

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 自然科

**最佳團隊合作獎**

081505

種子飛機－飛翔果實的構造分析與飛行模擬

學校名稱：桃園縣桃園市中山國民小學

|        |       |
|--------|-------|
| 作者：    | 指導老師： |
| 小六 林郁翰 | 林文鄉   |
| 小六 李柏萱 | 張秀鳳   |
| 小六 張祐誠 |       |
| 小六 梁靖怡 |       |
| 小六 戴彭珊 |       |
| 小六 葉怡君 |       |

關鍵詞： 翅果、翼載、展弦比

# 種子飛機—飛翔果實的構造分析與飛行模擬

## 壹、摘要

飛翔種子、果實的優勢是**低翼載**，有風就能隨風散播，其主要的飛行模式是**旋轉與滑翔**。旋轉模式是以增加滯空時間來延長受風吹襲的機會，滑翔模式的優點是散播距離長。研究發現造成旋轉的原因是**翼面重量分布不對稱**。滑翔類種子、果實的翼載小，展弦比不大，**重心不位於形狀中心**，而是比較靠近翼前緣，才能產生向前滑翔的力矩。

## 貳、研究動機

自然課介紹種子的傳播，許多果實或種子具有**翅**的構造，藉風力把種子散播到遠方，避免與母株競爭養分、水分、陽光。課程中我們利用摺紙的方式攜帶一顆綠豆種子，看誰的「種子飛機」能將種子散播最遠、滯空時間最久。這引起我們對具翅種子、果實的興趣，並想研究種子、果實為什麼能飛？它的構造具有什麼飛行優勢？以及它飛行模式的探討，並希望能模擬飛翔種子、果實的飛行。

## 參、研究目的

- 一、飛翔種子、果實的構造分析與飛行優勢探討
- 二、飛翔種子、果實的飛行模式研究
- 三、飛翔種子、果實的飛行模擬研究

## 肆、研究設備及器材

電子天平（解析度 0.01 克）、影印機、鋁箔、珍珠板、墊片、風扇、風速計、碼表、捲尺、線香、貼紙、種子一批如下：



圖 1：大葉桃花心木種子



圖 2：台灣白臘樹翅果



圖 3：青楓翅果



圖 4：印度紫檀莢果



圖 5：印度黃檀莢果



圖 6：黃鍾花種子



圖 7：火焰木種子



圖 8：大花紫薇種子



圖 9：盾柱木莢果



圖 10：羊蹄甲種子



圖 11：黃花風鈴木種子



圖 12：黃杞堅果



圖 13：蒜香藤種子



圖 14：小葉南洋杉種子

## 伍、研究過程或方法

### 一、種子、果實飛行模式定義：

- (一)、沿縱軸前進的飛行模式稱為滑翔
- (二)、繞垂直軸轉的飛行模式稱為旋轉
- (三)、繞縱軸轉的飛行模式稱為翻轉
- (四)、繞側軸轉的飛行模式稱為滾轉
- (五)、沿垂直軸搖擺下落的飛行模式稱為搖擺

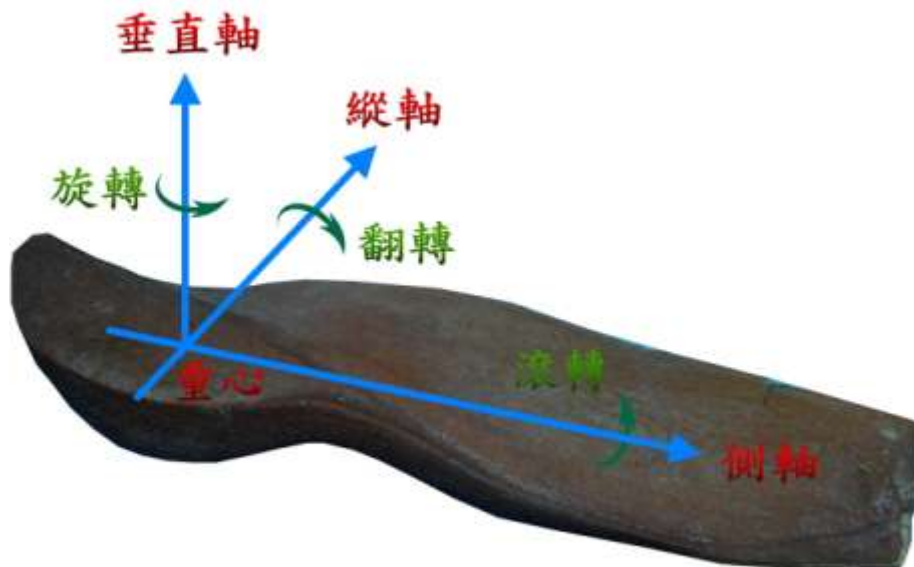


圖 15：飛行模式定義

### 二、種子、果實的投影面積測量：

- (一) 種子、果實排列在影印機上影印(圖 16)。
- (二) 剪下影印形狀，用電子天平測量紙的重量(圖 17、18、19)。
- (三) 測量一張 A4 影印紙(加碳粉)重量為 4.4g, 面積 621.6cm<sup>2</sup>, 每公克所佔面積是 141.2727273 (cm<sup>2</sup>/g)。
- (四) 將影印紙重量乘 141.2727273 (cm<sup>2</sup>/g), 就可得投影面積。



圖 16：將黃杞堅果放在影印機上影印



圖 17：影印下來的黃杞堅果投影面積



圖 18：將黃杞堅果投影面剪下來



圖 19：放在電子天平上測量重量

### 三、翼載的定義：

翼載是種子、果實的重量 ( $W$ ) 與投影面積 ( $S$ ) 之比 ( $W/S$ )，影響種子下落的力量有兩，一是種子重量，另外是空氣抬升種子的升力，升力大小又與種子接觸空氣的面積有關。翼載的意義是單位面積的重量。

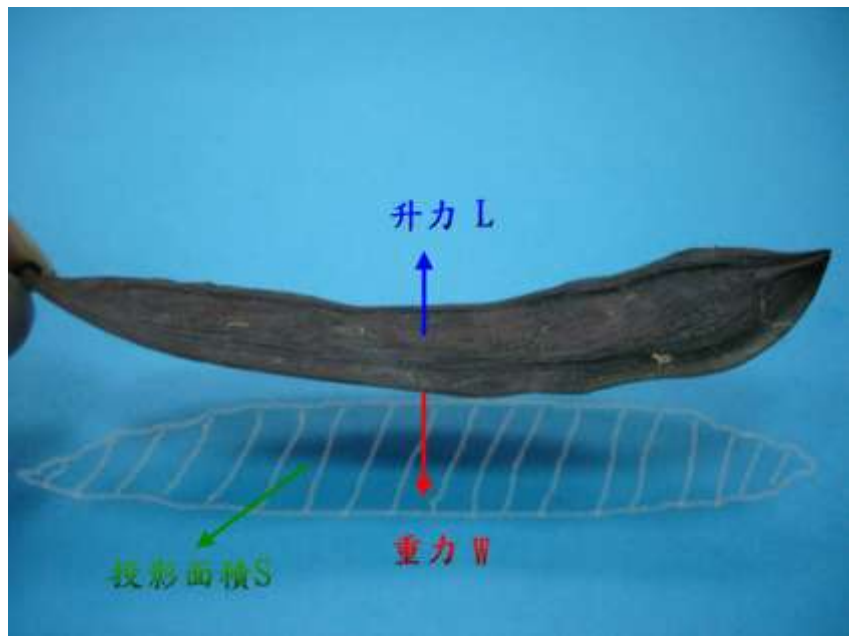


圖 20

#### 四、展弦比的定義：

種子當作長方形，種子的翼展（b）就是長，翼弦（c）就是寬，展弦比是翼展與翼弦之比（b/c）。種子都是不規則形，所以用以下的公式求平均展弦比。

$$\frac{b}{c} = \frac{b \times b}{c \times b} = \frac{b^2}{s}$$

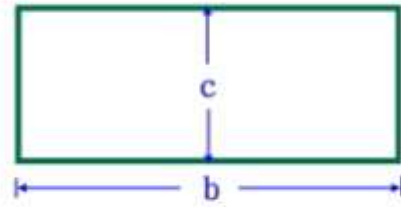


圖 21

#### 五、翼前緣、翼後緣、翼根、翼尖的定義：

旋轉飛行模式的種子、果實其翼面的厚薄不同，厚邊稱其為翼前緣，因旋轉時總是由厚邊開始轉，另一邊為翼後緣；靠近重心的這一端稱為翼根，遠離重心的為翼尖。



#### 六、種子、果實的重心測量：

重心測量以種子能立在尺上為準，測量重心距離翼根的位置，並與翼展長度比較。

圖 22



圖 23

### 七、材料的選擇：

紙的彈性大，摺時不易成形，鋁箔具可塑性，且比一般影印紙輕，所以旋轉實驗大部分以鋁箔為材料，少部分以用影印紙作比較；滑翔實驗以不易變形的珍珠板為材料。

### 八、研究順序：

#### (一)、飛翔種子、果實的實體測量

#### 研究 1：種子、果實飛行模式的觀察

方法：

1. 種子分別從 3 公尺高空自由下落。
2. 觀察其飛行模式。

#### 研究 2：測量種子、果實的翼載、展弦比、重心

方法：

1. 參考研究過程或方法二~六。
2. 選出 10 種適合測量的種類，測量每一種 10 顆種子或果實的平均翼載、平均展弦比、平均重心。

#### 研究 3：測量種子、果實的滯空時間與散播距離

方法：

1. 每種 10 顆，每一顆一次，從 3 公尺高空讓種子、果實自由下落。
2. 測量滯空時間與落地後離定點的散播距離，取 10 次平均。



圖 24：放在定點上丟下來



圖 25：測量離定點的散播距離

#### (二)、旋轉飛行模式模擬

#### 研究 4：重量、翼展固定，改變翼弦

方法：

1. 用鋁箔 1/2 的重量集中在翼根部，做出圖 39 左邊的模型。
2. 重量、翼展固定，將鋁箔對摺，讓翼弦漸漸變小，共摺 4 次，最後如圖 39 右邊的模型。
3. 每對摺 1 次，測量 5 次從 3 公尺高度自由下落的滯空時間平均值。

#### 研究 5：重量、翼弦固定，改變翼根重量

方法：

1. 用鋁箔做出圖 41 左邊模型。
2. 重量、翼弦固定，翼展原長 11 公分，每次摺 1 公分，翼根長度皆保持在 1 公分，使翼根重量漸增，共摺 10 次，漸漸縮短翼展長度，最後翼展剩 1 公分。
3. 每摺 1 次，測量 5 次從 3 公尺高度自由下落的滯空時間平均值。

#### 研究 6：重量、翼展固定，改變相鄰兩邊的重量分配

方法：

1. 用鋁箔 1/2 的重量集中在根部，做出圖 43 左邊的模型
2. 重量、翼展固定，摺翼前緣，漸漸增加翼前緣的重量，每摺一次增加 1/6 的重量，共 6 次改變。
3. 每摺 1 次，測量 5 次從 3 公尺高度自由下落的滯空時間平均值。

#### 研究 7：重量、面積、翼載固定，不同翼形的比較

方法：

1. 重量集中在翼根及翼前緣。
2. 控制 3 個試片的重量與面積一樣，第一試片翼根弦較窄，第二試片翼根到翼尖的弦長都不變，第三試片翼根弦較寬（圖 45）。
3. 每個試片測 5 次，從 3 公尺高空自由下落，比較三個試片的平均滯空時間。
4. 測試試片在有風（風速約 3m/sec）的情形下，每個試片 5 次，從 3 公尺高空自由下落，比較試片通過測試區後受風吹襲的平均散播距離（圖 26、27）。



圖 26：受風吹襲實驗裝置側面



圖 27：受風吹襲實驗裝置正面

#### 研究 8：相同翼形、翼載固定，面積不同的比較

方法：

1. 3 張鋁箔由小而大，面積呈 4 倍成長，重量也是 4 倍（圖 28），摺出相類似的旋轉模型，並控制摺後的面積也 4 倍成長，使 3 試片的翼載相同（圖 48）。
2. 每個試片測 5 次，從 3 公尺高空自由下落，比較三個試片的平均滯空時間與散播距離。





研究 9：重量、面積、翼載固定，表面有無突起的比較

方法：

1. 4 試片翼載固定，第 1 試片翼後緣翼尖有小翼突起，第 2、3 試片小翼摺貼在翼面，第 4 試片小翼下垂（圖 51）。
2. 觀察 4 個試片的飛行狀態。

研究 10：翼載固定，展弦比改變，對稱旋轉模式的探討

方法：

1. 三試片剪成十字架形，保持翼載一樣，但葉片的展弦比不同（圖 52）。
2. 每個試片測 5 次，從 3 公尺高空自由下落，比較平均滯空時間。

研究 11：探討種子、果實旋轉時，哪一面朝上？

方法：

1. 將研究 10 的試片葉片略為摺向上。
2. 分別凹面朝下及凹面朝上讓試片落下，觀察旋轉情形（圖 54、55）。

（三）、滑翔飛行模式模擬

研究 12：翼載一樣，長寬不等的珍珠板飛行模式探討

方法：

1. 裁成 6x6、4x9、3x12、2x18cm<sup>2</sup> 的面積一樣、長寬不等的 4 個珍珠板（圖 59）。
2. 從高處讓其自由下落，觀察其飛行模式。

研究 13：探討飛行時翼面搖擺的改善方法

方法：

1. 觀察煙經過翼面的流動情形。
2. 珍珠板裁剪呈各種不同的形狀（圖 29），觀察自由下落的情形。



圖 29

研究 14：滑翔翼配重位置的影響探討

方法：

1. 珍珠板裁成圓形（面積 173.20cm<sup>2</sup>），並切成對稱的兩半，膠合成上反角 15 度（圖 31）。
2. 由對稱軸前緣開始黏墊片配重（重量 1.6g），從 3 公尺高處讓模型自由下落（手不施力），測量無風時散播距離與滯空時間 5 次的平均值。
3. 依次將配重往形心靠近 1 公分。重複方法 2。



圖 30：圓形珍珠板加墊片配重



圖 32：從 3 公尺處讓模型自由下落

圖 31：為穩定滑翔所有模型皆膠合成上反角 15°



圖 33：兩小車以砝碼同時向左右拉動，模型一失去支撐力後即自由下滑

### 研究 15：同面積、不同滑翔翼形狀的影響探討

方法：

- 1.面積固定 ( $173.20\text{cm}^2$ )，珍珠板裁成正三角形、倒正三角、圓形、正方形、長方形 1 ( $21.65 \times 8\text{cm}^2$ )、長方形 2 ( $8 \times 21.65\text{cm}^2$ )、半圓形，皆切成兩半，膠合成上反角 15 度 (圖 66~72)。
- 2.在正三角形對稱軸的最前緣黏貼墊片 (0.3g)，從 3 公尺高處讓模型自由下落 (不施力)，測量散播距離與滯空時間 5 次平均值。
- 3.以正三角形所達到最平穩滑翔狀態的相同配重 (0.3g)，黏貼在其它形狀的最前緣，重複方法 2。

### 研究 16：同面積、不同展弦比的三角翼比較

方法：

- 1.面積固定 ( $173.20\text{cm}^2$ )，珍珠板裁成不同底高比的三角形，三角形 1 (底 40cm、高 8.66 cm)、三角形 2 (底 30cm、高 11.53 cm)、三角形 3 (底 20cm、高 17.32 cm)、三角形 4 (底 10cm、高 34.64 cm)，皆膠合成上反角 15 度 (圖 75~78)。
- 2.各三角形在其對稱軸的適當位置黏貼相同重量墊片 (0.8g)，從 3 公尺高處讓模型自由下落 (不施力)，再反覆調整配重的位置，直到達到最遠的滑翔距離，再測量散播距離與滯空時間 5 次平均值。

### 研究 17：以珍珠板模擬婆羅洲蔓藤種子

方法：

- 1.用厚珍珠板裁成半圓形，直徑分別為 13、16、20cm。
- 2.用砂紙在珍珠板上磨出曲度，最厚處約位於 1/4~1/3 翼弦。
- 3.將翼尖略為往上摺。
- 4.以貼紙黏貼在翼前緣配重，讓模型可以滑翔最遠距離。

## 陸、研究結果

### 一、研究 1：種子、果實飛行模式的觀察

(一) 結果：

表 1：飛行模式分類

| 飛行模式   | 種子、果實種類                           |
|--------|-----------------------------------|
| 旋轉     | 青楓翅果、台灣白臘樹翅果、大葉桃花心木種子、大花紫薇種子、黃杞堅果 |
| 滑翔     | 火焰木種子、印度紫檀莢果                      |
| 多種飛行模式 | 黃花風鈴木種子、黃鍾花種子、蒜香藤種子、印度黃檀莢果、盾柱木莢果  |
| 垂直下墜   | 羊蹄甲種子、小葉南洋杉種子                     |

(二) 發現：

1. 旋轉類種子、果實的飛行模式固定，除台灣白臘樹翅果偶爾旋轉失敗外，大部分種子、果實最終都能進入旋轉模式。這類種子較細長，除台灣白臘樹翅果翼面兩端對稱外，大部分皆為不對稱，重量分布集中在翼根及翼前緣。
2. 火焰木種子具有較大的翅，且重量輕，能在空中滑翔很久。火焰木種子、印度紫檀莢果種仁都不位於中心。
3. 多種飛行模式的種子、果實飛行模式不固定，可能有旋轉、滾轉、搖擺、滑翔。
4. 羊蹄甲種子、小葉南洋杉種子，無飛行模式可言。

二、研究 2：測量種子、果實的翼載、展弦比、重心

(一) 結果：

表 2：種子、果實實體測量

| 種子、果實名稱  | 平均投影面積 (cm <sup>2</sup> ) | 平均重量 (g) | 平均翼載 (g/cm <sup>2</sup> ) | 平均翼展 (cm) | 平均展弦比 | 平均重心位置 (cm) | 重心位置與翼展之比 |
|----------|---------------------------|----------|---------------------------|-----------|-------|-------------|-----------|
| 羊蹄甲種子    | 1.271                     | 0.222    | 0.1746                    | 1.145     | 1.031 | 0.605       | 0.528     |
| 蒜香藤種子    | 3.108                     | 0.030    | 0.0097                    | 3.510     | 3.964 | 1.740       | 0.496     |
| 火焰木種子    | 4.623                     | 0.006    | 0.0014                    | 3.245     | 2.278 | 1.623       | 0.500     |
| 黃花風鈴木種子  | 3.673                     | 0.019    | 0.0050                    | 2.740     | 2.044 | 1.370       | 0.500     |
| 台灣白臘樹翅果  | 0.565                     | 0.014    | 0.0248                    | 2.311     | 9.452 | 0.800       | 0.346     |
| 青楓翅果     | 0.848                     | 0.024    | 0.0283                    | 2.220     | 5.814 | 0.365       | 0.164     |
| 黃杞堅果     | 2.920                     | 0.029    | 0.0099                    | 2.995     | 3.073 | 0.323       | 0.108     |
| 大葉桃花心木種子 | 14.657                    | 0.491    | 0.0335                    | 8.345     | 4.751 | 1.640       | 0.197     |
| 印度紫檀莢果   | 19.128                    | 0.596    | 0.0312                    | 4.950     | 1.281 | 1.830       | 0.370     |
| 盾柱木莢果    | 12.495                    | 0.757    | 0.0606                    | 7.389     | 4.369 | 3.878       | 0.525     |

(二) 發現：

1. 翼載大就無法飛行，如羊蹄甲種子，翼載小則較有漂浮在空中的優勢。
2. 由翼載的分布（圖 34），可看出相同飛行模式的種子、果實其翼載也相近。

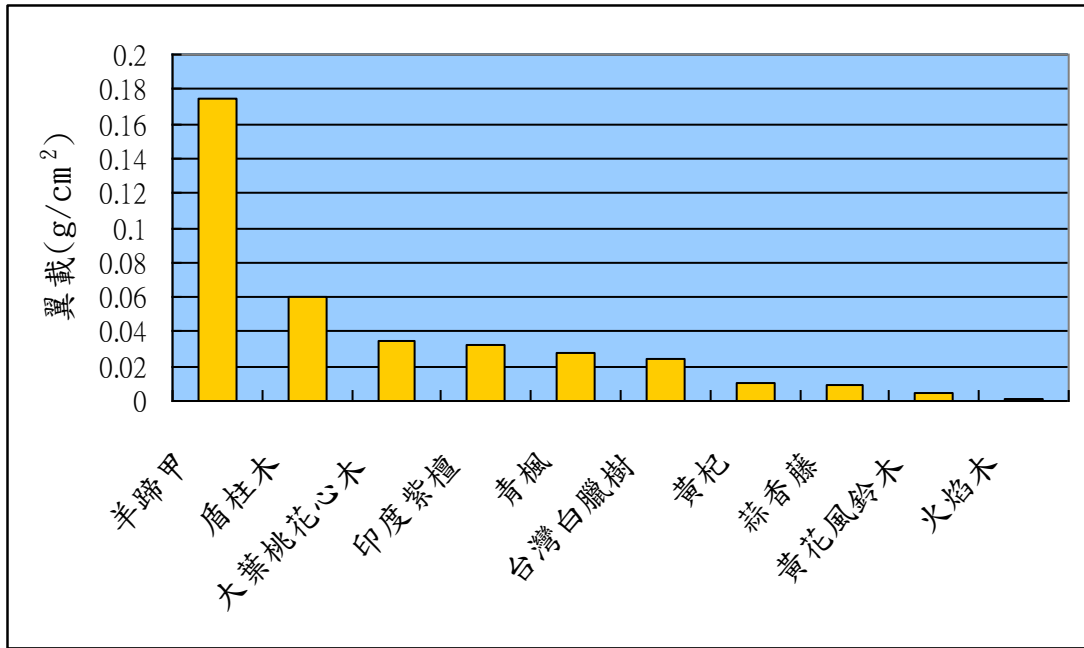


圖 34

3. 旋轉飛行模式的種子、果實其展弦比較大，形狀較細長，如台灣白臘樹翅果（圖 35）。

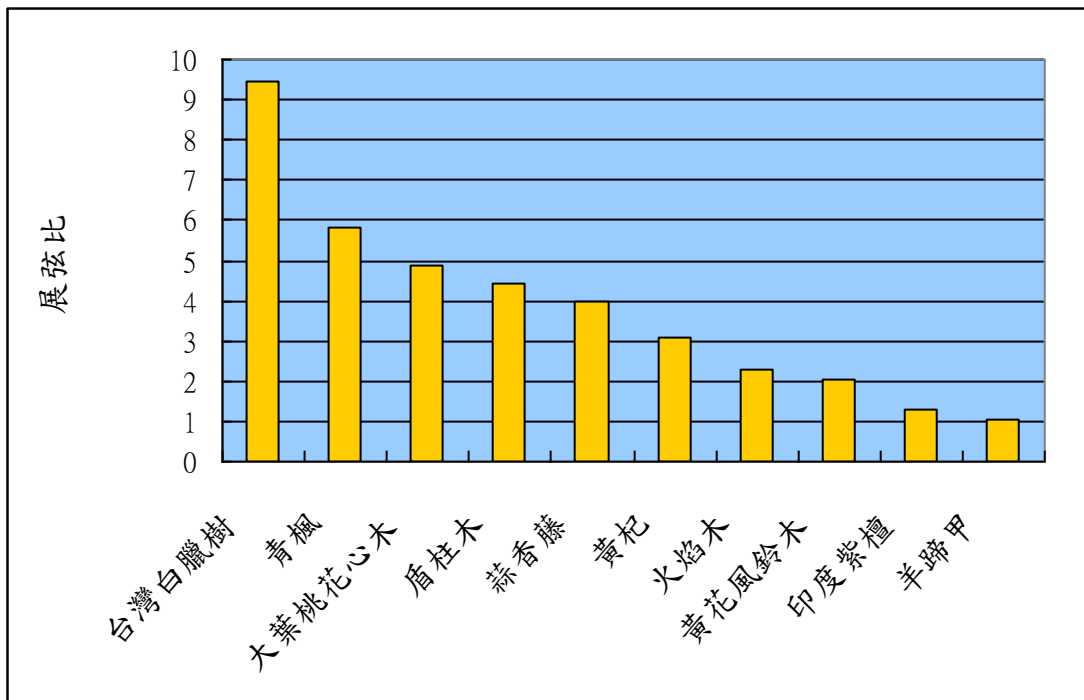


圖 35

4. 旋轉飛行模式的種子、果實其重心較靠近翼根部，其餘的較接近翼展中心（圖 36）。

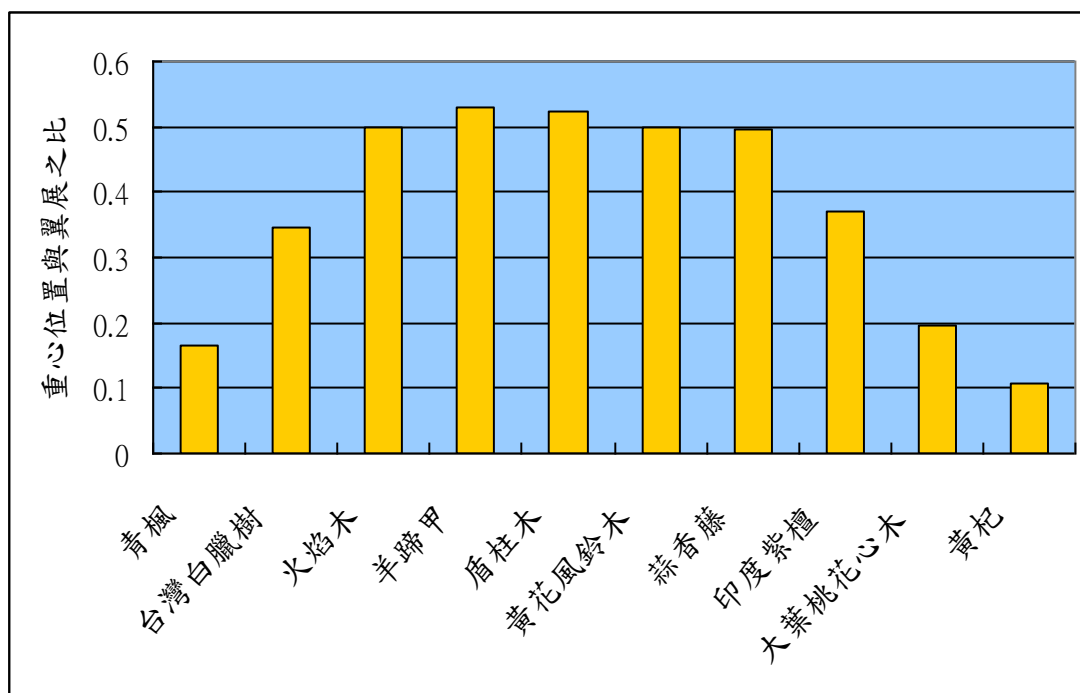


圖 36

### 三、研究 3：測量種子、果實的滯空時間與散播距離

(一) 結果：

表 3：種子、果實的滯空時間與散播距離測量

| 種子、果實名稱 | 平均滯空時間(sec) | 下降速率(cm/sec) | 平均散播距離(cm) |
|---------|-------------|--------------|------------|
| 羊蹄甲     | 0.845       | 355.030      | 6.050      |
| 蒜香藤     | 4.094       | 73.278       | 41.640     |
| 火焰木     | 9.570       | 31.348       | 70.200     |
| 黃花風鈴木   | 3.110       | 96.463       | 18.180     |
| 台灣白臘樹   | 1.913       | 156.794      | 7.067      |
| 青楓      | 3.158       | 94.997       | 10.260     |
| 黃杞      | 4.282       | 70.061       | 7.260      |
| 大葉桃花心木  | 2.350       | 127.660      | 13.400     |
| 印度紫檀    | 1.539       | 194.932      | 77.960     |
| 盾柱木     | 1.222       | 245.455      | 25.622     |

(二) 發現：

1. 低翼載及旋轉飛行模式可增加滯空時間，降低下降速率，如火焰木種子及黃杞堅果（圖 37）。

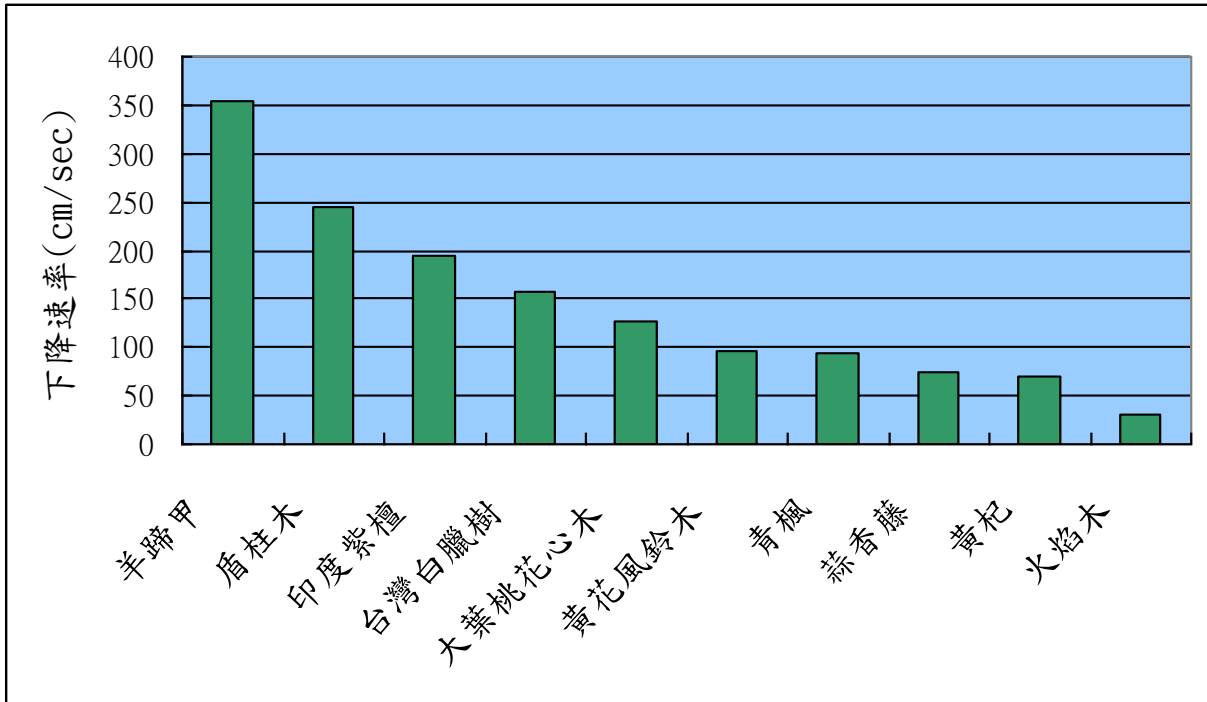


圖 37

2. 無風下，旋轉飛行模式的散播距離不長，如大葉桃花心木種子；滑翔模式的散播距離較長，例如印度度紫檀莢果（圖 38）。

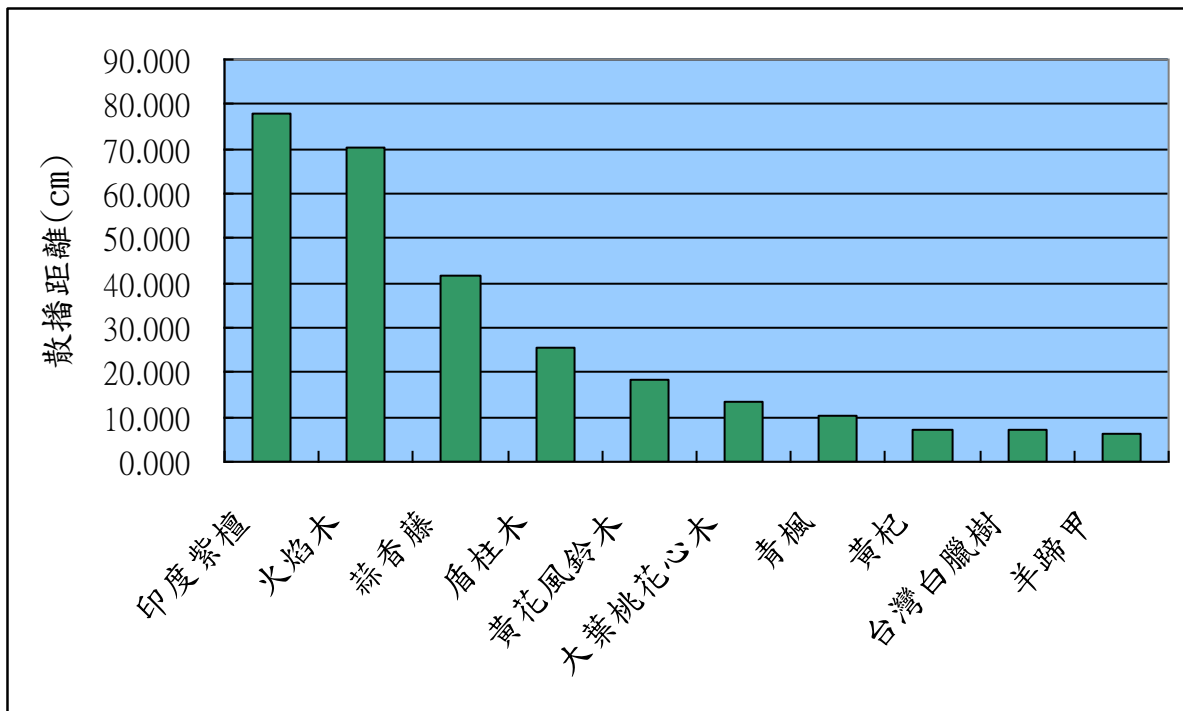


圖 38

#### 四、研究 4：重量、翼展固定，改變翼弦

(一) 結果：

表 4：重量、翼展固定，改變翼弦的模型滯空時間

| 對摺的次數<br>滯空時間 (sec) | 對摺的次數 |       |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|
|                     | 0     | 1     | 2     | 3     |
| 第幾次                 |       |       |       |       |
| 第一次                 | 2.09  | 1.59  | 1.63  | 1.25  |
| 第二次                 | 2.25  | 1.79  | 1.72  | 1.03  |
| 第三次                 | 2.06  | 1.37  | 1.6   | 1.22  |
| 第四次                 | 2.81  | 1.34  | 1.75  | 1.34  |
| 第五次                 | 2.84  | 1.38  | 1.34  | 1.22  |
| 平均                  | 2.41  | 1.494 | 1.608 | 1.212 |

(二) 發現：

- 1.面積較大滯空時間較長，面積較小滯空時間較短。
- 2.對摺 2 次的滯空時間比對摺 1 次長，雖然對摺 1 次的面積較大，但對摺 2 次的旋轉效果彌補了這項損失，發現旋轉效果要好則展弦比要大，也就是翼面要細長，但如翼載太大也會影響旋轉效果，例如對摺 3 次的情形。



圖 39

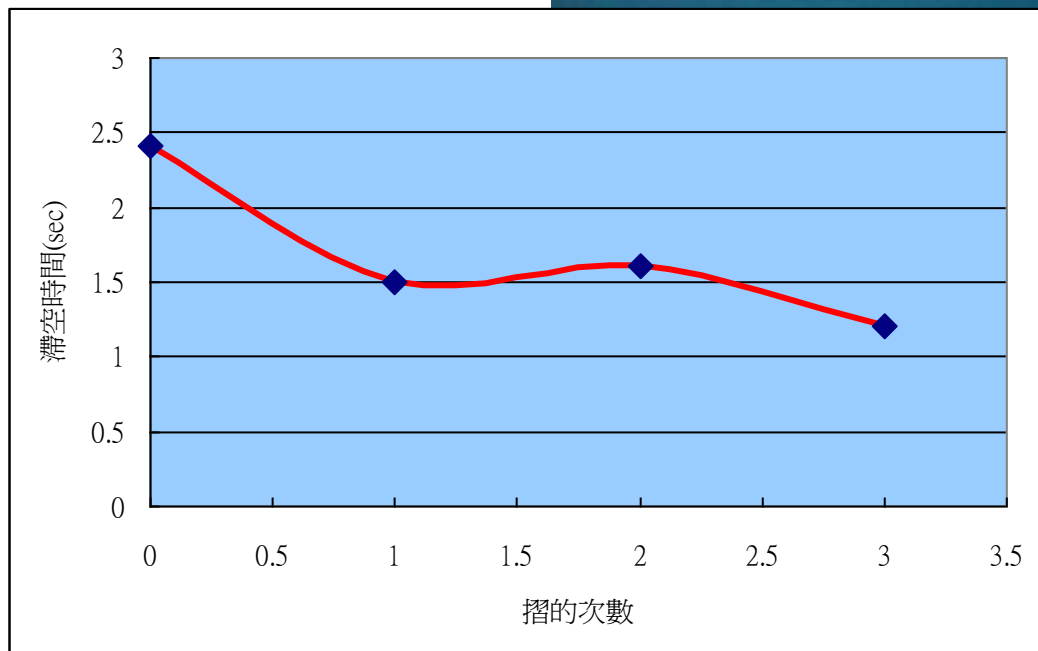


圖 40

五、研究 5：重量、翼弦固定，改變翼根重量

(一) 結果：

表 5：重量、翼弦固定，改變翼根重量的模型滯空時間

| 摺的次數<br>(翼根重/翼面重) | 摺的次數   |       |       |       |       |       |       |       |       |        |       |
|-------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
|                   | 0      | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9      | 10    |
| 滯空時間(sec)         | (1/10) | (2/9) | (3/8) | (4/7) | (5/6) | (6/5) | (7/4) | (8/3) | (9/2) | (10/1) |       |
| 第幾次               |        |       |       |       |       |       |       |       |       |        |       |
| 第一次               | 2.62   | 1.5   | 1.44  | 1.44  | 1.32  | 1.28  | 1.19  | 1.74  | 0.97  | 0.91   | 0.82  |
| 第二次               | 2.22   | 1.66  | 1.84  | 1.69  | 1.19  | 1.13  | 1.18  | 1.22  | 1.13  | 1.04   | 0.78  |
| 第三次               | 1.81   | 1.41  | 1.37  | 1.93  | 1.97  | 1.65  | 1.21  | 1.06  | 1.34  | 1.16   | 0.91  |
| 第四次               | 1.97   | 1.85  | 1.56  | 1.84  | 1.75  | 1.72  | 1.12  | 1.03  | 1.03  | 0.94   | 0.94  |
| 第五次               | 2.22   | 1.85  | 1.87  | 1.82  | 1.34  | 1.75  | 1.12  | 1.04  | 1.28  | 1.03   | 0.87  |
| 平均                | 2.168  | 1.654 | 1.616 | 1.744 | 1.514 | 1.506 | 1.164 | 1.218 | 1.15  | 1.016  | 0.864 |

(二) 發現：

1. 摺 1-2 次的旋轉效果不佳，相對使得滯空時間急速下降。
2. 摺 3-5 次，也就是翼根重量約佔總重量的一半時旋轉效果較好，也彌補了面積的損失。

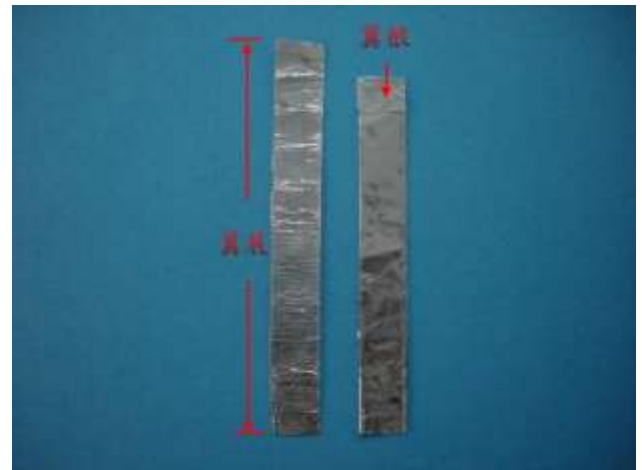


圖 41

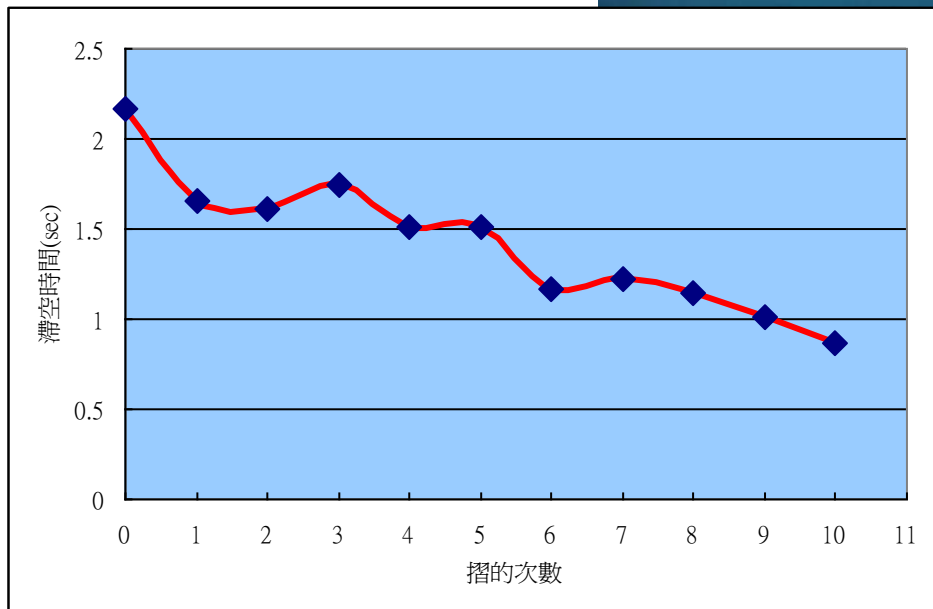


圖 42



## 六、研究 6：重量、翼展固定，改變相鄰兩邊的重量分配

(一) 結果：

表 6：重量、翼展固定，改變相鄰兩邊的重量分配的模型滯空時間

| 摺的次數<br>(翼前緣重量/翼根重量) | 摺的次數    |         |         |         |         |       |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
|                      | 0 (1/6) | 1 (2/6) | 2 (3/6) | 3 (4/6) | 4 (5/6) | 5     |
| 滯空時間 (sec)           |         |         |         |         |         |       |
| 第幾次                  |         |         |         |         |         |       |
| 第一次                  | 1.9     | 2.03    | 1.84    | 1.56    | 1.19    | 1.12  |
| 第二次                  | 1.75    | 1.88    | 2.25    | 1.3     | 1       | 0.97  |
| 第三次                  | 2.35    | 1.82    | 2.6     | 1.81    | 1       | 1.16  |
| 第四次                  | 1.63    | 1.5     | 2.59    | 1.63    | 1.22    | 1.03  |
| 第五次                  | 1.87    | 2.22    | 2.28    | 1.85    | 1.31    | 1.16  |
| 平均                   | 1.9     | 1.89    | 2.312   | 1.63    | 1.144   | 1.088 |

(二) 發現：

1. 皆在翼根及翼前緣分配較多重量的旋轉效果比只在翼根分配較多重量的旋轉效果好。
2. 摺 2 次，也就是翼根與翼前緣的重量比 2：1 時旋轉的效果最好，滯空時間最久。



圖 43

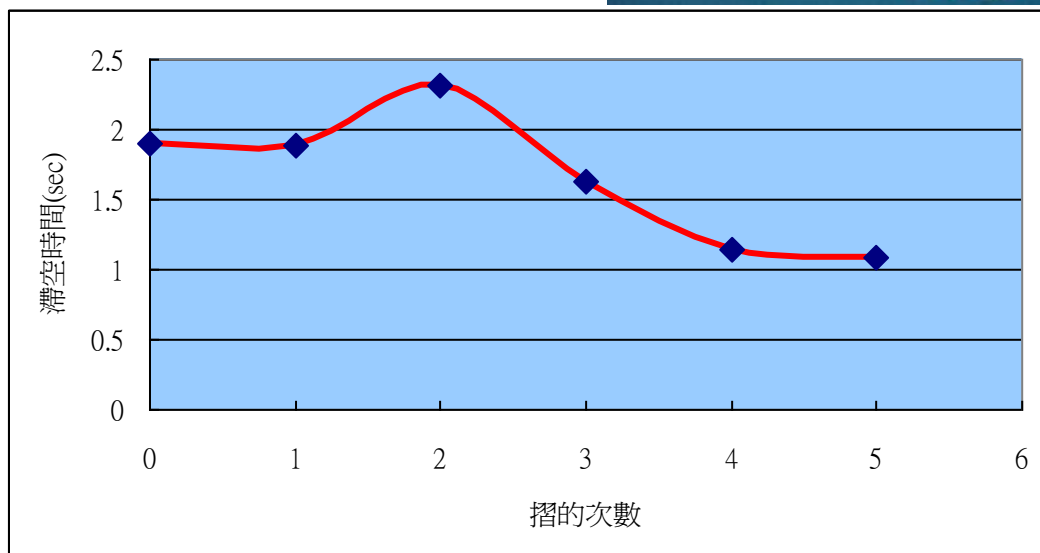


圖 44

七、研究 7：重量、面積、翼載固定，不同翼形的比較

(一) 結果

表 7：無風狀態下的滯空時間

| 試片  | 滯空時間 (sec) |       |       |
|-----|------------|-------|-------|
|     | 1          | 2     | 3     |
| 第幾次 |            |       |       |
| 第一次 | 2.18       | 1.94  | 2.1   |
| 第二次 | 2.47       | 2.38  | 1.91  |
| 第三次 | 2.81       | 2.06  | 1.85  |
| 第四次 | 2.54       | 1.78  | 1.94  |
| 第五次 | 2.56       | 2.03  | 2.03  |
| 平均  | 2.512      | 2.038 | 1.966 |

表 8：受風影響下的散播距離

| 試片  | 散播距離 (cm) |       |       |
|-----|-----------|-------|-------|
|     | 1         | 2     | 3     |
| 第幾次 |           |       |       |
| 第一次 | 180       | 50    | 111.5 |
| 第二次 | 193       | 86    | 85.7  |
| 第三次 | 154       | 105   | 41.3  |
| 第四次 | 125       | 122   | 43.5  |
| 第五次 | 196       | 34.7  | 74.9  |
| 平均  | 169.6     | 79.54 | 71.38 |

(二) 發現：

1. 翼根弦較窄旋轉速度較快、滯空時間較長；翼根弦較寬旋轉速度較慢、滯空時間較短。
2. 滯空時間較長，受風吹襲下的散播距離也較長。

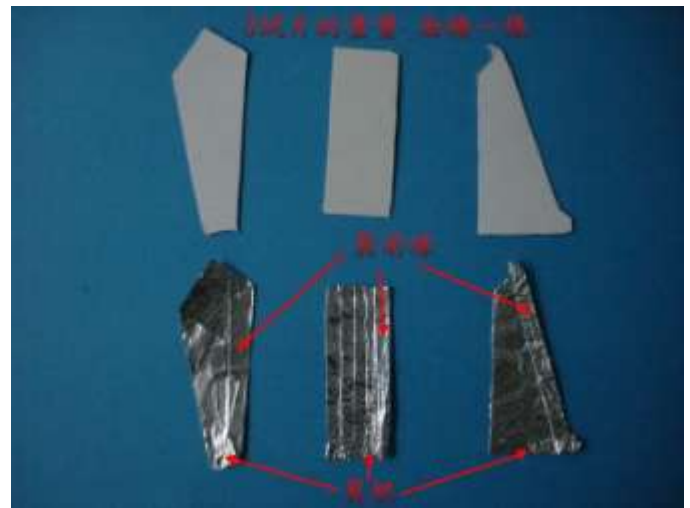


圖 45

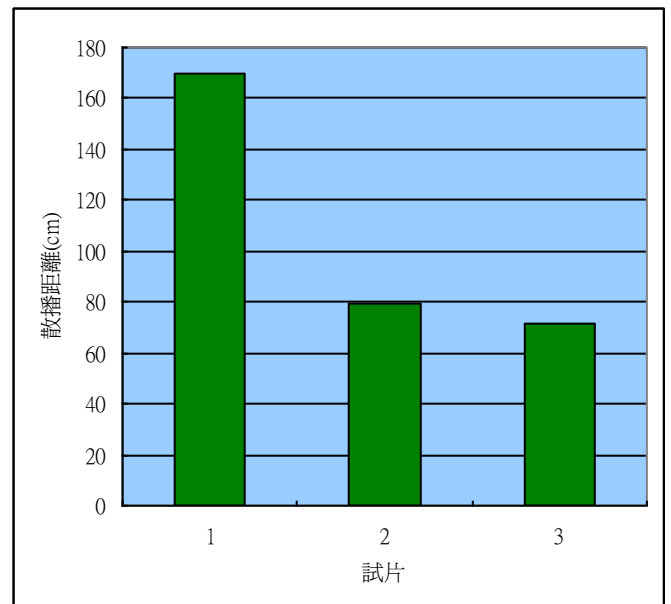
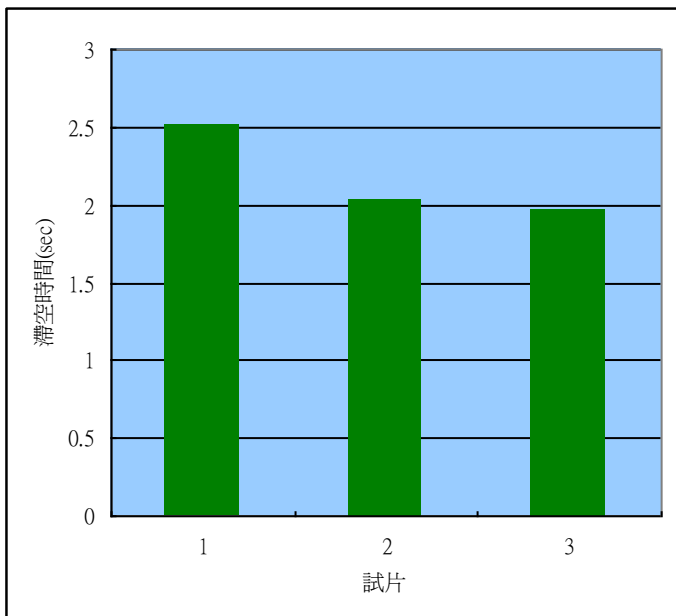


圖 46：無風狀態下的滯空時間

圖 47：受風影響下的散播距離

八、研究 8：相同翼形、翼載固定，面積不同的比較

(一) 結果：

表 9：相同翼形、翼載固定，面積不同的滯空時間比較

| 試片  | 滯空時間 (sec) |      |       |
|-----|------------|------|-------|
|     | 小          | 中    | 大     |
| 第幾次 |            |      |       |
| 第一次 | 2.37       | 2.06 | 1.12  |
| 第二次 | 2.47       | 2.63 | 2.5   |
| 第三次 | 2.62       | 2.28 | 1.28  |
| 第四次 | 2.09       | 2.22 | 1.53  |
| 第五次 | 2.53       | 2.56 | 2.09  |
| 平均  | 2.416      | 2.35 | 1.704 |

表 10：相同翼形、翼載固定，面積不同的散播距離比較

| 試片  | 散播距離 (cm) |      |       |
|-----|-----------|------|-------|
|     | 小         | 中    | 大     |
| 第幾次 |           |      |       |
| 第一次 | 2.4       | 22.6 | 102   |
| 第二次 | 7         | 45.2 | 71.6  |
| 第三次 | 2.6       | 45.2 | 111   |
| 第四次 | 39        | 21   | 84    |
| 第五次 | 2.6       | 7    | 16    |
| 平均  | 10.72     | 28.2 | 76.92 |

(二) 發現：

面積越大其旋轉速度越慢，滯空時間越短，飛行姿態搖擺不穩定，下落時越偏離原點。大面積較適合滑翔，而不利於旋轉。



圖 48

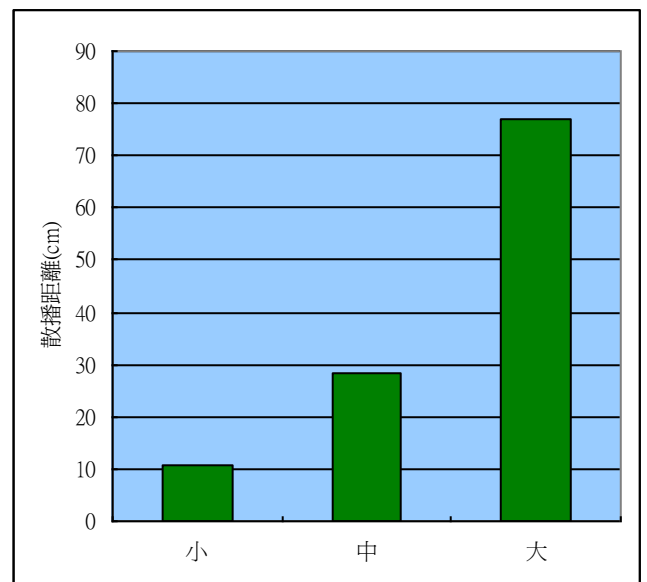
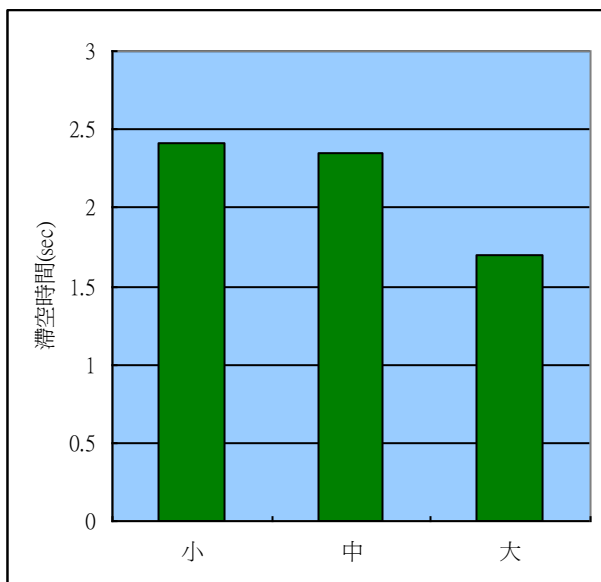


圖 49

圖 50

九、研究 9：重量、面積、翼載固定，表面有無突起的比較

發現：

第一、四試片無法旋轉，第二、三試片順利旋轉，可見翼面應盡量維持平滑才有利於旋轉。

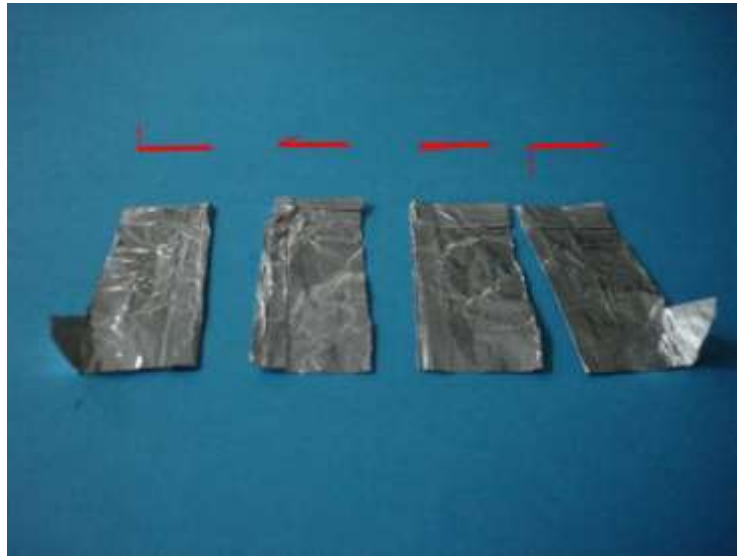


圖 51

十、研究 10：翼載固定，展弦比改變，對稱旋轉模式的探討

(一) 結果：

表 11：翼載固定，展弦比改變，對稱旋轉模式的滯空時間比較

| 滯空時間 (sec) | 試片          |             |             |
|------------|-------------|-------------|-------------|
|            | 1<br>(展弦比大) | 2<br>(展弦比中) | 3<br>(展弦比小) |
| 第幾次        |             |             |             |
| 第一次        | 3.81        | 4.25        | 2           |
| 第二次        | 3.91        | 5.07        | 2.32        |
| 第三次        | 3.97        | 4.62        | 2.25        |
| 第四次        | 4.25        | 4.66        | 2.21        |
| 第五次        | 3.94        | 4.66        | 2.19        |
| 平均         | 3.976       | 4.652       | 2.194       |

(二) 發現：

1. 第三試片會發生搖擺，旋轉狀況最差，滯空時間最短。展弦比較小容易受氣流擾動而產生搖擺。
2. 第二試片的旋轉狀況最佳，滯空時間也相對最長。
3. 第一個試片雖然無搖擺，但過大的展弦比讓旋轉速度變慢而影響滯空時間。

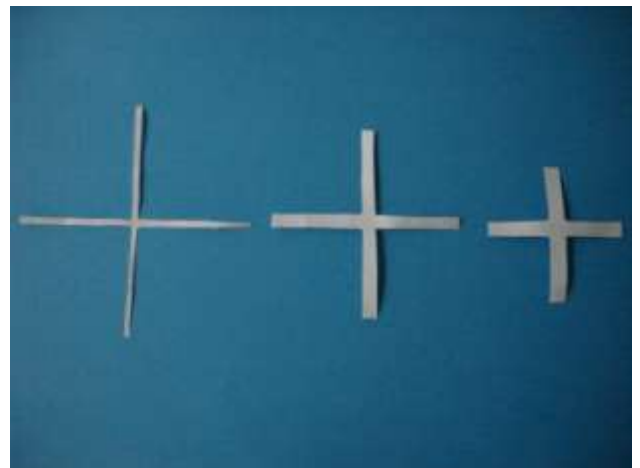


圖 52

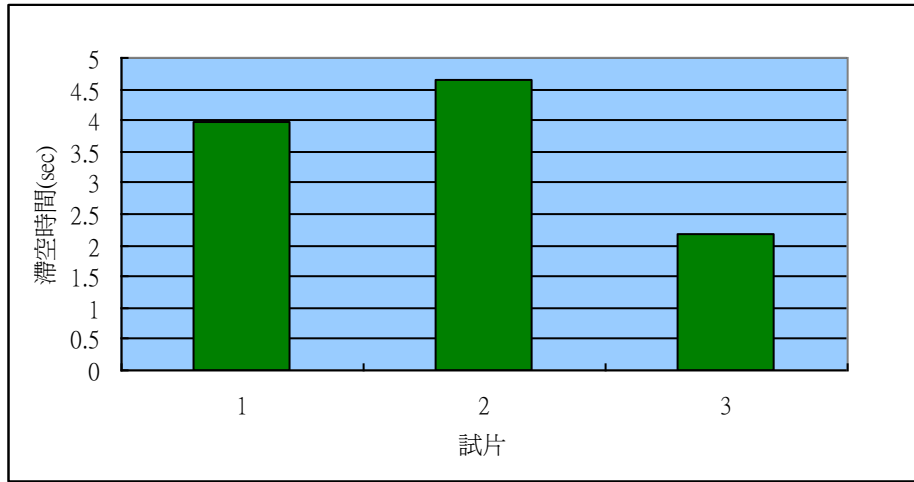


圖 53

十一、研究 11：探討種子、果實旋轉時，哪一面朝上？

發現：

1. 不管凹面朝上或朝下丟下來，最後都會凹面朝上，類似毬子。如黃杞堅果。
2. 大葉桃花心木種子也有類似效果，仔細觀察發現其種仁位於翼根部下方，因此大葉桃花心木的種子不管由什麼姿態下落，大多翼根較突出的這面朝下。若是青楓翅果就不固定哪一面，因其翅果較對稱。



圖 54：凹面朝下落下會自動翻面

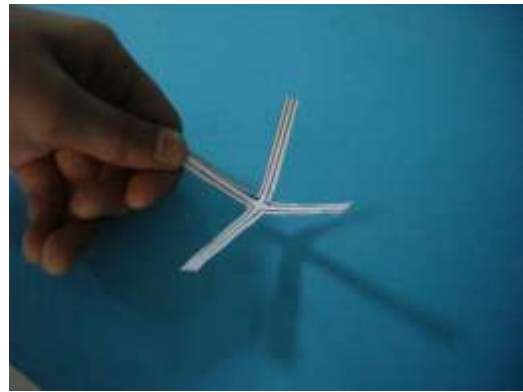


圖 55：凹面朝上可穩定下落



圖 56：黃杞堅果總是以如此圖的姿態旋轉下落



圖 57：大葉桃花心木種子旋轉時總是種仁較突出的這面朝下



圖 58：青楓翅果翼面較對稱

## 十二、研究 12：翼載一樣，長寬不等的珍珠板飛行模式探討 發現：

形狀越接近正方形，其受氣流擾動而產生搖擺的效應越大；是越細長，雖能減少搖擺，但滾轉的現象也越明顯。

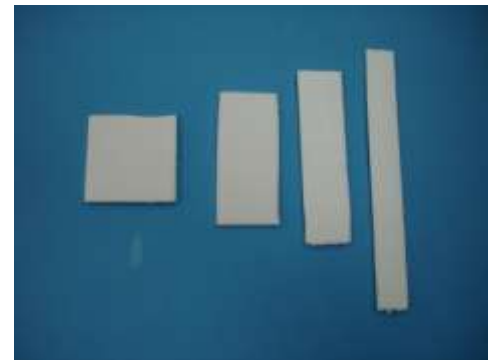


圖 59

## 十三、研究 13：探討飛行時翼面搖擺的改善方法 發現：

1. 從煙上升經過翼面的實驗觀察，發現氣流容易往上翼面捲，在翼尖處產生渦流（圖 60），是造成翼面搖擺的原因。
2. 減少翼面下落時搖擺的有效方法是翼尖部份做翼尖帆；或翼面往上翹（上反角）（圖 61），以擋住上翼面捲的氣流。



圖 60：線香在下翼面燃燒，上升的煙在上翼面造成渦流



圖 61：能改善翼面搖擺的翼形

十四、研究 14：滑翔翼配重位置的影響探討

(一) 結果：

表 12：圓形滑翔翼配重位置改變的滯空時間

| 配重位置<br>滯空時間 (sec)<br>第幾次 | 第 1 點 | 第 2 點 | 第 3 點 | 第 4 點 | 第 5 點 | 第 6 點 | 第 7 點 |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 第一次                       | 1.28  | 2.22  | 2.1   | 3     | 2.46  | 2.22  | 2.25  |
| 第二次                       | 1.47  | 1.88  | 2.75  | 2.25  | 2.94  | 2.16  | 1.75  |
| 第三次                       | 1.5   | 1.85  | 2.72  | 2.72  | 2.72  | 2.15  | 1.97  |
| 第四次                       | 1.2   | 2.25  | 2.85  | 2.37  | 2.31  | 2.06  | 2     |
| 第五次                       | 1.35  | 1.91  | 2.22  | 3     | 2.94  | 2.09  | 2.25  |
| 平均                        | 1.36  | 2.022 | 2.528 | 2.668 | 2.674 | 2.136 | 2.044 |

表 13：圓形滑翔翼配重位置改變的散播距離

| 散播距離 (cm)<br>第幾次 | 配重位置  |       |        |        |       |       |       |
|------------------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
|                  | 第 1 點 | 第 2 點 | 第 3 點  | 第 4 點  | 第 5 點 | 第 6 點 | 第 7 點 |
| 第一次              | 46    | 140   | 512    | 134    | 193   | 113   | 87    |
| 第二次              | 47    | 70    | 237    | 168    | 258   | 100   | 13    |
| 第三次              | 50    | 105   | 228    | 143    | 218   | 147   | 27    |
| 第四次              | 43    | 109   | 273    | 145.2  | 145   | 52    | 136   |
| 第五次              | 67    | 105   | 143    | 140    | 305   | 143   | 133   |
| 平均               | 50.6  | 105.8 | 186.44 | 146.04 | 223.8 | 111   | 79.2  |

(二) 發現：

- 翼必須適當的配重，產生適當的下拉力矩，才能穩定的向前滑翔（圖 62：藍線），如果配太輕，容易產生翼前緣仰起導致失速墜落（綠線）；太重又使滑翔距離不遠（黃線）；若翼前緣的仰起角度不大，然後又下墜，不斷重覆仰起、下墜（紅線），這種抖動方式也可以產生很遠的滑翔距離。

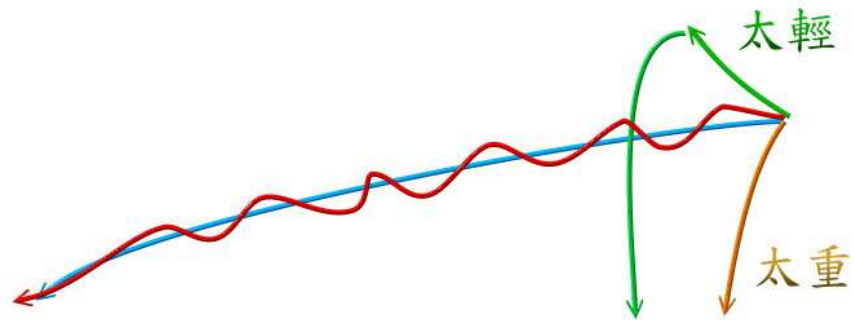


圖 62：滑翔軌跡

- 1、2 點所產生的力矩過大，第 4 點位置時因翼前緣抖動仰起反而使模型往後下滑。配重最佳位置是第 5 點，此點產生最遠的滑翔距離。配重如黏貼靠近形心，向前滑翔的效果差如 6、7 點。

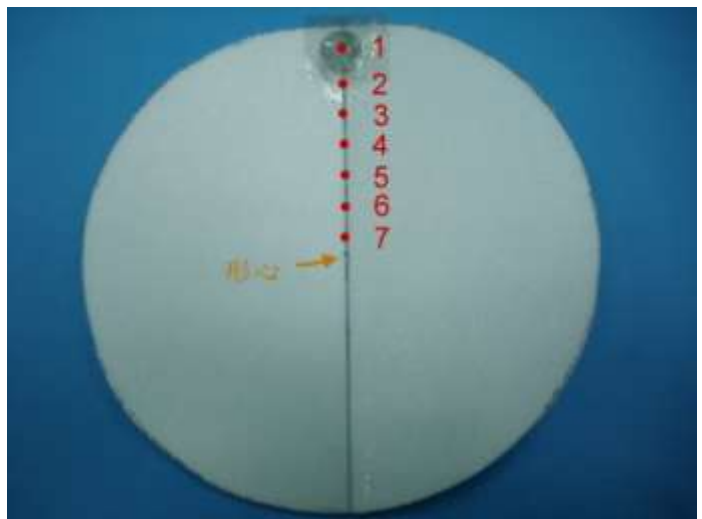




圖 63

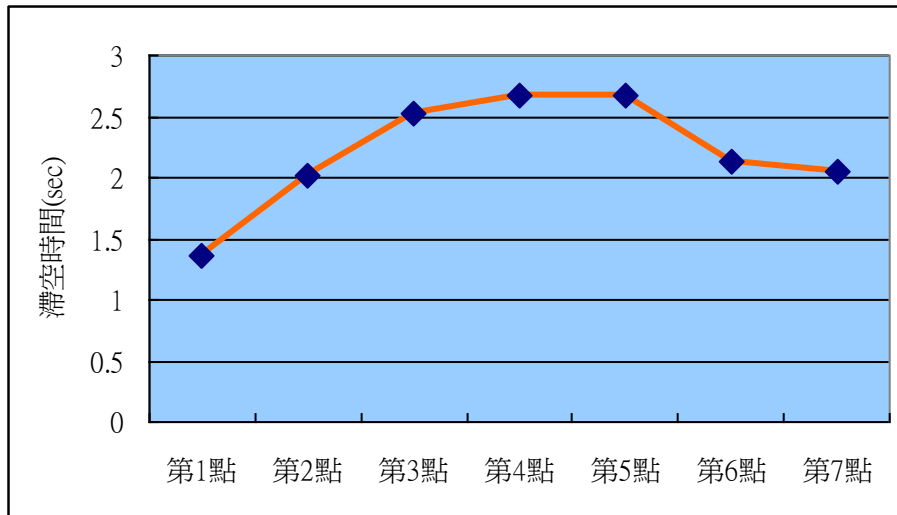


圖 64

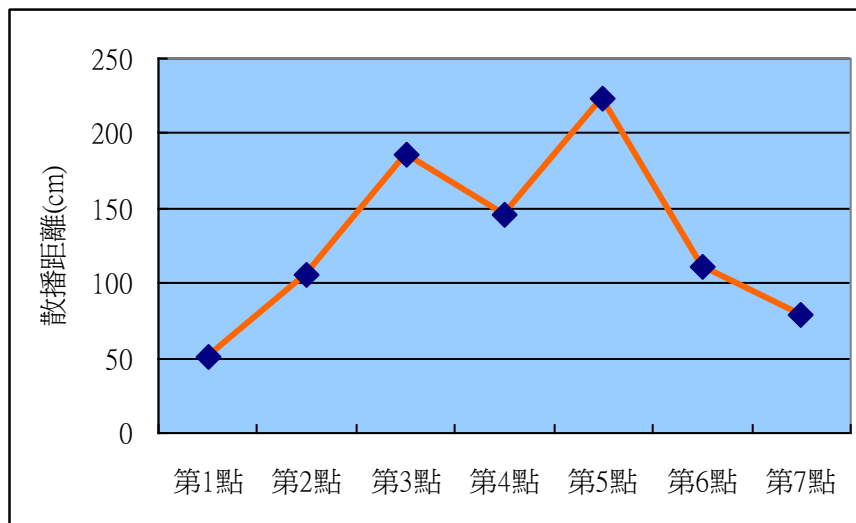


圖 65

十五、研究 15：同面積、不同滑翔翼形狀的影響探討

(一) 結果：

表 14：同面積、不同滑翔翼形狀的滞空時間

| 形狀 | 正三角形 | 倒正三角形 | 圓形 | 正方形 | 長方形 1<br>(展弦比大) | 長方形 2<br>(展弦比小) | 半圓形 |
|----|------|-------|----|-----|-----------------|-----------------|-----|
|----|------|-------|----|-----|-----------------|-----------------|-----|

表 15：同面積、不同滑翔翼形狀的散播距離

| 散播距離 (cm) | 正三角形  | 倒正三角形 | 圓形    | 正方形 | 長方形 1<br>(展弦比大) | 長方形 2<br>(展弦比小) | 半圓形   |
|-----------|-------|-------|-------|-----|-----------------|-----------------|-------|
| 第幾次       |       |       |       |     |                 |                 |       |
| 第一次       | 579   | 105   | 250   | 197 | 162             | 180             | 144   |
| 第二次       | 366   | 83    | 208   | 154 | 137             | 57              | 115   |
| 第三次       | 382   | 74    | 215   | 207 | 126             | 49              | 115   |
| 第四次       | 392   | 74    | 289   | 205 | 147             | 105             | 136   |
| 第五次       | 467   | 49    | 210   | 182 | 136             | 83              | 108   |
| 平均        | 437.2 | 77    | 234.4 | 189 | 141.6           | 94.8            | 123.6 |



圖 66：正三角形



圖 67：倒正三角形



圖 68：圓形

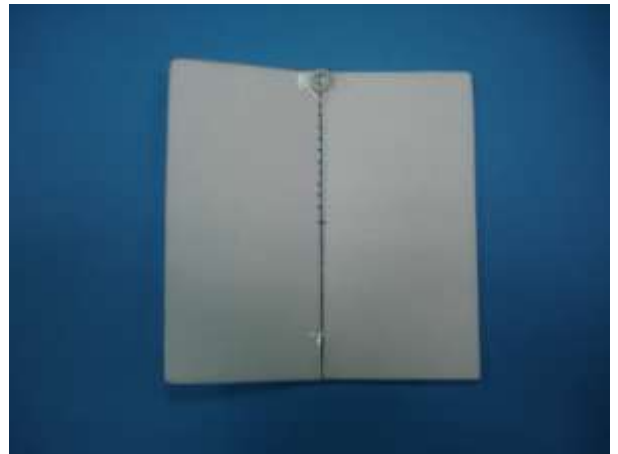


圖 69：正方形



圖 70：長方形 1（展弦比大）



圖 71：長方形 2（展弦比小）



圖 72：半圓形

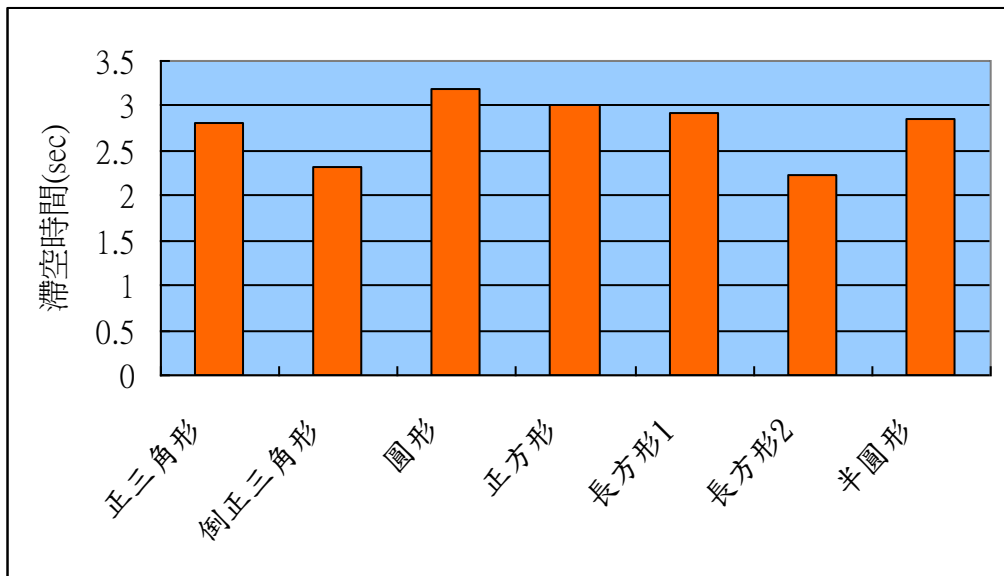


圖 73

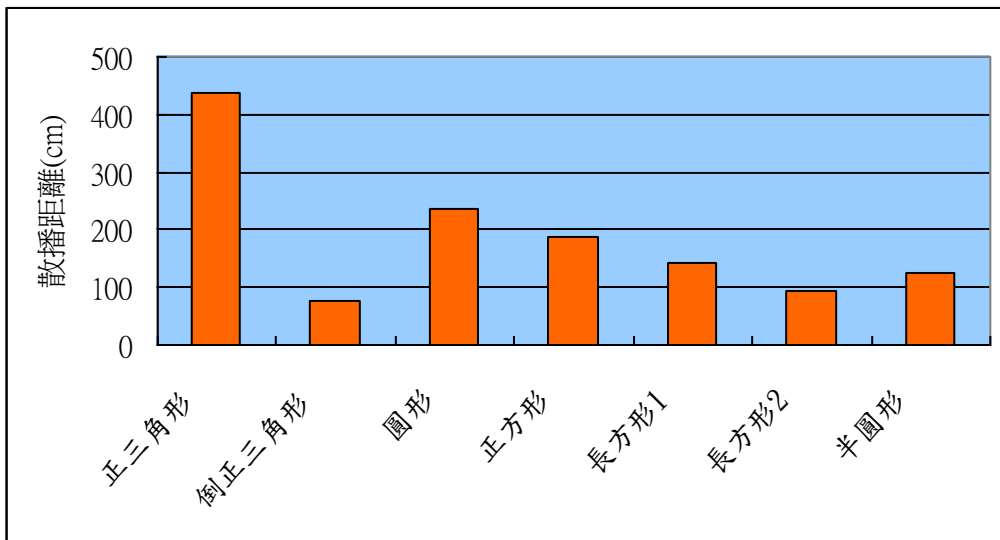


圖 74

(二) 發現：

除長方形 2 (圖 71) 外，正三角形的配重位置距形心的長度比其餘形狀都長，若正三角形的配重粘在最前端，而能取得最佳的力矩，再用相同的配重粘在其餘形狀的最前端，則其力矩顯然不足，而長方形 2 的力矩又太大了。因此其餘形狀若要得到最佳力矩勢必要增加配重，這麼做又會增加翼載。雖長方形 2 有最長的力臂，但這樣的翼形卻容易產生搖擺。也就是說正三角形能以較輕的配重達到最佳的滑翔效果。

## 十六、研究 16：同面積、不同展弦比的三角翼比較

(一) 結果：

表 16：同面積、不同展弦比的三角翼的滯空時間

| 滯空時間 (sec) | 形狀 (底：高)               |                         |                         |                         |
|------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|            | 三角形 1<br>( 40 : 8.66 ) | 三角形 2<br>( 30 : 11.53 ) | 三角形 3<br>( 20 : 17.32 ) | 三角形 4<br>( 10 : 34.64 ) |
| 第幾次        |                        |                         |                         |                         |
| 第一次        | 3.06                   | 3.62                    | 2.28                    | 1.47                    |
| 第二次        | 3                      | 2.82                    | 2.19                    | 1.09                    |
| 第三次        | 3.22                   | 3.6                     | 2.28                    | 1.18                    |
| 第四次        | 2.97                   | 2.91                    | 2.28                    | 1.25                    |
| 第五次        | 3.34                   | 2.87                    | 2                       | 1.03                    |
| 平均         | 3.118                  | 3.164                   | 2.206                   | 1.204                   |

表 17：同面積、不同展弦比的三角翼散播距離

| 散播距離 (cm) | 形狀 (底：高)               |                         |                         |                         |
|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|           | 三角形 1<br>( 40 : 8.66 ) | 三角形 2<br>( 30 : 11.53 ) | 三角形 3<br>( 20 : 17.32 ) | 三角形 4<br>( 10 : 34.64 ) |
| 第幾次       |                        |                         |                         |                         |
| 第一次       | 382                    | 422                     | 280                     | 367                     |
| 第二次       | 407                    | 369                     | 279                     | 283                     |
| 第三次       | 308                    | 465                     | 263                     | 306.1                   |
| 第四次       | 400                    | 451                     | 271                     | 264                     |
| 第五次       | 425                    | 431                     | 243.4                   | 244                     |
| 平均        | 384.4                  | 427.6                   | 267.28                  | 292.82                  |

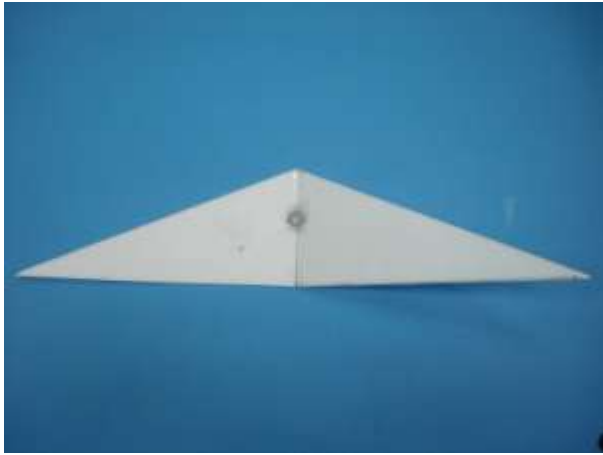


圖 75：三角形 1 (40 : 8.66)

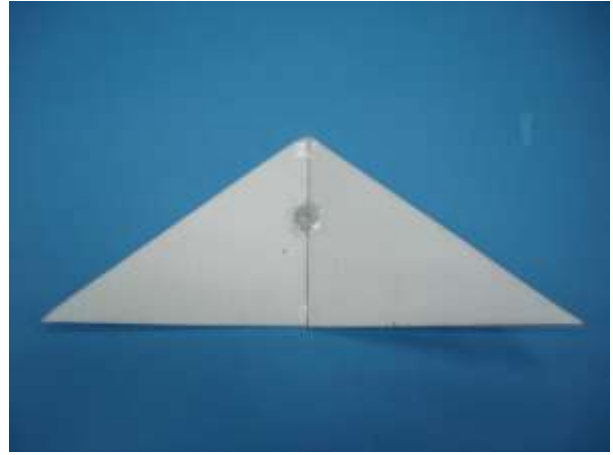


圖 76：三角形 2 (30 : 11.53)

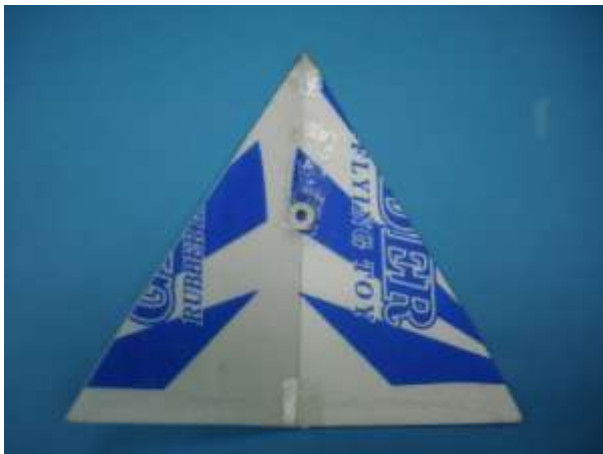


圖 77：三角形 3 (20 : 17.32) (正三角形)



圖 78：三角形 4 (10 : 34.64)

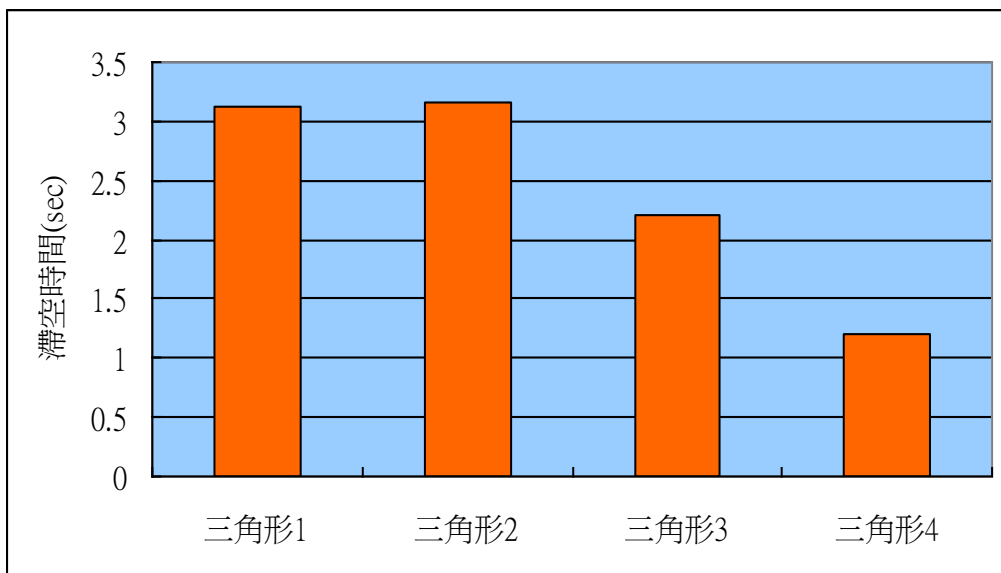


圖 79

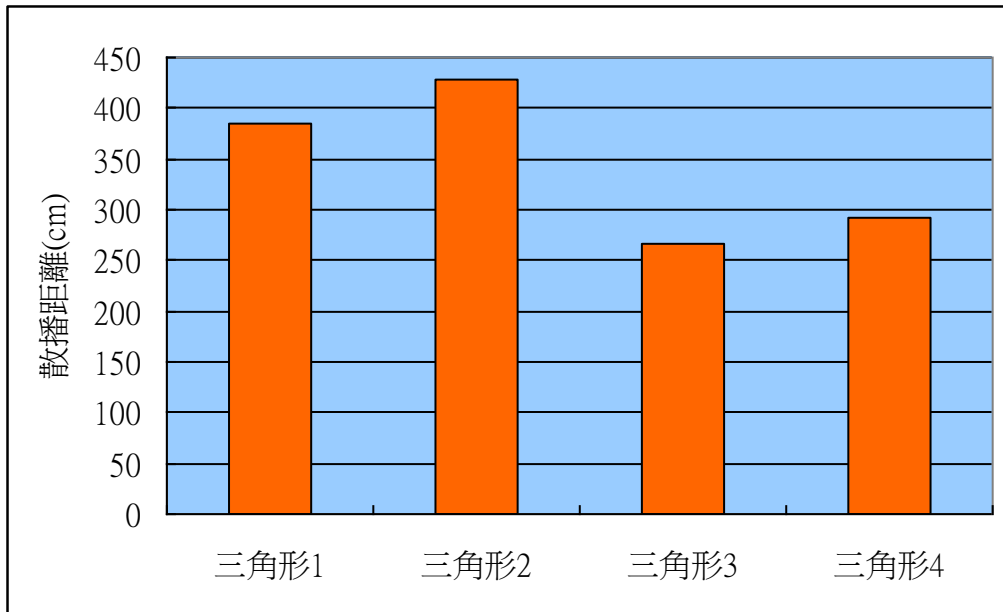


圖 80

(二) 發現：

1. 三角形翼（或後掠翼）有將形心往後移的效果，因此能用較小的配重達到最佳的滑翔效果。
2. 並不是正三角形的滑翔效果最好，適當的增加展弦比（圖 76：三角形 2）有較好的滑翔效果，但越細長的翼卻容易產生滾轉，展弦比太小的翼（圖 78：三角形 4）則容易翻轉。
3. 相同的正三角形配重較重所達到的滑翔效果較差，如圖 66（配重 0.3g）與圖 77（配重 0.8g）的例子。

十七、研究 17：以珍珠板模擬婆羅洲蔓藤種子

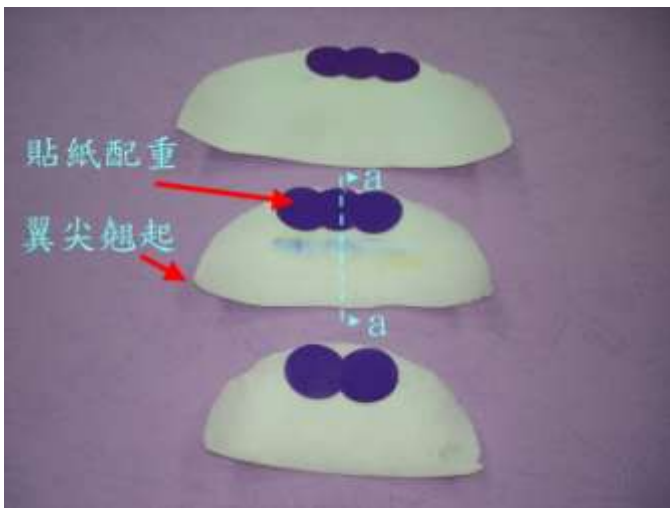


圖 81：模擬婆羅洲蔓藤種子模型

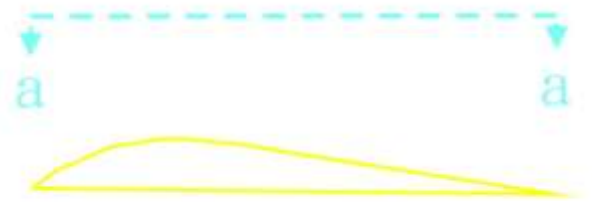


圖 82：模型剖面圖

發現：

1. 翼面磨出曲度有助於產生升力，增加滯空時間與滑翔距離。
2. 翼尖翹起有助於飛行的穩定。
3. 在翼前緣配重，能以較小的重量達到適當的下滑力矩，最佳的配重是比發生翼前緣抖動（圖 62：紅線）時略小的配重。配重分散比集中較不易偏航。
4. 翼面積越大升力越大，同時重量與阻力也越大，適當的調整翼載，可使最佳的滑翔距離將近 5 公尺（3 公尺高無風自由下落）。

## 柒、討論

1. 飛翔種子、果實的種仁通常呈扁狀，所以可以視為翼的一部分。
2. 影片「植物的另類生活(BBC)」裡介紹婆羅洲蔓藤種子是滑翔的「高手」翼展可達 13 公分，種仁的位置並不是位在形狀的中心，而是比較靠近翼前緣的部分，形狀接近三角翼。



圖 83：婆羅洲蔓藤（*Alsomitra macrocarpa*）種子（[http://aquiya.skr.jp/zukan/Alsomitra\\_macrocarpa.html](http://aquiya.skr.jp/zukan/Alsomitra_macrocarpa.html)）

3. 高展弦比可降低翼尖渦流的影響，改善搖擺狀況，但高展弦比卻容易滾轉，而種子又沒有尾翼來平衡此不穩定狀態，於是最佳狀就有點像婆羅洲蔓藤種子的翅往後掠，既不會造成翼展太長，又不損失翼面積。

## 捌、結論

1. 飛翔種子、果實的特性是低翼載。
2. 旋轉類種子、果實的飛行模式固定，有一定的飛行姿態，這類種子較細長，重量集中在翼根及翼前緣，無風時的散播距離不長，但旋轉有助於維持穩定的飛行姿態，利用延長滯空時間來爭取受風吹襲的機會。
3. 滑翔類種子、果實有較長的散播距離，翼載小，展弦比不大，種仁不位於形狀中心而是靠近翼前緣，才能產生向前滑翔的力矩。
4. 翼面重量分布應不對稱，旋轉效果較好。
5. 面積大較利於滑翔；展弦比大較利於旋轉。
6. 減少翼面下落時搖擺的有效方法是翼尖帆及翼面要有上反角。
7. 後掠翼有將形心往後移的效果，因此能用較小的配重達到最佳的滑翔效果。

## 玖、參考資料

- 一、鄭翔等(民95)。遠離家園-具翅種子、果實的飛行模式分析。中華民國第四十六屆中小學科展國小組自然科生物類。
- 二、賴麗娟(民93)。台灣野果觀賞情報。晨星出版社。
- 三、王政友譯(民92)。圖解飛機的構造與原理。世茂出版社。
- 四、趙先寧譯(民78)。飛機設計基本原理。徐氏基金會。

**【評語】** 081505

- (1)成員皆很努力完成作品，團隊精神可嘉。
- (2)規律性飛翔的種子，應可再加強結論來呈現。
- (3) 以種子的特性來延伸，且演練順暢，值得肯定。