

珍稀植物连香树 (*Cercidiphyllum japonicum*) 的种子萌发特性

李文良^{1,2}, 张小平^{1,2,*}, 郝朝运^{1,2}, 张 慧^{1,2}

(1. 安徽师范大学安徽省重要生物资源保护与利用研究重点实验室, 芜湖 241000;

2. 安徽师范大学生物环境与生态安全安徽省高校重点实验室, 芜湖 241000)

摘要:连香树 (*Cercidiphyllum japonicum* Sieb. et Zucc.) 属第三纪孑遗植物, 被列为国家二级保护植物, 种群的自然更新困难。在实验室条件下研究了连香树种子萌发的生物学特性, 以了解该种自然种群更新困难的原因和机制, 为其有效保护提供理论依据。经测定, 连香树种子千粒重为 (0.5821 ± 0.0166) g, 种子重量极轻且产量大。四唑染色法对种子生活力的测定表明有活力种子比率仅为 $19.8\% \pm 1.3\%$ 。种子吸胀时吸水量达种子干重的 $482.13\% \pm 8.54\%$ 。将种子划分为 6 种表面形态类型进行萌发实验, 发现不同形态种子萌发率显著不同, 大小适中的黄褐色饱满种子萌发率最高, 可达 $91.25\% \pm 2.36\%$ 。仅用饱满种子进行萌发实验, 验证主要环境因子对种子萌发过程的影响, 结果表明, 以滤纸置床时萌发率高且有利于种子萌发整齐; 种子表面可能存在促进种子萌发的物质; 种子萌发对于湿度的响应最为明显, 适宜的萌发湿度是 $20\% \sim 25\%$; 萌发具有广泛的温度和光照适应性, 除 5°C 萌发率降低外, $10 \sim 30^\circ\text{C}$ 之间的萌发率无显著差异, 随温度升高, 萌发开始时间提前, 萌发速率加快, 幼苗活力指数增加; 过弱光照不利于幼苗生长。种子萌发特性导致连香树种群自然更新困难的原因可能是: (1) 虽然占有更多安全位, 但小种子在竞争中处劣势; (2) 生境片段化减少了种子产量也降低了种子质量; (3) 较低温度条件下启动萌发有利于幼苗的物质积累, 但增大了种群的风险; (4) 林下光照不足使幼苗根茎生长严重失衡; (5) 湿度依赖易造成爆发型萌发。

关键词:连香树; 种子萌发; 种子大小; 湿度; 温度; 光照强度

文章编号: 1000-0933(2008)11-5445-09 中图分类号: Q948 文献标识码: A

Characteristics of seed germination of the rare plant *Cercidiphyllum japonicum*

LI Wen-Liang^{1,2}, ZHANG Xiao-Ping^{1,2,*}, HAO Chao-Yun^{1,2}, ZHANG Hui^{1,2}

1 Key Laboratory of Conservation and Employment of Biological Resources of Anhui, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China

2 Key Laboratory of Biotic Environment and Ecological Safety of College in Anhui Province, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5445 ~ 5453.

Abstract: *Cercidiphyllum japonicum* Sieb. et Zucc., one of the tertiary relict plant species, is the only species in a single genus, *Cercidiphyllum*, of the family Cercidiphyllaceae which is native to China and Japan. It was listed as one of national protected plants at the second category in China because of its extremely low ability of regeneration in natural population. In present research, the biological characteristics of seed germination were surveyed experimentally for the species, so that

基金项目:安徽省教育厅自然科学研究重点资助项目(KJ2007A092);安徽省自然科学基金资助项目(050430501);国家教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20060370001)

收稿日期:2008-04-26; **修订日期:**2008-09-02

作者简介:李文良(1982~),男,吉林集安人,硕士生,主要从事植物生态学研究. E-mail: liwenliang2009@sina.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: pinghengxu@sina.com.cn

Foundation item: The project was financially supported by Major Natural Science Program of Educational Committee of Anhui Province (No. KJ2007A092), Natural Science Foundation of Anhui Province of China (No. 050430501), and Doctoral Program Foundation of Institutions of Higher Education of China (No. 20060370001)

Received date:2008-04-26; **Accepted date:**2008-09-02

Biography: LI Wen-Liang, Master candidate, mainly engaged in plant ecology. E-mail: liwenliang2009@sina.com

what conditions seed germination requires in natural regeneration would be clarified. *C. japonicum* during the period of fructification releases many compressed, winged seeds which are quite light with the 1000-seed weighting 0.5821 ± 0.0166 g. The percentage of viable seeds was tested by TTC (1.0%) to be $19.8\% \pm 1.3\%$, nearly close to germination percentage (GP). The imbibitional rate of seeds was $482.13\% \pm 8.54\%$ in 14 hours. All seeds could be classified into six kinds of forms according to their surface morphology, each form having its own unique GP of seeds which differs significantly from each other, with the plump seeds of snuff color and moderate size being the highest of $91.25\% \pm 2.36\%$. The effect of several important environment factors on seed germination was tested for the plump seeds. The results showed that germination may be facilitated by some substance on seed capsule and the filter paper was approved to be an appropriate germination texture in comparison with sand. The germination was also affected by moisture content (MC) remarkably and the optimal range was 20%—25%. The germination could occur in an abroad range of light intensity and temperature. With exception of the decrease of GP at 5°C, temperature had no significant effect on GP, and the germination rate did, however, increase gradually with raise of temperature. Seedlings hadn't adapted well to extremely low light intensity. To sum the above results up, the immediate causes that made it difficult for the natural populations of *C. japonicum* to regenerate may be inferred as follows: (1) small seeds could impose restriction for its success in competition with other plant species; (2) Quantity and quality of seeds were both decreased by erosion of habitat fragmentation; (3) seed germination in low temperature conditions led population to be exposed to danger, although favorable to accumulation of metabolic substances; (4) growth of root and stem was negatively influenced by extremely low light intensity under forestry; (5) Rapid germination could be possibly initiated by positive correlation with MC.

Key Words: *Cercidiphyllum japonicum*; seed germination; seed size; moisture content; temperature; light intensity

连香树 (*Cercidiphyllum japonicum* Sieb. et Zucc.), 系连香树科 (Cercidiphyllaceae) 连香树属 (*Cercidiphyllum* Sieb. Et Zucc.) 落叶大乔木, 属第三纪孑遗植物, 被列为国家二级保护植物。连香树不仅在园林、林业、化工、食品、医药等方面具有较高的经济价值^[1~4], 而且对于研究第三纪植物区系起源以及中国与日本植物区系关系等具有很高的科研价值^[3]。该种目前虽然分布于我国的鄂、湘、赣、川、甘、晋、陕、皖、豫、浙等多省, 但种群明显斑块化, 且种群规模极其有限, 多数分布地甚至呈单株分布。种子萌发是连香树生活史中最重要的一环之一, 是其种群自然更新的基础, 对种子萌发特性的系统研究对于连香树种群的保护与恢复及其人工繁殖具有重要意义。国内外关于连香树种子萌发、幼苗生长和栽培技术的研究工作略有报道^[5~8], 但我们认为以下一些关键问题尚未解决, 值得进一步研究: (1) 连香树种子的产量、萌发特性与种群更新困难的关系如何? (2) 不同表面形态的种子是否具有不同的生活力, 何种形态的种子生活力最高? (3) 光照、温度、湿度等环境因子对于种子萌发的影响如何, 何为萌发的主要影响因素? 本文在前人研究的基础上, 通过对以上问题的研究, 阐明连香树种子萌发的生物学特性, 丰富连香树保护生物学的研究内容, 为实现连香树野外种群的恢复和实验室条件下幼苗的高效生产准备条件。

1 材料与方法

1.1 材料采集

用以萌发实验的连香树种子于 2007 年 10 月 31 日采自湖北省后河国家级自然保护区内的 4 棵雌株枝上, 将种子装入网袋内带回实验室自然风干, 待果皮自行暴开后, 去除果皮收集种子。

1.2 种子千粒重的测定

从自然风干的净种子中随机数取 100 粒种子称重, 重复 8 次, 计算平均值、标准差、变异系数, 以此测定种子千粒重^[9]。

1.3 种子生活力测定

参考 ISTA 其它种子检验规程^[9], 并结合连香树种子的实际情况, 对四唑 (1.0%) 染色测定种子生活力的

方法进行如下改进,用以测定连香树种子生活力:将种子于 40℃ 水中浸泡 1d 后,直接在 40℃ 条件下用四唑溶液(1.0%)染色 24h,实验共设 5 个重复,每个重复 100 粒种子。将染色后呈粉红色的种子记为有生活力的种子,黑色而未被染色的种子记作腐烂粒,计算二者的百分率,对部分未染色种子进行解剖观察。随机选取同样处理的种子,在 25℃,1000lx、12h·d⁻¹光照条件下,以两层滤纸和适量蒸馏水为萌发基质,进行萌发实验。实验以子叶展开作为萌发标志,避免“假萌动”^[10]对实验结果的影响;以 3d 未见新苗萌发又未见萌动种子作为萌发结束标志;实验设 4 次重复,每次重复 100 粒种子,每次重复分为两次 50 粒的副重复,每次副重复在直径 9cm 的培养皿中进行(以下萌发实验同)。比较两方法所得生活力结果。

1.4 种子吸胀实验

称取 2.00g 干藏种子,浸泡于 30℃ 恒温水中,每两小时取出种子吸干表面水分称重一次,待吸水量无明显变化后,置烘箱中烘干种子后称重,种子吸水量=(种子总重量-干种子重量)/干种子重量,实验重复 8 次。

1.5 不同形态种子的萌发率

按照表 1,逐粒挑选相应形态的连香树种子进行萌发实验,方法同实验 1.3。

表 1 连香树种子的不同形态
Table 1 The seed modality of *Cercidiphyllum japonicum*

类型* Type	果实中位置 Position in fruit	种子形态 Seed modality			
		种子颜色 Color of seed	翅长(mm) Length of wing	翅的形状 Shape of wing	种子饱满度 Satiation degree
a	顶部或中部 Top or middle	亮黄褐 Bright filemot	5.34 ± 0.29	近梯形 Close to trapezoid	饱满 Plump
b	除基部 Non base	黑 Black	5.72 ± 0.64	近梯形 Close to trapezoid	较瘪 Shrivelled
c	中部 Middle	乳白 Ivory-white	5.53 ± 0.34	近梯形 Close to trapezoid	弯、扁 Bend & flat
d	靠近顶部 Close to top	随机 Discretionary	6.18 ± 0.27	近梯形 Close to trapezoid	随机 Discretionary
e	靠近基部 Close to base	随机 Discretionary	3.60 ± 0.18	三角形 Triangle	随机 Discretionary
f	基部 Base	随机 Discretionary	2.49 ± 0.24	三角形,尖细 Triangle & taper	随机 Discretionary

* 下同 the same below

1.6 不同环境因子对连香树种子萌发过程的影响

1.6.1 萌发基质

40℃ 恒温条件下浸泡种子 1d,收集浸种水备用,并选取大小适中的亮黄褐色饱满种子(以下实验相同,以避免种子优良状况对萌发率研究结果的影响),在 25℃,1000lx、12h·d⁻¹光照条件下,播种于以下 3 种萌发基质中:Ⅰ. TP + DW:滤纸上播种(TP) + 灌溉蒸馏水(Distilled Water),Ⅱ. TS + DW:沙上播种(TS) + 灌溉蒸馏水,Ⅲ. TP + SDW:滤纸上播种 + 灌溉浸种水(Seed Dipping Water)。

1.6.2 湿度

将烘干至恒重的沙砾 35g 置于培养皿中,分别加入 1.8、3.8、6.2、8.8、11.7、15g 蒸馏水,使湿度分别为 5%、10%、15%、20%、25%、30%,依次编组为 A ~ F。播种时,以种子刚刚固定在沙中、每次浇水时不会使种子移动为适。25℃,1000lx、12h·d⁻¹光照条件下进行萌发实验,萌发过程中每 2d 称重 1 次,补充蒸发掉的水分。

1.6.3 温度

1000lx、12h·d⁻¹光照条件下,以两层滤纸和蒸馏水为萌发基质,将连香树种子分别置于 5、10、15、20、25、30℃ 恒温条件下进行萌发实验。从 10、20、30℃ 条件下当天萌发的幼苗中,各随机选取 50 株,测量其茎长和根长。

1.6.4 光照

25℃,12h·d⁻¹光照条件下,以两层滤纸和蒸馏水为萌发基质,将连香树种子分别置于 5000lx、2000lx、500lx、0lx 共 4 个光照梯度下进行萌发实验。从每组当天萌发的幼苗中,各随机选取 50 株,测量其茎长和

根长。

1.7 数据处理

按以下公式计算各参数: 萌发率 (Germination percent, GP, %) = (萌发种子数/参试种子数) × 100; 幼苗活力指数 (Vigor Index, VI) = 萌发率 × (幼苗根长 (cm) + 幼苗茎长 (cm))^[11]。在 Microsoft Excel 2003 中计算平均值、标准差以及作图, 最终的萌发结果以“萌发百分率 ± 标准差”表示, 标准差不体现在萌发趋势图上, 不同处理间的差异性分析均采用单因子方差分析 (One Way ANOVA)。

2 结果与分析

2.1 千粒重

种子重量是探究物种生殖投入策略的重要指标, 经测定, 连香树种子千粒重为 (0.5821 ± 0.0166) g, 变异系数 2.85%。连香树种子重量极小。

2.2 吸胀实验

实验表明, 自然风干的种子含水量为 $27.40\% \pm 0.50\%$, 种子在 30℃ 温水中浸泡 2h 吸水量就达到 $397.30\% \pm 11.22\%$, 14h 吸水量为 $482.13\% \pm 8.54\%$, 这与 22h 的吸水量 $482.91\% \pm 11.99\%$ 无显著差别 ($P > 0.05$)。连香树种子在水分充足的条件下, 能够快速吸胀, 准备萌发。

2.3 生活力

四唑染色结果显示, 连香树有活力种子仅占全部种子的 $19.8\% \pm 1.3\%$; 腐烂粒占 $14.2\% \pm 4.9\%$; 其它未染色种子占 $66.0\% \pm 6.0\%$, 进一步观察发现, 其中大部分为空粒、涩粒。种子萌发实验的最终萌发率为 $17.25\% \pm 3.86\%$, 略低于四唑染色结果, 四唑染色法可以用于连香树种子活力的估算。

2.4 不同形态种子的萌发率

a ~ c 三组用于验证种子颜色、饱满度与萌发率的关系, 实验结果表明 (图 1), a 组, 即大小适中的黄褐色饱满种子, 具有最高的萌发率, 最终可达 $91.25\% \pm 2.36\%$ 。b 组为呈黑色的霉变种子, 最终萌发率为 $10.50\% \pm 2.89\%$ 。另经观察发现, 种子霉变极少出现在靠近果实基部的种子中。c 组种子最大的特点是呈乳白色、种子扁而弯曲, 解剖发现, 这类种子多为空粒, $2.75\% \pm 1.71\%$ 的萌发率也证明具此种形态的种子基本上是未成熟的种子, 3 组间均存在极显著差异 ($P < 0.01$)。d ~ f 三组用于验证种子翅的大小和形状与萌发率的关系, 实验结果表明, 三者的最终萌发率分别为 $41.25\% \pm 1.89\%$ 、 $30.75\% \pm 4.11\%$ 、 $37.00\% \pm 1.83\%$, 相互间均存在显著差异 ($P < 0.05$), 其中 e 组与其它两组的差别极显著 ($P < 0.01$)。

2.5 不同基质对连香树种子萌发的影响

I ~ III 组最终的萌发率分别为 $89.75\% \pm 1.71\%$ 、 $72.75\% \pm 4.57\%$ 、 $98.25\% \pm 1.26\%$, 三者间均具极显著差异 ($P < 0.01$)。此外, 如图 2 所示, I 组与 II 组的萌发开始时间相同, 但 I 组的萌发过程明显较为整齐快速; III 组的萌发开始时间比其它两组晚 1d, 但不仅萌发率极高, 而且萌发过程更加整齐、快速。以上结果显示, 滤纸置床更有利于连香树种子萌发; 连香树种子表面可能存在促进种子萌发的物质。

2.6 不同湿度对连香树种子萌发的影响

湿度是影响连香树种子萌发的重要环境因子。如图 3 所示, A 组 (湿度 5%) 种子萌发率极显著低于其它组 ($P < 0.01$), 仅为 $26.50\% \pm 7.05\%$; B (湿度 10%)、C (湿度 15%) 两组的萌发过程相似, 最终萌发率分别为 $42.75\% \pm 9.22\%$ 、 $41.00\% \pm 3.83\%$, 二者无显著差异 ($P > 0.05$)。以上 3 组湿度较低, 萌发过程相对整齐而

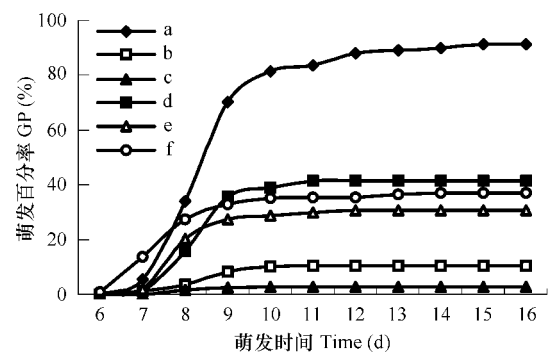


图 1 不同表面形态连香树种子的萌发过程

Fig. 1 Germination of *Cercidiphyllum japonicum* seeds in different character

a ~ f: 同表 1 a ~ f: The same as table. 1

快速,但萌发率较低。F组(湿度30%)种子萌发率仅为 $43.00\% \pm 1.83\%$,暗示不仅湿度低不利于萌发,湿度超过30%时,种子由于呼吸困难,同样不利于萌发;D(20%)、E(25%)两组萌发率无显著差异($P > 0.05$),但极显著高于其它组($P < 0.01$),可以认为20%~25%是连香树适宜的萌发湿度范围。以上3组湿度较大,萌发过程均存在波动,萌发整齐性较差,而且萌发实验结束后,在3组各重复的沙中均发现有早已萌发但未能出土的幼苗(此部分幼苗不计为成功萌发幼苗),说明土壤湿度较大而凝结,不利于种子冲破土层。

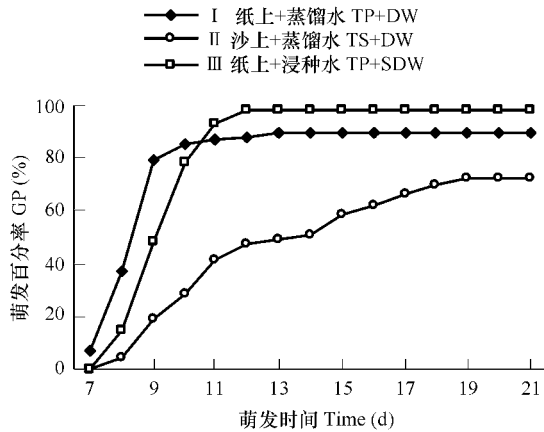


图2 不同萌发基质中连香树种子的萌发过程

Fig. 2 Germination of *Cercidiphyllum japonicum* seeds in different germination substrate

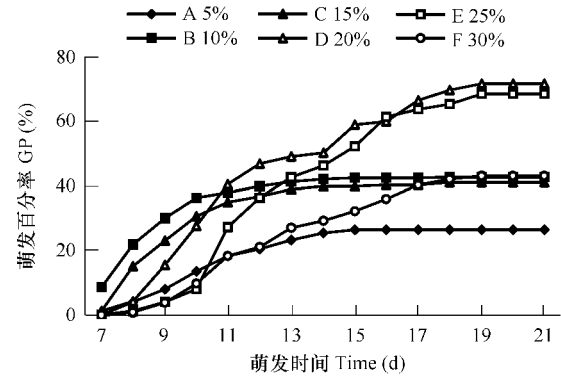


图3 不同湿度条件下连香树种子的萌发过程

Fig. 3 Germination of *Cercidiphyllum japonicum* seeds in different soil moisture content

2.7 不同温度对连香树种子萌发的影响

连香树种子对5~30℃的恒温条件具有广泛的适应性。在5℃恒温条件下,萌发23d(其它5组实验结束当天)仍未有种子完全萌发,仅有 $48.25\% \pm 7.09\%$ 的种子萌动,47d时观察发现,这些萌动种子在5℃恒温条件下基本可以完成萌发,且对水的消耗很少。虽然5℃条件下种子萌发速率和最终萌发率均显著降低,但证明了连香树5℃条件下就已启动萌发,这可能是连香树对高海拔、高纬度长期适应的结果。图4显示10~30℃种子萌发情况:10~30℃,种子的最终萌发率无显著差异($P > 0.05$),与以往的研究结果不同^[5];除25℃和30℃的萌发情况基本相同以外,温度对种子的萌发速率具有一定影响,10~25℃之间,随着温度的升高,萌发开始时间逐渐提前,萌发速率加大。初生苗长势实验表明(图5,采用 $\alpha = 0.05$ 水平),3个温度梯度的茎长差别极显著($P < 0.01$),茎长与温度正相关;10℃下的根长极显著低于20℃和30℃下($P < 0.01$),20℃和30℃下根长无显著差别($P > 0.05$)。3个温度梯度下幼苗活力指数(VI)分别为104、137、155,幼苗活力指数与温度正相关。

2.8 不同光照条件对连香树种子萌发的影响

种子萌发对不同光照条件具有一定的适应性。如图6所示,无光照条件下萌发率为 $90.50\% \pm 2.38\%$,极显著低于其它3组的萌发率($P < 0.01$),其它3组萌发率分别为 $96.75\% \pm 1.71\%$ 、 $97.25\% \pm 1.53\%$ 、 $95.75\% \pm 0.96\%$,之间均无显著差异($P > 0.05$)。初生苗长势实验表明(图7,采用 $\alpha = 0.05$ 水平),2000lx、5000lx光照条件下根长无显著差别($P > 0.05$),5000lx光照条件下根长极显著高于其它各组($P < 0.01$),0lx条

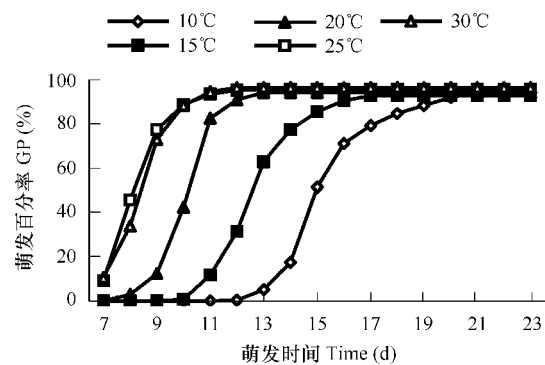


图4 不同温度条件下连香树种子萌发过程

Fig. 4 Germination of *Cercidiphyllum japonicum* seeds in different temperature

件下根长极显著低于其它各组 ($P < 0.01$)。各光照梯度下茎长均存在显著差别 ($P < 0.01$), 光照与茎长负相关。从 5000lx 至 0lx, 幼苗活力指数 (VI) 分别为 151、130、143、302, 其中 5000lx 和 500lx 的幼苗活力指数无显著差别 ($P > 0.05$)。

3 讨论与结论

3.1 种子的大小和产量

种子的资源投入有两种截然相反的策略, 即产生少量的大种子以便在竞争中占有优势, 和产生大量小种子以占据更多的安全位^[12~14]。试验表明, 连香树种子与其它一些木本植物比较^[15], 重量极小; 根据千粒重数据和一棵胸径 55cm 的植株所产种子的总重量, 估算得知其年均可产种子约 12 万粒之多。可见, 连香树采取了产生大量小种子的生殖策略, 这可能是物种争取种子扩散优势和逃避被捕食而长期进化的结果^[16]。以往报道中普遍认为, 结实率低是导致连香树种群更新困难的原因之一^[3], 其主要原因可能是小种子萌发和幼苗生长阶段受到严重的环境筛作用, 与种子产量关系不大。首先, 实验证明连香树与其它木本植物相比^[17], 单株结实率极高。其次, 种群的结实率取决于植株密度^[18], 或者说雌雄异株植物结实率取决于雌雄株间距, 目前连香树种群内植株数量稀少且雌雄株间距较大, 可能一定程度影响了种群的结实率, 但不能断定连香树小种群结实率的降低程度, 对于安全位争取以及种群更新造成的影响是致命的。野外观察到湘、鄂、皖境内的较大连香树种群秋季均有结实雌株存在, 春季偶见新萌发幼苗, 极罕见 1 年生幼苗。

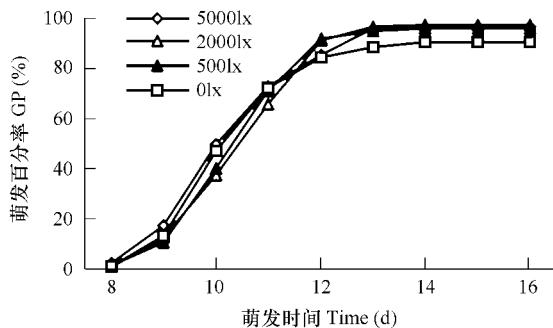


图 6 不同光照条件下连香树种子萌发过程

Fig. 6 Germination of *Cercidiphyllum japonicum* seeds in different light gradient

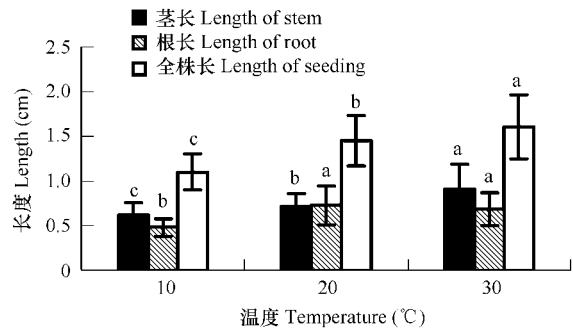


图 5 温度对连香树初生幼苗长势的影响

Fig. 5 Effect of temperature on energy of *Cercidiphyllum japonicum* seedlings

图中字母代表差异显著性分析结果 ($\alpha = 0.05$), 相同字母代表差异不显著 Letters in the same letters mean non significant difference

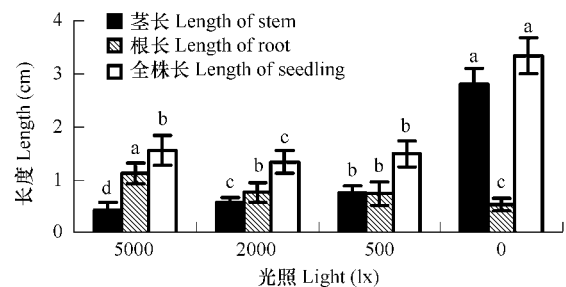


图 7 光照对连香树初生幼苗长势的影响

Fig. 7 Effect of light on energy of *Cercidiphyllum japonicum* seedlings

同图 5 the same as fig. 5

除种间种子大小表型的进化外, 由于在物种内生产小种子同样有利于占据更多生态位, 生产大种子有利于在竞争中具有优势, 所以种内也趋向于产生大小不等的种子^[16,19]。观察中发现, 连香树荚果状的果实内, 通常含有 20 个左右大小不等的种子; 种翅的大小、形状不同的种子在果实中的位置不同, 种翅的长度从 2.5mm 到 6mm 不等 (与先前报道的 3~4mm^[4]不符), 最大种翅长度约为最小种翅长度的 2.4 倍。

3.2 种子的生活力

种子生活力旺盛与否是物种繁衍成败的关键, 有活力种子越多, 种子抵御恶劣环境条件的能力越强, 越有利于种群的更新^[20]。对于无明显休眠机制的连香树种子, 四唑染色法测定的生活力水平基本等同于萌发率, 证明该方法不仅适用于休眠种子生活力水平的测定^[9], 而且可以用于无休眠种子萌发率的预测^[21]。测定结

果表明连香树种子生活力水平较低,这可能是因为花期生存条件恶劣,如春季偶有骤寒使球花败育、花期多雨阻碍授粉等^[22]。虽然种子生活力水平较低,但若按年产种子 12 万粒估算,该胸径 55cm 的雌株每年也可产有活力种子约 2.4 万粒。实验表明,大小适中的黄褐色饱满种子,具有最高的萌发率,符合饱满种子生活力比较旺盛^[23]的一般规律。另外,3 个种翅长度梯度种子的萌发率显著不同,但不是简单的线性关系,这与通常的规律^[24,25]不符,说明不同种翅形态的连香树种子的萌发率,不简单取决于种子的大小,或许与其在果实中的位置有关,这可能是由于不同位置种子花期存在不同的授粉条件所致。

熊丹等^[5]报道,温水处理干藏饱满连香树种子可以提高萌发率,本实验萌发试验也均在萌发前对种子做 40℃ 温水浸泡处理。种子萌发过程中水分吸收分为开始吸水期、滞缓期和重新大量吸水期 3 个时期,种子萌动开始于滞缓期的后期^[10]。温水处理种子,使其在播种之前提前吸胀而直接进入滞缓期,可以起到加速萌动的作用,有利于种子的存活和萌发整齐;而干燥种子在播种后才进入第一次吸水期,其间脆弱的种子对于环境因子的要求也更高,有可能推迟萌发甚至夭折,这可能是干燥种子萌发率低的主要原因。其次,实验中发现干燥种子的饱满程度不易辨认,干燥时看似饱满的种子吸胀后并不一定饱满,这有可能造成干燥种子萌发率低的假象。

种子表面化学成分对于种子休眠的影响多有报道^[26,27],但无休眠机制的种子表面成分对种子萌发又具有何种作用鲜有报道。连香树种子经浸泡处理而脱落的种皮表面褐色成分,对于种子萌发具有显著的促进作用,这与一些具有明显休眠机制的种子^[27~29]相反。此成分是何种物质?是否无休眠机制的植物种子均倾向于此?有待深入研究。

3.3 不同环境因子对种子萌发的影响

沙和滤纸是最常见的两种萌发基质,滤纸具有污染小且方便的优点,适合较小种子的萌发,而沙可以将较大种子全部覆盖,有利于种子吸水的同时可以保证氧气供应^[23]。实验结果表明,滤纸更适合连香树种子的萌发,而以沙作为萌发基质即降低了萌发率,又降低了萌发的整齐性,这说明种子萌发时所释放的能量不足以冲破沙层,或者部分种子在沙中呼吸困难,延缓萌发或死亡。Kubo M.^[6]的研究也发现,连香树幼苗纤弱,沙培条件下容易干枯死亡。但值得注意的是,虽然沙培降低了萌发整齐性,但野外种子萌发呈不同步性可能是种群长期形成的自我保护机制^[30]。所以,实验室对连香树种子进行萌发时,应选取滤纸作为萌发基质,保证较高萌发率;而育苗生产中,应尽量少覆土或事先催芽。

实验表明,连香树种子萌发对光照强度具有较广泛的适应性,在无光条件下也可萌发。但由于植物生长的向光性,光照较弱时幼苗茎长较大,主根长较小;而较大光照强度下生长的幼苗虽然茎长较小,但根部长势好,且次生根生长早(真叶与次生根同时出现),这有利于幼苗抵御风雨侵袭等诸多不利环境条件。所以,虽然种子萌发对光的要求不是绝对的,但从幼苗的生长过程考虑,极弱光照条件对于连香树种子萌发可能是不利的,此时幼苗活力指数值显著较高不能说明幼苗有更大机会存活。Kubo M. 的研究也证明^[6],弱光不利于连香树幼苗生长。此外,野外的强光常伴随着大的蒸发量,种子会因缺水而避免萌发或者死亡^[31],所以强光对于种子萌发同样是不利的,这也是本实验设计中最大光强仅为 5000lx 的原因。

连香树种子萌发具有广泛的温度适应性。实验表明 5℃ 条件下连香树种子即启动萌发,种子应对低温的休眠机制不明显,具有一定的抗寒萌发能力,所以野外连香树种子萌发可能具有以下机制:低温即开始萌发,首先保持较低的萌发速率,减少对有限资源的竞争,待各环境因子较适宜后,种子萌发开始加速,实现较早出苗,有利于幼苗的物质积累。这种较低温度即启动萌发的生存策略,可能是对高海拔变温环境、各纬度范围气候长期适应的结果。然而,5℃ 条件下显著降低的萌发率暗示,具备这种萌发机制的同时,种群的规模已经减小。且 10 月下旬,树上果壳开裂后,轻细的种子即随风雨散失^[3],如果遇到秋季和翌年春季气候的异常或不良环境变化,种群损失还会加大。据此分析,春季对连香树进行人工播种时,建议适当提前播种时间,这样既保留种子的生殖策略,有利于幼苗健康,又可有效的避免不良环境变化带来的风险。

湿度是影响连香树种子萌发的最重要环境因子,过高和过低的湿度对于种子萌发都是致命的,实验显示,

20%~25% 是种子萌发的适宜湿度。因为这是以充分吸胀(吸水量接近种子干重的 5 倍)为基础的,所以野外实际萌发条件可能需要更高的湿度。种子成熟期后河生境土的平均含水量约为 35%,适宜连香树种子萌发,但秋季吸胀甚至萌发,对于小种子的考验十分严峻。在对光温具有广泛适应性的前提下,种子对湿度的响应具有双向的敏感性,即当湿度合适,种子就会迅速吸胀而启动萌发,萌发很可能是爆发似的^[32];当湿度达不到完全吸胀的要求,种子就无法萌发,这也可能是连香树种子为数不多的自我保护机制之一,但在连香树潮湿的生境内,这种保护机制的实现是困难的。

综合以上分析,种子萌发特性造成连香树更新困难的可能有以下几点主要原因:种子为抢占安全位而长期进化形成的小种子,不利于种子和幼苗的存活,种子的天生脆弱,也是更新不利诸多原因的根源;多因素导致的生境片段化,减少了种子产量也降低了种子质量;低温启动萌发虽然有利于幼苗的物质积累,但增大了种群的风险,同时潜在种群数量显著减小;林下光照不足使幼苗根茎生长严重失衡,有可能降低幼苗的生存能力;严重的湿度依赖容易造成爆发式的萌发,对种群十分不利。了解种子萌发的生物学特性,只是保护连香树野生种群的基础,更详尽的研究有待进一步开展。

References:

- [1] Ohtani T, Kamasaki K, Tanaka C. Effect of counterface material for abrasive wear of *Cercidiphyllum japonicum* wood on Three-body abrasion. *Precision Engineering*, 2004, 28(1): 73—78.
- [2] Wang J R, Duan J A, Zhou R H. Chemical constituents from the bark of *Cercidiphyllum japonicum*. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41(2): 209—212.
- [3] Qian X H. *Cercidiphyllum japonicum* Sieb. et Zucc. In: Fu L G ed. China plant red data book Vol. 1. Beijing: Science Press, 1992. 212—213.
- [4] Editorial Committee for Flora of China. *Flora of China* (Vol. 27). Beijing: Science Press, 1979. 22—24.
- [5] Xiong D, Chen F J, Liang H W, et al. Study on seed germination of the rare endangered plant *Cercidiphyllum japonicum*. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 2007, 34(1): 36—39.
- [6] Kubo M, Sakio H, Shimano K, et al. Factors influencing seedling emergence and survival in *Cercidiphyllum japonicum*. *Folia Geobotanica*, 2004, 39(3): 225—234.
- [7] Ren Q J, Yu J P. Old rare plant *Cercidiphyllum japonicum*. *Chinese Wild Plant Resources*, 1998, 17(4): 37—38.
- [8] Cao J W, Tang W D, Zhu X Y. Community survey and planting technology of *Cercidiphyllum japonicum*. *China Forestry Science and Technology*, 2002, 16(6): 30—32.
- [9] ISTA. International rules for seed testing. *Seed Science and Technology*, 1996, 24(Suppl.): 151—154.
- [10] Hu W M. Seed germination. In: Hu J ed. *Seed biology*. Beijing: Higher Education Press, 2006. 154—176.
- [11] Abdul-Baki A A, Anderson J D. Relationship between decarboxylation of glutamic acid and vigor in soybean seed. *Crop Science*, 1973, 13: 222—226.
- [12] Willson M F. *Plant Reproductive Ecology*. New York: John Wiley & Sons, 1983: 1—90.
- [13] Haper J L, Williams J T, Sagar G R. The behaviour of seeds in the soil I. The heterogeneity of soil surfaces and its role in determining the establishment of plants. *Journal of Ecology*, 1965, 53: 273—286.
- [14] Leishman M R, Wright I J, Moles A T, et al. The evolutionary ecology of seed size. In: Fenner M ed. *Seeds- the ecology of regeneration in plant communities* 2nd ed.. New York: CABI Publishing, 2000. 31—57.
- [15] Chen Z H, Peng J F, Zhang D M, et al. Seed germination and storage of woody species in the lower subtropical forest. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44(12): 1469—1476.
- [16] Wu G L, Du G Z. Relationships between seed size and seedling growth strategy of herbaceous plant: A review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(1): 191—197.
- [17] Moles A T, Falster D S, Leishman M R, et al. Small-seeded species produce more seeds per square meter of canopy per year, but not per individual per lifetime. *Journal of Ecology*, 2004, 92: 384—396.
- [18] Watkinson A R. Density-dependence in single-species populations of plants. *Journal of Theoretical Biology*, 1980, 83: 345—357.
- [19] Geritz S A H, van der Meijden E, Metz J A J. Evolutionary dynamics of seed size and seedling competitive ability. *Theoretical Population Biology*, 1999, 55: 324—343.
- [20] Xie Z Q, Li Q M. Seed characteristics of endangered plant *Cathaya Argylea*. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(1): 82—86.

- [21] Yang L X. Seed germination characteristics of a introduced fine variety of *Hippophae rhamnoides* L. from Russia. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (3): 2215—2222.
- [22] Zhao D M. Seeds of Woody Plants in China. Beijing: China Forestry Publishing House, 2001. 15
- [23] Lai J S, Li Q M, Xie Z Q. Seed germinating characteristics of the endangered plant *Abies Chensiensis*. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27 (5), 661—666.
- [24] Gross K L. Effects of seed size and growth form on seedling establishment of six monocarpic perennial plants. *Journal of Ecology*, 1984, 72 (2): 369—387.
- [25] Long T J, Jones R H. Seedling growth strategies and seed size effects in fourteen oak species native to different soil moisture habitats. *Trees-Structure and Function*, 1996, 11: 1—8.
- [26] Li R, Ye Y. Progresses in seed dormancy and dormancy-breaking mechanisms. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005, 25(11): 2350—2355.
- [27] Li T H. Study on the dormancy and germination properties of seeds of *Schima Superba Gardnet*. *Champ. Seed*, 2004, 6(6): 15—17.
- [28] Wang Y H, Gao S M, Li F L, *et al.* Discussion of dormancy mechanism of *Prunus Sargentii* seeds, *Seed*, 2005, 24(5): 12—16.
- [29] Wei Y, Wang X Y. Role of winged perianth in germination of *Haloxylon* (*Chenopodiaceae*) seeds, *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12): 4014—4018.
- [30] Ye C F, Dai X W. Seed Science. Beijing: China Agriculture Press, 1994. 249.
- [31] Fenner M. Seeds, the ecology of regeneration in plant communities, 2nd Ed. Wallingford: CABI Publishing, 2000. 1—27.
- [32] Wang J H, Cui X L, Chen X L, *et al.* Comparative study of seed germination, seed size and their relationships in mesad and siccocolous, *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(6): 1037—1045.

参考文献:

- [2] 王静蓉, 段金彪, 周荣汉. 连香树树皮化学成分研究. *植物学报*, 1999, 41(2): 209~212.
- [3] 钱啸虎. 连香树. 见: 傅立国主编. 中国植物红皮书——稀有濒危植物(第一册). 北京: 科学出版社, 1992. 212~213.
- [4] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第二十七卷). 北京: 科学出版社, 1979. 22~24.
- [5] 熊丹, 陈发菊, 梁宏伟, 等. 珍稀濒危植物连香树种子萌发的研究. *福建林业科技*, 2007, 34(1): 36~39.
- [7] 任全进, 于金平. 古老稀有植物——连香树. *中国野生植物资源*, 1998, 17(4): 37~38.
- [8] 曹基武, 唐文东, 朱喜云. 连香树的森林群落调查及栽培技术. *林业科技开发*. 2002, 16(6): 30~32.
- [10] 胡伟民, 第六章-种子萌发. 见: 胡晋主编, 种子生物学. 北京: 高等教育出版社, 2006. 154~176.
- [15] 陈章和, 彭姣凤, 张德明, 等. 南亚热带森林木本植物种子萌发和储存. *植物学报*, 2002, 44(12): 1469~1476.
- [16] 武高林, 杜国祯. 植物种子大小与幼苗生长策略研究进展, *应用生态学报*, 2008, 19(1): 191~197.
- [20] 谢宗强, 李庆梅. 濒危植物银杉种子特性的研究. *植物生态学报*, 2000, 24(1): 82~86.
- [21] 杨立学. 俄罗斯大果沙棘种子萌发特性, *生态学报*, 2007, 27(3): 2215~2222.
- [22] 赵德铭. 中国木本植物种子. 北京: 中国林业出版社, 2001. 15.
- [23] 赖江山, 李庆梅, 谢宗强. 濒危植物秦岭冷杉种子萌发特性的研究. *植物生态学报*, 2003, 27(5): 661~666.
- [26] 李蓉, 叶勇. 种子休眠与破眠机理研究进展. *西北植物学报*, 2005, 25(11): 2350~2355.
- [27] 李铁华. 木荷种子休眠与萌发特性的研究. *种子*, 2004, 6(6): 15~17.
- [28] 王艳华, 高述民, 李凤兰, 等. 大山樱种子休眠机理的探讨. *种子*, 2005, 24(5): 12~16.
- [29] 魏岩, 王习勇. 果翅对梭梭属种子萌发行为的调控. *生态学报*, 2006, 26(12): 4014~4018.
- [30] 叶长丰, 戴心维. 种子学. 北京: 中国农业出版社, 1994. 249.
- [32] 王桔红, 崔现亮, 陈学林. 中、旱生植物萌发特性及其与种子大小关系的比较. *植物生态学报*, 2007, 31(6): 1037~1045.