

贵州石笔木种子萌发特性及幼苗生长规律的研究

吕晓梅¹, 刘海燕², 邹天才^{3*}

(1. 贵州大学林学院, 贵阳 550025; 2. 贵州省植物园, 贵阳 550004; 3. 贵州科学院, 贵阳 550001)

摘要: 为探索贵州石笔木(*Tutcheria kweichowensis* Chang et Y. K. Li)的种子特性及种苗繁育规律, 对种子的生物学特征和贮藏方式对种子萌发的影响及幼苗年生长规律进行了研究。结果表明, 贵州石笔木种子的千粒重、生活力、含水量分别为 0.92 kg、66.17%、11.75%, 吸水率最高可达 15.62%。长期贮藏适宜采用低温湿沙层积方式, 短期催芽适宜在 25℃、相对湿度 80% 的湿沙层积贮藏 40 d 左右, 种子萌发率可达 80% 以上。幼苗出土后 1 年的生长节律表现为“慢-快-慢”, 5-9 月为生长盛期, 这一时期的苗高、地径的生长量分别占全年的 65.48%、42.02%。根据幼苗的生长特性, 采取阶段性育苗措施, 适时加强田间管理和水、肥定向供给, 对提高苗木质量和生产效益具有重要意义。

关键词: 贵州石笔木; 种子; 萌发; 贮藏; 幼苗

doi: 10.11926/jtsb.3772

Studies on Seed Germination Characteristics and Seedling Growth of *Tutcheria kweichowensis* Chang et Y. K. Li

LÜ Xiao-mei¹, LIU Hai-yan², ZOU Tian-cai^{3*}

(1. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Guizhou Botanical Garden, Guiyang 550004, China; 3. Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550001, China)

Abstract: In order to understand the seed characteristics and the rhythm of seedling breeding of *Tutcheria kweichowensis*, the biological characteristics, including seed thousand grain weight, viability, water content and water absorption, the germination rate of seeds under different storage methods, the annual growth rhythm of seedlings were studied. The results showed that the thousand grain weight, viability and water content of seeds were 0.920 kg, 66.17% and 11.75%, respectively, and the maximum water absorption was up to 15.62%. Low temperature wet sand storage could be used for long-term storage, while short-term accelerating germination was suitable for wet sand storage at 25℃, relative humidity 80% for 40 days, seed germination rate could reach more than 80%. The annual growth rhythm of the seedlings was “slow-fast-slow”. The active growth period was from May to September, the seedling growth in height and ground diameter accounted for 65.48% and 42.02% of the year, respectively. Therefore, according to the growth characteristics, it would have great significance to improve the seedling quality and production efficiency by adopting different seedling measures in different growth stages, strengthening field management and the supply of water and fertilizer.

Key words: *Tutcheria kweichowensis*; Seed; Germination; Storage; Seedling

种子的基础生物学特征决定着种子的萌发特性及幼苗特征, 千粒重与发芽率呈正相关, 适当降低

种子含水量可提高种子发芽率和延长种子寿命^[1-3], 种子的贮藏条件与保持种子的品质及寿命有很大

收稿日期: 2017-05-28

接受日期: 2017-07-18

基金项目: 贵州大学研究生创新基金项目(2017009); 国家自然科学基金项目(31360075, 31560097); 贵州省科学技术基金项目([2016]1058)资助

This work was supported by the Innovation Foundation of Guizhou University (Grant No. 2017009), the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 31360075, 31560097), and the Science & Technology Foundation in Guizhou Province (Grant No. 2016-1058).

作者简介: 吕晓梅(1992-), 女, 硕士生, 研究方向为植物资源学。E-mail: 1305078584@qq.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: 1211111951@qq.com

关系^[2-4]; 苗木的生长规律是苗木遗传特性与环境条件适应的特征反映, 掌握苗木生长过程中不同时期的生物学特性可避免苗木生产管理上的盲目性。1882年, 德国植物生理学家萨克斯(J. von Julius von Sachs)报道了植物生长“慢-快-慢”的特性, 认为1年生苗木的生长过程可划分为出苗期、生长初期、生长盛期和生长后期, 此后国内外学者开始了植物生长节律的研究。

贵州石笔木(*Tutcheria kweichowensis* Chang et Y. K. Li)为山茶科石笔木属分布最北的物种(28°N)^[5], 生长于贵州省赤水市葫市镇金合村海拔900~1200 m的常绿阔叶落叶混交林中, 是1983年由张宏达、李永康教授正式发表的贵州特有植物新种^[6], 常绿乔木, 树形美观, 材质优良, 果实富含蛋白质、脂肪、茶多酚、VE、VC等, 颇具开发利用价值。但由于其自然繁殖率低, 物种散布受限, 自然分布区狭小、局部种群普遍, 种群斑块约为10 m×10 m~300 m×100 m, 各种群通过扩散个体相互联系, 已成为具有Meta-种群生态特征的珍稀濒危植物^[7]。

在自然状态下, 贵州石笔木结实率低, 种子本身具有深度休眠特性, 萌发困难, 幼苗成活率低, 林下更新幼苗少见, 在不同的种群斑块中, 实测≤5年生幼苗所占比例≤20%, 自然繁殖能力已严重衰退, 种群扩散困难^[8]。目前对贵州石笔木的研究主要集中在种质保育、种子特性与散布机理、种质评价与利用等方面^[9-12], 而对贵州石笔木种子萌发特性及幼苗生长规律的研究报道较少。本文通过对贵州石笔木种子千粒重、生活力、含水量、吸水率等基础生物学特性进行测定, 对不同贮藏方式下的种子进行萌发试验, 观测记录出土幼苗的苗高、地径生长变化规律, 探讨种子贮藏和种苗繁育的有效方式, 揭示其种子萌发特性及幼苗生长规律, 为有效保护和合理利用贵州石笔木物种资源提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 种子来源与试验地环境

2015年11月, 在贵州省赤水市葫市镇金合村(28°27' N、105°59' E)的水井湾、偏坡、金竹湾、中沟、九里湾(1号和2号)设置6个试验样地, 海拔分别为650 m、750 m、849 m、915 m、920 m和926 m。每个样地设置8个样方, 每个样方为10 m×10 m, 从每个样方中选取5棵胸径20~30 cm成年树进行

采种。选择采种的样树高30~40 m, 树龄10~20年, 每个样地采集贵州石笔木种子20 kg, 种子在室内通风干燥处自然晾干, 湿沙层积保存。种子采集地属中亚热带湿润季风气候, 年均气温18℃、湿度90%、降水量1200~1300 mm、日照时数约1000 h, 土壤pH 5~6。种子萌发和育苗试验选择在亚热带高原湿润性季风气候的贵阳市六冲关贵州省植物园(26°34' N、106°42' E)进行, 海拔1210~1411 m, 年均气温14℃、湿度80%、降水量约1400 mm、日照时数约1174 h。试验地主要为人工育苗的苗床和土壤疏松肥沃的种植圃两类, 土壤紧实、质地较粘、pH 5.6, 土层厚约35 cm。

1.2 方法

种子千粒重 从采回的纯净种子中随机取100粒称重, 8个重复, 计算种子千粒重。

种子生活力 随机选取种子50粒, 3个重复, 采用TTC染色法测定其生活力^[13]。

种子含水量 选取各样地饱满种子粉碎, 称取(100±0.1) g, 3个重复, 使用低恒温烘干法测定种子含水量^[14]。含水量=[(M₁-M₂)/M₁]×100%; M₁为烘干前种子质量, M₂为烘干后种子质量。

种子吸水率 于水井湾样地采集种子, 选取形体较大、籽粒饱满的种子30粒, 设3个重复, 采用称重法测定种子吸水率。吸水率=[(W_t-W)/W]×100%。其中, W_t为种子吸水后的质量, W为种子吸水前的质量。

种子贮藏 于水井湾样地采集种子, 选取形体较大、籽粒饱满的种子, 按湿沙层积、花砂沙藏(相对湿度60%)和常温储藏方式进行贮藏试验, 次年观察种子的萌发情况。每处理50粒, 3个重复。

种子催熟 以相对湿度80%湿沙为层积垫物, 在通风良好, 恒温25℃恒温箱中分别层积10 d、20 d、30 d、40 d, 随后在同一环境中进行种子萌发试验。

播种育苗 将黄心土与珍珠岩体积比为3:2的基质消毒后装入7×15穴的育苗专用盘待用, 于2015年11月16日将饱满种子均匀点播在穴孔内, 覆盖1.0~1.5 cm基质, 待出苗较整齐后, 移栽至植物园种植地常规管理, 适时浇水、除草、松土、追肥, 每月均分2次定期测定苗高、地径, 观察记录幼苗的生长情况。

生长模型拟合 Logistic方程是常用于林业

描述植物生长的数学模型^[15], 其模型为: $Y=K/(1+e^{-bt})$, 式中: Y 为累积生长量, t 为生长时间, K 为生长结束时的生长量, a 、 b 为待定系数^[16-17]。根据贵州石笔木苗期生长过程中所需的时间(t , d)、苗高(H , cm)和地径(D , cm), 利用 SPSS13.0 软件拟合可以得到的苗高、地径的 Logistic 拟合方程。对 t 求二阶导数并令 $d^2y/dt^2=0$, 得到树木生长发育速度最大值时的 t 值, 即 $t=a/b$, t 为速增点, 可求得苗高、地径的速增点。

1.3 数据处理

实验数据用 SPSS 21.0 软件进行分析^[18], 图表处理采用 Excel 软件。

2 结果和分析

2.1 贵州石笔木种子的基础生物学特征

对不同样地采集的贵州石笔木种子的千粒重、

生活力、含水量进行测量(图 1), 结果表明, 种子千粒重平均值为 0.92 kg, 种子的千粒重、生活力、含水量随海拔的升高而减小, 海拔最低的水井湾样地的种子千粒重最大为 927.11 g, 生活力、含水量也最大, 分别为 71.0%、12.15%, 海拔最高的九里湾 2 号样地的种子千粒重最小, 为 917.05 g, 生活力、含水量也最小, 分别为 63.0%、11.27%; 金竹湾、中沟、九里湾样地间种子千粒重的差异不显著, 但与水井湾、偏坡样地的差异显著($P<0.01$)。6 个样地的种子生活力差异显著($P<0.01$), 平均值为 66.17%; 水井湾、偏颇、金竹湾 3 个样地的种子含水量差异不显著, 中沟和九里湾 3 个样地的种子含水量差异也不显著, 前 3 个样地的种子含水量高于后 3 个样地, 且与后 3 个样地间存在显著差异($P<0.01$)。贵州石笔木种子在 0~4 h 内吸水量快速增加, 4~20 h 吸水速率保持恒定增加, 20~28 h 吸水速率缓慢, 28~34 h 吸水率达到 15.64%, 趋于稳定状态(图 2)。

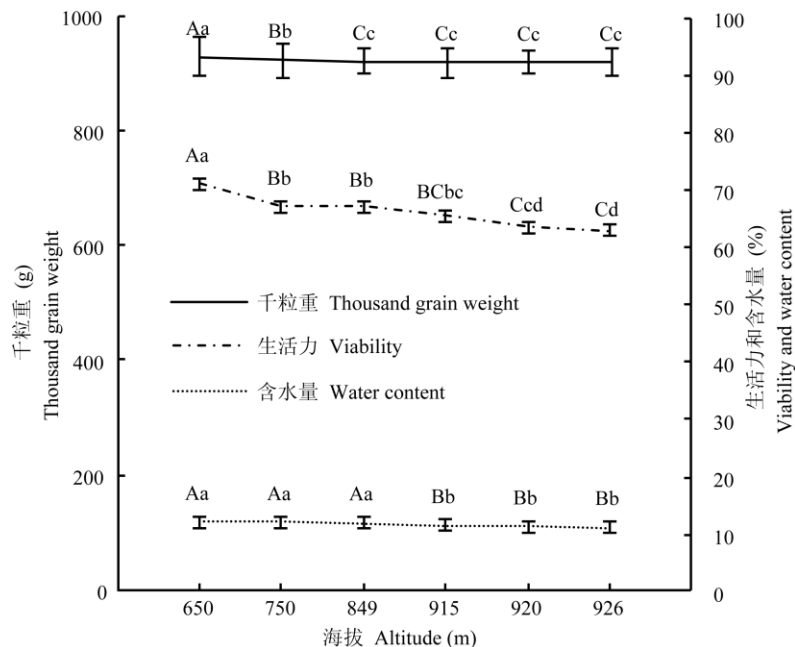


图 1 贵州石笔木种子的千粒重、生活力、含水量与海拔的关系。n=3; 不同小写和大写字母分别表示差异显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)。

Fig. 1 Relationship between thousand grain weight, viability, water content of *Tutcheria kweichowensis* seeds and altitude. n=3; Different small and capital letters indicate significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.2 不同贮藏方式对贵州石笔木种子萌发的影响

贵州石笔木种子在不同方式下贮藏 6 个月, 观察其萌发状况(表 1)。结果表明, 不同贮藏条件对贵州石笔木种子萌发的影响均达到极显著水平。湿沙

层积处理的发芽率高达 78.33%, 花钵沙藏处理的发芽率为 55.67%, 常温储藏的种子几乎没有发芽。贵州石笔木有明显的生理后熟现象, 湿沙层积不同时间对种子催熟结果存在显著差异(表 2), 在一定的时

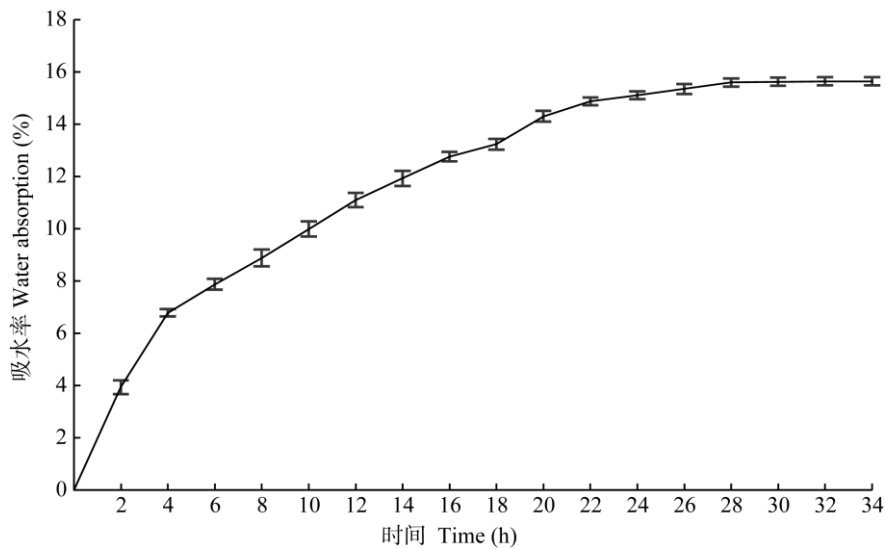


图 2 贵州石笔木种子吸水率的变化

Fig. 2 Change in water absorption rate of *Tutcheria kweichowensis* seeds

表 1 贮藏方式对贵州石笔木种子萌发的影响

Table 1 Effect of storage methods on germination of *Tutcheria kweichowensis* seeds

| 贮藏方式 Storage method | 种子发芽率 Germination rate (%) | 种子发芽势 Germination energy (%) |
|------------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 湿沙层积 Layered wet sand storage | 78.33 ±1.33Aa | 65.00 ±2.31Aa |
| 花钵沙藏 Wet sand storage in flowerpot | 55.67 ±3.53Bb | 48.67 ±2.67Bb |
| 常温储藏 Room temperature storage | 4.67 ±0.67Cc | 0.67 ±0.67Cc |

同列数据后不同小写和大写字母分别表示差异显著($P < 0.05$)和极显著($P < 0.01$)。下表同。

Data followed different small and capital letters within column indicate significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same is following Tables.

表 2 层积时间对贵州石笔木种子萌发的影响

Table 2 Effect of stratification time on germination of *Tutcheria kweichowensis* seeds

| 层积时间 Stratification days | 发芽率 (%) Germination rate | 种子发芽势 (%) Germination energy |
|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
| 40 | 80.00 ±2.60Aa | 67.00 ±1.12Aa |
| 30 | 55.00 ±3.46Bb | 49.00 ±2.91Bb |
| 20 | 38.67 ±1.16Cc | 34.00 ±1.16Cc |
| 10 | 35.67 ±0.67Dd | 27.45 ±1.16Dd |
| 0 | 6.67 ±0.67Ee | 2.67 ±0.67Ee |

间范围(40 d)内,层积时间越长,发芽率和发芽势也越高,因此,种子采回来后,为保障其后熟发育及萌发,应在适宜的温度和湿度条件下,湿沙层积贮藏在 40 d 以上,这将有利于种子完成生理后熟,并获得较高的种子发芽率。

2.3 贵州石笔木幼苗的生长规律

将贵州石笔木种子萌发的幼苗,移栽到贵州省

植物园种植圃抚育 1 年。从图 3 可见,1 年生苗高均值为 16.51 cm、净生长量为 12.42 cm,地径为 0.257 cm、净生长量为 0.142 cm。幼苗在 3 月 1 日(105 d)–6 月 1 日(197 d),苗高净生长量曲线较平缓,变化幅度小;6 月 1 日–9 月 16 日(304 d)苗高持续增长、变化幅度大,净生长量在 6 月 1 日–8 月 1 日(258 d)呈持续增大的趋势,最大值为 2.78 cm。在 8 月 1 日–9 月 16 日逐渐减小,9 月 16 日–10 月 16 日(334 d)苗高生长曲线又趋于平稳,净生长量逐渐减小。幼苗在 3 月 1 日–5 月 1 日(166 d),地径的净生长量曲线趋于平稳,变化幅度小;5 月 1 日–9 月 1 日(289 d),地径生长加快,变化幅度大,净生长量在 5 月 1 日–7 月 16 日(242 d)呈持续增大趋势,最大值为 0.025 cm。在 7 月 16 日–9 月 1 日逐渐减小,9 月 1 日–10 月 16 日(334 d)地径生长曲线趋于平稳,净生长量逐渐减小,直到 10 月 16 日,生长速度缓慢而趋于停止生长。

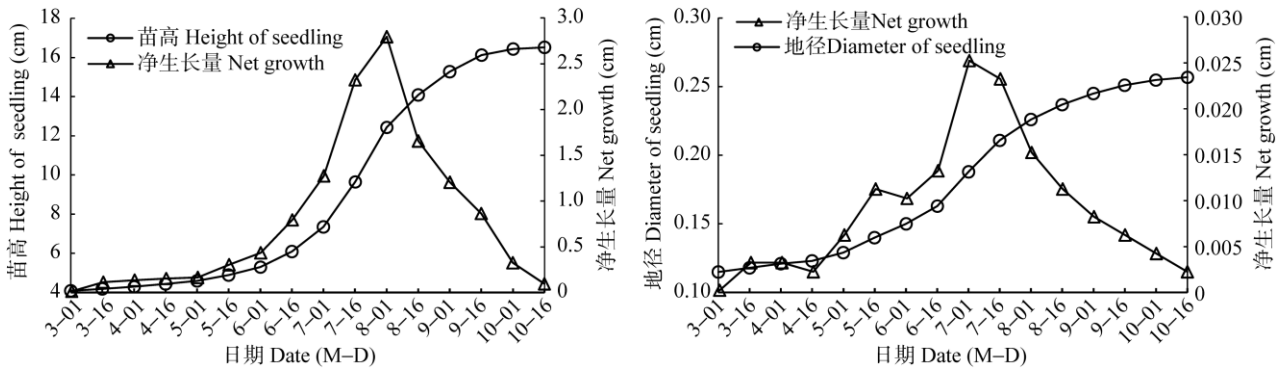


图 3 贵州石笔木苗高和地径的年生长动态
Fig. 3 Annual dynamics on height and diameter growth of *Tutcheria kweichowensis*

2.4 苗高、地径的 Logistic 拟合

根据贵州石笔木苗期生长过程中所需的时间 (t, d)、苗高(H, cm)和地径(D, cm), 利用 SPSS 13.0 软件拟合得到的 Logistic 方程分别为: $H=27.455/(1+e^{3.666-0.013t})$ $R^2=0.950, P=0.0001<0.001$; $D=0.391/(1+e^{1.944-0.008t})$ $R^2=0.963, P=0.0001<0.001$ 。

苗高的速增点为 282 d, 地径的速增点为 243 d, 其对应日期分别为 8 月 26 日与 7 月 17 日, 苗高的速增点比地径的速增点晚 39 d, 差异检验的结果证明 Logistic 回归方程与实测值之间呈极显著相关 ($P<0.001$), 说明用 Logistic 曲线方程来拟合贵州石笔木苗高与地径生长过程是合适的。

2.5 生长阶段划分

采用有序样品聚类法对贵州石笔木幼苗的株

高净生长量和地径的净生长量进行有序聚类分析 (表 3)。贵州石笔木幼苗一年的生长时期可划分为出苗期、生长前期、生长盛期、生长后期 4 个时期。苗高、地径的出苗期持续时间长达 4 个月, 这一时期苗高、地径的生长率分别为 25.38% 和 45.92%, 说明出苗期苗高和地径生长量较大, 而且地径生长量大于苗高。生长前期的苗高、地径的持续时间较出苗期短, 此时期苗高、地径的净生长量较出苗期小, 分别占总生长量的 6.78% 和 4.28%。生长盛期的苗高、地径的净生长量较大, 分别占总生长量的 65.48%、42.02%。生长后期的苗高、地径的持续时间较短, 净生长量较小, 分别占总生长量的 2.36% 和 7.78%。由此可知, 贵州石笔木 1 年生苗木生长主要集中在生长前期和生长盛期。

表 3 贵州石笔木幼苗一年内的生长时期划分

Table 3 Growth stage division of *Tutcheria kweichowensis* seedlings

| | 生长时期 Growth stage | 起止日期(M-D) Date from start to end | 天数 Days | 净生长量 (cm) Net growth | 生长率 (%) Growth rate |
|---------------------|----------------------|-------------------------------------|------------|-------------------------|------------------------|
| 苗高 Height | 出苗期 Seedling | 11-16~03-16 | 120 | 4.19 | 25.38 |
| | 生长前期 Early growth | 03-17~06-01 | 77 | 1.12 | 6.78 |
| | 生长盛期 Active growth | 06-02~09-16 | 107 | 10.81 | 65.48 |
| | 生长后期 Late growth | 09-17~10-16 | 30 | 0.39 | 2.36 |
| 地径 Base diameter | 出苗期 Seedling | 11-16~03-16 | 120 | 0.118 | 45.92 |
| | 生长前期 Early growth | 03-17~05-01 | 46 | 0.011 | 4.28 |
| | 生长盛期 Active growth | 05-02~08-16 | 107 | 0.108 | 42.02 |
| | 生长后期 Late growth | 08-17~10-16 | 61 | 0.02 | 7.78 |

3 结论和讨论

3.1 不同海拔高度对种子发育的影响

海拔高度是植物生存环境的重要影响因素, 不同的海拔高度, 其光照、温度、水分等生态因子均

有差异, 这也是影响植物种子形态发生及发育的关键生态因子, 各个因子的作用并不是孤立的, 而是综合起作用^[19]; 植物种子的重量和海拔的相关性依其不同的生长区域和生活型不同而存在差异性变化^[20]; 生长于不同海拔高度的植物种群所承受的生

境选择压力也不尽相同,最终可能导致种群间的遗传分化^[21];种子的大小作为一个重要的生态学特征影响着物种更新对策的许多方面,包括一定生态条件下的种子产量、种子扩散方式和幼苗建成^[22]等,也影响着植物种群繁衍的动态发展,并由于植物结实量与成熟率的差异而造成植物种群更新出现不同的时空规律^[23],这对于植物种子发育的质量极为重要并具有物种生物学意义。

贵州石笔木种子的平均千粒重为 920.14 g,属于大粒种子,种皮角质坚硬,与山茶属(*Camellia*)植物种子一样采取大型种子繁殖策略^[24]。贵州石笔木种子的常态含水量为 11.75%,但其吸水率可达到 15.62%,吸水性强,说明种子在萌发过程中仍需充足水分来参与其生理代谢。种子生活力、含水量也随着海拔的升高而减小,与千粒重变化相一致,这与因海拔高度不同引起的光照和温湿度变化有关,温度低,植物光合作用受到抑制,贮藏物质的转运及种子内营养物质的积累减少,影响了种子质量,出现空粒或不饱满种子。贵州石笔木种子的千粒重、含水量、生活力等特征随海拔高度发生变化的情况主要是其生境中各生态因子综合作用的结果。也有研究表明,植物的生殖投资随着海拔的升高而减小^[25],而植物的营养生长随着海拔的升高而增大^[26],这同样说明了植物生长的海拔高度影响到了植物种子的形态特征和生理特性,贵州石笔木种子的生理特征呈现随海拔的升高而增大的趋势,表明了海拔高度对贵州石笔木种子的生物学特性具有较大的影响,说明贵州石笔木的结实生理对环境要求严格,需要适宜的温度和湿度环境,这对于开展贵州石笔木的种苗繁育和推广应用栽培具有指导意义。

3.2 贮藏方式对种子萌发率的影响

贵州石笔木种子存在生理后熟现象,采摘后不宜立即播种,随采随播种子的发芽率 $\leq 6.67\%$ 。可能是因为贵州石笔木种子有胚后熟现象,在层积高温、高湿条件下能更好地促进其胚成熟。较高的湿度通常能促进种子呼吸作用加强,积累大量有毒物质,在有氧呼吸进行比较旺盛时,由于产生较多呼吸热而对种子产生不良影响,影响种子生活力。当胚中含水量过低时,可能导致种子失活,主要原因是种子失水过度会导致原生质和细胞膜损伤,种子内部生理代谢遭到破坏。研究结果表明贵州石笔木种子生活力受含水量的影响较大,干藏失水后,其

种子基本不能萌发。在自然状态下,种子在 10-11 月成熟,由于冬季气候比较干燥,种子失去发芽条件,不能及时发芽,到了春季,大量种子因失水而失去活性或因蛋白质含量高引起霉变和腐烂,加之动物的取食,到第二年土壤种子库中有生活力的种子极少,这便导致了自然种群中贵州石笔木幼苗很少,其种群更新能力较差的结果。

本研究结果表明,贮藏条件对贵州石笔木种子萌发的影响均达到极显著水平。湿沙层积处理的发芽率高达 78.33%,在一定的时间内(40 d),层积时间越长,发芽率和发芽势也越高,因此,种子采回来后,长期贮藏采用低温湿沙层积较好,短期催芽适宜采用在恒温 25℃,相对湿度 80%湿沙中层积 40 d,以保障种子的发芽率达到 80%以上,这对其物种资源的保育及种苗生产利用有重要参考价值。

3.3 幼苗的生长节律特征及其在苗木生产上的应用

“缓慢萌动-旺盛生长-滞长休眠”是贵州石笔木幼苗“慢-快-慢”的年生长节律,当年的 11 月至翌年的 3 月为缓慢萌动期,5-9 月是旺盛生长期,10-12 月进入滞长休眠期。在滞长休眠期进行间苗、定苗、促进苗木抗逆性能增强,在缓慢萌动期适当施肥、促进地下根系生长,是保障苗木旺盛生长期快速生长和提高苗木生产效益的基础和前提。11 月至翌年 3 月份为贵州石笔木种子出苗期,持续时间较长,苗高、地径的净生长量较大,由于此时间段内贵阳地区处于寒冷冬季,气温低,降低植物体内酶的生理活性,影响了幼苗的生理代谢和生长过程,致使幼苗在上半年生长缓慢。在这一时期对苗木要采取合理的保育措施,包括搭盖荫棚、喷药防病、间苗移植、适时适量灌溉等措施,可施用适当量的低氮高磷复合肥,促进地下根系生长,为生长高峰期打下基础。3-5 月是苗木的生长前期,此时期苗高、地径的净生长量较小,应拆除荫棚,并进行 1~2 次间苗。5-9 月苗高和地径生长出现高峰,持续时间较长,净生长量较大,幼苗生长旺盛,可能由于这一段时期的温度逐步升高,试验地均温在 25℃左右,降雨充足、气候湿润、相对湿度维持在 80%,特别适宜于贵州石笔木的生理发育和植株生长,这一时期是决定苗木质量的关键时期,应施高氮低钾低磷肥,充足灌溉,全面除草,以最大限度地提高苗木生长量。9-11 月苗高、地径生长进入生长后期,苗木生长速度开始缓慢下降,可能由于这一段时期的

温度开始下降, 气候逐渐干燥, 苗木又进入了生长停滞期, 生长量逐渐减小, 逐步趋于静态生长, 此时期可少量施用磷肥和钾肥, 逐步减少灌溉, 并注意病虫害防治、间苗、定苗, 促进苗木木质化, 提高抗旱性和抗寒性, 以提高生产管理的质量和经济效益。

参考文献

- [1] KONSTANTINIDOU E, TAKOS I, MEROU T. Desiccation and storage behavior of bay laurel (*Laurus nobilis* L.) seeds [J]. *Eurp J For Res*, 2008, 127(2): 125–131. doi: 10.1007/s10342-007-0189-z.
- [2] BEARDMORE T, WANG B S P, PENNER M, et al. Effects of seed water content and storage temperature on the germination parameters of white spruce, black spruce and lodgepole pine seed [J]. *New For*, 2008, 36(2): 171–185. doi: 10.1007/s11056-008-9091-x.
- [3] POPOVA E V, KIM D H, HAN S H, et al. Systematic overestimation of Salicaceae seed survival using radicle emergence in response to drying and storage: implications for *ex situ* seed banking [J]. *Acta Physiol Plant*, 2013, 35(10): 3015–3025. doi: 10.1007/s11738-013-1334-6.
- [4] MAI-HONG T, HONG T D, HIEN N T, et al. Seed development, maturation and storage behaviour of *Mimusops elengi* L. [J]. *New For*, 2006, 32(1): 9–19. doi: 10.1007/s11056-005-3144-1.
- [5] ZHANG H D, REN S X. *Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 49* [M]. Beijing: Science Publishing, 1998: 197–198.
张宏达, 任善湘. 中国植物志, 第 49 卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 197–198.
- [6] LI Y K. A new species of Theaceae from Guizhou [J]. *Acta Sci Nat Univ Sun Yat-sen*, 1983, 18(3): 107–108.
李永康. 贵州山茶科的新种 [J]. 中山大学学报, 1983, 18(3): 107–108.
- [7] ZOU T C. Study on germplasm resources and utilization evaluation for Guizhou endemic spermatophyte [J]. *Sci Silv Sin*, 2001, 37(3): 46–57. doi: 10.3321/j.issn:1001-7488.2001.03.009.
邹天才. 贵州特有种子植物种质资源与利用评价研究 [J]. 林业科学, 2001, 37(3): 46–57. doi: 10.3321/j.issn:1001-7488.2001.03.009.
- [8] LIU H Y, ZHOU X L, ZOU T C, et al. Study on germination of *Tutcheria kweichowensis* by applying orthogonal experiment [J]. *Seed*, 2010, 29(4): 50–51, 55. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2010.04.015.
刘海燕, 周晓玲, 邹天才, 等. 贵州石笔木种子萌发的正交试验研究 [J]. 种子, 2010, 29(4): 50–51, 55. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2010.04.015.
- [9] LIU H Y, ZOU T C, ZHOU H Y, et al. A study on seedling propagation and narrow limited distribution mechanism of 10 endemic species in Guizhou [J]. *Guizhou Sci*, 2010, 28(4): 11–16. doi: 10.3969/j.issn.1003-6563.2010.04.002.
刘海燕, 邹天才, 周洪英, 等. 10 种贵州特有植物的种苗繁殖试验及其分布机理研究 [J]. 贵州科学, 2010, 28(4): 11–16. doi: 10.3969/j.issn.1003-6563.2010.04.002.
- [10] TENG Y, ZOU T C, LIU H Y. Study of plant hormones on seed germination of *Tutcheria kweichowensis* [J]. *Seed*, 2013, 32(2): 91–92. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2013.02.027.
滕毅, 邹天才, 刘海燕. 植物激素对贵州石笔木种子萌发的研究 [J]. 种子, 2013, 32(2): 91–92. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2013.02.027.
- [11] ZOU T C, ZHOU H Y. Studies on the temperature and humidity range for seeding and seedling of *Tutcheria kweichowensis* Chang et Y. K. Li [J]. *Guizhou Sci*, 2001, 19(1): 59–64. doi: 10.3969/j.issn.1003-6563.2001.01.009.
邹天才, 周洪英. 贵州石笔木播种育苗的温度和湿度关系研究 [J]. 贵州科学, 2001, 19(1): 59–64. doi: 10.3969/j.issn.1003-6563.2001.01.009.
- [12] ZOU T C, HUANG C M, ZHOU H Y, et al. Studies on seedling propagation and the cultivation expansion of 10 narrow limited distribution species in Guizhou [J]. *Seed*, 2007, 26(7): 52–56. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2007.07.014.
邹天才, 黄彩梅, 周洪英, 等. 10 种贵州狭限分布植物的种苗扩繁与栽培试验研究 [J]. 种子, 2007, 26(7): 52–56. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2007.07.014.
- [13] LIU Z F. *Laboratory Manual of Seeds* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011: 23.
刘子凡. 种子学实验指南 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011: 23.
- [14] State Bureau of Quality and Technical Supervision. GB/T 2772–1999 Rules for forest tree seed testing [S]. Beijing: Standards Press of China, 2000: 60–62.
国家质量技术监督局. GB/T 2772–1999 林木种子检验规程 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2000: 60–62.
- [15] YANG Y X, BIAN Y R, YAO X H. The selection of grey models for some tree species in seedling stage [J]. *For Res*, 1991, 4(2): 211–216.
杨耀仙, 卞尧荣, 姚小华. 林木苗期生长灰色模型的选择 [J]. 林业科学研究, 1991, 4(2): 211–216.
- [16] ZHOU Y X, GAO J S, FAN J F. Annual growth law and disease resistance of *Aigeiros* clone cutting [J]. *J C S Univ For Technol*, 2007, 27(4): 81–84. doi: 10.3969/j.issn.1673-923X.2007.04.010.
周永学, 高建社, 樊军锋. 黑杨无性系苗木年生长规律及抗病性比较 [J]. 中南林业科技大学学报, 2007, 27(4): 81–84. doi: 10.3969/j.issn.1673-923X.2007.04.010.

- [17] ZHANG Y. Study on growth pattern of *Liriodendron chinese* seedlings [J]. J Fujian For Sci Technol, 2007, 34(2): 155–158. doi: 10.3969/j.issn.1002-7351.2007.02.040.
张琰. 鹅掌楸实生苗生长规律研究 [J]. 福建林业科技, 2007, 34(2): 155–158. doi: 10.3969/j.issn.1002-7351.2007.02.040.
- [18] CHEN S K. SPSS Statistical Analysis from Beginner to Mastery [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2013: 139–152.
陈胜可. SPSS 统计分析从入门到精通 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2013: 139–152.
- [19] CHAI S F, WEI X, JIANG Y S, et al. Morphological differentiation of fruits and seeds of endangered plant *Camellia nitidissima* [J]. Chin J Ecol, 2008, 27(11): 1847–1852.
柴胜丰, 韦霄, 蒋运生, 等. 濒危植物金花茶果实、种子形态分化 [J]. 生态学杂志, 2008, 27(11): 1847–1852.
- [20] DU Y, HE H J, ZHANG Z F, et al. Correlation of seed mass with elevation [J]. Plant Divers Res, 2014, 36(1): 109–115. doi: 10.7677/ynzwj201413056.
杜燕, 何华杰, 张志峰, 等. 种子重量与海拔的相关性分析 [J]. 植物分类与资源学报, 2014, 36(1): 109–115. doi: 10.7677/ynzwj201413056.
- [21] JIN Z X, LI J M, CAI Y L. ISSR analysis of genetic diversity of *Schima superba* populations at different altitudes [J]. Chin J Ecol, 2007, 26(8): 1143–1147.
金则新, 李钧敏, 蔡琰琳. 不同海拔高度木荷种群遗传多样性的 ISSR 分析 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(8): 1143–1147.
- [22] LI N, BAI B, LU C H, et al. Recruitment limitation of plant population: From seed production to sapling establishment [J]. Acta Ecol Sin, 2011, 31(21): 6624–6632.
李宁, 白冰, 鲁长虎, 等. 植物种群更新限制——种子生产到幼树建成 [J]. 生态学报, 2011, 31(21): 6624–6632.
- [23] LÜ X M, LIU H Y, HUANG L H, et al. Biological characteristics of five rare and endangered *Camellia* seeds in Guizhou Province [J]. Guihaia, 2017, 37(1): 109–117. doi: 10.11931/guihaia.gxzw201609002.
吕晓梅, 刘海燕, 黄丽华, 等. 山茶属五种稀有濒危植物种子的生物学特性研究 [J]. 广西植物, 2017, 37(1): 109–117. doi: 10.11931/guihaia.gxzw201609002.
- [24] MARIKO S, KOIZUMI H, SUZUKI J I, et al. Altitudinal variations in germination and growth responses of *Reynoutria japonica* populations on MT Fuji to a controlled thermal environment [J]. Ecol Res, 1993, 8(1): 27–34. doi: 10.1007/BF02348604.
- [25] HAUTIER Y, RANDIN C F, STÖCKLIN J, et al. Changes in reproductive investment with altitude in an alpine plant [J]. J Plant Ecol, 2009, 2(3): 125–134. doi: 10.1093/jpe/rtp011.
- [26] YOUNG A G, HILL J H, MURRAY B G, et al. Breeding system, genetic diversity and clonal structure in the sub-alpine forb *Rutidosia leiolepis* F. Muell. (Asteraceae) [J]. Biol Conserv, 2002, 106(1): 71–78. doi: 10.1016/S0006-3207(01)00230-0.