

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生物科

第二名

030305

天空的舞者--探討槭樹種子的飛行模式

學校名稱：南投縣立大成國民中學

作者： 國一 曾麟雅 國一 朱家慧	指導老師： 徐敏益 董曜瑜
-------------------------	---------------------

關鍵詞：槭樹種子、白努力定律

## 摘要

槭樹種子的外表型態有常態分佈的現象，翅果常分布在 1.08~2.02 公分，又以 1.32~1.56 公分最常見，寬分布於 0.22~0.72 公分，以 0.32~0.50 公分為最常見。厚度的大小依序排列為：種子>肋>翅膀；肋的厚度大小依序排列為：肋前>肋中>肋後。重量分布於 0.012~0.046 公克，以 0.022~0.032 公克最為普遍。槭樹種子飛行的時間具有一定的規律性；我們把飛行時間大約分成四大類，分別是：啟動期、旋轉期、滯空期和飄移期。質量小的種子較質量大的種子能散播得遠，尤其是高度在 100 公分以上時較明顯。槭樹種子飛行時，除了種子本身的旋轉(自轉)外，種子亦繞著一圓心飛行(公轉)。

## 壹、研究動機

在校園中行走時，一陣強風過去，把槭樹上的種子吹下來。我們停下腳步，專注的看著它，發現它的飛行很特別，種子先在空中飄盪一陣子，當它翻轉到某一個角度時，才會開始旋轉。我們小心翼翼的從地面上拿起它，仔細的看著它的構造；此時，我再次向上拋，看到的是相同的情況。突然，心中產生了許多的疑問：它是如何旋轉的呢？旋轉的高度會不會影響到它旋轉的速度？大小不同的種子，會不會影響它的飛行？我們看著它，突然想到老師說過的白努利定律。白努利定律因為上下距離的不同，但空氣通過的時間必須相同；所以使距離較長的一方速率較快，造成上浮的力量。但我們初步推測槭樹種子傳播原理不只有這個。為了解答我們心中的疑惑，便開始一連串的實驗。

## 貳、實驗目的

- 一、觀察槭樹四季的變化。
- 二、了解槭樹種子的構造及測量槭樹種子的大小和重量。
- 三、探討槭樹種子飛行時，旋轉角度對飛行的影響。
- 四、探討槭樹種子傳播距離。

## 參、研究設備

- |                 |                        |
|-----------------|------------------------|
| 一、600 個槭樹種子     | 十三、兩組裁剪工具              |
| 二、一台電風扇         | 十四、一個量角器               |
| 三、兩把直尺          | 十五、一台高速攝影機(Nikon 1-J1) |
| 四、兩把游標尺         | 十六、一台相機                |
| 五、四枝筆(藍、紅、黑、淡藍) | 十七、40 張白紙              |
| 六、兩張方格紙         | 十八、140 個夾鏈保鮮袋 2 號      |
| 七、一卷膠帶          | 十九、一台電腦                |
| 八、一個紙箱          | 二十、一把捲尺                |
| 九、一卷雙面膠         | 二十一、一個培養皿              |
| 十、一個電子天平        | 二十二、一個螺旋測微器            |
| 十一、一個梯子         | 二十三、30 個夾鏈保鮮袋 0 號      |
| 十二、兩片珍珠板        | 二十四、一台乾燥箱              |

## 肆、研究方法

### 一、研究材料及實驗原理

#### (一)槭樹介紹

槭樹為雙子葉植物綱，無患子目，槭樹科。在臺灣同屬於槭樹科槭樹屬，共有六種，其中青楓是最廣為人知的一種。葉的型態為掌狀，大部分皆為五個深裂，葉緣有細鋸齒，為單葉對生，無托葉；花很小，為白綠色，花梗約 3-5 公分，花瓣約 0.6 公分長，有五瓣，約於 3、4 月開花。果實為翅果，即果實有一對翅膀，每片翅膀基部有一顆種子，像是一個「人」字狀；約在 10 月果實成熟後，果實便隨風飛起，藉由風，可將果實滑翔至較遠處。

#### (二)白努利定律

白努利定律是流體力學中的一個定律，由物理學家白努利於 1738 年出版的《Hydrodynamica》中提出，是描述流體沿著一條穩定、非粘滯、不可壓縮的流線移動行為。白努利定律從牛頓運動學中，以能量守恆觀念：「動能 + 位能 = 定值」，推導出白努利定律：「動能 + 壓力 = 定值」當液體流速減少時，壓力便會增加。簡單的說就是，當流體流速愈大，其壓力愈小。此原理在日常生活中很常見，例如棒球的變化球、飛機的飛行等皆與之相關。以飛機為例，飛機向前飛在機頭的空氣不管是背部或腹部 皆須同時到達機尾，而因為飛機背部呈弧形，腹部成平面狀，因此背部的空氣流速快，而腹部壓力就較小，所以壓力大的腹部空氣可以支撐飛機的重量，便使飛機飛起來。

### 二、**實驗一：槭樹種子觀察及測量**

挑選 130 個槭樹種子，用游標尺測量翅膀的展(長)、弦(寬)，以及使用螺旋測微器測量種子、肋(肋前、肋中和肋後)、翅膀的厚度；使用電子天平測量種子、翅膀、肋的重量，計 23 個種子。

(一)長度測量：

我們利用游標尺測量種子的展(長)與弦(寬)，並放置在方格紙後面，如圖(一)和圖(二)所示。



圖(一)測量槭樹種子的展(長)



圖(二)測量槭樹種子的弦(寬)

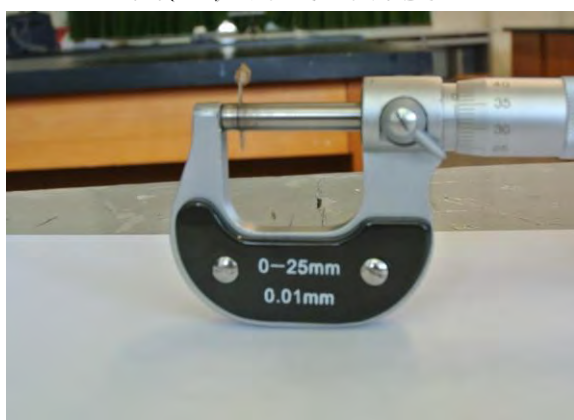
用螺旋測微器，測量種子、肋前、肋中、肋厚和翅膀的厚度，如圖(三)、圖(四)、圖(五)和圖(六)所示。



圖(三) 測量種子厚度



圖(四) 測量肋前厚度



圖(五) 測量肋中厚度



圖(六) 測量肋後厚度

(二)重量測量：

使用電子天秤(精確至小數點後三個位數)，種子放置在培養皿上，如圖(七)所示。

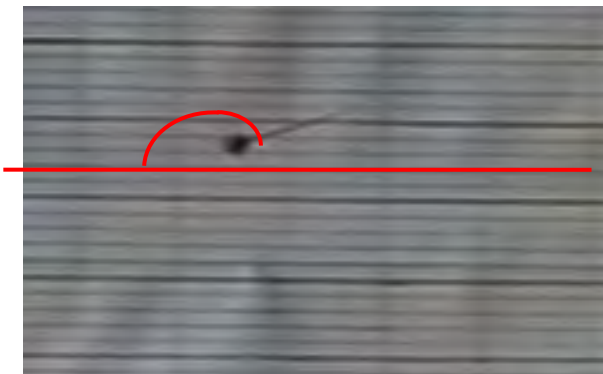


圖(七) 測量槭樹種子的重量

### 三、**實驗二：槭樹種子飛行與旋轉角度變化的測量**

拍攝方法為一人架設高速攝影機，另一人手持夾取槭樹種子，以翅膀朝下，放開種子同時也進行攝影動作。拍攝後的影片進行篩選後，選取可用之影片進行裁切，以 Free Video to JPG Converter 5.0 程式，進行轉檔，將高速攝影片，裁切成每秒具 400 張圖片，作為分析之用。

利用量角器和尺，一人拿量角器，一人拿尺，並貼在電腦螢幕上，進行角度變化的測量。以種子為基準，以順時針方向進行計算，如圖(八)所示。測量數據紀錄後，再進行分析統計。

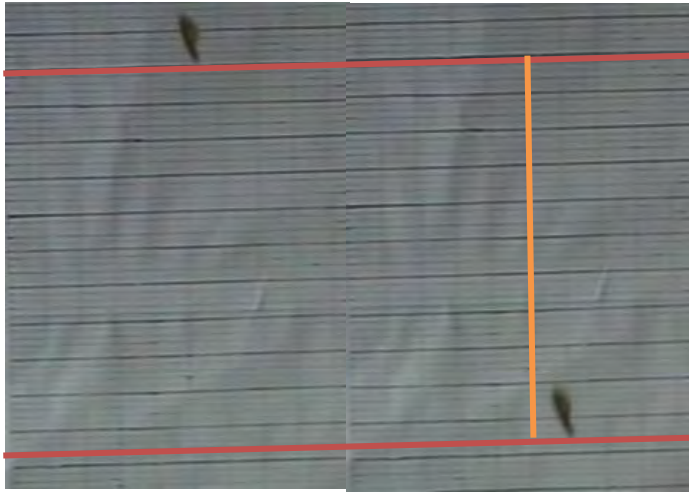


圖(八)角度測量示意圖

### 四、**實驗三：槭樹種子飛行與掉落距離的測量**

我們用先前拍好的影片，切換成照片，計算距離和時間的變化。

取自實驗二之裁切圖片進行種子飛行之鉛直距離測量。測量方式以種子角度改變作為時間區段，測量時間點至另一時間點的距離變化，如圖(九)所示：



圖(九)鉛直距離測量示意圖

#### 五、**實驗四：槭樹種子飄移距離的測量**

我們使用了兩種大小、重量差異較大的種子測量槭樹種子在各種不同高度下、不同大小種子的情況下，會不會影響槭樹種子的飛行距離。

另外，由於實驗需求，亦拍攝了種子水平飄移的影片。擬訂了一個適合拍攝種子飄移全貌的高度，此高度為 170 公分，並在 250 公分處架設高速攝影機，以俯拍種子的飛行情形。

### 伍、研究結果

#### 一、觀察槭樹四季的變化

##### (一)、槭樹四季的差異

槭樹在春天開花，夏天冒出綠色的種子，秋天種子逐漸乾硬，葉子也逐漸轉紅，冬天分泌離素，種子開始散播(圖十一)。





圖(十一)(A)春天一槭樹開的花(B)夏天一槭樹冒出的綠色種子  
(C)秋冬天一種子逐漸乾硬(D)秋冬天一已乾燥種子

## (二)、證明離素影響槭樹種子掉落

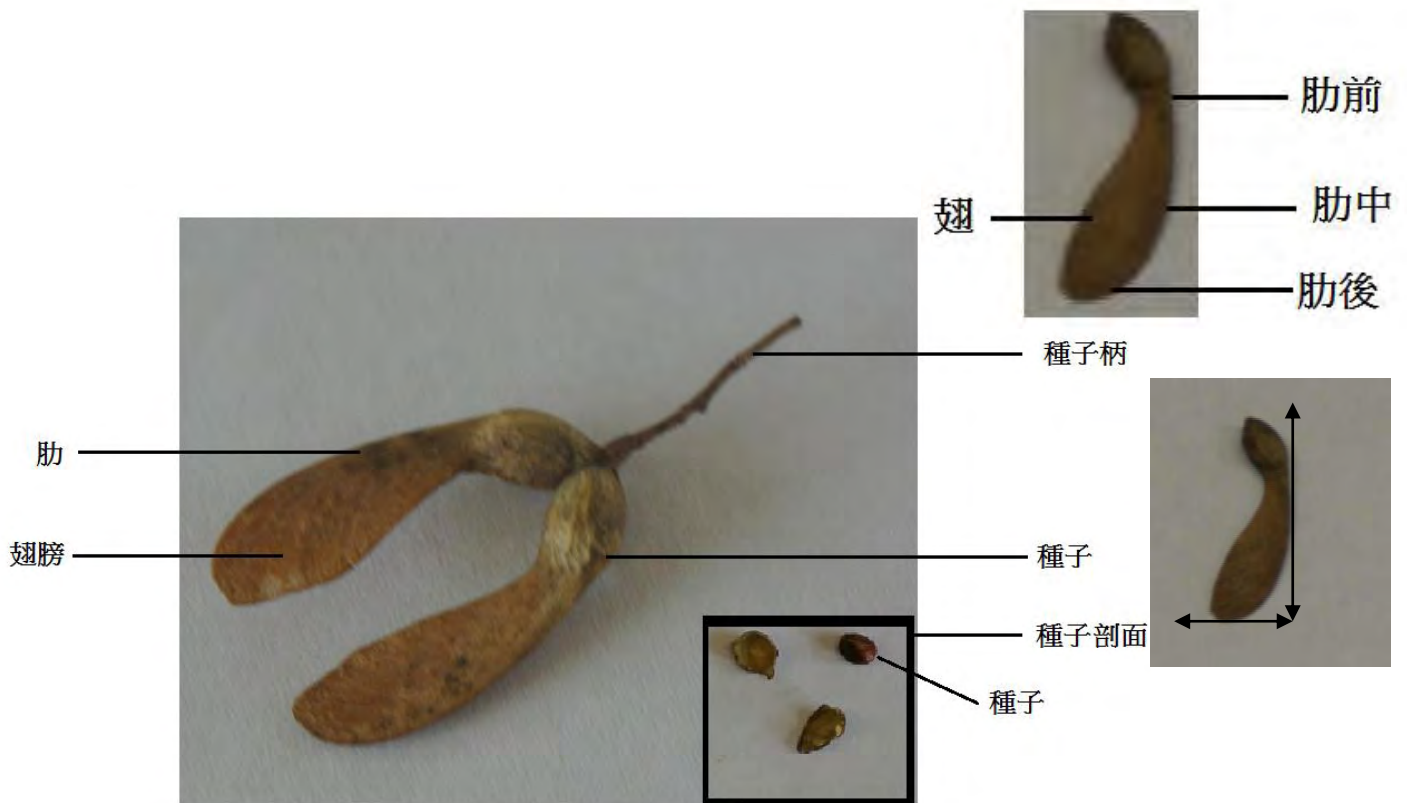
我們將剛採摘下來的種子放入實驗室的乾燥箱中，待乾燥後，我們模擬戶外槭樹架設鐵架和樹枝(圖十二)，希望能看見種子自然飄落。但即使使用每分鐘331碼的風力去吹動種子，也無法讓種子飄落；但是在戶外槭樹上的種子也乾燥後，微風輕拂過，種子卻輕易飄離了。經由我們參考文獻了解到我們模擬實驗失敗，是因為樹在種子成熟乾燥後，便會分泌離層素，使種子脫離母樹；而我們模擬實驗的種子因缺乏離層素，而無法自然飄落。



## 二、了解槭樹種子的構造及測量槭樹種子的大小和重量

### (一)、槭樹種子的構造

槭樹種子的構造有種子柄、種子、肋和翅膀；一個種子柄通常連接兩個槭樹種子(圖十三)。而為了方便測量，將肋分為三個部分：肋前、肋中和肋後(圖十三)。



## (二)、槭樹種子的大小和重量的測量

使用游標尺測量種子與翅膀的長寬及使用螺旋測微器測量種子厚、肋厚、翅膀厚，共計測量 130 個種子。以電子天平測量種子重、翅膀重、肋重，共計 23 個種子(因需要破壞種子，所以才取 23 個種子進行測量)。

### 1. 長度測量方面:

由圖十四可知，在我們測量的 130 個種子中，長度分佈為 1.08 公分到 1.98 公分。相同的個數超過 6 個的有:1.30 公分、1.34 公分、1.36 公分、1.42 公分、1.48 公分、1.56 公分，其中以 1.42 公分和 1.56 公分有八個為最多。

由圖十五可知，在我們測量的 130 個槭樹種子中，寬度分佈為 0.22 公分到 0.72 公分。常見的寬度在 0.32 公分到 0.50 公分間，而最普遍的寬為 0.32 公分，有 14 個。

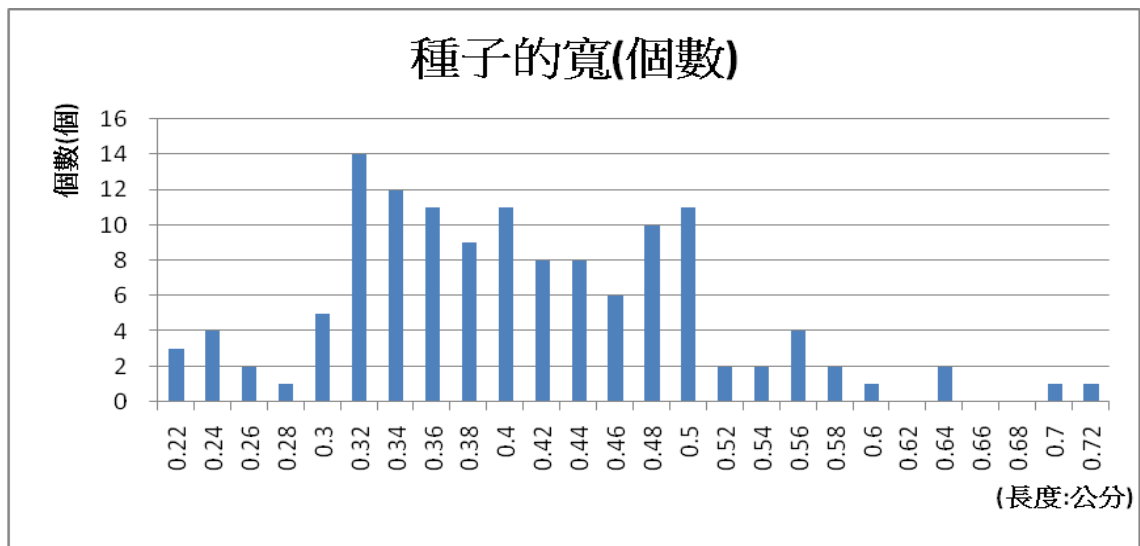
由圖十六可以發現，在我們測量的 130 個種子中，平均長度 1.47 公分，標準差是 0.21；平均寬度 0.40 公分，標準差是 0.10。

由圖十七可看知，由展弦比散佈圖可以發現分佈範圍為 2.19 到 8.23，而以長寬比值(展弦比值)為 3.7 最常見，平均長寬比值為 3.87，標準差為 1.08。

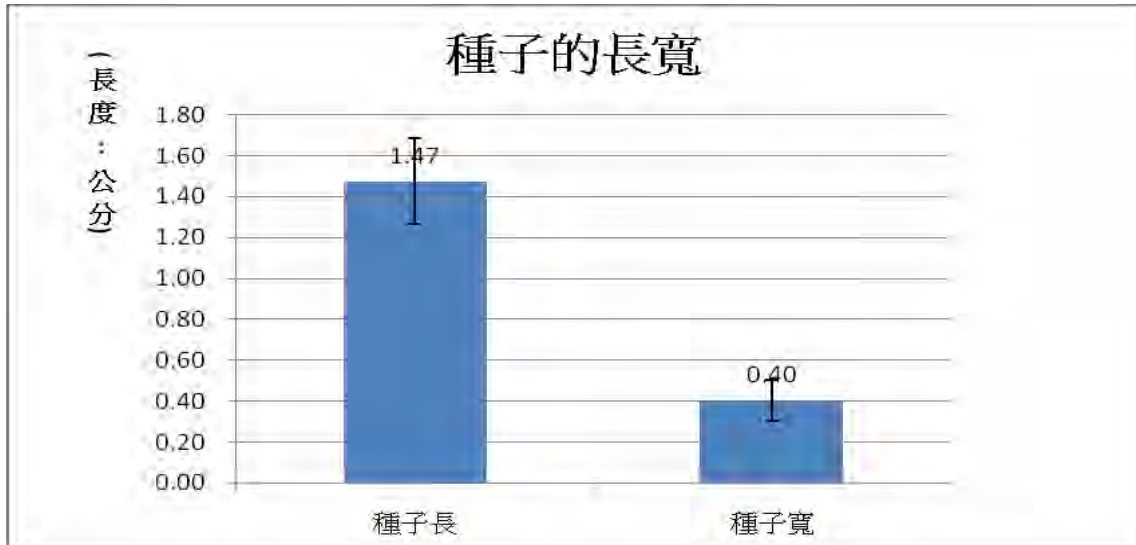




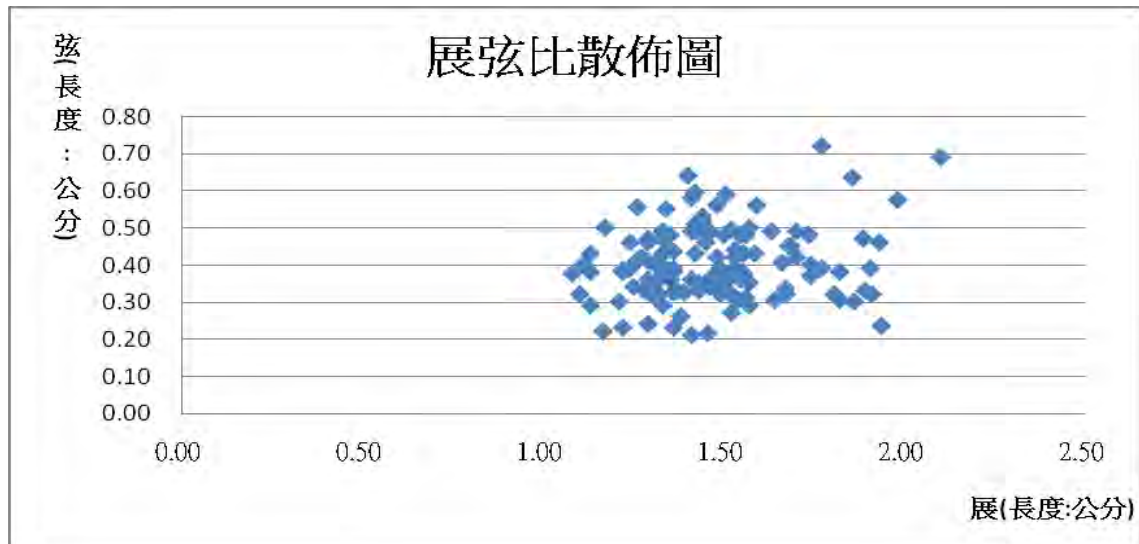
圖(十四)：種子的長—長度的個數統計(N=130)



圖(十五)：種子的寬—寬度的個數統計(N=130)



圖(十六): 種子長寬的平均值和標準差(N=130)



圖(十七): 種子的展弦比分佈圖(N=130)

## 2. 厚度測量方面:

由圖十八可見，在我們測量的槭樹種子中，種子的厚度分佈為 2.02 毫米到 3.02 毫米，而最普遍的種子厚度在 2.24 毫米，有 11 個。

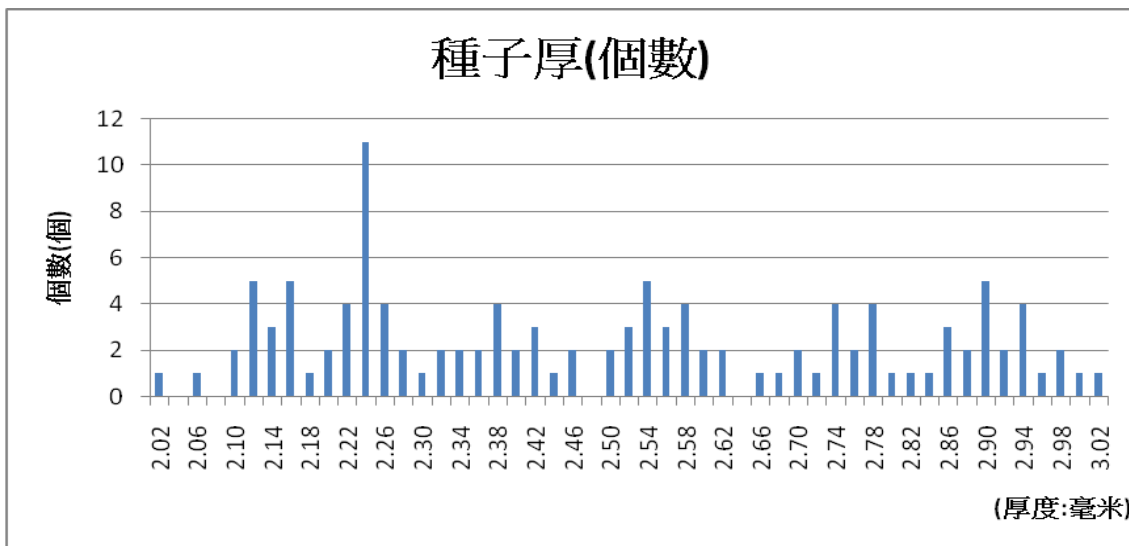
由圖十九可見，翅膀厚度分佈為 0.12 毫米到 0.30 毫米，而最普遍的翅膀厚度為 0.18，有 31 個。

由圖二十可見，槭樹種子肋前的厚度分佈為 0.66 毫米到 1 毫米，其中肋前厚度最普遍的肋前厚度為 0.88 毫米，有 18 個。

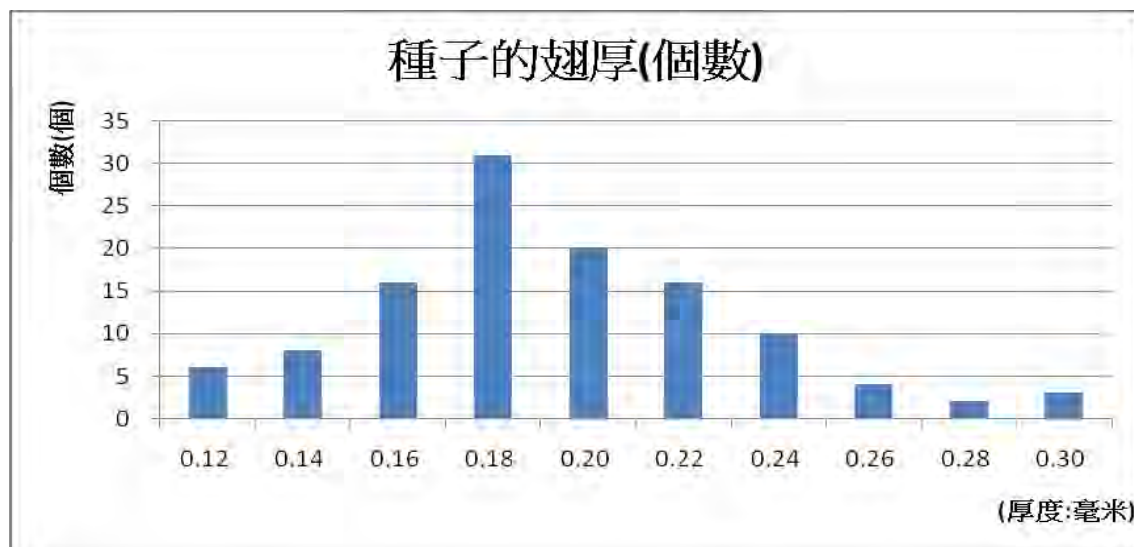
由圖二十一可見，槭樹種子肋中的厚度分佈為 0.36 毫米到 0.80 毫米，其中最普遍肋中厚度的為 0.60 毫米和 0.64 毫米，有 20 個。

由圖二十二可見，槭樹種子肋後的厚度分佈為 0.12 毫米到 0.48 毫米，其中最普遍的肋後厚度為 0.32 毫米，有 18 個。

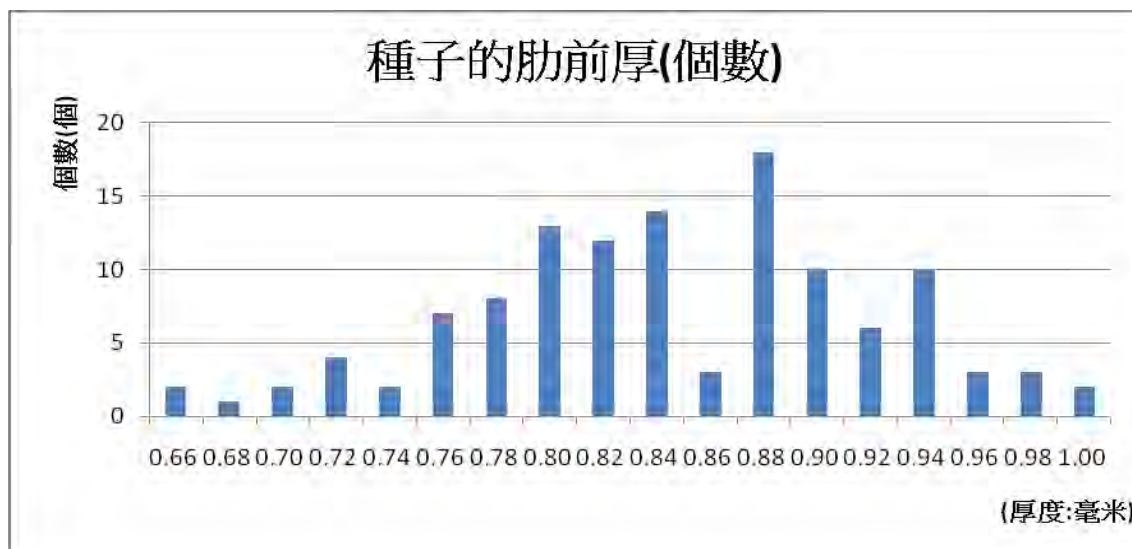
由圖二十三可見，種子厚度平均為 2.49 公分，標準差為 0.006；肋前厚度平均為 0.84 公分，標準差為 0.040；肋中厚度平均為 0.60 公分，標準差為 0.075；肋後厚度平均為 0.31 公分，標準差為 0.084；翅厚度平均為 0.19 公分，標準差為 0.040。厚度的大小依序排列為：種子>肋>翅膀；肋的厚度大小依序排列為：肋前>肋中>肋後(圖二十三)。



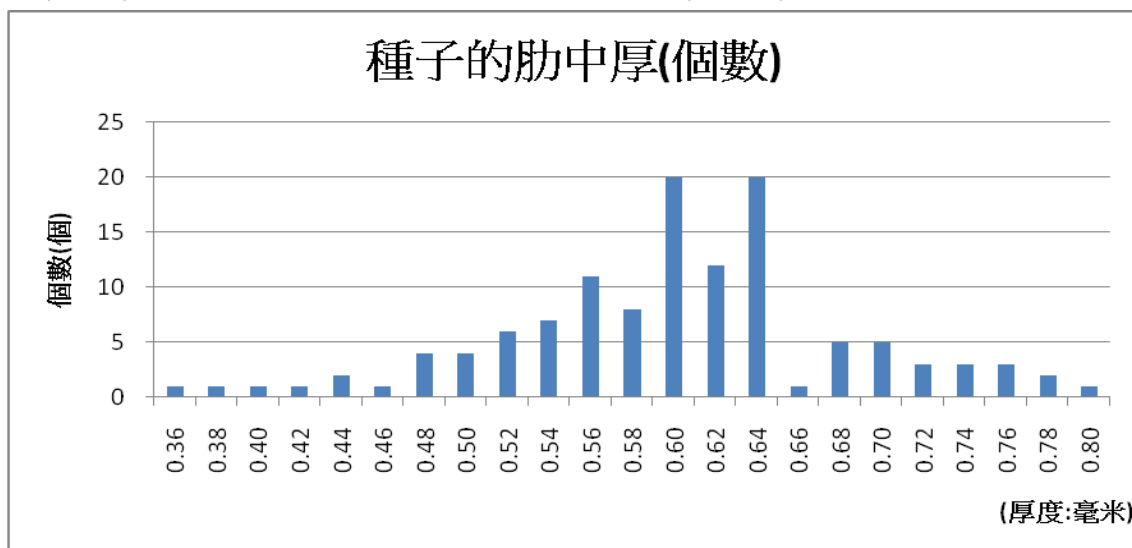
圖(十八)：完整種子的種子厚—厚度的個數統計(N=130)



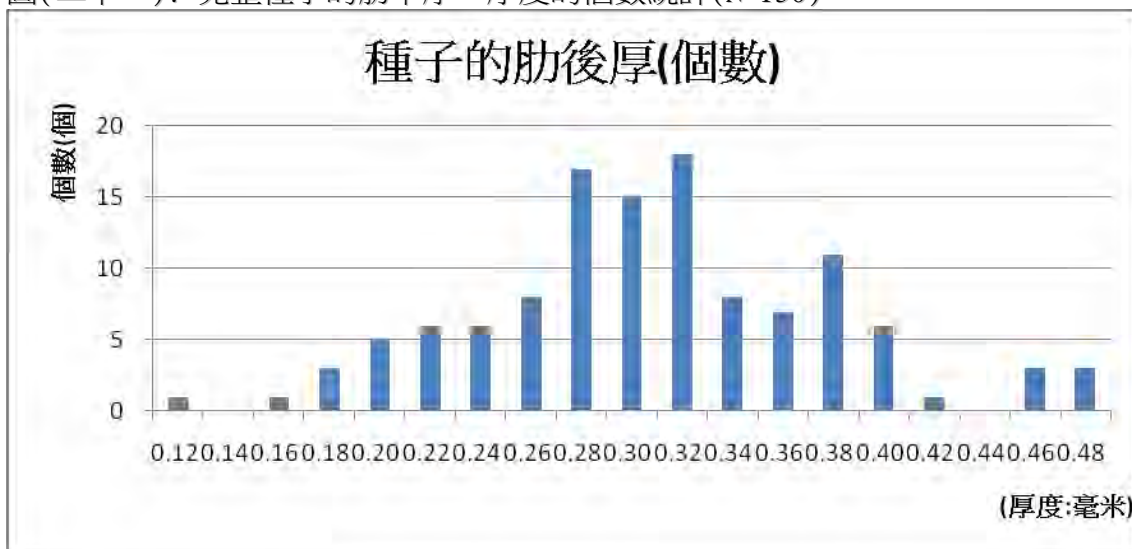
圖(十九)：完整種子的翅膀厚—厚度的個數統計(N=130)



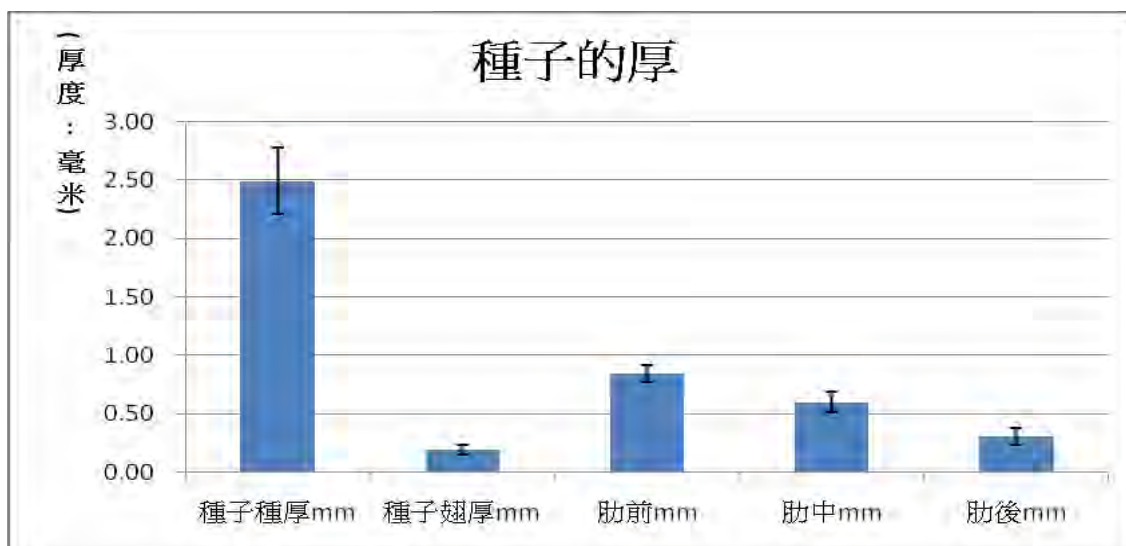
圖(二十): 完整種子的肋前厚—厚度的個數統計(N=130)



圖(二十一): 完整種子的肋中厚—厚度的個數統計(N=130)



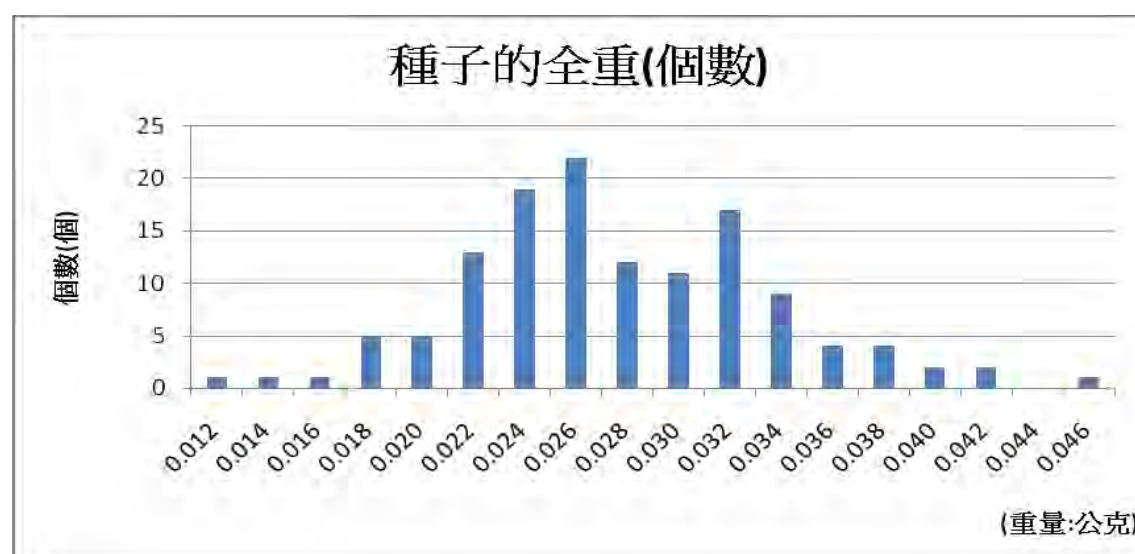
圖(二十二): 完整種子的肋後厚—厚度的個數統計(N=130)



圖(二十三): 種子厚度的平均值和標準差(N=130)

### 3. 重量測量方面:

由圖二十四可見，我們測量的槭樹種子中，相同的個數超過 10 個的有：0.022 公克、0.024 公克、0.026 公克、0.032 公克等數值，其中以 0.026 公克最為普遍。成熟完整的種子，全重最重及最輕差可達 0.034 公克。



圖(二十四): 種子的全重—重量的個數統計(N=130)

由於種子的全重落差相當大，所以我們挑選了 23 個完整的槭樹種子，分別切割成種

子、肋、翅膀三個部分秤重統計，以比較三者與完整槭樹種子的重量分佈關係。

由圖二十五可見，我們切割的 23 個種子中，種子重分佈為 0.0100 公克到 0.0280 公克最普遍的種子重為 0.0240 公克，有 5 個。

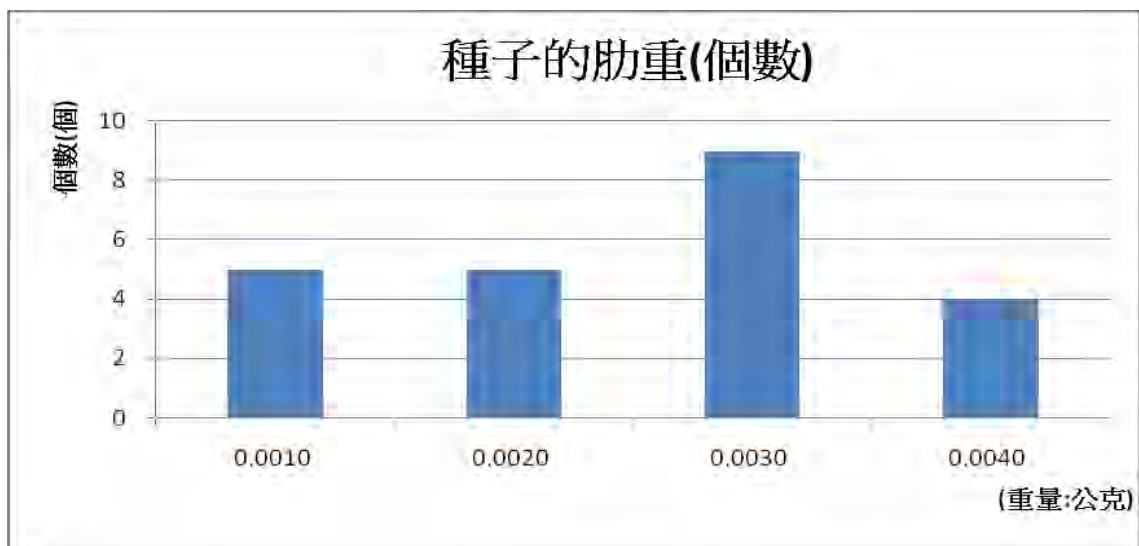
由圖二十六可見，切割測量的 23 個種子中，可以發現肋的重量較種子輕，最普遍的種子重量為 0.0030 公克，有 9 個。

由圖二十七可發現，翅膀雖較薄較輕，但由於面積較肋大，所以翅膀和肋的重量差不多(甚至更重)，普遍的翅膀重量為 0.0030 公克有 9 個；但如果將肋和翅膀裁切成相同大小，翅膀的重量就會輕於肋。

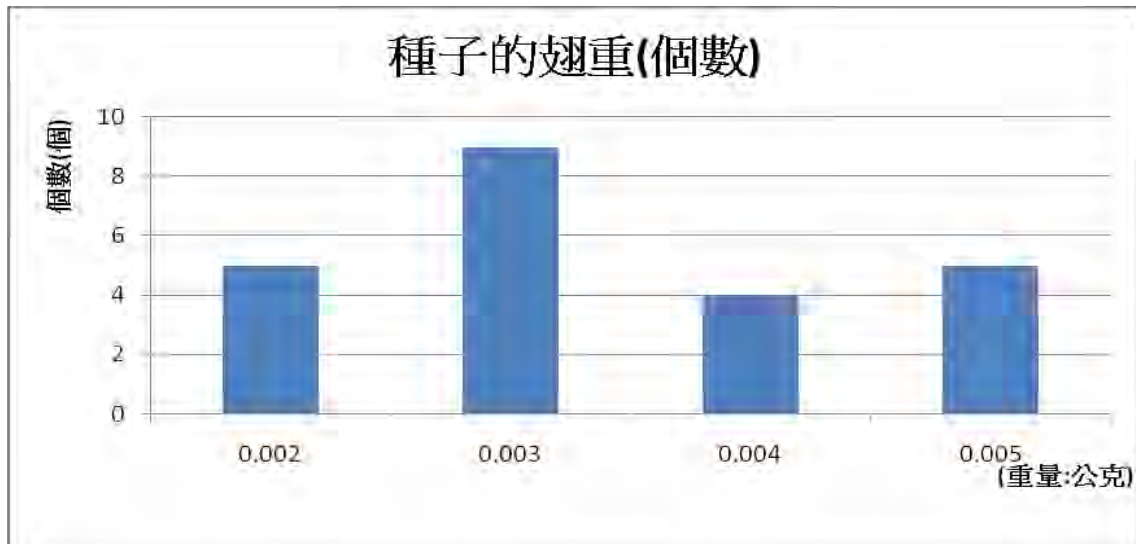
由圖二十八可見，肋重的平均為 0.0022 公克，標準差為 0.006；種子重平均為 0.0200 公克，標準差為 0.001；翅重平均為 0.0030 公克，標準差為 0.001。在平均全重 0.0300 公克的情況下，光是種子平均重量就有 0.0200 公克，占了完整種子重量的 2/3；所以，如果種子輕，全重也會變輕。我們也猜測種子重是影響整個種子旋轉角度和飛行的重要關鍵。



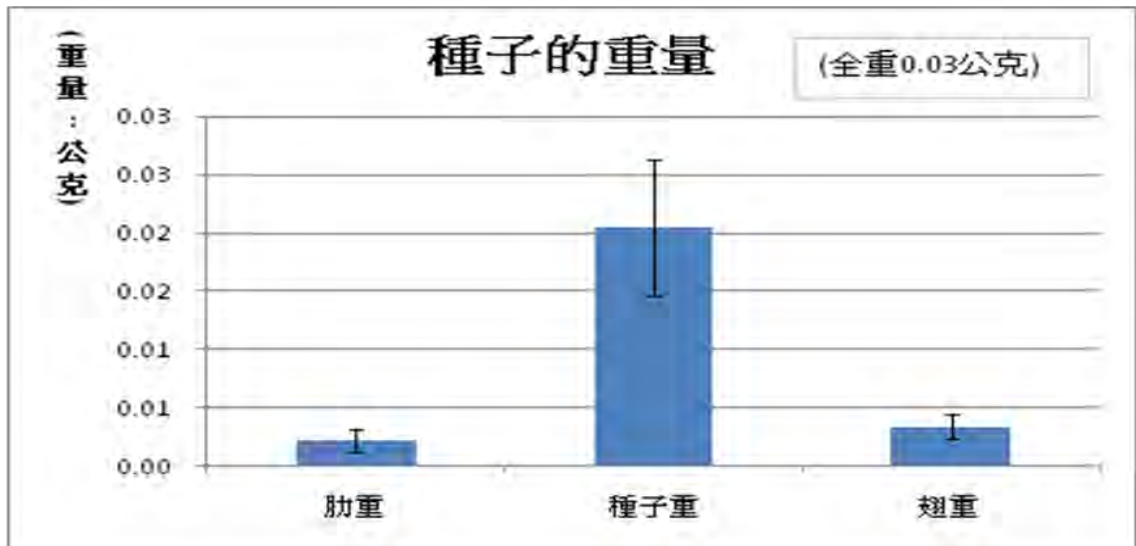
圖(二十五): 種子重—重量的個數統計(N=23)



圖(二十六): 種子的肋重—重量的個數統計(N=23)



圖(二十七):種子的翅重—重量的個數統計(N=23)



圖(二十八):種子重量的平均值和標準差(N=23)

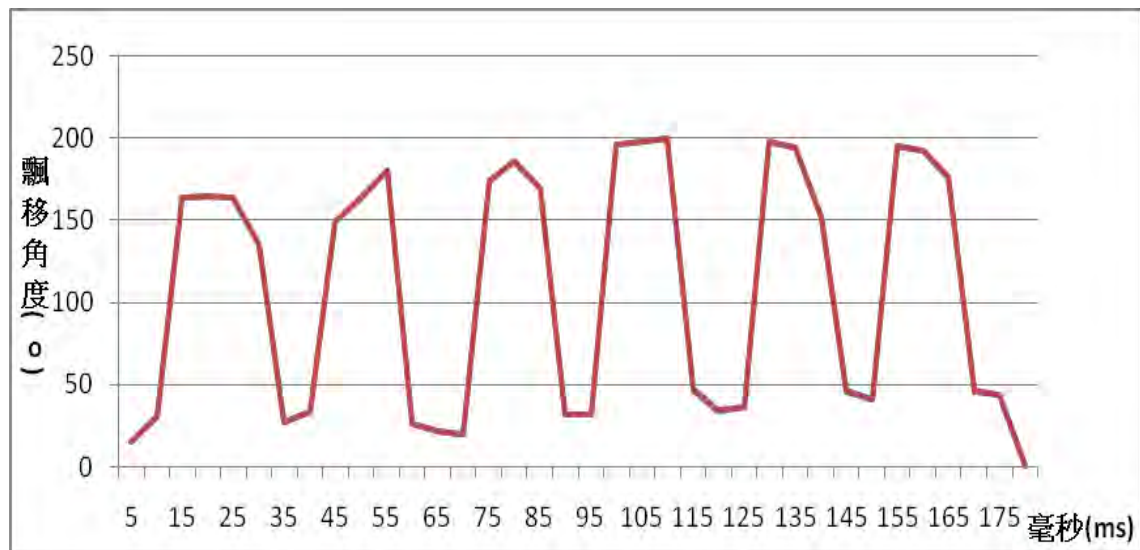
### 三、槭樹種子角度對種子飛行模式的影響

我們拍攝到槭樹種子在散播時，由上到下掉落時的情況：起初先垂直落下，等轉到特定角度時才開始旋轉。我們用高速攝影相機(Nikon 1)來拍攝影片，其拍攝影片每秒可轉換成 400 張的圖片(轉換成照片的程式 Free Video to JPG Converter 5.0)，因此每張圖片是 1/400 秒。只是，測量角度的間隔差異並不大；所以我們改用間隔 1/200 秒的圖片，進行角度的計算，探討角度與時間的變化，繪製成圖二十九、圖三十和圖三十一。接下來我們將圖二十九、圖三十和圖三十一進行說明：

#### (一)角度對種子飛行模式的影響：

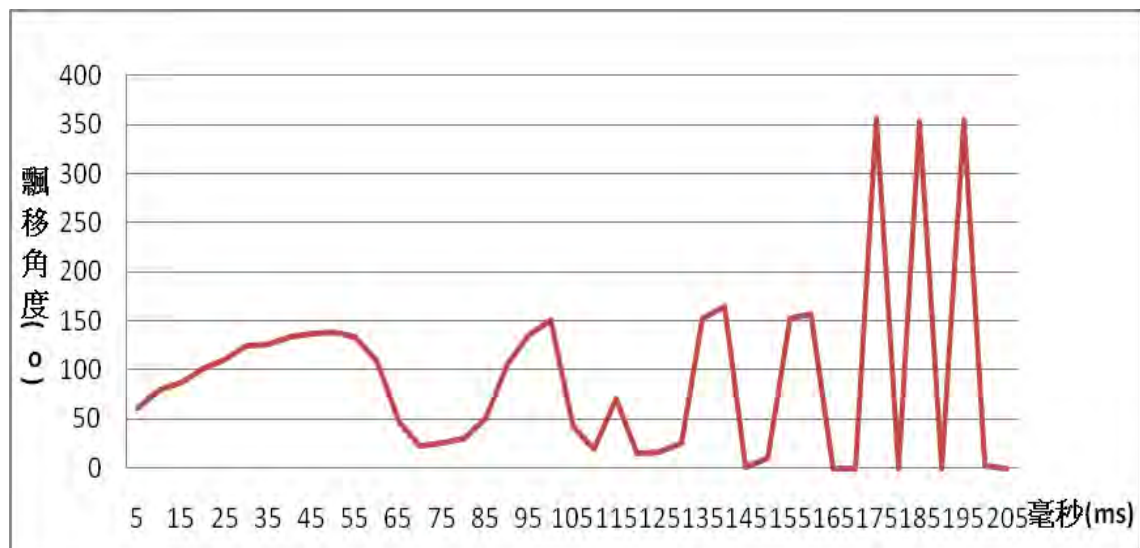
由圖二十九可知，0~15 毫秒之間，種子在空還未達到旋轉的速度，夾角為 15 度緩慢增加至 31 度；在 15~30 毫秒間，種子旋轉的角度持平為 165 度；自 30 毫秒後，角度由 165 度降至 31 度，至此之後角度呈現有規律的變化，小角度

為 32 至 47 度間變化、大角度為 174 至 198 度間變化。由此可對應種子的飛行時期，即啟動、旋轉、滯空的變化。



圖(二十九) 槭樹種子飄落時間與角度變化關係圖 1

由圖三十可見：0~55 毫秒之間，種子在空中的角度變化，尚未達到旋轉的速度，從種子的翅膀變化來看，夾角 61 度緩慢增加為 109 度；55~100 毫秒間，種子夾角先從 109 度緩降為 22 度，再升至 151 度。而 100~135 毫秒間，和前一變化相似；由 151 度降為 20 度，再小升為 70 度。135~170 毫秒，先急降為 1 度，再急劇攀升為 164 度，反覆兩次；170~195 毫秒間，角度呈現出更為急劇的變化，種子夾角從 0 度急速攀升為 357 度，再從 357 度直落為 0 度，反覆三次。

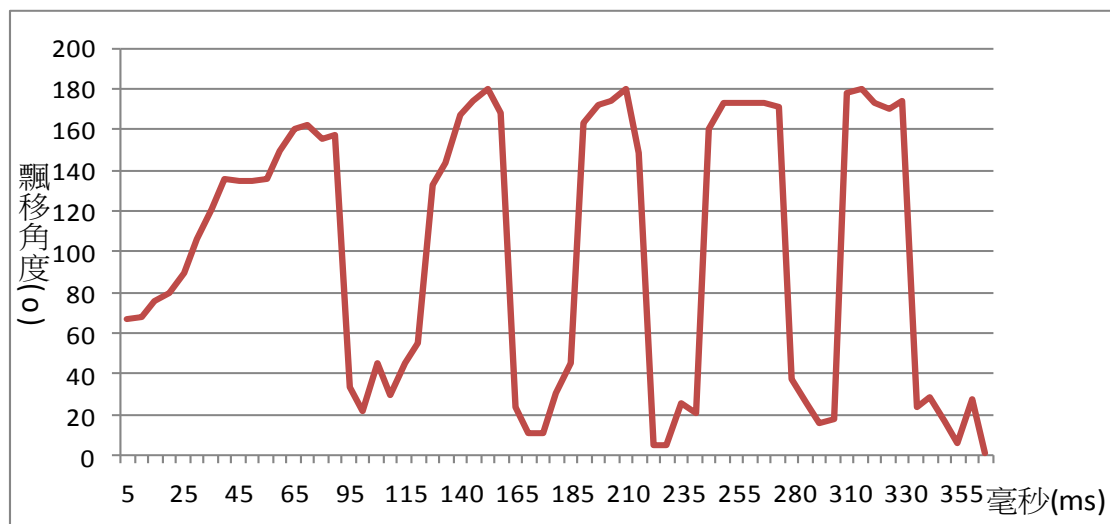


圖(三十) 槭樹種子飄落時間與角度變化關係圖 2

由圖三十一可看到：0~80 毫秒間，種子的角度變化因未達到旋轉的速度，所以夾角變化不大；由種子夾角的變化中可見：夾角從 22 度緩增加為 136 度；80~155 毫秒間，夾角的變化從 135 度急降為 22 度，後再緩升為 45 度，後緩降為 29 度，在此之後，夾角的變化急速攀升至 180 度。155~210 毫秒中，可見夾角的



變化差異較大，具有規律性的特質：夾角從 180 度急速降為 11 度，再從 11 度急攀升為 180 度，反覆兩次；210~310 毫秒間，夾角從 180 度急降至 21 度，再急升為 174 度。310~355 毫秒中，可見角度急降至為 17 度，雖然在此之後有再緩升為 27 度，再由 27 降為 1 度。在此時，夾角的變化已沒那麼明顯。



圖(三十一) 槭樹種子飄落時間與角度變化關係圖 3

由以上發現，種子飛行模式的時間具有一定的規律性；我們把飛行時間大約分成四大類，分別是：啟動期、旋轉期、滯空期和飄移期。

#### 1. 啟動期

啟動期是指種子有角度的變化，只是角度變化並不大，所以無法讓空氣中的流速有時間上的差異。

#### 2. 旋轉期

當種子的角度開始有了極大的變化時，空氣中流速的變化也會因為種子角度旋轉時的大差異，開始有了快、慢之分。只是，我們發現種子的角度變化雖然成垂直變化，卻也讓種子在飛行時角度變化沒有規律性；導致，空氣中的流速一直在變化。所以在飛行時當然會不穩，就很容易就從空中直接墜下。我們把旋轉時角度變化大，且沒有規律的時間，命名為種子的旋轉期。

#### 3. 滯空期

滯空期是藉由種子在經高速旋轉後(旋轉速率相同)，使空氣中的流速變化有一定時；就可以延遲向下墜的動力，使種子可在空中停留的更久，傳播更遠的距離。具有規律性的旋轉，我們稱為滯空期。

#### 4. 飄移期

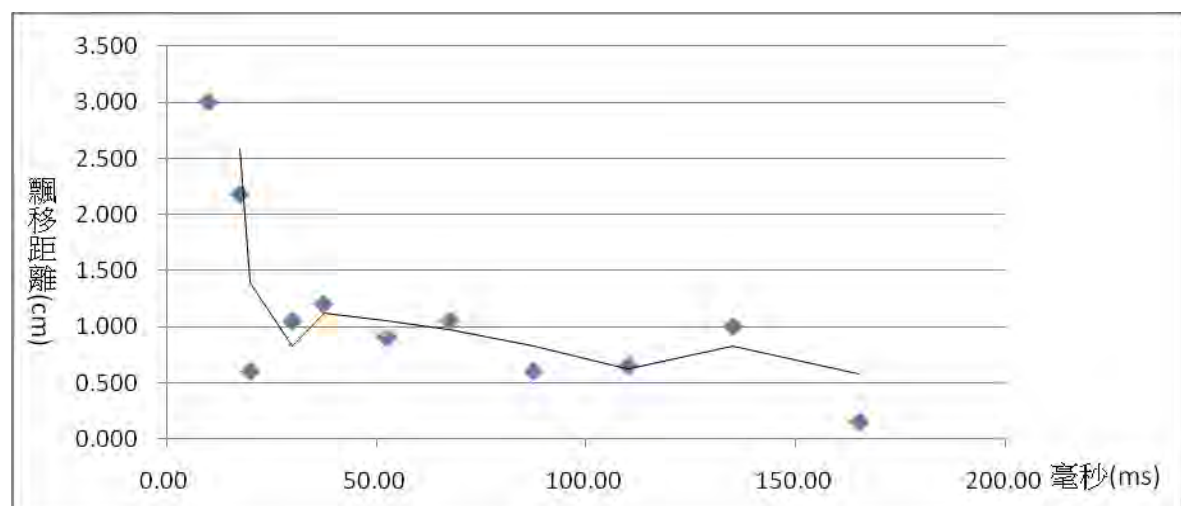
飄移期是種子經過啟動期、旋轉期和滯空期後，最後待在空中的時期。雖然種子在離地面時，旋轉的角度變化會因空氣流速移動的變化，使角度一直在變小；但是，飄移時間可以讓種子離地面前，再一次的移動。所以，對種子來說：飄移期是很重要的。

由圖二十九、圖三十和圖三十一都相同有啟動期、旋轉期和滯空期。只是圖

二十九沒有明顯的啟動期；而圖三十一沒有拍攝到飄移期。但是圖三十中卻有明顯的四個時期。我們推測這是因為：在影片拍攝中，可以看到種子完整的掉落，只是在飄移期的部分不是拍攝的很完整。由三個圖中夾角的變化，可發現極大的差異；如圖二十九，由於旋轉角度太過於規律，所以無太大的變化；而圖三十一和圖二十九的差異主要在啟動期和飄移期的兩個部分。相同的是：啟動期過後，角度都呈現規律的變化。而圖三十中旋轉的角度由 61 度到 109 度，有明顯的角度變化；且圖三十後半部的圖表也具有規律且垂直的變化，與圖二十九和圖三十一相符。我們推測這也是因為：圖二十九在還沒到攝影鏡頭前，就已經開始有了角度的變化，且當影片拍攝到最後時，可看到種子飄移期的角度變化比滯空期還要來得明顯；而圖三十一有拍攝到明顯的啟動期，所以會比圖二十九的啟動期還要明顯。因為圖三十四之時期的角度變化都有完整的拍攝到，所以我們推測圖三十中的角度變化與時間的關係圖，才是真正符合種子的飛行模式。

#### 四、槭樹種子時間與距離對飛行模式的影響

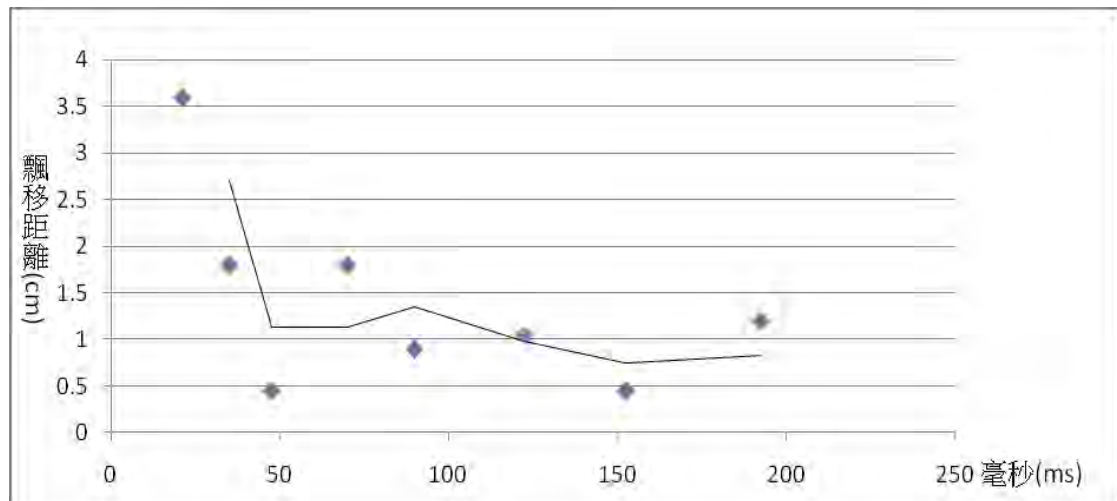
經由角度的變化實驗，利用影片中轉換成照片，並計算方格紙格數，以計算飛行時角度變化的距離改變，繪製成圖表，如圖三十二、圖三十三和圖三十四所示。說明如下：由圖三十二可發現，0~15 毫秒中，種子移動的距離分別為 2.18 公分、0.60 公分和 1.05 公分，共移動了 3.83 公分，此期間是種子的啟動期，此時夾角尚未有較大的變化，也不具有規律性，所以使移動距離較大。15~30 毫秒間，分別移動距離為 1.05 公分、1.20 公分和 0.9 公分，共移動了 3.05 公分，此期間為種子的旋轉期，移動距離趨緩，但尚未穩定。30~175 毫秒附近，種子分別移動 6.88 公分、10.90 公分、1.05 公分、0.60 公分、0.15 公分、1.50 公分以及 0.15 公分；總共移動了 20.23 公分，此期間是所謂的滯空期，移動距離趨於穩定。



圖(三十二)飄落時間對距離關係圖 1:(A)啟動期(B)旋轉期(C)滯空期(D)飄移期

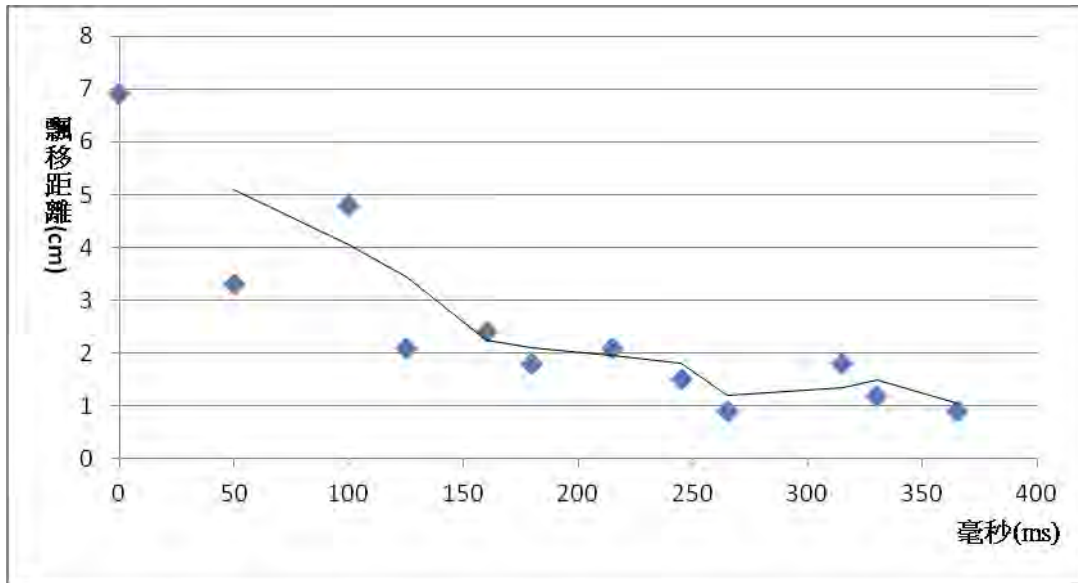
由圖三十三可知，0~65 毫秒，種子分別移動了 3.60 公分、1.80 公分、0.45

公分，共移動了 5.85 公分，此期間是種子的啟動期，此時夾角尚未有較大的變化，也不具有規律性，所以使移動距離較大。在 65~95 毫秒，種子移動距離為 1.80 公分、0.90 公分，共移動了 2.70 公分，此期間為種子的旋轉期，移動距離趨緩。在 95~155 毫秒中，移動距離為 0.65 公分，移動距離比較上期更為緩和，為滯空期。最後的 155~195 毫秒間，分別移動了 0.45 公分和 1.20 公分，共移動了 1.65 公分，此期間為飄移期。



圖(三十三)飄落時間對距離關係圖 2: (A)啟動期(B)旋轉期(C)滯空期(D)飄移期

由圖三十四可知，0~80 毫秒，種子分別移動了 6.9 公分、3.3 公分、4.8 公分、2.1 公分，共移動了 17.1 公分，此期間是種子的啟動期，此時夾角尚未有較大的變化，也不具有規律性，所以使移動距離較大。在 80~155 毫秒，種子移動距離為 2.1 公分、2.4 公分、1.8 公分，共移動了 6.3 公分，此期間為種子的旋轉期，移動距離趨緩。在 155~355 毫秒中，移動距離分別為 2.1 公分、1.5 公分、0.9 公分、1.8 公分、1.2 公分、0.9 公分，共移動了 7.5 公分，移動距離平均更為緩和，掉落距離有逐漸降低的現象，且站種子飛行大部分的時間，為槭樹種子飛行的滯空期。



圖(三十四)飄落時間對距離關係圖 3:(A)啟動期(B)旋轉期(C)滯空期(D)飄移期

我們將上述，圖二十九及圖三十、圖三十一及圖三十二、圖三十三和圖三十四的資料，分別整理如成表一、二、三。

表(一)：圖二十九和圖三十二的整理表

啟動期 (0~15 毫秒)	旋轉期 (15~30 毫秒)	滯空期 (30~170 毫秒)
小角度 15 緩增 31 度， 移動 2.18、0.60 和 1.05 公分 (共 3.83 公分)	角度維持 165 度， 136~22 度、22~45 度、45~29 度、29 ~180 度(急速攀升)	165 度~31 度、 小角度 32~47 度(規律變化)、 大角度 174~198 度(規律變化)， 180~11 度、11~180 度(反覆兩 次)、180~21 度、21~174 度、174 度~17 度、17~27 度、27 度、27~1 度(呈現急速上升和急速下降的 趨勢)

表(二)：圖三十和圖三十三的整理表

啟動期 (0~55 毫秒)	旋轉期 (55~135 毫秒)	滯空期 (135~170 毫秒)	飄移期 (170~195 毫秒)
夾角 61~10 度，個別 移動 3.60、1.80 和 0.45 公分 (共 5.85 公分)	109~22 度、22~151 度、151~20 度、20~70 度，先移 1.80 公分， 後移動 0.90 公分 (共移 2.70 公分)	1~164 度 (先急降再急攀升) (反覆兩次)， 移動 0.65 公分 (共移動 20.23 公 分)	164~1 0~357(攀升急快)、 357~0(直落角度) (重複三次)，分別移 動 0.45 公分和 1.20 公分(共移 1.65 公分)

表三：圖三十一和圖三十四的整理表

啟動期 (0~80 毫秒)	旋轉期 (80~155 毫秒)	滯空期 (155~355 毫秒)
夾角 22~136 ，移動 6.9 公分、 3 公分、4.8 公 、2.1 公分	136~22 度、22~45 度、45~29 度、29 ~180 度(急速攀升)，移動 2.1 公分、2.4 公分、1.8 公分 (共 6.3 公分)	180~11 度、11~180 度(反覆兩次)、 180~21 度、21~174 度、174 度~17 度、17~27 度、27 度、27~1 度(呈現 急速上升和急速下降的趨勢)，2.1 公分、1.5 公分、0.9 公分、1.8 公 分、1.2 公分、0.9 公分 (共 7.5 公分)

### 五、探討槭樹種子傳播距離

我們使用了兩種大小、重量差異較大的種子，其外部形質如表四所示。進行測量槭樹種子在一種不同高度下、不同大小種子下或有無風的情況下，會不會影響槭樹種子的散播距離，並整理如圖三十五、圖三十六、圖三十七、圖三十八所示。

表四：重量相差較大的外部形質，A 為較重種子，B 則較輕。

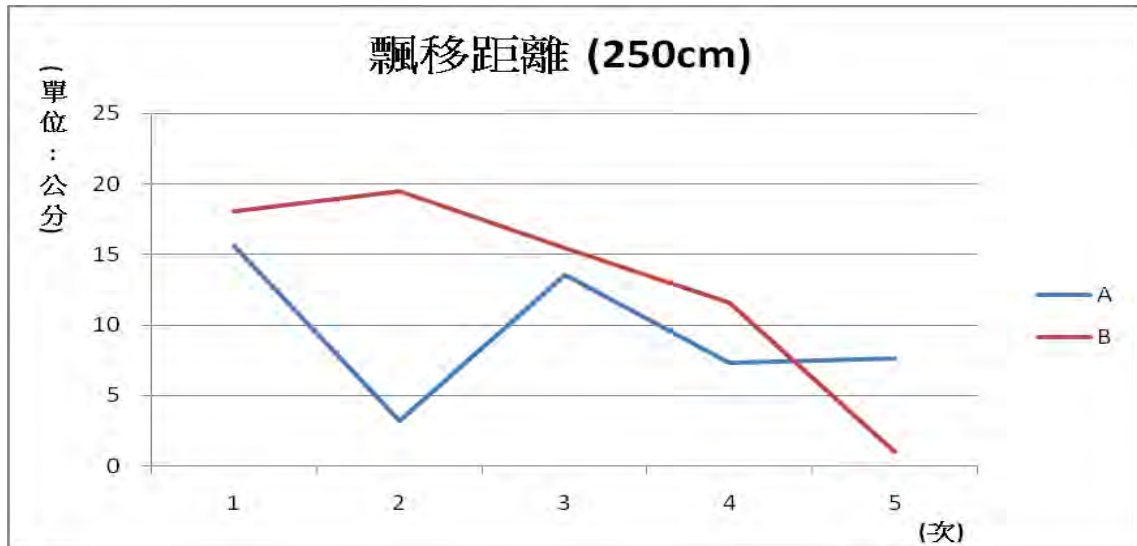
	A	B
長	1.7	1.965
寬	0.64	0.67
重	0.018	0.024
種	2.7	3.18
前	0.92	0.96
中	0.66	0.58
後	0.3	0.38

由圖三十五可知，槭樹種子由 250 公分丟下，A 種子分別飄移 16 公分、3 公分、14 公分、7 公分和 8 公分；B 種子分別飄移 18 公分、19 公分、15 公分、12 公分和 1 公分。

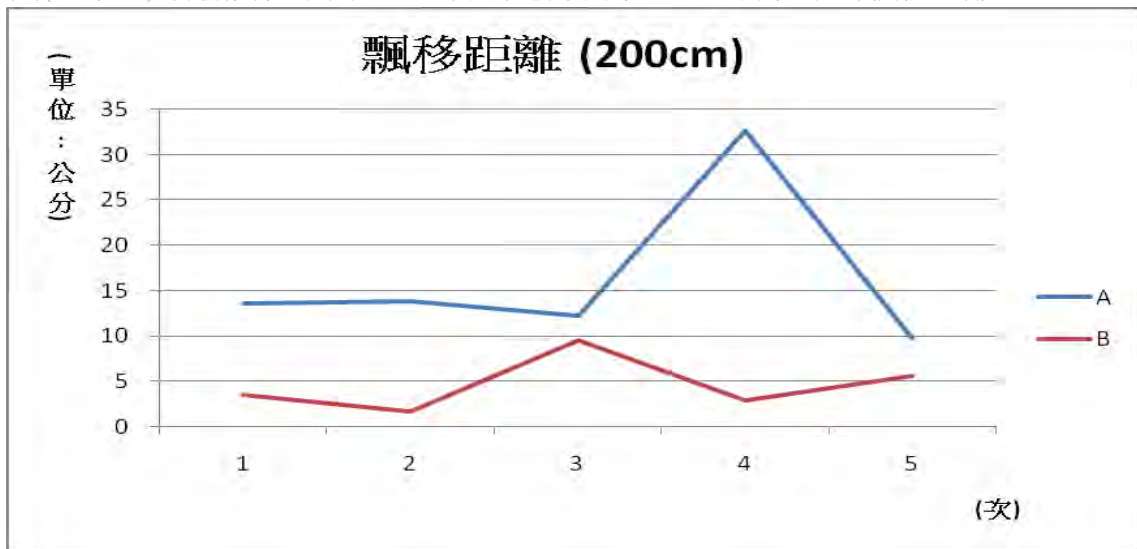
由圖三十六可知，槭樹種子由 200 公分丟下，A 種子分別飄移 14 公分、14 公分、12 公分、33 公分和 10 公分；B 種子分別飄移 4 公分、2 公分、10 公分、3 公分和 6 公分。

由圖三十七可知，槭樹種子由 150 公分丟下，A 種子分別飄移 7 公分、9 公分、13 公分、1 公分和 7 公分；B 種子分別飄移 9 公分、3 公分、5 公分、9 公分和 3 公分。

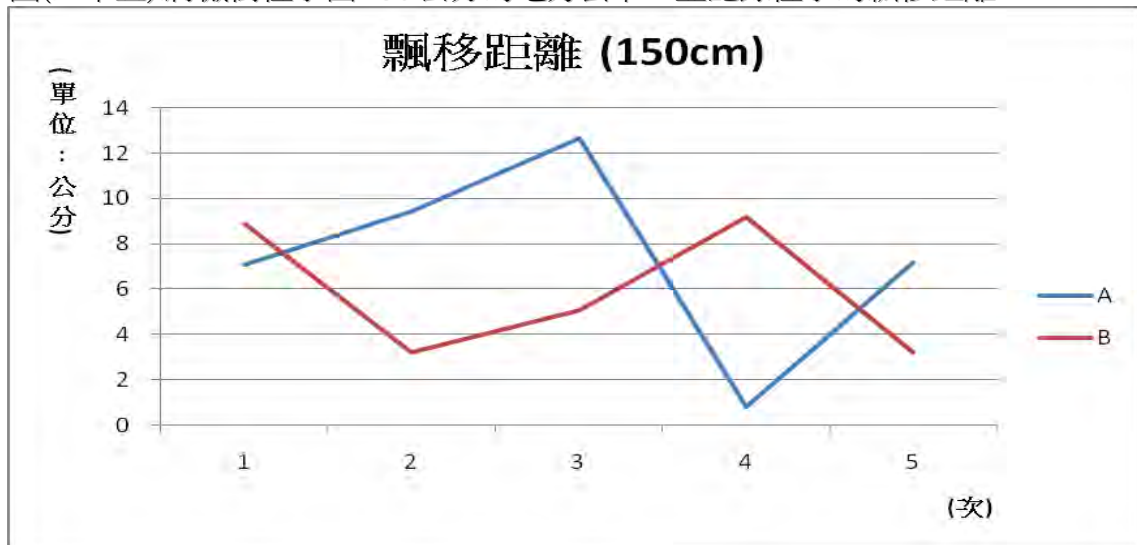
由圖三十八可知，槭樹種子由 100 公分丟下，A 種子分別飄移 9 公分、10 公分、4 公分、6 公分和 3 公分；B 種子分別飄移 2 公分、12 公分、8 公分、3 公分和 9 公分。



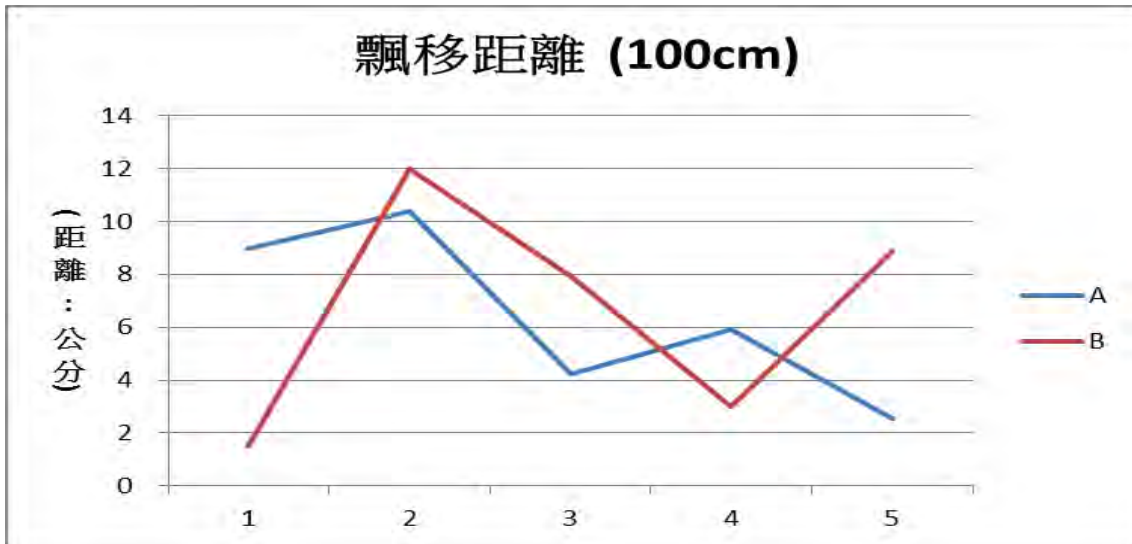
圖(三十五):將槭樹種子由 250 公分的地方丟下，並記錄種子的飄移距離



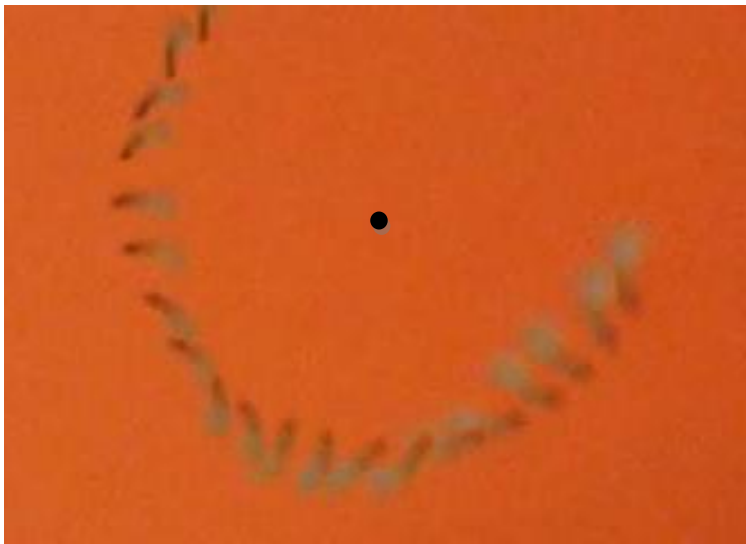
圖(三十五):將槭樹種子由 250 公分的地方丟下，並記錄種子的飄移距離



圖(三十七):將槭樹種子由 150 公分的地方丟下，並記錄種子的飄移距離



圖(三十八):將槭樹種子由 100 公分的地方丟下，並記錄種子的飄移距離



圖(三十九) 每張距離 50 毫秒的疊圖，其中 A 點為想像的旋心。

## 陸、討論

生物體外部形質常態分布在生物間是很常見的事，槭樹種子的長度及重量，由實驗結果都發現有此現象，這應該和種子長度及重量的配置具有關連性。由野外觀察，槭樹常聚集成林，顯然種子的散布並不遙遠。而且翅果呈現兩兩對生，掉落時要有離層素才能離開枝幹開始散布，且飄落時大多會從中間裂開，形成兩個獨立的螺旋標各自散布。所以槭樹種子是個研究種子飄落的好題材。

槭樹種子的形態構造經長期演化，而發展出幾項有助於散播的特徵：第一項是種子的周邊發育成翅狀物，增加表面積，就像飛機之機翼有助於飛行，機翼面積加大，對飛行時的升力可以增加，這和火焰木(陳等, 2010)及大葉桃花心木(蘇等, 2004)的種子有類似的構造。第二項是槭樹翅果的翅平滑且薄，可以降低空氣阻力，而且翅表面平滑可減少外來物的附著，以降低重力的影響，而且主要重

量是集中在種子上，翅的重量只占1/3，如此的重量配置，可以使槭樹種子的滯空時間增加，而能傳播得更遠。第三項是種子形態呈流線型，翅的形態像鳥的羽翼或飛機的機翼，當種子旋轉飄飛時，肋先劃開空氣，根據白努力定律(梁，2011)，當空氣沿著機翼流過時，機翼前端的空氣即分成上下兩部分，一股自上表面流過，另一股自下表面流過，最後同時到機翼末端會合，氣流為了要在同一時間內走完不同的長度，因此上表面的流動速度就要比較快，壓力自然就比下表面的低，自然也就把機翼向上抬升，飛機因而獲得升力，槭樹種子以旋轉的方式飛翔，會由垂直降落旋轉，慢慢調成橫躺式水平旋轉，垂直落下時，種子是豎著往下掉，由於翅肋的弧度，依據白努力原理，兩側壓力不相等，所以會從豎立垂直落下一段距離後，改為橫躺水平旋轉和翻滾，種子轉動能量及阻力作用越大，落下速度就會變慢，藉由旋轉消耗能量，延長落地時間。第四項是槭樹翅果在空氣中落下，空氣阻力對翅果產生影響，包括尾流引起的自轉，空氣阻力對落片作用所形成的螺旋軌跡進行探討，發現也有一個公轉的中心存在(圖三十九)。另外，在飄移距離的測量實驗中，如果加入了風扇，模擬戶外風吹，飄移距離的平均會比在無風狀態的平均多了六倍以上的距離。所以風能夠幫助槭樹種子飄移得更遠。

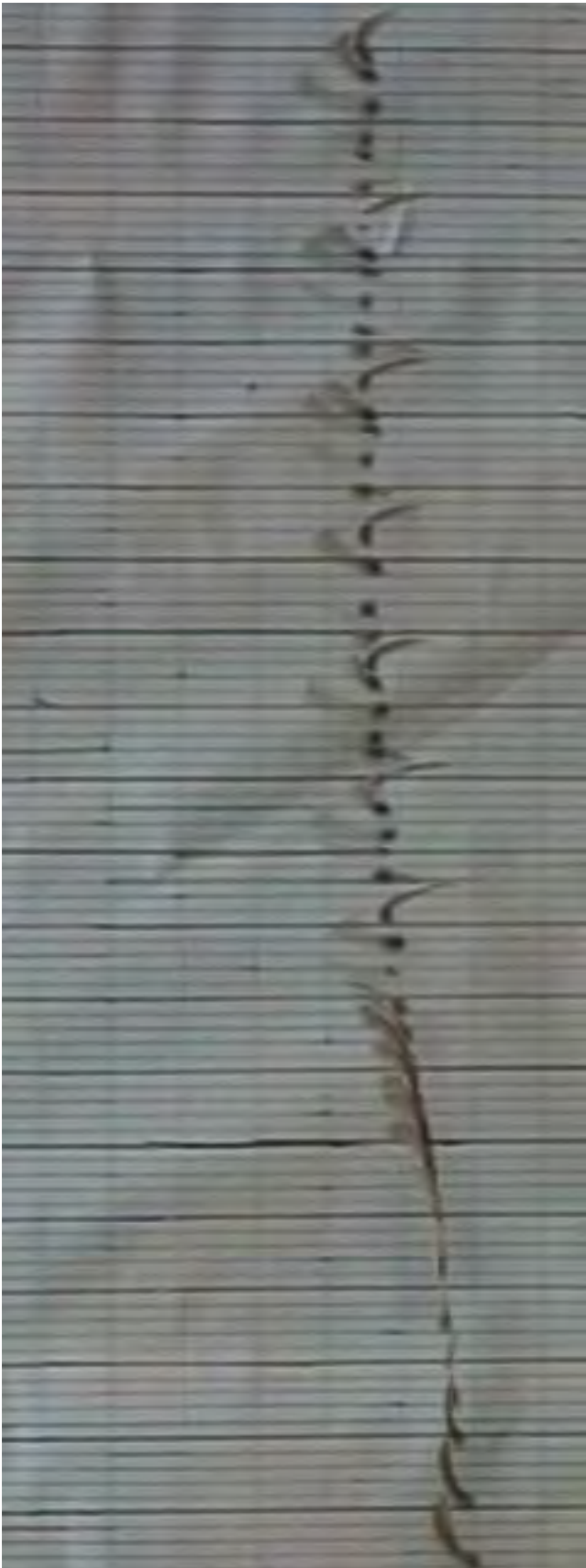
槭樹種子掉落旋轉，由啟動期變為旋轉期，再由旋轉期變為滯空期的時間都是很短的，只有滯空期時間較長，比較容易觀察，所以我們認為利用高速攝影機進行觀察是最理想的方法。高速攝影可以清清楚楚地看到平常肉眼看不到的瞬間動作和細微變化，但拍攝時會有不易對焦(距離過長，會有部分失焦模糊的問題)及拍攝範圍不易掌控的問題，所以我們在拍攝期間常只拍到部分的掉落情形，但由拍攝畫面都可看到類似的掉落情形，我們也將較清晰的一次拍攝到的照片，利用疊圖的方式將畫面連接起來(圖四十)，以幫助了解槭樹種子的掉落過程。

依種子的飛落時間及飄散距離來看，質量小的種子較質量的種子能散播得遠，尤其是在高度在100公分以上時較明顯，這可能是種子飄落時在空中停留的時間愈久，愈有機會遇到風或更強的風的助播，因而愈有利於種子散播至更遠處，有增加傳播機會的作用。而且種子飄落時要旋轉，需要達到一個角度才能開始啟動(圖二十九、圖三十和圖三十一)，特別是圖三十更為明顯，而開始轉動旋轉，還需一段距離才能平穩旋轉，見圖三十二、圖三十三、圖三十四，特別是由圖(三十三)更能看出飄落四期的變化。由野外觀察來看，槭樹種子飄落時若是沒有風，種子是會垂直落下，要有水平方向的風，才能將它吹遠。

槭樹種子形態很像迴力鏢，但掉落時是分開的，槭樹種子的翅果是藉自身的形態與氣流的作用而旋轉；槭樹種子的翅是在水平方向旋轉，產生的力量是升力，見圖三十二、圖三十三、圖三十四。一般的飛行物體如鳥或各式飛機，在失去升力或失去動力後即失事墜毀，若能模擬槭樹種子設計出一種雙穩定平衡的自旋體，且應用在飛機墜落時使用，或許對飛安有很有幫助。而且槭樹種子本體為最重，翅膀薄而平滑，槭樹種子的種子重與肋(包含翅膀)的比為8:1，而大葉桃



花心木則為3:1(蔡等，2008)。槭樹種子可以用最少的材料做出較佳的穩定降落旋轉，而且可以有更大的載重量，或許可以成為以後緩降的另外一種思考模式。



## 柒、結論

- 一、槭樹種子的外表型態有常態分佈的現象，翅果長為1.44或1.55 cm，寬為0.32 cm，厚度的大小依序排列為：種子>肋>翅膀；肋的厚度大小依序排列為：肋前>肋中>肋後。重量以0.026公克最為普遍。
- 二、種子飛行模式的時間具有一定的規律性；我們把飛行時間大約分成四大類，分別是：啟動期、旋轉期、滯空期和飄移期。
- 三、0~55毫秒是種子的啟動期，此時夾角尚未有較大的變化，也不具有規律性，所以使移動距離較大，共移動了3.83公分；55~135毫秒間，為種子的旋轉期，移動距離趨緩，但尚未穩定，共移動了3.05公分；135~170毫秒附近，是所謂的滯空期，移動距離趨於穩定，共移動了20.23公分；最後170~195毫秒，距離劇增，是為飄移期。
- 四、槭樹種子飛行時，除了種子本身的旋轉(自轉)外，種子亦繞著一圓狀飛行(公轉)。

## 捌、參考文獻

- 一、梁銀姬、邱敏瑤譯。2011。教科書裡的瘋狂實驗—漫畫物理。書泉出版社。
- 二、楊勝任。2002。台灣具翅種子。國立屏東科技大學森林系。
- 三、陳昱雯、林于真、董懿萱。2010。看你飛多久—火焰木種子滯空的奧秘 第50屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 四、蘇銘言、蘇桂榕、溫怡文與劉怡佳。2004。風中奇緣—桃花心木種子的傳播。科學教育月刊，272，10-21。
- 五、蔡亞婷、劉錦鴻、王貞懿與鍾明叡。2008。撐起“一片”天---大葉桃花心木種子飛行模式的研究 第48屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 六、作者不詳。會飛的種子(1/2)-植物生態解說知識團。2013年05月21日引自：yahoo! 奇摩知識+<http://tw.group.knowledge.yahoo.com/y1420u-01/article/view?aid=2>

## 【評語】 030305

本作品探討槭樹種子的飛行模式，並獲得初步的成果，包括種子角度對飛行模式的影響情形及飛行模式在時間過程中可分成啟動期、旋轉期、滯空期和飄移期等四階段規律過程，具有基礎研究的意義。然而因前人已有各種其他果實飛行模式的研究，建議綜合分析前人及本研究的結果，以綜合歸納種子飛行模式的主要決定因素。