

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組生物(生命科學)科

040710

臺中市私立曉明女子高級中學

指導老師姓名

陳玉玲

楊佳璋

作者姓名

吳筱翎

洪資涵

隨風飄揚的螺旋槳~桃花心木種子

壹、研究動機

在高中課本生命科學（上）第四章「植物的生殖、生長和發育」中，我們探討到「果實和種子的適應」，也就是種子在不同環境中，透過外型演變，以改善繁殖效率的傳播方式。上課時，老師帶來一個種子，將它自高處施放，種子竟旋轉落下，引起全班的熱烈討論。此種子長的很像課本中的松樹種子（南一版，生命科學上，115 頁，圖 4-13 藉風力散播的果實或種子 B.松樹有翅的種子）。詢問之下，我們得知此種子就是常見於家具 DM 的桃花心木之種子，基於旺盛的好奇心，作者決定以桃花心木種子如何旋轉、為何旋轉作為本次研究主題。

貳、研究目的

本研究中，我們將探討以下三個問題：

- 一、了解與認識桃花心木蒴果與種子的構造
- 二、探討桃花心木種子構造上的特定角度對其旋轉之影響
- 三、利用物理公式探討種子之各物理量間的關係

參、研究設備及器材

桃花心木種子 100 個（採集自台中市中華國小及科博館前綠園道）、桃花心木蒴果 5 個（採集自中興大學及科博館前綠園道）、桃花心木果實中軸 2 個（採集自科博館前綠園道）、標籤 100 個、夾鏈帶 100 個、長線 1 條、長尺 1 把、量角器 1 個、游標尺 1 把、電子磅秤 1 座、電腦 1 台、數位相機 1 台、數位攝影機 1 台、碼表 1 個、高度表一張

肆、研究方法與結果

一、了解與認識桃花心木蒴果與種子的構造

（一）觀察種子的構造

我們歸納出下列幾點有關桃花心木種子具體而代表性的特徵：

1. 藉風力傳播之單翅植物。
2. 長條扁平狀。
3. 大部分種仁其中一面為向上凸起；另一面為向下凹下。
4. 切開種仁可見白色棉絮，非實心，質輕。
5. 絕大部分的種子，翅具有明顯的單邊脊。

（二）測量與統計蒐集來的 100 顆種子之全長、寬、厚度、重量 步驟如下：

1. 以長尺測量全長、種仁寬、種翅寬
2. 以游標尺測量種仁與種翅的厚度（如照片 1）。



<照片 1：桃花心木種子種仁與翅厚度之測量>

3. 以三桿天秤測量種子的重量。
4. 將所得數值輸入電腦，求其平均值。(如附表 1)
5. 由附表 1 的紀錄，我們得到以下幾點平均數據與比較：
 - (1) 平均全長約 7.52 公分；種翅約佔種子全長 $3/4$ 。
 - (2) 平均種仁寬 1.42 公分；平均種翅寬 1.93 公分。平均種翅寬約為平均種仁寬的 1.36 倍。
 - (3) 平均種仁厚 5.42 公釐；平均種翅厚 0.12 公釐。平均種翅厚約為平均種仁厚的 0.02 倍。
 - (4) 平均重量約 0.41 公克；重量集中於種仁。
 - (5) 平均寬度與平均全長比約為 1:5。

(三) 探討蒴果與種子的關係

蒴果由外而內分為外殼、種子、中軸等部份。蒴果生長在樹枝末端，為卵形或尖圓錐形，約比拳頭大一點。

1. 外殼：質堅硬，褐色。種子成熟時自基部裂開。(如照片 2)



<照片 2：桃花心木的蒴果成長圖>

2. 中軸：蒴果中央與樹枝末端相連處，多為五角形長柱體（註一）。使蒴果內分成 5 房。一房約有 12 個種子。
3. 種子：種子在蒴果內成對稱緊密相疊排列（如照片 3）。並依序以一右、一

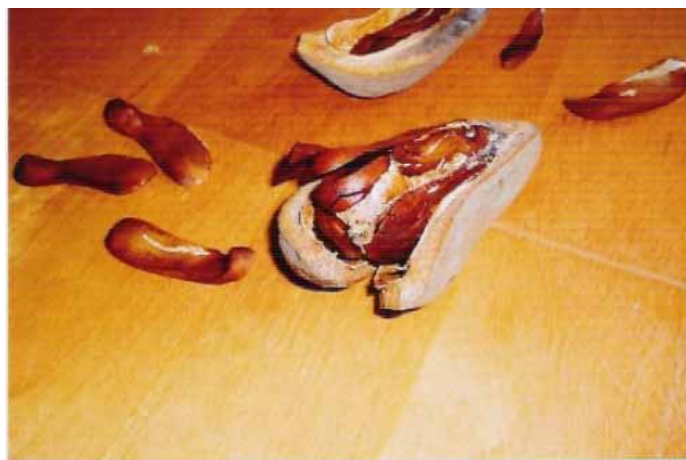
左、一右、一左……排列（如照片 4）。種子翅尾與中軸末梢相連，種仁朝向中軸基部。（如照片 5）。由於緊密相疊擠壓，使得桃花心木種子，在構造上出現了許多角度。下面將針對固定的特殊角討論。



<照片 3：同一蒴果房內，緊密相疊的種子>



<照片 4：將種子分開排列可看出其構造的對稱>

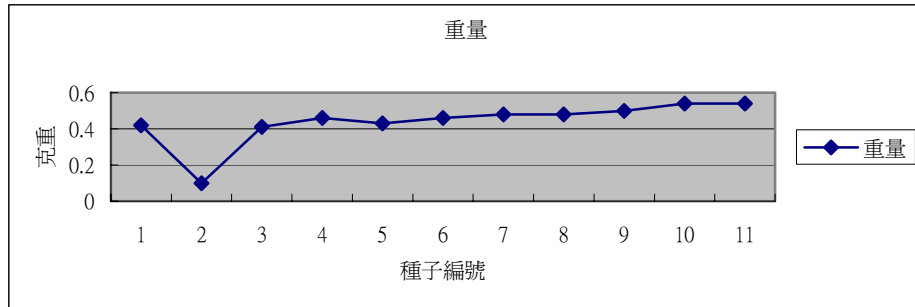


<照片 5：種仁朝向中軸基部>

（四）觀察種子重量與其在房中排列之關係

我們取一房完整排列的桃花心木種子加以編號（排列順序由外到內）。觀察其重量之變化（如附表 2）。

由附表 2，可得圖 1。



<圖 1：同一蒴果內，種子排列順序與重量之關係>

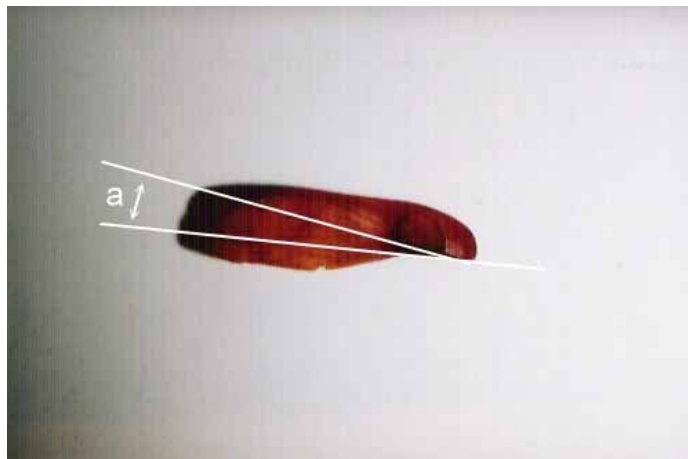
(五) 探討種子於蒴果中之對稱排列方式對其左右旋之影響

其步驟如下：

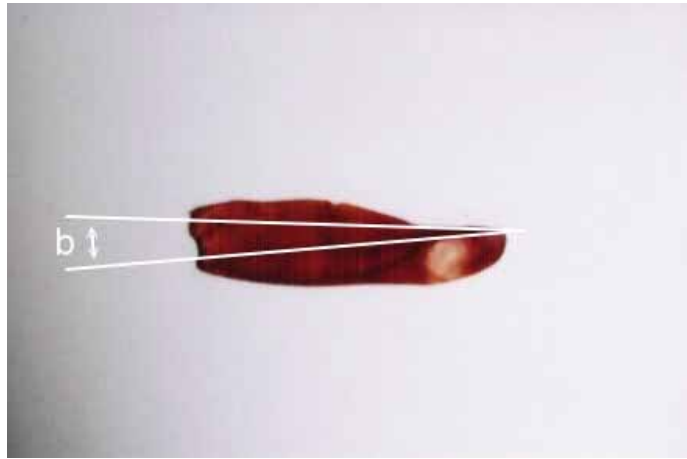
1. 定義：順時針落下，稱為右旋；逆時針落下，稱為左旋。若不規則飄落，我們稱為無法判別。
2. 在一密閉空房間中（避免受風的影響）將各個種子從高度 250 公分處施放。
3. 重複施放三次，紀錄左旋與右旋次數，並求其百分比。（如附表 3）
4. 由附表 3 可求得：
 - (1) 左旋種子佔 48%，右旋種子佔 49%
 - (2) 無法判別的種子佔 3%
 - (3) 左旋種子與右旋種子除形狀對稱外，平均長、寬、厚度及重量不變。
5. 其中我們發現，無論左旋右旋，除旋轉方向不同外，其落方式大同小異：皆為垂直落下一段距離後，其種子一面減少與水平面的角度（後簡稱水平角），一面開始旋轉落地。

二、 探討桃花心木種子構造上的特定角度對其旋轉之影響

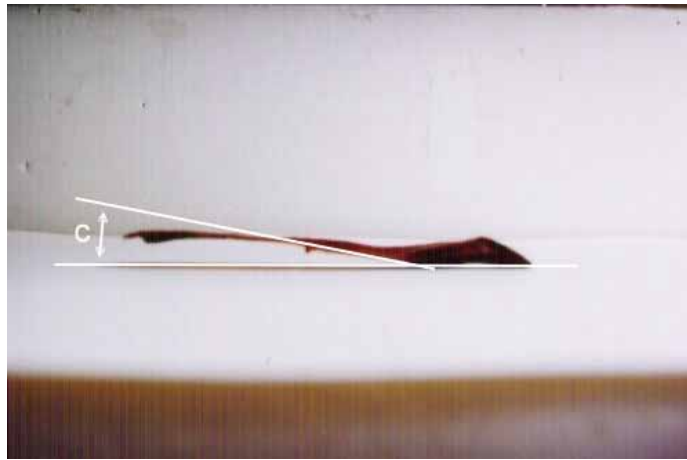
(一) 定義種子構造上特定的角度，如照片 6、7、8、9（註二）



<照片 6>



<照片 7>



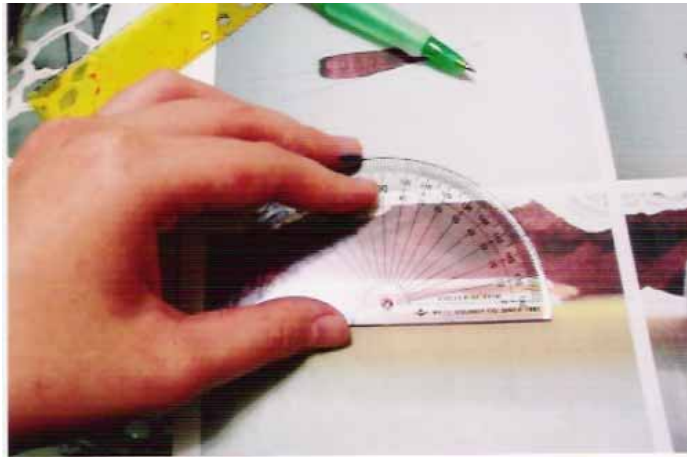
<照片 8>



<照片 9>

(二) 測量種子構造上特定的角度，步驟如下：

1. 將種子放於水平桌面上以數位照相機拍攝。
2. 列印影像檔。
3. 以量角器測量照片中種子 a、b、c、d 各角。(如照片 10)



<照片 10：種子各角的測量>

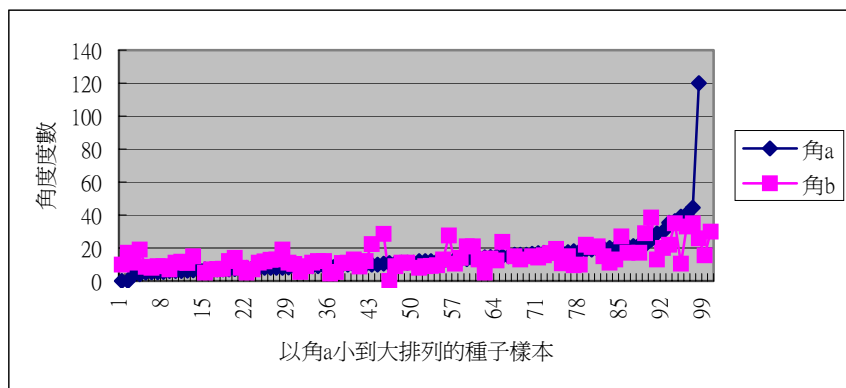
4. 將所得角 a、b、c、d 數據輸入電腦，求其平均。(如附表 4)

由附表 4，可得：

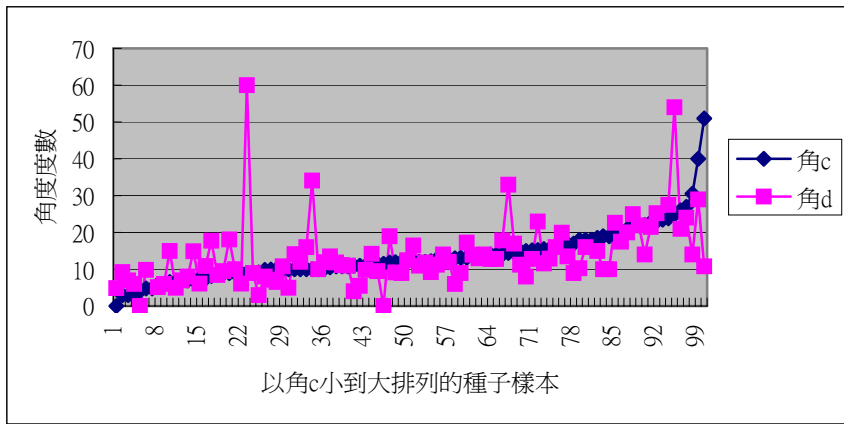
- (1) 角 a 平均 14.3 度
- (2) 角 b 平均 13.4 度
- (3) 角 c 平均 13.6 度
- (4) 角 d 平均 13.3 度
- (5) 角 a、b、c、d 平均值十分相近。

(三) 探討各角度之間的關係

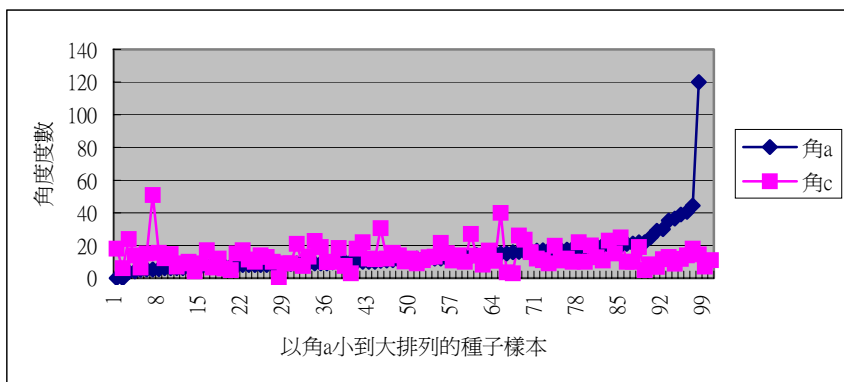
將數據匯整，作圖觀察其趨勢。分別比較「角 a 與角 b」、「角 c 與角 d」、「角 a 與角 c」、「角 b 與角 d」之關係。(如圖 2、3、4、5)



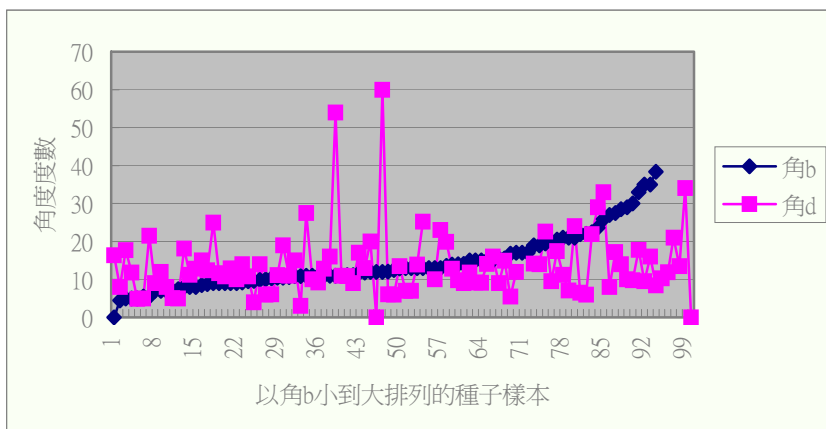
<圖 2：角 a 與角 b 關係圖>



<圖 3：角 c 與角 d 關係圖>



<圖 4：角 a 與角 c 關係圖>



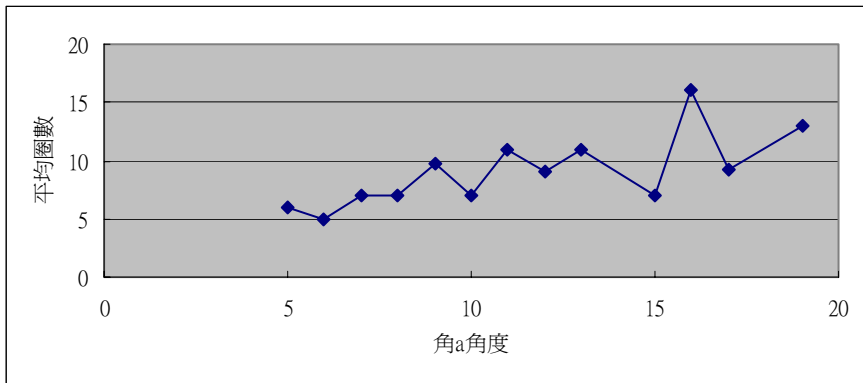
<圖 5：角 b 與角 d 關係圖>

結果：

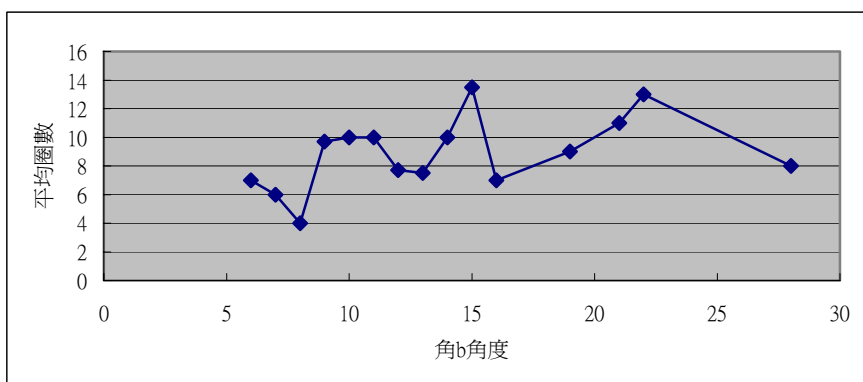
1. 由圖 2 之趨勢中，我們發現
 - (1) 角 a 越大則角 b 越大。(r=0.50)
 - (2) a、b 角為種仁與種翅間夾角的正反面，因此兩者間有一定之關係。
2. 由圖 3 之趨勢中，我們發現
 - 角 c 越大則角 d 越大。(r=0.38)

3. 由圖 4 之趨勢中，我們發現
 - (1) 角 a 與角 c 多相近。
 - (2) 角 a 與角 c 無顯著關係。
 4. 由圖 5 之趨勢中，我們發現
 - (1) 角 b 與角 d 之變化較角 a 與角 c 之變化為大。
 - (2) 角 b 與角 b 無顯著關係。
- (四) 探討各角度對種子旋轉圈數的影響
測量其圈數之步驟：

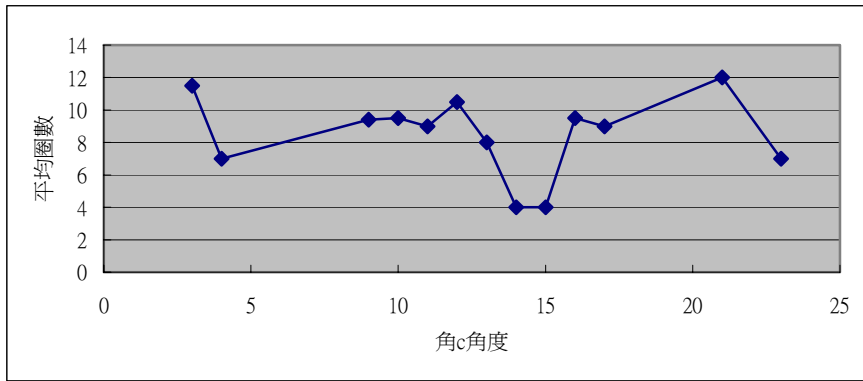
1. 在密閉房間中將各個種子從高度 250 公分處施放使之落下。
2. 以數位攝影機拍攝施放過程。
3. 將拍攝到的施放過程輸入電腦。
4. 利用電腦慢速播放記錄圈數。
5. 將數據輸入電腦，並求其平均值（如附表 5）。
6. 作圖以探討各角的影響（如圖 6、7、8、9）



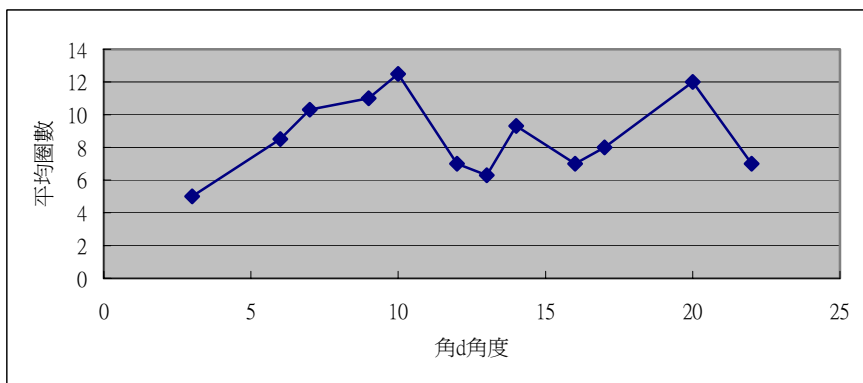
<圖 6：角 a 與種子旋轉平均圈數之關係>



<圖 7：角 b 與種子旋轉平均圈數之關係>



<圖 8：角 c 與種子旋轉平均圈數之關係>



<圖 9：角 d 與種子旋轉平均圈數之關係>

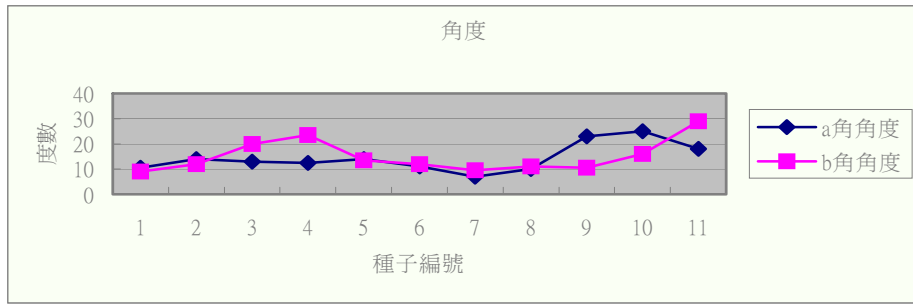
7. 結果：

- (1) 由圖 6 趨勢，我們發現角 a 越大，則平均圈數越大。
($r=0.71$)
- (2) 由圖 7 趨勢，我們發現角 b 越大，則平均圈數越大。
($r=0.42$)
- (3) 根據圖 8，角 c 與平均圈數無直接關係。
($r=-0.18$)
- (4) 根據圖 9，角 d 與平均圈數無直接關係。
($r=0.01$)

(五) 探討種子在蒴果中的排列方式對其 a b 角度之影響

由於桃花心木種子特殊角的主要成因為種子緊密的排列；於是我們觀察並紀錄一蒴果房的種子之 a 角與 b 角（因 a 角與 b 角對種子飛行的旋轉圈數有較顯著影響）。並紀錄之（如附表 6）。

由附表 6 可得圖 10



<圖 10：桃花心木種子排列順序與角度關係圖>

結果：

1. 由圖 10，我們可得種子排列順序與 a 角為中度正相關 ($r=0.54$)。
2. 由圖 10，我們可得種子排列順序與 b 角為低度正相關 ($r=0.27$)。

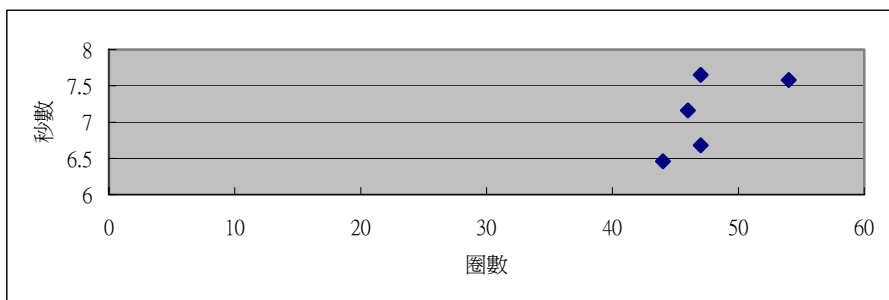
三、利用物理公式探討種子之各物理量間的關係

為什麼桃花心木種子選擇「旋轉」飄落而非單純的飄落？正好高中物質科學物理篇（上）第六章「轉動」的觀念；於是作者試著以「位能＝線動能＋轉動動能＋阻力作功」的觀念加以探討。

（一）種子旋轉角速度（旋轉圈數）對下落速度（下落時間）之影響

我們取五個面積、質量相仿的桃花心木種子進行此實驗；其步驟如下：

1. 在牆壁貼上高度表。
2. 將種子自超過 250 公分處施放。
3. 以數位攝影機拍攝施放過程。
4. 以碼表自種子落至離地 150 公分開始計時，落地停止。
5. 重複步驟 2~4，將紀錄到的秒數及拍攝之施放過程輸入電腦。
6. 慢速播放。並記錄圈數。（如附表七）
7. 作圖比較種子旋轉圈數與下落時間的關係。（如圖 16）。



<圖 16：五組種子之平均旋轉圈數與平均下落時間關係圖>

結果：由圖 16 的趨勢發現

當種子落下距離固定為 150 公分時（位能不變），如旋轉圈數變多（轉動動能變大）則落下時間變長（線動能變小）。($r=0.51$)

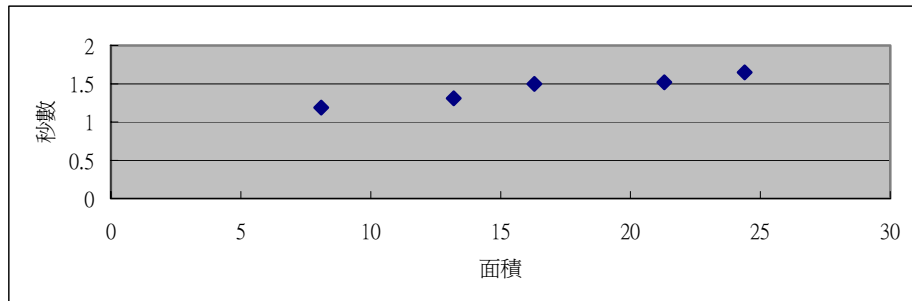
- （二）種子落下時的阻力作功（面積）對其線動能（下落時間）之影響
其步驟如下：

1. 取五個面積不同的桃花心木種子（大、中大、中、中小、小，如照片 11）各重複三、（一）之步驟 1~6。求其旋轉圈數、下落時間。



<照片 11：五個面積不同的桃花心木種子>

2. 測量此五個桃花心木種子的面積：
 - (1) 取一張矩形白紙並測量其面積及重量。
 - (2) 將取樣之種子的輪廓描繪於白紙上並剪下。
 - (3) 將剪下的輪廓秤重。則其種子重量乘以白紙面積除以白紙重量等於面積。
3. 將五個面積不同的桃花心木種子之面積及下落時間統整比較（如附表 8）。並作圖以看趨勢（如圖 17）



<圖 17：桃花心木種子之面積及下落時間關係圖>

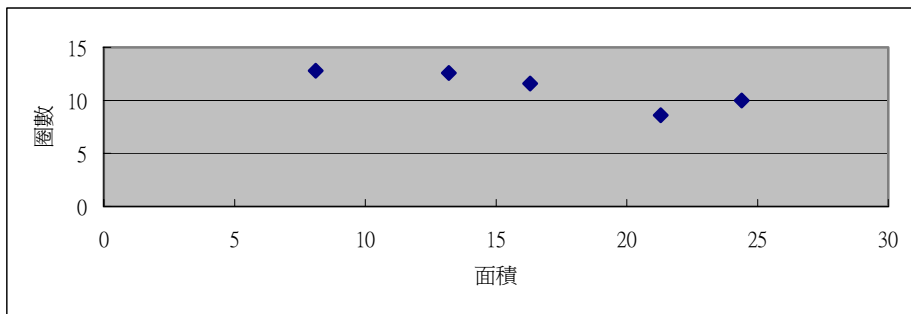
4. 結果：由圖 17 中，我們發現面積越大（耗損能量越大）之種子，下落時間越長（下落時間越小）($r = 0.95$)。且無外力介入下，種子皆無水平位移（如照片 12）。



<照片 12：種子在一點施放，無外力介入下，落在同一範圍>

(三) 種子旋轉圈數與面積是否有一定之關係

由三、(二) 1. 我們求得的旋轉圈數與面積，彙整成附表 9。並作圖 (如圖 18)



<圖 18：桃花心木種子旋轉圈數與面積關係圖>

結果：由圖 18 中我們發現

面積越大者其旋轉圈數越少。(r=-0.863)

(四) 探討種子下落時水平角與其對其旋轉的影響

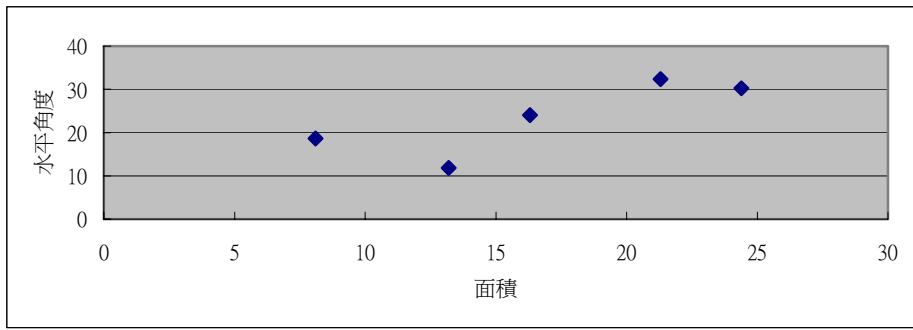
種子下落時水平角的增減會影響種子下落時垂直空氣阻力的受力面積，因而針對水平角的意義加以觀察探討。

步驟如下：

5. 觀察種子之水平角

- (1) 利用慢速播放三、(二) 1. 拍攝過程，並擷取飛行中的側面圖。
- (2) 列印擷取的側面圖以測量水平角。
- (3) 彙整附表 8、9 與所得資料成附表 10

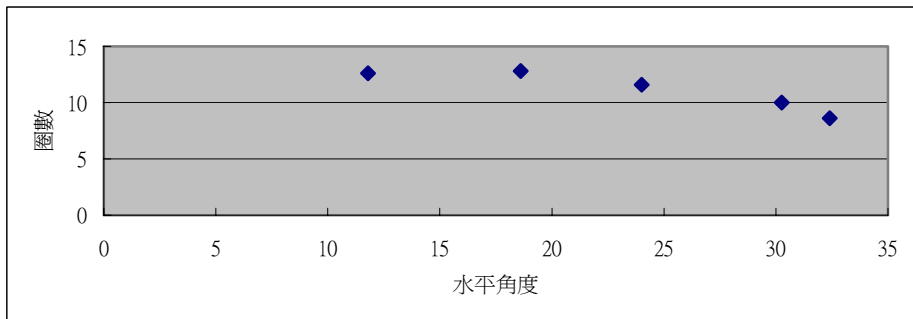
6. 由附表 10 求各種子之面積與水平角之關係 (如圖 19)



<圖 19：桃花心木種子其面積與水平角的關係>

結果：由圖 19 可得：種子面積越大，水平角越大。(r=0.81)

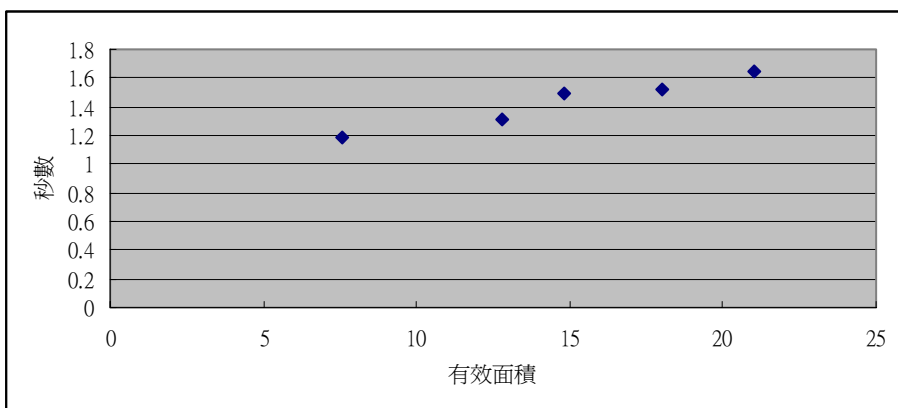
7. 由附表 10 求種子旋轉圈數與水平角的關係 (如圖 20)



<圖 20：桃花心木種子其圈數與水平角的關係>

結果：由圖 20 可得：種子飛行中水平角越大，旋轉圈數越少。(r=-0.91)

8. 由水平角求垂直空氣阻力之有效面積 (面積 $\times\cos$ 水平角) 與下落時間的關係 (如圖 21)



<圖 21：種子有效面積與下落時間的關係>

結果：由圖 21 可得，種子有效面積越大，下落時間越長。

(r=0.97)

一、 爲何桃花心木演化出會旋轉的種子？

桃花心木種子與其他風力傳播種子最大相異處，在於桃花心木種子較大且重，若種子沒有長長的翅膀，肯定會垂直掉落於母株之樹蔭下；但由於種子本身重量太大，面積大的翅膀仍不足以讓它像其他植物的種子能藉風力傳播到較遠的地方，爲達到藉風力傳播之目的，桃花心木的種子演化出另一特徵：旋轉。

二、 旋轉的意義爲何？

根據物理「能量守衡」的觀念： $\text{位能} = \text{線動能} + \text{轉動動能} + \text{阻力作功}$ ，種子自同一高度落下，轉動動能及阻力作功越大，則物體下落之速度越慢，因此我們推測，種子旋轉的目的是爲了延長停留在空中的時間，在實驗過程中我們發現，無外力影響下，種子幾乎無水平位移的現象，藉由旋轉延長落地時間，能增加種子藉由風吹拂飄到遠處之機率；這個現象與直昇機在一定風力範圍內可垂直升降的原理有關。

三、 爲何認爲轉速爲重要之因素？

根據前面「能量守衡」的觀念，當旋轉之速度越快，轉動動能越大，線動能（下落動能）越小，線速度（下落速度）越慢，下落時間應越長，經過實驗求證，結果確實爲旋轉速度越快，則下落時間越長。

四、 影響旋轉圈數的因素？

觀察種子的特殊外型發現，種子外觀有許多特殊角度，由此推論，這些角度是影響旋轉之因素，經實驗證實此假設成立，但爲何影響種子旋轉之圈數，仍有待討論。

五、 爲何種子面積會影響下落時間？

由「能量守恆」的觀念中發現，除了轉動動能外，同在等號右邊之阻力作功增加，也可能減少其下落速度，在種子的構造與外觀中，與阻力作功有關的應爲種子的面積，種子之面積越大，與空氣阻力之受力面積越大，應可減慢下落速度，因此我們根據種子的面積之大小做實驗探討面積與下落速度的關係，結果證實，面積越大，下落時間越長，假設成立。

測量面積時，爲使數據更準確，我們選擇以較厚重紙張爲取樣對象，以減少誤差。

六、 爲何結果抵觸？

在面積與轉速的實驗中，我們得出以下結果：

- （一）旋轉的圈數越多，其下落時間越長
- （二）種子的面積越大，其落下時間越長
- （三）種子的面積越大，其旋轉圈數越少（於後有詳細討論）

既然旋轉圈數越多其下落時間越長，爲何小的種子旋轉圈數較多其下落之時間卻比大的種子短呢？我們經討論後推論：在種子旋轉的過程中，面積的影響應較轉速顯著。

七、 爲何面積爲較顯著因素？

回到「能量守衡」的觀念，假設種子旋轉的主要目的不是藉由增加轉動動能以減慢下落的速度，而是藉由旋轉增加空氣阻力受力面積，進而推論：種子上的角度使種子下落時之水平角度變小，增加其空氣阻力受力面積，而減少下落速度。

這也能解釋為何桃花心木的種子不只會旋轉，同時還有長長的翅膀，從實驗過程中發現，種子要開始旋轉必先使水平角小於特定之角度，當小於此角度時，長長的翅膀就能有效的增加其受力面積，因此下落的速度就變慢了。

討論第五點中提到的矛盾也能以此解釋，面積小的種子下落時水平角度較小，下落之時間應較長，但就如前面說的，種子要旋轉的先決條件為下落之水平角必先小於特定角度，則當大的種子達到此角度時，其受力面積已大於較小種子之受力面積，因此下落之時間會大於水平角較小之種子，可見面積的大小之影響可能比轉速來的顯著。

八、 主要影響下落時間的因素為何？

根據以上的討論我們發現，「空氣阻力受力面積」可能為主要的影響因素，在作此推論後，作者藉擷取實驗過程之畫面測量水平角，以之求出空氣阻力受力面積並觀察其對下落時間之影響，得到空氣阻力受力面積越大則下落時間越長之結論。

九、 為何轉速與下落時間有關？

既然影響因素是受力面積，又為何「轉速」也會造成下落時間之延長，經由擷取之畫面發現，其水平角越大之種子旋轉越慢（旋轉圈數越少），可見旋轉越慢之種子其下落時間越短，其原因應是由於水平角較大，空氣阻力受力面積較小的緣故。

十、 面積大小對水平角的影響？

經實驗發現，面積越大之種子其水平角越大，而面積越大之種子其種仁也越大越重，因此我們推論，種仁越大越重之種子，其重心會前移，而使水平夾角變大，其確實的成因仍有待進一步的實驗。

十一、 為何種子每次下落的時間及圈數會有相異的現象？

實驗過程中，我們手執種子使其在同一高度自由落下，但同一種子所得結果有很大的差異，原因應為：種子離開手指的同時，由於手指與種子翅間產生摩擦力，或拾取時角度不同，使種子較早或較晚達到理想水平角，進而影響旋轉圈數，在「面積與轉速對下落時間的影響」之實驗中，為排除此一因素，我們拉高下落的起點，使實驗能以「種子已開始旋轉」為前提來測量旋轉圈數，所得結果仍有些微差距，但已改變不少，應是由於測量過程中操作者的反應時間，或其它未發現的影響因素所造成。

十二、 為何種子的翅上要有一條明顯的脊？

本次採集到的種子大部分外型差異很大，於是我們針對其外型歸納出共通點：較厚的種仁、薄膜狀的種子翅、翅上有一條明顯的脊、種子各部份有特殊角度，其中，前兩點特徵亦可在松樹、槭樹及大花紫薇等風力傳播種子上看到，但松樹的種子與後兩著有個顯著的差異，那就是松樹的種子翅上沒有一條較厚且集中於一側邊緣的脊，這對其飛行有何影響呢？在分別施放三種植物種子後發現，松樹之種子不能穩定的左

旋或右旋，而其他兩種種子則與桃花心木種子一樣穩定朝一方向旋轉，由此可知，種翅上的脊有穩定旋轉方向的作用，推測其原理應為集中一邊的重量造成種子旋轉時由固定的一邊先下沉，使旋轉方向穩定而不易改變

十三、 種子重量與排列之關係

經觀察發現，種子在房中固定的自中軸向外由大到小排列，測量其重量後發現除了最外面之種子外，其餘種子之重量皆成規則排列，據推論，最外之種子較重是因為遭其他種子壓迫而較下一種子體積大，因此重量也較重。

十四、 本次研究的檢討

有限的時間是我們的研究限制。所得數據不夠足可能影響結果的客觀性。作者藉刪去差異性太大的數據，並求取各組平均值以求改善。

由於桃花心木種子構造複雜，使影響旋轉的因素多且交互影響。本研究只能就桃花心木種子旋轉方面的現象加以探討、假設並推論。無法歸納出造成旋轉之物理原理。是本研究美中不足的地方，也是作者將來希望繼續研究的方向。

陸、 結論

- 一、 桃花心木種子分為左旋右旋，且數量比為 1：1。
- 二、 桃花心木種子 a、b 角越大，其旋轉圈數越多。
- 三、 桃花心木種子旋轉圈數越多，則落下時間越長。
- 四、 桃花心木種子面積越大，則落下時間越長。
- 五、 桃花心木種子面積越大，則旋轉圈數越少。
- 六、 桃花心木種子面積越大，則其飛行中水平角較大。
- 七、 桃花心木種子水平夾角越大，其旋轉圈數越少。
- 八、 桃花心木種子有效面積越大，則落下時間越長。

柒、 參考文獻

薛聰賢，1999，台灣花卉實用圖鑑，台灣普綠有限公司出版

藍天綠地工作室，2001，中興大學生態步道，台北市，城邦文化

張碧員等，1994，台灣賞樹情報，台北市，大樹文化

張集益，1998，樹木家族，台中市，晨星

楊冠政等，2003，生命科學（上），台北市，龍騰文化，114~115 頁

褚德三等，2003，物質科學物理篇（上），台北市，龍騰文化，239~243 頁

蘇桂瑢等，2003，風的信仰－桃花心木種子的傳播，中華民國第 43 屆中小學科學展覽會參展作品專輯高中組生物科（註三）

祐祥個人直升飛機設計製造中心－直升機的飛行原理

<http://www.yoshine.com.tw/heliflight.htm>

中國文化研究院 2001

<http://www.chiculture.net/0804/html/b10/b10.html>

評語

040710 高中組生物科

隨風飄揚的螺旋槳桃花心木種子

1. 觀察與記錄仔細。
2. 研究結果應加入物理與數學分析方法。