

# 濒危植物多毛坡垒种子萌发的生理生态特性<sup>\*</sup>

文彬, 何惠英, 王如玲, 谭运洪, 兰芹英

(中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 勐腊 666303)

**摘要:** 研究了多毛坡垒 (*Hopea mollissima*) 种子在自然条件下的寿命及成熟度、温度、光照、土壤水分条件对多毛坡垒种子萌发的影响, 结果表明: 多毛坡垒种子适宜萌发的温度范围是 20~ 30℃, 最适宜温度为 25℃; 光照对多毛坡垒种子的萌发没有显著性影响, 但在周期性光照条件下以 25~ 30℃ 萌发结果最好, 全黑暗条件下以 20~ 25℃ 萌发结果最好; 种子适宜萌发的土壤含水量为 20%~ 60%, 最适合含水量为 50%~ 60%; 种子成熟后在树上长时间宿存明显降低了种子的发芽率和活力; 在室内自然摊放条件下, 10 天后发芽率减半, 16 天后完全丧失发芽能力。研究认为, 该物种对热带湿性季节性雨林原生境有很强的依赖性, 目前多毛坡垒的濒危状态主要是由于滥砍乱伐和森林破坏造成的。由于其种子具有顽拗性种子的一些特点, 目前该物种宜采取活体保存的方法, 以就地保护为主, 活植物迁地保护为辅。

**关键词:** 多毛坡垒; 稀有濒危植物; 顽拗性种子; 萌发; 生理生态特性

中图分类号: Q 944. 59

文献标识码: A

文章编号: 0253- 2700 (2009) 01- 042- 07

## Physiological and Ecological Characteristics of Seed Germination of Endangered *Hopea mollissima* (Dipterocarpaceae)

WEN Bin, HE Hui-Ying, WANG Ru-Ling, TAN Yun-Hong, LAN Qin-Ying

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

**Abstract:** Seed longevity of *Hopea mollissima* under ambient conditions and the effects of seed maturity, temperature, illumination and soil moisture content on seed germination were studied in this paper, which indicated that the optimum temperature for seed germination was 25℃ though 20~ 30℃ is suitable; Periodic illumination and full darkness made no significant difference to germination, but seeds germinated best at temperature range of 25~ 30℃ under periodic illumination, or at temperature range of 20~ 25℃ under full darkness; The suitable soil moisture content was 20%~ 60% while the optimum one was 50%~ 60%; During open storage under ambient conditions, seed germination percentage halved after 10 days and decreased to nil after 16 days. It appears that this species depended on its native habitat strongly. Deforestation and fragmentation are the key causes which endanger *Hopea mollissima* severely. Owing to recalcitrant properties of its seeds, the protection of this species relies on *in-situ* conservation supplemented with *ex-situ* conservation of living plants.

**Key words:** *Hopea mollissima*; Rare and endangered species; Recalcitrant seeds; Germination; Physiological and ecological characteristics

多毛坡垒 (*Hopea mollissima* C. Y. Wu) 为龙脑香科高大乔木, 具白色芳香树脂, 是滇东南热带雨林的主要建群种之一, 植株高可达 35 m。该种常与云南龙脑香 (*Dipterocarpus tonkinensis*)、

隐翼 (*Crypteronia paniculata*) 等相伴生, 分布于海拔 1 000 m 以下的湿热沟谷地段, 称为“湿润雨林”。湿润雨林是云南热带性最强的雨林类型, 被认为是典型雨林沿河谷向北分布的极限类型,

\* 基金项目: 国家自然科学基金 (30571526) 和中国科学院院长基金项目

收稿日期: 2008- 06- 03, 2008- 09- 22 接受发表

作者简介: 文彬 (1967-) 男, 博士, 主要从事稀有濒危植物保护和种子生物学的研究。E-mail: wenb@xtbg.org.cn

在云南仅有少量森林残存(云南植被编写组, 1987)。多毛坡垒群落分布的地段水热条件优越, 现在大部分已经被垦殖为橡胶园。

在植物区系上, 该种是一个热带亚洲成分, 其自然分布区狭窄, 局限于中越边境很小的范围, 仅在云南东南部的屏边、河口、金平、江城、绿春县及越南北部有野生。多毛坡垒茎通直, 枝下高长, 材质坚韧硬重, 抗腐抗虫性甚强, 用途广泛, 是优良的特种用材树种(西南林学院和云南省林业厅, 1991)。

坡垒属植物在我国自然分布有 5 种, 目前均处于濒危状态, 国家二级保护, 被列入中国珍稀濒危保护植物名录(第一册)(国家环境保护局和中国科学院植物研究所, 1987, 1989), 其中仅坡垒(文彬等, 2002a)和狭叶坡垒(张玲等, 2001; 黄仕训等, 2008a, b)有保护生物学方面的研究报道。开展对多毛坡垒种子生物学的研究, 了解种子的萌发特性和幼苗建成过程中的困难, 可以帮助我们探寻该物种濒危的原因, 为更好地利用和保护这一宝贵的物种资源。本文对其种子萌发的生态学特性进行报道。

## 1 材料和方法

在热带雨林原生境中, 多毛坡垒常常几年才出现一次结果盛期, 种子在林下以幼苗库的形式出现, 生长缓慢, 但自然更新良好。西双版纳是多毛坡垒优良的引种植地区, 开阔地人工栽培的多毛坡垒, 每年都大量结果, 花期 8~9 月, 12 月底到 1 月初果熟, 但果实可在树上宿存至翌年 3 月, 然后随风散落。多毛坡垒果实为一个椭圆形的坚果, 具 5 枚宿存的萼片, 其中 2 枚增大成为翅。常规的播种单位为除去果翅的坚果, 每果含种子 1 粒, 文中的“种子”一词除非特别说明皆指去翅的坚果。估计一株成年母树在结果盛年能生产种子近万粒。

实验用多毛坡垒果实于 1 月初采自西双版纳热带植物园引种栽培植株。果实采回后精选, 除翅, 立即开始萌发实验。

实验就温度、光照、土壤水分 3 个生态因子和种子成熟度对多毛坡垒种子萌发的影响及室温条件下的种子寿命进行了研究。

### 1.1 种子成熟度实验

从同一棵母树采收的果实, 按果翅、果皮和萼片的外观颜色分为三个成熟度, 用 M1、M2 和 M3 表示, 分别测定种子的含水量、千粒重, 并做萌发实验检测种子的质量。以 1% 琼脂为萌发基质, 每培养皿播种 10 粒为

1 重复, 每处理 10 个重复, 在 30℃ 恒温萌发箱中萌发 10 天。

### 1.2 温度与光照实验

设置 10℃、15℃、20℃、25℃、30℃、35℃、40℃ 7 个恒温及自然变温(西双版纳 1 月份室内平均最高气温 25.1℃, 平均最低气温 12℃)、人工变温(7: 00~ 21: 00, 30℃ 14 h; 21: 00~ 7: 00, 20℃ 10 h), 共 9 个水平; 而光照设置了周期性光照(7: 00~ 21: 00, 2800 lx 光照 14 h; 夜间 21: 00~ 7: 00, 黑暗 10 h)和全黑暗(24 h 黑暗/天) 2 个水平。两因素相搭配共 18 个处理。

实验使用哈尔滨市东联电子技术开发有限公司制造的 HPG-280B 型光照培养箱, 在直径 120 mm 培养皿内以 1% 琼脂为萌发基质, 每培养皿播种 10 粒为 1 重复, 每处理 5 个重复, 种子在设置温度下萌发 14 天。全黑暗实验的处理置于双层黑色布口袋中, 实验结束时取出。

### 1.3 土壤水分实验

取热带雨林林下土壤, 于烘箱中 70±1℃ 烘至恒重, 然后粉碎, 用孔径为 2.0 mm 的土壤筛过筛。取内径 85 mm 广口玻璃瓶, 每瓶称取筛后的土壤 50 g, 分别加不同量的蒸馏水配制成含水量为 10%、15%、20%~100% (水重/干土重) 的土壤, 共 11 个处理。每只玻璃瓶中 10 粒种子播种于土层表面为 1 重复, 每处理 5 个重复, 用塑料布和橡皮条扎紧瓶口, 置于室内光亮处, 在室温(日平均气温 17.0~20.0℃)下萌发 21 天。

### 1.4 种子寿命实验

将种子单层摊开放在室内阴凉处, 让其自然脱水失活(期间日平均气温 17.0~20.0℃, 相对空气湿度 81.1%~87.2%)。隔日取样 1 次, 测定种子含水量和活力。种子播种在直径 120 mm 培养皿内, 以 1% 琼脂为萌发基质, 每皿 10 粒种子为 1 重复, 每处理 5 个重复, 置于 30℃ 周期性光照条件下萌发 14 天, 共取样 10 次。

种子含水量的测定遵照国际种子检验协会推荐的方法(ISTA, 1985), 在鼓风烘箱中 103±1℃ 烘干 17±1 小时至恒重, 用样品烘干前后的重量差值作为水分值, 以鲜重为基础用百分数表示含水量。

### 1.5 数据分析

以胚根伸出种皮 0.5 cm 作为种子萌发的标准。以上各实验除温度与光照相搭配的 9 个处理每隔日检查一次发芽情况外, 其余均只在实验结束时检查, 并测量胚根长度和苗长(下胚轴长度加胚芽长度), 对于未萌发的种子, 放回原实验条件继续观察, 直至萌发或霉烂。根据这些观测值计算萌发率、萌发指数和简易活力指数(顾增辉等, 1982), 其中, 简易活力指数采用“(胚根+苗长)×发芽率”进行计算, 对实验结果做方差分析(其中, 发芽率需先转换成平方根的反正弦, 即  $\arcsin(\sqrt{p})$ ), 用邓肯(Duncan)检验法做水平间的多重比较。

## 2 实验结果

### 2.1 不同成熟度种子的特性

研究表明,多毛坡垒果实、种子的千粒重、含水量因成熟度不同表现出明显的差别。经测定,多毛坡垒新采收果实的含水量在 35.68%~43.61% (鲜背景,下同) 之间,千粒重为 1641~1936 g,种子的含水量为 36.10%~44.58%,千粒重为 1252.37~1522.69 g (表 1),种子为椭圆形坚果,顶端急尖,直径  $1.43 \pm 0.09$  cm,高为  $2.10 \pm 0.13$  cm,为子叶出土无胚乳种子,无休眠,在适宜条件下,绝大多数种子在 1 周内萌发完毕,种子萌发和幼苗生长极为迅速。

随着成熟度的增加,果实和种子的含水量逐步降低,千粒重也随之下降。不同成熟度种子的萌发特性差异明显,褐色种皮的种子发芽速度最快,但发芽率显著低于青色种皮的种子,而且胚根和胚芽的生长速度也显著低于青色种皮的种子,活力指数及干重也是最小的。青色种皮的种子中,具青色萼片的种子可能需要时间完成从发育模式到萌发模式的转化,因此,与褐色萼片的种子相比,发芽速度更慢,胚根和胚芽的生长量、活力指数及干重都略小,但发芽率没有差别 (表 1)。因此,从发芽率来看,中间成熟度的种子 (具有褐色萼片和青色种皮) 最好,种子在树上长时间宿存导致发芽率和活力的降低。本文余下部分的实验都以中间成熟度的种子为材料进行。

### 2.2 温度和光照条件对萌发的影响

从所统计的 6 个萌发指标都可以看出温度是影响多毛坡垒种子萌发的重要因素 (表 2, 3)。

多毛坡垒种子在 30/20℃ 变温条件下萌发最迅速,在恒温条件下也能很好地萌发,而且在 15~30℃ 范围内,随着温度的升高,萌发速度越来越快,反映在发芽指数越来越大。但多毛坡垒种子的适宜萌发温度较窄,在 20~25℃ 范围内发芽率最高,低至 10℃ 种子不能萌发,在较高的温度下胚根和胚芽的生长较快,但高于 35℃ 就会强烈抑制种子的发芽,表现为发芽率降低,胚根生长变慢,幼苗干重减轻,活力指数下降。综合几个发芽指标来看,20~30℃ 是种子萌发的适宜温度范围并以 25℃ 为最适宜温度。

多毛坡垒种子的萌发不受变温处理影响,不论在自然变温还是人工变温条件下都能很好的萌发,在 30/20℃ 温度下萌发的种子在发芽指数、胚根伸长、胚芽生长、干物质转移和幼苗活力方面都是表现最佳的。

多毛坡垒种子的萌发不受光照条件的影响,在周期性光照和全黑暗条件下都能很好地萌发,但在有光照时以 25~30℃ 条件下萌发结果最好,在全黑暗时以 20~25℃ 条件下萌发结果最好。光照条件下干物质的积累较多,黑暗条件下胚芽的生长较快 (表 2, 3)。

### 2.3 土壤水分对种子萌发的影响

水分是影响多毛坡垒种子萌发的另一重要因素,实验统计的 5 个发芽指标均反映出不同的处理间存在显著差异 (表 4)。研究表明,多毛坡垒种子萌发的适宜土壤含水量范围为 20%~60% (干背景),最适土壤含水量为 50%~60%。在最适宜的土壤含水量范围内,胚根的伸长、胚芽的生长、

表 1 不同成熟度种子的比较

Table 1 Comparison of fruits and seeds at different maturities

成熟度 Maturity	M1	M2	M3
外观特征 Appearance	翅褐色, 宿存萼青色, 皮青色, 胚青色	翅褐色, 宿存萼褐色, 皮青色, 胚青色	翅褐色, 宿存萼褐色, 皮褐色, 胚青色
果实千粒重 1000-fruit weight (g)	1936.85±51.26	1734.31±42.12	1641.38±49.63
果实含水量 Fruit moisture content (%)	43.61±1.08	40.22±0.88	35.68±1.30
种子千粒重 1000-seed weight (g)	1527.34±46.95	1522.69±33.75	1252.37±32.89
种子含水量 Seed moisture content (%)	44.58±1.87	41.40±0.97	36.10±2.59
发芽率 Germination percentage (%)	96±1.6	96±1.6	81±2.77
发芽指数 Germination index	1.80±0.08	2.45±0.1	3.45±0.2
发芽日数 Mean germination day (d)	5.77±0.15	4.50±0.12	2.57±0.15
胚根长 Root length (cm)	12.39±1.95	15.85±1.75	12.55±2.09
胚芽长 Shoot length (cm)	13.47±1.54	15.03±0.54	8.88±1.41
干物质 Net matter (mg)	171.74±17.97	227.66±14.07	145.88±20.74
简易活力指数 Simplified vigor index	25.1±3.3	29.8±2	17.6±2.85

表 2 温度与光照对多毛坡垒种子萌发的影响

Table 2 Effects of temperature and illumination on seed germination

温度 Temperature (°C)	10	15	20	25	30	35	40	ambient	20/30
萌发率 Germination percentage (%)	Light 0 <sup>ba</sup>	62 ± 9.70 <sup>bb</sup>	98 ± 2 <sup>ba</sup>	100 <sup>ba</sup>	94 ± 4 <sup>ba</sup>	28 ± 8 <sup>ca</sup>	24 ± 5.1 <sup>ca</sup>	88 ± 9.7 <sup>ab</sup>	92 ± 3.74 <sup>ba</sup>
	Dark 0 <sup>ba</sup>	88 ± 5.83 <sup>ba</sup>	100 <sup>ba</sup>	82 ± 9.17 <sup>bb</sup>	60 ± 0.95 <sup>db</sup>	46 ± 1.23 <sup>ca</sup>	12 ± 5.83 <sup>ba</sup>	100 <sup>ba</sup>	98 ± 2 <sup>ba</sup>
萌发指数 Germin index	Light 0 <sup>p</sup>	0.425 ± 0.061 <sup>c</sup>	1.135 ± 0.038 <sup>b</sup>	1.280 ± 0.036 <sup>ab</sup>	1.392 ± 0.127 <sup>a</sup>	0.524 ± 0.092 <sup>c</sup>	0.401 ± 0.049 <sup>f</sup>	1.225 ± 0.083 <sup>ab</sup>	1.429 ± 0.095 <sup>a</sup>
胚根长 Root length (cm)	Light 0 <sup>ba</sup>	7.68 ± 1.49 <sup>cb</sup>	14.82 ± 1.28 <sup>ba</sup>	18.58 ± 1.92 <sup>AbA</sup>	19.92 ± 2.14 <sup>ba</sup>	4.08 ± 1.06 <sup>CDa</sup>	2.42 ± 0.49 <sup>Db</sup>	13.9 ± 2.34 <sup>AbA</sup>	18.62 ± 2 <sup>bb</sup>
	Dark 0 <sup>ba</sup>	12.5 ± 1.84 <sup>ba</sup>	15.74 ± 0.68 <sup>ba</sup>	15.78 ± 2.35 <sup>ba</sup>	13.48 ± 4.5 <sup>bb</sup>	6.46 ± 1.6 <sup>ca</sup>	0.42 ± 0.2 <sup>Db</sup>	13.16 ± 0.97 <sup>ba</sup>	23.58 ± 2.45 <sup>ba</sup>
苗长 Shoot length (cm)	Light 0 <sup>ca</sup>	0 <sup>ca</sup>	11.2 ± 1.3 <sup>ba</sup>	19.54 ± 0.87 <sup>ba</sup>	21.86 ± 1.74 <sup>ba</sup>	1.88 ± 0.82 <sup>cb</sup>	0 <sup>ca</sup>	8.46 ± 2.05 <sup>bb</sup>	20.88 ± 1.71 <sup>ba</sup>
	Dark 0 <sup>ba</sup>	0.82 ± 0.82 <sup>Db</sup>	14.72 ± 1.88 <sup>BbA</sup>	13.86 ± 2.12 <sup>BbB</sup>	11.42 ± 4.08 <sup>cb</sup>	10.32 ± 3.1 <sup>ca</sup>	0.3 ± 0.3 <sup>ba</sup>	16.4 ± 0.64 <sup>ba</sup>	24.54 ± 2.09 <sup>ba</sup>
干物质 Net matter (mg)	Light 0 <sup>ca</sup>	280.54 ± 31.09 <sup>Ab</sup>	243.8 ± 54.14 <sup>AbA</sup>	294.06 ± 11.96 <sup>ba</sup>	251.24 ± 35.09 <sup>AbA</sup>	60.58 ± 15.13 <sup>ca</sup>	35.1 ± 6.71 <sup>ca</sup>	176.18 ± 25.57 <sup>ba</sup>	319.18 ± 25.27 <sup>ba</sup>
	Dark 0 <sup>ba</sup>	121.84 ± 8.388 <sup>cb</sup>	251.64 ± 13.39 <sup>AbA</sup>	243.66 ± 32.79 <sup>AbA</sup>	208.96 ± 67.69 <sup>ba</sup>	90.94 ± 25.08 <sup>ca</sup>	6 ± 2.45 <sup>ba</sup>	178.76 ± 7.01 <sup>Bba</sup>	311.8 ± 28.46 <sup>ba</sup>
简明活力指数 Simplified vigor index	Light 0 <sup>ca</sup>	5.336 ± 1.69 <sup>ca</sup>	25.55 ± 1.95 <sup>ba</sup>	38.12 ± 2.31 <sup>ba</sup>	39.86 ± 5.02 <sup>ba</sup>	2.098 ± 0.91 <sup>ca</sup>	0.674 ± 0.27 <sup>ca</sup>	21.01 ± 4.35 <sup>bb</sup>	36.64 ± 4.25 <sup>ab</sup>
	Dark 0 <sup>ba</sup>	12.03 ± 1.93 <sup>ca</sup>	30.46 ± 1.77 <sup>ba</sup>	25.48 ± 5.53 <sup>BbB</sup>	18.47 ± 9.91 <sup>cb</sup>	9.59 ± 3.56 <sup>CDa</sup>	0.126 ± 0.063 <sup>ba</sup>	29.56 ± 1.6 <sup>ba</sup>	47.4 ± 4.8 <sup>ba</sup>

在每一个测定的指标中, 不同大写字母表示在同→光照条件下, 不同温度处理间的差异显著。不同小写字母表示在同一温度条件下, 不同光照处理间的差异显著  
Numbers for an index followed by the same upper case letter are not significantly different from each other at different temperatures but the same illumination, and those followed by the same lower case letter are not significantly different from each other at different illumination but the same temperatures

表 3 温度与光照对多毛坡垒种子萌发影响的方差分析

Table 3 Two-Way ANOVA of the effects of temperature and illumination on seed germination

变差来源 Source of Varian	P 值					
	萌发率 Germination percentage	萌发指数 Germination index	胚根长 Root length	苗长 Shoot length	干物质 Net matter	简明活力指数 Simplified vigor index
温度 Temperature (°C)	0	0	0	0	0	0
光照 Illumination	0.953	—	0.889	0.244	0.161	0.810
温度 × 光照 (T × I)	0	—	0.064	0	0.514	0

表4 土壤水分对多毛坡垒种子萌发的影响

Table 4 Effects of soil moisture content on seed germination

土壤含水量 Soil moisture content (%)	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
发芽率 Germination percentage (%)	36 ± 9.27 <sup>CD</sup>	78 ± 6.63 <sup>B</sup>	98 ± 2 <sup>A</sup>	96 ± 2.45 <sup>A</sup>	100 <sup>A</sup>	100 <sup>A</sup>	96 ± 2.45 <sup>A</sup>	82 ± 4.9 <sup>B</sup>	42 ± 8 <sup>C</sup>	34 ± 7.48 <sup>CD</sup>	18 ± 2 <sup>D</sup>
胚根长 Root length (cm)	4.2 ± 1.09 <sup>F</sup>	12.44 ± 1.31 <sup>DE</sup>	16.38 ± 1.92 <sup>D</sup>	21.92 ± 1.18 <sup>C</sup>	24.84 ± 1.9 <sup>BC</sup>	30.88 ± 2.48 <sup>A</sup>	27.2 ± 2.84 <sup>AB</sup>	10.8 ± 1.89 <sup>E</sup>	4.32 ± 1.44 <sup>F</sup>	2.06 ± 0.4 <sup>F</sup>	1.46 ± 0.25 <sup>F</sup>
苗长 Shoot length (cm)	3.74 ± 0.7 <sup>E</sup>	9.6 ± 1.15 <sup>D</sup>	13.26 ± 0.9 <sup>C</sup>	15.12 ± 0.55 <sup>B</sup>	16.16 ± 0.66 <sup>B</sup>	17.9 ± 0.83 <sup>AB</sup>	21.18 ± 0.71 <sup>A</sup>	19.36 ± 1.8 <sup>A</sup>	10.1 ± 1.87 <sup>CD</sup>	5.1 ± 1.28 <sup>E</sup>	2 ± 0.71 <sup>E</sup>
干物质 Net matter (mg)	88.66 ± 27.59 <sup>F</sup>	153.7 ± 9.03 <sup>E</sup>	184.26 ± 21.35 <sup>DE</sup>	220.78 ± 11.49 <sup>CD</sup>	251.72 ± 15.83 <sup>BC</sup>	318.86 ± 9.1 <sup>A</sup>	299.34 ± 14.95 <sup>AB</sup>	202.82 ± 17.64 <sup>D</sup>	94.96 ± 20.76 <sup>F</sup>	46.86 ± 12.37 <sup>BC</sup>	24.22 ± 6.9 <sup>C</sup>
简明活力指数 Simplified vigor index	3.53 ± 1.29 <sup>F</sup>	17.62 ± 2.77 <sup>E</sup>	29.19 ± 2.91 <sup>CD</sup>	35.69 ± 2.37 <sup>BC</sup>	41 ± 2.51 <sup>AB</sup>	48.78 ± 2.04 <sup>A</sup>	46.67 ± 3.78 <sup>A</sup>	25.42 ± 4.83 <sup>D</sup>	7.05 ± 2.46 <sup>F</sup>	2.918 ± 1.25 <sup>F</sup>	0.662 ± 0.18 <sup>F</sup>

根据 Duncan 检验, 每一行中由不同大写字母标记的数值之间的差异是显著的 ( $P < 0.05$ )

Numbers for an index followed by the same upper case letter are not significantly different from each other at level  $P < 0.05$  according to Duncan's test

表5 室温自然摊放条件下多毛坡垒种子的寿命

Table 5 Longevity of seeds laid at ambient conditions

贮存时间 Storage duration (days)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
种子含水量 Seed moisture content (%)	44.32 ± 0.85	38.93 ± 0.76	36.86 ± 1.58	36.31 ± 2.77	34.12 ± 2.77	30.85 ± 1.92	26.97 ± 4.16	24.83 ± 0.61	19.83 ± 3.63	18.89 ± 2.70
发芽率 Germination percentage (%)	96 ± 4 <sup>A</sup>	90 ± 5.48 <sup>A</sup>	84 ± 8.12 <sup>AB</sup>	82 ± 4.9 <sup>AB</sup>	68 ± 9.7 <sup>B</sup>	38 ± 5.83 <sup>C</sup>	32 ± 8 <sup>C</sup>	26 ± 8.72 <sup>C</sup>	0 <sup>D</sup>	0 <sup>D</sup>
胚根长 Root length (cm)	20.16 ± 3.75 <sup>A</sup>	16.36 ± 1.31 <sup>AB</sup>	15.36 ± 2.4 <sup>AB</sup>	13 ± 1.33 <sup>B</sup>	10.46 ± 2.52 <sup>BC</sup>	5.54 ± 0.99 <sup>CD</sup>	3.38 ± 0.98 <sup>D</sup>	2.72 ± 0.99 <sup>D</sup>	0 <sup>D</sup>	0 <sup>D</sup>
苗长 Shoot length (cm)	17.06 ± 0.76 <sup>A</sup>	16.5 ± 1.8 <sup>A</sup>	11.2 ± 1.07 <sup>B</sup>	9.54 ± 0.88 <sup>BC</sup>	7.66 ± 1.92 <sup>C</sup>	2.04 ± 0.72 <sup>D</sup>	0.86 ± 0.37 <sup>D</sup>	0.6 ± 0.4 <sup>D</sup>	0 <sup>D</sup>	0 <sup>D</sup>
干物质 Net matter (mg)	602.88 ± 45.06 <sup>A</sup>	598.68 ± 91.23 <sup>A</sup>	258.38 ± 32.57 <sup>B</sup>	177.1 ± 15.83 <sup>BC</sup>	163.5 ± 42.17 <sup>BC</sup>	68.16 ± 11.86 <sup>CD</sup>	35.68 ± 5.44 <sup>D</sup>	45.66 ± 10.85 <sup>D</sup>	0 <sup>D</sup>	0 <sup>D</sup>
简明活力指数 Simplified vigor index	36.34 ± 5.01 <sup>A</sup>	29.92 ± 3.47 <sup>AB</sup>	22.26 ± 3.44 <sup>BC</sup>	18.65 ± 2.53 <sup>C</sup>	13.78 ± 4.46 <sup>C</sup>	3.222 ± 1.02 <sup>D</sup>	1.634 ± 0.73 <sup>D</sup>	1.21 ± 0.62 <sup>D</sup>	0 <sup>D</sup>	0 <sup>D</sup>

根据 Duncan 检验, 每一行中由不同大写字母标记的数值之间的差异是显著的 ( $P < 0.05$ )

Numbers for an index followed by the same upper case letter are not significantly different from each other at level  $P < 0.05$  according to Duncan's test

干物质的转移和活力指数都是最高的。当土壤含水量低至 15% 或高达 70% 时种子发芽受到明显抑制, 低于 10% 或高于 80% 时萌发受到严重限制。可能是因为种子本身的含水量比较高, 萌发时对外界水分的需求相对比较少, 比较而言, 水分过多的危害大大超过了水分欠缺的危害, 在适宜的土壤含水量范围之外, 水渍情况下的萌发结果不如干燥情况下的萌发结果。

#### 2.4 种子寿命的研究

新采收的多毛坡垒种子具有良好的萌发特性, 发芽率高, 发芽迅速, 但在室内自然摊放的贮藏条件下, 种子水分迅速散失, 发芽率和活力指数迅速下降 (表 5)。实验结果表明, 在自然条件下, 经历 6 天时间多毛坡垒种子的含水量降低了 18.07% (从 44.32% 降至 36.31%), 相应地, 种子的发芽率可以保持 6 天, 胚根伸长能力可以保持 4 天, 但胚芽生长能力、干物质转化能力和种子活力则只能保持 2 天。若以发芽率减半作为衡量种子寿命的指标, 则多毛坡垒种子的寿命不足 10 天, 而完全丧失发芽力只需 16 天。

### 3 讨论与结论

(1) 温度、土壤水分和贮存时间都是影响多毛坡垒种子萌发的重要因素, 但光照对种子萌发的影响较小。种子的适宜萌发温度范围为 20~30℃, 最适宜温度为 25℃, 温度高至 35℃ 时发芽受到严重抑制, 低至 10℃ 时种子不能萌发。变温不能提高种子的发芽率, 但可以提高发芽质量。光照不是多毛坡垒种子萌发的必要条件, 但对种子的萌发还是有一些影响, 有光照时以 25~30℃ 条件下萌发结果最好, 全黑暗时以 20~25℃ 条件下萌发结果最好。光照条件下干物质的积累较多, 黑暗条件下胚芽的生长较快。在 20%~60% 的土壤含水量范围内种子都可以正常萌发, 而最适萌发条件为 50%~60%。在室内自然摊放条件下种子活力不能保持 2 天, 发芽率可以保持 6 天, 16 天后则完全失去发芽能力。这些与同样是分布于热带湿性季节性雨林的坡垒 (*Hopea hainanensis*) (文彬等, 2002a) 和绒毛番龙眼 (*Pometia tomentosa*) (文彬等, 2002b) 很相似, 但绒毛番龙眼是在雨季散布种子。

(2) 不经任何处理, 在室温条件下多毛坡垒

种子就可以非常好地萌发, 这与热带雨林林下幼苗更新良好的事实相符合。多毛坡垒分布于热带湿性季节性雨林, 在植被保存完好的条件下, 林内环境能够满足多毛坡垒种子萌发的温湿度要求。这说明, 多毛坡垒从开花结实、种子萌发到幼苗定居各阶段都不存在困难。但多毛坡垒种子的散落期正是滇南地区干季, 而种子萌发需要较高的土壤含水量 (约 50%), 且对高温敏感 (低于 30℃), 说明它需要在林下凉湿的环境更新, 对热带雨林原生境有很强的依赖。滇南地区既是亚洲热带雨林分布的北界 (朱华, 1990, 1993), 也是该种分布的北限, 与典型的热带地区相比水分和热量都偏少, 因此, 在滇南地区该物种仅局限于植被保存较好的沟谷地段。目前, 滇南地区的热带雨林都不同程度的受到干扰和破坏, 热带雨林的片断化和不合理的林下土地利用有使林内“凉湿效应”向“干暖效应”变化的趋势 (马友鑫等, 1998), 很可能不利于这类种子散播后的保存和萌发。该地区目前多毛坡垒的分布比历史上缩小了许多, 也主要是毁林开荒和森林破坏造成的。因此, 保护多毛坡垒不能只局限于这个种本身的保护, 而在于保护好以该种为标志的植物群系和以此为代表的滇南热带湿性季节性雨林。

(3) 多毛坡垒种子具有千粒重大、含水量高、萌发迅速、寿命短、不耐脱水等顽拗性种子的一些特点 (Chin 等, 1984; Farnsworth, 2000; 文彬, 2008)。目前顽拗性种子的长期保存仍然是世界性的难题, 超低温保存被认为是顽拗性种子长期保存的唯一和最有可能的方法 (Engelmann, 2004), 但目前还没有龙脑香科植物种质资源超低温保存成功地报道, 该科植物组织培养成功的例子也极少。在此前提下, 多毛坡垒种质资源的保存无疑应选取活体保存的方法, 以就地保护为主, 活植物迁地保护为辅。

(4) 果翅颜色是龙脑香科植物种子成熟的良好标志, 果翅从青色或黄色变为褐色是最佳的采种时机。我们的观察发现, 多毛坡垒种子于每年的一月中上旬即已经成熟, 但需等到二月底甚至三月才会被大风从树上吹落, 种子在树上宿存一个多月。多毛坡垒种子在母株上的长时间宿存导致种子的发芽率和活力显著降低 (表 1)。我们推测, 多毛坡垒在地质历史时期曾经生长在多

风的环境中, 其种子的散落需要借助风的作用, 地理变迁导致了种子散播习性与目前滇南地区该季节相对静风的环境之间存在明显的不协调。因为有研究认为, 滇南地区在历史上曾经是以海洋环境为主, 常年吹拂海风, 并可能有过红树林植被存在 (朱华, 2000)。

(5) 多毛坡垒种子成熟后在树上长时间宿存, 这种宿存本身就显著降低了种子的发芽率, 而宿存后的种子散落正值不利于种子萌发的干季。鉴于此, 建议选取一些地段进行适当的人工抚育, 如在种子成熟季节采种育苗再适时移栽于林下, 或人工采种后播于林内等, 促进种群更新。同时, 多毛坡垒是滇南主要的用材树种之一, 过度砍伐是造成该物种濒危的重要原因。该树种材质优良, 且造林性能良好, 母树结种量大, 种子发芽简单, 育苗移植和直播造林皆可。用多毛坡垒营造人工林, 寓保护于利用之中, 把利用和保护结合起来, 将有益于缓解该种的濒危现状。

### 〔参 考 文 献〕

云南植被编写组, 1987. 云南植被 [M]. 北京: 科学出版社, 106—109

西南林学院, 云南省林业厅, 1991. 云南树木图志 (下) [M]. 昆明: 云南科技出版社

朱华, 2000. 西双版纳龙脑香热带雨林生态学与生物地理学研究 [M]. 昆明: 云南科技出版社

国家环境保护局, 中国科学院植物研究所, 1987. 中国珍稀濒危保护植物名录 (第一册) [M]. 北京: 科学出版社

国家环境保护局, 中国科学院植物研究所, 1989. 中国珍稀濒危植物 [M]. 上海: 上海教育出版社

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

Chin HF, Hor YL, Lassim MB, 1984. Identification of recalcitrant seeds

[J]. *Seed Sci Technol*, 12: 429—436

Engelmann F, 2004. Plant cryopreservation: progress and prospects [J]. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 40: 427—433

Farnsworth EA, 2000. The ecology and physiology of viviparous and recalcitrant seeds [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31: 107—138

Huang SX (黄仕训), Chen H (陈泓), Pan B (盘波) et al., 2008a. Characteristics of *Hopea chinensis* Community, an Endemic and Endangered Species in Guangxi [J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sin* (西北植物学报), 28 (1): 164—170

Huang SX (黄仕训), Chen H (陈泓), Tang WX (唐文秀) et al., 2008b. Biological and ecological characteristics of *Hopea chinensis*, a plant endemic to Guangxi [J]. *Biodiversity Science* (生物多样性), 16 (1): 15—23

International Seed Testing Association (ISTA), 1985. International rules for seed testing. Rules 1996 [J]. *Seed Sci Technol*, 13: 356—513

Ma YX (马友鑫), Liu YH (刘玉洪), Zhang KY (张克映), 1998. On microclimate edge effects of tropical rainforest fragments in Xishuangbanna [J]. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 22 (3): 250—255

Wen B (文彬), Lan QY (兰芹英), He HY (何惠英), 2002a. Effects of illumination, temperature and soil moisture content on seed germination of *Hopea hainanensis* [J]. *Journal Tropical and Subtropical Botany* (热带亚热带植物学报), 10 (3): 285—2647

Wen B (文彬), Yin SH (殷寿华), Lan QY (兰芹英) et al., 2002b. Ecological characteristics of seed germination of *Pometia tomentosa* [J]. *Guihaia* (广西植物), 22 (5): 408—412

Wen B (文彬), 2008. On the compound quantitative characteristic trait of seed recalcitrance [J]. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), 30 (1): 76—88

Zhang L (张玲), Xiao CF (肖春芬), Wang J (王坚), 2001. *Ex situ* conservation of *Hopea chinensis* [J]. *Guihaia* (广西植物), 21 (3): 277—280

Zhu H (朱华), 1990. The tropical rain forest vegetation in Xishuangbanna [J]. *Tropical Geography* (热带地理), 10 (3): 233—240

Zhu H (朱华), 1993. The floristic characteristics of the tropical rainforest in Xishuangbanna [J]. *Tropical Geography* (热带地理), 13 (2): 149—155