

九寨沟林下 28种乡土观赏植物种子基本特征

苏维维^{1,2}, 包维楷^{1*}, 周志琼¹

(1. 中国科学院成都生物研究所生态恢复重点实验室, 四川 成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 为了筛选九寨沟旅游退化地段林下植被恢复的适宜物种, 并揭示乡土植物种子基本性状特征, 研究了九寨沟 28种观赏性乡土植物种子基本特征(长宽、种皮厚度、千粒重、活力、萌发率)以及低温层积提高种子发芽能力的作用。调查研究结果是: 1) 28种植物种子中 4种为小种子($< 1\text{ mg}$), 53.6%是中等大小的种子($1 \sim 9.9\text{ mg}$), 32.1%为大种子($> 9.9\text{ mg}$)。小种子均出现萌发, 与小种子相比, 种子休眠普遍存在于中等大小和大的种子中。2) 77%的物种种子活力较高($> 72\%$), 但仅有 7种常规条件下能萌发; 窄叶鲜卑花的萌发率最高, 达到 80%左右, 6种植物的萌发率 3%~50%。3) 低温层积显著提高了蔷薇、毛果铁线莲、宽叶旌节花、假升麻的萌发率($P < 0.05$), 也相对较早地提高了陇东海棠、鲜黄小檗、独活的萌发, 但对大多数种子萌发没有促进作用。综合分析表明, 九寨沟 28种林下或林缘乡土植物中只有窄叶鲜卑花、毛果铁线莲、宽叶旌节花、假升麻、陇东海棠、鲜黄小檗、蔷薇等 12种可直播或通过低温层积处理后直播用于旅游干扰退化地段的林下植被恢复中, 而其他种类尚需进一步寻求打破休眠的措施和方法。

关键词: 乡土物种; 种子萌发能力; 低温层积; 林下植被恢复

中图分类号: Q948

文献标识码: A

种子性状特征对于研究植物的环境适应性具有重要的价值^[1]。种子大小显著影响着种子的萌发能力, 一般较大种子的物种在种子萌发和幼苗生长阶段是具有更大优势的^[2], 因此具有较好的自然恢复潜力。而种子休眠性状是植物应对不良环境的重要适应策略, 恶劣环境中的种子往往具有休眠特性。低温层积处理能有效打破休眠, 提高发芽率^[3], 同一植物的高海拔种群由于长期适应低温环境, 种子对低温层积更敏感。种子萌发行为是植物重要的生活史繁殖策略^[4,5], 反映了该物种自身遗传特性及适应环境的能力^[6], 对于探索植物进化和解释植被变化也具有重要意义^[7,8]。

种子直播是公认的恢复成本低、经济实效的植

被恢复途径^[9]。由于乡土物种比外来物种在生态适应性、抗病虫害等方面具有优势, 乡土物种种子直播进行植被恢复已普遍认同为生态风险最低最安全的措施^[10,11]。种子直播恢复植被的关键是种子发芽能力与定居能力的高低。种子大小、休眠与萌发能力是植物更新潜力的重要表象属性, 质量好且萌发能力强的乡土植物种子更适宜于在植被恢复中进行直播, 相反, 种子质量差、发芽力低的种子直播往往会导致恢复努力的失败^[12]。此外, 种子性状也是植物定居能力以及对环境适应能力强弱的重要评价依据。因此, 明确乡土植物的种子基本性状、质量以及种子休眠程度与萌发能力是通过种子直播开展植被恢复时的物种筛选手段之一, 也是生态恢复措施

收稿日期(Received date): 2009-05-15 改回日期(Accepted): 2009-10-20

基金项目(Foundation item): 国家“十一五”科技支撑计划课题(Nº 2006BAQ1A15-1)、中国科学院“西部之光”博士资助项目(Nº 08C2041100), 也得到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的支持。[Supported by the Key Sci. Tech. Project of the 11th 5-year Plan of China (Nº 2006BAQ1A11), Knowledge Innovation Program of the Chinese Academy of Sciences (Nº KZCX2-XB2-02), the Ph.D. foundation in Western Light Talent Training Plan of the Chinese Academy of Sciences (Nº 08C2041100).]

作者简介(Biography): 苏维维(1983-)女, 安徽淮北人, 硕士研究生, 从事恢复生态学研究。[Su Weiwei (1983-), female, born in Huabei of Anhui, master candidate studying in restoration of ecology.]

通讯作者(Corresponding author) 包维楷 Bao Weikai E-mail: baowk@ch.ac.cn or wkbao@hotmail.com

制订及植被恢复实践的重要前提和保障。

九寨沟是我国第一批国家重点风景名胜区和国家级自然保护区,被列入世界自然遗产名录,是国际“人与生物圈”保护网络成员。自1984年正式对外开放以来,九寨沟旅游活动迅速发展,特别是20世纪90年代修建公路后,游客人数呈明显的指数增长趋势,2004年的游客人数已达191万,2005年已突破200万人。九寨沟是我国自然资源旅游发展的代表,是我国保护区旅游开发的典型代表。前面的研究已经发现,九寨沟核心景区随着游客流量的增加,旅游负荷增大,环境压力增大,主要表现在游径增宽^[13],致使林缘及林下植被受到破坏,植被盖度降低,局部地表植被受践踏严重^[14],呈现斑块状退化;局部地段植物多样性减少,外来种侵入,林分更新能力受到削弱^[15],土壤物理性质改变,林下地表径流增加,加剧N、P等养分向湖泊的输入^[16],削弱旅游景观质量。因此,开展局部地段的生态恢复是九寨沟自然遗产地保护的要求,也是旅游景观保护与旅游业发展中应解决的现实问题之一。

本文以采集于九寨沟生物圈保护区林下植被恢复中可能适宜的28种乡土植物种的种子,测定了种子基本特征,开展了层积前后室内常规条件下种子萌发实验,并分析低温层积对萌发的作用,进一步从种子质量与发芽能力角度去筛选适宜的可用于林下植被恢复中直播的种类。具体回答如下问题:1)九寨沟景区28种林下乡土植物有哪些种子具休眠特性?因而需要直播前处理以满足植被恢复要求;2)低温层积是否能有效解除乡土植物种子休眠和促进萌发?3)哪些物种适宜于林下植被恢复中的直播?本实验所涉及的种类是九寨沟景区常见的观赏性物种,研究结果对认识九寨沟林下观赏性乡土植物种生物生态学特性也具有重要价值。

1 材料与方法

种子采集

供试植物种子于2007—09采自四川省阿坝藏族羌族自治州(简称阿坝州)九寨沟自然景区,海拔在2600~3100 m的林缘或林下地段。鉴于景区植被恢复的景观效应,采集的种子多为观赏性的植物种子(彩叶或观花观果),共采集到28种乡土植物种子,分属13个科(名录如表1所示)。种子处理风干后,装入自封袋中,4℃储藏备用。

该地区气候为半干旱的高原气候,四季分明,年均温7.1℃,最高温度30.3℃,最低温度-17℃,年降水量661.4 mm,积雪期10月至次年4月。

实验方法

1.2.1 种子基本特征测定

采集的种子首先进行种子大小(长、宽)、种皮厚度、千粒重、活力的测定。每个种随机选取20粒种子,用数显游标卡尺(0.01 mm)测定其长度和宽度,然后在种子中部进行横切,显微镜下测定种皮厚度;种子重量的测定采用千粒重法,每种随机选取风干种子600粒,6个重复,每个重复100粒种子,称重,计算千粒重;种子活力测定采用四唑染色法(TTC法),将胚从种子中完整剥离,放入装有10 ml浓度为1% TTC溶液的试管中,于37℃下染色保温6 h后观察,胚被染成红色或深红色被确定为活力种子。3个重复,每个重复50粒种子。

1.2.2 种子层积处理

2007—12~2008—04于阿坝州茂县生态站将新采集的19种(其中9种种子缺少未进行层积处理)植物的种子进行层积处理。种子与湿沙混合均匀,置于尼龙袋内,再将尼龙袋埋于地下(埋深70~120 cm)进行低温层积(-2℃~10℃)。

2008—04将装有种子的尼龙袋取出,并用筛子分离种子和袋子种的沙子,进行萌发实验(其中陇东海棠、鲜黄小檗和独活在低温层积结束前已萌发故未做萌发实验)。

1.2.3 萌发实验

萌发实验包括两部分:新采集种子的常规萌发实验(2007—10)以及低温层积后种子的萌发实验(2008—04)。两部分实验的实验过程及萌发条件一致。种子用0.5%的 K_2MnO_4 溶液浸泡杀菌1 h,然后用无菌水清洗3次,均匀放入垫有双层滤纸的培养皿中,在25℃人工气候箱(光照设置为3000 LX,光照时间每天12 h)进行萌发。每个处理3个重复,每个重复50粒种子。当种子胚根长到1 cm时视为发芽,每24 h记录1次发芽情况,每天的发芽率记为每个重复中发芽的种子数占重复中所有种子数。实验时间为60 d在整个实验过程中保持滤纸和种子湿润。

1.2.4 种子大小类型、种子萌发格局以及植物生活型的分类

种子大小类型的分类:单位质量<1 mg为小种子,单位质量在1~9.9 mg之间为中等大小的种

子^[17], 单位质量 $>9.9\text{ mg}$ 为大种子。

种子萌发格局: 1)速萌型 发芽率高, 发芽持续期短; 2)缓萌型 发芽率低, 发芽持续期长; 3)中间型 或者发芽率高, 但发芽持续期长; 或者发芽率低, 发芽持续期短; 或者与这两类型相近^[18]。

前后种子萌发率差异显著性分析。采用分层聚类分析对种子形状进行聚类。所有分析在 Excel 和 SPSS 软件 (SPSS 1.5 for windows) 下完成。

2 结果与分析

1.3 数据统计分析

采用 Pearson 相关系数分析种子特征与种子萌发之间的相关性。独立样本 T 检验分析低温层积

种子的基本性状

28种植物种子性状特征如表 1所示。种子各

表 1 九寨沟 28种林下乡土植物种子的基本特征

Table 1 Seed traits of twenty-eight native undergrowth species from Jiuzhaigou Biosphere Reserve, China

编号 Number	物种 Species	所属科 Family	生活型 Life form	长度 (mm) Length	宽度 (mm) Width	种皮厚度 (μm) Seed coat thickness	千粒重 (g) 1000-seeds weight
1	甘肃山楂 <i>Crataegus kansuensis</i>	蔷薇科 Rosaceae	AS	5.66±0.34	3.89±0.56	454.63±69.03	36.45±0.00
2	湖北吴萸 <i>Evodia henryi</i>	芸香科 Rutaceae	AS	—	—	—	5.62±0.10
3	陇东海棠 <i>Malus kansuensis</i>	蔷薇科 Rosaceae	AS	4.95±0.64	2.50±0.30	44.99±15.80	7.78±0.03
4	湖北花楸 <i>Sorbus hupehensis</i>	蔷薇科 Rosaceae	A	—	—	59.45±5.84	1.81±0.02
5	湖北英迷 <i>Viburnum hupehense</i>	忍冬科 Caprifoliaceae	A	5.52±0.24	4.26±0.30	60.31±6.02	13.68±0.15
6	青麸杨 <i>Rhus potaninii</i>	漆树科 Anacardiaceae	A	3.38±0.29	2.69±0.18	—	9.05±0.03
7	疏花槭 <i>Acer laxiflorum</i>	槭树科 Aceraceae	A	8.43±0.30	5.32±0.26	120.44±39.41	40.33±0.20
8	黑棕子 <i>Cornus polyphylla</i>	四照花科 —	A	3.34±0.27	2.91±0.31	72±8.01	13.10±0.02
9	球花英迷 <i>Viburnum glomeratum</i>	忍冬科 Caprifoliaceae	AS	8.03±0.53	5.41±0.33	107.39±12.27	32.72±0.15
10	高丛珍珠梅 <i>Sorbaria alba</i>	蔷薇科 Rosaceae	S	—	—	—	—
11	窄叶鲜卑花 <i>Sibiraea angustata</i>	蔷薇科 Rosaceae	S	—	—	—	0.14±0.00
12	蔷薇 <i>Rosa</i> spp	蔷薇科 Rosaceae	S	5.50±0.64	3.40±0.69	529.44±61.50	17.18±0.01
13	宝兴栒子 <i>Cornea sternoupiensis</i>	蔷薇科 Rosaceae	S	2.40±0.29	1.80±0.36	214.87±20.32	17.17±0.09
14	光泽栒子 <i>Cornea sternoupiensis</i>	蔷薇科 Rosaceae	S	4.38±0.33	2.67±0.26	218.35±24.66	10.37±0.13
15	鲜黄小檗 <i>Berberis diaphana</i>	小檗科 Berberidaceae	S	6.12±0.52	2.69±0.26	57.65±7.75	9.27±0.00
16	巴东小檗 <i>Berberis henryana</i>	小檗科 Berberidaceae	S	5.26±0.52	2.62±0.27	76.67±8.09	9.47±0.02
17	长叶毛花忍 <i>Lonicera trichosanthes</i> var. <i>xenocalyx</i>	忍冬科 Caprifoliaceae	S	—	—	43.05±1.69	0.50±0.00
18	金花忍冬 <i>Lonicera chrysantha</i>	忍冬科 Caprifoliaceae	S	3.65±0.30	2.71±0.31	48.00±5.51	3.36±0.00
19	光枝柳叶忍冬 <i>Lonicera lanceolata</i> var. <i>glabra</i>	忍冬科 Caprifoliaceae	S	4.96±0.49	3.66±0.48	75.67±11.14	7.64±0.01
20	宽叶旌节花 <i>Stachyurus chinensis</i>	旌节花科 Stachyuraceae	S	4.12±0.33	3.41±0.23	69.76±12.38	12.94±0.04
21	糙叶五加 <i>Acanthopanax henryi</i>	五加科 Araliaceae	L	5.51±0.40	2.53±0.30	50.93±3.25	4.85±0.04
22	秤杆藤 <i>Actinidia callosa</i> var. <i>henryi</i>	猕猴桃科 Actinidiaceae	L	2.01±0.12	1.33±0.10	54.10±3.25	1.05±0.00
23	毛果铁线莲 <i>Clematis pterae</i> var. <i>trichocarpa</i>	毛茛科 Ranunculaceae	L	3.16±0.20	2.44±0.22	93.41±9.04	3.19±0.02
24	丝瓜花 <i>Clematis lasantha</i>	毛茛科 Ranunculaceae	L	3.34±0.22	2.09±0.22	109.49±9.14	1.31±0.01
25	甘青铁线莲 <i>Clematis tangutica</i>	毛茛科 Ranunculaceae	L	4.13±0.15	3.30±0.21	60.41±6.15	4.88±0.03
26	耳叶风毛菊 <i>Saussurea neofranchetii</i>	菊科 Compositae	PH	4.61±0.31	1.03±0.11	57.76±10.32	1.94±0.02
27	假升麻 <i>Aruncus sylvestris</i>	蔷薇科 Rosaceae	PH	—	—	—	<0.01
28	独活 <i>Heracleum hemisphaerum</i>	伞形科 Umbelliferae	PH	8.11±0.48	—, ±0.26	44.39±4.23	6.34±0.10

注: 表中数值为平均值±标准差; —表示未测定; AS 乔木或灌木; S 灌木; L 藤本; PH 多年生草本。

Note: Numerical value is means±SD in table 1. “—” indicate no data. AS Arhor or Shrubs; S Shrubs; L Liang; PH Perennials

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

特征在物种之间存在一定的差异性,种皮厚度的最大值与最小值之间相差 12.3 倍,而在长度、宽度上的变化不是很明显,各物种的千粒重之间的差异明显,疏花槭最高,达 4.03 g。在测定的试验物种中 18 种植物种子中为小的种子 ($<1\text{ mg}$), 9 种为中等大小的种子 ($1\sim9.9\text{ mg}$), 而假升麻的千粒重远小于 0.01 g 。

就生活型来看, 28 种植物中乔木种子长度的范围在 $2.00\sim9.00\text{ mm}$, 宽度范围在 $1.00\sim6.00\text{ mm}$, 种皮厚度范围在 $40.00\sim460.00\text{ }\mu\text{m}$, 千粒重的范围在 $0.50\sim4.05\text{ g}$ 。灌木种子长度的范围在 $2.00\sim8.15\text{ mm}$, 宽度范围在 $1.00\sim5.40\text{ mm}$, 种皮厚度范围在 $43.00\sim530.00\text{ }\mu\text{m}$, 千粒重的范围在 $0.01\sim1.75\text{ g}$ 。草本种子 (不含未测定) 长度、宽度、种皮厚度如下表, 千粒重的范围 $<0.20\text{ g}$ 。草、灌木生活型间的差异不明显。

依据种子性状所进行的聚类分析发现, 28 种植物基本归类为 4 个种组 (图 1)。包括巴东小檗、糙叶五加、陇东海棠、鲜黄小檗、光枝柳叶忍冬、毛果铁线莲、宽叶旌节花、甘青铁线莲、秤花藤、耳叶风毛菊、光泽栒子、宝兴栒子、黑棕子、丝瓜花在内的 14 种归为 A 组, 其共同特征是种子长度 ($2.01\sim6.12\text{ mm}$)、宽度较小 ($1.03\sim3.66\text{ mm}$), 千粒重较低 ($1.05\sim17.17\text{ g}$)。包括疏花槭、球花荚蒾、湖北荚蒾 3 种为 B 组, 其共同特征是种子长度 ($5.52\sim8.43\text{ mm}$)、宽度较大 ($4.26\sim5.41\text{ mm}$), 千粒重较高 ($32.72\sim40.33\text{ g}$), 活力较高 ($60.67\%\sim75.33\%$)。D 组含甘肃山楂、蔷薇 2 种, 共同特征是种皮厚 ($454.63\text{ }\mu\text{m}$, $529\text{ }\mu\text{m}$), 种子活力高 (94.67% , 85.33%), 而独活单独呈 C 组, 其种子长度、宽度大 (8.11 mm , 5.32 mm), 种皮厚度小 ($44.39\text{ }\mu\text{m}$), 活力高 (88.67%)。

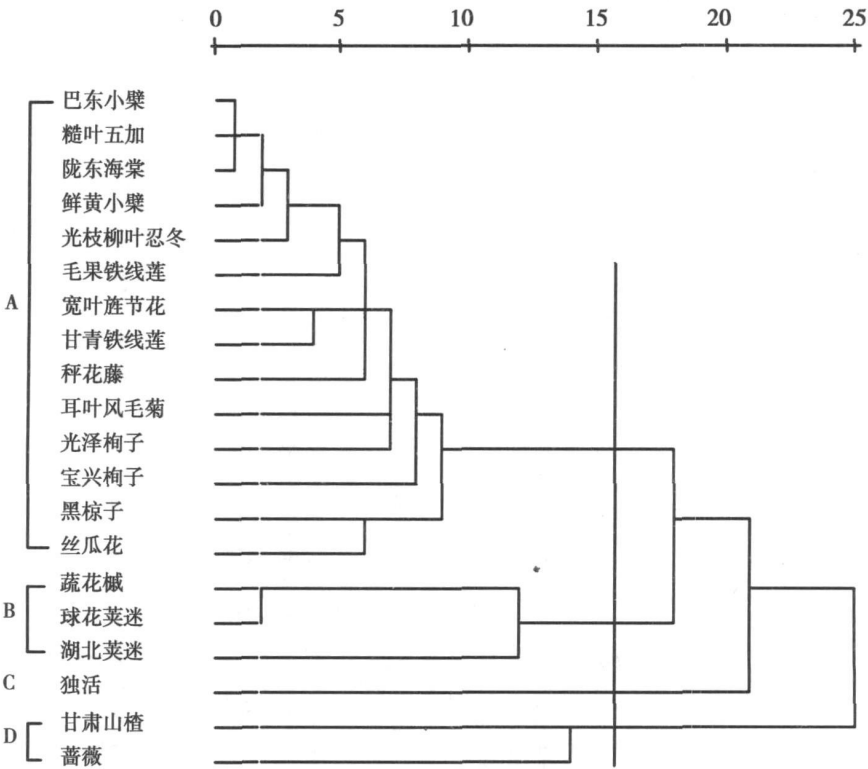


图 1 九寨沟 28 种林下植物种子性状聚类分析

Fig 1 Cluster analysis of seed traits for 28 undergrowth plant species from Jiuzhaigou Biosphere Reserve, China

种子活力与萌发能力

对已测定的 22 种乡土物种的种子活力的测定结果如图 2 所示, 从活力测定结果可看出总体上种子活力较高, 但也存在着差异, 活力最高达 97.33%, 最低为 0。多数种子活力在 60%~100%

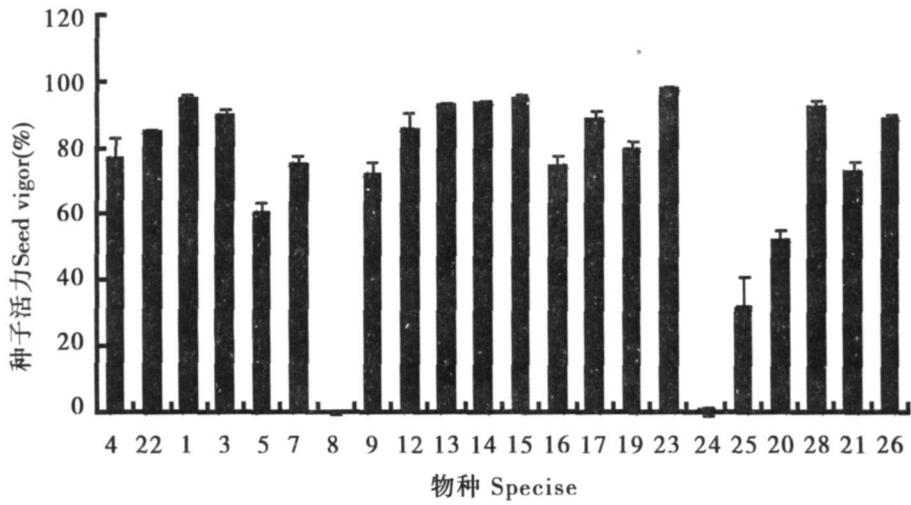
范围内, 在乔木植物种的种子活力上, 除黑棕子活力为 0 外, 其余物种均在 60% 以上。但灌木植物种中丝瓜花、甘青铁线莲和宽叶旌节花 3 种植物种子活力活力偏低, 分别为 0.67%、32%、52%, 其他物种种子活力均在 70% 以上。活力是种子萌发的前提

条件, 所以活力不高在一定程度上也可能影响了种子的萌发。

在常规萌发实验中, 28 种种子中大部分 (21 种即 75%) 没有萌发 (结果未显示), 其中多数是活力高的物种。只有湖北花楸、高丛珍珠梅、窄叶鲜卑花、鲜黄小檗、长叶毛花忍冬、耳叶风毛菊、假升麻 7 种 (图 3) 萌发。其中鲜黄小檗、长叶毛花忍冬和耳叶风毛菊的活力均高达 80% 以上, 但萌发率小于 50%; 湖北花楸的活力较低为 76.67%, 其萌发率最

低, 为 5%。窄叶鲜卑花发芽率最高, 为 81.3%。

7 种植物种子萌发过程与格局、萌发持续时间不同。湖北花楸、窄叶鲜卑花、假升麻持续时间较长, 其他 4 个物种相对较短; 高丛珍珠梅最快出现累积萌发高峰期, 湖北花楸出现累积萌发高峰期相对较晚, 它们的发芽进程如图 4 左所示, 可归纳为 3 种萌发趋向。1) 速萌型: 窄叶鲜卑花; 2) 缓萌型: 湖北花楸、假升麻; 3) 中间型, 高丛珍珠梅、鲜黄小檗、长叶毛花忍冬、耳叶风毛菊。



注: 见编号对应物种见表 1。Note: The number of species is according with the number in table 1.

图 2 九寨沟保护区 22 种林下植物种子的活力比较

Fig. 2 Seed vigor of 22 undergrowth plant species from Jiuzhaigou Biosphere Reserve, China

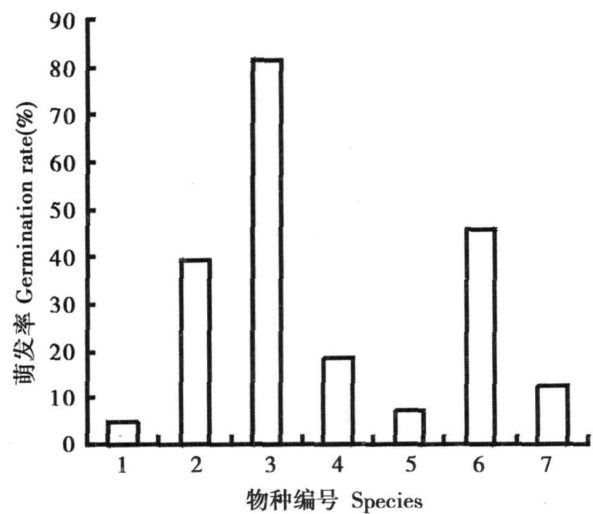


图 3 九寨沟林下 7 种乡土植物常规条件下的种子萌发率

Fig. 3 Germination rate of seven undergrowth native species under regular laboratory condition from Jiuzhaigou Biosphere Reserve, China

1. 湖北花楸 (*Sorbus hupehensis*); 2. 高丛珍珠梅 (*Sorbaria alba*);
3. 窄叶鲜卑花 (*Sibiraea angustata*); 4. 鲜黄小檗 (*Berberis diaphana*);
5. 长叶毛花忍 (*Lonicera trichosanthes* var. *xerocarpa*); 6. 耳叶风毛菊 (*Saussurea neofianchettii*); 7. 假升麻 (*Ajuncus sylvestris*)

经过低温层积后, 只有湖北花楸、窄叶鲜卑花、蔷薇、宽叶旌节花、毛果铁线莲、假升麻 6 种植物种子有萌发 (见图 4 右), 而陇东海棠、鲜黄小檗和独活 3 种子在低温层积结束前已出现萌发。低温层积后有 10 种植物种子的萌发率没有变化, 其中包括甘肃山楂、青麸杨、疏花槭、黑棕子、球花英迷、宝兴栒子、光泽栒子、光枝柳叶忍冬、丝瓜花、甘青铁线莲; 蔷薇、宽叶旌节花、毛果铁线莲层积前种子萌发率均为 0 但层积后种子的萌发率分别提高到 8.7%、9.3%、18%。而窄叶鲜卑花层积前萌发率达到 80%, 层积后的种子萌发率有所下降, 但差异不显著, 湖北花楸低温层积后萌发率有所提高, 层积前后的差异不显著。陇东海棠、鲜黄小檗和独活经过低温层积的萌发率分别约为 70%、60%、80%, 与低温层积前相比, 萌发率均有所提高。

种子萌发能力与种子基本性状特征以及植物生活型间的关系

通过对种皮厚度、千粒重、种子活力与低温层积

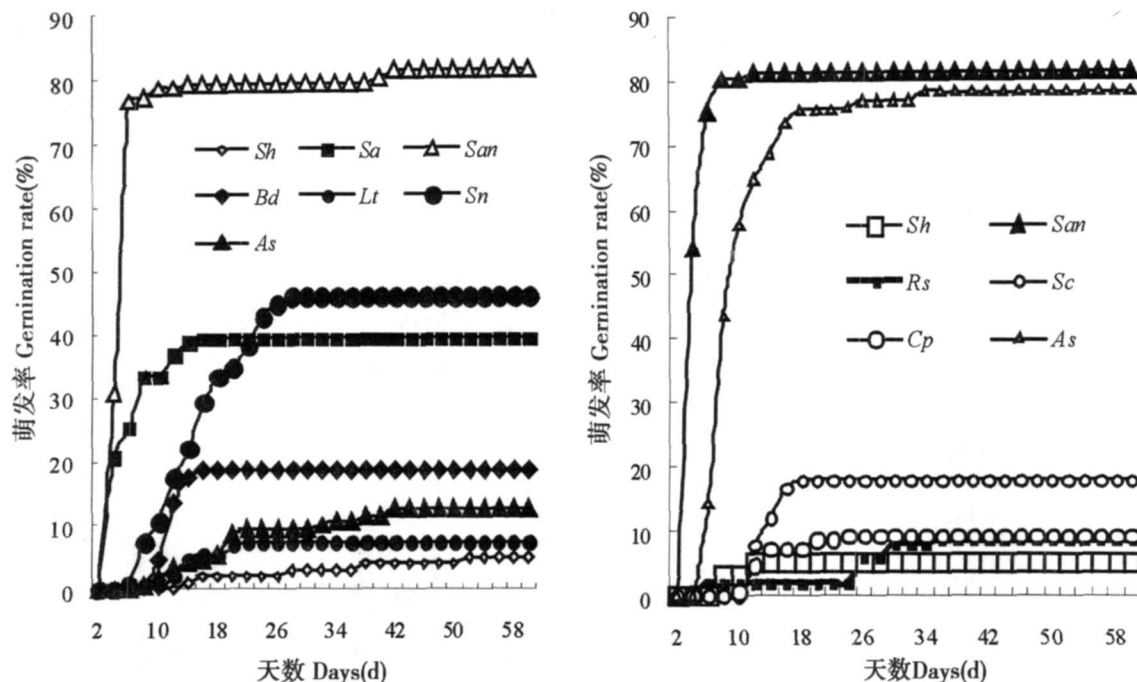


图 4 低温层积前(左)和低温层积后(右)九寨沟林下 10 种种子萌发进程

Fig 4 Germination progress for ten undergrowth species under two treatments with cold stratification(left

and without cold stratification(right) from Jiuzhaigou Biosphere Reserve, China

Sh湖北花楸 (*Sorbus hupehensis*); Sa高丛珍珠梅 (*Sorbaria arborea*); San窄叶鲜卑花 (*Sibirea angustata*); Bd鲜黄小檗 (*Berberis diaphana*); Lt长叶毛花忍 (*Lonicera trichosantha var. xerocalyx*); St耳叶风毛菊 (*Saussurea neofranchetii*); As假升麻 (*Ajuncus Sylvester*); R蔷薇 (*Rosa* spp.); S宽叶旌节花 (*Stachyurus chinensis*); Cl毛果铁线莲 (*Clematis petrae var. trichocarpa*)

前种子萌发率的相关性分析结果表明,种皮厚度、千粒重与萌发率之间均存在着负相关关系,但相关性不显著 ($P > 0.05$)。种子活力与萌发率之间存在正相关关系,相关性不显著。在新采集的 28 种植物种子的萌发实验中,灌木植物种子出现萌发的物种较草本植物种子出现萌发的物种多。

3 讨论与结论

在九寨沟林下 28 种乡土观赏植物中,大部分(高丛珍珠梅、长叶毛花忍冬、耳叶风毛菊、假升麻、青麸杨、湖北英迷、湖北吴萸)的种子基本特征均为首次报道,这为九寨沟植物种子生态学研究提供了基本信息(见表 1)。

种子萌发与休眠

乡土植物的种子基本性状、质量以及种子休眠程度与萌发能力是通过种子直播开展植被恢复时的物种筛选手段之一。本研究结果表明,在本实验中,大种子在低温层积前未出现萌发,中等大小的种子中 20% 出现萌发,相对而言,小种子出现萌发的比

例较大,4 种小种子均有萌发。且供试 28 种物种中大部分物种的常规萌发能力基本上都很低,仅有湖北花楸、高丛珍珠梅、窄叶鲜卑花、鲜黄小檗、长叶毛花忍冬、耳叶风毛菊、假升麻 7 种植物种萌发。在具有萌发率的 7 种植物种中,小种子窄叶鲜卑花的萌发率高达 80% 以上,其他 6 种植物在 3% ~ 50% 之间,但甘肃山楂、称花藤、疏花槭、陇东海棠、球花英迷、巴东小檗、蔷薇、宝兴栒子、光泽栒子、光枝柳叶忍冬、甘青铁线莲、毛果铁线莲、宽叶旌节花、糙叶五加、独活 15 种植物种的活力较高但却未出现萌发,说明这些植物的种子具有或多或少的休眠特性与休眠适应策略。

种子大小显著影响着种子的萌发能力,Greips 等^[9]的研究结果表明,不同种群的种子大小也存在差异,同时其发芽率也存在差异,小种子的萌发率仅为大种子的 50%,而萌发速度为大种子的 10 倍;Happer 等^[20]研究也表明小种子萌发明显慢于大种子。无论是在种内还是种间,种子大小都对种子萌发和幼苗生长有着显著的影响,大种子比小种子具有更快的萌发速率和萌发率,但小种子比大种子

产生的幼苗具有更大的相对增长率^[21]。在本实验中, 大种子在低温层积前未出现萌发, 相对而言, 小种子均有萌发, 这可能与萌发条件、种子休眠等因素有关。目前, 对于种子大小和种子休眠之间的关系的研究结果还没有一致结论。本研究中小种子窄叶鲜卑花、中等大小种子鲜黄小檗的萌发率分别为 81.3%、18.7%, 在萌发进程上窄叶鲜卑花萌发开始时间较早, 持续时间较短, 属于速萌型, 其发芽率高、发芽持续期短的特性可以使之更早的占据有利生境提高竞争优势^[22], 这与来自甘南的鲜卑花物种基本一致, 但其种子质量略大于甘南的鲜卑花^[23]; 而同样来自甘南的鲜黄小檗^[23]在萌发率上要明显高于本实验的物种, 但本实验中鲜黄小檗萌发开始时间要早些但萌发持续时间短, 种子质量仍略高些, 这些差异显然是多因素造成的, 需要专门探讨。湖北花楸和假升麻发芽率低, 发芽持续期长适于潜势的发挥; 中间型的高丛珍珠梅、鲜黄小檗、长叶毛花忍冬、耳叶风毛菊发芽率低, 发芽持续期短。但甘肃山楂、称花藤、疏花槭、陇东海棠、球花荚迷、巴东小檗、蔷薇、宝兴栒子、光泽栒子、光枝柳叶忍冬、甘青铁线莲、毛果铁线莲、宽叶旌节花、糙叶五加、独活 15 种物种的活力较高但未出现萌发。在退化生态系统中, 许多植物由于环境因素的限制产生了种子活力较低的现象, 种子具有活力成为进行植被恢复的首要条件。而这些物种活力较高具有作为林下植被恢复物种的潜力, 但由于种子本身可能存在休眠影响种子的萌发, 因而需要直播前处理以满足植被恢复要求。

低温层积对种子萌发的影响

大部分生理休眠是胚和种皮两方面共同作用的结果: 胚的活动能力降低和种皮对胚的限制^[24-25], 胚和种皮在调控种子生理休眠过程中都起着重要的作用, 因此打破生理休眠需要解除种皮和胚对萌发的限制。低温层积是打破胚休眠的最常用的方法, 同时低温层积也能在一定程度上削弱种皮对萌发的限制。种子在低温层积的过程中可以软化种皮, 增加种子的透水通气性, 使种子胚萌发所需的酶、激素、可溶代谢物质以及其他化合物达到足够的水平。一些研究表明, 同一植物的高海拔地区种群由于长期适应低温环境, 种子对低温层积更敏感。低温层积处理能有效打破休眠, 提高发芽率^[26]。在本研究中, 低温层积显著提高了毛果铁线莲、宽叶旌节花、假升麻 3 种种子的发芽率, 其种皮厚度在 70~100

μm 之间, 120 d 左右的低温层积能有效打破其休眠, 提高发芽率, 其中假升麻的萌发率从低温前的 12.67% 提高到 70% 以上, 说明假升麻有明显的生理后熟。生理后熟是种子休眠机制之一^[27], 是抵御环境不稳定性的一种有效策略^[28-29]。蔷薇、毛果铁线莲、宽叶旌节花层积前未出现萌发, 层积后萌发率分别提高 5.3%、9.3%、18%, 但仍不是很高, 说明这两种植物种子具有深度的休眠, 这可能与低温层积的时间和温度条件等有关。本研究中陇东海棠、鲜黄小檗、独活 3 种种子在低温层积不到 120 d 已萌发且萌发率较低温层积前有所提高。而其他物种通过低温层积没有打破其休眠或提高萌发率可能与低温层积的时间和温度条件有关。其中窄叶鲜卑花层积前后萌发率变化不大, 仍高于 70%, 说明这种植物种子萌发力很强。而其他则可能是由于种皮较厚, 或者胚的休眠程度太深, 短时间的低温层积不足以打破休眠, 需要在层积前对种子进行沙挫或硫酸腐蚀, 削弱种皮限制, 或者进行变温层积加速打破休眠进程^[30-33], 因此还需进一步的实验研究以探究打破该地区种子休眠的技术和有效提高种子发芽率的方法和措施。

对九寨沟旅游干扰地段林下植被恢复的建议

1. 所研究的 28 种乡土植物中, 17 种测定的物种活力较高 (> 72%), 均具有作为恢复物种的潜力。但 75% 的新采集种子的发芽率为 0%。大部分种子存在一定程度的休眠, 包括甘肃山楂、称花藤、疏花槭、陇东海棠、球花荚迷、巴东小檗、蔷薇、宝兴栒子、光泽栒子、光枝柳叶忍冬、甘青铁线莲、毛果铁线莲、宽叶旌节花、糙叶五加、独活。低温层积只显著提高了蔷薇、毛果铁线莲、宽叶旌节花、假升麻 3 种种子的发芽率, 也相对较早地提高了陇东海棠、鲜黄小檗、独活的萌发。对于其他物种的种子, 低温层积没能有效打破休眠提高发芽率, 尚需进一步根据种子的形态生理特征, 寻求休眠破除措施, 以提高种子直播后的发芽能力, 为直播创造条件。

2. 综合分析结果表明九寨沟 28 种林下或林缘乡土植物中窄叶鲜卑花、毛果铁线莲、宽叶旌节花、假升麻、陇东海棠、鲜黄小檗、独活等 12 种可直播或通过低温层积处理后直播用于旅游干扰退化地段的植被恢复中。

参考文献 (References)

- [1] Ellison AM. Interspecific and intraspecific variation in seed size and germination requirements of *sarracenia* (*sarracenia*) [J]. American

- Journal of Botany 2001 88: 429~437
- [2] Wu Gaojin, Du Guozhen, Shang Zhanhuan. Contribution of seed size and its fate to vegetation renewal: a review [J]. Chinese Journal of Applied Ecology 2006 17 (10): 1969~1972 [武高林, 杜国祯, 尚占环. 种子大小及其命运对植被更新贡献研究进展 [J]. 应用生态学报, 2006 17 (10): 1969~1972]
 - [3] Close DC, Wilson SJ. Provenance effects on pre-germination treatments for *Eucalyptus regnans* and *E. delegatensis* seed [J]. Forest Ecology and Management 2002 170: 299~305
 - [4] Fenner M, Thompson K. The Ecology of Seeds [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005
 - [5] Liu Zhimin, Li Xuehua, Li Rongping et al. A comparative study on seed germination of 15 grass species in Kedein Sandland [J]. Chinese Journal of Applied Ecology 2003 14 (9): 1416~1420 [刘志民, 李雪华, 李荣平, 等. 科尔沁沙地 15 种禾本科植物种子萌发特性比较 [J]. 应用生态学报, 2003 14 (9): 1416~1420]
 - [6] Ding Qiong, Wang Hua, Jia Guixia et al. Seed germination and seedling performance of *ammodendron mongolicum* [J]. Acta Phytocologica Sinica 2006 30(4): 633~639 [丁琼, 王华, 贾桂霞, 等. 沙冬青种子萌发及幼苗生长特性 [J]. 植物生态学报, 2006 30(4): 633~639]
 - [7] Grime JP, Mason G, Curtis AV et al. A comparative study of germination characteristics in a local flora [J]. Journal of Ecology 1981 69: 1017~1059
 - [8] Comparison of Germination Strategies of *Astragalus ordosicus* with its two congeners from deserts of China and Israel [J]. Acta Botanica Sinica 2000 42(1): 71~80 [黄振英, Gutteman Y. 油蒿与中国和以色列沙漠中的两种蒿属植物种子萌发策略的比较 [J]. 植物学报, 2000 42(1): 71~80]
 - [9] Valkonen S. Survival and growth of planted and seeded oak (*Quercus robur* L.) seedlings with and without shelters on field afforestation sites in Finland [J]. Forest Ecology and Management 2008 255: 1085~1094
 - [10] Rosales J, Cuenca G, Ramirez N et al. Native colonizing species and degraded land restoration in La Gran Sabana [J]. Restoration Ecology 1997 5: 147~155
 - [11] Ren H, Jian SG, Lu HF et al. Restoration of mangrove plantations and colonization by native species in Leiqiu Bay, South China [J]. Ecological Research 2008 23: 401~407
 - [12] Stanbury John A. Restoration of Boreal and Temperate Forests [M]. Taylor & Francis: CRC Press, 2005
 - [13] Li Wenjun, Ge Xiaodong, Liu Chunyan. Hiking trails and tourism impact assessment in protected area Jiuzhaigou Biosphere Reserve, China [J]. Environmental Monitoring and Assessment 2005 108: 279~293
 - [14] Li Yuyi, Bao Weikai, Zhu Zhi. Soil carbon and the effects of ecological and environmental protection [J]. China Population Resources and Environment 2005 15: 178~180 [李玉武, 包维楷, 朱珠. 土壤有机碳及其生态环境保护效应 [J]. 中国人口资源与环境, 2005 15: 178~180]
 - [15] Zhu Zhi, Bao Weikai, Pang Xueyong et al. Tourism effect on species composition and diversity of understorey plants in Abies fargesii var. faxoniana forest in Jiuzhaigou, Sichuan [J]. Biodiversity Science 2006 14 (4): 284~291 [朱珠, 包维楷, 庞学勇, 等. 旅游干扰对九寨沟冷杉林下植物种类组成及多样性的影响 [J]. 生物多样性, 2006 14 (4): 284~291]
 - [16] Wang Jing, Bao Weikai, He Binghui et al. Effect of tourism on nitrogen and phosphorus loss in surface runoff in Jiuzhaigou world nature heritage reserve [J]. Ecology and Environment 2006 15 (2): 284~288 [王晶, 包维楷, 何丙辉, 等. 旅游活动对九寨沟地表径流氮磷流失的影响研究 [J]. 生态环境, 2006 15 (2): 284~288]
 - [17] Yang Fengjian, Zhang Zhonghua, Wang Wenjie et al. Anatomical and Physiological differences of eight exotic species from asteraceae [J]. Acta Ecologica Sinica 2007 2 (27): 442~449 [杨逢建, 张袁华, 王文杰, 等. 八种菊科外来植物种子形态与生理生化特征差异 [J]. 生态学报, 2007 2 (27): 442~449]
 - [18] Li Xuehua, Liu Zhimin, Jiang Daming et al. A comparative study on seed weight, shape and germination characteristics of 7 *Astragalus* species [J]. Chinese Journal of Ecology 2004 23(5): 57~60 [李雪华, 刘志民, 蒋德明, 等. 2004 七种蒿属植物种子重量形状及萌发特性的比较研究 [J]. 生态学杂志, 23 (5): 57~60]
 - [19] Griepsson W, Davy AJ. Seed mass and germination behaviour in populations of the dune building grass *Leymus arenarius* [J]. Annals of Botany 1995 76: 493~501
 - [20] Harper JW, Overholt R, Martin JR. Effect of cultivar, temperature and seed size on the germination and emergence of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) [J]. Annals of Botany 1979 44: 301~308
 - [21] Baraboto C, Forget PM, Goldberg DE. Seed mass, seedling size and neotropical tree seedling establishment [J]. Journal of Ecology 2005 93: 1156~1166
 - [22] Bohumil M. Germination requirements of invasive and non-invasive *Atriplex* species: a comparative study [J]. Flora 2003 198: 45~54
 - [23] Cu Xianjiang, Wang Jufeng, Qi Wei et al. Seed germination characteristics of shrub species from the eastern Qinghai-Tibet Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica 2008 11(28): 5294~5302 [崔现亮, 王桔红, 齐威, 等. 青藏高原东缘灌木种子的萌发特性 [J]. 生态学报, 2008 11(28): 5294~5302]
 - [24] Nikolaeva MG. Ecological and physiological aspects of seed dormancy and germination [J]. Botanicheskii Zhurnal 2001 86: 1~14
 - [25] Baskin CC, Baskin M. A classification system for seed dormancy [J]. Seed Science Research 2004 14: 1~16
 - [26] Close DC, Wilson SJ. Provenance effects on pre-germination treatments for *Eucalyptus regnans* and *E. delegatensis* seed [J]. Forest Ecology and Management 2002 170: 299~305
 - [27] Baskin CC, Baskin M. Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination [M]. San Diego: Academic Press, 1998
 - [28] Baskin M, Baskin CC. The annual dormancy cycle in buried weed seeds: A continuum [J]. BioScience 1985 35: 492~498

- [29] Cohen D. Optimizing reproduction in a randomly varying environment J. Journal of Theoretical Biology 1966 12: 119~129
- [30] Denmore R, Zasada JC. Germination requirements of Alaskan *Rosa acicularis* J. Canadian Field-Naturalist 1977 91: 58~62
- [31] Xu Beimei, Zhang Zhihong, Zhang Huijin. A study on dormancy and germination of *Rosa* J. Seed 1993 63(1): 5~9 徐本美, 张志明, 张会金. 蔷薇种子萌发与休眠的研究[J]. 种子, 1993 63(1): 5~9
- [32] Zhou ZQ, Bao WK, Wu N. Dormancy and germination in *Rosa multiflora* J. Scientia Horticulturae 2008a 119: 434~441
- [33] Zhou ZQ, Wu N, Bao WK. Post-dispersal factors regulating dormancy and germination of *Rosa soulieana* achenes J. Belgian Journal of Botany 2008b 141: 103~111

Seed Traits of Twenty-eight Ornamental Undergrowth Native Species from Jiuzhaigou Biosphere Reserve, China

SU Weimei², BAO Weikai¹, ZHOU Zhifeng

(1. Key Laboratory of Ecological Restoration, Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Seed traits of 28 ornamental native undergrowth species from Jiuzhaigou, including seed length, seed width, the thickness of seed coat, 1000-seed mass, viability, germination percentage and the effect of cold stratification were investigated in order to assess the traits of them and to choose the suitable species for undergrowth vegetation restoration on patched degraded sites resulted from tourism. Results showed that: 1) 14.3% of the twenty-eight species was small seed (<1 mg), 53.6% was medium seed (1~9.9 mg), and 32.1% with big seed (>9.9 mg). The small seeds all germinated, but most species with medium seeds and big seeds have seed dormancy compared to species with small seeds. 2) There are 77% seeds of the 28 species with high viability (>72%), only 7 species had germination before stratification. The highest germination percentage (80%) occurred for *Sibiraea angustata*, and the other 6 species germinated with percentage ranging from 3% to 50%. 3) Cold stratification did not release seed dormancy for most species. In our study, there are only 4 species including *Rosa* spp., *Clematis peterae* var. *trichocarpa*, *Stachyurus chinensis* and *Arunca sylvestris* ($P < 0.05$) with germination percentage increased by cold stratification. In addition, the germination of *Malus kansuensis*, *Berberis diaphana* and *Heracleum hemsleyanum* was advanced comparatively. The present study suggested that 28 species, including *Sibiraea angustata*, *Clematis peterae* var. *trichocarpa*, *Stachyurus chinensis*, *Arunca sylvestris*, *Malus kansuensis*, *Berberis diaphana* and *Rosa* sp. is suitable for seeding directly or seeding before cold stratification for undergrowth vegetation restoration in degraded sites resulting from tourism.

Key words: native species, seed germination, cold stratification, undergrowth vegetation restoration