

研究報告

含水率與溫度對流蘇種子儲藏性質之影響

楊正釗^{1,3)} 林讚標²⁾

摘 要

本文以不同的種子含水率與不同的溫度探討流蘇種子的儲藏性質。結果顯示將流蘇種子含水率降低至4.8% (鮮重)儲藏於-20℃時，經24 mo後其發芽率並無下降，故判定屬乾儲型。以-20℃進行長期儲藏時最適當的種子含水率在5%左右。另於4與15℃儲藏時，含水率5-15%之種子在2 yr內其發芽率並不會顯著下降。4℃層積僅稍能提高發根率，但使平均發芽日數顯著延長；而經4與15℃乾藏3-24 mo之種子其平均發芽日數亦顯著延長，而且此效應於含水率愈高的種子愈顯著；故低溫層積與低溫乾藏均會誘導胚根休眠。種子具乾燥後熟作用，將新鮮種子乾燥至含水率20%以下時，能有效提高發芽率及發芽速度。種子發芽時溫度不宜低於20℃，以20/30℃變溫能有效促使種子發根。基於上述結果，本文並對流蘇的果實採集、種子處理、儲藏及解除休眠等提出討論。

關鍵詞：流蘇、乾儲型、種子儲藏性質、層積處理。

楊正釗、林讚標。2004。含水率與溫度對流蘇種子儲藏性質之影響。台灣林業科學19(3):247-58。

Research paper

Effects of Seed Moisture Content and Storage Temperature on the Storage Behavior of Seeds of the Chinese Fringetree (*Chionanthus retusus* Lindl. & Paxt.)

Jeng-Chuann Yang,^{1,3)} Tsan-Piao Lin²⁾

【Summary】

The effects of moisture content and increased temperature on the storage behavior of Chinese fringetree (*Chionanthus retusus* Lindl. & Paxt.) seeds were investigated. Seed germinability could be maintained at -20℃ for at least 24 mo at a moisture content of 4.8% (on a fresh-weight basis), therefore, confirming the orthodox seed storage behavior. The optimum moisture content for long-term seed storage at -20℃ was about 5%. Seeds of the Chinese fringetree were also characterized

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所育林組，100台北市南海路53號 Division of Silviculture, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nanhai Rd., Taipei 100, Taiwan, R.O.C.

²⁾ 國立台灣大學植物科學研究所，106台北市羅斯福路4段1號 Graduate Institute of Plant Science, National Taiwan University, 1 Roosevelt Rd., Sec. 4, Taipei 106, Taiwan, R.O.C.

³⁾ 通訊作者 Corresponding author, e-mail: yjc@serv.tfri.gov.tw

2004年3月送審 2004年7月通過 Received March 2004, Accepted July 2004.

*本研究承行政院農業委員會(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。

by very low deterioration rates if the moisture content was maintained at between 5 and 15% at either 4 or 15°C in 2 yr of storage. Chilling treatment at 4°C had little beneficial effect on the emergence of the radicle, and reduction in the mean germination times significantly increased. The mean germination times of seeds significantly increased in a period of 3 and 24 mo of dry storage at either 4 or 15°C, especially in the case with a high water content. It was concluded that chilling and cold dry storage induced seed dormancy. After-ripening occurred when fresh mature seeds were dehydrated to 20% moisture content. Emergence of the radicle, however, could be promoted by incubating the seeds at alternating temperatures of 20/30°C but not under a constant temperature of 20°C. In this article, the practice of fruit collection, seed treatment, seed storage, and seed dormancy breaking of the Chinese fringetree are discussed.

Key words: Chinese fringetree (*Chionanthus retusus*), orthodox, seed storage behavior, chilling.

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.

緒言

流蘇屬樹種全球約100種，主要分佈在熱帶及亞熱帶地區。流蘇(*Chionanthus retusus* Lindl. & Paxt.)為木犀科(Oleaceae)落葉中小喬木，分佈於中國大陸、日本、韓國及台灣，在本島僅狹隘零星分佈於台北、桃園、新竹一帶之低海拔地區(Yang and Lu 1998)。頂生的繖房狀圓錐花序在每年3~4月總是繁茂綻放，層層絲狀的白色花瓣襯著綠葉，使整株樹展現出高雅清新的春日氣息，是故近年來常被採用為環境綠美化樹種，也因此原生地上日益少見。果實為單一種子的核果(one-seed drupe)，於每年八月由綠色轉為成熟的紫黑色，約在九月初熟落。落地種子會在當年秋天發根，但以此型態越冬至翌年春天胚芽才會萌發，此乃因其種子具有強烈的上胚軸休眠(epicotyl dormancy)所致，這應是本種種子在其自然環境上所演化出來的生存策略。

美洲流蘇(*C. virginicus*)因扦插苗難以發根，故多以種子育苗，種子可在2 yr的低溫儲藏下仍維持活力；因種子具雙重休眠(double dormancy)，需經各3 mo的暖溫及低溫二階段層積以打破休眠(Dirr and Heuser 1987)。野外發生的種子首先需經3~5 mo的暖溫期使胚根突出，接著需經一段冬季低溫期以誘導胚芽發生，故本種種子在每年9~10月熟落或被鳥類與

齧齒動物採食傳播後(Young and Young 1992)，經次年的夏季暖溫與冬季低溫後，於再下一年的春天才會完成發芽。而以人為操作方式先將種子在20°C層積一到多月再轉入4°C層積一到多月，經這些不同的組合層積後，再以20~30°C經1 yr的發芽期也都只能得到約40%的發芽率，故建議以切胚繁殖為有效育苗方法(Gill and Pogge 1974)。本種種子的發芽抑制劑(inhibitor)存在於胚乳及上胚軸，有效的方法是種子發根後只切取胚根及胚芽部分浸泡GA後育苗，可在短期內促使種子完全發芽(Dirr and Heuser 1987)。

本試驗主要針對流蘇種子進行儲藏性質研究，並找出適當的發芽條件，再與過去的研究結果進行比較討論，以提出對本種種子在實際育苗作業-果實採收、種子處理儲藏與解除休眠上提供關鍵性的基本資料。

材料與方法

一、果實採集與處理

本試驗流蘇種子(Fig. 1)分別在1998及1999年採於台灣大學校園之多株母樹。第一批種子採於1998年8月7日，果實採收時約有80%呈成熟之深藍紫色，採回後置於溫室噴水使果肉糜

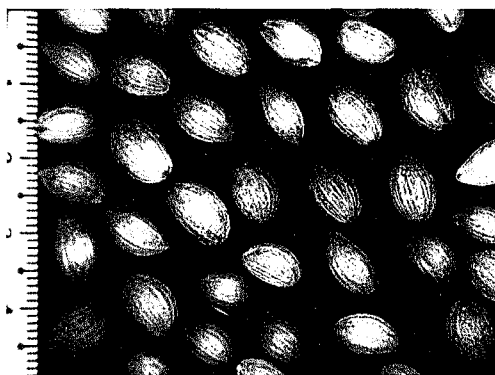


Fig. 1. Seeds of *Chionanthus retusus* Lindl. & Paxt.

爛，至8月14日洗出種子，種子品質甚佳，僅汰除約3%的浮水輕粒及小粒種子。洗淨的種子經於室內平鋪陰乾2 h後，即進行新鮮種子發芽率試驗及含水率測定。以整粒新鮮種子測定之含水率為 $34.7 \pm 0.5\%$ (鮮重)，若以去除種殼(內果皮，endocarp)後之胚乳及胚部所測得之含水率則為 $41.1 \pm 1.7\%$ 。每公升種子有3,010粒，每百粒重約18.4 g。本批種子共計3公升；約9,000粒。於8月24日將種子置入4℃進行低溫層積(濕藏)處理，並將乾藏種子開始進行不同含水率的控制。第二批種子採於1999年8月23、24日，果實採收時約有90%呈成熟之深藍紫色，每公升果實約有1,165粒，於溫室噴水使果肉腐爛至9月1日洗出種子，種子品質亦很優良，僅汰除約2%的浮水輕粒及小粒種子；經室內陰乾2 h後的新鮮種子以整粒種子測定之含水率為 $30.0 \pm 1.6\%$ 。每公升種子有3,025粒，每百粒重約18.8 g。本批種子共計2.9公升；約8,770粒。隨即進行乾藏種子不同含水率之控制。

二、種子含水率測定方法與乾藏種子含水率之控制

在試驗各階段，乾濕藏種子在作發芽試驗前均進行含水率測定，如乾藏實驗為三種儲藏溫度下之五種含水率共15個處理，每處理均作4重複，每重複逢機取5粒種子，每粒種子均切成4 mm以下小塊後進行103℃；17 h之烘乾，以鮮重與乾重差計算種子含水率(moisture content，

下以 mc表示)，並以鮮重表示之(ISTA 1996)。

第一批(1998年)種子以LiCl, MgCl₂及NaCl等過飽和鹽類於室溫(約25℃)下控制成四種等級之含水率，分別是： $7.9 \pm 0.4\%$ (以LiCl乾燥4 d)、 $18.2 \pm 0.8\%$ (以MgCl₂乾燥2 d)、 $23.2 \pm 1.2\%$ (以NaCl乾燥2 d)、 $35.0 \pm 1.1\%$ (未處理) (Fig. 2)，於1998年9月1日完成乾燥控制並確定各級種子含水率。第二批(1999年)種子為求能使種子含水率更為降低，以矽膠乾燥劑(silica gel)於室溫(約25℃)下控制成五種等級之含水率，分別是： $4.8 \pm 0.4\%$ (乾燥175 h)、 $9.6 \pm 0.5\%$ (乾燥89 h)、 $12.0 \pm 0.9\%$ (乾燥70 h)、 $14.4 \pm 0.7\%$ (乾燥40 h)、 $21.3 \pm 1.0\%$ (乾燥24 h) (Fig. 2)，於1999年9月14日完成乾燥控制並確定各級種子含水率。上述各級含水率的計算方式若以第一批種子為例，是以乾燥控制後之含水率(1個數值)與儲藏15 mo期間所作6次發芽試驗前測定三種儲藏溫度之含水率值(6次×每次3種溫度 = 18個數值)共計19個值，求其平均值及標準差為各級含水率之代表數值。

上述二批控制完成的各不同含水率種子立刻以鋁箔袋分裝密封，分別儲藏於-20、4及15℃三種溫度，再依試驗設計每隔一段時間作發芽試驗，以檢定種子生活力(viability)；第一批種子在15個mo的乾藏中包含有5個發芽試驗觀測點(儲藏1、3、6、9、15 mo)；第二批種子在24 mo的乾藏中則包含有6個發芽試驗觀測點(儲藏3、6、9、12、18、24 mo)。

三、低溫層積(濕藏)處理

濕藏是將第一批種子(1998年採)混以洗淨握乾之水苔，水苔:水比值約100/390 (w/w)，以封口塑膠袋(5號袋：14×10 cm；厚度0.04 mm)分別包裝後置於4℃儲藏(Lin and Chen 1993)，袋內仍保留有約1/2的剩餘空間以提供種子呼吸作用所需之氧氣，並於儲藏期間每隔2 wk進行補充適量水份與換氣一次。以第一批種子進行為期一年之低溫濕藏，每隔一個月作發芽試驗以記錄其發芽率。

四、種子發芽方法

發芽試驗方法是以剪細之水苔為的介質，

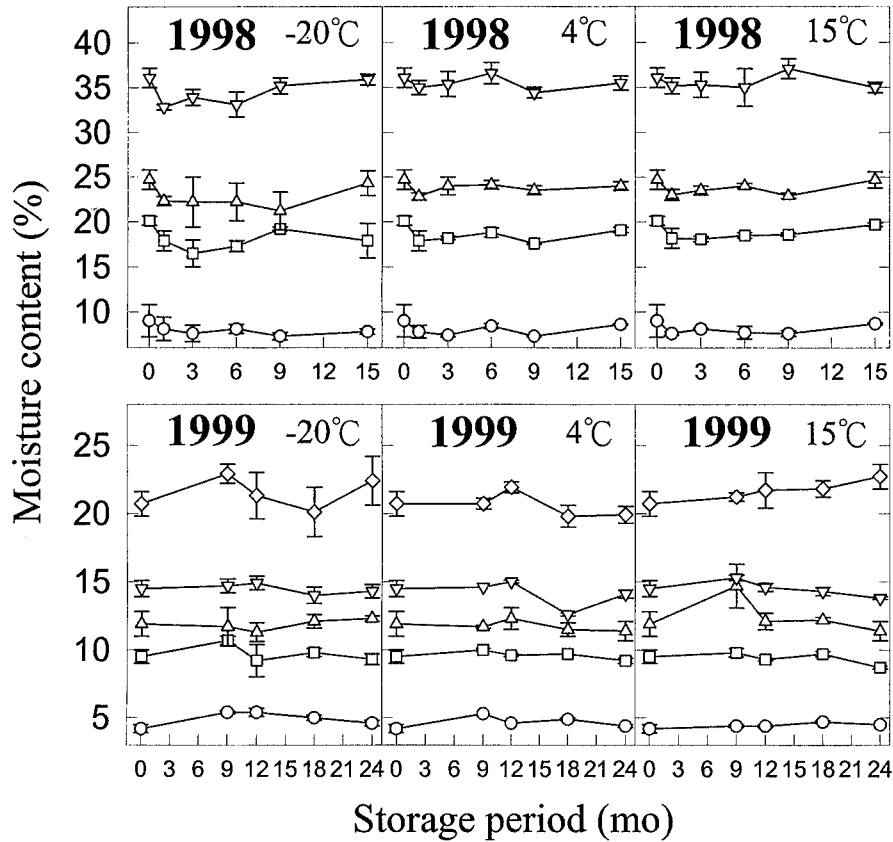


Fig. 2. Changes in seed moisture content during storage at different temperatures (-20, 4, and 15°C) of 2 seedlots collected in 1998 and 1999. Vertical bars represent the mean $\pm$ standard error. 1998: ○ $7.9 \pm 0.4\%$, □ $18.2 \pm 0.8\%$, △ $23.2 \pm 1.2\%$, ▽ $35.0 \pm 1.1\%$; 1999: ○ $4.8 \pm 0.4\%$, □ $9.6 \pm 0.5\%$, △ $12.0 \pm 0.9\%$, ▽ $14.4 \pm 0.7\%$, ◇ $21.3 \pm 1.0\%$.

將種子與水苔在PE封口塑膠袋內(5號袋：14×10 cm；厚度0.04 mm)均勻混合，各不同處理均作4重複，第一批試驗每重複之種子數約30粒，第二批則約為25粒，袋內仍保留有約1/2的剩餘空間以提供種子呼吸作用所需的氧氣。發芽試驗以一般林木種子採用的30/20℃變溫；8 h光照(50~80 $\mu\text{E s}^{-1}\text{m}^{-2}$)條件下進行。因本種種子發根後需經約3 mo的低溫期以誘導胚芽發生，故本研究之發芽試驗以發根率來代表種子存活的發芽率以評估其儲藏性質，胚根突出5 mm視為發芽，於20 wk的發芽期間內每週記錄一次發芽數，並於發芽袋內補充適量水份與進行換氣。乾藏種子於發芽前需先置於盛有純水之密

閉壓克力箱內吸濕一日，種子發芽以握乾之水苔為介質，如此雙重緩慢的讓乾燥種子吸水，目的在避免種子發芽時可能造成之浸潤傷害(imbibition damage) (Ellis et al. 1990)。

五、發芽速度之探討

以平均發芽日數來探討種子的發芽速度。每一批種子之發根所需日數平均值即平均發芽日數，其公式為(Lee 1990)：
平均發芽日數 = $\Sigma(f \cdot v) / N$
f: 每日所獲發根粒數
v: 播種後起算至發根之日數
N: 發根總粒數



六、統計分析

為比較在儲藏過程中各儲藏溫度及不同種子含水率對發芽率之效應，以試驗期間之各級含水率種子發芽率數據進行統計分析，比較其存活曲線是否有顯著差異(Yang et al. 2000)，所用之統計分析軟體是GENSTAT 5.0版之 regression analysis。

結果

第一批(1998年採)新鮮種子以30/20℃變溫經20 wk的發芽試驗期後發芽率為77.0±6.1%，從第4週開始零星發芽，主要發芽高峰期頗長，集中在第6~10週(Fig. 3A)，此段期間的發芽數量約佔發芽總數的83%，平均發芽日數為59.4±0.7 d。第二批(1999年採)新鮮種子經20 wk的發

芽試驗後其發芽率為75.3±3.8%，亦是從第4週開始零星發芽，主要發芽高峰期集中在第5~11週(Fig. 3D)，此段期間的發芽數量約佔發芽總數的81%，平均發芽日數為66.8±0.9 d；本批新鮮種子另以35℃(8 h, light)/10℃(16 h, dark)變溫發芽20 wk後並無任何種子發芽，剪開種子後判斷其多未衰敗，應仍處於休眠狀態。

以發芽率及發芽速度來分析種子進行低溫層積的效應。第一批種子在濕藏12 mo中，各次發芽試驗前所進行的含水率測定值在32.0~37.6% (Fig. 4)，與新鮮種子含水率(34.7%)甚為接近。各次發芽率在74~96%間(Fig. 4)，呈不規則起落，然顯現出層積2 mo後的發芽率表現較新鮮即播的種子發芽率(77.0%)稍佳。然各次發芽的平均發芽日數在74~114 d (Fig. 4)，亦呈不規則上下，大多在100 d左右，

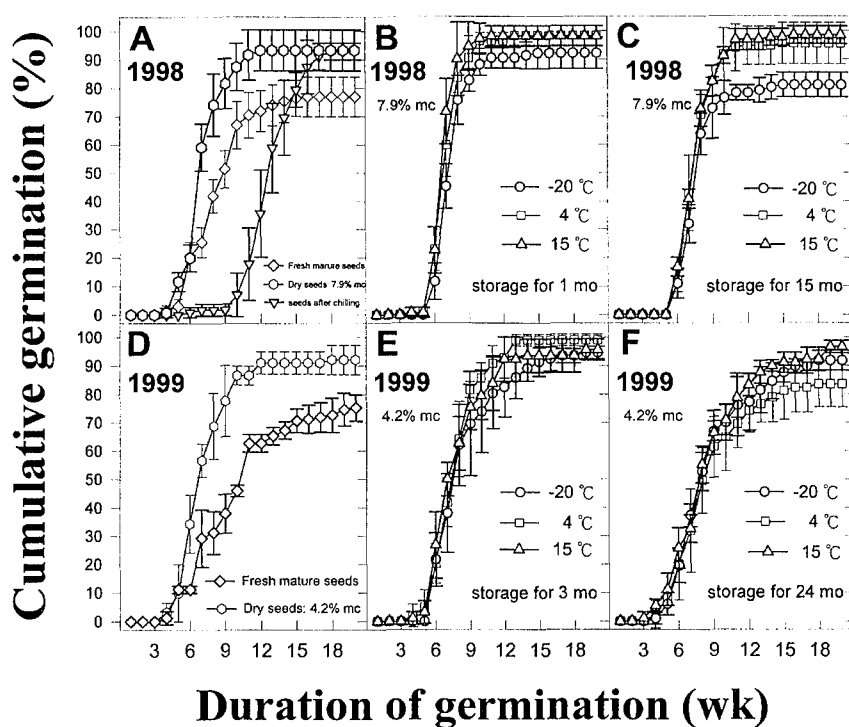


Fig. 3. Effects of storage temperatures (-20, 4, and 15°C) on the cumulative germination percentage of seeds of 7.9% (1998, A~C) and 4.2% (1999, D~F) moisture contents for 0~24 mo of dry storage. —◇— cumulative germination percentages of fresh mature seeds collected in 1998 (A) and 1999 (D); —▽— cumulative germination percentages of fresh mature seeds after 2 mo of chilling (A).

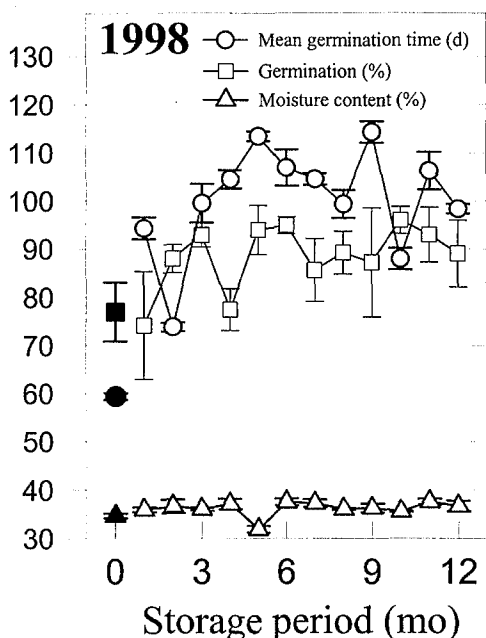


Fig. 4. Effect of 4°C chilling for 1~12 mo on the mean germination time (○), germination percentage (□), and changes in seed moisture content (△) of seeds collected in 1998. The symbols ●, ■, and ▲ represent the mean germination time, germination percentage, and seed moisture content of fresh mature seeds, respectively.

反而較新鮮即播種子的平均發芽日數(59.4 d)延長甚久，可見在為期一年內的低溫層積過程中，雖可稍稍提高種子發芽率但卻使發芽速率降低甚多。

乾藏種子發芽率的探討，來自於控制成四級(1998年採)或五級(1999年採)不同含水率(Fig. 2)的種子在每隔一段時間取出發芽，以得在時間序列上各級含水率在不同儲存溫度之發芽率。

第一批(1998年採)新鮮種子發芽率為 $77.0 \pm 6.1\%$ ，各級含水率控制剛完成立即進行發芽檢定所得之發芽率分別為： $93.3 \pm 6.2\%$ (7.9% mc)、 $95.0 \pm 3.7\%$ (18.2% mc)、 $94.2 \pm 2.8\%$ (23.2% mc)、 $81.7 \pm 7.6\%$ (35.0% mc)。第二批(1999年採)新鮮種子發芽率為 $75.3 \pm 3.8\%$ ，各級含水率控制剛完成立即進行發芽檢定所得之

發芽率分別為： $92.2 \pm 4.2\%$ (4.8% mc)、 $97.8 \pm 1.6\%$ (9.6% mc)、 $98.9 \pm 1.6\%$ (12.0% mc)、 $95.6 \pm 4.2\%$ (14.4% mc)、 $97.8 \pm 1.6\%$ (21.3% mc)。二批種子均呈現出種子具耐乾燥特性，且當含水率降至約20%以下時則發芽率明顯提升，這可能是種子經乾燥而達後熟之作用。

第一批種子經15 mo乾藏後，各級含水率與不同儲藏溫度對發芽率的影響參見Fig. 5A~C。經統計分析結果，各儲藏溫度之四級含水率間均呈顯著差異($p < 0.01$)，含水率與時間之交互作用亦為顯著($p < 0.01$)，其原因是儲藏於三種溫度之高含水率(-20°C在18.2% mc以上者、4°C的35.0% mc者、15°C在18.2% mc以上者)種子發芽率下降速度較快之故。該批種子儲藏在-20°C時，含水率最高等級者(35.0%)發芽率下降速度甚快，儲藏1 mo後就完全喪失活力，而其它稍低之二級含水率(23.2及18.2%)之種子發芽率亦下降快速，15 mo後就完全喪失活力，僅含水率7.9%者在15 mo後仍能保有 $81.0 \pm 3.7\%$ 之發芽率，然本級含水率種子在15 mo的-20°C儲藏過程中發芽率曲線仍呈稍微下降趨勢，顯示出種子含水率仍不夠低而遭受零下低溫傷害(Fig. 5A)。種子儲藏在4°C經15 mo後，僅含水率最高等級(35.0%)之發芽率有顯著下降($53.2 \pm 7.0\%$)，而其它三級含水率之種子發芽率並未有顯著下降，發芽率分別是 $98.2 \pm 1.8\%$ (23.2% mc)、 $92.1 \pm 6.4\%$ (18.2% mc)與 $95.5 \pm 6.2\%$ (7.9% mc) (Fig. 5B)。種子儲藏在15°C經15 mo後，僅含水率7.9%者之發芽率仍未顯著下降($98.4 \pm 2.7\%$)，而其它三級含水率之種子發芽率均顯著下降，發芽率分別是 $83.8 \pm 1.5\%$ (35.0% mc)、 $60.1 \pm 7.4\%$ (23.2% mc)與 $22.4 \pm 1.7\%$ (18.2% mc) (Fig. 5C)。

第二批種子經24 mo乾藏後，各級含水率與不同儲藏溫度對發芽率的影響參見Fig. 5D~F。經統計分析結果，各儲藏溫度之五級含水率間呈顯著差異($p < 0.01$)，含水率與時間之交互作用亦為顯著($p < 0.01$)，其原因是儲藏於三種溫度之高含水率(-20°C在14.4% mc以上者、4°C的21.3% mc者、15°C的21.3% mc者)種子發芽率下降速度較快之故。本批種子儲藏在-20°C時，含

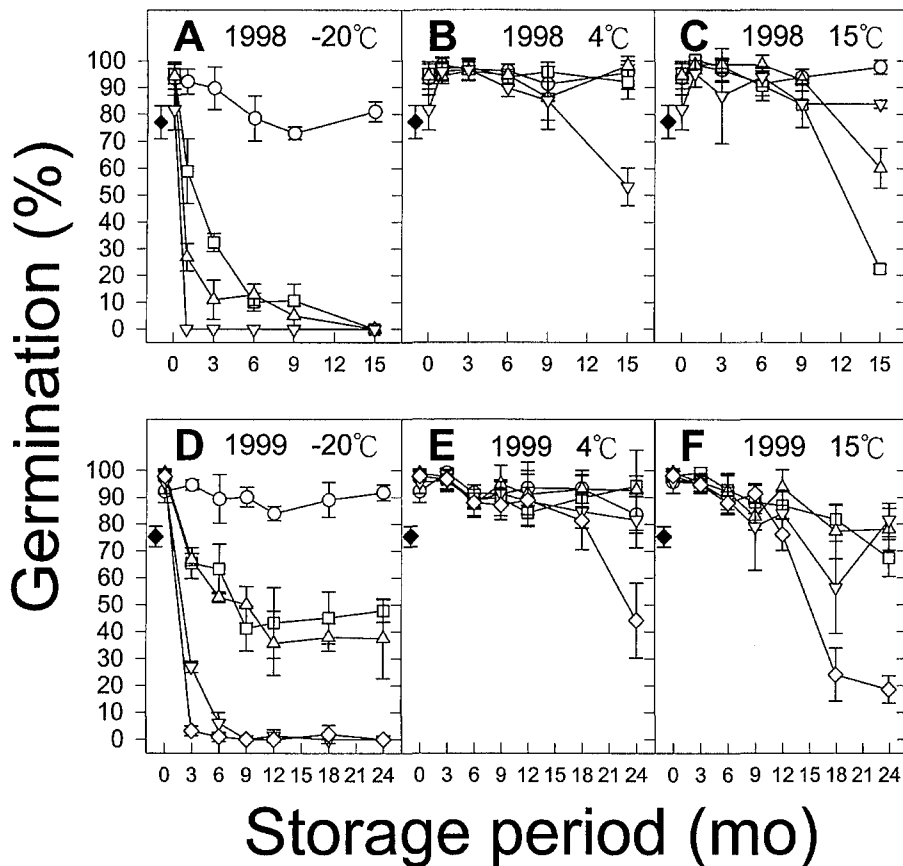


Fig. 5. Effects of storage temperatures (-20, 4, and 15°C) and moisture contents on the germination percentage of seeds collected in 1998 (A, B, and C) and 1999 (D, E, and F). Survival in the 2 seedlots significantly differed ($p < 0.01$) in storage at all temperatures. The initial germination percentages of fresh mature seeds were $77.0 \pm 6.1\%$ (1998, ◆) and $75.3 \pm 3.8\%$ (1999, ◆). Storage moisture contents of seeds collected in 1998 were ○ $7.9 \pm 0.4\%$; □ $18.2 \pm 0.8\%$; △ $23.2 \pm 1.2\%$; and ▽ $35.0 \pm 1.1\%$, and those collected in 1999 were ○ $4.8 \pm 0.4\%$; □ $9.6 \pm 0.5\%$; △ $12.0 \pm 0.9\%$; ▽ $14.4 \pm 0.7\%$; and ◇ $21.3 \pm 1.0\%$. Vertical bars represent the mean ± standard error.

水率較高之二等級(21.3及14.4%)種子發芽率下降速度甚快，分別在儲藏6與9 mo後就完全喪失活力；而稍低之二級含水率種子在儲藏24 mo後之發芽率分別為 $37.5 \pm 14.9\%$ (12.0% mc)及 $47.8 \pm 4.2\%$ (9.6% mc)，由此二級含水率種子之發芽率曲線可看出在24 mo的儲藏期間呈緩降之趨勢，然整體發芽率明顯不及含水率4.8%者，顯示出此二級含水率仍不夠低的種子，其所受零下低溫傷害是在儲藏的前3 mo內就已發生，爾

後在儲藏3~24 mo則僅呈緩慢下降趨勢；4.8% mc者在24 mo後仍能保有 $91.8 \pm 2.9\%$ 之高發芽率，且在24 mo的儲藏過程中整體發芽率曲線未呈下降趨勢(Fig. 5D)。種子儲藏在4°C時，以含水率最高等級(21.3%)之發芽率呈顯著下降，24 mo後已降至 $44.2 \pm 13.9\%$ ；其它四級含水率之種子發芽率曲線均僅略呈下降趨勢，儲藏24 mo後發芽率分別是 $81.5 \pm 10.3\%$ (14.4% mc)、 $92.7 \pm 5.4\%$ (12.0% mc)、 $94.2 \pm 3.9\%$ (9.6%

mc)與 $83.6 \pm 6.9\%$ (4.8% mc) (Fig. 5E)。種子儲藏在 15°C 時，僅含水率 4.8% 者之發芽率曲線未呈下降趨勢(24 mo後發芽率為 $96.6 \pm 1.9\%$)，而含水率最高等級(21.3%)之發芽率呈顯著下降，24 mo後發芽率降至 $18.5 \pm 5.1\%$ ；而其它三級含水率之種子發芽率則稍呈下降，發芽率分別是 $81.5 \pm 6.3\%$ (14.4% mc)、 $78.1 \pm 7.8\%$ (12.0% mc)及 $67.4 \pm 6.8\%$ (9.6% mc) (Fig. 5F)。依上述發芽率結果，當本種種子含水率降低至 5% ；以 -20°C 經24 mo儲藏後仍能維持原有活力，故判定其屬乾儲型。

此二批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. 6(發芽率在 10% 以下者未表示出)。第一批新鮮種子平均發芽日數為 59.4 ± 0.7 d，各級含水率控制剛完成立即進行發芽檢定所得之平均發芽日數分別為： 52.0 ± 1.5 d (7.9% mc)、 52.7 ± 2.9 d (18.2% mc)、 55.9 ± 2.3 d (23.2% mc)、 65.0 ± 6.6 d (35.0% mc)。第二批新鮮種子平均發芽日數為 66.8 ± 0.9 d，各級含水率控制剛完成立即進行發芽檢定所得之平均發芽日數分別為： 52.3 ± 1.1 d (4.8% mc)、 46.9 ± 0.9 d (9.6% mc)、 49.2 ± 1.5 d (12.0% mc)、 51.7 ± 3.5 d (14.4% mc)、 56.9 ± 3.0 d (21.3% mc)。二批種子約略呈現出當含水

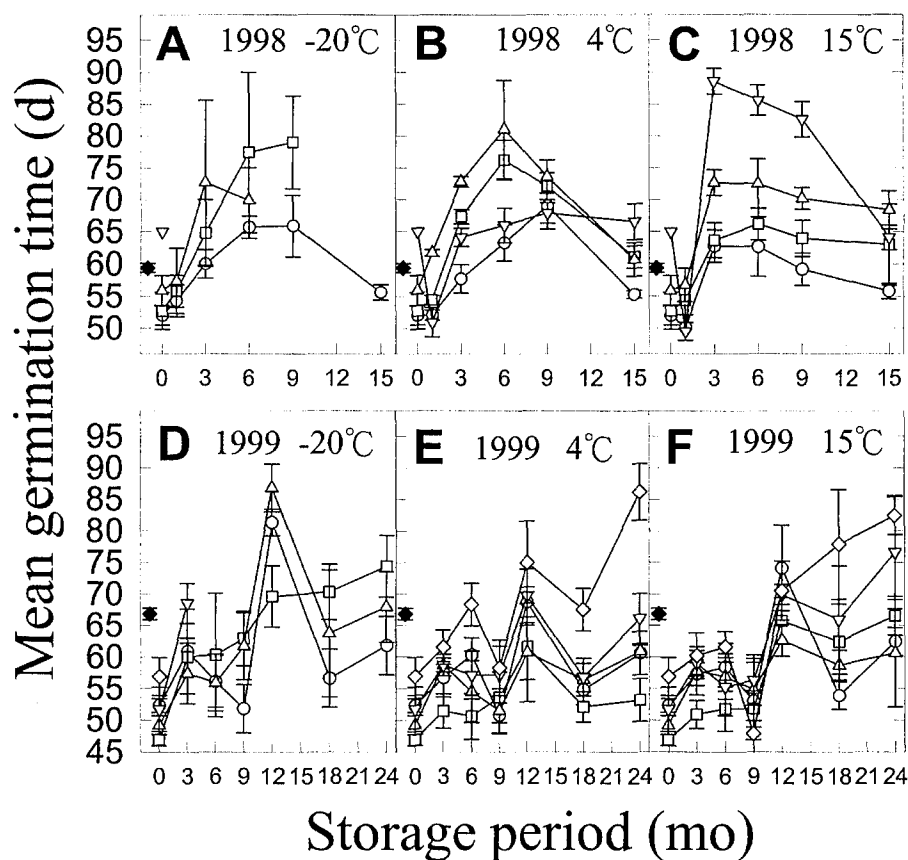


Fig. 6. Effects of storage temperatures (-20 , 4 , and 15°C) and moisture contents on the mean germination time of seeds collected in 1998 (A, B, and C) and 1999 (D, E, and F). Initial mean germination times of fresh mature seeds were 59.4 ± 0.7 d (1998, $\blacklozenge$) and 66.8 ± 0.9 d (1999, $\blacklozenge$). The storage moisture contents of the 2 seedlots were the same as in Fig. 5. Vertical bars represent the mean $\pm$ standard error.

率降至20%以下時則有發芽速度提升之趨勢，這亦可能是乾燥後熟之作用。

第一批乾藏種子經15 mo在-20℃的儲藏歷程中，僅含水率7.9%者仍能維持高發芽率，然平均發芽日數隨儲藏時間之延長有明顯上升之趨勢，但至15 mo後又回復至與起始點者相近之發芽速度(Fig. 6A)；而18.2與23.2% mc者之有活力種子，亦呈現平均發芽日數增加之趨勢，這可能意味著高含水率種子在零下低溫環境中已呈現逐漸衰敗。儲藏在4℃者經1 mo後，各級含水率種子之平均發芽日數與起始點者(乾燥剛完成)相近(Fig. 6B)，而隨時間延長而平均發芽日數逐漸升高，各條曲線大致上呈現在第6~9 mo時達高峰爾後下降，至15 mo後又再稍降，尤以含水率7.9%者已接近起始點之發芽速度；顯現出4℃低溫乾藏可能誘導胚根休眠，且此現象以含水率愈高者愈明顯。儲藏在15℃者其整體趨勢類似4℃者，但各條曲線之高峰提早在第3~6 mo時出現(Fig. 6C)；亦呈現出休眠現象以含水率愈高者愈明顯。

第二批乾藏種子經24 mo在-20℃的儲藏歷程中，僅含水率4.8%者仍能維持原有之發芽率，然平均發芽日數隨儲藏時間之延長呈稍有上升之趨勢，且在第12 mo時有一高峰，隨後下降，後又回復至與起始點者相近之發芽速度(Fig. 6D)；而9.6與12.0% mc者有活力之種子之平均發芽日數曲線呈漸增之趨勢，且此趨勢較4.8% mc者明顯高，這可能也意味著此二級含水率稍高之種子在零下低溫已呈現逐漸衰敗之現象。儲藏在4與15℃者，平均發芽日數曲線大約顯示出在24 mo的儲藏過程中，各級含水率種子之發芽速度隨儲藏時間延長而變慢，且含水率愈高者此現象愈顯著(Fig. 6E, F)。

討論

各種種子之儲藏性質差異頗大，此異質性乃受先天上不同的遺傳基因所控制，故在天然壽命限制下，並非所有的種子都適於儲藏以供日後利用，天然壽命較短的中間型(intermediate)及異儲型(recalcitrant)種子，並

不適宜以種子來保存其基因資源。先天上具有長壽命的乾儲型(orthodox)種子能夠長期儲藏而不失活力，其特性是能耐乾燥，含水率可降低至5%，且能長期存活於零下低溫(Hong and Ellis 1996)。有關乾儲型種子的研究從1900年代早期至今，結果都指出儲藏溫度和種子含水率是影響乾儲型種子壽命的主要因子。種子壽命隨儲藏溫度的降低而延長已是無庸置疑的事實，故一般都建議以零下低溫來儲存種子。種子含水率一直被認為是影響種子老化最重要的內在因子，成立於1974年的國際植物遺傳資源委員會(International Board for Plant Genetic Resources, IBPGR)建議長期儲藏乾儲型種子時，應將種子含水率降至 $5 \pm 1\%$ ，密封儲藏於-18℃或更低溫度，此即為其所謂的長期妥善保存基因資源的基本收藏(basic collection)。但若為某些特性檢查、繁殖播種或提供其他單位索取而作數年內的保存，通常是將種子置於約5℃的環境中作中期儲存，此種保存方式稱為作用收藏(active collection)，因保存期不長，所以不用零下低溫以節省儲存成本(Roberts 1973, IBPGR 1976)。爾後學者發現在相同的種子含水率下，不同種類的種子內水分結合狀態亦會有所不同(Roberts and Ellis 1989, Ellis et al. 1991, Vertucci and Roos 1993)，使得國際農糧組織(Food and Agricultural Organization of the United Nations, FAO)及國際植物遺傳資源學院(International Plant Genetic Resources Institute, IPGRI)在1994年將長期儲藏時最適宜種子含水率建議值擴大為 $5 \pm 2\%$ ，視植物種類而異(Ellis et al. 1992, FAO/IPGRI 1994, Vertucci et al. 1994, Walters et al. 1998)。

本研究結果顯示將流蘇種子含水率降低至5%，於-20℃儲藏可不失活力，故判定其屬乾儲型種子。而且發現若含水率高至8%以上時將不耐-20℃儲藏，2 yr內就會呈現衰敗(Fig. 5A, D)，故本種種子於零下低溫進行長期儲藏時，最適合的種子含水率與FAO/IPGRI的建議值($5 \pm 2\%$)頗為吻合，高出此範圍則呈現不利活力之維持。若為短期儲藏於4℃時，可將種子含水率降低至15%以下，2 yr內發芽率不會明顯下

降(Fig. 5B, E)。一般種子含水率若高於約15%且儲存在0℃以下低溫時，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時，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)。而流蘇種子則更為敏感，當含水率高於7.9%時，於-20℃儲藏6 mo後此不良效應就已發生(Fig. 5A, D)，此結果可用以說明當種子含水率高於某臨界點於零下低溫儲藏時，其種子存活率反而低於4℃者，且含水率愈高者此冰凍傷害效應愈快速(Fig. 5)。

本研究結果顯示二不同年採的流蘇新鮮種子直接以20/30℃變溫經20 wk後可得到75%以上之發根率，且第2~3 mo為發根高峰期(Fig. 3A, D)，且於發芽期結束後剪開種子發現約有22%種子之種仁尚呈乳白色的未敗壞狀，這些種子可能仍呈休眠狀態，故實際的種子發芽率應較高，發芽潛力約在97%上下。而以經乾燥後熟(含水率降低至20%以下)之種子其發根率均約在95%左右(Fig. 5)，且發芽期提早而集中在第2 mo就幾近完成(Fig. 3A, D)，此結果應與該二批種子的真正發芽率甚為接近，此結果與上述新鮮種子直接發芽試驗所推算的發芽潛力相吻合。本種新鮮種子的乾燥後熟現象與烏心石種子類似，然後者需在12% mc以下才會發生後熟作用(Lin 1996)。Shii等(1999)報導過去的研究以20與15℃交替溫度處理，可得60%之發芽率，並謂於15℃播種時胚根會呈次生休眠，且發根率隨溫度升高而增加；而本試驗將新鮮種子於10℃(16 h；黑暗)/35℃(8 h；光照)變溫發芽20 wk後並未有任何種子發根，即使延長發芽期至26 wk亦僅得1%之發根率；此二結果可互相印證，即種子發芽時只要有某種程度的低溫(10~15℃)累積就可能誘使胚根休眠，因此建議本種種子之發芽溫度不可低於20℃。另將新鮮種子以4℃低溫層積處理後反而不利其發根，雖層積2~12 mo後的發根率表現較新鮮即播的種子稍佳，但發根速度明顯較新鮮即播者降低甚多(Fig. 4)，此結果亦呈現低溫會誘導胚根休眠。上述結果明白顯示促進流蘇種子第一階段發芽

(胚根發生)的方法為將新鮮種子進行乾燥後熟，即將種子含水率降低至20%以下；且以20/30℃變溫可有效促使種子發根。

亞熱帶的流蘇與溫帶的美洲流蘇於天然環境下之種子休眠發芽之物候機制有所不同，亦可由上述流蘇種子會因低溫誘導胚根休眠來闡釋二者發芽機制的異曲同工。美洲流蘇於每年8~10月種子熟落後即面臨溫帶地區的秋冬低溫，未有足夠的暖溫期以利胚根突出，相反的卻是天然低溫誘導其進入休眠狀態，但若是將成熟種子立即以人為暖溫3 mo後也會促使胚根發生(Young and Young 1992)，爾後再經3 mo的低溫層積就能解除胚芽休眠，故解除雙重休眠所需過程與流蘇相近。相對的，本試驗結果呈現若將流蘇的成熟種子立即以低溫發芽，則誘導胚根進入二次休眠，呈現出像美洲流蘇於自然野地之休眠狀態。

進行流蘇的扦插繁殖時其適當的採穗季節以每年六至七月中旬為佳，若以1%的IBA處理可提高發根率至50%，故謂其扦插作業常難以發根(Dirr and Heuser 1987)，故大量育苗時應以實生苗為首選。雖然目前野生母樹難以尋覓，但於全島各地作為綠美化的栽植木不少，而且多能在3~5 yr後開花並生產有效種子，例如於2000年栽種於本所台北縣烏來鄉信賢苗圃的2 yr生種子苗(1998年採種育苗)，於2001年已能大量開花，2002年有部分枝條能生產有效種子(樹高約1.5 m)；另於西元2000~1年種於台大校園目前樹高約3 m的栽植木(估計樹齡約在7 yr左右)，近年都能生產大量優良品質種子，故本種種子取得並不困難，只要能有效解除種子休眠或施以解決上胚軸休眠之操作等縮短育苗先期作業方法，要獲得大量實生幼苗供綠化需求並非難事。

Shii et al. (1999)謂以20/15℃交替溫度處理可解決本種種子之上胚軸休眠故將其屬第一類型之上胚軸休眠(Hartmann et al. 1990)，上胚軸休眠的原因是種子的胚生長需經約150 d的發育成熟期(Shii et al. 1999)。種子亦具雙重休眠，需先經暖溫層積1~3 mo後轉入低溫層積2~3 mo後才能完全解除之(Dirr and Heuser 1987)，並

謂提早採收且立即播種可獲得較佳的發芽率，這是因為提早播種恰可配合季節氣候，完成上述解除休眠歷程，故在翌年春天就可獲得較高的發芽率。然筆者仿效流蘇在天然狀況下以發根種子越冬，將已發根種子播於台北的溫室中越冬，希望能促使種子完全發芽，然於翌春所得的成苗率甚差，原因是已稍突出的胚芽很容易萎縮衰敗，這或許與溫室噴水過多或病菌感染有關，然可知以此法要讓脆弱的發根種子度過3 mo比人造溫室更為惡劣的冬季田間環境似乎不易。另基於美洲流蘇種子的上胚軸生長抑制劑存在於胚乳及上胚軸，過去報導有效的解除方法是在種子發根後只切取胚根及胚芽部分浸泡GA後育苗(Dirr and Heuser 1987)，故筆者將已發根的流蘇種子只切取胚根及胚芽部位立即移植培育於相同溫室環境，在春夏兩季都能在短期獲得甚高之成苗率，故建議一般苗圃少量育苗時以此法來進行，雖然較為費時費力但成果較佳且可縮短育苗期。本研究中並未以人為低溫層積方式來解除胚芽休眠，若能找到適當的低溫範圍以解除上胚軸休眠且成苗率優良的話，將有利於未來大量育苗之省工作業。

流蘇栽植木之果實豐欠年現象不明顯，成熟木幾乎每年都會開花結實，差異是各單株之結實量多寡不一，這可能與母樹年齡有關。以台大校園為例，老齡過熟木的樹冠結實比率不及新植幼齡木，且未發育的微粒果實數量不少，而新植木果實實粒率幾達100%。台灣北部的流蘇於每年八月下旬至九月上旬成熟，完全成熟時呈藍紫色，隨即熟落。成熟果實長約1.3 cm，同時期未發育的微粒果實則不及0.5 cm。有發育的果實其空粒率甚低，但採收時仍建議剪開數粒種子評估其品質，判定是否空粒率過高及種子是否已達充分成熟狀態。果實每公升約1,165粒，採收後置於溫室噴水以利果肉潰爛，待果肉完全糜爛後再將其放入小布袋內輕力搓洗，可加中性洗潔劑搓洗2到3次以完全洗淨之；清洗種子時應隨即淘汰浮水空粒，然過去的經驗幾無浮水輕粒。種子每公升約3,000粒。去除果肉後的純淨種子含水率約在30~35%，因本種種子屬乾儲型，於-20℃進行

長期儲藏之前務必將含水率控制在5%左右，稍高則可能產生低溫凍害，可以電子防潮箱或藍色矽膠乾燥劑來達成如是種子乾燥作業(Yang et al. 2000)。乾燥後的種子應立即以鋁箔袋密封或放入密閉瓶罐於零下低溫進行長期儲藏，一般家用冰箱上層冷凍櫃約為-15℃即是良好環境；若為短期儲存則可先將種子含水率降低至15%以下，儲藏在冰箱下層約5℃環境中，2 yr內仍能保持其原有的發芽率。已乾燥的庫存種子在發芽前應先拆開包裝容器，讓這些很乾燥的種子中在室溫下吸收濕氣約3 d，以達緩效性的種子浸潤。第一階段的發根作業可以20/30℃來進行，若為田間作業時宜選在夜溫較高(20℃以上)的夏季或於溫室中播種，播種後的發根期可能長達6 mo，但主要集中在第2~3 mo；第二階段的發芽作業則建議當胚根突出約1 cm後切除種殼與胚乳部分，然後將切下的胚根與胚芽部分立即移植到容器中育苗。如此作業，一般種子的發根率在90%以上，若第二階段的發芽作業以70%的成苗率來計算，每公升種子之育苗量約為1,900株。

謝 誌

感謝田玉娟、何倩雯、高巧齡、鄭佳鳳、林欣德等諸君協助採種工作。

引用文獻

- Copeland LO, McDonald MB. 1995. Seed science and technology. 3rd ed, New York: Chapman & Hall. 409 p.
- Dirr MA, Heuser CW. 1987. The reference manual of woody plant propagation. Athens, GA: Varsity Press. 107 p.
- Ellis RH, Hong TD, Roberts EH. 1990. Effect of moisture content and method of rehydration on the susceptibility of pea seeds to imbibition damage. Seed Sci Technol 18:131-7.
- Ellis RH, Hong TD, Roberts EH. 1991. Seed

moisture content, storage, viability and vigour (correspondence). *Seed Sci Res* 1:275-7.

Ellis RH, Hong TD, Roberts EH. 1992. The low-moisture-content limit to the negative logarithmic relation between seed longevity and moisture content in three subspecies of rice. *Ann Bot* 69:53-8.

Ellis RH, Roberts EH. 1980. Improved equations for the prediction of seed longevity. *Ann Bot* 45:13-30.

FAO/IPGRI. 1994. Genebank standards. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations/International Plant Genetic Resources Institute. 141 p.

Gill TD, Pogge FL. 1974. *Chionanthus virginicus*. In: Seeds of woody plants in the United States. Washington DC: USDA Agric. Handbook, no. 450:323-5.

Hartmann HT, Kester DE, Davies FT. 1990. Plant propagation, principles and practices. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. 119 p.

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.

IBPGR. 1976. Report of IBPGR Working Group on Engineering. Design and cost aspects of long-term seed storage facilities. Rome: International Board for Plant Genetic Resources. 96 p.

International Seed Testing Association (ISTA). 1996. International rules for seed testing. Rules 1996. *Seed Sci Technol* 24 (Suppl):1-86.

Lee CH. 1990. Evaluation of tree seed quality. *Taiwan For J* 16(6):7-10. [in Chinese].

Lin TP. 1996. Effect of moisture content and temperature on the storability of seeds of *Michelia compressa* (Max.). Sargent. *Taiwan J For Sci* 11(4):373-84. [in Chinese with English summary].

Lin TP, Chen MC. 1993. Desiccation into-

lerance in seeds of *Machilus kusanoi* Hay. *Taiwan For Res Inst New Series* 8(2):143-7. [in Chinese with English summary].

Roberts EH. 1973. Predicting the storage life of seeds. *Seed Sci Technol* 1:499-514.

Roberts EH, Ellis RH. 1989. Water and seed survival. *Ann Bot* 63:39-52.

Shii CT, Ma SS, Tsay SL, Li AC. 1999. The asynchronous dormancy acquisition in epicotyl and radicle during zygote embryogenesis of fringe tree (*Chionanthus retusus* Londl.). *Seed Nursery (Taiwan)* 1:19-34. [in Chinese with English summary].

Tompsett PB. 1985. The influence of moisture content and temperature on the viability of *Shorea almon*, *S. robusta* and *S. roxburghii* seeds. *Can J For Res* 15:1074-9.

Yang YP, Lu SY. 1998. Oleaceae. In: Editorial Committee of the Flora of Taiwan. *Flora of Taiwan*. 2nd ed, Vol. 4, Taipei, Taiwan, ROC. p 128-43.

Young JA, Young CG. 1992. Seeds of woody plants in North America. Portland, OR: Dioscorides Press. p 106-7.

Yang JC, Chen YH, Lin TP. 2000. Seed storage behavior of *Gordonia axillaris* (Boxb.) Dietr., *Pistacia chinensis* Bunge, and *Koelreuteria henryi* Dummer. *Taiwan J For Sci*. 15(1):91-104. [in Chinese with English summary].

Vertucci CW, Roos EE. 1993. Seed storage, temperature and relative humidity: response (correspondence). *Seed Sci Res* 3:215-6.

Vertucci CW, Roos EE, Crane J. 1994. Theoretical basis of protocols for seed storage. III. Optimum moisture contents for pea seeds stored at different temperatures. *Ann Bot* 74:531-40.

Walters C, Kameswara RN, Hu X. 1998. Optimizing seed water content to improve longevity in *ex situ* genebanks. *Seed Sci Res* 8(Suppl, 1):15-22.

