

## 研究報告

## 層積濕藏對喜樹果皮構造及種子發芽儲藏的影響

陳舜英<sup>1)</sup> 黃玲瓏<sup>2)</sup> 簡慶德<sup>3,4)</sup> 許原瑞<sup>3)</sup>

## 摘要

喜樹果皮厚的角質層和緊密排列的厚壁細胞組織，影響水分進出和種子發芽。未剝除果皮的果實其種子發芽率在播種4 wk後僅為15%，然剝皮能促進發芽，在播種2 wk後發芽率已達95%。剝除部分果皮有助於種子發芽，且以剝除胚根鄰近的果皮效果最佳。喜樹果實4℃層積濕藏3 mo後，無須人為剝皮，其種子發芽率即達80%，而後可維持此發芽率達6 mo，且平均發芽所需時間為14 d以內。低溫4℃層積濕藏不但能保存種子達9 mo之久，且可免除人為剝皮之困擾。喜樹果實低溫乾藏4 mo後仍有27%的發芽率，推測種子的儲藏性質可能為中間型，但有待進一步證實。

關鍵詞：喜樹、種子發芽、果皮構造、低溫層積、中間型的儲藏性質。

陳舜英、黃玲瓏、簡慶德、許原瑞。2004。層積濕藏對喜樹果皮構造及種子發芽儲藏的影響。台灣林業科學19(4):287-95。

## Research paper

Effect of Cold Stratification on Pericarp Structure, and Seed Germination and Storage of *Camptotheca acuminata*Shun-Ying Chen,<sup>1)</sup> Ling-Long Kuo-Huang,<sup>2)</sup> Ching-Te Chien,<sup>3,4)</sup>  
Yen-Ray Hsui<sup>3)</sup>

## 【 Summary 】

The thick cuticle layer, and compact cells and tissues in the pericarp of *Camptotheca acuminata* Decaisne fruit affected water inflow and seed germination. After a 4-wk incubation, the germination percentage of seeds with pericarp was 15%. However, seed germination increased to 95% within 2 wk after the pericarp had been removed. Partial removal of the pericarp was able to improve the seed germination, and the highest germination was determined when the pericarp near the radicle was

<sup>1)</sup> 行政院農業委員會林業試驗所森林生物組，100台北市南海路53號 Division of Forest Biology, Taiwan Forestry Research Institute. 53 Nanhai Rd., Taipei 100, Taiwan.

<sup>2)</sup> 國立台灣大學生命科學系，生態學與演化生物學研究所，106台北市羅斯福路4段1號 Department of Life Science, Institute of Ecology and Evolutionary Biology, National Taiwan University. 1 Roosevelt Rd., Sec. 4, Taipei 106, Taiwan.

<sup>3)</sup> 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.

<sup>4)</sup> 通訊作者 Corresponding author, e-mail: chien@serv.tfri.gov.tw

2004年5月送審 2004年8月通過 Received May 2004, Accepted August 2004.



removed. Cold stratification of fruit at 4°C for 3 mo increased seed germination to 80% as compared to fresh fruit, and this method retained seed viability for 9 mo. Because cold stratification caused the pericarp structure to disintegrate, with stratification, there was no need to remove the pericarp, and seed germination was promoted. The mean germination time was drastically shortened to less than 14 d by a 3-mo stratification period. Storing dehydrated fruits of *C. acuminata* at 4 or -20°C retained 27% germination, we thus speculated that the seed is probably characterized as having an intermediate storage behavior. However, this needs to be further confirmed.

**Key words:** *Camptotheca acuminata* Decaisne, seed germination, pericarp structure, cold stratification, intermediate storage behavior.

**Chen SY, Kuo-Huang LL, Chien CT, Hsui YR. 2004.** Effect of cold stratification on pericarp structure, and seed germination and storage of *Camptotheca acuminata*. *Taiwan J For Sci* 19(4):287-95.

## 緒言

喜樹(*Camptotheca acuminata* Decaisne)又稱「旱蓮」，因其果實為頭狀聚合果，形狀似蓮而得名，為喜樹科(Nyssaceae)喜樹屬落葉大喬木。原產於中國之特有種，是長江流域以南各省極為普遍的用材樹種，木材可供製造家具和造紙原料。臺灣在1948及1952年間分別自杭州與廣東引進栽種(Chen and Hu 1976)。

喜樹的莖、葉、根、樹皮和種子富含喜樹鹼(camptothecin, CPT)，為抗癌藥劑成分，其作用機制在於DNA複製時抑制topoisomerase I 酵素的活性(Wall et al. 1966, Potmesil and Pinedo 1995)。1971~1972年間喜樹鹼曾用於消化系統腫瘤、黑色素瘤等臨床治療，雖有部分效果，但因有嚴重的副作用而中止開發。然其後開發出喜樹鹼的衍生物CPT-11(成分為irinotecan hydrochloride，藥品名irinotecan)，因其副作用較低，目前已被廣泛地應用在大腸癌的治療(Wall and Wani 1991, Kjeldsen et al. 1992, Balandrin et al. 1993)。喜樹易於栽培，且喜樹鹼價格較紫杉醇便宜，在臨床治療與研究上亦為世界性的熱門課題(Wall and Wani 1996)。

Tao and Buta (1986)研究發現，喜樹鹼對於作物種子發芽的影響因植物種類而異，如250 μM的喜樹鹼對高牛毛草(*Festuca arundinacea*)、黃豆與水田芥(*Nasturtium officinale*)等種子發芽即有明顯的抑制作用，然對高苣種子胚軸生長，濃度500 μM才會造成抑制現象。喜樹鹼對於玉

米、胡瓜、蘿蔔及高粱等種子的發芽影響微乎其微，但50 μM喜樹鹼則可促進西瓜種子的發芽。

喜樹種子發芽儲藏之相關研究報告極少。Zhou et al. (1999)在報告內簡述喜樹種子儲藏於布袋內置放於通風乾燥室內一個冬季，未發現有種子敗壞現象。本研究目的在找出可使喜樹種子的儲藏期增加，且種子發芽迅速和發芽整齊的方法，同時藉由不同溫度的低溫層積或乾燥儲藏試驗來探討喜樹種子的儲藏性質，並經解剖觀察以瞭解其果實的構造及影響種子發芽的原因。

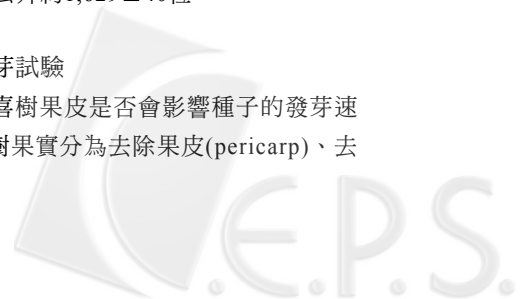
## 材料與方法

### 一、果實之採集和處理

成熟之喜樹果實聚生球狀，於2002年9月10日採自林業試驗所蓮華池研究中心(23°55'N, 120°54'E)的母樹。採收後儘速攜回實驗室，將果實分別剝開成單粒，隨即進行各項試驗。新鮮成熟之果實線形，先端呈楔形，平均長為 $2.32 \pm 0.18$  cm，寬 $0.67 \pm 0.07$  cm，厚 $0.36 \pm 0.06$  cm，每公升約 $1,629 \pm 40$ 粒。

### 二、種子發芽試驗

為瞭解喜樹果皮是否會影響種子的發芽速率，新鮮喜樹果實分為去除果皮(pericarp)、去



除部分果皮、與保留果皮等處理。果實以50粒為單位，與含水率約75%之濕水苔充分均勻混合後，置入厚度0.04 mm的PE封口袋內，每個處理有4個重複。本試驗是在變溫30°C(光照12 h)/20°C(黑暗12 h)之發芽箱內進行，發芽之判斷以胚根突出種皮0.5 cm以上者為準，每星期檢查種子發芽情形，並記錄發芽數，同時必須注意水苔含水率應保持在約75%。

### 三、果實4°C層積儲藏試驗

新鮮未剝皮的果實以50粒為單位，與濕水苔充分混合後置入PE封口袋內，在4°C低溫下分別儲藏1~12 mo，即每隔1 mo取出一次(共12次)進行發芽試驗，每個處理有4重複。在4°C層積時，每月均需打開封口袋，翻動水苔交換空氣，並觀察果實狀況及保持水苔的濕潤度。

### 四、果實乾燥儲藏試驗

將新鮮未剝皮的果實以急速乾燥機進行脫濕處理，急速乾燥機是應用分子篩(molecular sieve)原理去除水分，共處理成8.0, 11.8, 20.6, 41.1, 50.4與76.0% (新鮮果實)等六級不同的含水率後，置入鋁箔袋內，再分別儲藏於4, 15及-20°C等溫度，儲藏時間分別為2 wk及1, 4, 8, 12 mo。儲藏後取出的果實混合濕水苔再放入上述之種子發芽箱進行發芽試驗，並於每星期觀察及記錄種子發芽情形。乾燥儲藏處理2 wk及1 mo後的果實在進行發芽試驗時並未剝除果皮，發芽結果均不理想，因此乾藏4, 8, 12 mo後的果實，在進行發芽試驗前先將其果皮剝除。

### 五、果實含水率測定

取新鮮果實25粒，分別切割成4 mm大小，再以103°C溫度烘乾17 h，重複4次。由鮮重和乾重差計算含水率，並以鮮重表示，亦即含水率(%) =  $(M_2 - M_3) \times 100 / (M_2 - M_1)$ ;  $M_1$ : 測量瓶重;  $M_2$ : 測量瓶重+果實鮮重;  $M_3$ : 測量瓶重+果實乾重。

### 六、果實吸濕能力試驗

新鮮喜樹果實分為剝除果皮與未剝除果

皮二種處理，各處理種子在分別量測其含水率後，另置入急速乾燥機中處理1 d後立即測定含水率，以及另置入內含純水的玻璃密閉容器內(相對濕度為91.8%)吸濕3 d，取出後再測定其含水率。

### 七、發芽率測驗

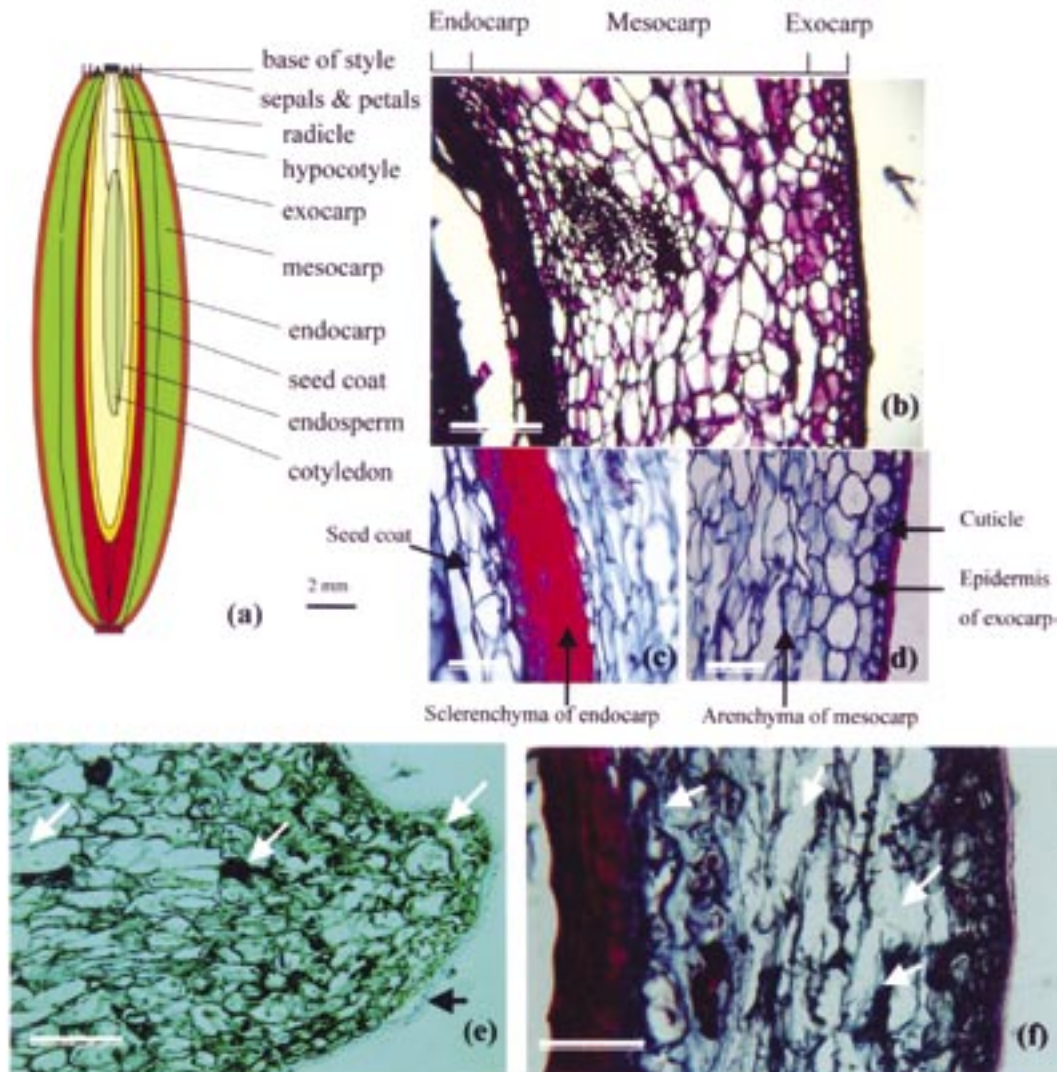
本試驗之種子發芽率以12 wk的總累積發芽數來計算，並利用平均發芽時間(mean germination time, MGT) (以天為單位)公式評估喜樹種子的發芽速率(Kotowski 1962)。MGT =  $(\sum n_i t_i) / N$ ,  $n_i$ 表示自試驗開始後 $t_i$ 天之種子發芽數，而 $N$ 為至試驗結束為止之總發芽數。上述各項處理的發芽率資料，皆利用SAS電腦軟體進行變異數分析(ANOVA)，顯著者再以LSD (least significant difference)分析法檢定各處理間之差異顯著性，差異基準設定為5%。

### 八、果實構造之解剖觀察

新鮮發育中與成熟的喜樹果實以解剖型光學顯微鏡觀察其外部構造，並以刀片適當加以解剖觀察，以初步確認其內部相關構造。另取成熟的喜樹果實及經4°C低溫層積處理5 mo之果實，先橫切成三段再置入FAA (formalin-acetic-alcohol)固定液，於室溫中固定24 h，而後經50%酒精清洗後，以TBA (tertiary butyl alcohol)序列脫水，再於烘箱中進行滲臘，待材料於純臘中即予以包埋。臘塊經修整後以轉動式切片機(precision rotary microtome, serial No. 10412, Erma, Tokyo)切取約10  $\mu$ m厚之連續切片，將切片貼附於載玻片上，經溶臘後以Safranin-Fastgreen雙重染色，經脫水後以蓋玻片封片，於Leica Optiphot型光學顯微鏡下觀察與照相。

## 結果

喜樹果實為核果內含1個種子(Fig. 1a)，由外形與內部構造顯示其為假果(false fruit)，亦即果皮為花被與花絲筒(hypanthium)以及子房壁共同發育而成。果皮之表皮細胞小而排列緊密(Fig. 1b, d)，其外覆蓋有厚的角皮層，表皮層



**Fig. 1.** Schematic representation of a longitudinal section of *Camptotheca acuminata* fresh fruit (a) Cross-section of pericarp of fresh fruit (b-d). Cross-section of the pericarp of the fruit which was treated by 4°C stratification for 5 mo (e, f). Arrows in (e) and (f) indicate that the pericarp structure was altered after 4°C stratification; the parenchymatous cells had partially disintegrated or collapsed, and the cuticle had partially deviated from the epidermis. Scale bars = 150 μm (b, c, d) and 100 μm (e, f).

下的2~3層薄壁細胞排列亦相當緊密，而共同組成果實表層較堅韌的外果皮(exocarp)。中果皮(mesocarp)的薄壁組織充滿細胞間隙，花被與花絲筒之中央縱向與側生維管束位於中果皮之薄壁組織內，成束的維管束成一種網結狀。內果

皮(endocarp)為子房壁發育而成，主要由4-8層厚壁細胞所構成(Fig. 1b, c)。種皮為數層薄壁細胞組成(Fig. 1c)，成熟種子內具明顯多量的胚乳組織，其內包裹1個倒生的胚，胚根朝上，2個明顯的子葉呈淡綠色，頂端分生組織不明顯。

喜樹新鮮果實含水率約為76.0%。未處理種子的發芽率在第3個星期時為1.5% (Fig. 2)，第4星期的發芽率增加至15.0%，在12 wk後發芽率則達65.0%。由完全剝除果皮、剝除近胚根少部分果皮、剝除遠離胚根少部分果皮、或是剝除種子側邊少部分果皮等4個處理的結果顯示，在第2個星期後完全剝除果皮之種子的發芽率已達到95.0%，至4 wk後達到最高99.0%的發芽率。剝除遠離胚根之少部分果皮的種子，自第2個星期開始逐漸發芽，第2個星期後發芽率為39.5%，6 wk後達到最高發芽率64.5%；剝除種子側邊少部分果皮的種子，在第1個星期後的發芽率為24.5%，至4 wk後達到最高發芽率82.0%；剝除近胚根少部分果皮的種子，在第1個星期後的發芽率為57.0%，至3 wk後達到最高發芽率89.0% (Fig. 2)。

新鮮果實經4°C低溫層積處理之種子發芽情形列於Table 1。未經層積處理且未剝除果皮的新鮮喜樹種子在12 wk後的總發芽率為65.0%，平均發芽時間(MGT)需要43.4 d。然一旦將包

覆在種子外層的果皮完全剝除後，其發芽率可高達99.0%，且平均發芽所需日數降至13.0 d (Table 1)。比較未剝除果皮的喜樹種子分別經過1~12 mo的4°C濕藏後其種子發芽率的變化可得知，濕藏3 mo後，種子的發芽率增加至80.0%，此種子活力得以維持至第9個月，而後即逐漸降至第12個月後的38.5%，此時未發芽的種子皆已腐壞。4°C低溫層積亦影響喜樹種子的平均發芽時間，隨層積時間增加，平均發芽天數由43.4 d逐漸縮短至10 d內，此結果顯示，低溫層積儲藏具有使喜樹種子提早發芽的效果，且可發芽迅速整齊。經過4°C低溫層積後的喜樹果實外表形態已有劣化現象，進一步觀察處理5 mo之果實的果皮內部構造，可知其已明顯發生變化(Fig. 1e, f)，部分的薄壁細胞呈現瓦解萎縮，而果皮組織間亦形成了較為破碎不整的細胞間隙與空腔。

Table 2為喜樹果實經脫濕處理後之各種含水率(8.0, 11.8, 20.6, 41.1, 50.4及76.0%)，分別置於4, 15與-20°C溫度儲藏，發芽結果顯示經乾

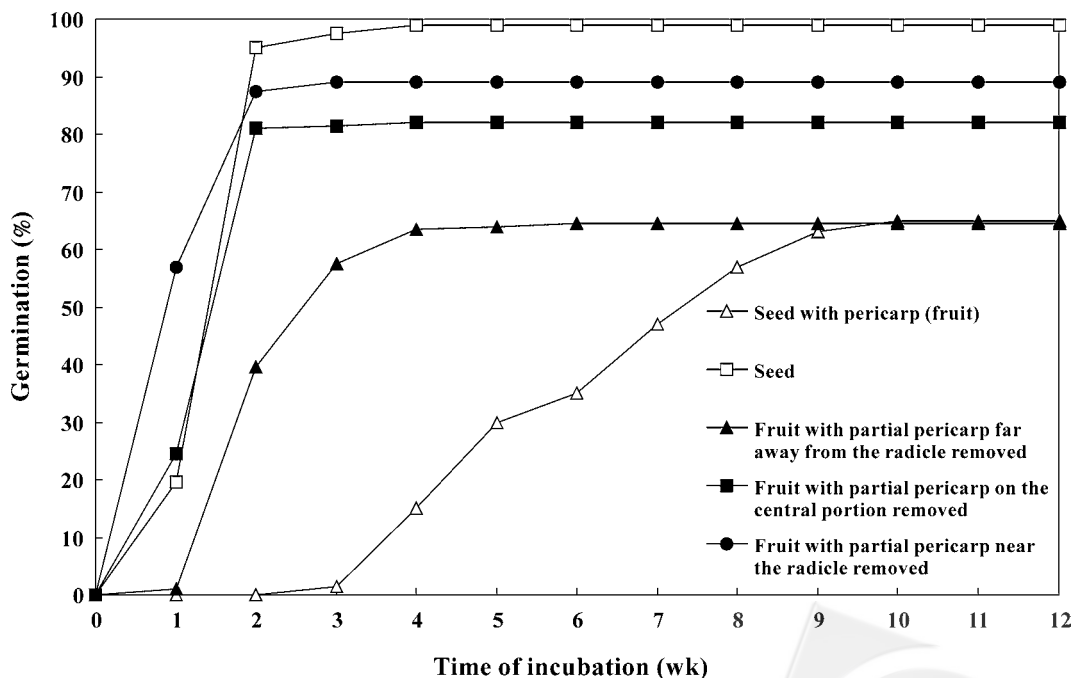
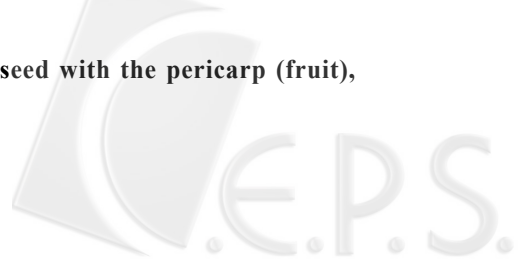


Fig. 2. Germination curves of *Camptotheca acuminata* in a seed with the pericarp (fruit), seed, or fruit with partial removal of the pericarp.



**Table 1. Germination percentages of *Camptotheca acuminata* seeds stratified at 4°C for different periods**

Treatment	Storage period (mo)	Germination <sup>1)</sup> (%)	MGT <sup>2)</sup> (d)
With pericarp removed	0	99.0 <sup>a</sup>	13.0
	0	65.0 <sup>cd</sup>	43.4
	1	66.0 <sup>cd</sup>	24.9
	2	65.0 <sup>cd</sup>	18.4
	3	79.0 <sup>b</sup>	13.8
	4	79.5 <sup>b</sup>	14.7
With pericarp retained	5	80.0 <sup>b</sup>	9.7
	6	73.5 <sup>bc</sup>	8.9
	7	74.5 <sup>bc</sup>	8.8
	8	77.5 <sup>b</sup>	8.9
	9	73.5 <sup>bc</sup>	9.6
	10	62.0 <sup>d</sup>	9.8
	11	59.0 <sup>d</sup>	9.6
	12	38.5 <sup>e</sup>	10.1

<sup>1)</sup> Means ( $n = 4$ ) at 4°C stratification with the same letter do not significantly differ ( $p = 0.05$ ) by LSD test.

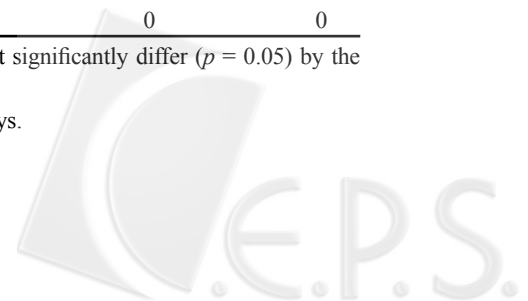
<sup>2)</sup> MGT (d), mean germination time in days.

**Table 2. Germination percentages of *Camptotheca acuminata* seeds which were dehydrated and stored at different temperatures for different periods**

Storage temperature	Water content (%)	Dry storage period <sup>1,2)</sup>				
		Pericarp not removed		Pericarp removed		
		2 wk	1 mo	4 mo	8 mo	12 mo
4°C	8.0	4.5 <sup>fg</sup> (21.9)	6.5 <sup>efg</sup> (20.6)	18.5 <sup>b</sup> (16.5)	3.0 <sup>ghi</sup> (20.6)	0
	11.8	5.5 <sup>efghi</sup> (22.2)	4.5 <sup>fg</sup> (19.1)	27.0 <sup>a</sup> (15.7)	13.0 <sup>cd</sup> (15.5)	0
	20.6	1.0 <sup>i</sup>	0	0	0	0
	41.1	1.5 <sup>hi</sup>	0	0	0	0
	50.4	9.5 <sup>de</sup> (21.4)	5.0 <sup>efghi</sup> (18.6)	0	0	0
	76.0	12.0 <sup>cd</sup> (23.6)	8.5 <sup>def</sup> (20.8)	0	0	0
15°C	8.0	2.5 <sup>ghi</sup> (21.9)	5.0 <sup>efghi</sup> (19.8)	14.5 <sup>bc</sup> (15.9)	2.5 <sup>ghi</sup> (21.0)	0
	11.8	2.5 <sup>ghi</sup>	2.0 <sup>ghi</sup>	0	0	0
	20.6	0	0	0	0	0
	41.1	0	0	0	0	0
	50.4	2.0 <sup>ghi</sup> (21.0)	0	0	0	0
	76.0	2.0 <sup>ghi</sup>	0	0	0	0
-20°C	8.0	2.5 <sup>ghi</sup>	3.0 <sup>ghi</sup>	12.5 <sup>cd</sup> (16.2)	5.5 <sup>efghi</sup> (16.0)	0
	11.8	6.0 <sup>efgh</sup> (23.9)	5.0 <sup>efghi</sup> (24.5)	26.0 <sup>a</sup> (17.0)	12.5 <sup>cd</sup> (15.4)	0
	20.6	0	0	0	0	0
	41.1	0	0	0	0	0
	50.4	0	0	0	0	0
	76.0	0	0	0	0	0

<sup>1)</sup> Means ( $n = 4$ ) of any storage temperatures with the same letter do not significantly differ ( $p = 0.05$ ) by the LSD test.

<sup>2)</sup> Values in parentheses represent the MGT (mean germination time) in days. Seeds which did not germinate had decayed.



**Table 3. Water contents of fruits which were treated by dehydration followed by rehydration**

	Fresh fruits	Dehydration for 1 day	Followed by rehydration for 3 days <sup>1)</sup>
	Water content (%)		
With pericarp removed	57.6 ± 1.6	7.2 ± 0.1	27.4 ± 0.7
With pericarp retained	75.5 ± 1.4	59.3 ± 1.3	51.0 ± 1.7

<sup>1)</sup> Relative humidity of the sealed container was 91.8%.

燥儲藏2 wk的種子發芽率皆低，其中以儲藏4°C 含水率76.0%的發芽率12.0%最高，其餘含水率的種子發芽率皆低於10%。乾燥儲藏1 mo的種子發芽率與2 wk相比較無顯著差異，且發芽率皆在10%以下。本試驗當果實儲藏4 mo後，在發芽試驗前將果皮剝除再進行發芽，發現在不同儲藏溫度下，含水率8.0和11.8%的種子發芽率均有增加，如在4°C下分別增加到18.5和27.0%；在-20°C下則分別增加到12.5和26.0%；而在15°C下含水率8.0%的種子發芽率增加至14.5% (Table 2)。當喜樹果實乾藏時間增加到8 mo，種子發芽率顯著下降，其中以含水率11.8%在4及-20°C溫度下之發芽率12.5~13.0%稍佳，其他含水率8.0%之種子發芽率降到5.5%以下。喜樹果實儲藏12 mo的種子發芽率皆為0%。綜合言之，喜樹種子在含水率8.0與11.8%，分別儲藏4, 15與-20°C 4 mo後皆尚有12.5~27.0%的發芽率，其儲藏性質有可能為中間型(intermediate type)。

為瞭解喜樹之果皮是否影響其種子的水分吸收，而導致發芽遲緩，乃以種子在剝除果皮和保留果皮二種處理下進行去水和吸水試驗。Table 3顯示有保留果皮的種子較剝除果皮的種子之失水或吸水能力均較差，換言之，果皮組織明顯地會阻礙水分進出種子。

## 討論

根據Baskin and Baskin (2004a)對於新鮮成熟種子的休眠分類系統中，結構性休眠(physical dormancy)的定義為「種子因種皮或果皮的不透水性而無法發芽，然而一旦將該部位割傷後即可在2 wk內發芽者」。本研究結果發現，喜樹果實存在結構性的休眠，因為新鮮果

實在變溫環境下之種子發芽率為65.0%，且平均發芽時間長達43.4 d，而當剝除果皮的種子在同樣的發芽條件下，發芽率可達到99.0%，且發芽時間僅13.0 d (Table 1)。此外，Fig. 2中清楚顯示，未處理的喜樹種子在第4個星期(發芽率15.0%)才開始陸續的發芽，而經完全剝除果皮或部分割傷處理後的種子在第二個星期時即有相當高的發芽率(39.5~95.0%)。

在過去結構性休眠之論述文章裡，除了廣泛地探討豆類植物種皮外，很少提到有關影響水分通透性之果皮解剖構造(Ballard 1973, Kelly et al. 1992)。Li et al (1999)研究北美漆樹科(Anacardiaceae) *Rhus* 樹種發現，種子內果皮水分不透性與其結構上的休眠有關，利用濃硫酸或熱水處理打破種子休眠，乃是削弱了內果皮內部的結構。觀察喜樹新鮮果實的構造(Fig. 1)，可知喜樹的果皮外有厚而堅韌的角皮層，內果皮則由數層厚壁細胞所構成，這些組織有可能影響水分與空氣進出種子的能力，進而導致發芽的遲緩。此外，由果實吸濕試驗(Table 3)亦證實由於這些果皮的特殊構造，使得種子的吸水及脫水能力均不佳，即其通透能力差，外部水分不易進入。Zhou (1989)研究發現，喜樹果實在1000 lux光照環境下，將其浸漬25°C水中數小時後，再置入5°C低溫層積，或將果皮剝除，種子發芽率可達85.0%。因此，可以確定喜樹果皮會影響種子的發芽，剝除果皮可增加其種子的發芽速率和發芽率。

Baskin et al. (2000)研究種子休眠演化史認為，始新世以前(Pre-Eocene)種子是沒有休眠性的，氣候類似熱帶雨林。始新世時期氣候逐漸變得乾燥，種子演化成為具結構性的休眠。此時種子的內果皮在解剖上是由3層柵狀的厚壁細胞(palisade-shaped sclereid)所組成，而呈

現不透水的狀態以延遲發芽，直到下一個雨季的來臨才發芽。本研究解剖觀察喜樹果皮(Fig. 1b-d)，除了外果皮有排列緊密的角皮層和薄壁細胞外，內果皮亦具有4~8層的厚壁細胞，形成一個不透水性的果皮組織，因而產生結構性的休眠。始新世中期由於氣候漸趨寒冷，有一部分種子遂演變成同時具有生理休眠與結構休眠的組合性休眠。此外，Manchester (1994)根據已絕種的漆樹科*Rhus rooseae*化石(始新世中期；Middle Eocene)內果皮的解剖鑑定認為，結構休眠的出現時間已超過4300萬年。Baskin and Baskin (2004b)認為結構休眠在植物演化上是在形態休眠(morphological dormancy)之後。換言之，未成熟胚(underdeveloped embryo)之形態休眠與形態生理休眠(morphophysiological dormancy)在演化上是最原始的。

本研究顯示低溫4°C層積可解除種子結構休眠的效果，進而提高了喜樹種子的發芽率和發芽速率(Table 1)。未剝皮之種子發芽率在低溫層積初期2 mo較低，但低溫層積3 mo或以上，即顯著的提高，此可能是因為影響發芽之果皮障礙已被解除。觀察低溫層積處理5 mo之喜樹果實，外表形態已有劣化，而內部構造亦發生變化，果皮組織間明顯的形成了較為破碎不整的細胞間隙與空腔，此現象即造成了水分與空氣較易於進出種子，進而促進種子的發芽(Fig. 1e, f)。果實經4°C層積後的種子發芽率最高為80.0%，無法達到新鮮剝除果皮種子的發芽率99.0%，且若儲藏時間長達10 mo以上時，發芽率則有下降的趨勢，至12 mo時僅剩38.5%，且發現此時未發芽的種子可能是因為長期低溫層積導致老化或劣化現象，而腐敗死亡(Wang 1987)。至於種皮或果皮的不通透性引起的結構性休眠，在結構性破壞而解除休眠後，不可能有二次休眠(secondary dormancy)的情況發生(Hamley 1932, Baskin et al. 2000)。因此，喜樹種子乾濕藏後發芽率下降應是活力喪失的結果，而排除二次休眠的可能性。

本研究亦發現剝除部分的果皮可以增加喜樹種子的發芽率和發芽速率，但剝除果皮時以近胚根部位的效果最佳，而遠離胚根的效果

最差。因此，建議若進行人工果皮剝除時，僅需剝除近胚根部分即可。總而言之，新鮮的喜樹種子播種時以剝除果皮為佳，而剝除時以愈接近胚根部位愈佳。若無法立即播種而需儲藏時，則以約4°C之低溫層積濕藏最佳，低溫濕藏時間若低於3 mo，發芽前仍應將果皮剝除，當超過3 mo時，即可免去剝除果皮的程序，減少人工成本的支出，但濕藏時間亦不宜超過9 mo。

喜樹種子乾燥至含水率8.0和11.8%時，密封儲藏-20°C下4 mo，有剝除種皮的種子發芽率分別為12.5及26.0% (新鮮種子剝皮後的發芽率為99.0%)，顯示種子活力大幅度的下降。根據Hong and Ellis (1996)對種子儲藏性質的認定標準是，當種子乾燥至5%含水率，密封儲藏-20°C溫度3 mo以上，此時大部分種子死亡，則可能是中間型。本研究推測喜樹種子的儲藏性質可能為中間型。然而，因為在2 wk和1 mo乾藏試驗時，種子發芽前並未將種皮剝除，致發芽率低於10%以下，無法真正地顯示種子在此時期的活力(Table 2)。因此，就目前的喜樹種子乾藏資料，難以判定其儲藏性質。

喜樹鹼對作物種子有促進或抑制發芽的作用，如抑制高牛毛草、黃豆、水田芥與萵苣等種子的發芽，但促進西瓜種子的發芽(Tao and Buta 1986)。此外，Liu and Adams (1998)發現喜樹不同種源間之種子的喜樹鹼濃度有差異。本研究得知，喜樹果皮若不剝除時，種子的發芽速率減慢，且發芽率差，然而，除因果皮的不透水性外，喜樹鹼含量是否會影響種子的發芽，需要進一步探討。

## 謝誌

本研究感謝行政院農業委員會林業試驗所育林組吳智翔先生、李瓊美小姐及國立台灣大學生命科學系謝宜殷小姐的試驗協助。

## 引用文獻

Balandrin MF, Kinghorn AD, Farnsworth





- NR. 1993.** Plant-derived natural products in drug discovery and development: an overview. Am Chem Soc Symp Ser. Washington DC: p 2-12.
- Ballard LAT. 1973.** Physical barriers to germination. Seed Sci Technol 1:285-303.
- Baskin CC, Baskin JM. 2004a.** Determining dormancy-breaking and germination requirements from the fewest seeds. In: Guerrant Jr EO, Havens K, Maunder M, editors. Ex situ plant conservation: supporting species survival in the wild. Washington, Covelo, and London: Island Press. p 162-79.
- Baskin JM, Baskin CC, Li X. 2000.** Taxonomy, anatomy and evolution of physical dormancy in seeds. Plant Species Biol 15:139-52.
- Baskin JM, Baskin CC. 2004b.** A classification system for seed dormancy. Seed Sci Res 14:1-16.
- Chen TS, Hu TW. 1976.** A list of exotic ornamental plants in Taiwan. Taipei, Taiwan: Chuan-Liou Publisher. p 72. [in Chinese].
- Hamley DH. 1932.** Softening of the seeds of *Melilotus alba*. Bot Gazette 93:345-75.
- Hong TD, Ellis RH. 1996.** A protocol to determine seed storage behavior. IPGRI Tech Bull no. 1. Rome, Italy: International Plant Genetic Resources Institute.
- Kelly KM, Van Staden J, Bell WE. 1992.** Seed coat structure and dormancy. Plant Growth Regul 11:201-9.
- Kjeldsen E, Svejstrup JQ, Gromova II, Alsner J, Westergard O. 1992.** Camptothecin inhibits both the cleavage and religation reactions of eukaryotic DNA topoisomerase I. J Mol Biol 228:1025-30.
- Kotowski F. 1962.** Temperature regulation to germination of vegetable seeds. Proc Am Soc Hort Sci 23:176-84.
- Li X, Baskin JM, Baskin CC. 1999.** Anatomy of two mechanisms of breaking physical dormancy by experimental treatments in seeds of two North American *Rhus* species (Anacardiaceae). Am J Bot 86(11):1505-11.
- Liu Z, Adams J. 1998.** Seed source variation in camptothecin concentrations of nursery-grown *Camptotheca acuminata* seedlings. New For 16:167-75.
- Manchester SR. 1994.** Fruits and seeds of the middle Eocene Nut Beds flora, Clarno Formation, Oregon. Paleontograph Am 58:1-205.
- Potmesil M, Pinedo H. 1995.** Camptothecins: new anticancer agents. Ann Arbor, MI: CRC Press. 149 p.
- Tao KLJ, Buta JG. 1986.** Differential effects of camptothecin and interactions with plant hormones on seed germination and seedling growth. Plant Grow Regul 4:219-26.
- Wall ME, Wani MC. 1991.** Antitumor and topoisomerase I inhibition activity of camptothecin and its analogues. Economic and medicinal plant research, Vol. 5. Plants and traditional medicine. London: Academic Press. 1991:111-27.
- Wall ME, Wani MC. 1996.** Camptothecin and taxol: from discovery to clinic. J Ethnopharmacol 51:239-54.
- Wall ME, Wani MC, Cook CE, Palmer KH, McPhail AT, Sim GA. 1966.** Plant antitumor agents I. The isolation and structure of camptotecin, a novel alialoidal leudemia and tumor inhibitor from *Camptotheca acuminata*. J Am Chem Soc 88:3880-90.
- Wang BSP. 1987.** The beneficial effects of stratification on germination of tree seeds. Proceedings, Nurserymen's Meeting, 1987 June 15-19, Dryden, Ontario, Canada. Toronto: Ministry of Natural Resources. p 56-75.
- Zhou G, Wu J, Ying Y, Yao J. 1999.** Study on seedling-stage biomass of provenances of *Camptotheca acuminata*. For Res 12 (4):386-91. [in Chinese with English summary].
- Zhou YX. 1989.** Study on the characteristics of seed dormancy and germination of *Camptotheca acuminata*. For Sci Technol 8:22-5. [in Chinese with English summary].