

## 研究報告

## 木蘭科烏心石與華蓋木種子發芽休眠之研究

陳舜英<sup>1)</sup> 陳芬蕙<sup>1)</sup> 黃裕星<sup>2)</sup> 何政坤<sup>1)</sup> 簡慶德<sup>1,3)</sup>

## 摘 要

木蘭科烏心石與華蓋木種子有休眠性，苗圃播種後發芽率低，且發芽不一致。本研究目的確定此二樹種種子發芽所需條件，提供有效的方法生產種苗。採自台灣中部出雲山和烏石坑新鮮的烏心石種子，在變溫25/15、20/10、15/5°C及光照下發芽率80~90%最高，其他較高溫度如30/20、30/15°C和定溫25°C的發芽率都較低。然而，採自中國雲南的華蓋木種子除了15/5°C外，其他上述五種溫度之發芽率都在30~40%，沒有顯著差異。解剖種子發現，烏心石與華蓋木種子胚都很小，胚根突破種皮之前，胚在種子內生長，當長度分別增加至2.5和2.6倍時發芽，因此胚生長快慢反應種子的發芽速度。烏心石種子開始發芽時間是在播種後3~4星期，且溫度影響發芽，由此判斷具有形態生理的休眠。低溫5°C層積處理8~12星期或激勃素處理都能促進烏心石種子的發芽。總結是烏心石種子有淺度簡單級的形態生理休眠。華蓋木種子在4星期內發芽完畢，因此只有形態的休眠，沒有生理的休眠。烏心石種子乾燥至含水率9.0%或更低，可儲藏在5、-20和-196°C至少3年，因此烏心石種子的儲藏性質為正儲型。建議烏心石種子播種前先用5°C層積處理8~12週，以加速發芽。

關鍵詞：低溫層積處理、激勃素、烏心石、形態生理休眠、華蓋木。

陳舜英、陳芬蕙、黃裕星、何政坤、簡慶德。2016。木蘭科烏心石與華蓋木種子發芽休眠之研究。台灣林業科學31(3):199-213。

<sup>1)</sup> 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.

<sup>2)</sup> 林業試驗所所長室，10066台北市南海路53號 Director General, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nanhai Rd., Taipei 10066, Taiwan.

<sup>3)</sup> 通訊作者 Corresponding author, e-mail:chien@tfri.gov.tw

2015年8月送審 2015年10月通過 Received August 2015, Accepted October 2015.

Research paper

## Studies of Seed Germination and Dormancy of the Tree Species *Michelia compressa* and *Pachylarnax sinica* (Magnoliaceae)

Shun-Ying Chen,<sup>1)</sup> Fen-Hui Chen,<sup>1)</sup> Yue-Hsing Huang,<sup>2)</sup>  
Cheng-Kuen Ho,<sup>1)</sup> Ching-Te Chien<sup>1,3)</sup>

### 【 Summary 】

Seeds of *Michelia compressa* and *Pachylarnax sinica* of the Magnoliaceae exhibit dormancy. Poor germination and non-uniform emergence of seeds in the nursery were found after sowing. Thus, the aim of this study was to determine the germination requirements of seeds of the 2 species in order to provide an effective protocol to produce plants. Up to 80~90% of fresh seeds of *M. compressa* harvested from Chuyunshan and Wushikeng germinated at alternating temperatures of 25/15, 20/10, and 15/5°C in light, and other high temperatures such as 30/20, 30/15°C and constant temperature at 25°C had low germination percentages. However, up to 30~40% of seeds of *P. sinica* germinated at the above 5 temperatures in light except for 15/5°C, and germination percentages among the incubation temperatures did not significantly differ. Embryos of the 2 studied species were small, and they had to grow 2.5~2.6-fold before radical emergence. The speed of embryo growth responded to the germination speed. Seeds of *M. compressa* began to germinate in 3~4 wk, and temperature affected seed germination; thus, they exhibited morphophysiological dormancy. Further, cold stratification at 5°C for 8~12 wk and gibberellic acid treatment enhanced *Michelia* seed germination. Thus, the seed population exhibited non-deep simple morphophysiological dormancy. Seeds of *P. sinica* germinated completely within 4 wk, thus, they exhibited only morphological dormancy. Seeds of *M. compressa* with a moisture content of ≤ 9.0% stored at 5 or -20°C and in liquid nitrogen retained their germinability for at least 3 yr, indicating that they had orthodox storage behavior. Cold stratification of seeds of *M. compressa* at 5°C for 8~12 wk is recommended to increase the germination speed and produce uniform seedlings.

**Key words:** cold stratification, gibberellic acid, *Michelia compressa*, morphophysiological dormancy, *Pachylarnax sinica*.

**Chen SY, Chen FH, Huang YH, Ho CK, Chien CT. 2016.** Studies of seed germination and dormancy of the tree species *Michelia compressa* and *Pachylarnax sinica* (Magnoliaceae). Taiwan J For Sci 31(3):199-213.

### 緒言

烏心石 [*Michelia compressa* (Maxim.) Sargent] 為木蘭科 (Magnoliaceae) 常綠大喬木，

單屬單種，樹高可達 20 m 或以上，胸徑可達 100 cm，分布地區包括日本南部、琉球和台灣 (Keng

1996)。烏心石在台灣分布全島海拔200至1800 m的闊葉林中。花白色，雄蕊和心皮螺旋排列；聚合果，蓇葖木質，每個心皮有種子1~6粒，假種皮粉紅色至紅色，種皮黑色或褐色(Keng 1996)。種子橢圓狀心形或不規則形，種皮凹凸不平滑(Fig. 1)。烏心石木材為台灣闊一級木，邊材材區別明顯，材質堅硬強韌，不易劈裂，耐朽性強，木理交錯，木肌細緻，釘著力強，塗料吸著力佳，用於建築、家具、雕刻、樂器、車輛內部裝潢和農工具柄(Chien et al. 1999)。

烏心石種子10月成熟，蓇葖果開裂，紅色假種皮裸露。早期認為烏心石種子不易儲藏，採收後應立即播種(Hwang 1965)。Lin and Wu (1995)研究發現烏心石種子乾燥後儲藏於-20°C，能維持種子活力至少一年，為乾(正)儲型的儲藏性(orthodox storage behavior)。Lin (1996)進一步研究發現，種子含水率和儲藏溫度愈低，種子壽命愈長，例如種子含水率降至6.3%或以下，儲藏在-20°C的發芽率至少維持18個月不墜，且種子4°C濕層積處理能縮短達到最高發芽率所需的時間。雖然烏心石種子儲藏性初步上已經瞭解，但延長種子儲藏時間，其活力是否維持不變或下降，值得探討。

華蓋木[*Pachylarnax sinica* (Y.W. Law) N.H. Xia & C.Y. Wu; basionym: *Manglietiastrum sinicum* Law]為木蘭科(Magnoliaceae)常綠大喬木，單屬單種，僅產於中國大陸。材質優良，花芳香。聚合果，蓇葖木質且厚，種子1~3粒，假種皮紅色，種皮黑色或褐色，種子有胚乳，

胚小(Li 2000)。種子橢圓形或不規則形，腹孔凹入，中有凸點，背稜微凸，種皮平滑(Li 2000, Fig. 1)。華蓋木分布中國雲南東南部，海拔1300~1600 m山區之常綠闊葉雨林中，現存大樹極少，僅存7株，已被中國植物紅皮書列為稀有植物，並設立文山國家級自然保護區(Tian et al. 2003)。

木蘭科尚存約有230種，包括灌木和樹木，80%分布在亞洲，從喜馬拉雅到日本，延伸至馬來群島、巴布亞紐幾內亞等地，其餘20%分布美洲延伸至巴西及西印度群島(Heywood 1978, Law 1984, Frodin and Govaerts 1996)。由於木蘭科植物是較早期出現在地球的植物，約在白堊紀晚期(late Cretaceous)，過去常被用來研究瞭解美洲溫帶區和亞洲熱帶區的洲際分離(intercontinental disjunction)、植物遷移及氣溫變化等(Collinson et al. 1981, 1993, Tiffney 1985, Azuma et al. 2001)。

本研究烏心石果實採自台灣中部出雲山和烏石坑二個地方，而華蓋木果實是經由中國西南林業大學雲南生物多樣性研究院沈立新研究員採收處理，然後將種子委託送達台灣林業試驗所。本報告探討烏心石和華蓋木種子發芽所需條件及種子的休眠性，若種子有生理的休眠(physiological dormancy)，表示胚完整，但發芽時間需要30天以上；若種子有形態的休眠(morphological dormancy)，表示胚小，有發育不完全胚，但30天內種子發芽完畢；若種子有形態生理的休眠(morphophysiological dormancy)，

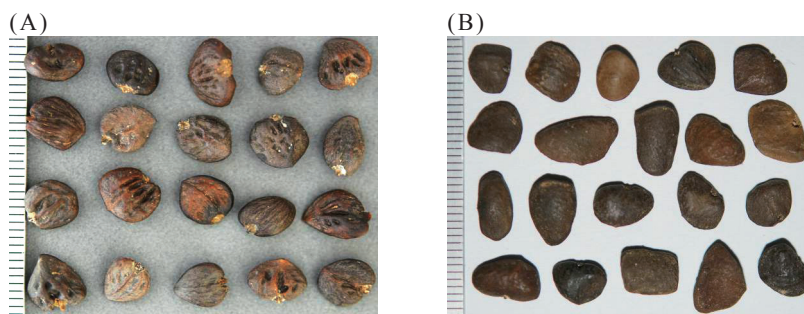


Fig. 1. Intact seeds of *Michelia compressa* (A) and *Pachylarnax sinica* (B). The pericarp and aril had been removed. The scale on the left is in millimeters.

表示胚小，有發育不完全胚，且種子發芽需要30天以上(Baskin and Baskin 2004, 2014)。另外，將烏心石種子儲藏低溫5、-20和-196°C液態氮中2~3年，探討瞭解種子含水率低於5%的儲藏壽命，及在超低溫下的種子活力。

## 材料與方法

### 一、果實採收處理和種子含水率測定

二批成熟的烏心石果實，分別於2010年10月採自台中東勢出雲山海拔1000 m至少5株人工林木，及2011年11月採自台中東勢烏石坑海拔1000 m 2株天然木。採收後的果實去除果皮，置於溫室噴水數日，俟紅色假種皮軟化後將其洗除，並將浮於水面不良的種子移除，將沉水的種子陰乾3日後暫時儲藏5°C，以備下面各項試驗用。出雲山和烏石坑新鮮種子含水率、每liter粒數、每kilogram粒數和新鮮種子最大的發芽率等基本資料列於Table 1。種子含水率測定是將種子置於烘箱103°C下17小時，烘乾前先將種子切半。每重覆6粒，共4重複(International Seed Testing Association 2007)。華蓋木種子因數量少，沒有檢測種子含水率，但量測每liter粒數、每kilogram粒數和新鮮種子最大的發芽率等基本資料。

### 二、種子吸水試驗

因烏心石外種皮稍硬，吸水試驗能檢測種子是否有物理的休眠(physical dormancy)，即種

皮阻擋水分進入胚內。取烏心石完整種子和磨破種皮之種子各20粒進行吸水試驗，即在室溫下(約25°C)將種子置放在培養皿內Whatman no. 1濕濾紙上，然後蓋上蓋子避免水分揮發太快：0時間點，種子沾濕，接著將種皮表面水分速用棉紙吸乾，秤重至0.1 mg；第一個24小時，分別於第1、2、4、8、16和24小時各秤重一次，每次秤重前先用紙拭乾種子，之後每隔24小時秤重一次至第7天。水分吸收百分率計算公式如下： $\%Ws = [(Wi - Wd)/Wd] \times 100$ 。Ws：水分增加量，Wi：種子吸水試驗階段的重量，Wd：種子最初未吸水前的重量(Chien et al. 2006)。華蓋木種子因種子數量少，沒有做吸水試驗。

### 三、溫度對種子發芽之效應

烏心石種子和濕水苔置於透明PE封口袋，均勻混合並留有一半空間及空氣，使種子行呼吸作用。封口後的種子分別置於5種變溫30/20、30/15、25/15、20/10、15/5及定溫25°C發芽箱內。每個溫度3重複，1重複50粒，共計900粒。每星期檢查一次，將發芽種子挑出，並記錄發芽種子粒數。華蓋木種子分別置於4種變溫30/20、25/15、20/10、15/5及定溫25°C發芽箱內。每個溫度3重複，1重複25粒，共計375粒。每星期檢查一次，將發芽種子挑出，並記錄發芽種子粒數。

### 四、胚生長觀察

出雲山烏心石種子在25/15°C發芽箱下1~4

**Table 1. Information on fresh seeds of the 2 study species**

Species	Site and date collected	Moisture content (%, wet weight basis)	Seeds (no L <sup>-1</sup> )	Seeds (no kg <sup>-1</sup> )	Maximum % germination <sup>1)</sup>
<i>Michelia compressa</i> (Magnoliaceae)	Chuyunshan, Tungshih, hung City 11 October 2010	9.1±0.5	8650	18,500	90.0±4.3
<i>Michelia compressa</i> (Magnoliaceae)	Wushikeng, Heping, Taichung City 4 November 2011	9.8±0.1	9000	18,250	92.0±3.3
<i>Pachylarnax sinica</i> (Magnoliaceae)	Yunnan Province, China Received January 2014	—	11,220	18,750	40.0±3.3

<sup>1)</sup> Data were based on a germination test of fresh seeds from Figures 1 and 2, and GA treatment.

—, data not available due to a lack of seeds.

星期，每星期取出種子，先用銳利刀片將種子剖成二半，在解剖顯微鏡下觀察，使用微米( $\mu\text{m}$ )量測胚長度和種子長度，直到胚根突破種皮生長出來為止。每次量測種子10粒，並照相紀錄。同樣地，華蓋木種子亦在25/15°C發芽箱下1~3星期，剖成二半後在解剖顯微鏡下觀察，但因數量少，每星期只取出種子5粒，並照相紀錄。

#### 五、低溫5°C層積處理對種子發芽之效應

烏心石和華蓋木種子分別與濕水苔放入有封口的PE袋內，均勻混合並留有一半空間及空氣，然後放進5°C層積。低溫層積處理時間4、8和12星期。烏心石種子每次處理時間3重複，每重複50粒，層積後的發芽溫度設定為30/20、25/15和20/10°C；華蓋木種子3重複，每重複25粒，層積後之發芽溫度設定為25/15°C。每星期檢查一次，將發芽種子挑出，並記錄發芽種子粒數。

#### 六、激勃素GA<sub>3</sub>和GA<sub>4</sub>處理對烏心石種子發芽之效應

烏心石種子浸泡於激勃素GA<sub>3</sub>及GA<sub>4</sub>中24小時，濃度為2500、250、25和0  $\mu\text{M}$  (蒸餾水對照組)，之後放入封口袋，與濕水苔混合均勻，置於25/15°C下發芽，每個濃度3重複，每重複50粒。同樣地，華蓋木種子浸泡於激勃素GA<sub>3</sub>及GA<sub>4</sub>濃度2500和250  $\mu\text{M}$ 中24小時，之後放入封口袋，與濕水苔混合均勻，置於25/15°C下發芽，每個濃度3重複，每重複25粒。每星期檢查一次，將發芽種子挑出，並記錄發芽種子粒數。

#### 七、烏心石種子乾藏試驗

採自出雲山的烏心石種子放入密閉玻璃容器內，容器下層以過飽和鹽溶液氯化鋰(LiCl)和氯化鎂(MgCl<sub>2</sub>)調節容器內相對濕度，在15°C下分別為14和33%；種子在此相對濕度下乾燥2星期，之後檢測種子含水率，並將種子放入鋁箔袋密封，儲藏在15、5、-20°C和液態氮(-196°C)溫度；定期每12個月取出進行發芽試驗，發芽

溫度為25/15°C，共取3次，最後1次是儲藏36個月的種子。新鮮種子亦同時儲藏上述4種溫度。每個處理3重複，每重複30粒，包括儲藏方法、溫度和時間共須種子1890粒。放在氯化鋰飽和鹽溶液的種子，經測得含水率為 $3.6 \pm 0.2\%$ ，氯化鎂飽和鹽溶液的種子含水率為 $6.0 \pm 0.4\%$ 。

採集自烏石坑的烏心石種子，放入密閉氯化鋰溶液和矽膠(silica gel，一種乾燥劑)內2星期，之後檢測含水率，並將乾燥種子密封儲藏在5、-20°C。同時，一部分放在矽膠的種子乾燥密封後儲藏液態氮。定期每6個月取出進行發芽試驗，發芽溫度為20/10°C，共取4次，最後1次是儲藏24個月的種子。每個處理3重複，每重複50粒，包括儲藏方法、溫度和時間共須種子1800粒。放在氯化鋰飽和鹽溶液的種子，經測得含水率為 $5.0 \pm 0.1\%$ ，放在矽膠的種子含水率為 $4.4 \pm 0.4\%$ 。

華蓋木種子因種子數量不足，沒有做乾燥儲藏試驗。

#### 八、統計分析

種子發芽數據轉換為百分比，且取得平均值和標準誤差。使用SAS統計分析激勃素GA<sub>3</sub> and GA<sub>4</sub>處理之效應、低溫層積之效應、不同含水率和儲藏溫度乾藏之效應，以最小顯著差異(least significant difference, LSD)比較發芽平均值，分析各處理間有無顯著差異( $P < 0.05$ )。種子發芽百分率均先進行角度轉換(arcsine square root-transformed)後再進行統計分析，但以發芽率呈現圖表。本報告以Sigma Plot 10.0軟體作圖。

## 結果

#### 一、種子含水率、大小與最高的發芽率

採自出雲山烏心石種子含水率9.1%，8650粒/L，18,500粒/kg，種子最高發芽率90%；烏石坑種子含水率9.8%，9000粒/L，18,250粒/kg，種子最高發芽率92%。採自雲南省華蓋木種子11,220粒/L，18,750粒/kg，種子最高發芽率40%，種子含水率因顧慮種子數量少未檢測(Table 1)。

## 二、種子吸水試驗

試驗烏心石種子外種皮的吸水能力，結果發現完整種子和割破種皮之種子浸潤1小時，種子水分分別從0% (起始點)增加至 $8.61 \pm 0.79$ 和 $9.57 \pm 0.41\%$ ；浸潤24小時分別增加至 $27.2 \pm 3.4$ 和 $27.1 \pm 1.0\%$ ，顯示完整的烏心石種子會吸水，且與破皮的種子無顯著差異。同樣地，浸潤2~7天種子，完整種子和破皮種子間無顯著差異(數據未顯示)。

## 三、溫度對種子發芽之效應

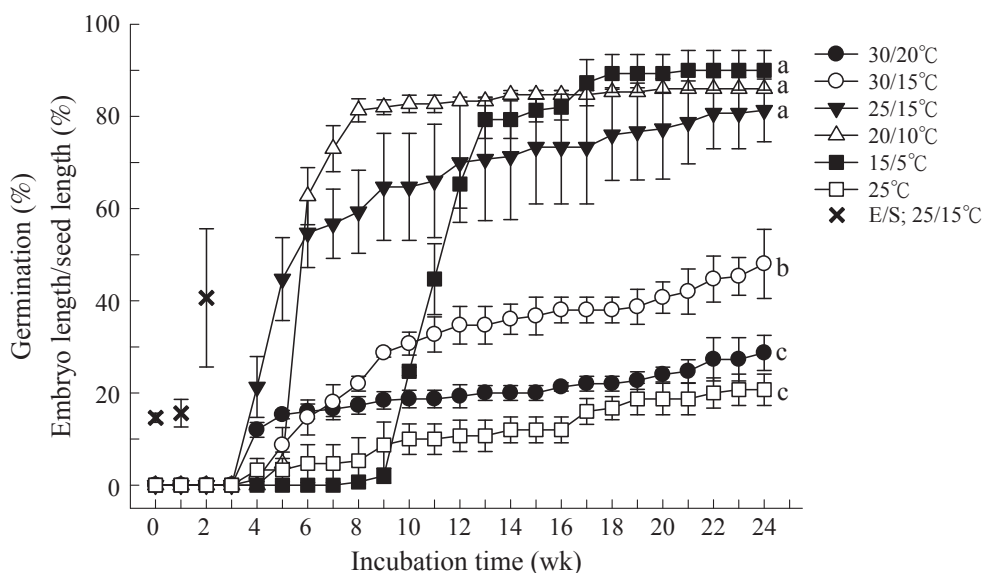
出雲山烏心石種子以發芽溫度25/15、20/10與15/5°C發芽率最高，其中25/15°C最快使種子發芽，但6星期後當發芽率50%時，發芽逐漸緩慢下來；20/10°C雖起始發芽時間是在4星期後，但8星期後發芽率可達81%，最終發芽率為86%；15/5°C雖8星期後只有0.7%，但9星期後加速發芽，13星期後可達80%發芽率

(Fig. 2)。溫度30/20、30/15和25°C於3~4星期後開始發芽，但隨時間增加其發芽率僅緩慢增加(Fig. 2)。同樣地，採自烏石坑的種子，其累積發芽曲線與出雲山採的種子相似，仍以25/15、20/10與15/5°C發芽率最高(Fig. 3)。整體來說，烏心石種子發芽應選擇較低的發芽溫度。

華蓋木種子於25/15和20/10°C下分別於7和8星期後發芽率達最高40%，其他溫度如30/20、15/5和25°C之發芽率稍低，分別為33、35和29%，溫度處理間都不顯著(Fig. 4)。

## 四、胚生長觀察

出雲山烏心石新鮮種子胚長度和種子長度比值為 $0.15 \pm 0.01$  (15%)，當種子放在25/15°C下2星期，種子胚長度和種子長度比值增加至 $0.41 \pm 0.15$  (41%)，即胚長度增加2.6倍(Fig. 5A, B)。華蓋木新鮮種子胚長度和種子長度比值為 $0.15 \pm 0.02$  (15%)，當種子放在25/15°C下2星期，



**Fig. 2.** Cumulative germination percentages (mean  $\pm$  SE) of *Michelia compressa* seeds incubated at alternating temperatures of 30/20, 30/15, 25/15, 20/10, and 15/5°C and at a constant temperature of 25°C. Seeds were collected from Chuyunshan, Taichung, Taiwan. Final germination percentages among the incubation temperatures followed by different letters significantly differ (LSD,  $\alpha = 0.05$ ). E:S ratio percentages ( $n = 10$ , mean  $\pm$  SE) of freshly matured seeds and of seeds incubated at 25/15°C for 1 and 2 wk are shown.

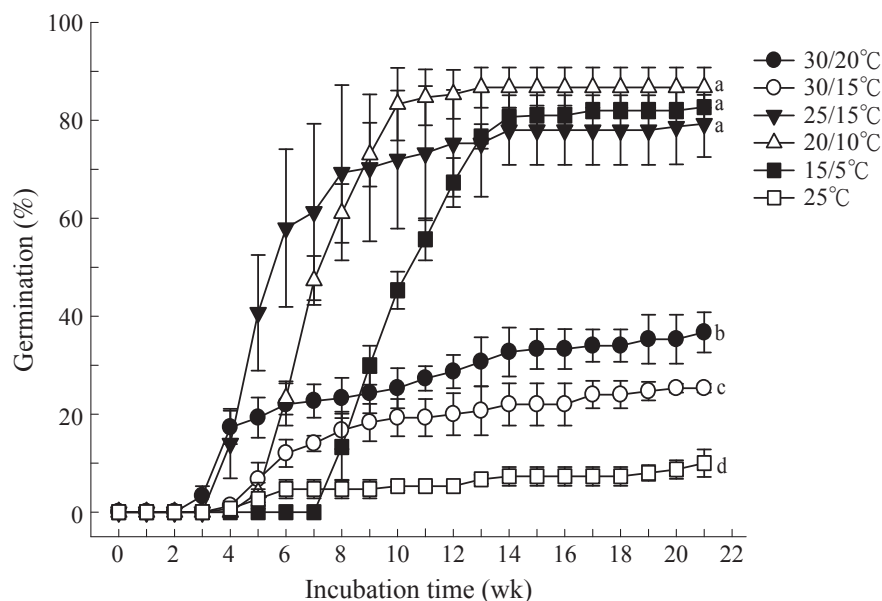


Fig. 3. Cumulative germination percentages (mean  $\pm$  SE) of *Michelia compressa* seeds incubated at alternating temperatures of 30/20, 30/15, 25/15, 20/10, and 15/5°C and at a constant temperature of 25°C. Seeds were collected from Wushikeng, Taichung, Taiwan. Final germination percentages among the incubation temperatures followed by different letters significantly differ (LSD,  $\alpha = 0.05$ ).

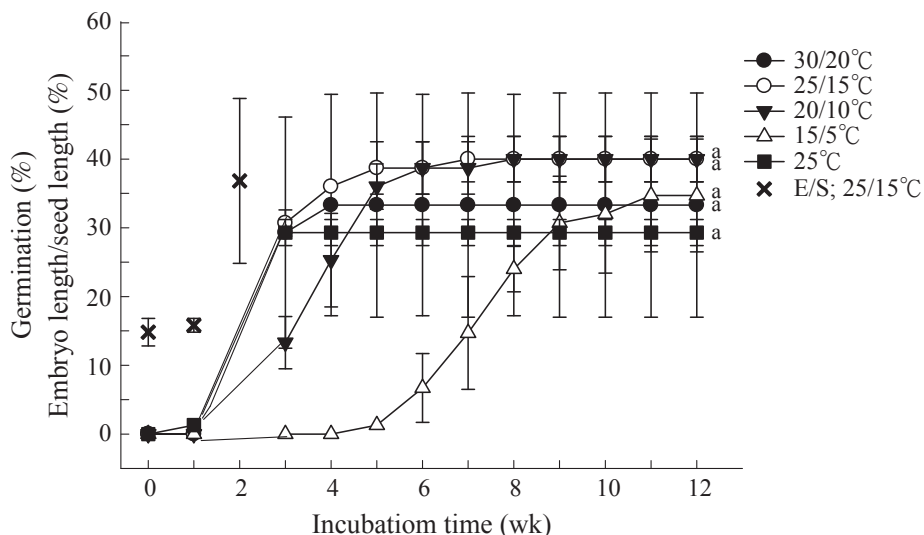
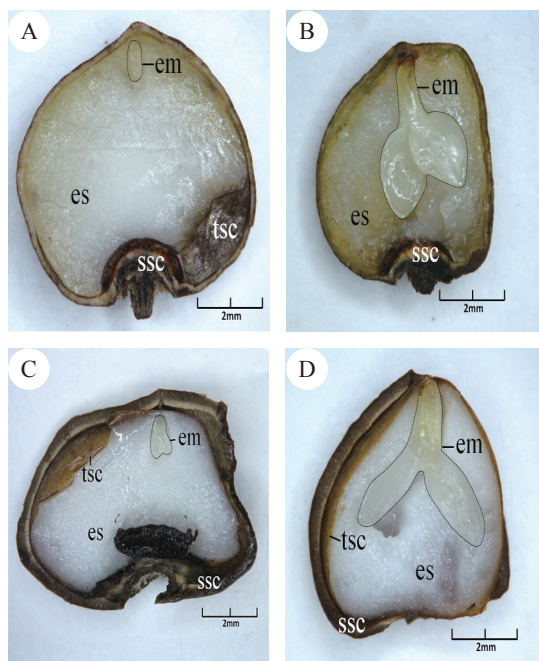


Fig. 4. Cumulative germination percentages (mean  $\pm$  SE) of *Pachylarnax sinica* seeds incubated at alternating temperatures of 30/20, 25/15, 20/10, and 15/5°C and at a constant temperature of 25°C. Final germination percentages among the incubation temperatures followed by different letters significantly differ (LSD,  $\alpha = 0.05$ ). E:S ratio percentages ( $n = 5$ , mean  $\pm$  SE) of freshly matured seeds and of seeds incubated at 25/15°C for 1 and 2 wk are shown.



**Fig. 5.** Embryo growth in seeds of *Michelia compressa* (A, B) and *Pachylarnax sinica* (C, D). Underdeveloped embryos in fresh seeds (A, C) and fully developed embryos (B, D) are shown. em, embryo; es, endosperm; tsc, thin seed coat; ssc, stony seed coat.

種子胚長度和種子長度比值增加至 $0.37 \pm 0.12$  (37%)，即胚長度增加2.5倍(Fig. 5C, D)。

#### 五、低溫5°C層積處理對種子發芽之效應

採自出雲山烏心石新鮮種子經5°C層積4星期後，在30/20、25/15、20/10、15/5和25°C下之發芽率分別為68、84、87、21和53%，其中以25/15°C之發芽速率最佳，播種4星期後發芽率已達82% (Table 2)。5°C層積8星期之種子發芽率比沒有層積之對照組或已5°C層積4星期的種子高，如播種3星期後在30/20和25°C下分別提高發芽率至81和74%，唯種子在較低溫度15/5°C下之發芽率4星期後尚未發芽，然7星期後發芽率為70%。同樣地，5°C層積12星期之種子，在較高溫度30/20和25°C下種子快速發芽，其他發芽溫度在播種6星期後亦達最高發芽率。統計結果顯示，5°C層積處理4、8、12星期間有極顯著差異，且發芽溫度間亦有極顯著差異，5°C層積處理與發芽溫度二者間有交互作用(Table 2)。

烏石坑烏心石新鮮種子經5°C層積處理4星期，種子在30/20、25/15和20/10°C下發芽率皆比未層積新鮮的種子發芽率顯著增加；5°C層積8~12星期，種子在相同發芽溫度下6星期後皆達80%以上發芽率(Table 3)。統計結果顯示，5°C層積處理4、8、12星期間有極顯著至顯著差異，且發芽溫度在前5星期發芽期間亦有極顯著至顯著差異，5°C層積處理與發芽溫度二者間在前5星期發芽期間有交互作用(Table 3)。整體來說，烏心石用5°C層積處理優於即播不處理。

華蓋木種子經低溫5°C層積處理4、8和12星期，取出種子在25/15°C發芽，結果層積愈久發芽率愈低(數據未顯示)，與烏心石種子的發芽結果相反。為何會有如此結果，下節討論。

#### 六、激勃素GA<sub>3</sub>和GA<sub>4</sub>處理對烏心石種子發芽之效應

採自出雲山的烏心石種子使用GA<sub>3</sub>和GA<sub>4</sub>



**Table 2. Effect of cold stratification (strat.) at 5°C on seed germination of *Michelia compressa*. Seeds were collected from Chuyunshan, Taichung, Taiwan. Means ( $n = 3, 50$  seeds/ $n$ ) with the same letter in a column do not significantly differ (LSD,  $\alpha = 0.05$ )**

Weeks of cold strat.	Incubation temp. (°C)	Germination (%)					
		Incubation time (wk)					
		2	3	4	5	6	7
0 (control)	30/20	0 <sup>e</sup>	0 <sup>g</sup>	12.0 ± 1.6 <sup>f</sup>	15.3 ± 0.9 <sup>d</sup>	16.0 ± 1.6 <sup>f</sup>	16.7 ± 0.9 <sup>f</sup>
	25/15	0 <sup>e</sup>	0 <sup>g</sup>	21.3 ± 6.6 <sup>f</sup>	44.7 ± 9.0 <sup>e</sup>	54.7 ± 7.5 <sup>cd</sup>	56.7 ± 7.7 <sup>de</sup>
	20/10	0 <sup>e</sup>	0 <sup>g</sup>	0 <sup>h</sup>	4.7 ± 2.5 <sup>e</sup>	62.7 ± 6.2 <sup>cd</sup>	72.0 ± 4.3 <sup>bc</sup>
	15/5	0 <sup>e</sup>	0 <sup>g</sup>	0 <sup>h</sup>	0 <sup>g</sup>	0 <sup>h</sup>	0 <sup>h</sup>
	25	0 <sup>e</sup>	0 <sup>g</sup>	3.3 ± 2.5 <sup>g</sup>	3.3 ± 2.5 <sup>ef</sup>	4.7 ± 4.1 <sup>g</sup>	5.3 ± 5.0 <sup>g</sup>
4	30/20	6.7 ± 5.2 <sup>d</sup>	47.3 ± 3.4 <sup>de</sup>	59.3 ± 3.4 <sup>d</sup>	66.0 ± 3.3 <sup>b</sup>	67.3 ± 3.8 <sup>bc</sup>	68.0 ± 4.3 <sup>cd</sup>
	25/15	0 <sup>e</sup>	57.3 ± 4.1 <sup>cd</sup>	82.0 ± 2.8 <sup>ab</sup>	84.0 ± 3.3 <sup>a</sup>	84.0 ± 3.3 <sup>a</sup>	84.0 ± 3.3 <sup>ab</sup>
	20/10	0 <sup>e</sup>	0.7 <sup>g</sup>	52.7 ± 4.1 <sup>de</sup>	84.0 ± 2.8 <sup>a</sup>	86.0 ± 3.3 <sup>a</sup>	86.7 ± 3.4 <sup>a</sup>
	15/5	0 <sup>e</sup>	0 <sup>g</sup>	0 <sup>h</sup>	0 <sup>g</sup>	3.3 ± 2.5 <sup>g</sup>	21.3 ± 13.3 <sup>f</sup>
	25	8.7 ± 4.1 <sup>d</sup>	46.0 ± 6.5 <sup>e</sup>	51.3 ± 5.2 <sup>de</sup>	51.3 ± 5.2 <sup>e</sup>	51.3 ± 5.2 <sup>de</sup>	52.7 ± 4.7 <sup>e</sup>
8	30/20	26.0 ± 7.1 <sup>c</sup>	81.3 ± 8.2 <sup>ab</sup>	83.3 ± 8.2 <sup>a</sup>	86.0 ± 5.9 <sup>a</sup>	86.0 ± 5.9 <sup>a</sup>	86.0 ± 5.9 <sup>a</sup>
	25/15	0 <sup>e</sup>	58.7 ± 0.9 <sup>c</sup>	71.3 ± 1.9 <sup>e</sup>	82.0 ± 1.6 <sup>a</sup>	84.0 ± 3.3 <sup>a</sup>	84.0 ± 3.3 <sup>ab</sup>
	20/10	0 <sup>e</sup>	24.7 ± 6.2 <sup>f</sup>	64.7 ± 5.8 <sup>de</sup>	82.0 ± 6.5 <sup>a</sup>	82.0 ± 6.5 <sup>a</sup>	83.3 ± 5.7 <sup>ab</sup>
	15/5	0 <sup>e</sup>	0 <sup>g</sup>	0 <sup>h</sup>	0.7 <sup>g</sup>	25.3 ± 5.0 <sup>f</sup>	70.0 ± 3.3 <sup>cd</sup>
	25	30.7 ± 4.1 <sup>c</sup>	74.0 ± 8.5 <sup>b</sup>	78.0 ± 5.7 <sup>abc</sup>	78.0 ± 5.7 <sup>a</sup>	78.0 ± 5.7 <sup>ab</sup>	78.0 ± 5.7 <sup>abc</sup>
12	30/20	46.0 ± 11.4 <sup>b</sup>	75.3 ± 4.1 <sup>ab</sup>	76.7 ± 4.7 <sup>abc</sup>	77.3 ± 3.8 <sup>a</sup>	77.3 ± 3.8 <sup>ab</sup>	77.3 ± 3.8 <sup>abc</sup>
	25/15	0.7 <sup>e</sup>	61.3 ± 5.2 <sup>c</sup>	74.0 ± 4.3 <sup>bc</sup>	77.3 ± 3.4 <sup>a</sup>	78.7 ± 3.8 <sup>ab</sup>	78.7 ± 3.8 <sup>abc</sup>
	20/10	0 <sup>e</sup>	43.3 ± 7.4 <sup>c</sup>	43.3 ± 43.3 <sup>c</sup>	46.0 ± 7.1 <sup>e</sup>	48.7 ± 9.3 <sup>e</sup>	48.7 ± 9.3 <sup>e</sup>
	15/5	0 <sup>e</sup>	0 <sup>g</sup>	4.0 ± 1.6 <sup>g</sup>	55.3 ± 8.1 <sup>bc</sup>	77.3 ± .6 <sup>ab</sup>	85.3 ± 2.5 <sup>a</sup>
	25	68.0 ± 4.3 <sup>a</sup>	82.7 ± 5.2 <sup>a</sup>	82.7 ± 5.2 <sup>ab</sup>	82.7 ± 5.2 <sup>a</sup>	82.7 ± 5.2 <sup>a</sup>	82.7 ± 5.2 <sup>ab</sup>

Significance

Cold strat.	***	***	***	***	***	***	***
Temp.	***	***	***	***	***	***	***
Cold strat. x Temp.	***	***	***	***	***	***	***

Cold stratification x temperature represents the interaction effect.

<sup>NS</sup>  $p > 0.05$ ; \* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.001$ .

處理，處理間種子發芽率差異極顯著，且不同GA濃度處理間差異亦極顯著至顯著(Table 4)。Table 4顯示，GA<sub>3</sub>濃度250、2500 μM和GA<sub>4</sub>濃度25、250、2500 μM處理，皆能在短期4星期內顯著地提升種子的發芽率，但並未提升最終發芽率，此提升能力顯然地GA<sub>4</sub>較GA<sub>3</sub>大。

七、烏心石種子乾藏試驗

採自出雲山的烏心石種子在含水率9.1、6.0和3.6%下儲藏15°C，24個月後種子發芽率從82%下降至0~3%，但儲藏5、-20°C和液態氮(-196°C)的種子，24個月後能保持原有新鮮種子發芽率，36個月後大部分種子亦能保持很高的發芽

**Table 3. Effect of cold stratification (strat.) at 5°C on seed germination of *Michelia compressa*. Seeds were collected from Wushikeng, Taichung, Taiwan. Means ( $n = 3$ , 50 seeds/n) with the same letter in a column do not significantly differ (LSD,  $\alpha = 0.05$ )**

Weeks of cold stratification	Incubation temp. (°C)	Germination (%)					
		Incubation time (wk)					
		2	3	4	5	6	7
0 (control)	30/20	0 <sup>d</sup>	3.3±2.5 <sup>d</sup>	17.3±3.4 <sup>f</sup>	19.3±4.1 <sup>d</sup>	22.0±4.3 <sup>d</sup>	22.7±3.4 <sup>c</sup>
	25/15	0 <sup>d</sup>	0 <sup>c</sup>	14.0±7.1 <sup>f</sup>	40.7±11.8 <sup>c</sup>	58.0±16.1 <sup>c</sup>	61.3±18.0 <sup>cd</sup>
	20/10	0 <sup>d</sup>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>g</sup>	4.0±2.8 <sup>c</sup>	23.3±3.4 <sup>d</sup>	47.3±5.0 <sup>d</sup>
4	30/20	2.7±1.9 <sup>c</sup>	62.7±5.0 <sup>b</sup>	72.0±4.9 <sup>bc</sup>	74.0±2.8 <sup>ab</sup>	74.0±2.8 <sup>ab</sup>	74.0±2.8 <sup>abc</sup>
	25/15	0 <sup>d</sup>	20.7±4.7 <sup>c</sup>	63.3±10.9 <sup>cd</sup>	67.3±9.6 <sup>b</sup>	69.3±11.1 <sup>bc</sup>	70.0±11.4 <sup>bc</sup>
	20/10	0 <sup>d</sup>	0 <sup>c</sup>	0.7±0.5 <sup>g</sup>	72.3±2.8 <sup>c</sup>	77.3±2.5 <sup>ab</sup>	80.7±2.5 <sup>ab</sup>
8	30/20	30.0±4.3 <sup>a</sup>	79.3±9.3 <sup>a</sup>	81.3±7.7 <sup>ab</sup>	81.3±7.7 <sup>a</sup>	81.3±7.7 <sup>ab</sup>	81.3±7.7 <sup>ab</sup>
	25/15	2.0±0.0 <sup>c</sup>	70.7±3.8 <sup>ab</sup>	84.0±1.6 <sup>ab</sup>	85.3±1.9 <sup>a</sup>	85.3±1.9 <sup>a</sup>	85.3±1.9 <sup>a</sup>
	20/10	0 <sup>d</sup>	3.3±0.9 <sup>d</sup>	47.3±8.1 <sup>c</sup>	82.0±6.5 <sup>a</sup>	83.3±6.8 <sup>a</sup>	83.3±6.8 <sup>ab</sup>
12	30/20	22.7±0.9 <sup>b</sup>	80.7±5.0 <sup>a</sup>	84.0±4.3 <sup>a</sup>	84.0±4.3 <sup>a</sup>	84.0±4.3 <sup>a</sup>	84.0±4.3 <sup>ab</sup>
	25/15	0 <sup>d</sup>	79.3±5.2 <sup>a</sup>	84.0±2.8 <sup>ab</sup>	84.7±3.4 <sup>a</sup>	84.7±3.4 <sup>a</sup>	84.7±3.4 <sup>ab</sup>
	20/10	0 <sup>d</sup>	0 <sup>c</sup>	50.0±1.6 <sup>dc</sup>	76.0±4.3 <sup>ab</sup>	80.0±4.3 <sup>ab</sup>	81.3±3.4 <sup>ab</sup>
Significance							
Cold strat.		***	***	***	***	*	*
Temp.		***	***	***	***	0.9975 <sup>NS</sup>	0.8584 <sup>NS</sup>
Cold strat. x Temp.		***	***	***	*	0.6176 <sup>NS</sup>	0.5317 <sup>NS</sup>

Cold stratification x temperature represents the interaction effect.

<sup>NS</sup>  $p > 0.05$ ; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$ .

率(Table 5)。採自烏石坑的烏心石種子在含水率9.8、5.0和4.4%下儲藏5、-20和-196°C，24個月後大部分儲藏的種子皆能保持很高的發芽率(Table 6)。整體來說，烏心石種子可以乾燥儲藏。

## 討論

### 一、溫度對烏心石和華蓋木種子發芽之效應

烏心石新鮮種子在溫度25/15、20/10和15/5°C下發芽率最高，且前二者在3~4星期後開始發芽，之後種子發芽速率增加，顯示種子較適合在低溫度下發芽。此現象應與烏心石原生地海拔1000 m氣候有關，發芽溫度落在該地區平均每月最高和最低溫度(mean monthly

maximum/minimum temperatures)範圍內(refer to Chen et al. 2014)。5°C層積處理8~12星期可促進烏心石種子發芽，且不受溫度的影響，溫度愈高，發芽愈快。因此，秋天採收的烏心石種子先經低溫5°C層積處理，於初春播種最佳。表2出雲山種子5°C層積處理12星期，在20/10°C發芽之最終發芽率49%，顯著低於其他溫度，推測可能與取樣誤差有關。

華蓋木種子除了15/5°C發芽緩慢外，其他溫度皆使種子快速發芽，但發芽率低，最高只有40%。解剖觀察種子內部胚和胚乳發現，部分胚乳呈現透明狀，表示種子採收時尚未完全成熟。另外，低溫5°C層積處理降低華蓋木種子發芽率，種子敗壞，可茲證明。

**Table 4. Effects of gibberellic acid GA<sub>3</sub> and GA<sub>4</sub> treatment on seed germination of *Michelia compressa*. Seeds collected from Chuyunshan Taichung, Taiwan were incubated at 25/15°C for the germination test after seeds had been soaked in a GA solution for 24 h. Means (*n* = 3, 50 seeds/*n*) with the same letter in a column do not significantly differ (LSD,  $\alpha$  = 0.05)**

Gibberellin	Concentration ( $\mu$ M)	Germination (%)					
		Incubation time (weeks)					
		2	3	4	5	6	7
GA <sub>3</sub>	0 (ddH <sub>2</sub> O)	0	0 <sup>d</sup>	28.0 ± 4.3 <sup>d</sup>	61.3 ± 7.7 <sup>c</sup>	68.0 ± 5.9 <sup>b</sup>	72.7 ± 2.5 <sup>b</sup>
	25	0	0 <sup>d</sup>	24.7 ± 3.8 <sup>d</sup>	36.7 ± 4.1 <sup>d</sup>	40.7 ± 6.2 <sup>c</sup>	45.3 ± 6.8 <sup>c</sup>
	250	0	2.7 ± 2.5 <sup>d</sup>	50.0 ± 11.8 <sup>c</sup>	61.3 ± 11.6 <sup>c</sup>	68.0 ± 13.4 <sup>b</sup>	69.3 ± 11.6 <sup>b</sup>
	2500	0	14.0 ± 5.9 <sup>c</sup>	63.3 ± 2.5 <sup>bc</sup>	71.3 ± 2.5 <sup>bc</sup>	74.0 ± 2.8 <sup>ab</sup>	75.3 ± 1.9 <sup>ab</sup>
GA <sub>4</sub>	25	0	35.3 ± 4.1 <sup>b</sup>	75.3 ± 9.0 <sup>ab</sup>	82.0 ± 7.5 <sup>ab</sup>	82.0 ± 7.5 <sup>ab</sup>	84.0 ± 8.2 <sup>ab</sup>
	250	0	62.7 ± 0.9 <sup>a</sup>	86.7 ± 4.1 <sup>a</sup>	88.0 ± 2.8 <sup>a</sup>	88.0 ± 2.8 <sup>a</sup>	88.0 ± 2.8 <sup>a</sup>
	2500	0	65.3 ± 12.0 <sup>a</sup>	83.3 ± 8.2 <sup>a</sup>	84.0 ± 8.2 <sup>ab</sup>	84.0 ± 8.2 <sup>a</sup>	84.0 ± 8.2 <sup>ab</sup>
Significance <sup>2)</sup>							
GA			***	***	***	***	***
Concentration			***	***	**	*	*
GA × Concentration <sup>1)</sup>			***	**	**	*	*

<sup>1)</sup> GA x concentration represents the interaction effect.

<sup>2)</sup> NS  $p > 0.05$ ; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$ .

**Table 5. Effects of the moisture content and storage temperature on seed germination percentages of *Michelia compressa*. Seeds were collected from Chuyunshan, Taichung, Taiwan. Seeds were incubated at 25/15°C for 21 wk after storage for 12, 24, and 36 mo. The final germination percentage of fresh seeds at 25/15°C was 82.0%. Means (*n* = 3, 30 seeds/*n*) with the same lowercase letter in a column do not significantly differ (LSD,  $\alpha$  = 0.05). Means (*n* = 3, 30 seeds/*n*) with the same uppercase letter for a given moisture content do not significantly differ (LSD,  $\alpha$  = 0.05)**

Moisture content (%)	Temperature (°C)	Storage period (mo)		
		12	24	36
9.1 ± 0.5	15	0 <sup>cC</sup>	0 <sup>cC</sup>	0 <sup>cC</sup>
	5	80.0 ± 10.9 <sup>aA</sup>	77.8 ± 5.7 <sup>abA</sup>	74.4 ± 1.6 <sup>bA</sup>
	-20	71.1 ± 4.2 <sup>abcA</sup>	70.0 ± 8.2 <sup>bA</sup>	33.3 ± 9.4 <sup>dB</sup>
	-196 (liquid N <sub>2</sub> )	64.4 ± 15.5 <sup>bcA</sup>	70.0 ± 12.5 <sup>bA</sup>	67.3 ± 7.4 <sup>bcA</sup>
6.0 ± 0.4	15	28.9 ± 6.3 <sup>dE</sup>	3.3 ± 2.7 <sup>cF</sup>	0 <sup>eF</sup>
	5	81.1 ± 4.2 <sup>aABC</sup>	85.6 ± 8.3 <sup>abAB</sup>	73.3 ± 2.7 <sup>bBCD</sup>
	-20	68.9 ± 9.6 <sup>abcCD</sup>	86.7 ± 9.4 <sup>aA</sup>	65.6 ± 5.7 <sup>bcCD</sup>
	-196 (liquid N <sub>2</sub> )	56.7 ± 4.7 <sup>cD</sup>	81.1 ± 1.6 <sup>abABC</sup>	66.7 ± 5.4 <sup>bcCD</sup>
3.6 ± 0.2	15	38.9 ± 6.3 <sup>dC</sup>	3.3 ± 2.7 <sup>cD</sup>	0 <sup>eD</sup>
	5	80.0 ± 7.2 <sup>aA</sup>	82.2 ± 10.3 <sup>abA</sup>	85.6 ± 6.3 <sup>aA</sup>
	-20	75.6 ± 4.2 <sup>abAB</sup>	83.3 ± 10.9 <sup>abA</sup>	58.9 ± 7.9 <sup>cB</sup>
	-196 (liquid N <sub>2</sub> )	77.8 ± 1.6 <sup>abA</sup>	78.9 ± 6.3 <sup>abA</sup>	71.1 ± 5.7 <sup>bAB</sup>

**Table 6. Effects of the moisture content and storage temperature on seed germination percentages of *Michelia compressa*. Seeds were collected from Wushikeng, Taichung, Taiwan. Seeds were incubated at 20/10°C for 21 wk after storage for 12, 24, and 36 mo. The final germination percentage of fresh seeds at 20/10°C was 86.7%. Means ( $n = 3, 50$  seeds/ $n$ ) with the same lowercase letter in a column do not significantly differ (LSD,  $\alpha = 0.05$ ). Means ( $n = 3, 50$  seeds/ $n$ ) with the same uppercase letter for a given moisture content do not significantly differ (LSD,  $\alpha = 0.05$ )**

Moisture content (%)	Temperature (°C)	Storage period (mo)			
		6	12	18	24
9.8±0.1	5	85.3±4.1 <sup>abAB</sup>	87.3±1.9 <sup>aA</sup>	81.3±5.7 <sup>aBCD</sup>	72.0±5.7 <sup>bcD</sup>
	-20	80.7±4.1 <sup>abABC</sup>	74.7±2.5 <sup>aCD</sup>	74.0±11.4 <sup>aCD</sup>	75.3±6.2 <sup>bcBCD</sup>
	-196 (liquid N <sub>2</sub> )	84.7±3.4 <sup>abABC</sup>	82.7±2.5 <sup>aBCD</sup>	76.0±3.3 <sup>aBCD</sup>	86.7±0.9 <sup>aA</sup>
5.0±0.1	5	77.3±2.5 <sup>abAB</sup>	81.3±11.5 <sup>aAB</sup>	82.0±0 <sup>aAB</sup>	86.7±2.5 <sup>aA</sup>
	-20	82.7±0.9 <sup>abAB</sup>	72.7±16.0 <sup>aAB</sup>	78.0±7.5 <sup>aAB</sup>	82.0±4.3 <sup>abAB</sup>
	-196 (liquid N <sub>2</sub> )	82.0±4.3 <sup>abAB</sup>	74.7±2.5 <sup>aAB</sup>	81.3±5.2 <sup>aAB</sup>	68.7±5.0 <sup>cB</sup>
4.4±0.4	5	86.0±8.2 <sup>aB</sup>	82.7±4.1 <sup>aAB</sup>	82.0±4.3 <sup>aAB</sup>	86.7±6.6 <sup>aA</sup>
	-20	82.7±2.5 <sup>abAB</sup>	78.0±4.3 <sup>aAB</sup>	75.3±3.4 <sup>aBC</sup>	80.7±2.5 <sup>abAB</sup>
	-196 (liquid N <sub>2</sub> )	76.0±7.1 <sup>bBC</sup>	78.7±6.2 <sup>aABC</sup>	74.6±9.1 <sup>aBC</sup>	68.0±2.8 <sup>cC</sup>

## 二、激勃素GA<sub>3</sub>和GA<sub>4</sub>處理對烏心石種子發芽之效應

激勃素GA<sub>3</sub>和GA<sub>4</sub>促進烏心石種子發芽，尤以GA<sub>4</sub>處理效果更佳，且用低濃度即可。GA促進林木種子發芽已有許多的例子，楊梅 (*Myrica rubra*) (Chen et al. 2008)、奧氏虎皮楠 (*Daphniphyllum glaucescens* ssp. *oldhamii*) (Chien et al. 2010)、台灣黃蘗 (*Phellodendron amurense* var. *wilsonii*) (Chen et al. 2010)、櫻屬 (*Prunus*) (Chen et al. 2007a)和其他樹種(Baskin and Baskin 2014)等，但有些種子因種皮厚或種皮含油質，GA溶液難以進入胚部，需先減壓或割破種皮等處理。

## 三、烏心石和華蓋木種子的休眠性

本研究發現烏心石種子沒有物理的休眠，雖然華蓋木種子沒有被測試是否有吸水能力，但推測華蓋木種子亦沒有物理的休眠。烏心石和華蓋木成熟的種子胚小，種子發芽前胚必須在種子內持續生長，當胚長度增加2.5~2.6倍時，胚根突破種皮發芽，因此，烏心石和華蓋木種子皆有形態的休眠。烏心石種子約在3~4週後開始發芽，主要發芽時間是在第5週以後，

根據休眠的定義(Baskin and Baskin 2014)，種子超過30天才能發芽者，具有生理休眠，依此定義烏心石種子亦有生理的休眠，因此，烏心石種子有形態生理的休眠。Baskin and Baskin (2014)根據種子休眠程度，再將形態生理休眠分為9級，此9級是依照暖低溫度和GA能否打破種子休眠來區分。烏心石種子除了暖溫度，如25/15、20/10°C使種子發芽外，5°C層積和激勃素處理亦能促進種子發芽，因此，烏心石種子有淺度簡單級的形態生理休眠(non-deep simple morphophysiological dormancy)。華蓋木種子在4週內發芽完畢，因此，華蓋木種子只有形態的休眠。華蓋木種子發芽所需時間短，是否意味著與種子成熟度有關，未完全成熟的種子，抑制化合物離層酸(abscisic acid)含量少，種子較容易發芽(Baskin and Baskin 2014)。

## 四、烏心石種子的儲藏性

根據Hong and Ellis (1996)種子儲藏性之檢定流程，烏心石種子屬於乾儲型，因為種子乾燥至含水率9%以下，可在5°C或0°C以下低溫保存至少3年，此結果與Lin and Wu (1995)報告相同，即烏心石種子能生存於乾燥環境和-20°C低

溫，為乾儲型的種子。烏心石乾燥儲藏後少部分數據顯示平均發芽率下降10~15% (Tables 5, 6)或更多，例如在-20°C儲藏36個月之平均發芽率只有33% (Table 5)，這在乾儲型種子上顯得比較特殊，除了可能原因是，整串螺旋排列的膏莢果被一次採收，有少數種子成熟度不夠，導致敗壞不發芽外，是否種子儲藏性有偏向中間型(intermediate storage behavior)，值得後續加以探討，但整體而言，烏心石種子是可以乾燥儲藏的。

本研究發現烏心石種子乾燥後可直接置放在液態氮中保存，其結果與很多的乾儲型種子一樣，能忍受超低溫-196°C液態氮，活力不會喪失(Wang et al. 1993, 1995, Chien et al. 2006)。少數中間型種子，如山柚(*Champereia manillana*)，亦可放在液態氮中保存(Chen et al. 2007b)。加拿大國家林木種子中心(The National Tree Seed Centre)檢測15種長期儲藏在-20°C的針闊葉林木種子，時間超過35年，發現含水率低於9%之種子發芽活力仍佳，但含水率高於9%之種子活力顯著下降，此結果告訴我們種子儲藏時的含水率和溫度是最重要的二個變數(Simpson et al. 2004)。要注意的是當種子儲藏5°C時必須密封包裝，避免過潮縮短儲藏年限。

## 結論

烏心石為台灣闊五木之一，木材品質佳，是非常重要的造林樹種。烏心石種子有形態生理的休眠，播種時氣候會影響種子發芽及後來的苗木生長，以初春播種最佳，發芽率高。種子若預先5°C層積處理8~12星期，播種後不但提高發芽速度，且不受季節溫度的影響，隨時可播種。烏心石果實採收後必須於短時間內將紅色的假種皮洗除，避免種子敗壞，活力下降。華蓋木種子初步研究只有形態的休眠，種子容易發芽，然經5°C層積後活力下降，可能與種子成熟度有關。由於華蓋木種子數量少，其儲藏性未知，將來可再進一步研究，了解種子是否為乾儲型，以達長期儲藏的目的。

## 謝誌

作者們感謝中國西南林業大學雲南生物多樣性研究院沈立新研究員提供華蓋木種子，增添木蘭科樹木種子發芽方面的資料。作者們感謝陳昶諺、陳佳怡、張晏瑋、葉政佑、吳濟琛、林欣德、楊凱淳、謝宇政、蔡仔涵在實驗工作上的協助。本研究承蒙林業試驗所科技計畫102農科-8.1.2-森-G1與國科會專題研究計畫(NSC100-2313-B-054-001-MY3)經費補助。

## 引用文獻

- Azuma H, García-Franco JG, Rico-Gray V, Thien LB. 2001.** Molecular phylogeny of the Magnoliaceae: the biogeography of tropical and temperate disjunctions. *Am J Bot* 88:2275-85.
- Baskin JM, Baskin CC. 2004.** A classification system for seed dormancy. *Seed Sci Res* 14:1-16.
- Baskin CC, Baskin JM. 2014.** *Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*, second ed. San Diego, CA: Elsevier/Academic Press. 1586 p.
- Chen SY, Chien CT, Baskin JM, Baskin CC. 2010.** Storage behavior and change in concentrations of abscisic acid and gibberellins during dormancy break and germination in seeds of *Phellodendron amurense* var. *wilsonii* (Rutaceae). *Tree Physiol* 30:275-84.
- Chen SY, Chien CT, Chung JD, Yang YS, Kuo SR. 2007a.** Dormancy-break and germination in seeds of *Prunus campanulata* (Rosaceae): role of covering layers and changes in concentration of abscisic acid and gibberellins. *Seed Sci Res* 17:21-32.
- Chen SY, Chien CT, Hidayati SN, Walck JL. 2014.** Taiwanese montane *Sambucus chinensis* seeds require warm stratification, contrasting with other congeneric temperate members. *Seed Sci Res* 24:217-28.
- Chen SY, Kuo SR, Chien CT. 2008.** Roles of

- gibberellins and abscisic acid in dormancy and germination of red bayberry (*Myrica rubra*) seeds. *Tree Physiol* 28:1431-9.
- Chen SY, Kuo SR, Chien CT, Baskin JM, Baskin CC. 2007b.** Germination, storage behaviour and cryopreservation of seeds of *Champereia manillana* (Opiliaceae) and *Schefflera oxtophylla* (Araliaceae). *Seed Sci Technol* 35:154-64.
- Chien CT, Baskin JM, Baskin CC, Chen SY. 2010.** Germination and storage behavior of seeds of the subtropical evergreen tree *Daphniphyllum glaucescens* (Daphniphyllaceae). *Aust J Bot* 58:294-9.
- Chien CT, Chen SY, Chang SH, Chung JD. 2006.** Dormancy and germination in seeds of the medicinal Asian tree species *Phellodendron amurense* var. *wilsonii* (Rutaceae). *Seed Sci Technol* 34:583-93.
- Chien CT, Wang YS, Chen MY, Ou CH. 1999.** *Michelia compressa*. In: Sheu BH, editor. Introduction of economic trees under nationwide afforestation campaign. Taichung, Taiwan: National Chung Hsing Univ. and Taipei, Taiwan: Taiwan Forestry Research Institute. p 32-6. [in Chinese].
- Collinson ME, Boulter MC, Holmes PL. 1993.** Magnoliophyta (Angiospermae). In: Benton MJ, editor. The fossil record 2. London, UK: Chapman and Hall. p 809-40.
- Collinson ME, Fowler K, Boulter MC. 1981.** Floristic changes indicate a cooling climate in the Eocene of southern England. *Nature* 291:315-7.
- Frodin DG, Govaerts R. 1996.** World checklist and bibliography of Magnoliaceae. Kew city, UK: Royal Botanic Gardens. 79 p.
- Heywood VH. 1978.** Flowering plants of the world. London, UK: Oxford Univ. Press. 335 p.
- Hong TD, Ellis RH. 1996.** A protocol to determine seed storage behavior. Rome, Italy: International Plant Genetic Resources Institute. 62 p.
- Hwang SG. 1965.** Studies on the fertilization of seedlings and the sowing-time of the seeds of *Michelia compressa* Maxim. *Bull Taiwan For Res Inst* No 112. [in Chinese with English summary].
- International Seed Testing Association. 2007.** ISTA handbook on moisture determination. First edition. Bassersdorf, Switzerland: International Seed Testing Association. 248 p.
- Keng H. 1996.** Magnoliaceae. In: Editorial Committee of the Flora of Taiwan, editor. Flora of Taiwan, second edition, volume 2. Taipei, Taiwan: Editorial Committee of the Flora of Taiwan. p 410-4.
- Law YW. 1984.** A preliminary study on the taxonomy of the family Magnoliaceae. *Acta Phytotax Sin* 22:80-109.
- Li DX. 2000.** *Manglietiastrum sinicum* Law (Magnoliaceae). In: National Service Center for State-Owned Forest Farms and Forest Seed and Seedling Affairs of the Forestry Ministry, editor. Seeds of woody plants in China. Beijing, China: China Forestry Publishing House. p 157-8. [in Chinese].
- Lin TP. 1996.** Effect of moisture content and storage temperature on the storability of seeds of *Michelia compressa* (Max.) Sargent. *Taiwan J For Sci* 11:373-84. [in Chinese with English summary].
- Lin TP, Wu JC. 1995.** Seed storage behavior of *Michelia compressa* (Max.) Sargent. *Seed Sci Technol* 23:309-19.
- Simpson JD, Wang BSP, Daigle BI. 2004.** Long-term seed storage of various Canadian hardwoods and conifers. *Seed Sci Technol* 32:561-72.
- Tian K, Zhang GX, Cheng XF, He SJ, Yang YM, Yang YX. 2003.** The habitat fragility of *Manglietiastrum sinicum*. *Acta Bot Yunnan* 25:551-6. [in Chinese with English abstract].
- Tiffney BH. 1985.** Perspectives on the origin

of the floristic similarity between eastern Asia and eastern North America. *J Arnold Arbor* 66: 73-94.

**Wang BSP, Charest PJ, Downie B. 1993.** *Ex situ* storage of seeds, pollen and in vitro cultures of perennial woody plant species. Rome,

Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 83 p.

**Wang BSP, Lin TP, Chien CT. 1995.** Classification of storage behavior of forest tree seeds. *Bull Taiwan For Res Inst New Series* 10:255-76.

