

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

佳作

080105

「旋」機妙算——不對稱飛行種子建模之研究：
以桃花心木種子為例

學校名稱：南投縣私立普台國民小學

作者： 小六 蔡孟桂 小六 王妤睿 小六 郭睿洋	指導老師： 劉伊寧 廖俊達
---	-----------------------------

關鍵詞：桃花心木種子、飛行、摺紙種子模型

壹、摘要

本研究藉由觀察實體桃花心木種子的飛行狀態，探討實體桃花心木種子的長度、寬度、長寬比以及重心位置，試驗分析種子飛行時間和旋轉圈數。結果顯示：蒐集到的實體桃花心木種子寬 2.5 公分為眾數、長分布 8 到 11 公分、長寬比約 4~5。此結果與其他科展研究相符。而實體種子重心位置靠近種子長的 1/5，靠近肋寬的 1/3 處，有較佳飛行時間與旋轉圈數。依此結果，發展紙長公式「 $L_{paper} = L_{seed} + a + W \cdot (n+1)/2$ 」作為裁紙參考，建立摺紙種子模型並實驗驗證。結果顯示：最佳的紙模型為寬 2.5 公分、長 8 公分(長寬比 3.2)、13 折，重心在靠近肋寬的 1/3 處的飛行最好，與實體種子實驗結果相似。

貳、研究動機

有次在田園課堂上，老師介紹了校園中的許多樹木，我們覺得有一個樹木十分特別，它的種子沒有對稱，卻會像會像竹蜻蜓一樣地旋轉飄落。我們十分好奇，為什麼它的種子那麼特別？大葉桃花心木的種子有什麼特殊的地方？是哪些地方造成它這種飛行方式？加上在某次科學教室課堂上的摺紙活動中，與老師討論摺紙時，老師拿出了一種仿桃花心木種子的摺紙，紙桃花心木飛行時的狀態和真實桃花心木飛行時的狀態相似，於是我們對這個種子產生了興趣，並開始研究桃花心木種子，並且希望能摺出可轉最多圈數，且飛行時間較長的紙桃花心木種子。

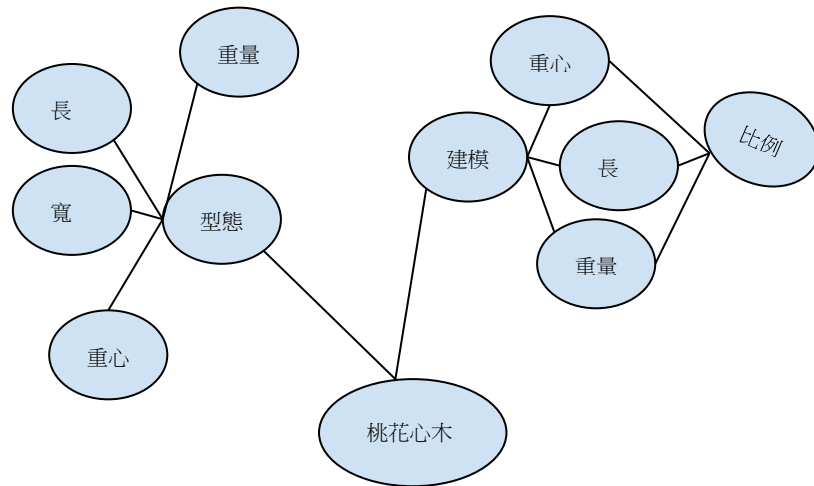
參、研究目的

了解具有飛行時間超過 1.5 秒和旋轉圈數多於 15 圈的桃花心木種子其長度、寬度、長寬比、重量以及重心位置，並依據這些分析資料，將分析結果轉化成摺紙的方式，模擬桃花心木種子飛行。

肆、研究問題

- 研究一：桃花心木初探
- 研究二：桃花心木種子外型——種子長、寬研究
- 研究三：研究桃花心木種子的重心位置
- 研究四：桃花心木種子外型與飛行時間的關係
- 研究五：桃花心木重心與飛行時間的關係
- 研究六：桃花心木建模——種子長度與飛行的關係
- 研究七：桃花心木建模——重量(折數)與飛行的關係
- 研究八：桃花心木建模——種子重心與飛行的關係

伍、概念圖



陸、研究器材與設備

一、研究器材

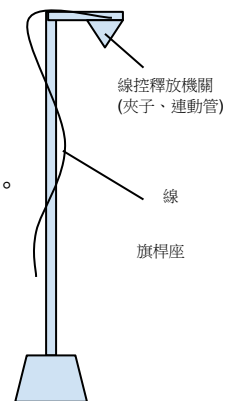
方格紙、電子秤、手機(具有慢速攝影)、計時器、異筆、重心測量設備：保麗龍、木條和木板、游標尺、棉繩、種子飛行測試設備(旗桿、旗座、鐵棒、塑膠棒、棉線、洗衣夾)、EXCEL 軟體

二、實驗裝置

(一)、線控式自由落下測試器(如右圖)

(二)、自製長寬量測法：方格紙估算法

- 1、準備一張 0.5cm x 0.5cm 的方格紙，並標明刻度。
- 2、將待測桃花心木種子底部和長邊對齊方格紙的邊緣。
- 3、讀取數據：估算超過部分，如低於 1/2 則捨去，大於 1/2 則累進。



(三)、自製重心測試器

為了知道如何量測桃花心木種子的重心，上網搜尋找重心的方法，發現大部分測量的方式，都是運用尖銳的物品放在待測物的下方，慢慢找到物品平衡的位置。我們想到自然課堂老師曾經介紹用鉛錘線找重心的方法。於是集結重心線的概念，設計出了自製重心測試器。

- 1、原理：利用兩條重心鉛錘線交叉點即為重心的位置的原理，找出桃花心木寬重心線與肋的距離與長重心線與種子底部的距離，就能得到桃花心木的重心相對位置。

2、裝置圖：

游標尺、長條木棒、長條形保麗龍板



縱向重心測量示意圖



橫向重心測量示意圖

3、操作方法

(1)測量縱向重心

- 將桃花心木種子放置游標尺上，種子莢的方向則朝向游標尺的起點。
- 調整游標尺到種子長度，並做歸零動作。
- 緩慢地將游標尺往前推，直到種子掉落。
- 此時游標尺所呈現的數字，即為桃花心木種子的「縱向重心」。

(2)測量橫向重心

- 將桃花心木種子橫放在游標尺上，種子莢的方向對準游標尺的起點。
- 調整游標尺到種子寬度，並做歸零動作。
- 緩慢地將游標尺往前推，直到種子掉落。
- 此時游標尺所呈現的數字，即為桃花心木種子的「橫向重心」。



柒、研究結果

研究一：桃花心木初探

(一)、研究目的

希望透過這個研究，幫助我們更瞭解桃花心木。

(二)、研究方法

以校園中的桃花心木為研究對象，進行觀察和拍照，並對照電腦網路資料，探討其構造。

(三)、研究結果

透過實體觀察與資料參考，我們瞭解了桃花心木的構造和特徵，我們發現

- 桃花心木的構造有莖、葉、樹皮、花、果實和種子。
- 果實呈咖啡色，外型呈現卵形或錐狀橢圓形，類似水滴狀，具有果殼，果殼堅硬，每顆果實有五室，每室內有種子約 9~14 枚。約含有 45 至 70 個種子。
- 種子包覆在果殼內，種子具有薄翅，當種子要飛離母體時葉子會掉光，且掉落時會向直升機螺旋槳一樣旋轉。
- 種子薄翅內邊緣有一條細長的肋橫。越靠近果殼的種子上反角越小。



研究二：桃花心木種子外型——種子長、寬研究

當我們在校園中觀察桃花心木時，看見桃花心木種子有些是垂直掉落，有些是旋轉掉落，而在旋轉掉落的種子中，又有旋轉圈數以及掉落速度的不同。我們猜想影響桃花心木種子旋轉圈數的原因與種子的長度和寬度應該是有關係的。所以，我們先測量種子的長度和寬度。

(一)、研究目的

蒐集並調查現生桃花心木種子的長和寬。

(二)、研究器材

0.5cm X0.5cm 方格紙、游標尺、照相機

(三)、研究方法

- 1、取樣：在校園中蒐集桃花心木種子約 500 個。
- 2、篩選：種子外型無破損，取 200 個種子做後續實驗。
- 3、測量：方格紙測量法(0.5cm x 0.5cm 的方格紙)
 - (1)將桃花心木底部及邊緣放在刻度 0 的位置。
 - (2)讀取長寬數據(以 0.5 公分為間距，超過 1/2 累進)。
 - (3)紀錄與分析：紀錄長寬數據並分析資料

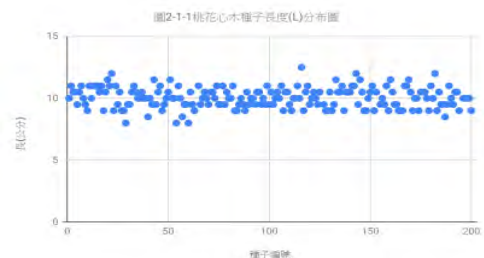


(四)、研究結果

1、桃花心木長度分布

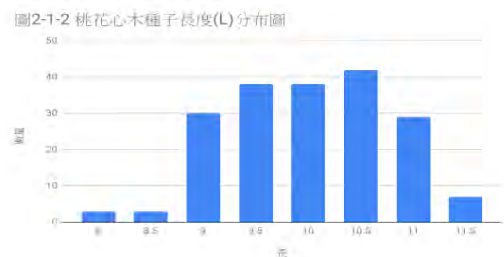
表 2-1 桃花心木長度分布

長(L)(公分)	>8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5
數量	3	3	30	38	38	42	29	7



我的發現：

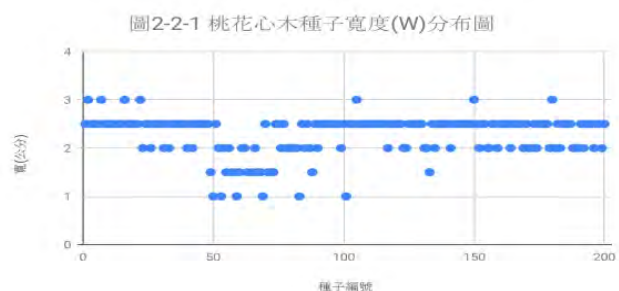
- (1)全部的桃花心木長度分布在 8 到 11.5 公分。
- (2)桃花心木長度大部分分布在 9 到 11 公分。
- (3)桃花心木長度 10.5 公分最多。
- (4)桃花心木長度在 8.5 公分以下數量最少。
- (5)超過 11cm 數量變少。



2、桃花心木寬度分布

表 2-2 桃花心木寬度分布

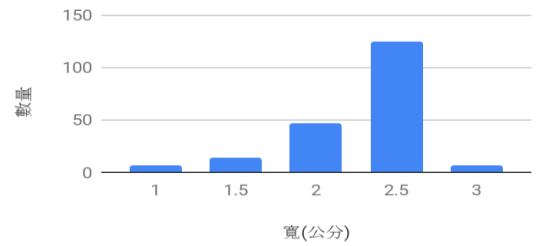
寬(W)公分	1	1.5	2	2.5	3
數量	6	14	47	125	7



我的發現：

- (1)全部桃花心木寬度分布在 3 到 1 公分。
- (2)最多桃花心木寬度分布在 2.5 公分。
- (3)最少桃花心木寬度分布在 1 公分。

圖2-2-2 桃花心木種子寬度(W)分布圖



3、桃花心木長寬比分布

表 2-3 桃花心木長寬比分布

長寬比 (L/W)	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8
數量	4	0	0	71	93	15	6	1

圖2-3 長寬比分布長條圖

我的發現：

桃花心長寬比範圍分布在 3~6。桃花心木長寬比在 4 到 5 數量最多。

研究三：研究桃花心木種子的重心位置

我們發現種子的飛行時間長短和種子在飛行時所呈現的傾斜狀況有關。在自然課堂上，老師提及飛機飛行時會與重心有關，於是我們猜想種子飛行會與重心位置有關係，因此我們想要探討桃花心木的重心位置。

(一)、研究目的

測量桃花心木種子的重心位置。

(二)、研究方法

將桃花心木種子的重心分成橫向與縱向，用自製測量儀器找出重心橫向線(寬重心 X)與重心縱向線(長重心 Y)，種子的重心位置則是橫向線和縱向線的交叉點。也就是所得數據的 XY。

(三)、實驗器材

自製重心測試器：木條和木板、游標尺、盒子、保麗龍。

(四)、實驗步驟

1、設計實驗測量工具

討論如何測量桃花心木種子重心位置和製作測量的工具(如前所述)

2、取樣

- (1)篩選一：長度 8cm~11cm 的桃花心木種子。
- (2)篩選二：前實驗中旋轉時間超過 1 秒的種子。

3、測量重心

- (1)用自製重心測試器測試桃花心木種子縱向重心，並記錄下來，重複三次求平均值。
- (2)用自製重心測試器測試桃花心木種子橫向重心，並記錄下來，重複三次求平均值。

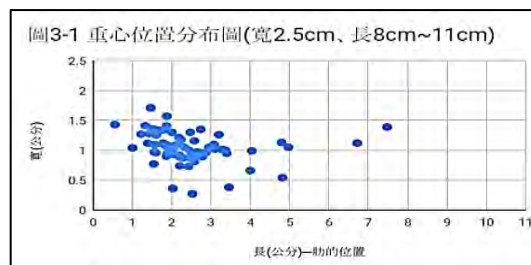
4、分析數據

- (1)將所得的數據輸入 google 試算表
- (2)插入分布圖表，設定橫軸 X 為種子寬 2.5cm，縱軸 Y 為種子長度
- (3)分析所的重心分布圖

(五)、實驗結果

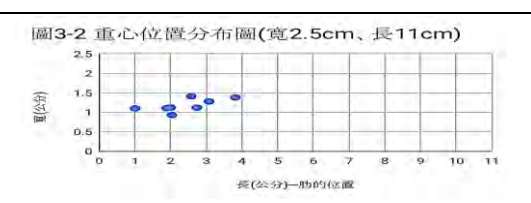
1、全部種子的重心位置分布(8-11cm)

我的發現：重心位置集中在：距離縱軸(Y)約 0.9~1.5cm 之間，離橫軸 (X)約在 1cm~3cm 之間。



2、長 11 公分種子的重心位置分布

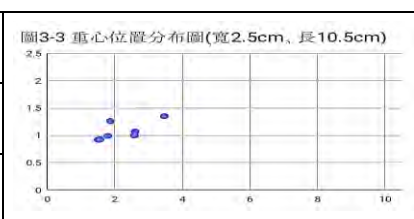
編號	15	17	21	11	46	136	13	151
重心(長)	1.01	1.89	4.04	2.01	2.74	3.08	3.82	2.58
重心(寬)	1.1	1.11	0.93	1.12	1.12	1.28	1.38	1.41



我的發現：重心距離縱軸(Y)約 0.9~1.5cm 之間，距離橫軸(X)約在 1cm~4cm 附近。重心距離縱軸(Y)位置相近，距離橫軸(X)的位置較為分散

3、長 10.5 公分種子的重心位置分布

編號	3	6	37	104	153	176	177
重心(長)	1.57	1.51	1.79	1.87	2.58	2.6	3.46
重心(寬)	0.93	0.92	0.99	1.26	1	1.07	1.35

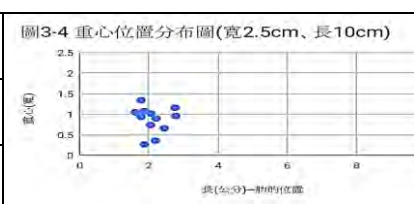


我的發現：

- (1)大部分重心距離縱軸(Y)約 0.9~1.5cm 之間，距離橫軸(X)約在 2cm 附近。
- (2)有一顆種子距離橫軸(X)超過 3cm。

4、長 10 公分種子的重心位置分布

編號	36	1	12	113	39	35	103	173	38	8	97	41
重心(長)	1.78	1.87	2.06	2.78	2.45	2.05	2.76	2.19	1.78	1.61	1.87	2.21
重心(寬)	1.34	0.27	1.02	0.96	0.66	0.74	1.16	0.36	0.94	1.05	1.08	0.9

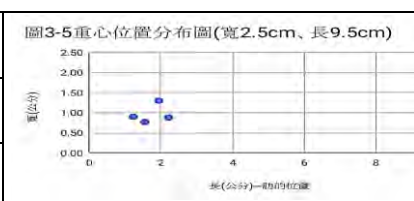


我的發現：

- (1)大部分重心距離縱軸(Y)約 0.9~1.5cm 之間，距離橫軸(X)約在 2cm 附近。
- (2)少部分種子重心會很接近縱軸(Y)

5、長 9.5 公分種子的重心位置分布

編號	9	124	48	157	191
重心(長)	2.21	1.94	2.22	1.55	1.23
重心(寬)	0.88	1.3	0.88	0.77	0.9



我的發現：大部分重心距離縱軸(Y)約 0.9~1.5cm 之間，距離橫軸(X)約在 2cm 附近。

6、長 9 公分的重心位置分布

編號	10	18	27	28	47	84	128	165	166	194	200	<p>圖3-6 重心位置分布圖(寬2.5cm、長9cm)</p> <p>圖中顯示了12顆種子的重心位置，橫軸為長(公分)的位置(0-9)，縱軸為重心距(公分)(0-2.5)。大部分數據點集中在長2-3公分、重心距0.9-1.5公分之間。</p>
重心(長)	3.4	2.95	2.32	2.53	2.03	2.43	2.3	1.64	1.88	1.56	2.48	
重心(寬)	1.57	0.77	1.28	1.71	1	0.96	1.31	0.87	1.27	1.13	1	

我的發現：

- (1)大部分重心距離縱軸(Y)約 0.9~1.5cm 之間，距離橫軸(X)約在 2cm 附近。
- (2)有三顆種子重心比較離散

7、長 8 公分的重心位置分布

編號	29	187	<p>圖3-7 重心位置分布圖(寬2.5cm、長8cm)</p> <p>圖中顯示了2顆種子的重心位置，橫軸為長(公分)的位置(0-8)，縱軸為重心距(公分)(0-2.5)。兩顆數據點分別位於長約1.5公分和2.2公分，重心距約1.3公分和1.1公分。</p>
重心(長)	1.56	2.29	
重心(寬)	1.3	1.18	

我的發現：雖然只有篩選出兩個數據，仍然可以知道重心位置距離縱軸(Y)約 1.3~1.6cm 之間，距離橫軸(X)約在 2cm 附近。

小結：

- 1、相同長度，種子重心位置都很接近。
- 2、長度 11cm 的重心，距離縱軸(Y)都很相近，但橫軸(X)位置有明顯不同。
- 3、不論種子長度如何，大部分重心距離縱軸(Y)約 0.9~1.5cm 之間，距離橫軸(X)約在 2cm 附近。

研究四：桃花心木種子外型與飛行時間的關係

了瞭解桃花心木的長寬與飛行的關係。我們根據研究二的發現蒐集到的種子中，桃花心木種子以寬 2 公分及 2.5 公分最多。篩選寬 2 公分及 2.5 公分的種子做飛行試驗，藉以了解長寬比和飛行的關係。

(一)、研究目的

瞭解桃花心木種子的長寬比與飛行時間和旋轉圈數的關係。

(二)、研究方法

1、種子飛行實驗拍攝與紀錄

將種子放置於線控式自由落下測試器後，用手機攝影種子落下的情況，並記錄時間、計算旋轉圈數。

2、統計分析

- (1)篩選種子寬度 2.5 公分、落下時間超過 1 秒且旋轉圈數大於 10 圈的數據。
- (2)以 EXCEL 軟體統計分析
 - a. 「長度與飛行時間」、「長度與飛行圈數」的關係。
 - b. 「長寬比與飛行時間」、「長寬比與飛行圈數」的關係

(三)、實驗器材

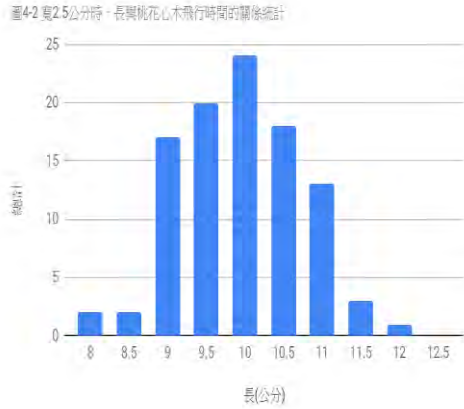
線控式自由落下測試器、手機(具有慢速攝影)、計時器、EXCEL 軟體

(四)、實驗結果：根據所有的實驗數據，我們篩選飛行時間 1 秒以上的數據，作為此次的研究分析。

1、桃花心木種子寬 2 和 2.5 公分，長度與飛行時間的關係

表 4-2 寬 2 和 2.5 公分時，長與桃花心木飛行時間的關係統計

長(公分)	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	總計	
時間 (秒)	1	0	0	1	3	3	4	2	1	0	0	14
	1.1	0	0	1	3	2	2	4	0	0	0	12
	1.2	0	2	3	3	4	2	0	0	0	0	14
	1.3	0	0	4	3	2	3	0	1	0	0	13
	1.4	0	0	3	3	3	0	3	0	1	0	13
	1.5	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0	5
	1.6	2	0	2	1	2	2	2	0	0	0	11
	1.7	0	0	2	1	2	1	1	1	0	0	8
	1.8	0	0	1	1	1	2	0	0	0	0	5
	1.9	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
2	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	3	
總計	2	2	17	20	24	18	13	3	1	0	100	



我的發現：在寬 2 和 2.5 公分，不同長度的種子

- (1) 長度 9 公分~11 公分飛行時間較久，而長度 10 公分的種子飛行時間最久。
- (2) 低於 8.5 公分或高於 11.5 公分，超過 1 秒的數量明顯變少。

2、桃花心木種子寬 2 和 2.5 公分，長度與飛行圈數的關係

表 4-2 寬 2.5 公分時，長與桃花心木飛行圈數的關係統計

長(公分)	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5
圈數	10	0	0	2	2	2	2	1	1	0
	11	0	0	2	3	4	5	1	0	0
	12	0	0	2	5	4	3	2	0	0
	13	1	0	0	1	3	1	0	0	0
	14	0	0	4	4	4	0	0	0	0
	15	0	0	5	1	1	3	0	0	0
	16	0	1	1	1	3	1	1	0	0
	17	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	18	0	0	1	1	0	0	0	0	0
	19	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	0	0	1	0	0	0	0	0	0
總計	1	1	19	19	22	15	6	1	1	0



我的發現：在寬 2 和 2.5 公分，不同長度的種子

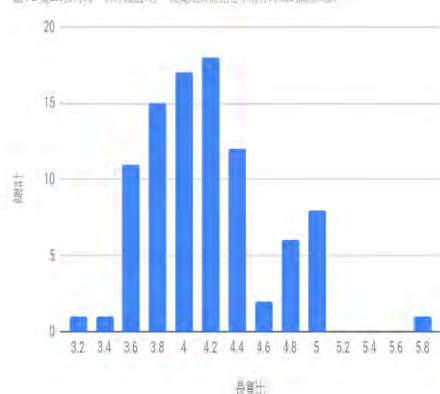
- (1) 長度 9 公分~11 公分飛行圈數較多，長度 10 公分的種子飛行圈數最多。
- (2) 低於 8.5 公分或高於 11.5 公分，圈數明顯變少。

3、桃花心木種子寬 2 和 2.5 公分，長寬比與飛行時間的關係

表 4-2 寬 2.5 公分時，長寬比與桃花心木飛行時間的關係統計

長(公分)	3.2	3.4	3.6	3.8	4	4.2	4.4	4.6	4.8	5	5.2	5.4	5.6	5.8
圈數	0	0	1	3	3	4	2	0	0	0	0	0	1	0
	0	0	1	3	2	2	4	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	0	2	1	2	0	0	1	3	0	0	0	3
	0	0	2	1	1	3	0	1	2	1	0	0	0	1
	0	0	3	2	2	0	3	0	2	1	0	0	0	1
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3	0	0	0	3
	1	0	1	1	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	2	1	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	0	0	1	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0
	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	11	15	17	18	12	2	6	8	0	0	0	1
3.2	3.4	3.6	3.8	4	4.2	4.4	4.6	4.8	5	5.2	5.4	5.6	5.8	0
總計	0	0	1	3	3	4	2	0	0	0	0	0	0	1

圖4-2 寬2.5公分時，飛行超過1秒，長寬比與桃花心木飛行時間的關係統計



我的發現：

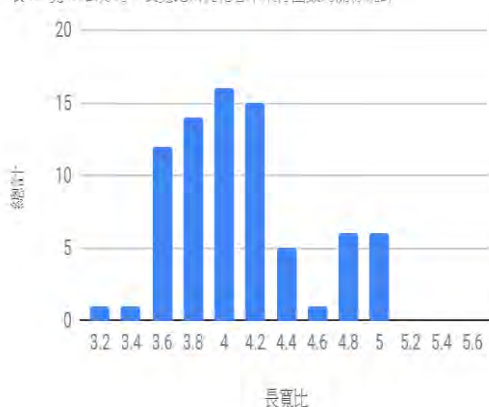
- (1)長寬比集中在 3.6~4.4，飛行超過一秒的數量較多。
- (2)長寬比在 3.6~4.2，有長寬比越大飛行超過 1 秒數量越多的趨勢。

4、桃花心木種子寬 2 和 2.5 公分，長寬比與飛行圈數的關係

表 4-2 寬 2.5 公分時，長寬比與桃花心木飛行圈數的關係統計

長寬比	3.2	3.4	3.6	3.8	4	4.2	4.4	4.6	4.8	5	5.2	5.4	5.6	5.8
圈數	10	0	0	2	1	2	2	1	2	0	0	0	0	0
	11	0	0	2	2	2	5	1	0	1	2	0	0	0
	12	0	0	0	4	2	3	2	0	1	2	0	0	0
	13	1	0	0	0	1	1	0	0	1	2	0	0	0
	14	0	0	2	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	0	0	3	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0
	16	0	1	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0
	17	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
	18	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	19	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
總計	1	1	12	14	16	15	5	1	6	6	0	0	0	0

表4-2 寬2.5公分時，長寬比與桃花心木飛行圈數的關係統計



我的發現：

- (1)長寬比在 3.6~4.2 飛行圈數可以到達 10 圈以上。
- (2)長寬比等於 4 時，飛行圈數最多。

小結：

- 1、長度 9 公分~11 公分飛行時間較久而且大多數圈數大於 10 圈以上。
- 2、長度 10 公分的種子飛行時間與旋轉圈數都是最多的。
- 3、長寬比集中在 3.6~4.2，飛行時間可以超過一秒，而且圈數大於 10 圈以上。
- 4、長寬比等於 4 時，飛行圈數最多。

研究五：桃花心木重心與飛行時間的關係

我們猜測種子飛行除了與長寬有關外也會與重心有關係。因此，接下來我們將探討桃花心木種子的重心位置與飛行的關係。

(一)、研究目的

瞭解桃花心木種子的重心位置與飛行的關係。

(二)、研究方法

1、種子飛行實驗的操作與拍攝

將種子放置於線控式自由落下測試器後，用手機攝影種子落下的情況，並記錄時間。

2、計算與分析

- (1)計算桃花心木落下的飛行時間及旋轉次數。
- (2)以 EXCEL 軟體篩選寬 2.5 公分、落下時間超過 1.5 秒且旋轉圈數大於 15 圈的數據。
- (3)製作點狀圖，分析種子的重心分布情況。

(三)、實驗器材

手機(具有慢速攝影)、計時器、線控式自由落下測試器。

(四)、實驗結果

表 5-1 不同長度的重心位置

	8cm 種子的重心位置	9cm 種子的重心位置	9.5cm 種子的重心位置
全部種子	<p>圖 5-1 桃花心木種子的重心位置(8cm)</p>	<p>圖 5-2 桃花心木種子的重心位置(9cm)</p>	<p>圖 5-3 桃花心木種子的重心位置(9.5cm)</p>
飛行較久	<p>圖 5-1 桃花心木種子的重心位置(8cm)</p>	<p>圖 5-4 桃花心木種子的重心位置(9cm)-飛行時間超過 1.5 秒</p>	<p>圖 5-5 桃花心木種子的重心位置(9.5cm)：飛行時間超過 1.5 秒</p>
旋轉圈數多	<p>圖 5-1 桃花心木種子的重心位置(8cm)</p>	<p>圖 5-6 桃花心木種子的重心位置(9cm)-旋轉圈數超過 15 圈</p>	<p>圖 5-7 桃花心木種子的重心位置(9.5cm)-旋轉圈數超過 15 圈</p>

	10cm 種子的重心位置	10.5cm 種子的重心位置	11cm 種子的重心位置
全部種子	圖5-4 棉花心木種子的重心位置(10cm)	圖5-5 棉花心木種子的重心位置(10.5cm)	圖5-6 棉花心木種子的重心位置(11cm)
飛行較久	圖5-4-1 棉花心木種子的重心位置(10cm)：飛行時間超過1.5秒	圖5-5-1 棉花心木種子的重心位置(10.5cm)：飛行時間超過1.5秒	圖5-6-1 棉花心木種子的重心位置(11cm)：飛行時間超過1.5秒
旋轉圈數多	圖5-4-2 棉花心木種子的重心位置(10cm)：旋轉圈數超過15圈	圖5-5-2 棉花心木種子的重心位置(10.5cm)：旋轉圈數超過15圈	圖5-6-2 棉花心木種子的重心位置(11cm)：旋轉圈數超過15圈

我的發現：

(1) 長度 8cm：

- 種子的飛行時間都大於 1.5 秒，旋轉圈數多於 15 圈。
- 飛行時間大於 1.5 秒：寬重心位置在 1cm~1.5cm，長重心在 1.56cm~2.3cm。
- 旋轉圈數大於 15 圈：寬重心位置在 1cm~1.5cm，長重心在 1.56cm~2.3cm。

(2) 長度 9cm：

- 飛行時間大於 1.5 秒：寬重心集中在 0.77cm~1.71cm，長重心集中在 2.21cm~2.95cm。
- 旋轉圈數大於 15 圈：寬重心集中在 0.76cm~1.27cm，長重心集中在 1.56cm~2.48cm。

(3) 長度 9.5cm：

- 飛行時間大於 1.5 秒：寬重心集中在 0.77cm~1.3cm，長重心集中在 1.23cm~2.97cm。
- 旋轉圈數大於 15 圈：寬重心集中在 0.77cm~1.36cm，長重心集中在 1.42cm~1.94cm。

(4) 長度 10cm：

- 飛行時間大於 1.5 秒：寬重心位置集中在 0.74cm~1.05cm，長重心集中在 1.36cm~2.21cm。
- 旋轉圈數大於 15 圈：重心位置集中在 0.9cm~1.05cm，長重心集中在 1.61cm~2.21cm。

(5) 長度 10.5cm：

- 飛行時間大於 1.5 秒：寬重心位置集中在 0.92cm~0.99cm，長重心集中在 1.51cm~2.09cm。
- 旋轉圈數大於 15 圈：寬重心位置集中在 0.93cm~1.26cm，長重心集中在 1.57cm~1.87cm。

(6) 長度 11cm：

- 長度 11cm 的種子，飛行狀態都不好。
- 旋轉圈數大於 15 圈：寬重心位置在 0.78cm，長重心位置在 1.34cm。

小結：

飛行良好的種子，寬重心會分布在離肋 0.77~1.2cm 的範圍，長重心在種子莢下方往上數 1.56~2.48cm 的範圍。飛行良好的種子重心位置會落在寬的三分之一、長的五分之一位置上。

研究六：桃花心木建模——種子長度與飛行的關係

根據桃花心木種子「長寬比為 3.2、重心位置在寬的三分之一位置，長的五分之一位置上，能有較多的飛行時間與旋轉圈數」。我們將長寬比的長度設為操作變因，種子莢的折數設為控制變因，探討紙種子的種子長度與飛行的關係。

(一)、研究目的

依實體研究結果，建模出紙種子，並探長度是否和紙種子在飛行時的時間或旋轉圈數有關係。

(二)、研究器材

紙種子(六種長度的紙種子，共 48 個)、線控式自由落下測試器

(三)、研究方法

1、紙種子建模

(1)寬度：2.5cm。

(2)長度：8cm、9cm、9.5cm、10cm、10.5cm 和 11cm。

(3)重量：1 折、3 折、5、7 折、9 折、11 折、13 折和 15 折。

2、飛行測試並分析討論數據

在一公尺處試驗種子落下(每個種子試驗 5 次)，紀錄時間與圈數，討論長度與飛行的關係。

(四)、實驗結果

1、不同長度與種子飛行的關係

(1) 紙種子的折數：1 折

表 6-1 種子長度與飛行的關係(折數：1 折)

編號	折數	長	時間(平均)	圈數(平均)
w08-01	1	8	1.54	4.6
w09-01	1	9	1.66	5.2
w09.5-01	1	9.5	1.58	3.8
w10-01	1	10	1.558	2.6
w10.5-01	1	10.5	1.86	0.8
w11-01	1	11	1.522	2.6

圖 6-1 折的次數與飛行的關係(1 折)



我的發現：

長度越短，旋轉圈數越多。10.5cm 飛行時間最久，但旋轉圈數最少，因在空中滑行的時間較久。

(2) 紙種子的折數：3 折

表 6-2 種子長度與飛行的關係(折數：3 折)

編號	折數	長	時間(平均)	圈數(平均)
w08-03	3	8	1.818	7.6
w09-03	3	9	1.88	7.2
w09.5-03	3	9.5	1.66	5.2
w10-03	3	10	2.058	5
w10.5-03	3	10.5	1.4	2.6
w11-03	3	11	1.17	2.8

圖6-2 折的次數與飛行的關係(3折)



我的發現：

長度越短，旋轉圈數越多。8cm 長的紙種子，飛行時間長(前三名)且旋轉圈數多。

(3) 紙種子的折數：5 折

表 6-3 種子長度與飛行的關係(折數：5 折)

編號	折數	長	時間(平均)	圈數(平均)
w08-05	5	8	2.146	11
w09-05	5	9	1.524	7.6
w09.5-05	5	9.5	1.28	4.4
w10-05	5	10	1.318	5.4
w10.5-05	5	10.5	1.58	5.2
w11-05	5	11	0.92	2

圖6-3 折的次數與飛行的關係(5折)



我的發現：

- 旋轉圈數：8cm 最多，9cm 第二，10cm 第三。
- 飛行時間：8cm 最久，9cm 第二，10cm 第三。
- 在重量為 5 折的紙種子中，飛行良好的長度為 8cm、9cm 和 10cm。

(4) 紙種子的折數：7 折

表 6-4 種子長度與飛行的關係(折數：7 折)

編號	折數	長	寬	時間(平均)	圈數(平均)
w08-07	7	8	2.5	1.49	8.6
w09-07	7	9	2.5	1.39	9.4
w09.5-07	7	9.5	2.5	1.46	4.2
w10-07	7	10	2.5	1.48	6.4
w10.5-07	7	10.5	2.5	1.4	5
w11-07	7	11	2.5	1.062	3.2

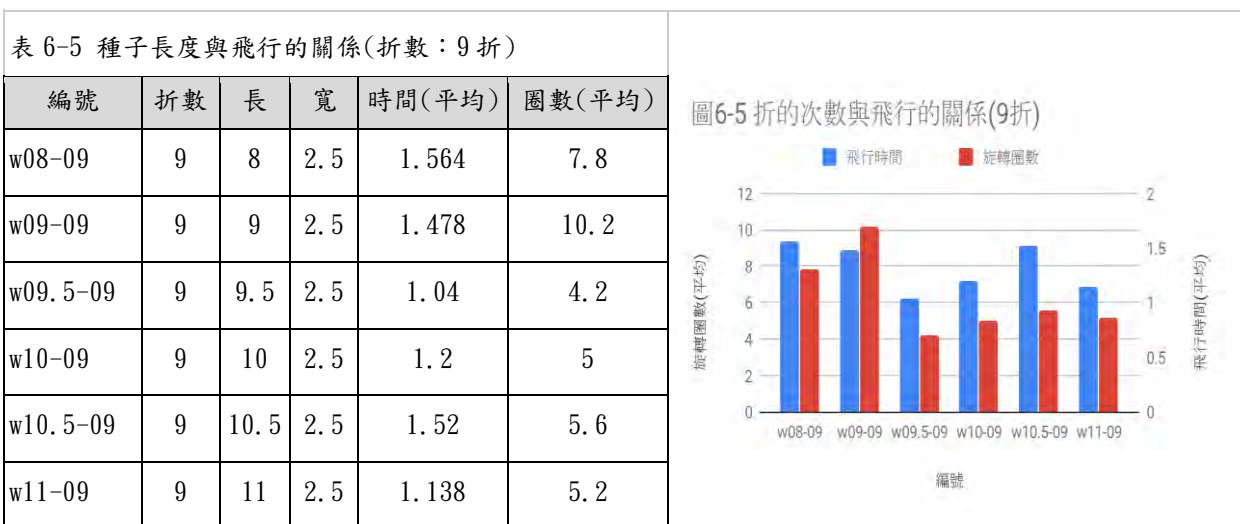
圖6-4 折的次數與飛行的關係(7折)



我的發現：

- 旋轉圈數：長度為 9cm 最多，8cm 第二，7cm 第三，11cm 最少。
- 飛行時間：8cm、9.5cm、10cm 和 10.5cm 差不大，長度與飛行時間無明顯的關係。
- 在重量為 7 折的紙種子中，飛行良好的長度為 9cm、8cm 和 10cm。

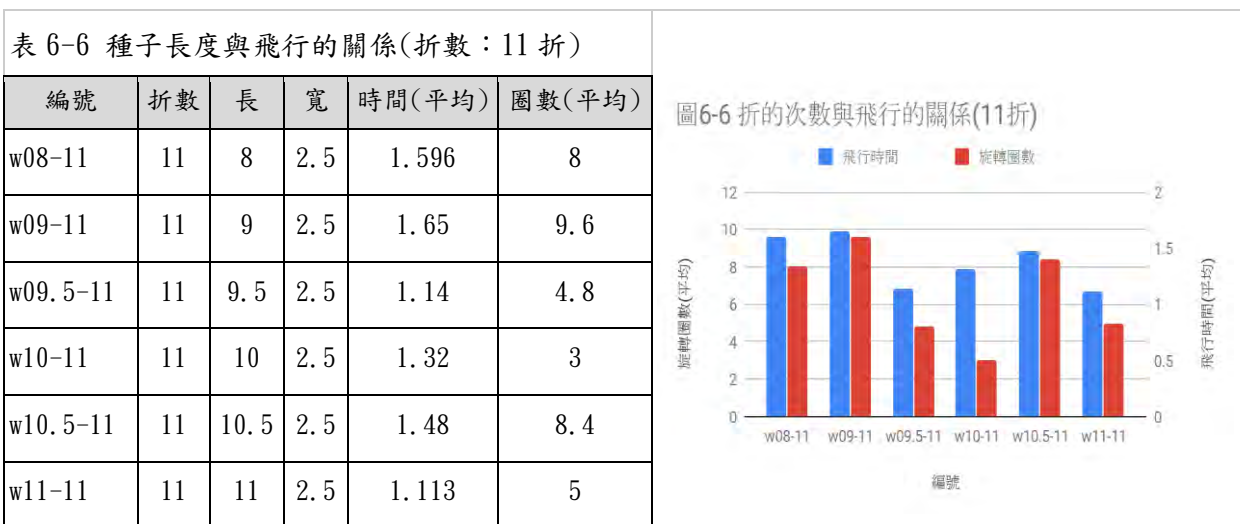
(5) 紙種子的折數：9 折



我的發現：

- 飛行時間：長度為 8cm 最久，10.5cm 第二，9cm 第三。
- 旋轉圈數：長度為 9cm 最多，8cm 第二，10.5cm 第三。
- 在重量為 9 折的紙種子中，飛行良好的長度為 9cm、8cm 和 10.5cm。

(6) 紙種子的折數：11 折



我的發現：

- 飛行時間：長度為 9cm 最久，8cm 第二，10.5cm 第三。
- 旋轉圈數：長度為 9cm 最多，10.5cm 第二，8cm 第三。
- 長度 8cm 和 9cm 的紙種子，飛行時間久且旋轉圈數多。
- 在重量為 11 折的紙種子中，飛行良好的長度為 9cm、8cm 和 10.5cm。

(7) 紙種子的折數：13 折

表 6-7 種子長度與飛行的關係(折數：13 折)

編號	折數	長	寬	時間(平均)	圈數(平均)
w08-13	13	8	2.5	1.826	10.4
w09-13	13	9	2.5	1.438	7.4
w09.5-13	13	9.5	2.5	1.36	10.4
w10-13	13	10	2.5	1.58	8
w10.5-13	13	10.5	2.5	1.36	8.4
w11-13	13	11	2.5	1.5	9

圖6-7 折的次數與飛行的關係(13折)



我的發現：

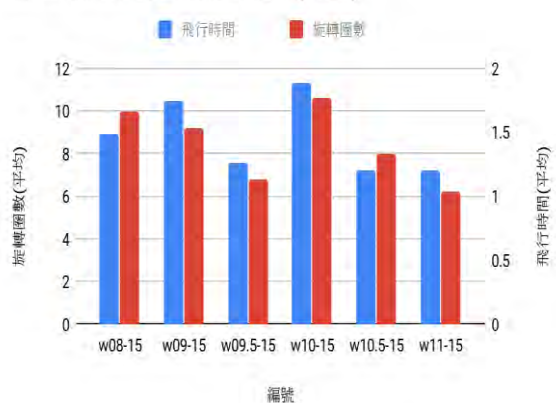
- 飛行時間：長度為 8cm 最久，10cm 第二，9cm 第三。
- 旋轉圈數：長度為 9cm 和 8cm 最多，10.5cm 第三。
- 長度 8cm 和 9cm 的紙種子，飛行時間久且旋轉圈數多。
- 在重量為 13 折的紙種子中，飛行良好的長度為 9cm 和 8cm。

(8) 紙種子的折數：15 折

表 6-8 種子長度與飛行的關係(折數：15 折)

編號	折數	長	寬	時間(平均)	圈數(平均)
w08-15	15	8	2.5	1.488	10
w09-15	15	9	2.5	1.74	9.2
w09.5-15	15	9.5	2.5	1.26	6.8
w10-15	15	10	2.5	1.88	10.6
w10.5-15	15	10.5	2.5	1.2	8
w11-15	15	11	2.5	1.2	6.2

圖6-8 折的次數與飛行的關係(15折)



我的發現：

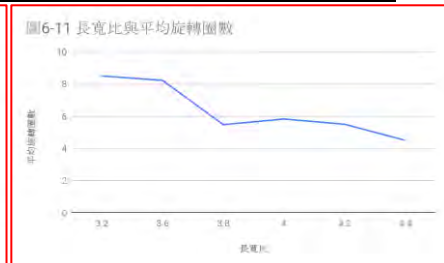
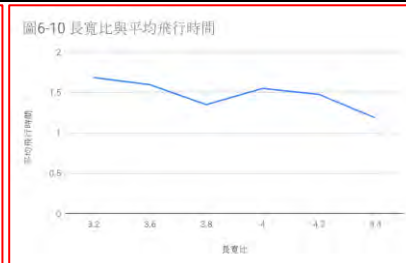
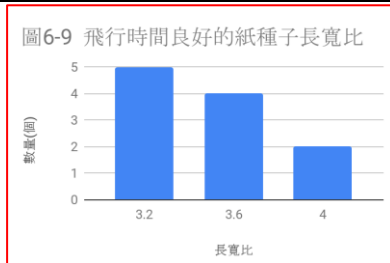
- 飛行時間：長度為 10cm 最久，9cm 第二，8cm 第三。
- 旋轉圈數：長度為 10cm 最多，8cm 第二，9cm 第三。
- 長度 10cm 和 9cm 的紙種子，飛行時間久且旋轉圈數多。
- 在重量為 15 折的紙種子中，飛行良好的長度為 9cm 和 10cm。

2、長寬比與飛行的關係

紙種子的平均飛行時間與平均旋轉圈數

表 6-9 紙種子的長寬比與飛行關係

長寬比	3.2	3.6	3.8	4	4.2	4.4
平均飛行時間(s)	1.684	1.595	1.348	1.549	1.475	1.184
平均旋轉圈數	8.5	8.225	5.475	5.825	5.5	4.5



我的發現：

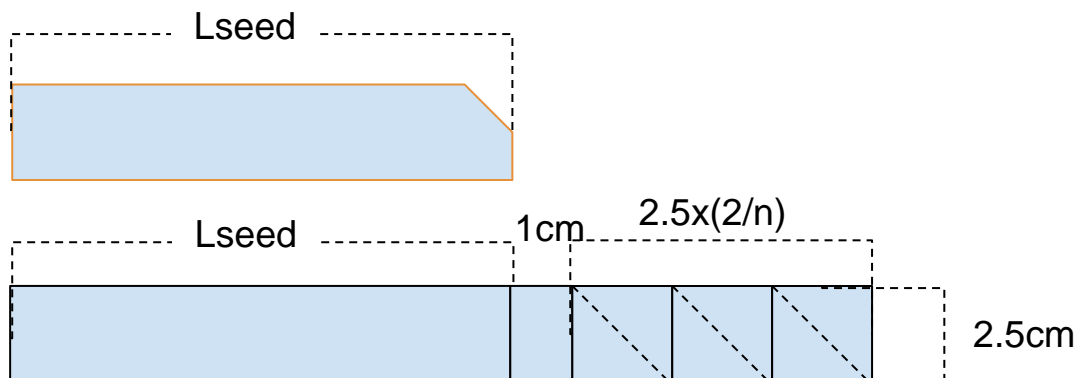
- (1) 在 48 個紙種子中，飛行時間超過 1.5 秒且旋轉圈數多於 8 圈的紙種子長寬比有三種，分別是 3.2、3.6 和 4。
- (2) 長寬比 3.2 的紙種子，平均飛行時間最久且旋轉圈數最多圈，飛行狀態最佳。
- (3) 長寬比 3.6 的紙種子，平均飛行時間和旋轉圈數都排行定二，飛行狀態次之。
- (4) 長寬比 4.4 的紙種子，平均飛行時間和旋轉圈數都最少，飛行狀態最差。

3、建模—摺紙的長度與紙種子

(1) 推導公式

- (1) 摺好的種子總長 L_{seed}
- (2) 摺好的種子寬 W
- (3) 折的次數 n
- (4) 反折的長度為 a
- (5) 折種子所需長度，摺紙長度 $(L) = W \times (1 + (n-1)/2)$
- (6) 推出紙張總長 = 種子總長 + 反折長度 + 折紙長度

$$L_{paper} = L_{seed} + a + W \times (1 + (n-1)/2)$$



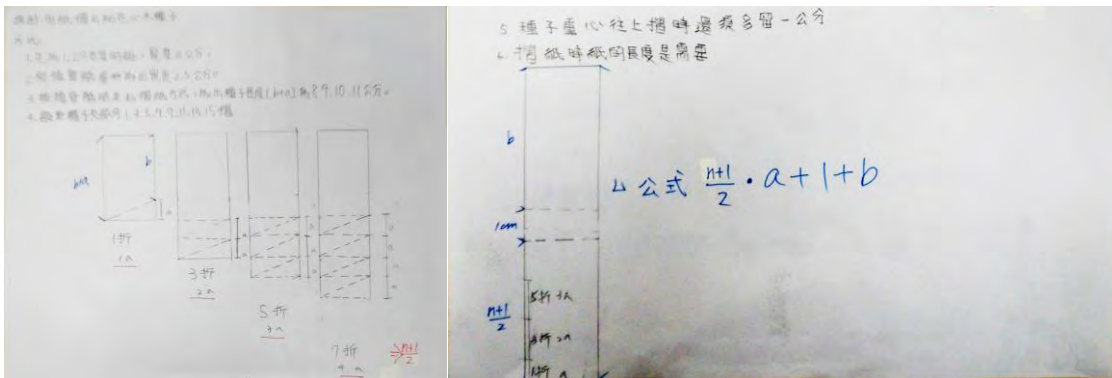
(2) 紙張公式試算

經過推導出的公式 $L_{paper} = L_{seed} + a + W * (1 + (n-1)/2)$ ，我們得到所需紙張的長度如下：

表 6-10 建模所需紙張長度表(以 11cm 為例)

折數(n)	種子長(Lseed)	反折距離(a)	紙寬(W)	總長(Lpaper) $L_{seed} + a + W * (1 + (n-1)/2)$
1	11	1	2.5	14.5
3	11	1	2.5	17
5	11	1	2.5	19.5
7	11	1	2.5	22
9	11	1	2.5	24.5
10	11	1	2.5	25.75
11	11	1	2.5	27
13	11	1	2.5	29.5
15	11	1	2.5	32

後來同學發展的另一個公式： $L_{paper} = L_{seed} + a + W * (n+1)/2$



(五)、結論

在此研究我們以不同長寬比的紙種子進行飛行實驗，透過分析實驗數據，我們發現紙種子的長度會影響飛行時的時間和旋轉圈數，長度越短，飛行時間越長，旋轉圈數越多。而在紙種子的長寬比部分，若紙種子的長寬比是 3.2(長 8cm，寬 2.5cm)時，紙種子的飛行時間較長且旋轉圈數多，在六種長寬比中，飛行狀態的良好度排名第一，其次是長寬比為 3.6(長 9cm，寬 2.5cm)的紙種子，排名第三的是長寬比為 4(長 10cm，寬 2.5cm)的紙種子排名第三。而飛行狀態最差的長寬比是 4.4(長 11cm，寬 2.5cm)。

另外在紙種子的摺紙長度部分，我們發展出兩個公式，公式是以「紙張總長 = 種子總長 + 反折長度 + 折紙長度」為概念發展出的。摺紙時紙張的長度公式如下：

公式一：「 $L_{paper} = L_{seed} + a + W * (1 + (n-1)/2)$ 」

公式二：「 $L_{paper} = L_{seed} + a + W * (n+1)/2$ 」

研究七：桃花心木建模——重量(折數)與飛行的關係

從研究六中得知，在寬 2.5 公分的情形下，長寬比越小飛行時間與旋轉圈數越好。如果改變種子重量會是如何？改變紙種子折數就能模擬種子重量改變，此研究將以不同折數的重量設為飛行實驗的操作變因，進行紙種子的飛行實驗，並討論紙種子重量與飛行的關係。

一、研究目的

根據實體桃花心木種子研究結果，探討建模種子的重量(折數)與飛行的關係。

二、研究器材

- 1、紙種子：以 A4、A3 影印紙摺出(長度相同、重量不同的紙種子，共 48 個)
- 2、尺和剪刀

三、研究方法







(一)、建模：

以研究二和研究四的結果長寬比與重心位置，摺出不同長度的桃花心木種子。

條件設定：

- 1、寬度：2.5cm。
- 2、長度：8cm、9cm、9.5cm、10cm、10.5cm 和 11cm。
- 3、重量：1 折、3 折、5、7 折、9 折、11 折、13 折和 15 折。

種子建模：

		
長度 8cm	長度 9cm	長度 9.5cm
		
長度 10cm	長度 10.5cm	長度 11cm

(二)、飛行測試

在一公尺處試驗落下情形(每個種子試驗 10 次)，紀錄紙桃花心木種子的飛行時間與旋轉圈數。

(三)、分析測試數據

分析紙種子飛行時的時間與旋轉圈數，討論飛行時間久、旋轉圈數多的紙種子長寬比關係。

(四)、建模：摺紙的長度與紙種子

四、研究結果

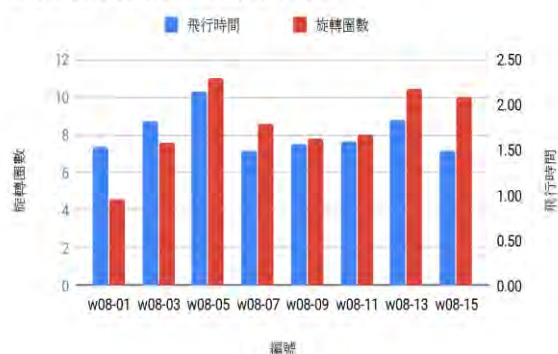
(一)、不同重量(折數)下的紙種子的飛行情況

1、長 8cm 紙種子的飛行時間與旋轉圈數

表 6-1 長度 8 公分(寬度 2.5 公分)紙種子飛行狀況

編號	折數	長	寬	時間	圈數	重量(g)
w08-01	1	8	2.5	1.54	4.6	0.8
w08-03	3	8	2.5	1.818	7.6	0.12
w08-05	5	8	2.5	2.146	11	0.27
w08-07	7	8	2.5	1.49	8.6	0.49
w08-09	9	8	2.5	1.564	7.8	0.78
w08-11	11	8	2.5	1.596	8	1.1
w08-13	13	8	2.5	1.826	10.4	1.51
w08-15	15	8	2.5	1.488	10	0.19

圖 6-1 長度 8cm 紙種子的飛行狀態



我的發現：

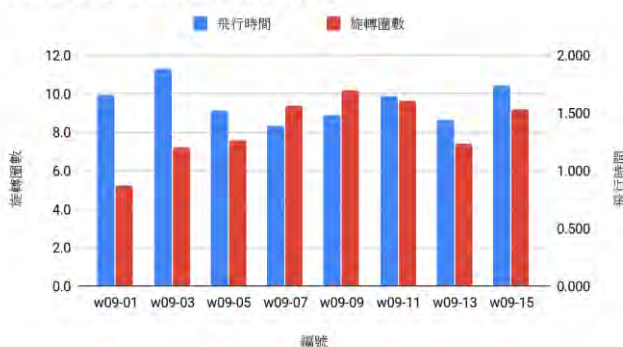
- (1)長寬比為 3.2 的紙種子，平均飛行時間幾乎都超過 1.5 秒。
- (2)飛行時間：5 折最久，13 折第二，3 折第三。飛行時間約落在 1.5~1.8 秒左右。
- (3)旋轉圈數：5 折最多，13 折第二，15 折第三，1 折最少。除了 1 折和以 3 折，旋轉圈數都能有 7 圈以上。
- (4)紙種子的飛行狀態(飛行時間長和旋轉圈數多)：5 折最佳，13 折次之。
- (5)長寬比為 3.2 的紙種子平均飛行時間為 1.684 秒，平均旋轉圈數為 8.5 圈。

2、長 9cm 紙種子的飛行時間與旋轉圈數

表 6-2 長度 9 公分(寬度 2.5 公分)紙種子飛行狀況

編號	折數	長	寬	時間	圈數	重量(g)
w09-01	1	9	2.5	1.660	5.2	1.1
w09-03	3	9	2.5	1.880	7.2	1.3
w09-05	5	9	2.5	1.524	7.6	1.5
w09-07	7	9	2.5	1.390	9.4	1.7
w09-09	9	9	2.5	1.478	10.2	1.9
w09-11	11	9	2.5	1.650	9.6	2.2
w09-13	13	9	2.5	1.438	7.4	2.4
w09-15	15	9	2.5	1.740	9.2	2.6

圖 6-2 長度 9cm 紙種子的飛行狀態



我的發現：

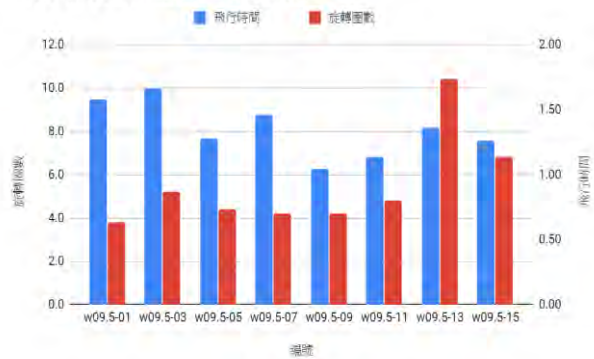
- (1)飛行時間：3 折最久，15 折第二，1 折第三，飛行時間約落在 1.4~1.8 秒左右。
- (2)旋轉圈數：9 折最多，11 折第二，7 折第三，1 折最少。7 折、9 折和 11 折的旋轉圈數都能有 8 圈以上。
- (3)紙種子的飛行狀態(飛行時間長和旋轉圈數多)：11 折最佳，15 折次之。
- (4)長寬比為 3.6 的紙種子，平均飛行時間為 1.595 秒，平均旋轉圈數為 8.225 圈。

3、長 9.5cm 紙種子的飛行時間與旋轉圈數

表 6-3 長度 9.5 公分(寬度 2.5 公分)紙種子飛行狀況

編號	折數	長	寬	時間 (平均)	圈數 (平均)	重量 (g)
w09.5-01	1	9.5	2.5	1.58	3.8	0.23
w09.5-03	3	9.5	2.5	1.66	5.2	0.28
w09.5-05	5	9.5	2.5	1.28	4.4	0.33
w09.5-07	7	9.5	2.5	1.46	4.2	0.39
w09.5-09	9	9.5	2.5	1.04	4.2	0.42
w09.5-11	11	9.5	2.5	1.14	4.8	0.48
w09.5-13	13	9.5	2.5	1.36	10.4	0.52
w09.5-15	15	9.5	2.5	1.26	6.8	0.6

圖6-3 長度9.5cm紙種子的飛行狀態



我的發現：

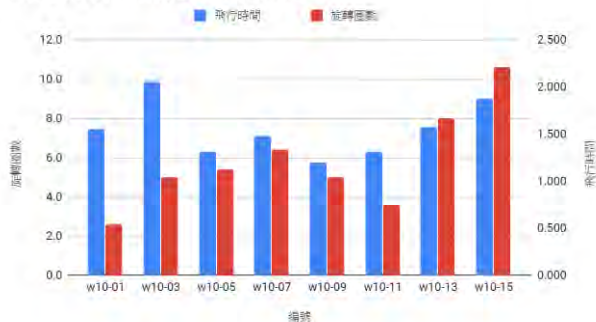
- (1)多數長寬比為 3.8 的紙種子，飛行時間在 1.5 秒以下。
- (2)飛行時間：3 折最久，1 折第二，7 折第三，飛行時間約落在 1~1.2 秒左右。
- (3)旋轉圈數：13 折最多，15 折第二。只有 13 折能達到飛行圈數 7 圈以上。
- (4)紙種子的飛行狀態(飛行時間長和旋轉圈數多)：13 折最佳。
- (5)長寬比為 3.8 的紙種子，平均飛行時間為 1.348 秒，平均旋轉圈數為 5.475 圈。

4、長 10cm 紙種子的飛行時間與旋轉圈數

表 6-4 長度 10 公分(寬度 2.5 公分)紙種子飛行狀況

編號	折數	長	寬	時間 (平均)	圈數 (平均)	重量 (g)
w10-01	1	10	2.5	1.558	2.6	1.1
w10-03	3	10	2.5	2.058	5.0	1.4
w10-05	5	10	2.5	1.318	5.4	1.6
w10-07	7	10	2.5	1.480	6.4	1.8
w10-09	9	10	2.5	1.200	5.0	2
w10-11	11	10	2.5	1.320	3.6	2.2
w10-13	13	10	2.5	1.580	8.0	2.5
w10-15	15	10	2.5	1.880	10.6	2.7

圖6-4 長度10cm紙種子的飛行狀態



我的發現：

- (1)飛行時間：3 折最久，15 折第二，13 折第三，飛行時間約落在 1.4~1.8 秒左右。
- (2)旋轉圈數：15 折最多，13 折第二，1 折最少。
- (3)紙種子的飛行狀態(飛行時間長和旋轉圈數多)：15 折最佳，13 折次之。
長寬比為 3.8 的紙種子，平均飛行時間為 1.549 秒，平均旋轉圈數為 5.825 圈。

5、長 10.5cm 紙種子的飛行時間與旋轉圈數

表 6-5 長度 10.5 公分(寬度 2.5 公分)紙種子飛行狀況

編號	折數	長	寬	時間 (平均)	圈數 (平均)	重量 (g)
w10.5-01	1	10.5	2.5	1.86	0.8	0.25
w10.5-03	3	10.5	2.5	1.4	2.6	0.29
w10.5-05	5	10.5	2.5	1.58	5.2	0.34
w10.5-07	7	10.5	2.5	1.4	5	0.41
w10.5-09	9	10.5	2.5	1.52	5.6	0.45
w10.5-11	11	10.5	2.5	1.48	8.4	0.5
w10.5-13	13	10.5	2.5	1.36	8.4	0.61
w10.5-15	15	10.5	2.5	1.2	8	0.65

圖6-5 長度10.5cm紙種子的飛行狀態



我的發現：

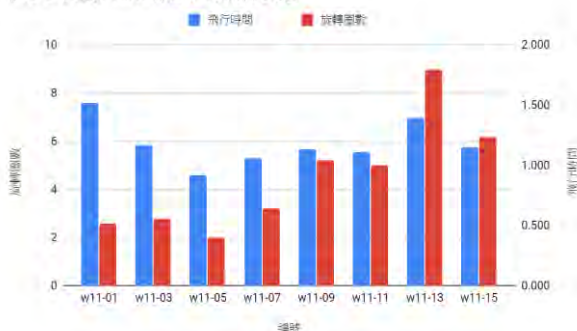
- (1) 飛行時間：1 折最久，5 折第二，9 折第三，飛行時間約落在 1.3~1.5 秒左右。
- (2) 旋轉圈數：11 折和 13 折最多，15 折次之，1 折最少。
- (3) 紙種子的飛行狀態(飛行時間長和旋轉圈數多)：11 折最佳。
- (4) 長寬比為 4.2 的紙種子，平均飛行時間為 1.475 秒，平均旋轉圈數為 5.5 圈。

6、長 11cm 紙種子的飛行時間與旋轉圈數

表 6-6 長度 11 公分(寬度 2.5 公分)紙種子飛行狀況

編號	折數	長	寬	時間	圈數	重量(g)
w11-01	1	11	2.5	1.522	2.6	0.1
w11-03	3	11	2.5	1.170	2.8	0.12
w11-05	5	11	2.5	0.920	2	0.27
w11-07	7	11	2.5	1.062	3.2	0.49
w11-09	9	11	2.5	1.138	5.2	0.78
w11-11	11	11	2.5	1.113	5	1.1
w11-13	13	11	2.5	1.393	9	1.51
w11-15	15	11	2.5	1.2	6.2	0.21

圖6-6 長度11cm紙種子的飛行狀態



我的發現：

- (1) 飛行時間：1 折最久，13 折第二，15 折第三，飛行時間約落在 1.1~1.4 秒左右。
- (2) 旋轉圈數：13 折最多，15 折次之，5 折最少。
- (3) 紙種子的飛行狀態(飛行時間長和旋轉圈數多)：13 折最佳。
- (4) 長寬比為 4.4 的紙種子，平均飛行時間為 1.184 秒，平均旋轉圈數為 4.5 圈。

研究八：桃花心木建模——種子重心與飛行的關係

我們希望能摺出能像實體桃花心木種子一樣能旋轉飛行，飛行時間久且旋轉圈數多的紙種子。之前研究發現桃花心木種子的重心約落在距離肋的 1/3 處，所以，我們將設定模擬的種子重心放在距離肋的 1/3 處，做本次研究的控制變因。

一、研究目的

依據實體研究，確認建模的種子重心位置是否和桃花心木種子旋轉有關係。

二、研究方法

(一)建模：如同研究七，建立六種長度，八種折數(重量)的紙種子模型

(二)飛行試驗

1. 設定縱向重心位置：

參考實體桃花心木數據，以不同折數的種子區分重量，折數分別有 1 折、3 折、5 折、7 折、9 折、11 折、13 折和 15 折，使得縱向重心位置能從薄翅漸漸往種子莢附近移動。

2. 設定橫向重心位置：

參考實體桃花心木數據，摺紙時將紙的重心朝向紙種子的肋橫方向摺，摺的位置在寬的三分之一處。

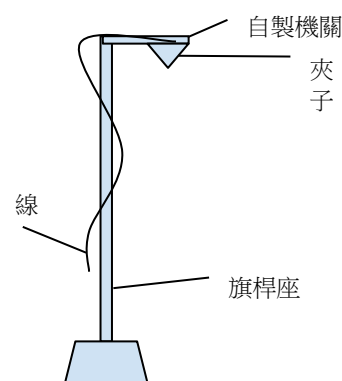
3. 分別將不同重心位置(不同折數)的紙桃花心木種子，放置在種子飛行測試設備上，進行飛行實驗並記錄數據。

(三)分析紙種子的重心位置。

(四)討論種子重心位置與飛行的關係

三、實驗器材：

70 磅 A4 紙張、70 磅 A3 紙、小刀、尺、手機、計時器、自製線控式自由落下測試器。



四、實驗結果

結果一：重心位置

表 8-1 折紙重心位置(8cm)

編號 8cm	重心(長)	重心(寬)	重心分布圖
1 折	3.59	2.12	
3 折	2.43	1.67	
5 折	2.34	1.29	
7 折	2.09	1.32	
9 折	1.91	1.2	
11 折	1.78	1.51	
13 折	1.46	1.37	
15 折	1.86	1.38	

我的發現：

- 1、折數越多重心越往種子莢的方向移動，折數越多重心越往肋的方向移動。
- 2、在第 3 折之後，重心會分布在某一區域。

表 8-2 折紙重心位置(9cm)

編號 9cm	重心(長)	重心(寬)	重心分布圖
1 折	4.66	1.34	<p>圖6- 折紙重心位置(9cm)</p>
3 折	4.24	1.43	
5 折	4.12	1.2	
7 折	2.88	1.43	
9 折	2.49	1.02	
11 折	2.88	1.16	
13 折	2.18	1.37	
15 折	2.07	1.3	

我的發現：

- 1、折數越多重心越往種子莢的方向移動，折數越多重心越往肋的方向移動。
- 2、重心垂直位置分布在 1~1.5 公分之間。

表 8-3 折紙重心位置(9.5cm)

編號 9.5cm	重心(長)	重心(寬)	重心分布圖
1 折	5.68	1.36	<p>圖6- 折紙重心位置(9.5cm)</p>
3 折	4.13	1.41	
5 折	3.9	1.31	
7 折	3.42	1.51	
9 折	2.71	1.55	
11 折	2.68	1.47	
13 折	1.77	0.86	
15 折	1.49	1.17	

我的發現：

- 1、折數越多重心越往種子莢的方向移動，折數越多重心越往肋的方向移動。
- 2、重心垂直位置分布在 0.8~1.5 公分之間。

表 8-4 折紙重心位置(10cm)

編號 10cm	重心(長)	重心(寬)	重心分布圖
1 折	5.16	2.14	<p>圖6- 折紙重心位置(10cm)</p>
3 折	4.77	1.13	
5 折	4.35	1.23	
7 折	3.08	1.59	
9 折	3.5	1.47	
11 折	3.43	1.41	
13 折	3.19	1.11	
15 折	2.53	1.17	

我的發現：

- 1、折數越多重心越往種子莢的方向移動，折數越多重心越往肋的方向移動。
- 2、第 1 折離肋很遠，接近薄翅邊緣。

表 8-5 折紙重心位置(10.5cm)

編號 8cm	重心(長)	重心(寬)	重心分布圖
1 折	5.68	1.56	
3 折	5.21	1.48	
5 折	4.43	1.37	
7 折	4.12	1.52	
9 折	3.86	1.15	
11 折	3.43	1.09	
13 折	2.94	1	
15 折	2.16	0.63	

我的發現：

- 1、折數越多重心越往種子莢的方向移動，折數越多重心越往肋的方向移動。
- 2、在第 11 折之後，重心往橫向(種子莢的方向)移動趨緩。

表 8-6 折紙重心位置(11cm)

編號 8cm	重心(長)	重心(寬)	重心分布圖
1 折	6.47	2.03	
3 折	5	2.01	
5 折	4.46	2.03	
7 折	3.69	2.02	
9 折	3.34	1.43	
11 折	3.25	1.85	
13 折	3.14	1.39	
15 折	3.11	1.52	

我的發現：

1. 折數越多重心越往種子莢的方向移動，折數越多重心越往肋的方向移動。
2. 在第 11 折之後，重心往水平方向(種子莢的方向)移動趨緩。

小結：

1. 折數越多重心越往種子莢的方向移動，折數越多重心越往肋的方向移動。
2. 折數超過七折之後，往水平方向(種子莢的方向)移動趨緩。
3. 折數在 13、15 折時，重心位置變動不大。

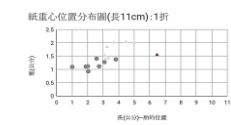
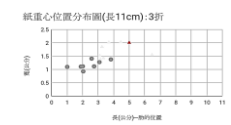
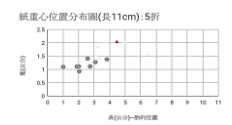
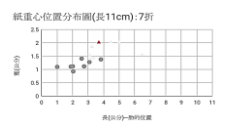
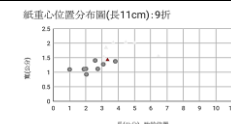
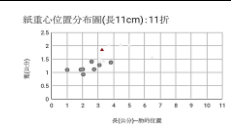
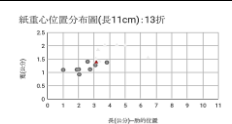
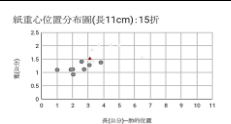
結果二：建模—飛行試驗

本結果將呈現：紙種子與實體種子的重心相對位置，以及重心位置與飛行的關係。

說明：將測量紙種子的重心位置與實體桃花心木種子(飛行時間大於 1,5 秒，旋轉圈數大於 10 圈)的重心位置作對照並製作出重心位置對照圖，其中圖中的灰色原點「●」為實體桃花心木種子的重心位置，「▲」則表示紙種子的重心位置。

(一)紙種子重心位置圖(長度 11cm、寬 2.5cm)

表 8-7 重心位置與飛行時間的關係(長度 11cm、寬 2.5cm)

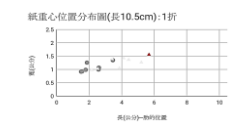
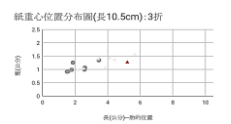
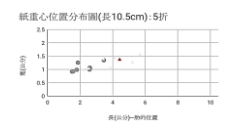
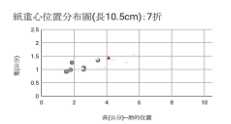
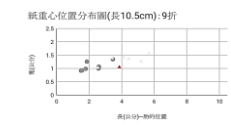
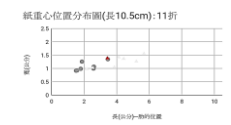
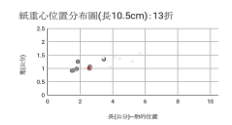
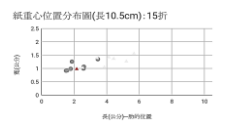
折數	1	3	5	7
重心位置 對照圖				
時間(s)	1.522	1.170	0.920	1.062
旋轉圈數	2.6	2.8	2	3.2
折數	9	11	13	15
重心分布圖				
時間時間(s)	1.138	1.113	1.500	1.20
旋轉圈數	5.2	5	9	6.2

我的發現：

1. 重心：長度 11cm，在 13、15 折時，重心會接近實際的桃花心木種子。
2. 飛行時間：1 折最久、13 折第二，飛行時間約落在 1.4~1.5 秒左右。
3. 轉動圈數：折數大於 9 折，旋轉圈數明顯增加，平均圈數落在 5~7 圈。

(二)紙種子重心位置圖(10.5 長度 cm、寬 2.5cm)

表 8-8 重心位置與飛行時間的關係(10.5 長度 cm、寬 2.5cm)

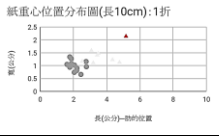
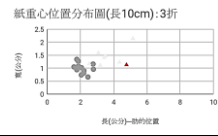
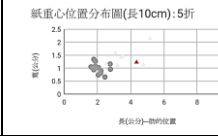
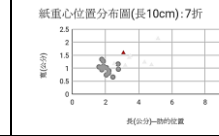
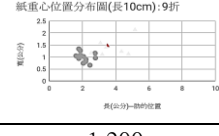
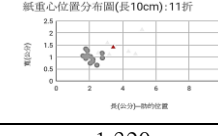
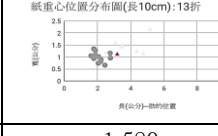
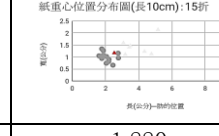
折數	1	3	5	7
重心位置 對照圖				
時間時間(s)	1.86	1.400	1.580	1.40
旋轉圈數	0.8	2.6	5.2	5
折數	9	11	13	15
重心分布圖				
時間時間(s)	1.520	1.480	1.360	1.200
旋轉圈數	5.6	8.4	8.4	8

我的發現：

1. 重心：長度 10.5 cm，在 13、15 折時，重心會接近實際的桃花心木種子。
2. 飛行時間：(1) 1 折最久、5 折第二、9 折第三。
(2) 飛行時間約落在 1.4~1.5 秒左右。
3. 轉動圈數：
 - a. 折數 11、13、15 折， $X \leq 4$ cm 旋轉圈數最多，平均圈數落在 8 圈左右。
 - b. 在 1、3 折時， $X \geq 5$ cm，旋轉圈數較少。

(三)紙種子重心位置圖(長度 10cm、寬 2.5cm)

表 8-9 重心位置與飛行時間的關係(長度 10cm、寬 2.5cm)

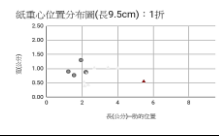
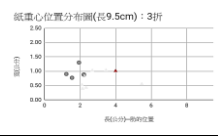
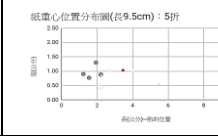
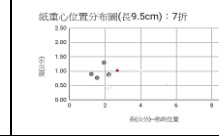
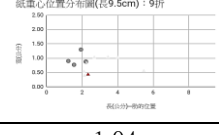
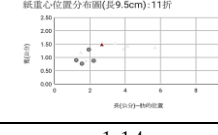
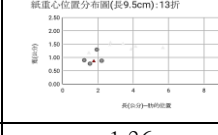
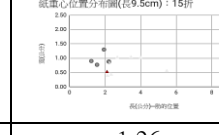
折數	1	3	5	7
重心位置 對照圖				
時間時間(s)	1.558	2.058	1.318	1.480
旋轉圈數	2.6	5.0	5.4	6.4
折數	9	11	13	15
重心分布圖				
時間時間(s)	1.200	1.320	1.580	1.880
旋轉圈數	5.0	3.0	8.0	10.6

我的發現：

1. 重心：長度 10cm，在 13、15 折時，重心會接近實際的桃花心木種子
2. 飛行時間：3 折最久、15 折第二、13 折第三。
3. 轉動圈數：
 - a. 13、15 折時旋轉圈數最多，平均圈數落在 8~11 圈。
 - b. 長度 10 cm，除了 1 折外，圈數都在 5 圈以上。

(四)紙種子重心位置圖(長度 9.5cm、寬 2.5cm)

表 8-10 重心位置與飛行時間的關係(長度 9.5cm、寬 2.5cm)

折數	1	3	5	7
重心位置 對照圖				
時間時間(s)	1.58	1.66	1.28	1.46
旋轉圈數	3.8	5.2	4.4	4.2
折數	9	11	13	15
重心分布圖				
時間時間(s)	1.04	1.14	1.36	1.26
旋轉圈數	4.2	4.8	10.4	6.8

我的發現：

1. 重心：長度 9.5cm，在 13、15 折時，重心會接近實際的桃花心木種子
2. 飛行時間：3 折最久、1 折第二、7 折第三。
3. 轉動圈數：
 - a. 13 折時旋轉圈數最多，重心與桃花心木重疊，圈數落在 10.4 圈。
 - b. 除了 1 折外，圈數都在 5 圈以上。

(五)紙種子重心位置圖(長度 9cm、寬 2.5cm)

表 8-11 重心位置與飛行時間的關係(長度 9cm、寬 2.5cm)

折數	1	3	5	7
重心位置 對照圖				
時間時間(s)	1.660	1.880	1.524	1.390
旋轉圈數	5.2	7.2	7.6	9.4
折數	9	11	13	15
重心分布圖				
時間時間(s)	1.478	1.650	1.438	1.740
旋轉圈數	10.2	9.6	7.4	9.2

我的發現：

- 重心：長度 9cm，在 9、11、13、15 折時，重心會接近實際的桃花心木種子
- 飛行時間：(1) 3 折最久、15 折第二、1、11 折第三。
(2) 長度 9cm 飛行時間都可以超過約 1.4 秒以上。
- 轉動圈數：
 - 7、9、11、15 折時旋轉圈數可達 9~10 圈。
 - 所有圈數都在 5 圈以上。

(六)紙種子重心位置圖(長度 8cm、寬 2.5cm)

表 8-12 重心位置與飛行時間的關係(長度 8cm、寬 2.5cm)

折數	1	3	5	7
重心位置 對照圖				
時間時間(s)	1.54	1.818	2.146	1.49
旋轉圈數	4.6	7.6	11	8.6
折數	9	11	13	15
重心分布圖				
時間時間(s)	1.564	1.596	1.826	1.488
旋轉圈數	7.8	8	10.4	10

我的發現：

- 重心：長度 8cm，在 5、7、9、11、13、15 折時，重心會接近實際的桃花心木種子。
- 飛行時間：(1) 5 折最久、13 折第二、3 折第三，約在 1.8 秒以上。
(2) 飛行時間都可達到約 1.5 秒以上。
- 轉動圈數：
 - 5、13、15 折時旋轉圈數最多，重心與桃花心木重疊，圈數可達 10 圈以上。
 - 除了 1 折外，圈數都在 7 圈以上。

小結：

1. 紙種子的重心位置若在實體種子的重心位置，則旋轉圈數較多。
2. 紙種子的重心位置與實體種子的重心位置距離遠，則旋轉圈數少。
3. 當相異兩個紙種子的長重心位置相同，寬重心位置不同時，寬重心靠近肋橫的紙種子，旋轉圈數會較多。(例如長 9cm 紙種子，7 折與 11 折的長重心都在 2.88，但在寬重心部分，11 折靠近肋橫，旋轉圈數較多。)
4. 旋轉圈數與飛行時間不一定成正相關。
5. 長度越短，圈數越多。

捌、討論

研究一：桃花心木初探

研究二：桃花心木種子外型——種子長、寬研究

1. 問題：桃花心木凹凹凸凸的要如何量出桃花心木種子長度與寬度？
(1) 說明：

桃花心木種子，種子莢到薄翅的寬度不同難以取捨。而測量種子長時，種子薄翅的邊緣不是呈現水平的狀況，所以在取測量點時會面臨要取最長的地方還是最短的地方。

- (2) 修改實驗：

經過討論，我們採取測量最長的邊。因此測量時會測量種子的「最長邊」與「最寬的邊」。

2. 問題：用方格紙無法找出精確的長與寬為什麼堅持用方格紙？

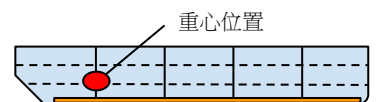
討論結果：要不要精確測量？我們討論了很久，因為桃花心不規則的外型，很難確認要取捨哪一個數據，最後還是決定不如在測量時事先估算。



研究三：研究桃花心木種子的重心位置

討論：從各種長度種子的重心位置分布圖我們可以歸納出以下幾點：

- a. 以種子寬來說，若將種子的寬度平分成三等份，其中靠近肋橫的三分之一就是它的寬重心。
- b. 以種子長來說，若將種子長度平分成五等份，其中靠近種子莢底端的五分之一就是它的長重心。



研究四：桃花心木種子外型與飛行時間的關係

問題：從 200 個飛行數據中，要如何取捨飛行時間的區間分析數據是一個頭痛的問題。

討論結果：

1. 統計分析所有的飛行數據後，我們決定先捨去少部分飛行不超過一秒的數據。
2. 由於數據中寬 2 和 2.5 公分的數據是眾數，於是決定取寬 2.5 公分的所有數據。

研究五、六、七、八：桃花心木重心與建模——長度、重量(折數)、重心位置

討論 1：紙種子的肋橫長度會不會影響飛行時的時間或旋轉圈數。

討論結果：紙種子必須具備肋橫，且肋橫長度必須和紙種子的長度一樣長，則它在飛行時才會有旋轉的情況，否則紙種子在飛行時無法旋轉。

討論 2：紙種子在飛行時重心位置主要會影響時間或旋轉圈數。

討論結果：重心位置是導致紙種子的會不會旋轉和旋轉圈數多寡的重要因素。

- a. 縱向重心位置靠近薄翅，掉落時不會旋轉，飛行時會有漂浮滑行。
- b. 調整寬重心位置，漸往肋橫移動，則旋轉圈數會有增加的情形。



玖、結論

研究一：桃花心木初探

- 1、桃花心木種子的構造有莖、葉、樹皮、花、果實和種子。
- 2、在種子成熟時會掉光所有葉子，讓種子順利飛離母體。

研究二：桃花心木種子外型——種子長、寬研究

- 1、桃花心木長度大部分分布在 9 到 11 公分。
- 2、最多桃花心木寬度分布在 2.5 公分。
- 3、桃花心木長寬比在 4 到 5 數量最多。
- 4、在第 47 屆全國科展作品『種子飛機——飛翔果實的構造分析與飛行模擬』我們發現，該研究所取樣的桃花心木種子長寬比落在 4.751，與研究結果長寬比 4~5 相呼應。

研究三：研究桃花心木種子的重心位置

- 1、相同長度，種子重心位置都很接近。
- 2、不論種子長度，大部分重心距離肋(Y)約 0.9~1.5cm 之間，距離種子(X)約在 2cm 附近。
- 3、以比例來說，重心位置大約落在靠近種子長的 1/5，靠近肋寬的 1/3 處。

研究四：桃花心木種子外型與飛行時間的關係

- 1、長度 9 公分~11 公分飛行時間較久而且大多數圈數大於 10 圈以上。
- 2、長度 10 公分的種子飛行時間與旋轉圈數都是最多的。
- 3、長寬比集中在 3.6~4.2，飛行時間可以超過一秒，而且圈數大於 10 圈以上。
- 4、長寬比等於 4 時，飛行圈數最多。

研究五：桃花心木重心與飛行時間的關係

- 1、飛行時間超過 1.5 秒且旋轉圈數多於 15 圈的桃花心木種子的重心位置分布。
 - (1)寬重心會分布在離肋的位置 0.77cm~1.2cm 的範圍內。
 - (2)長重心會分布在從種子莢下方往上數 1.56cm~2.48cm 的範圍內。
- 2、飛行良好的紙種子模型重心位置在寬的三分之一位置，長的五分之一位置上。

研究六：桃花心木建模——種子長度與飛行的關係

- 1、紙模型寬 2.5 公分時，長度越短(長寬比越小)，飛行時間越長，旋轉圈數越多。
- 2、紙種子的摺紙剪裁長度公式「紙張總長 = 種子總長 + 反折長度 + 折紙長度」
公式一：「 $L_{paper} = L_{seed} + a + Wx(1+(n-1)/2)$ 」
公式二：「 $L_{paper} = L_{seed} + a + W*(n+1)/2$ 」

研究七：桃花心木建模——重量(折數)與飛行的關係

不論紙種子長度為多少公分，將重量折成 13 折的紙種子飛行狀態良好。

- 1、最佳的重量和長度的比例是 8 公分長、13 折飛行時間長，旋轉圈數越多。

研究八：桃花心木建模——種子重心與飛行的關係

- 1、將紙種子的重心摺至寬的三分之一位置，則紙種子在飛行時的旋轉圈數較多。

拾、參考資料

莊溪。植物面面觀網站 <http://kplant.biodiv.tw/大葉桃花心木/大葉桃花心木.htm>
第 47 屆全國科展作品『種子飛機——飛翔果實的構造分析與飛行模擬』。

【評語】 080105

桃花心木種子的飛行狀態並非新議題，本研究藉由觀察實體桃花心木種子的飛行狀態，探討實體桃花心木種子的長度、寬度、長寬比以及重心位置，試驗分析種子飛行時間和旋轉圈數；並試圖建立理想桃花心木種子的模型。探究內容豐富、數據完整，作品具鄉土性與教學功能。建議未來可以突破二維平面，建議實體三維模型。

壹、研究動機：

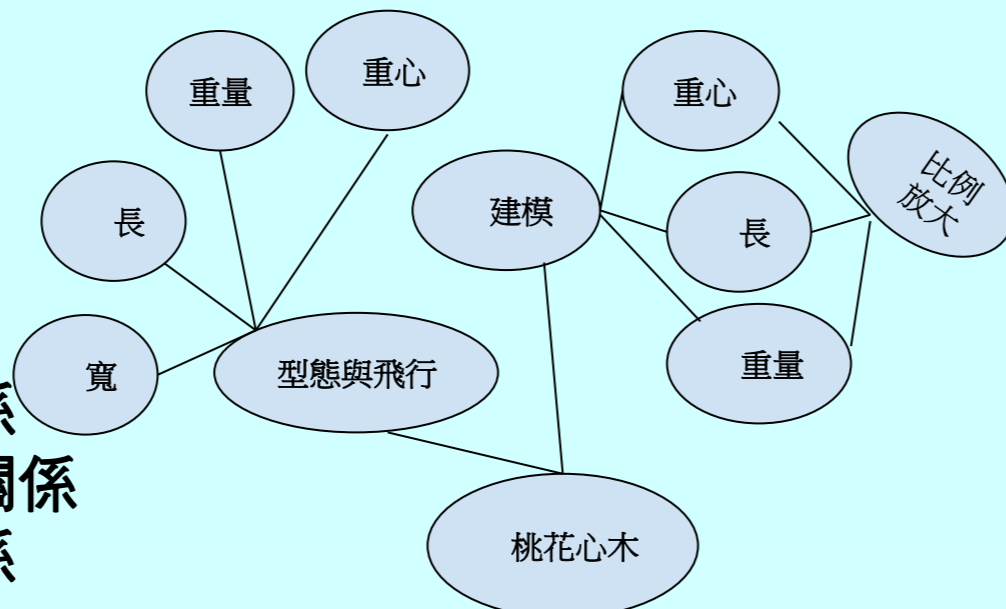
有次在田園課堂上，老師介紹了校園中的許多樹木，我們覺得有一個樹木十分特別，它的種子沒有對稱，卻會像會像竹蜻蜓一樣地旋轉飄落。我們十分好奇，為什麼它的種子那麼特別？大葉桃花心木的種子有什麼特殊的地方？是哪些地方造成它這種飛行方式？某次科學摺紙活動中，老師拿出了一種仿桃花心木種子的摺紙，紙桃花心木飛行時的狀態和真實桃花心木飛行時的狀態相似，於是我們對這個種子產生了興趣，並開始研究桃花心木種子，並且希望能摺出可轉最多圈數，且飛行時間較長的紙桃花心木種子。

貳、研究目的：

- 一、瞭解具有飛行時間1.5秒以上和旋轉圈數15圈以上的桃花心木種子，它的長度、寬度、長寬比、重量以及重心位置。
- 二、分析和討論實體桃花心木種子的測量數據，將分析結果轉化成摺紙的方式，模擬摺紙種子的飛行。
- 三、探討飛行時間長且旋轉圈數多的紙種子，它的長度、重量、重心和飛行的關係。

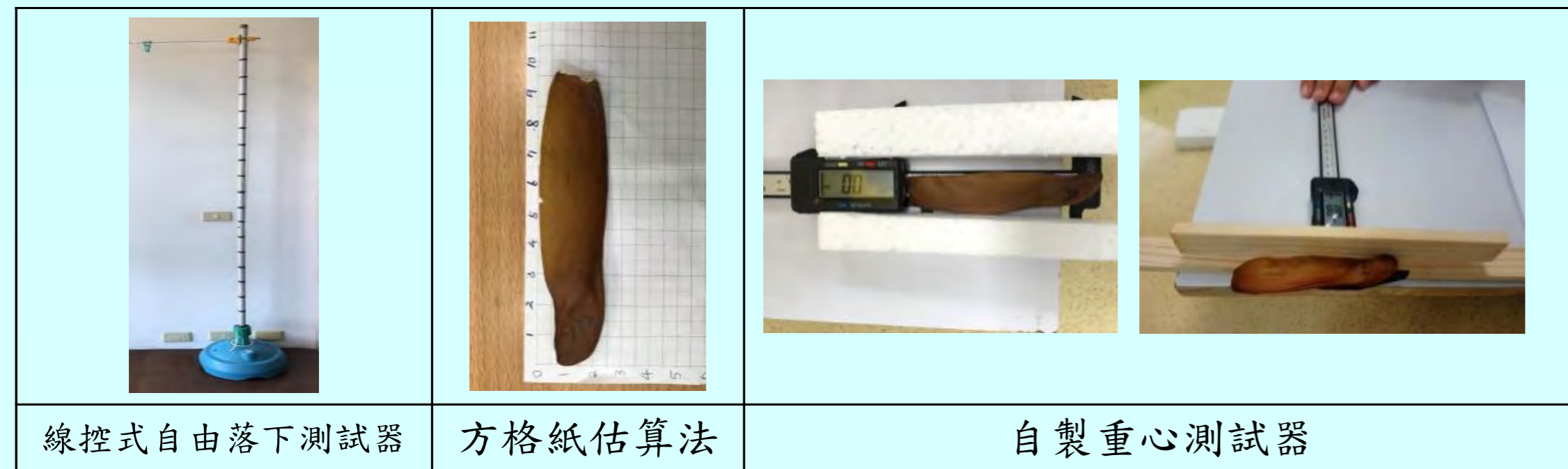
參、研究子題：

- 研究一：桃花心木初探
- 研究二：桃花心木種子外型——種子長、寬研究
- 研究三：研究桃花心木種子的重心位置
- 研究四：桃花心木種子外型與飛行時間的關係
- 研究五：桃花心木重心與飛行時間的關係
- 研究六：桃花心木建模——種子長度與飛行的關係
- 研究七：桃花心木建模——重量(折數)與飛行的關係
- 研究八：桃花心木建模——種子重心與飛行的關係



肆、研究器材與設備：

◆實驗裝置和操作方式



(一)、線控式自由落下測試器

利用旗桿、衣夾和線，做成線控開關，讓種子可從220cm高處自由落下。

(二)、自製長寬量測法：方格紙估算法

將種子放置於0.5cm x 0.5cm的方格紙上，種子底部對齊方格紙的邊線後，進行數據測量，估算超過部分，如低於1/2則捨去，大於1/2則累進。

(三)、自製重心測試器

1. 原理：利用兩條重心鉛錘線交叉點即為重心的位置的原理。找出桃花心木寬重心線與長邊的距離，以及長重心線與短邊的距離，就能得到重心的相對位置。

2. 測量：測量縱向重心、測量橫向重心



肆、研究結果：

(一)、桃花心木初探

透過觀察校園中的桃花心木以及上網收集資料的方式以了解桃花心木的構造以及生活用途。

◆我們發現

- 1、桃花心木的構造有莖、葉、樹皮、花、果實和種子。
- 2、果實有果殼，種子具有薄翅，包覆在果殼裡，當種子要飛離母體時葉子會掉光，且掉落時會向直升機螺旋槳一樣旋轉。
- 3、種子薄翅內靠近邊緣處有一條細長的肋橫。越靠近果殼的種子上反角越小，靠近內部上反角越大。
- 4、桃花心木是製作傢俱、室內裝潢及造船等的材料。



(二)桃花心木種子的長、寬研究

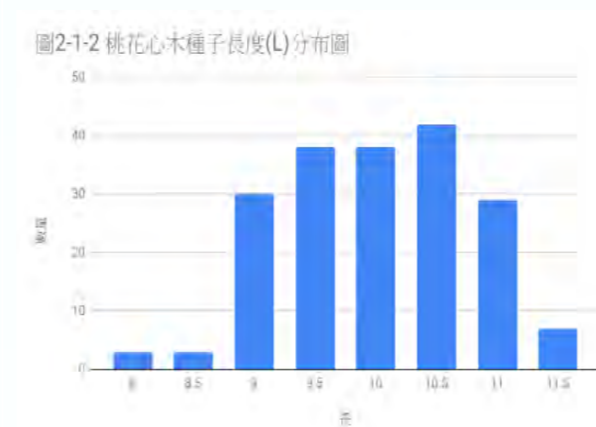
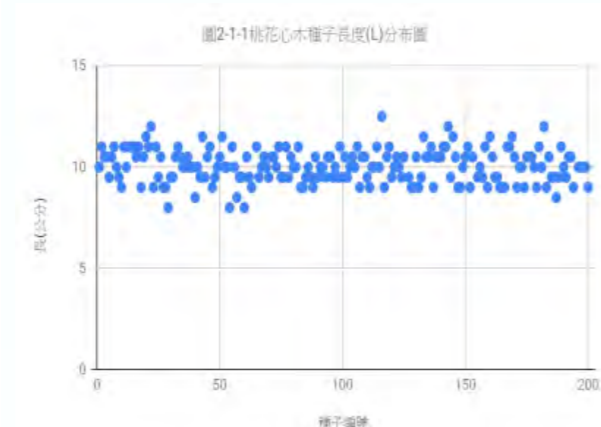
將200個桃花心木種子放置於方格子上，測量種子的長度與寬度，並且分析測量數據，討論種子長度與寬度分布範圍。

◆我們發現

1、種子長度：

- (1) 長度分布範圍在 8 cm ~ 11.5 cm，其中大部分分布在 9 ~ 11 cm。
- (2) 長度 10.5 cm 最多，在 8.5 cm 以下數量最少。
- (3) 長度超過 11 cm 數量變少。

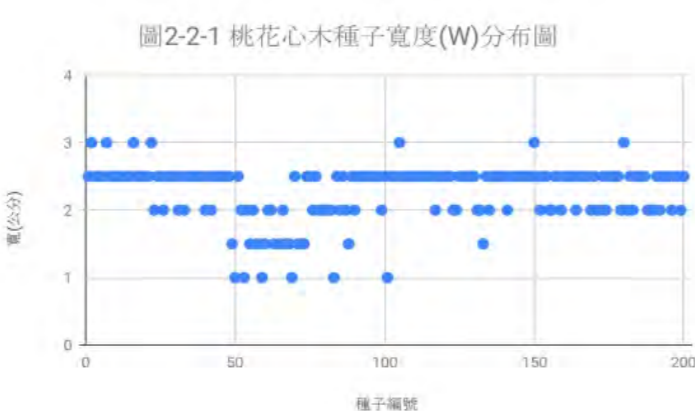
長(L) (公分)	>8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5
數量	3	3	30	38	38	42	29	7



2、種子寬度：

- (1) 全部桃花心木寬度分布在 3 ~ 1 cm。
- (2) 寬度最多分布在 2.5 cm，最少分布在 1 cm。

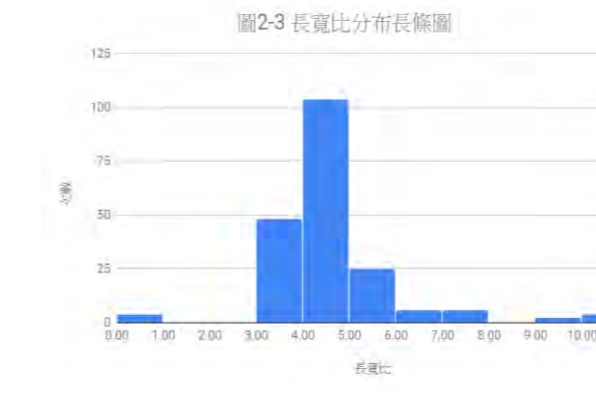
寬(W)公分	1	1.5	2	2.5	3
數量	6	14	47	125	7



3、種子長寬比：

- (1) 大部分種子的長寬比分布在3~6。
- (2) 長寬比在 4 ~ 5 數量最多。

長寬比(L/W)	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
數量	4	0	0	71	93	15	6	1



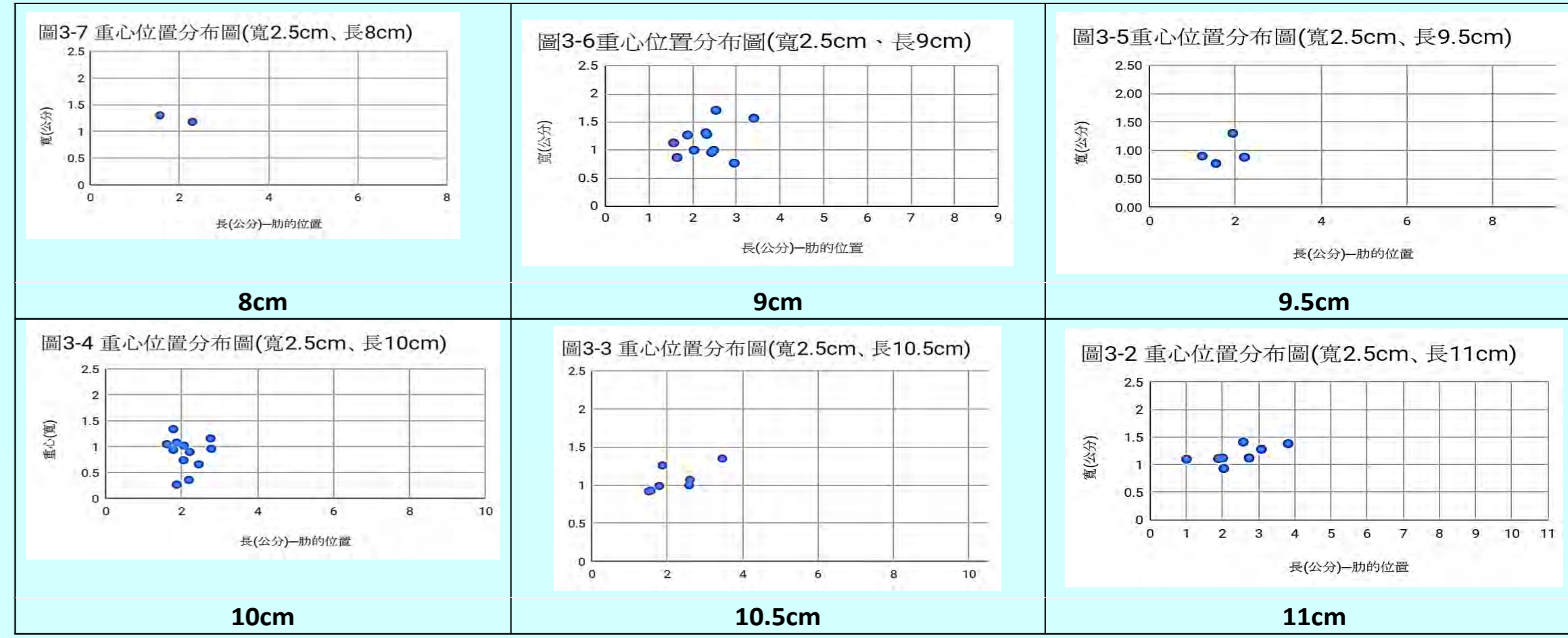
(三)桃花心木種子的重心位置

◆研究方法

- 1、將桃花心木種子的重心分成橫向與縱向，用自製重心測量儀器找出重心橫向線與重心縱向線，種子的重心位置則是橫向線和縱向線的交叉點。
- 2、取樣：篩選長度 8cm ~ 11cm 且飛行時間超過1秒的種子。
- 3、測量重心：測量種子的縱向、橫向重心，記錄數據，重複測量三次求平均值。
- 4、分析數據：將數據輸入Excel，做出重心分布圖。

◆我們發現

- 1、相同長度，種子重心位置都很接近。
- 2、長度11cm的種子：縱向重心的位置離肋很近，但橫向重心位置有明顯不同。
- 3、不論種子長度如何，重心距離肋(Y)約0.9~1.5cm之間，距離種子(X)約在2cm附近。



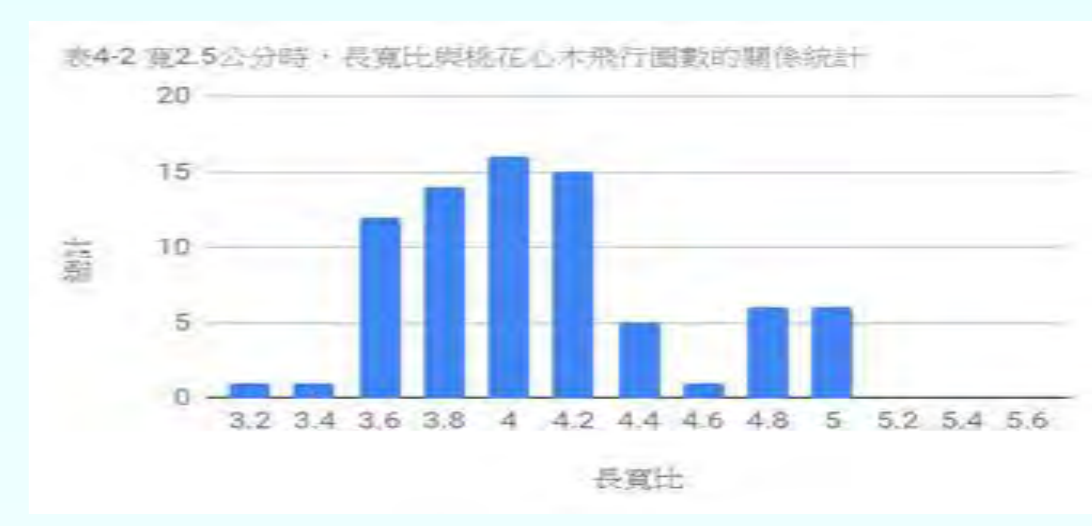
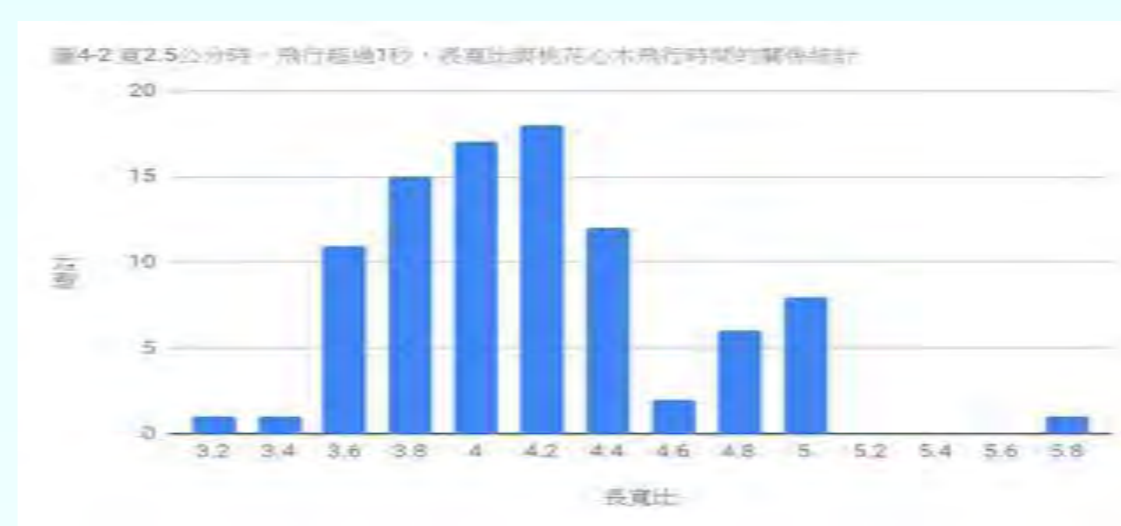
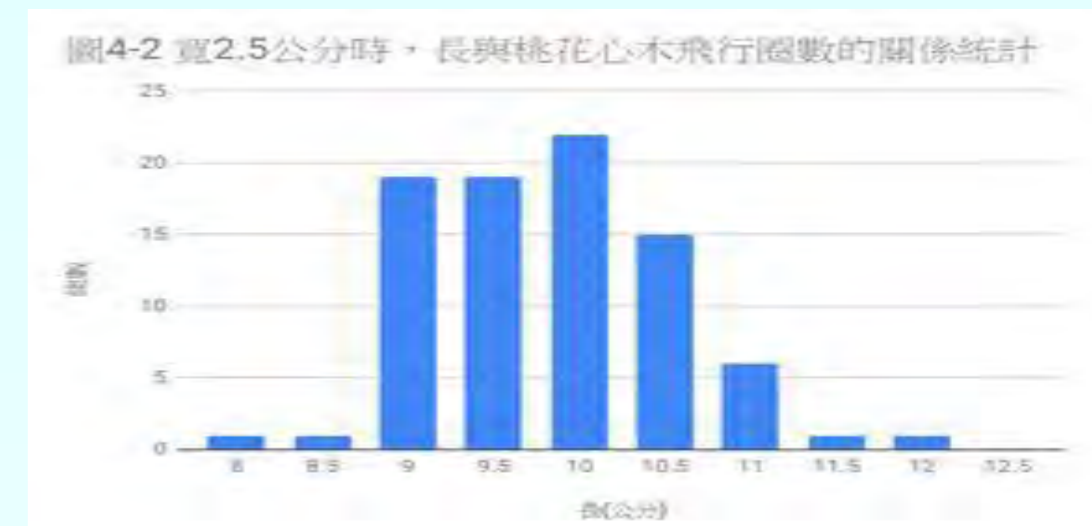
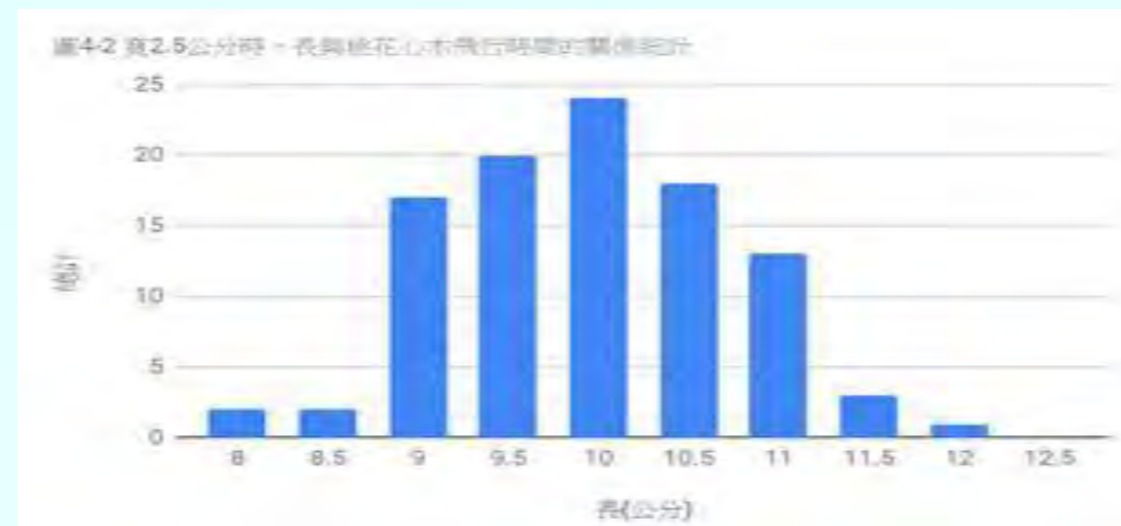
(四)桃花心木種子外型與飛行的關係

◆研究方法

- 1、將種子放置於線控式自由落下測試器後，用手機攝影種子落下的情況，並記錄時間、計算旋轉圈數。
- 2、統計和分析數據：
 - (1) 篩選種子寬度2.5cm、落下時間超過1秒且旋轉圈數大於10圈的數據。
 - (2) 以EXCEL分析：a. 長度與飛行時間、旋轉圈數的關係
b. 長寬比與飛行時間、旋轉圈數的關係

◆我們發現

- 1、長度 9 cm ~ 11 cm 飛行時間較久而且大多數圈數大於10圈以上。
- 2、長度 10 cm 的種子飛行時間與旋轉圈數都是最多的。
- 3、長寬比集中在3.6~4.2，飛行時間可以超過一秒，而且圈數大於10圈以上。
- 4、長寬比等於 4 時，飛行圈數最多。



(五)桃花心木種子重心位置與飛行的關係

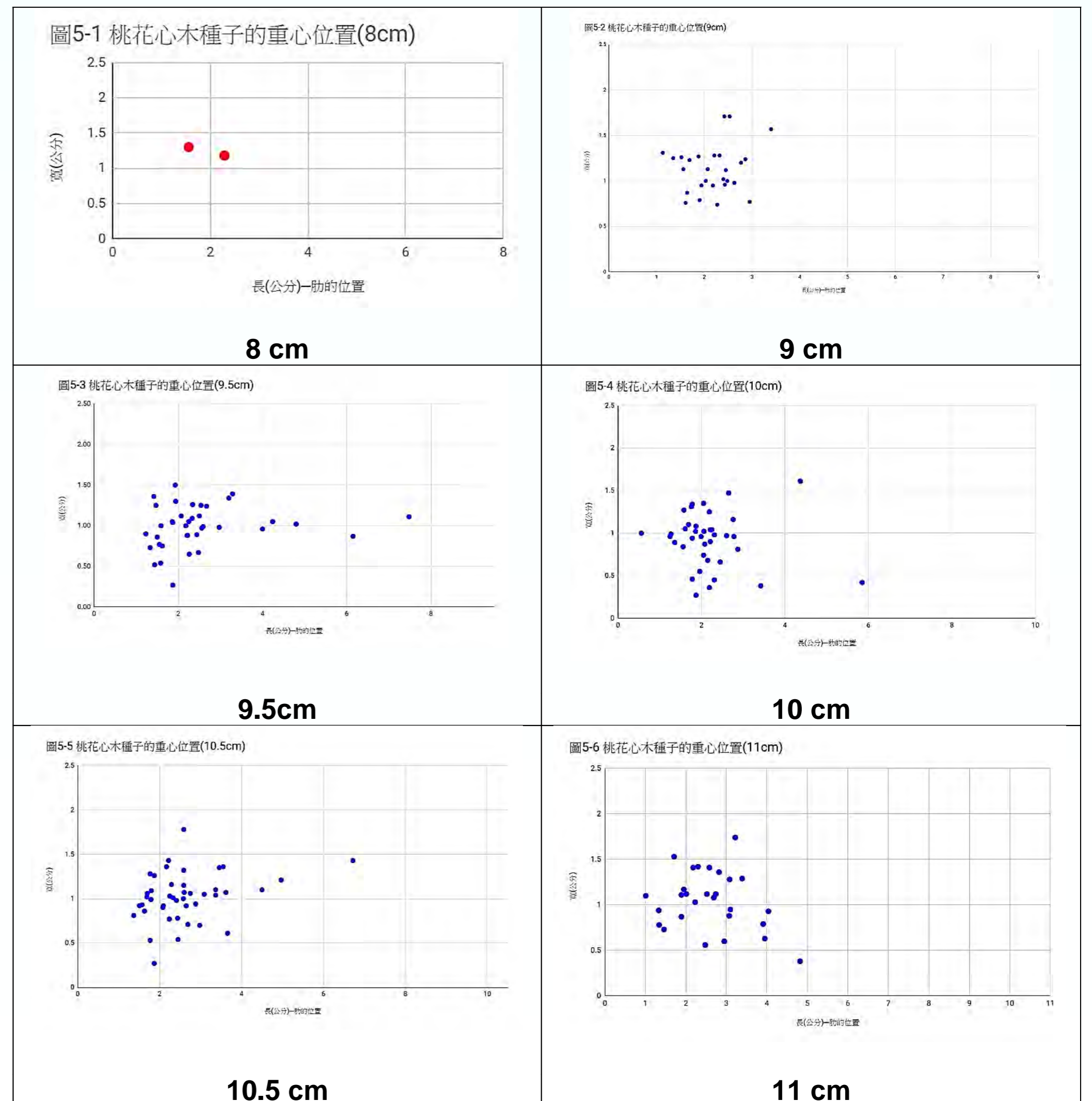
我們猜測種子飛行除了與長寬度有關外也會與重心有關係。因此探討桃花心木種子的重心位置與飛行的關係。

◆研究方法

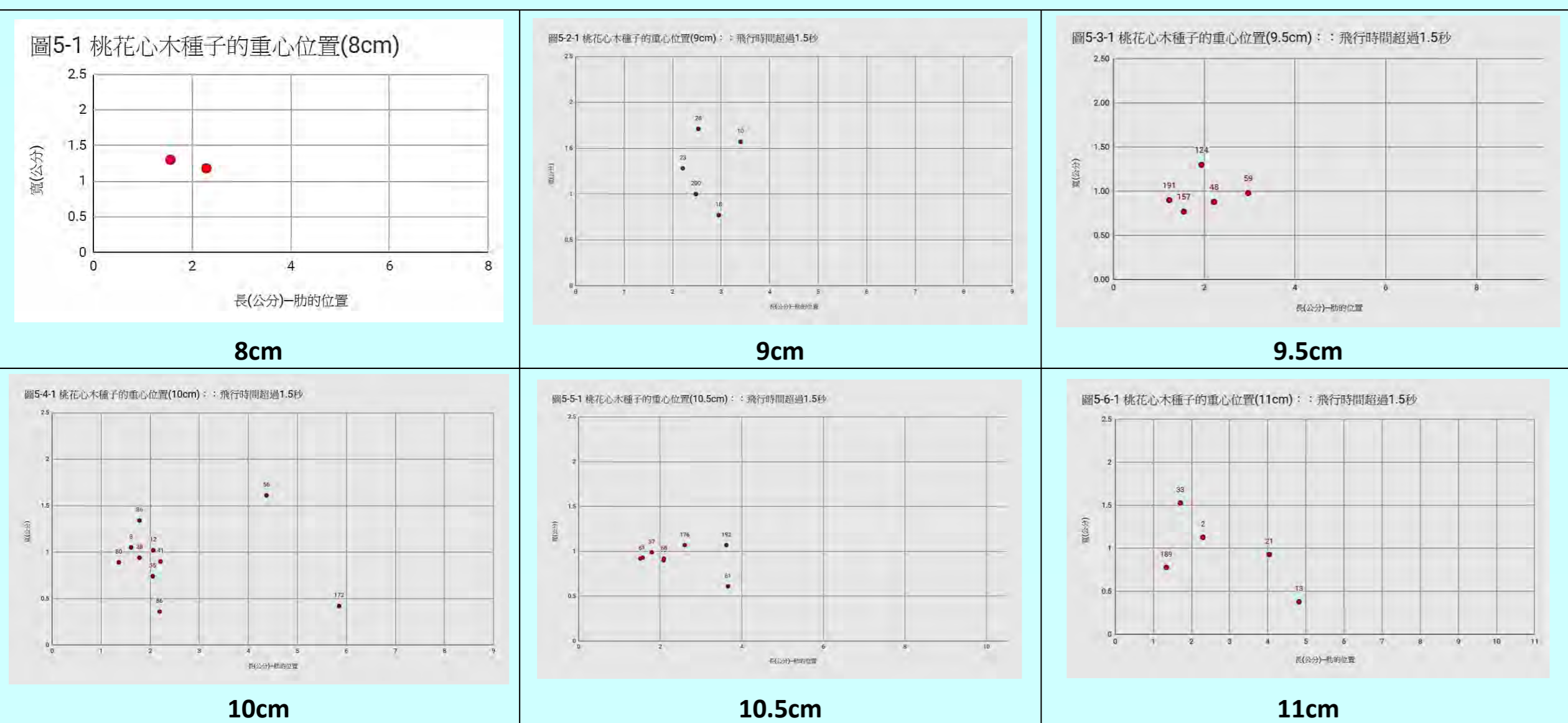
- 1、用Excel篩選出寬為2.5cm，飛行時間超過1.5秒且旋轉圈數大於15圈的種子。
- 2、分析數據：將種子重心位置製成點狀圖後，再分析和討論種子的重心分布情況。

◆我們發現

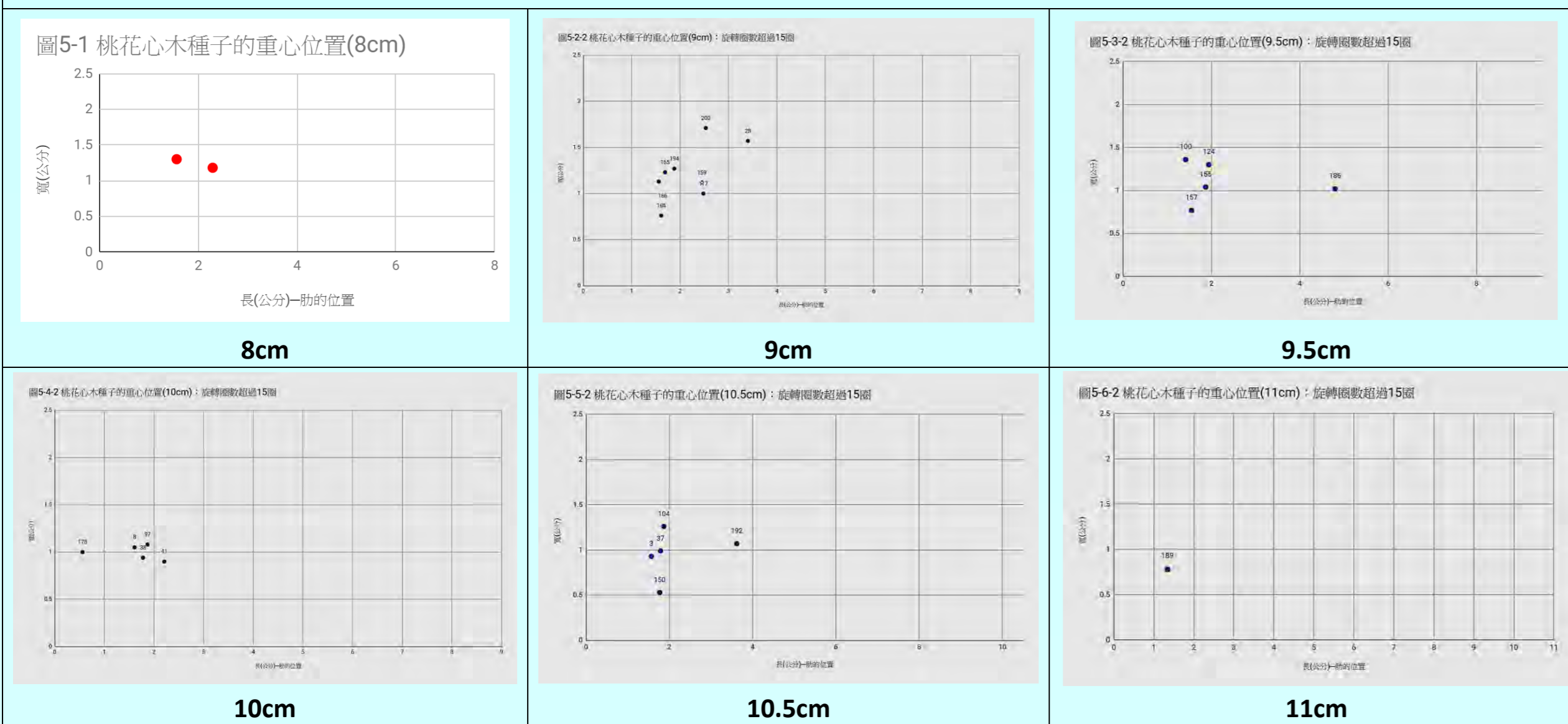
- 1、飛行良好的種子，寬重心會分布在離肋 0.77 cm ~ 1.2 cm 的範圍，長重心在種子莢下方往上數 1.56 cm ~ 2.48 cm 的範圍內。
- 2、飛行良好的種子重心位置在寬的三分之一、長的五分之一位置上。



飛行時間久的種子重心位置圖



旋轉圈數多的種子重心位置圖

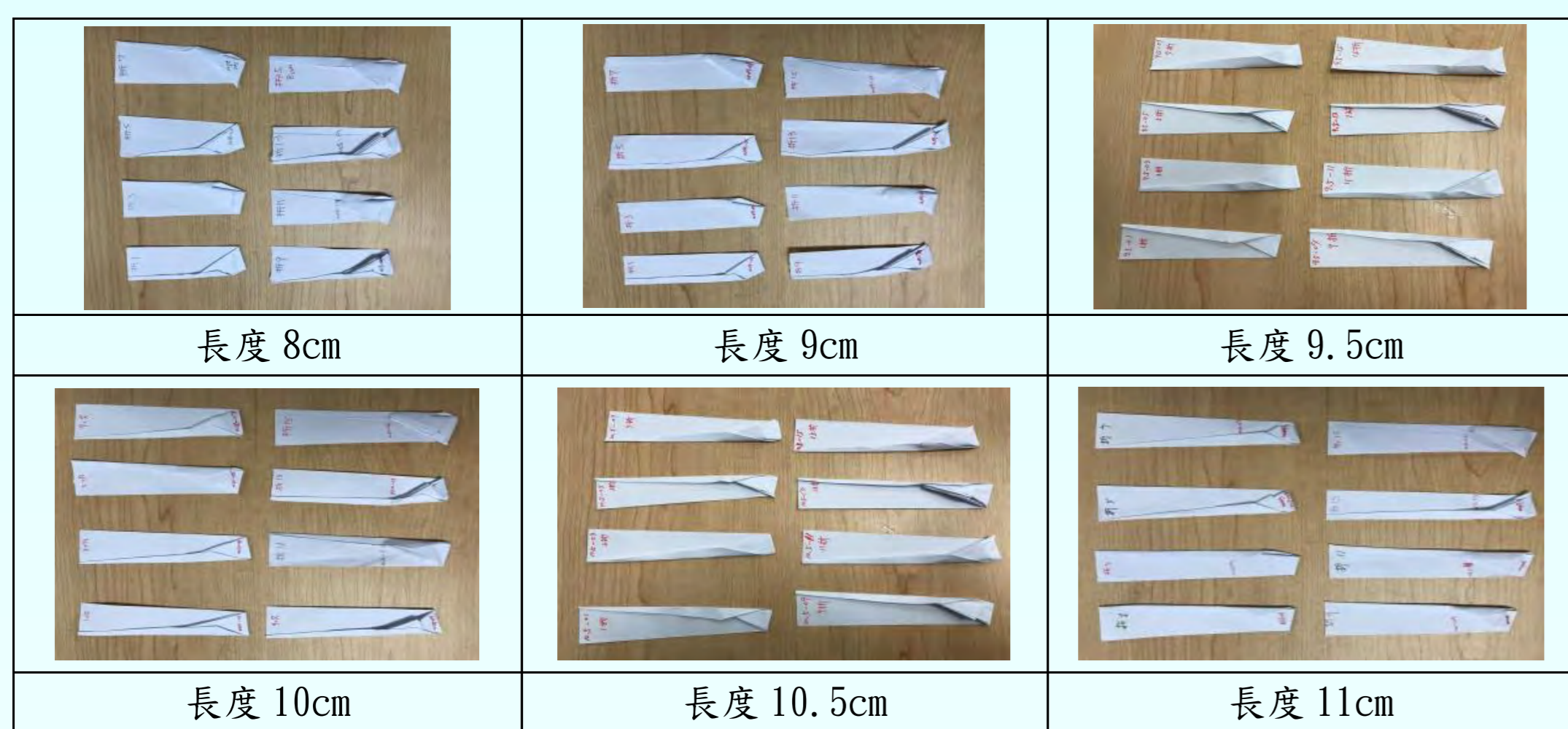


(六) 桃花心木建模——種子長度與飛行的關係

根據桃花心木種子「長寬比、重心位置在寬的三分之一位置，長的五分之一位置上，能有較多的飛行時間與旋轉圈數。」我們將長寬比的長度設為操作變因，種子莢的折數設為控制變因，探討紙種子的種子長度與飛行的關係。

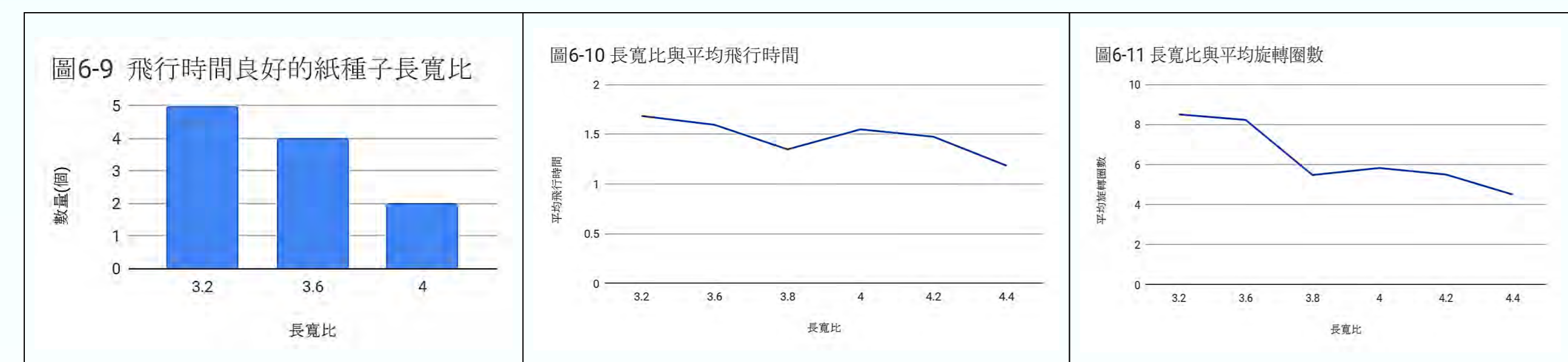
◆研究方法

- 1、紙種子建模：(1) 寬度：2.5cm。0 (2) 長度：8cm、9cm、9.5cm、10cm、10.5cm和11cm。 (3) 重量：1折、3折、5、7折、9折、11折、13折和15折。
- 2、飛行測試：在一公尺處試驗種子落下(每個種子試驗10次)紀錄時間與旋轉圈數。
- 3、分析與討論數據：討論紙種子長度與飛行的關係、討論紙種子長寬比與飛行的關係。
- 4、根據摺紙方式，討論摺紙時所需的紙長與紙寬公式。



◆我們發現

- 1、紙種子的長度會影響飛行時的時間和旋轉圈數。
- 2、紙種子在飛行時呈現長度越短，飛行時間越長、旋轉圈數越多的情況。
- 3、8 cm 和 9 cm 長的紙種子，飛行時間較長且旋轉圈數較多。
- 4、長寬比與飛行的關係：
 - (1) 飛行時間超過1.5秒且旋轉圈數多於8圈的紙種子長寬比有三種，分別是3.2、3.6和4。
 - (2) 長寬比3.2的紙種子，平均飛行時間最久且旋轉圈數最多圈，飛行狀態最佳。
 - (3) 長寬比3.6的紙種子，平均飛行時間和旋轉圈數都排行定二，飛行狀態次之。
 - (4) 長寬比4.4的紙種子，平均飛行時間和旋轉圈數都最少，飛行狀態最差。



5、建模：摺紙時的紙張長度與寬度

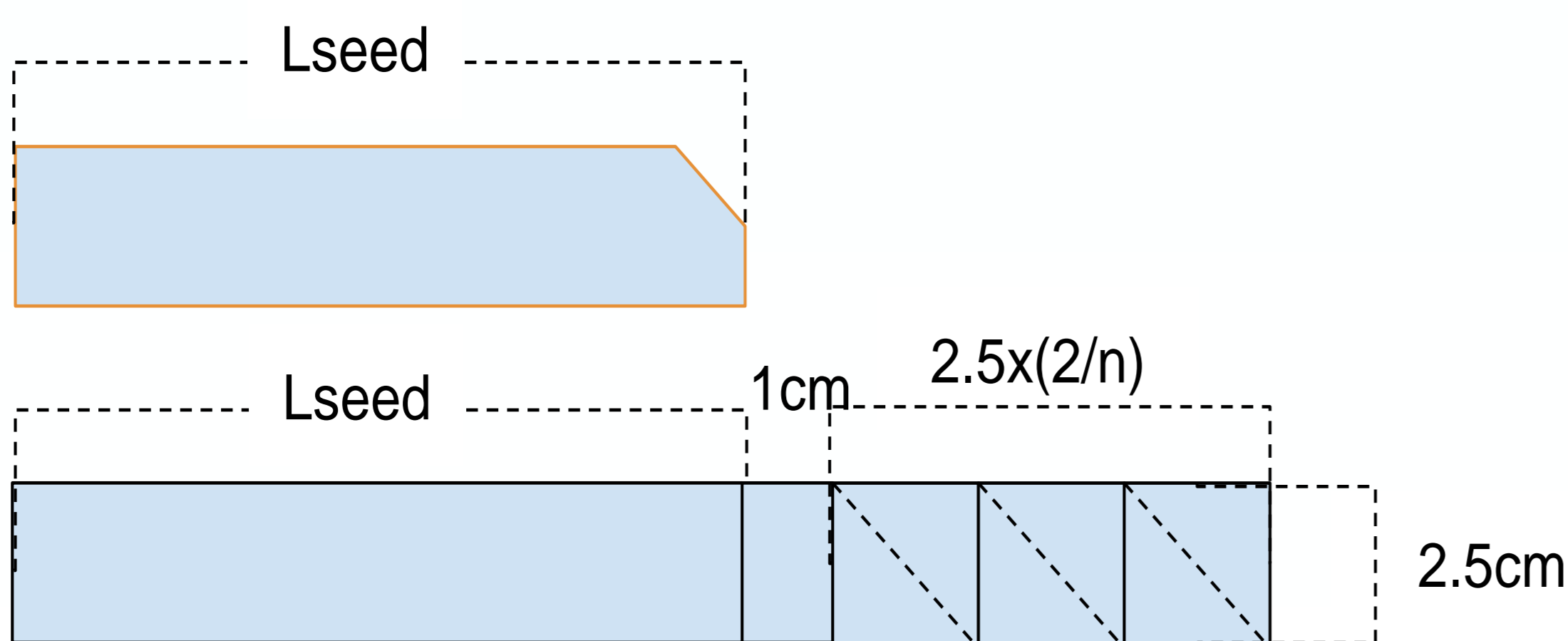
(1) 推導公式

設定：摺好的種子總長 Lseed，摺好的種子寬 W，折的次數 n，反折的長度為 a。

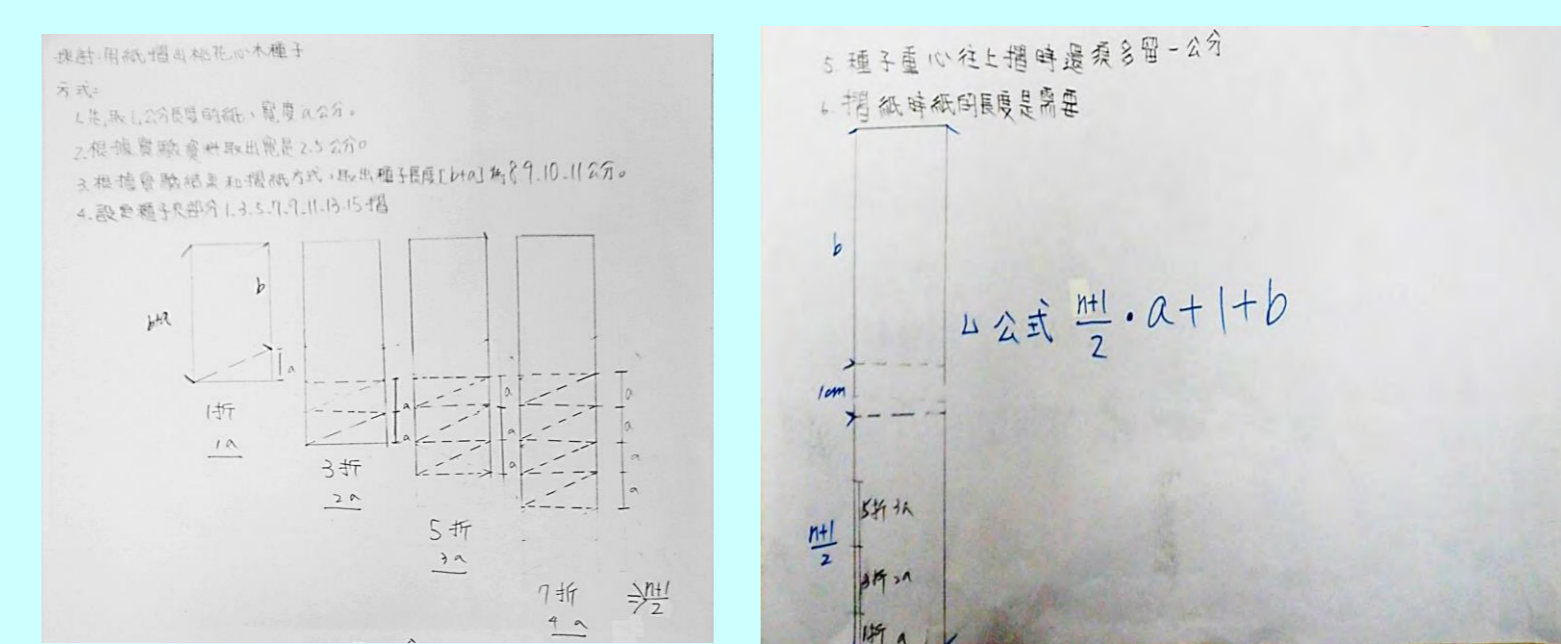
a. 公式一：折種子所需長度：摺紙長度(L)=Wx(1+(n-1)/2)

→ 紙張總長 = 種子總長+反折長度+折紙長度

$L_{paper} = L_{seed} + a + W \times (1 + (n - 1) / 2)$



公式二： $L_{paper} = L_{seed} + a + W \times (n+1) / 2$



折數(n)	種子長(Lseed)	反折距離(a)	紙寬(W)	總長(Lpaper)
1	11	1	2.5	14.5
3	11	1	2.5	17
5	11	1	2.5	19.5
7	11	1	2.5	22
9	11	1	2.5	24.5
10	11	1	2.5	25.75
11	11	1	2.5	27
13	11	1	2.5	29.5
15	11	1	2.5	32

(2) 紙張公式試算

經過推導的公式，我們得到所需紙張的長度如表6-10。

(七) 桃花心木建模——重量(折數)與飛行的關係

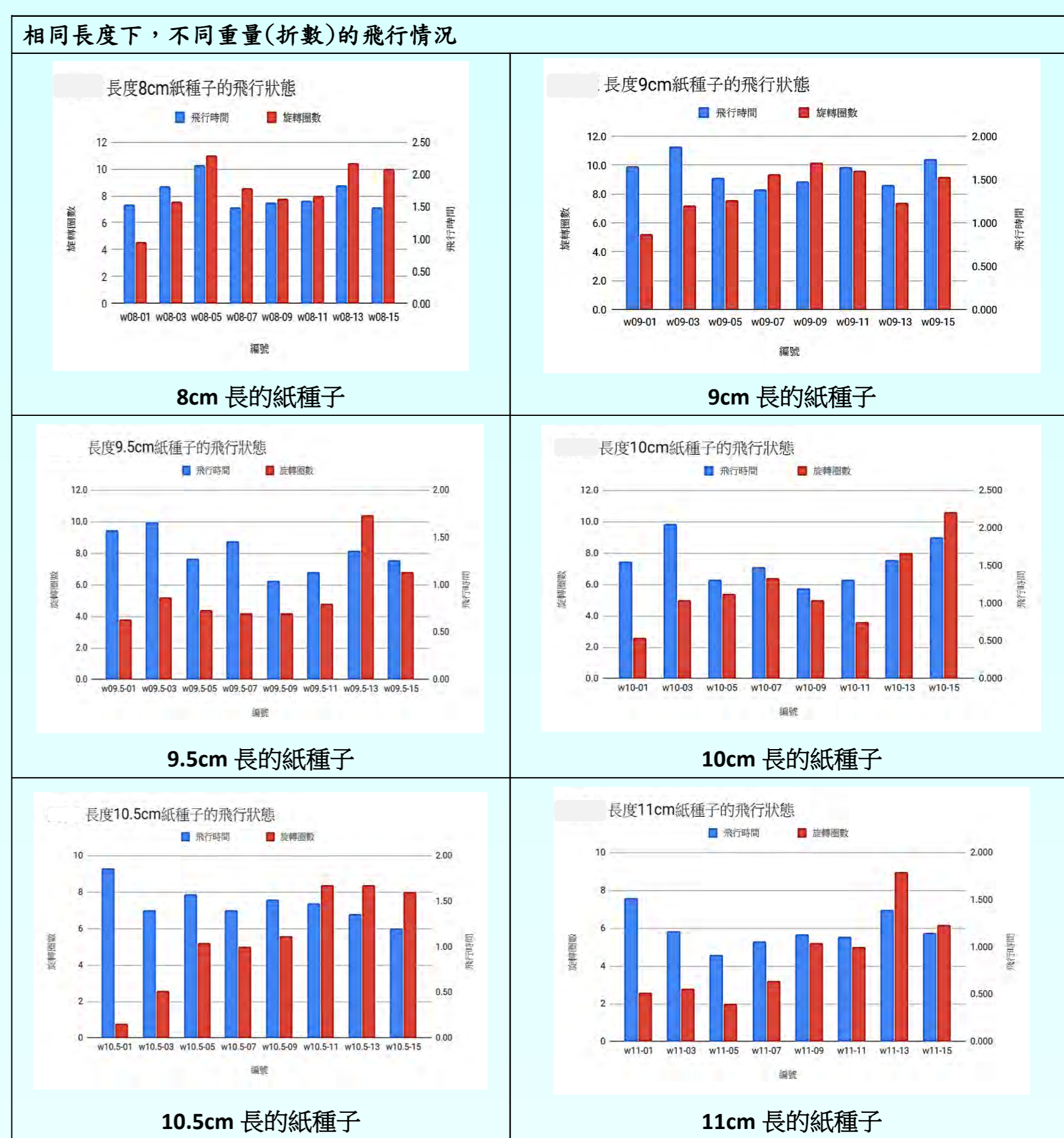
從研究六中得知，在寬2.5公分的情形下，長寬比越小飛行時間與旋轉圈數越好。如果改變種子重量會是如何？改變紙種子折數就能模擬種子重量改變，此研究將以不同折數的重量設為飛行實驗的操作變因，從實驗中探討建模種子的重量(折數)與飛行的關係。

◆研究方法

- 1、紙種子建模：(1) 寬度：2.5cm。0 (2) 長度：8cm、9cm、9.5cm、10cm、10.5cm和11cm。 (3) 重量：1折、3折、5、7折、9折、11折、13折和15折。
- 2、飛行測試：在一公尺處試驗種子落下(每個種子試驗10次)紀錄時間與旋轉圈數。
- 3、分析與討論數據：討論不同重量(折數)下的紙種子的飛行情況與飛行的關係。

◆我們發現

- 1、紙種子重量為13折和15折時的旋轉圈數較多，1折的旋轉圈數最少。
- 2、紙種子的折數少(重量越輕)，飛行時間較久但旋轉圈數少，因飛行時會有在空中滑行的現象，造成時間較久。



(八) 桃花心木建模——種子重心與飛行的關係

我們希望能摺出能像實體桃花心木種子一樣能旋轉飛行，飛行時間久且旋轉圈數多的紙種子。之前研究發現桃花心木種子的重心約落在距離肋的1/3處，所以，我們將設定模擬的種子重心放在距離肋的1/3處，做本次研究的控制變因。

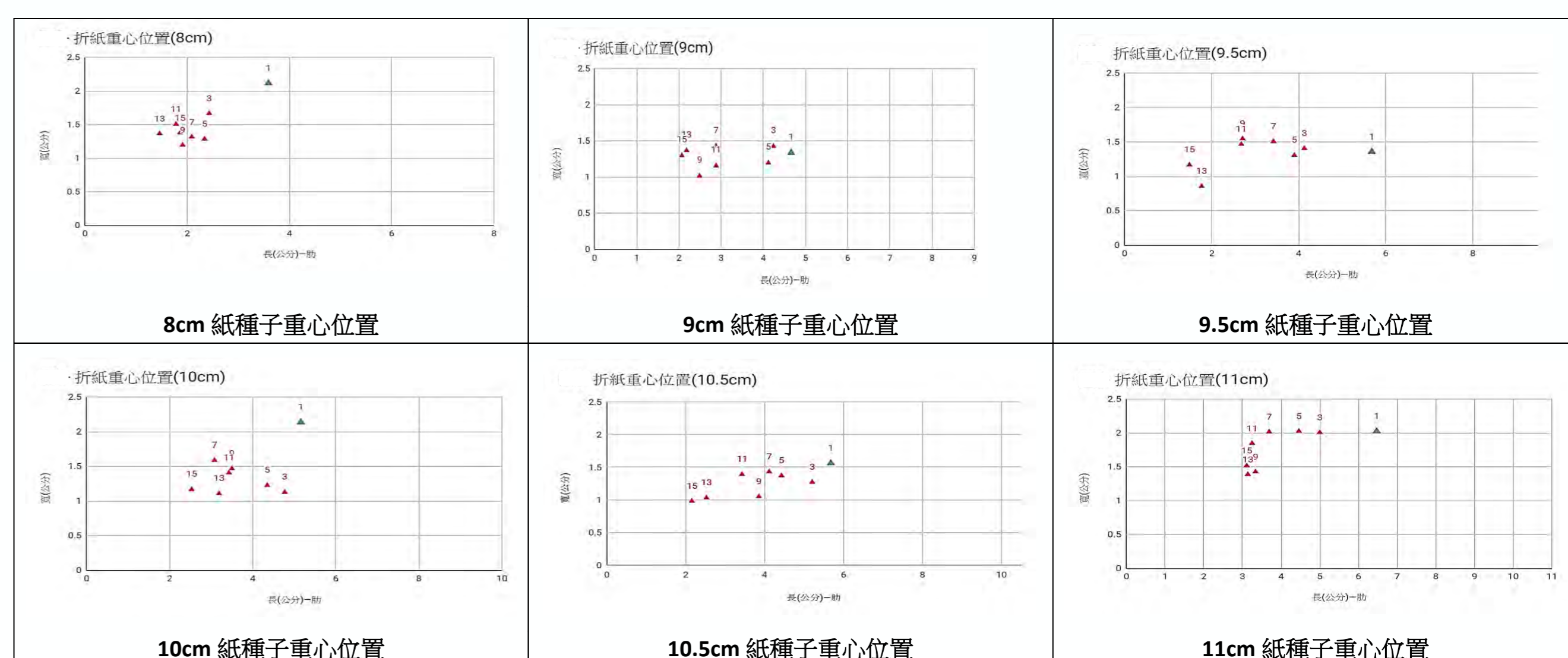
◆研究方法

- 1、紙種子建模：(1) 寬度：2.5cm。0 (2) 長度：8cm、9cm、9.5cm、10cm、10.5cm和11cm。 (3) 重量：1折、3折、5、7折、9折、11折、13折和15折。
- 2、設定縱向重心位置：根據研究五的結果，以不同折數的種子莢區分重量(折數有8種)，使得縱向重心位置能從薄翅漸漸往種子莢附近移動。
- 3、設定橫向重心位置：根據研究五的結果，摺紙時將紙的重心朝向紙種子的肋橫方向摺，摺的位置在寬的三分之一處，使得橫向重心位置在長的五分之一處。
- 4、飛行測試：在一公尺處試驗紙種子落下(每個種子試驗10次)紀錄時間與旋轉圈數。
- 5、分析與討論數據：討論紙種子重心位置與飛行的關係。

◆我們發現

(1) 紙種子重心位置分布

- 1、折數越多重心越往種子莢的方向移動。
- 2、折數越多重心越往肋的方向移動。
- 3、折數超過七折之後，往水平方向(種子莢的方向)移動趨緩。
- 4、折數在13、15折時，重心位置變動不大。



(2) 紙種子重心位置的飛行狀況

1、紙種子的重心位置若在實體種子的重心位置，則旋轉圈數較多。

2、當相異兩個紙種子的長重心位置相同，寬重心位置不同時，寬重心靠近肋橫的紙種子，旋轉圈數會較多。

例如：長9cm紙種子，7折與11折的長重心都在2.88，但在寬重心部分，11折靠近肋橫，旋轉圈數較多。

3、旋轉圈數與飛行時間不一定成正相關。

8cm 紙種子的重心位置與飛行情況				
折數	1	3	5	7
重心位置 對照圖				
時間(s)	1.54	1.818	2.146	1.49
旋轉圈數	4.6	7.6	11	8.6
折數	9	11	13	15
重心位置 對照圖				
時間(s)	1.564	1.596	1.826	1.488
旋轉圈數	7.8	8	10.4	10

9cm 紙種子的重心位置與飛行情況				
折數	1	3	5	7
重心位置 對照圖				
時間(s)	1.660	1.880	1.524	1.390
旋轉圈數	5.2	7.2	7.6	9.4
折數	9	11	13	15
重心位置 對照圖				
時間(s)	1.478	1.650	1.438	1.740
旋轉圈數	10.2	9.6	7.4	9.2

9.5cm 紙種子的重心位置與飛行情況				
折數	1	3	5	7
重心位置 對照圖				
時間(s)	1.58	1.66	1.28	1.46
旋轉圈數	3.8	5.2	4.4	4.2
折數	9	11	13	15
重心位置 對照圖				
時間(s)	1.04	1.14	1.36	1.26
旋轉圈數	4.2	4.8	10.4	6.8

10cm 紙種子的重心位置與飛行情況				
折數	1	3	5	7
重心位置 對照圖				
時間(s)	1.558	2.058	1.318	1.480
旋轉圈數	2.6	5.0	5.4	6.4
折數	9	11	13	15
重心位置 對照圖				
時間(s)	1.200	1.320	1.580	1.880
旋轉圈數	5.0	3.0	8.0	10.6

10.5cm 紙種子的重心位置與飛行情況				
折數	1	3	5	7
重心位置 對照圖				
時間(s)	1.86	1.4	1.58	1.4
旋轉圈數	0.8	2.6	5.2	5
折數	9	11	13	15
重心位置 對照圖				
時間(s)	1.52	1.48	1.36	1.2
旋轉圈數	5.6	8.4	8.4	8

11cm 紙種子的重心位置與飛行情況				
折數	1	3	5	7
重心位置 對照圖				
時間(s)	1.522	1.170	0.920	1.062
旋轉圈數	2.6	2.8	2	3.2
折數	9	11	13	15
重心位置 對照圖				
時間(s)	1.138	1.113	1.500	1.20
旋轉圈數	5.2	5	9	6.2

伍、討論

(一) 研究二：桃花心木種子外型——種子長、寬研究

問題：桃花心木凹凹凸凸的要如何量出桃花心木種子長度與寬度？

(1) 說明：

桃花心木種子，種子莢到薄翅的寬度不同難以取捨。而測量種子長時，種子薄翅的邊緣不是呈現水平的狀況，所以在取測量點時會面臨要取最長還是最短的地方。

(2) 修改實驗：經過討論，我們採取測量最長的邊。因此測量時會測量種子的「最長邊」與「最寬的邊」。

2. 問題：用方格紙無法找出精確的長與寬為什麼堅持用方格紙？

討論結果：要不要精確測量？我們討論了很久，因為桃花心木不規則的外型，很難確認要取捨哪一個數據，最後還是決定不如在測量時事先估算。

(二) 研究三：研究桃花心木種子的重心位置

討論：從各種長度種子的重心位置分布圖我們可以歸納出以下幾點：

- 以種子寬來說，若將種子的寬度平分成三等份，其中靠近肋橫的三分之一就是它的寬重心。
- 以種子長來說，若將種子長度平分成五等份，其中靠近種子莢底端的五分之一就是它的長重心。

(三) 研究四：桃花心木種子外型與飛行時間的關係

問題：從200個飛行數據中，要如何取捨飛行時間的區間分析數據是一個頭痛的問題。

討論結果：

- 統計分析所有的飛行數據後，我們決定先捨去少部分飛行不超過一秒的數據。
- 由於數據中寬2和2.5公分的數據是眾數，於是決定取寬2.5公分的所有數據。

(四) 研究五、六、七、八：桃花心木重心與建模——長度、重量(折數)、重心位置

討論1：紙種子的肋橫長度會不會影響飛行時的時間或旋轉圈數。

討論結果：紙種子必須具備肋橫，且肋橫長度必須和紙種子的長度一樣長，則它在飛行時才有旋轉的情況，否則紙種子在飛行時無法旋轉。

討論2：紙種子在飛行時重心位置主要會影響時間或旋轉圈數。

討論結果：重心位置是導致紙種子的會不會旋轉和旋轉圈數多寡的重要因素。

- 縱向重心位置靠近薄翅，掉落時不會旋轉，飛行時會有漂浮滑行的情形。
- 調整寬重心位置，漸往肋橫移動，則旋轉圈數會有增加的情形。

陸、結論

研究一：桃花心木初探

桃花心木種子的構造有莖、葉、樹皮、花、果實和種子。在種子成熟時會掉光所有葉子，讓種子順利飛離母體。

研究二：桃花心木種子外型——種子長、寬研究

桃花心木長度大部分分布在9到11公分。

最多桃花心木寬度分布在2.5公分。

桃花心木長寬比在4到5數量最多。

在第47屆全國科展作品『種子飛機——飛翔果實的構造分析與飛行模擬』我們發現，該研究所取樣的桃花心木種子長寬比落在4.751，與研究結果長寬比4~5相呼應。

研究三：研究桃花心木種子的重心位置

相同長度，種子重心位置都很接近。

不論種子長度，大部分重心距離肋(Y)約0.9~1.5cm之間，距離種子(X)約在2cm附近。以比例來說，重心位置大約落在靠近種子長的1/5，靠近肋寬的1/3處。

研究四：桃花心木種子外型與飛行時間的關係

長度9公分~11公分飛行時間較久而且大多數圈數大於10圈以上。

長度10公分的種子飛行時間與旋轉圈數都是最多的。

長寬比集中在3.6~4.2，飛行時間可以超過一秒，而且圈數大於10圈以上。

長寬比等於4時，飛行圈數最多。

研究五：桃花心木重心與飛行時間的關係

飛行時間超過1.5秒且旋轉圈數多於15圈的桃花心木種子的重心位置分布。

寬重心會分布在離肋的位置0.77cm~1.2cm的範圍內。

長重心會分布在從種子莢下方往上數1.56cm~2.48cm的範圍內。

飛行良好的紙種子模型重心位置在寬的三分之一位置，長的五分之一位置上。

研究六：桃花心木建模——種子長度與飛行的關係

紙模型寬2.5公分時，長度越短(長寬比越小)，飛行時間越長，旋轉圈數越多。

紙種子的摺紙剪裁長度公式「紙張總長=種子總長+反折長度+折紙長度」

公式一：「 $L_{paper} = L_{seed} + W_x(1 + (n-1)/2)$ 」

公式二：「 $L_{paper} = L_{seed} + a + W*(n+1)/2$ 」

研究七：桃花心木建模——重量(折數)與飛行的關係

不論紙種子長度為多少公分，將重量折成13折的紙種子飛行狀態良好。

最佳的重量和長度的比例是8公分長、13折飛行時間長，旋轉圈數越多。

研究八：桃花心木建模——種子重心與飛行的關係

將紙種子的重心摺至寬的三分之一位置，則紙種子在飛行時的旋轉圈數較多。

柒、參考資料

第47屆全國科展作品『種子飛機——飛翔果實的構造分析與飛行模擬』。