 0.12a
	Baraland	盆-河谷土 P-S	—	3.66 ± 0.19a	1.65 ± 0.85a	1.98 ± 0.23a	2.96 ± 0.17a
		直播 D-S	—	2.50 ± 0.20a	—	2.11 ± 0.18a	—
两河口 Lianghekou	植被 Vegetation	盆-腐殖质 P-H	0.50 ± 0.01a	4.05 ± 0.27a	—	1.52 ± 0.13a	2.58 ± 0.12a
		盆-河谷土 P-S	0.50 ± 0.00a	4.14 ± 0.29a	1.20 ± 0.09a	1.50 ± 0.29a	1.99 ± 0.13a
		直播 D-S	3.00 ± 0.13b	3.00 ± 0.24a	—	—	1.50 ± 0.27a
	裸地	盆-腐殖质 P-H	0.20 ± 0.00a	3.98 ± 0.26a	1.00 ± 0.01a	1.60 ± 0.12a	2.73 ± 0.07a
	Baraland	盆-河谷土 P-S	0.50 ± 0.01a	4.84 ± 0.43a	2.40 ± 0.16a	1.53 ± 0.24a	1.95 ± 0.08a
		直播 D-S	—	—	—	—	1.87 ± 0.53a

同一试验地的同列参数不同字母指示不同处理之间差异明显 ($P < 0.05$) Different letters within a column for each study site indicate the significant differences among the treatments ($P < 0.05$); “—”:无数据 No data

腐殖质及河谷土容器播种 $N = 40$; 直播 $N = 60$ $N = 40$ for potted seeding with humus and with soil in dry valley; $N = 60$ for direct seeding

3.4 种子出苗数量和幼苗存活数随时间的动态变化特点及原因

从种子出苗与幼苗存活的月动态变化过程可以看出,5种植物的种子出苗时间主要集中于播种后1个月内(6月份)。并且6月份死亡的幼苗较少,存活率大多高于90%(表3,表4)。在播种2个月后(即7月份),出苗数量与幼苗保存数都显著下降,幼苗死亡数量明显增加,并且这些现象在两河口表现的更为突出(表7)。8月份及以后时间段内,所有幼苗全部死亡,无新生苗出现。

表 6 播种 1 个月后 5 种幼苗的叶片数量 (平均值 ± 标准误)

Table 6 Leaf number (means ± S. E) of five species after one month of sowing

试验地点 Study sites	微生境 Microhabitats	处理 Treatments	川芒 <i>Ms</i>	落芒草 <i>Om</i>	白刺花 <i>Sd</i>	岷谷木蓝 <i>Il</i>	小马鞍山蹄甲 <i>Bf</i>
撮箕山 Zuojishan	植被 Vegetation	盆-腐殖质 P-H	2.33 ± 0.67a	1.19 ± 0.06a	1.33 ± 0.33a	3.53 ± 0.16a	3.01 ± 0.13a
		盆-河谷土 P-S	1.50 ± 0.50a	1.45 ± 0.11a	1.00	3.35 ± 0.54a	2.43 ± 0.20a
		直播 D-S	—	—	—	2.82 ± 0.12a	—
	裸地	盆-腐殖质 P-H	—	1.43 ± 0.13a	1.25 ± 0.25a	3.27 ± 0.60a	2.30 ± 0.08a
	Baraland	盆-河谷土 P-S	—	1.61 ± 0.18a	1.50 ± 1.50a	4.02 ± 0.47a	1.81 ± 0.14a
		直播 D-S	—	2.63 ± 0.38a	—	2.72 ± 0.19a	—
两河口 Lianghekou	植被 Vegetation	盆-腐殖质 P-H	3.00 ± 1.03ab	1.27 ± 0.09a	—	3.19 ± 0.25a	2.26 ± 0.14a
		盆-河谷土 P-S	1.50 ± 0.50a	1.20 ± 0.07a	2.00 ± 0.01a	3.00 ± 0.58a	1.48 ± 0.13ab
		直播 D-S	4.00 ± 1.56b	1.85 ± 0.16a	—	—	0.43 ± 0.28b
	裸地	盆-腐殖质 P-H	2.00 ± 0.18a	2.05 ± 0.22a	2.00 ± 0.00a	3.12 ± 0.20a	2.44 ± 0.12ab
	Baraland	盆-河谷土 P-S	2.00 ± 0.10a	1.29 ± 0.10a	3.00 ± 0.10a	3.08 ± 0.35a	1.58 ± 0.09ab
		直播 D-S	—	—	—	—	2.25 ± 0.81a

同一试验地的同列参数不同字母指示不同处理之间差异明显 ($P < 0.05$) Different letters within a column for each study site indicate the significant differences among the treatments ($P < 0.05$); “—”:无数据 No data

腐殖质及河谷土容器播种 $N = 40$; 直播 $N = 60$ $N = 40$ for potted seeding with humus and with soil in dry valley; $N = 60$ for direct seeding

3.5 容器播种、添加保水剂与腐殖土处理措施对种子出苗和幼苗存活的影响

从总体上看,与种子直接撒播方式相比,容器播种处理显著提高了植被覆盖斑块与落地斑块下 5 种植物的种子出苗数量 (表 3),并且在一定程度上增加了幼苗存活数量 (表 4,表 7),但对幼苗株高与叶片数量无显著作用。容器中添加保水剂和腐殖质处理对种子出苗数、幼苗存活数及幼苗生长也没有显著影响 (表 5,表 6)。

表 7 播种 2 个月后 5 种幼苗的存活数量 (平均值 ± 标准误)

Table 7 The number (means ± S. E) of five species seedlings surviving two months after sowing

试验地点 Study sites	微生境 Microhabitats	处理 Treatments	川芒 <i>Ms</i>	落芒草 <i>Om</i>	白刺花 <i>Sd</i>	岷谷木蓝 <i>Il</i>	小马鞍山蹄甲 <i>Bf</i>
撮箕山 Zuojishan	植被 Vegetation	盆-腐殖质 P-H	0.06 ± 0.04a	4.09 ± 0.62a	0.22 ± 0.09ad	0.66 ± 0.22a	10.69 ± 1.35a
		盆-河谷土 P-S	0.06 ± 0.06a	6.00 ± 0.94b	0.26 ± 0.12a	1.55 ± 0.31b	6.25 ± 1.09b
		直播 D-S	0.00a	0.02 ± 0.02c	0.00b	0.00c	0.00c
	裸地	盆-腐殖质 P-H	0.00a	2.00 ± 0.59d	0.75 ± 0.23c	0.35 ± 0.09cd	4.58 ± 1.16b
	Baraland	盆-河谷土 P-S	0.00a	1.39 ± 0.49d	0.15 ± 0.08abd	0.90 ± 0.34a	2.54 ± 0.71bc
		直播 D-S	0.00a	0.00c	0.00bd	0.00c	0.00c
两河口 Lianghekou	植被 Vegetation	盆-腐殖质 P-H	0.03 ± 0.03a	2.58 ± 0.43a	0.00a	0.03 ± 0.02a	1.18 ± 0.46a
		盆-河谷土 P-S	0.03 ± 0.03a	0.53 ± 0.16ab	0.00a	0.00a	0.00b
		直播 D-S	0.03 ± 0.03a	0.00b	0.00a	0.00a	0.00b
	裸地	盆-腐殖质 P-H	0.00a	1.65 ± 0.34ab	0.00a	0.08 ± 0.03a	0.58 ± 0.16c
	Baraland	盆-河谷土 P-S	0.00a	0.60 ± 0.13ab	0.00a	0.08 ± 0.05a	0.02 ± 0.02bc
		直播 D-S	0.00a	0.00b	0.00a	0.00a	0.17 ± 0.07bc

同一试验地的同列参数不同字母指示不同处理之间差异明显 ($P < 0.05$) Different letters within a column for each study site indicate the significant differences among the treatments ($P < 0.05$)

腐殖质及河谷土容器播种 $N = 40$; 直播 $N = 60$ $N = 40$ for potted seeding with humus and with soil in dry valley; $N = 60$ for direct seeding

3.6 试验地点、物种、微生境、播种处理 4 个因素及其交互作用对 6 月份出苗数与存活数的影响

多元方差分析的结果显示 (表 8),试验地点、试验物种、处理方法以及它们之间交互作用对 6 月份种子出苗数均具有显著影响 ($P < 0.05$);而微生境、微生境 × 处理方法之间的交互作用对出苗数量无明显作用

(表8)。试验地点、物种和处理方法及其交互作用对6月份的存活数量产生显著的影响($P < 0.05$),但其余因子对出苗数的作用均不显著($P > 0.05$)。

表8 试验地、物种、播种方式、微生境对播种1个月出苗数量与幼苗存活数量的多因素方差分析结果

Table 8 Results from multivariate analysis of variance (MANOVA) for effect of testing study site, species, seeding treatment and microhabitat on seedling number and the number of seedlings surviving one month after sowing

因子 Factor	出苗数量 Seedling Number			幼苗存活数量 Survival number of the seedlings		
	df	F	P	df	F	P
试验地 Study site (St)	1	27.33	0.00	1	8.39	0.00
物种 Species (Sp)	4	406.98	0.00	4	78.66	0.00
微生境 Microhabitat (Mi)	1	0.00	1.00	4	0.05	0.82
处理 Treatment (Tr)	1	411.20	0.00	1	12.24	0.00
试验地 × 物种 St ×	4	4.29	0.00	3	5.83	0.00
试验地 × 微生境 St × Mi	1	6.28	0.01	1	0.20	0.66
物种 × 微生境 Sp × Mi	4	8.80	0.00	3	0.91	0.44
试验地 × 物种 × 微生境 St × Sp × Mi	3	9.07	0.00	3	0.19	0.90
试验地 × 处理 St × tr	1	53.79	0.00	—	—	—
物种 × 处理 Sp × tr	4	334.12	0.00	1	15.05	0.00
试验地 × 物种 × 处理 St × Sp × Tr	4	11.52	0.00	—	—	—
生境 × 处理 Mi × Tr	1	0.21	0.64	1	1.21	0.27
试验地 × 微生境 × 处理 St × Mi × Tr	1	5.9	0.07	—	—	—
播种 × 微生境 × 处理 Sp × Mi × Tr	4	1.59	0.17	—	—	—
试验地 × 物种 × 微生境 × 处理 St × Sp × Mi × Tr	3	1.47	0.22	—	—	—
Error	2053			637		
Total	2092			660		
R2	0.702			0.65		

“—”:无数据 No data

4 讨论与结论

4.1 干旱河谷不同乡土植物出苗能力与存活能力的总体评估

本试验初步结果表明,在岷江上游干旱河谷环境条件下川芒、落芒草、岷谷木蓝、小马鞍羊蹄甲和白刺花5种乡土植物种子的出苗能力与幼苗存活能力都很低,即使在出苗高峰期最大出苗率达不到30%。在播种2个月后幼苗存活能力显著下降,8月份存活幼苗数为0,并且无新生幼苗产生。

种子的出苗能力受内、因两方面因素的影响,种子发芽能力是主要的内在因素,其与种子本身的生物学特征有密切关系,不同物种的发芽能力存在着较大差异性,具有休眠特性,种皮厚而坚硬,透水性差,具有硬实现象的种子常常表现出较低的发芽能力。

环境中水分、温度和光照等因子对种子发芽与出苗也具有显著影响。Meyer等在野外条件下对美国莫哈韦沙漠地区生长的灌木(*Coleogyne ramosissima*)种子发芽特征及其影响因素的研究表明,休眠种子的平均发芽率3.8%。解除休眠的种子在野外条件下发芽率与发芽速度主要受环境温度与湿度的影响。在冬季与春初低温条件下*Coleogyne ramosissima*种子发芽率限于50%,发芽速率也较慢,发芽高峰期在播种1个月以后。春季随着温度与湿度增加,种子发芽率升高到90%,发芽速度也加快,发芽高峰期在播种后1个月内^[5]。本试验所用种子已经过层积和砂磨等预处理去除了休眠及种皮对发芽的阻碍,因此在干旱河谷地区播种后的发芽与出苗率主要受外界环境因素的影响。在6月份,干旱河谷地区日均温约为22.5℃(图3),适宜于种子萌发,因而受试植物种子出苗期都主要集中于播种后1个月内。但是由于干旱河谷地区降水少,蒸发大,蒸发量通常约为降水量的3~4倍,土壤保水能力低,在旱季和雨季平均土壤含水量分别为3.8%和9.1%^[20],因此种子发芽与出苗主要受该地区严重干旱胁迫的制约。室内不同水分条件种子发芽能力的试验结果也表明

(图 2), 水势为 0 MPa 时, 川芒、落芒草、岷谷木蓝、小马鞍羊蹄甲和白刺花的种子发芽率较高, 平均值是 76.1%、89.3%、100%、97.3 与 52.7%, 随着干旱胁迫强度增加所有种子发芽率及发芽速度都明显降低; 在水势下降到 -1.20 MPa 时, 5 种植物种子发芽率分别降低到 16.1%、3.3%、29.3%、48.2% 和 14.7%。前期在岷江上游干旱河谷地区的调查发现, 受试植物种群结实量较大, 种源充足。因而可以看出, 干旱河谷区乡土植物自然更新能力弱可能主要归因于以下两个方面: 其一, 由于受严重干旱胁迫的影响, 自然生境中大量的种子不能萌发, 或者萌发后不能形成幼苗; 其二, 有些种子即使能够出苗, 但在早期阶段幼苗比较脆弱, 难以适应严酷的干旱胁迫, 因此幼苗不能顺利定居。这可能是多年来限制干旱河谷地区植被恢复的关键因素之一。

尽管受试物种的种子出苗能力与幼苗存活能力在干旱河谷条件下都很低, 但也存在较大种间差异, 这主要在于不同物种发芽能力的差异性。室内种子发芽实验结果表明, 5 种植物在常规条件下 ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $35\text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 种子发芽率的大小顺序依次是: 小马鞍羊蹄甲 > 落芒草 > 川芒 > 岷谷木蓝 > 白刺花 (表 1)。本试验野外条件下 5 种植物出苗能力与室内发芽率的种间变化规律基本一致, 小马鞍羊蹄甲和落芒草比川芒、岷谷木蓝及白刺花具有较强的出苗能力。相关分析结果进一步证明, 在野外条件下的种子出苗率与常规条件下的种子发芽率呈显著正相关关系 ($R^2 = 0.766$)。这些结果充分表明, 不同试验物种本身发芽率的差异是其在干旱河谷环境中出苗能力存在显著种间差异的主要原因, 常规条件下发芽率较高的物种在干旱河谷地区出苗能力亦较强。

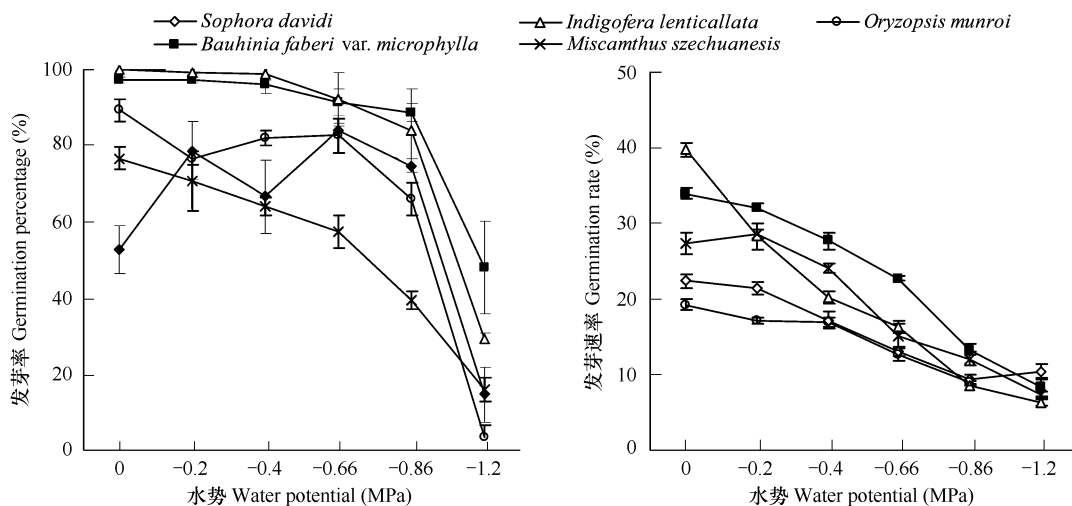


图 2 不同水分条件下 5 种植物种子的发芽率 (左) 和发芽速度 (右)

Fig. 2 Seed germination percentage (left) and germination rate (right) of five species under different water conditions

4.2 不同区域种子出苗数和幼苗生长的差异性及其原因

在高山峡谷地形与大陆性季风气候特征的共同作用下, 干旱河谷区地形变化复杂, 生态环境的空间异质性相当显著, 因此不同区域播种后种子出苗与幼苗存活过程中面临着的环境胁迫程度具有明显差异。本文对不同试验地点播种 1 个月后种子出苗数量与幼苗保存数量比较发现, 同一物种在撮箕山的出苗数量及保存数量都大于两河口, 川芒、落芒草、岷谷木蓝、小马鞍羊蹄甲和白刺花种子在撮箕山的出苗率分别是两河口的 1.3、1.8、2.0、4.3 倍和 1.1 倍。这一结果可能联系到撮箕山与两河口的水分与温度等环境因子具有明显的差异性。正如前面所述, 撮箕山属于岷江干旱河谷的边缘地区, 降雨量与空气湿度都相对较大, 土壤含水量与肥力状况也较好, 这种较为适宜的环境条件有利于种子出苗及幼苗存活, 因而撮箕山 5 种植物都表现出了相对较大出苗能力和幼苗的短期存活能力。而两河口气候和土壤极端干燥, 对种子出苗与幼苗存活的限制更为严重。研究还发现, 幼苗最终的保存数量与生长状况在撮箕山和两河口试验地之间并无显著差异, 存活数为 0, 这可能是由于干旱河谷地区严酷干旱环境胁迫, 尤其是 2006 年极端干旱与高温天气导致播种 2 个月后幼苗全部死亡。

幼苗出土以后的命运与周围环境因子密切相关,幼苗定居过程受外界环境水分与温度等因子的直接影响。从干旱河谷地区生境中水热因子的动态变化特点来看,该地区干湿季节分明,尽管大量研究证明7、8月份是干旱河谷区的雨季^[20]。但是这段时间内常常出现短期的降雨缺乏,加之地表温度升高,使环境因子发生急剧变化,形成了干旱与高温环境(图3),严重威胁着新生苗的生长与定居。前期的相关研究也证明了野外下种子出苗及幼苗定居与降水量紧密相关,如 Hanssen 对采伐基地上多种植物的研究认为,在播种后1个月内,种子出苗与降水量成正相关关系^[21]。类似地,Valkonen 等对挪威云杉(*Picea abies* (L.) Karst)种子出苗能力研究发现,不同年份及不同季节降雨量的变化是导致种子出苗数量发生改变主要因素,干旱胁迫限制了野外种子出苗,随着降雨量增加种子出苗加快,出苗数量增加^[22]。

从植物本身的生物学特性看,幼苗对环境胁迫的忍受能力与其生长年龄有关,随着年龄增加幼苗抗胁迫能力增强^[22],在种子出苗后1~3个月内,幼苗非常脆弱,对环境胁迫的抵御能力很低,是幼苗的死亡高峰期^[23]。因此,这一阶段是决定幼苗能否成功定居的关键,需要采取有效的幼苗抚育管理措施。在本试验条件下,7、8月份5种幼苗还处于生长发育的早期阶段,其木质化程度比较低,保水能力较差,难以适应严酷的干旱与高温环境胁迫,出现大量的幼苗死亡。说明在干旱河谷区7、8月份的干旱与高温环境胁迫是幼苗定居困难重要原因之一,因而通过播种进行区域植被恢复时,选择恰当的播种时间非常重要。就本试验研究的结果来看,播种应该在4月份为宜,以使幼苗在高温与干旱季节来临时具有一定的木质化结构与长势,增强其自身的环境胁迫抵御能力。如果播种过晚,幼苗生长不稳定,抗胁迫能力较弱,在干热环境胁迫幼苗死亡极为严重。

4.3 不同微生境下容器播种及基质处理措施对种子出苗与幼苗存活的效应

本试验结果表明,干旱河谷地区小容器播种是提高种子出苗能力及幼苗存活能力的有效措施,与直接撒播相比,小容器播种处理显著提高了在干旱河谷条件下5种植物种子出苗数量(表3),并且在一定程度上能够增强幼苗存活能力(表4,表7)。此结果与 Valkonen 的研究结论基本一致,野外条件下采用播种管方式有利于橡树(*Quercus robur* L.)种子出苗及1~5内幼苗生长^[3]。

土壤基质的保水能力与透气性等对种子出苗和幼苗生长均有显著影响,如重粘土情况与保水性能力较差的土壤将会严重阻碍种子发芽及出苗^[3,10]。通过添加保水剂和采取土壤基质改良等方法可能能够在一定程度上解决这一问题。大量的相关研究证明,施加适量保水剂和腐殖质后土壤保水性与肥力显著提高,对于大多数受干旱环境胁迫影响植物,这些基质改良措施提高了其种子出苗能力,并促进了幼苗定居及生长^[6,7,10]。Hanssen 认为,采用凋落物或者腐殖质进行生长基质改良能够提高种子发芽及出苗能力,采伐迹地原始土壤中播种的云杉种子出苗率仅为2.4%,而在该土壤中添加腐殖质后出苗率升高到了11.9%,同时也发现通过腐殖质基质改良也显著提高了幼苗定居与幼苗生长能力^[21]。但是,在本次干旱河谷容器播种试验中,采用保水剂与腐殖质处理对种子出苗及幼苗存活并没有显著影响,这可能是由于干旱河谷严酷环境胁迫下保水剂与腐殖质等基质改良作用不能有效发挥,干旱对种子出苗与幼苗存活的负面影响可能远大于基质改良的效果,目前关于保水剂与腐殖质对干旱河谷乡土植物种子出苗和幼苗定居方面的作用还需要进一步研究。

Capo-arteaga 等^[24]对不同微生境条件下的5种 *Pinus* 幼苗存活与生长状况的研究表明,在植被覆盖地(大型木本植物)幼苗的存活及生长都受到了抑制。而 Valkonen 等的研究发现,上层植被密度与种子出苗率之间没有显著相关性,但是苔藓和草本植物覆盖能够为种子出苗及幼苗生长提供有利的微环境,从而促进了

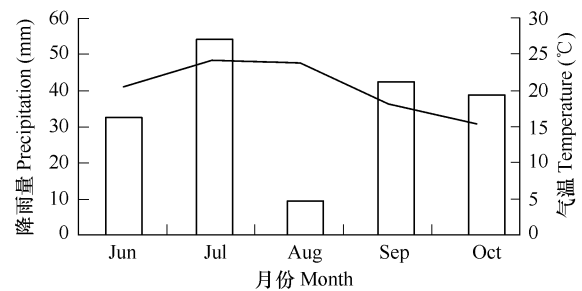


图3 2006年6月到10月实验期间两河口月均温(线条)与降水量(柱形)

Fig. 3 Average temperature (bars) and precipitation (line) in the study site from June to October, 2006

种子出苗和幼苗定居,因此种子出苗率与苔藓及草本植物盖度显著正相关,但与上层植被总盖度负相关,与灌木层盖度没有显著相关性^[22]。相反,Hanssen 发现种子出苗率与优势草本盖度之间呈显著负相关关系。但是本试验所在干旱河谷条件下,虽然植被覆盖斑块与裸地斑块之间植被盖度及冠幅具有显著差异,但是无论种子直播还是小容器播种,其出苗数量与幼苗生长状况在不同微生境之间都未表现出显著的差异。Jiménez-Lobato 等^[25]的研究得出了与本试验类似结果,裸地与植被覆盖地之间种子出苗率及幼苗生长无显著差异,主要是由于不同类型的微生境条件差异性较小,未能导致种子出苗及幼苗生长发生明显变化,本试验的结果支持这一观点。这些诸多研究结果的不一致可能在于试验地的植被类型及其不同类型微生境中影响种子出苗及幼苗生长的主导因素存在着差异。虽然干旱河谷地区的植被呈斑块分布,但植被稀疏,总覆盖度通常在 8%~40%,在环境条件整体呈严重干旱的状态下,植被覆盖地与裸地之间微生境的差异可能不足导致种子出苗与幼苗定居能力发生明显改变。

4.4 结论与对植被恢复的指导意义

综合分析可得出以下几方面结论及对干旱河谷植被恢复实践的启示:

(1) 在干旱河谷气候条件下,川芒、落芒草、岷谷木蓝、小马鞍羊蹄甲和白刺花 5 种乡土植物播种后的出苗率都很低而死亡率很高。因而种子出苗和幼苗成活率限制是植被自然恢复过程中的关键问题,目前急需提出有关种子出苗以后的抚育管理措施。

(2) 在相同的播种方式下,不同物种出苗数存在着较大的差异,相比而言,小马鞍羊蹄甲、岷谷木蓝与落芒草种子出苗与幼苗存活对干旱河谷地区环境胁迫的忍受能力较强,因此它们更适宜采用播种的方式应用于干旱河谷地植被恢复实践;而白刺花与川芒在自然气候条件下出苗十分困难,在植被恢复过程中可考虑采用其他方式种植。

(3) 5 个物种的出苗高峰都在播种后 1 个月内。但是在播种 1 个月后幼苗保存数量开始下降;播种 2 个月,所有植物的幼苗存活数均为 0,这主要是由于干旱河谷地区 7、8 月份的短期干旱与高温环境胁迫导致的幼苗大量死亡。因而在植被恢复中播种时间应该在 4 月份为宜,使幼苗在 7、8 月份干热天气来临时形成木质化结构,长势也较稳定,抵御环境胁迫的能力较强。

(4) 干旱河谷环境条件的空间分异导致同一植物的种子出苗能力与幼苗存活能力在不同区域表现出了明显差异。撮箕山降水较大、空气及土壤较湿润,种子出苗数和幼苗存活数量都较多,存活时间相对较长。但是同一区域不同类型微生境之间种子出苗能力、幼苗存活能力及生长速率并没有显著差异。这证明了乡土植物的种子出苗与幼苗存活状况主要受干旱河谷不同区域的气候特征所控制,微生境条件的变化对其影响不明显。

(5) 实施小容器措施能够在短期内明显地提高种子出苗数,但是未能有效地提高幼苗最终的存活能力及生长速率,说明小容器播种措施并不能解决受长期干旱胁迫地区的幼苗定居困难问题。另外,在该地区严重干旱胁迫下采用保水剂与腐殖质基质改良措施也不能有效地提高种子出苗能力与幼苗存活能力。因此提高幼苗本身的抗旱能力可能成为将来干旱河谷植被恢复研究中的重点。

References:

- [1] Barnes M E. Seed predation, germination and seedling establishment of *Acacia eriolobain* northern Botswana. *J Arid Environ*, 2001, 49: 541—554.
- [2] Peng S J, Huang Z L, Peng S L, *et al.* Factors influencing mortality of seed and seedling in plant nature regeneration process. *Guihaia*, 2004, 24 (2): 113—121.
- [3] Valkonen S. Survival and growth of planted and seeded oak (*Quercus robur* L.) seedlings with and without shelters on field afforestation sites in Finland. *For Ecol Manage*, 2008, 255: 1085—1094.
- [4] Rooney T P, Waller D M. Local and regional variation in hemlock seedling establishment in forests of the upper Great Lakes region, USA. *For Ecol Manage*, 1998, 111: 211—224.
- [5] Meyer S E, Pendleton B K. Factors affecting seed germination and seedling establishment of a long-lived desert shrub (*Coleogyne ramosissima*;

- Rosaceae). *Plant Ecol*, 2005, 178: 171–187.
- [6] Sánchez-Coronado M E, Coates R, Castro-Colina L, *et al.* Improving seed germination and seedling growth of *Omphalea oleifera* (Euphorbiaceae) for restoration projects in tropical rain forests. *For Ecol Manag*, 2007, 243 (1): 144–155.
- [7] Lee H S, Kim J H, Yi H, *et al.* Seedling establishment and regeneration of Korean red pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) forests in Korea in relation to soil moisture. *For Ecol Manag*, 2004, 199: 423–432.
- [8] Wang L H, Chen X M, Li R W, *et al.* Experiment on compound super adsorbent polymers(SAP) for vegetational restoration in sub-alpine semi-arid areas. *J Sichuan For Sci Tech*, 2004, 25 (2): 27–32.
- [9] Valkonen S, Maguire D A. Relationship between seedbed properties and the emergence of spruce germinants in recently cut Norway spruce selection stands in Southern Finland. *For Ecol Manag*, 2005, 210: 255–266.
- [10] Madsen P, L f M. Reforestation in southern Scandinavia using direct seeding of oak (*Quercus robur* L.). *Forestry*, 2005, 78: 55–64.
- [11] Liu W B. Main types of the semi-arid valley scrubs in the upper reaches of the Minjiang River. *Mount Res.*, 1994, 12 (1): 27–31.
- [12] Liu G H, Ma K M, Fu B J, *et al.* Aboveground biomass of main shrubs in dry valley of Minjiang River. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (9): 1757–1764
- [13] Guan W B, Ye M S, Ma K M, *et al.* The relationships between plant community species turnover rates and environmental factors in the arid valley of Minjiang River. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11): 2367–2373.
- [14] Zhang W H, Lu T, Ma K M, *et al.* Analysis on the environmental and spatial factors for plant community distribution in the arid valley in the upper reach of Minjiang River. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (3): 552–559.
- [15] Liu S L, Ma K M, Fu B J, *et al.* Effects of vegetation types and landscape features on soil properties at the plateau in the upper reaches of Minjiang River. *Chin J Appl Ecologica*, 2004, 15 (1): 26–30.
- [16] Li F L, Bao W K, Wu N. An eco-anatomical characteristics of *sophora davidii* leaves along an elevation gradient in upper minjiang river dry valley. *Chin J Appl Ecologica*, 2006, 17 (1): 5–10.
- [17] Zheng S W, Li Y Q, Yue Y J, *et al.* A study of forestation experimentation in arid valley areas of the Minjiang River. *J Sichuan For SciTech*, 2007, 28 (1): 57–61.
- [18] Wang Q Z. Study on the Arid-valley Scrubs in the Upper Reaches of Minjiang River. *J Mount Sci*, 2007, 25(1): 1–25.
- [19] Ma, K M, Fu B J, Liu S L, *et al.* Multiple-scale soil moisture distribution and its implications for ecosystem restoration in an arid river valley, China. *Land Degrad Dev*, 2004, 15: 75–85.
- [20] 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. *Chin J Appl Environ Biol*, 2004, 10 (1): 68–74.
- [21] Hanssen K. Effects of seedbed substrates on regeneration of *Picea abies* from seeds. *Scand. J. Forest Res.*, 2002, 17: 511–521.
- [22] Valkonen S, Maguire D A. Relationship between seedbed properties and the emergence of spruce germinants in recently cut Norway spruce selection stands in Southern Finland. *For Ecol Manage*, 2005, 210: 255–266.
- [23] Uniyal R C, Nautiyal A R. Seed germination and seedling extension growth in *Ougeinia dalbergioides* Benth. under water and salinity stress. *New Forests*, 1998, 16: 265–272.
- [24] Capo-arteaga M, Newton M. Survival and growth of five species of *Pinus* seedlings under different approaches to competition control: “bridging” studies between Oregon and Mexico. *New Forests*, 1991, 5: 219–238.
- [25] Jiménez-Lobato V, Valverde T. Population dynamics of the shrub *Acacia bilimekii* in a semi-desert region in central Mexico. *J Arid Environ*, 2006, 65: 29–45.

参考文献:

- [2] 彭闪江, 黄忠良, 彭少麟, 等. 植物天然更新过程中种子和幼苗死亡的影响因素. *广西植物* 2004, 24 (2): 113–121.
- [8] 王乐辉, 陈秀明, 李荣伟, 等. 亚高山半干旱地带植被恢复保水剂试验研究. *四川林业科技*, 2004, 25 (2): 27–32.
- [11] 刘文彬. 岷江上游半干旱河谷的主要类型. *山地研究*, 1994, 12 (1): 27–31.
- [12] 刘国华, 马克明, 傅伯杰, 等. 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.
- [13] 关文彬, 冶民生, 马克明, 等. 岷江干旱河谷植物群落物种周转速率与环境因子的关系. *生态学报*, 2004, 24(11): 2367–2373.
- [14] 张文辉, 卢涛, 马克明. 岷江上游干旱河谷植物群落分布的环境与空间因素分析. *生态学报*, 2004, 24 (3): 552–559.
- [15] 刘世梁, 马克明, 傅伯杰. 岷江上游高原植被类型与景观特征对土壤性质的影响. *应用生态学报*, 2004, 15 (1): 26–30.
- [16] 李芳兰, 包维楷, 吴宁. 2006. 岷江上游干旱河谷海拔梯度上白刺花叶片生态解剖特征研究. *应用生态学报*, 17: 5–10.
- [17] 郑绍伟, 黎燕琼, 岳永杰, 等. 岷江上游干旱河谷造林技术试验研究. *四川林业科技*, 2007, 28 (1): 57–61.
- [18] 杨钦周. 岷江干旱河谷灌丛研究. *山地学报*, 2007, 25(1): 1–32.
- [20] 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.