

濒危植物秦岭冷杉种子萌发特性的研究

赖江山¹ 李庆梅² 谢宗强^{1*}

(1 中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室, 北京 100093)

(2 中国林业科学院林业研究所, 北京 100091)

摘要 秦岭冷杉(*Abies chensiensis*)为中国特有种,主要分布于中国秦巴山地,现为渐危种,被列为国家二级保护植物。经测定,秦岭冷杉种子千粒重为(33.92 ± 1.01) g,与其它冷杉属的种子比较,其种子千粒重较大。四唑(TTC, 1.0%)染色测种子生活力的结果表明:有生活力的种子占26.00%,空粒占20.50%,溇粒占33.75%,说明秦岭冷杉种子饱满度很差,反映了比较高的种子败育率;染色结果与对比发芽实验的结果很接近,说明用四唑染色来测定秦岭冷杉种子的生活力是较准确的方法。把种子进行0、14、21、28 d低温(4℃)层积处理,发现低温层积可以显著提高种子发芽率和发芽势,但是层积21 d与28 d发芽势没有差异。设置恒温20℃、25℃和变温20~30℃3种温度条件下发芽比较,发现最终的发芽率并没有差异,但是发芽势差异显著,恒温25℃达到最大发芽率的90%的时间要比另外两种温度下提前9 d,可见25℃是秦岭冷杉种子发芽的适宜温度。光照(8 h·d⁻¹, 100 μmol·m⁻²·s⁻¹)和黑暗下种子的最后发芽率差异不显著,但是光照发芽势高,可见光照可以促进秦岭冷杉种子发芽迅速、整齐。实验证明,用砂床做发芽基质与用纸床做发芽基质相比,前者的发芽率和发芽势均比后者高。

关键词 濒危植物 秦岭冷杉 种子 萌发特性 低温层积 温度 光照 发芽基质

SEED GERMINATING CHARACTERISTICS OF THE ENDANGERED PLANT *ABIES CHENSIENSIS*

LAI Jiang-Shan¹ LI Qing-Mei² and XIE Zong-Qiang^{1*}

(1 Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

(2 The Research Institute of Forestry, the Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract *Abies chensiensis*, an endangered plant mainly distributed in Qinling Mountains and Dabashan Mountains, was listed as one of national protected plants at second category in China. There have been no reports about the study of seed germinating characteristics of *A. chensiensis* until now. The objectives of this study were to 1) identify whether cold stratification was effective for breaking the dormancy of *A. chensiensis* seeds and find out the optimum duration of cold stratification; 2) determine the optimal temperature for germination and whether alternating temperatures affected germination; 3) test whether germination was affected by light; 4) choose the better germination texture between silver sand and filter paper.

The 1 000-seed weight of *A. chensiensis* was (33.92 ± 1.01) g, which was higher than other fir seeds. The viability of seedlot was tested by TTC (1.0%). The results of seed dissection, reflecting the high seed abortion, showed that the percentages of viable seeds, empty seeds and shrunken seeds were 26.00%, 20.50% and 33.75%, respectively. Germination tests were performed to determine the effects of cold stratification (4℃ for 0, 14, 21 and 28 days), temperatures (two constant temperatures 20℃, 25℃ and an alternating 20–30℃), light (in light of 8 h·d⁻¹, 100 μmol·m⁻²·s⁻¹ and in darkness) and germination textures (filter paper and silver sand) on germination rate. The results showed that cold stratification could increase seed germination percentage and germination energy; the longer the duration of cold stratification, the higher the germination rate; but the percentages of germination energy did not increase if the duration was longer than 21 days. 25℃ was not better for the seed germination percentage, but was better for germination energy than the other two temperature regimes, because a 9-day treatment showed 90% of the biggest germination percentage in 25℃; and the alternating 20–30℃ did not increase the germination percentages of the seeds of *A. chensiensis*. Compared with those in darkness, light (8 h·d⁻¹, 100 μmol·m⁻²·s⁻¹) did not increase germination percentages, although it did increase germination energy; light was not indispensable for germination of *A. chensiensis* seeds, but did accelerate the process of germination. Great differences were found for germination percentage and germination energy in two germination textures; the percentages of germination and germi-

收稿日期: 2002-09-20 接受日期: 2003-03-24

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向课题(KSCX2-SW-104-04)、国家重点基础发展规划项目(G2000046805)和国务院三峡工程建设委员会重大课题(SX2001-003)

* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: xie@ns.ibcas.ac.cn

nation energy on silver sand were 19.75% and 16.75% respectively, but 8.00% and 6.00% on filter paper. The result showed that the silver sand was a better germination texture for *A. chensiensis* seeds than filter paper, perhaps because silver sand could offer more sufficient water for the germination of bigger seeds such as *A. chensiensis* than filter paper.

Key words Endangered plant, *Abies chensiensis*, Seed, Germinating characteristics, Cold stratification, Temperature, Light, Germination textures

秦岭冷杉(*Abies chensiensis*)是中国特有种,具有独特的生态效益和观赏价值。由于自然更新能力差,加之长期的砍伐和过度利用,该种的分布范围和种群数量正在日益缩减,其生存受到越来越多的威胁(傅立国, 1992)。国务院 1994 年 8 月 4 日批准公布的《国家重点保护的野生植物名录(第一批)》,将秦岭冷杉列为二级重点保护植物。

该种主要生长在中国的秦巴山地(由秦岭、巴山及两山之间的汉中盆地和月河盆地构成,处于中亚热带和暖温带的过渡地带),垂直分布范围为 1 350 ~ 3 200 m(张岂凡, 1999)。分布地的气候温凉湿润,年平均气温 7.7 °C,极端最高温不超过 35.0 °C,极端最低温不低于 - 15.3 °C,相对湿度不小于 78%,年降水量为 1 347 mm。秦岭冷杉主要生于阴坡及山谷溪旁的密林中,多数植株常不结实,仅有少数生长在光照充足地段的成龄植株能够正常结实,但有隔年结实的现象。在多数分布区内,该树种结实量非常有限,且种子易遭鼠类的啮食(傅立国, 1992)。加之林下杂灌丛生,即便有种子落下,也难以接触土壤,不能发芽生长,造成天然更新困难、持续繁衍能力极弱(王罗荣等, 2000)。

种子是植物生活史中的一个重要环节,是新生生命开始的幼小植物体,关系到种群的命运。种子萌发特性的研究是植物种群生物学特性研究中的重要课题。迄今为止,国内外有关秦岭冷杉种子萌发的研究未见报道。因此,秦岭冷杉种子萌发的一些关键问题有待研究:1)用低温层积法打破秦岭冷杉种子休眠是否有效? 如果有效,应层积多少天适宜? 2)种子萌发最适温度是多少? 3)光照是否对种子萌发有影响? 4)在发芽实验中,何种发芽基质更为适宜? 本文通过对上述问题的研究,阐明了秦岭冷杉种子萌发的特性,积累了秦岭冷杉对环境适应机制的基本资料,为进一步开展秦岭冷杉种群生态学研究奠定了基础。

1 材料和方法

本试验用的秦岭冷杉种子于 2000 年 10 月采于陕西省宁陕县,种子从球果上分离后贮藏在 4 °C 下

备用。种子萌发实验按每组 100 粒,4 个重复,置于 10 cm × 20 cm 的发芽盒中培养。种子的萌发以胚根达到种子长度的 1/2 为标志。萌发过程中每 24 h 观察 1 次,并将已萌发的幼苗取出,以发芽率和发芽势为指标,在发芽种子数达到高峰时计算发芽势,在发芽末期连续 5 d 发芽粒数平均不足供测种子总数的 1% 时计算发芽率。发芽率和发芽势计算公式如下(孙时轩, 1992):

$$\text{发芽率}(\%) = \frac{\text{正常发芽种子粒数}}{\text{参试种子总粒数}} \times 100\%$$

发芽势(%)

$$= \frac{\text{正常到达高峰时正常发芽种子粒数}}{\text{参试种子总粒数}} \times 100\%$$

所得数据在 95% 水平上进行单因子方差(One Way ANOVA)分析,萌发结果以百分率 ± 标准差表示。

1.1 种子千粒重的测定

从纯净种子中,随机取 100 粒为 1 组,共取 8 组,即为 8 个重复,计算平均值、标准差及变异系数,由此得出种子千粒重。

1.2 种子生活力测定

按照 ISTA(国际种子检验协会)种子检验规程(ISTA, 1996),采用四唑(1.0%)染色法测定秦岭冷杉种子的生活力。检验设 4 个重复,每个重复 100 粒种子,先把种子浸泡于 20 ~ 30 °C 水中 3 d,然后取出胚在 30 °C 条件下用四唑染色 18 h,染完色后根据种胚的着色程度和部位,按国际种子检验规程上的标准图鉴定种子的生活力。测定结果与用同一种批为实验材料的发芽实验结果比较。

1.3 种子萌发特征的测定

1.3.1 种子经过不同的低温层积时间的萌发

以湿沙为层积垫物,种子浸泡 3 d 后与湿沙按 1:3 的比例混合,在 4 °C 下层积,每天通气。层积时间分别为 0、14、21、28 d,层积后放在适宜温度(25 °C)、光照(8 h · d⁻¹, 100 μmol · m⁻² · s⁻¹)条件下进行种子萌发实验。

1.3.2 种子在不同温度下的萌发

选用层积 21 d 的种子作为实验材料,在光照条件下,在恒温 20 °C、25 °C 和变温 20 ~ 30 °C(低温 8

h, 高温 16 h) 3 种不同温度下分别进行种子萌发实验。

1.3.3 种子在光照或黑暗下的萌发

选用层积 21 d 的种子, 在适宜的温度 (25 ℃), 分别在光照和连续黑暗下进行萌发实验。

1.3.4 发芽基质对秦岭冷杉发芽影响

选用层积 21 d 的种子, 分别置于滤纸和细沙 (经过 0.8 mm 孔筛后灭菌使用) 的发芽床上, 在适宜温度 (25 ℃) 和光照下进行萌发。

2 结果与分析

2.1 种子的千粒重

通常, 大粒种子或重量大的种子比小粒种子具有较充实的贮藏物质 (傅家瑞, 1985)。就秦岭冷杉而言, 由于种子中有一定比例的空粒和涩粒, 因此应选择种子的重量指标来了解种子质量。经统计, 秦岭冷杉种子千粒重为 33.92 g。与冷杉属其它种子相比, 秦岭冷杉种子平均重量还是比较大的 (赵德铭, 2001)。种子的大小 (重量) 是每个后代物质与能量投资的指数, 大种子产出成本高, 周期长, 种子数量少 (Willson, 1983)。看来, 秦岭冷杉种子重量大, 产量不高, 是一种适应对策, 大粒种子可以贮藏更多的物质, 为种子萌发提供充足的营养物质和能量, 保证幼苗能够有充足的资源, 最大可能用于生长, 尽量争夺和占据空间, 在种间竞争中处于优势。

2.2 种子生活力

四唑染色法被广泛用于检验种子生活力, 该方法简便、准确、快速, 且能直接测每粒种子的发芽潜力, 不受休眠状态限制。结果表明, 有生活力的种子为 26.00%, 另外从解剖结果来看, 发现空粒和涩粒占的比例很大, 分别为 20.50% 和 34.75% (表 1)。说明秦岭冷杉发育良好的种子比率较低, 这可能也是秦岭冷杉自然繁衍能力很差的一个主要因素。在具有完整胚的种子中, 有 10% 的种子是腐烂粒。另外尽管无生活力种子中有一部分被染色, 但多是胚

芽端未染色。由于未染色的部位是胚芽, 它是叶、茎的原始体, 也是茎的生长点, 因此它没有生活力, 种子不能成苗。

用与四唑染色测生活力同一种批种子做发芽实验, 层积 28 d, 在恒温 25 ℃ 和光照条件下种子平均萌发率为 $23.00\% \pm 2.5\%$ (图 1), 略低于四唑染色的结果 26.00%。但单因素统计分析表明, 它们之间差异不显著 ($F = 1.37 < F_{0.05} = 5.99$, 自由度 $df = 1, 6$)。因此可以认为, 用四唑染色法可以很好地估计秦岭冷杉种子的生活力。建议在实践中如果没有条件做发芽实验的情况下, 用四唑染色法测定秦岭冷杉种子的生活力。

2.3 种子萌发特性

2.3.1 不同层积时间对秦岭冷杉种子萌发的影响

秦岭冷杉种子经不同的低温层积时间后的结果表明, 在恒温 25 ℃ 和光照条件下, 低温层积处理对秦岭冷杉种子的发芽率和发芽势均有比较显著的作用 (前者 $F = 3.82 > F_{0.05} = 3.49$, 后者 $F = 6.06 > F_{0.05} = 3.49$, 自由度 $df = 3, 12$), 即随着层积时间的增加, 可以明显提高种子的发芽率和发芽势, 起始发芽时间也提前 (图 1)。层积 28 d 比 21 d 最终的发芽率高, 但是它们的发芽势是一样的 (图 2)。

2.3.2 不同温度对秦岭冷杉种子萌发的影响

在光照条件下, 秦岭冷杉种子在恒温 20 ℃、25 ℃ 和变温 20~30 ℃ 的萌发结果表明 (图 3, 图 4), 不同的温度条件对最终的发芽率并没有显著影响 ($F = 0.18 < F_{0.05} = 4.26$, 自由度 $df = 2, 9$), 但是对发芽势有显著的影响 ($F = 4.78 > F_{0.05} = 4.26$, 自由度 $df = 2, 9$)。由图 3 可知, 在不同的温度条件下, 其发芽进程有很大的差异。恒温 25 ℃ 的发芽曲线在第十一天以后基本平稳, 而恒温 20 ℃、变温 20~30 ℃ 的曲线在第二十天以后才达到平稳。换言之, 在 25 ℃ 下, 秦岭冷杉种子仅需 11 d 左右的就可以达到最大萌发率的 90%, 而另外两种温度条件下却是 20 d 左右才能达到最大发芽率的 90%。这 9 d 时间的差

表 1 秦岭冷杉种子生活力的四唑染色法检验

Table 1 The seed viability of *Abies chensiensis*

	实验 1 Test 1	实验 2 Test 2	实验 3 Test 3	实验 4 Test 4	总计 Total	比例 Percentage (%)
有生活力 Seed with viability	24	28	25	27	104	26.00
无生活力 Seed without viability	15	7	7	12	41	10.25
空粒 Empty seed	21	23	21	17	82	20.50
涩粒 Shrunken seed	33	31	35	36	135	33.75
腐烂粒 Rotted seed	7	11	12	8	38	9.50

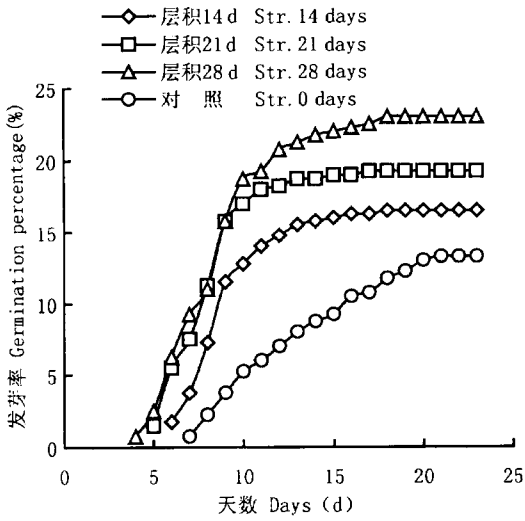


图1 不同层积时间秦岭冷杉种子的发芽过程
Fig.1 Germination of *Abies chensiensis* seeds after different stratification

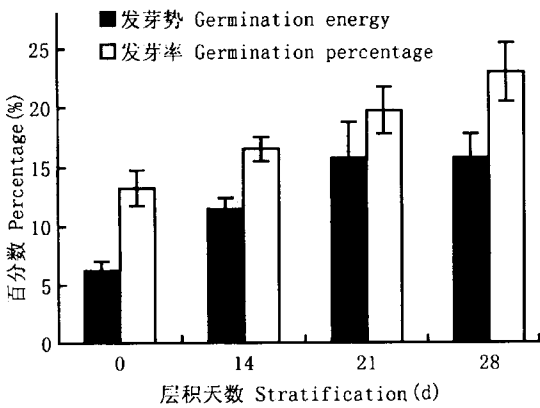


图2 不同层积时间对秦岭冷杉种子发芽率、发芽势的影响
Fig.2 Effect of different stratification on germination percentage, germination energy of *Abies chensiensis* seeds

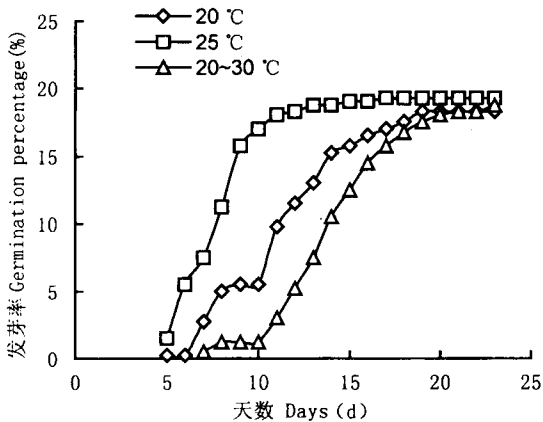


图3 不同温度下秦岭冷杉种子发芽进程
Fig.3 Germination of *Abies chensiensis* seeds in different temperatures

异,无论在理论上,还是在实践中都有很重要的意义。

2.3.3 光照对秦岭冷杉种子发芽的影响

在光照和连续黑暗条件下,秦岭冷杉种子最终平均发芽率并没有显著差异 ($F = 1.55 < F_{0.05} = 5.99$, 自由度 $df = 1, 6$), 但发芽势的差异却是显著的 (图5, 图6) ($F = 8.71 > F_{0.05} = 5.99$, 自由度 $df = 1, 6$), 说明光照对于秦岭冷杉种子萌发并不是必需的条件, 黑暗条件下种子仍然萌发, 但光照却能够加速秦岭冷杉种子的发芽进程。在有光照条件下, 种子在第十天的发芽率为 17%, 达到最大发芽率的 85%; 而黑暗条件下, 第十天时发芽率仅为 10%, 第二十天才达到 17% 的水平。二者相比, 在有光照条件下的发芽进程提前了 10 d。

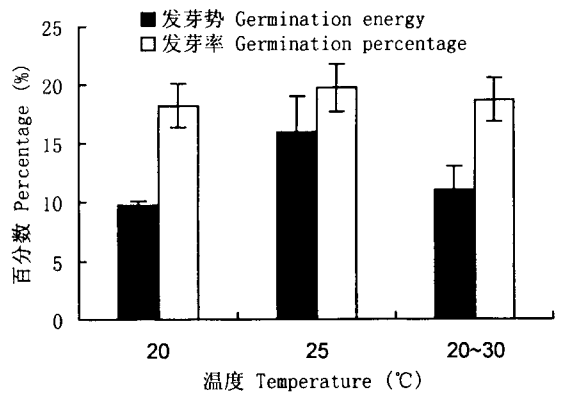


图4 温度对秦岭冷杉种子发芽率、发芽势的影响
Fig.4 Effect of different temperatures on germination percentage, germination energy of *Abies chensiensis* seeds

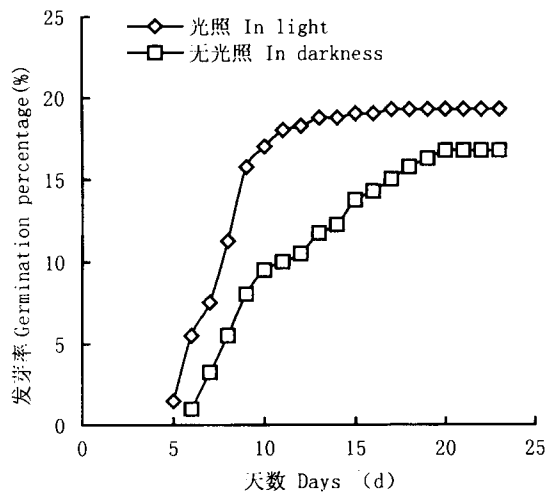


图5 秦岭冷杉种子在有光照和无光照下的发芽进程
Fig.5 Germination of *Abies chensiensis* seeds in light ($8 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$, $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) and darkness

2.3.4 发芽基质对秦岭冷杉种子发芽的影响

由图7和图8可以看出,在湿沙和滤纸两种基质上,秦岭冷杉种子都是播种后第五天开始发芽,但整个发芽进程和发芽结果都有很大的差别。在湿沙上萌发的秦岭冷杉种子的发芽率和发芽势分别是 $19.8\% \pm 2.0\%$ 和 $16.8\% \pm 3\%$, 在滤纸上的发芽率

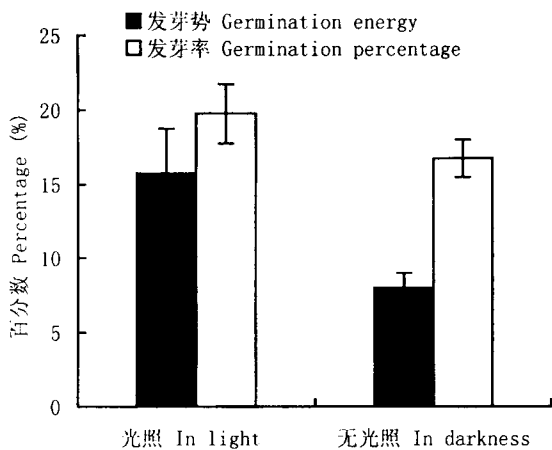


图6 光照对秦岭冷杉种子发芽率、发芽势的影响

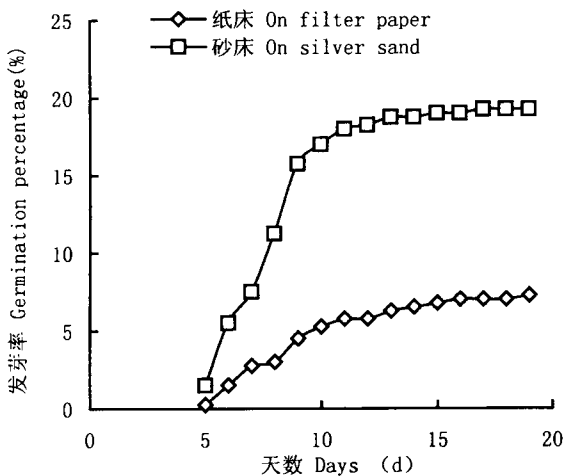
Fig.6 Effect of light on germination percentage, germination energy of *Abies chensiensis* seeds

图7 秦岭冷杉种子不同置床基质的发芽进程

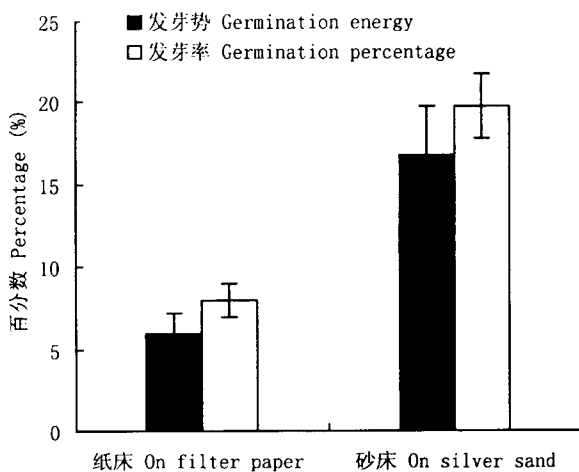
Fig.7 Germination of *Abies chensiensis* on different germination textures

图8 置床基质对秦岭冷杉种子发芽率、发芽势的影响

Fig.8 Effect of different germination texture on germination percentage, germination energy of *Abies chensiensis* seeds

和发芽势分别是 $8.0\% \pm 1.0\%$ 和 $6.0\% \pm 1.2\%$, 两者存在显著差异 (发芽率 $F = 15.21 > F_{0.05} = 5.99$,

发芽势 $F = 12.97 > F_{0.05} = 5.99$, 自由度 $df = 1, 6$)。很显然, 对于秦岭冷杉种子发芽而言, 细沙是更为适合的发芽基质。

3 讨论

种子的活力是种子质量的重要指标之一。活力旺盛的种子也就是无病的、能够萌发的饱满种子, 它们对环境条件的要求相对较低些, 一般情况下都能出土萌发成幼苗, 成为种群更新的补充库。因此, 种子质量的好坏是影响种群未来命运的关键因子 (谢宗强等, 2000)。大部分冷杉属种子质量是相当差的 (Franklin, 1974), 很多因素影响冷杉种子的质量 (Gosling et al., 1999)。其中很重要的一点是冷杉属结实率不高, 而且经常产生大量的死粒和空粒, 这些死粒和空粒很难除去, 因此经常污染了最后采集的种子批 (Keen, 1968)。这种现象可能是球花花期不遇或授粉不足造成的。不利的气象条件也会降低种子的质量, 花期多雨会阻碍花粉粒飞散。春季的严寒会使部分球花甚至全部球花中途败育 (赵德铭, 2001)。显然本文用四唑染色测定秦岭冷杉种子生活力及其解剖结果很好地验证了以上观点。

冷杉属种子经常处于不同程度的生理性休眠状态, 相对于大部分的针叶树种子而言, 要用特殊的预处理才能解除休眠 (Edwards, 1982; 1986; Tanaka & Edwards, 1986)。秦岭冷杉种子也具浅休眠, 在萌发之前最好先浸泡种子 3~5 d, 然后与湿沙 1:3 混合, 在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下进行低温层积处理, 这样可以明显提高种子的发芽率和发芽速率。实验证明层积的时间越长, 效果越好。一般情况下, 层积 1 个月左右的发芽率 (层积 28 d 发芽率 $23.0\% \pm 2.5\%$) 已经接近种子的生活力水平 (26.0%)。而没有经过层积处理的种子, 不仅发芽率低 ($13.3\% \pm 1.5\%$), 而且发芽晚, 发芽进程缓慢, 断断续续。但是, 层积 21 d 发芽势与层积 28 d 的很接近, 说明对于秦岭冷杉, 层积 3 周就可以达到解除休眠的效果。秦岭冷杉种子休眠作用是长期适应环境形成的一种生态对策: 秦岭冷杉种子在 10 月成熟, 此时已进入寒冷季节, 在冬季分布区气温经常低于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 如果没有休眠期, 萌发后遇到不良的环境终将致死。只有等到次年融雪期间才开始萌发生长, 此时的土壤含水量和温度才适于种子的萌发。因此秦岭冷杉种子的休眠首先在时间上避开了不良的环境。此外, 由于秦岭冷杉种子的休眠深度不同, 解除休眠的时间不一致, 呈现不整齐的萌发 (叶常丰等, 1994)。这种萌发时间不同步性减

少了竞争,有利于萌发植株的生存。

一般冷杉属种子发芽需要的温度是比较低的(赵德铭,2001)。本文实验结果表明,恒温 20 °C、25 °C 和变温 20~30 °C 3 种温度条件下最后的发芽率并没有差异,但是,发芽进程却有很大的差异。在 25 °C 下,秦岭冷杉种子仅需 11 d 左右就可以达到最大萌发率的 90%,而另外两种温度条件下却是 20 d 左右才能达到最大发芽率的 90%。这 9 d 时间的差异,对于处于弱势群体的秦岭冷杉,在种间竞争中抢占时间生态位非常重要。在苗圃育苗生产过程中,提前 9 d 基本达到最大发芽率,使苗木增加 9 d 的生长时间,可提高苗木生长量,保证苗木的充分木质化。这不仅可以节省大量的人力、物力,而且还可以使苗木出圃时间提前,抢断季节移栽。因此,不管是秦岭冷杉种子萌发实验还是育苗生产技术中,建议首选恒温 25 °C 的温度条件。

光照对于秦岭冷杉种子发芽是有利的,但不是必需的条件。我们的实验表明,在连续黑暗条件下,秦岭冷杉种子照样可以萌发,方差分析结果表明,在黑暗条件下的发芽率与在光照条件下两者并没有显著差异。但是在黑暗条件下,萌发的速率比较慢,发芽不整齐,发芽势比光照条件下低。有资料表明,秦岭冷杉在郁闭度大的林分中天然更新不良,而在林冠稀疏、排水良好的林缘、林窗处天然更新良好(傅立国,1992)。说明光照可以促进秦岭冷杉种子发芽。

滤纸作为一种种子发芽实验最常用的置床基质,具有方便、少污染、成本低的优点。但是,对于比较大的种子,用滤纸做发芽基质往往不能保证充足的水分供种子发芽,因为大粒种子往往只有与滤纸接触的部分可以吸收到水分,从而影响种子正常发芽。用细沙作为发芽基质却可以克服滤纸的缺点,因为沙可以半覆盖或是完全覆盖种子,使种子可以

吸收到充足的水分,而且沙之间有较大的空隙,保证充足氧气。本实验结果表明,在秦岭冷杉种子发芽基质的选择上,沙床比纸床好。

参 考 文 献

- Edwards, D. G. W. 1982. Improving seed germination in *Abies*. Proceedings of International Plant Propagators Society, **31**: 69 ~ 78.
- Edwards, D. G. W. 1986. Special prechilling techniques for tree seeds. Journal of Seed Technology, **10**: 151 ~ 157.
- Franklin, J. F. 1974. Seeds of woody plant in the United States. In: USDA Forest Service ed. Agriculture handbook. Washington D. C.: USDA Publishing House. 450.
- Fu, J. R. (傅家瑞). 1985. Physiology of seeds. Beijing: Science Press. 76 ~ 78. (in Chinese)
- Fu, L. G. (傅立国). 1992. China plant red data book. Vol. 1. Beijing: Science Press. 52. (in Chinese)
- Gosling, P. G., M. Parratt & A. Peace. 1999. Identifying the optimum pretreatment duration and germination temperature for *Abies nordmanniana* [(Steven) Spach] seed, and assessing the effect of moisture content and storage temperature on seed longevity. Seed Science and Technology, **27**: 951 ~ 962.
- ISTA. 1996. International rules for seed testing 1996. Seed Science and Technology, **24**(Suppl.): 151 ~ 154, 335.
- Keen, F. P. 1968. Cone and seed insects of western forest trees. USDA Technical Bulletin, **1169**: 108.
- Sun, S. X. (孙时轩). 1992. Silviculture. Beijing: China Forestry Publishing House. 48. (in Chinese)
- Tanaka, Y. & D. G. W. Edwards. 1986. An improved and more versatile method for prechilling *Abies procera* Rehd. seeds. Seed Science and Technology, **14**: 457 ~ 464.
- Wang, L. R. (王罗荣), C. W. Song (宋丛文), Q. B. Chen (陈清波) & B. C. Zhou (周必成). 2000. The study of conservation and application of *Abies chensiensis* idioplasmic resource in Shennongjia. Forestry Science and Technology of Hubei (湖北林业科技), **4**: 11 ~ 14. (in Chinese)
- Willson, M. F. 1983. Plant reproductive ecology. New York: John Wiley & Sons. 1 ~ 90.
- Xie, Z. Q. (谢宗强) & Q. M. Li. (李庆梅). 2000. Seed characteristics of endangered plant *Cathaya argyrophylla*. Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报), **24**: 82 ~ 86. (in Chinese with English abstract)
- Ye, C. F. (叶常丰) & X. V. Dai. (戴心维). 1994. Seed science. Beijing: China Agriculture Press. 249, 288. (in Chinese)
- Zhang, Q. F. (张岂凡). 1999. Chinese forestry. Vol. 2. Beijing: China Forestry Publishing House. 773 ~ 774. (in Chinese)
- Zhao, D. M. (赵德铭). 2001. China tree seed. Beijing: China Forestry Publishing House. 15. (in Chinese)