

研究報告

野鴉椿種子可儲性與解除休眠處理之研究

楊正釧^{1,4)} 郭幸榮²⁾ 林讚標³⁾

摘 要

本研究目的在找出解除野鴉椿種子休眠的處理並探討其儲藏性質。1999年採於台北市陽明山(北緯25°10'；東經121°33'；海拔高度420 m)的野鴉椿新鮮種子分別以30/20℃(8 h光照)和35/10℃(8 h光照)二種變溫條件發芽20週後僅得0.3與26.8%之發芽率，且未發芽種子多未敗壞仍呈休眠狀態。本批種子經組合層積(如下所述)完全解除休眠後評估其起始發芽率為 $92.1 \pm 4.2\%$ 。以4℃層積、磨傷、25% H₂O₂浸蝕10~120 min、98% H₂SO₄浸蝕5~120 min、2000 ppm GA₃浸泡15 h、磨傷後再以2000 ppm GA₃浸泡15 h等處理均無法有效打破種子休眠。4℃層積經3~5 mo後以30/20℃變溫發芽能使種子發芽率提高到49.3~71.3%，但隨低溫層積時間之延長種子開始衰敗，8 mo後種子完全喪失活力，故建議不宜以低溫濕藏來對本種種子進行短期儲藏。種子先經3 mo的30/20℃暖變溫層積再轉入4℃層積2 mo之組合層積作業能完全打破種子休眠；新鮮種子乾燥至 4.2 ± 0.4 、 5.8 ± 0.4 、 8.6 ± 0.3 、 10.9 ± 0.5 與 $17.2 \pm 1.4\%$ 含水率(鮮重)，隨即以此法解除休眠後所得之發芽率分別是 89.5 ± 4.3 、 92.0 ± 2.0 、 89.5 ± 4.3 、 93.5 ± 3.0 與 $96.0 \pm 2.4\%$ 。本種種子含水率降低至4.2~10.9%儲藏於-20、4與15℃時，經24 mo後其發芽率並無顯著下降，故判定其種子儲藏性質屬乾儲型。

關鍵詞：野鴉椿、種子可儲性、乾儲型、層積、組合層積。

楊正釧、郭幸榮、林讚標。2005。野鴉椿種子可儲性與解除休眠處理之研究。台灣林業科學 20(2):179-92。

Research paper

Storability and Treatments to Overcome Dormancy of Sweetheart Tree (*Euscaphis japonica* (Thunb.) Kanitz) SeedsJeng-Chuann Yang,^{1,4)} Shing-Rong Kuo,²⁾ Tsan-Piao Lin³⁾

【 Summary 】

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.

²⁾ 國立台灣大學森林環境暨資源學系，106台北市羅斯福路四段1號 School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University, 1 Roosevelt Rd., Sec. 4, Taipei 106, Taiwan.

³⁾ 國立台灣大學植物科學研究所，106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 106, Taiwan.

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

2004年11月送審 2005年5月通過 Received November 2004, Accepted May 2005.

*本研究承行政院農業委員會(88科技-1.2-林-01(2)1與89科技-1.5-林-01(2)1經費補助，特予致謝。

The objectives of this study were to determine effective dormancy-breaking treatments and to investigate the storage behavior of seeds of the sweetheart tree (*Euscaphis japonica*). The germination percentages of freshly collected mature seeds of sweetheart tree from Yangmingshan, Taipei (25°10'N, 121°33'E; elevation, 420 m) in 1999 were 0.3 and 26.8% under alternating temperatures 30/20°C with 8 h of light and 35/10°C with 8 h of light, respectively, for 20 wk. Most of the ungerminated seeds remained dormant after a 20-wk incubation. After a combined 3-mo warm and 2-mo cold stratification, the true initial germination percentage of this seedlot was $92.1 \pm 4.2\%$. The following treatments were also found to be ineffective: 4°C chilling alone, mechanical scarification, chemical scarification (pre-soaking in 25% H₂O₂, or pre-soaking in 98% sulfuric acid), 15 h of pre-soaking in 2000 ppm GA₃, and soaking in GA₃ for 15 h after mechanical scarification. Significant increases in seed germination (49.3~71.3%) were obtained after chilling at 4°C for 3~5 mo and incubating under alternating temperatures of 30/20°C, whereas all seeds deteriorated when chilling was extended to 8 mo. Therefore, cold, wet conditions for a short-term storage are not recommended for sweetheart tree seeds. The dormancy of sweetheart tree seeds, however, can effectively be broken by a combination of warm stratification at 30/20°C for 3 mo followed by cold stratification at 4°C for 2 mo. Freshly mature seeds that were dried to moisture contents of 4.2 ± 0.4 , 5.8 ± 0.4 , 8.6 ± 0.3 , 10.9 ± 0.5 , and $17.2 \pm 1.4\%$ (on a fresh-weight basis) and treated with the combined stratification had germination percentages of 89.5 ± 4.3 , 92.0 ± 2.0 , 89.5 ± 4.3 , 93.5 ± 3.0 , and $96.0 \pm 2.4\%$, respectively. Seed germinability could be maintained at -20, 4, and 15°C, for at least 24 mo at moisture contents of 4.2~10.9%, therefore, confirming the orthodox seed storage behavior of sweetheart tree seeds.

Key words: sweetheart tree (*Euscaphis japonica*), seed storability, orthodox, chilling, combined stratification.

Yang JC, Kuo SR, Lin TP. 2005. Storability and treatments to overcome dormancy of sweetheart tree (*Euscaphis japonica* (Thunb.) Kanitz) seeds. Taiwan J For Sci 20(2):179-92.

緒言

野鴉椿(*Euscaphis japonica* (Thunb.) Kanitz)為省沽油科的落葉性小喬木，因*Euscaphis*屬在全球只有本種，故本屬為單種屬(monotypic genus)。野鴉椿分佈在東亞的中國大陸中南部、海南島、琉球、日本及台灣北部的低海拔地區(Li 1993)。黃白色的頂生圓錐花序在每年3~4月綻放，隨後形成革質蓇葖果，約在每年八月下旬鮮紅色的果皮開裂並露出種子，每一果有種子1~3粒，在九月下旬至十月上旬已呈暗紅色的果實開始熟落。本種因樹高不超過5 m，結果時滿樹鮮紅且幾乎年年如是，紅果期更長達4 mo (每年6~9月)故頗具觀賞價值，很適合做為庭園木、疏籬或小型行道樹之用，目前在台灣開始被應用為綠美化樹種。本種過

去僅在化學成分之研究上有零星報導，有關種子休眠發芽之研究則是闕如。

本試驗目的在找出野鴉椿種子適當的解除種子休眠之處理與方法，並進行儲藏性質研究，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

本試驗野鴉椿種子(Fig. 1)在1999年8月30~31日採於海拔420 m的陽明山國家公園菁山自然中心(東經121°33'；北緯25°10')前多株



Fig. 1. Seeds of the sweetheart tree (*Euscaphis japonica* (Thunb.) Kanitz).

栽植木。果實採收時種子假種皮均已呈黑色，隨後將種子從蓇葖果中脫出，尚未去除假種皮的種子每公升種子約為10,020粒，每百粒重約4.8 g。於9月7日將已脫粒之種子置於溫室噴水使假種皮軟化，至9月13日洗去假種皮，種子品質甚佳，幾無浮水輕粒。洗淨的種子於室內平鋪陰乾2 h後，隨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 $17.9 \pm 0.5\%$ (鮮重)，在此種子含水率下，每公升種子有15,270粒，每百粒重約4.6 g。本批種子共計5.8公升；約88,500粒，取3公升進行本研究。於9月13日將種子開始進行4℃低溫層積(濕藏)、磨傷、藥劑浸泡等各項促進發芽處理，並將乾藏種子開始進行不同含水率的控制。

二、種子含水率測定與發芽方法

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與五種含水率共15種組合，每處理均作4重複，每重複隨機取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(International Seed Testing Association 1996)。

發芽試驗方法是以剪細之水苔為介質，將種子與水草在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，每重複之種子數約60粒，袋內仍留有約2/3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($50 \sim 80 \mu\text{E s}^{-1}\text{m}^{-2}$)條件下進行，以胚根突出5 mm視為發芽，於發芽期間內每週記錄一次發芽數，並在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力箱內吸濕一日，且以握乾之水苔為發芽介質，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. 1990a)。

三、解除種子休眠方法與處理

因野鴉椿種子具深度休眠，播種後不易在短期內發芽，故經不同打破休眠處理後的發芽試驗其發芽期均採用較長的20 wk，以探討比較各種處理之效果。本研究尋求解除種子休眠的方法有如下五大類處理：

(一)低溫層積

將種子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)分別包裝後置於4°C儲藏(Lin and Chen 1993)，袋內仍保留有約2/3的剩餘空間以提供種子呼吸作用所需之氧氣，且於儲藏期間每隔1 mo進行補充適量水份與更換袋內空氣一次。在為期24個月的低溫層積期間，於儲藏1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、18、24個月等14個觀測時間點進行發芽試驗，以探討低溫層積時間長短對解除種子休眠的效應，並意圖瞭解低溫濕藏對本種種子之儲藏效果。

(二)組合層積

採用的介質與包裝處理情形同上述低溫層積者，暖溫與低溫的組合過程為先經3個月的暖溫層積(30/20°C變溫；8 h光照)後再經2個月的低溫層積(4°C；無光)。

(三)磨傷處理

因本種種子具硬厚種殼，這可能使種子因水分難以進入或機械性限制而造成外在休眠(exogenous dormancy)，致種子無法在短期內發芽，故將新鮮種子以砂布進行磨傷處理。為避免傷及胚部，故僅對種臍相對另一端的凸面進行磨傷，且只取未被傷及種仁的種子來進行試驗。

(四)藥劑浸蝕處理

將新鮮種子分別浸泡在25% H₂O₂中經10、30、60、120 min與98% H₂SO₄中經5、10、30、60、120 min後立即以大量清水洗去藥劑，隨即進行發芽試驗以探討H₂O₂與H₂SO₄浸蝕對野鴉椿種子種殼休眠的解除效應。

(五)激勃素浸泡處理

將新鮮及先經上述磨傷處理的種子分別以

2000 ppm的激勃素GA₃浸泡15 h後立即進行發芽試驗，以探討高濃度GA₃對解除野鴉椿種子休眠的效應。

四、乾藏種子之含水率控制與試驗設計

將新鮮種子在25±3°C環境下以矽膠乾燥劑(silica gel)脫濕控制成五種等級之含水率，分別是：4.2±0.4% (乾燥77 h)、5.8±0.4% (乾燥24 h)、8.6±0.3% (乾燥8 h)、10.9±0.5% (乾燥4 h)、17.2±1.4% (未乾燥) (Fig. 2)，於9月28日完成乾燥控制並確定各級種子含水率後開始進行不同溫度的乾藏試驗。上述各級含水率的計算方式是以乾燥控制後之含水率(1個數值)與儲藏24 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。

種子在完成各不同含水率控制後立刻以鋁箔袋分裝密封，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作發芽試驗，以檢定種子生活力(viability)；本試驗種子計有3、6、9、12、18、24 mo等6個儲藏時間之觀測點。乾藏種子在每次發芽試驗前均需先解除其休眠以獲得真正的種子活力數據，採用的方法是將種子先進行3 mo的30°C (8 h，光照)/20°C (16 h，黑暗)暖溫層積，隨即轉入4°C (黑暗)經2 mo低溫層積後再發芽。因於本實驗初期發現以上述3 + 2組合層積可完全解除種子休眠使其能在短期內完成發芽，故將乾藏種子之發芽期縮短為8 wk。

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。每一批種子之發芽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 = $\sum (f \cdot v) / N$

f: 每日所獲發芽粒數；

v: 播種後起算至發芽之日數；及

N: 發芽總粒數。

六、統計分析

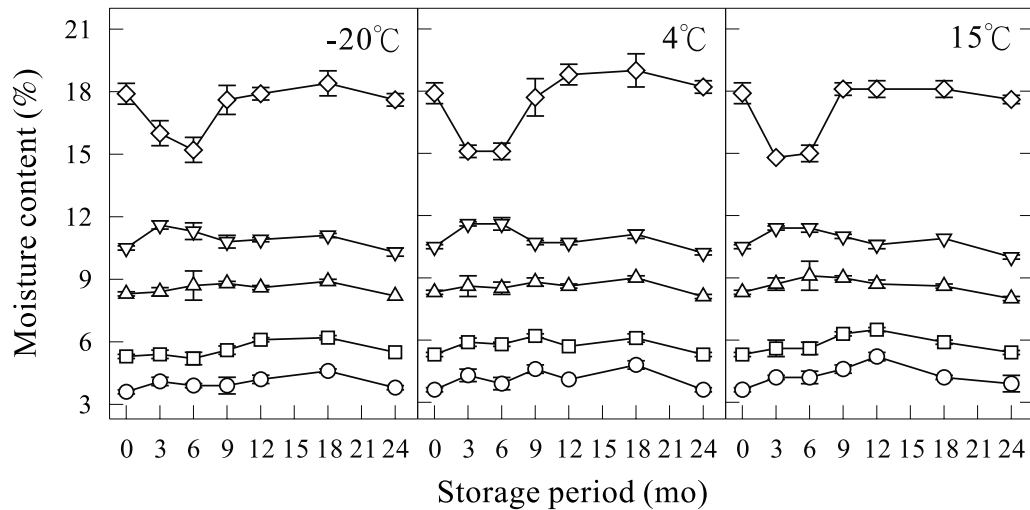


Fig. 2. Changes in seed moisture contents during storage at -20, 4, and 15°C. Vertical bars represent the mean $\pm$ standard error. $\circ$, $4.2 \pm 0.4\%$; $\square$, $5.8 \pm 0.4\%$; $\triangle$, $8.6 \pm 0.3\%$; ∇ , $10.9 \pm 0.5\%$; $\diamond$, $17.2 \pm 1.4\%$.

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SAS 8.2版(2004)之變異數分析(GLM)。

結果

新鮮種子以30/20°C變溫經20 wk後發芽率僅0.3%。若以35/10°C變溫經20 wk後發芽率則為 $26.8 \pm 1.8\%$ ，且發芽零散(Fig. 3A)，平均發芽日數頗長(67.9 ± 3.3 d)。隨後剪開未發芽種子發現其多未衰敗，種子可能仍處於休眠狀態。

一、各種解除種子休眠方法之效果

(一)低溫層積

以發芽率及發芽速度來探討低溫層積對打破野鴉椿種子休眠的效果。在24 mo之4°C層積過程中，種子發芽率從層積1 mo的 $6.0 \pm 0.7\%$ 逐漸攀升至3 mo的 $51.5 \pm 3.0\%$ ，在5 mo後達最高的 $71.3 \pm 7.8\%$ ，爾後活力驟降，當低溫層積

時間達8 mo後種子已完全喪失活力(Fig. 4)。平均發芽日數從低溫層積1 mo的 46.2 ± 3.3 d逐漸下降至3 mo的 31.6 ± 2.1 d，在7 mo後達最低的 7.2 ± 0.2 d，然此時種子發芽率已降至 $36.5 \pm 2.1\%$ ，且隨即步入死亡殆盡(Fig. 4)。以上結果可見採用低溫層積經3~5 mo對本種種子具有部分的解除休眠效果，然種子在此低溫高濕狀態下卻不耐久藏，5 mo後種子活力開始下降，8 mo後就全數喪命。另當低溫層積時間長達6~8月時會有稀少的種子(約1%)在此濕藏黑暗條件下自行發芽。低溫層積種子各次發芽試驗前所進行的含水率測定值在14.4~20.2% (Fig. 4)，與新鮮種子 $17.9 \pm 0.5\%$ 之含水率甚為接近。

(二)磨傷處理

種子經磨傷處理後立即以30/20°C或35/10°C兩種變溫條件發芽20 wk，分別得0.5%與 $19.0 \pm 5.9\%$ 的發芽率。

(三)藥劑浸蝕處理

新鮮種子經25% H_2O_2 浸泡10、30、60、120 min後立即以30/20°C變溫發芽20 wk，發芽率均低於2%；但若將上述浸泡過 H_2O_2 不同時

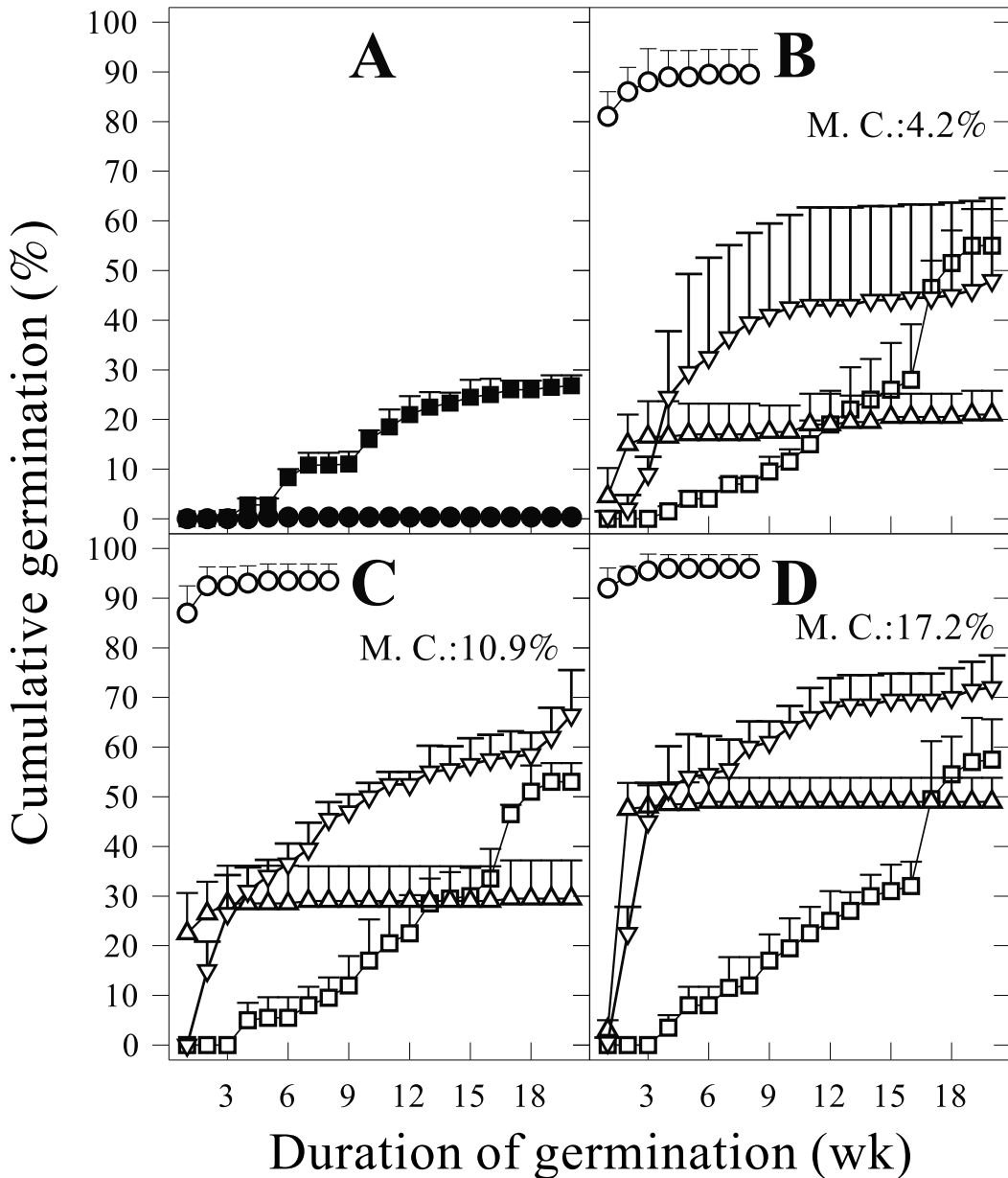


Fig. 3. Cumulative germination percentages of seeds which were dried to different moisture contents, followed by incubation at alternating temperatures of 30/20°C (—■—) or 35/10°C (—●—) without pretreatment (A) or after various pretreatments (B~D). —○— Seeds were incubated at alternating temperatures of 30/20°C after a combination of warm stratification at 30/20°C for 3 mo followed by cold stratification at 4°C for 2 mo; —□— seeds were incubated at alternating temperatures of 35/10°C without pretreatment; —△— seeds were incubated at alternating temperatures of 30/20°C after 2 mo of 4°C chilling; —▽— seeds were incubated at alternating temperatures of 35/10°C after 2 mo of 4°C chilling. The symbols —■— and —●— represent freshly mature seeds.

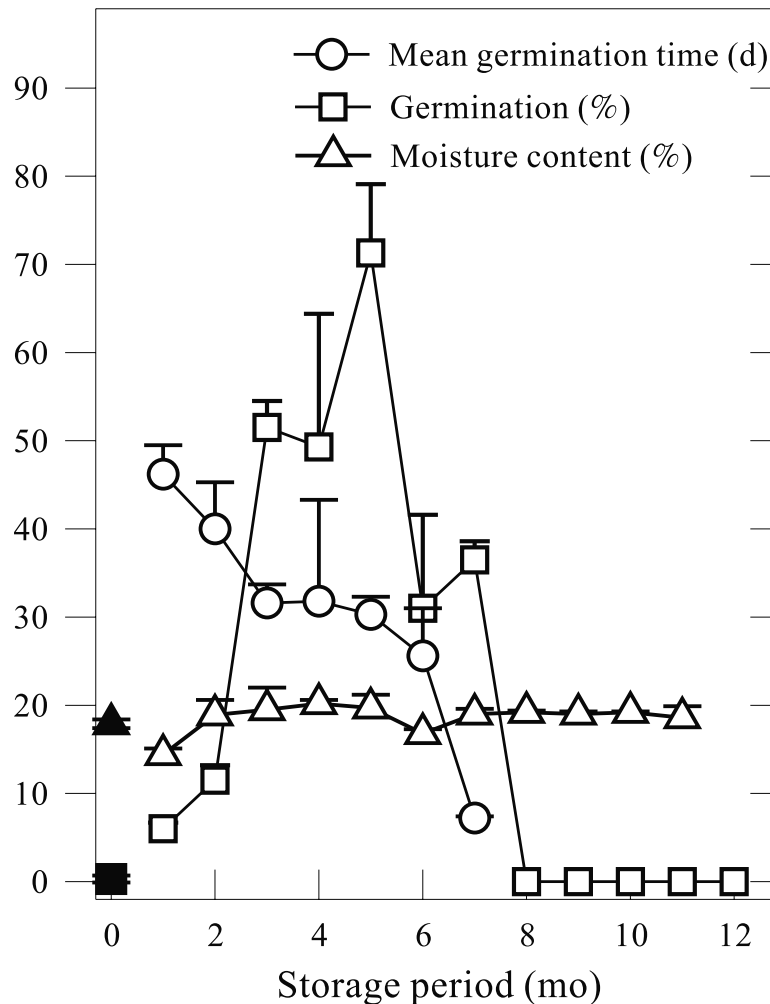


Fig. 4. Effects of 4°C chilling for 1~12 mo on the mean germination time (○), germination percentage (□), and changes in seed moisture content (△). The symbols ■ and ▲ represent the germination percentage and seed moisture content, respectively, of freshly mature seeds. Seeds were incubated at alternating temperatures of 30°C (light, 16 h)/20°C (dark, 8 h) after chilling.

間的種子再經4°C層積2 mo後以30/20°C變溫發芽，20 wk後所得之發芽率分別是 40.8 ± 1.5 、 31.5 ± 5.4 、 34.8 ± 4.0 與 $18.5 \pm 1.5\%$ ，故由上數據可知若只以25% H_2O_2 浸泡處理無法有效解除種子休眠，甚至浸泡太久可能傷害到種子。另新鮮種子以98% H_2SO_4 浸泡5、10、30、60、120 min後發現原本堅硬的種殼均已鬆軟破散，浸泡10 min以上的處理更甚，已呈碳化狀且發

現明顯傷及胚部，這些種子以30/20°C變溫發芽20 wk後發芽率均低於1%，故顯然此非促進種子發芽的適當方法。

(四)GA₃藥劑處理

新鮮種子以2000 ppm的GA₃浸泡15 h及先經磨傷處理再經以上浸泡處理的種子，經20 wk的30/20°C變溫發芽後，二處理的發芽率均是

0%，故以GA₃處理亦不能解除其休眠。

二、發芽溫度與層積處理對種子發芽率之影響

種子控制成五級含水率先以低溫或組合層積後以35/10℃與30/20℃兩種變溫條件立即進行發芽檢定所得之發芽率分別是：

(一)無前處理以35/10℃變溫發芽：五級含水率(4.2、5.8、8.6、10.9與17.2% mc)的種子經發芽20 wk的發芽率分別是55.0±6.4、44.5±7.9、40.0±6.6、53.0±3.3、57.5±7.0%，在發芽率表現上並無顯著差異。各級含水率種子之累積發芽率趨勢都是初時呈緩慢上升，然在第16~18 wk時均有驟升趨勢(Fig. 3B~D, □□□)。五級含水率種子在此條件下之平均發芽日數均頗高且無顯著差異，分別是97.6±6.1、90.6±8.0、86.8±5.4、90.4±6.4與90.2±5.7 d。

(二)經4℃層積2 mo後以35/10℃變溫發芽：五級含水率的種子經20 wk的發芽率分別是48.0±14.4、57.5±7.9、55.5±3.8、66.5±7.8與72.0±5.7%，發芽率有隨含水率提高而上升之趨勢。各級含水率種子在此條件下之平均發芽日數分別是46.3±13.4、53.3±9.1、43.1±3.3、51.4±8.8與34.0±3.5 d，較低的四級含水率種子之累積發芽率曲線都是在約10 wk內有較大之斜率，爾後呈緩增之勢，而含水率最高等級(17.2% mc)之種子發芽快速，約在4 wk後就能達其他者發芽10 wk之表現，且持續發芽至12 wk後才趨緩(Fig. 3B~D, ▽▽▽)。

(三)經4℃層積2 mo後以30/20℃變溫發芽：含水率由低至高的五級種子經20 wk的發芽率分別是21.0±4.1、23.5±5.0、17.5±3.0、29.5±6.7與49.0±4.1% (Fig. 3B~D, △△△)。含水率較低的四級種子僅能達約23%的發芽率，而含水率最高等級者(17.2% mc)可達約50%之發芽率。五級含水率種子在此條件下之平均發芽日數分別是30.2±11.2、15.8±6.2、13.8±4.1、11.3±2.6與14.0±0.8 d，故無論發芽率之高低，共同的趨勢是發芽均集中在第1~3 wk，爾後雖延長時間並無法使發芽率增高(Fig. 3B~D, △△△)。

(四)組合層積：採用的流程為將種子先以30/20℃暖變溫層積3 mo後轉入4℃層積2 mo，再入30/20℃變溫發芽，五級含水率的種子經8 wk的發芽率分別是89.5±4.3、92.0±2.0、89.5±4.3、93.5±3.0與96.0±2.4%。各級含水率種子在經組合層積後可完全解除休眠，有活力種子幾乎都在第1 wk內就發芽(第1 wk發芽的種子佔全數發芽種子的93.3%)；且有效種子在4 wk內就完全發芽完畢(Fig. 3B~D, ○○○)，經發芽8 wk後剪開未發芽種子，發現其均已腐敗，足見此法對解除本種種子休眠之成效甚佳。各級含水率種子在經此組合層積處理後之平均發芽日數分別是8.1±0.3、7.8±0.2、7.6±0.4、7.7±0.7與7.5±0.4 d，並無明顯差異。

比較上述四種處理對不同乾燥程度種子之發芽效應，3+2組合層積能完全解除種子休眠，有活力種子在短期內就完成發芽，因不同含水率對發芽率並無顯著差異效應，經合併計算各級含水率種子之發芽率為92.1±4.2%，此數據應與本批種子的起始活力甚為接近。其他三種發芽處理均無法使有效種子在20 wk內完全發芽；若以發芽率來作比較，以經4℃層積2 mo後用35/10℃變溫發芽有次佳之表現，合併計算各級含水率種子所得之平均發芽率為59.9±12.1%；以35/10℃變溫發芽又次之，合併計算各級含水率種子所得之平均發芽率為50.0±9.3%；經4℃層積2 mo後用30/20℃變溫發芽之之效果最差，合併計算各級含水率種子所得之平均發芽率僅為28.1±12.1%。無法使種子完全發芽的三種處理在試驗結束後剪開其未發芽種子，發現尚有多數種子種仁並未敗壞，這些種子應該多數仍處於休眠狀態。故新鮮種子經不同乾燥程度使種子含水率在4.2~17.2%時，其發芽率不會因乾燥程度而有顯著差異，但前提必須是種子要先經完全解除休眠。此結果透露著野鴉椿種子趨近於乾儲型。

三、含水率與溫度對野鴉椿種子儲藏之影響

乾藏種子發芽率的探討，來自於控制成五級不同含水率(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

儲藏溫度之發芽率。

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見Fig. 5。當種子儲藏在 -20°C 時，含水率17.2% mc者在3 mo後發芽率就驟降至 $19.7 \pm 3.3\%$ ，於9 mo後就完全喪失活力；其餘四級含水率種子在儲藏24 mo後之發芽率相似，分別為 86.1 ± 3.0 (4.2% mc)、 79.9 ± 7.4 (5.8% mc)、 81.0 ± 3.0 (8.6% mc)與 $81.2 \pm 1.2\%$ (10.9% mc)，均無顯著下降趨勢($p > 0.05$)。當種子儲藏在 4°C 時，含水率17.2% mc者之發芽率在6 mo後開始下降，於9 mo後降至 $69.8 \pm 10.2\%$ ，於18 mo後降至 $47.6 \pm 5.4\%$ ，於24 mo後發芽率僅餘 $6.3 \pm 1.8\%$ ；其餘四級含水率種子在儲藏24 mo後之發芽率相仿，分別為 90.0 ± 0.6 (4.2% mc)、 91.3 ± 2.5 (5.8% mc)、 92.5 ± 1.4 (8.6% mc)與 $89.8 \pm 2.3\%$ (10.9% mc)，亦均呈無顯著下降趨勢($p > 0.5$)。而當儲藏在 15°C 時，含水率17.2% mc者之發芽率在3 mo後開始快速下降，於9 mo後即完全喪失活

力；其餘四級含水率種子在儲藏24 mo後之發芽率分別為 89.4 ± 2.2 (4.2% mc)、 88.8 ± 4.6 (5.8% mc)、 91.0 ± 3.8 (8.6% mc)與 $93.0 \pm 2.8\%$ (10.9% mc)，亦均無下降趨勢($p > 0.5$)。由上可知僅含水率最高者(17.2% mc)在 -20 、 4 與 15°C 三種儲藏溫度下呈現活力快速下降趨勢，但種子含水率較低之四級(4.2~10.9% mc)種子在此三種溫度下經24 mo之儲藏，其種子活力並不會下降。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時，均是因最高含水率(17.2% mc)者之種子發芽率下降速度較快之故，若不將此級含水率發芽率結果列入統計分析，在 -20 、 4 與 15°C 之各種儲藏溫度內，種子含水率較低之四級(4.2~10.9% mc)種子之發芽率在24 mo儲藏期間並無顯著差異(-20°C : $p > 0.05$ 、 15°C : $p > 0.5$ 、 4°C : $p > 0.5$)。

乾藏種子在�發芽試驗時間點所得之平均

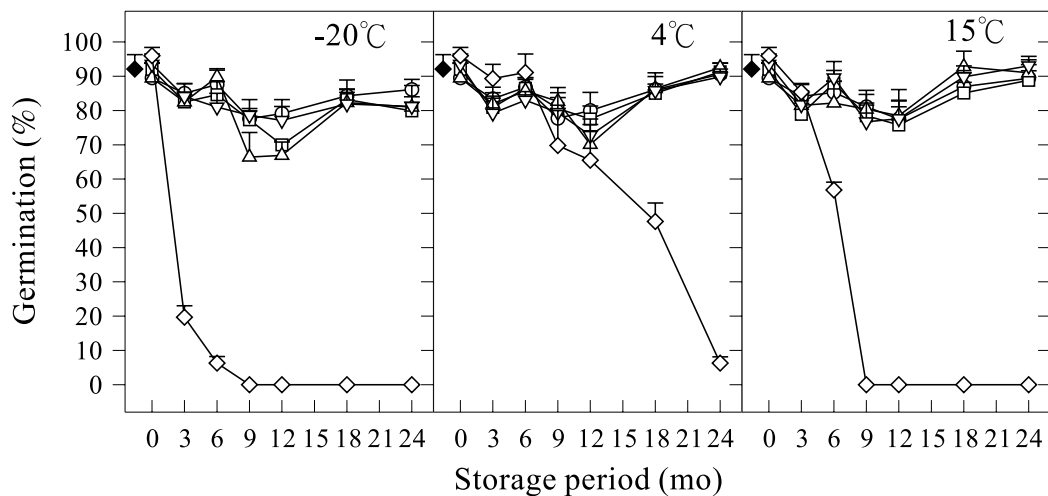


Fig. 5. Effects of storage temperatures (-20 , 4 , and 15°C) and moisture contents (4.2~17.2%, fresh weight) on the germination percentage of seeds stored for up to 24 mo. Survival of seeds with the 5 water content levels significantly differed ($p < 0.01$), but no significant difference was found if the 17.2% mc group was excluded from analysis for all temperatures. The estimated initial germination percentage of freshly mature seeds was $92.1 \pm 4.2\%$ (◆). Moisture contents for seeds in storage were the same as those shown in Fig. 2. Vertical bars represent the mean $\pm$ standard error.

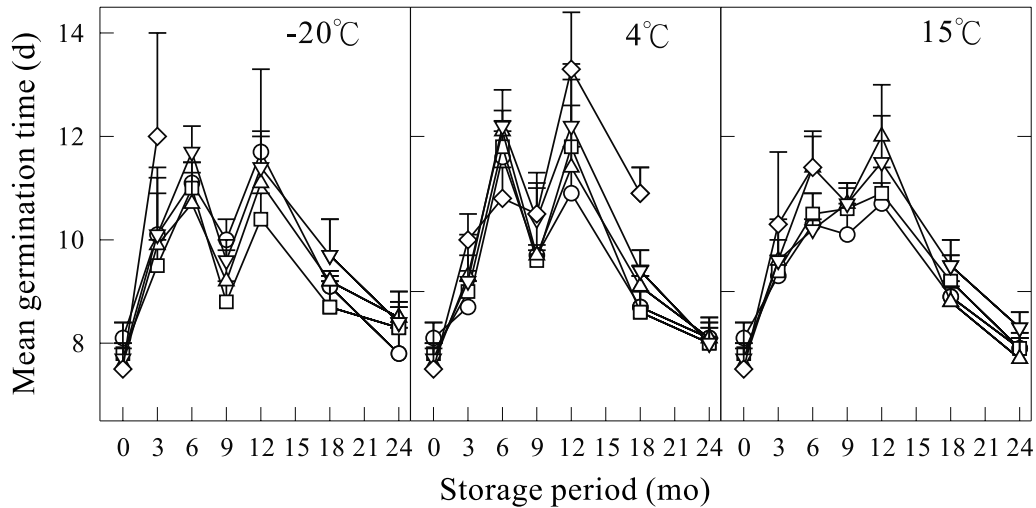


Fig. 6. Effects of storage temperatures (-20, 4, and 15°C) and moisture contents on the mean germination time of seeds. Moisture contents of the seedlots in storage were the same as those shown in Fig. 2. Vertical bars represent the mean $\pm$ standard error.

發芽日數詳見Fig. 6 (發芽率 $<10\%$ 者未標示)。各不同含水率乾藏種子儲藏起始點發芽試驗(剛完成調控含水率之各級種子隨即以3+2組合層積處理後發芽)所得之平均發芽日數分別是 8.1 ± 0.3 (4.2% mc)、 7.8 ± 0.2 (5.8% mc)、 7.6 ± 0.4 (8.6% mc)、 7.7 ± 0.7 (10.9% mc)、 7.5 ± 0.4 d (17.2% mc)，並無明顯差異($p > 0.1$)，爾後儲藏在不同溫度的各次觀測時間點所得之試驗數據亦呈現如此趨勢，亦即在4.2~10.9% mc時，乾藏種子之含水率高低對發芽速度並不具任何影響。總之，以平均發芽日數來分析不同溫度與含水率對發芽速度之影響，結果顯示乾藏種子在-20、4與15°C之各種儲藏溫度內經24 mo之儲藏，種子含水率較低的四級(4.2~10.9% mc)種子之平均發芽日數曲線在24 mo儲藏期間中並無顯著差異($p > 0.1$)，且在三種溫度間亦無顯著差異。

討論

野鴉椿新鮮種子直接以30/20°C或35/10°C變溫經20 wk後均無法得到好的發芽表現，發芽率分別僅有0.3及26.8% (Fig. 3A)，且於發芽期

結束後剪開種子發現大部分未發芽種子之種仁尚呈未敗壞的乳白色狀態，這些種子應仍呈休眠狀態，且本批種子經完全打破休眠後發芽率高達92%，此結果顯示野鴉椿種子具深度休眠。

以4°C低溫層積來解除野鴉椿種子休眠的效果有限，以層積3~5 mo後效果最佳(發芽率49.3~71.3%)，爾後隨層積時間之延長不但不能再提升解除休眠效果，反而呈現出種子不耐低溫濕藏，到8 mo後就幾乎完全喪失活力(Fig. 4)。當我們將層積3 mo經發芽20 wk後(發芽率51.5%)仍未發芽的種子剪開，發現其中仍有94%未敗壞；但到了層積4 mo後(發芽率49.3%)，發現未發芽種子僅有10%未敗壞，故低溫濕藏對種子的傷害可能在儲藏第3~4 mo時就已造成。故將上述結果與種子乾藏之保存效果、組合層積的解除休眠效果相較後，不論為促進種子發芽或儲藏壽命考量，均不宜採用低溫濕藏方式來進行。

本研究原試驗設計所採用的解除種子休眠方法如低溫層積、磨傷、 H_2O_2 與 H_2SO_4 浸蝕、 GA_3 浸泡等單一或組合處理均無法有效打破野鴉椿種子之休眠。磨傷與藥劑浸蝕等破壞硬殼之處理均無法有效促進種子發芽，又經初步解

剖觀察發現水分可從種臍之細孔中進入，故推測種子休眠的原因應該不是硬厚種殼所引起的外在休眠。推測本種子休眠的原因最有可能是本種種子在果實熟落時胚部仍未發育完成，需在散播過程中經歷一段時間來使未成熟胚發育完全(Baskin and Baskin 1986)，而暖溫層積即為如此的作用，然本假設仍有待再進行解剖觀察來加以驗證；另亦可能是因種子內抑制發芽的化學物質含量仍高之故，而這些抑制物質必須經一段時間的暖溫層積才能逐漸排除，且需再經另一段的低溫層積使抑制發芽的賀爾蒙濃度降低或促進發芽的賀爾蒙增加後才能完成發芽(Copeland and McDonald 1995)。

乾燥控制成五級含水率之種子立即以四種不同發芽處理以判斷不同含水率對發芽之影響(Fig. 3)，僅3+2組合層積能有甚佳的發芽表現，其餘三種則不佳。3+2組合層積能完全解除種子休眠，有活力種子在4 wk內就完全發芽，故建議本種種子經解除休眠後的發芽期為28 d。至於不同含水率的種子其平均發芽日數在各次觀測時間點有上下起伏之共同趨勢(如第6個月時共同上升至約11 d，第9個月時又整體下降至約10 d，爾後又稍有升降)，然都僅介於8~12 d之間，此原因應該不是種子本身的歧異性所造成，而可能是所採用的生長控制箱所提供的發芽環境略有差異之故，即使我們對每台生長控制箱都另外放置溫度記錄盒加以監測並校正，使溫度達到 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 之內，但於不同機器間甚至同台機器在不同季節時，生長箱在溫度轉變時的升降溫速率仍是會有差異。又因本發芽試驗每週檢查記錄一次，發芽日數的計算基準單位為7 d，當種子的發芽期較短時就不易顯現出精細的差異。以上可能是導致平均發芽日數於每次間稍呈波動之原因。

因本研究的儲藏試驗結果顯示本種種子屬乾儲型，故假設五種經降低含水率之種子活力均不受影響，將乾燥剛完成之五種含水率種子發芽率數據重新合併計算得 $92.1 \pm 4.2\%$ (即發芽率數據來自20個重複)，此數據應與該批種子之起始發芽率甚為接近。事實上，本研究原來的試驗設計並未採用組合層積，而是在整個試

驗進行到4 mo後發現所採用的處理均無法有效打破種子休眠，又發現乾燥剛完成種子之發芽試驗中的控制組(未經任何處理直接以 $30/20^{\circ}\text{C}$ 發芽)在經3 mo均無發芽，於是調整試驗設計將其轉入 4°C 再層積2 mo後重新以 $30/20^{\circ}\text{C}$ 發芽，卻意外發現了能完全解除休眠的方法，故爾後每次乾藏種子之發芽試驗前均需先經此解除休眠程序，以獲得各種不同儲藏條件(種子含水率、儲藏溫度、儲藏時間)下真正能代表種子活力之發芽率數據。至於組合層積的時程能否再縮短就能達解除休眠效果則有待進一步的研究來闡明。

種子固有的儲藏壽命是受遺傳因子所影響(Wang et al. 1995)，種子儲藏性質(seed storage behavior)之研究目的即在探討各種種子先天壽命之久暫及其最佳儲藏條件。早在1900年代早期即有相關研究指出儲藏溫度和種子含水率對種子的壽命有重大影響，但即使至今，這二主要因子對於種子儲藏壽命及種子活力之影響在某些範疇仍難以明確闡述，當時在此方面的研究都是以糧食作物種子為材料，研究數據均指出多種作物種子在低溫下能儲藏較久的時間，且種子水分較低時有利其儲藏壽命之維持，即經過乾燥的種子在低溫下儲藏對其壽命是有利的；如發現數種禾本科植物種子將含水率降至1%時，對其活力及儲藏壽命均無不良影響(Harrington and Crocker 1918)；爾後更證明將種子乾燥至很低的含水率時對其儲藏壽命是有利的(Evans 1957, Nutile 1964)。直到1973年，英國Reading大學的Roberts教授為實際種子儲藏作業之需，認為必須將另一類對低溫及乾燥均敏感而無法長期儲藏的種子與上述能耐低溫乾藏者明確定義而加以區別，於是首將種子儲藏性質區分為二大類，並將之命名為正儲型(orthodox，或譯為乾儲型)與異儲型(recalcitrant，或譯為濕儲型)。爾後其他的種子儲藏類型(Bonner 1990, Ellis et al. 1990b, 1991a)與分類系統(Hong and Ellis 1996)陸續被提出，近年來更因植物基因資源的蒐集保存與區外保育之需，多種具經濟與保育價值植物的種子儲藏性質相繼被研究報導。

乾儲型種子的定義是其能耐乾燥，含水率

可降低至5%以下而不失活力，且能耐零下低溫儲藏(Roberts 1973, Hong and Ellis 1996)。影響乾儲型種子儲藏壽命的二大因子是溫度與種子含水率。在儲藏溫度方面，學者一致認為溫度愈低則保存效果愈好，故一般都建議以-18℃以下的溫度來進行長儲。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，而在近年有關乾儲型種子的最適含水率也引起英美兩派學者之爭議(Ellis et al. 1991b, Vertucci and Roos 1991, 1993)，此乃因學者發現在相同的種子含水率下，不同種類的種子因成分不同故與水分結合狀態亦會有所不同，含脂量愈高的種子其含水率必須愈低才有利其壽命的維持，傳統以絕乾方式測得的含水率並不能表示真正種子內的水分活力(water activity) (Roberts and Ellis 1989, Vertucci and Roos 1991, Ellis et al. 1992, Vertucci et al. 1994)。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)為求一能被廣泛應用的通則，仍偏向採用英國學派的試驗結果，將長期儲藏時最適宜種子含水率建議值從 $5 \pm 1\%$ (IBPGR 1976)修正擴大為 $5 \pm 2\%$ ，而欲得此含水率所應採用的方法是將種子在20℃以10~12% RH (relative humidity, 相對濕度)乾燥平衡後所得的含水率，這是因為以此相對溼度平衡所得到的種子含水率，恰為各不同成份種子在儲藏時之最適值(FAO/IPGRI 1994)。然爾後多種乾儲型作物種子經較長期研究結果證明當時美國學派所提出超乾(ultra-dry)處理對種子活力有不利影響之論述是正確的(Chai et al. 1998, Hu et al. 1998, Kong and Zhang 1998, Shen and Qi 1998, Walters 1998, Walters and Engels 1998, Walters et al. 1998)，故乾儲型種子在進行長期的基本收藏(basic collection)時，其含水率不應低於3%，即絕對不要用10%以下的相對濕度來進行種子乾燥儲藏。綜合上述，乾儲型種子長儲時之適當條件為將種子乾燥到3~7% mc間，密封儲藏在-18℃以下的溫度；在此良好條件下，種子壽命可達數十年甚至百年以上。

本研究結果顯示將野鴉椿種子含水率降低至4%，於-20℃經二年之儲藏仍不失活力，符合乾儲型種子的定義，故判定其儲藏性質屬乾儲型。而且發現本種種子即使含水率高至11%時亦能耐零下低溫儲藏，於-20℃儲藏二年後仍不見衰敗現象(Fig. 5)，與過去台灣被研究過的乾儲型林木種子如大頭茶(*Gordonia axillaris* (Boxb.) Dietr.)、黃連木(*Pistacia chinensis* Bunge)、台灣欒樹(*Koelreuteria henryi* Dummer)等相似(Yang et al. 2000)，這些樹種種子當含水率稍高時(約8~11%)，對零下低溫傷害均較不敏感，不像流蘇(*Chionanthus retusus* Lindl. & Paxt.)種子，當含水率高於8%時在零下低溫就遭會受凍害(Yang and Lin 2004)。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)。而本研究結果顯示當野鴉椿種子含水率在約16% ($17.2 \pm 1.4\%$)時，上述低溫傷害效應在儲藏3 mo內就已急遽顯現，於-20℃儲藏9 mo後就完全喪失活力(Fig. 5)，此結果可用以說明即使野鴉椿種子屬乾儲型，欲於零下低溫進行長期儲藏時，但當種子含水率高於某臨界點，其種子衰敗速率反而快於儲藏在4與15℃者，且含水率愈高者此冰凍傷害效應會愈快速(Fig. 5)；而野鴉椿種子的這個零下低溫易受害含水率臨界值可能是在15% mc左右，與上述一般建議值頗為接近。雖然本試驗呈現當野鴉椿種子含水率在4~11%時可在-20℃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(7~11% mc)種子的凍害效應在二年內尚無法呈現之故，故若要對本種種子進行長期儲藏時，建議仍應遵循FAO/IPGRI的建議，將種子含水率控制在3~7%，以避免長期儲藏時含水率過高而導致種子衰敗。但若為二年內之短期儲藏，可將本種種子含水率降低至11%以下，儲藏在4~15℃即可，其發芽率並不會明顯下降。

謝誌

感謝何倩雯、李瓊美、李淑華、林君如、林彥佑、陳冠瑋、劉冠宏諸君協助種子採收、處理及發芽試驗等工作；張宗怡小姐協助試驗資料分析。

引用文獻

- Baskin JM, Baskin CC. 1986.** Germination ecophysiology of the mesic deciduous forest herb *Isopyrum biternatum*. Bot Gaz 147:152-5.
- Bonner FT. 1990.** Storage of seeds: potential and limitations for germplasm conservation. For Ecol Mgmt 35:35-43.
- Chai J, Ma R, Li L, Du Y. 1998.** Optimum moisture contents of seeds stored at ambient temperatures. Seed Sci Res 8(Suppl 1):23-8.
- Copeland LO, McDonald MB. 1995.** Seed science and technology. 3rd ed, New York: Chapman & Hall. p 189.
- Ellis RH, Hong TD, Roberts EH. 1990a.** Effect of moisture content and method of re-hydration on the susceptibility of pea seeds to imbibition damage. Seed Sci Technol 18:131-7.
- Ellis RH, Hong TD, Roberts EH. 1990b.** 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. 1991b.** 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.
- Evans G. 1957.** The viability over a period of fifteen years of severely dried ryegrass seed. J Br Grassland Soc 12:286-9.
- FAO/IPGRI. 1994.** Genebank standards. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations/International Plant Genetic Resources Institute. p 141.
- Harrington GT, Crocker W. 1918.** Resistance of seeds to desiccation. J Agric Res 14:525-32.
- Hong TD, Ellis RH. 1996.** A protocol to determine seed storage behavior. IPGRI Technical Bulletin no. 1. Rome, Italy: International Plant Genetic Resources Institute. p 62.
- Hu C, Zhang Y, Tao M, Hu X, Jiang C. 1998.** The effect of low water contents on seed longevity. Seed Sci Res 8(Suppl 1):35-9.
- 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.
- Kong XH, Zhang HY. 1998.** The effect of ultra-dry methods and storage on vegetable seeds. Seed Sci Res 8(Suppl 1):41-5.
- Lee CH. 1990.** Evaluation of tree seed quality. Taiwan For J 16(6):7-10. [in Chinese].
- Li HL. 1993.** Staphyleaceae. In: Editorial Committee of the Flora of Taiwan. Flora of Taiwan. 2nd ed, Vol. 3, Taipei, Taiwan: Department of Botany, National Taiwan University. p 661-2.
- 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].
- Nuttle GE. 1964.** Effect of desiccation on

viability of seeds. *Crop Sci* 4:325-8.

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.

Shen D, Qi X. 1998. Short- and long-term effects of ultra-drying on germination and growth of vegetable seeds. *Seed Sci Res* 8(Suppl 1):47-53.

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 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].

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].

Vertucci CW, Roos EE. 1991. Seed moisture

content, storage, viability and vigour: response (correspondence). *Seed Sci Res* 1:277-9.

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. 1998. Ultra-dry technology: perspective from the national Seed Storage Laboratory, USA. *Seed Sci Res* 8(Suppl 1):11-4.

Walters C, Engels J. 1998. The effects of storing seeds under extremely dry conditions. *Seed Sci Res* 8(Suppl 1):3-8.

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.

Wang BSP, Lin TP, Chien CT. 1995. Classification of storage behavior of forest tree seeds. *Bull Taiwan For Res Inst New Series* 10(2):255-76. [in Chinese with English summary].

