

不同种源及基质对水青树种子萌发及幼苗初期生长的影响

曹玲玲^{1,2}, 甘小洪^{1,2*}, 何松¹

(1. 西华师范大学 生命科学学院, 四川 南充 637009; 2. 西华师范大学西南野生动植物资源保护教育部重点实验室, 四川 南充 637009)

摘要: 通过对4个不同种源地的水青树种子进行形态与生理特征的研究,探讨了不同种源、基质及温度对水青树种子萌发和幼苗初期生长的影响,以了解该物种种群自然更新困难的原因。结果表明:(1)不同种源的种子,其千粒重、饱满度及形态学方面存在显著差异。(2)不同种源的种子的萌发率分别为:74.67%(雷波)、41%(马边)、67%(九寨沟)、0%(美姑),对应的发芽势分别为38.33%、10%、27.33%、0($P<0.01$);(3)在不同的萌发基质中,腐殖土中的萌发率、萌发势及幼苗的长势均优于生境土和沙土,而沙土中种子的萌发与幼苗的生长最差,因此水青树生境地的土壤不是其自然更新的限制因素;(4)常温下不同基质中,水青树种子的萌发率均高于恒温条件,表明适宜的变温处理有利于种子萌发及幼苗存活;(5)综合分析可知,雷波的水青树种子品质较好,马边的则较差。

关键词: 水青树; 种子; 萌发; 幼苗

中图分类号: Q945.34 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2012)05-0656-07

Effects of different geographical provenances and matrix on seed germination and seedling initial growth of *Tetracentron sinense*

CAO Ling-Ling^{1,2}, GAN Xiao-Hong^{1,2*}, HE Song¹

(1. College of Life Sciences, China West Normal University, Nanchong 637009, China; 2. Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation, China West Normal University, Nanchong 637009, China)

Abstract: In order to explore the bottleneck of natural regeneration and endangered mechanism in *Tetracentron sinense* population, the morphology, physiological characteristic and seed germination characteristics of the seeds from four different geographical provenances were measured, and the effects of different temperature, matrix and geographical provenances on seed germination and seedling initial growth were studied. The results are as follows: (1) There were significant difference in the weight per 1000 seeds, plumpness, morphology of different geographical provenances; (2) Germination rate of seed from the different geographical provenances was respectively 74.67% (Leibo), 41% (Mabian), 67% (Jiuzhaigou), 0% (Meigu), accordingly the corresponding germination force was respectively 38.33%, 10%, 27.33%, 0% ($P<0.01$); (3) The seeds in the habitat humus soil had the better advantage in germination rate, force and seedling initial growth than those in soil from habitat or sandy soil, suggesting that the habitat soil was not the

* 收稿日期: 2012-02-20 修回日期: 2012-06-25

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD19B02); 四川省教育厅青年基金(2006B038) [Supported by Special Fund for Science and Technology Support Program During National Eleventh Five-Year Plan Period (2006BAD19B02); Foundation for Young Scholars of Education Bureau of Sichuan Province (2006B038)]

作者简介: 曹玲玲(1986-), 女, 湖北十堰人, 在读硕士研究生, 主要从事植物生殖生态学研究, (E-mail) caolingling8@163.com。

* 通讯作者: 甘小洪, 博士, 主要从事珍稀濒危植物保护生物学研究, (E-mail) bhgan@163.com。

endangered factor; (4)The room temperature was better for the seed germination and seedling initial growth than constant temperature, indicating that appropriate alternating temperature was advantage to the seed germination and seedling initial growth; (5)Based on the analysis of seed morphology and germination characteristics, the quality of *T. sinense* seeds from Leibo were better than that of Mabian and Jiuzhaigou.

Key words: *Tetracentron sinense*; seed; germination; seedling

种子是植物生活周期的一个重要阶段,植物种群周期中以种子形式出现的阶段称为潜在种群,种子萌发是从潜在种群转变为现实种群的关键。种子萌发的整个过程是植物对环境胁迫抵抗力最弱的阶段,任何不利于种子萌发的因素都会直接影响到植物种群的更新,从而影响到种群的稳定性(Manfred等,2004;Mills & Schwartz,2005)。在种子萌发与幼苗定居的过程中受胁迫成为许多物种濒危与分布受限制的关键因素(陈发菊等,2007)。水青树(*Tetracentron sinense*),属水青树科(Tetracentraceae)高大落叶乔木,为国家二级重点保护的单种属植物。该植物无导管,对于研究被子植物的区系、地理分布及其发生与演化具有重要的科学意义;其木材质坚,常被用作制家具;树形美观,可用于观赏;茎干中含有抗 HIV(罗士德,1998)及白细胞活性(王易芬等,2006)的化学成分,具有重要的药用价值。由于森林砍伐,生境破坏,致使其植株日趋减少;同时自然条件下幼苗稀少,种群自然更新困难,濒危状态日益严重。

目前有关水青树种子对水分、光照、温度的适应性方面已有研究(周佑勋,2007;甘小洪等,2008;罗

靖德等,2010),尚无不同地理种源、不同基质及温度等因素对水青树种子萌发和幼苗生长影响的相关报道。本文通过对水青树种子形态学特征和生理特性等指标测定,探究了不同地理种源、不同基质及温度等因素对其种子萌发和幼苗生长的影响,以期为进一步探讨该物种濒危的原因,为其保护及利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料采集

不同地理种源的水青树种子采集于2010年,于植株的不同冠层及方向随机采集果序,经过自然风干、果皮开裂后收集种子开展实验。用于不同基质萌发实验的种子于2009年采自四川省美姑县,风干后4℃冷藏保存,次年3月进行实验。

1.2 种子千粒重的测定

参考刘丽等(2006)的方法,经净度分析后,将采回的种子在室温下自然晾干,随机数1000粒,称重,重复4次。

表1 不同种源地的自然概况 补充采集地地形与土壤因子、植被概况等
Table 1 The natural general conditions of different geographical provenances

种源 Geographical provenances	采集地 Sampling locations	海拔(m) Altitude	年均温(℃) Annual average temperature	年均降水量(mm) Average annual precipitation
四川美姑县	大风顶自然保护区	2140	11.4	1100
四川马边县	大风顶自然保护区	2120	10	1900
四川雷波县	麻咪泽自然保护区	2280	12	850
四川九寨沟县	九寨沟自然保护区	2460	10	610

1.3 种子的形态指标及饱满度测定

随机选取不同种源的种子各400粒,利用电子数显卡尺对种子的长、宽、厚进行检测。随机选取不同种源的种子各100粒,对水青树种子的饱满、干瘪和败育情况进行识别,无法识别的种子用放大镜观察或纵剖后用显微镜观察胚的发育状况,计算饱满种子所占的百分比。重复4次。

1.4 种子吸胀实验

取不同种源的饱满水青树种子各100粒,分别称量。随后用蒸馏水浸没,在25℃恒温箱中保温。

每1h取出种子,吸干浮水称重,直至恒重,计算吸水量。重复4次。

1.5 种子萌发与幼苗生长实验

1.5.1 不同地理种源种子的萌发和幼苗生长实验
分别选取4个种源地的饱满种子各300粒,设3个重复,每个重复100粒。萌发前先用0.1% NaClO溶液消毒30min,蒸馏水漂洗5~6次;然后在25℃的蒸馏水中浸泡8h;在1000lx、8h·d⁻¹的光照条件、25℃恒温下(周佑勋,2007),以两层滤纸为基质进行萌发,实验中保持湿润和通气。当胚根长到种

长一半时视为萌发,每24 h记录1次,萌发结束后计算萌发起始时间、持续时间、萌发率和发芽势,待子叶长出后每组每个重复随机选取长势一致的植株10株,测量其根、茎的长度,用于幼苗初期生长动态分析,每2 d测量1次。

1.5.2 不同基质和温度对种子萌发和幼苗生长的影响 将基质沙土(沙、土按1:1混合)、生境土、腐殖土(铺有腐殖质的生境土),在常温(10.1~16.8℃)、恒温(25℃)下进行正交试验设计,共6组实验,每组3个重复。每个重复选取50粒饱满种子,分别撒播于上述基质中,实验中保持湿润和通气。常温条件下的萌发实验在室内进行,晚上用保鲜膜封口以保水,白天揭开;恒温条件下的萌发实验在恒

温培养箱中进行,设置1000 lx、8 h·d⁻¹的光照条件和25℃恒温(周佑勋,2007)。当胚根长到种子长度一半时视为萌发,每24 h记录1次,萌发结束后计算萌发起始时间、持续时间、萌发率和发芽势。待子叶长出后,每组挑选长势一致的植株15株,对其茎长和子叶长进行测量,每两天测量1次(黄桂华等,2009)。

1.6 数据的计算与分析

吸水量=(种子吸水后重量-种子吸水前重量)/种子吸水后重量×100%;萌发率=(N/100)×100%;发芽势=正常萌发到达高峰时N/100×100%;其中:N为萌发种子总数;Ni为第i天萌发种子数;i为萌发天数。

表2 不同种源的水青树种子千粒重、饱满度、吸水量
Table 2 The weight per 1000 seeds, plumpness, water absorption quantity of *T. sinense* seeds from different geographical provenances

种源 Geographical provenances	千粒重(g) Weight per 1 000 seeds	饱满度(%) Plumpness	吸水量(%) Water absorption quantity
美姑 Meigu	0.0776±0.001c	47.33±2.91c	57.36±3.07a
九寨沟 Jiuzhaigou	0.0861±0.003ab	61.92±0.93b	58.26±1.29a
雷波 Leibo	0.0913±0.001a	77.75±2.02a	46.30±1.90b
马边 Mabian	0.0832±0.002bc	67.75±2.50b	58.50±2.02a

注:同一列数据中字母不同表示差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Data with different letters are significantly different in the same column($P<0.05$). The same as below.

表3 不同种源水青树种子形态学分析
Table 3 The morphology of *T. sinense* seeds from different geographical provenances

种源 Geographical provenances	长 Length (mm)	宽 Width (mm)	厚 Thickness (mm)
美姑 Meigu	2.6760±0.022b	0.5723±0.007b	0.3274±0.005c
九寨沟 Jiuzhaigou	2.5453±0.016c	0.5986±0.005a	0.3789±0.003a
雷波 Leibo	3.0554±0.022a	0.5208±0.007c	0.3312±0.004bc
马边 Mabian	2.3599±0.020d	0.5200±0.005c	0.3411±0.004b

用Excel和SPSS13.0等软件对数据进行处理分析,实验中的萌发率和发芽势采用One-Way ANOVA进行差异显著性分析,各种源水青树种子的形态指标及千粒重等采用Duncan检验进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 千粒重、饱满度

水青树种子的千粒重和饱满度都以雷波的最高,美姑的最低。方差分析表明,在种子千粒重方面雷波与美姑、马边之间存在极显著或显著差异,而雷波与九寨沟、九寨沟与马边之间差异不显著;在饱满

度方面,雷波与其它各种源之间都存在极显著差异,九寨沟与马边之间差异不显著(表2)。

2.2 形态指标

不同种源的水青树种子在形态学方面存在地理变异,雷波种子长度最大,九寨沟种子宽和厚均为最大。方差分析表明:在种子长和宽上,各种源之间存在极显著差异;在种子厚度上,美姑与马边、九寨沟存在显著、极显著差异,与雷波之间差异不显著(表3)。

2.3 吸胀实验

不同种源水青树种子的吸水量分别为57.36%(美姑)、58.26%(九寨沟)、46.30%(雷波)、58.50%(马边),其中雷波和其它种源间均存在极显著差异,而其它各种源之间差异不显著(表2)。由图1可

知,不同种源水青树种子的吸水过程相似,均可分为 3 个明显的阶段:0~1.5 h 为第一阶段,是急剧吸水的过程,吸水是由吸胀作用引起的;1.5~5 h 为第二阶段,此阶段吸水较缓慢;5 h 后,吸水基本停止即为吸水停滞期。

2.4 不同地理种源种子的萌发和幼苗生长实验

在萌发实验过程中,美姑的种子未能萌发。其它种源种子的萌发率分别为:74.67%(雷波)、41%(马边)、67%(九寨沟),其中马边分别与雷波、九寨沟之间存在极显著($P < 0.01$)或显著差异($P < 0.05$);发芽势分别为 38.33%(雷波)、10%(马边)、27.33%(九寨沟),相互之间存在极显著差异($P < 0.01$)。由图 2、图 3 可知,雷波的幼苗长势均优于其它两地,尤其是幼苗根的生长。

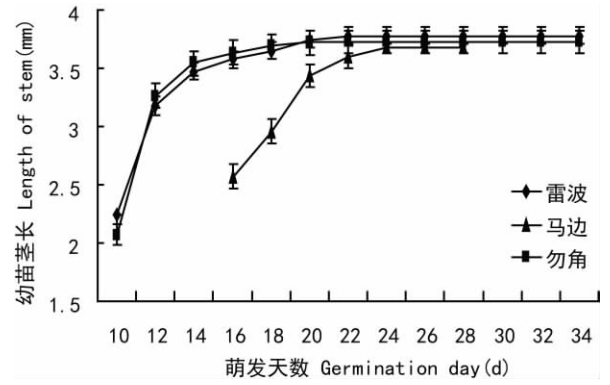


图 3 各种源水青树幼苗茎长的变化过程

Fig. 3 Change process in the length of stem of the seedling of *T. sinense* seeds from different geographical provenances

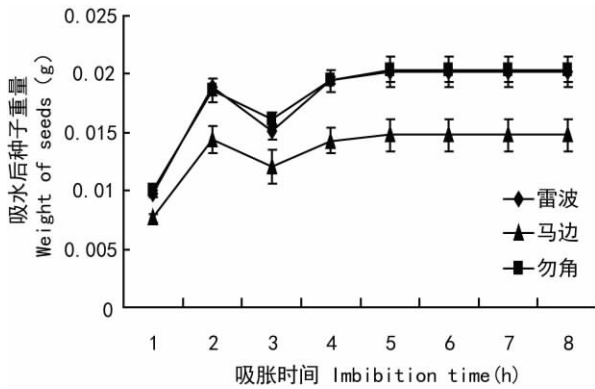


图 1 各种源的水青树种子吸胀的变化过程

Fig. 1 Change process of the imbibition of *T. sinense* seeds from different geographical provenance

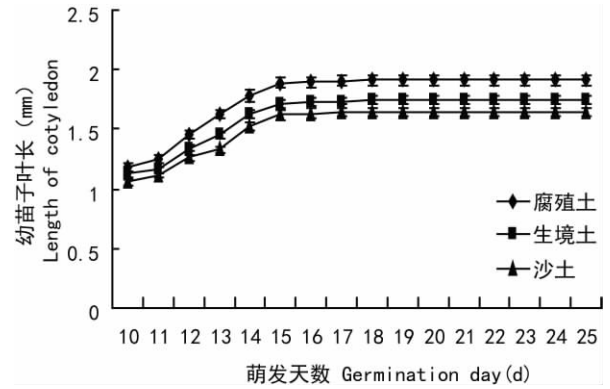


图 4 常温条件下各基质中水青树幼苗子叶的生长过程

Fig. 4 Change process in the length of cotyledon of *T. sinense* seedling in the different matrix in room temperature

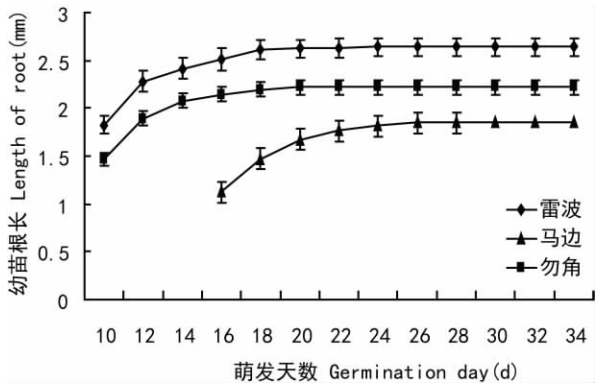


图 2 各种源水青树幼苗根长的变化过程

Fig. 2 Change process in the length of root of the seedling of *T. sinense* seeds from different geographical provenances

2.5 环境因子对水青树种子萌发及幼苗生长的影响

2.5.1 不同基质对水青树种子萌发和幼苗生长的影响 常温下,腐殖土、生境土、沙土中种子的萌发率分别为 72.00%、45.33%、28.67% ($P < 0.01$),发芽势分别为 43.33%、24.67%、16.67% ($P < 0.01$),相互之间存在极显著差异。方差分析表明,常温下土壤基质对种子萌发的影响是极显著的 ($F = 12.849, P < 0.01$)。同时,在腐殖土中幼苗的茎和子叶长势均好于生境土,而沙土中幼苗的茎和子叶的长势最弱(图 4,图 5)。

恒温条件下,腐殖土、生境土、沙土中水青树种子的萌发率分别为 64.67%、45.33%、41.33%,发芽势分别为 39.33%、16%、27.33%,三者之间差异显著 ($0.01 < P < 0.05$)。方差分析表明,恒温下土壤基质对种子萌发的影响是显著的 ($F = 6.054, P <$

0.05)。同时,生境土中幼苗茎的长势最好,腐殖土中幼苗子叶的长势最好,而沙土中幼苗茎和子叶的长势均为最弱(图6,图7)。

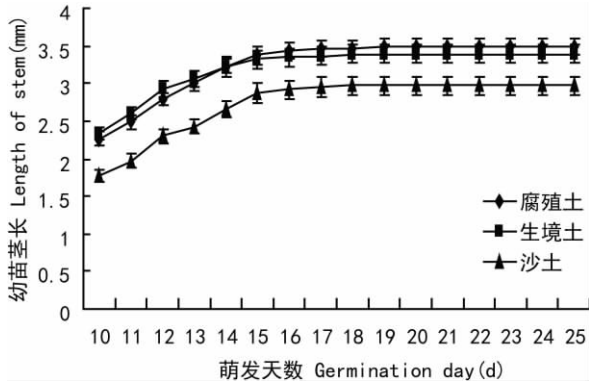


图5 常温条件下各基质中水青树幼苗茎长的变化过程
Fig. 5 Change process in the length of stem of *T. sinense* seedling in the different matrix in room temperature

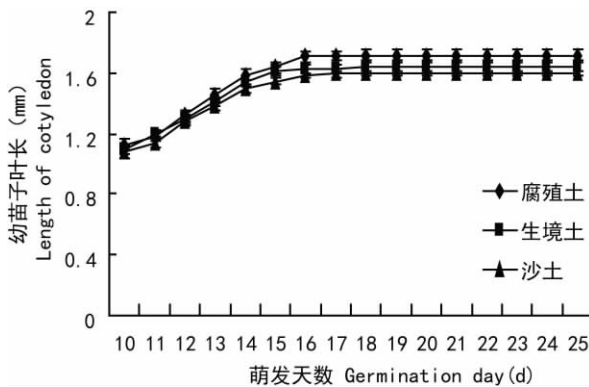


图6 恒温条件下不同基质中水青树幼苗子叶的生长过程
Fig. 6 Change process in the length of cotyledon of *T. sinense* seedling in the different matrix in the constant temperature

2.5.2 不同温度条件对水青树种子萌发和幼苗生长的影响 不同温度条件下,腐殖土中种子萌发率及幼苗长势总体上均好于其他两种基质。由图8、图9可知,随温度条件的不同,腐殖土中水青树种子的萌发率及幼苗长势出现一定的差异。除茎的生长外,常温条件下种子的萌发率及幼苗子叶的长势均好于恒温条件。

3 结论与讨论

3.1 种子吸胀

水分是种子萌发的先决条件,种子在吸收一定

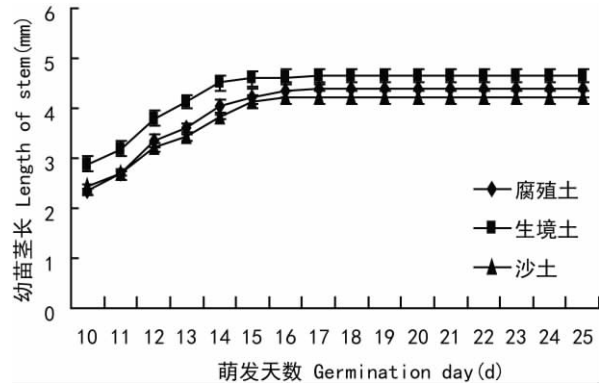


图7 恒温条件下各基质中水青树幼苗茎长的变化过程
Fig. 7 Change process in the length of stem of *T. sinense* seedling in the different matrix in the constant temperature

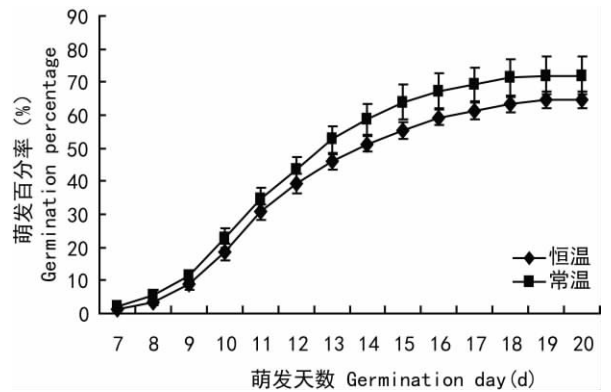


图8 不同温度条件下腐殖土中水青树种子的萌发过程
Fig. 8 Germination process of *T. sinense* seeds of Meigu at the humus soil in the different temperature

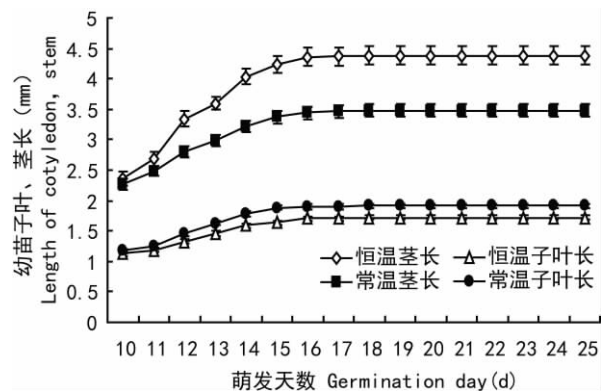


图9 不同温度条件下不同基质中水青树幼苗的生长过程
Fig. 9 Growth tendency of *T. sinense* seedling of Meigu at the humus soil in the different temperature

量的水分后开始萌动,种子吸胀程度及速度取决于

种子成分、种皮和果皮对水分的透性,内含物的致密度、吸胀温度以及环境中水分的有效性(颜启传,2002;张勇等,2005)。实验测得水青树种子的吸胀过程可以明显地分为快速吸水期、缓慢吸水期和吸水停滞期等3个明显的阶段,与许多植物种子的研究结果相似,这表明不同物种种子的吸胀过程具有相似的规律(田宏,2009;张雪等,2010)。不同种源的水青树种子均在吸水5 h后达到饱和状态,明显短于其他种子的吸水饱和时间(10~20 h),表明水青树种子具有快速吸水的生物学特性,这为种子的萌发奠定了良好的基础。

3.2 不同环境因子对种子萌发影响

种子植物自然更新的过程大致包括3个阶段或时期:种子生产和散布,种子在适宜地点萌发及幼苗建成,幼树成长直至成树。在这些过程中,每个阶段都面临着外界环境的适应挑战,因而影响每个阶段的任何因子都会影响更新过程的完成。另外,人为活动和自然因素的干扰,对植物种群数量和分布格局及群落结构与功能等有不同程度的影响(李小双等,2007)。

自然条件下,任何一种环境因子都可能成为种群更新的限制因素。土壤作为各类植物种子萌发及植株生长的先决条件,其营养、紧实度、微生物状况是幼苗更新的主要环境限制因子之一(Florentine & Westbrooke,2004)。不同土壤类型因其物理条件的异质性,从而对种子萌发、幼苗存活与生长产生显著影响(Puerta等,2006)。罗靖德等(2010)研究发现,沙土混合基质中水青树幼苗长势好于沙基质和滤纸。在此基础上,我们发现腐殖土中水青树种子的萌发及幼苗初期的生长均好于生境土与沙土,而沙土中种子的萌发与幼苗的生长最差,这说明腐殖土(水青树的林下土)是水青树种子萌发及幼苗生长的适宜基质,其种子对其生境地土壤具有良好的适应性。结果表明,生境地土壤很可能不是其自然更新的限制因子,但在自然状态下,林下凋落物及其厚度可能对其种群更新有一定影响。因此,应进一步研究凋落物对种子萌发及幼苗形成的影响。

自然条件下环境因子是复杂多变的,温度过高或过低可能引起种子休眠或抑制种子的萌发及幼苗的生长,影响成活。交替变化的温度有利于打破种子的休眠,提高萌发率(李小双等,2007;杨学军等,2010)。文晖(2010)研究发现,在20℃/10℃的变温条件下,水青树种子的萌发率为89.3%,均高于

30℃/20℃、25℃/15℃变温及各种恒温处理,可见适宜的变温处理是有利于其种子萌发的。本实验于2010年3月在南充进行,当月南充的气温浮动于10.1~16.8℃之间,刚好处于20℃/10℃这个变温处理的范围内,因此可将常温实验看作一种变温处理。实验结果表明,常温条件下种子的萌发率高于恒温条件,与文晖(2010)的研究结果一致。同时,常温条件下水青树幼苗子叶的长势要优于恒温条件,在其幼苗生长初期,幼叶尚未形成,此时子叶可进行光合作用为植株的生长供给营养,因此子叶的生长情况与幼苗初期的生长及存活密切相关。变温条件下幼苗子叶的生长较快,可为幼苗的生长提供充足的营养。由此可见,变温处理是有利于其种子萌发和幼苗存活的。因此,在对水青树进行人工育苗时应对其种子采取适当的变温处理。

3.3 地理种源对种子萌发的影响

同一物种因地理种源的不同,种子萌发与幼苗生长均表现出明显的地理变异,这种地理变异的形成与植物对不同环境条件的适应密切相关(魏胜利等,2008;李娜等,2008)。本实验中,不同地理种源的水青树种子其萌发率和幼苗长势存在显著差异,可能是不同种源植物生长性状的地理变异及其与环境因子的相互作用的结果。

柯文山等(2000)研究发现,不同地理种源的四川大头茶(*Gordonia acuminata*)种子,其大小对种子萌发和幼苗生长发育都有影响。在所观测的4个种源中,雷波种子的千粒重、饱满度均为最大,并且该种源种子的萌发率和幼苗初期的长势也最好,但是种子的形态指标(长、宽、厚)与不同种源种子的萌发率及幼苗长势之间相关性不显著。一般地,重量大的种子比重量小的种子具有更多的储藏物(傅家瑞,1985),雷波种源的水青树种子千粒重及饱满度最高,可为种子的萌发和幼苗的生长提供更多的营养物质。由此可见,水青树种子的千粒重及饱满度不仅与种子的萌发、幼苗的初期生长密切相关,而且还能反映出水青树种子质量的好坏作为种子选优时的重要指标。本实验中,美姑2010年的水青树种子未能萌发,但2009年用于萌发实验中的种子萌发率和幼苗的长势均较好,出现该现象的原因有待进一步研究。

物种的濒危是在长期演化过程中内在因素和外部因素综合作用的结果(文晖,2010)。外部恶劣环境使得种子生活力下降及幼苗难以存活等是导致种

群更新困难的要素之一,水青树种子大多在每年10月初开始逐渐成熟落地后,一直至次年五月大多处于一个低温高湿的状态,加之枯枝落叶层的覆盖,可能会加速种子生活力的降低及腐烂,种子的活力会随低温储藏时间的增加而降低直至丧失。同时,水青树种子无休眠特性,如种子成熟落地后就立即萌发,幼苗基本无法度过寒冷的冬季。所以外界环境成为限制其种子萌发及幼苗生成即种群更新的主要因素。除环境因素外,自身生殖力的衰退也是导致种群更新困难的根本原因,因此可对导致种子适合度降低的相关原因进行进一步研究。

参考文献:

- 文晖. 2010. 水青树种子萌发特性及幼苗对光环境的适应[D]. 昆明: 云南大学
- 罗士德. 1998. 中草药抗艾滋病病毒活性研究[M]. 云南: 云南科技出版社: 63
- 傅家瑞. 1985. 种子生理[M]. 北京: 科学出版社: 21-78
- 颜启传. 2002. 种子学[M]. 北京: 中国农业出版社
- Chen FJ(陈发菊), Liang HW(梁宏伟), Wang X(王旭), et al. 2007. Seed dormancy and germination characteristics of *Manglietia patungensis*, an endangered plant endemic to China(濒危植物巴东木莲种子休眠与萌发特性的研究)[J]. *Biodiv Sci(生物多样性)*, **15**(5): 492-499
- Florentine SK, Westbrooke ME. 2004. Restoration on abandoned tropical pasturelands-Do we know enough[J]. *J Nat Conserv*, **12**: 85-94
- Gan XH(甘小洪), Tian MJ(田茂洁), Luo YJ(罗雅杰). 2008. Study on the characteristics of seed germination of endangered plant *Tetracentron sinense*(濒危植物水青树种子的萌发特性研究)[J]. *J Chin West Norm Univ; Nat Sci Edit(西华师范大学学报·自然科学版)*, **29**(2): 132-135
- Huang GH(黄桂华), Liang KN(梁坤南), Zhou ZZ(周再知), et al. 2009. The effect of different media on seeds budding and seedlings growth of *tectona grandis*(不同基质对柚木种子发芽与幼苗生长的影响)[J]. *Seed(种子)*, **28**(10): 86-90
- Ke WS(柯文山), Zhong ZC(钟章成), Xi HA(席红安), et al. 2000. The variation of seed sizes of *Gordonia acuminata* geographic populations and its effect on seed germination and seedling(四川大头茶地理种群种子大小变异及对萌发、幼苗特征的影响)[J]. *Acta Ecol(生态学报)*, **20**(4): 697-701
- Luo JD(罗靖德), Gan XH(甘小洪), Jia XJ(贾晓娟). 2010. Biological characteristics of seeds of endangered plant *Tetracentron sinense*(Tetracentraceae)(濒危植物水青树种子的生物学特性)[J]. *Acta Bot Yunnan(云南植物研究)*, **32**(3): 204-210
- Liu L(刘丽), Guo QS(郭巧生), Wang YP(王云鹏), et al. 2006. Study on characteristics of seed germination of *Salvia officinalis*(药用鼠尾草种子萌发特性的初步研究)[J]. *Chin J Chin Mat Med(中国中药杂志)*, **19**(31): 1587-1589
- Li N(李娜), Shao AJ(邵爱娟), Yuan Y(袁媛), et al. 2008. Comparative research on vitality and characteristics of seeds of *Achyranthes bidentata* in different producing area(不同产地牛膝种子生活力及形态的比较研究)[J]. *Chin J Chin Mat Med(中国中药杂志)*, **33**(9): 1001-1003
- Li XS(李小双), Peng MC(彭明春), Dang CL(党承林). 2007. Research progress on natural regeneration of plants(植物自然更新研究进展)[J]. *Chin J Ecol(生态学杂志)*, **26**(12): 2081-2088
- Manfred J, Lesley P, Birgitte S. 2004. Habitat specificity, seed germination and experimental translocation of the endangered herb *Brachycome muelleri* (Asteraceae)[J]. *Biol Conserv*, **116**: 251-267
- Mills MH, Schwartz MW. 2005. Rare plants at the extremes of distribution: Broadly and narrowly distributed rare species[J]. *Biodiv Conserv*, **14**: 1401-1420
- Puerta-Pinero C, Gomez JM, Zamora R. 2006. Species-specific effects on topsoil development affect *Quercus ilex* seedling performance[J]. *Acta Oecol*, **29**: 65-71
- Tian H(田宏), Liu Y(刘洋), Zhang HS(张鹤山), et al. 2009. Study on the character of water absorption and germination temperature of *Bromus cartharticus* seeds(扁穗雀麦种子萌发吸水特性与萌发温度的研究)[J]. *Chin J Grassl(中国草地学报)*, **31**(2): 53-58
- Wei SL(魏胜利), Wang WQ(王文全), Qin SY(秦淑英), et al. 2008. Study on geographical variation of morphologic and germination characteristic of different *Glycyrrhiza uralensis* provenance seeds(甘草种源种子形态与萌发特性的地理变异研究)[J]. *Chin J Chin Mat Med(中国中药杂志)*, **33**(8): 869-873
- Wang YF, Lai GF, Efferth T, et al. 2006. New glycosides from *Tetracentron sinense* and their cytotoxic activity[J]. *Chem Biodiv*, **3**(9): 1023-1030
- Yang XJ(杨学军), Wen HF(温海峰), Luo X(罗弦). 2010. Study on germination characteristics of *Carex leucochlora* seeds(青绿苔草种子萌发特性研究)[J]. *Hubei Agric Sci(湖北农业科学)*, **49**(1): 115-117
- Zhang X(张雪), Xue LG(薛林贵), Gao TP(高天鹏), et al. 2010. Study on the character of water absorption and the germination of *Dipsacus asperoides* seeds(川断续种子吸水特性及萌发特性研究)[J]. *Seed(种子)*, **29**(9): 21-23
- Zhang Y(张勇), Xue LG(薛林贵), Gao TP(高天鹏), et al. 2005. Research advance on seed germination of desert plants(荒漠植物种子萌发研究进展)[J]. *J Desert Res(中国沙漠)*, **25**(1): 106-112
- Zhou YX(周佑勋). 2007. Light requirement characteristics for the germination of *Tetracentron sinense* seeds(水青树种子的需光萌发特性)[J]. *J Cent S Univ Fore Technol(中南林业科技大学学报)*, **27**(5): 54-57