

研究報告

短柱山茶種子的發芽與儲藏性質

楊正釗^{1,3)} 郭幸榮²⁾

摘 要

本研究目的在明瞭短柱山茶(*Camellia brevistyla*)種子的發芽特性與探討其儲藏行為，並決定其最適當的儲藏方法。供試第1批短柱山茶新鮮種子以30/20°C(day/night) 變溫經16週後之發芽率為38.9%，平均發芽日數為56.7日，經1及4°C層積2個月後可分別使發芽率稍加升高至47.8與44.4%，平均發芽日數分別顯著降低至35.3與31.7日，使種子集中在7週內發芽。第2批新鮮種子以30/20°C(day/night) 變溫經16週後之發芽率為74.3%，平均發芽日數為73.9日，經1, 4及10°C層積3個月後可使發芽率分別顯著提升至92.4, 94.3與95.2%，平均發芽日數分別顯著降低至16.5、16.6與14.0日，使種子集中在5週內發芽。因此，1, 4及10°C層積3個月後均可完全解除短柱山茶之種子休眠。短柱山茶種子不耐乾旱，當含水率被降至約10%時大部分種子已衰敗死亡，含水率再降至5%以下後則種子均已死亡，且其對零下低溫非常敏感，而以其能耐1~4°C的特性，故將其歸類為溫帶異儲型。儲藏短柱山茶種子的最好方法是將新鮮種子以1°C濕藏之，於2年內仍能保持原有活力且不會在濕藏環境中發芽。

關鍵詞：短柱山茶、發芽、層積、種子儲藏行為。

楊正釗、郭幸榮。2017。短柱山茶種子的發芽與儲藏性質。台灣林業科學32(4):267-81。

¹⁾ 林業試驗所植物園組，10066台北市南海路53號 Botanical Garden Division, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nanhai Rd., Taipei 10066, Taiwan.

²⁾ 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.

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

2016年12月送審 2017年4月通過 Received September 2016, Accepted April 2017.

Research paper

Germination and Storage Behavior of Seeds of *Camellia brevistyla* (Hay.) Coh.-Stuart

Jeng-Chuann Yang,^{1,3)} Shing-Rong Kuo²⁾

[Summary]

The purposes of this study were to examine the germination characteristic and seed storage behavior of seeds of *Camellia brevistyla* and determine an appropriate seed storage method. Fresh mature seeds of seedlot 1 reached a germination percentage of 38.9% and a mean germination time (MGT) of 56.7 d after incubation under alternating temperatures of 30/20°C (day/night) for 16 wk. However, the germination percentages slightly increased to 47.8 and 44.4%, while emergence was able to occur within 7 wk with MGTs significantly decreasing to 35.3 and 31.7 d after 2 mo of 1 and 4°C stratification, respectively. Fresh mature seeds of seedlot 2 had a germination percentage of 74.3% and an MGT of 73.9 d after the same germination conditions and period. Germination percentages significantly increased to 92.4, 94.3, and 95.2%, while emergence was able to occur within 5 wk with MGTs significantly decreasing to 16.5, 16.6, and 14.0 d after 3 mo of 1, 4, and 10°C stratification, respectively. However, 3 mo of 1, 4, and 10°C stratification completely broke seed dormancy. Fresh mature seeds of *C. brevistyla* were sensitive to desiccation and low temperatures. Most seeds died when the moisture content dropped to about 10%; moreover, they completely lost viability when the moisture content dropped below 5%, and seed germinability rapidly decreased at a storage temperature of -20°C. However, *C. brevistyla* seeds maintained their initial germinability when stored at 1~4°C with moist sphagnum. Thus, seeds of *C. brevistyla* are defined as having temperate-recalcitrant storage behavior. Additionally, the optimal seed storage conditions of *C. brevistyla* are wet storage at 1°C for fresh mature seeds, and the initially germinable seeds still had germinability after 2 yr.

Key words: *Camellia brevistyla*, germination, stratification, seed storage behavior.

Yang JC, Kuo SR. 2017. Germination and storage behavior of seeds of *Camellia brevistyla* (Hay.) Coh.-Stuart. *Taiwan J For Sci* 32(4):267-81.

緒言

植物種子之儲藏性質差異頗大，並不是所有植物的種子都可以長期儲藏，此異質性乃受不同遺傳性質所操控。因此，在天然壽命限制下，只有先天上屬於長壽命之正儲型(orthodox)種子才適合長期保存於種子庫，而達種原保育與利用之目的。

種子儲藏行為(seed storage behavior)最先是

以成熟種子對乾燥的忍耐程度來加以分類，並被區分命名為正儲型與異儲型(recalcitrant)兩大類(Roberts 1973)。正儲型種子能耐乾燥，當種子含水率(moisture content)被降低至5% (鮮重，本文的含水率均以鮮重表示之)時仍不失其活力，而且正儲型種子的儲藏壽命是隨著儲藏溫度與種子內水分含量的降低而延長，這個關係

是可經由數學模式推導預測的(Roberts 1973)。

相對的，異儲型種子非常不耐乾燥，若其含水率降到12~31%以下時，種子活力會隨著脫水程度的增加而持續下降(Roberts 1973)。多種異儲型種子不僅非常不耐旱，甚至對溫度也很敏感，當所處環境溫度低於10~15°C時就容易衰敗死亡，尤其是產於熱帶的異儲型種子(Bonner 1990)，因此，Hong and Ellis (1996)以其對溫度的敏感性將之再區分為溫帶異儲型(temperate recalcitrant)及熱帶異儲型(tropical recalcitrant)兩類。溫帶異儲型種子的特性是不耐乾燥但可以在0°C左右的溫度下儲藏，種子含水率應維持在35~50%間，儲藏期間需維持其呼吸作用，故適當的氣體交流非常重要，在能保持較高含水率及氣體交流的情況下，其壽命可能達到1~3年。而熱帶異儲型種子較溫帶異儲型者更不耐乾燥及低溫，大都不能忍受近零度之低溫，甚而對15~20°C就呈敏感，種子很容易受低溫傷害而喪失活力，故即使保存在較高的種子含水率及良好的氣體交流環境下，可儲藏期亦甚短，因具有活力的種子在高溫條件下於短期內就會發芽，然為延長儲藏時間，以低溫來抑制發芽時，又因臨界值難以確定而常使其活力喪失，故它們是最難達到儲藏目的之種子。熱帶異儲型種子的壽命亦較溫帶異儲型者短，如以龍腦香科樹種種子來看，79種熱帶異儲型樹種中，種子壽命最長的是1年，最短的僅14天(Tompsett 1987, 1989)。

爾後學者對咖啡、木瓜及油棕種子的研究結果顯示這些種子既不屬正儲型亦非異儲型，而將之命名為「中間型」(intermediate)(Ellis et al. 1990a, 1991a, b)。此類種子的特性是能耐乾燥，通常種子含水率可降至6~10%而不失活性，但對低溫敏感，一般在零下溫度儲藏時會迅速喪失活力，故需儲藏在較高的溫度如5~15°C，才能維持其壽命。但爾後陸續發現某些溫帶產的中間型種子頗能耐低溫儲藏，於是將適存溫度在10°C以上者歸為熱帶中間型，而將適存溫度在5°C以下者歸為溫帶中間型。台灣產的林木種子屬中間型種子者有樟樹(*Cinnamomum camphora* (L.) Presl)

(Chien and Lin 1999)、土肉桂(*Cinnamomum osmophloeum* Kanehira) (Lin and Wu 1991)、香桂(*Cinnamomum subavenium* Miq.) (Lin 1996)、大葉釣樟(*Lindera megaphylla* Hemsl.)、小芽新木薑子(*Neolitsea parvigemma* (Hay.) Kanehira & Sasaki) (Lin 1996)、香葉樹(*Lindera communis* Hemsl.) (Chien et al. 2004)、櫟木(*Zelkova serrata* (Thunb.) Makino) (Yang et al. 2007)、茄苳(*Bischofia javanica* Blume) (Yang et al. 2006)等。中間型種子最適當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，此即Hong and Ellis (1996)再將之區分為熱帶與溫帶中間型之故。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(*Araucaria columnaris* (Forst.) Hook.) (Tompsett 1984)、檸檬(Hong et al. 2001)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. 1990a, 1991a, Hong and Ellis 1992, 1995, Dussert et al. 1999, Eira et al. 1999)、印度棟(*Azadirachta indica* A. Juss.) (Gamene et al. 1996, Hong and Ellis 1998, Nayal et al. 2000)、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)、野棗椰(*Phoenix reclinata* Jacquin) (von Fintel et al. 2004)等各種種子屬之。

山茶屬植物(*Camellia* spp.)在全球有200餘種，主要分布於東亞地區，中國有170餘種，大部分分布在長江流域以南丘陵地。本屬植物的茶籽幾乎均可榨油，茶籽可供榨油的山茶種即通稱為油茶。本種即台灣俗稱的小果油茶，小果油茶過去一直以細葉山茶(*C. tenuifolia* (Hayata)

Coh.-Stuart)為其學名，然長久以來多有學者認為細葉山茶與短柱山茶難以明確分辨，直到Su et al. (2012)以傳統數示分類學探討分析此兩種的分類關係，結果顯示此兩種的形態變異高度重疊且呈連續性的變異，故應處理為同種，並以發表的先後順序，應將此兩種合併處理為*C. brevistyla*，故小果油茶目前的學名應以短柱山茶(*C. brevistyla* (Hay.) Coh.-Stuart)為適當。短柱山茶為常綠小喬木，樹高可達7公尺，產於台灣、福建、浙江、江西、廣東、廣西、安徽等地，在台灣生於中低海拔山區(Hsieh et al. 1996)。蒴果呈球形，徑約1.5~2 cm，熟時呈褐色，台灣北部栽植木的果熟期為每年10~11月，通常每果只1種子，但近年所獲的栽培果實常有2~4粒種子者，球形種子徑約1.0~1.5 cm。

過去有關短柱山茶種子的正式研究報導闕如。本研究期能以較精細的試驗設計，來明瞭此種種子的發芽特性及儲藏行為，以作為未來建立其育苗造林體系之基本資料。

材料與方法

一、果實採集與處理

本研究供試的2批短柱山茶種子均採於新竹縣峨眉鄉海拔約220 m之茶籽園，第1批短柱山茶種子於2009年10月19日與28日分二次採收，果實採收時種殼均已呈成熟之黃褐色(Fig. 1)，約有15%果實已稍裂開而露出深褐色種子(Fig. 1)，在約28°C；相對濕度約38%的環境下，經約1日之

電扇吹拂即可使果實完全裂開，之後以網篩過濾及風選等作業來過濾汰除雜質以獲得純淨種子。第2批種子採於2011年10月26~28日，果實採收時種殼均已呈成熟之黃褐色，約有25%果實已稍裂開而露出深褐色種子，在28~30°C；相對濕度約40~50%的環境下，經約2~4日之陰乾，使果實緩慢逐漸裂開，隨即以網篩過濾及風選等作業來過濾汰除雜質以獲得純淨種子。此2批果實每果種子大多為1~3粒，罕為4~6粒者。因短柱山茶種子的空粒率甚低，水選時幾乎無浮水空粒，故僅淘汰小粒與外表破損之種子，隨即將篩選後所得的優良種子進行試驗。第1批種子最後獲得的優良種子為34.5公升，重16.6 kg，約17,594粒，每公升平均粒數為554±10粒，千粒重平均為941.0±12.8 g(種子含水率為19.1%)，種子平均長度為14.4±1.6 mm，寬度為13.5±1.3 mm，厚度為10.5±2.2 mm。第2批種子數量很多，挑選優良種子14公升，重7.4 kg，約8390粒以進行本研究；本批種子每公升平均粒數為659±27粒，千粒重平均為882.1±13.5 g(種子含水率為23.3%)，種子平均長度為15.2±1.3 mm，寬度為14.3±1.1 mm，厚度為10.2±2.1 mm。

二、種子含水率測定

每處理之含水率測定均作4重複，每重複隨機取5粒飽滿種子，每粒種子均切成4 mm以下小塊後進行103°C、17小時之烘乾，以鮮重與乾重差計算種子含水率(moisture content)，並以鮮重表示之(International Seed Testing Association, 1999)。



Fig. 1. Mature fruits and seeds of *Camellia brevistyla*.

三、發芽方法

以剪細之水苔為介質，將種子與水草在PE封口塑膠袋內均勻混合，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。所採用的封口塑膠袋為6號袋(17×12 cm、厚度0.04 mm)。2種子之各不同處理的發芽試驗均作3重複，每重複之種子數第1批為30粒，第2批則為35粒，以一般林木種子採用的30/20°C變溫、8小時光照(50~80 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$)條件下進行。以胚根突出10 mm視為發芽，發芽期為16週，期間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，如此使乾燥種子緩慢吸水，目的在避免種子發芽時可能造成之浸潤傷害(imbibition damage) (Ellis et al. 1990b)。

四、低溫濕藏(層積)處理

將種子混以洗淨握乾之水苔，水苔與水比值約100/390 (w/w)，以封口塑膠袋(6號袋)分別包裝後置於1、4及10°C進行濕藏(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個月進行補充適量水份並更換袋內空氣一次。第1批試材在為期24個月(1°C)與36個月(4°C)的濕藏期間，分別於儲藏0、1、2、4、6、9、12、18、24及36個月等9個(1°C)與10個(4°C)觀測時間點進行發芽試驗。第2批試材則是在為期24個月的1、4與10°C濕藏期間，分別於儲藏0、3、6、12、18及24個月等5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此2批種子之儲藏效果。

五、乾藏種子之含水率控制與試驗設計

本研究第1批新鮮種子含水率為19.1±1.3%，將此批種子在15°C環境下，以內置分子篩(molecular sieve)的風扇式乾燥機來使種子脫水，以獲得2~12%間呈不同等級含水率的次種子組(sub-seedlot)。本批種子控制所得之四種等級含水率分別是：2.7±0.2% (乾燥約29

日)、5.0±0.5% (乾燥8.7日)、8.3±0.3% (乾燥7.3日)、10.5±0.5% (乾燥1.3日)。在確定上述四級次種子組含水率符合期望值後立刻以雙層鋁箔袋分裝密封，分別儲藏於-196、-20、4及15°C等四種溫度，於儲藏經0、3、6、9、12、18、24、36個月等8個儲藏時間觀測點後進行發芽試驗，以檢定種子發芽率。另因考慮本種若為不耐乾燥的非正儲型種子，為瞭解低溫乾藏對本種新鮮種子之儲藏效果，故將含水率19.1%的新鮮種子直接密封儲藏在1°C與4°C，經0、1、2、4、6、9及12個月等7個觀測時間點後進行發芽試驗。

第2批新鮮種子含水率為23.3±2.8%，將此批種子在15°C環境下，一樣以內置分子篩的風扇式乾燥機來使種子脫水，以獲得約9~24%間呈不同等級含水率的次種子組。本批種子控制所得之四種等級含水率分別是：8.9±0.3% (乾燥約33小時)、14.3±0.9% (乾燥10小時)、18.0±1.3% (乾燥4.5小時)、23.3±2.8% (未乾燥)。在確定上述四級次種子組含水率符合期望值後立刻以雙層鋁箔袋分裝密封，分別儲藏於-20、1、4及10°C等四種溫度，在-20°C儲藏經0及10日等2個儲藏時間觀測點，而1、4及10°C儲藏者於0、3、6、12與18個月等5個儲藏時間觀測點後進行發芽試驗，以檢定種子發芽率。

六、發芽速度之計算

以平均發芽日數來探討種子的發芽速度，本研究除低溫層積處理期間自行發芽的種子有沒有納入發芽速率的計算外，其餘各處理種子的發芽所需日數平均值即平均發芽日數，其計算公式為(Hartmann et al. 1989)：

$$\text{平均發芽日數}(\text{mean germination time, MGT}) = \sum (n \times d) / N;$$

n：每日所獲發芽粒數，

d：播種後起算至發芽之日數，

N：發芽總粒數。

七、統計分析

將經不同儲藏溫度、種子含水率與儲藏時間處理後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影響。所用之統計分析軟體是SAS之變異數分析中的ANOVA與GLM程序。

結果

一、第1批

(一) 新鮮種子的發芽

第1批新鮮種子立即以30/20°C變溫經16週之發芽期，所得的發芽率為 $38.9 \pm 6.3\%$ ，且平均發芽日數高達 56.7 ± 3.7 日(Fig. 2)，種子在第4~16週零散發芽(Fig. 3◆)。即使將發芽期延長至28週其發芽率也只有 $42.2 \pm 6.3\%$ ，然剪開未發芽種子後發現仍有部分種子之種仁均呈健康狀態，推斷這些種子仍處於休眠狀態。因1與4°C層積2~12個月後能使本批種子休眠性解除(Figs. 2, 3)，將這些發芽結果數據合併計算所得之平均發芽率為 $44.9 \pm 10.4\%$ ，故以此數值作為本批種子的起始活度(initial viability)。

(二) 低溫濕藏(層積)對發芽的效應

本批短柱山茶種子在經1°C層積1個月後

之發芽率為58.9%，較新鮮種子發芽率(38.9%)提高，但未呈顯著差異($p > 0.05$)，當1°C層積2~24個月後之發芽率為36.7~47.8%(Fig. 2)，與新鮮種子發芽率未呈顯著差異。另本批種子在1°C濕藏12~24個月期間，約有6%種子會在此無光低濕的環境下自行發芽，且具有活力的種子會在儲藏24~36個月期間全部自行發芽，然儲藏超過24個月後其發芽率會稍降至30.0%，但未呈顯著差異($p > 0.05$)。由上結果顯示，1°C層積不能顯著有效提升本批種子的發芽率，且可知本批種子在1°C濕藏時，於24個月內其種子活力並未顯著衰減。

相似地，4°C層積亦無法有效提升其發芽率，經層積1~12個月後之發芽率為35.6~56.7%(Fig. 2)，與新鮮種子發芽率未呈顯著差異($p > 0.05$)。然本批種子在4°C濕藏9個月後開始會在此無光低濕的環境下自行發芽，且在儲藏9~24個月期間，具有活力的種子會全部自行發芽(Fig. 3)。因此，4°C層積不能有效提升本批種子的發芽率，且可知本批種子在4°C濕藏時，於9個月內其種子活力並未顯著衰減，但在4°C濕藏9個月後會開始在黑暗環境下自行發芽。

再以發芽速度來探討1°C與4°C低溫層積對

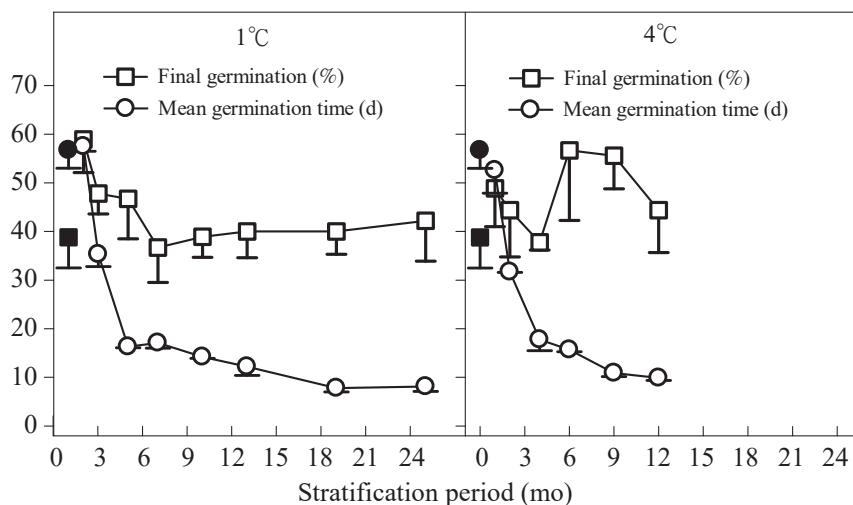


Fig. 2. Effects of 0~12 mo of 1 and 4°C stratification on germination percentages and mean germination times of seeds of seedlot 1. Filled squares (■) and circles (●) respectively represent the germination percentage and mean germination time of fresh mature seeds. Vertical bars represent the mean \pm standard error.

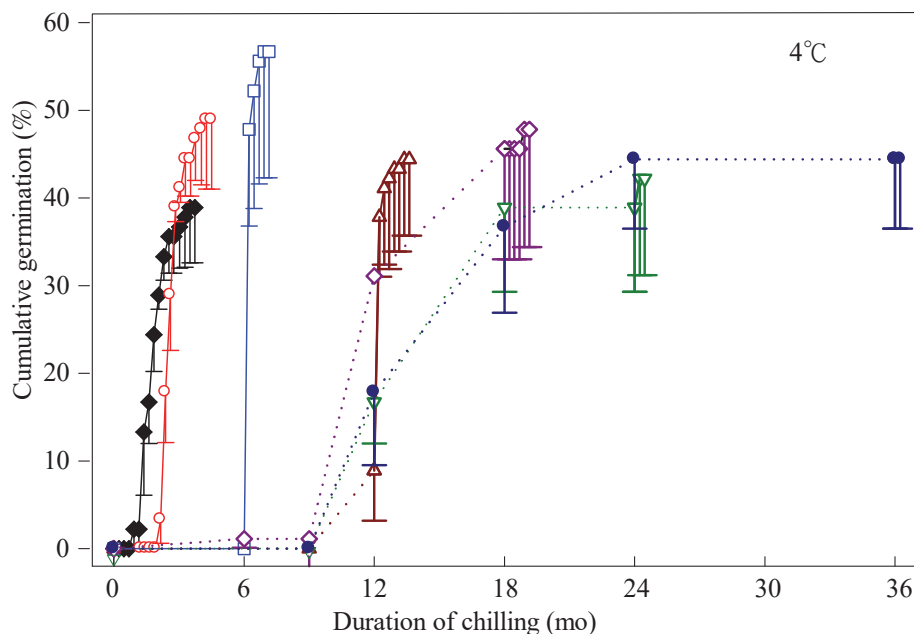


Fig. 3. Cumulative germination percentages of seeds of seedlot 1 at 4°C moist stratification for 0~36 mo (○, 2 mo; □, 6 mo; △, 12 mo; ◇, 18 mo; ▽, 24 mo; ●, 36 mo). Dotted lines (---) represent the cumulative germination percentages in the dark with 4°C moist stratification, while solid lines (—) represent the cumulative germination percentages at fluctuating temperatures of 30/20°C with 8 h of light after moist stratification. Filled diamonds (◆) represent the cumulative germination of fresh mature seeds. Vertical bars represent the standard error of the mean.

短柱山茶種子發芽的促進效果。本批種子經1°C層積1個月後的平均發芽日數仍高達57.5日(Fig. 2)，與新鮮種子者(56.7日)未呈顯著差異，顯示其種子休眠仍未被解除；種子經層積2個月後的平均發芽日數顯著降至35.3日($p < 0.005$)，層積4~12個月後之平均發芽日數再顯著降低為12.2~17.1日($p < 0.0001$)，層積18、24個月後之平均發芽日數再顯著降低為7.8~8.1日(Fig. 2)。而4°C層積對發芽速度的提升情形與1°C層積者相近，層積1個月後的平均發芽日數仍高達52.6日(Fig. 2)，與新鮮種子者未呈顯著差異；種子經濕藏2個月後的平均發芽日數顯著降至31.7日($p < 0.005$)，濕藏4~12個月後之平均發芽日數再顯著降低為9.9~17.8日($p < 0.0001$) (Fig. 2)，爾後濕藏9個月後開始大量自行發芽(Fig. 3)。

水率後的發芽率均為0%，顯示本種種子不耐乾燥，因此，原來乾藏試驗設計之3~36個月的儲藏試驗就此結束。未經乾燥處理的新鮮種子(含水率19.1%)在1與4°C經0~12個月之儲藏，其發芽率及平均發芽日數之變化見Fig. 4，當種子儲藏在1°C經1及2個月後，發芽率為48.9與46.7%，種子活力並未顯著下降($p > 0.1$)，但儲藏4個月後發芽率驟降至11.1%，6個月後死亡殆盡(Fig. 4)。當未經乾燥的新鮮種子儲藏在4°C時，種子活力的衰敗趨勢與儲藏在1°C者有相近的趨勢，儲藏經1與2個月後，活力並未顯著下降(發芽率為51.1與40.0%) ($p > 0.1$)，儲藏4個月後發芽率驟降至13.3%，6個月後完全喪失活力(Fig. 4)。

二、第2批

(三) 不同含水率與儲藏溫度對發芽率之影響

本批種子經乾燥控制成2.7~10.5%等四級含

(一) 新鮮種子的發芽

第2批新鮮種子立即以30/20°C變溫經16週

之發芽期，所得的發芽率為 $74.3 \pm 4.0\%$ ，且平均發芽日數高達 73.9 ± 2.0 日(Fig. 5)，種子在�第4~16週零散發芽(Fig. 6◆)。即使將發芽期延長至24週其發芽率也只稍上升至 $81.0 \pm 4.9\%$ ，然剪開未發芽種子後，發現絕大部分種子之種仁均呈健康狀態，故推斷這些種子仍處於休眠狀態。因本批種子經1、4與 10°C 層積經2個月以上均能完全解除種子休眠(Figs. 5~7)，故將這些發芽結果數據合併計算所得之平均發芽率為 $92.1 \pm 7.6\%$ ，以此數值作為本批種子的起始活度。

(二) 低溫濕藏(層積)對發芽的效應

本批種子在經 1°C 層積3個月後之發芽率為 92.4% ，較新鮮種子發芽率(74.3%)顯著提高($p < 0.01$)，當 1°C 層積6~24個月後之發芽率為 $93.3\sim 97.1\%$ (Fig. 5)，與新鮮種子發芽率均呈顯著差異($p < 0.01$)。再以發芽速度來探討 1°C 低溫層積對本批種子發芽的促進效果，當經 1°C 層積3個月後的平均發芽日數為16.5日(Fig. 5)，與新鮮種子者(73.9日)呈顯著差異($p < 0.0001$)，且具有活力種子可在5週內發芽完畢，顯示其種子休眠已被解除；種子經層積6個月後的平均發芽日數

再顯著降至11.4日，層積12~24個月後之平均發芽日數則維持在 $10.9\sim 12.1$ 日(Fig. 5)。上述結果顯示 1°C 層積能有效提升本批種子的發芽率及發芽速度，且層積3個月後即能達到完全解除種子休眠之效果。另可知本批短柱山茶種子在 1°C 濕藏經24個月後，種子活力完全未衰減(Fig. 5)。

相似地， 4°C 層積亦能有效提升本批種子的發芽率，層積3個月後發芽率顯著提高為 94.3% ($p < 0.01$)，6個月後發芽率亦顯著提高為 95.2% ($p < 0.01$) (Fig. 5)，然在 4°C 層積的6~12個月期間，會開始有少量種子(佔起始活度的 21.4%)在此無光濕冷的環境下自行發芽(Fig. 6)；當層積時間延長至18個月時，在層積的6~18個月期間則累積有 60.4% 種子自行發芽；當層積時間再延長至24個月時，則具有活力的種子會完全自行發芽(Fig. 6)。而本批種子經 4°C 層積3個月後的平均發芽日數顯著降低至16.6日($p < 0.0001$) (Fig. 5)，且絕大多數具有活力種子可在4週內發芽完畢，顯示其種子休眠已被解除；種子經層積6個月後的平均發芽日數再顯著降至9.2日(Fig. 5)。由上結果可知， 4°C 層積能有效提升本批種子的發芽率及發芽速

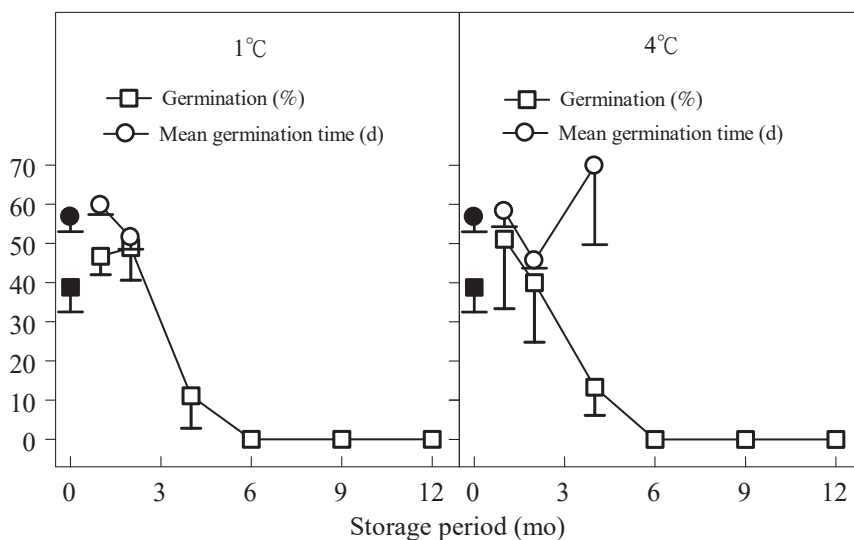


Fig. 4. Effects of 0~12 mo of 1 and 4°C storage on germination percentages and mean germination times of seeds of seedlot 1. Filled squares (■) and circles (●) respectively represent the germination percentage and mean germination time of fresh mature seeds. Vertical bars represent the mean \pm standard error.

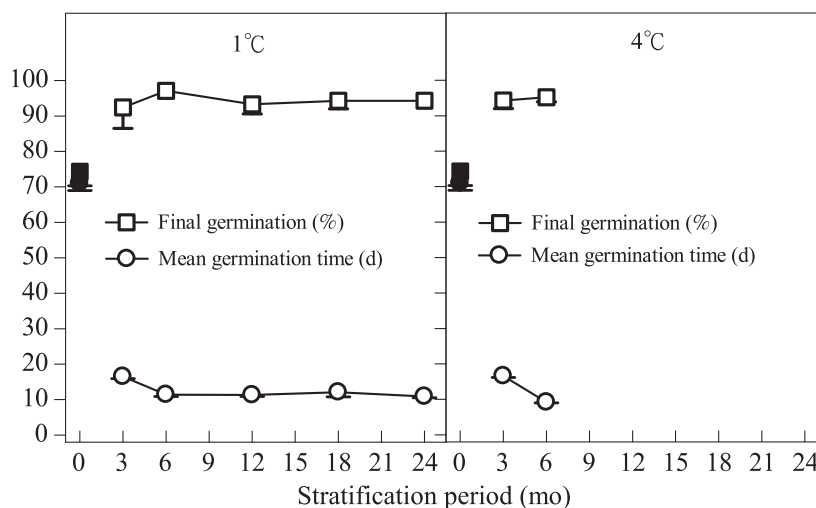


Fig. 5. Effects of 0~24 months of 1 and 4°C stratification on germination percentages and mean germination times of seeds of seedlot 2. Filled squares (■) and circles (●) respectively represent the germination percentage and mean germination time of fresh mature seeds. Vertical bars represent the mean ± standard error.

度，且可知本批種子在4°C濕藏時，其種子活力於6個月內不會下降，但濕藏超過6個月後種子會開始在此無光濕冷的環境下發芽，且在24個月內就會完全發芽完畢。

當本批種子在10°C層積時，層積3個月後發芽率顯著提高為95.2% ($p < 0.01$) (Fig. 7)，然當層積時間至3個月之後種子會開始自行發芽，在層積3~4個月期間累積有4.8%種子自行發芽，在層積的3~5個月期間則累積有44.8%種子發芽，當層積時間再延長至6個月時，具有活力的種子會全部發芽(Fig. 7)。而本批種子經10°C層積3個月後的平均發芽日數顯著降低至14.0日 ($p < 0.0001$)，且具有活力種子均會在播種後的第8~14日內發芽完畢，種子休眠已完全被解除。因此，10°C層積3個月亦能有效提升本批種子的發芽率及發芽速度，但濕藏超過3個月後種子會開始在此黑暗環境發芽，6個月內就會完全發芽完畢(Fig. 7)。

(三) 不同含水率與儲藏溫度對發芽率之影響

將本批種子含水率控制為8.9~23.3%，在0~24個月乾藏期間，各級含水率與不同儲藏溫度對發芽率的影響見Fig. 8。四級含水率種子在乾燥控制剛完成後之發芽率分別是 $22.9 \pm 4.0\%$

(含水率8.9%)、 $84.8 \pm 3.6\%$ (含水率14.3%)、 $97.1 \pm 4.0\%$ (含水率18.0%)與 $94.3 \pm 2.3\%$ (含水率23.3%)，僅含水率8.9%者與新鮮種子之起始活度(92.1%)呈顯著差異($p < 0.0001$)，其餘較高三級含水率的種子發芽率彼此間或與起始活度相較後，均未呈顯著差異($p > 0.05$)。

當種子儲藏在-20°C時，四級含水率種子在儲藏10日後全部死亡殆盡。

當種子儲藏在1°C時，含水率8.9%者在儲藏6個月內發芽率(20.0%)與乾燥剛完成時的發芽率(22.9%)相較並未顯著下降($p > 0.5$)，在儲藏12個月後發芽率顯著下降到7.6% ($p < 0.03$)，儲藏18個月後完全喪失活力(Fig. 8)。而含水率14.3%者在儲藏3個月後發芽率(76.2%)與新鮮種子之起始活度(92.1%)相較並未顯著下降($p > 0.05$)，但在儲藏6個月後發芽率顯著下降到47.6% ($p < 0.03$)，於12個月後死亡殆盡。含水率18.0%者在儲藏3個月後發芽率(91.4%)與新鮮種子之起始活度相較並未顯著下降($p > 0.5$)，但在儲藏6個月後發芽率顯著下降到27.6% ($p < 0.001$)，於12個月後完全喪失活力。含水率23.3%者在儲藏3個月後發芽率(86.7%)與新鮮種子之起始活度相較後亦未顯著下降($p > 0.3$)，

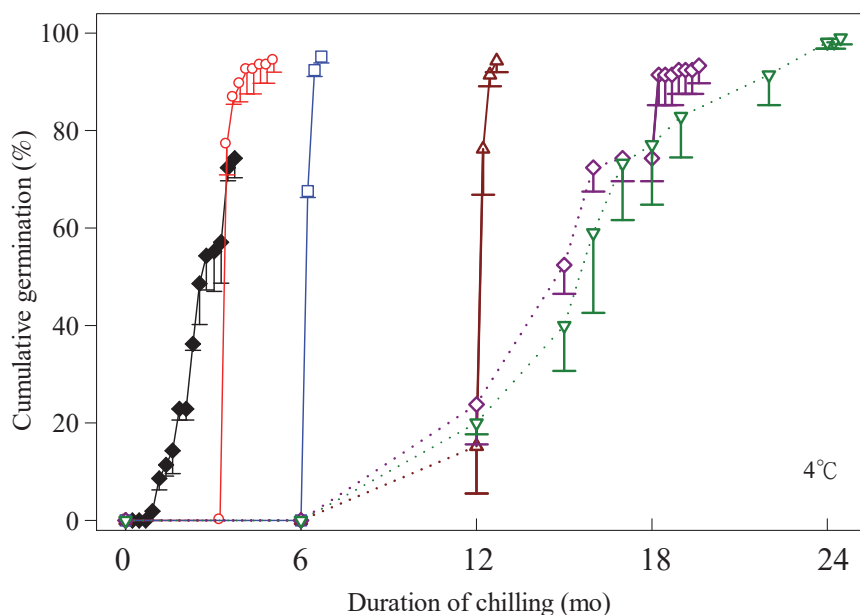


Fig. 6. Cumulative germination percentages of seeds of seedlot 2 at 4°C moist stratification for 0~24 mo (○, 3 mo; □, 6 mo; △, 12 mo; ◇, 18 mo; ▽, 24 mo). Dotted lines (---) represent the cumulative germination percentages in the dark with 4°C moist stratification, while solid lines (—) represent the cumulative germination percentages at fluctuating temperatures of 30/20°C with 8 h of light after moist stratification. Filled diamonds (◆) represent the cumulative germination of fresh mature seeds. Vertical bars represent the standard error of the mean.

但在儲藏6個月後發芽率顯著下降到55.2% ($p < 0.01$)，於12個月後也是全數死亡(Fig. 8)。以上數據顯示，當本批種子於1°C乾藏時，含水率14.3~23.3%的種子之活力下降趨勢相近，都是在儲藏6個月後活力呈現顯著下降，到12個月時活力盡失。

當種子儲藏在4°C時，含水率8.9%者在儲藏6個月後，其發芽率(15.2%)與乾燥剛完成時的發芽率(22.9%)並未呈顯著差異($p > 0.05$)，在儲藏12個月後發芽率再稍降到12.4%，但仍未呈顯著下降($p > 0.05$)，但至儲藏18個月後則完全喪失活力(Fig. 8)。含水率14.3%者在儲藏3個月後發芽率(68.6%)與新鮮種子之起始活度(92.1%)相較並未顯著下降($p > 0.05$)，但在儲藏6個月後發芽率則顯著下降到45.7% ($p < 0.03$)，於12個月後幾乎死光(發芽率1.9%)。含水率18.0%者在儲藏3個月後發芽率(81.0%)與新鮮種子之起始活度相較並未顯著下降($p > 0.1$)，但在儲藏6個月後發芽率顯著下降到37.1%

($p < 0.001$)，於12個月後完全喪失活力。含水率23.3%者在儲藏3個月後發芽率(95.2%)與新鮮種子之起始活度相較後亦未有差異($p > 0.3$)，但在儲藏6個月後發芽率顯著下降到41.0% ($p < 0.01$)，於12個月後全數死亡(Fig. 8)。以上數據顯示，當本批種子在4°C乾藏時，四級含水率種子的活力下降趨勢與儲藏在1°C者非常相似，含水率14.3~23.3%的種子都是在儲藏3個月之後活力開始顯著下降，在儲藏6個月時呈現顯著差異，到12個月時種子即全數死亡(Fig. 8)。

當種子儲藏在10°C時，含水率8.9%者在儲藏6個月後，其發芽率(9.5%)與乾燥剛完成時的發芽率並未呈顯著差異($p > 0.05$)，但至儲藏12個月後則幾乎完全喪失活力(發芽率1.9%) (Fig. 8)。含水率14.3%者在儲藏3個月後其發芽率(64.6%)並未顯著下降($p > 0.05$)，但在儲藏6個月後發芽率顯著下降到17.1%，於12個月後完全死亡。含水率18.0%者在儲藏3個月後發芽率顯著下降到32.4% ($p < 0.01$)，於6個月後活力完全

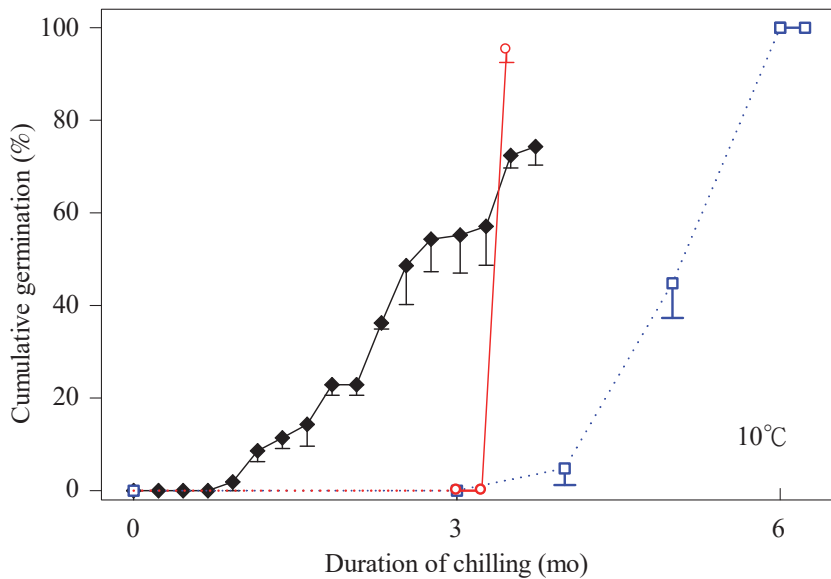


Fig. 7. Cumulative germination percentages of seeds of seedlot 2 at 10°C moist stratification for 0~6 mo (○, 3 mo; □, 6 mo). Dotted lines (---) represent the cumulative germination percentages in the dark with 4°C moist stratification, while solid lines (—) represent the cumulative germination percentages at fluctuating temperatures of 30/20°C with 8 h of light after moist stratification. Filled diamonds (◆) represent the cumulative germination of fresh mature seeds. Vertical bars represent the standard error of the mean.

喪失。含水率23.3%者在儲藏3個月後發芽率顯著下降到33.3% ($p < 0.01$)，於6個月後活力完全喪失(Fig. 8)。由上可知，當本批種子在10°C乾藏時，四級含水率種子的活力下降趨勢較儲藏在1與4°C者為快(Fig. 8)。

討論

本研究結果顯示成熟的短柱山茶種子經1、4或10°C層積3個月後均能完全解除其休眠性(Figs. 5~7)，雖在第1批種子的結果呈現1及4°C層積不能顯著提升其發芽率，然確實能顯著降低平均發芽日數(Fig. 2)，此結果極可能是因為第1批種子的起始活度(44.9%)不夠高，而導致在統計數據上無法呈現出顯著效應。相對的，當具有高起始活度的第2批種子，低溫層積對提升發芽率的效應就能很明確的反應出來，而不是僅在發芽速度的提升有所表現。上述結果顯示短柱山茶種子的休眠特性與茶樹(*C. sinensis*)

頗為相似，後者需經5~10°C層積至少經3週以解除休眠(Young and Young 1992)。而日本山茶(*C. japonica*)與*C. sasanqua*的發芽前處理通常是在低溫層積中直到胚根突出後再取出育苗(Young and Young 1992)，另日本山茶將種胚切下以1000 ppm的GA浸泡24小時後，於培養基中可在6日內全數發芽(Dirr and Heuser 1987)。

本研究結果顯示低溫層積能解除短柱山茶的種子休眠，第2批種子約有19.3%種子具深度休眠性，經10°C低溫層積3個月後即能顯著提高第2批種子的發芽率及發芽速度(Fig. 7)，使種子在2週內全部發芽完成，然在此黑暗潮濕環境下，3個月後種子會開始自行發芽，且在濕藏3~6個月期間，具有活力的種子會全部在此黑暗環境中自行發芽(Fig. 7)。因此，當要對短柱山茶種子進行超過3個月的保存時，10°C低溫濕藏並非良好方法，但若為3個月內之短期儲藏，並配合促進種子發芽之考量，則10°C低溫濕藏是相當適宜的暫存方式。

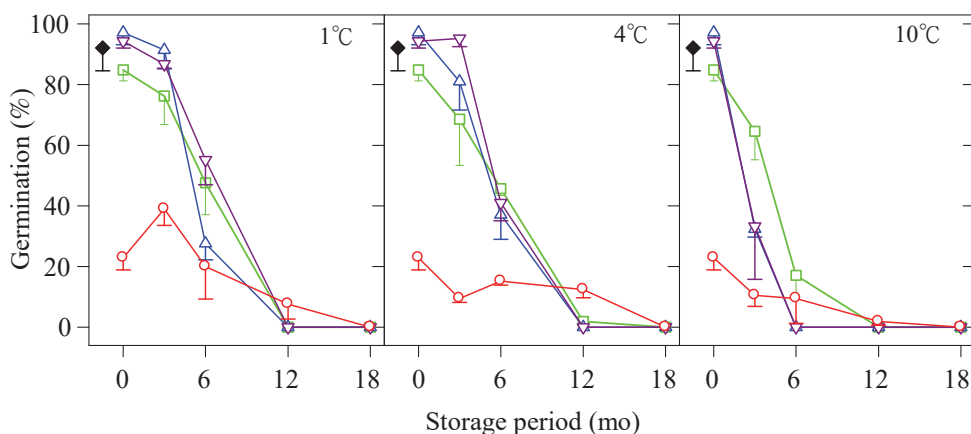


Fig. 8. Effects of storage temperatures (1, 4, and 10°C) and moisture contents (8.9~23.3%, on a fresh-weight basis) on the germination percentage of seeds of seedlot 2 stored for up to 18 mo. Survival of seeds at the 4 moisture contents significantly differed ($p < 0.0001$). The estimated initial viability of fresh mature seeds was $92.1 \pm 7.6\%$ (◆). Moisture contents of seeds: ○, $8.9 \pm 0.3\%$; □, $14.3 \pm 0.9\%$; △, $18.0 \pm 1.3\%$; ▽, $23.3 \pm 2.8\%$. Vertical bars represent the standard error of the mean.

4°C 低溫層積也能完全解除第2批種子的休眠，層積3個月後即能顯著提高發芽率及發芽速度(Fig. 5)，使種子約在9週內全部發芽完成，然在此黑暗潮濕環境下，種子會在儲藏6個月後開始自行發芽，且在濕藏6~24個月間全部在此黑暗環境中自行發芽(Fig. 6)。因此，若為6個月內的儲藏，4°C 低溫濕藏是相當適宜的暫存方法，且能有效解除種子休眠。

1°C 低溫層積一樣能完全解除第2批種子的休眠，層積3~24個月後均能顯著提高發芽率及發芽速度(Fig. 5)，使種子約在5週內全部發芽完成，且在濕藏24個月後活力完全不降，在2年的低溫濕藏期間完全沒有自行發芽的現象發生(Fig. 5)。因此，若為2年內的儲藏，1°C 低溫濕藏是相當適宜的儲存方法，且能完全解除種子休眠。

1及4°C 層積無法使第1批種子的發芽率有所提升，且在低溫濕藏時活力有稍降之趨勢(Fig. 2)，此結果與第2批者有所不同，其原因可能是我們在脫果殼時過度快速乾燥使本批新鮮種子含水率降低到19.1%，而使約一半的種子遭到乾燥傷害而死亡，使得起始活度只有44.9%，不僅終使低溫層積對發芽率提升的效應難以顯現出來，更導致該批種子的儲藏壽命

相對地較低。

本研究結果顯示短柱山茶種子對零下低溫非常敏感，如第2批種子(含水率8.9~23.3%)於-20°C 儲藏在10天內就死亡殆盡，此顯示其種子儲藏性質非屬正儲型。另短柱山茶種子不耐乾燥，當種子含水率被降至10%以下時活力幾乎完全喪失，且其種子之不耐乾旱性亦不高，當第1批新鮮種子含水率剛被調控至10.5%時，種子均已死亡，此結果顯示其亦不符合中間型種子之定義(Hong and Ellis 1996)，再以其能在1°C 濕藏經2年而活力不墜，因此判斷短柱山茶種子屬於溫帶異儲型。本研究結果顯示短柱山茶的種子雖不耐乾旱，但當種子含水率降至約15%時，大部分的種子均存活，再降至9~10%時才會讓大部分種子衰敗死亡，此有別於一般的異儲型種子在含水率降至15%時就活力盡失，故嚴格來講，短柱山茶種子為比較耐旱的異儲型種子。

短柱山茶種子很不耐旱，無法乾燥儲藏，本研究顯示儲藏短柱山茶種子的最好方法是1°C 濕藏，於2年內可以維持原有活力且不會自行發芽。

異儲型種子多為產於熱帶及亞熱帶地區之肉質果大粒種子，山茶屬植物的種子儲藏性質

被明確研究發表者甚少，如茶樹(*C. sinensis*)種子屬不耐乾燥的異儲型(Berjak et al. 1993, Chandel et al. 1995)，本研究的短柱山茶亦是，依此推論山茶屬種子可能多為不耐旱，故建議山茶屬植物在育苗前的處理應切忌讓種子過度乾燥而使其迅速喪失活力。

結論

- 一、短柱山茶的種子以10、4及1°C層積經3個月均能完全解除其休眠性，低溫濕藏能促使不易發芽的種子順利完成發芽，且能提高發芽速率，使種子集中在5週內整齊發芽。然10與4°C濕藏並非長期儲藏短柱山茶種子的良方，因種子在此濕冷且黑暗的環境下分別在3與6個月後會開始自行發芽，但若為6個月內之短期儲藏並配合促進種子發芽之考量，4~10°C低溫濕藏是相當適宜的暫存方式。
- 二、短柱山茶種子不耐乾燥，當含水率被降至約10%時大部分種子已衰敗死亡，含水率再降至5%以下後則大部分種子均已死亡，且其對零下低溫非常敏感，故屬短壽命的異儲型種子，而以其能耐1~4°C的特性，故將其歸類為溫帶異儲型。
- 三、儲藏短柱山茶種子的最好方法是以1°C濕藏之，於2年內活力不墜且不會在濕藏環境中發芽。

謝誌

感謝新竹縣峨眉鄉大地農場鄭文震先生與陳鐸元先生提供試驗材料，另感謝李瓊美、江則誼、沈慧娥、江潔茹(國瑤)、李淑梅、竺士偉、湯婉婷、黃婉婷、張鈞惠、張靈慧及蘇曼樂等諸君協助種子處理、發芽試驗及資料整理等工作。

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.

Berjak P, Vertucci CW, Pammenter NW. 1993. Effects of developmental status and dehydration rate on characteristics of water and desiccation-sensitivity in recalcitrant seeds of *Camellia sinensis*. *Seed Sci Res* 3:155-66.

Bonner FT. 1990. Storage of seeds: potential and limitations for germplasm conservation. *For Ecol Manage* 35:35-43.

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].

Chandel KPS, Chaudhury R, Radhamani J, Malik SK. 1995. Desiccation and freezing sensitivity in recalcitrant seeds of tea, cocoa and jackfruit. *Ann Bot (Lond)* 76:443-50.

Dirr MA, Heuser CW. 1987. The reference manual of woody plant propagation. Athens, GA: Varsity Press. p 123-4.

Dussert S, Chabrillange 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. *Rev Brasil Fisiol Vegetal* 11:97-105.

Ellis RH, Hong TD, Roberts EH. 1990a. An intermediate category of seed storage behaviour? *J Exp Bot* 41:1167-74.

Ellis RH, Hong TD, Roberts EH. 1990b.

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. 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.

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.

Hartmann HT, Kester DE, Devies ET. 1989. Plant propagation: principals and practices. 5th ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 647 p.

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 (IPGRI). 62 p.

Hong TD, Ellis RH. 1998. Contrasting seed storage behaviour among different species of Meliaceae. *Seed Sci Technol* 26:77-95.

Hsieh CF, Ling LK, Yang KC. 1996. Theaceae. In: Editorial Committee of the Flora of Taiwan. Flora of Taiwan. 2nd ed, Vol. 2, Taipei, Taiwan: Department of Botany, National Taiwan Univ. p 662-93.

International Seed Testing Association (ISTA). 1999. International rules for seed testing. Rules 1999. *Seed Sci Technol* 27(Suppl):1-333.

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].

Lin TP, Wu JS. 1991. Storage and germination of seeds of Lauraceae--*Cinnamomum osmophloeum* Kanehira and *Litsea acuminata* (Bl.) Kurata. Taiwan For Res Inst New Series 6(4):339-44. [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.

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

Su MH, Hsieh CF, Wang JC, Tsou CH. 2012. A taxonomic study of *Camellia brevistyla* and *C. tenuiflora* (Theaceae) based on phenetic analyses. *Bot Stud* 53:275-82.

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. 1987. A review of literature on storage of dipterocarp seeds. In: Proceedings International Symposium. Forest Seed Problems in Africa. Umea, Sweden: Department Forest Genetics, Swedish Univ. Agriculture Science. p 348-65.

Tompsett PB. 1989. Predicting the storage life of orthodox tropical forest tree seeds. Turnbull

JW, editor. Tropical tree seed research. ACIAR proceeding No. 28. Canberra, Australia: Australian Centre for International Agricultural Research. p 93-8.

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, Kuo SR, Lin TP. 2007. Intermediate storage behaviour and the effect of prechilling on germination of Japanese Zelkova (*Zelkova serrata*) seeds. *Seed Sci Technol* 35: 99-110.

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. [in Chinese with English summary].

Young JA, Young CG. 1992. Seeds of woody plants in North America. Portland, OR: Dioscorides Press. p 360.

