

# 中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 生物科

佳作

080314

『羽』眾不同—羽毛特徵與功能探討

學校名稱：臺北市立大學附設實驗國民小學

作者：  小六 孫睦桓  小五 張譯心  小五 李亭萱	指導老師：  武秀韻  施秋梅
---	-----------------------------

關鍵詞：羽毛功能、羽毛實驗、羽毛研究

## 摘 要

我們對鳥的羽毛有極大的興趣和好奇，透過這次的研究，我們用顯微鏡觀察鳥類羽毛特徵和結構，探索羽毛的不同功能的實驗，以及進一步分析比較羽毛功能與其構造是否有相關。在觀察中發現：鳥類身體不同部位的羽毛外形特徵大小、顏色、長短差異甚大，羽毛結構上會有共同特點，有羽軸、片羽、羽枝、小羽枝、羽鉤和小結點的構造。在實驗中發現：飛羽有防水的作用；絨羽的結構較不緊密，所以無法防風，飛羽和體羽上端都有片羽的結構，可以防風；飛羽防塵效果很好；羽毛比其他的材質保溫效果好，絨羽的蓬鬆度愈大，保溫的效果愈好；羽毛的彎曲程度有助於飛行的抬升效果。在觀察和實驗結果的分析比較中發現，鳥類羽毛的特徵和結構與其功能有密切的關係。

## 壹、研究動機

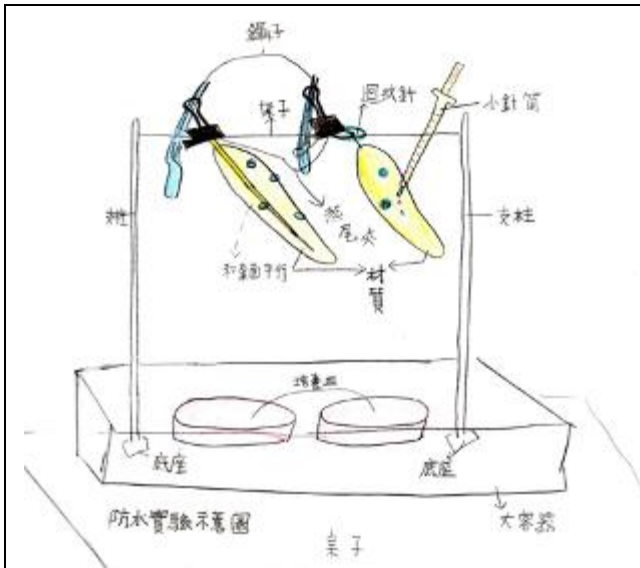
我們在去年暑假時參加了學校舉辦的史溫侯飛羽夏令營，夏令營期間，有很多來自鳥會的老師跟我們介紹各種有關鳥類的知識，也帶領我們做了很多實驗，使我們對鳥羽產生極大的興趣，也產生了很多對於鳥類羽毛的疑問。鳥羽毛真的很神奇，為什麼羽毛可以拉開又密合起來，羽毛到底有何與眾不同的特殊構造？為什麼羽毛可以保暖、防水、防風、防塵，以及幫助牠們飛行？為了找到答案，於是就展開了這一系列有關羽毛的探討，以及探討其中的相關原因。

## 貳、研究目的

- 一、觀察鳥類羽毛的特徵與結構
- 二、探討羽毛不同的功能
  - (一) 設計羽毛防水測試器探究羽毛防水功能
  - (二) 設計羽毛防風測試器探究羽毛防風功能
  - (三) 設計羽毛防塵測試箱探究羽毛防塵功能
  - (四) 探究羽毛保暖功能
  - (五) 設計羽毛抬升角度測試器探究不同彎曲程度的模擬羽毛抬升效果
- 三、探討羽毛的功能和羽毛結構的關係

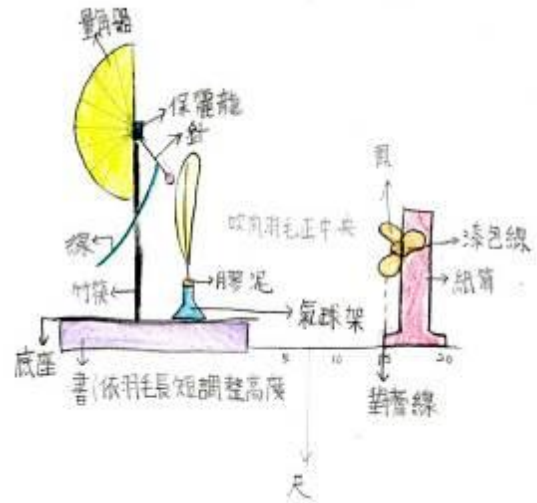
## 參、研究器材和準備工具

- 一、研究樣本：鴿子和黑冠麻鷺不同部位的羽毛，白鴨羽絨。
- 二、準備用品：麵粉、麻網、不織布、厚紙板、碎紙、宣紙、水針布、濾水棉、廚房紙巾、縫衣針、保麗龍球、籃球、漆包線、細棉線、吹風機、氣球架、培養皿、萬用黏膠、塑膠盒、透明容器、馬達、小電扇、膠帶、針筒、剪刀、切割墊、夾鏈袋、透明塑膠圓筒(12L 和 16L)、奇異筆、5 公升量杯、深色書面紙、小湯匙、百格板等。
- 三、觀察與記錄：顯微鏡、顯微放大鏡(60 倍)、筆記本、碼錶、計算機、數位相機、電腦。
- 四、工具書：鳥類羽毛圖鑑、台灣鳥類圖鑑。
- 五、測量與儀器：電子秤、電子溫度計、設計羽毛防塵測試箱、設計羽毛防水測試器、設計羽毛防風測試器、設計羽毛抬升角度測試器（測量儀器如下圖 1）。



### 羽毛防水測試器

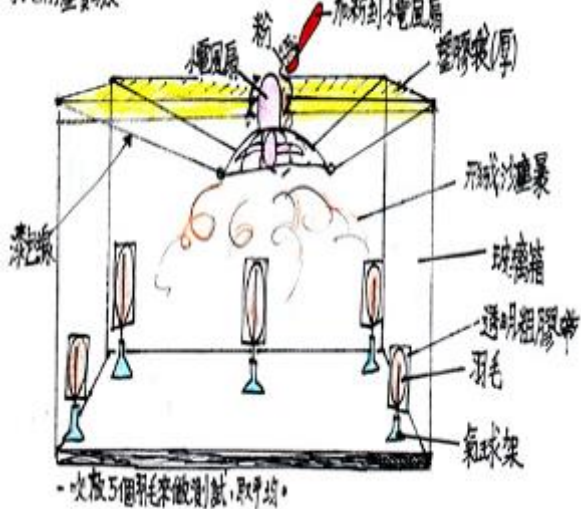
設計說明：在防水測試架的底座放培養皿，羽毛利用燕尾夾和迴紋針固定，錘子插在燕尾夾的握把，用來固定羽毛，並和底座保持平行，這樣才可以方便滴水測試。



### 羽毛防風測試器

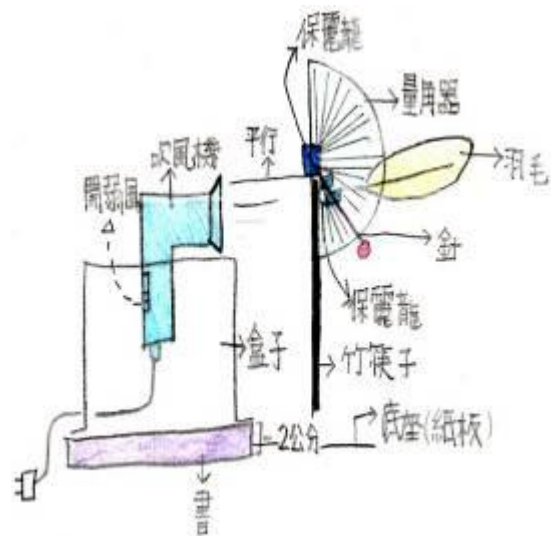
設計說明：把要測試的羽毛固定在氣球架上，用書調整底座高度，使羽毛的中間能對準小電風扇出風口。最後吹風，若羽毛不擋風並，棉線就會升起。

### 羽毛防塵實驗



### 羽毛防塵測試箱

羽毛防塵測試箱設計說明：將小電風扇用漆包線懸掛在飼養箱上面；再將蓋子上的沙網取下，改成塑膠袋，在上面挖洞，使麵粉可以從上面倒入轉動中的扇葉，然後均勻附着在羽毛和膠帶上；電池盒固定在蓋子上，以方便操作。羽毛放在四個角落以及正中央。測試完後將羽毛拿起，以方格板蓋住膠帶，然後數沾附在上面的粉末顆粒。



### 羽毛抬升角度測試器

設計說明：我們用盒子來固定吹風機。下方放置書本，如此可以隨著羽毛的高度來做調整。將羽軸插上大頭針，並固定在竹筷上，羽軸兩旁用小保麗龍塊固定，使羽毛不會左右晃動。所以當風吹起，飛羽就會很穩定的抬升，也可以清楚看出抬升的角度。

圖 1 設計各種實驗測量儀器

## 肆、文獻探討

我們要先查資料才能了解有關鳥類羽毛的相關知識和名詞(圖 2、圖 3、圖 4)，以及知道羽毛的功能；接下來尋找羽毛功能和相關概念的各種實驗；最後擬訂出我們的研究架構。

### 一、羽毛的類型

- (一)飛羽：是用來飛翔的羽毛，飛羽生長在翅膀上，其中的後羽狀似絨毛，有的飛羽絨毛很少或者有的飛羽沒有絨毛。整根羽毛片羽堅實有彈性，而且可防水。
- (二)尾羽：尾羽的主要功能是用來保持平衡，有些鳥類的尾部羽毛，像是孔雀的尾羽就是用來求偶展示用的。
- (三)體羽：覆蓋鳥類體表的主要的羽毛，每隻鳥的體羽佈滿全身，體羽後端的後羽，是由長在上面的羽毛將本羽覆蓋住，像屋瓦。體羽是用來絕緣及展示的，有鮮明色彩及斑點。
- (四)絨羽：絨羽只有羽軸根，羽軸根很短，質地相當輕柔。在冬天嚴冷時可以將自己體表發散的暖氣聚集，非常保暖（幼鳥全身的羽毛則是絨羽覆蓋住體表）。幼鳥從孵化到還不能飛翔時，如同棉被覆蓋全部體表的羽毛（亦稱胎毛）。
- (五)其他：**鬃鬚**是靠近鳥喙的羽毛，像動物的毛髮；**翎毛**是裝飾或展示，用來吸引異性的羽毛，也是象徵成鳥的羽毛。



圖2 羽區分布的各部位名稱圖

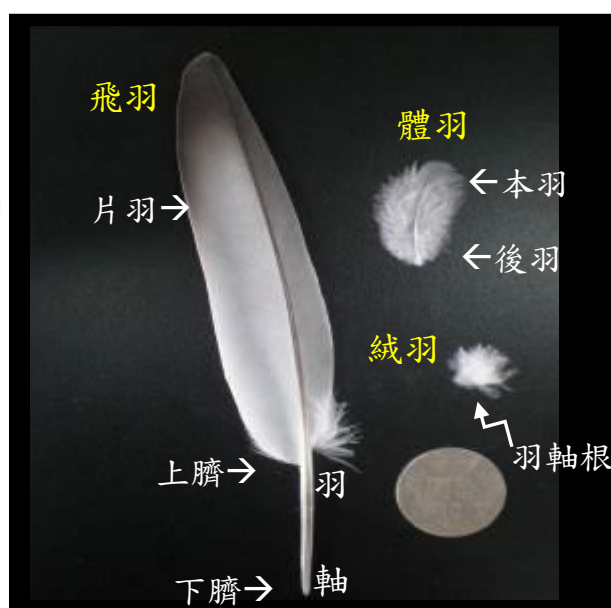


圖 3 鴿子羽毛的類型與構造

## 二、羽毛的結構

飛羽全部構造順著依附鳥類皮膚的部位，由近而遠區分為下臍、羽根、上臍、後羽、羽軸、羽片（圖 3）。以下是羽毛結構說明：

- (一)羽軸基部：靠近羽毛的是上臍，下臍是羽軸的根部，從上臍到下臍有很長的軸根是深入固定在皮膚內。在接近上臍部位的後羽，形狀像絨羽（圖 3）。
- (二)羽軸和羽根：飛羽的羽軸和羽根相當明顯，體羽的羽軸和羽根細而柔軟。每一支整齊完美的飛羽兩旁的羽片都是以羽軸為中心，羽軸與羽枝之間約呈 45 的度的角度，並以相等間隔向左右對稱延伸。
- (三)羽枝和小羽枝：飛羽的結構是以羽軸為主幹分出羽枝，再由羽枝分出小羽枝，小羽枝上附有小鉤（圖 4）。
- (四)羽片：羽片是由相互鉤連的羽枝和小羽枝所構成（圖 4），羽片是自羽軸向左右伸長出分歧的羽枝，從有鉤羽枝上的小鉤緊密結合形成羽片。從整面看起來成為很多很多的小鉤把羽毛編織成為一個網面。

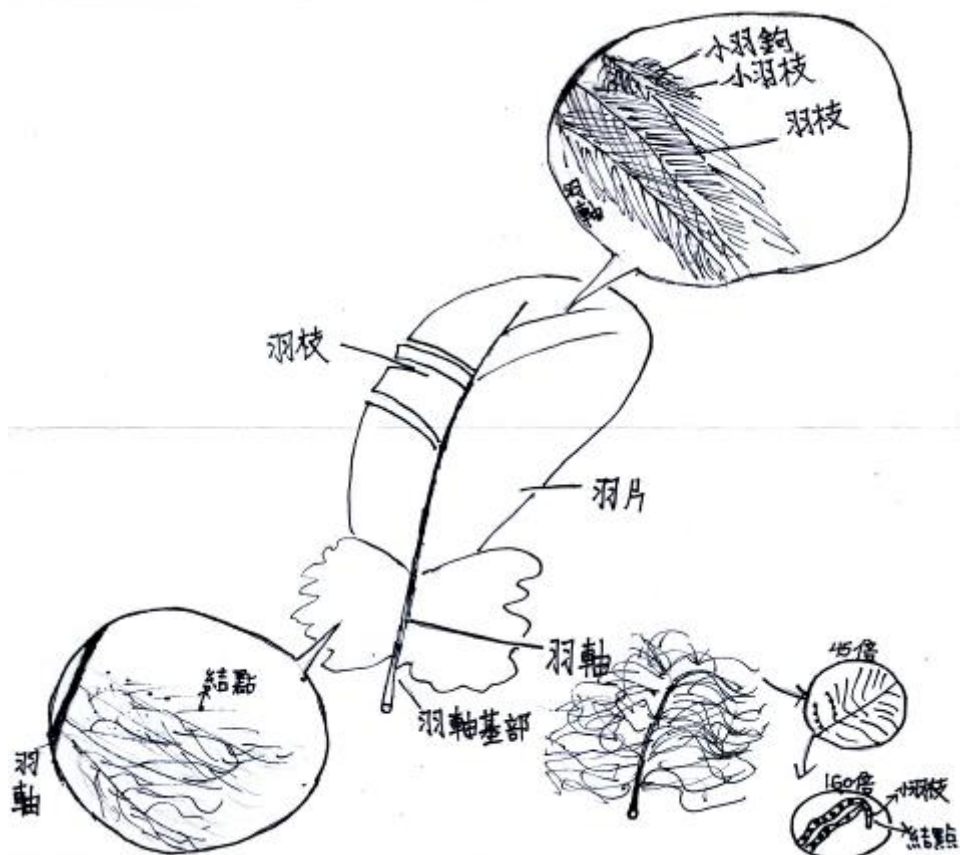


圖 4 羽毛的構造

### 三、羽毛的功能

鳥類的羽毛在體表形成隔熱層，保持體溫。羽毛本身可以保護皮膚，羽毛的顏色和斑紋有著保護色的作用。整體來說，比較長的羽毛是生長在翅膀，用於飛翔，羽毛表面是彎曲平滑的形狀，好像翅膀，這種形狀可產生升力。因為當飛羽穿越氣流時，流過彎曲的上層氣流比底下的速度快，壓力小；飛羽下方的氣流比底下的速度慢，壓力大。羽毛上下氣流速度的差異，會將羽毛向上推升（圖 5）。

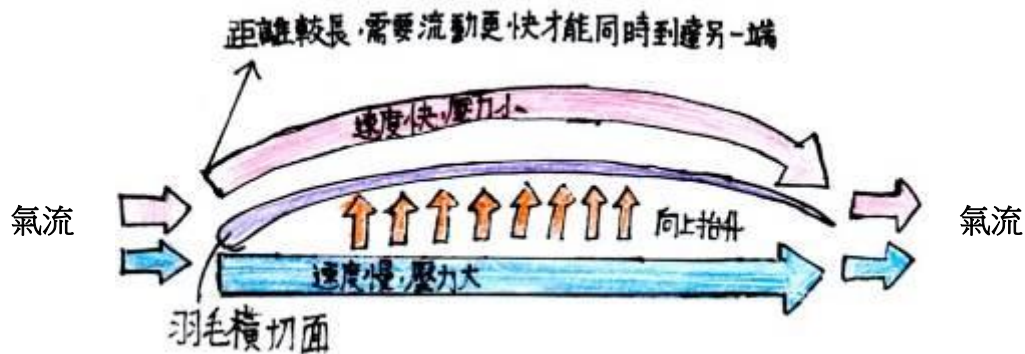


圖 5 羽毛抬升示意圖

鳥類從外表看到的羽毛幾乎就是較短的正羽，正羽像屋頂的瓦片，整齊、有規則地排列著生長，覆蓋住全身，並保護整隻鳥的表面。另外，羽絨是採自鳥禽類下腹部的微細柔軟羽毛，具有質輕、保暖、柔軟、吸濕、透氣、乾爽等特性，羽絨本身含有千萬個三角形的小結點，可以吸收大量空氣變成蓬鬆的樣子，空氣為熱之不良導體，因此可避免寒氣穿透和體溫流失。

「蓬鬆度」是衡量羽絨的厚度或蓬鬆程度的單位，蓬鬆度就是一定重量的羽絨，在特定環境下所占的空間大小。蓬鬆度越高，羽絨所包含的隔熱空氣就越多，所以隔熱性能就越好。蓬鬆度是衡量羽絨質量最常用的方法。測量需要取 1 盎司（約 28 克）的羽絨樣品，放在有機玻璃的圓柱體容器內，加上重量盤。測試需要一定的溫度和濕度，樣品也要事先進行處理。蓬鬆度表示為立方英寸/每盎司。蓬鬆度 400-450 是中等質量的，蓬鬆度 500-550 是高質量的，550-750 是非常高的質量，蓬鬆度在 750 以上的是極佳的。

### 四、羽毛相關研究

「仿生科技期中報告-鴨子」的研究中，探討鴨子等鳥類在下雨時不被淋濕，而且能在寒冷的天氣下在湖裡游泳。這是因為鴨毛排列非常整齊而緻密，毛與毛之間

的縫隙有奈米尺寸那麼小，因此水分子沒有辦法穿過他們身上的羽毛而沾附在身上。當然在寒冷的冬天裡，因為有不透氣的羽毛保暖，所以牠們才能度過寒冷的天氣。因此我們仔細觀察羽毛的特徵，想要驗證羽毛保暖與防水的特性；另外，由於羽毛的毛與毛之間隙很小，所以也實驗看看羽毛是否有擋風和防塵的效果。

在「揭開自然的奧秘」的書中，有介紹一個羽毛產生升力的小實驗，我們有進一步延伸研究，研究中發現羽毛表面是彎曲的，這種形狀有助於產生升力。於是我們設計了相關的實驗來驗證書中的說法，我們設計不同彎曲程度的羽毛狀紙片，模擬鳥的羽毛如何產生升力。

羽毛紙片的彎曲的程度可以利用不同的圓形實體塑造出形狀，但是彎曲程度如何測量呢？我們上網查關鍵字，便很快得知。根據數學家曹亮吉說：衡量彎曲的程度叫做曲率。直線，它到處都平直不彎曲，所以曲率到處都是 0。一個圓的彎曲程度到處都一樣，所以曲率是個常數；但大的圓比小的圓平直些，所以大的圓的曲率要較小的來得小。若大小兩圓的半徑各為  $R$  及  $r$ ，則同樣繞了一圈(彎曲了一圈)，大圓要花  $2\pi R$  的弧長，而小圓則為  $2\pi r$ ，所以  $1/R$  與  $1/r$  應該可以描述大小兩圓的彎曲程度，也就是說圓的半徑的倒數，就是圓的曲率。因此我們就以圓半徑的倒數算出不同彎曲程度的模擬羽毛並加以對照羽毛的抬升效果。綜合以上的資料與分析，形成了我們研究構想如下（圖 6）：

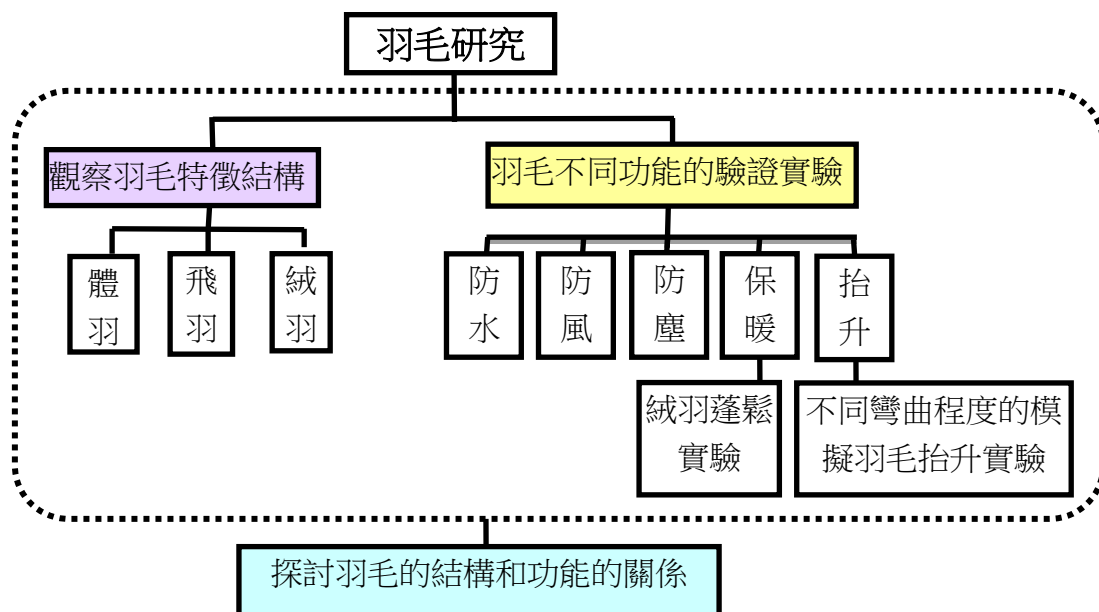


圖6 研究架構圖



## 伍、研究方法與過程

### 一、觀察羽毛特徵結構

#### (一) 資料和羽毛蒐集

本實驗樣本的取得方式：自己蒐集鴿子的羽毛；向鳥會老師索取黑冠麻鷺（普遍留鳥非保育類）的羽毛；向羽毛工廠購買白鴨絨的 10%、30%、50%、70%、90% 的絨羽比例羽毛；向裝飾品店購買鵝毛的絨羽飾品。

#### (二) 觀察工具和方法

我們用顯微鏡觀察與比較鳥類羽毛特徵和結構，同時也參考鳥羽毛圖鑑進行比對，然後繪製羽毛觀察記錄（圖 7）。

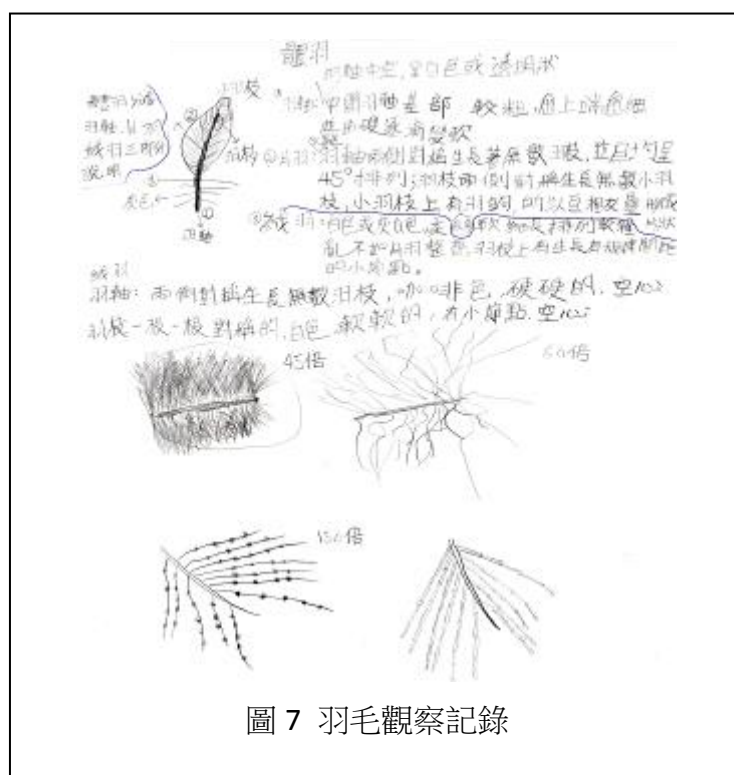


圖 7 羽毛觀察記錄

### 二、探討羽毛不同的功能

#### (一) 設計羽毛防水測試器探究羽毛防水功能

1. 準備三隻大小差不多的黑冠麻鷺飛羽，並編號。
2. 將廚房紙巾、宣紙、水針布和濾水棉材料，剪成和飛羽大小相同的形狀數十根並依序編號。
3. 在各種模擬羽毛的材料背面貼上漆包線，模仿羽軸並支撐羽毛重，實驗前分別

測量黑冠麻鷺飛羽的原來重量，以及模擬羽毛的重量（含漆包線）。

- 4.將黑冠麻鷺飛羽和模擬的羽毛分別掛在設計的羽毛防水實驗器上(圖 8)，並與桌面平行。
- 5.在黑冠麻鷺飛羽和不同材料模擬的羽毛上滴 1cc 的水，並在羽毛防水架上平行放 2 分鐘後，再調整垂直的方向 2 分鐘，等待水分附著在材料上。
- 6.最後把羽毛和各種材料拿下來秤重，將附著水分後的重量減去原重就是水的重量。飛羽和不同材質的羽毛均做數次，取平均值。

## (二) 設計羽毛防風測試器探究羽毛防風功能

- 1.設計羽毛防風測試器，如圖 9。
- 2.將準備測試的黑冠麻鷺飛羽立在羽毛防風測試架上，羽毛距離棉線 0.5 公分，小電風扇、羽毛和下垂的棉線底端要調整成一直線，棉線要調到羽毛的高度。
- 3.把小電風扇分別放在距離羽毛 5、10、15、20、25 公分，面向羽毛方向吹風。
- 4.小電風扇開到弱風，開始看棉線吹起來的角度。
- 5.將體羽、絨羽的羽毛重複 1-4 步驟，不同類別的羽毛均做數次取平均值。

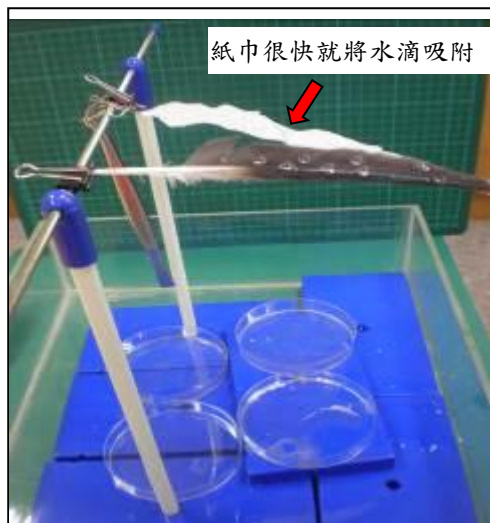


圖 8 羽毛防水測試架



圖 9 羽毛防風測試架

## (三) 設計羽毛防塵測試箱探究羽毛防塵功能

- 1.選 5 根黑冠麻鷺完整的飛羽放在測試的容器中(透明飼養箱:47\*32\*40cm)，4 根羽毛放在容器 4 角，另外 1 根羽毛放在容器中央，羽毛後面貼上粗的膠帶，膠帶要比羽毛寬。
- 2.將小電風扇利用漆包線連接在中央並懸吊在容器上面（圖 10）。
- 3.打開電風扇，將 10 公克的麵粉從電風扇上方倒入，一次倒一匙，慢慢倒完（圖 11）。
- 4.倒完粉後將小電風扇關閉，拿出羽毛，小心把羽毛後面的膠帶撕下，並且將膠帶用雙面膠把百格板黏在上面，然後編號（圖 12）。

- 5.取樣方式：實驗組取被羽毛覆蓋膠帶的部分，對照組取粉末較平均的部分，兩組取 1 平方公分各數個。
- 6.用 60 倍的顯微放大鏡，在 1 平方公分的取樣樣本上數羽毛和膠帶上的顆粒。



圖 10 羽毛防塵測試箱



圖 11 從測試箱上灑下麵粉



圖 12 透過百格板數麵粉數

#### (四-1) 羽毛保暖實驗

- 1.先將電子溫度計用橡皮筋圈在透明的小空瓶子，每瓶容量 50cc。
- 2.準備 15 個同樣的瓶子裝滿 100 度的熱水。
- 3.將羽毛（羽毛是鵝毛的體羽和絨羽）、麻網、不織布、碎紙、廚房紙巾各 26g 分布均勻，包住熱水瓶並裝入夾鏈袋中(圖 13)。
- 4.夾鏈袋裝完後，再量一次水溫(包完約 5 分鐘測量)，以最高的水溫開始計算。
- 5.每 20 分鐘看一次電子溫度計，連續觀察 5 次(約 2 小時)並記錄熱水瓶的水溫。
- 6.每一種材質均做三次比對，最後求平均，並算出溫度變化的百分比。



圖 13 不同材質的保溫實驗

#### (四-2) 絨羽蓬鬆度實驗

- 1.將 28 克的 10%絨羽羽毛放到 16 公升的透明塑膠圓桶中（圖 14）。
- 2.用金屬攪拌棒攪一攪，再用手抱住圓筒，在桌面上前後、左右搖直線各十次，一次長度約 50 公分，然後抖動塑膠圓桶 20 下，使羽絨平均散佈在 16 公升塑膠圓桶中。
- 3.用奇異筆畫出羽毛的位置，標示出不同比例羽絨的容量（圖 14）。
- 4.將 10%絨羽羽毛換成 30%、50%、70%、90%絨羽羽毛重複一到三步驟。

- 5.最後用水量出不同比例鴨絨蓬鬆度的高度。
- 6.從 12 公升的透明塑膠圓桶中，可以看出同重量不同純度比例的鴨絨毛比較(圖 15)。

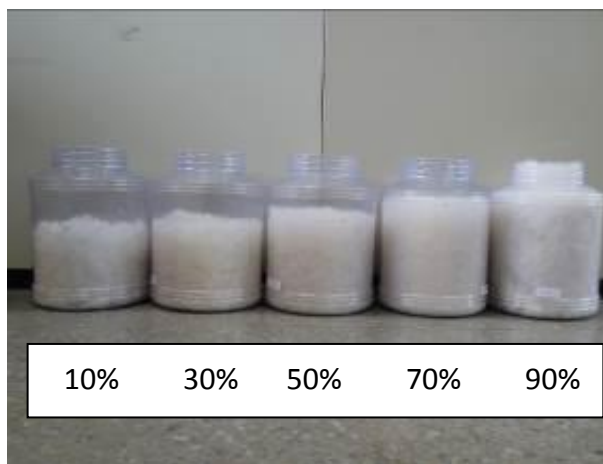
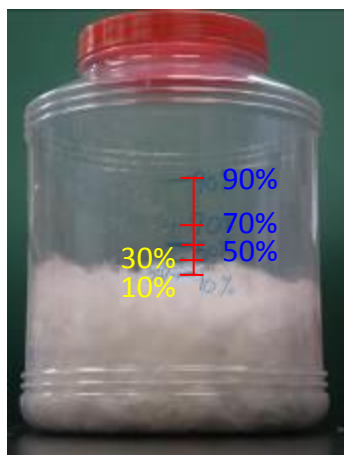


圖 14 相同重量不同純度比例的鴨絨毛(左) 圖 15 鴨絨毛的蓬鬆度(右)

#### (五-1) 設計羽毛抬升角度測試器探究羽毛抬升效果

- 1.自製羽毛抬升角度測試架，如圖 16。
- 2.把吹風機放在距離羽毛前約 10 公分，羽毛固定在測試架的底座。
- 3.吹風機開到弱風，風平行吹，然後記錄黑冠麻鷺飛羽吹起的角度。
- 5.用數個相同材質的紙杯剪成飛羽同樣大小，將羽毛彎曲程度分成無彎曲-平直；縱下彎曲-大彎、中彎、小彎；縱上彎曲-大彎、中彎、小彎；橫下彎曲-大彎、中彎、小彎；橫上彎曲-大彎、中彎、小彎等類別各至少 5 片。
- 6.利用熱水隔水燙平或造成不同的彎曲程度的飛羽形狀，然後以漆包線固定，模擬成羽軸彎曲的羽片(如圖 12)。
- 7.用羽毛抬升角度測試器，測試不同彎曲程度的模擬羽毛的抬升角度，各數次。
- 8.記錄並分析不同彎曲程度的模擬羽毛與抬升角度的關係。



圖 16 羽毛抬升角度測試實驗



圖 17 不同彎曲度的模擬羽毛紙片

### (五-2) 探究不同彎曲程度的模擬羽毛抬升效果

- 1.從實驗紀錄中找出最佳彎曲度的模擬羽毛，進一步設計相同方向的弧度，變因是彎曲呈度略有不同的模擬羽毛。
- 2.找出一根黑冠麻鷺的飛羽並影印秤重，同時也找出重量非常輕的宣紙，利用影印的飛羽圖案，將宣紙剪裁成相同面積的模擬羽毛數十根。
- 3.取用適當長度的漆包線(約和飛羽等長)，黏貼在飛羽紙片上，真正飛羽和模擬飛羽的面積和重量要控制相同。
- 4.找出 34.24.15.10.6 公分直徑的球體，用球體將模擬飛羽來回壓成弧形，或用手慢慢調整，一邊調整漆包線一邊對照球體的弧度，每一種球體均做出數片模擬羽毛。
- 5.利用數學彎曲程度就是「圓的半徑的倒數」，算出圓的曲率，因此本實驗不同彎曲程度的羽毛，分別是  $1/17$ 、 $1/12$ 、 $1/7.5$ 、 $1/5$ 、 $1/3$ 。
- 6.用羽毛抬升角度測試架測試不同彎曲程度的模擬羽毛，測試其抬升角度，各做三次求平均值。
- 7.記錄並分析不同彎曲程度的模擬羽毛與抬升角度的關係。

### 三、探討羽毛的功能和結構的關係





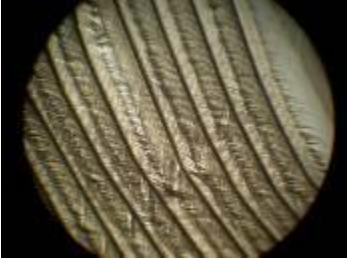


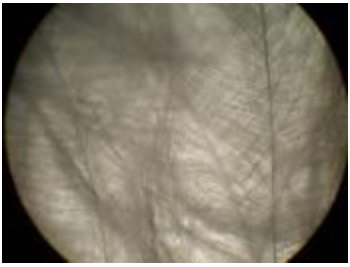
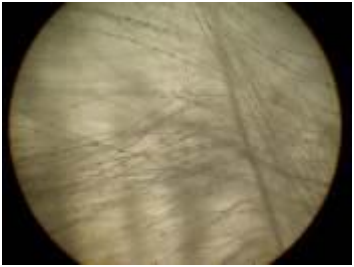
我們用顯微鏡觀察鳥類羽毛特徵和結構，然後根據鳥羽毛不同功能設計相關儀器實驗驗證，以及延伸有關問題的假設實驗驗證，最後根據觀察和實驗結果，分析並比較出羽毛的功能和結構的關係。

## 陸、研究結果

### 一、觀察鳥類羽毛的特徵與結構


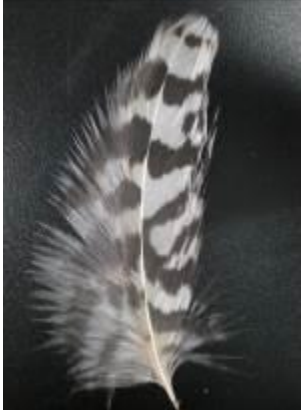
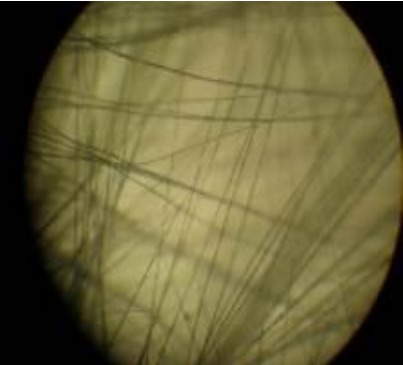

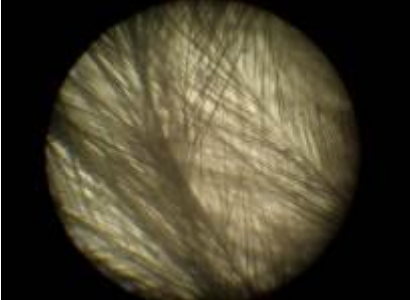

#### (一) 從鴿子的羽毛來看觀察結果與發現

表 1 鴿子羽毛特徵和結構

 <p>飛羽</p>	 <p>飛羽的羽枝和小羽枝 x60</p>	 <p>羽枝和小羽枝放大圖 x150</p>
<p>飛羽光滑，質地強韌，羽軸筆直堅硬，羽軸基部裸露的部分很多，羽軸的長短是判斷飛羽和其他羽毛不同的方法。羽軸兩側有排列整齊的羽枝，羽枝兩側有小羽枝，小羽枝後端接近羽枝的部位具有<b>凸出的羽膜</b>，呈透明薄膜狀，遠端的小羽枝具<b>羽小鉤</b>。羽小鉤能讓小羽枝彼此鉤在一起，使羽枝整齊排列成羽片。</p>		
 <p>體羽</p>	 <p>本羽的羽枝和小羽枝 x60</p>	 <p>後羽的羽枝和小羽枝 x150</p>
<p>體羽的羽軸比較柔軟，羽軸基部裸露的部分較不明顯，但有的羽毛體羽羽軸較細，有的羽軸較寬。體羽有分成本羽和後羽，外觀及結構上並不相同；後羽的絨毛狀是羽枝，羽枝上有一節一節的結點，本羽的羽片明顯，但小羽枝上的小鉤不明顯。</p>		
 <p>絨羽</p>	 <p>絨羽的羽枝和小羽枝 x60</p>	 <p>絨羽羽枝和小羽枝 x150</p>
<p>生長在身體內側，羽軸根短小不明顯，有細長的絲狀羽枝，羽枝上沒有小羽鉤，因此羽枝與小羽枝無法連接緊密；羽枝兩旁的小羽枝像細長的絲線，所以羽絲呈現蓬鬆的樣子，質地摸起來非常柔軟，容易飄浮在空中。</p>		

## (二) 從黑冠麻鷺的羽毛來看觀察結果與發現

表 2 黑冠麻鷺的羽毛特徵和結構

 <p>絨羽 ↓</p> <p>飛羽</p> <p>不同身體部位的大小不同體羽</p>	 <p>羽枝和小羽枝放大圖 x150</p>	
<p>飛羽光滑，質地強韌，羽軸長而堅硬。羽軸兩側有排列整齊的羽枝，羽枝兩側有小羽枝，小羽枝後端接近羽枝部位的羽膜明顯，羽小鉤稍不明顯。黑冠麻鷺的成鳥和亞成鳥的羽色不同，本實驗樣本為亞成鳥的羽毛，所以羽片上的顏色變化多端。</p>		
 <p>體羽</p>	 <p>本羽的羽枝和小羽枝 x60</p>	 <p>後羽的羽枝和小羽枝 x150</p>
<p>黑冠麻鷺體羽較長，體羽的本羽和後羽變化很多，顏色多變化，羽軸和羽枝更細長柔軟。從分辨體羽中的本羽和後羽的型態，以及體羽的大小，可以判斷是鳥類身體哪一個部位的羽毛。</p>		
 <p>絨羽</p>	 <p>絨羽的羽枝和小羽枝 x60</p>	 <p>絨羽羽枝和小羽枝 x150</p>
<p>羽軸根短而細，絲狀羽枝非常細長，羽枝兩旁的小羽枝也相當細長，因此羽枝與小羽枝沒有連接緊密，所以蓬鬆柔軟且容易飄起來，甚至容易受靜電影響，沾附在人體皮膚上。</p>		

## 二、探討羽毛不同的功能

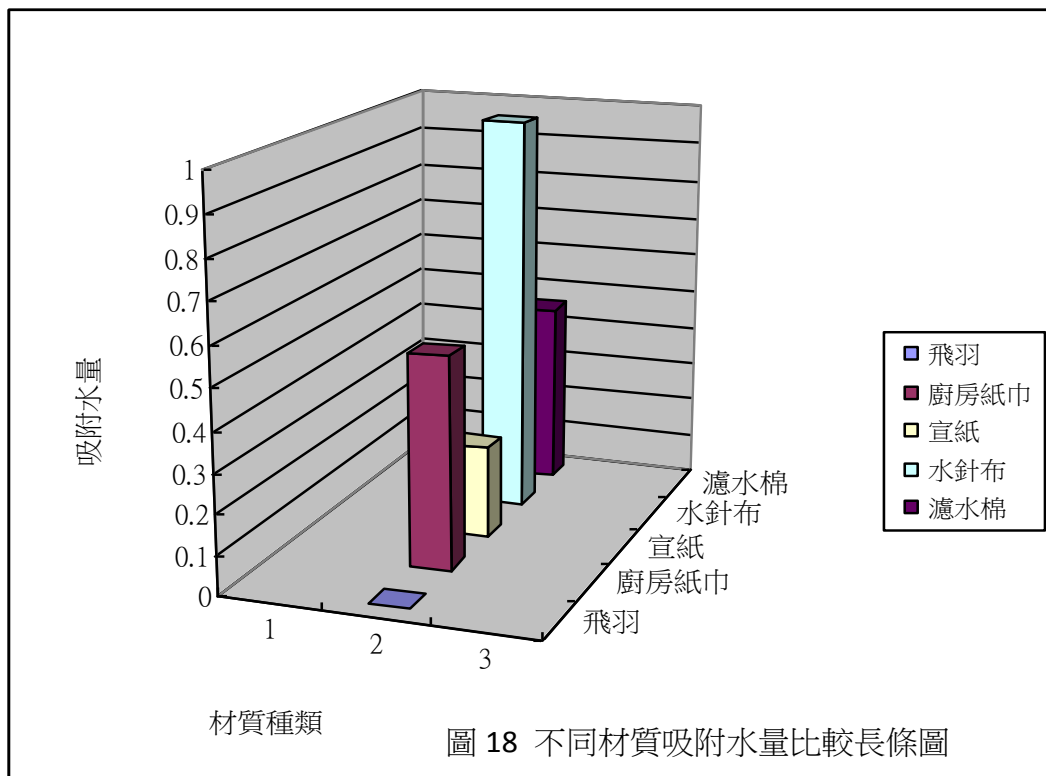
### (一) 設計羽毛防水測試器探究羽毛防水功能

1.結果：

表 3 不同材質吸附水量比較表

(單位: g)

處理狀況 種類	飛羽	廚房紙巾	宣紙	水針布	濾水棉
原重	0.2	0.15	0.1	0.1	0.1
加漆包線 平均重量(A)	0.2	0.32	0.27	0.32	0.32
滴水後的 平均重量(B)	0.2	0.85	0.5	1.32	0.78
吸附的水 平均重量(B)-(A)	0	0.53	0.23	1	0.46



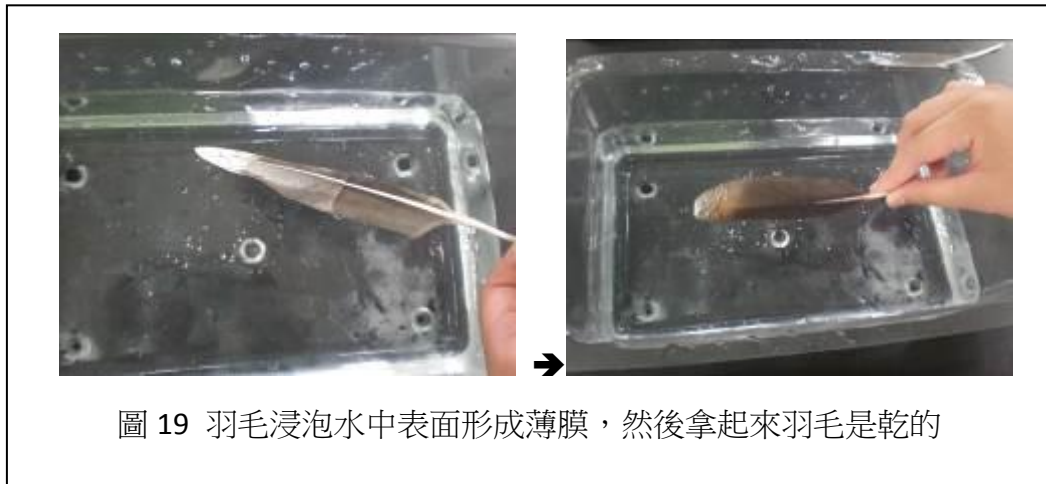
2.發現與推論：

(1)吸最多水的是水針布；宣紙次之，因為宣紙的表面有一層膠，所以會降低吸附水滴的速度；水無法沾附在飛羽上。

(2)將水滴在飛羽上，會使水滴很快滑落，可能是因為羽毛表面片狀羽枝上的細毛結構有疏水的特性，因此羽毛不容易濕掉。



(3)為了驗證羽毛的疏水性，所以我們取數根黑冠麻鷺的飛羽浸泡在水中觀察羽毛的變化，並提出研究問題：假設羽毛有疏水作用，所以放入水中再拿起來不會濕掉。



### 3.討論：

- (1)疏水性的意思是不「喜歡」水，或者從另一觀點看，水不「喜歡」它。因為這個特性，在疏水性的表面上，水分子傾向於聚在一起形成小水珠，這樣水分子才能遠離疏水性表面而靠近其他水分子。在蓮葉面上的蠟質物料具疏水性，導致水珠的形成。
- (2)羽毛浸泡在水中時，羽毛表面會形成銀色的薄膜，羽毛取出，摸起來是乾的。羽毛表面因為羽枝和羽鉤密合非常緊密，讓水不能親近，所以在這裡形成了空間被空氣所填滿，因此羽毛有疏水性。

## (二) 設計羽毛防風測試器探究羽毛防風功能

### 1.結果：

表 4 羽毛防風平均結果記錄表

(單位: 度)

羽毛種類 棉線升起 吹風距離 的角度	飛羽	體羽			絨羽	對照組 (無羽毛)
		大	中	小		
5cm	+	20	20	25	25	30
10cm	++	15	20	20	25	40
15cm	++	15	15	15	20	20
20cm	++	10	15	15	17	20
25cm	5	10	10	15	15	15

說明：+棉線輕微震動；++棉線震動。

## 2.發現與推論：

- (1)飛羽幾乎都是片羽的結構，有小羽鉤，所以羽毛可以密合，有防風效果。本實驗飛羽經吹後，風透不過去，只有造成棉線的震動，直到距離 10cm 之後，棉線才升起 5 度。
- (2)體羽中片羽的結構較少，體羽的變化很多，不同部位的體羽分布不同程度的片羽，體羽愈小，其片羽的結構愈少，且體羽有的大部分為後羽，因狀似絨羽，羽枝和小羽枝排列並不緊密，所以防風的效果比飛羽差。
- (3)絨羽的結構較不緊密，所以會讓風透過去。

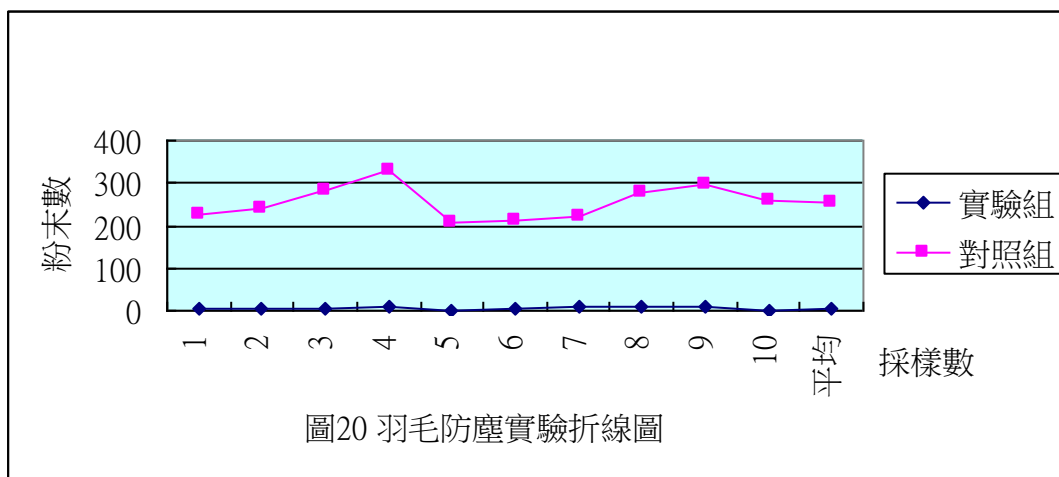
### (三) 設計羽毛防塵測試箱探究羽毛防塵功能

#### 1.結果：

表 5 羽毛防塵記錄表

(單位: 顆)

採樣數 組別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
實驗組 (羽毛內)	6	4	4	10	0	4	11	10	9	1	5.9
對照組 (羽毛外)	228	242	281	331	207	210	221	277	298	259	255.4



## 2.發現與推論：

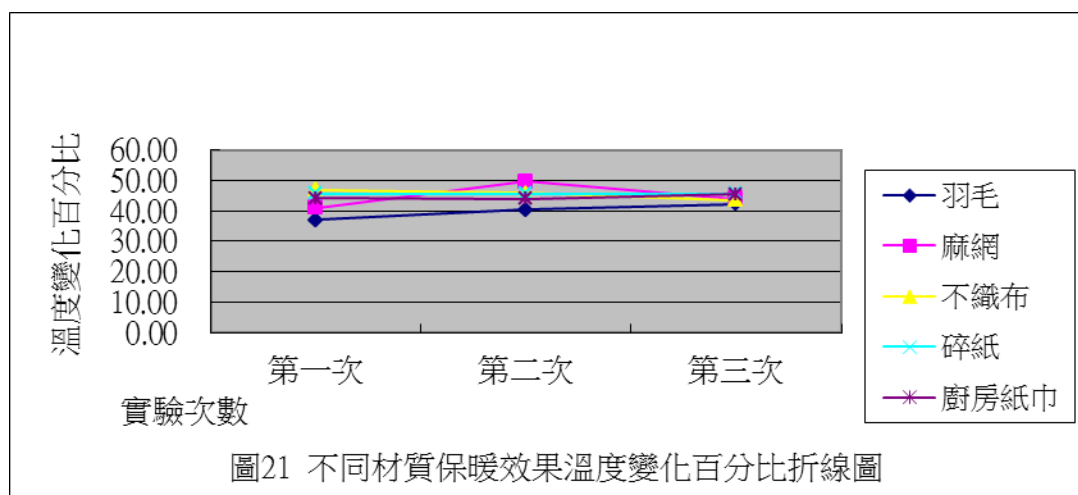
- (1)飛羽覆蓋住的膠帶所沾附的粉末，量都非常的稀少，平均 5.9；沒有飛羽覆蓋住的膠帶所沾附的粉末，量在對比之下都非常多，平均達 255.4。
- (2)我們推測飛羽的表面細縫很小，可能是因為羽毛表面的羽枝和小羽枝上有羽鉤互相聯結密合，如此形成片狀結構，所以沒覆蓋飛羽的防塵效果會很差。

#### (四-1) 羽毛保暖實驗

##### 1.結果：

表 6 不同材質不同時間保暖效果溫度變化百分率比較表

材質種類 溫度 變化(%) 實驗次數	羽毛	麻網	不織布	碎紙	廚房紙巾	空氣
第一次	37.06	41.03	47.05	45.72	44.24	52.62
第二次	40.35	49.63	45.83	45.76	44.04	52.78
第三次	42.22	44.07	43.53	45.71	45.38	51.68



##### 2.發現與推論：

- (1)羽毛比起其他材質，在 120 分鐘內的保溫效果都較高。
- (2)本實驗可證明羽毛有保溫的效果，可能是因為羽毛的結構，像是羽枝外表蓬鬆且能抓住空氣，節點也可以保存熱量散失，所以保溫效果最佳。
- (3)為了驗證羽毛的蓬鬆度較多，能保留空氣，所以保溫效果佳。所以我們提出進一步的研究問題：假設絨羽愈多，羽毛的蓬鬆度愈高。因此我們運用簡易的方式進行了下一個絨羽蓬鬆度實驗：

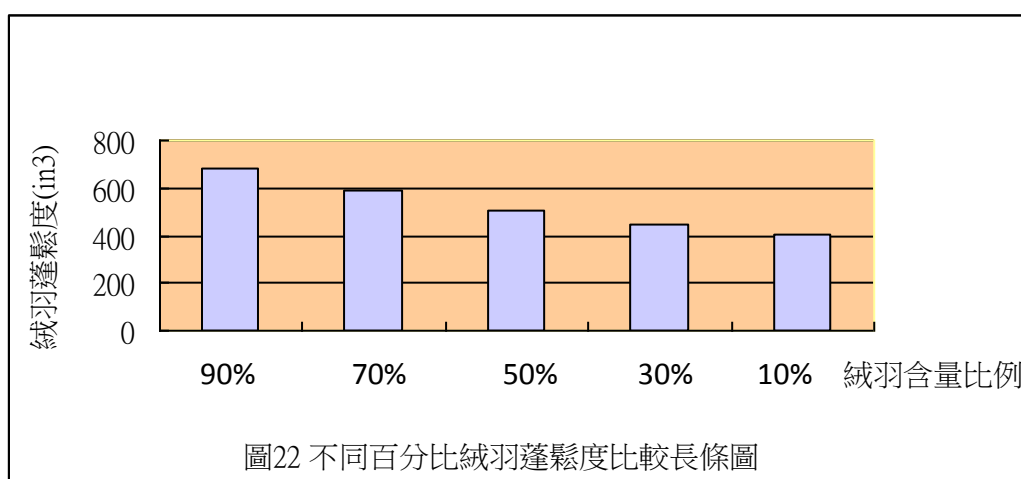
## (四-2) 絨羽蓬鬆度實驗

### 1.結果：

表 7 不同百分比絨羽蓬鬆度

蓬鬆度 絨羽比例	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均 (cm <sup>3</sup> )	平均 (in <sup>3</sup> )
90%	11500	10900	11100	11300	10950	11140	679.8
70%	9400	10300	10350	9100	9000	9630	587.6
50%	8200	8500	8750	8100	8150	8340	508.9
30%	7200	7300	7350	7200	7200	7250	442.4
10%	6600	6500	6850	6600	6650	6640	405.2

備註：羽絨膨脹係數  
1. 一盎司(約 28g)的羽絨所能膨脹的體積(以立方英寸來表示)  
2. 1 cm<sup>3</sup> (立方公分) = 0.06102 in<sup>3</sup> (立方英吋)



### 2.發現與推論：

- (1)根據我們訪問羽毛公司得知，絨羽的百分比是以鴨絨毛和體羽的混合來分，  
90%的絨羽：代表有 90%含量的絨羽比例，加上 10%的體羽比例；70%的絨羽：代表有 70%含量的絨羽比例，加上 30%的體羽比例；其他依此類推。
- (2)每一盎司的羽絨所能膨脹的體積愈多，代表蓬鬆度愈高，所以羽絨比例 90%蓬鬆度最大，羽絨比例 10%蓬鬆度最小。
- (3)蓬鬆度越高，羽絨所包含的隔熱空氣就越多，所以隔熱性能就越好。本實驗也驗證了。90%的蓬鬆度 679.8 和 70%的蓬鬆度 587.6，和文獻的資料一致，蓬鬆度 500-550 是高質量的羽絨。

### (五-1) 設計羽毛抬升角度測試器探究羽毛抬升效果

1 結果：

表 8 模擬羽毛紙片抬升角度表 (單位: 度)

飛羽形狀	羽毛抬升模擬	第一次	第二次	第三次	平均
(	真正飛羽	110	105	115	110
	無彎曲-平直 (對照組)	55	60	63	59.33
)	縱下彎曲-大彎	70	100	90	86.67
	縱下彎曲-中彎	80	90	100	90.00
	縱下彎曲-小彎	75	100	90	88.33
)	縱上彎曲-大彎	5	10	5	6.67
	縱上彎曲-中彎	30	25	30	28.33
	縱上彎曲-小彎	50	45	50	48.33
)	橫下彎曲-大彎	25	45	35	35.00
	橫下彎曲-中彎	55	60	50	55.00
	橫下彎曲-小彎	40	50	45	45.00
)	橫上彎曲-大彎	35	33	25	31.00
	橫上彎曲-中彎	55	60	60	58.33
	橫上彎曲-小彎	60	65	68	64.33

#### 2.發現與推論：

- (1)我們發現縱下彎曲形狀的模擬羽毛紙片，抬升效果 86.67~90 度，最接近飛羽 110 度。
- (2)縱下彎曲形狀的模擬飛羽和真正羽毛彎曲平滑的形狀類似，所以會有抬升效果。
- (3)由實驗結果延伸出另一個問題是：如果氣流穿越飛羽，流過彎曲的上層氣流比底下的速度快，羽毛上下氣流速度的差異，會將羽毛向上推升，那麼彎曲縱下的紙片不同彎曲程度，也會影響抬升效果。
- (4)因為此實驗的模擬紙片比飛羽重，所以我們進行下一個實驗問題設計：**假設紙片重量如果和飛羽一樣，紙片的抬升效果會比較明顯。**此實驗也以不同彎曲程度的模擬羽毛進行抬升效果的探討。

(五-2) 探究不同彎曲程度的模擬羽毛抬升效果

1 結果：

表 9 不同彎曲度模擬羽毛抬升角度表 (單位: 度)

彎曲度 \ 次數	1	2	3	4	5	平均
飛羽(對照組)	110	105	107	100	105	105.4
彎曲程度 0	85	90	87	85	90	87.4
彎曲程度(1/17)	100	105	95	90	90	96
彎曲程度(1/12)	105	95	100	95	100	99
彎曲程度(1/7.5)	120	125	130	125	120	124
彎曲程度(1/5)	140	140	130	140	135	137
彎曲程度(1/3)	145	150	150	150	150	149

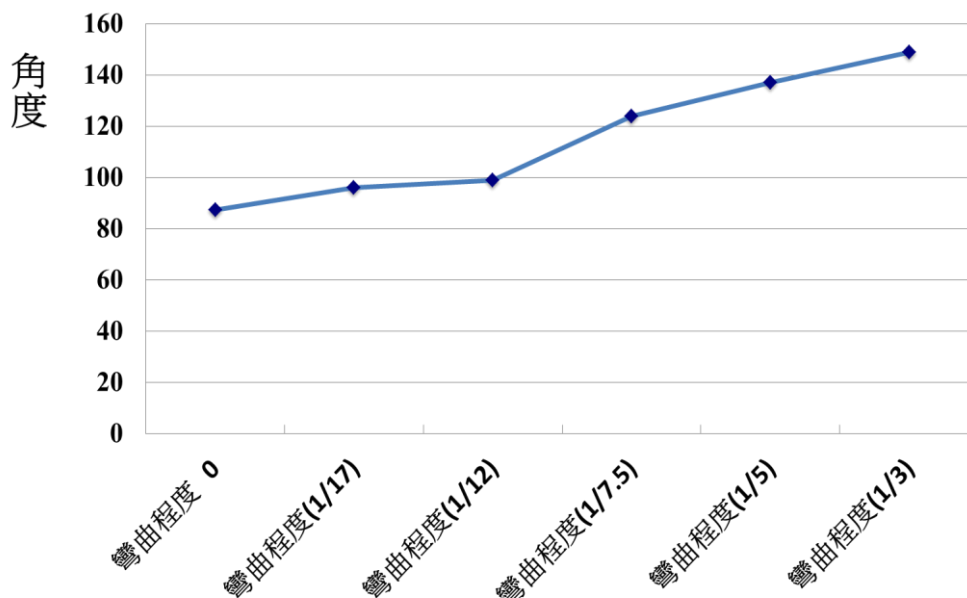


圖 23 不同彎曲程度和模擬羽毛抬升角度折線圖

2.發現與推論：

- (1)我們發現縱下彎曲形狀的模擬羽毛，抬升效果均達 90 度以上。彎曲程度愈大，抬升效果愈大；彎曲程度愈小則抬升效果愈小。
- (2)本實驗中經過飛羽和球體表面比對，恰好接近彎曲程度是 1/12 的模擬羽毛，所以飛羽的彎曲程度不需要很大，就會有大於 90 度的抬升效果。

### 三、探討羽毛的結構和功能的關係

結果：

表 10 羽毛的功能和結構的關係

羽毛功能	羽毛功能實驗結果	外型特徵觀察結果
防塵	不同的材質中，纖維排列較為密集的比較不容易沾附粉末，材質的纖維較軟，並且排列較不密集的比較容易沾附粉狀物。	羽毛不容易沾附粉狀物，我們推測是因為羽毛的兩側有排列整齊又密集的羽枝和小羽枝，羽枝上有羽膜相疊而形成羽片，類似一層薄膜，所以可以把大部分的粉狀物隔絕在外。
防水	不同的材質的吸水程度，依序是：水針布、廚房紙巾、濾水棉、宣紙、飛羽。宣紙僅次於飛羽可能是因為宣紙的表面有一層膠，所以會降低吸附水滴的速度。	飛羽吸附的水最少，幾乎是水滴上去就形成了水珠滾落下去。可能是因為飛羽有羽枝和小羽枝構成的一層片狀結構，可以把水隔絕在外，也有可能表面有一層鳥類塗抹的油脂，所以有近似蓮葉效應的效果。
防風	飛羽的防風效果較好，讓棉線只有輕微晃動，絨羽的防風效果最不好，強風時，棉線抬起的角度最大。	飛羽是因為羽軸的兩側有排列整齊又密集的羽枝和小羽枝，它們形成了薄膜並連結成片狀結構—羽片，所以可以把風隔絕在外。絨羽兩側的羽毛很凌亂，所以風會透過去，讓後面的棉線被吹起來。
保暖	鳥羽毛比麻網、不織布、碎紙、廚房紙巾的保溫效果都好；絨羽的蓬鬆度愈大，保溫的效果愈好。	體羽和絨羽的保溫效果最好是因為他們的纖維質輕、柔軟、較蓬鬆，可以把熱水散發的熱空氣保存在纖維的縫隙中，並且避免與空氣進行對流；也可能是羽枝上的結點，保存了熱空氣的溫度。
抬升	縱下彎曲形狀的模擬羽毛，抬升效果均達 90 度以上。彎曲程度愈大，抬升效果愈大；彎曲程度愈小則抬升效果愈小。	在實驗中，我們發現飛羽和體羽上的羽片含中央羽軸的構造，均呈輕微彎曲的形狀，而羽毛表面平滑且排列整齊，加上鳥類的身體流線型的型態，可以讓風順利通過，所以能有助於抬升及飛行。

## 柒、討論

- 一、我們在找尋羽毛進行防水實驗時，為了能秤出羽毛的重量，所以用較大型的黑冠麻鷺飛羽為樣本進行實驗；同時蒐集與黑冠麻鷺飛羽重量相仿的材質，剪成相同大小，重量相當的羽毛進行實驗；另外，我們為了可以更精確的測量每一滴水的量，我們使用了 1c.c.的小注射筒來做實驗。
- 二、進行羽毛防風實驗時，我們經過不斷討論與修正，利用氣球架和量角器，設計出羽毛防風測試架。另外，為考量風的範圍及大小的穩定性，我們將吹風機換成了自製的小風扇來進行實驗。
- 三、進行羽毛防塵實驗時，我們為了克服粉末分布不均勻的問題，所以我們進行多次實驗改良。在第一版設計的粉末抹平器實驗，我們發現：原來直接將羽毛沾取粉末的方法，會粉沾不均勻，很難計算。於是我們進行第二版改良，設計羽毛防塵測試箱：用大透明密閉的玻璃箱，將小電風扇用漆包線掛在容器中間，用 3 瓦的電力吹，再將粉末倒在小電風扇上，使粉末平均分佈在容器中；接著想了很久，終於想出將羽毛後面貼上粗透明膠帶，利用百格板數羽毛後面和直接暴露在環境中，膠帶上的粉末顆粒，並加以比較，最後終達到很好的效果。
- 四、保暖實驗討論：
  - (一) 我們為了能將人為誤差減少，將原先使用大塑膠袋包裹熱水瓶方式，改為將不同密度的材料直接放入相同大小之適當夾鏈袋中，再將固定好溫度計的裝熱水的小瓶子直接放入，進行實驗。
  - (二) 我們把不同密度的材質，改為不同絨羽含量的羽毛，使其呈現不同密度，我們也將每一種不同絨羽含量的羽毛，各取 28 克(1 盎司)，放到 16 公升的圓型塑膠桶裡，因為濕氣較重，絨羽會結成塊，所以我們要將絨羽用攪拌棒攪均勻，使每種絨羽都蓬鬆到極限想再做實驗，想要再做保暖效果的實驗，但絨羽易受環境溫度和濕度的影響，這個實驗必須在溼度溫度恆定的狀況下做才可以成功。
  - (三) 在羽毛蓬鬆度實驗中，我們原本是用寬度較窄的量筒，計算羽毛彈回的刻度，可是 10%絨羽的羽軸會像小樹枝一樣立起來，會影響到實驗；後來我們改為自製光碟盒下壓器，但我們發現問題還是跟之前一樣，而且當絨羽含量較多時，絨羽比較柔軟，就不容易支撐住下壓器重量，絨羽就容易被壓下去。所以我們參考了文獻中的做法，直接將一盎司的絨羽，放到非常大的透明塑膠圓型容器(16L)內，攪拌、搖勻使其自然膨脹後測量體積，最後終於得出絨羽的蓬鬆度。
  - (四) 在做有關絨羽的實驗時，為了將絨羽放到另一個容器，有些絨羽飛出來了，是教室內充滿絨羽，清理非常困難。為了避免吸入絨羽造成傷害，所以在做實驗的時候都要戴口罩。



- 五、在羽毛抬升實驗中，我們發現氣流穿過羽毛時，流過不同彎曲程度的紙片，會影響抬升效果。因此我們決定將實驗延伸，找到與飛羽重量一樣的宣紙，再利用不同球體塑形，並利用漆包線固定紙片，才能以不同曲率的羽毛狀紙片進行實驗。
- 六、為了使羽毛功能實驗數據量化，以及避免人為誤差，我們設計了羽毛防水測試器、羽毛防風測試器、羽毛防塵測試箱以及羽毛抬升測試器，設計過程中，我們不只驗證了知識，也能解決問題，因此得到很大的成就感。我們也希望在未來可以更深入的探討羽毛在飛行時的平衡，以及羽毛絕緣的功能。

## 捌、結論

一、我們用顯微鏡觀察鳥類羽毛特徵和結構發現：

- (一)羽毛種類上大部分可分為飛羽、體羽和絨羽。
- (二)鳥類身體不同部位的羽毛外形特徵大小、顏色、長短差異甚大。
- (三)羽毛結構上會有共同特點，有片羽構造，羽枝、小羽枝和羽鉤明顯；絨羽有細長柔軟的羽枝，羽枝上有小結點。
- (四)身體不同部位的羽毛依功能不同而有不同長短的羽毛和羽軸，通常飛羽最長，羽軸最堅韌；絨羽短、羽枝細而柔軟，羽軸不明顯。

二、羽毛不同功能的驗證實驗

- (一)羽毛防水實驗：飛羽表面結構有防水的作用。
- (二)羽毛防風實驗記錄：絨羽的結構較不緊密，所以無法防風。飛羽和體羽上端都有片羽的結構，所以可以防風。
- (三)羽毛防塵實驗：飛羽有不錯的防塵效果。
- (四)羽毛保暖實驗：羽毛比起其他材質，在 120 分鐘內的保溫效果較好；而絨羽外表蓬鬆能抓住空氣，結點也可以保存熱量散失，所以在同樣重量下，純度愈高的絨羽保溫效果比純度低的還要好。
- (五)羽毛抬升實驗：飛羽毛表面彎曲平滑且排列整齊，可以讓風順利通過，有助於抬升飛行。

三、最後我們將鳥羽毛不同功能實驗驗證，分析和比較出不同羽毛的特徵結構和功能有密切的關係。

## 玖、參考資料及其他

- 一、 台灣野鳥資訊社日本野鳥工會（1991）。**臺灣野鳥圖鑑**。台北縣：亞捨圖書。
- 二、 祁偉廉（2006）。**鳥羽：臺灣野鳥羽毛圖鑑**。台北市：商周出版。
- 三、 **揭開自然的奧祕**（1995）。臺北市：正傳有限公司。（原著出版年：1991 年）
- 四、 伯努力定律（無日期）。**K12 數位學校網**。2014 年 2 月 1 日，取自：  
<http://chc.k12.edu.tw/1003015434/sciclass/back/015.htm>
- 五、 郭聰盟（無日期）。**仿生科技概論期中報告-鴨子**。2013 年 12 月 18 日，取自：  
[http://www.mofa.gov.tw/GIO/ecology/Chinese/bow/birds/birds\\_27.htm](http://www.mofa.gov.tw/GIO/ecology/Chinese/bow/birds/birds_27.htm)
- 六、 鳥類飛行的原因（無日期）。**小番薯網**。2014 年 2 月 7 日，取自：  
<http://kids.yam.com/why/article/article767.html>
- 七、 鳥飛（2013 年 2 月 26 日）。**維基百科**。2013 年 12 月 26 日，取自：  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%B3%A5%E9%A3%9B#.E4.B8.8A.E5.8D.87>
- 八、 曹亮吉（無日期）。**怎麼說它有多彎？數學知識網**。2004 年 8 月 31 日，取自：  
<http://kids.yam.com/why/article/article767.html>
- 九、 蓬鬆度（2011 年 3 月 26 日）。**維基百科**。2014 年 6 月 5 日，取自：  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%93%AC%E6%9D%BE%E5%BA%A6>
- 十、 蓬鬆度的測試（2013 年 12 月 25 日）。**謠言終結者**。2014 年 6 月 5 日，取自：  
<http://travel.163.com/13/1225/17/9GV60VMU00064LUV.html>
- 十一、 伯努力定律（無日期）。**科學小芽子 Q&A**。2014 年 6 月 5 日，取自：  
<http://www.bud.org.tw/answer/0401/040104.htm>
- 十一、 什麼是羽絨？（無日期）。**羽絨專欄**。2014 年 6 月 5 日，取自：  
<http://drupal.jordon.com.tw/down/%E7%BE%BD%E7%B5%A8%E5%B0%88%E6%AC%84>
- 十二、 蓮花效應的原理（無日期）。**原子世界**。2014 年 6 月 5 日，取自：  
[http://www.hk-phy.org/atomic\\_world/lotus/lotus02\\_c.html](http://www.hk-phy.org/atomic_world/lotus/lotus02_c.html)

## 【評語】 080314

1. 用心觀察記錄，實驗設計具有創意，絨羽蓬鬆度實驗具實用性
2. 可針對較特殊的羽毛功能，例如貓頭鷹的羽毛，進行較深入的  
驗證實驗。
3. 研究方法應說明清楚樣本數，不要用約 50 公分、數次、數根  
等不精確的用語。