

花蓮縣 第 59 屆中小學科學展覽會
作品說明書

科別：生物組

組別：國中組

作品名稱：台灣欒樹—探討種子與果瓣的關係

關鍵詞：果瓣、種子、發芽率

編號：

目錄

摘要.....	P1
壹、研究動機.....	P1
貳、研究目的.....	P2
參、研究設備與器材.....	P3
肆、研究方法.....	P3
伍、研究結果.....	P6
陸、討論與結論.....	P23
柒、參考文獻.....	P26

摘要

台灣欒樹的種子生長過程種皮顏色依序由綠轉紅變黑，一開始種皮等速生長讓內部胚根與子葉等結構長出，之後長增加的速度比寬厚快，並且內部進行質變且累積大量澱粉。種子重量會影響發芽率，但不影響幼苗生長速度。

有果瓣的種子在枝頭上變色的速度比較慢，其發芽率(63.7%)有明顯高於無果瓣的種子(27.5%)，且種子掉落率(55.3%)小於無果瓣的種子(70.1%)，因此果瓣是種子正常發育不可或缺。

飛行模式在風力較大的情況下初期為翻轉式，之後會變成較穩定的平滑式。影響飛行距離，三個實驗因子中，較常飛行到遠距離組別分別是：質量較輕、果瓣較大、兩顆種子。排列方式的不同導致重心的不穩，易旋轉墜落，測驗結果顯示越重的種子飛越近，但發芽率最高，使得果實大小必須兼顧傳播及生長。

壹、研究動機

在閱讀關於台灣欒樹的歷屆科展時，我們發現其他科展的研究方向大致可分為**病蟲害防治**，例：欒樹葉萃取液防治福壽螺或以紋白蝶和淡黃蝶幼蟲為對象，利用台灣欒樹的葉子汁液直接殺蟲(噴灑於菜葉及蟲體)的方式進行實驗研究，和**台灣欒樹與生物之間的關係**，例：無患子椿象對於台灣欒樹的種子選擇因素、無患子椿象喙的長度差異與台灣欒樹果莢大小的關係，而很少注意到台灣欒樹果實(蒴果)果瓣與種子發育及傳播的功用，所以我們決定要以台灣欒樹的「**種子與果瓣**」作為研究主軸，想知道台灣欒樹的種子成長的歷程及果瓣能在種子的成長過程中扮演舉足輕重的角色嗎？除此之外，果瓣是如何幫助種子傳播出去的呢？還有更多功用嗎？我們對這些心中的疑惑感到非常有興趣，所以我們決定要深入研究這些問題，解決心中一直以來的疑惑。

文獻回顧

台灣欒樹（學名：*Koelreuteria elegans*）為雙子葉植物，是一種無患子科的落葉喬木，是臺灣特有種植物，高可達 17 公尺，生長頗速能耐乾旱，不擇土壤，抗風力強，但需充足日照。分布河谷兩岸及 1000 公尺以下低海拔向陽的闊葉林內。

台灣欒樹萌芽期 3~5 月，開花期 9~11 月，結果期 10~1 月，落葉期 12~2 月。果實（蒴果）成氣囊狀，有三瓣果瓣，每個果瓣中有一中肋突起，中肋兩端能各連結一顆種子，蒴果果瓣顏色變化為玫瑰紅色→紅褐色→最後呈土色，到了最後階段蒴果會乾燥，中肋連結處會互相分離，蒴果因此裂成三片獨立果瓣，帶著種子傳播出去。飄散出去的種子為黑褐色圓形有光澤，每片果瓣上的種子數與大小不一。在種子的其中一側有明顯稜線，往蒂頭方向延伸。



貳、研究目的

一、釐清蒴果果瓣是否能進行光合作用

二、種子的成長過程：

不同階段種子的外在型態與內部構造，及發芽率的差異表現

三、釐清果瓣對種子的影響：

利用阻斷光源及破壞果瓣等的方式探討果瓣對種子大小、落果率及發芽率的影響

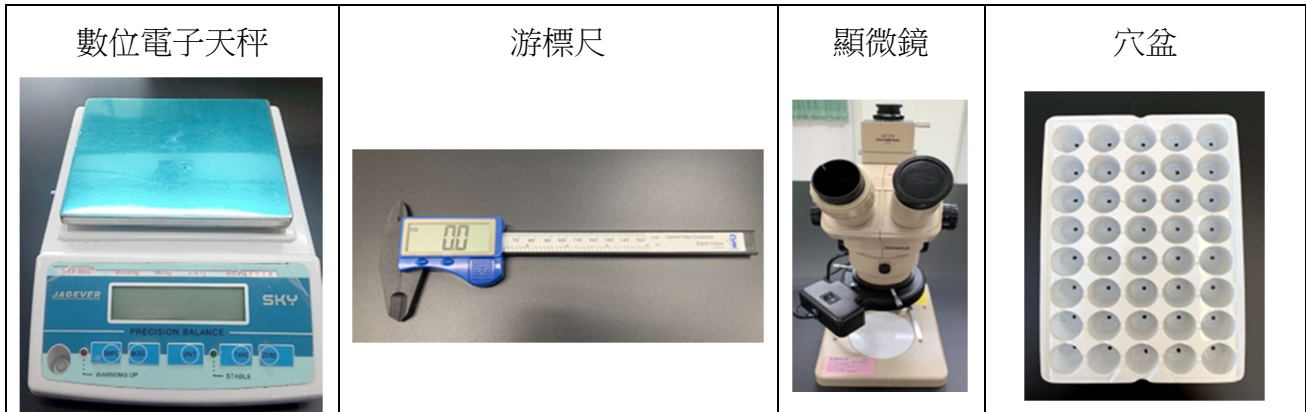
四、探討種子在果瓣上不同排列狀態的傳播距離：

（一）果瓣飄落時的運動模式

（二）種子排列方式、總重量、及果瓣大小對傳播距離的影響

參、研究設備及器材

一、研究設備：



二、器材與材料：

台灣欒樹蒴果、玻片、研磨鉢與研磨棒、酒精燈與三腳架、碘液與本氏液、解剖針與鑷子、手機、燒杯、培養皿、風扇。

三、應用軟體：

Tracker、ImageJ、小畫家、Excel。

肆、研究方法

一、蒴果與種子的構造的探究

- 1.取得各種大小及各種顏色的台灣欒樹蒴果與種子。將紅色蒴果、綠色蒴果與乾燥蒴果的果瓣，夾在兩片保麗龍之間，利用超薄的雙面刀片橫切此保麗龍組，製成蒴果果瓣的剖面水埋玻片標本，利用複式顯微鏡觀察其切片，並拍照紀錄之。
- 2.取各種不同階段的種子測量重量、長、寬、厚並拍照，利用縱剖（種子立起，將稜線處放置於右手之側，沿著穿越蒂頭－底部的軸線，將種子切成均勻兩瓣）以及剝除種皮之方式，觀察種子內部的結構，並拍照紀錄之。如圖 1
- 3.選取不同狀態的種子數顆，先記錄其重量後，分別放入穴盆中的每一穴洞後覆土澆水，每日澆水到水能自穴盤底部滲出，以保持種子的濕潤。記錄其發芽與否與發芽天數，並量測幼苗高度，計算平均生長速率（cm/day）。

4.發芽測試後，解剖未發芽的種子，觀察內部是否完整，且作醣類測試：利用碘液測試種子是否殘存澱粉；泡製5%種子內含物溶液，利用本氏液測試是否含有葡萄糖。

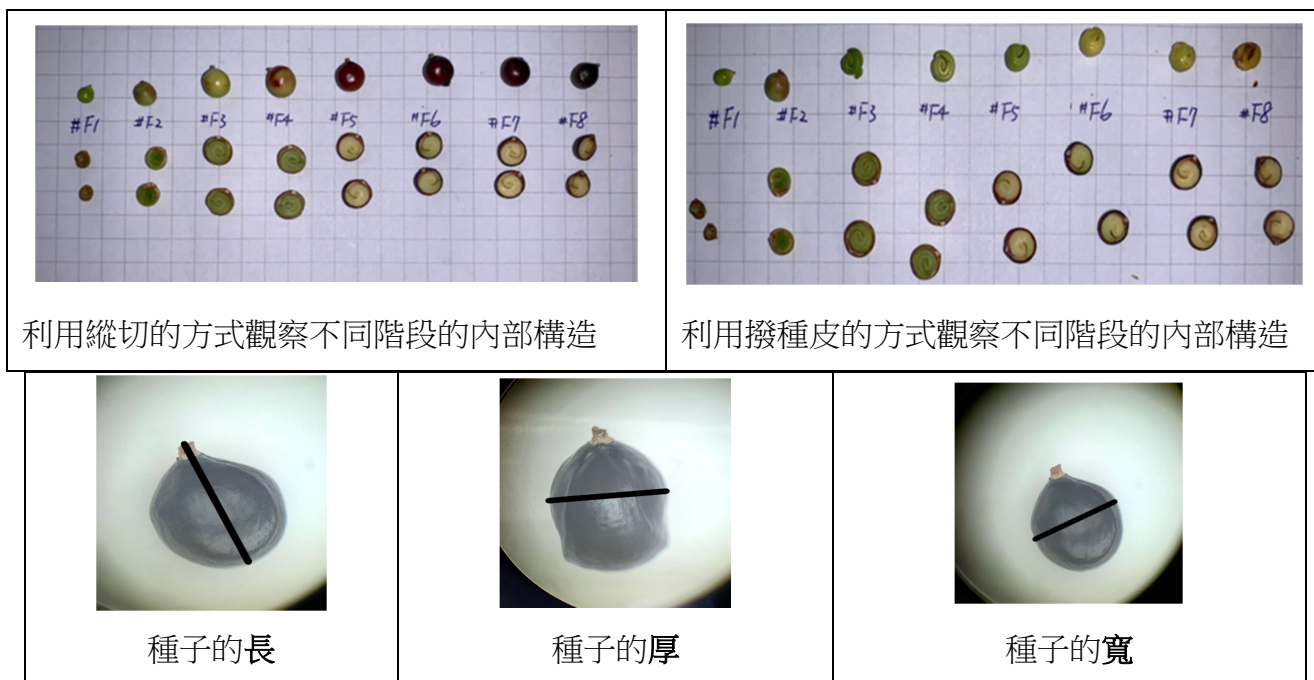


圖 1

二、果瓣對種子發育的影響

1.將黑色紙袋套在結著蒴果的枝條中，阻擋蒴果接近光線，再定期將黑色紙袋打開，紀錄其顏色變化並拍照。兩個星期後，將一部分的蒴果摘下，記錄其形質。一個月後，將其枝條取下，觀察並記錄蒴果與種子。若其種子 $>0.04g$ ，則同以上方法進行發芽測試。



圖 2

2.選定同一棵樹的兩枝條，使其枝條上蒴果內的總種子數接近，將其中一枝條上的蒴果，

剪去果瓣，剪果瓣的方式為沿著果瓣交接處剪去約 $1/2 \sim 1/3$ 的果瓣，使種子裸露在外，另一枝條則不做處理當成對照組。在這兩組枝條下用網子圍繞，收集掉落種子，並每天記錄剩餘的種子，一個月後再將樹枝上的種子一併採下，計算最後留在枝頭上的種子數，測量種子的重量，並將收集的種子種植於穴盆中，進行發芽測試。記錄各類種子發芽與否與日期。若無發芽者，則進行解剖以了解種子不發芽的可能原因。

3.發芽測試後，解剖未發芽的種子，觀察內部是否完整，且作醣類測試：利用碘液測試種子是否殘存澱粉；泡製 5 % 種子內含物溶液，利用本氏液測試是否含有葡萄糖。

三、果瓣大小、重量與種子的排列方式對傳播的影響

- 1.將果瓣分成大果瓣與小果瓣，每類皆取其大小一致的果瓣備用。
- 2.取 14 片大果瓣，分成兩組（各為 7 片），利用黏土做成圓球形當成種子，黏在果瓣的中肋上（原本種子附著在果瓣的位置），其中一組的黏法為單顆黏土黏於中肋的一側（實驗組 1），另一組為黏土黏於中肋的兩側（實驗組 2），但每組的果瓣 + 種子總種為 0.1g。對照組則是 7 顆黏土，每顆 0.1g。
- 3.在門窗緊閉的空間中，利用電扇製造固定的風，將步驟 2 的實驗組與對照組，從 160 cm 的高度釋放，記錄其翻轉模式及每個樣本與釋放基準點間的距離。
- 4.重複步驟 2，實驗組為 21 片大果瓣，其中 7 片果瓣的重量為 0.04g；另 7 片為在果瓣的中肋兩端黏上黏土，使總重量為 0.1g；最後 7 片為果瓣與中肋兩端黏土的總種為 0.2g。這三種重量是依據野外果瓣總重的最小值、平均值與最大值而決定。對照組則是 7 顆黏土，每顆 0.1g。
- 5.重複步驟 3。
- 6.取 7 片大果瓣與 7 片小果瓣，皆在每片果瓣的中肋兩端皆黏上黏土，使其總重量為 0.1g，此為實驗組。對照組則是 7 顆黏土，每顆 0.1g。
- 7.重複步驟 3。

伍、研究結果

一、蒴果的切片標本觀察：

在剛開始結果時期，蒴果為紅色，經切片後發現蒴果外緣細胞布滿紅色色素，但中間組織內則為綠色。當蒴果變成綠色階段時，切片後在顯微鏡底下顯示蒴果外緣已無紅色存在，綠色依然填滿中間組織，最後等蒴果乾燥時，所有的細胞（壁）內都是透明的，沒有任何顏色，如圖 3。

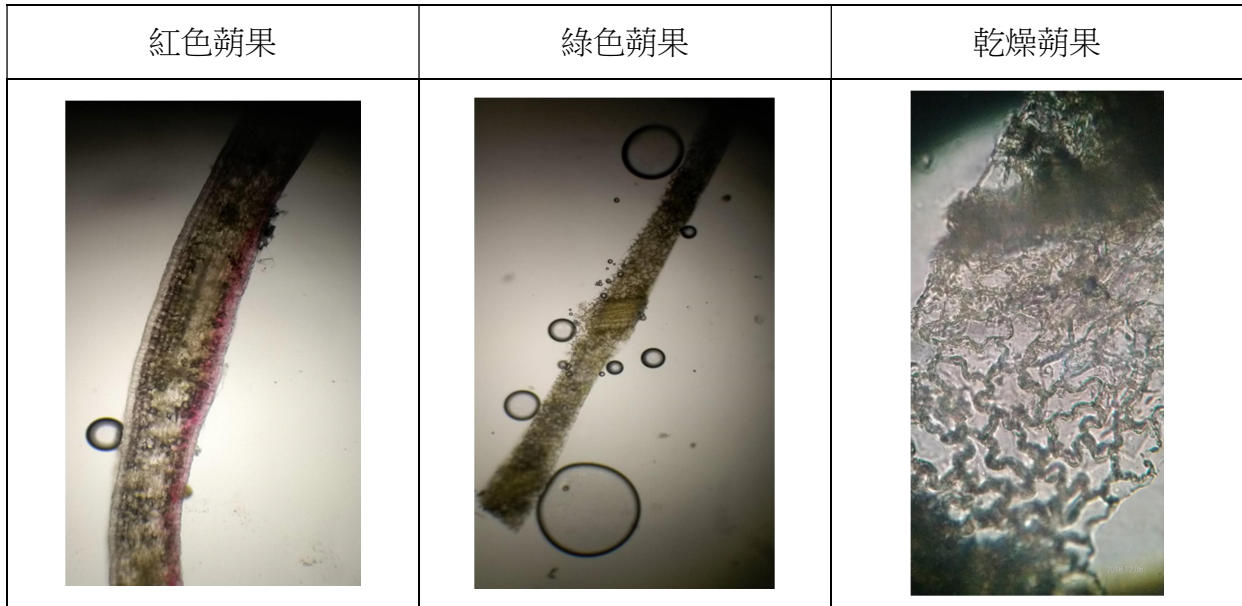


圖 3

二、種子的成長過程：

(一) 外部型態

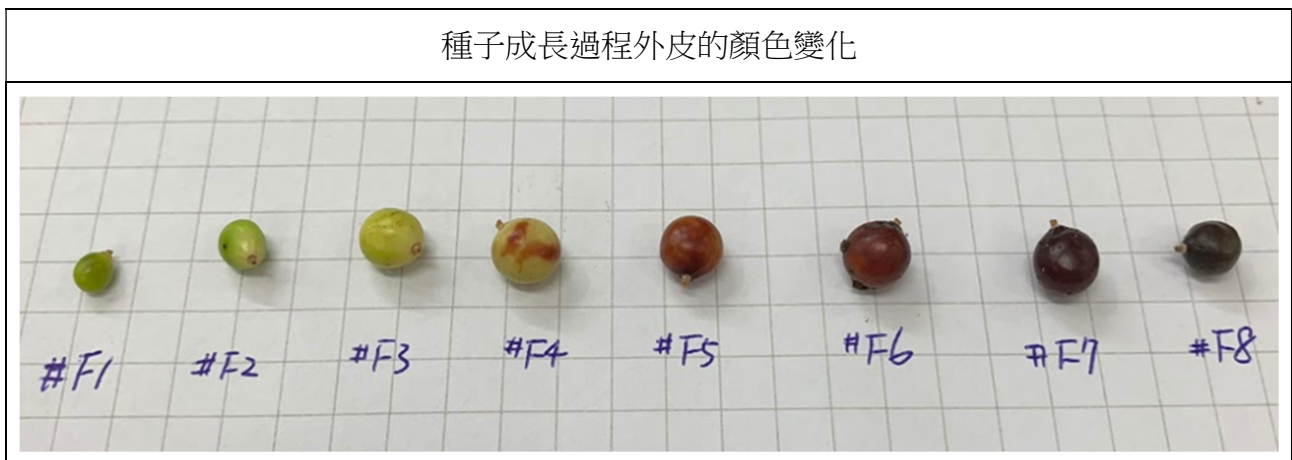


圖 4

種子成長過程體型由小至大，外皮的顏色變化：綠色→綠紅色→紅色→紅黑色→黑色，如圖 4。種子在綠轉紅色階段，其大小與重量達到高峰(平均重量 0.10g)，之後在紅黑色階段時，體型與彈性及重量會逐漸變小且變硬(平均重量 0.09g)，到最後黑色階段時，種子堅硬且體積較前一階段小，其平均重量為 $0.06\pm 0.03g$ ，大小介於長 5.6mm—6.7mm、寬 4.7mm—5.5mm、厚 4mm—5.2mm。

根據測量到的形質來分析各階段種子的形態，我們將採集種子依重量大小排列，觀看各種顏色種子的長寬高的分布，如圖 5、圖 6、圖 7。發現在綠色階段，綠色種子的寬大於長與厚，且長與厚的差異不大，比較偏向圓球形。然而在紅色與黑色階段，種子的長度都大過寬與厚，呈長偏扁的圓形。在黑色的組別，長寬高的變化趨勢變緩，重量增加的趨勢也變緩。

種子在綠色時期，種子的寬為最長(平均長度 5.36mm)，厚為第二長(平均長度 4.57mm)，長為最短(平均長度為 4.03mm)，種子的長、寬、厚的長度沒相差很多(平均相差值 0.89mm)，綠色種子的為外表接近圓球形，如圖 5：

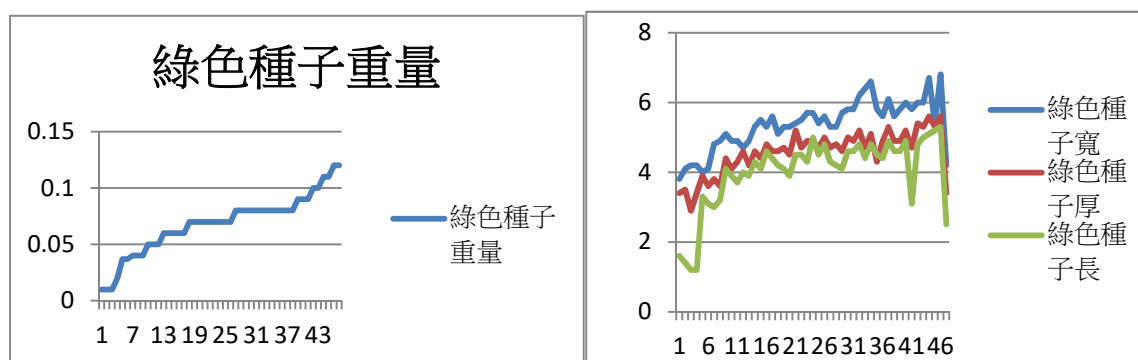


圖 5

種子在紅色時期，種子的長為最長(平均長度 6.24mm)，寬為第二長(平均長度 5.34mm)，厚為最短(平均長度 4.56mm)，長、寬、厚平均相差值為 1.12mm，種子外表呈現長偏扁的圓形，如圖 6：

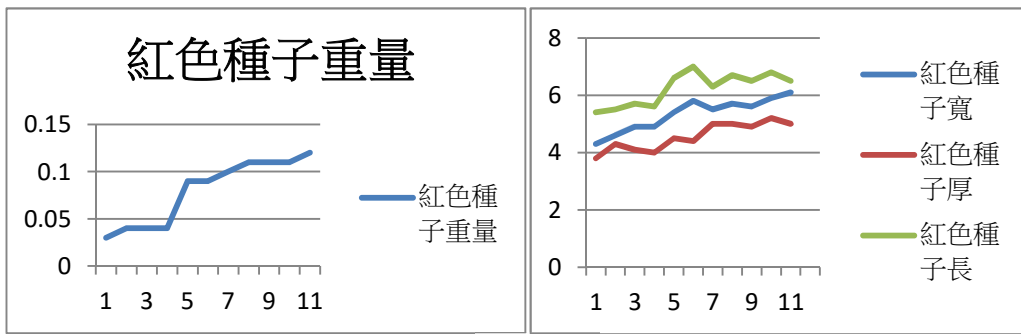


圖 6

種子在黑色時期，種子的長為最長（平均長度 6.13mm），寬為第二長（平均長度 5.16mm），厚為最短（平均長度 4.59mm），長、寬、厚平均相差值為 1.05mm，種子外表呈現長偏扁的圓形，如圖 7：

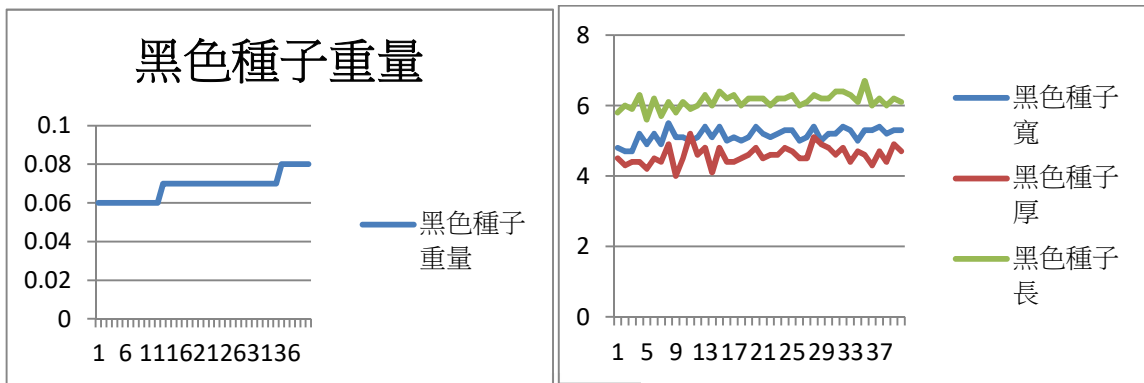


圖 7

從圖 5、圖 6、圖 7，我們看出種子的長和寬有一致的趨勢，想知道黑色階段的種子大小與重量間的關係，因此用長代表種子的大小，發現同樣大小的種子，其重量的差異大，例如 6~6.4cm 的種子，重量從 0.06~0.08g 都有（圖 8）。

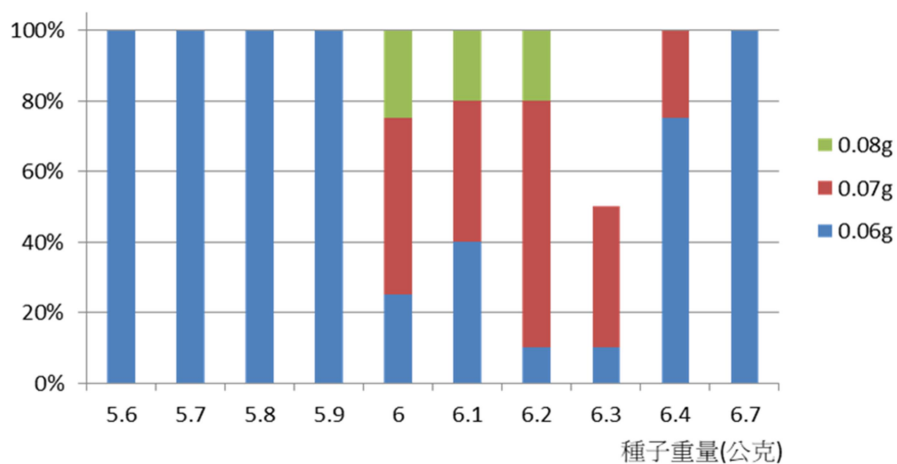


圖 8

(二) 內部構造

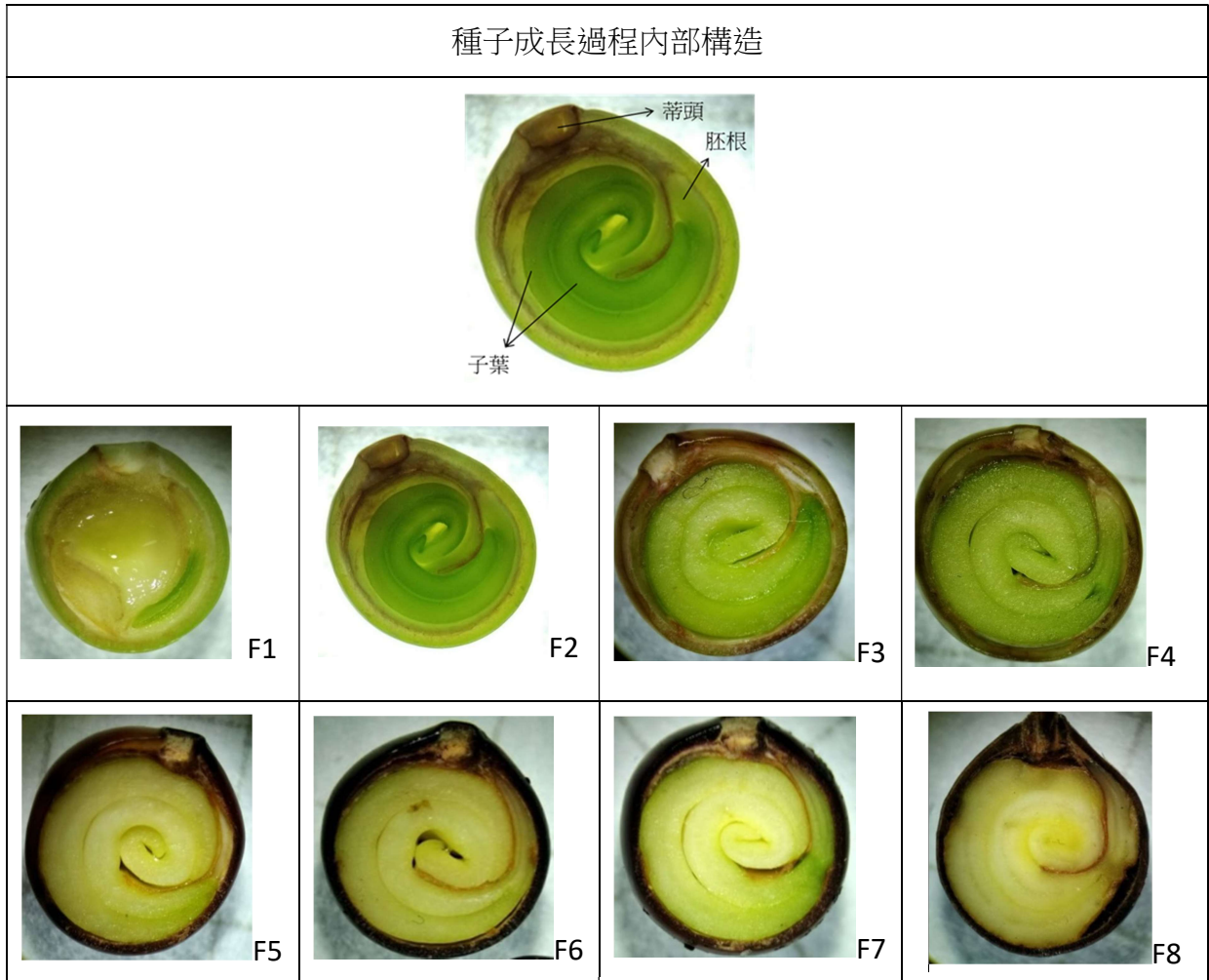


圖 9

剖開不同階段的種子，發現在種子初期，內部充滿液體與胚乳，子葉於種子下方處開始發育，之後子葉逐漸往種子上方生長，且胚根也於子葉基部的反方向逐漸往蒂頭方向延伸，如圖 9。

綠皮小種子的 F2 時期，已大致具備有胚根與子葉的雛型，之後階段變化重點在子葉的大小及顏色及舒展性。初期子葉為綠色且富舒展性，撥開種皮後能輕易將蜷曲的子葉舒展開來。到了 F5 種子外皮變紅後，子葉的顏色轉為黃綠色，舒展性較差但仍可把子葉稍稍分開。直到 F8 種子變黑變硬的階段，子葉填塞滿種子內部空間且為粉質黃色，此時若要將兩枚子葉分開則容易斷掉（表一）。

表一

	F2 時期	F5 時期	F8 時期
種子顏色	綠	紅	黑
種子硬度	柔軟易變形	柔軟富彈性	堅硬
種子大小的變化趨勢	小----->大----->小		
種子內部構造	皆具備胚根與子葉		
子葉顏色	綠	黃綠	黃
子葉質地	柔軟富含水分，容易舒展	柔軟但彈性較差，但不易舒展	較硬，粉質易斷

(三) 種子發芽率

經種子剖面，我們發現在 F3（種皮為綠色）之後都已具備胚根、子葉，F5（種皮為紅色的種子）階段之後，胚根與子葉的結構與型態已變化不大，進一步進行發芽測試，發芽資料如表二：

表二

	發芽種子平均重量	發芽率	發芽天數	平均生長速率
F3-F4 綠色種子(n=58)	0.10g	1.72%	43 天	0.074 cm/day
F5-F7 紅色種子(n=22)	0.11g	4.54%	48 天	0.227 cm/day
F8 黑色種子(n=40)	0.07g	70%	48.6 天	0.326 cm/day

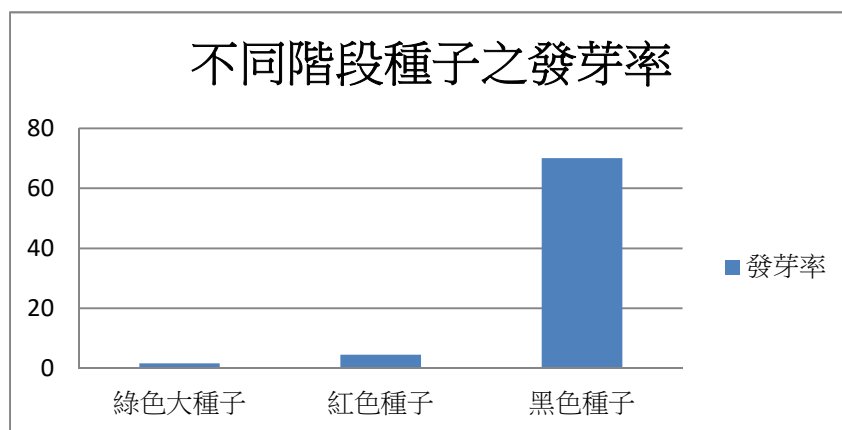


圖 10

由表 2、圖 10 可看出黑色種子之發芽率高達 70%，且黑色種子發芽後的生長速率也明顯高過綠色與紅色階段的種子。因此可知綠色與紅色種子雖然大小與重量都達到高峰，但為不成熟的種子，它們進階到黑色階段並非是為了減輕重量以利傳播。

每個階段未發芽種子解剖照，如圖 11：

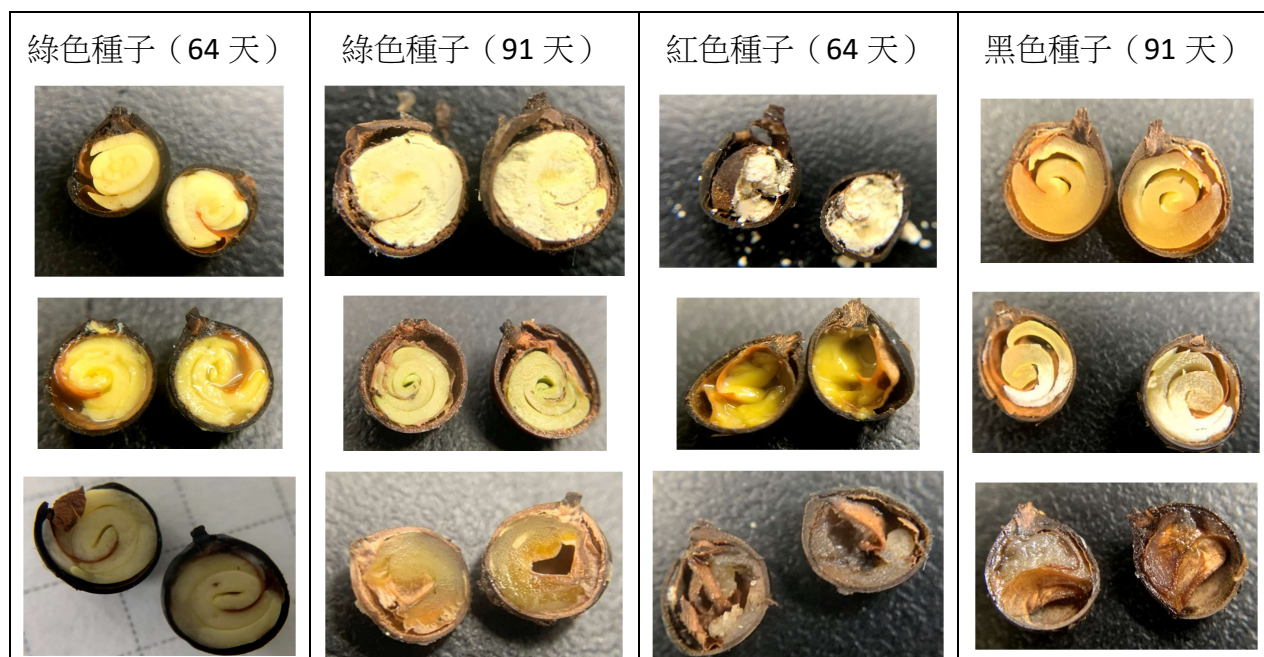


圖 11

進一步分析黑色種子不同重量的發芽率，重量與發芽率的關係整理如表三：

表三

種子重量	發芽率	平均發芽天數	平均生長速率
0.06g	50%	51.83±1.6 天	0.347 cm/day
0.07g	77%	48.05±5.2 天	0.310 cm/day
0.08g	83%	46.6±10.8 天	0.354 cm/day

各重量組別間的發芽天數無明顯的差異，但隨著重量越重，發芽率有越高的趨勢。我們嘗試合併其他組的實驗數據，將自然生長的黑色種子之發芽率合併計算，可得到重量與發芽率的關係如表四：

表四

種子重量	0.04g	0.05g	0.06g	0.07g	0.08g
發芽率	35%	65%	75%	69%	83%

趨勢大致符合表三，顯示在樹上發育到最後黑色階段的種子，越重則越有利於發芽。

三、果瓣對種子的影響

(一) 完全遮光對種子的影響：

在蒴果剛長出不久，還是鮮紅色的時期時進行遮光，內部的小種子(<0.01g)幾乎完全沒有長大，維持原來大小就變成黑色，位置則一樣是附著在蒴果上，而蒴果也多數還留在枝頭上。因種子太小，所以沒有發芽的可能性，如圖 12。

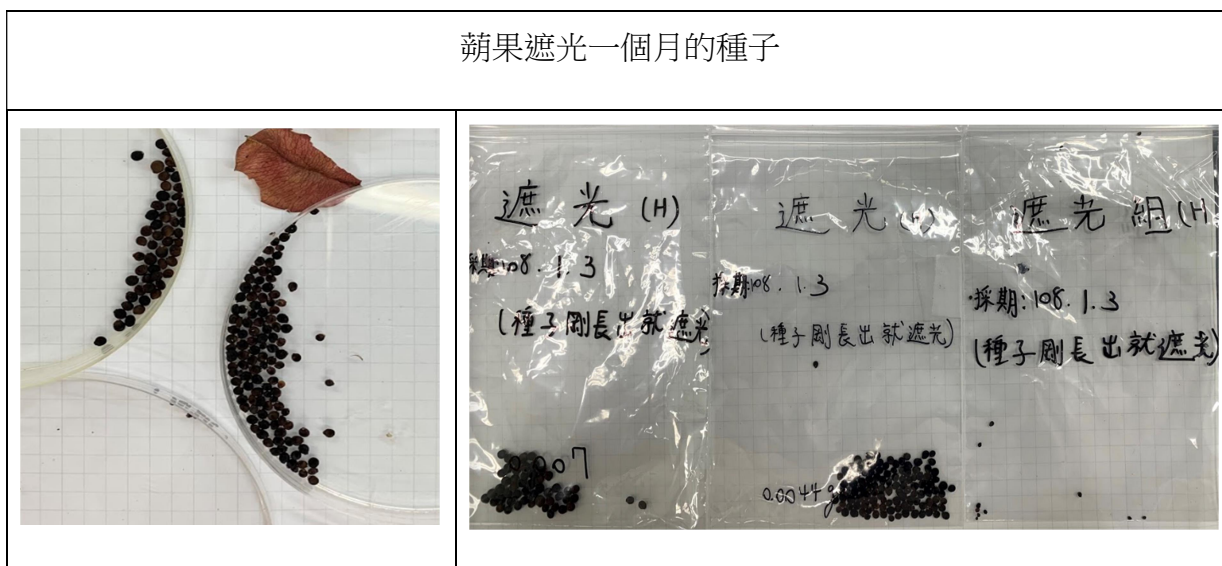


圖 12

在蒴果已變為綠色階段—即內部為大顆的綠色種子時進行遮光，種子在遮光後的短時期內會變色，由綠色轉變成紅色再變成黑色，對照組的種子則變色速度較慢，都還維持綠色狀態。另外，觀察在遮光後兩個星期的種子，發現 30 顆當中有 26 顆種子有歪斜的現象，如圖 13，同株未遮光的 67 顆種子中，則只有 4 顆有此現象。收集遮光組掉落枝頭的種子 (>0.04g) 後進行發芽測試(n=7)，發現沒有種子發芽。

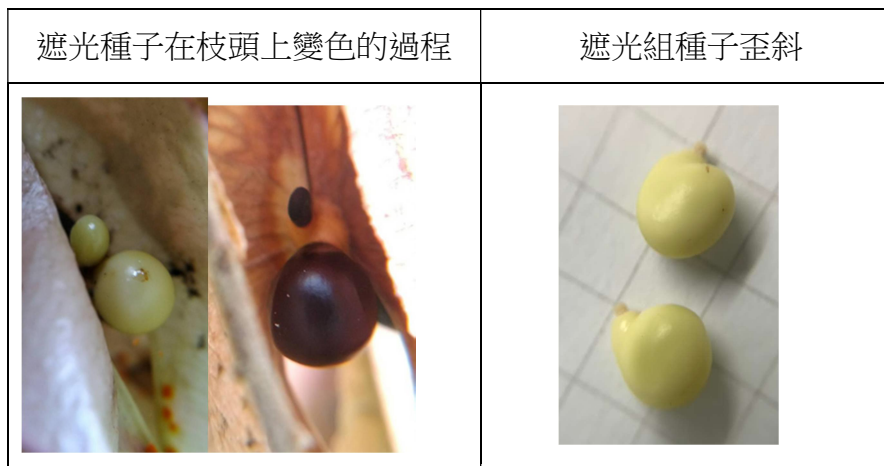


圖 13

(二)剪去果瓣對種子的影響

和遮光實驗一樣，剪去果瓣後，種子變色的速度比較快，而且根據每隔 7 天統計留在枝頭上的種子數量，發現剪去果瓣的種子掉落數量較高，結果如表五、圖 14，有剪果瓣的種子掉落的較早也較多，無剪果瓣的種子在較晚期的時候才有大量掉落的現象，且掉落也小於剪果瓣的種子。

表五

	原先數量	最後數量	掉落率
有剪果瓣	381 顆	114 顆	70.1%
無剪果瓣	419 顆	187 顆	55.3%

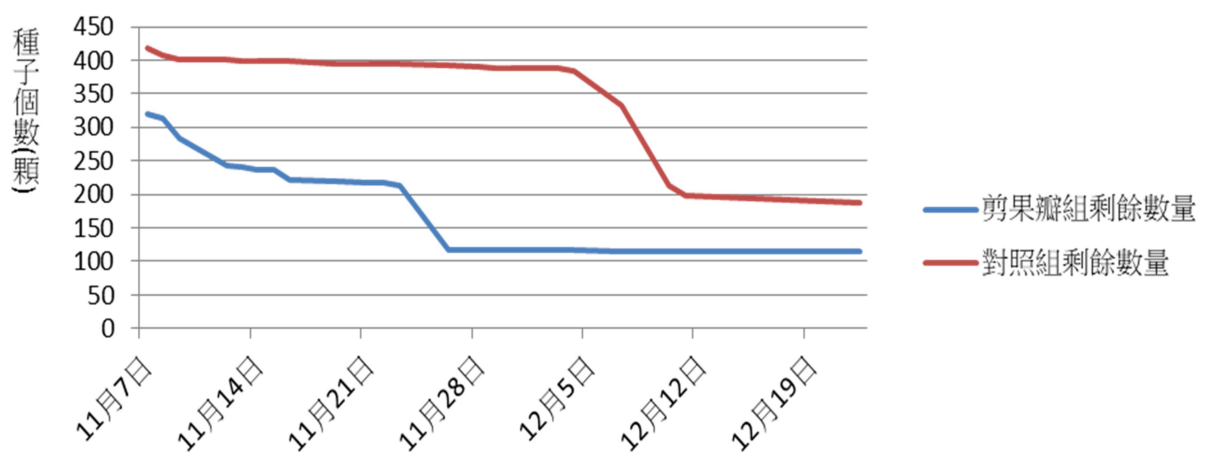


圖 14

另外，比較兩組的發芽率，結果如表六：

表六

	發芽種子數	平均發芽天數	發芽率	平均生長速率
有剪果瓣：採樹枝上 (n=80)	22	36.68	27.5%	0.26 cm/day
無剪果瓣：採樹枝上 (n=80)	53	36.75	63.75%	0.30 cm/day
有剪果瓣：期間掉落 (n=33)	1	45	3.03%	無法測量

進一步分析各組中不同重量的發芽情形，整理如表七：

表七

有剪果瓣重量	發芽種子數	平均發芽天數	發芽率	平均生長速率
0.04g(n=20)	4	36.75 天	5%	0.25 cm/day
0.05g(n=20)	6	36.5	7.5%	0.24 cm/day
0.06g(n=20)	4	36.5 天	5%	0.26 cm/day
0.07g(n=20)	8	36.88 天	10%	0.29 cm/day
無剪果瓣重量	發芽種子數	平均發芽天數	發芽率	平均生長速率
0.04g(n=20)	7	37.63 天	8.75%	0.29 cm/day
0.05g(n=20)	14	36.43 天	17.5%	0.29 cm/day
0.06g(n=20)	18	36.89 天	22.5%	0.32 cm/day
0.07g(n=20)	12	35.33 天	15%	0.29 cm/day

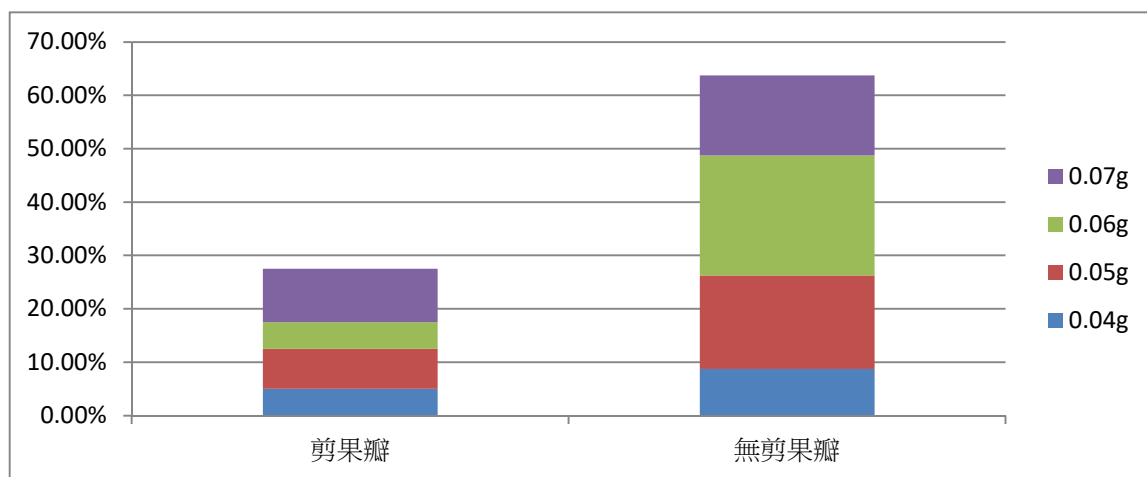


圖 15

雖然種子不同重量的組別發芽率沒有穩定趨勢，但比較最輕與最重的組別，仍可看出越重越有利於發芽。而重量不是影響發芽率的唯一關鍵，剪果瓣組中最重的種子，其發芽率仍低於無剪果瓣的三個組別，如圖 15。

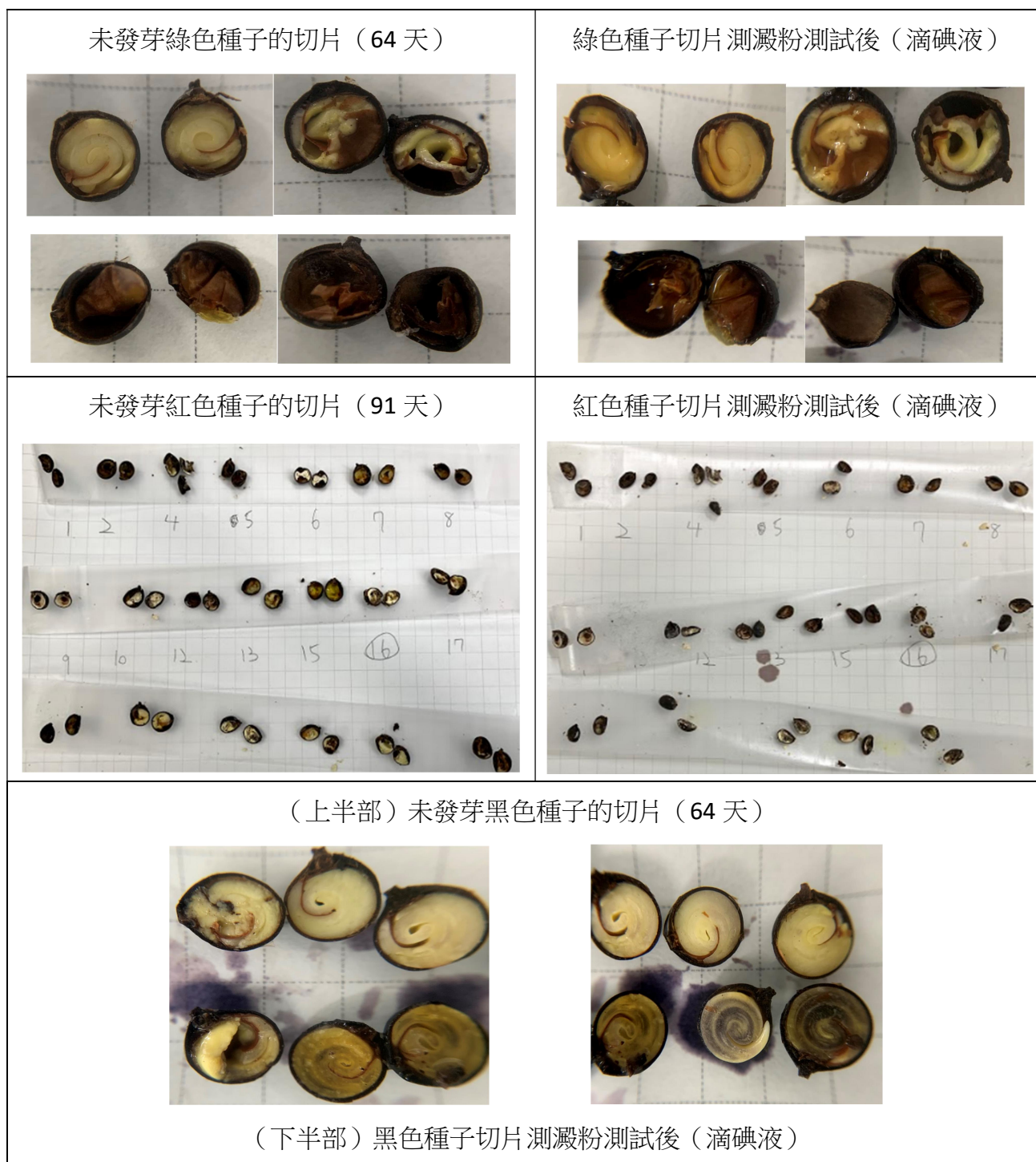
綜合以上，將各種發芽測試中未發芽的種子做醃類的測定，隨機取樣解剖後發現有些未發芽的種子內部已經腐爛，或者萎縮。萎縮的比例如表八：

表八

組別	解剖顆數	不完整顆數	不完整率
綠色種子（64 天）	11	2	18.18%
綠色種子（91 天）	25	25	100%
紅色種子（91 天）	20	20	100%
黑色種子（91 天）	9	9	100%
有剪果瓣（78 天）	40	34	85%
無剪果瓣（78 天）	18	18	100%

進行碘液測試及本氏液測試後，結果如圖 16。與新鮮種子相較之下，各組別的種子澱粉含量都不多，甚至沒有澱粉。而進行各組葡萄糖測試時，可以看見在各組均為 5% 的溶液的情況下，葡萄糖的含量並不相同。其中無剪果瓣組 > 新鮮種子 > 剪果瓣組；黑色種子與綠色及紅色組別沒有太大的差異，且三組的葡萄糖含量都小於新鮮種子。

實驗觀察中發現隨著實驗時間的增長，不完整率越高，而其中綠色種子的壞死速度又較黑色種子高，顯示越成熟的種子其存活時間越長



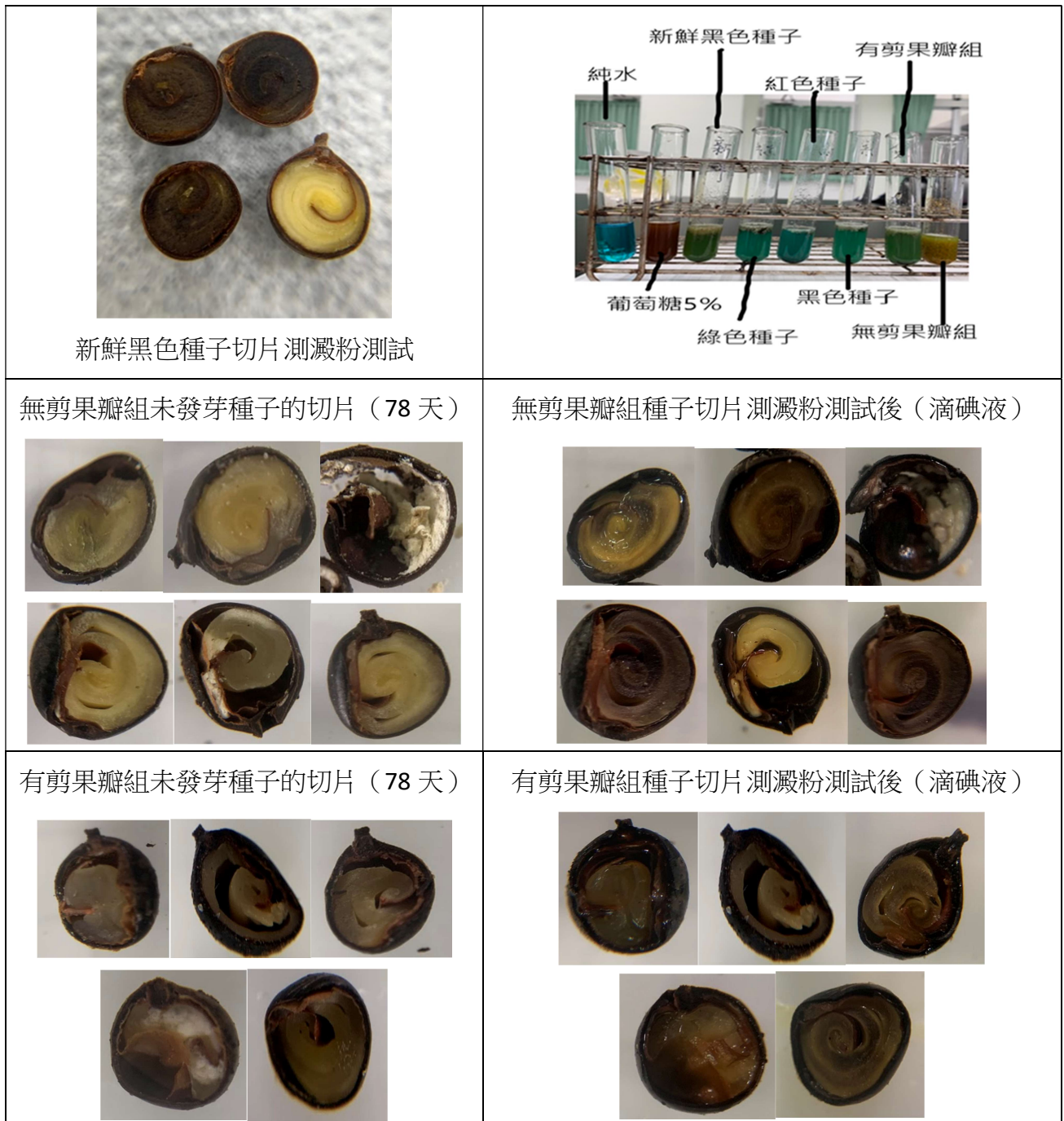


圖 16

三、果瓣對種子傳播的影響

（一）果瓣飛行模式：

根據實驗時的攝影影片，我們發現果瓣在無風傳播時，大致有以下 4 種模式，如圖 17：

1. 平滑式：指果瓣在傳播時，像滑翔翼平穩滑行
2. 螺旋式：指果瓣在傳播時，果瓣不翻轉，而是螺旋狀飄落

3. 搖擺式：指果瓣在傳播時，向平滑式但是果瓣左右大幅擺動

4. 翻轉式：指果瓣在傳播時，不停上下或左右翻動

前三種模式果瓣不會翻面，若種子一開始時朝上，落地時依舊會在果瓣上方，且過程中不會轉為朝向地面。而最後的翻轉式則會在果瓣墜地的過程中，種子方向會改變，例如從朝向天花板變成朝向地板，反之則反。

在有風的情況下，因為風會吹動果瓣造成果瓣重心不平穩且造成水平距離的移動，所以平滑式、搖擺式與螺旋式不易區分，但這三者與翻轉式則有明顯的差異。因此當我們試圖分析在有風的情況下「不同的移動模式是否會造成水平移動距離的差異」時，會只選用「不翻轉模式」（以下稱平滑式）與「翻轉模式」（以下稱翻轉式）來觀察。



圖 17

(二) 有風時，不同因子對果瓣飛行距離的影響

首先探討有無果瓣對傳播距離的影響，我們將數據整理成表九、圖 18，看出無論是大小果瓣的傳播距離皆較裸露較遠，即果瓣確實對傳播有幫助。

這組實驗中，大果瓣的平均面積為 17.58cm^2 ，小果瓣平均面積為 11.89cm^2 ，在這樣的面積差異下，我們比較大小果瓣的傳播距離，雖然他們的平均距離差異不大，但由圖 18 中可看出小果瓣的散播距離明顯較短，只有一個值能超越 800，但這並非常態。

更進一步檢視這兩個組別中所有測量值的分布情形，如圖 19，發現大小果瓣落 100~200 公分的次數都是最多的，隨著距離逐漸拉長，在 400~500cm 之外小果瓣出現的次數就一直少於大果瓣，在 600 公分以後幾乎為 0。而大果瓣在長距離的落點次數相較之下較多，且在 700 公分後次數才降低到幾乎為 0。

表九

裸露種子 (n=136)	0.1 克大果瓣 2 種子 (n=140)	0.1 克小果瓣 2 種子 (n=140)
平均：37.65 (±13.79754)	平均：274.44 (±165.017)	平均：256.81 (±128.833)

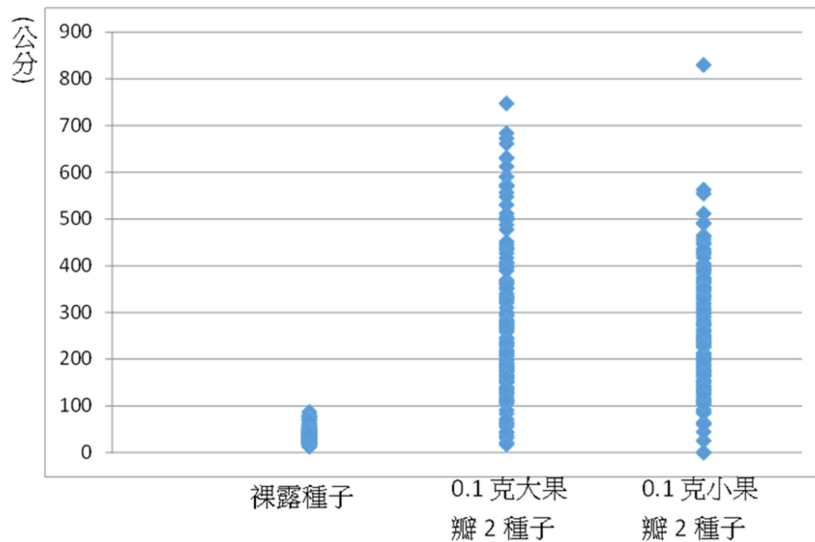


圖 18

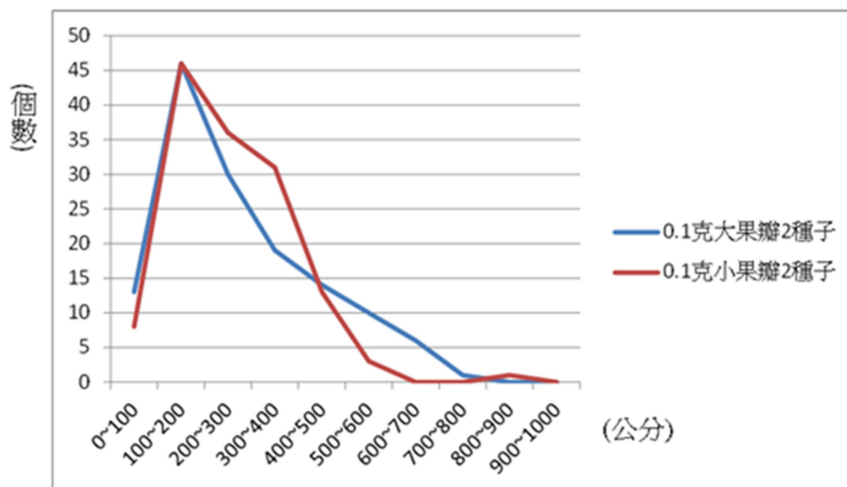


圖 19

在了解果瓣對飛行距離的影響後，我們試圖進一步分析在同樣是大果瓣的情況下，重量對飛行距離的關係，整理數據如表十與圖 20。結果和預期中的一樣，越輕飛行距離就越遠，這三組的平均值有差異。其中，0.04g 的果瓣超過 700cm 的次數 19 達次，0.1g 的果瓣飛行距離超過 500cm 的有 17 次，而 0.2g 克的果瓣飛行距離幾乎都在 500cm 以下。

進一步檢視果瓣落在不同距離的次數，由圖 21 可看出這三組最常落在 100~200cm，在 400~500cm 附近是一關鍵點，以內多是 0.2g 果瓣組，以外則是 0.04g 果瓣出現的次數最多，0.1g 落在不同距離的次數則比較均勻，始終介於 0.04g 和 0.2g 之間。

表十

0.04 克大果 (n=140)	0.1 克大果 2 種 (n=139)	0.2 克大果 2 種 (n=139)
平均：384.1 (±237.7532)	平均：274.44 (±165.017)	平均：233.33 (±102.8575)

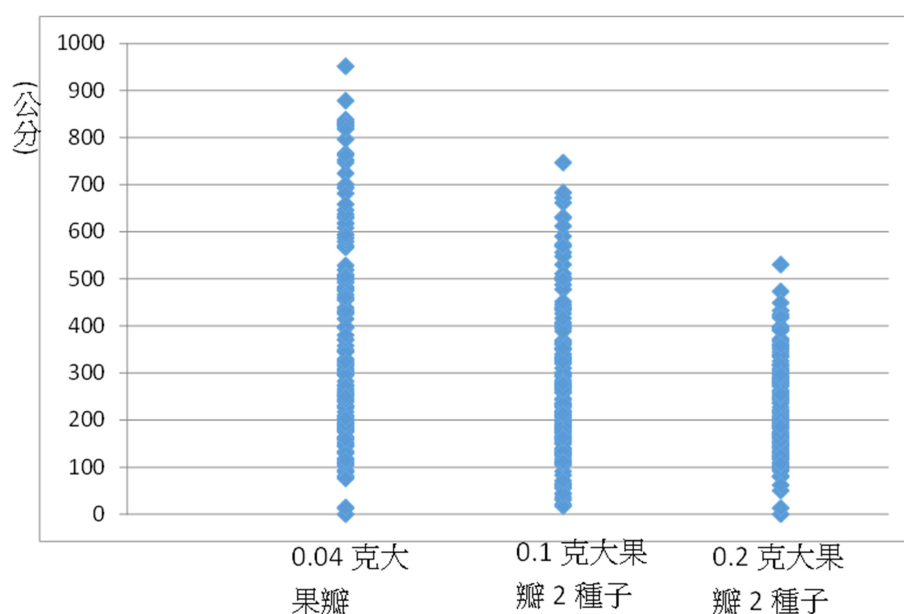


圖 20

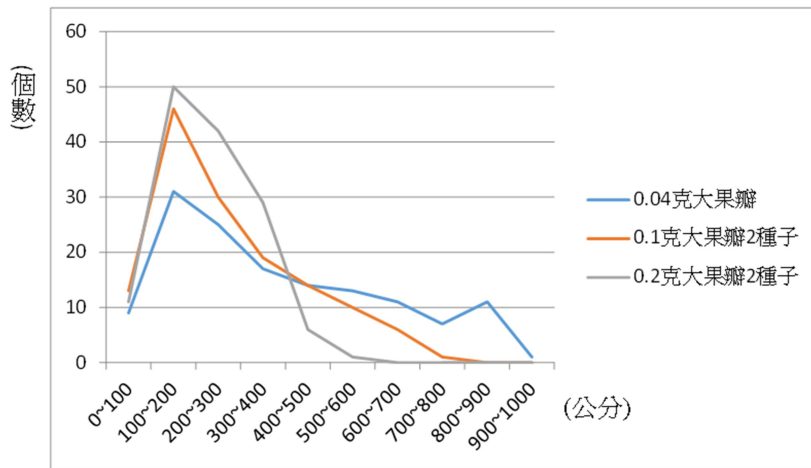


圖 21

此外我們也好奇種子在果瓣的排列方式是否也會影響散播的距離，在果瓣大小與重量相同的前提下，我們對在果瓣上的不同排列的種子散播距離的分析如表十一、圖 22、圖 23：兩組在 100~200cm 出現的次數最多，而兩組出現次數的交會點也是落在 300~400cm 左右，1 顆種子出現在 300cm 內的次數始終多於 2 顆種子，而 2 顆種子出現在 300cm 後的次數持續多餘 1 顆種子。

表十一

0.1g 大果瓣 1 種子	0.1g 大果瓣 2 種子
平均：222.0786	平均：274.44
(±134.2026)	(±165.017)

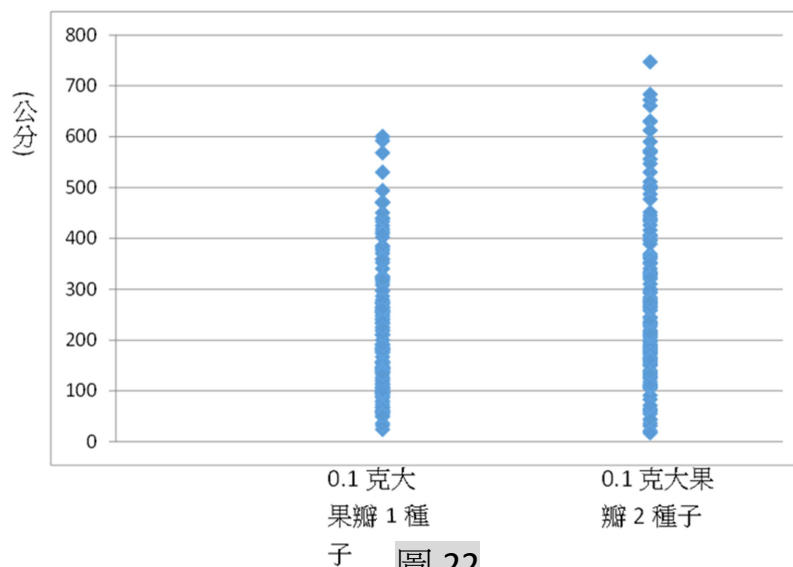


圖 22

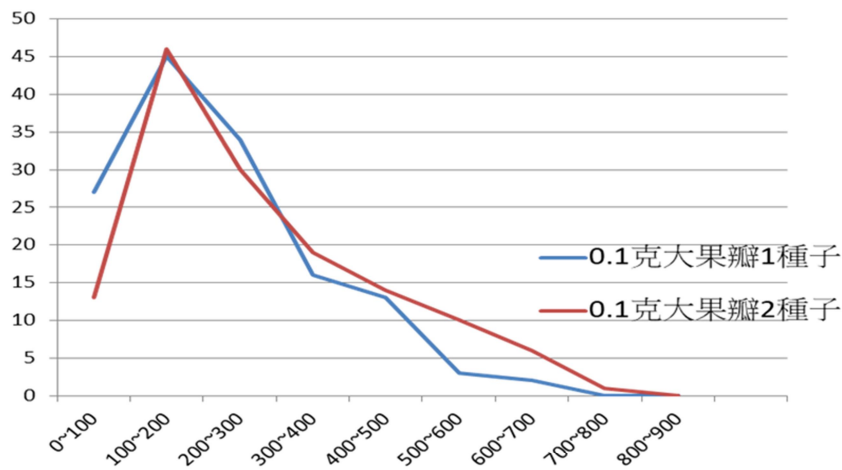


圖 23

在這過程中，我們發現果瓣在掉落時，有兩種主要模式：種子位置會在天花板與地面之間轉換（以下稱翻滾式），與果瓣雖會晃動但種子位置固定朝向天花板或地面（以下稱平滑式）。實驗時，我們觀察到果瓣處於平滑式時，可以延長掉落的時間，相較之下似乎滑的較遠，較有利於種子散播的較遠，因此嘗試隨機取兩果瓣的掉落軌跡來比較：

圖 24、圖 25 為兩組的相同重量與時間下，不同蒴果用不同模式移動的軌跡，在大果瓣 1 種子的組別中，飛行模式和水平距離間的結果符合我們的預期，然而在大果瓣 2 種子中，兩種模式的水平距離看不出明顯差異。

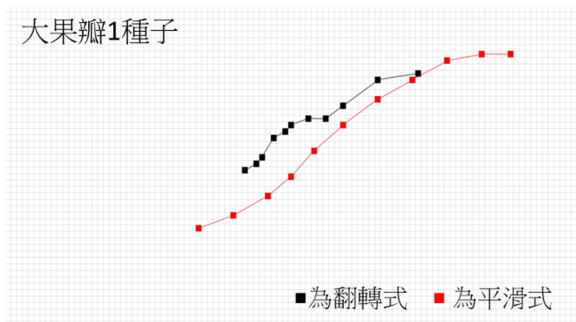


圖 24

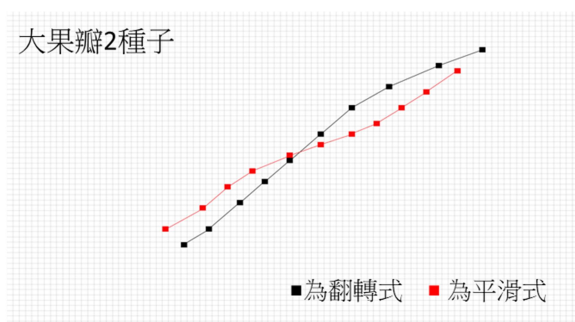


圖 25

圖 26、圖 27 為在兩組相同重量與時間間格的前提下，不同種子排列的蒴果用不同飛行模式的比較：與上述結果相同，兩種飛行模式的水平移動距離看不出明顯差異。但檢視影片時，大部分果瓣前期風大時皆為翻滾式，隨著距離變遠風力減弱逐漸變為平滑式。

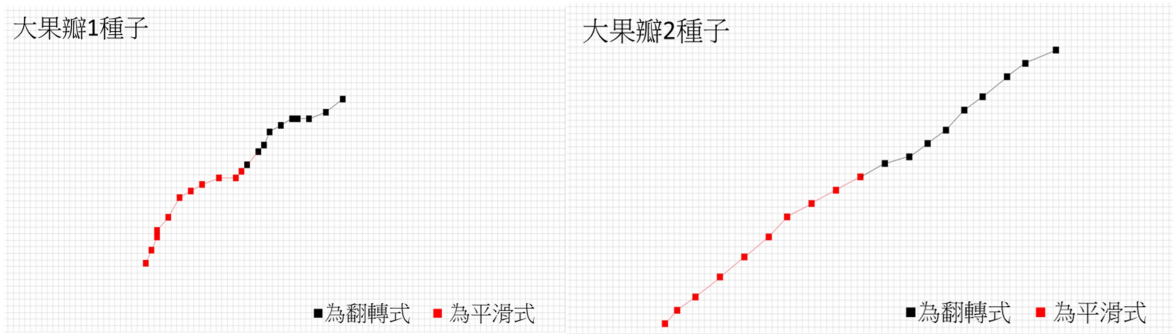


圖 26

圖 27

陸、討論與結論

一、種子成熟過程

種子成熟的過程中，從外部的形質測量可以發現：大小和重量會先到達高峰，之後會逐漸變小且變硬，再比對各階段內部的構造，我們可以推知種子的生長歷程：一開始種子維持柔軟易變形的狀態以便成長，逐漸長出胚根及子葉後變得較有固定的形狀，隨著子葉逐漸的變長，外部生長速度比內部快，內部和種皮間有較大空隙，且多填充著液體，緊接著種子「長」增加的速率比「寬」和「厚」快，重量持續增加，質地也開始轉變。之後體積就會逐漸變小，重量也會變輕，內部與種皮之間的空間逐漸變小，含水量變少，澱粉質變多，所以子葉的彈性變得很差。根據未發芽種子的醣類測試中發現：不論是綠色、紅色或黑色種子，其碘液與本氏液變色的程度不多，顯示澱粉含量和葡萄糖含量都比新鮮黑色種子低，這可能意味著不發芽是因為養分不足。我們也從黑色種子不同重量發芽趨勢中，發現越重發芽率越高，結合以上結果認為這是因為較重種子填充了較多的養分（多為澱粉質），使未來幼苗可以發育得較好，或是支撐某些尚未發育好的種子持續發育直到其構造成熟。至於黑色種子的重量與生長速度，從資料上來看沒有明顯差異，也就是說種子一旦發芽，提供生長的養分來源似乎不再是種子本身，而是新長出的葉子，以至於種子重量和生長度的相關性不大，所以重量對種子的影響可能只在發芽之前。不過也有可能是種子生長的變異性太大，我們的樣本數還無法看出一定的趨勢，有賴未來做更進一步實驗的探討。

二、蒴果顏色與作用

剛開始發育的蒴果外觀為紅色，根據蒴果的切片觀察，蒴果外緣的表皮組織充滿了紅色色素，查閱資料後發現這極可能是花青素，花青素普遍存在於植物的外緣的組織，尤其幼嫩的葉。有關花青素的功能，不同學者提出不同假說，包含：抗真菌作用、光保護效果、抗氧化作用，以及抗食植動物，這些假說在不同植物上有些得到驗證，但有些則無（鹿與蔡,2008）。從欒樹的生活史來看，它生長在開闊的向陽地上且初結蒴果時的秋季並非雨季，陽光有時猛烈，因此感染真菌的機率並不高。另外根據「欒紅椿動—台灣欒樹和紅姬緣椿象互利共生探究」的科展報告中指出：台灣欒樹成熟種子的量與紅姬緣椿象的族群大小有關，換句話說當欒樹種子未成熟時，椿象的數量不多，或許這並非椿象無法取食未成熟的種子，而有可能是抗食植動物假說內提及的「隱藏說」—大部分無脊椎動物接收紅色色光的能力較弱；或是「警戒說」—認為紅色也有可能是警戒色，警告食植昆蟲這株植物在防禦上已下了功夫，別來招惹比較好。不過我們認為若是避免要椿象在種子未成熟前就取食吸汁，那蒴果應該在種子成熟前都維持紅色，而非快速地被綠色取代。所以我們不認為紅色蒴果是避免動物取食。從蒴果果瓣被剪去後，種子會快速變成紅色，因此我們懷疑花青素可能可以產生光保護作用，讓蒴果與種子在剛發育時，避免受到強光破壞。

在做果瓣的切片觀察時，有發現果瓣中間組織內為綠色，顯示其含有葉綠體。實驗中，不論是遮光蒴果或減少果瓣面積，其種子與未做任何處理而自然成熟的種子的型態、重量、發芽率都有明顯差異。例如遮光蒴果的小種子不再繼續生長，較大種子會發生歪斜現象，且後續的發芽率極低（3.03%）。再進一步檢視未發芽的種子，發現剪果瓣組與對照組的種子都有內部不完整的現象，胚根先不見，而子葉也多從外側那一半先爛，進行澱粉測試，結果大多種子沒變色或稍微變色，顯示澱粉含量低；進行葡萄糖測試，發現剪果瓣的葡萄糖含量比對照組低，表示剪果瓣組的養分儲存量較低。因此我們推測蒴果在正常光照情況下能進行光合作用，合成轉化為某些物質（可能是單純的養分，也可能可轉化為激素）儲存在種子中來協助種子發育。

另外，在測量種子掉落率時，剪去果瓣的種子變色速度及掉落的數量比對照組快，且多集中在剪果瓣後的初期掉落，我們推測產生這種現象的可能原因是種子裸露時，受到環境中例如強光、風等物理因子影響。在種子發育初期，種皮可能因為蒸散速度過快而變硬，影響子葉與胚根後續的生長空間，讓它無法成熟；也有可能是種子在胚發育的初期，細胞分裂速度快的情況下接受大量紫外線照射，產生突變的機率高，因此在剪果瓣後不久，種子因無法繼續發育而掉落，即便是最後留在枝頭上的種子也不容易發芽，其發芽率明顯與對照組有明顯差異。換句話說，果瓣可能提供物理性的保護，阻絕環境中對種子會產生傷害的因子。

三、果瓣對種子傳播的影響

我們歸納出四種無風狀態下的飛行方式，其中以平滑式的水平位移最為明顯，螺旋式與翻轉式的移動位移主要是垂直方向，而若果瓣要以平滑式為主要模式散播，那果瓣的重心須集中在中間以避免翻轉，一果瓣中若兩邊都有種子，其質量重心會比較置中，所以應較有機會飛的遠，實驗結果也符合我們的預期，雖然兩組的平均距離差異不大，然而一果瓣 2 種子的組別落在遠處的次數比較多。不過，我們將平滑式與翻轉式的飛行模式進行同組及單個蒴果的分析，比對實驗時錄影的果瓣移動軌跡，結果並不支持我們的推論，軌跡圖顯示 1 種子與 2 種子的平滑式和翻轉式的水平移動距離沒有明顯差異，這們認為兩者結果不一致應是軌跡分析的取樣太少而導致，在未來應可再做這項目更深入的分析與探討。此外從軌跡圖中，我們發現果瓣掉落時一開始都是翻轉式，之後才會轉變成平滑式，與我們在野外的觀察符合。

在不同重量、不同果瓣大小及不同種子排列的這三組實驗中，果瓣都在 200~300cm 時有一段集中掉落的時期，查詢資料後發現這叫卡門渦街，是一種風力受到阻擋而在阻擋物背後形成旋渦的現象，其螺旋的氣流在某個切線方向會形成一股與風向相反的力，抵銷一部分風力，導致果瓣大量墜落。所有組別中，0.04 克果瓣的降落數明顯較少，應是重量較輕，碰到邊緣較弱風時，較容易被吹飛，而飛越那一段卡門渦街較強烈的區域。在三組（不同重量、不同果瓣大小、不同排列組合）中的實驗起點部分，排列方式不同

這組相差最大，推測因為力矩的因素也加強了卡門渦街，所以有大量墜落的情形。

一般而言重量和受風面積會影響飛行距離，實驗結果也支持這樣的推論，越輕則越有機會飛的越遠；果瓣面積大，也較有機會落在遠處。綜合以上會發現這三個影響飛行距離的因子會有交互作用而影響種子發芽率。例如說果瓣加上種子的總重越輕能飛越遠，但會犧牲種子的發芽率。一果瓣有 2 種子較有機會飛遠，但在不增加總重的情況下，意味著這個果瓣中的單顆種子會比較輕，也因而犧牲發芽率。或者是大果瓣能飛得比小果瓣遠，但果瓣越大相對重量也越重，又因此減少飛的遠的機率。所以我們認為既然欒樹靠飛行傳播，環境的演變可能會左右欒樹在飛行距離與種子重量中做取捨，而在演化上產生微小的拉鋸。

最後在野外的觀察，我們常發現欒樹下方就有許多發芽的欒樹幼苗，但很少看到這些幼苗成長茁壯，我們推論可能的原因是人為擾動大。由於觀察之地都是人為活動大的地方，這些幼苗有可能被踩踏或除草而無法繼續生長。若是如此，在減少人為干擾後，欒樹幼苗若能繼續發育為大樹，則意味著果瓣幫助種子傳播到比較遠的地方，可能只是為了要把基因散播到更遠的地方，擴展自己的族群，而非是因為在母樹下不利於幼苗的生長。倘若如此，以上傳播距離的測試以及野外觀察經驗中，大多數的果瓣都落於近距離的地方就有較合理的解釋。

柒、參考資料：

- 1.蘇銘言 蘇桂榕 溫宜文 劉怡佳，2004，風中奇緣—桃花心木種子的傳播，科學教育月刊第 272 期，取自：[www.sec.ntnu.edu.tw/monthly/93\(266-275\)/272/02.pdf](http://www.sec.ntnu.edu.tw/monthly/93(266-275)/272/02.pdf)。
- 2.楊正釧 陳裕星 林讚標，2000，大頭茶、黃連木與台灣欒樹種子之儲藏性質，台灣林業科學
取自：
file:///C:/Users/USER/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/ᄁjÀY`ùìB¶À³sᄁi»P¥xÆW÷á¼ð°Øᄁlᄁ§ÀxÂÃ©Ê½è%20(8).pdf
- 3.史家瑩主編，2011，國民中學自然與生活科技課本第一冊，翰林出版。

- 4.陳宥任 鄭佳宜，2010，喙生會食—探討無患子椿象喙的差異對食物選擇的影響，中華民國第 50 屆中小學科學展覽會，取自：<https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/50/pdf/030304.pdf>
- 5.陳謙易 鍾慈芬 羅士哲，2016，以「樂」擊「螺」~探討台灣樂樹萃取液對福壽螺及其他生物的影響，中華民國第 56 屆中小學科學展覽，取自：
[file:///C:/Users/USER/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/13005_nphssf2016-030308%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/13005_nphssf2016-030308%20(1).pdf)
- 6.陳宥誠 陳雅香 侯盈如，2009，育鈴還需刺鈴蟲 -探討小紅姬緣椿象與倒地鈴的關係，中華民國第49屆中小學科學展覽會，取自：<https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/030305.pdf>
- 7.彭鏡毅，2015，植物學中英百科全書，貓頭鷹出版。
- 8.kplant.biodiv.tw/台灣樂樹/台灣樂樹.htm
- 9.<https://zh.wikipedia.org/wiki/台灣樂樹>
- 10.<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8D%A1%E9%97%A8%E6%B6%A1%E8%A1%97>