

研究報告

楊梅屬種子的休眠解除策略*

簡慶德^{1,3)} 陳昱成¹⁾ 陳舜英²⁾ 洪昆源¹⁾

摘要

台灣所產的楊梅屬種子具有休眠性，種子發芽困難。本文研究低溫層積、暖低溫組合層積和激勃素 GA₃ 等處理對恒春楊梅和楊梅種子休眠解除及發芽的影響。種子發芽需要暖低溫的組合層積，單獨的低溫層積處理無法使種子發芽。恒春楊梅種子經 2 個月 30/20°C、30/15°C 變溫層積，或 25°C 定溫層積，接著 3 個月 5°C 低溫層積，皆能打破種子的休眠，使種子迅速發芽。新鮮的恒春楊梅種子經激勃素 GA₃ 1000-2000 ppm 處理，可增加發芽率至 50% 左右，若種子先經 30/20°C 變溫層積 4 星期，然後再用 GA₃ 處理，發芽率可達到 68%。楊梅種子需要 25/15°C 3 個月和 5°C 3 個月的雙重層積才能克服休眠，提高發芽率。綜合結果是暖低溫層積能解除楊梅屬種子的休眠，促進發芽，且激勃素 GA₃ 可使恒春楊梅種子在預先層積處理下發芽成功。

關鍵詞：恒春楊梅、楊梅、種子休眠、暖低溫層積、激勃素、種子發芽。

簡慶德、陳昱成、陳舜英、洪昆源。2000。楊梅屬種子的休眠解除策略。台灣林業科學 15(4):473-81.

Research paper

Dormancy-releasing Strategies for *Myrica* Seeds*

Ching-Te Chien,^{1,3)} Yu-Cheng Chen,¹⁾
Shun-Ying Chen,²⁾ Kung-Yung Hong¹⁾

【 Summary 】

Fresh seeds of native *Myrica* species in Taiwan germinate poorly. The effects of cold stratification combined with warm plus cold stratification and gibberellin A₃ (GA₃) on germination of *Myrica adenophora* and *M. rubra* were studied. Seeds failed to germinate with cold stratification alone and required warm followed by cold stratification for maximum germination. Seed dormancy of *M. adenophora* was broken by stratifying seeds at alternating temperatures of 30/20°C, 30/15°C, or at a constant temperature of 25°C for 2 mo followed by 5°C for 3 mo, and resulted in rapid germination. Germination percentage of *M. adenophora* seeds increased to approximately 50% by exogenous application of GA₃ at 1000-2000 ppm. Furthermore, germination at seeds stratified at 30/20°C for 4 weeks followed by GA₃ treatment increased to 68%. Seeds of *M. rubra* required stratification at

¹⁾行政院農業委員會林業試驗所恒春分所，屏東縣恒春鎮 946 公園路 203 號 Hengchun Station, Taiwan Forestry Research Institute. 203 Kungyuan Rd., Hengchun 946, Pingtung County, Taiwan.

²⁾行政院農業委員會林業試驗所森林生物系，台北市 100 南海路 53 號 Division of Forest Biology, Taiwan Forestry Research Institute. 53 Nanhai Rd., Taipei 100, Taiwan.

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

2000 年 5 月送審 2000 年 7 月通過 Received May 2000, Accepted July 2000.

* 本研究承農委會專題研究計畫(88AST-1.2-FOD-01(1)4)經費補助，特予致謝。

25/15 °C for 3 mo and 5 °C for 3 mo to overcome dormancy and improve germination. We conclude that combined warm and cold stratification is able to release seed dormancy and enhance germination of the 2 *Myrica* species, and GA₃ treatment is successful for germination of *M. adenophora* seeds without pre-stratification.

Key words: *Myrica adenophora*, *Myrica rubra*, seed dormancy, combined warm and cold stratification, gibberellin A₃, seed germination.

Chien CT, Chen YC, Chen SY, Hong KY. 2000. Dormancy-releasing strategies for *Myrica* seeds. *Taiwan J For Sci* 15(4):473-81.

緒言

楊梅科 (Myricaceae) 在台灣共有 1 屬 2 種，分別為恒春楊梅 (*Myrica adenophora* Hance) 和楊梅 (*Myrica rubra* (Lour.) Sieb. & Zucc.)。前者僅分布於中國大陸廣東、福建和台灣恒春半島東岸、台東等地；後者分布較廣，除朝鮮半島、日本、琉球群島、中國大陸中南各省及菲律賓等外，在台灣則廣泛地分布

全島中低海拔地區 (Yang and Lu 1996)。恒春楊梅多呈灌木狀，與小喬木楊梅相比較，其葉小，葉緣稍內捲；果為橢圓形，果徑 1.3 cm 以下，略小於楊梅，其果實成熟期在恒春地區為 1-3 月，台東地區為 8-10 月，而楊梅果實成熟期為 6-7 月 (Fig. 1)。二者皆為雌雄異株，偶發現少數雌雄同株。楊梅屬植物經由放射菌 *Frankia* 感染後在根部形成放射菌根瘤，能固定空氣中的氮氣，其固氮能力強，可比擬豆科

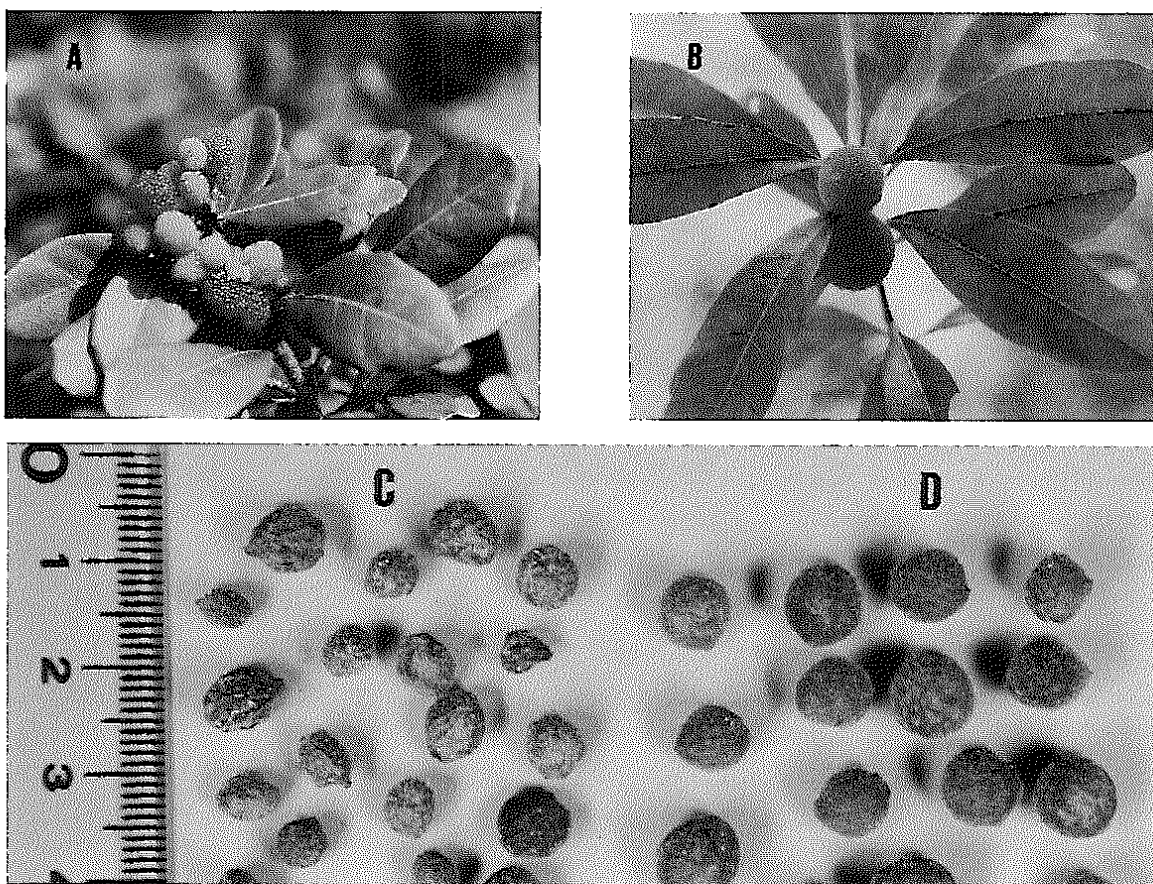


Fig. 1. Morphological features and seeds: (A)(C) *M. adenophora* and (B)(D) *M. rubra*.

植物的根瘤菌 (Hiyoshi et al. 1988, Hibbs and Cromack 1990)。近年來新鮮楊梅果實在市場販售或製成浸漬加工食品，逐漸受到大眾注意，其優美樹形及耐乾瘠地的特質，亦適於都市環境之綠化樹種。

楊梅屬種子具有休眠性，據報告低溫層積處理能促進種子發芽。例如美國楊梅 *M. pennsylvanica* 和 *M. gale* 種子經 5°C 層積處理 30-90 天，發芽率提高 (Young and Young 1992)。植物荷爾蒙激勃素 gibberellin A₃ (GA₃) 處理楊梅屬的種子，能促進發芽，例如 Sasakawa (1995) 在日本取楊梅 (*M. rubra*) 種子，種皮剝除後，用 10⁻³ M GA₃ 處理 3 分鐘，發芽率增加至 60-80%；另人工合成的植物荷爾蒙 kinetin 亦能促進發芽，但效果較 GA₃ 差。台灣產恒春楊梅和楊梅種子的休眠發芽資料甚少。本文研究目的是利用低溫層積處理、暖低溫層積組合處理或激勃素 GA₃ 處理等方法，探討對台灣產楊梅屬種子的發芽效果，希望藉由這些方法能縮短種子發芽的時間，增加種子發芽數量。

材料與方法

一、果實採集處理

恒春楊梅果實於 1997 和 1999 年分別在恒春半島九棚 (22°07'N, 120°52'E) 和旭海 (22°12'N, 120°53'E) 採集，並於當年採收後立即進行層積處理和發芽試驗。由於九棚和旭海二地種子數量不多，在相隔不遠之下，將所採收的種子混合處理，視為一個種子組。1999 和 2000 年亦於林業試驗所恒春植物園區 (21°58'N, 120°49'E) 內採集不少的種子，以「恒春植物園」表示該種子組，一併進行各項處理試驗。恒春楊梅果實自 12 月底開始成熟，持續至 4 月，必須每 1-2 星期前往採集一次。另外這些呈紅紫色的成熟果實大小差異大，果徑 0.6-1.3 cm，且易被鳥類及小動物取食，採集較為困難。每次採收的恒春楊梅果實，先在尼龍網內揉搓，用水清除果肉，並除去懸浮水面的空粒種子，沉水的種子陰

乾 24 小時後與濕水苔混合，放入 PE 封口袋內，暫存 5°C 中，待累積一定數量後再進行試驗。楊梅果實於 1996 年 6 月分別採自苗栗南庄 (24°36'N, 120°59'E)、中橫佳陽 (24°16'N, 121°12'E) 和台北陽明山 (25°09'N, 121°33'E)。採收果實紅紫色和紅色約各佔有半數。果實運回實驗室後如同上述立即在尼龍網內揉搓清洗，除去空粒種子和陰乾處理，隨後進行各項試驗。

二、種子層積處理

層積處理方法有二種，即低溫層積和暖低溫組合層積。低溫層積是將新鮮種子在 PE 封口袋 (厚度 0.04 mm) 內混合濕水苔，儲藏在 5°C，然後定期取出進行發芽試驗。暖低溫組合層積是新鮮種子與濕水苔在 PE 袋內混合後先分別放置在 25/15、30/15、30/20 及 35/10°C 等變溫或 22°C 定溫下 2、3、5 或 6 個月，然後隨即將原袋再置入 5°C 低溫層積 3 或 6 個月，找出打破種子休眠的最佳層積溫度和時間。暖溫層積期間種子每日光照 12 小時和黑暗 12 小時，以 24 小時為一個循環；唯 35/10°C 變溫處理時，在 35°C 光照下縮短至 8 小時，以減少種子接受此高溫的時間。在 25/15°C 變溫中另設定一個 48 小時循環，即種子給予 24 小時光照和 24 小時黑暗，以瞭解休眠解除效果 (構思來自 Suszka 1985)。每個處理 3 重複，楊梅種子每重複 50 粒，恒春楊梅種子 30 粒。層積期間的水苔含水率保持在 75-80%。進行暖溫層積的種子至少每星期檢查一次發芽情形，低溫層積種子則否，但每個月從 5°C 取出一批，打開 PE 袋，翻動水苔以交換空氣，並檢查種子儲藏狀況和水苔含水量。

三、恒春楊梅種子激勃素 GA₃ 處理

為了分析激勃素 GA₃ 對種子發芽效應，新鮮恒春楊梅種子分別浸潤在不同濃度 GA₃ (95% purity, potassium salt, Sigma): 500、1000、1500 及 2000 ppm 等溶液和蒸餾水 (對照組) 中 12 小時。每個處理濃度種子 50 粒，並

且分種皮磨破（用細砂紙）和不磨破二種。本項激勃素處理由於種子數量少，沒有重複。經 GA₃ 處理後的種子分別放入 PE 封口袋混合濕水苔，在變溫 30/20 °C 下進行發芽試驗。除了測定 GA₃ 對新鮮種子是否有促進效果外，本試驗亦要瞭解新鮮種子經暖溫層積一段時間後再用 GA₃ 處理之效果，即新鮮種子先在變溫 30/20 °C 下 4 星期，取出後再同樣地用不同濃度之 GA₃ 處理，浸潤 12 小時，亦分種皮磨破和不磨破二種，每個處理 50 粒，沒有重複。種子用蒸餾水處理做為試驗對照組。楊梅種子因未再前往採集，沒有進行 GA₃ 處理試驗。

四、種子發芽處理

經暖低溫組合層積處理後的種子，再放回原來暖溫層積時的溫度發芽，每星期檢查一次，記錄發芽數，以胚根突出種皮 2 mm 以上者計算，然後以發芽期間 8 星期總發芽數計算發芽率。進行暖低溫組合層積之暖溫層積時，每星期亦需檢查種子發芽情形，記錄發芽數，最後再計算暖溫處理期間總發芽率。每星期檢查種子發芽之同時需注意水苔含水率，保持在 75-80% 間。

試驗得到的發芽率數據以 SAS 套裝統計軟體做變方分析 (ANOVA)，當差異顯著時再以

鄧肯氏多變域分析法分析各處理間之差異顯著性，差異基準為 5%。

結果

新鮮恒春楊梅和楊梅種子皆具有休眠性，種子在各種變溫下進行發芽試驗，發芽期間延長至 2 個月仍未發現有種子發芽，而 6 個月後的種子平均發芽率僅為 2.2% 或更低（數據未顯示）。恒春楊梅和楊梅種子先經低溫 5 °C 層積處理數個月不等，亦無法打破休眠使胚根突破種皮發芽；例如恒春楊梅種子先經 5 °C 層積 6 個月，種子發芽率低於 3%，而楊梅種子在 5 °C 層積 6 個月後的發芽率仍為 0%（數據未顯示）。

恒春楊梅和楊梅種子以暖低溫組合層積處理最能表現出休眠解除的效果。Table 1 顯示 1997 年採自旭海九棚地區之恒春楊梅種子，經 2 個月的變溫層積和 3 個月的 5 °C 層積處理，能使種子發芽率達到 70%。延長變溫層積時間至 5 個月，發芽率沒有顯著增加，且未發芽種子皆為空粒，顯示恒春楊梅種子在 30/20 °C 變溫層積 2 個月和 5 °C 低溫層積 3 個月，即足以打破種子的休眠。1999 年分別採自恒春熱帶植物園和旭海九棚的種子，比較在 30/20 °C、

Table 1. Effect of warm treatment followed by 5 °C stratification on germination of *M. adenophora* seeds harvested from Chiupeng (九棚) and Hsuhai (旭海) regions in February 1997

Warm conditions (°C)	Germination (%) ¹⁾		
	2 mo warm + 3 mo at 5 °C	5 mo warm + 3 mo at 5 °C	6 mo warm
30/20 (12 h light/12 h dark)	70.0 ^a	63.3 ^a	2.2 ^b

¹⁾Means ($n = 3$) with the same letter do not significantly differ ($p = 0.05$) by Duncan's test.

Table 2. Effect of warm followed by 5 °C stratification on germination of *M. adenophora* seeds harvested from the Hengchun Botanical Garden (恒春植物園) and Chiupeng (九棚) Hsuhai (旭海) regions in February 1999

Site	Germination (%) ¹⁾		
	2 mo 30/20 °C + 3 mo at 5 °C	2 mo 30/15 °C + 3 mo at 5 °C	2 mo 25 °C + 3 mo at 5 °C
Hengchun Botanic Garden	83.3 ^a	89.3 ^a	88.7 ^a
Chiupeng + Hsuhai	48.9 ^b	33.4 ^b	39.2 ^b

¹⁾Means ($n = 3$) with the same letter do not significantly differ ($p = 0.05$) by Duncan's test.

30/15°C及25°C等不同暖溫層積處理2個月和5°C層積3個月，結果發芽率在處理間並無顯著差異 (Table 2)，然恒春植物園的種子發芽率較高，品質比九棚旭海佳。採自高山地區佳陽的楊梅種子，經由變溫 (25/15°C、30/15°C或35/10°C) 和定溫 (22°C) 處理3或6個月，接著5°C層積3或6個月，發芽結果顯示變溫25/15°C處理要比定溫22°C或變溫35/10°C處理好，且差異顯著 (Table 3)，其變溫25/15°C3個月後再低溫5°C3個月的發芽率可達50%左右；然而變溫或低溫層積時間分別延長至

6個月，並不能顯著地提高發芽率。採自苗栗南庄的楊梅種子，比較25/15和35/10°C對休眠解除之效果，顯示在同樣時間處理下，變溫25/15°C的效果較好且差異顯著 (Table 4)。此外Table 4亦顯示要提高南庄種子的發芽率，5°C低溫層積的時間必須延長至6個月；若以48小時一個循環，即25°C下給予24小時光和15°C下不給予24小時光，其在5°C低溫層積的時間僅需3個月就足以使種子發芽率提高。採自台北陽明山的種子，在變溫25/15°C下比較以24小時一個循環 (25°C12時光和15°C12

Table 3. Effect of warm followed by 5°C stratification on the germination of *M. rubra* seeds harvested from Chiayang (佳陽)

Warm conditions (°C)	Germination (%) ¹⁾		
	3 mo warm + 3 mo at 5°C	3 mo warm + 6 mo at 5°C	6 mo warm + 3 mo at 5°C
22 (12 h light/12 h dark)	14.5 ^h	26.7 ^{efg}	21.3 ^{fgh}
25/15 (12 h light/12 h dark)	49.1 ^{abc}	42.7 ^{bcd}	58.1 ^a
25/15 (24 h light/24 h dark)	51.2 ^{ab}	47.7 ^{abc}	56.5 ^a
30/15 (12 h light/12 h dark)	38.2 ^{cde}	26.8 ^{efg}	35.6 ^{de}
35/10 (8 h light/16 h dark)	24.7 ^{fg}	14.0 ^h	19.4 ^{gh}

¹⁾Means ($n = 3$) with the same letter do not significantly differ ($p = 0.05$) by Duncan's test.

Table 4. Effect of warm followed by 5°C stratification on the germination of *M. rubra* seeds harvested from Nanchuang (南庄)

Warm conditions (°C)	Germination (%) ¹⁾		
	3 mo warm + 3 mo at 5°C	3 mo warm + 6 mo at 5°C	6 mo warm + 3 mo at 5°C
25/15 (12 h light/12 h dark)	42.7 ^c	67.4 ^a	49.9 ^{bc}
25/15 (24 h light/24 h dark)	67.5 ^a	57.7 ^{ab}	63.3 ^a
35/10 (8 h light/16 h dark)	12.9 ^e	26.2 ^d	15.4 ^{de}

¹⁾Means ($n = 3$) with the same letter do not significantly differ ($p = 0.05$) by Duncan's test.

時暗) 和 48 小時一個循環的種子發芽率，發現仍以 48 小時一個循環顯著地促使種子的層積時間縮短 (Table 5)。綜合言之，楊梅種子在暖溫下利用 25/15°C 處理之效果不錯，然研究發現 48 小時一個循環的層積條件，亦能縮短層積時間，提高種子發芽數量。

恒春楊梅種子除了在暖溫層積所需時間短於楊梅種子外，亦發現種子在發芽時期發芽迅速，短時間內全部發芽完成。Fig. 2 顯示自九棚及旭海的恒春楊梅種子，一星期後種子發芽數量已達 60% 以上，而南庄採之楊梅種子發芽所需時間則較長。南庄之楊梅種子以變溫 25/15°C 下 48 小時一個循環能提高種子發芽率，其他處理的種子皆尚有部分未發芽，必須延長低溫層積時間。綜合言之，恒春楊梅種子的發芽速率 (germination speed；種子發芽率達到 50% 所需天數)，在相同條件處理下較楊梅種子快，休眠深度較淺。

激勃素 GA_3 能促進恒春楊梅種子的發芽。新鮮恒春楊梅種子用 GA_3 濃度 1000-2000 ppm 處理或先經 30/20°C 變溫層積 4 星期，然後再用同樣濃度 GA_3 處理，顯著地提高種子發芽率，其發芽率在 50% 或以上 (Table 6)。種子磨破處理能促進胚根提早長出，但最後總發芽率稍低，原因是種皮磨破時子葉 (cotyledons) 易受到傷害，導致種子發霉敗壞。種子經 4 星期變溫層積和 GA_3 處理，對未磨破種皮之種子發芽率在 1500 和 2000 ppm 處理有稍微增加，記錄資料亦顯示發芽所需時間有縮短現象。所有種子未經 GA_3 處理者，發芽率皆非常低。

討論

根據台灣植物誌 (Flora of Taiwan 1996) 報告，恒春楊梅與中國大陸產的青楊梅是同一種，而恒春楊梅現今僅分布台灣南端滿州鄉臨海衝風地區和台東，北至花蓮富里等地。恒春楊梅在滿州鄉九棚、旭海和出風鼻一帶之生育地土壤貧瘠，冬季環境乾燥惡劣，常伴生一些植物如大頭茶、灰木、野牡丹、山鹽青、樟

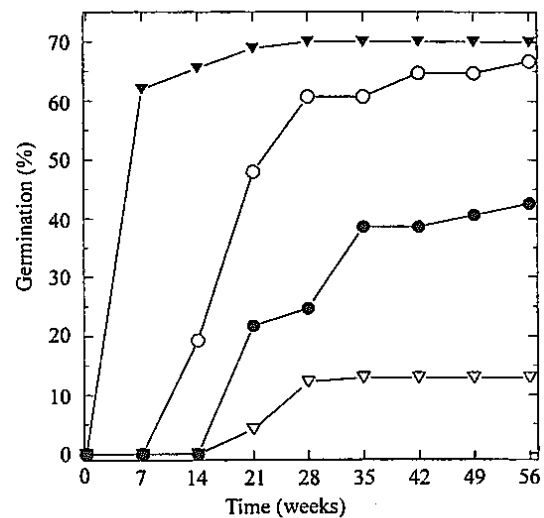


Fig. 2. Germination curves of *M. rubra* and *M. adenophora* seeds. \blacktriangledown , 30/20°C (12 h light/12 h dark) for 2 mo plus 5°C for 3 mo of *M. adenophora* seeds from Chiupeng and Hsuhai regions; \circ , 25/15°C (24 h light/24 h dark) for 3 mo plus 5°C for 3 mo of *M. rubra* seeds from Nanchuang; \bullet , 25/15°C (12 h light/12 h dark) for 3 mo plus 5°C for 3 mo of *M. rubra* seeds from Nanchuang; ∇ , 35/10°C (8 h light/16 h dark) for 3 mo plus 5°C for 3 mo of *M. rubra* seeds from Nanchuang.

Table 5. Effect of warm followed by 5°C stratification on the germination of *M. rubra* seeds harvested from Yangmingshan (陽明山)

Warm conditions (°C)	Germination (%) ¹⁾		
	3 mo warm + 3 mo at 5°C	3 mo warm + 6 mo at 5°C	6 mo warm + 3 mo at 5°C
25/15 (12 h light/12 h dark)	48.7 ^b	50.0 ^b	58.0 ^{ab}
25/15 (24 h light/24 h dark)	65.3 ^a	50.7 ^b	57.3 ^{ab}

¹⁾Means ($n = 3$) with the same letter do not significantly differ ($p = 0.05$) by Duncan's test.

樹、魯花樹、相思樹、臺灣海棗、土樟及芒草等十幾種。恒春半島之恒春楊梅與台東產之恒春楊梅，雖外觀形態上幾乎一樣，但如前述其結實期不同。根據同功酶電泳分析法 (starch gel electrophoretic analysis)，分析比較恒春楊梅在恒春半島和台東區，以及廣泛分布之楊梅等族群遺傳變異 (Cheng et al. 2000)，發現稀有、狹隘分布的恒春楊梅，其多項遺傳歧異度指數，皆小於廣泛分布的楊梅族群。然二樹種的總形態 (gross morphologies) 非常相似，遺傳關係極為密切，演化上有祖先 (楊梅) 和後代 (恒春楊梅) 之直接關係，推論可能在最後一次冰河期二樹種未登陸台灣本島前此關係即已存在。

恒春楊梅和楊梅種子在暖溫和低溫雙重層積組合下，可提高發芽率。恒春楊梅需要的暖溫層積時間較短，2 個月的暖溫即足以打破種子休眠，使健全的種子全數發芽。楊梅種子則不然，早期曾經利用暖溫 2 個月和低溫 3 個月層積種子，發芽率極不理想；本研究延長暖溫時間至 3 個月，發芽率才有顯著的增加，可見恒春楊梅和楊梅種子之休眠性多少有差異，這種差異可能與該二樹種在地理上的分布，如恒

春楊梅位處南部低海拔及高溫地區有關。杜英 (*Elaeocarpus sylvestris*) 和繁花薯豆 (*Elaeocarpus multiflorus*) 種子亦有類似不同的休眠性，杜英分布全台灣，而繁花薯豆則僅產於蘭嶼；研究結果發現杜英種子有休眠，繁花薯豆則否 (Chien et al. 1998a)。其他如有休眠性的山櫻花 (*Prunus campanulata*) 種子經暖溫 2 個月和低溫 3 個月層積，能完全打破休眠，使種子全部發芽 (Shu et al. 2000)。

本研究發現楊梅種子以 48 小時一個循環在 25/15°C 變溫下處理，結果大部分種源的種子發芽率皆有提高。Suszka (1985) 報告以 48 小時循環處理英國紅豆杉 (*Taxus baccata* L.) 種子第一階段的變溫溫度，種子不會受到傷害且能提高發芽率。一般控溫之種子發芽箱皆以 24 小時一個循環設計，建議未來在種子發芽促進方面之研究時，能考慮加入 48 小時循環的試驗設計，若多方研究結果有正面效果，將可做為未來發芽箱計時器改裝之參考。另一方面，以 24 小時一個循環，在 3 個月之變溫處理後，若能延長低溫層積至 6 個月，除了不會傷害種子外，亦能提高種子發芽率 (Tables 3-5)。本研究發現同一批採的楊梅種子，部分種子需

Table 6. Effect of GA₃ on germination of *M. adenophora* seeds¹⁾

	GA ₃ (ppm)				
	0	500	1000	1500	2000
Germination of scarified seeds (%) ²⁾					
Fresh seeds	4	34	56	20	34
Seeds stratified at 30/20°C for 4 wk	6	22	24	34	42
Germination of non-scarified seeds (%)					
Fresh seeds	0	36	48	50	44
Seeds stratified at 30/20°C for 4 wk	0	34	46	68	54

¹⁾Endocarp was either scarified using sandpaper or nonscarified. Seeds were collected from the Hengchun Botanical Garden (恒春植物園) in January 2000.

²⁾Fungus contamination was found during incubation.

較長的層積處理才能發芽，可能與採集時之種子成熟度有關。因此，若以完全成熟之紅紫色果實為採集對象進行層積，相信能縮短層積時間，提高發芽率。

激勃素 GA_3 能促進恒春楊梅種子的發芽，處理濃度 1000-2000 ppm 可提高發芽率至 50% 或以上。Schwintzer and Ostrofsky (1989) 報告，楊梅屬 *M. gale* 的種子用 500ppm GA_3 處理，發芽率僅增加 20%。Hamilton and Carpenter (1977) 發現楊梅屬 *M. pennsylvanicum* 種子先以 5°C 層積 30 天，再用 GA_3 500 或 900 ppm 處理，顯著增加種子發芽率至 60% 以上。新鮮恒春楊梅種子用 GA_3 500 ppm 處理之發芽效果較差，仍以 GA_3 1000-2000 ppm 處理所獲得的發芽率較高 (Table 6)。此外，種子先經暖溫層積 4 星期，發現以 1500 和 2000 ppm 處理可些微提高發芽率，可能與種子成熟度或種皮厚薄有關；前者在暖溫層積下使部分提早採的未成熟胚種子繼續生長，後者在暖溫層積下紓解種皮的壓力或打破種皮， GA_3 易滲入胚內，使種子發芽。夏威夷楊梅屬 *M. faya* 種皮用砂紙磨損，經 15 星期的觀察，種子發芽率顯著提高 (Walker 1990)。恒春楊梅種皮雖經砂紙磨破可稍微提前發芽，但在磨破處理時易傷及子葉，導致種子因黴菌感染而敗壞。本研究認為 GA_3 處理或暖溫層積 4 星期再用 GA_3 處理，足以打破恒春楊梅種子的休眠，沒有必要進行砂紙磨破之預處理。

Copeland and McDonald (1995) 報告種子的休眠基本上可分為外在的休眠 (exogenous dormancy) 和內在的休眠 (endogenous dormancy) 二類。外在的休眠與種皮有關，因種皮阻礙了水分和空氣的進入，另外溫度和光度也會導致種子發芽遲緩。然而由於遺傳的特性，種子的內在休眠最為普遍，如未成熟胚休眠 (rudimentary embryo dormancy)、生理休眠 (physiological dormancy) 或滲透壓的抑制作用 (osmotic inhibition) 等。恒春楊梅和楊梅種子之種皮厚，種皮經由細砂紙磨損後放入變溫下發芽率低 4-6% (Table 6)，認為除了種皮的休眠因素外，可能與其他因素如生理休眠有

關。本研究顯示暖低溫層積組合能有效解除種子的休眠，其中暖溫階段有可能使未完全成熟的種子繼續生長發育，增加種胚的大小、長度和重量外，亦有紓解硬實種皮壓力的效果，使水分和空氣容易進出種皮。低溫層積效果可能與 ABA 濃度下降或增加激勃素和其他發芽代謝物質有關。外在激勃素 GA_3 取代 5 個月的暖低溫層積處理，促進新鮮恒春楊梅種子的發芽，此與紅豆杉種子在暖溫層積後用激勃素 $GA_{4/7}$ 處理而取代 3 個月的 5°C 層積結果類似 (Chien et al. 1998b)，暗示激勃素可當做一個種子促進劑 (promotive agent)。由上述的研究結果顯示，恒春楊梅或楊梅種子的休眠主要來自內在生理上的休眠，種皮休眠因素較低。

本島楊梅屬種子的儲藏行為 (storage behaviour) 尚未有報告發表。國外楊梅屬 *M. gale* 種子在 5°C 乾藏 6 年後，其發芽率沒有下降，顯示有正儲型 (orthodox type) 的特性 (Schwintzer and Ostrofsky 1989)，同屬其他種類的儲藏行為未詳。另外， GA_3 對楊梅種子是否如同恒春楊梅種子一樣，也有解除休眠的效果，尚未進行研究，但是從楊梅種子有較深的休眠性看來，除了考慮用 GA_3 處理外，也應對種子先行暖溫層積，然後再用 GA_3 處理，以提高發芽率。低溫 5°C 層積對楊梅屬種子的發芽效果不佳，低溫 6 個月後的種子平均發芽率低於 5%，其休眠特性與美國楊梅 *M. pennsylvanica* 和 *M. gale* 種子 (Young and Young 1992)，其經 5°C 層積處理後發芽率提高的結果有差異。

結論

楊梅屬種子具有休眠性，然休眠程度不同，恒春楊梅種子的休眠性比楊梅種子淺。暖低溫層積組合可以打破種子休眠，促進發芽。激勃素 GA_3 1000-2000 ppm 或先暖溫層積 4 星期再用 GA_3 處理，能解除恒春楊梅種子的休眠，促使大部分的種子發芽。由於恒春楊梅被列為稀有植物，為增加該樹種育苗數量，建議恒春楊梅種子可利用 GA_3 處理，縮短種子發芽和苗木培育所需要的時間。

引用文獻

- Cheng YP, Chien CT, Lin TP. 2000.** Population genetics of geographically restricted and widespread species of *Myrica* (Myricaceae). *J Hered* 91(1):61-6.
- Chien CT, Hong KY, Lin SH. 1998a.** Effects of stratification on the dormancy and germination of *Elaeocarpus sylvestris* and *Elaeocarpus multiflorus* seeds. *Taiwan J For Sci* 13(3):219-24. [in Chinese with English summary].
- Chien CT, Kuo-Huang LL, Lin TP. 1998b.** Changes in ultrastructure and abscisic acid level, and response to applied gibberellins in *Taxus mairei* seeds treated with warm and cold stratification. *Ann Bot* 81:41-7.
- Copeland LO, McDonald MB. 1995.** Seed science and technology. 3d ed. New York: Chapman & Hall. 409 p.
- Hamilton DF, Carpenter PL. 1977.** Seed germination of *Myrica pennsylvanicum* L. *Hortsci* 12(6):565-6.
- Hibbs DE, Cromack Jr. E. 1990.** Actinorhizal plants in Pacific Northwest forests. In: Schwintzer CR, Tjepkema JD, editors. *The biology of Frankia and actinorhizal plants*. London: Academic Press. p 343-63.
- Hiyoshi T, Sasakawa H, Yatazawa M. 1988.** Isolation of *Frankia* strains from nodules of *Myrica rubra*. *Soil Sci Plant Nutr* 34(1):107-16.
- Sasakawa H. 1995.** Effect of *Frankia* inoculation on growth and nitrogen-fixing activity of *Myrica rubra* seedlings prepared aseptically. *Soil Sci Plant Nutr* 41(4):691-8.
- Schwintzer CR, Ostrofsky A. 1989.** Factors affecting germination of *Myrica gale* seeds. *Can J For Res* 19:1105-9.
- Shu BR, Chien CT, Chen YC. 2000.** Germination promotion and storage of *Prunus campanulata* Maxim. seeds. *Quart J Chin For* 33(2):283-9. [in Chinese with English summary].
- Suszka B. 1985.** Conditions for after-ripening and germination of seeds and for seedling emergence of English yew (*Taxus baccata* L.). *Arboretum Kornickie* 30:285-336.
- Walker LR. 1990.** Germination of an invading tree species (*Myrica faya*) in Hawaii. *Biotropica* 22(2):140-5.
- Yang YP, Lu SY. 1996.** Myricaceae. In: Editorial Committee of the Flora of Taiwan. *Flora of Taiwan*. 2nd ed, Vol. 2, Taipei, Taiwan, ROC. p 19-22.
- Young JA, Young CG. 1992.** *Seeds of woody plants in North America*. Oregon: Dioscorides Press. 407 p.