

假槟榔种子脱水耐性的发育变化*

邵玉涛^{1,2,3}, 殷寿华^{1**}, 兰芹英¹, 张晓燕^{1,2}

(1 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 勐腊 666303; 2 中国科学院研究生院, 北京 100039;

3 内蒙古科技大学, 内蒙古 包头 014010)

摘要: 对假槟榔 (*Archontophoenix alexandrae*) 种子和胚发育过程中脱水耐性的变化、不同脱水速率对脱水耐性的影响及种子的萌发和贮藏特性进行了研究。种子含水量在花后 55~ 70 d 逐步降低, 随后不再变化, 并保持在较高水平 (37%); 花后 90 d 的种子获得最大干重。花后 60 d 后种子获得萌发能力, 花后 70 d 达到最大值。在交替光照下 (14 h 光照, 10 h 黑暗, $12 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), 种子在 15℃~ 40℃ 下均能萌发, 其萌发的适宜温度范围为 30℃~ 35℃; 但光照对种子的萌发有较大的抑制作用。种子和胚在花后 55~ 90 d, 脱水耐性逐渐增强; 花后 90 d 种子和胚的脱水耐性最强, 此时种子和胚的半致死含水量分别为 0.18 g/g 和 0.3 g/g。脱水至相同含水量, 快速脱水的种子的存活率明显高于慢速脱水。无论是否进行脱水处理, -18℃ 下贮藏 1 个月后, 种子均丧失萌发能力; 在 4℃, 10℃ 和 15℃ 下, 适度脱水能延长种子的贮藏寿命。假槟榔种子不耐脱水, 不适合在低温、低含水量条件下长期贮藏, 属顽拗性种子。

关键词: 假槟榔; 种子发育; 脱水耐性; 脱水速率

中图分类号: Q 945

文献标识码: A

文章编号: 0253-2700(2006)05-515-08

Developmental Changes in Relation to Desiccation Tolerance of *Archontophoenix alexandrae* (Palmae) Seeds

SHAO Yir-Tao^{1,2,3}, YIN Shou-Hua^{1**}, LAN Qir-Ying¹, ZHANG Xiao-Yan^{1,2}

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

2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3 Inner Mongolia University of Sciences and Technology, Baotou 014010, China)

Abstract: Germination of *Archontophoenix alexandrae* seeds and embryos were studied under gradient water content treatments throughout the seed development phases of maturation in 2005 to investigate seed desiccation tolerance and storage characteristics. During the maturation process, seed water content decreased gradually from 55 DAF (days after flowering) to 70 DAF, and seeds reached the maximum dry weight at 90 DAF. Seed germinability appeared after 60 DAF. Seeds germinated with a temperature range from 15℃- 40℃ under alternating photoperiod (14 h light, 10 h dark, $12 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), while the best germination percentage was obtained between 30℃- 35℃. A maximum germination capacity reached at 70 DAF. However, seed germination was greatly inhibited by light. Desiccation tolerance of seeds and embryos increased gradually from 55 DAF to 90 DAF and reached the maximum at 90 DAF with a semilethal water content of 0.18 g/g (seed) and 0.3 g/g (embryo) respectively. Rapid dehydration maintained higher seed germination percentage than that of slow dehydration when drying to the same water content. Seeds with/without water content treatments failed to germinate after 1 month storage under -18℃, whereas appropriate desiccation treatment prolonged seed longevity under 4℃, 10℃ and 15℃ storage temperatures. It revealed obviously the recalcitrant characteristics of *Archontophoenix alexandrae* seed

* 基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向性项目 (KSCX2-SW-117)

** 通讯作者: Author for correspondence. E-mail: ysh@xtbg.org.cn; syt_234@163.com

收稿日期: 2005-12-12 2006-04-09 接受发表

作者简介: 邵玉涛 (1980-) 女, 在读硕士, 主要从事顽拗性种子脱水耐性与超低温保存的研究工作。

storage behaviour which are tolerant toward neither deep desiccation nor low temperatures.

Key words: *Archontophoenix alexandrae*; Seed development; Desiccation tolerance; Drying rate

Roberts (1973) 根据种子的贮藏行为将种子分为正常性种子和顽拗性种子。正常性种子在母体植株上经历成熟脱水, 种子脱落时含水量较低, 通常能被进一步干燥到 1% ~ 5% 的含水量而不发生伤害, 在干燥和低温环境下长期贮藏而不丧失活力; 顽拗性种子不经历成熟脱水, 种子脱落时含水量相对较高, 在整个发育过程中不耐脱水, 通常对低温敏感, 不适合在低温、低含水量条件下长期贮藏 (Smith and Berjak, 1995; Pammenter and Berjak, 1999; 宋松泉等, 2003)。因此, 种子脱水耐性是制定种子贮藏特性的一个重要依据。不同发育阶段的种子脱水耐性不同 (Berjak 等, 1992; Tompsett and Pritchard, 1993), 顽拗性种子在发育的特定成熟阶段获得较大的脱水耐性 (Chaudhury and Malik, 2004)。Fu 等 (1994) 提出, 根据发育阶段找出最耐脱水的时期, 可能是顽拗性种质保存的一个有效途径。脱水速率也影响顽拗性种子的脱水耐性, 快速脱水比慢速脱水能使顽拗性种子获得较高的脱水耐性 (Pammenter and Berjak, 1999; Wesley-Smith 等, 2001)。了解顽拗性种子脱水敏感性的发育变化、不同脱水速率对脱水耐性的影响, 有利于获得具有较高脱水耐性的材料, 对于实现顽拗性种质资源的长期保存具有重要的理论和实践价值。

假槟榔 [*Archontophoenix alexandrae* (F. Muell.) Wendl. et Drude] 又名亚历山大椰子, 属棕榈科假槟榔属的一种, 常绿乔木。原产澳大利亚, 我国福建、台湾、广东、海南、广西、云南等热带亚热带地区有栽培, 是一种树形优美的绿化树种 (裴盛基和陈三阳, 1991)。程红焱 (2005, 2006) 对种子贮藏技术研究背景和方向作过论述, 但关于假槟榔种子的贮藏特性以及脱水耐性的发育变化的研究还未见报道。本文以假槟榔种子和胚为材料, 研究了不同发育阶段其脱水耐性的变化, 以及不同脱水速率对脱水耐性的影响, 并对其种子的萌发和贮藏特性进行了探讨, 为这种观赏植物种子的贮藏、运输以及繁殖、引种和苗木生产提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

假槟榔 [*Archontophoenix alexandrae* (F. Muell.) Wendl. et Drude] 果实于 2005 年 7~10 月采自中国科学院西双版纳热带植物园。采集开花后不同天数 (days after flowering, DAF) 的果实, 剥取种子和离体胚作为实验材料。

1.2 方法

1.2.1 脱水处理

快速脱水: 将不同发育时期的假槟榔种子放在装有活化硅胶的干燥器中分别脱水 1~60 h (硅胶和种子的体积比例为 10:1, $25 \pm 2^\circ\text{C}$)。

慢速脱水: 将种子放在装有饱和 NaCl 溶液 (温度 15°C , $75 \pm 0.2\%$ 相对湿度) 的干燥器液面上方的尼龙网中, 分别脱水 2~30 d (罗银玲等, 2005)。

胚的脱水: 在无菌气流条件下分别脱水 0.5~12 h ($25 \pm 2^\circ\text{C}$, Fu 等, 1993)。

1.2.2 含水量测定

采用烘干称重法 ($103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, $17 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$) 进行测定。每个处理 3 个种子或 10 个胚, 3 个重复。以干重 ($\text{g H}_2\text{O g}^{-1} \text{DW}$, g/g) 为基础计算含水量。

1.2.3 萌发实验

(1) 种子萌发: 在 15°C , 20°C , 25°C , 30°C , 35°C 和 40°C 恒温下, 分别设置 14 h/d ($12 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) 光照和全黑暗两种条件, 将种子置入含有 1% 琼脂的培养皿中进行萌发, 每皿 25 粒, 4 个重复。以胚根突破种皮 2 mm 计为萌发, 45 d 后统计萌发率。

(2) 胚的培养: 将不同脱水处理的胚用 0.1% 的 HgCl_2 消毒 5 s, 无菌水冲洗 3 次, 接种在 MS 培养基, 添加 IAA 0.2 mg/L , BA 0.1 mg/L , 蔗糖 30 g/L 和琼脂 8 g/L , pH 5.8, 每瓶接种 5 个胚, 8 个重复, 培养在 25°C 、光照 10 h/d 条件下。一个月后统计存活率。

1.2.4 贮藏实验

将花后 90 d 的新鲜种子放在装有活化硅胶的干燥器中脱水 12 h (硅胶和种子的体积比例为 10:1, $25 \pm 2^\circ\text{C}$), 将脱水前后两种不同含水量的种子装入铝铂袋, 分别放入 -18°C , 4°C , 10°C , 15°C 条件下贮藏, 贮藏不同时间隔后取出测定萌发率。

2 结果

2.1 温度和光照对假槟榔种子萌发的影响

在交替光照 (14 h 光照, 10 h 黑暗, 下同) 下, 温度显著地影响假槟榔种子的萌发率和萌发

速率 (图 1): 在 25℃~ 35℃下, 种子萌发率较高, 分别为 70%、80% 和 83%, 其中在 35℃下萌发率最高, 与 30℃之间没有显著差别; 在 15℃~ 20℃, 种子萌发率和萌发速率下降; 在 40℃下, 种子虽然能够萌发, 但种子萌发后极易霉烂。故种子萌发的适宜温度范围为 30℃~ 35℃。

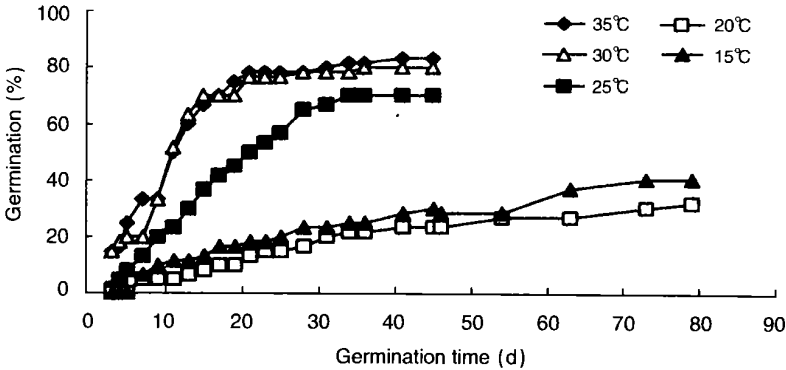


图 1 温度对假槟榔种子萌发率和萌发速率的影响。交替光照: 14 h 光照, 10 h 黑暗; 光照强度: $12\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。

Fig. 1 Effect of temperature on germination percentage and germination rate of *A. alexandrae* seeds. Alternating photoperiod with 14 h light and 10 h dark; light intensity, $12\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

在相同温度下, 种子在交替光照与黑暗条件相比, 萌发率显著降低 (35℃除外, 图 2a); 比较 25℃~ 35℃下的幼苗鲜重, 发现黑暗条件下

的幼苗鲜重均高于相同温度光照条件下的 (图 2b)。可见光照对假槟榔种子的萌发有较大的抑制作用, 黑暗条件更适于种子萌发。

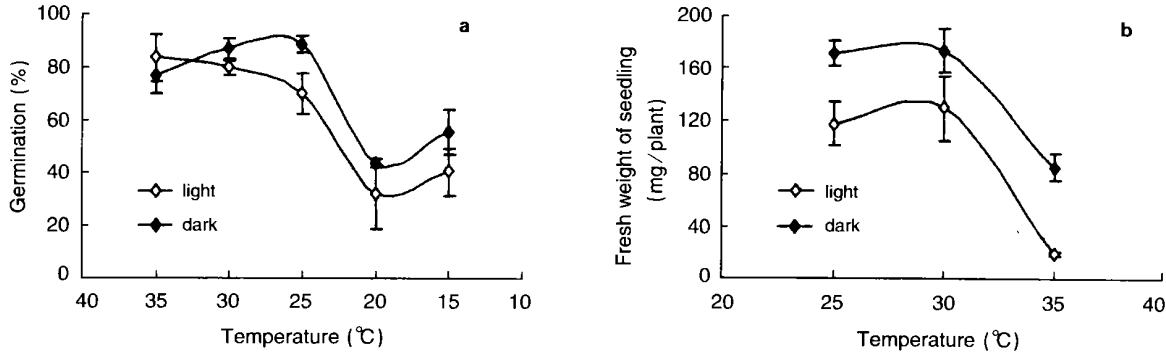


图 2 光照对假槟榔种子萌发率和幼苗鲜重的影响。交替光照, 14 h 光照, 10h 黑暗, $12\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$; 种子萌发 45 d 后称幼苗鲜重, 幼苗不包括胚乳

Fig. 2 Effect of light on seed germination percentage and fresh weight of seedling of *A. alexandrae*. Alternating photoperiod, 14h light and 10 h dark, $12\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Fresh weight of seedling was weighed after seeds germinated for 45 d. Seedling don't include endosperm

2.2 假槟榔种子发育过程中的形态变化

从 55 DAF 到 90 DAF, 果皮颜色由浅绿色逐渐变为深红色; 种子体积、千粒重和干重均逐渐增大, 在 90 DAF 达到最大值; 种子含水量逐渐下降, 但从 70 DAF 到 90 DAF 没有显著变化 (表 1)。

2.3 假槟榔种子和胚发育过程中含水量和萌发能力的变化

从 55~ 70 DAF, 假槟榔种子和胚的含水量

逐步降低; 70 DAF 后, 种子的含水量没有显著变化; 70~ 80 DAF, 胚的含水量基本保持不变, 85 DAF 时稍有下降, 之后不再变化 (图 3a)。

55 DAF, 假槟榔种子和胚尚无萌发能力; 60 DAF, 种子不能萌发, 50% 的胚获得萌发能力; 65 DAF; 仅有 9% 的种子获得萌发能力, 胚的萌发率达到 57%。70 DAF, 种子的萌发率达到最大值 (97%); 85 DAF 胚的萌发率达到 100% (图 3b)。

表1 不同发育时期的假槟榔种子的形态变化
Table 1 Changes in properties of *A. alexandrae* seeds at different developmental stages (DAF)

花后天数 Days after flowering	果实颜色 Colour of fruits	种子体积(cm^3/seed) Seed volume	种子千粒重 ($\text{g}/1000\text{ seeds}$) 1000 seeds weight	种子含水量(%) Water content of seed	种子干重(mg/seed) Dry weight of seed
55	绿色 green	0.24 ± 0.01^a	281.4 ± 2.55^a	62.2 ± 0.67^a	97.8 ± 3.83^a
60	绿色 green	0.27 ± 0.01^b	290.0 ± 2.83^b	50.4 ± 0.62^b	189.8 ± 5.05^b
65	黄绿色 yellowish green	0.29 ± 0.01^{bc}	330.0 ± 3.43^c	42.8 ± 0.82^c	203.1 ± 6.54^c
70	青红色 blue red	0.32 ± 0.01^{cd}	371.1 ± 2.73^d	38.5 ± 0.33^d	223.9 ± 11.6^c
75	浅红色 light red	0.30 ± 0.00^{cd}	384.1 ± 1.55^e	37.3 ± 0.33^d	243.5 ± 8.28^d
80	浅红色 light red	0.31 ± 0.01^{cd}	384.2 ± 1.85^e	37.2 ± 0.19^d	246.6 ± 2.57^d
85	红色 red	0.32 ± 0.01^d	404.2 ± 1.15^f	37.3 ± 0.17^d	258.3 ± 8.44^e
90	深红色 deep red	0.34 ± 0.01^e	407.9 ± 1.50^f	37.4 ± 0.23^d	263.7 ± 2.82^e

注：不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$, LSD test)。
Notes: Different letters on right comer in each row mean significant differences at $P < 0.05$ by LSD test.

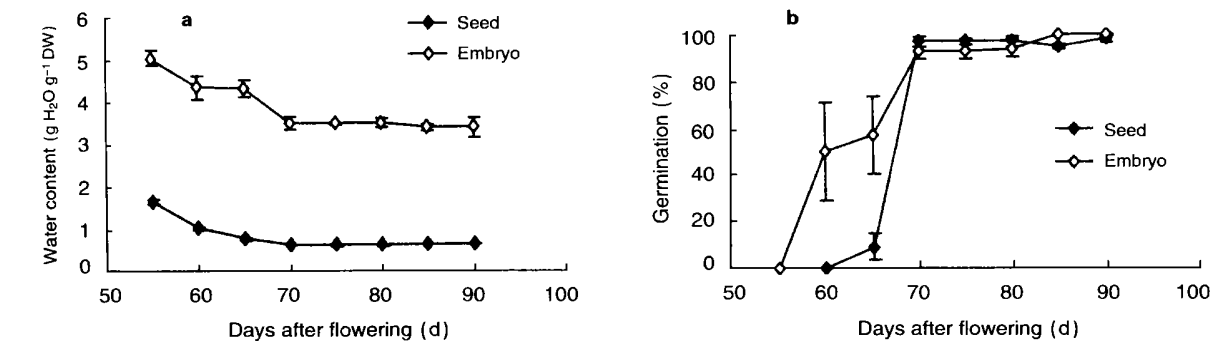


图3 假槟榔种子和胚发育过程中含水量 (a) 和萌发率 (b) 的变化
Fig. 3 Changes in water content (a) and germination percentage (b) of *A. alexandrae* seeds and embryos during development

2.4 假槟榔种子和胚发育过程中脱水耐性的变化

不同发育时期的假槟榔种子经硅胶脱水 1~48 h 后，萌发率均有不同程度的降低。65 DAF 种子萌发率为 9%，轻微脱水提高了种子的萌发率，但当含水量低于 0.4 g/g 时，萌发率随即下降；70~ 90 DAF 种子萌发率达到最大，在脱水过程中当含水量高于 0.3 g/g 时，萌发率缓慢下降；含水量低于 0.3 g H₂O g⁻¹ DW 时，萌发率显著下降。但不同发育时期种子的脱水耐性不同：70~ 90 DAF 种子的半致死含水量分别为 0.275, 0.265, 0.23, 0.225, 0.18 g/g (图 4a)。可见，随着种子成熟度的增加，脱水耐性逐渐增强，90 DAF 种子脱水耐性最强。

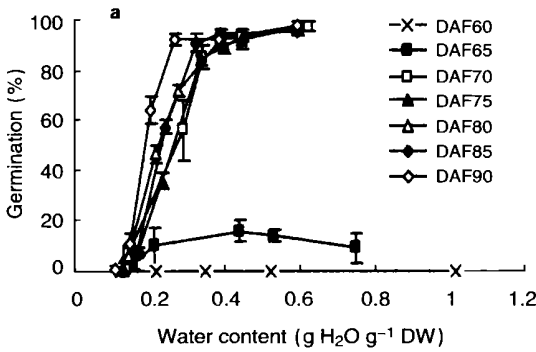
假槟榔胚的脱水耐性的变化与种子的规律相似 (图 4b)。60 DAF 和 65 DAF 胚的初始萌发率分别达到 50% 和 57%，但脱水后萌发率迅速下降。当含水量降低到 0.5 g/g 时，萌发率分别降

低到 9% 和 5%；70~ 90 DAF 胚的存活率均大于 90%，在脱水过程中萌发率也有不同变化：在脱水初期，不同发育时期胚的萌发率没有显著变化；但当含水量降低到 1.0 g/g 时，存活率迅速下降。不同发育时期胚的脱水耐性随着胚成熟度的增加逐渐增强。70, 75, 80, 85, 90 DAF 胚的半致死含水量分别为 0.4, 0.34, 0.36, 0.35, 0.3 g/g。90 DAF 胚脱水耐性最强。

2.5 不同脱水速率对假槟榔种子脱水耐性的影响

90 DAF 假槟榔种子在不同脱水速率下的含水量变化不同 (图 5a)。快速脱水 60 h 后，含水量降低到 0.12 g/g；慢速脱水 30 d 后，含水量降低到 0.19 g/g。假槟榔种子在快速和慢速脱水条件下的脱水耐性差异明显 (图 5b)。在含水量从 0.54 g/g 到 0.48 g/g 时，不同脱水速率下的种子萌发率没有显著差别；但当含水量低于 0.48 g/g 时，快速脱水下的萌发率明显高于慢速脱水的。

快速和慢速脱水速率下, 假槟榔种子的半致死含水量分别为 0.22 g/g (19%) 和 0.34 g/g (25%)。



可见, 快速脱水提高了种子的脱水耐性。
2.6 假槟榔种子贮藏过程中生活力的变化

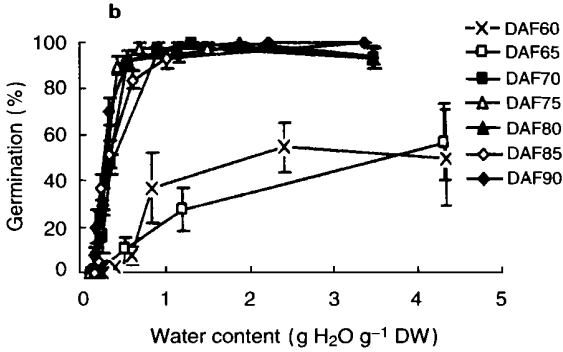


图 4 假槟榔种子 (a) 和胚 (b) 发育过程中脱水耐性的变化。在 25±2℃下, 种子放在装有活化硅胶的干燥器中脱水 1~ 48 h, 胚在无菌气流条件下脱水 0.5~ 12 h

Fig. 4 Changes in desiccation tolerance of *A. alexandrae* seeds (a) and embryos (b) during development. Seeds were rapidly dehydrated in desiccator with activated silica gel for 1– 48 h at 25±2℃, and embryos were dehydrated rapidly by using aseptic air current method for 0.5– 12 h at 25±2℃

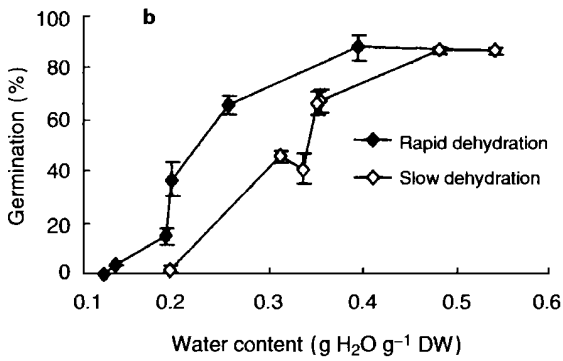
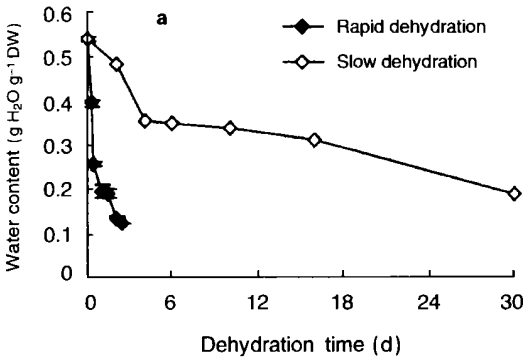


图 5 快速和慢速脱水对假槟榔种子脱水耐性的影响。花后 90 d 的种子, 在 25±2℃, 装有活化硅胶的干燥器中快速脱水; 在 15℃, 75.6±0.2% 相对湿度下慢速脱水。 a. 含水量 (g/g); b. 种子萌发率 (%)

Fig. 5 Effect of rapid and slow dehydration on desiccation tolerance of *A. alexandrae* seeds. Seeds developed 90 days after flowering, was rapidly dehydrated in desiccator with activated silica gel at 25±2℃, slowly dehydrated at 15℃, 75.6±0.2% relative humidity. a. Water content (g/g); b. Germination (%)

90 DAF 两种含水量的假槟榔种子萌发率均随贮藏时间的延长而下降, 但不同贮藏温度对萌发率的影响有所不同 (图 6): 在- 18℃下, 两种含水量的种子贮藏一个月后均丧失萌发能力; 在 4℃, 10℃, 15℃下, 含水量为 0.56 g/g 的种子贮藏 120 d 后的萌发率分别为 20%, 28% 和 8%, 贮藏 150 d 后均丧失萌发能力; 含水量为 0.43 g/g 的种子贮藏 150 d 萌发率分别为 16%, 37.2%, 20.8%, 贮藏 210 d 后均丧失萌发能力。可见, 假槟榔种子不能在低温低含水量条件下长期贮藏。

适当脱水只能把种子的寿命由 150 d 延长至 210 d。
含水量为 0.56 g/g 的种子在 15℃下萌发率下降最快, 其次为 4℃; 而含水量为 0.43 g/g 的种子在 4℃下萌发率下降最快, 其次为 15℃; 在 10℃下, 两种含水量的种子萌发率均下降的最为缓慢, 适于种子的短期贮藏。

3 讨论

假槟榔种子的体积、千粒重和干重在 55~ 90 DAF 发育过程中均呈增加趋势, 而种子含水

量在 70~ 90 DAF 没有显著变化, 90 DAF 种子脱落时干重最大, 种子达到生理成熟期, 此时含水量仍然保持在较高水平, 约为 37% (表 1, 图 3a)。成熟假槟榔种子和胚对脱水敏感, 半致死含水量均较高, 分别为 0.18 g/g 和 0.3 g/g (图 4 a, b)。种子萌发率随贮藏时间的延长而迅速下

降 (图 6), - 18℃条件下种子贮藏寿命不超过一个月, 在 4℃~ 10℃条件下, 适度脱水只能把种子贮藏寿命延长至 150 d~ 210 d。可见, 假槟榔种子在发育后期不经历成熟脱水, 脱落时种子含水量较高, 对脱水敏感, 难以在低温、低含水量条件下长期保存, 属顽拗性种子。

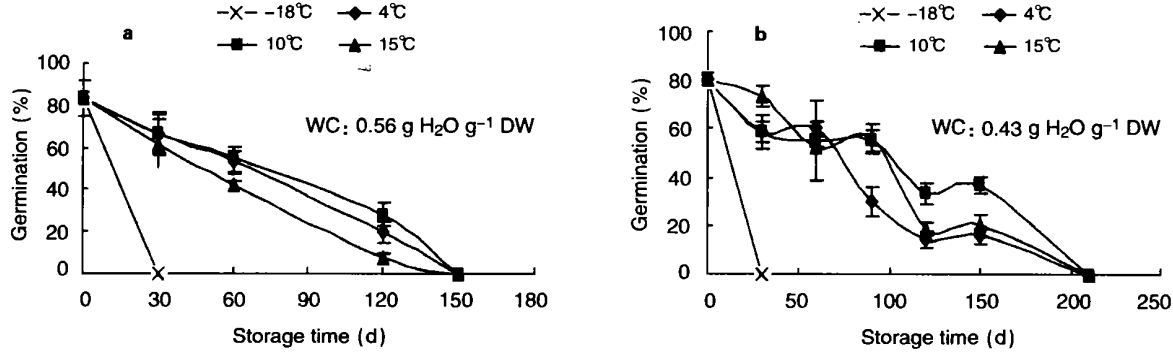


图 6 不同贮藏温度和贮藏时间对假槟榔种子萌发率的影响。a. 花后 90 d 的新鲜种子; b. 活化硅胶中快速脱水 12 h 的花后 90 d 种子
Fig. 6 Effect of storage temperature and storage time on seed germination. a. Fresh seeds of 90 DAF;
b. Seeds of 90 DAF of rapidly dehydrated 12 h with activated silica gel

假槟榔种子在 60 DAF 之后才能获得萌发力。这与其它一些顽拗性种子相似, 海榄雌、黄皮、荔枝和龙眼分别在花后 55、53、60、65 d 开始获得萌发能力 (Farrant 等, 1993; 彭业芳, 1993; Fu 等, 1994)。然而 60 DAF 种子不能萌发, 而胚的萌发率达到 50%, 可见离体胚比种子更早萌发。但在海榄雌的发育过程中, 种子与离体胚同时萌发 (Farrant 等, 1993)。但表现出最大萌发率的时间却相反, 种子在 70 DAF 获得最大萌发率, 而胚直到 85 DAF 才能获得最大萌发率。可能是因为发育早期的胚缺乏营养和贮藏物质来支持萌发及萌发后生长, 更依赖于营养培养基 (Bewley and Black, 1994), 因此适合成熟胚萌发的培养基却难以满足幼胚萌发的需要。

温度和光照是影响种子萌发的重要环境因子。许多研究表明 20℃~ 30℃适合热带植物的种子萌发, 甚至 35℃也适合于其中的一些种类 (Stubbendieck and McCully, 1976)。成熟的假槟榔种子在 15℃~ 40℃温度范围内均可以萌发 (图 1), 但在 25℃~ 35℃下, 种子萌发率较高, 萌发速率较快。其中, 种子萌发的最适温度范围为 30℃~ 35℃。在 15℃~ 30℃, 黑暗条件下种子能够获得

更高的萌发率, 且在 25℃~ 35℃黑暗条件下的幼苗鲜重显著高于同温光照条件下的 (图 2), 可见光照对假槟榔种子的萌发有一定的抑制作用。

顽拗性种子在不同发育阶段其脱水耐性表现不同 (Chandel 等, 1995), 在大多数顽拗性种子的发育末期, 随着含水量的降低种子的脱水耐性有所增加 (Pammenter and Berjak, 1999)。假槟榔的种子和胚的半致死含水量在 70~ 90 DAF 逐渐降低, 脱水耐性逐渐增强, 直到 90 DAF 才具有相对较强的脱水耐性 (图 4)。90 DAF 种子的干重达到最大, 脱水耐性也最强, 这与兰多费亚胶藤 (*Landolphia kirkii*)、荔枝和黄皮等顽拗性种子相似 (Berjak 等, 1992; Fu 等, 1994)。许多植物种子最耐脱水的阶段在时间上或多或少与种子的生理成熟期即达最大干重的时期相一致 (Ellis 等, 1987; Berjak 等, 1992; Bryant 等, 2001; Connor 等, 2001)。Walters (2000) 提出, 干物质的积累可能是获得脱水耐性过程中一个很重要的特征。Aberlenc Bertossi 等 (2003) 也发现油棕不成熟胚的脱水耐性的获得与干物质的积累和含水量的降低密切相关。但并不是所有的顽拗性种子都遵循这样的规律, 海榄雌 (*Avicennia marina*) 种子一旦具

有萌发能力, 脱水耐性在进一步的发育过程中不再变化 (Farrant 等, 1993); 大叶楠 (*Machilus kusanoi*) 的脱水耐性在发育后期下降 (Chien and Lin, 1997)。本研究中, 随着种子和胚的不断发育, 二者的脱水耐性逐渐增强, 这说明其脱水耐性是逐渐获得的, 是一个数量性状。

种子脱水速率对脱水耐性有较大的影响, 许多研究表明快速脱水提高了顽拗性种子的脱水耐性 (Berjak 等, 1990; Pammenter 等, 1998; Wesley-Smith 等, 2001; Song 等, 2003)。伍贤进等 (2001) 研究了脱水速率对黄皮胚轴脱水敏感性的影响, 发现快速脱水降低了黄皮胚轴半致死含水量, 提高了其脱水耐性。Wesley-Smith 等 (2001) 发现快速脱水明显提高了木菠萝胚轴的脱水耐性, 快速脱水至 0.37 g/g 时存活率仍然保持在 100%, 但慢速脱水至相同含水量下存活率已经降为零。本研究中, 快速脱水和慢速脱水处理后, 种子的半致死含水量分别为 0.22 g/g 和 0.34 g/g 。慢速脱水至 0.19 g/g 时, 只有 2% 的种子可以萌发; 快速脱水至 0.13 g/g 时, 有 4% 的种子可以萌发 (图 5b)。可见, 快速脱水使假槟榔种子在更低的含水量下获得更高的萌发率, 显著提高了种子的脱水耐性。快速脱水提高了顽拗性种子的脱水耐性, 可能是由于快速脱水大大缩短了暴露到中间水分含量的时间, 从而减少了脱水带来的伤害 (Pritchard and Manger, 1998; Wesley-Smith 等, 2001)。

致谢 种子生物学组文彬、何慧英老师对实验的进行提出了一些有价值的建议, 刘勇对文章的修改提出了很多宝贵意见。

〔参 考 文 献〕

- 裴盛基, 陈三阳, 1991. 中国植物志, 第 13 卷第 1 分册 [M]. 北京: 科学出版社, 130—132
- 彭业芳, 1993. 荔枝和龙眼种子发育和脱水劣变的生理与超微结构研究 [D]. 广州: 中山大学博士学位论文
- Aberlenc Bertossi F, Chabrilange N, Corbineau F, *et al.*, 2003. Acquisition of desiccation tolerance in developing oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) embryos in planta and *in vitro* in relation to sugar content [J]. *Seed Sci Res*, **13**: 179—186
- Berjak P, Farrant JM, Mycock DJ, *et al.*, 1990. Recalcitrant (homiohydrous) seeds: the enigma of their desiccation sensitivity [J]. *Seed Sci Technol*, **18**: 297—310
- Berjak P, Pammenter NW, Vertucci CW, 1992. Homiohydrous (recalcitrant) seeds: developmental status, desiccation sensitivity and the state of water in the axes of *Landolphia kirkii* Dyer [J]. *Planta*, **86**: 249—261
- Bewley JD, Black M, 1994. Seeds, Physiology of Development and Germination [M]. New York: Plenum Press, 117—145
- Bryant G, Koster KL, Wolfe J, 2001. Membrane behaviour in seeds and other systems at low water content: the various effects of solutes [J]. *Seed Sci Res*, **11**: 17—25
- Chandel KPS, Chaudhury R, Radhamani J, *et al.*, 1995. Desiccation and freezing sensitivity in recalcitrant seeds of tea, cocoa and jack fruit [J]. *Ann Bot London*, **76**: 443—450
- Chaudhury R, Malik SK, 2004. Desiccation and freezing sensitivity during seed development in jackfruit [J]. *Seed Sci Technol*, **32**: 785—795
- Cheng HY (程红焱), 2005. Research background and progress of seed ultradry storage technology [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), **27** (2): 113—124
- Cheng HY (程红焱), 2006. Challenges on the application of seed ultradry storage in seed bank [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), **28** (1): 59—68
- Chien CT, Lin TP, 1997. Effect of harvest date on the storability of desiccation sensitive seeds of *Machilus kusanoi* Hay. [J]. *Seed Sci Technol*, **25**: 361—371
- Connor KF, Bonner FT, 2001. The effects of desiccation on seeds of *Acer saccharinum* and *Aesculus pavia*: recalcitrance in temperate tree seeds [J]. *Trees*, **15**: 131—136
- Ellis RH, Hong TD, Roberts EH, 1987. The development of desiccation tolerance and maximum seed quality during maturation in six grain legumes [J]. *Ann Bot London*, **53**: 23—29
- Farrant JM, Berjak P, Pammenter NW, 1993. Studies on the development of the desiccation sensitive (recalcitrant) seeds of *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh.: the acquisition of geminability and response to storage and desiccation [J]. *Ann Bot London*, **71**: 405—410
- Fu JR, Jin JP, Peng YF, *et al.*, 1994. Desiccation tolerance in two species with recalcitrant seeds: *Clausena lansium* (Lour.) and *Litsea chinensis* (Sonn.) [J]. *Seed Sci Res*, **4**: 257—261
- Fu JR, Xia QH, Tang LF, 1993. Effects of desiccation on excised embryonic axes of three recalcitrant seeds and studies on cryopreservation. [J]. *Seed Sci Technol*, **21**: 85—95
- Luo YL (罗银玲), Song SQ (宋松泉), He HY (何惠英), *et al.*, 2005. Changes in desiccation tolerance of maize embryos during its development [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), **27** (3): 301—309
- Pammenter NW, Berjak P, 1999. A review of recalcitrant seed physiology in relation to desiccation tolerance mechanisms [J]. *Seed Sci Res*, **9**: 13—37
- Pammenter NW, Berjak P, 2000. Aspects of recalcitrant seed physiology [J]. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, **12** (Special Is

- sue): 56—69
- Pammenter NW, Greggains V, Kioko JL, *et al.*, 1998. Effects of differential drying rates on viability retention of recalcitrant seeds of *Elebergia capensis* [J]. *Seed Sci Res*, **8**: 463—471
- Pritchard HW, Manger KR, 1998. A calorimetric perspective on desiccation stress during preservation procedures with recalcitrant seeds of *Quercus robur* L. [J]. *Cryo-Letters*, **19**: (Supplement) 23—30
- Roberts EH, 1973. Predicting the storage life of seeds [J]. *Seed Sci Technol*, **1**: 499—514
- Smith MT, Berjak P, 1995. Deteriorative changes associated with the loss of viability of stored desiccation tolerance and desiccation sensitive seeds [A]. In Kigel J, Galili G (eds). *Seed Development and Germination* [M]. New York: Marcel Dekker Inc, 701—746
- Song SQ (宋松泉), Long CL (龙春林), Yin SH (殷寿华), *et al.*, 2003. Desiccation behavior of seeds and their molecular mechanisms [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), **25** (4): 465—479
- Song SQ, Berjak P, Pammenter N, *et al.*, 2003. Seed recalcitrance: a current assessment [J]. *Acta Bot Sin*, **45** (6): 638—643
- Stubbendieck SJ, McCully WG, 1976. Effect of temperature and photoperiod on germination and survival of sand dune stem [J]. *J Range Manage*, **3**: 206—208
- Tang AJ (唐安军), Long CL (龙春林), Dao ZL (刀志灵), 2004. Molecular mechanisms and storage technologies of recalcitrant seeds [J]. *Acta Bot Boreat-Occident Sin* (西北植物学报), **24** (11): 2170—2176
- Tompsett PB, Pritchard HW, 1993. Water status changes during development in relation to the germination and desiccation of *Aesculus hippocastanum* seeds [J]. *Ann Bot-London*, **71**: 107—116
- Walters C, 2000. Levels of recalcitrance in seeds [J]. *Revista Brasileira De Fisiologia Vegetal*, **12** (Edição Especial): 7—21
- Wesley-Smith J, Pammenter NW, Berjak P, *et al.*, 2001. The effects of two drying rates on the desiccation tolerance of embryonic axes of recalcitrant jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lamk.) Seeds [J]. *Ann Bot-London*, **88**: 653—664
- Wu XJ (伍贤进), Song SQ (宋松泉), Qian CM (钱春梅), *et al.*, 2001. Effects of drying at different rates on desiccation sensitivity and membrane lipid peroxidation in Chinese wampee (*Clausena lansium* (Lour.) Skeels) axes [J]. *Acta Phytophysiol Sin* (植物生理学报), **27**: 407—412

《中国喀斯特地区种子植物 (第一册)》征订启事

中国科学院昆明植物研究所税玉民和陈文红编著的《中国喀斯特地区种子植物 (第一册)》，已由科学出版社 (ISBN 7-03-017056-3) 和 Science Press USA Inc. (ISBN 1-933100-17-6) 于 2006 年 6 月出版发行。本书记录中国喀斯特地区种子植物 696 种 331 属 93 科，1900 多张彩色照片；每种均有形态特征、地理分布等描述，大多数种均有生境、全貌及花、果特写照片；并附有凭证标本及存放标本馆；收录新种 74 种、中国新记录 13 种、云南新记录 14 种。

该书为全彩色进口铜版纸印刷，精装，A4 (635×965) 版面，276 页，52.8 万字，中英对照。有意购买者请联系：陈文红女士，云南省昆明市龙泉路 610 号，中国科学院昆明植物研究所，邮编：650204。电话：0871-5215804，传真：0871-5150227，电子邮件：whchen@mail.kib.ac.cn，征定单见 <http://www.kib.ac.cn/Alpine/alpine.htm>

SEED PLANTS OF THE KARST REGION IN CHINA

VOL. 1 (SOUTHEAST YUNNAN)

Shui YurMin and Chen WenHong, in Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. Science Press, Beijing, ISBN 7-03-017056-3, and Science Press USA Inc., ISBN 1-933100-17-6

Note: A4 (635×965), 276pp, Jun 2006 published firstly, all in color and copperplate printing, hardcover, in both Chinese and English. It is characterized by:

1. 696 species belonging to 331 genera and 93 families, and over 1900 sheets of photos in color
2. Importance to study on flora of Indo China, Outline of Plants of the karst region in China
3. Voucher specimen and herbaria attached to every species
4. Projecting tropical taxa, difficult and endemic taxa, and including 74 new taxa
5. Uncommonness of Yunnan, "King of Plants"

Contacting directly with: Ms Chen WenHong, in Kunming Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Longquan Road 610, Kunming 650204, Yunnan Province, China. Tel. 086 0871-5215804, Fax. 086 0871-5150227, E-mail: whchen@mail.kib.ac.cn. Orders available on line <http://www.kib.ac.cn/Alpine/alpine.htm>