

光照对绒毛番龙眼种子萌发的影响^{*}

闫兴富^{1,2}, 曹敏^{1**}

(1 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223; 2 北方民族大学 生命科学与工程学院, 宁夏 银川 750021)

摘要: 在实验室和自然条件下, 研究了光照强度和光照时间对西双版纳季节雨林冠层树种绒毛番龙眼 (*Pometia tomentosa*) 种子萌发的影响。结果表明: 不论是在持续光照还是在周期性光照条件下, 3 种不同强度光照处理的绒毛番龙眼种子萌发率都很高, 均与对照 (全黑暗) 无显著差异; 光照可加快种子萌发速度 (降低萌发速率系数), 提高萌发指数和幼苗活力指数。人工遮荫有利于绒毛番龙眼种子萌发率的提高, 在 100% 自然全光照 (natural sunlight, NS) 下萌发率最低 (27.8%), 而在 0.6% NS 处理萌发率最高 (78.9%); 萌发速率系数在全光照下最大, 随遮荫程度的增加而降低, 萌发指数和幼苗活力指数则随遮荫程度的增加而增大。在遮荫萌发实验中, 绒毛番龙眼种子的萌发可能主要受种子脱水敏感性的影响, 即强光下剧烈的水分蒸发引起的暂时水分亏缺导致种子脱水死亡或萌发延迟; 已经“萌发”的种子也可能因短期水分胁迫而不能生长到“第一对真叶出现”这一萌发标准就死亡, 从而降低种子萌发率。在绒毛番龙眼种质资源保护工作中, 既要注意避免强光下温度升高引起的种子过度脱水死亡, 又要保证提供适宜光照条件以提高萌发质量和幼苗成活率。

关键词: 光照强度; 遮荫处理; 绒毛番龙眼; 种子萌发; 西双版纳季节雨林

中图分类号: Q 948.11

文献标识码: A

文章编号: 0253-2700 (2008) 02-183-07

Effects of Light Treatment on the Germination of *Pometia tomentosa* (Sapindaceae) Seeds

YAN Xing-Fu^{1,2}, CAO Min^{1**}

(1 Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China;

2 College of Life Science and Engineering, Northern University for Nationalities, Yinchuan 750021, China)

Abstract: The present paper examined the effects of light treatments on the seed germination of *Pometia tomentosa*—a canopy tree species in seasonal rain forest of Xishuangbanna. The results showed that the final germination percentage of *P. tomentosa* seed was high under both consecutive illumination and 14 h/10 h light/darkness cycle of all light intensities, and no significant difference was observed among treatments. Illumination reduced the coefficient of germination rate, but increased germination index and vigor index. The germination percentage increased with decreasing light intensity in shade house and the highest germination percentage (78.9%) was achieved at 0.6% of natural sunlight (NS), and the lowest germination percentage (27.8%) was achieved at 100% of NS. The germination percentage at 100% of NS was significantly lower than those of shading treatments, although there were no significant differences among shading treatments. The coefficient of germination rate in shading treatment decreased with reducing light intensity, while germination index and vigor index exhibited a converse tendency. It is suggested that the germination of *P. tomentosa* seed in shading treatment can be affected by seed desiccation resulting from evaporation of soil water under high light intensity and by the death of “germ

* 基金项目: 云南省自然科学基金 (2005C0058M) 和国家重点基础研究发展计划项目 (2003CB415100)

** 通讯作者: Author for correspondence; E-mail: caom@xtbg.ac.cn

收稿日期: 2007-07-04, 2007-10-26 接受发表

作者简介: 闫兴富 (1968-) 男, 博士, 副教授, 主要从事种子生物学、植物生态学和恢复生态学教学和研究工作。

E-mail: xxfyan@126.com; Tel: 13995798693

inated seeds" which could not grow to match the criterion of germination. This implies that both avoiding the death of seed desiccation resulted from high temperature under high light intensity and improving the quality of seed germination and seedling survival by providing suitable light for them are emphasized in the protection of germplasm resources of *P. tomentosa*.

Key words: Light intensity; Shading treatments; *Pometia tomentosa*; Seed germination; Xishuangbanna seasonal rain forest

温度、水分和光照是影响种子萌发的主要环境因子。在热带季节雨林, 季节性温度变化对种子萌发的影响较小, 而多数热带地区树木的种子属于顽拗性种子, 这类种子没有休眠或具有胎萌现象, 在从母体植株上散落时已开始萌发 (Tweddle 等, 2003), 不需要外界环境水分的补充。Grime 等 (1981) 报道, 在其研究的 271 种植物的种子中, 大多数植物的种子在光照和部分遮荫条件下萌发率都很高, 在黑暗条件下萌发率很低, 其中 104 种植物的种子在黑暗中萌发率不超过 10%。然而, 西双版纳地区 256 种热带植物种子萌发的结果表明, 大多数植物种子萌发率在 14 h/d 光照和全黑暗条件下都很高 (杨期和等, 2001)。有研究显示, 光照不是西双版纳热带季节雨林树种望天树 (*Shorea wantianshuae*) 种子萌发的限制因子, 但光能通过加快或延迟种子萌发进程或改变幼苗活力指数和萌发指数而影响种子萌发的质量 (闫兴富和曹敏, 2006), 而且在相同的光照强度下, 人工遮荫比林冠自然遮荫有利于望天树种子的萌发 (闫兴富和曹敏, 2007)。有关马来西亚龙脑香科树种种子萌发的研究结果也表明, 在 43 种植物中大多数植物的种子在遮荫和强光下都能很好地萌发, 强光下种子萌发比在荫蔽条件下有所推迟。

绒毛番龙眼 (*Pometia tomentosa*) 是云南西双版纳热带雨林冠层树种, 是热带雨林的上层优势树种之一, 属国家三级保护植物。绒毛番龙眼——千果榄仁 (*Terminalia myriocarpa*) 群落集中分布于 800 m 以下的沟谷两侧, 局部地段可沿沟谷延伸至 1 000 m 左右, 在沟谷中呈间断性、曲折走廊状分布 (欧晓昆, 1997)。绒毛番龙眼种子在 8 月底~ 9 月初成熟散落, 属顽拗性种子, 成熟散落后很快萌发形成幼苗。顽拗性种子成熟散落后的快速萌发可能导致其在脱水敏感性方面付出更高的代价 (Kemmode and Finckh Savage, 2002), 因为脱水可直接导致种子的死亡 (Kyereh 等, 1999)。已有研究证明, 光照不是绒毛番龙

眼种子萌发的限制因子, 在光照和黑暗条件下, 种子均能快速萌发, 且萌发率很高 (文彬等, 2002), 而对绒毛番龙眼种子的快速萌发 (对光照反应的不敏感性) 和脱水敏感性之间是否存在权衡仍没有相关报道。本研究分别在实验室内人工气候箱控制条件和遮荫棚人工遮荫条件下设置不同梯度的光照, 研究了绒毛番龙眼种子萌发对光照的反应以及不同光照条件对种子萌发影响的差异, 以探讨种子对光照反应的不敏感性和对脱水反应的敏感性之间的权衡机制, 为探寻这一珍稀树种的濒危机制, 进行种质资源保护和次生林恢复工作提供科学依据。

1 研究方法

1.1 种子的采集与处理

绒毛番龙眼种子于 2005 年 8 月 29 日采自西双版纳州勐仑自然保护区内小腊公路 55 km 处的原生林内, 选取结果量较大的绒毛番龙眼成年植株, 用高枝剪剪下结有果实 (果皮变黑) 的枝条, 选取大小均匀无病虫害的果实带回西双版纳热带植物园, 人工剥去果皮, 堆积过夜后将带有果肉的种子与湿沙混匀, 手工搓去种子外部的果肉, 清水冲洗干净后置于滤纸上, 在遮荫环境下晾干种子表面水分后立即用于实验。

1.2 实验室内种子萌发

设置持续光照和 14 h 光照/10 h 黑暗的周期性光照两组处理, 每组处理设置 3 个光照梯度: 强光照 (high light, HL, 约 $167.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)、中等强度光照 (medium light, ML, 约 $137.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 和弱光照 (low light, LL, 约 $57.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), 两组处理的温度和空气相对湿度完全相同, 其中“白天”温度为 28℃, “夜晚”温度为 19℃, 2 组处理昼夜变温同步, 均以全黑暗处理 (darkness, DN, 温、湿度条件同上) 作对照。实验包括 7 个处理 (持续光照的 HL、ML、LL; 周期性光照的 HI/DN、MI/DN、LI/DN 和全黑暗 DN), 各处理均设置 3 个重复, 每一重复 25 粒种子, 播种在置于 MGC-350HP2 型智能型人工气候箱 (上海一恒科技有限公司生产) 中的培养皿 (内径为 14 cm) 内; 以湿沙作萌发基质 (湿沙使用前用清水冲洗干净后在 85℃ 烘箱中烘干 48 h), 播种时将种子侧放于湿沙表面, 轻压种子使其与湿沙充分接

触, 以利于种子吸水。以胚根伸出种皮 5 mm (Eeswara 等, 1998; Fu 等, 1990; Liu 等, 2005) 为萌发标准, 每 24 h 观测记录种子萌发 1 次, 记录萌发的种子数和已萌发种子的胚根长度 (cm), 及时清除已萌发的种子。观察记录到持续 7 d 不再有种子萌发为止, 实验过程中适时浇水以保持培养基湿润。

1.3 人工遮荫条件下的种子萌发

人工遮荫棚用黑色尼龙网眼布搭建, 共设置裸地 (100% 自然全光照, natural sunlight, NS)、1 层 (37.3% NS)、2 层 (15.5% NS)、3 层 (4.2% NS)、4 层 (1.6% NS) 和 5 层遮荫 (0.6% NS) 等 6 个光照梯度。分别用竹签标定 3 个 1 m×1 m 的小样方作为每一光照处理的 3 个重复; 每 1 小样方内播种 30 颗种子, 共 540 颗。播种时将种子侧放, 不覆土, 轻压种子使其与土壤充分接触以利吸水, 播种后适时浇水, 以幼苗第一对真叶出现作为萌发标准 (Panmenter 等, 1984), 每 24 h 观察记录种子萌发 1 次, 记录萌发的种子数, 测定种子萌发形成的幼苗株高 (cm), 记录持续 14 d 直到没有种子萌发为止。

1.4 萌发参数的计算

评价种子活力的参数包括萌发率 (germination percentage, GP)、萌发速率系数 (coefficient of rate of germination, CRG)、萌发指数 (germination index, GI) 和幼苗活力指数 (vigor index, VI), 分别按下述公式计算有关萌发参数:

(1) $GP = \text{萌发种子数} \times 100\% / \text{试验用种子总数}$

(2) $CRG = [\sum (t \times n) / \sum n] \times 100$

式中: t 为自萌发实验开始时的天数; n 为在 t 天内萌发的种子数 (Boscagli and Sette, 2001);

(3) $GI = MDG \times PV$

式中: MDG 为平均每天种子萌发数, 等于萌发实验结束时种子萌发数/萌发实验经历的天数; PV (peak value) 为种子最大萌发数, 等于萌发实验期间任意一天中达到的最大萌发数/达到这一最大值所需的天数 (Abdul Baki and Anderson, 1973);

(4) $VI = \text{萌发率} \times (\text{幼苗根的长度} + \text{幼苗茎长度 (cm)})$ (Abdul Baki and Anderson, 1973)。

1.5 数据的统计分析

所有实验结果均在 SPSS 12.0 中用单因子方差分析的方法进行各处理间和组间差异性分析。需要指出的是, 在计算幼苗活力指数时, 实验室内种子萌发只计算了胚根长, 因为实验室内种子萌发以胚根伸出种皮 5 mm 作为萌发标准, 此时胚芽还没有伸长到可测的范围; 而遮荫萌发实验所得到的幼苗还要用于幼苗生长实验的研究工作, 只计算了幼苗的胚轴和胚芽 (茎) 长。

2 结果与分析

2.1 不同光照对绒毛番龙眼种子萌发的影响

绒毛番龙眼种子在全黑暗、持续的弱光、中等强度光照和强光下的萌发率分别为 90.7%、84%、92% 和 84%, 3 种光照处理的最终萌发率均与对照无显著差异 (图 1: A); 弱光下萌发速率系数显著高于其它 2 个光照处理 ($P < 0.05$), 而强光下显著低于对照 ($P < 0.05$, 图 2: A); 中等强度光照和强光下萌发指数均显著高于对照 ($P < 0.01$), 强光下萌发指数还显著高于中等强度光照 ($P < 0.01$) (图 2: A)。幼苗活力指数在中等强度光照下最大 (95.2), 但除显著高于弱光处理外, 与其他处理和对照间均无显著差异 (图 2: A)。

在周期性光照下, 不同光强处理的绒毛番龙眼种子的所有萌发参数均与对照无显著差异 (图 1: B)。萌发速率系数在弱光下较对照有所提高, 但随光照的增强又逐渐下降, 在强光下最低 (586.8); 萌发指数随光照强度的增加依次增大; 3 种光照处理的幼苗活力指数均高于对照, 在强光下最大 (93.1) (图 2: B)。

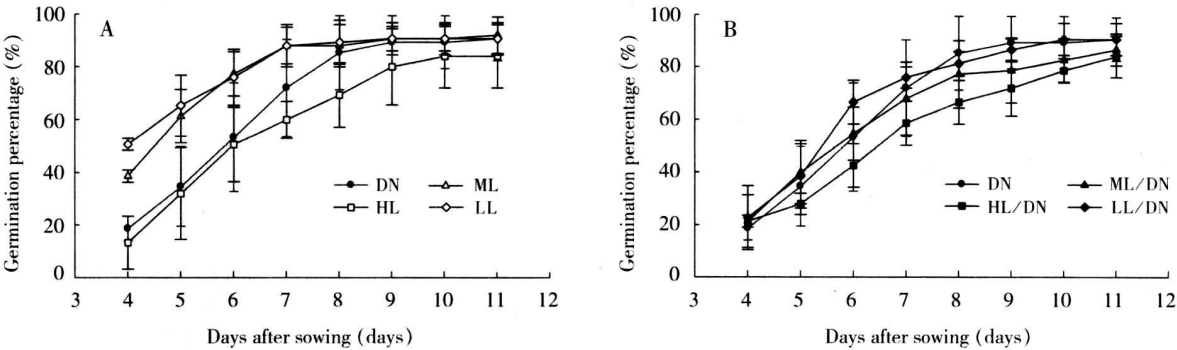


图 1 不同光照强度的持续光照 (A) 和周期性光照 (B) 对绒毛番龙眼种子 GP (%) 的影响

Fig. 1 Effects of different light intensities of consecutive (A) and periodic irradiance (B) on the GP (%) of *Pomadia tomentosa* seeds

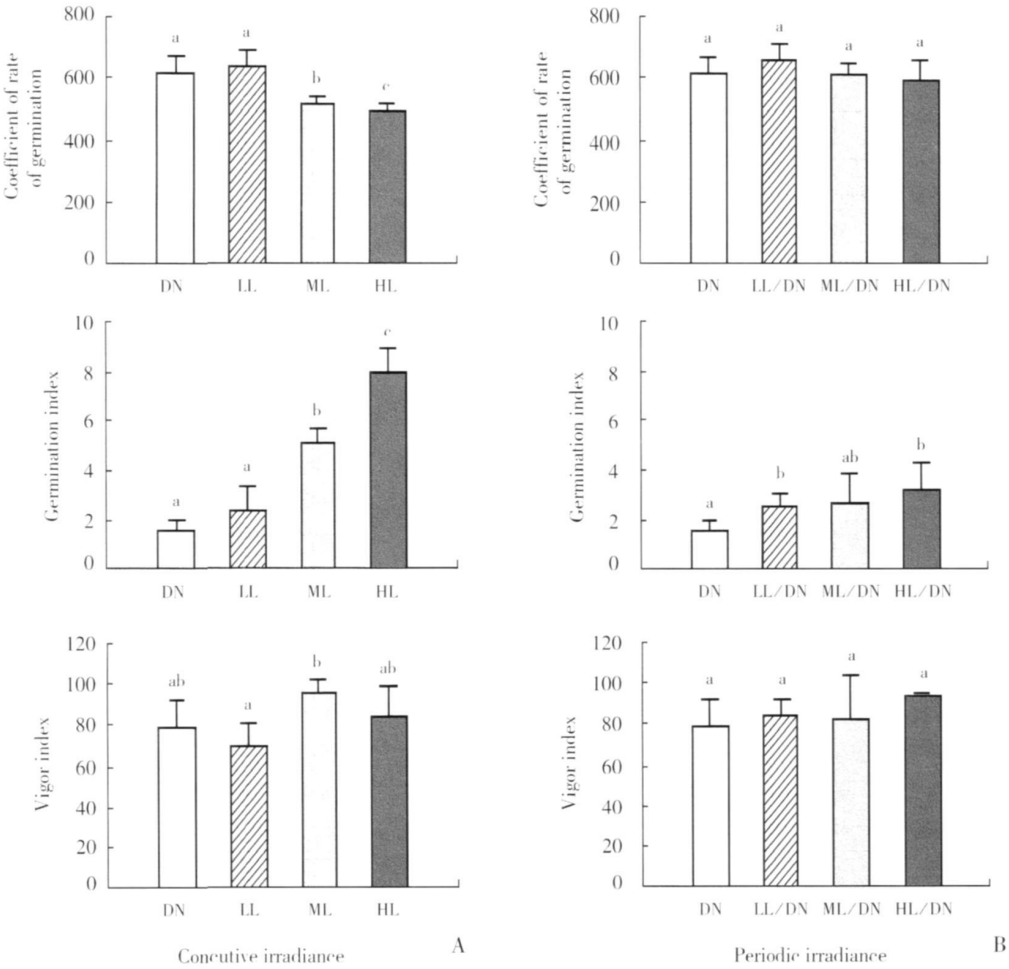


图2 不同光照强度的持续光照 (A) 和周期性光照 (B) 对绒毛番龙眼种子萌发的CRG、GI 和 VI 的影响

Fig. 2 Effects of different light intensities of concutive (A) and periodic irradiance (B) on the CRG, GI and VI of *Pometia tomentosa* seeds
同一条图中的不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different letters in the same graph meant significant difference at 0.05 level; 下同 The same below

虽然萌发率在持续光照和周期性光照处理间无显著差异, 但持续光照下萌发率稍高于周期性光照; 持续光照处理的幼苗活力指数 (82.8) 显著 ($P < 0.01$) 低于周期性光照 (86.8)。萌发速率系数在两组处理间差异较大, 持续光照处理 (542.4) 显著低于周期性光照 (620.1, $P < 0.05$), 前者的萌发指数显著高于后者 ($P < 0.05$)。

2.2 人工遮荫条件下绒毛番龙眼种子的萌发

遮荫处理的绒毛番龙眼种子从播种后的第 11 天开始萌发。最终萌发率在 100% NS 显著低于各遮荫处理 ($P < 0.01$), 各遮荫处理间差异不显著 (图3)。萌发速率系数在 100% NS 处理略低于 37.3% NS 处理 (差异不显著), 但显著高于其它所有遮荫处理 ($P < 0.01$), 各遮荫处

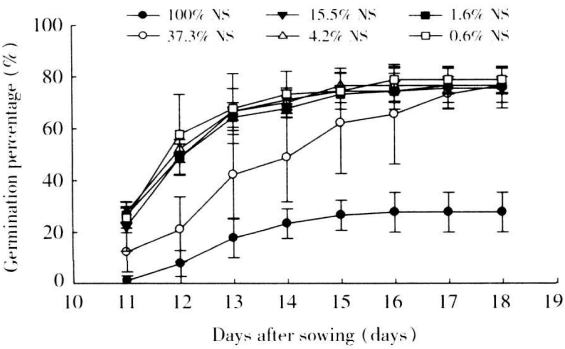


图3 不同光照强度的遮荫处理对绒毛番龙眼种子 GP (%) 的影响

Fig. 3 Effects of different light gradients in shaded houses on the GP (%) of *Pometia tomentosa* seeds
NS, 自然全光照 natural sunlight

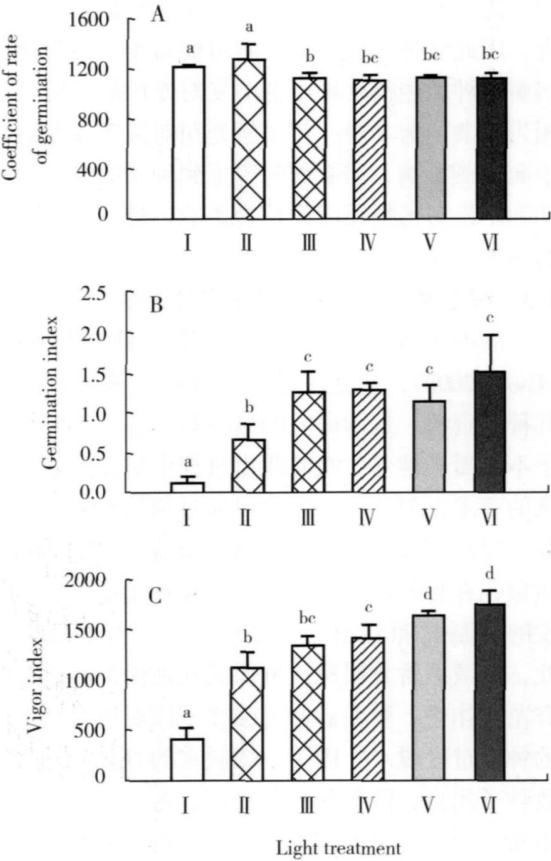


图 4 不同光照梯度的遮荫处理对绒毛番龙眼种子的
CRG (A)、GI (B) 和 VI (C) 的影响
Fig. 4 Effects of different light gradients in shade house on the
CRG (A), GI (B) and VI (C) of *Pometia tomentosa* seeds
I : 100% NS; II : 37.3% NS; III: 15.5% NS;
IV: 4.2% NS; V : 1.6% NS; VI: 0.6% NS

理间无显著差异 (图 4: A)。萌发指数和幼苗活力指数在 100% NS 显著低于各遮荫处理 ($P < 0.01$), 其中幼苗活力指数在 4.2% 和 0.6% NS 处理间的差异显著 ($P < 0.05$) (图 4: B、C)。

3 讨论

3.1 光照对绒毛番龙眼种子萌发的影响

不同强度持续光照处理的绒毛番龙眼种子最终萌发率都很高; 持续光照和周期性光照两组处理的种子萌发进程均随光照的增强而加快, 萌发指数和幼苗活力指数也均随光照的增强而增大, 与文彬等 (2002) 的研究结果类似, 即光照不是绒毛番龙眼种子萌发的必需条件, 但适宜的光照可以提高种子萌发质量。多数湿润热带雨林地区

树种的种子属于顽拗性种子, 没有休眠, 顽拗性种子对脱水反应敏感, 成熟散落后立即萌发形成幼苗, 有的甚至从母体植株上散落时就开始萌发 (Baskin and Baskin, 2000; Tweddle 等, 2003), 因而顽拗性种子的萌发对光照要求不高, 遮荫在一定程度上降低了种子干燥脱水死亡的风险而有利于种子萌发。因此, 绒毛番龙眼种子在全黑暗条件下萌发率也很高, 类似结果在西双版纳地区其它树种的种子萌发研究中有报道 (王雪和宋松泉, 2006)。另外, 热带季节森林的湿润季节有大量脊椎动物活动, 种子散落后立即萌发减少了捕食动物对种子捕食的机会, 同时也保证了幼苗获得更长的生长时间 (Daws 等, 2005)。有关遮荫有利于种子萌发的相关报道很多 (Kubitzki and Ziburski, 1994; Wiltzin and McPherson, 1999; Navaro and Guitián, 2003)。从本研究的遮荫萌发结果看, 光照抑制绒毛番龙眼种子的萌发, Raich and Gong (1990) 以热带地区龙脑香科植物的种子为研究材料发现, 多数种子在遮荫和强光下都能较好地萌发, 但强光下种子的萌发比遮荫环境中有所推迟, 这与本研究的结果一致。研究显示, 西双版纳地区的望天树 (*Shorea wantian-shuea*) 和假槟榔 (*Archontophoenix alexandrae*) 的种子也存在光照抑制萌发现象 (邵玉涛等, 2006; 闫兴富和曹敏, 2007)。另据冉春燕等 (2005) 报道, 亚热带常绿阔叶林乔木树种复羽叶栎树 (*Koelreuteria bipinnata*) 的种子在各种光照环境下萌发率都很高, 而罗浮柿 (*Diospyros marisiana*) 和白毛新木姜子 (*Neolitsea aurata*) 的种子萌发率随光照水平减弱而升高。吴彦等 (2004) 报道了温带地区树种云杉 (*Picea asperata*) 和红桦 (*Betula albor-sinensis*) 的种子在 100% 全光照下萌发率很低, 而且萌发进程缓慢, 但弱光照有利于其种子萌发。光对种子萌发抑制作用中的生态学作用还不清楚, Kyereh 等 (1999) 认为, 强光照可能引起温度升高而导致种子含水量下降, 从而影响种子萌发。对顽拗性种子来说, 这种抑制作用更为重要, 因为脱水对顽拗性种子危害更大 (Pons, 2000)。

光周期对热带地区种子萌发的影响已有不少报道, 例如, 黑暗条件下培养 35 d 后不能萌发的从毛垂叶榕 (*Ficus benjamina*) 种子在添加交

替光照后迅速萌发, 而且种子的最终萌发率随着光期长度的增加显著提高 (王雪和宋松泉, 2006), 该地区另一乔木树种滇南红厚壳 (*Calophyllum polyanthum*) 的种子在 14 h/d 光照下比在黑暗中萌发迅速 (何惠英和宋松泉, 2003)。尽管本研究中绒毛番龙眼种子的萌发率在持续光照和周期性光照处理间无显著差异, 但从其它萌发参数看, 持续光照比周期性光照更有利于萌发, 表明光周期对绒毛番龙眼种子的萌发没有影响。王雪和宋松泉 (2006) 指出, 种子萌发对光照的反应可能表现为一种数量性状, 因此, 绒毛番龙眼种子在持续光照处理优于周期性光照处理可能是这种数量性状对光照反应的表现。

3.2 2 种光照条件下种子萌发的差异

实验室内和人工遮荫处理种子萌发的结果存在较大差异。实验室内各种光照对种子萌发具有促进作用, 尽管实验室内各种光照处理种子的萌发率没有显著提高, 但萌发进程加快, 而且萌发指数和幼苗活力指数均增大, 说明光照提高了绒毛番龙眼种子的萌发质量 (文彬等, 2002)。赖江山 (2003) 也报道, 光照不是秦岭冷杉 (*Abies chensiensis*) 种子萌发的必需条件, 但能加速其种子的萌发进程。在遮荫萌发实验中光照表现出对绒毛番龙眼种子萌发具有抑制作用, 在遮荫实验中种子可能更多地受干燥脱水的影响, 因为我们播种时将种子直接投放于土壤表面, 没有任何覆盖。对顽拗性种子来说, 尽管在土壤水分供应充足的条件下, 直接暴露于强光下的种子也可能因种子温度升高而导致种子脱水 (Kyereh 等, 1999), 而且光照、温度和种子含水量对种子萌发的影响是相互制约的, 种子含水量的变化可能影响种子对光和温度反应的敏感性, 从而影响种子的萌发 (杨期和等, 2001)。本研究的遮荫萌发实验部分以第 1 对真叶出现作为萌发标准, 一些已经“萌发”但因脱水而导致萌发过程中断的种子难以生长到“真叶出现”就死亡, 这在一定程度上降低了萌发率。在野外生境的萌发过程中, 顽拗性种子的脱水敏感性可能对萌发影响更大, 尽管在遮荫实验过程中定期浇水, 但强光下剧烈的水分蒸发引起的暂时水分亏缺也可能导致种子萌发的延迟或脱水死亡, 而实验室内种子萌发是在严格控制光照、温度和湿度等条件下进行

的, 而且其光照强度也远低于自然条件下的光强, 因此受种子脱水的影响可能很小。热带地区耐荫树种的顽拗性种子的萌发对光照的反应可能相当复杂, 为了进一步了解光照对绒毛番龙眼种子萌发的影响, 需要同时考虑到种子的脱水敏感性和萌发对光照反应的综合影响, 进行更加深入的研究工作。

3.3 绒毛番龙眼的种子萌发与物种保护

绒毛番龙眼种子属于典型的顽拗性种子 (Pons, 2000), 这就决定了不能通过种子库保存其种质资源。从本研究的结果看, 绒毛番龙眼种子不是需光种子, 在其萌发过程中对光照没有特殊的要求, 但适宜的光照可通过加快种子萌发进程、提高萌发指数和幼苗活力指数提高种子萌发质量, 在野外萌发过程中, 决定种子能否成功萌发的不是光照强弱, 而是种子的干燥脱水。因此, 在绒毛番龙眼种质资源的迁地保护和造林的育苗工作中, 要注意避免强光下因温度升高引起的种子过度脱水, 因为干燥脱水的直接结果是导致种子死亡, 降低种子萌发率, 造成种子资源的浪费; 同时, 又要保证提供适宜的光照条件以提高萌发质量和幼苗成活率。在西双版纳地区的雨季, 成熟散落到湿润的森林地表的绒毛番龙眼种子能够自然萌发形成幼苗, 但在一些较大林窗中的强光照也可能引起种子脱水死亡, 而在过度荫蔽潮湿的环境中, 种子则容易遭病原菌感染而死亡。因此, 在就地保护和退化森林的恢复工作中, 除在种子大量散落季节采取措施控制动物对种子的取食外, 还要注意人工采种重新播种, 提高幼苗的实际增补率和壮苗比例; 也可采种后在苗圃内适度荫蔽的环境中集中育苗, 再适时移栽到野外的适宜生境中。

〔参 考 文 献〕

- Abdul Baki AA, Anderson JD, 1973. Relationship between decarboxylation of glutamic acid and vigor in soybean seed [J]. *Crop Sci*, **13**: 222—226
- Baskin CC, Baskin JM, 2000. Ecology and evolution of specialized seed dispersal, dormancy and germination strategies [J]. *Plant Species Biol*, **15**: 95—96
- Boscajli A, Sette B, 2001. Seed germination enhancement in *Saturja montana* L. ssp. *montana* [J]. *Seed Sci Technol*, **29**: 347—355

- Daws MI, Garwood NC, Pritchard HW, 2005. Traits of recalcitrant seeds in a semi-deciduous tropical forest in Panama: Some ecological implications [J]. *Funct Ecol*, **19**: 874—885
- Eeswara JP, Allan EJ, Powell AA, 1998. The influence of stage of seed maturity, moisture content and storage temperature on the survival of neem (*Azadirachta indica*) seed in storage [J]. *Seed Sci Technol*, **26**: 299—308
- Fu JR, Zhang BZ, Wang XP *et al.*, 1990. Physiological studies on desiccation, wet storage and cryopreservation of recalcitrant seeds of three fruit species and their excised embryonic axes [J]. *Seed Sci Technol*, **18**: 743—754
- Grime JP, Mason G, Curtis AV *et al.*, 1981. A comparative study of germination characteristics of a local flora [J]. *J Ecol*, **69**: 1017—1059
- He HY (何惠英), Song SQ (宋松泉), 2003. Desiccation sensitivity of *Calophyllum polyanthum* seeds and factors affecting their germination [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), **25** (6): 687—692
- Kemode AR, Finch Savage BE, 2002. Desiccation Sensitivity in Orthodox and Recalcitrant Seeds in Relation to Development [A]. In: Black M, Pritchard HW eds., *Desiccation and Survival in Plants: Drying Without Dying* [M]. Wallingford: CAB International, 149—184
- Kubitzki K, Ziburski A, 1994. Seed dispersal in flood plain forest of Amazonia [J]. *Biotropica*, **26**: 30—43
- Kyereh B, Swaine MD, Thompson J, 1999. Effect of light on the germination of forest trees in Ghana [J]. *J Ecol*, **87**: 772—783
- Lai JS (赖江山), Li QM (李庆梅), Xie ZQ (谢宗强), 2003. Seed germinating characteristics of the endangered plant *Abies chensiensis* [J]. *Acta Phytocol Sin* (植物生态学报), **27** (5): 661—666
- Liu Y, Qiu YP, Zhang L *et al.*, 2005. Dormancy breaking and storage behavior of *Garcinia cava* Roxb. (Guttiferae) seeds: implications for ecological function and germplasm conservation [J]. *J Integr Plant Biol*, **47**: 38—49
- Navaro L, Guàrdia J, 2003. Seed germination and seedling survival of two threatened endemic species of the northwest Iberian Peninsula [J]. *Biol Conserv*, **109**: 313—320
- Ou XK (欧晓昆), 1997. A phytosociological study on the *Pometia tomentosa* community in Mengyang biosphere reserve of Xishuangbanna [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), **19** (Suppl.): 58—69
- Pammenter NW, Farrant JM, Berjak P, 1984. Recalcitrant seeds: short-term storage effects in *Acacia merina* (Forsk.) Vierh. may be germination associated [J]. *Ann Bot*, **54**: 843—846
- Pons TL, 2000. Seed Responses to Light [A]. In: Fenner M, ed. *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities* (2nd Ed.) [M]. Oxford: CABI Publishing, 237—260
- Ran CY (冉春燕), Tao JP (陶建平), Song LX (宋利霞), 2005. Germination characteristics of several tree species in subtropical evergreen broad leaf forests [J]. *J Southwest Univ (Nat Sci)* (西南农业大学学报 (自然科学版)), **27** (6): 753—756, 776
- Raich JW, Khoo GW, 1990. Effects of canopy openings on tree seed germination in a Malaysian dipterocarp forest [J]. *J Trop Ecol*, **6**: 203—217
- Shao YT (邵玉涛), Yin SH (殷寿华), Lan QY (兰芹英) *et al.*, 2006. Developmental changes in relation to desiccation tolerance of *Archontophoenix alexandrae* (Palmae) seeds [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), **28** (5): 51—522
- Tweddle JC, Dickie JB, Baskin CC *et al.*, 2003. Ecological aspects of seed desiccation sensitivity [J]. *J Ecol*, **91**: 294—304
- Wang X (王雪), Song SQ (宋松泉), 2006. Light sensitivity in seed germination of *Ficus benjamina* var. *nuda* (Moraceae) and its ecological significance [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), **28** (6): 631—638
- Wen B (文彬), Yin SH (殷寿华), Lan QY (兰芹英) *et al.*, 2002. Ecological characteristics of seed germination of *Pometia tomentosa* [J]. *Guihaia* (广西植物), **22**: 408—412
- Wiltz JF, McPherson GR, 1999. Facilitation of conspecific seedling recruitment of and shifts in temperate savanna ecotones [J]. *Ecol Monogr*, **69**: 513—534
- Wu Y (吴彦), Liu Q (刘庆), He H (何海) *et al.*, 2004. Effects of light and temperature on seed germination of *Picea asperata* and *Betula albosinensis* [J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15** (12): 2229—2232
- Yan XF (闫兴富), Cao M (曹敏), 2006. Influence of light and temperature on the germination of *Shorea waltersiana* (Dipterocarpaceae) seeds [J]. *Chin Bull Bot* (植物学通报), **23** (6): 648—65
- Yan XF (闫兴富), Cao M (曹敏), 2007. Effects of light intensity on seed germination and seedling early growth of *Shorea waltersiana* [J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **18** (1): 23—29
- Yang QH (杨期和), Lan QY (兰芹英), Zhang YJ (张艳军), 2001. Preliminary study on seed physiological characteristics and factors affecting seed germination of *Micromelum integrum* Roem [J]. *J Guangxi Agric Biol Sci* (广西农业生物科学), **20** (2): 108—112
- Yang QH (杨期和), Yang W (杨威), Li JR (李秀荣), 2001. Preliminary study on the factors influencing seed germination of tropical plant [J]. *Seed* (种子), **20** (5): 45—48