旱生灌木岷谷木蓝种子的休眠与萌发特征*

曾 璠[1,2] 冷 俐[1] 包维楷**[1] 周志琼[1]

([1]中国科学院成都生物研究所 生态恢复与生物多样性保育四川省重点实验室,成都 610041;
[2]中国科学技术大学,合肥 230026)

摘 要 岷谷木蓝(*Indigofera lenticellata*)是横断山区干旱河谷广泛分布的豆科灌木。本文对其种子的休眠与萌发特征进行了研究。结果表明:岷谷木蓝种子具有物理休眠,其萌发困难的原因在于种皮的不透水性,种子的硬实比率高(85%),针刺种皮和沙摩处理能有效打破种子休眠,提高发芽率,其中沙摩 7 h 最为快速有效。岷谷木蓝种子发芽温度范围较广,10 ℃~30 ℃均可发芽,最适温度范围为 20 ℃~30 ℃,低温不利于种子萌发。岷谷木蓝具有一定的抗旱性,在聚乙二醇 6000(PEG)溶液模拟水分胁迫条件下,种子在 25% PEG 胁迫下仍能达到 100% 的发芽率,但水分胁迫对种子发芽有一定的延缓作用,发芽率和发芽速度降低,发芽周期和发芽准备期增长,发芽高峰期滞后。其中对于发芽能力检测的各项指标对水分胁迫的敏感性顺序为发芽指数 > 发芽势 > 发芽率。岷谷木蓝种子的发芽特征是对干旱河谷生存环境长期适应的结果。野外播种的适宜时间为 4 月初,并在播种前对种子进行 7 h 的沙摩处理。

关键词 岷谷木蓝;种子;温度;水分胁迫;发芽

中图分类号 Q948 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2009)12-2452-08

Seed dormancy and germination of xeric shrub *Indigofera lenticellata*. ZENG Fan[1,2], LENG Li[1], BAO Wei-kai[1], ZHOU Zhi-qiong[1] ([1]*Ecological Restoration and Biodiversity Conservation Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu* 610041, *China*; [2]*University of Science and Technology of China, Hefei* 230026, *China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2009, **28**(12): 2452-2459.

Abstract: *Indigofera lenticellata* is a leguminous shrub widely distributed in the dry valley of Hengduan Mountains. Its characteristics in seed dormancy and germination were studied in this paper. *I. lenticellata* seeds had the characteristics of physical dormancy, and the water-impermeability of seed coat was the main cause of difficulty to germinate. Hard seeds occupied about 85% of the total. Perforating the seed coat by a needle and scarifying the seeds by sand were the effective measures to break *I. lenticellata* seed dormancy. Scarification by sand for 7 h was the best treatment measure to improve the germination. The seeds germinated in a wide temperature range from 10℃ to 30 ℃, with the optimum temperature between 20 ℃ and 30 ℃. Low temperature was not beneficial to the germination. *I. lenticellata* had definite drought-resistant capability. Under the 25% polyethylene glycol 6000 (PEG)-simulated drought stress, the seed germination rate could reach to 100%. However, drought stress decreased the germination rate, retarded the germination process, prolonged the germination cycle and preparing period, and lagged the germination peak phase. The parameters reflecting the sensitivity of *I. lenticellata* seed germination to drought stress were in order of germination exponent > germination potential > germination rate. It was suggested that the optimal time for sowing *I. lenticellata* seeds in the field was early April, and the seeds should be scarified by sand for 7 h before sowing.

Key words: *Indigofera lenticellata*; seed; temperature; water stress; germination.

* 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-XB2-02)和西部之光博士资助项目(08C2041100)。
** 通讯作者 E-mail:baowk@cib.ac.cn
收稿日期:2009-03-23 接受日期:2009-08-17

横断山区干旱河谷是长江上游的一种特殊类型,具有重要的社会经济地位。但由于自然和人为的原因,生态环境脆弱,该区植被覆盖率低,水土流失严重,地质灾害频繁(张荣祖,1992)。20 世纪 70 年代以来,对干旱退化机理,恢复重建的策略进行了广泛的探讨和实践,但仍未形成成熟有效的治理策略,干旱河谷范围有扩大的趋势(包维楷等,1995;包维楷和陈庆恒,1999)。恶劣的自然环境和强度的人为干扰是该区生态退化的主要驱动因素,植被恢复与重建应选择耐旱、耐土壤瘠薄适应性强的乡土灌木和草本(周志琼等,2007,2008)。目前对该区乡土物种生长、繁殖与自然更新能力等特性的认识还处于起步阶段(Zhou *et al.*,2008,2009),许多乡土物种特别是一些对土壤具有改良作用的豆科植物的研究还比较缺乏,而对该类植物的自然繁殖更新特征,特别是种子休眠和萌发特征的研究是有效选择恢复物种,开展干旱河谷植被恢复的基础。

岷谷木蓝(*Indigofera lenticellata*)别名皮孔木蓝,属于豆科木蓝属多年生矮小灌木,为中国特有植物,广泛分布于四川西部和云南的西南部,生于海拔 1100 ~ 3500 m 的干旱河谷灌丛、干热河谷山坡上、高山栎灌丛等生境中。据干旱河谷灌丛的主要类型及其分布(刘文彬,1994)分析,岷谷木蓝是岷江上游干旱河谷广泛分布的豆科灌木,其根系发达,具有一定的固氮能力,对于地区水土保持和气候调节有重要作用,是可供选择的潜在优良恢复物种之一。目前对于岷谷木蓝的研究主要见于系统(方云亿和郑朝宗,1989)、分布式样的数值分析及资源利用等(尹国萍等,1992),而缺乏种群生态及繁殖更新方面的研究。干旱河谷岷谷木蓝的种子质量如何,是否具有休眠,种子萌发特征以及所需的环境条件如何,这些关乎植被恢复成败的问题都急待解决。

豆科植物的种子休眠一般是由于种皮的不透水引起的物理休眠,常称为硬实。硬实的比率在不同的物种以及不同的环境条件下存在巨大差异(Baskin & Baskin,1998)。利用物理和化学手段解除种皮的不透水性是打破物理休眠的常用方法。种子萌发主要受环境条件(特别是温度和水分)的影响。本文针对岷谷木蓝种子基本形态、休眠与萌发特征进行研究,探寻打破休眠的最佳方法,温度和水分对解除休眠种子萌发的影响,探讨种子萌发阶段对干旱河谷环境条件的适应性,为干旱河谷植被恢复中物种筛选,恢复实践措施的选择提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 种子的采集地区及区域概况

2005 年 8 月在岷江干旱河谷茂县附近进行种子采集。该区属于四川盆地西部边缘山地向青藏高原腹地过渡的高山峡谷地带,是长江重要支流岷江上游的中心地区,属于高原型季风气候,年均温 11.2 ℃,1 月均温 0.4 ℃,7 月均温 20.8 ℃,≥10 ℃ 的积温 3293 ℃,年降水量为 493 mm,年蒸发量为 1332 mm,干燥度为 1.74。海拔 2100 m 以下的半干旱河谷地带的主要土壤类型为新积土、黄棕壤、黑色石灰土和褐土。岷谷木蓝的伴生灌木主要为小叶杭子梢(*Campylotropis wilsonii*)、川甘亚菊(*Ajinia potaninii*)、小马鞍叶羊蹄甲(*Bauhinia faberi* var. *microphylla*)、小角柱花(*Ceratostigma minus*)、白刺花(*Sophora viciifolia*)和刺旋花(*Convolvulus tragacanthoides*)等。

1.2 种子的基本特征测定

种子采集后置于阴凉通风处晾 3 d,装入信封保存,室内温度变化范围 5 ℃ ~ 30 ℃(2005 年 9 月—2006 年 3 月)。剔除瘪壳、霉变、虫害、过大、过小及过嫩的种子,选择均一化程度较高的种子进行实验。种子千粒重和含水量根据《国际种子检验规程》(ISTA)采用高温烘干法,温度 105 ℃ 烘干 12 h,6 个重复,每个重复随机选出 100 粒完整种子。种皮厚度的测定(叶常丰和戴心维,1994)(内、外种皮的干、湿厚度均测)是将种子充分吸胀,取种子中部段种皮 2 ~ 3 mm^2,嵌入新鲜的胡萝卜中,进行徒手切片,在显微镜 10 × 10 下测量其吸胀厚度,然后将其晾干,再测其干厚度,然后按公式"种皮厚度(μm) = 测量值(mm) × 1000/100"计算种皮厚度,随机取 10 粒重复。种子活力的测定采用四唑法(于淑兰和皮苏,1994;朱翠华和于淑兰,1999),3 个重复,每个重复 50 粒种子,将种子用温水(约 35 ℃,自然冷却)浸泡 1 d,使种子充分吸胀(对仍未吸胀的种子,则用针刺破种皮,使之尽快充分吸胀),然后剥出种仁,加入适量 1% TTC(以充分浸泡种仁为度),再置于恒温箱中(30 ℃ ~ 35 ℃)保温 60 min,观测染色情况(凡胚和胚乳全部染色或仅有少部分胚乳染色较淡的为有活力种子,其余的均为无活力种子)。种子硬实率的测定用 50 ℃(自然冷却)水浸种,每 24 h 换水,4 d 后选出吸胀的种子和未吸胀的硬实种子,分别计数。

1.3 打破种皮障碍的实验设计

使用 2 种方法对种子进行预处理：A 针刺：用针刺破种皮，注意不要刺入胚内；B 沙摩：将种子与石英砂（取 3.0 mm 土壤筛筛下物，1.0 mm 土壤筛筛上物，用蒸馏水清洗干净，120 ℃ 高温灭菌）一起装入 250 ml 锥形瓶中，瓶口用纱布封好，总重 225 g。将锥形瓶固定在摇床上，以 250 r·min^{-1} 的转速进行种子沙摩。设置 7 个沙摩的时间梯度：2、3、4、5、6、7 和 8 h。将处理后的种子进行发芽实验：每个处理设置 3 个重复，每个重复 50 粒种子。实验前，用 50 ℃（自然冷却）的水浸种 24 h，2% 次氯酸钠溶液浸泡杀菌 30 min，再用蒸馏水洗净，将种子均匀放入垫有两层滤纸直径为 9 cm 培养皿中，加入少量蒸馏水，加盖。将培养皿放入人工气候箱（型号 PYX-300Q-300L）内进行种子萌发实验，设定人工气候箱温度为（25 ± 1）℃，光照强度为 35 μmol·m^{-2}·s^{-1}（每天 7:00—19:00 光照，其余黑暗）。以胚根长到种子长度的 1/2 为萌发标志，将发芽种子挑出，每 24 h 记录一次发芽情况，并适当补充无菌水保持滤纸润湿。实验时间为 20 d。同时设置未处理的硬实种子作为对照。

1.4 不同温度下种子萌发实验设计

设定 5 ℃、10 ℃、15 ℃、20 ℃、25 ℃、30 ℃ 6 个温度梯度，每个不同的温度均设定 3 个重复，每个重复为 50 粒针刺处理种子。发芽实验方法同 1.3，温度误差为 ± 1 ℃。实验时间为 30 d。

1.5 不同水分梯度下种子萌发实验设计

采用不同浓度的聚乙二醇（PEG 6000）溶液模拟水分胁迫（Michel & Kaufmann，1973；Roders & Tam，1977；Steuter *et al.*，1981；Emmerich（Hardegree，1994），其质量浓度梯度分别为：0、100、150、200、250、300 和 350 g·L^{-1}，对应的水势分别为：0、−0.20、−0.40、−0.60、−0.86、−1.20、−1.60 MPa，共设置 7 个水分梯度。每个处理设置 3 个重复，每个重复为 50 粒针刺处理种子。发芽实验前，用 50 ℃（自然冷却）的水浸种 24 h，再用 2% 次氯酸钠溶液浸泡杀菌 30 min，然后用蒸馏水洗净，再将种子均匀放入垫有 2 层滤纸的直径为 9 cm 培养皿中，加入 6 ml 相应浓度的 PEG 溶液，加盖。将培养皿放入人工气候箱（型号 PYX-300Q-300L）内进行种子萌发实验，设定人工气候箱光照强度为 35 μmol·m^{-2}·s^{-1}（每天 7:00—19:00 光照，其余黑暗），温度为（25 ± 1）℃。实验过程中，每 2 d 更换一次滤纸，补充相应浓度的 PEG 溶液，保持各 PEG 溶液浓度的相对稳定；不更换滤纸的那天在培养皿中定量加入 0.6 ml 蒸馏水，以补充水分的蒸发，尽量保持 PEG 溶液浓度，防止水势变化。种子萌发以胚根长到种子长度的 1/2 为标志，将发芽种子挑出，每 24 h 记录一次发芽情况。实验时间为 30 d。

1.6 数据处理

在种子发芽实验结束以后，根据每天记录的种子发芽数据计算以下指标：

$$\text{发芽百分数：}G_i = \sum N_i/D \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{发芽率：}G_R = N/D \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{发芽势：}G_M = N_M/D \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{发芽指数：}GI = \sum (N_i/n) \quad (4)$$

$$\text{平均发芽时间：}G_V = (\sum N_i \times n)/\sum n \quad (5)$$

式中：G_i 为第 i 天发芽百分数；G_R 为发芽率；G_M 为发芽势；GI 为发芽指数；G_V 为平均发芽时间；N_i 为第 i 天发芽的种子数量；N 为发芽种子总数；N_M 为种子发芽达到最高峰时的发芽种子数量（本实验中设定为从开始发芽日起，4 d 内发芽种子数量），n 为与 N_i 相对应的种子发芽天数，D 为供试种子的总数。

对种子的千粒重、含水量和种皮厚度进行描述性统计分析，对发芽率、发芽势、发芽指数和平均发芽速度进行描述性统计分析和多重方差检验（对萌发百分数先进行 $y = \arcsin(x)$（Song *et al.*，2005）的数据转换，以保证方差同质性），所用软件为 Excel 和 SPSS 11.5。

2 结果与分析

2.1 种子基本特征

岷谷木蓝种子的千粒重为（8.12 ± 0.35）g，其变异系数为 4.34%；含水量为（8.45 ± 0.08）%；在自然情况下外种皮厚度为（59 ± 9）μm，内种皮厚度为（384 ± 48）μm；在吸胀情况下外种皮厚度为（62 ± 10）μm，内种皮厚度为（399 ± 46）μm。种子较小，种皮厚度在吸水时增厚幅度不大。经四唑法测定，岷谷木蓝种子的染色率达到 99.3%，证明实验所用的岷谷木蓝种子活力很高，发芽潜力好。经硬实率测定实验，计算得出岷谷木蓝种子的硬实率达到 84.5%，硬实率较高。硬实是岷谷木蓝种子发芽困难的主要原因。

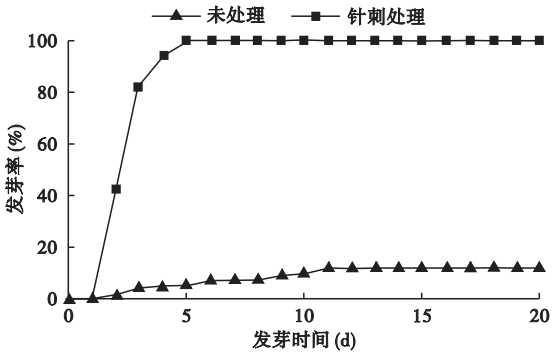


图1　针刺处理与未处理岷谷木蓝种子的发芽过程比较

Fig. 1　Germination courses of *Indigofera lenticellata* intact seeds and seeds perforated by needle

2.2　打破种皮障碍的方法比较

2.2.1　针刺对种子休眠与萌发的影响　如图1所示,针刺有效地解除了岷谷木蓝种子的休眠,提高了发芽率;针刺同时提高了发芽速度、缩短了发芽周期,增加了种子的发芽指数和发芽势。针刺处理后,种子发芽率从11%提高到100%,其准备期仅为1 d,从第2天开始迅速萌发,发芽周期仅为5 d。未处理的种子发芽率低,发芽期为2~11 d,发芽周期长(11 d);针刺显著提高了种子的发芽指数和发芽势,针刺处理的种子发芽指数(19.35±0.68)和发芽势(100±0)%显著高于对照种子的发芽指数(1.34±0.16)和发芽势(5.33±2.31)%。

2.2.2　沙摩处理对种子休眠与萌发的影响　沙摩处理有效地打破了岷谷木蓝种子的物理休眠,提高了种子的发芽率、发芽速度、发芽指数和发芽势,但沙摩时间的长短对种子萌发过程以及各项萌发指标具有显著的影响(图2和表1)。无论沙摩时间长短,经沙摩处理后的种子发芽率>90%,延长沙摩时间不仅提高了种子的发芽率,还缩短了萌发周期,促进了发芽高峰期的提前。沙摩2、3、4和5 h的硬实种子发芽周期约为18 d,发芽高峰期为第2~8天,而沙摩6、7和8 h的硬实种子发芽周期明显缩短,仅约为10 d,发芽高峰期为第2~5天(图2)。沙摩处理7 h对于解除岷谷木蓝种皮障碍引起的休眠是最适宜的,此时,种子的发芽率、发芽势和发芽指数均最高,平均发芽速度最快(表1)。

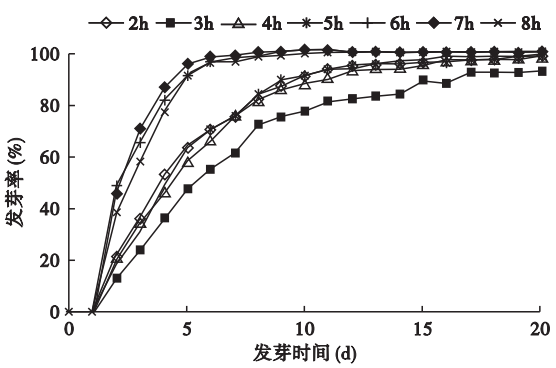


图2　不同沙摩时间处理的岷谷木蓝硬实种子的发芽过程

Fig. 2　Germination course of *Indigofera lenticellata* hard seeds rubbed by sand at different lengths of time

表1　不同沙摩时间下岷谷木蓝硬实种子各项发芽指标比较

Tab. 1　Comparison of indicators of the germination of *Indigofera lenticellata* hard seeds rubbed by sand at different lengths of time

不同沙摩处理时间(h)	发芽率(%)	发芽势(%)	发芽指数	平均发芽时间(d)
0	11%			
2	98.67±1.15 a	64.00±4.00 a	13.09±1.85 a	5.30±0.70 a
3	92.67±3.06 b	48.00±0.00 b	10.38±0.27 b	6.50±0.37 b
4	97.33±1.15 a	58.67±9.24 ab	12.47±0.98 a	5.55±1.18 ab
5	98.67±1.15 a	63.33±5.77 a	12.55±1.10 a	5.44±0.74 ab
6	100.00±0.00 c	92.00±3.46 c	18.59±1.12 cd	3.21±0.21 c
7	100.00±0.00 c	95.33±4.62 c	18.77±0.95 c	3.07±0.14 c
8	100.00±0.00 c	91.00±3.61 c	16.73±0.57 d	3.46±0.13 c

数值为平均值±标准差;同列不同字母差异显著。

2.2.3　沙摩与针刺处理对种子发芽过程影响的比较　选取沙摩处理7 h的硬实种子与针刺处理的硬实种子进行比较。种子发芽的准备期均为1 d,针刺处理的硬实种子发芽周期为5 d,发芽高峰期为2~3 d,而沙摩处理的硬实种子发芽周期为10 d,发芽高峰期为第2~5天(图3)。

针刺处理和沙摩7 h处理对于岷谷木蓝硬实种子发芽率、发芽指数和平均发芽速度均没有显著差异($P>0.05$),但仅从数值上看,针刺处理的种子发芽指数比沙摩处理的种子略高,平均发芽速度也略快一些。在发芽势这项指标上,二者有显著差异,沙摩处理的种子发芽势低于针刺的种子,表明针刺种子的发芽高峰期更早(表2)。

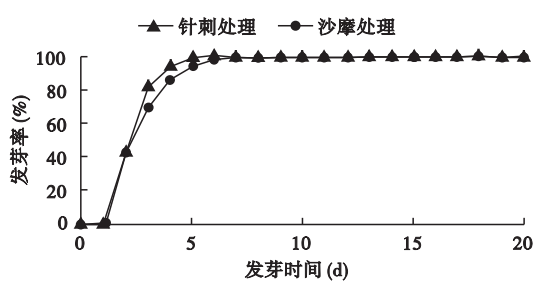


图3　沙摩处理与针刺处理的岷谷木蓝硬实种子的发芽过程

Fig. 3　Germination course of *Indigofera lenticellata* hard seeds rubbed by sand and perforated by needle

表 2 沙摩处理与针刺处理的岷谷木蓝硬实种子各项发芽指标比较

Tab. 2 Comparison of indicators of the germination of *Indigofera lenticellata* hard seeds rubbed by sand and perforated by needle

不同处理	发芽率 (%)	发芽势 (%)	发芽指数	平均发芽速度 (d)
沙摩	100.00 ± 0.00 a	95.33 ± 4.62 a	18.77 ± 0.95 a	3.07 ± 0.14 a
针刺	100.00 ± 0.00 a	100.00 ± 0.00 b	19.35 ± 0.68 a	2.81 ± 0.11 a

数值为平均值 ± 标准差 ;同列不同字母为差异显著。

2.3 温度对于岷谷木蓝种子萌发的影响

岷谷木蓝种子发芽的温度范围较广,在 10 ℃ ~ 30 ℃均可萌发。在 10 ℃条件下种子萌发的准备期明显增长,为 6 d,发芽周期长,为 30 d 左右,发芽率仅为 68%,且没有明显的发芽高峰期。而在其他温度条件下,种子萌发的准备期仅为 1 d,发芽周期为 10 d,发芽高峰期为第 2 ~ 5 天,发芽百分数达到发芽率的 76% ~ 94%,最终发芽率均达到 100%。在 5 ℃条件下,种子在实验进行的 30 d 内未见萌发(图 4)。

不同温度下,岷谷木蓝种子的发芽能力有一定的差异。5 ℃下岷谷木蓝种子不萌发,10 ℃下种子萌发的各项指标都与其他温度有显著差异($P < 0.05$),发芽能力明显低于其他温度条件。而 20 ℃、25 ℃和 30 ℃下种子发芽的过程相差不大,各项指标之间没有明显的差异,发芽能力基本相同。15 ℃下种子的发芽势和发芽指数与其他 3 个温度相比要低,且差异显著(表 3)。

温度对于岷谷木蓝种子的发芽过程有一定的影响。在 20 ℃ ~ 30 ℃,当温度升高和下降时,种子发芽的各项指标都变化不大,发芽过程几乎相同。在 15 ℃ ~ 20 ℃,种子的发芽率仍能达到100%,但发芽速度要稍慢,发芽高峰期相对较晚。但当温度低于 15 ℃时,种子发芽的过程变化大,发芽率大幅下降,发芽周期增长,发芽速度变慢,5 ℃时种子在实验结束时尚未萌发。

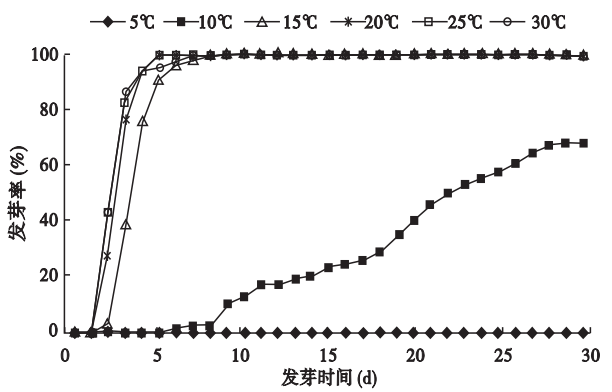


图 4 不同温度下岷谷木蓝种子的发芽过程

Fig. 4 Germination course of *Indigofera lenticellata* seeds at different temperatures

表 3 不同温度下岷谷木蓝种子各项发芽指标比较

Tab. 3 Comparison of indicators of the germination of *Indigofera lenticellata* seeds at different temperatures

发芽温度 (℃)	发芽率 (%)	发芽势 (%)	发芽指数	平均发芽速度 (d)
5	0	–	–	–
10	68.00 ± 8.00 a	14.67 ± 9.45 a	2.21 ± 0.29 a	17.94 ± 2.42 a
15	100.00 ± 0.00 b	91.33 ± 5.03 b	13.57 ± 0.93 b	3.97 ± 0.32 b
20	100.00 ± 0.00 b	99.33 ± 1.15 c	17.85 ± 0.56 c	3.04 ± 0.12 b
25	100.00 ± 0.00 b	100.00 ± 0.00 c	19.35 ± 0.68 c	2.81 ± 0.11 b
30	100.00 ± 0.00 b	95.33 ± 1.15 b	19.45 ± 1.60 c	2.85 ± 0.28 b

数值为平均值 ± 标准差 ;同列不同字母为差异显著。

除了 10 ℃以外,其他各温度下种子在发芽率和平均发芽速度的数值上都非常接近。15 ℃下种子的发芽指数和势略低于其他 3 个高温,表明种子发芽的发芽速度要比其他 3 个高温慢一些,发芽高峰期出现时间相对晚一些。由此得出,岷谷木蓝种子发芽的温度范围为 10 ℃ ~ 30 ℃,而最适发芽温度为 20 ℃ ~ 30 ℃(表 3)。

2.4 水分对于岷谷木蓝种子萌发的影响

2.4.1 水分胁迫下岷谷木蓝种子发芽过程的基本特征 随着水分胁迫程度加剧,岷谷木蓝种子的发芽有一定的延缓。在蒸馏水作对照的培养条件下,种子发芽的准备期为 1 d,发芽高峰期为第 2 ~ 3 天,发芽周期为 5 d。而在 PEG 溶液模拟水分胁迫培养的条件下,种子发芽的准备期增长,发芽高峰期期推迟,发芽周期也明显延长,且这种延缓作用随着 PEG 溶液浓度升高而愈加明显。在 10% PEG 培养条件下,种子发芽的准备期仍为 1 d,发芽高峰期为第 2 ~ 5 天,发芽周期为 12 d 在 20% PEG 培养条件下,种子发芽的准备期为 2 d,发芽高峰期为第 3 ~ 8 天,发芽周期为 20 d 在 30% PEG 培养条件下,种子发芽的准备期为 7 d,发芽高峰期不明显,发芽周期为 22 d 在 35% PEG 培养条件下,种子在实验进行的 30 d 内未见萌发,完全受到水分胁迫的抑制(图 5)。

2.4.2 不同水分梯度对岷谷木蓝种子发芽的影响 种子发芽率在水分胁迫不严重的时候能达到 100%,在 30% PEG 溶液培养时,种子发芽率开始下降,仅为 29.33%,在 35% PEG 溶液下种子已经完全被抑制,发芽率为0。种子的发芽势随PEG浓度

表 4　水分梯度下岷谷木蓝种子各项发芽指标比较

Tab. 4　Comparison of indicators of the germination of *Indigofera lenticellata* seeds under the moisture gradient

水分梯度(PEG 浓度)(%)	发芽率(%)	发芽势(%)	发芽指数	平均发芽时间(d)
CK	100.00 ± 0.00 a	98.67 ± 2.31 a	20.82 ± 1.09 a	2.58 ± 0.18 a
10	100.00 ± 0.00 a	94.00 ± 5.29 a	15.23 ± 1.26 b	3.66 ± 0.44 ab
15	100.00 ± 0.00 a	77.33 ± 12.86 b	11.26 ± 0.48 c	5.06 ± 0.40 b
20	100.00 ± 0.00 a	56.67 ± 14.05 bc	8.46 ± 1.09 d	7.08 ± 1.70 c
25	100.00 ± 0.00 a	34.00 ± 15.87 cd	4.36 ± 0.31 e	12.30 ± 0.72 d
30	29.33 ± 2.31 b	8.67 ± 1.15 d	1.01 ± 0.15 f	4.69 ± 0.89 b
35	–	–	–	–

数值为平均值 ± 标准差;同列不同字母为差异显著。

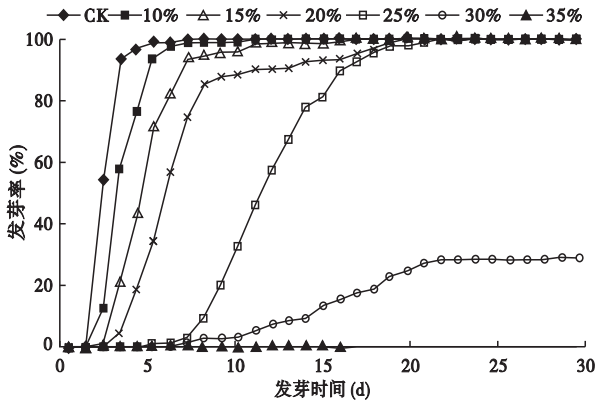


图 5　水分梯度下岷谷木蓝种子的发芽过程

Fig. 5　Germination course of *Indigofera lenticellata* seeds under the moisture gradient

升高而下降,但在 PEG 浓度很低时下降不明显。经方差检验,CK 和 10% PEG 胁迫条件下种子发芽势差异不显著($P > 0.05$)。发芽指数随水分胁迫加剧而显著下降,平均发芽速度也随水势下降而相应下降,值得注意的是 30% PEG 胁迫下种子的平均发芽速度为 4.69 d,反而有所升高,是因为发芽率低,发芽种子数比其他 PEG 胁迫的发芽种子数少的缘故(表 4)。

水分胁迫对于岷谷木蓝种子的发芽影响十分明显,各种浓度 PEG 处理胁迫对种子萌发均有一定的延缓作用。其中,35% PEG 处理的在种子在实验结束时仍未能萌发,表明岷谷木蓝种子萌发的临界 PEG 水分胁迫值应 < 35%(相当于 – 1.60 MPa 水势)。由于实验设置的 PEG 浓度梯度是从 30% 直接到 35%,所以不能准确地确定岷谷木蓝种子的临界 PEG 水分胁迫浓度。同时,虽然 25% 以下浓度的 PEG 胁迫时种子的发芽率仍然能达到 100%,但发芽速度变慢,萌发准备期增长,发芽高峰期滞后,表现在发芽势从 15% PEG 开始明显下降,这也验证了发芽势对于干旱胁迫比发芽率更敏感(Humara *et al.*,2000;McLarenl & McDonald,2003)。而发芽指数不仅包含了发芽的种子数量,还包括了发芽速度,是良好的种子活力指标,它对水分胁迫的反应更加灵敏,从 10% PEG 浓度就开始明显下降。

3　讨　论

3.1　种子休眠及打破休眠的方法比较

由种皮不透水引起的物理休眠是广泛存在于植物种子中的一种休眠类型,目前已经查明在漆树科、莲科、鼠李科等 15 个科中存在,而物理休眠在豆科中最为常见(Baskin *et al.*,2000,2004)。物理休眠的种子一般被称为硬实种子。本研究表明,岷谷木蓝种子的休眠比例很高,未经处理的种子发芽率低,这可能是岷谷木蓝长期适应干旱河谷恶劣生境的一种适应对策。种子休眠的存在使其萌发在时间和空间上分散,形成较大容量的土壤种子库,确保一部分种子能在适宜环境条件中萌发和存活。在自然生境中,高温、变温、火、干燥、低温以及经过动物的消化道可以解除物理休眠,促进种子萌发。

休眠的存在可能会增强植物适应环境的能力,但同时也限制了其在农业、园艺以及生态恢复等方面的应用。实验室打破物理休眠的方法一般采用物理(如针刺、沙摩、水烫等)、化学(硫酸、硝酸、双氧水等)以及生物(通过动物消化道)等方法(杨期和等,2006)。不同方法对不同种子解除休眠的效果存在较大差异。本实验中,岷谷木蓝通过针刺和沙摩处理后,种子发芽率可达到 100%,而且发芽迅速整齐,表明,这 2 种方法能有效地增加种皮的透水性,打破其休眠。比较针刺处理和沙摩处理对于打破岷谷木蓝硬实的效果,在发芽过程上几乎相同,只是针刺处理的种子发芽周期要稍短一些,发芽高峰期相对更早出现。对于室内小规模的发芽实验,针刺处理可以缩短发芽实验的时间,更快的获得研究

所需的数据,是优选方法;但对于野外大规模播种等植被恢复实践,需要的种子数量大,针刺处理费时费力,远不及沙摩处理高效迅速,此时,沙摩预处理是打破种皮障碍,使出苗整齐快速的最好方法。另外,针刺处理是人为操作,很难保证供试种子预处理后的均一性,会增加实验结果的随机误差,而沙摩处理是机械操作,在这一点上优于针刺处理。所以在实验结果精度要求很高的情况下,对种子进行沙摩预处理是更好的方案。

3.2 种子萌发对干旱河谷气候的适应性

植物种子的萌发特征与其所在的气候和生境条件密切相关,是植物对自然环境的一种适应(Baskin & Baskin,1998)。温度和水分是影响种子萌发的最主要因素。本研究中岷谷木蓝萌发的温度范围广,除了5 ℃下不能萌发外,10 ℃~30 ℃都能萌发,但10 ℃下的发芽率和发芽速度等明显较低,表明低温限制了种子发芽。前人的研究发现,种子发芽温度存在着上限(T_{max})和下限(T_{base})(Thompson,1974;Crowley & Jackes,1990;Grimstad & Frimanslund,1993;Birch *et al.*,1998;Tobe *et al.*,2001),而本次实验由于设定温度从5 ℃直接升高到10 ℃,所以只能确定岷谷木蓝种子发芽的Tbase在5 ℃~9 ℃,而具体数值还有待进一步研究。对于高温,由于岷谷木蓝种子在30 ℃时发芽情况仍非常好,未受到任何抑制,所以对于 T_{max} 也要进一步实验才能确定。根据干旱河谷月平均气温的变化情况,可以预测在自然生境中,岷谷木蓝从4月初开始会有少量种子萌发。岷谷木蓝这种能在较低温度下萌发的特征可以使其在干旱季节到来之前迅速生长,壮大其根系,提高抵抗干旱的能力,是对干旱河谷特殊气候的一种适应对策。

在干旱河谷,水分是限制植物生长的最主要因素。本研究表明,虽然随着水分胁迫程度的增加,其萌发率、发芽势、发芽指数等各项指标都显著降低,发芽周期延长,速度减缓,但即使在 -0.86 MPa 的水势条件下,种子的发芽率仍能达到100%,表明岷谷木蓝有较强的抗旱性。与其他物种相比(马常耕和王建华,1994;代莉等,2003;刘伟玲等,2003;魏媛和喻理飞,2004;朱教君等,2005),如长白落叶松(*Larix olgensis*)种子发芽的最高PEG浓度为14%,构树(*Broussonetia papyrifera*)种子为15%,油松(*Pinus tabulaeformis*)、鳞皮云杉(*Picea jezoensis* var. *microsperma*)和杉木(*Cunninghamia lanceolata*)种子为18%,樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)和刺槐(*Robinia pseudoacacia*)种子为20%,云南鼠刺(*Itea yunnanensis*)和日本柳杉(*Cryptomeria japonica*)种子为25%,岷谷木蓝种子具有更强的抗旱性,在30% PEG浓度胁迫下仍有少量种子萌发。这是该物种长期以来对干旱河谷特殊气候适应的结果,也表明在种子萌发阶段岷谷木蓝在种子萌发阶段耐旱性强,可以作为优先选择的植被恢复物种。

岷谷木蓝种子在不同温度和水分条件下的萌发特征表明其萌发的主要限制因子是水分,在休眠解除的条件下,在生长季节,只要水分达到萌发条件种子就能萌发。由于干旱河谷降水集中分布在4—10月,而岷谷木蓝种子萌发速度快,可以推测其在干旱河谷生境中岷谷木蓝在春、夏、秋3个季节都存在种子萌发。

3.3 植被恢复建议

岷谷木蓝由于具有较高程度的休眠,为了获得整齐快速的萌发效果,必须在进行播种前进行处理。相对针刺处理,沙摩更为经济快速。沙摩7 h能获得最佳的萌发效果。

从研究区茂县的气候条件看,茂县每月平均蒸发量都大于平均降水量,土壤全年都处于干旱缺水的状态;气温在4月以后高于10 ℃,适合岷谷木蓝种子发芽,此时降水量也逐渐增大。种子在春季尽早尽快萌发,可以确保萌发后的幼苗在干旱来临之前有足够的时间建立较庞大的根系系统,实现茎部的木质化,提高抵抗干旱的能力。因此,如采取种子直播方式进行植被恢复,应在4月初进行播种,并在播种前进行7 h的沙摩处理。

参考文献

包维楷, 陈庆恒, 刘照光. 1995. 岷江上游山地生态系统的退化及其恢复与重建对策. 长江流域资源与环境, **4**(3):277-282.

包维楷, 陈庆恒. 1999. 生态系统退化的过程及其特点. 生态学杂志, **18**(2):36-42.

代 莉, 谢双喜, 杨荣和. 2003. 水分胁迫对日本柳杉种子萌芽的影响. 贵州林业科技, **31**(4):15-19.

方云亿, 郑朝宗. 1989. 国产木蓝属的系统研究. 植物分类学报, **27**(3):161-177.

刘伟玲, 谢双喜, 喻理飞. 2003. 几种常见喀斯特森林树种种子发芽对水分胁迫的反应. 贵州林业科技, **31**(1):17-21.

刘文彬. 1994. 岷江上游半干旱河谷灌丛的主要类型. 山地研究, **12**(1):27-31.

马常耕, 王建华. 1994. 云杉、落叶松等在树种种子发芽对

水分胁迫的反应. 林业科学研究, 7(1):121-124.
魏　媛, 喻理飞. 2004. 构树种子发芽对水分胁迫的响应. 贵州科学, 22(2):57-60.
杨期和, 尹小娟, 叶万辉. 2006. 硬实种子休眠的机制和解除方法. 植物学通报, 23(1):108-118.
叶常丰, 戴心维. 1994. 种子学. 北京:中国农业出版社.
尹国萍, 陈士林, 肖小河, 1992. 中国木蓝属分布式样的数值分析及资源利用. 广西植物, 13(1):22-32.
于淑兰, 皮　苏. 1994. 23 种热带及亚热带林木种子生活力的生物化学测定研究. 种子, 14(6):2-7.
张荣祖. 1992. 横断山区干旱河谷. 北京:科学出版社.
周志琼, 包维楷, 吴福忠, 等. 2007. 岷江干旱河谷多苞蔷薇生长与繁殖特征. 应用生态学报, 18(7):1407-1413.
周志琼, 包维楷, 吴福忠, 等. 2008. 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, 28(4):1820-1828.
朱翠华, 于淑兰. 1999. 结缕草种子生活力的快速测定法. 种子, 19(1):19-20.
朱教君, 李智辉, 康宏樟, 等. 2005. 聚乙二醇模拟水分胁迫对沙地樟子松种子萌发影响研究. 应用生态学报, 16(5):801-804.
Emmerich WE, Hardegree SP(吴德相译). 1994. 聚乙二醇对种子萌发的影响. 种子, 14(1):59-61.
Baskin CC, Baskin JM. 1998. Seeds:Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Academic:Press San Diego.
Baskin JM, Baskin CC, Li X. 2000. Taxonomy, anatomy and evolution of physical dormancy in seeds. *Plant Species Biology*, **15**:139-152.
Baskin JM, Baskin CC. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, **14**:1-16.
Birch CJ, Hammer GL, Rickert KG. 1998. Temperature and photoperiod sensitivity of development in five cultivars of maize (*Zea mays* L.) from emergence to tassel initiation. *Field Crops Research*, **55**:93-107.
Crowley GM, Jackes BR. 1990. Germination characteristics in tropical provenances of *Allocasuarina littoralis* and *A. torulosa*. *Forest Ecology and Management*, **35**:227-238.
Grimstad O, Frimanslund E. 1993. Effect of different day and night temperature regimes on greenhouse cucumber young plant production, flower bud formation and early yield. *Scientia Horticulturae*, **53**:191-204.
Humara JM, Lopez M, Cassares A, *et al*. 2000. Temperature and provenance as two factors affecting *Eucalyptus nitens* seed germination. *Forestry*, **73**:87-90.
McLarenl KP, McDonald MA. 2003. The effects of moisture and shade on seed germination and seedling survival in a tropical dry forest in Jamaica. *Forest Ecology and Management*, **183**:61-75.
Michel BE, Kaufmann MR. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, **51**:914-916.
Roders JA, Tam T. 1977. Solution behavior of polyethylene glycols in water using vapor pressure osmometry. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, **67**:64-67.
Song WJ, Zhou WJ, Jin ZL, *et al*. 2005. Germination response of *Orobanche* seeds subjected to conditioning temperature, water potential and growth regulator treatments. *Weed Research*, **45**:467-476.
Steuter AA, Mozafar A, Goodin JR. 1981. Water potential of aqueous polyethylene glycol. *Plant physiology*, **67**:64-67.
Thompson TPA. 1974. Characteristics of the germination response to temperature of vegetable seeds. *Scientia Horticulturae*, **2**:35-54.
Tobe KZ, Zhang LP, Guo Y, *et al*. 2001. Characteristics of seed germination in five non-halophytic Chinese desert shrub species. *Journal of Arid Environments*, **47**:191-201.
Zhou ZQ, Bao WK, Wu N. 2009. Dormancy and germination in *Rosa multibracteata* Hemsl. & E. H. Wilson. *Scientia Horticulturae*, **119**:434-441.
Zhou ZQ, Wu N, Bao WK, *et al*. 2008. Post-dispersal factors regulating dormancy and germination of *Rosa soulieana* seeds. *Belgian Journal of Botany*, **141**:103-111.

作者简介　曾　璠,女,1984 年生,硕士研究生。主要从事种子生理生态学研究。E-mail:zengfan@ mail. ustc. edu. cn
责任编辑　刘丽娟