

珍稀药用植物云南萝芙木种子休眠与萌发特性*

王福云, 蔡传涛**, 文彬

(中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 勐腊 666303)

摘要: 研究了云南萝芙木 (*Rauwolfia yunnanensis*) 种子吸水及内源萌发抑制物特性, 探讨了赤霉素浓度、温度和光照对种子萌发的影响。结果表明: 云南萝芙木新鲜饱满种子 28℃ 和 31℃ /22℃ 光照或黑暗下 1 个月内不萌发, 种子胚已分化发育完全, 种皮透水, 种仁含有萌发抑制物, GA 可促进种子萌发, 说明云南萝芙木种子具有浅度生理休眠。400~ 1 800 mg L⁻¹ 是打破云南萝芙木种子休眠的适宜 GA 处理浓度范围。云南萝芙木种子的适宜萌发温度范围为 22~ 28℃ 和 31℃ /22℃ 变温, 28℃ 发芽指数最高, 10℃ 种子不萌发。云南萝芙木种子在周期性光照和全黑暗下均可萌发, 但 31℃ 和 31℃ /22℃ 下周期性光照促进种子萌发。

关键词: 云南萝芙木; 种子休眠; 赤霉素; 温度; 光照

中图分类号: Q 945

文献标识码: A

文章编号: 2095 - 0845(2011)02 - 229

- 06

Study on the Characteristics of Seed Dormancy and Germination of *Rauwolfia yunnanensis* (Apocynaceae)

WANG Fu-Yun, CAI Chuan-Tao**, WEN Bin

(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Science, Mengla 666303, China)

Abstract *Rauwolfia yunnanensis* (Apocynaceae) is known for its medical properties. Its large-scale cultivation is limited due to the limited availability of seedlings. This study investigated the factors that cause seed dormancy by testing the effects of exogenous gibberellin, temperature and illumination upon the germination of *R. yunnanensis* seeds. The results indicate that fresh mature seeds of *R. yunnanensis* did not germinate at either 28℃ or 31℃ /22℃ (alternating temperature), whether in light or darkness. The seed coat was water permeable, but endogenous germination inhibitors were found in the seed kernel. Gibberellic acid (GA) improved germination of *R. yunnanensis* seeds, indicating that *R. yunnanensis* seeds have non-deep physiological dormancy. Dormancy breaking of *R. yunnanensis* seeds can be achieved by applying GA at a concentration of 400– 1800 mg L⁻¹. The suitable temperature range for germination was 22℃ – 28℃ and 31℃ /22℃, while the highest germination success was obtained at 28℃. *R. yunnanensis* seeds germinated both under continuous dark conditions and alternating light/dark conditions, however, at 31℃ and 31℃ /22℃, alternating light/dark conditions improved germination.

Key words *Rauwolfia yunnanensis*; Seed dormancy; GA; Temperature; Illumination

云南萝芙木 (*Rauwolfia yunnanensis* Tsiang) 为夹竹桃科半荫生常绿灌木, 是我国珍贵药用植物, 民间用它的根煎服治疗感冒头痛、咽喉肿痛、高血压眩晕等症, 叶捣烂外敷治疗跌打、蛇

咬 (王宗玉和刘伦辉, 2002; 林艳芳等, 2003)。20世纪 40~ 50年代, 萝芙木根粉降血压作用的发现和利血平成分的分离, 迅速提升了萝芙木原材料的商业价值。由于资源开发量大, 萝芙木

* 基金项目: 云南省重大产业关键技术研究项目和中国科学院“西部之光”项目资助

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

收稿日期: 2010- 09- 09, 2011- 02- 15 接受发表

作者简介: 王福云 (1986-) 女, 硕士研究生, 主要从事药用植物栽培技术研究。E-mail: wfy472@163.com

野生资源目前已濒临枯竭, 发展人工种植成为必然趋势 (龙绛雪等, 2009)。云南怒江目前已成功培育云南萝芙木 5 万株, 怒江州已将云南萝芙木种植列入《怒江州中药材种植产业化发展规划》中, 计划发展种植 666.67 hm² (赵永生等, 2006)。

目前制约萝芙木大规模种植的瓶颈主要是种苗供应不足。萝芙木野生状态下萌发率仅 10% ~ 40%, 一方面是因为萝芙木种子具有休眠后熟习性, 萌发时间长, 易受不良环境因素影响; 另一方面与种子空瘪率高, 质量低有关。萝芙木可孤雌生殖, 种子空瘪率有时高达 90% (龙绛雪等, 2009)。云南萝芙木花期 3-12 月, 果期 5 月至翌年春季, 气温低的季节、湿度高的林下环境均有利于降低空粒率, 最低至 9% ~ 18% (中国科学院中国植物志编辑委员会, 1997; 冯耀宗等, 1965)。

具有活力的种子在任何物理环境因子 (温度、光照等) 的组合影响下不能萌发的现象, 称为种子休眠。种子休眠是植物长期系统发育过程中形成的对外界不良环境和季节变化的适应性 (Finch 和 Leubner, 2006; 胡晋等, 2009)。Baskin 和 Baskin (1998) 根据引起种子休眠的因素不同将种子休眠分为生理休眠、形态休眠、形态生理休眠、物理休眠和综合休眠 5 类, 其中生理休眠是最常见的类型。生理休眠的种子种皮能够透水, 胚分化发育完全, 但胚生长能力弱, 4 周内胚根不能突破种皮而萌发, 种子需冷层积或暖层积提高胚的生长能力。根据生理休眠种子离体胚能否发育为正常幼苗、赤霉素能否打破种子休眠、所需层积温度等不同, 又将生理休眠分为深度、中度和浅度 3 个水平。其中浅度生理休眠最常见, 这类种子的离体胚可产生正常幼苗, GA 处理、冷层积 (0~10℃) 或暖层积 (>15℃) 可释放休眠 (Baskin 和 Baskin, 2003)。

目前云南萝芙木种苗培育采用层积法催芽 (蒲崇德和李开云, 1991; 刘锡葵等, 2007), 本实验通过对云南萝芙木种子休眠和萌发条件的研究, 旨在明确种子休眠类型, 找出打破种子休眠的方法及适宜种子萌发的条件, 为提高云南萝芙木的人工种苗繁育效率, 促进云南萝芙木野生种群恢复及规范化种植提供理论依据与技术指导。

1 材料与方法

1.1 实验材料

云南萝芙木果实采于云南省景洪市中国科学院西双版纳热带植物园东区。采回的果实在水中搓去果肉, 水选出上浮、下沉种子, 阴干后分别储藏在 15℃ 的种子库中, 下沉饱满种子用于以下所有实验, 上浮空瘪种子只测定新鲜种子特征参数。云南萝芙木种子成熟期不一致, 每次在植株上可以采到的新鲜成熟果实数量有限, 因此, 无法用同一批种子完成所有实验。种子吸水和内源萌发抑制物提取实验的种子采于 2010 年 7 月上旬, 以新鲜种子进行实验。GA 浓度和温度与光照实验种子采于 2009 年 11-12 月, 2010 年 3-6 月进行实验。

1.2 种子特征指标测定

种子含水量的测定使用温度设置在 (103±1)℃ 的鼓风烘箱烘干 (17±1) h, 以样品烘干前后的重量差值除以鲜质量计算种子含水量, 10 次重复, 每重复 1 粒种子。随机抽取新鲜种子 100 粒, 用精确到 0.001 g 的电子天平测定种子干粒重, 8 次重复。种子大小以长轴、横径和纵径表示, 随机抽取 30 粒种子, 用精确到 0.01 mm 的游标卡尺测量。含水量、干粒质量和种子大小均以新鲜种子测定, 结果以均值 ± 标准差表示。

1.3 云南萝芙木种子吸水实验

实验设完整种子、破皮种子和 GA 预浸种 3 个处理。完整种子浸于蒸馏水中作对照; 破皮种子切去约十分之一的种皮后浸于蒸馏水中; GA 预浸种是在实验前 24 h 将种子浸于 1 000 mg L⁻¹ GA 溶液中, 随后冲洗干净浸于蒸馏水中。吸水过程在 28℃ 的培养箱中进行, 每处理设 3 次重复, 每重复 100 粒种子, 以种子吸水量与干重之比计算吸水百分率。

1.4 内源萌发抑制物提取与检验

参考王小平和王九龄 (1998) 的方法, 随机抽取 150 粒种子, 分离为种皮 (内果皮) 和种仁 (含胚乳和胚) 两部分, 分别研磨后, 以 80% 甲醇溶液于 4℃ 静置提取 36 h, 重复提取 1 次。提取液于 55℃ 条件下蒸干, 以蒸馏水洗下提取物, 定容为 25 mL。以白菜种子萌发实验检验云南萝芙木种子提取物中是否存在萌发抑制物, 蒸馏水为对照, 28℃ 下进行发芽实验, 3 次重复, 每重复 100 粒种子。72 h 后统计发芽率, 每重复随机抽取 10 株幼苗测胚根长、苗长, 计算简易活力指数。

1.5 GA 浓度对种子萌发的影响

种子以 6% 的 H₂SO₄ 溶液浸泡 4 min 后, 自来水冲洗, 接着以浓度分别为 200、400、600、800、1 000、1 200、1 400、1 600、1 800、2 000 mg L⁻¹ 的 GA 溶液 28℃ 下分别浸种 24 h, 蒸馏水浸种为对照, 冲洗后播种。种子播于直径为 100 mm 的培养皿内双层滤纸上, 28℃ 下进行发芽实验。每处理 5 次重复, 每重复 25 粒种子。

以胚根突破种皮记为发芽, 每天观测记录种子的萌发情况, 及时补充水分并挑出未萌发霉烂种子。实验所用 GA 含量 ≥90%, 为中国新兴化工试剂研究所生产。

1.6 温度与光照实验

种子以 6% 的 H₂SO₄溶液浸泡 4 min后, 自来水冲洗, 接着用 1 000 mg L⁻¹的 GA 溶液浸种 24 h 冲洗后播种。温度设 10、15、22、28、31℃ 5个恒温及人工变温(白昼 7:00-21:00 31℃ 14 h 夜间 21:00-7:00 22℃ 10 h), 共 6个水平; 光照设周期性光照(白昼 7:00-21:00 60 μmol m⁻² s⁻¹光照 14 h 夜间 21:00-7:00 黑暗 10 h) 和全黑暗(24 h黑暗/d) 2个水平, 两因素完全组合共 12个处理。全黑暗实验置于双层黑色布口袋中, 实验结束时取出。使用哈尔滨市东联电子技术开发有限公司制造的 HPG-280 B型光照培养箱, 其它同 GA 浓度实验。

1.7 数据处理与统计分析

种子萌发指标参考顾增辉等(1982)的方法进行统计, 计算方法如下:

发芽率 (%) = n/N × 100% (n为发芽种子数, N为种子总数)

发芽指数 = Σ Gt/Dt (Gt为在时间 t日的发芽数, Dt为相应的发芽日数)

简易活力指数 = 发芽率 × 生长势 (生长势即胚根长 + 苗长)

采用 SPSS 13.0对萌发抑制物提取实验、GA 浓度实验和不同温度实验数据进行单因素方差分析 (One way ANOVA)。

2 实验结果

2.1 云南芫菁木种子特征

云南芫菁木果实(含内果皮和种子; 文章其它地方简称为种子)扁平状纺锤形, 内果皮白色, 坚硬, 表面有皱褶, 与内部包围的种子分离。解剖发现, 内部种子由胚乳和胚组成, 胚匙形, 具有分化发育完全的胚根、胚轴和胚芽。云南芫菁木种子整体饱满率为 38.77%, 其它特征数据见表 1。1 000 mg · L⁻¹ GA 溶液浸种 24 h后,

表 1 云南芫菁木种子特征

Table 1 The characteristics of *R. yunnanensis* seeds

种子特征 Seed characteristics	下沉种子 Submerged seeds	上浮种子 Floated seeds
含水量 Seed moisture content (%)	9.92 ± 0.82	9.26 ± 1.04
千粒质量 1000 seed weight (g)	43.34 ± 0.53	31.10 ± 1.64
长轴 Long axis (mm)	9.20 ± 0.96	8.73 ± 0.84
横径 Transverse diameter (mm)	4.76 ± 0.37	4.15 ± 0.32
纵径 Longitudinal diameter (mm)	2.63 ± 0.26	2.20 ± 0.29
饱满率 Plumpness rate (%)	56.00 ± 4.00	8.00 ± 6.32

下沉种子初始萌发率为 (37.60 ± 4.56)%。上浮种子经过相同 GA 浸种后初始萌发率为 0。

2.2 云南芫菁木种子吸水实验

对云南芫菁木种子的吸水百分率进行有重复测量方差分析, 结果表明: 不同处理间吸水百分率的差异无统计学意义 (P > 0.05) (图 1)。因此, 破种皮和 GA 预浸种处理均没有显著影响种子的吸水百分率。破种皮处理从 36 h 时起浸泡种子的蒸馏水开始浑浊, 有明显腐烂气味, 随着浸泡时间的延长腐烂气味加重。

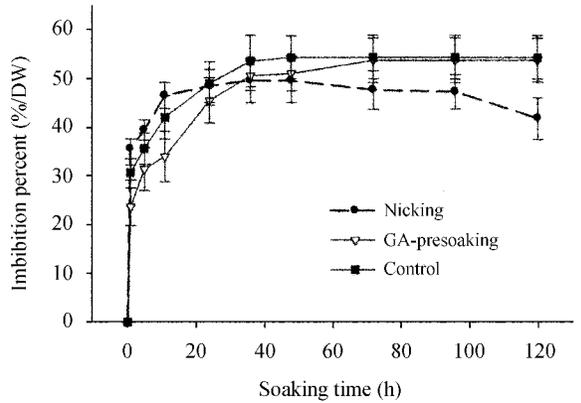


图 1 不同处理云南芫菁木种子的吸水动态

Fig. 1 Imbibition dynamics of *R. yunnanensis* seeds after different treatments

2.3 内源萌发抑制物提取与检验

云南芫菁木种子的种仁中含有萌发抑制物(表 2)。种仁的甲醇提取物显著降低了白菜种子萌发率、胚根长、苗长和简易活力指数。以对照为 100% 计, 萌发率、根长、苗长和简易活力指数分别降低了 12.3%、87.3%、64.7% 和 84.5%。种皮的甲醇提取物显著抑制根的伸长, 降低了简易活力指数, 但是对萌发率和苗长的影响不显著。

2.4 GA 浓度对种子萌发的影响

由图 2可知, GA 可显著促进云南芫菁木种子萌发。对照 (GA 浓度为 0) 3个月萌发率仅 1.6%, 低于任何浓度的 GA 处理。GA 浓度显著影响种子萌发率 (P < 0.001) 和发芽指数 (P < 0.001)。400~1 800 mg · L⁻¹ GA 处理的发芽率和发芽指数无显著差异, 但均显著高于 200、2 000 mg · L⁻¹ GA 处理和对照。因此, 400~1 800 mg · L⁻¹ 是促进云南芫菁木种子萌发的适宜 GA 处理浓度范围。

表 2 云南罗芙木种子甲醇提取液对白菜种子萌发的影响

Table 2 Effects of methanol extract from *R. yunnanensis* seeds on seed germination of *Brassica ampestris*

浸提部位 Extract parts	萌发率 Germination percentage (%)	根长 Root length (cm)	苗高 Shoot height (cm)	简易活力指数 Simple vigor index
种皮 Seed coat	86.33 ± 2.08 a	1.82 ± 0.24 b	1.17 ± 0.09 a	0.259 ± 0.018 b
种仁 Seed kernel	77.00 ± 3.46 b	0.42 ± 0.10 c	0.36 ± 0.07 b	0.060 ± 0.011 c
对照 Control	89.33 ± 1.15 a	3.30 ± 0.31 a	1.02 ± 0.11 a	0.387 ± 0.042 a

不同的字母表示 $P = 0.05$ 水平上差异显著。Column means followed by different letters were significantly different at $P = 0.05$ level

2.5 温度和光照对种子萌发的影响

由图 3 可知, 温度显著影响种子萌发率 ($P < 0.001$) 和发芽指数 ($P < 0.001$)。10℃云南罗芙木种子 3 个月萌发率为 0, 22℃、28℃和 31℃/22℃萌发率无显著差异, 但均显著高于 15℃和 31℃。31℃种子霉烂数目增加, 萌发率仅为 56%。28℃种子发芽指数显著高于其它任何温度。28℃和 31℃种子 8d 后启动萌发; 31℃/22℃、22℃和 15℃种子萌发启动时间分别为 10、11 和 21 d。综合分析不同温度下种子发芽率和发芽指数可知, 云南罗芙木种子的适宜萌发温度范围为 22~28℃及 31℃/22℃。

温度和光照的两因素考虑互作效应方差分析表明, 光照显著影响云南罗芙木种子发芽率 ($P <$

0.01); 温度和光照的互作效应对发芽率的影响不

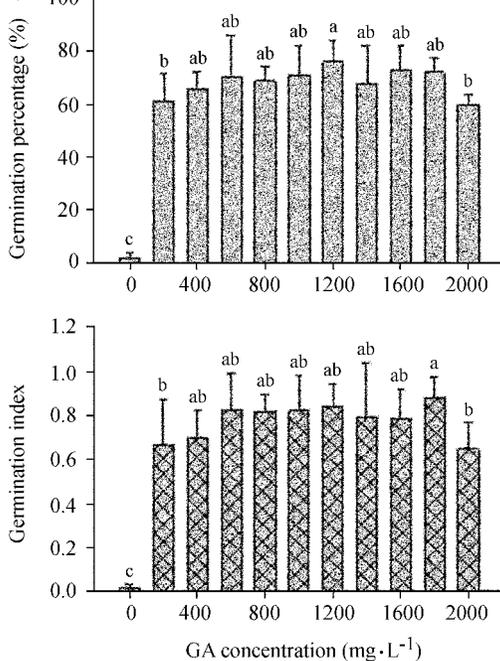


图 2 GA 浓度对云南罗芙木种子发芽率和发芽指数的影响

Fig 2 Effects of exogenous GA concentration on germination percentage and germination vigor of *R. yunnanensis* seeds

显著 ($P > 0.05$) (图 4)。成组数据 T 检验结果表明, 31℃和 31℃/22℃下周期性光照萌发率显著高于全黑暗, 其它温度下不同光照处理间差异不显著。

3 结论与讨论

夹竹桃科植物种子多具有分化发育完全的匙形胚, 具有这种胚的种子或是具有生理休眠, 或是无休眠 (Hidayati 等, 2000)。在预备实验中, 云南罗芙木新鲜种子 28℃和 31℃/22℃光照或黑暗下 1 个月内不萌发; 种子胚已分化发育完全, 种皮透水, GA 可使新鲜种子 8 d 后启动萌发。蒲崇德和李开云 (1991) 和刘锡葵等 (2007) 采用暖层积法催芽使云南罗芙木种子 15~20 d 后启动萌发。根据 Baskin 和 Baskin (1998) 对种子休眠类型的划分, 云南罗芙木种子具有浅度生理休眠。

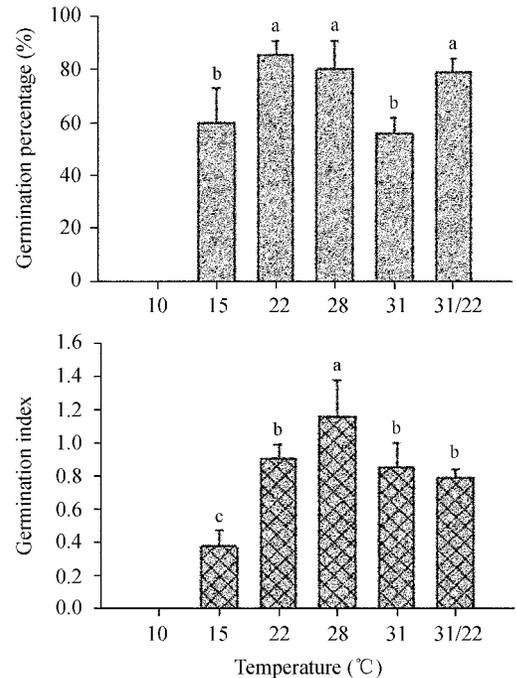


图 3 温度对云南罗芙木种子发芽率和发芽指数的影响

Fig 3 Effects of incubation temperature on germination percentage and germination vigor of *R. yunnanensis* seeds

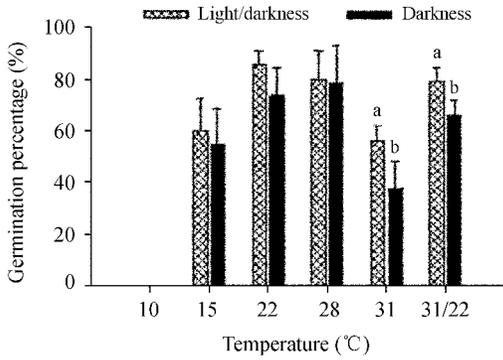


图 4 光照对云南萝芙木种子发芽率的影响

Fig 4 Effects of illumination on germination percentage of *R. yunnanensis* seeds

龙绛雪等 (2009) 指出萝芙木坚硬的外种皮抑制种子吸水。本实验中云南萝芙木种子破种皮处理吸水百分率与对照无显著差异, 说明云南萝芙木种子种皮透水; 同样, GA 预浸种处理吸水百分率与对照无显著差异, 说明 GA 溶液浸种促进云南萝芙木种子萌发的机理与吸水过程无关。Mitra (1976) 在萝芙木种子中发现了大量的萌发抑制物—苯乙酸, 本实验在云南萝芙木种仁 (含胚乳和胚) 醇提取物中发现黄色胶状物质, 可抑制白菜种子萌发和胚根、胚芽的伸长。北五味子、膜荚黄芪和红豆杉休眠种子中均已发现萌发抑制物 (赵敏等, 1999; 赵敏和王炎, 2001; 张艳杰等, 2007)。

王泓等 (2006) 通过去种皮结合 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ GA₃ 浸种 16 h, 使云南萝芙木种子 25°C 下两周后启动萌发。本实验中, $1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ GA 浸种 24 h 可使云南萝芙木新鲜种子 28°C 下 8 d 后启动萌发, 1 个月后萌发率达 56.8%。GA 通过与 ABA 和环境因子的复杂作用正调节休眠的释放和种子萌发 (White 等, 2000), 种子生理休眠的解除常伴随着 GA 敏感性的增加, GA 为种子萌发最初所必需, 它可以诱导 α 淀粉酶的合成和多种酶的释放, 这些酶水解胚乳或子叶储藏的碳水化合物, 尤其是胚乳细胞壁富含的半乳糖甘露聚糖, 减少胚乳层的阻力, 同时大分子物质的分解为胚根的伸长提供能量和原料, 使胚根突破种皮而萌发 (张国平等, 2005; 任秋萍等, 2008; 潘琳和徐程扬, 2010)。云南萝芙木种子经过 $1200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ GA 浸种后萌发率比对照提高了 74.4%。药用植物黄

连和桃儿七分别经过 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 GA 处理后萌发率分别提高了 33% 和 93% (张春平等, 2008; 陈伟等, 2008)。

云南萝芙木主要分布于滇南热带雨林及热带亚热带山地的草丛、林下和灌木丛中。杨期和等 (2001a) 通过对 256 种滇南热带植物的研究, 发现 18~30°C 适合多数热带植物种子萌发。滇南热带雨林中的小芸木和滇南红厚壳的适宜萌发温度均为 20~30°C (杨期和等, 2001b; 何惠英和宋松泉, 2003)。绒毛番龙眼、丛毛垂叶榕和箭毒木的适宜萌发温度范围可高至 35°C (文彬等, 2002; 王雪和宋松泉, 2006; 文彬和蔡传涛, 2008)。云南萝芙木种子适宜萌发的温度范围为恒温 22~28°C 和 31°C/22°C 变温, 15°C 和 31°C 萌发率分别比 22°C 降低了 25.6% 和 29.6%, 云南萝芙木种子萌发对温度的反应与其生境分布及荫生特性一致。

云南萝芙木种子在周期性光照和全黑暗下均可萌发, 但 31°C 和 31°C/22°C 下周期性光照萌发率分别比全黑暗提高了 18.4% 和 13.6%。杨期和等 (2002) 报道了九里香种子在 15、20°C 和 20°C/30°C 下光照对种子萌发影响不显著, 但 25、30、35°C 和室温下周期性光照能显著提高种子萌发率。周期性光照也提高了滇南红厚壳和绒毛番龙眼种子萌发率 (何惠英和宋松泉, 2003; 文彬等, 2002)。

致谢 在实验和文章写作过程中, 得到了中科院西双版纳热带植物园种子生物学组的仪器和设备支持, 及兰芹英老师, 谭运洪老师和 Frederik Slik 研究员的悉心指导。

〔参 考 文 献〕

- 王宗玉, 刘伦辉, 2002. 中国原料植物药 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 295—296
- 中国科学院中国植物志编辑委员会, 1997. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 63: 51—58
- 刘锡葵, 张方进, 祖炬雄, 2007. 云南萝芙木在怒江河谷地区试种报告 [J]. 中药材, 30 (6): 631—633
- 杨期和, 杨威, 李秀荣, 2001a. 热带植物种子萌发影响因素初探 [J]. 种子, 5: 45—48
- 张国平, 周伟军译 (Lambers H, Chapin FS, Pons TL, 2005), 2005. 植物生理生态学 (*Plant Physiology Ecology*) [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 262—263

- 林艳芳, 依专, 赵应红, 2003. 中国傣药彩色图谱 [M]. 昆明: 云南民族出版社, 137—138
- 胡晋, 李永平, 胡伟民, 2009. 种子生活力测定原理和方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 17—21
- 赵永生, 周亚兴, 查云盛, 2006. 云南萝芙木引种驯化栽培及发展前景 [J]. 中国民族民间医药杂志, **3**: 179—180
- 顾增辉, 徐本美, 郑光华, 1982. 测定种子活力方法之探讨 (II) 发芽的生理测定法 [J]. 种子, **2** (3): 11—16
- 蒲崇德, 李开云, 1991. 云南萝芙木的栽培 [J]. 中国野生植物, **4**: 49—50
- Baskin CC, Baskin JM, 1998. *Seeds Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination* [M]. California Academic Press: 29—33
- Baskin JM, Baskin CC, 2003. Classification, biogeography and phylogenetic relationships of seed dormancy [A]. In Smith RD, Dickie JB, Limington SH *et al.*, eds. *Seed Conservation: Turning Science Into Practice* [M]. Kew: Royal Botanic Gardens: 517—544
- Chen W (陈伟), Yang L (杨楼), Ma SB (马绍宾), 2008. A preliminary study on seed germination character of *Sinop alophyllum hexandrum*, an endangered medicinal herb [J]. *Seed* (种子), **27** (4): 49—51
- Feng YZ (冯耀宗), Yu XL (喻学伦), Zhang JH (张建侯), 1965. The effect of light intensity on certain biological characters of *Rauwolfia* [J]. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **13** (1): 91—99
- Finch Savage W E, Leubner Metzger G, 2006. Seed dormancy and the control of germination [J]. *New Phytologist*, **171**: 501—523
- He HY (何惠英), Song SQ (宋松泉), 2003. Desiccation sensitivity of *Calophyllum polyanthum* seeds and factors affecting their germination [J]. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **25** (6): 687—692
- Hilayati SN, Baskin JM, Baskin CC, 2000. Morphophysiological dormancy in seeds of two north American and one Eurasian species of *Sambucus* (Caprifoliaceae) with underdeveloped spatulate embryos [J]. *American Journal of Botany*, **87** (11): 1669—1678
- Long K (龙绛雪), Cao FX (曹福祥), Cao SJ (曹受金) *et al.*, 2009. Research progress on artificial propagation and cultivation of *Rauwolfia* [J]. *Northern Horticulture* (北方园艺), **8**: 247—250
- Mitra GC, 1976. Studies on the formation of viable and nonviable seeds in *Rauwolfia serpentina* Benth. [J]. *Indian Journal of Experimental Biology*, **14**: 54
- Pan L (潘琳), Xu CY (徐程扬), 2010. Review on mechanisms of physiological modulation in the process of seed dormancy and germination [J]. *Seed* (种子), **29** (6): 42—46
- Ren QP (任秋萍), Li HQ (李会青), Zhang YY (张演义) *et al.*, 2008. Effect of GA₃ and HCl treatment on the seed germination of *Salvia plendens* [J]. *Seed* (种子), **27** (5): 43—46
- Wang H (王泓), Liao ZH (廖志华), Tian GX (田桂香) *et al.*, 2006. Genetic transformation of *Rauwolfia yunnanensis* Tsing by *Agrobacterium rhizogenes* [J]. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science)* (西南师范大学学报 (自然科学版)), **31** (2): 137—141
- 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 Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **28** (6): 631—638
- Wang XP (王小平), Wang JL (王九龄), 1998. Extraction separation and biological measurement of endogenous growth regulating substance of seeds of *Pinus bungeana* [J]. *Seed* (种子), **5**: 19—22
- Wen B (文彬), Yin SH (殷寿华), Lan QY (兰芹英) *et al.*, 2002. Ecological characteristics of seed germination of *Panettia tanacetosa* [J]. *Guihaia* (广西植物), **22** (5): 408—412
- Wen B (文彬), Cai CT (蔡传涛), 2008. Ecological characteristics of seed germination of the endangered species *Antiaris toxicaria* [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology* (中南林业科技大学学报), **28** (1): 74—78
- White CN, Proebsting WM, Hedden P *et al.*, 2000. Gibberellins and seed development in maize: Evidence that gibberellin, abscisic acid balance governs germination versus maturation pathways [J]. *Plant Physiology*, **122**: 1081—1088
- Yang QH (杨期和), Lan QY (兰芹英), Zhang YJ (张艳军), 2001b. Preliminary study on seed physiological characteristics and factors affecting seed germination of *Micranthemum integrum* Roem [J]. *Journal of Guangxi Agricultural and Biological Science* (广西农业生物科学), **20** (2): 108—112
- Yang QH (杨期和), Yin SH (殷寿华), Xia YM (夏永梅) *et al.*, 2002. Study on desiccation-tolerance and germination physiology of *Murraya paniculata* seeds [J]. *Guihaia* (广西植物), **22** (6): 537—542
- Zhang CP (张春平), He P (何平), He JX (何俊星) *et al.*, 2008. Characteristics of seed germination of the protected medicinal plant *Coptis chinensis* [J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)* (西南大学学报 (自然科学版)), **30** (9): 89—92
- Zhang YJ (张艳杰), Gao HD (高捍东), Lu SB (鲁顺保), 2007. Germination inhibitors in methanol extract from *Taxus chinensis* var *maiirei* seed [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)* (南京林业大学学报 (自然科学版)), **31** (4): 51—56
- Zhao M (赵敏), Wang Y (王炎), Zhang W (张伟), 1999. The changes of activity for the inner inhibitory substances in *Schisandra chinensis* (Tuncz) Baill seeds [J]. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), **27** (5): 62—64
- Zhao M (赵敏), Wang Y (王炎), 2001. Elementary studies on intrinsic inhibitor that retards germination of seed of *Astragalus membranaceus* [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs* (中草药), **32** (7): 643—646