

臺北市第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：不是哆啦 A 夢的竹蜻蜓

關 鍵 詞：竹蜻蜓、童玩、槳翼（最多 3 個）

編 號：

製作說明：

- 1.說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
- 2.編號由臺北市立信義國中統一編列。
- 3.封面編排由參展作者自行設計。

目 錄

摘要.....	1
壹、前言	1
一、研究動機.....	1
二、研究目的	1
三、文獻回顧.....	2
貳、研究設備及器材.....	4
一、工具.....	4
二、材料.....	4
參、研究過程或方式.....	5
一、準備階段	5
二、實驗過程	8
肆、研究結果.....	12
一、人工手動發射.....	12
(一)槳翼翼片長度、寬度固定	12
1.紙材相同、翼角角度不同.....	12
2.紙材不同、翼角角度相同.....	15
(二)改變槳翼翼片的長度	17
(三)改變槳翼翼片的寬度	18
(四)改變槳翼翼片的長度和寬度.....	20
(五)改變軸的長度	20
(六)改變槳翼翼片的表面樣式.....	21
(七)改變槳翼翼片的數量	22
(八)戶外實驗.....	23
二、砝碼實驗	24
伍、討論	26
陸、結論	29
柒、參考資料及其他.....	30

摘要

竹蜻蜓為古老童玩之一，架構簡單，由軸和槳翼組成，材料通常為竹棍和竹片，市面上販售也有以吸管和塑膠片組成的，上網搜尋資料時也發現有使用先進的 3D 列印技術製作的竹蜻蜓，我選擇用最容易製作、而且材料要容易取得的方式來製作出竹蜻蜓，所以我使用「紙」為基本材料，紙的種類非常多，我就近選擇一間文具店並在此店的紙材專區所有紙張種類裡找出比較硬的 11 種「卡紙」和 1 種「牛皮紙」為主要紙材，搭配以膠片製作的 7 種翼角角度做了一連串的實驗，實驗過程中也在槳翼翼片上做些變化，並且實驗方式也分成了手動發射和砵碼發射二種，最後找出了「紙材 1mm 白牛奶板、翼角 45 度、長寬 18cm×2cm、軸 18cm」組成我的「最佳竹蜻蜓」。

壹、前言

一、研究動機

哆啦 A 夢有個道具為「竹蜻蜓」，戴在頭上就可以到處飛，好方便！但我的竹蜻蜓雖然也會飛但沒有和哆啦 A 夢一樣的力量可以載人，所以才會說「不是哆啦 A 夢的竹蜻蜓」！

暑假期間為了尋找實驗主題，我翻閱了幾本科學實驗的書籍，其中一本由遠流出版的「一點都不無聊！帶著實驗出去玩」裡剛好有提到竹蜻蜓的實驗，所以我就決定了這個實驗主題。竹蜻蜓為古老童玩之一，架構很簡單，由軸和槳翼組成，材料通常為竹棍和竹片，市面上販售的也有以吸管和塑膠片組成的竹蜻蜓，我也上網搜尋了幾本科展作品，發現大家用的材料好多元，有原始的削竹片、削木片、也有比較先進的 3D 列印，但我沒有這些專業的工具，所以我決定用不同的「紙」來製作我的竹蜻蜓，搭配翼角的變化，觀察竹蜻蜓可以飛得多高？

二、研究目的

因為竹蜻蜓為古老童玩之一，我希望可以用最容易製作、而且材料要容易取得的方式來製作出竹蜻蜓，所以我選擇使用「紙」為基本材料，而紙的種類又非常多，所以我就近選擇了一間文具店，並且在這間文具店的紙材專區裡，尋遍了架上所有的紙張種類，後來決定使用比較硬的「卡紙」，並且以我能在這間文具店裡買到的所有「卡紙」為準，選定了 11 種「卡紙」和 1 種「牛皮紙」作為槳翼翼片的材料，而軸的部份則是使用了 5mm 圓木棍，並搭配翼角角度的變化，在翼角角度的變化上我則是使用膠片來製作，我分了幾種實驗方式如下：

(以下實驗，**粗體黑框**為該組最好的結果)

(一) 紙的材料相同，但翼角角度不同，會產生何種結果？

(翼角角度分成 0 度、15 度、30 度、**45 度**、60 度、75 度、90 度等 7 種)

(二) 紙的材料不同，但翼角角度相同，會產生何種結果？

(紙的種類有 200P 白西卡、250 白西卡、400P 白玉卡、500P 白玉卡、1000P 白玉卡、350P 灰銅卡、450P 灰紙板、1000P 灰紙板、480P 美國黑卡、630P 奶瓶紙、1000P 牛皮紙、**1mm 白牛奶板**等 12 種)

(三) 從(一)(二)結果選出三種紙材後，改變翼片的長度，會產生何種結果？

(分成 14cm×2cm、16cm×2cm、**18cm×2cm**、20cm×2cm、22cm×2cm)

(四) 從(一)(二)結果選出三種紙材後，改變翼片的寬度，會產生何種結果？

(分成 **18cm×2cm**、18cm×3cm、18cm×4cm)

(五) 從(一)(二)結果選出三種紙材後，改變翼片的長度和寬度，會產生何種結果？

(分成 **18cm×2cm**、20cm×3cm、20cm×4cm、22cm×3cm、22cm×4cm)

(六) 從(一)(二)結果選出三種紙材後，改變軸的長度，會產生何種結果？

(分成 14cm、16cm、**18cm**、20cm、22cm)

(七) 從(一)(二)結果選出三種紙材後，改變槳翼翼片的表面樣式，會產生何種結果？

(分成**光滑面**、直條紋路、橫條紋路的、斜條紋路)

(八) 從(一)(二)結果選出三種紙材後，改變槳翼翼片的數量，會產生何種結果？

(分成**二片**、三片、四片、五片)

(九) 前列皆為室內實驗，若拿到戶外實驗，又會產生何種結果？

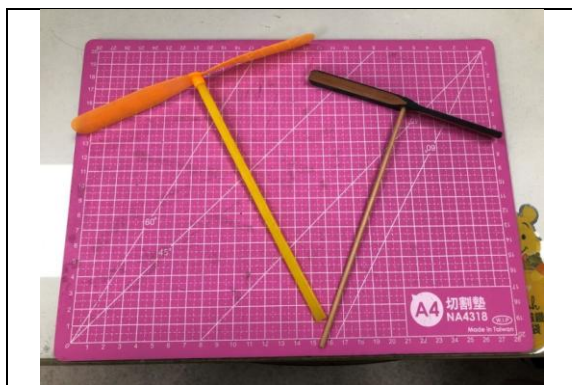
(十) 實驗方式分成了手動實驗和砝碼實驗二種。

三、文獻回顧

在遠流出版的「一點都不無聊！帶著實驗出去玩」一書裡有提到：『竹蜻蜓的翼片轉動時，傾斜的翼片把周遭空氣往下推，使翼片下方的空氣壓力較高、翼片上方的壓力較小。高壓空氣把翼片往上推，這種力稱為「升力」。』，書中也提到：「可以改變翼片的長度和寬度、翼片的扭轉程度、吸管的長度等等，找出最佳組合。」，所以在我的實驗裡，我選擇使用膠片來改變我的翼片翼角角度，搭配不同的紙材實驗找出最佳紙材所做的竹蜻蜓，並且也在長度、寬度和軸長作變化，觀察其不同組合會有哪些變化。



正好家裡有二款市面上販售的竹蜻蜓(如下圖，左為塑膠製、右為竹製)，我就參考了這二款竹蜻蜓，決定了我所製作的竹蜻蜓長寬為 18cm×2cm，軸則是 18cm。

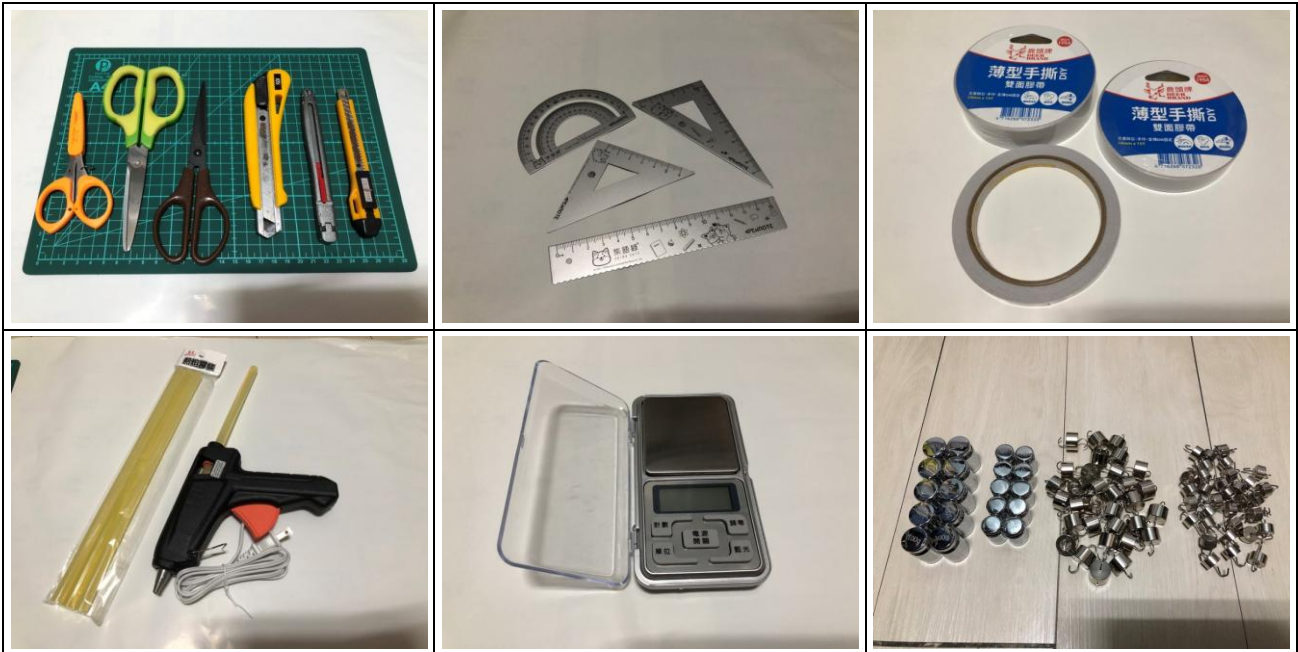


我也上網搜尋了幾本歷年的科展作品，發現大家的竹蜻蜓都是用削竹片、削木片甚至使用 3D 列印機列印出竹蜻蜓，可是這些都需要專業的工具，對小學生或一般人來說不容易取得，但竹蜻蜓是古老童玩之一，我希望是可以用最簡單的方式，而且工具、材料都要容易取得，所以我選擇用紙來製作，搭配長度、寬度、角度、軸長的變化，找出我的最佳竹蜻蜓。

貳、研究設備及器材

一、工具

剪刀、刀片、切割板、尺、量角器、雙面膠、熱熔膠槍、電子秤、砝碼。



二、材料



槳翼：

200P 白西卡、250 白西卡、400P 白玉卡、500P 白玉卡、1000P 白玉卡、350P 灰銅卡、450P 灰紙板、1000P 灰紙板、480P 美國黑卡、630P 奶瓶紙、1mm 白牛奶板、1000P 牛皮紙、瓦楞紙

軸：

5mm 圓木棍



翼角：

透明膠片

發射器：

直徑 2cmPVC 收納管、紅紗線、銅線

發射台：

4.5mm 方型木棍、5mm 圓木棍、6mm 圓木棍、16 開雕刻板、綿線、鐵製線軸

參、研究過程或方式

一、準備階段

(一) 主要材料為漿翼翼片的卡紙、翼角的膠片、軸的圓木棍、發射器的 PVC 收納管和紅紗線。

(二) 製作過程

1. 漿翼翼片

首先，我先在 12 種紙材上畫好如下圖示(基本翼片長寬為 $18\text{cm} \times 2\text{cm}$)，一種紙材要先畫好 7 個(因為要作 7 個翼角角度)。



如上圖所示，實線部份為需要切割的線，需要用刀片切斷，而虛線部份則是要凹折的線，只能用刀背輕輕畫一下以便凹折用。



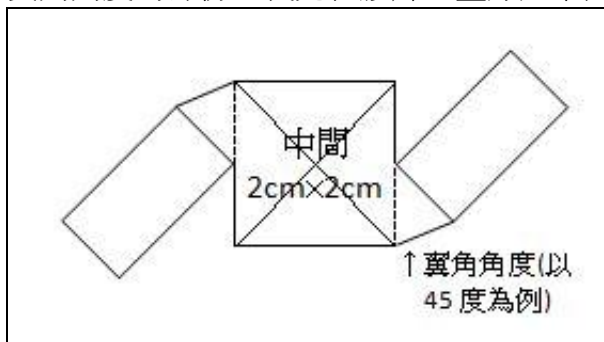
2. 軸

軸的部份我選用 5mm 的圓木棍，每支皆裁成 18cm 長。

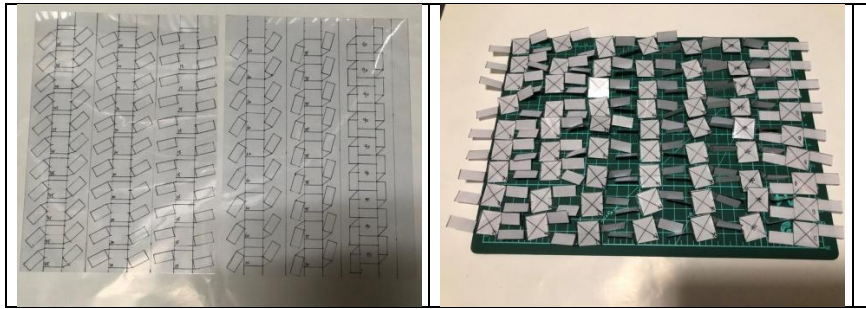


3. 翼角

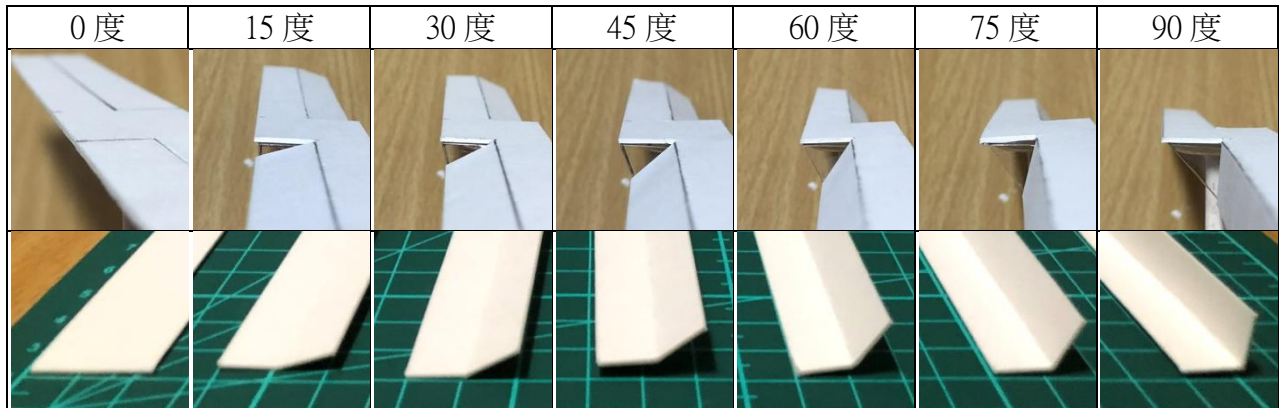
翼角角度的部份，我先在膠片上畫好如下圖。



畫好裁切下來後，將角度折好，就可以貼上雙面膠備用。



翼角角度共有 0、15、30、45、60、75、90 度七種，紙張種類共有十二種，所以一開始，槳翼翼片、翼角膠片、圓木棍都要準備好 84 份。



準備好上面所有材料後，就可以開始組裝竹蜻蜓。

首先先把翼角角度膠片貼在槳翼翼片的背面，之後在中心點上擠上熱熔膠，為了能控制膠的量而且還要容易乾，所以我選擇使用熱熔膠。一般熱熔膠槍又有分成大型粗膠條(1cm)和小型細膠條(0.7cm)，我試了二種膠條的量後，決定使用大的熱熔膠槍。

除了熱熔膠外，保麗龍膠或白膠其實也可以固定，但是這二種膠要等到完全乾會花比較長的時間，所以熱熔膠還是最好的選擇。

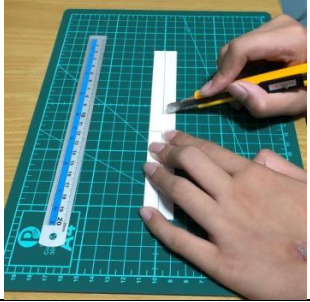
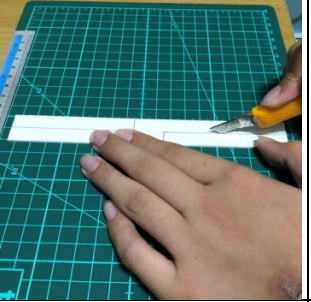
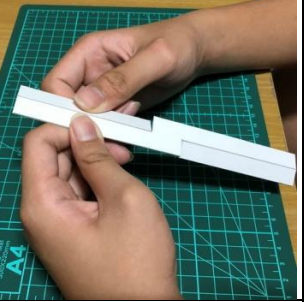
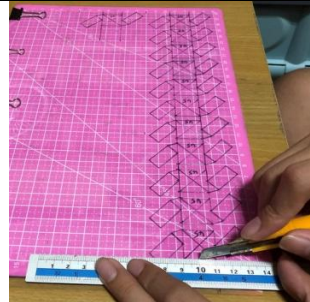
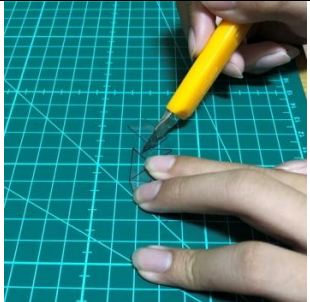
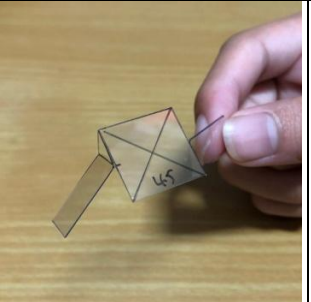
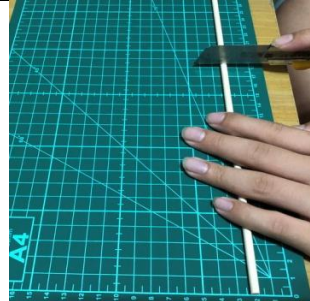
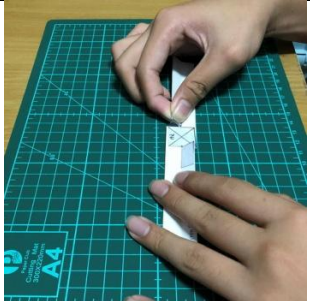


然後在擠熱熔膠時，為了控制膠的量能每次都差不多，所以我以按一次熱熔膠槍擠出來的膠量為限。(以目視方式控制膠量，盡量能每支差不多)



擠上熱熔膠後，就把圓木棍放上去，等乾了後就完成了竹蜻蜓。

竹蜻蜓組裝步驟：

			
將翼片切割下來	實線部分刀片切開	虛線部分刀背劃一刀	把角度折出來
			
將翼角角度膠片割下	要折的部分用刀背輕劃一刀	將角度折好	黏上雙面膠
			
將原 30cm 長的圓木棍切出 18cm	將翼角角度膠片黏在翼片紙片上	中心位子擠上熱熔膠	將圓木棍插上就完成了 了一支竹蜻蜓

4. 發射器

材料是選用直徑 2cm 的透明 PVC 收納管和紅紗線，我先將透明 PVC 收納管裁成 15cm 長，並從頂端開始切一條 0.3cm×3cm 的切口，以便放線用，而紅紗線長度則是 60cm 左右(預留 10cm 為線頭綁鐵環拉扯用)，線的長度設定是以人的手長為準，若線太長，會無法一口氣將捲好的線拉開，竹蜻蜓就無法發射出去。



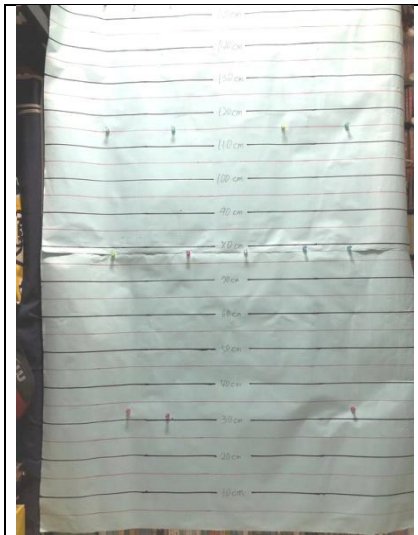
5. 發射臺

一般竹蜻蜓是兩手搓轉竹棒就可以飛出去，我為了讓竹蜻蜓能夠穩定的直直往上飛，我使用 4.5mm 方型木棍、5mm 圓木棍、6mm 圓木棍、16 開雕刻板、鐵製線軸和綿線等材料做了一個發射臺，用來固定發射器。



6. 記錄高度板

我準備了 4 張全開壁報紙併起來，以 5 公分為單位，總共畫了 270 公分左右的高度(因為是在家裡實驗，所以預設就是家裡地板到天花板的高度)，以便記錄竹蜻蜓的飛行的高度。



二、實驗過程

所有竹蜻蜓實驗皆由同一個人負責操作，大人在旁協助記錄，實驗方式分成人工手動發射和砵碼發射二種。

(一) 人工手動發射

1. 第一階段實驗－同紙材、不同翼角角度&不同紙材、同翼角角度

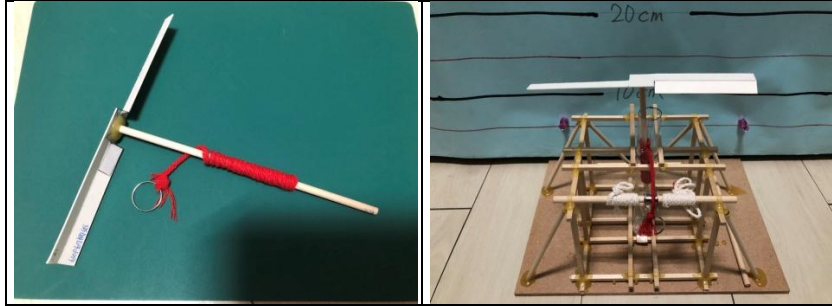
每一種紙材的竹蜻蜓皆分成 7 個翼角角度(0、15、30、45、60、75、90 度)，而我準備了 12 種紙材(200P 白西卡、250 白西卡、400P 白玉卡、500P 白玉卡、1000P 白玉卡、350P 灰銅卡、450P 灰紙板、1000P 灰紙板、480P 美國黑卡、630P 奶瓶紙、1mm 白牛奶板、1000P 牛皮紙)，所以在這階段的實驗總共準備了 84 支竹蜻蜓(如下圖)，紅紗線也是準備 84 條，每一支竹蜻蜓一條。



實驗步驟：

首先先拿一支竹蜻蜓，拿一條紅紗線，由軸的底端開始以逆時鐘方式由下往上捲線(若是轉動竹蜻蜓捲線則是順時鐘)，捲好後放進發射器，用人工拉扯紅紗線頭就可以將竹蜻蜓發射出去。

每一支竹蜻蜓皆要發射 10 遍，並記錄其飛上去的高度，每一種紙材皆有七支不同翼角角度的竹蜻蜓，從 0 度開始實驗並記錄 10 遍，之後才是 15 度、30 度、45 度、60 度、75 度、90 度，然後再換下一種紙材，一直到十二種紙材全實驗記錄完，全部需要發射 840 遍。

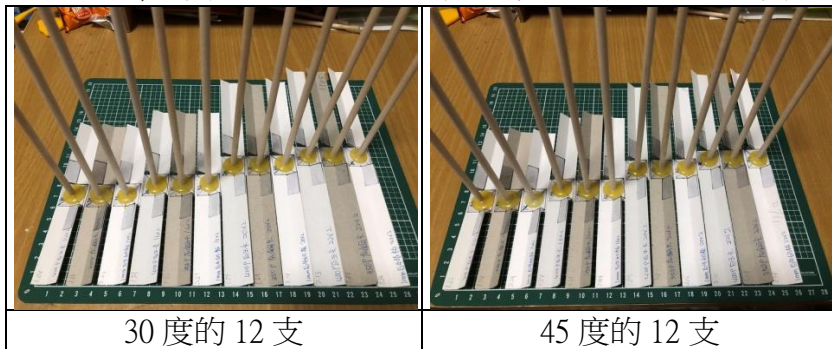


而高度記錄的方式，高度記錄板上是以 5 公分為一單位，因竹蜻蜓飛上去和掉下來的時間只有一瞬間，就算使用手機的”慢動作”錄影也很難準確抓到竹蜻蜓飛上去最高點的高度，所以我選擇以 5 公分為一單位，以 0~5 公分、5~10 公分……等方式記錄竹蜻蜓最後的高度。

2. 第二階段實驗—改變槳翼翼片的長度

由第一階段實驗後，我選出了三種紙材(400P 白玉卡、350P 灰銅卡、1mm 白牛奶板)和二種角度(30 度和 45 度)來作後續的實驗。

這階段我改變了槳翼翼片的長度，分成 14cm×2cm、16cm×2cm、18cm×2cm、20cm×2cm、22cm×2cm 五種，除了 18cm×2cm 外，我再準備了 24 支竹蜻蜓(3 紙材×2 角度×4 長度)，實驗方式和之前一樣，單一支竹蜻蜓皆要實驗記錄 10 遍。

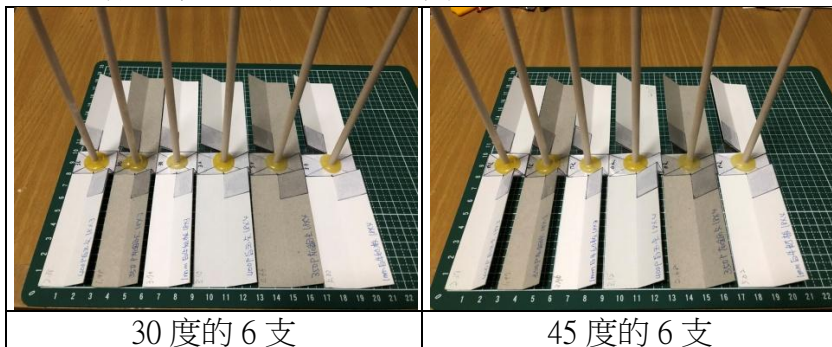


30 度的 12 支

45 度的 12 支

3. 第三階段實驗—改變槳翼翼片的寬度

這階段我改變了槳翼翼片的寬度，分成 18cm×2cm、18cm×3cm、18cm×4cm 三種，除了 18cm×2cm 外，我再準備了 12 支竹蜻蜓(3 紙材×2 角度×2 寬度)，實驗方式和之前一樣，單一支竹蜻蜓皆要實驗記錄 10 遍。

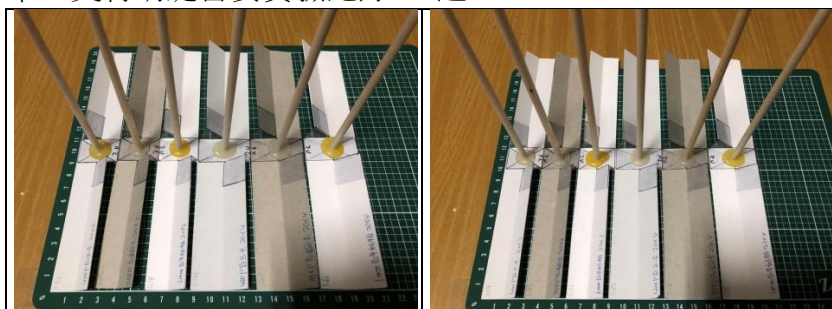


30 度的 6 支

45 度的 6 支

4. 第四階段實驗－改變槳翼翼片的長度和寬度

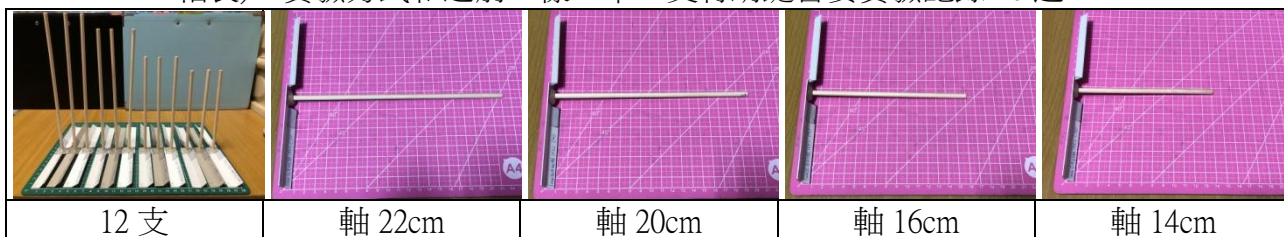
這階段我同時改變了槳翼翼片的長度和寬度，分成 18cm×2cm、20cm×3cm、20cm×4cm、22cm×3cm、22cm×4cm 五種(這階段實驗我只準備了 45 度一種)，除了 18cm×2cm 外，我再準備了 12 支竹蜻蜓(3 紙材×1 角度×4 長寬)，實驗方式和之前一樣，單一支竹蜻蜓皆要實驗記錄 10 遍。



20cm×3cm、20cm×4cm 的 6 支 22cm×3cm、22cm×4cm 的 6 支

5. 第五階段實驗－改變軸的長度

這階段我改變了軸的長度，分成 14cm、16cm、18cm、20cm、22cm 五種(這階段實驗我只準備了 45 度一種)，除了 18cm，我再準備了 12 支竹蜻蜓(3 紙材×1 角度×4 軸長)，實驗方式和之前一樣，單一支竹蜻蜓皆要實驗記錄 10 遍。



12 支

軸 22cm

軸 20cm

軸 16cm

軸 14cm

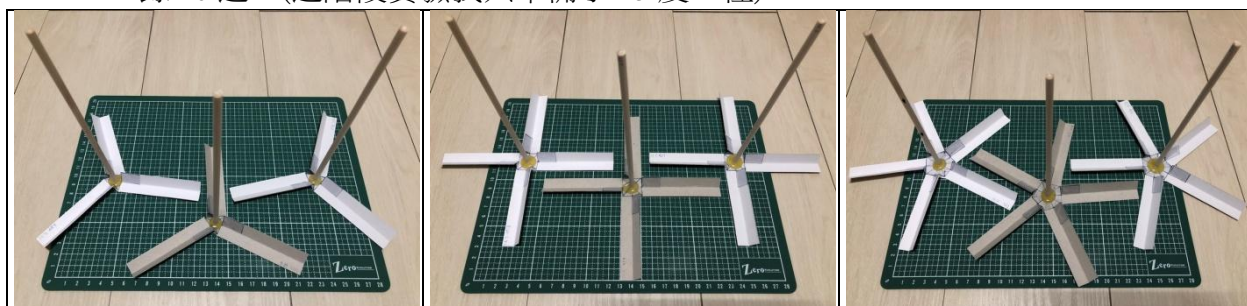
6. 第六階段實驗－改變槳翼翼片的表面樣式

這階段我改變了槳翼翼片的表面樣式，我在原本的三種紙材(400P 白玉卡、350P 灰銅卡、1MM 白牛奶板)上貼上了三種樣式的瓦楞紙(直條紋路、橫條紋路、斜條紋路)，我準備了 9 支竹蜻蜓(3 紙材×1 角度×3 樣式)，實驗方式和之前一樣，單一支竹蜻蜓皆要實驗記錄 10 遍。(這階段實驗我只準備了 45 度一種)



7. 第七階段實驗－改變槳翼翼片的數量

這階段我改變了槳翼翼片的數量，增加了 3 片、4 片、5 片三種，我準備了 9 支竹蜻蜓(3 紙材×1 角度×3 數量)，實驗方式和之前一樣，單一支竹蜻蜓皆要實驗記錄 10 遍。(這階段實驗我只準備了 45 度一種)

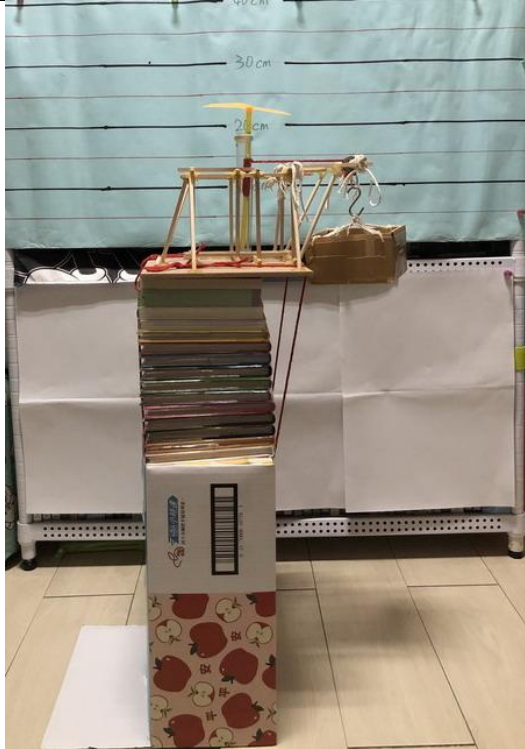


8. 第八階段實驗－戶外實驗

我帶了一款在家飛最高的竹蜻蜓(1mm 白牛奶板、45 度翼角、30 度翼度)到學校的操場上做測試，試看看竹蜻蜓會不會飛更高。

(二) 砝碼發射

前面實驗皆為人工手動拉扯紅線方式發射竹蜻蜓，為了更精準知道發射的力道，所以我改良了發射臺，改成了可以使用垂降砝碼，靠砝碼墜落的力量拉扯紅線來發射竹蜻蜓，用來測試發射竹蜻蜓時需要使用到多大的拉力。

	
我架高了發射臺，高度要高於捲繩的長度，不然會發不動竹蜻蜓。	 我準備了一個紙盒用來盛裝砝碼，盒子重量約 66g，我在裡面加些砝碼，讓盒子重量變成整數的 100g，以利重量計算。

肆、研究結果

一、人工手動發射

這階段實驗都是使用人工手動拉扯紅線發射竹蜻蜓。

註：以下圖示說明：

左圖為實驗數據，因為實驗出來的 10 次數據相當，所以在這裡我只截取顯示了前五次的記錄；

右圖為平均高度折線圖，原本我是以 5cm 為一個記錄單位，記錄方式為 0cm~5cm、5cm~10cm、…等，為了計算出平均高度，我將記錄方式簡化為 0cm、5cm、10cm、…，如下表：

原記錄方式	簡化後	原記錄方式	簡化後
0cm~5cm	0cm	100cm~105cm	100cm
5cm~10cm	5cm	105cm~110cm	105cm
10cm~15cm	10cm	⋮	
⋮		270cm ↑	270cm

(一) 槳翼翼片長度、寬度固定

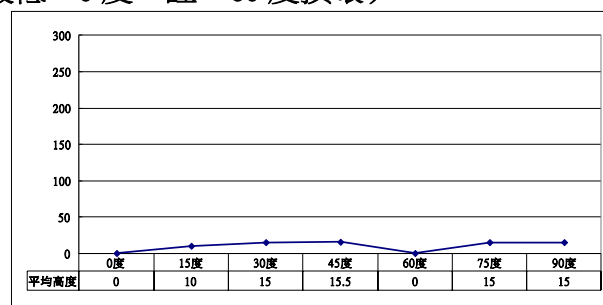
每個翼片長度皆為 18 公分、寬度皆為 2 公分，總共有 12 種紙材、7 種翼角角度，每種紙材皆做 7 支竹蜻蜓，總共有 84 支竹蜻蜓，而 1 支竹蜻蜓要發射 10 次，所以這階段實驗會發射 840 次竹蜻蜓。

(單位：公分(以下同))

1. 紙材相同、翼角角度不同

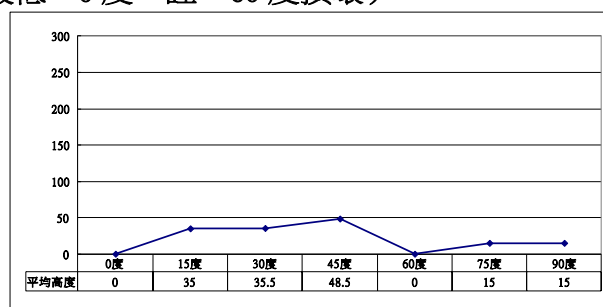
(1) 200P 白西卡 (飛最高：45 度；最低：0 度；註：60 度損壞)

翼角角度 (竹蜻蜓重量)	1	2	3	4	5
0度(4.77g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
15度(4.18g)	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15
30度(4.35g)	15-20	15-20	15-20	15-20	15-20
45度(4.17g)	20-25	15-20	15-20	15-20	15-20
60度(4.19g)	×	×	×	×	×
75度(4.30g)	15-20	15-20	15-20	15-20	15-20
90度(4.31g)	15-20	15-20	15-20	15-20	15-20

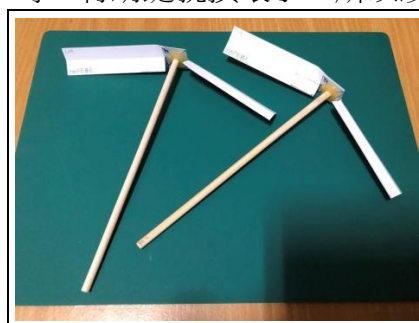


(2) 250P 白西卡 (飛最高：45 度；最低：0 度；註：60 度損壞)

翼角角度 (竹蜻蜓重量)	1	2	3	4	5
0度(5.16g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
15度(5.24g)	35-40	35-40	35-40	35-40	35-40
30度(4.84g)	40-45	35-40	35-40	35-40	35-40
45度(5.17g)	50-55	50-55	45-50	50-55	50-55
60度(4.86g)	×	×	×	×	×
75度(4.52g)	15-20	15-20	15-20	15-20	15-20
90度(4.85g)	15-20	15-20	15-20	15-20	15-20

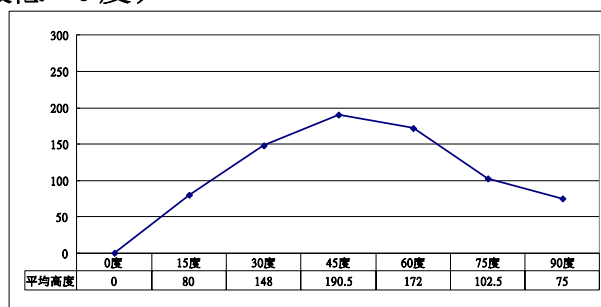


註：由(1)、(2)可看到 60 度翼角角度皆沒數據，因為二種紙材在發射第一次時，竹蜻蜓就損壞了，所以沒有記錄。(如下圖)



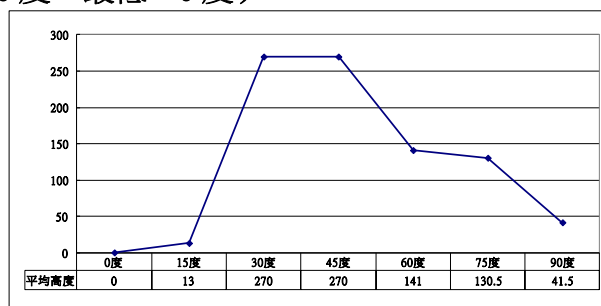
(3) 400P 白玉卡 (飛最高：45 度；最低：0 度)

翼角角度 (竹蜻蜓重量)	1	2	3	4	5
0度(5.17g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
15度(5.16g)	80-85	80-85	80-85	80-85	80-85
30度(5.05g)	130-135	160-165	145-150	150-155	150-155
45度(5.07g)	210-215	185-190	205-210	190-195	185-190
60度(5.07g)	150-155	180-185	185-190	155-160	175-180
75度(5.02g)	90-95	105-110	105-110	115-120	95-100
90度(5.00g)	50-55	55-60	70-75	90-95	85-90



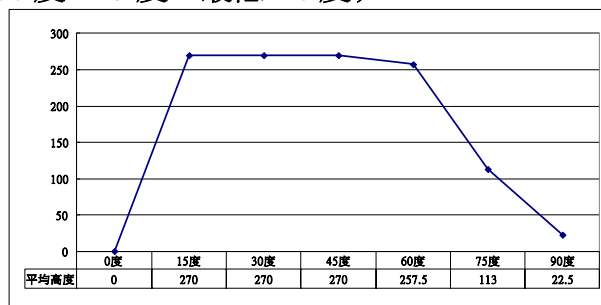
(4) 500P 白玉卡 (飛最高：45 度、30 度；最低：0 度)

翼角角度 (竹蜻蜓重量)	1	2	3	4	5
0度(4.97g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
15度(5.05g)	15-20	15-20	5-10	15-20	25-30
30度(5.07g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
45度(5.14g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
60度(5.07g)	145-150	165-170	140-145	130-135	140-145
75度(5.16g)	120-125	170-175	150-155	105-110	130-135
90度(5.10g)	45-50	90-95	35-40	45-50	15-20



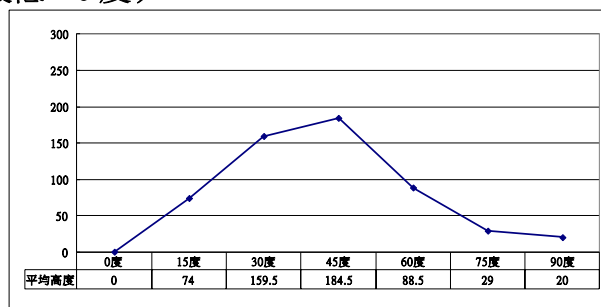
(5) 1000P 白玉卡 (飛最高：45 度、30 度、15 度；最低：0 度)

翼角角度 (竹蜻蜓重量)	1	2	3	4	5
0度(6.83g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
15度(6.82g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
30度(6.87g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
45度(6.92g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
60度(6.96g)	145-150	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
75度(6.91g)	95-100	105-110	135-140	115-120	115-120
90度(6.89g)	25-30	0-5	25-30	25-30	25-30



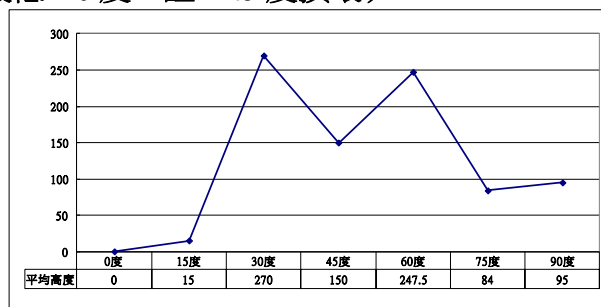
(6) 350P 灰銅卡 (飛最高：45 度；最低：0 度)

翼角角度 (竹蜻蜓重量)	1	2	3	4	5
0度(5.19g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
15度(4.90g)	75-80	65-70	75-80	75-80	75-80
30度(4.98g)	110-115	110-115	165-170	175-180	200-205
45度(5.07g)	145-150	270 ↑	185-190	165-170	175-180
60度(5.06g)	95-100	50-55	95-100	75-80	115-120
75度(5.12g)	20-25	30-35	30-35	30-35	30-35
90度(4.98g)	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25

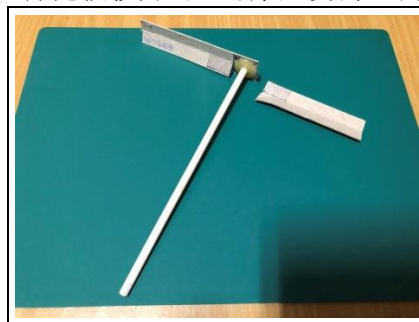


(7) 450P 灰紙板 (飛最高：30 度；最低：0 度；註：45 度損壞)

翼角角度 (竹蜻蜓重量)	1	2	3	4	5
0度(5.62g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
15度(5.78g)	125-130	125-130	125-130	125-130	125-130
30度(5.50g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
45度(5.41g)	175-180	125-130	×		
60度(5.39g)	185-190	195-200	205-210	270 ↑	270 ↑
75度(5.45g)	105-110	75-80	105-110	75-80	75-80
90度(5.89g)	95-100	95-100	95-100	95-100	95-100

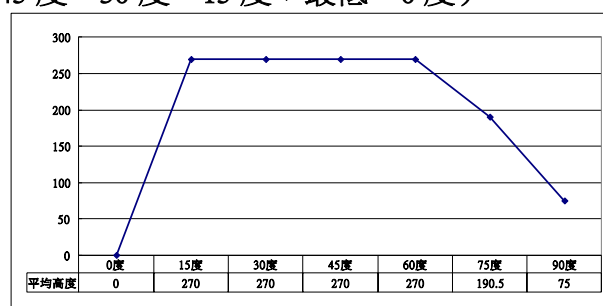


註：上列表格可看到 45 度翼角角度只有二個數據，因為在發射第三次時，竹蜻蜓就損壞了，所以沒有記錄。(如下圖)



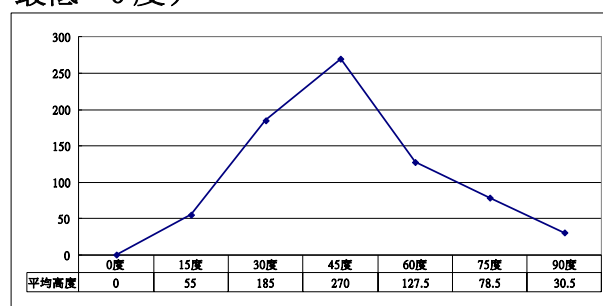
(8) 1000P 灰紙板 (飛最高：60 度、45 度、30 度、15 度；最低：0 度)

翼角角度 (竹蜻蜓重量)	1	2	3	4	5
0度(7.34g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
15度(7.43g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
30度(7.37g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
45度(7.51g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
60度(7.52g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
75度(7.31g)	155-160	115-120	195-200	270 ↑	195-200
90度(7.38g)	75-80	75-80	75-80	75-80	75-80



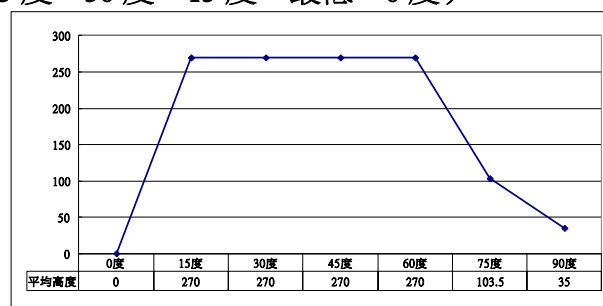
(9) 480P 美國黑卡 (飛最高：45 度；最低：0 度)

翼角角度 (竹蜻蜓重量)	1	2	3	4	5
0度(4.90g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
15度(5.05g)	55-60	55-60	55-60	55-60	55-60
30度(5.02g)	185-190	185-190	185-190	185-190	185-190
45度(5.04g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
60度(4.84g)	135-140	130-135	95-100	130-135	130-135
75度(5.01g)	80-85	75-80	80-85	80-85	80-85
90度(4.89g)	35-40	30-35	30-35	30-35	30-35



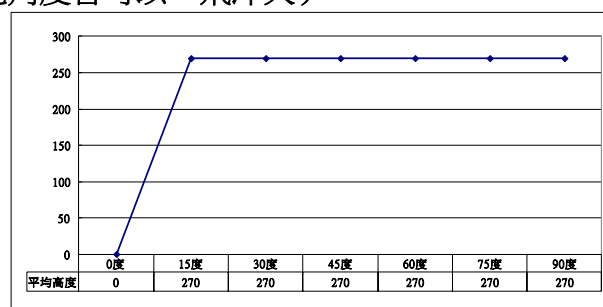
(10) 630P 奶瓶紙 (飛最高：60 度、45 度、30 度、15 度；最低：0 度)

翼角角度 (竹蜻蜓重量)	1	2	3	4	5
0度(5.40g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
15度(5.66g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
30度(5.52g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
45度(5.61g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
60度(5.56g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
75度(5.60g)	105-110	100-105	105-110	105-110	105-110
90度(5.60g)	35-40	35-40	35-40	35-40	35-40



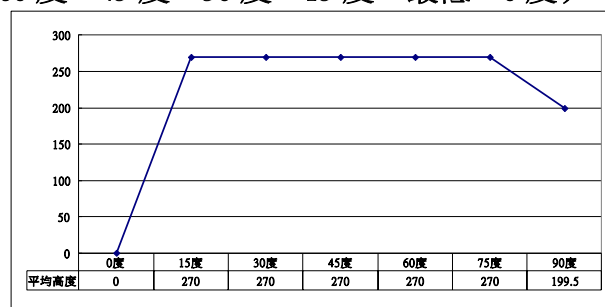
(11) 1mm 白牛奶板 (除 0 度外，其他角度皆可以一飛冲天)

翼角角度 (竹蜻蜓重量)	1	2	3	4	5
0度(5.98g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
15度(6.18g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
30度(6.07g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
45度(6.06g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
60度(5.97g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
75度(5.60g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
90度(6.05g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑



(12) 1000P 牛皮紙 (飛最高：75 度、60 度、45 度、30 度、15 度；最低：0 度)

翼角角度 (竹蜻蜓重量)	1	2	3	4	5
0度(5.92g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
15度(6.05g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
30度(5.93g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
45度(6.03g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
60度(6.07g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
75度(6.04g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
90度(6.10g)	195-200	200-205	200-205	195-200	210-215

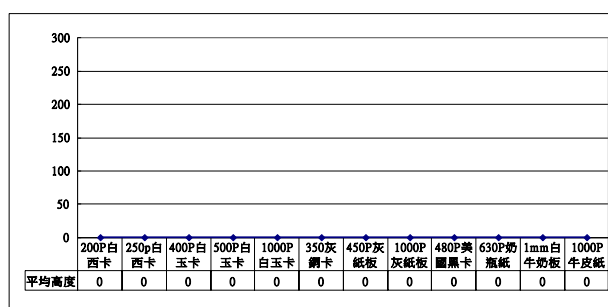


由上實驗可知，最佳紙材為 1mm 白牛奶板，除了 0 度角外，1mm 白牛奶板做出的竹蜻蜓都可以一飛沖天，再來是 1000P 牛皮紙、630 奶瓶紙、1000P 灰紙板、1000P 白玉卡，都是比較厚重、P 數比較高的紙材飛得比較高；而最輕的 200P 白西卡、250P 白玉卡則是最不適合用來做竹蜻蜓的紙材。

2. 紙材不同、翼角角度相同

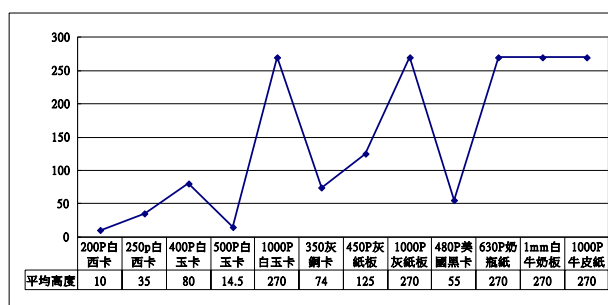
(1) 0 度翼角角度

12種紙材(竹蜻蜓重量)	1	2	3	4	5
200P白西卡(4.77g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
250p白西卡(5.16g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
400P白玉卡(5.17g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
500P白玉卡(4.97g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
1000P白玉卡(6.83g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
350灰銅卡(5.19g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
450P灰紙板(5.62g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
1000P灰紙板(7.34g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
480P美國黑卡(4.90g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
630P奶瓶紙(5.40g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
1mm白牛奶板(5.98g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
1000P牛皮紙(5.92g)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5



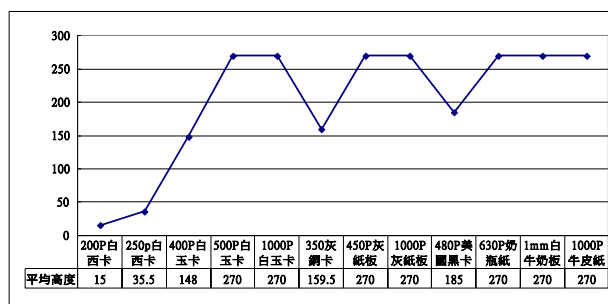
(2) 15 度翼角角度

12種紙材(竹蜻蜓重量)	1	2	3	4	5
200P白西卡(4.18g)	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15
250p白西卡(5.24g)	35-40	35-40	35-40	35-40	35-40
400P白玉卡(5.16g)	80-85	80-85	80-85	80-85	80-85
500P白玉卡(5.05g)	15-20	15-20	5-10	15-20	25-30
1000P白玉卡(6.82g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
350灰銅卡(4.90g)	75-80	65-70	75-80	75-80	75-80
450P灰紙板(5.78g)	125-130	125-130	125-130	125-130	125-130
1000P灰紙板(7.43g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
480P美國黑卡(5.05g)	55-60	55-60	55-60	55-60	55-60
630P奶瓶紙(5.66g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
1mm白牛奶板(6.18g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
1000P牛皮紙(6.05g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑



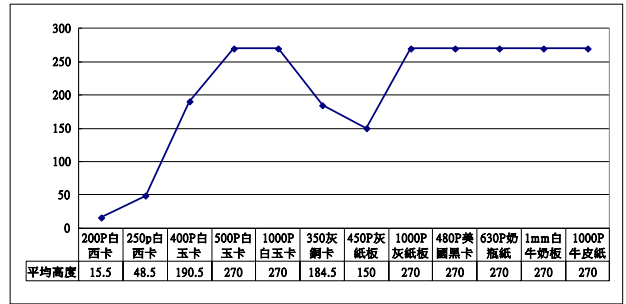
(3) 30 度翼角角度

12種紙材(竹蜻蜓重量)	1	2	3	4	5
200P白西卡(4.35g)	15-20	15-20	15-20	15-20	15-20
250p白西卡(4.84g)	40-45	35-40	35-40	35-40	35-40
400P白玉卡(5.05g)	130-135	160-165	145-150	150-155	150-155
500P白玉卡(5.07g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
1000P白玉卡(6.87g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
350灰銅卡(4.98g)	110-115	110-115	165-170	175-180	200-205
450P灰紙板(5.50g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
1000P灰紙板(7.37g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
480P美國黑卡(5.02g)	185-190	185-190	185-190	185-190	185-190
630P奶瓶紙(5.52g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
1mm白牛奶板(6.07g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
1000P牛皮紙(5.93g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑



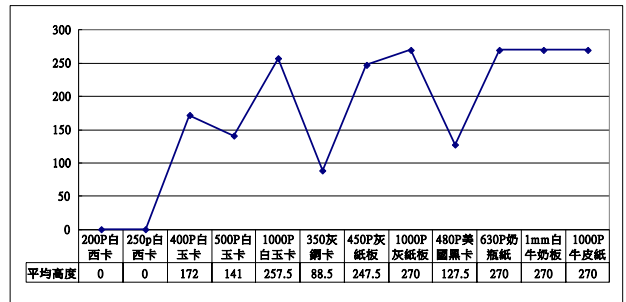
(4) 45 度翼角角度

12種紙材(竹蜻蜓重量)	1	2	3	4	5
200P白西卡(4.17g)	20-25	15-20	15-20	15-20	15-20
250p白西卡(5.17g)	50-55	50-55	45-50	50-55	50-55
400P白玉卡(5.07g)	210-215	185-190	205-210	190-195	185-190
500P白玉卡(5.14g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
1000P白玉卡(6.92g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
350灰銅卡(5.07g)	145-150	270 ↑	185-190	165-170	175-180
450P灰紙板(5.41g)	175-180	125-130	x		
1000P灰紙板(7.51g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
480P美國黑卡(5.04g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
630P奶瓶紙(5.61g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
1mm白牛奶板(6.06g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
1000P牛皮紙(6.03g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑



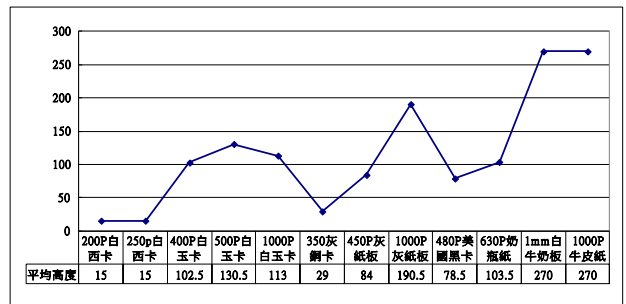
(5) 60 度翼角角度

12種紙材(竹蜻蜓重量)	1	2	3	4	5
200P白西卡(4.19g)	x	x	x	x	x
250p白西卡(4.86g)	x	x	x	x	x
400P白玉卡(5.07g)	150-155	180-185	185-190	155-160	175-180
500P白玉卡(5.07g)	145-150	165-170	140-145	130-135	140-145
1000P白玉卡(6.96g)	145-150	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
350灰銅卡(5.06g)	95-100	50-55	95-100	75-80	115-120
450P灰紙板(5.39g)	185-190	195-200	205-210	270 ↑	270 ↑
1000P灰紙板(7.52g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
480P美國黑卡(4.84g)	135-140	130-135	95-100	130-135	130-135
630P奶瓶紙(5.56g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
1mm白牛奶板(5.97g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
1000P牛皮紙(6.07g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑



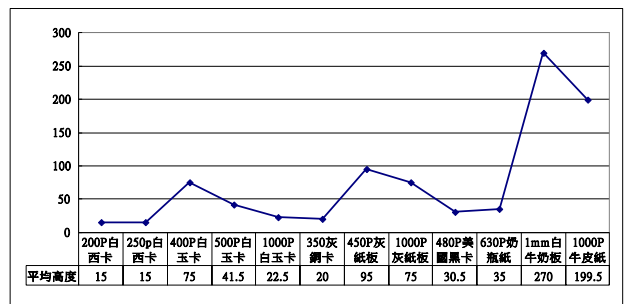
(6) 75 度翼角角度

12種紙材(竹蜻蜓重量)	1	2	3	4	5
200P白西卡(4.30g)	15-20	15-20	15-20	15-20	15-20
250p白西卡(4.52g)	15-20	15-20	15-20	15-20	15-20
400P白玉卡(5.02g)	90-95	105-110	105-110	115-120	95-100
500P白玉卡(5.16g)	120-125	170-175	150-155	105-110	130-135
1000P白玉卡(6.91g)	95-100	105-110	135-140	115-120	115-120
350灰銅卡(5.12g)	20-25	30-35	30-35	30-35	30-35
450P灰紙板(5.45g)	105-110	75-80	105-110	75-80	75-80
1000P灰紙板(7.31g)	155-160	115-120	195-200	270 ↑	195-200
480P美國黑卡(5.01g)	80-85	75-80	80-85	80-85	80-85
630P奶瓶紙(5.60g)	105-110	100-105	105-110	105-110	105-110
1mm白牛奶板(5.60g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
1000P牛皮紙(6.04g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑



(7) 90 度翼角角度

12種紙材(竹蜻蜓重量)	1	2	3	4	5
200P白西卡(4.31g)	15-20	15-20	15-20	15-20	15-20
250p白西卡(4.85g)	15-20	15-20	15-20	15-20	15-20
400P白玉卡(5.00g)	50-55	55-60	70-75	90-95	85-90
500P白玉卡(5.10g)	45-50	90-95	35-40	45-50	15-20
1000P白玉卡(6.89g)	25-30	0-5	25-30	25-30	25-30
350灰銅卡(4.98g)	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25
450P灰紙板(5.89g)	95-100	95-100	95-100	95-100	95-100
1000P灰紙板(7.38g)	75-80	75-80	75-80	75-80	75-80
480P美國黑卡(4.89g)	35-40	30-35	30-35	30-35	30-35
630P奶瓶紙(5.60g)	35-40	35-40	35-40	35-40	35-40
1mm白牛奶板(6.05g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
1000P牛皮紙(6.10g)	195-200	200-205	200-205	195-200	210-215



註：所有的實驗數據裡，顯示 270 ↑ 代表竹蜻蜓是一飛沖天直衝天花板，撞到天花板後掉下來，所以直接記錄 270cm 為室內最高高度。

由實驗結果可知，最佳翼角角度為 45 度和 30 度，再來是 15 度、60 度、75 度、90 度，而翼角角度 0 度則是最糟糕的，0 度角的竹蜻蜓是完全飛不起來的。

(二) 改變槳翼翼片的長度

由上述(一)實驗後，我選出了三種紙材(1mm 白牛奶板、400P 白玉卡、350P 灰銅卡)和二種翼角角度(30 度和 45 度)來作後續的實驗。

會選擇這三種紙材是因為 1mm 白牛奶板的紙材做出來的竹蜻蜓飛的最高，原本預計是選擇三種最佳紙材，但看過數據後，考慮到若是使用三種最佳紙材做的竹蜻蜓來做後續實驗，很有可能做出來的數據皆是一飛沖天，所以最後決定只選擇了一種最好的 1mm 白牛奶板，並另外選擇了二種數據比較平均的紙材－400P 白玉卡、350P 灰銅卡來做後續的實驗。

這階段我改變了槳翼翼片的長度，除了原本的 18cm×2cm 外，我再新增了 14cm×2cm、16cm×2cm、20cm×2cm、22cm×2cm 四種長度，共準備了 24 支竹蜻蜓(3 紙材×2 角度×4 長度)，實驗方式和之前一樣，單一支竹蜻蜓皆要實驗記錄 10 遍。

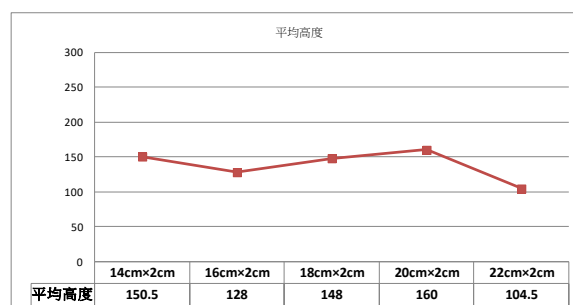
1. 400P 白西卡

(1) 30 度翼角角度

	1	2	3	4	5
14cm×2cm(4.97g)	110-115	145-150	160-165	160-165	160-165
16cm×2cm(5.08g)	135-140	135-140	125-130	125-130	125-130
18cm×2cm(5.05g)	130-135	160-165	145-150	150-155	150-155
20cm×2cm(5.30g)	160-165	170-175	160-165	160-165	150-155
22cm×2cm(5.29g)	115-120	100-105	100-105	100-105	100-105

飛最高：20cm×2cm；

飛最低：22cm×2cm。

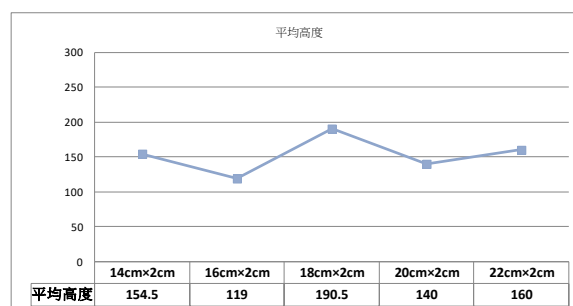


(2) 45 度翼角角度

	1	2	3	4	5
14cm×2cm(5.01g)	145-150	150-155	170-175	150-155	185-190
16cm×2cm(5.01g)	130-135	130-135	125-130	110-115	110-115
18cm×2cm(5.07g)	210-215	185-190	205-210	190-195	185-190
20cm×2cm(5.25g)	140-145	140-145	140-145	140-145	140-145
22cm×2cm(5.33g)	145-150	170-175	170-175	165-170	150-155

飛最高：18cm×2cm；

飛最低：16cm×2cm。



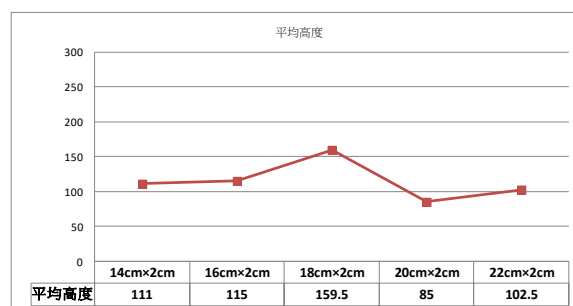
2. 350P 灰銅卡

(1) 30 度翼角角度

	1	2	3	4	5
14cm×2cm(4.86g)	105-110	105-110	105-110	115-120	120-125
16cm×2cm(4.90g)	115-120	115-120	115-120	115-120	115-120
18cm×2cm(4.98g)	110-115	110-115	165-170	175-180	200-205
20cm×2cm(5.15g)	85-90	85-90	85-90	85-90	85-90
22cm×2cm(5.26g)	115-120	105-110	100-105	100-105	100-105

飛最高：18cm×2cm；

飛最低：20cm×2cm。

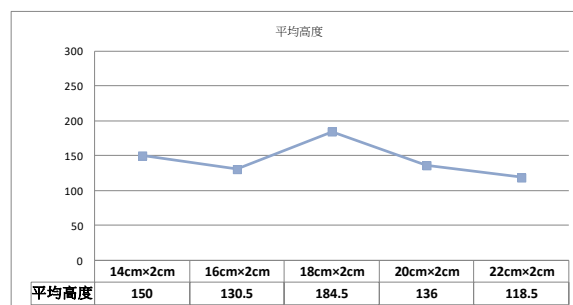


(2) 45 度翼角角度

	1	2	3	4	5
14cm×2cm(5.03g)	165-170	170-175	170-175	135-140	125-130
16cm×2cm(4.98g)	135-140	130-135	130-135	135-140	120-125
18cm×2cm(5.07g)	145-150	270 ↑	185-190	165-170	175-180
20cm×2cm(5.20g)	100-105	140-145	140-145	140-145	140-145
22cm×2cm(5.25g)	115-120	115-120	125-130	130-135	115-120

飛最高：18cm×2cm；

飛最低：22cm×2cm。



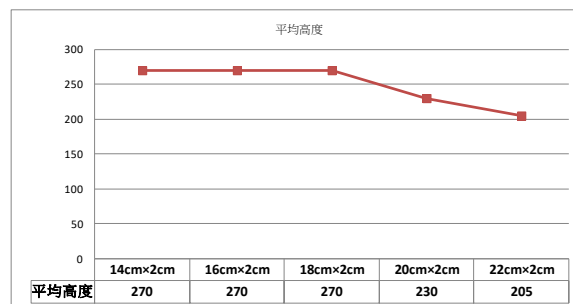
3. 1mm 白牛奶板

(1) 30 度翼角角度

	1	2	3	4	5
14cm×2cm(5.34g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
16cm×2cm(5.59g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
18cm×2cm(6.07g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
20cm×2cm(6.15g)	230-235	230-235	230-235	230-235	230-235
22cm×2cm(6.28g)	205-210	205-210	205-210	205-210	205-210

飛最高：18cm×2cm、16cm×2cm、14cm×2cm；

飛最低：22cm×2cm。

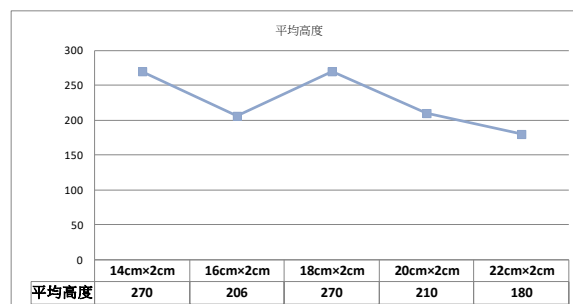


(2) 45 度翼角角度

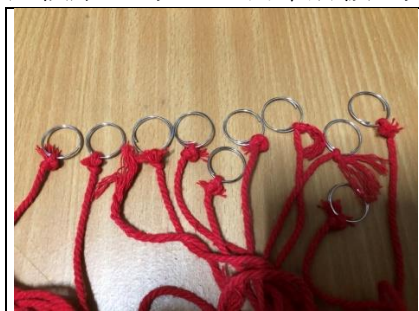
	1	2	3	4	5
14cm×2cm(5.39g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
16cm×2cm(5.75g)	200-205	210-215	180-185	210-215	210-215
18cm×2cm(6.06g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
20cm×2cm(6.17g)	210-215	210-215	210-215	210-215	210-215
22cm×2cm(6.36g)	180-185	180-185	180-185	180-185	180-185

飛最高：18cm×2cm、14cm×2cm

飛最低：22cm×2cm。



由實驗結果可知，在槳翼翼片長度的改變上，若從原本的 18cm 縮短成 16cm 和 14cm 時，對竹蜻蜓飛的高度不會有很大的影響，但相反的，若從原本的 18cm 加長成 20cm 和 22cm 時，因為竹蜻蜓的長度變長、翼片的面積變大，阻力面積越大作用力也越大，因而反作用力也變大（浮力就變強），正常來說竹蜻蜓就應該會飛得更高，但阻力面積變大了，要用來發射的扭力也要更大，而在我的實驗裡，是同一個人用差不多力量來發射這一批變長的竹蜻蜓時，竹蜻蜓反而無法飛得更高，這方面在本來就比較厚重的 1mm 白牛奶板上尤其明顯。



由左圖可以看出，因為變得難拉，發射線需要拉得更用力，甚至連拉環都拉到變形了。

(三) 改變槳翼翼片的寬度

這階段我改變了槳翼翼片的寬度，除了原本的 18cm×2cm 外，我再新增了 18cm×3cm、18cm×4cm 二種寬度，共準備了 12 支竹蜻蜓(3 紙材×2 角度×2 寬度)。

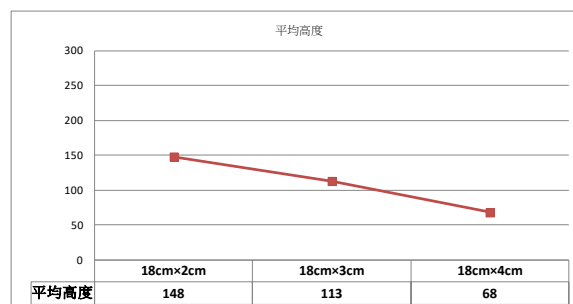
1. 400P 白西卡

(1) 30 度翼角角度

	1	2	3	4	5
18cm×2cm(5.05g)	130-135	160-165	145-150	150-155	150-155
18cm×3cm(5.77g)	110-115	125-130	110-115	110-115	110-115
18cm×4cm(6.55g)	80-85	70-75	70-75	60-65	60-65

飛最高：18cm×2cm；

飛最低：18cm×4cm。

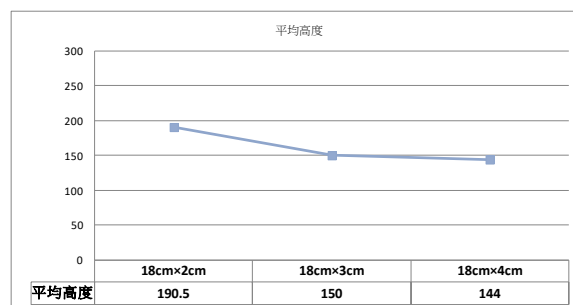


(2) 45 度翼角角度

	1	2	3	4	5
18cm×2cm(5.07g)	210-215	185-190	205-210	190-195	185-190
18cm×3cm(5.83g)	150-155	150-155	150-155	150-155	150-155
18cm×4cm(6.66g)	170-175	130-135	120-125	150-155	145-150

飛最高：18cm×2cm；

飛最低：18cm×4cm。



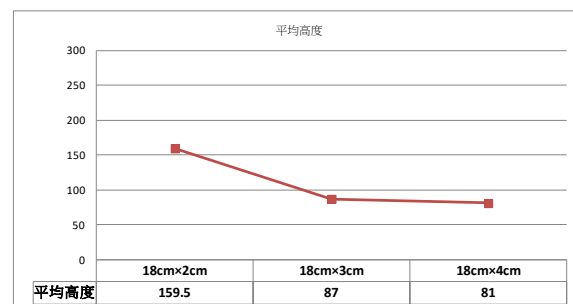
2. 350P 灰銅卡

(1) 30 度翼角角度

	1	2	3	4	5
18cm×2cm(4.98g)	110-115	110-115	165-170	175-180	200-205
18cm×3cm(5.51g)	80-85	85-90	85-90	100-105	85-90
18cm×4cm(6.11g)	90-95	80-85	80-85	75-80	85-90

飛最高：18cm×2cm；

飛最低：18cm×4cm。

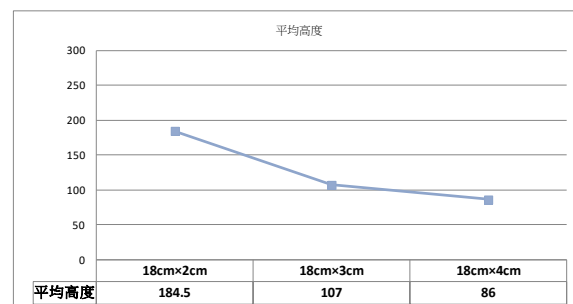


(2) 45 度翼角角度

	1	2	3	4	5
18cm×2cm(5.07g)	145-150	270 ↑	185-190	165-170	175-180
18cm×3cm(5.57g)	115-120	115-120	100-105	100-105	95-100
18cm×4cm(6.15g)	90-95	85-90	80-85	90-95	85-90

飛最高：18cm×2cm；

飛最低：18cm×4cm。

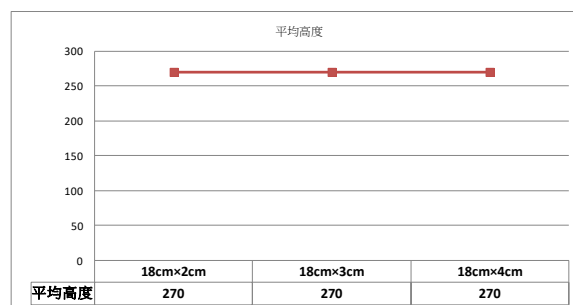


3. 1mm 白牛奶板

(1) 30 度翼角角度

	1	2	3	4	5
18cm×2cm(6.07g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
18cm×3cm(6.75g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
18cm×4cm(8.19g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑

都可以飛很高。

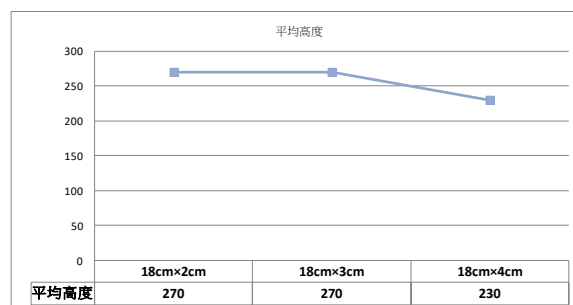


(2) 45 度翼角角度

	1	2	3	4	5
18cm×2cm(6.06g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
18cm×3cm(6.80g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
18cm×4cm(8.39g)	230-235	230-235	230-235	230-235	230-235

飛最高：18cm×2cm、18cm×3cm

飛最低：18cm×4cm。



這階段實驗是將槳翼翼片變寬，由實驗結果可以看出，和前列(二)所述一樣，槳翼翼片變寬了，面積也變大了，高度反而降了。

(四) 改變槳翼翼片的長度和寬度

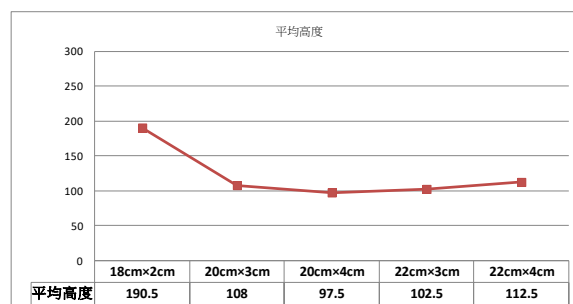
這階段我同時改變了槳翼翼片的長度和寬度，除了原本的 18cm×2cm 外，我再新增了 20cm×3cm、20cm×4cm、22cm×3cm、22cm×4cm 四種(這階段實驗我只準備了 45 度一種)，共準備了 12 支竹蜻蜓(3 紙材×1 角度×4 長寬)。

1. 400P 白西卡

	1	2	3	4	5
18cm×2cm(5.07g)	210-215	185-190	205-210	190-195	185-190
20cm×3cm(6.38g)	85-90	110-115	100-105	110-115	115-120
20cm×4cm(7.21g)	100-105	115-120	75-80	95-100	90-95
22cm×3cm(6.52g)	110-115	90-95	100-105	115-120	105-110
22cm×4cm(7.51g)	130-135	115-120	105-110	105-110	115-120

飛最高：18cm×2cm；

飛最低：20cm×4cm。

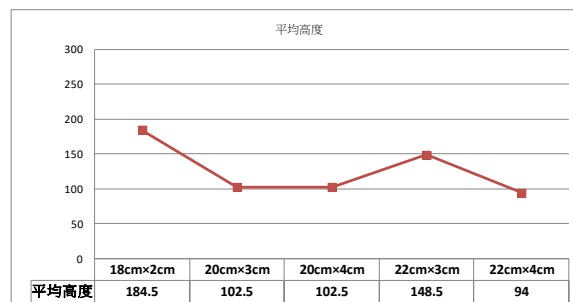


2. 350P 灰銅卡

	1	2	3	4	5
18cm×2cm(5.07g)	145-150	270 ↑	185-190	165-170	175-180
20cm×3cm(6.00g)	120-125	95-100	115-120	105-110	85-90
20cm×4cm(6.89g)	100-105	110-115	105-110	100-105	100-105
22cm×3cm(6.23g)	140-145	145-150	150-155	150-155	165-170
22cm×4cm(7.04g)	95-100	85-90	90-95	95-100	100-105

飛最高：18cm×2cm；

飛最低：22cm×4cm。

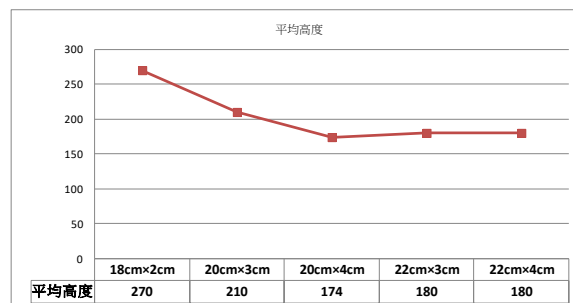


3. 1mm 白牛奶板

	1	2	3	4	5
18cm×2cm(6.06g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
20cm×3cm(7.54g)	210-215	210-215	210-215	210-215	210-215
20cm×4cm(9.16g)	180-185	170-175	190-195	170-175	170-175
22cm×3cm(8.27g)	180-185	180-185	180-185	180-185	180-185
22cm×4cm(9.63g)	180-185	180-185	180-185	180-185	180-185

飛最高：18cm×2cm；

飛最低：20cm×4cm。



這階段實驗是同時將翼片變長又變寬，由實驗結果可以看出，和前(二)、(三)實驗結果一樣，翼片只要變長、變寬，竹蜻蜓變得更大支，重量也會變得更重，反而讓竹蜻蜓變得很難發射，竹蜻蜓就無法飛得更高，這情形在 1mm 白牛奶板最為明顯。

(五) 改變軸的長度

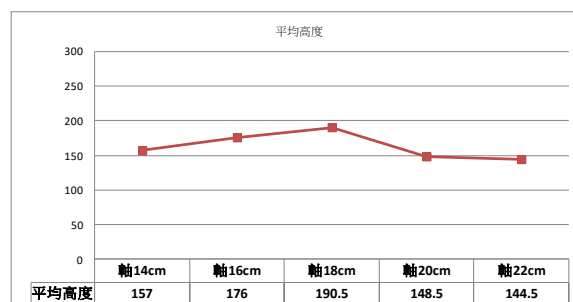
這階段我改變了軸的長度，分成 14cm、16cm、18cm、20cm、22cm 五種(這階段實驗我只準備了 45 度一種)，除了 18cm，我再準備了 12 支竹蜻蜓(3 紙材×1 角度×4 軸長)。

1. 400P 白西卡

	1	2	3	4	5
軸14cm(4.86g)	160-165	160-165	145-150	170-175	155-160
軸16cm(4.82g)	180-185	175-180	165-170	180-185	175-180
軸18cm(5.07g)	210-215	185-190	205-210	190-195	185-190
軸20cm(5.00g)	165-170	140-145	140-145	135-140	160-165
軸22cm(5.11g)	150-155	140-145	135-140	150-155	145-150

飛最高：軸 18cm；

飛最低：軸 22cm。

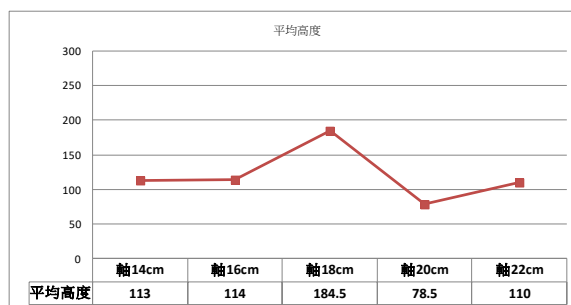


2. 350P 灰銅卡

	1	2	3	4	5
軸14cm(4.41g)	110-115	115-120	125-130	110-115	110-115
軸16cm(4.59g)	115-120	120-125	110-115	110-115	110-115
軸18cm(5.07g)	145-150	270 ↑	185-190	165-170	175-180
軸20cm(5.17g)	75-80	60-65	75-80	85-90	85-90
軸22cm(5.10g)	100-105	125-130	110-115	110-115	110-115

飛最高：軸 18cm；

飛最低：軸 20cm。

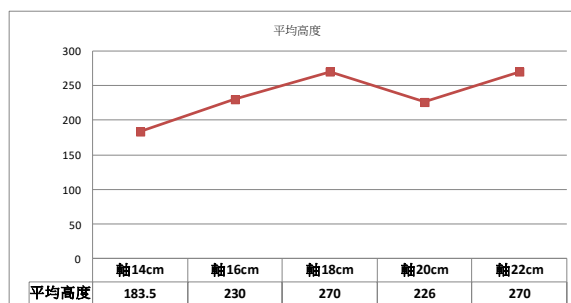


3. 1mm 白牛奶板

	1	2	3	4	5
軸14cm(5.55g)	195-200	195-200	180-185	170-175	180-185
軸16cm(5.54g)	230-235	230-235	230-235	230-235	230-235
軸18cm(6.06g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
軸20cm(6.29g)	225-230	225-230	230-235	225-230	230-235
軸22cm(6.59g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑

飛最高：軸 18cm、軸 22cm；

飛最低：軸 14cm。



由實驗數據可以看到，原本基本軸長為 18cm，縮短成 14cm 和 16cm 後，竹蜻蜓也變輕了，400P 白西卡和 350P 灰銅卡本來就輕，變得更輕後，竹蜻蜓也飛得更低了，而最佳紙材的 1MM 牛奶板也因為重量變了，反而不像前面一樣一飛沖天了；而軸變長成 20cm 和 22cm 時，因為軸過長，反而需要花更大的力量才能讓竹蜻蜓飛上去，所以軸太長或太短對竹蜻蜓都不好，因此我設定的最佳軸長是和翼片長度一樣的 18cm。

(六) 改變槳翼翼片的表面樣式

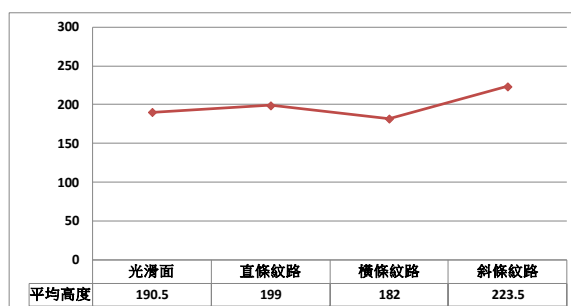
這階段我改變了槳翼翼片的表面樣式，我在原本的三種紙材(400P 白玉卡、350P 灰銅卡、1mm 白牛奶板)上貼上了三種樣式的瓦楞紙(直條紋路、橫條紋路、斜條紋路)，我準備了 9 支竹蜻蜓(3 紙材×1 角度×3 樣式)。(這階段實驗我只準備了 45 度一種)

1. 400P 白西卡

	1	2	3	4	5
光滑面(5.07g)	210-215	185-190	205-210	190-195	185-190
直條紋路(7.04g)	200-205	200-205	195-200	190-195	210-215
橫條紋路(7.81g)	155-160	185-190	180-185	180-185	200-205
斜條紋路(7.69g)	205-210	225-230	225-230	230-235	225-230

飛最高：斜條紋路；

飛最低：橫條紋路。

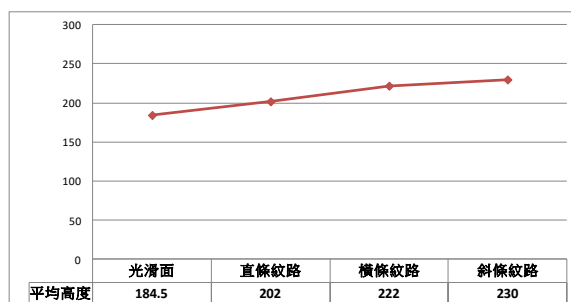


2. 350P 灰銅卡

	1	2	3	4	5
光滑面(5.07g)	145-150	270 ↑	185-190	165-170	175-180
直條紋路(7.63g)	205-210	205-210	210-215	185-190	195-200
橫條紋路(7.77g)	195-200	225-230	225-230	225-230	225-230
斜條紋路(7.78g)	230-235	230-235	230-235	230-235	230-235

飛最高：斜條紋路；

飛最低：光滑面。

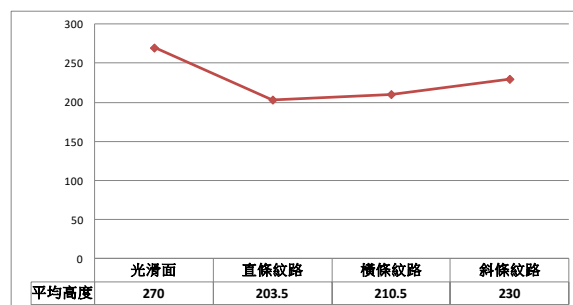


3. 1mm 白牛奶板

	1	2	3	4	5
光滑面(6.06g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
直條紋路(8.35g)	200-205	200-205	205-210	220-225	200-205
橫條紋路(8.62g)	200-205	200-205	180-185	225-230	225-230
斜條紋路(8.72g)	230-235	230-235	230-235	230-235	230-235

飛最高：光滑面；

飛最低：直條紋路。



原本我認為竹蜻蜓的表面由平滑面變成不平滑的狀態時，會影響到竹蜻蜓的飛行高度，結果，跟我設想的不一樣。由實驗數據可以看出，在 400P 白西卡，飛行高度沒有多大變化；在 350P 灰銅卡就有不一樣了，原本 350 灰銅卡的紙質比較軟，在加了瓦楞紙後，厚度變了、重量也變了，反而飛得更高；在 1mm 白牛奶板正好相反，因為 1mm 白牛奶板本來就比較厚重，在加了瓦楞紙後，變得更重，我在拉扯紅紗線發射竹蜻蜓時，就有發現變得很難拉動，反而影響了竹蜻蜓飛行的高度。

(七) 改變槳翼翼片的數量

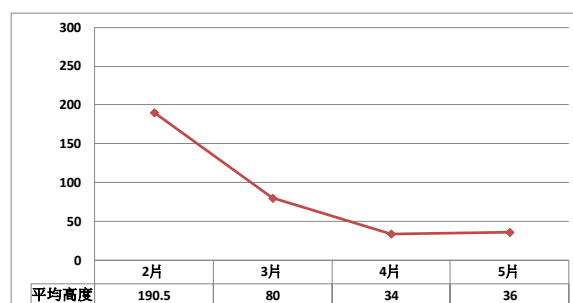
這階段我改變了槳翼翼片的數量，分成了 3 片、4 片、5 片三種，我準備了 9 支竹蜻蜓(3 紙材×1 角度×3 數量)。(這階段實驗我只準備了 45 度一種)

1. 400P 白西卡

	1	2	3	4	5
2片(5.07g)	210-215	185-190	205-210	190-195	185-190
3片(5.22g)	80-85	80-85	80-85	80-85	80-85
4片(6.53g)	30-35	30-35	40-45	30-35	40-45
5片(7.53g)	35-40	35-40	45-50	35-40	35-40

飛最高：2 片；

飛最低：4 片。

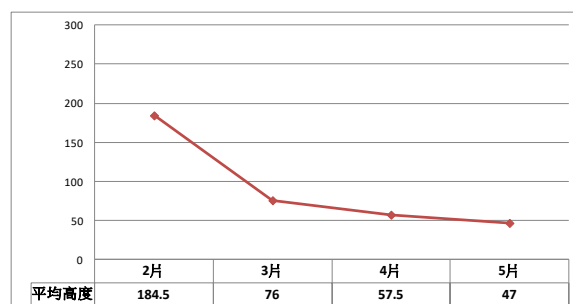


2. 350P 灰銅卡

	1	2	3	4	5
2片(5.07g)	145-150	270 ↑	185-190	165-170	175-180
3片(5.07g)	85-90	70-75	75-80	85-90	70-75
4片(6.12g)	60-65	60-65	55-60	55-60	60-65
5片(7.15g)	30-35	35-30	55-60	55-60	60-65

飛最高：2 片；

飛最低：5 片。

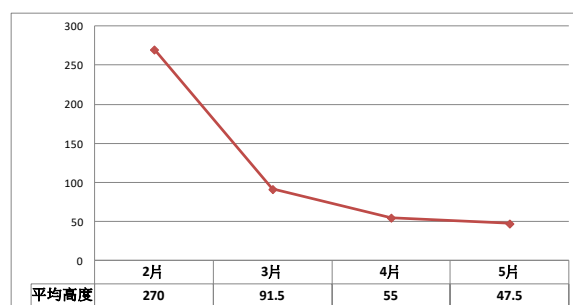


3. 1mm 白牛奶板

	1	2	3	4	5
2片(6.06g)	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑	270 ↑
3片(6.89g)	95-100	90-95	95-100	90-95	90-95
4片(8.40g)	55-60	55-60	55-60	55-60	55-60
5片(10.12g)	25-30	40-45	30-35	60-65	60-65

飛最高：2 片；

飛最低：5 片。



由實驗數據可以看出，槳翼翼片數量變多後，並不會讓竹蜻蜓飛得更高，反而會因為竹蜻蜓變重、阻力面積變多了，需要花更大的力量才能讓竹蜻蜓起飛，變得很難拉動紅繩，竹蜻蜓也就飛不高了。

(八) 戶外實驗

前面的所有實驗都是在不會受到風影響的家裡室內空間操作，但家裡空間高度受限，像 1mm 白牛奶板一飛沖天時，就直接撞到天花板掉下來，所以我就帶著 1mm 白牛奶板做的竹蜻蜓到學校的操場上，想試試看竹蜻蜓在戶外發射時，是不是會飛得更高？結果，並沒有！在戶外空間，竹蜻蜓受到風的影響，反而無法直接沖上去往上飛，會亂飄，影響了竹蜻蜓飛得高度。

下圖，趁著風停時趕快發射，竹蜻蜓大約可以飛一層樓高。



起風時，發射出去的竹蜻蜓會被風吹走，飛歪了。



由實驗過程可以發現，竹蜻蜓飛行高度的實驗比較適合在不會受到風吹影響的室內進行，在室內，竹蜻蜓比較容易直直往上飛；若只是單純遊玩，就不受限制。

二、砝碼實驗

在一、的實驗裡皆是人工手動實驗，手動拉扯很難準確固定手部的發力，雖然所有竹蜻蜓都是由同一人發射測試，但要控制人的力量都一致是很困難的，而且在前面的實驗裡可以看出，越大支、越重的竹蜻蜓越難拉，但也只知道拉到手痛，不知到底是用了多少力量才把竹蜻蜓發射出去，所以為了更精準測出到底要用多少拉力才能發射出竹蜻蜓，所以我準備了一批砝碼(有 100g、50g、20g、10g 數十個)，並改良了發射臺後，做了一連串的測試。

在前一階段的手動實驗裡，我總共準備了 162 支各種紙材、各種樣式的竹蜻蜓，實驗後找出了最佳紙材—1mm 白牛奶板，所以在這階段的砝碼實驗裡，我只挑出其中 1mm 白牛奶板所做出的 33 支竹蜻蜓來做實驗，測試這 33 支竹蜻蜓各需要多少拉力才能發射？

我準備了一個盛裝砝碼的盒子為 100g，所以實驗就從 100g 開始，一次加 20g 的砝碼，一直加到竹蜻蜓可以飛離發射器的發射口為止就停止測試並記錄。

(單位：g (以下同))

(一) 翼角角度不同

0度(5.98g)	15度(6.18g)	30度(6.07g)	45度(6.06g)	60度(5.97g)	75度(5.60g)	90度(6.05g)
0	260	320	380	500	800	1620

在前揭一、(一)2.人工手動實驗裡，我測出了最佳翼角角度順序為 45 度、30 度、15 度、60 度，但在這階段砝碼實驗裡，準確測出了最省力的翼角角度為 15 度，再來是 30 度、45 度、60 度、而 90 度則是最難發射的。

(二) 槳翼翼片長度不同

1. 30 度

14cm×2cm(5.34g)	16cm×2cm(5.59g)	18cm×2cm(6.07g)	20cm×2cm(6.15g)	22cm×2cm(6.28g)
240	240	320	340	380

2. 45 度

14cm×2cm(5.39g)	16cm×2cm(5.75g)	18cm×2cm(6.06g)	20cm×2cm(6.17g)	22cm×2cm(6.36g)
380	440	440	460	480

(三) 槳翼翼片寬度不同

1. 30 度

18cm×2cm(6.07g)	18cm×3cm(6.75g)	18cm×4cm(8.19g)
320	320	380

2. 45 度

18cm×2cm(6.06g)	18cm×3cm(6.80g)	18cm×4cm(8.39g)
380	440	560

(四) 槳翼翼片長度和寬度皆不同

18cm×2cm(6.06g)	20cm×3cm(7.54g)	20cm×4cm(9.16g)	22cm×3cm(8.27g)	22cm×4cm(9.63g)
380	500	780	720	800

從上述(二)、(三)、(四)可以明顯看出，槳翼翼片長度越長、寬度越寬、面積越大、重量越重，發射竹蜻蜓時需要用到的拉力就會越重。

(五) 軸長不同

軸14cm(5.55g)	軸16cm(5.54g)	軸18cm(6.06g)	軸20cm(6.29g)	軸22cm(6.59g)
480	460	380	460	380

(六) 槳翼翼片樣式不同

光滑面(6.06g)	直條紋路(8.35g)	橫條紋路(8.62g)	斜條紋路(8.72g)
380	760	1180	800

在這項實驗裡，因為我是在原本的 1mm 白牛奶板上再貼上瓦楞紙，增加了竹蜻蜓的重量，所以也造成了拉力的差距；而單純只比較三款不同樣式的竹蜻蜓，可以發現，貼了橫條紋路瓦楞紙的竹蜻蜓要用最多力、最難發射，所以竹蜻蜓的表面紋路還是會影響竹蜻蜓的飛行。

(七) 槳翼翼片數量不同

2片(6.06g)	3片(6.89g)	4片(8.40g)	5片(10.12g)
380	1480	2120	2620

和前述一樣，翼片變多了，阻力面積變大作用力也越大，因而反作用力也變大（浮力就變強），要用來發射的扭力也要更大，而且重量也變得更重，所以要花更大的力氣才能發射竹蜻蜓。

(八) 市售竹蜻蜓

竹子製(5.9g)	塑膠製(3.16g)
560	140

把二款市售的竹蜻蜓也拿來做了測試，結果發現塑膠製的竹蜻蜓比較容易發射。

伍、討論

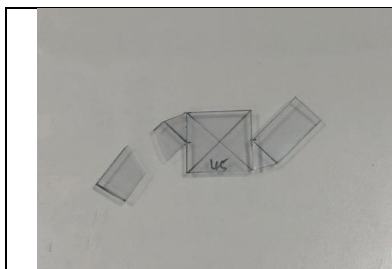
在所有的實驗過程中，我發現了一些問題並找出了解決方式，說明如下：

- 一、因疫情關係，所以所有實驗由一人完成，家人從旁協助，因使用到厚紙板、膠片，切割比較不容易，需大人幫忙。
- 二、這次實驗主要材料為「紙」，紙的總類很多，所以我只以單一間文具店內的紙材區為購買材料來源。
- 三、在竹蜻蜓方面

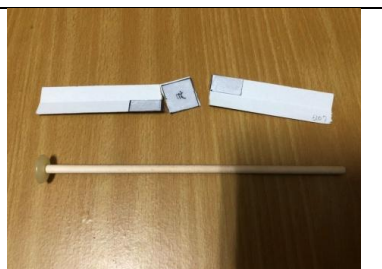
在決定竹蜻蜓為主題時，有先使用 500P 白玉卡試作了一支竹蜻蜓來測試，當時翼角角度是使用相同紙材來製作(後來是使用膠片)，但試飛了幾次後，紙做的翼角會開始軟化(如下圖)，角度會開始歪七扭八，所以後來正式實驗時，是以膠片為翼角角度的材料。



但使用膠片時也要特別小心，膠片若太用力切割或多凹折幾次，也是有斷裂的可能性。



切割過程斷裂的膠片



實驗過程損壞的竹蜻蜓

而在紙材的選擇上，除了最好的 1mm 白牛奶板外，其他比較厚重的紙材如 1000P 牛皮紙、1000P 灰紙板、1000P 白玉卡其實也可以做出飛得又高又直的竹蜻蜓，但這些紙材在做竹蜻蜓的過程中會發現紙很容易裂開(下圖左)，從紙博館的卡紙介紹(下圖右)可以看到，那是這些卡紙的特性，這些卡紙是多層次的，在折疊切割過程中容易分裂，所以這幾種卡紙沒有被我選為最佳紙材。



分裂成多層的卡紙

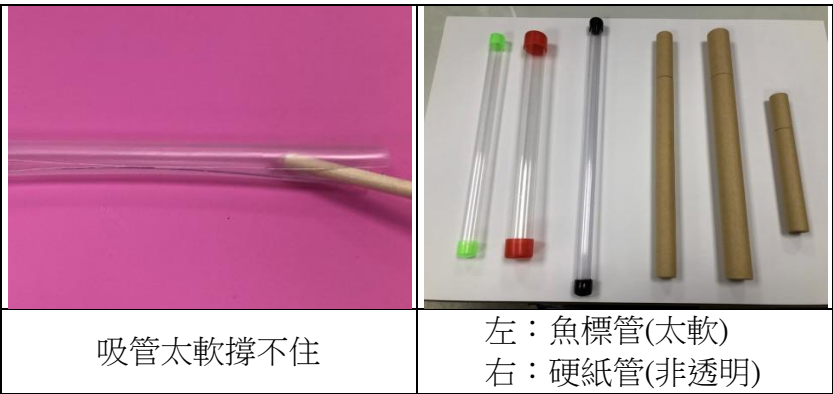


紙博館的卡紙介紹

而在圓木棍上，雖然我使用的都是同廠牌的圓木棍，可是在裁切出我需要的長度後，每一支圓木棍都用電子秤秤過重量，雖然材質一樣，但重量還是有些差別，以 18cm 長度來說，重量從 1.9g~3.5g 都有，而在紙材方面，裁切後一樣都有秤過並記錄，也是都有差距，所以當我在組裝竹蜻蜓時，我就稍微分配了重量，比較輕的紙材會配比較重的圓木棍，讓同一批的竹蜻蜓重量上不要差距太大。

四、在發射器方面

在製作發射器時，有參考了其他科展作品，發現有人是使用 PVC 水管，但 PVC 水管很硬，需要專業的切割的器材才有辦法切割，然後我試用了粗的吸管來做又太軟，發射時，竹蜻蜓會從切口被拉扯出來(如下圖左)，所以我另外找了幾種材料(如下圖右)，試過後決定使用容易切割又不會太軟的 PVC 收納管(直徑 2cm，長 15cm)。



但 PVC 收納管一樣也會有切口過軟的問題，發射越多次，缺口越大，所以我在發射器的上緣黏了二圈的鋁線強化一下。



而 PVC 收納管做的發射器在被紅紗線一直摩擦後，會開始破裂，所以我多準備了好幾個發射器，實驗幾組竹蜻蜓就換一次。



五、在發射臺方面

一般竹蜻蜓在遊玩時，是兩手搓轉木棒放出去後就會飛出去，我為了讓竹蜻蜓可以穩定的往上飛，所以我準備了發射器，但若用手持發射器，拉線時，發射器無法固定在同一個位子上，也會造成竹蜻蜓亂飛，所以我再準備了發射臺用來固定發射器。



一開始實驗時，我就有規劃要用碼砝來拉動紅紗線，結果估算錯誤，我準備的古氏數棒砝碼不夠重又太大顆，500g 就很大一堆，很笨重又無法發動竹蜻蜓，所以後來捨棄使用。



但一輪手動實驗過後，覺得用手拉線，力量忽大忽小很難控制，為了更精準獲得實驗數據，所以改良了發射臺，在發射臺前端往外加長了約 15 公分，以便盛裝砝碼的盒子降落時，不會卡到邊緣，也另外找了一批金屬製砝碼，最後順利的把竹蜻蜓發射出去。



陸、結論

可以用來製作竹蜻蜓的材料很多元，我只選擇用「紙」來做，經過實驗，我得到了以下結論：

一、在翼片紙材方面

在製作過程中，十二種紙材(200P 白西卡、250 白西卡、400P 白玉卡、500P 白玉卡、1000P 白玉卡、350P 灰銅卡、450P 灰紙板、1000P 灰紙板、480P 美國黑卡、630P 奶瓶紙、1mm 白牛奶板、1000P 牛皮紙)中我最喜歡的就是 1mm 白牛奶板，它硬度夠，又白又平，材質也不會像 1000P 白玉卡和 1000P 灰紙板一樣凹折後會分裂多層，而經過一輪人工手動實驗得到的結果也顯示 1mm 白牛奶板做出來的竹蜻蜓可以飛得又直又高，所以 1mm 白牛奶板為製作竹蜻蜓的最佳紙材；而 200P 白西卡、250 白西卡，因為太薄、太軟又太輕，是最不適合拿來製作竹蜻蜓的紙材。

二、在翼角角度方面

我準備了 0 度、15 度、30 度、45 度、60 度、75 度、90 度七種角度，從第一輪的人工手動實驗結果可以看出 45 度角是最佳角度，再來是 30 度，之後是 60 度、15 度、75 度、90 度；而從第二輪的砝碼實驗可以發現，15 度角的竹蜻蜓最省力，只需 260g 的砝碼就可以發射出去，再來依序是 30 度、45 度、60 度、75 度，而 90 度最難發射，要用到 1620g 的砝碼才可以發射出去；最差的角度是 0 度，平的、沒有翼角角度的竹蜻蜓是完全飛不起來的。

三、在翼片長度、寬度方面

我準備的竹蜻蜓基本長度為 18cm、寬度為 2cm，而軸長為 18cm，當我將翼片長度加長、寬度加寬，因為竹蜻蜓的翼片面積變大，阻力面積越大、作用力也越大，因而反作用力也變大(浮力就變強)，正常來說竹蜻蜓就應該會飛得更高，但阻力面積變大了，要用來發射的扭力也要更大，而且竹蜻蜓的面積變大後，重量也變得更重，發射竹蜻蜓就需要更用力，在我的第一輪人工手動實驗裡，由同一個人用差不多力量來發射這一批變長、變寬、變重的竹蜻蜓時，就會發現變得特別難拉動紅繩，在第二輪的砝碼實驗也證實，竹蜻蜓變長、變寬、變重後，需要用到的砝碼數量也越多。

四、在翼片表面樣式方面

我的竹蜻蜓都是平滑的表面，後來我加了瓦楞紙做了些變化，本來是想試試若是非平滑的表面看看會不會有不同結果，結果造成反效果，比較輕的 400P 白玉卡和 350P 灰銅卡在加了瓦楞紙後，結構變得比較厚重，反而增加了飛得高度；而相反的，本來就有點重量的 1mm 白牛奶板反而因為更加厚重，變得很難發射，飛的高度反而變低了。而從第二

輪的砝碼實驗後，若單純只看三個樣式（直條紋路、橫條紋路、斜條紋路），會發現貼了橫條紋路瓦楞紙的 1mm 白牛奶板竹蜻蜓會特別難發射，所以表面紋路還是會影響到竹蜻蜓的起飛狀態。

五、在翼片數量方面

竹蜻蜓翼片數量增加後，並不會讓竹蜻蜓飛得更高，反而因為翼片數量變多了，竹蜻蜓也變得更重，尤其是 1mm 白牛奶板做的 5 片式竹蜻蜓已經重達 10.12g，是我準備的 162 支竹蜻蜓裡最重的一支，在砝碼實驗裡，這一支最重的竹蜻蜓也用到最重的砝碼 2620g 才稍微發射出去。

六、實驗場所

我準備的實驗場所為不會受到風吹影響的室內，可以避免竹蜻蜓亂飛，但還是要保持安全距離，竹蜻蜓在發射出去後，還是有可能飛歪，在我的實驗裡，甚至還有發射瞬間翼片就斷掉亂射，所以若可以，實驗過程中最好戴上護目鏡，避免打到眼睛。

在實驗以前，我都以為越輕的紙材做的竹蜻蜓會比較容易飛，實驗之後才知道，紙材太輕、太薄、太軟做出來的竹蜻蜓反而飛的高度都不高也飛得不遠，甚至發射時，還容易損壞，可是也不能把竹蜻蜓做得太重、太大支，越重越大支的竹蜻蜓就越難發射，要花的力氣越大，當超過我們能用的力量時，就無法達到我們想要的高度。

竹蜻蜓為古老童玩之一，在市面上也不難買到竹蜻蜓，種類也很多元，但我想的是，若可以自己動手做，用最簡單而且材料也可以很容易取得的方式來做，然後在樣式上還能照自己的想法來變化，一定很有趣，而且市面上的竹蜻蜓大都是右手版，自己做還能改成左手版，也是很特別的。

柒、參考資料及其他

- 一、一點都不無聊！帶著實驗出去玩。作者／傑克·查隆納（Jack Challoner），譯者／徐仕美。遠流出版事業股份有限公司。
- 二、『急轉直上』-組合式竹蜻蜓的自製研究。基隆市 107 學年度中小學科學展覽會-國小組。取自 https://jweb.kl.edu.tw/userfiles/1365/document/33670_107-物理-建德國小封面在最後兩頁.pdf
- 三、自製竹蜻蜓與發射器探討升空原理。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會-高級中等學校組工程學科(一)科。取自 <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=13521&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=34&sid=13906&print=1>
- 四、「飛向二十二世紀的竹蜻蜓」。2022 全國科學探究競賽-國中組。取自 <https://sciexplore.colife.org.tw/work.php?t=B0205>
- 五、平步蜻雲。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會-國中組物理科。取自 <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=9479&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=21&sid=9488>
- 六、原鄉蜻蜓夢—時間停留術-中華民國第 61 屆中小學科學展覽會-國中組物理科。取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/61/pdf/NPHSF2021-030102.pdf?0.02074366412125528>