

研究報告

白柏與茄苳種子的儲藏性質

楊正釗^{1,4)} 林讚標²⁾ 郭幸榮³⁾

摘要

本研究目的在明瞭白柏與茄苳種子的發芽特性，並探討其儲藏性質。白柏種子採於高雄縣多納，新鮮種子以30/20°C (8 h光照)變溫條件經16週後之發芽率為59%，以4°C層積處理解除休眠所得之發芽數據評估本批種子潛在的發芽率為85.3%，故本批種子約有30%具深度休眠。以4°C層積經1~8 mo均能完全解除白柏種子休眠，且發芽速度會隨著層積時間的延長而顯著增快，平均發芽日數從新鮮種子的54 d下降到層積1 mo後的41 d，再下降到層積7 mo後的23 d。白柏種子的含水率降低至1.8~7.9% (鮮重)，儲藏在-20~15°C經24 mo後仍不失活力，故判定其儲藏性質屬正儲型。

茄苳種子採於台北縣三峽，新鮮種子在30/20°C (8 h光照)變溫條件經8週後發芽率為78%，平均發芽日數僅10~18 d，且能在4週內完成發芽，顯示此種子不具休眠性。茄苳種子含水率被乾燥到5.3~12.5%後大部分種子仍能存活，但儲藏在-20°C時，含水率在3.7~12.5%範圍的種子在24 mo後活力均顯著下降。茄苳種子儲藏在-20、4與15°C時其含水率最適界分別是8、5~13與5~8%。儲藏溫度以4°C較能維持種子活力，明顯優於-20與15°C。評估茄苳種子的最佳儲藏條件是將含水率8%的種子儲存於4°C環境中。茄苳種子能忍耐乾燥但對零下低溫敏感，此特性顯示其儲藏性質是介於正儲型與異儲型間的中間型。

關鍵詞：白柏、茄苳、層積、正儲型種子儲藏行為、中間型種子儲藏性質。

楊正釗、林讚標、郭幸榮。2006。白柏與茄苳種子的儲藏性質。台灣林業科學21(4):433-45。

Research paper

Seed Storage Behavior of *Sapium discolor* Muell.-Arg. and *Bischofia javanica* Blume

Jeng-Chuann Yang,^{1,4)} Tsan-Piao Lin,²⁾ Shing-Rong Kuo³⁾

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，10066台北市南海路53號 Division of Silviculture, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nanhai Rd., Taipei 10066, Taiwan.

²⁾ 國立台灣大學植物科學研究所，10617台北市羅斯福路四段1號 Graduate Institute of Plant Science, National Taiwan University, 1 Roosevelt Rd., Sec. 4, Taipei 10617, Taiwan.

³⁾ 國立台灣大學森林環境暨資源學系，10617台北市羅斯福路四段1號 Department of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University, 1 Roosevelt Rd., Sec. 4, Taipei 10617, Taiwan.

⁴⁾ 通訊作者 Corresponding author, e-mail:yjc@tfri.gov.tw

2006年4月送審 2006年6月通過 Received April 2006, Accepted June 2006.

*本研究承行政院農業委員會(86科技-1.5-林-03A(1)、87科技-1.2-林-04(1)-1與88科技-1.2-林-01(2)1經費補助，特予致謝。

【 Summary 】

The storage behavior and germination characteristics of seeds of Taiwan tallow tree (*Sapium discolor*) and Javanese bishopwood (*Bischofia javanica*) were investigated in the present study. The germination percentage of freshly collected mature seeds of *S. discolor* from Duona, Kaohsiung County in 1997 was 59% over 16 weeks under alternating temperatures of 30/20°C with 8 h of light. With cold stratification of freshly collected seeds for 2 mo, the germination percentage reached as high as 85.3%. Therefore, about 30% of seeds showed deep dormancy. The mean germination time was reduced from 54 d for freshly collected mature seeds to 41 d after 1 mo of stratification. Seed germinability of *S. discolor* could be maintained at -20~15°C, for at least 24 mo at MCs (moisture contents) of between 1.8 and 7.9% (on a fresh-weight basis). These results confirm that *S. discolor* seeds exhibit orthodox seed storage behavior.

The germination percentage of freshly collected mature seeds of *B. javanica* from Sansia, Taipei County in 1997 was 78% over 8 weeks under alternating temperatures of 30/20°C with 8 h of light, and the mean germination times were between 10 and 18 d. Most freshly mature seeds survived when they were desiccated to 5.3~12.5% MCs; however, the viability of those seeds with 3.7~12.5% MCs dropped significantly at -20°C after 24 mo of hermetic storage. The optimum seed moisture contents of *B. javanica* were 8, 5~13, and 5~8% for -20, 4, and 15°C storage, respectively. The temperature effect on seed longevity revealed that the longevity of seeds stored at 4°C was better than those at -20 and 15°C. We estimated that the optimum seed storage conditions for *B. javanica* are provided by combining a temperature of 4°C with about an 8% MC. These results confirm that *B. javanica* seeds exhibit intermediate storage behavior that is characterized as being tolerant to desiccation but sensitive to freezing temperatures.

Key words: *Sapium discolor*, *Bischofia javanica*, stratification, orthodox seed storage behavior, intermediate seed storage behavior.

Yang JC, Lin TP, Kuo SR. 2006. Seed storage behavior of *Sapium discolor* Muell.-Arg. and *Bischofia javanica* Blume. Taiwan J For Sci 21(4):433-45.

緒言

種子儲藏性質(seed storage behavior)是以成熟種子對乾燥的忍耐程度為判別基礎，一般將種子儲藏行為區分為正儲型(orthodox)、異儲型(recalcitrant)與中間型(intermediate)等三大類，其定義與特性請見Yang et al. (2006)。

白柏(*Sapium discolor* Muell.-Arg.)別稱山柏，為大戟科的半落葉性中喬木，分佈在馬來西亞、南中國及台灣等地。本島廣泛分佈於海拔1,000 m以下的次生林中(Hsieh et al. 1993)。扁球型蒴果徑約1 cm，每年11月時由綠轉成熟之黑褐色，果分為3室，每室具1種子，通常每粒果實至少有2粒種子能發育完成。種子外被白色蠟質，種仁富含油份，但這些蠟油質均明

顯少於另一廣泛分佈本島的外來馴化種—烏柏(*Sapium sebiferum* (L.) Roxb.)。白柏木材質輕易腐，過去只能當薪炭之用，然以其樹幹直挺少節，秋冬時的紅葉頗能展現季節變化之美，在低海拔各種環境均適應良好，為容易栽植且生長快速的本土樹種，成熟果實更為鳥類所喜食，故它是相當具有作為庭園觀賞木或行道樹潛力的本土闊葉樹種之一。

茄苳(*Bischofia javanica* Blume)又名重陽木、秋楓樹(autumn maple tree)，亦為大戟科的半落葉性喬木，然其體型碩大，樹高可達30 m，分佈在印尼、菲律賓、馬來西亞、中國南部、琉球、韓國、玻里尼西亞、澳洲及台灣等

地。本種為台灣低海拔最常見的樹種之一(Hsieh et al. 1993)。漿果球形，徑約1 cm，通常每粒果實內有3~4粒種子，每年9月(恆春一帶)~11月(台灣北部)時由綠轉成熟之暗褐色。茄苳木材緻密堅韌，耐濕而不易腐爛，故常為家具、土木建築、農具用材。本種樹冠擴張性佳而具優美樹型，在國內外都常被採用為庭園或行道樹。

過去有關此二樹種種子的發芽與儲藏之正式研究報告甚少，僅知茄苳種子於5°C可以儲藏3年以上(Chung and Chang 1990)。本研究目的在判別此二樹種種子是否屬於可以長期儲藏的正儲型，抑或為短壽命的異儲型或中間型種子，依此作為未來種子儲藏與利用之依據，並明瞭其發芽條件與特性，以提供育苗作業之參考。

材料與方法

一、果實採集與處理

本試驗白柏與茄苳種子(Fig. 1)採集資料見Table 1。白柏果實採收時大部分已呈黑褐色熟裂狀態，母樹下已有大量遭野鴿子啃噬留下的果實碎片，果實運回後於室內陰乾使其完全開裂，至12月3日將種子篩出後置於溫室噴水使種子外層蠟質軟化糜爛，至12月10日將種子洗淨純化。茄苳果實採收時均已呈褐色之成熟狀

態，果實運回後隨即摘下將其置於溫室噴水，其果肉在冬天低溫下不易潰爛，至1998年1月才能分次將種子洗出。此二批種子幾無浮水輕粒，洗淨的種子於室內平鋪陰乾約2 h使種子表面乾燥後，隨即進行新鮮種子的發芽率試驗及含水率測定，並立刻進行接續的乾、濕藏試驗。

二、種子含水率測定與發芽方法

白柏與茄苳分別隨機取5及10粒飽滿種子進行測定含水率(鮮重，本文以下的含水率均以鮮重表示)，重複4次。各不同處理的發芽試驗均有4重複，每重複白柏約50粒、茄苳約100

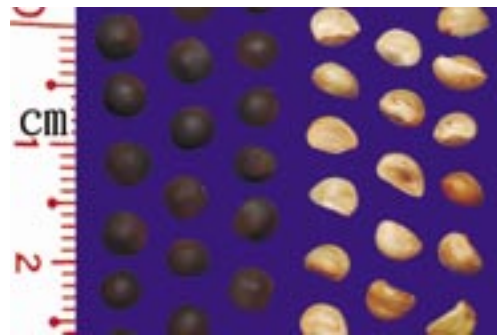


Fig. 1. Seeds of *Sapium discolor* (left) and *Bischofia javanica*.

Table 1. Information about collection, seed characteristics, and initial germination of *Sapium discolor* and *Bischofia javanica*. The thousand-seed-weight (TSW) was estimated at the moisture content shown

	<i>S. discolor</i>	<i>B. javanica</i>
Location	Duona, Kaohsiung 高雄多納	Sansia, Taipei 台北三峽
Latitude (N)	22°55'	24°53'
Longitude (E)	120°41'	121°22'
Elevation (m)	490	135
Collection date	16 Nov. 1997	13 Nov. 1997
Moisture content (% FW ¹⁾ basis)	8.7±0.1	32.3±0.5
Number of seeds/L	19160	35900
TSW (g)	51.3	16.3
Initial germination (%)	59.0±10.0	78.0±4.9
Initial mean germination time (d)	53.8±2.1	10.6±0.7

¹⁾ FW, fresh-weight.

粒，以胚根突出5 mm視為發芽，發芽期白柏為16 wk，茄苳則為8 wk，每週記錄一次發芽數。其餘含水率與發芽測定方法及細節同Yang et al. (2006)。

三、4°C層積處理

在為期8個月(白柏)與12個月(茄苳)的低溫層積期間，每隔1 mo進行發芽試驗一次，每次發芽試驗均有4重複，每重複白柏50粒、茄苳100粒，餘層積方法與細節同Yang et al. (2006)。

四、乾藏種子之含水率控制與儲藏試驗處理

本研究的白柏與茄苳新鮮種子含水率分別是8.7與32.3%，將此二批種子分別在20°C環境下脫濕，目的在獲得呈不同等級含水率的次種子組(sub-seedlot)。白柏種子控制所得五級含水率分別是： 1.8 ± 0.1 、 3.5 ± 0.2 、 5.1 ± 0.2 、 7.9 ± 0.3 與 $9.0 \pm 0.3\%$ ，較低的四級含水率種子分別是以 $ZnCl_2$ 、 $LiCl$ 、 CH_3COOK 與 $NaCl$ 等過飽和溶液將種子脫濕7 d所得，而含水率9.0者則是未經任何乾燥處理。茄苳種子控制所得五級含水率分別是： $3.7 \pm 0.3\%$ (以 $ZnCl_2$ 脫濕6 d)、 $5.3 \pm 0.3\%$ (以 $LiCl$ 脫濕3.8 d)、 $7.8 \pm 0.4\%$ (以 $MgCl_2$ 脫濕21 h)、 $12.5 \pm 0.4\%$ (以 $NaCl$ 脫濕21 h)，以及未處理的 $32.6 \pm 1.0\%$ 。在確定各「次種子組」含水率符合預定期望值後立刻以雙層鋁箔袋分裝密封，隨即分別儲藏於-20、4及15°C三種溫度，再依試驗設計每隔一段時間進行發芽試驗，以檢定種子活力(viability)。本試驗的白柏與茄苳種子都有0、3、6、9、12、18及24 mo等7個儲藏時間觀測點。

五、發芽速度之計算

以平均發芽日數來探討種子的發芽速度，方法同Yang et al. (2006)。

六、統計分析

本研究屬複因子試驗，將不同因子(儲藏溫度、種子含水率與儲藏時間)下之各種處理(如儲藏溫度為-20、4與15°C三種處理，種子含水

率有5級處理，儲藏時間有7個觀測點)所獲得之種子發芽率進行統計分析，比較各數據間的差異，以探討儲藏期間各儲藏溫度及不同種子含水率對種子活力之效應。所用之統計分析軟體是SAS 9.1版(2006)之變異數分析中的ANOVA與GLM程序。

結果

一、新鮮種子的發芽

本研究的白柏新鮮種子以30/20°C變溫經16 wk之發芽期，所得的起始發芽率與平均發芽日數分別是59.0%與53.8 d (Table 1)，發芽主要集中在第5~8週，僅約57%的潛在有發芽能力種子會在此4週內發芽，且即使延長發芽時間至24 wk時，仍有少許種子會陸續發芽。茄苳新鮮種子以30/20°C變溫經8 wk之發芽期後，所得的起始發芽率與平均發芽日數分別是78.0%與10.6 d (Table 1)，該批種子發芽快速且集中，其中97%有發芽能力的種子可在2週內密集發芽，且在此發芽條件下5週後就不再有發芽記錄。

二、低溫層積對發芽的效應

白柏新鮮種子的含水率為8.7%，4°C層積8 mo期間的種子含水率維持在13.1~14.4%，不同月份間的種子含水率並無顯著差異(Fig. 2)，且均較新鮮種子明顯增高($p < 0.0001$)，可見經低溫層積1 mo後種子就能吸潤到含水率呈穩定狀態。再以發芽率及發芽速度來探討低溫層積對白柏種子的發芽效應，該批種子於層積8 mo內之發芽率在72.4~90.1%，均較新鮮種子發芽率(59.0%)顯著提高($p < 0.0001$)，然而發芽率在1~8 mo的層積各月份間並無顯著差異(Fig. 2)。另本批種子在層積1~8 mo期間之平均發芽日數隨層積時間之延長而呈縮短趨勢，從層積1 mo的41.1 d下降到8 mo的29.8 d，與新鮮種子平均發芽日數相較，除與層積2 mo者無顯著差異外，其餘均呈顯著下降(Fig. 2)。

茄苳新鮮種子的含水率為32.3%，種子在4°C層積1~11 mo期間的含水率維持在37.2~45.8%，不同期間的含水率無顯著差異

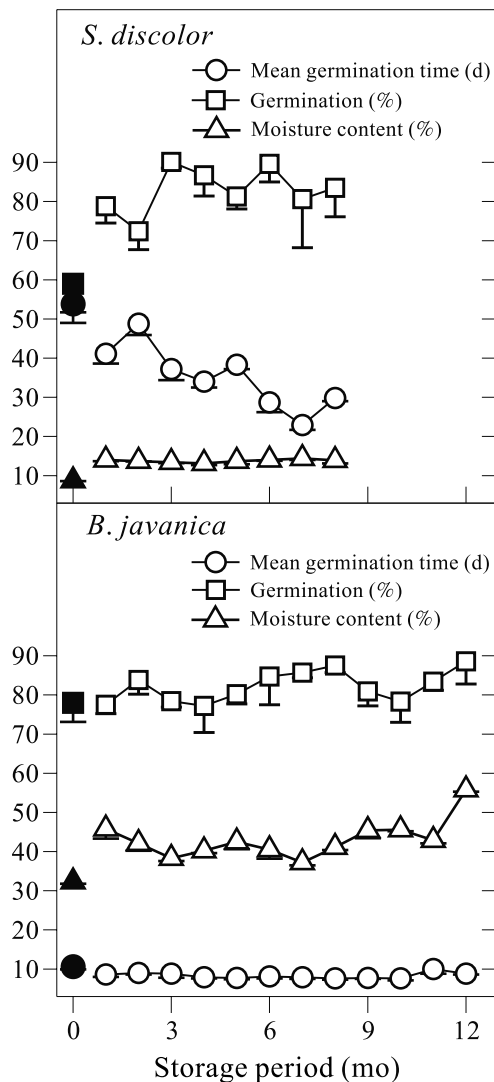


Fig. 2. Effect of 4°C stratification for 1-8 and 1-12 mo on the mean germination time (○), germination percentage (□), and changes in seed moisture content (△) of seeds of *Sapium discolor* and *Bischofia javanica*, respectively. The filled circles (●), squares (■), and triangles (▲) represent the mean germination time, germination percentage, and seed moisture content of freshly mature seeds, respectively. Vertical bars represent the mean ± standard error.

($p > 0.05$) (Fig. 2), 但到12 mo時顯著上升到55.8%，均較新鮮種子顯著增高，可見經低溫層積1 mo後種子就能吸潤到含水率呈穩定狀態。該批種子於層積12 mo內之發芽率在77.2~88.6%，與新鮮種子發芽率相較並無顯著差異(Fig. 2)。本批種子在層積1~12 mo期間之平均發芽日數呈平穩狀態，維持在7.6~10.0 d，與新鮮種子平均發芽日數相較後，均呈顯著下降，然而各層積期間的平均發芽日數彼此間差異並不顯著(Fig. 2)。

三、含水率、溫度與儲藏時間對白柏與茄苳種子活力之影響

白柏種子在0~24 mo乾藏期間，各級含水率與不同儲藏溫度對發芽率的影響見Fig. 3。五級含水率種子在乾燥控制剛完成後隨即以30/20°C變溫經16 wk所得的發芽率分別是58.0 ± 8.5 (9.0% MC)、48.5 ± 5.4 (7.9% MC)、61.0 ± 6.4 (5.1% MC)、61.0 ± 8.1 (3.5% MC)與58.0 ± 6.2% (1.8% MC)，彼此間或與新鮮種子之起始發芽率(59.0 ± 10.0%)相較後均無差異($p > 0.1$)。當種子儲藏在-20°C時，含水率9.0%者在24 mo的儲藏期間發芽率呈顯著下降趨勢，3 mo後發芽率驟降至21.4 ± 3.8%，爾後略有波動，至24 mo後發芽率為24.4 ± 3.1%；其餘四級含水率較低的種子在儲藏24 mo後之發芽率相近，分別為69.0 ± 5.3 (7.9% MC)、79.2 ± 4.6 (5.1% MC)、59.8 ± 7.8 (3.5% MC)與62.0 ± 12.8% (1.8% MC)，均無顯著下降趨勢($p > 0.05$)。當種子儲藏在4°C時，五級含水率種子在儲藏3 mo後發芽率都稍呈上升趨勢，儲藏24 mo後之發芽率分別為66.0 ± 10.8 (9.0% MC)、69.8 ± 6.8 (7.9% MC)、73.0 ± 8.2 (5.1% MC)、66.8 ± 5.5 (3.5% MC)與77.0 ± 5.9% (1.8% MC)，彼此間或與新鮮種子之發芽率相較後均無顯著差異($p > 0.1$)。而當儲藏在15°C時，五級含水率種子也是在儲藏3 mo後發芽率有略上升趨勢，儲藏24 mo後之發芽率分別為41.3 ± 12.9 (9.0% MC)、73.8 ± 2.2 (7.9% MC)、74.0 ± 6.6 (5.1% MC)、68.8 ± 7.4 (3.5% MC)與68.4 ± 8.0% (1.8% MC)，其中9.0% MC者之發芽率已有下降趨勢(但與新

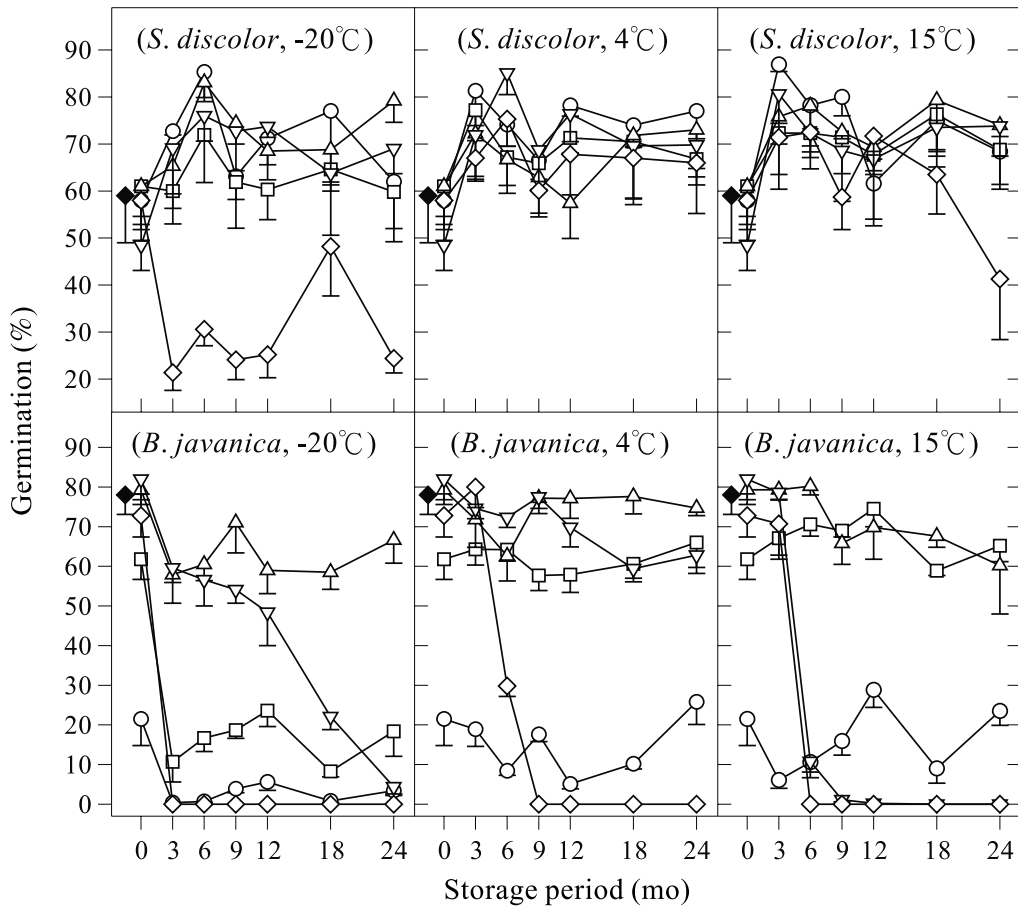


Fig. 3. Effects of storage temperatures (-20 , 4 , and 15°C) and moisture contents (MCs) ($1.8\sim 9.0\%$ and $3.7\sim 32.6\%$) on the germination percentage of seeds of the 2 species studied. Survival of seeds with the 5 water contents of *Sapium discolor* and *Bischofia javanica* significantly differed ($p < 0.0001$) at each temperature. The filled diamonds (\blacklozenge) represent the initial germination percentage of freshly mature seeds of these 2 species. *Sapium discolor*: \circ , $1.8 \pm 0.1\%$ MC; \square , $3.5 \pm 0.2\%$ MC; \triangle , $5.1 \pm 0.2\%$ MC; ∇ , $7.9 \pm 0.3\%$ MC; \diamond , $9.0 \pm 0.3\%$ MC. *Bischofia javanica*: \circ , $3.7 \pm 0.3\%$ MC; \square , $5.3 \pm 0.3\%$ MC; \triangle , $7.8 \pm 0.4\%$ MC; ∇ , $12.5 \pm 0.4\%$ MC; \diamond , $32.6 \pm 1.0\%$ MC. Vertical bars represent the mean \pm standard error.

鮮種子者相較仍無顯著差異)，而其他四級含水率種子的發芽率在彼此間或與新鮮種子者相較後均無顯著差異($p > 0.1$)。由上述結果可知在 24 mo 的儲藏期間內，僅含水率最高(9.0% MC)的白柏種子在 -20°C 儲藏時其活力有快速下降現象，其他處理的種子活力並未衰減。

將上述白柏種子各處理結果數據進行統計分析，在本研究的試驗設計規模內，儲藏溫度

(-20 、 4 與 15°C)、種子含水率(1.8~9.0%)與儲藏時間(0~24 mo)等各單一因子對白柏種子活力之影響均呈極顯著($p < 0.0001$)，且此三因子兩兩間之交感或三因子之共同交感也都顯著影響種子活力($p < 0.0001$)，尤其以種子含水率此單一因子的影響最大，儲藏溫度次之，含水率與儲藏溫度之交感又次之。上述結果的原因顯然是含水率最高(9.0% MC)之種子在 -20 與 15°C 儲藏

時活力下降快速之故，若不將此級含水率發芽率結果列入統計分析，則各單一因子或此三因子兩兩間之交感都顯著影響種子活力，但三因子之共同交感對種子活力之影響則並不顯著($p > 0.1$)，而且以儲藏時間此單一因子的影響最大($p < 0.0001$)，儲藏時間與含水率之交感次之($p < 0.003$)，儲藏時間與儲藏溫度之交感又次之($p < 0.01$)。

白柏乾藏種子在各發芽試驗時間點所得之平均發芽日數詳見Fig. 4 (發芽率 $< 10\%$ 者未標示)。五級含水率種子在乾燥控制剛完成後的平均發芽日數分別是 52.7 ± 3.2 (9.0% MC)、 54.7 ± 6.0 (7.9% MC)、 45.9 ± 3.3 (5.1% MC)、 43.9 ± 3.1 (3.5% MC)與 31.6 ± 3.0 d (1.8% MC)，其中1.8、3.5與5.1% MC者的平均發芽日數較新鮮種子者(53.8 ± 2.1 d)呈顯著降低($p < 0.03$)，而較高之二級含水率種子則未呈顯著差異($p > 0.5$)。爾後不同含水率種子儲藏在不同溫度的各次觀測時間點所得之平均發芽日數有所差異，除含水率最高(9.0% MC)者在 -20°C 儲藏時有顯著上升趨勢，另1.8% MC者在三種溫度儲藏時均呈上下波動外，其餘處理大致上較為穩定，約在40~55 d (Fig. 4)。

茄苳種子在0~24 mo乾藏期間，各級含水率與不同儲藏溫度對發芽率的影響見Fig. 3。五級含水率種子在乾燥控制剛完成後隨即以30/20 $^\circ\text{C}$ 變溫經8 wk所得的發芽率分別是 72.8 ± 5.4 (32.6% MC)、 82.0 ± 5.2 (12.5% MC)、 79.3 ± 3.7 (7.8% MC)、 61.8 ± 5.1 (5.3% MC)與 $21.5 \pm 6.7\%$ (3.7% MC)，與新鮮種子之起始發芽率($78.0 \pm 4.9\%$)相較後，其中3.7與5.3% MC者已呈顯著下降($p < 0.0001$)，但含水率較高的三級種子活力並未有差異($p > 0.1$)。當種子儲藏在 -20°C 時，含水率32.6%者在3 mo內就完全喪失活力；含水率12.5%者活力呈穩定持續的下降，在儲藏24 mo後發芽率僅剩4.4%；含水率7.8%者在儲藏期間整體發芽率呈稍降趨勢，在儲藏24 mo後之發芽率為 $66.8 \pm 5.8\%$ ，與新鮮種子發芽率相較後已呈顯著下降($p < 0.05$)；含水率5.3%者在儲藏3 mo後發芽率就驟降至10.7%，爾後在3~24 mo儲藏期間發芽率大約維持在

10~20%；原本乾燥到3.7% MC的種子其發芽率就已明顯降低，當其在 -20°C 繼續儲藏經3 mo後就幾乎完全喪失活力。當種子儲藏在 4°C 時，含水率32.6%者之發芽率在6 mo後開始呈顯著下降，至9 mo後完全喪失活力；含水率12.5%者在儲藏期間整體發芽率呈稍降趨勢，在儲藏24 mo後之發芽率為 $62.8 \pm 4.6\%$ ，與新鮮種子發芽率相較已呈顯著下降($p < 0.01$)；含水率7.8%者在儲藏期間整體發芽率並未有下降趨勢，在儲藏24 mo後之發芽率為 $74.7 \pm 1.9\%$ ，與新鮮種子發芽率未有顯著差異($p > 0.3$)；乾燥到5.3% MC的種子一開始之發芽率就已顯著降低至61.8%，爾後在3~24 mo的 4°C 儲藏期間，其發芽率維持在58~66%，並未再有下降趨勢；而乾燥到3.7% MC的種子一開始之發芽率就已驟降至21.5%，爾後在3~24 mo的 4°C 儲藏期間，其發芽率在5~26%呈上下波動。而當儲藏在 15°C 時，含水率32.6%者之發芽率在6 mo後完全喪失活力；含水率12.5%者在儲藏6 mo後發芽率突然降至10.8%，至9 mo後幾乎完全喪失活力；含水率7.8%者在儲藏期間整體發芽率呈稍降趨勢，在儲藏24 mo後之發芽率為 $60.2 \pm 12.2\%$ ，與新鮮種子發芽率相較仍未呈顯著差異($p > 0.05$)；乾燥到5.3% MC的種子一開始之發芽率就已顯著降低至61.8%，爾後於 15°C 再經3~24 mo的儲藏，其發芽率並未再下降(59~75%)；而3.7% MC種子在 15°C 經3~24 mo儲藏期間的發芽率在6~29%呈波動狀態。由上可知茄苳種子在 -20°C 、 4°C 與 15°C 三種溫度儲藏時，均是以7.8% MC者最能維持住活力，當含水率高於12%或低於5%時，短期內就會有衰敗現象發生(Fig. 3)。

將上述茄苳種子各處理結果數據進行統計分析，在本研究的試驗設計規模內，儲藏溫度(-20°C 、 4°C 與 15°C)、種子含水率(3.7~32.6%)與儲藏時間(0~24 mo)等各單一因子、三因子兩兩間之交感或三因子之共同交感對茄苳種子活力之影響均呈極顯著($p < 0.0001$)，尤以種子含水率此單一因子的影響最大，儲藏溫度次之，儲藏時間又次之。然以32.6%之高含水率種子在各種儲藏溫度勢必會有活力快速喪失現象，故我們以3.7~12.5% MC者之結果數據重新進行統計分

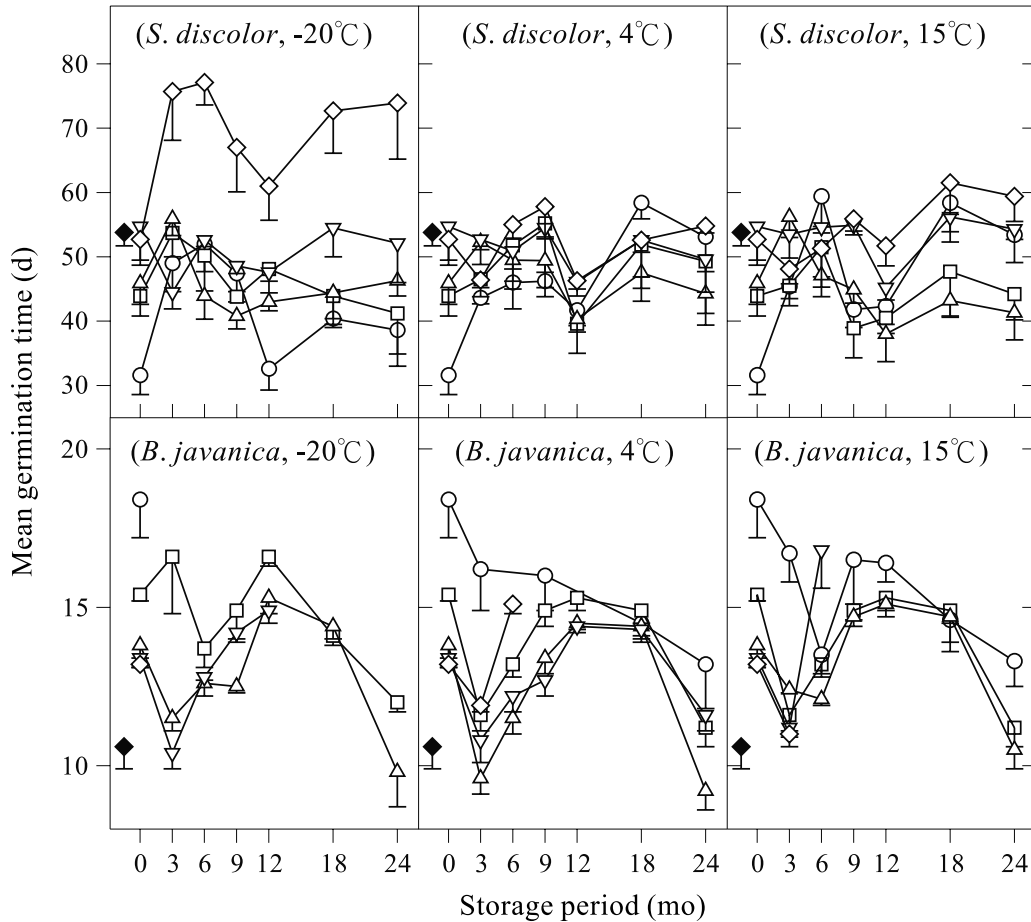


Fig. 4. Effects of storage temperatures (-20, 4, and 15°C) and moisture contents on the mean germination time of seeds of *Sapium discolor* and *Bischofia javanica*. Moisture contents of seeds of these 2 species in storage were the same as those shown in Fig. 3. Vertical bars represent the mean \pm standard error.

析，則亦呈現各單一因子、三因子兩兩間之交感或三因子之共同交感對茄苳種子活力之影響均呈極顯著($p < 0.0001$)，但以種子含水率此單一因子的影響最大，儲藏溫度次之，含水率與儲藏溫度之交感又次之。

茄苳乾藏種子在各發芽試驗時間點所得之平均發芽日數詳見Fig. 4 (發芽率 $< 10\%$ 者未標示)。五級含水率種子在乾燥控制剛完成後的平均發芽日數分別是 13.2 ± 0.1 (32.6% MC)、 13.4 ± 0.3 (12.5% MC)、 13.8 ± 0.4 (7.8% MC)、 15.4 ± 0.2 (5.3% MC)與 18.4 ± 1.2 d (3.7% MC)，

均較新鮮種子者(10.6 ± 0.7 d)呈顯著上升($p < 0.0001$)。爾後不同含水率種子儲藏在不同溫度的各次觀測時間點所得之平均發芽日數則呈上下波動。然在每一觀測時間點，當種子活力仍無下降時，則不同含水率種子之平均發芽日數間大多不呈顯著差異，即不同含水率之平均發芽日數曲線有一致性的波動趨勢(Fig. 4)。

討論

本研究的白柏新鮮種子直接以30/20°C變溫

經16 wk之發芽率為59.0%，爾後延長發芽時間仍有少許種子會緩慢陸續發芽，至24 wk後發芽率累積至60.0%，隨後剪開未發芽種子發現多數仍未衰敗。4°C層積能有效解除種子休眠(Fig. 2)，故我們以進行低溫層積的全部種子數量來計算，經完全解除休眠所得的發芽率為85.3 ± 7.7%，以此為該批種子潛在的真正發芽率。以新鮮即播種子與此潛在發芽率相較後，可知該批種子約有30%的種子具較深度之休眠，這些種子若未經適當的發芽前處理則無法在16週內順利發芽。解除白柏種子休眠的方法不難，以4°C層積1 mo就能解除種子休眠而達到潛在發芽率水準(Fig. 2)，且發芽集中在第4~8週。發芽速度會隨層積時間的延長而增快(Fig. 2)，如種子經層積7 mo後其發芽集中在第1~5週。綜合上述結果，4°C層積處理對白柏種子的發芽促進甚為有效，若為配合翌年春天播種而需進行3~5 mo的短暫儲藏時，則低溫濕藏是甚具實用價值的暫存方法。

本研究在試驗期間發現部分白柏種子具深度休眠，在經各不同儲藏時間後以16 wk發芽期所得的發芽率可能難以代表其種子真正的活力，故我們在種子經儲藏18與24 mo時增加了一組先經4°C層積3 mo處理的發芽試驗，發現當儲藏在-20與15°C經24 mo後，含水率較低的四級(1.8~7.9%)種子其發芽率與本批種子的潛在發芽率均無顯著差異($p > 0.5$) (Fig. 5)，僅9.0% MC者已呈顯著下降($p < 0.005$)。而當種子儲藏在4°C經24 mo後，五級含水率種子的發芽率與潛在發芽率均無顯著差異($p > 0.1$) (Fig. 5)。上述結果與未先經低溫層積處理者之結果(Fig. 3)有相同之趨勢。綜合本試驗乾藏種子各不同處理結果，顯示當白柏種子的含水率被降低至1.8~7.9%，儲藏在-20~15°C經二年後仍不失活力(Figs. 3, 6)，符合正儲型種子的定義(Hong and Ellis 1996)，故判定其儲藏性質屬正儲型。

一般種子含水率高於15%在零下低溫儲存時，種子中的自由水會形成冰晶而造成凍害(Tompsett 1985)，所以在進行零下低溫儲藏前，應把種子含水率降低到14%以下，以免細胞間留有大量水分於結冰後造成膜系破壞而導

致種子衰敗(Copeland and McDonald 1995)。本研究結果顯示白柏種子雖屬正儲型，但當種子含水率高於某臨界值於零下低溫儲藏時，種子衰敗速率反較儲藏在4與15°C者快速(Fig. 4)。當白柏其種子含水率在9%時此凍害即可顯現，於-20°C儲藏3 mo後活力急速下降(Fig. 3)。因此，我們推斷白柏種子遭受零下低溫凍害的含水率臨界值約為8%，明顯較一般正儲型種子為低，此特性與流蘇(*Chionanthus retusus* Lindl. & Paxt.)種子相似(Yang and Lin 2004)。雖然本試驗顯示當白柏種子含水率在2~8%時可在-20°C儲藏二年而活力不墜，但這也有可能是因為試驗時間不夠長，含水率稍高(7.9% MC)種子的凍害效應在二年內尚未呈現之故，故若要對本種種子進行零下低溫長期儲藏時，建議仍應遵循FAO/IPGRI (1994)的建議，將正儲型種子的含水率控制在3~7%，以避免長期儲藏時因含水率過高而導致種子衰敗。但若為二年內之短期儲藏，可將白柏種子含水率降低至9%以下，儲藏在4°C即可，其發芽率並不會下降(Fig. 5)。

茄苳新鮮種子直接以30/20°C變溫發芽時，具有活力的種子在2週內就幾乎能全部發芽，顯示其不具休眠性(Fig. 2)。採用4°C層積處理無法提高茄苳種子的發芽率，僅稍能提高發芽速度，平均發芽日數從約11 d降至7~10 d。顯然的，這樣的提升效果對粗放的林木育苗工作沒有多大效益。

本研究結果顯示茄苳種子能耐乾旱，當含水率剛被乾燥至5.3~12.5%後，大部分種子仍能存活(Fig. 3)。當種子儲藏在-20°C時，含水率3.7~12.5%之種子在24 mo後發芽率均顯著下降，但8% MC之種子大部分仍能存活，而當種子含水率太低(5%以下)或太高(12%以上)時，其種子活力都會快速下降，足見茄苳種子在零下低溫之存活能力明顯有別於正儲型種子。當種子儲藏在4°C時，在經24 mo儲藏後以5~13% MC的種子較能維持活力；而當在15°C時，則是以5~8% MC的種子有較佳的存活表現(Fig. 3)。上述結果顯示茄苳種子的儲藏性質屬中間型。再以各次發芽試驗時間點的數據來看，茄苳種子儲藏於三種溫度均呈現出在含水率8%時有最

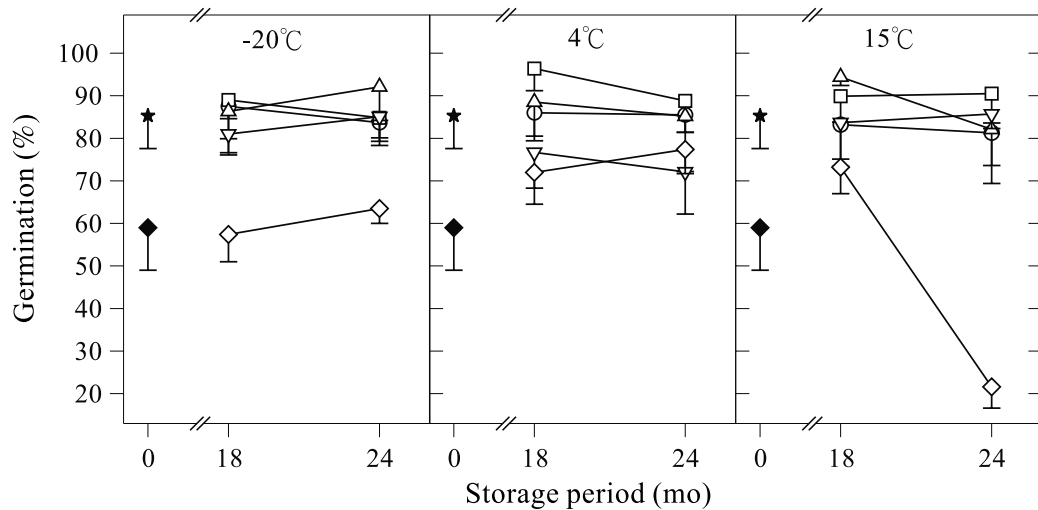


Fig. 5. Effects of storage temperatures (-20, 4, and 15°C) and moisture contents (1.8~9.0%) on the germination percentage of seeds of *Sapium discolor*. Seeds were prechilled at 4°C for 3 mo. Survival of seeds with the moisture contents of 1.8~7.9% did not significantly differ ($p > 0.1$) at each temperature. The filled diamonds (◆) and stars (★) represent the initial and the true germination percentages of freshly mature seeds of this seedlot, respectively. Moisture contents of seeds of this species in storage were the same as those shown in Fig. 3. Vertical bars represent the mean \pm standard error.

佳的存活能力，此結果與Hong and Ellis (1996) 謂中間型種子儲藏時最適當的種子含水率約在 10~12%之說法有些差異。顯然茄苳種子的含水率最適值是稍低於一般中間型種子。再進一步比較在不同儲藏溫度時各級含水率對種子活力之影響，發現在4°C時種子含水率的最適界包含 5.3、7.8與12.5%這三級，而在15°C時只有5.3與 7.8%二級，在-20°C時只剩下7.8%此一級，因此，當儲藏溫度太高或太低時，種子含水率最適界顯然是變窄了(Fig. 3)。

某種植物種子的儲藏性質與其分類地位通常不具相關性，而是與其演化上的生存策略及所處的生態環境較有關(Hong and Ellis 1996)。槭樹屬(*Acer* spp.)、南洋杉科(*Araucariaceae*)、殼斗科(*Fagaceae*)此三分類群各樹種的種子分屬正、異與中間型三種儲藏性質；龍腦香屬(*Dipterocarpus* spp.)種子則多為異儲型，但有部分屬中間型；桃金娘科(*Myrtaceae*)則多為正儲型，僅少數為異儲型(Hong and Ellis 1996)。本

研究二樹種均為大戟科，白柏種子屬正儲型，茄苳則為中間型。

就英國Roberts教授一脈相承至今的種子儲藏行為分類系統而言，正儲型與異儲型的定義相當明確，而中間型種子的定義可謂相當寬廣。概念性的來說，種子耐旱性不屬於正儲型及異儲型此二極端者都可歸類到中間型。而自從Ellis et al. (1990)提出中間型一詞至今已有多種此類型種子陸續被發現報導。在此，以這些中間型種子的適當儲藏條件來印證Hong and Ellis (1996)對中間型種子的觀點，他們所提出「中間型種子當其含水率被乾燥到 10~12%後仍有大部分種子可存活著，但當含水率再繼續下降時，種子活力就隨之降低」之說法相當適用，僅少數種類像茄苳種子一樣，儲藏時的最適種子含水率稍低於此評估值，意即它們對乾燥至10% MC以下較不敏感，如咖啡屬的*C. canephora* Pierre ex A. Froehner、*C. congensis* Froehner與*C. racemosa* Lour. (Dussert

et al. 1999, Eira et al. 1999)、檸檬(*C. limon* (L.) Burm. f.) (Hong et al. 2001)、塞內加爾桃花心木(*Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss.)、大葉桃花心木(*Swietenia macrophylla* King) (Hong and Ellis 1998)、日本山毛櫸(*Fagus crenata* Blume) (Pedro and Ellis 2002)、台灣產的樟樹(*Cinnamomum camphora* (L.) Presl) (Chien et al. 1999)、台灣紅榨槭(Yang and Lin 1999)等種子。而最適種子含水率稍高於此評估者有台灣產的尖葉槭與青楓(Yang and Lin 1999)等種子。

至於中間型種子最適的儲藏溫度則因不同植物而異，有些能耐零下低溫，有些則否，此與其所處的生態環境息息相關。一般而言，產於溫帶的中間型種子較能耐零下低溫，保存這些種子最佳的溫度應該是在5°C以下(Hong and Ellis 1996)，例如庫氏南洋杉(*A. columnaris* (Forst.) Hook.) (Tompsett 1984)、檸檬(Hong et al. 2001)、歐洲山毛櫸(*Fagus sylvatica* L.)、日本山毛櫸(Pedro and Ellis 2002)與野生稻(*Zizania palustris* L.) (Berjak et al. 1994, Vertucii et al. 1994, 1995, Hong and Ellis 1996, White and Jayas 1996, Ntuli et al. 1997)等各種種子屬之。產於熱帶的中間型種子多不耐零下低溫儲藏，短時間的冷凍儲藏就會導致種子全部死亡，保存這些種子最佳的溫度應該是在10°C以上(Hong and Ellis 1996)，如油椰子(*Elaeis guineensis* Jacq.) (Ellis et al. 1991b)、咖啡屬(Ellis et al. 1990, 1991a, Hong and Ellis 1992, 1995, Dussert et al. 1999, Eira et al. 1999)、印度楝(*Azadirachta indica* A. Juss.) (Gamene et al. 1996, Hong and Ellis 1998, Nayal et al. 2000)、塞內加爾桃花心木、大葉桃花心木(Hong and Ellis 1998)、野棗椰(*Phoenix reclinata* Jacquin) (von Fintel et al. 2004)等各種種子屬之。而若以Hong and Ellis (1996)的評判準則來看，地處亞熱帶的台灣所產的中間型種子中，樟科與槭樹屬種子均傾向溫帶中間型。樟樹(Chien et al. 1999)、小芽新木薑子(*Neolitsea parvigemma* (Hay.) Kanehira & Sasaki) (Lin 1996)、香桂(*Cinnamomum subavenium* Miq.) (Lin 1996)、香葉樹(*Lindera*

communis Hemsl.) (Chien et al. 2004)、大葉釣樟(*Lindera megaphylla* Hemsl.) (Lin 1996, Chien et al. 2004)等各種樟科中間型種子都是非常不耐零下低溫環境，最適的儲藏溫度大約是在4°C，故它們是不耐零下低溫的溫帶中間型種子。而種子體型較上述樟科中間型種子小，且成熟種子含水率較低的槭樹屬種子，它們的適當儲存溫度範圍則較廣，在-20~15°C的溫度對維持種子活力的效果差異不大，但整體而言以-20及4°C較佳(Yang et al. 1999)，故台灣的槭樹種子與歐洲山毛櫸等種子相似，是屬於較能耐零下低溫的溫帶中間型。茄苳種子當含水率在約8%時也頗耐零下低溫冰存，其對零下低溫之忍受程度與台灣的槭樹屬種子相當類似，然其儲藏溫度以4~15°C稍優於-20°C。因此，若以最適儲藏溫度來看，茄苳種子似乎涵蓋了溫帶及熱帶中間型種子的儲藏溫度範圍。即當茄苳種子的含水率在最適界時，其儲藏的適溫範圍顯然是較其他中間型種子為寬廣。

謝誌

感謝吳欣怡、張宗怡、何倩雯、高巧齡、鄭佳鳳、田玉娟、陳冠璋、林怡芳、李淑華、林彥佑、林君如、李瓊美、劉冠宏諸君協助種子處理及發芽試驗等工作。

引用文獻

- Berjak P, Bradford KJ, Kovach DA, Pammenter NW. 1994.** Differential effects of temperature on ultrastructural responses to dehydration in seeds of *Zizania palustris*. *Seed Sci Res* 7:145-60.
- Chien CT, Lin TP. 1999.** Effects of moisture content and temperature on the storage and germination of *Cinnamomum camphora* seeds. *Seed Sci Technol* 27:315-20.
- Chien CT, Yang JC, Lin TP. 2004.** Seed storage behavior of *Lindera communis*, *Lindera megaphylla*, *Phoebe formosana*, *Helicia*

- cochinchinensis*, and *Helicia formosana* in Taiwan. Taiwan J For Sci 19(2):119-31. [in Chinese with English summary].
- Chung YL, Chang NH. 1990.** Information of seed technology of Taiwan important tree species. Taipei, Taiwan: Taiwan Forestry Research Institute Extension Series no. 35. p 31. [in Chinese].
- Copeland LO, McDonald MB. 1995.** Seed science and technology. 3rd ed, New York: Kluwer Academic Publishers. p 189.
- Dussert S, Chabrilange N, Engelmann F, Hamon S. 1999.** Quantitative estimation of seed desiccation sensitivity using a quantal response model: application to nine species of the genus *Coffea* L. Seed Sci Res 9:135-44.
- Eira MTS, Walters C, Caldas LS, Fazuoli LC, Sampaio JB, Dias MCLL. 1999.** Tolerance of *Coffea* spp. seeds to desiccation and low temperature. R Bras Fisiol Veg 11:97-105.
- Ellis RH, Hong TD, Roberts EH. 1990.** An intermediate category of seed storage behaviour? J Exp Bot 41:1167-74.
- Ellis RH, Hong TD, Roberts EH. 1991a.** An intermediate category of seed storage behaviour? II. Effects of provenance, immaturity, and imbibition on desiccation-tolerance in coffee. J Exp Bot 42:653-7.
- Ellis RH, Hong TD, Roberts EH, Soetisna U. 1991b.** Seed storage behavior in *Elaeis guineensis*. Seed Sci Res 1:99-104.
- FAO/IPGRI. 1994.** Genebank standards. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations/International Plant Genetic Resources Institute. p 141.
- Gamene CS, Kraak HL, VanPijlen JG, DeVos CHR. 1996.** Storage behaviour of neem (*Azadirachta indica*) seeds from Burkina Faso. Seed Sci Technol 24:441-8.
- Hong TD, Ahmad NB, Murdoch AJ. 2001.** Optimum air-dry storage conditions for sweet orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) and lemon (*Citrus limon* (L.) Burm. f.) seeds. Seed Sci Technol 29:183-92.
- Hong TD, Ellis RH. 1992.** Optimum air-dry seed storage environments for arabica coffee. Seed Sci Technol 20:547-60.
- Hong TD, Ellis RH. 1995.** Interspecific variation in seed storage behavior within two genera — *Coffea* and *Citrus*. Seed Sci Technol 23:165-81.
- Hong TD, Ellis RH. 1996.** A protocol to determine seed storage behavior. IPGRI Technical Bulletin no. 1. Rome: International Plant Genetic Resources Institute. 62 p.
- Hong TD, Ellis RH. 1998.** Contrasting seed storage behaviour among different species of Meliaceae. Seed Sci Technol 26:77-95.
- Hsieh CF, Chaw SM, Wang JC. 1993.** Euphorbiaceae. In: Editorial Committee of the Flora of Taiwan, editor. Flora of Taiwan. Vol. 3. 2nd ed. Taipei, Taiwan: Editorial Committee of the Flora of Taiwan. p 426-501.
- Lin TP. 1996.** Seed storage behaviour deviating from the orthodox and recalcitrant type. Seed Sci Technol 24:523-32.
- Lin TP, Chen MC. 1993.** Desiccation intolerance in seeds of *Machilus kusanoi* Hay. Taiwan For Res Inst New Series 8(2):143-7. [in Chinese with English summary].
- Nayal JS, Thapliyal RC, Rawat MMS, Phartyal SS. 2000.** Desiccation tolerance and storage behaviour of neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) seeds. Seed Sci Technol 28:761-7.
- Ntuli TM, Berjak P, Pammenter NW, Smith MT. 1997.** Effects of temperature on the desiccation responses of seeds of *Zizania palustris*. Seed Sci Res 7:145-60.
- Pedro LL, Ellis RH. 2002.** Seed storage behaviour of *Fagus sylvatica* and *Fagus crenata*. Seed Sci Res 12:31-7.
- Tompsett PB. 1984.** The effect of moisture content and temperature on the seed storage life of *Araucaria columnaris*. Seed Sci Technol 12:801-16.
- Tompsett PB. 1985.** The influence of mois-

ture content and temperature on the viability of *Shorea almon*, *S. robusta* and *S. roxburghii* seeds. *Can J For Res* 15:1074-9.

Vertucci CW, Crane J, Porter RA, Oelke EA. 1994. Physical properties of water in *Zizania* embryos in relation to maturity status, water content and temperature. *Seed Sci Res* 4:211-24.

Vertucci CW, Crane J, Porter RA, Oelke EA. 1995. Survival of *Zizania* embryos in relation to water content, temperature and maturity status. *Seed Sci Res* 5:31-41.

von Fintel GT, Berjak P, Pammenter NW. 2004. Seed behaviour in *Phoenix reclinata* Jacquin, the wild date palm. *Seed Sci Res* 14:197-204.

White NDG, Jayas DS. 1996. Deterioration during storage in wild rice, *Zizania palustris*,

and polished basmati rice, *Oryza sativa*, and potential for insect infestation. *Seed Sci Technol* 24:261-71.

Yang JC, Lin TP. 1999. The seed storage behavior of five species of *Acer*. *Taiwan J For Sci* 14(4):479-92. [in Chinese with English summary].

Yang JC, Lin TP. 2004. Effects of seed moisture content and storage temperature on the storage behavior of seeds of the Chinese fringetree (*Chionanthus retusus* Lindl. & Paxt.). *Taiwan J For Sci* 19(3):247-58. [in Chinese with English summary].

Yang JC, Lin TP, Kuo SR. 2006. Seed storage behavior of Taiwan cow-tail fir (*Keteleeria davidiana* (Franchet) Beissner var. *formosana* Hayata). *Taiwan J For Sci* 21(2):179-89. [in Chinese with English summary].

