

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生物科

第一名

080303

暖呼呼的秘密~羽毛與溫度之研究

學校名稱：臺北市立大學附設實驗國民小學

作者：	指導老師：
小六 張譯心	武秀韻
小六 李芊葳	宋家安
小六 高詩涵	

關鍵詞：羽毛實驗、羽毛結構、羽毛研究

得獎感言

我們去年從羽毛的功能開始研究，然後到今年又延伸研究鳥的羽毛與溫度的關係，特別是針對羽毛如何保暖這個主題，我們特別好奇。

記得在參加台北市科展比賽集訓時，寒假中我們幾乎天天都來學校進行實驗。羽毛真的很神奇，有時做出來的實驗結果真的是出乎我們意料之外，儘管實驗失敗重重，我們為了不讓努力白費，所以不斷的改良實驗，讓實驗數據的精確度提高才更具有說服力；實驗當中，我們也一起齊心協力的討論研究結果、歸納研究發現、尋問老師問題，以及完成了說明書及海報；比賽前夕，我們更勤加練習上台發表的技巧、台風，回答問題的方式，並請許多師長來協助問我們問題和提供意見；這段期間，我們試著用不同的角度互相問答，讓我們對研究的內容更加了解。

到了比賽當天，我們三人的心臟都「撲通—撲通」跳個不停，回想那時，我們的報告很穩，回答時也條理分明，因此，我們就順利進了複賽；隔天，我們再次帶著緊張不安的心情，進入比賽會場，在評審委員面前盡我們的努力表現，他們也給了我們許多寶貴的建議和一些評論，最後得到特優時，真的感到非常的意外和興奮。

進入國展準備之後，我們花了比市展多兩倍的時間重新進行實驗，把評審和老師的問題及建議做改良。其中，遇到最大的困難就是絨羽保暖實驗，我們一直無法突破瓶頸，不管怎麼改良實驗方法都沒有用，甚至已經做到筋疲力盡，最後才終於找到了問題的關鍵：就是我們沒有把鳥類保暖的觀念正確的應用在實驗上，經過不斷討論和把觀念融匯貫通之後，才試到了最佳的實驗方法。

整個科展研究的過程，我們覺得最大的收穫就是學會堅持，不要怕實驗失敗，要追根究柢找到解決問題的方法，做實驗的態度要專注和細心；對問題的回答不要自以為是，也要聽聽別人不同的意見；團隊成員間更要互相包容、尊重並珍惜對方，才能有良好的默契。另外，我們的心態也因參加科展而有所改變，之前我們參加其他比賽，都非常重視名次，但參加了科展後，我們不再那麼重視比賽的結果，反而比較在乎自己有沒有為這件作品和整個團隊盡到最大的心力和貢獻。

最後，我們很感謝指導老師—武秀韻和宋家安老師在這段期間一直給我們無與倫比的耐心和研究方法的引導，更啟發了我們對研究的熱忱；還有師長們愛的鼓勵，讓我們在氣餒時

有繼續向前的動力，因此能堅持到最後。凡此種種，終究讓我們有機會深切的感受到科展奇妙之處，那就是發現真理的成就感，雖然表面上很辛苦，但完成後的收穫和喜悅很讚，是無法形容的。



我們是喜歡思考和動手做實驗的團隊

摘要

為了瞭解各種不同動物毛髮以及鳥類羽毛結構和溫度之間的關係，我們先利用顯微設備觀察，發現：狗毛、兔毛、羊毛和人的頭髮的結構條狀單一，只有羽毛的結構最特殊，它的基本結構有羽軸、羽枝和小羽枝。就鳥羽結構來看，佈滿身體周圍的是體羽，體羽的結構又可細分為羽軸、羽絨和羽片。我們也進一步設計一系列的實驗裝置，經過無數次的實驗研究，結果證明：羽軸無法傳熱，羽片的傳熱效果不明顯，但具有隔熱的效果；羽毛具有吸熱的功能，黑色的效果較白色好，但效果沒有棉布好；絨羽含量越多，保暖效果不一定好，因此我們可以知道：在選購羽絨衣時，不一定要買絨羽含量最高的才可以達到良好的保暖效果。另外，絨羽的密集度也會影響到絨羽的保暖效果。

壹、研究動機

冬天時，我們穿上溫暖又輕巧的羽絨外套來禦寒，可見得鳥類的羽絨很保暖。但夏天時，鳥類為什麼不會熱死呢？羽毛有什麼非常特殊的地方可以使鳥兒不會中暑？我們觀察到睡袋內羽毛的外形特徵有些不一樣，所以就進一步研究鳥類的羽毛，結果發現即使是同一隻鳥兒身上的羽毛，結構也並非完全相同，這些特徵與溫度的關係是甚麼呢？

我們三年級曾經學過「認識動物」，有些動物身體有特殊的構造和功用，因此我們知道動物身上的毛髮有保暖的功能，鳥類也因為有羽毛，所以天氣冷時具有保溫效果；後來我們五年級又學到「熱對物質的影響」，於是我們聯想到羽毛的保溫是否和熱的傳播方式有關？為了找出答案，我們就進行了一系列的實驗和研究。

貳、研究目的

一、探討鳥類羽毛及不同動物的毛髮特徵

- (一) 觀察不同動物毛髮的特徵
- (二) 觀察鳥類羽毛的外觀及顏色

二、探討羽毛結構與溫度的關係

- (一) 進行羽毛傳熱的相關實驗
- (二) 研究羽毛吸收熱的效果
- (三) 研究羽毛隔熱的效果
- (四) 進行不同比例的絨羽保暖效果實驗
- (五) 研究不同密集度的絨羽保暖效果

參、研究設備與器材

一、研究樣本

(一) 毛髮類：

- 1.狗毛、2.兔毛、3.羊毛、4.人類頭髮。

(二) 羽毛類：

- 1.睡袋 1 個、2.羽毛標本(表 1)、3.鳥羽毛圖鑑、4.黑天鵝飛羽和白天鵝飛羽各 20 根。

- 5.各種不同比例的鵝絨羽各 5 克（鵝絨羽 10%指絨羽含量 10%，體羽含量 90%；鵝絨羽 30%指絨羽含量 30%，體羽含量 90%；其餘類推）。

二、研究儀器設備與材料

（一）儀器設備

1. 立體解剖顯微鏡(圖 2)、2.複式光學顯微鏡(圖 2)、3.熱傳導實驗器(圖 4)、
4. 電子溫度計、5.紅外線溫度計、6.熱板（以口袋燒做為穩定熱源）、
7. 自製羽毛傳熱實驗裝置(圖 3)、8.自製羽毛吸熱實驗裝置(圖 7)、
9. 自製羽毛隔熱實驗裝置(圖 10)、10.自製絨羽保暖實驗裝置(圖 13)。

（二）材料：

- 1.檯燈、2.燈泡、3.鑷子、4.紙筒、5.錫箔烤模、6.保麗龍板、7.珍珠板、8.繩子、9.筆、
10.標籤紙、11.玻片、12.培養皿、13.夾鍊袋、14.玻璃瓶、15.萬用手推車、16.寶特瓶、
17.膠帶、18.刀片、19.剪刀、20.A4 紙、21.棉布、22.椅子、23.記錄紙、24.鐵絲。

肆、研究過程及方法

一、探討鳥類羽毛及不同動物毛髮的特徵

（一）觀察不同動物毛髮的特徵

1. 從搜集文獻來了解保暖的原理：

我們想要知道哪些毛類可以保暖，尤其是羽毛的特殊構造和保暖的關係，所以我們需要知道這些相關知識，然後才能進一步研究和實驗。

2. 研究方法：

我們蒐集了五種動物的毛髮，分別是狗毛、兔毛、羊毛、人的頭髮和鳥羽毛製成玻片，用複式光學顯微鏡和立體解剖顯微鏡觀察，並拍照記錄(圖 3)。

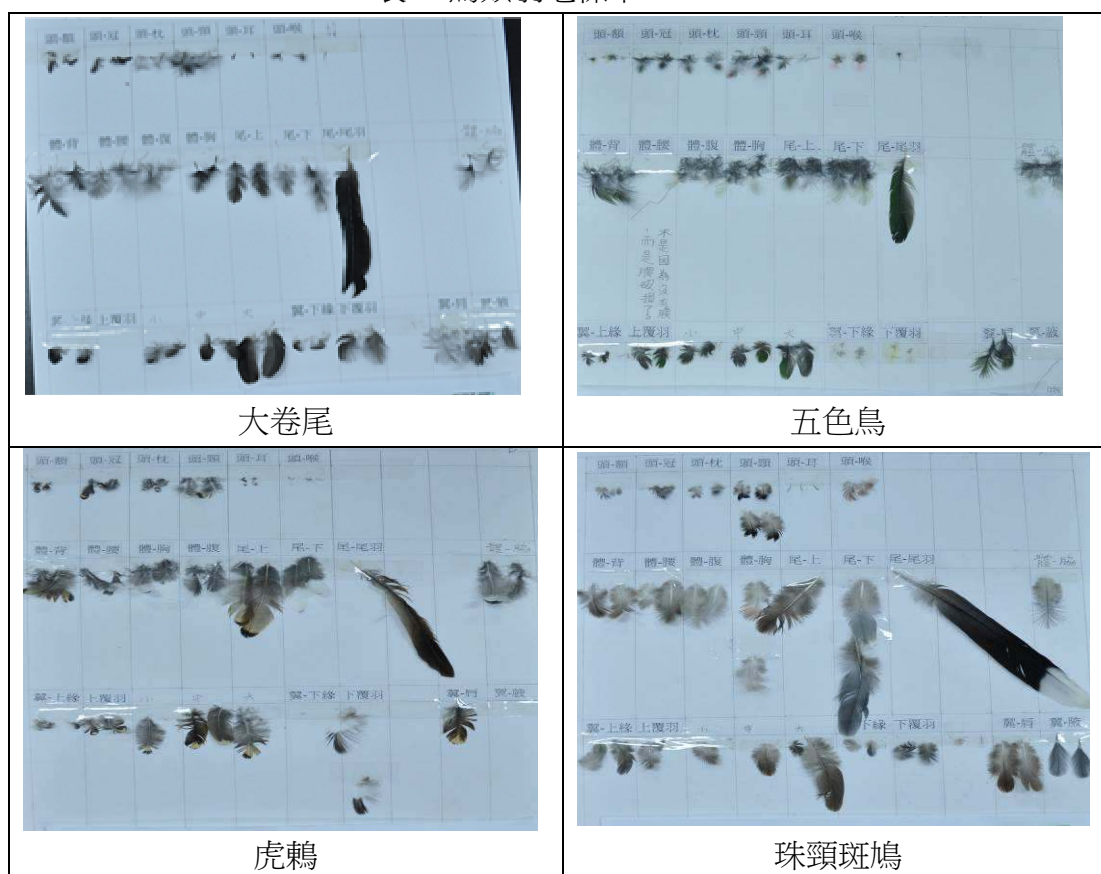


(二)觀察鳥類羽毛的外觀及顏色

1. 從觀察鳥羽結構和標本中發現問題：

我們實際觀察鳥類羽毛節夠和標本（表 1）發現到很多鳥類的同一根體羽居然會有不同的結構和顏色，為了要了解是不是所有的鳥類體羽顏色都是這樣，所以我們想要進一步研究。

表 1 鳥類羽毛標本



2. 研究方法：

- (1)我們使用鳥類羽毛圖鑑和自己蒐集的羽毛標本，選取鳥的羽毛分佈最多的身體部位，如胸部的羽毛（胸羽）、腹部的羽毛（腹羽）和背部的羽毛（背羽）做為羽毛顏色比對分析。
- (2)羽色記錄方式以白背地鵝為例，胸羽斑灰表示胸羽上半部的羽片有超過兩種斑紋或顏色，靠近身體的下半部的羽絨是灰色；腹羽白灰代表腹羽的羽片是白色，羽絨是灰色。
- (3)最後歸納整理出不同鳥類身體相同的部位，其同一根體羽結構及顏色，共列出鳥羽圖鑑和蒐集的鳥羽毛標本 84 種，然後統計出顏色異同的百分比。

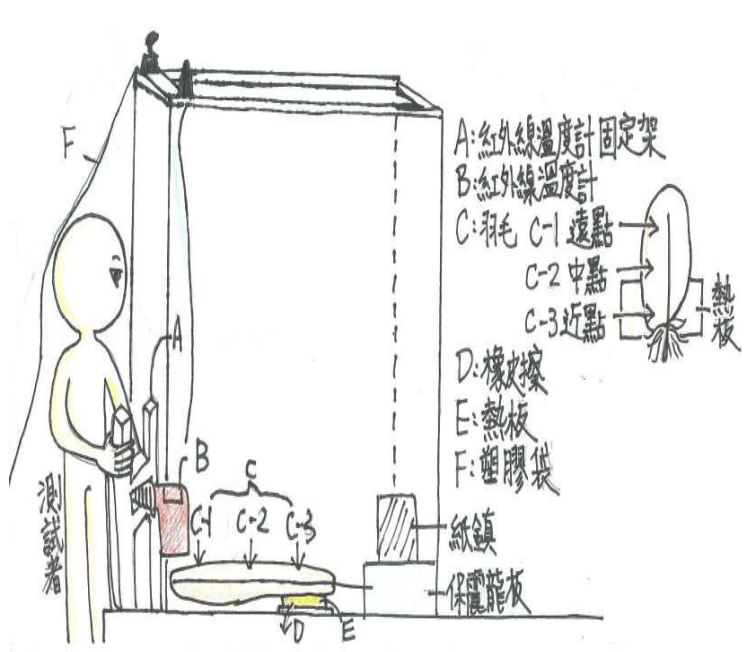
二、探討羽毛結構與溫度的關係

(一) 進行羽毛的傳熱的相關實驗

1. 想法：

我們在自然課有學到熱的傳導，也做過不同材質的熱傳導速度實驗，於是我們就想到：羽軸是從鳥類皮膚中長出來的，那它是否可以傳熱？若羽軸可以傳熱，那羽片是否可以藉由體溫或進行日光浴傳熱來保存身體的溫度？

2. 設計「羽毛傳熱實驗觀察裝置」：

 圖 3 羽毛傳熱實驗觀察裝置示意圖	設計說明： 1. 將 A~F 實驗裝置擺好進行羽片傳熱操作，蓋下塑膠袋 (F) 阻止外界空氣流動影響實驗。 2. 用「紅外線溫度計固定架」(A) 使紅外線溫度計 (B) 能夠準確測試樣本的測試點 (C)。 3. 保麗龍板的用途主要是要把羽羽根插入厚保麗龍板固定；橡皮擦 (D) 是要墊高熱板 (E)，而紙鎮壓在保麗龍板上，這樣才能將羽毛的「近點」平貼到熱板而且可以讓紅外線溫度計測試到。
---	--

2-1. 研究方法~羽軸傳熱實驗：

- (1) 將羽軸、鐵棒、塑膠棒裝到熱傳導實驗器上並放上熱片 (圖 4)。
- (2) 將點燃的酒精燈放到熱傳導實驗器下。
- (3) 當熱片變色代表測試物開始變熱，並按下碼錶記錄傳熱的時間。



圖 4 羽軸傳熱實驗

2-2.研究方法~羽片傳熱實驗：

- (1)將片羽距離羽絨 1 公分處的近、中、遠三點，等距離依序做記號 (如圖 3，最靠近羽片前端稱為「遠點」，接下來是「中點」，再來是「近點」)。
- (2)將熱板預熱到穩定溫度後，把所有測試樣本放入「羽片傳熱實驗裝置」(圖 5、6)。
- (3)接著用紅外線溫度計測試羽毛近、中、遠三點及熱板的初始溫度。
- (4)之後每 15 秒後測試一次，重複上述步驟，做 5 次實驗並取平均。



圖 5 羽片傳熱實驗裝置



圖 6 羽片傳熱實驗

(二) 研究羽毛吸收熱的效果

1.想法：

鳥類身體最靠外側的羽毛是羽片結構，那牠們日光浴時羽毛是否可以幫助吸熱？

我們曾做過布料的吸熱實驗，於是我們使用生活中常見的紙和布等實驗進行比較。

2.設計「羽毛吸熱實驗裝置」：

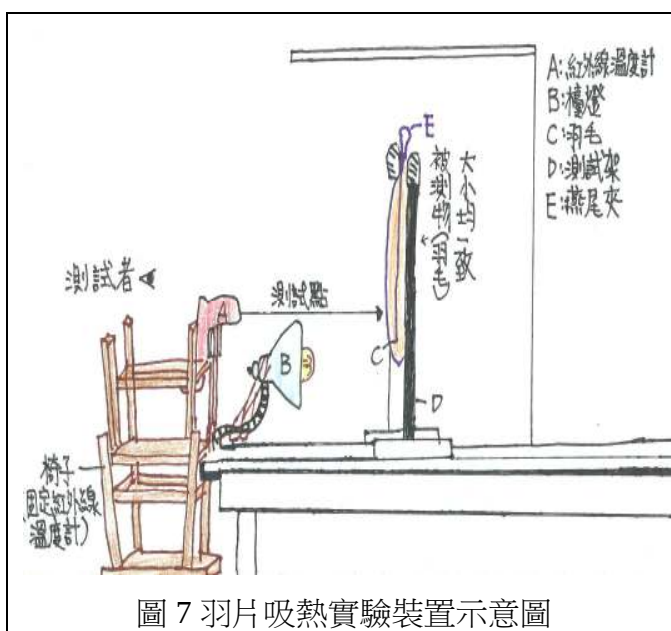


圖 7 羽片吸熱實驗裝置示意圖

設計說明：

1. 用台燈模擬太陽的溫度並用麻繩固定光源角度。
2. 將椅子疊成架子(固定紅外線溫度計 A)，使每次測量的位置一致，並將測試羽毛 C 固定在測試架上，使其每次接受到的光源一樣。
3. 此實驗裝置的設計有分左和右邊兩組，左邊為黑色，右邊為白色。
4. 整組裝置三面分別有塑膠板固定，左和右邊兩組中間也有塑膠隔板，可阻止外界空氣流動以免影響到測試羽毛的穩定度。

3.研究方法：

- (1)準備好「羽毛吸熱實驗裝置」進行相關實驗。
- (2)將黑白兩色的羽毛固定在兩個測試架上，羽毛距 60 瓦的燈泡 10 公分，再用紅外線溫度計測試黑白兩色羽毛初始溫度(如下圖 8)。
- (3)將黑色羽毛前方的燈泡開啟，等待五秒後開啟白色羽毛前方的燈泡(備註 1)。
- (4)之後每兩分鐘記錄一次黑色羽毛溫度，五秒後測試白色羽毛溫度。
- (5)測試時，將紅外線溫度計對準測試架上的基準線，將紅外線溫度計的雷射點對準羽毛下方 1/3 處的羽片測試溫度(如下圖 9)，記錄一小時後將燈泡關閉。
- (6)重複上述步驟，進行五次實驗並取平均。
- (7)準備兩片 100%棉布剪成羽毛的形狀，分別用黑、白水彩加水調配成 1:50 的染料後將兩片棉布分別染黑及染白，製成棉布的黑、白色假羽毛；另外準備黑、白兩片羽毛，用 A4 紙影印下，沿著影印後的羽毛形狀剪下，製成紙的黑、白色假羽毛。
- (8)重複步驟(1)-(6)，記錄實驗結果並比較。

【備註 1】

實驗前注意事項：由於所有的材質我們給他的光源(檯燈)都是不變的，因此在他們升高到一定的溫度後就不會再繼續升高，除非我們給它更多的熱量，幾乎所有的材質在 20 分鐘內溫度都會開始穩定不變。所以我們最後就拿材質的起始溫度和照光一個小時後，也就是在同樣的光源下所能吸到的最高溫來做比較，溫差最大的就是吸收的熱最多，吸熱效果最好。



圖 8 羽片吸熱實驗



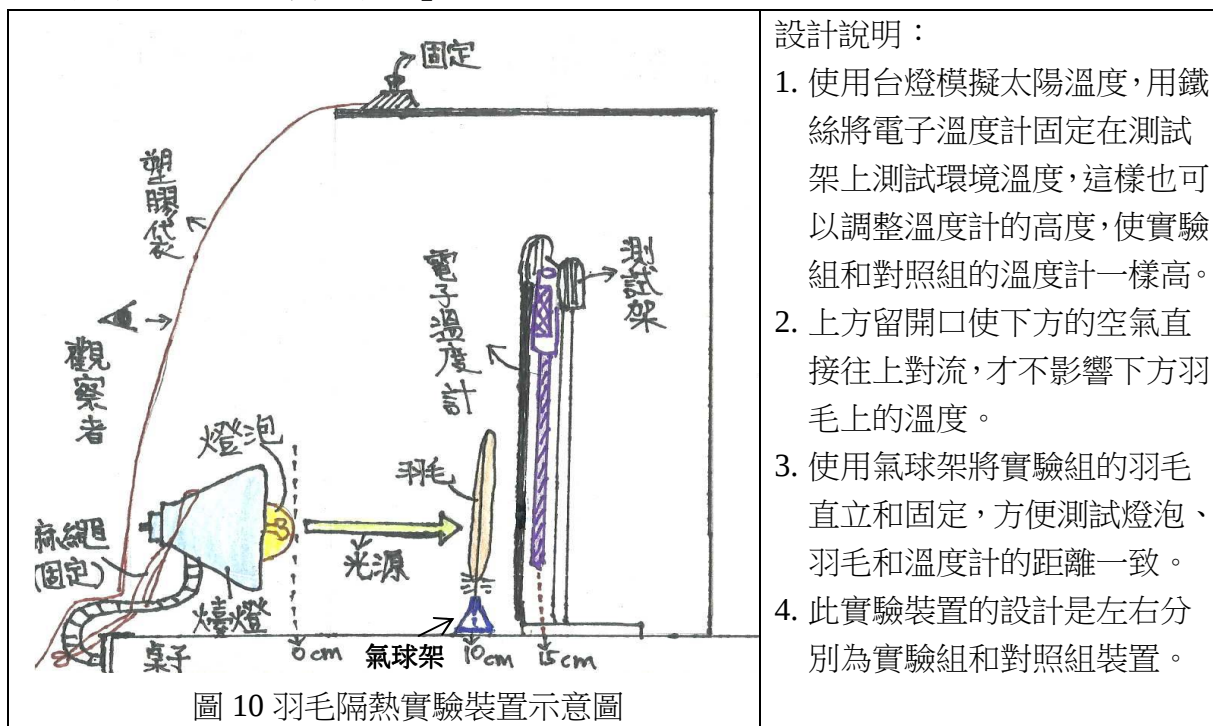
圖 9 紅外線溫度計的雷射點對準測試物

(三) 研究羽毛隔熱的效果

1.想法：

因為鳥類的片羽是覆蓋在身體最外側的，我們就想到羽片是否可以阻止外面的熱進入身體？於是我們利用羽毛吸熱實驗的方法，把裝置加以修改並進行研究。

2.設計「羽毛隔熱實驗裝置」：



3.研究方法：

- (1)將兩個電子溫度計分別固定到左右兩邊的隔熱實驗測試架上(如圖 11)。
- (2)記錄完兩根溫度計初始溫度後將裝置上的大塑膠袋拉下，減少空氣流動的影響。
- (3)將燈泡開啟，之後每 30 秒記錄一次，共記錄 300 秒(5 分鐘)。
- (4)重複上述步驟進行五次實驗並取平均。
- (5)我們共測試了黑、白兩色的羽毛和對照組的溫差做比較。

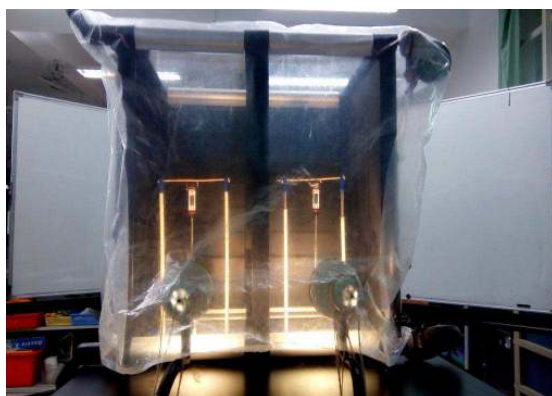


圖 11 羽毛隔熱實驗

(四) 進行不同比例的羽絨保暖效果實驗

1. 想法：

鳥類的羽絨結構可以保暖，有些羽絨衣和羽絨睡袋都會標示絨羽含量，而且含量越高的越貴，另外，羽絨含量高的羽毛外表愈蓬鬆，可以保存愈多空氣。所以我們想知道，是不是真的含量越高的羽絨保暖效果愈好。

2. 設計「絨羽保暖實驗裝置」：



圖 12 絨羽保暖實驗裝置設計和組裝步驟

圖 13 絨羽保暖實驗裝置示意圖

設計說明：

- (1)準備 2000 毫升的透明寶特瓶，和 250 毫升的透明直筒玻璃瓶(圖 12)。
- (2)將 2000 毫升的透明寶特瓶，裁成一半。
- (3)把上半段透明寶特瓶瓶身的瓶口割掉，再將瓶身由上到下剪成一半。
- (4)裁好的上半段寶特瓶包覆住透明直筒玻璃瓶和下半段的寶特瓶外面，外層的空隙用塑膠片固定並貼上，調整成固定的大小。
- (5)另外，把寶麗龍板剪成直徑和寶特瓶瓶底一樣的圓板，用泡棉膠固定住透明直筒玻璃瓶。
- (6)利用兩個瓶子之間的隙縫填塞絨羽(兩個瓶子之間的容量為 300 毫升)，先平均填滿下方瓶子，再平均填好上方瓶子，最後將玻璃瓶及寶特瓶瓶口之間的接縫及瓶蓋用珍珠板和膠泥封住以阻止熱傳出。
- (7)實驗時將溫度變化較穩定的膠狀液體(糊狀稀飯泥)裝到玻璃瓶中，並比較膠狀液體的降溫情形，測試絨羽的保暖效果。

3. 實驗方法：

- (1)準備七組絨羽保暖實驗裝置(圖 13)。

(2)分別把絨羽含量為 10%、30%、50%、70%、90%、100%的羽毛各 1 公克平均填充到下半段，再將上半段蓋上，把剩下的 0.8 公克平均裝到上半段，共 1.8 公克作為實驗組，有六組；我們另外有一組對照組(圖 14)。

(3)將約 80 度的膠狀液體分別用漏斗裝到玻璃瓶中，再將蓋子蓋上並插上溫度計，等溫度計升高到最高溫後開始計時。由於每個實驗裝置裝入稀飯的時間都不一樣，所以測試的時間也會不同。

(4)每 5 分鐘記錄一次溫度，共記錄一小時。

(5)重複上述步驟做五次實驗並取平均。



圖 14 絨羽保暖實驗裝置的實驗組和對照組



圖 15 絨羽保暖實驗

(五) 研究不同密集度的絨羽保暖效果

1.想法：

在上一個實驗中我們發現絨羽含量愈高效果不一定最好，所以我們想知道是不是和羽絨在一定空間所含的空氣量有關。所以我們利用「絨羽保暖實驗裝置」的保暖實驗方法，使用羽絨含量為 100%的羽毛來測試並比較不同密集度的絨羽保暖效果(圖 15)。

2.研究方法：

(1)取 100%絨羽含量的羽毛，分別測量 0、1、1.4、1.8、2.0 公克的羽毛，並平均放置到絨羽保暖實驗裝置中。

(2)步驟同上，「不同比例中的羽絨保暖效果」研究方法(3)~(5)。

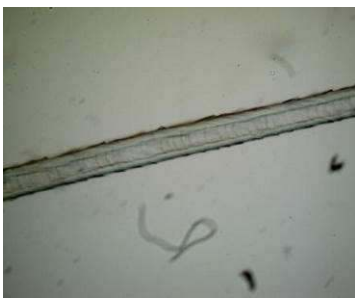
伍、研究結果

一、探討鳥類羽毛及不同動物的毛髮特徵

(一)觀察不同動物毛髮的特徵

1. 結果：

表 2 不同動物毛髮觀察記錄表

兔毛	狗毛	羊毛
		
兔毛的表面布滿了不規則、一層一層的鱗片，中間包覆著格狀看起來像氣泡的物體，形成一條條狀物。	狗毛的表面較不平滑，佈滿了小鱗片，換個角度看，會發現有一格一格、顏色較淡的結構。	羊毛的表面看起來有許多鱗片相互覆蓋，鱗片的排列方式不一，但都呈斜環狀。
頭髮	顯微鏡下的頭髮看起來很平滑，上面有許多很細、服貼的小毛。顏色是深咖啡色的，還有一些條狀和細點在上面。	
	(複式光學顯微鏡，目鏡×10，物鏡×20)	

2.發現與推論：

- (1)羊毛的性質溫暖、有彈性，吸水力強，穿著極為舒適，羊毛纖維的外層是一種鱗片狀組織；兔毛由絨毛和粗毛組成，絨毛細軟，與羊毛和其他毛纖維性質很相似，兔毛的重量輕、保暖性極好，穿著舒適；狗毛纖維其實比羊毛更溫暖、耐用、防水，適合製作貼身衣物及飾品；人類的頭髮有隔熱的功能，可以達到防曬或保暖，維持腦部恆溫。
- (2)羊毛、狗毛、兔毛、人的頭髮結構比鳥羽毛結構簡單，鳥類羽毛的結構非常複雜，所以我們就參考圖鑑，特別針對羽毛結構及外形特徵再進行觀察。

(二)觀察鳥類羽毛的外觀及顏色

1.羽毛結構觀察結果：

(1)羽毛的類型和構造：

鳥類身體分佈的羽毛遍佈全身，不同部位有不同形態的體羽，體羽大致上可以分成上半部和下半部，上半部的結構是羽片，下半部是羽絨(表 3)。我們可以從羽毛上羽片和羽絨的比例、羽軸的長短粗細，以及體羽和羽根的大小來分辨它是身體哪一個部位的羽毛。羽根較長的通常是飛行的羽毛（飛羽）和尾部的羽毛（尾羽）；絨羽的結構和羽絨相同，其特點是羽軸幾乎看不見，只有在根部有一點點羽軸（羽根），羽枝全是細長柔軟的羽絨(圖 16)。鳥的身體表面佈滿的體羽（羽片部分），形成一層防風外衣並呈現流線型的輪廓。

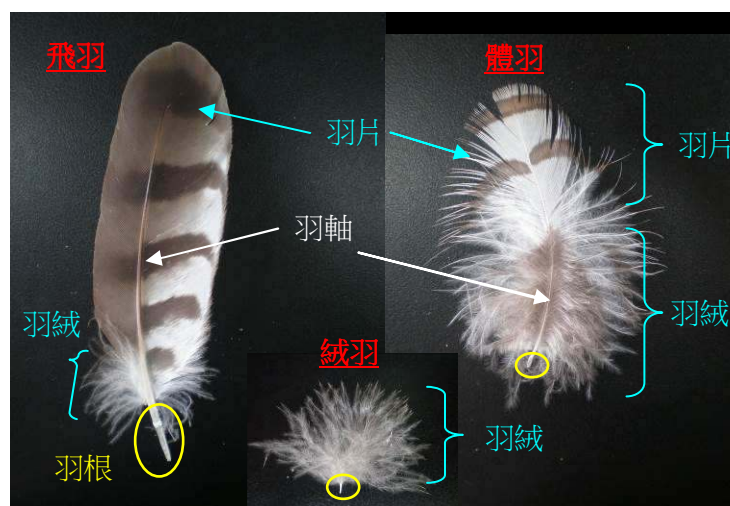
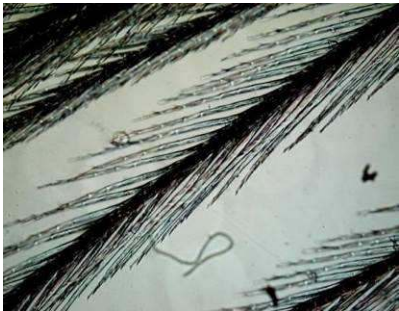
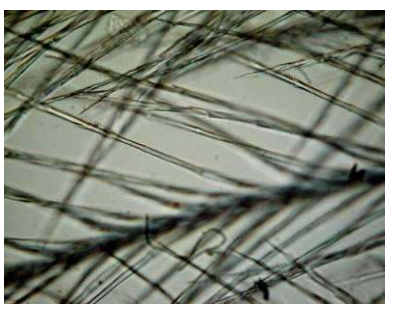
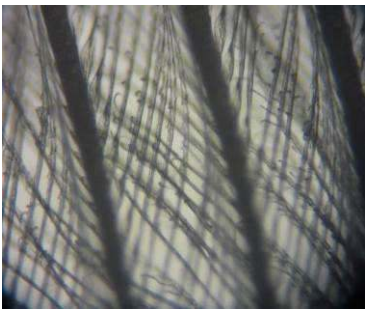
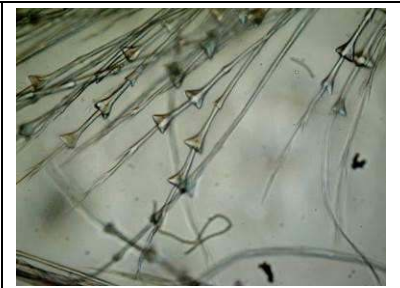


圖 16 的類型與構造

(2)發現和推論：

絨羽的結構蓬鬆，裡面有許多空隙，空隙裡都是空氣，空氣如果沒有流動的話就是熱的不良導體，所以羽絨之間所保留的是不流動的空氣，可以阻絕外在冷空氣，同時也可以阻止熱的散失，達到隔熱的效果，這和棉被保溫的原理類似；另外，炎熱時羽絨也會自動散開，散發熱氣，調節溫度。我們有學到熱的傳播方式分為三種：有傳導、對流和輻射，因此想要根據鳥羽毛的不同結構來實驗並瞭解鳥的羽毛與溫度傳遞的關係。

表 3 鳥類羽毛結構觀察記錄

體羽和飛羽上的羽片結構		
		
複式光學顯微鏡，目鏡 x10、物鏡 x10，圖 17	複式光學顯微鏡，目鏡 x10、物鏡 x20，圖 18	複式光學顯微鏡，目鏡 x10、物鏡 x15，圖 19
片羽的結構主要有：羽軸、羽枝、小羽枝和羽鉤。體羽上片羽的羽鉤較不明顯，羽枝從羽軸上生長出來，羽枝排列得很整齊，而羽枝上又長出小羽枝，小羽枝也排列得很整齊(圖 17)；羽枝上有一點一點像是透明圓點凸起，使羽枝看起來一節一節的(圖 18)；放大成 200 倍以上來看，透明的圓點凸起旁邊的其中一邊有小分岔，分岔處的羽枝會凹下去(圖 19)。		
飛羽和體羽上的羽絨結構		
		
複式光學顯微鏡，目鏡 x10、物鏡 x10，圖 20	複式光學顯微鏡，目鏡 x10、物鏡 x20，圖 21	立體解剖顯微鏡，目鏡 x10、物鏡 x10，圖 22
體羽上的羽絨和絨羽結構相似。羽絨和絨羽的結構也可以分為四種，有羽軸、羽枝、小羽枝和節點。絨羽的羽枝和小羽枝比較細長、雜亂，從複式光學顯微鏡中的絨羽(圖 20)看起來上面有三角形、顏色較深的是節點。再放更大來看(圖 21)，絨羽的小羽枝像是一節套著一節生長，其中一段的小羽枝會從另一段小羽枝尾端的三角形節點長出來，到了小羽枝的尾端，他的寬度會慢慢變細，上面的節點也會變小；從立體解剖顯微鏡中可以看到小羽枝上有些粉狀的亮點，那是羽毛上的油脂(圖 22)。		

2.觀察不同鳥類體羽的外觀及顏色

(1)圖鑑整理結果：

表 4 不同鳥類體羽外觀顏色觀察記錄表

鳥名	胸	腹	背	鳥名	胸	腹	背	鳥名	胸	腹	背	鳥名	胸	腹	背
台灣松雀鷹	斑斑	斑灰	黑灰	黃小鷺	白白	白白	斑灰	彩鵲	白黑	白黑	斑斑	草鴉	斑灰		斑灰
大冠鷺	斑斑		黑灰	夜鷺	白白	灰白		反嘴鵲	白白	白白		長耳鴉	斑黑	灰黑	斑黑
大冠鷺(亞成)	灰斑		斑斑	夜鷺(亞成)	灰白	白白		高蹺鵲	白白	白白	黑灰	短耳鴉	斑黑	白黑	斑黑
鳳頭蒼鷹	斑斑		黑灰	黃頭鷺	灰白	灰白		太平洋金斑鵲			斑灰	褐鷹鴉	斑黑		
黑翅鳶	白白	白白	灰白	黑冠麻鷺	斑斑	斑斑	斑斑	小環頸鵲	白黑			黃魚鴉	斑灰	灰斑	斑黑
黑鳶	白灰	灰白	黑灰	蒼鷺	斑斑		黑斑	東方環頸鵲	白白		斑白	褐林鴉	斑灰		灰灰
鸛鵒	灰黑		斑黑	黑面琵鷺	白灰	白白	白白	鐵嘴沙鵲			褐白	灰林鴉	斑灰		斑灰
小鸛鵒	褐黑	斑黑	斑黑	黑面琵鷺(亞成)	白白	白白	白白	小辮鵲	白黑		斑灰	領角鴉	斑黑		
竹雞	斑黑			小水鴨	白灰	斑灰	灰斑	青足鵲	斑黑	白斑	斑黑	黃嘴角鴉	斑黑		斑灰
台灣山鵲		灰黑	斑黑	赤頸鴨		白灰	斑灰	磯鵲			灰斑	鸛鵒	斑黑		斑黑
環頸雉		黑灰	斑黑	琵嘴鴨	斑灰	斑灰	黑灰	濱鵲	白黑		灰斑	翠鳥	白灰	白灰	斑灰
藍腹鵲	斑斑	黑斑	白斑	白頭翁	白斑		灰灰	山鵲	斑黑		斑黑	赤翡翠			褐灰
棕三趾鵲	斑黑	白黑	斑黑	紅嘴黑鵲		灰灰	黑灰	灰瓣足鵲	白灰		灰斑	蒼翡翠			斑黑
白腹秧雞	白黑	白黑		赤腹鵲	白灰		褐灰	紅領瓣足鵲	白灰	白灰	斑灰	栗喉蜂虎	灰灰		
紅冠水雞	斑黑	斑黑	黑黑	白腹鵲	灰黑	白灰	褐灰	烏領燕鷗	灰白	白白	灰白	五色鳥	斑黑	斑黑	斑黑
董雞	灰黑		黑灰	紫嘯鵲	斑黑	黑斑	黑斑	黑脊鷗			斑白	戴勝	斑灰	灰灰	斑灰
翠翼鳩	褐褐	斑斑	斑斑	虎鵲	斑灰	白灰	斑灰	長尾水雉鳥	灰灰	灰灰	黑灰	小雨燕	黑灰	黑灰	黑灰
金背鳩	灰白	白灰	斑灰	白眉地鵲	斑灰	白灰		大水雉鳥	灰灰	灰白		白腰雨燕	灰灰	灰黑	灰黑
珠頸斑鳩	灰灰	白灰	灰斑	野鵲	灰黑	白黑	褐黑	紅腳鵲	灰白	灰白	灰灰	黃鵲鴝	白黑	白灰	黑黑
紅鳩	灰白		黑灰	黃尾鵲	褐黑			鷓鴣	黑斑	黑斑	黑斑	大卷尾	灰灰	灰灰	灰灰
鷹鵲	斑斑	斑灰	黑灰	藪鳥	褐灰	斑灰		筒鳥	斑灰	斑灰	斑灰	家八哥	褐灰		灰灰

註：胸代表胸羽；腹代表腹羽；背代表背羽；表格中的斜線代表圖鑑沒有此羽毛樣本。

表 5 鳥類體羽外觀及顏色統計

身體部位	胸羽		腹羽		背羽	
顏色異同	相同	不相同	相同	不相同	相同	不相同
數量	22	73	15	58	14	78
百分比	23%	77%	21%	79%	15%	85%

(2)發現與推論：

- a.同一隻鳥不同身體部位的體羽顏色會不相同，例如五色鳥。
- b.不同鳥類的身體外型差別雖大，但牠們各部位的羽毛結構並沒有太大差異，只有羽軸長短、羽片和羽絨比例、羽片和羽絨大小寬窄，以及羽毛顏色的差別。
- c.多數鳥類的體羽有兩種或兩種以上的顏色，即始同一根體羽，靠身體的羽絨部份和靠前端的羽片部份的顏色也不同，鮮豔的顏色或花紋大多集中在羽片部份，這就是我們一般所看到鳥的外型體色；羽絨的顏色則較不鮮艷，大部分都是灰或白色。

二、探討羽毛結構與溫度的關係

(一) 進行羽毛傳熱的相關實驗

1.羽軸傳熱實驗

(1)結果：

表 6 羽軸傳熱實驗平均時間記錄表

	羽軸	鐵棒	塑膠棒
熱片開始變藍	66 秒	29 秒	62 秒
狀況說明	羽軸容易融化，且傳熱速度較慢，融化後還有奇臭無比的燒焦味和煙。	鐵棒傳熱速度非常快，不易有臭味和煙。	塑膠棒介於羽毛和鐵棒中間，而且也有臭味，但不會融化。

(2)發現與推論：

鐵棒使熱片變藍的時間最短，所以導熱較快，傳熱效果好；羽軸的傳熱效果最差，因此我們推測羽軸具有隔絕熱傳導的功能。

2.羽片傳熱效果實驗

(1)結果：

表 7 羽片傳熱實驗平均溫度記錄表

單位：℃

時間(秒) 項目	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
熱板	47.7	47.7	47.9	48.0	48.4	48.2	48.3	48.7	48.6	49.1	49.3
羽毛(貼熱板)	33.9	45.6	46.3	47.1	47.8	47.6	47.8	47.8	48.0	48.4	48.4
羽毛(中點)	33.9	34.8	34.4	34.1	34.8	34.4	35.0	35.0	35.0	35.1	35.2
羽毛(遠點)	33.9	34.3	34.4	34.0	34.8	34.4	34.9	34.8	34.8	35.0	34.9

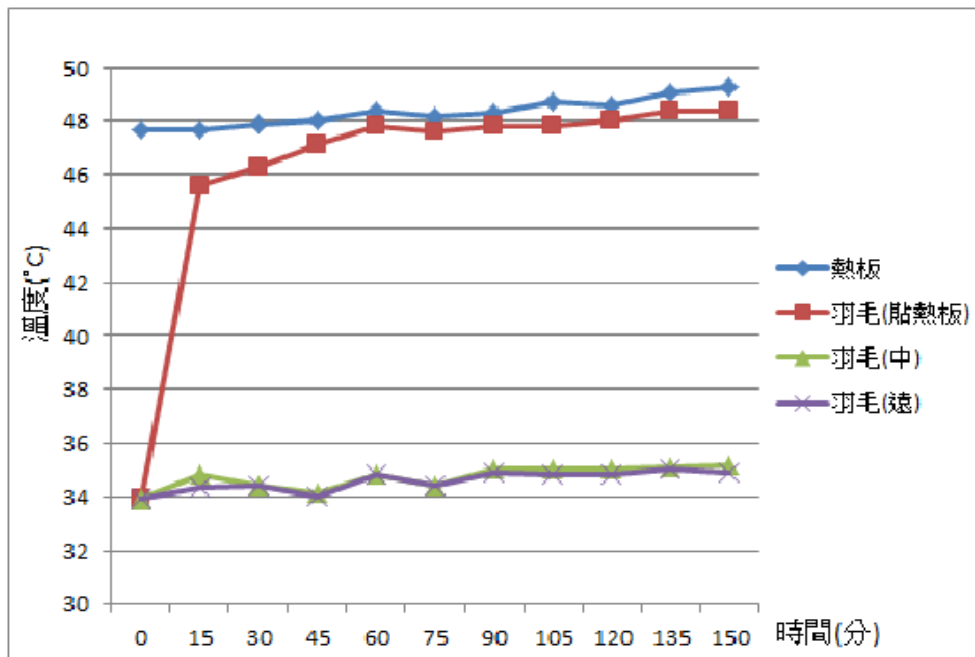


圖 23 羽片傳熱實驗平均溫度折線圖

(2)發現與推論：

- 羽片在平貼到熱板時，溫度跟熱板一樣。
- 另外兩個測試點中點和遠點的溫度都明顯比近點的溫度低很多，而距離熱板最遠的點溫度最低。
- 片羽傳熱效果只能將少量的熱傳到接近熱源的地方，而且熱很快就散掉，所以鳥類不容易藉由片羽將溫度傳到身體各處。

(二) 研究羽毛吸收熱的效果

1.結果：

表 8 不同材質吸熱效果平均溫度記錄表

單位：%

材質種類	羽毛		紙		棉布	
材質顏色	黑	白	黑	白	黑	白
溫度變化百分比	24.81	17.78	41.38	19.31	25.00	20.63

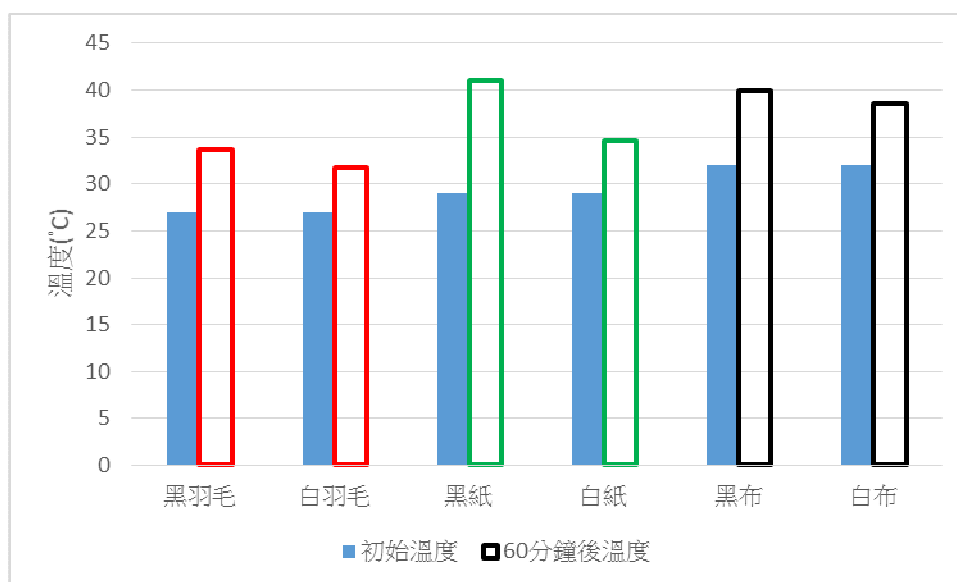


圖 24 不同材質吸熱效果平均溫度長條圖

2.發現與推論：

(1)不管是哪一種材質，黑色的吸熱效果都比白色好，其中紙的黑、白兩色差異最大。

(2)吸熱效果最好的是紙，再來是棉布，最後是羽毛。推測羽毛的羽片可以讓鳥類在夏天時保持涼爽，因為它的吸熱效果很差；它也可以讓鳥類在冬天時保持溫暖，因為吸熱效果差，就不容易散熱，可以保存溫度。

(三) 研究羽毛隔熱的效果

1. 結果：

表 9 羽毛隔熱實驗組和對照組溫差紀錄表

單位:°C

時間(秒) 項目	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
溫差(白)	0.08	0.40	0.6	0.86	0.90	0.96	1.04	1.02	1.06	1.06	1.08
溫差(黑)	0.06	0.28	0.56	0.76	0.82	0.94	0.94	0.90	0.88	0.86	0.82

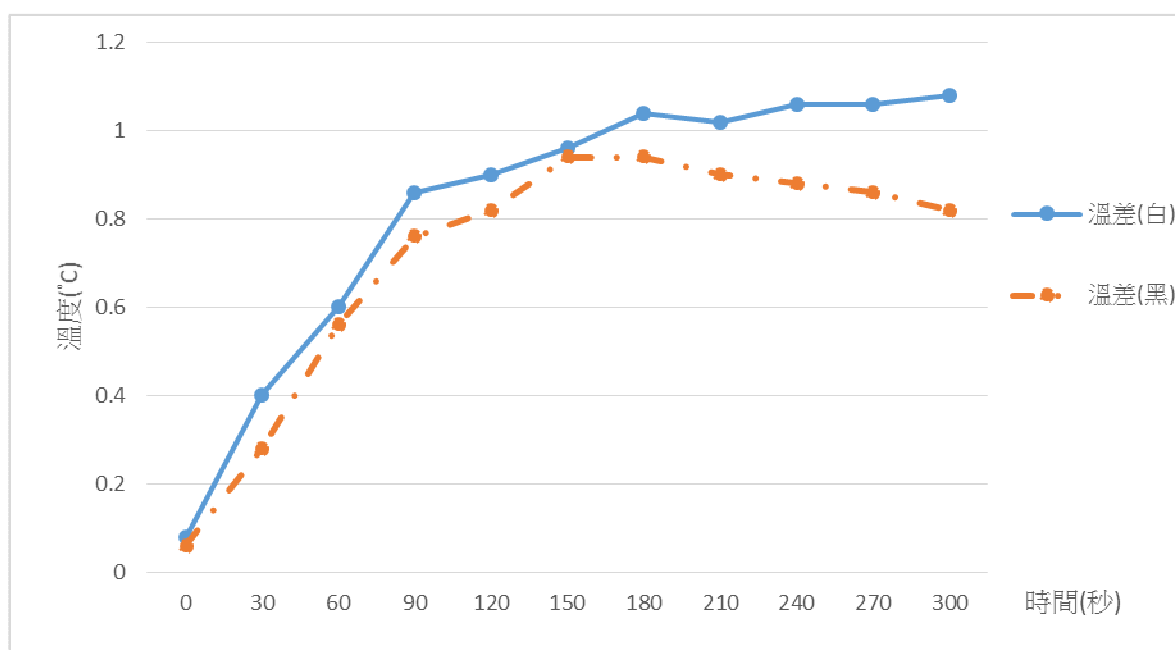


圖 25 羽毛隔熱實驗組和對照組溫差折線圖

2. 發現與推論：

(1)不管是黑色或白色的羽毛，都具有隔熱的效果，和對照組的溫度差距 1 度左右。

無論黑、白羽毛都具有隔熱功能，所以可以將熱保存在體內，讓身體保暖。

(2)白色的羽毛隔熱效果較黑色的羽毛好，由折線圖看出來白色溫差差距大。

(3)黑色的羽毛溫差較不穩定，時間越久溫差會隨著環境溫度升高而變低，由前面的吸熱效果推測，黑色羽毛會將環境的熱氣吸收，導致羽毛溫度升高，溫差降低。

(四) 進行不同比例的羽絨保暖效果實驗

1. 結果：

表 10 絨羽不同比例保暖平均溫度實驗表

單位:°C

時間 (分) 絨羽比例 (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	溫差
0(對照)	67.3	63.4	61.1	59.3	58.1	57.0	55.9	55.0	54.0	53.2	52.4	51.7	51.0	16.3
10%	68.3	65.0	63.0	61.6	60.6	59.7	58.8	58.0	57.2	56.6	55.9	55.2	54.7	13.6
30%	69.5	66.7	64.1	62.5	61.5	60.6	59.8	59.0	58.3	57.5	56.8	56.2	55.7	13.8
50%	69.3	66.7	64.3	62.9	61.8	60.9	60.1	59.2	58.4	57.5	56.8	56.1	55.3	14.0
70%	69.2	66.1	63.7	62.2	61.2	60.4	59.5	58.8	58.0	57.2	56.5	55.9	55.4	13.8
90%	65.5	61.9	61.1	59.7	58.2	57.4	56.7	56.0	55.3	53.4	54.0	53.4	52.9	12.6
100%	69.9	66.1	63.7	62.5	61.5	60.5	59.7	58.9	58.1	57.3	56.6	56.0	55.5	14.4

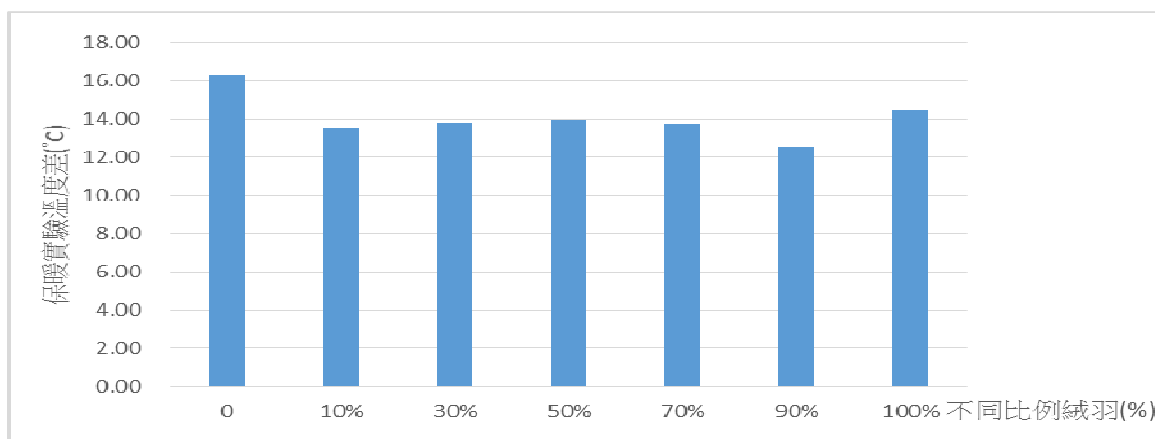


圖 26 絨羽不同比例保暖效果長條圖

2.發現與推論：

(1)藉由實驗發現絨羽含量為 90%的降的溫度最少，羽毛效果最好；其次是絨羽含量為 10%的羽毛，再來依序是 30%和 70%、50%、100%，最後是 0。

(2)結果可知因為它們是絨羽和片羽混合的羽毛，因此材料比例不同，所以保暖效果不一樣。推測絨羽含量為 90%的羽毛結構蓬鬆，絨羽和羽枝之間的空氣如果不流動，就造成熱的不良導體，藉此達到保暖的效果，是利用空氣對流的原理來保溫；10%羽毛的保暖效果很好，因為具有 90%傳熱效果差的羽軸及羽片，可以阻止熱傳出去，是利用傳導來保溫。

(3)本實驗說明絨羽的保暖效果是和它的密集程度有關，因此進一步設計「絨羽保暖實驗裝置」來實驗證明不同密集度的羽絨保暖效果。

(五) 研究不同密集度的羽絨保暖效果

1.結果：

表 11 絨羽不同密度保暖實驗平均溫度記錄表

單位：°C

時間 (分)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	溫差
絨羽 重量 (g)														
0g	65.8	60.5	58.3	56.5	55.6	54.7	54.0	53.3	52.5	51.8	51.2	50.6	50.1	15.7
1g	68.2	64.8	62.2	60.7	59.7	58.9	58.2	57.5	56.7	55.9	55.4	54.8	54.2	14.0
1.4g	68.3	64.5	61.6	60.3	59.4	58.7	58.1	57.5	56.9	56.3	55.7	55.1	54.7	13.6
1.8g	66.1	62.6	60.0	58.7	57.9	57.2	56.5	56.0	55.4	54.9	54.4	53.9	53.5	12.7
2g	61.8	58.0	56.1	55.0	54.3	53.6	53.0	52.5	52.0	51.5	51.0	50.5	50.1	11.7

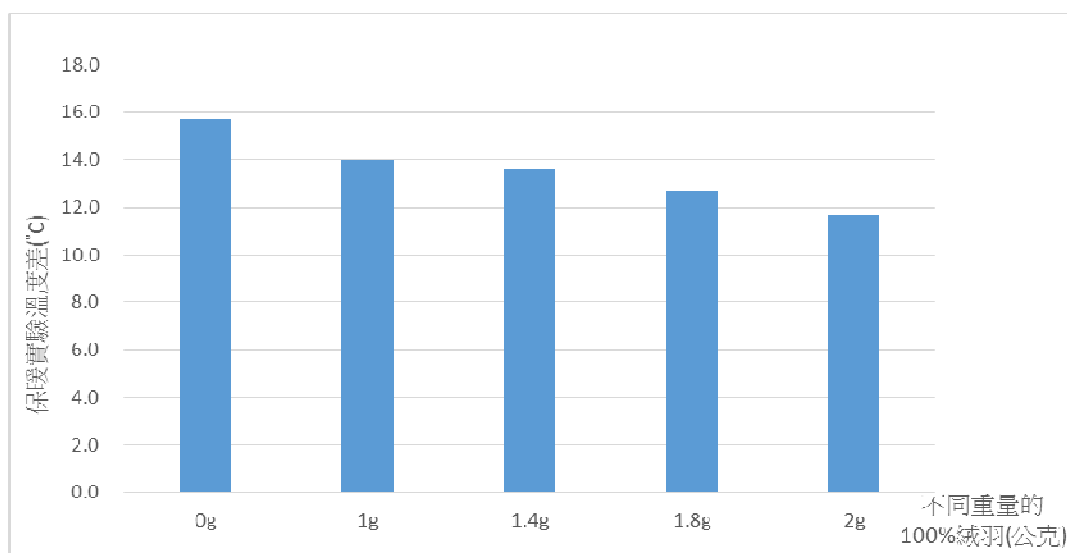


圖 27 不同重量的 100%絨羽保暖效果長條圖

2.發現與推論：

- (1)從實驗結果發現：在 300 毫升的空間內，2 公克的絨羽降溫值最少，代表保暖效果最好，推測是因為他們羽枝之間密合的程度剛剛好，可以有空氣層避免溫度的散失；都沒有羽毛(0g)的對照組，保暖效果最差。
- (2)再來依序是 1.8g、1.4g、1g，最後是 0g。推測是因為空氣含量太多導致空氣對流，溫度很快就散失，且不會塞太滿。

陸、討論

一、探討鳥類羽毛及不同動物毛髮的特徵

1.觀察不同動物毛髮的特徵

動物的毛都可以保暖，但是很多毛取得不易，我們不可能所有動物的毛髮都拿來做研究，而且在光學顯微鏡下有很多動物的毛，結構都是一根一根條狀的，只有鳥羽毛的結構最為特殊。因為鵝羽毛大也方便實驗觀察，另外，絨羽的用途普遍，也可以向羽毛公司訂購，所以我們就鎖定鵝羽毛做為這次的研究對象。

2.觀察鳥類羽毛的外觀及顏色

我們從羽毛圖鑑及羽毛標本發現很多鳥類身體上的體羽上下結構（羽片、羽絨）和顏色有所不同，非常奇特。鳥類羽毛的外觀及顏色非常多樣化，以後有機會可以慢慢研究，但我們想知道不同顏色的羽毛是不是會影響到他吸熱和保暖功能？羽毛

的不同結構是否都和溫度有關呢？因此我們就想實驗看看並探討這些問題。

二、探討羽毛結構與溫度的關係

(一)進行羽毛傳熱的相關驗

- 1.羽軸是從鳥類的皮膚長出，所以我們想要知道，羽軸是不是可以把身體的熱傳出來。因此嘗試了相關的實驗（附件實驗一），後來我們上網找到熱傳導器的教材，剛好學校也有、才終於改良了實驗方法；在進行羽片傳熱實驗時，我們利用現有材料和設備自製了羽毛實驗觀察箱來穩定環境的溫度，同時也縮短了測量時間。
- 2.這次的研究我們有遇到不了解的科學名詞及不知如何找尋合適的測量儀器（如熱傳導器、紅外線溫度計和口袋燒），都是藉由上網搜尋來獲得相關知識和解決問題。

(二)研究羽毛吸收熱的效果

- 1.剛開始的實驗，我們發現用黑冠麻鷺羽毛作為研究樣本是錯誤。因為實驗不能用花色的羽毛，要改用單一顏色，但鳥類羽毛的顏色有深有淺，所以我們就連想到羽毛的顏色可能會影響到他的吸熱效果（附件實驗二）。
- 2.有時候我們的實驗是在開放的環境中測試，溫度起伏不定，所以我們自設計羽毛實驗觀察的裝置，使環境變因能夠控制好，同時也要考慮實驗裝置的測量點、測量角度一致，增加實驗數據的精準度(圖 8、圖 9)。
- 3.我們從單一顏色的鵝飛羽做實驗，根據結果的折線變化圖來看，羽毛會調節溫度，為了證實不是環境變因的問題，所以我們就要和其他常見的紙和布比較。
- 4.我們發現羽毛及布料的顏色和材質的確會影響到吸熱的效果，吸熱和顏色及材質有關係的觀念可以運用在日常生活中的保暖服飾上。

(三)探討羽毛是否有隔熱的功能

- 1.為了證實片羽可以將絨羽保存的熱保留在羽毛和皮膚之間，我們實驗了片羽隔熱效果。我們一開始將片羽接觸熱板，所以羽片跟熱板的溫度一樣，我們還誤以為羽毛不會隔熱，後來發現這個實驗的方法有誤(附件實驗三)，所以才一再修正。
- 2.在教室實驗時，我們常因開放的空間使羽毛受到環境溫度影響，所以我們就設計「羽毛隔熱實驗裝置」(圖 10)來解決我們的問題，我們要不斷的改善實驗的方法，才能合理解釋實驗結果。

(四)探討絨羽和溫度的關係

1. 先前我們知道羽毛蓬鬆程度會和保暖有關，因此我們嘗試了許多假設和實驗，更設計改良不同的方法來驗證我們的想法，為了設計不同量的羽絨保暖效果實驗，經歷過許多失敗（附件實驗四）。一開始我們還將保暖的觀念弄錯，那時我們一直以為絨羽含量越少，保暖效果越差，後來改良實驗後才發現：因為它們所含的材質不同，所以保暖的方法也不同，不一定是含量越高的效果越好。
2. 我們依據實驗目的不斷的尋找合適的方法進行實驗，如樣本的測試時間點和範圍、裝置羽毛器材的選擇和設計、掌握羽絨量的多少、溫度計的穩定性、熱源的選擇、測試當時的溼度、如何選擇數據和統計、如何考慮加熱時間和散熱時間點，環境變因的穩定性以及去除環境干擾等因素，最後終於找到合理解釋的方法和合理變因的控制，才使實驗更嚴謹。

柒、結論

一、探討鳥類羽毛及不同動物毛髮的特徵

鳥類的體羽遍佈全身，結構特殊，顏色也多變化。羽軸位於體羽中間連接皮膚，羽軸將整支羽毛撐起，羽軸上靠近皮膚部位的羽毛是羽絨，較尖端上方的羽毛是羽片；身體上每一根體羽的羽片是彼此一片片互相重疊，像屋瓦狀排列，所以和皮膚間會有許多空隙，這些空隙又會由皮膚另外生長的絨羽所填滿。羽絨和絨羽的羽枝柔軟蓬鬆，它們聚起來看起來就像絨球，絨球蓬鬆得愈大，羽枝間所保留的空氣就愈多(圖 28)。

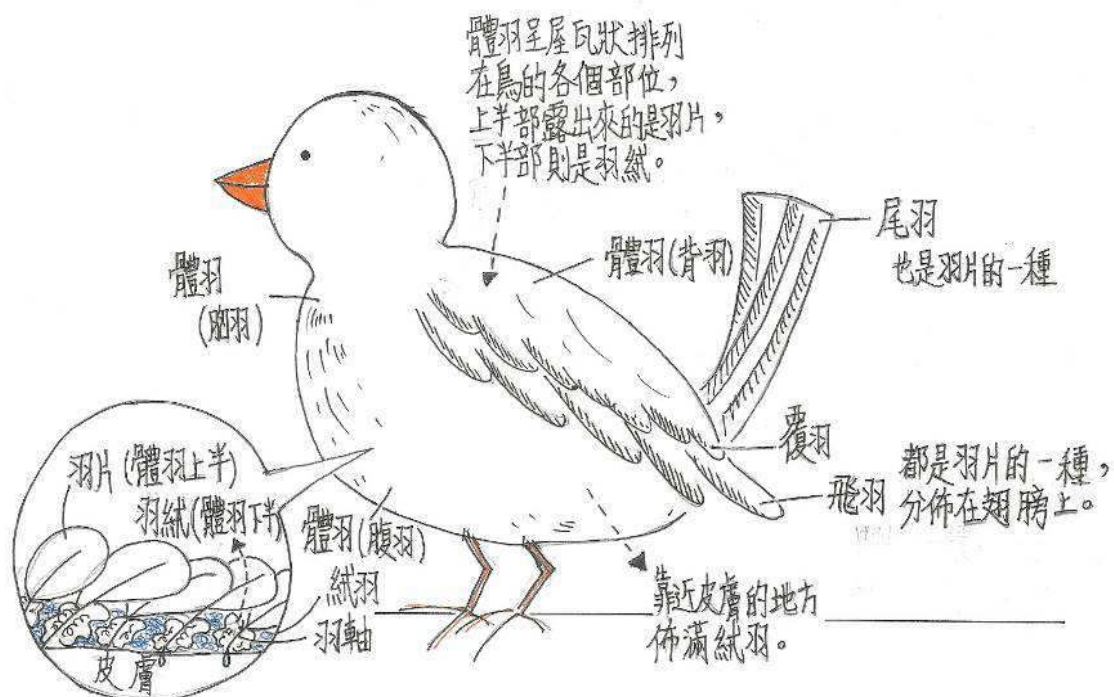


圖 28 鳥類羽毛分布剖面圖

二、探討羽毛結構和溫度的關係

鳥類身體上的羽片結構可以當作熱的不良導體，可以阻止體溫熱的散失，又可以隔絕外在的溫度，使鳥類維持體溫，所以能夠保暖；羽片結構也可達吸熱的效果，將外面的熱吸收，維持身體的溫度；另外，絨羽結構蓬鬆，所以羽枝跟小羽枝之間形成網狀的縫隙，可以保留住空氣，達到隔絕溫度的效果，讓外面的冷空氣無法影響到身體的溫度，因此羽毛才能達到保暖的功能。

這次的研究我們從觀察中發現問題，擬定假設和研究目的，最後不斷進行實驗，找出研究結果，下表是我們研究鳥羽結構和溫度關係的構想，以及內容的綜合整理：

表 12 鳥羽結構和溫度關係研究的構想與內容的綜合整理表

觀察鳥類羽毛及 不同動物毛髮的特徵			探討羽毛結構與溫度的關係		
動物	鳥類羽毛結構的觀察		發現問題	假設與研究目的	實驗結果
從 文 獻 探 索 中 得 知 動 物 的 毛 髮 有 保 暖 的 功 能 。	羽軸	堅硬、空心有彈性，直立在鳥的皮膚上，具有支撐羽片的作用。	因為羽軸和皮膚接觸最多，那羽軸是否會把身體的溫度傳到外面？	羽軸可以傳熱。	羽軸沒有傳熱的效果。
	羽片	羽枝排列整齊密合，形成有彈性的平面。	羽片是否可藉由傳熱來增加身體的溫度，將熱傳到身體各部位？	羽片可以藉由傳熱來增加身體的溫度。	鳥類不容易藉由羽片傳熱增加身體的溫度。
			鳥會日光浴，所以羽片是否會有吸熱的效果？顏色會不會有影響？	羽片具有吸熱的功能，顏色會影響到它的吸熱效果。	1.羽毛具有吸熱的效果。 2.不管是哪一種材質，黑色的吸熱效果都比白色好。
			片羽是覆蓋在身體外側，因此羽片是否可以阻止外面的熱進入身體？	羽片具有隔熱的效果。	1.白色的羽毛隔熱效果較黑色的羽毛好。 2.羽毛無論黑、白色都具有隔熱的功能。
	羽絨	羽枝細長柔軟，不緊密且蓬鬆，可以保存空氣。	不同比例的絨羽，會影響到保暖效果嗎？	不同比例的羽絨含量，會影響到保暖效果。	不同羽毛的結構及密集程度會影響到它的保暖效果。
			羽絨的密集程度是否會影響到保暖效果？	羽絨的密集程度會影響到保暖效果。	在有限空間中，絨羽羽枝之間密合程度剛好時，保暖效果最佳。
應用	1.我們在選購羽絨製品的時候，不一定要選購羽絨含量高的才是保暖效果好，因為絨羽和片羽混合的羽毛，材料比例不同，保暖的方法和效果也就不同。 2.另外，羽絨的密集度也會影響到絨羽的保暖效果，空氣含量和蓬鬆度，才是絨羽保暖的原因。所以我們選購絨羽時，應該要考慮到蓬鬆度，在適當的空間內不能塞太緊或太鬆。				

捌、參考資料和附件

- 一、 台灣野鳥資訊社日本野鳥 の會（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、 「羽」眾不同－羽毛特徵與功能探討（2013）• 全國中小學科展作品第 54 屆作品。
- 四、 教育 wiki （2013 年 11 月 15 日）• 熱輻射 • 2015 年 3 月 9 日取自
<http://content.edu.tw/wiki/index.php/%E7%86%B1%E8%BC%BB%E5%B0%84>
- 五、 物理教學小棧（無日期）• 熱的傳播 • 2015 年 3 月 9 日取自
<http://home.phy.ntnu.edu.tw/~eureka/contents/elementary/chap%203/3-3-3.htm>
- 六、 涂夢俠（無日期）• 羊毛纖維 • 中華百科全書 2015 年 3 月 11 日取自
<http://ap6.pccu.edu.tw/Encyclopedia/data.asp?id=6905>
- 七、 全家福股份有限公司（無日期） • 認識羽絨被 • 2015 年 3 月 11 日取自
http://www.feaco.com.tw/knowledge_b5.html
- 八、 WOUF 狗毛圍巾人道消費善待動物（2014 年 05 月 26 日）• 聯合報系願景工程 • 取自 http://vision.udn.com/storypage.php?ART_ID=3038
- 九、 高則容（2015 年 1 月）• 酷鳥寶寶穿毛衣 • 新小牛頓，54，124。
- 十、 陳秋民等（2012）• 國小自然與生活科技三下 • 台北市：翰林文教事業。
- 十一、 陳秋民等（2014）• 國小自然與生活科技五下 • 台北市：翰林文教事業。
- 十二、 索爾 • 漢森（2015）• 羽的奇蹟 • 新北市：左岸文化出版。

附件：實驗設計歷程舉例

實驗一 ~1：羽軸傳熱實驗

	設計	結果思考與改進
1	我們用酒精燈把熱水加熱，用熱水模擬鳥類皮膚的溫度，再將羽軸插入熱水中，用紅外線溫度計測量羽軸距離熱水 2 公分處，每 10 秒的溫度。	1.在做完實驗時，我們發現，因為羽軸太細了，所以用紅外線測試器會測量到室溫，導致無法得到結果。另外，水到最後會沸騰，水氣也影想到溫度的測試的結果；酒精燈溫度不好控制，無法讓每一次測試的水溫都一樣。 2.於是我們利用的熱傳導器來做實驗，它的溫度比較穩定，也便於我們固定羽軸和觀察熱傳導的速度。但我們不能用紅外線溫度計來測試溫度，會測到桌面的溫度。 3.我們使用熱片並記錄顏色變藍的時間，我們決定把它拿來和鐵棒、塑膠棒，以及和同樣粗細的羽軸比較傳熱的速度。
2	我們將羽軸、鐵棒和塑膠棒固定到熱傳導器上，並將熱片放到距離熱傳導器固定處約兩公分的地方，記錄熱片變藍的時間，並觀察羽軸、塑膠棒和鐵棒有何特殊的變化。	1 這個實驗時常會不小心把羽軸燒焦，因為鐵的傳導速度快，所以要注意時間的掌握。 2.我們發現羽軸的傳熱速度最慢，鐵棒最快，所以羽軸具有阻隔溫度的效果。 3.所以羽軸不會把鳥的體溫傳出去，而是可以避免體溫散失。

實驗一 ~2：片羽傳熱實驗

	設計	結果思考與改進
1	我們模仿課本空氣對流的實驗，準備兩個錐形瓶，將香煙點燃並吹熄後，放進其中一個瓶子內，讓煙霧充滿瓶內。一分鐘後，將一個錐形瓶放入裝熱水的水盆中，另一個放入裝冷水的瓶子，靜待三分鐘，並測量水溫和羽毛的溫度，三分鐘後，我們將錐形瓶從水中拿出來，充滿煙霧的熱瓶放置在下，冷瓶放置在上，並在中間隔著一根天鵝飛羽，共計一分鐘，看羽毛是否能阻擋空氣對流。	實驗後，我們發現羽毛的確可以阻擋空氣對流，但最後我們發現，煙的顆粒比較大，可能只是因為顆粒太大而無法穿過羽？讓我們看起來好像是羽毛阻止了白煙的對流。我們做這個實驗的目的是想看羽毛是否能阻止空氣對流，所以我們就將這個實驗再做進一步的探討。

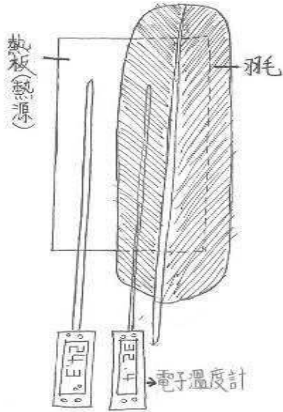
2	將錐形瓶一個放入冷水中，一個放入熱水中並插入溫度計，計時三分鐘，記錄冷熱瓶溫度，並將我們將錐形瓶從水中拿出來，熱瓶放在下面，中間放羽毛，冷瓶放在上面，計時一分鐘，之後測試羽毛正反面溫度及冷、熱瓶溫度。  羽毛對流實驗裝置	1.我們發現沒有放置煙霧的效果的確比較好，但是實驗後測量的溫度常常忽高忽低，而且羽毛不管正反面，靠近熱瓶的那一面通常比較冷，靠近在冷瓶的那一面通常比較熱。 2.所以我們推測可能因為我們將羽毛拿來測試溫度時溫度散掉了，而且熱瓶和冷瓶的溫度也都散掉了。 3.我們為了要讓熱的溫度穩定，所以我們想要用一個可以有穩定溫度的板子來做實驗。在查過資料後，我們發現一種「暖暖蛋」，他可以持續加熱，溫度可以達到40度，而且表面是平的，很適合我們做實驗，所以我們就採用這種熱板來做實驗。
3	將片羽平放在充飽的熱板上，每2分鐘紀錄一次熱板和羽毛的溫度，共紀錄20分鐘。	1.我們發現有時是羽毛的溫度比熱板高，有時卻是熱板的溫度比羽毛高，原因是因為在做實驗時，熱板的溫度會忽然下降，有時卻增加，溫度相當不穩。 2.為了解決這個問題，我們決定讓兩個熱板充一個晚上的電，隔天做實驗時，每做完一次，就換一個熱板做實驗，並將另外一個拿去充電，這樣就能讓實驗的數據更精確。 3.但後來我們發現20分鐘後羽毛和熱板的溫度幾乎都一樣，但前兩分鐘的溫度變化很快，沒有辦法看出其中的差異。所以我們將測試間隔縮短，記錄溫度。

實驗三：羽毛吸熱實驗

	設計	結果思考與改進
1	將燈泡固定在保麗龍板，並將十根羽毛圍著燈泡直立擺放，最後將燈泡開啟，記錄羽毛的初始溫度，之後每40分鐘記錄一次，共計錄200分鐘。	1.我們實驗發現羽毛在0~40分時溫度會上升很高，但是之後測到的羽毛溫度變化很大。我們推論其中的原因應該是在做片羽傳熱實驗時，沒有在密閉空間裡做，實驗時天氣又比較寒冷，外界的冷空氣和燈泡傳到羽毛的熱相互對流，就會影響到羽毛表面的溫度。

		2.另外，我們採用的羽毛是黑冠麻鷺的飛羽，它有花紋，也會影響到實驗結果。 3.因此，我們就將這個實驗做改良，改良成用白天鵝和黑天鵝的羽毛進行不同黑和白顏色羽毛的吸熱實驗。
2	為了減少環境變因，我們在室內進行實驗並將空調開啟，實驗方法仍和之前一樣，只是將有花紋的片羽改為黑、白羽毛來做比較。  羽毛吸熱實驗	1.做完實驗後發現，羽毛的溫度會起伏不定，溫度都維持在一定的範圍，我們推測可能羽毛有調節溫度的作用。 2.但是否是我們的環境控制得不好的關係才會造成起伏不定？而其他材質是否也會出現這樣的情況，而不是因為羽毛的結構特殊？ 3.所以我們將實驗改為一個燈泡照射一根羽毛，還製作了紅外線溫度計固定架使測試溫度的角度一致，也設計了實驗觀察箱控制環境變因；最後我們也用了其他材質來和羽毛做比較。

實驗三:羽毛隔熱實驗

	設計	結果與改良
1	將熱板預熱到 40 度後將兩根溫度計平行放到熱板上，用羽片覆蓋住其中一根溫度計後記錄溫度，之後每 15 秒記錄一次，共記錄 150 秒。 	1.羽毛不具有隔熱的功能。 2.後來經過討論發現，我們是將羽毛緊緊的貼著熱板，所以會影響到溫度。那如果熱源距離羽毛有一段距離是否就不能達到傳熱效果？因此，我們就將熱源改為燈泡，並測試羽毛是否能阻擋燈泡的熱。

實驗四 - 1:不同比例絨羽保暖實驗

	設計	結果思考與改進
2	使用如下圖的絨羽實驗裝置加熱到一樣溫度後從恆溫箱取出，每一分鐘記錄一次溫度，記錄到降到室溫為止。 	1.做完實驗之後，我們發現，每次做出來的結果都差異很大，主要的原因就是我們沒辦法看到放在衛生紙筒內的絨羽有沒有平均，還是都會沉澱在底下。 2.因此我們後來將絨羽保暖實驗裝置設計為改良後的透明的塑膠筒，這樣就可以清楚得看到裡面裝置的絨羽是否有平均。
3	將兩個寶特瓶切開瓶底後接在一起，並將兩端的蓋子包上錫箔紙，其中一邊打洞插入溫度計。 	1.我們做完實驗後發現，雖然將紙筒改為塑膠筒之後，可以清楚的看到絨羽在裝置裡的分布，但我們後來想到：鳥是由身體傳出熱，再藉由絨羽去幫他保暖，但是我們這麼做，是塑膠桶加熱，而不是身體本身在加熱，就像是我們是在蓋棉被，希望棉被能維持我們的體溫，而不是在看棉被本身的溫度是否能夠維持住，這就像在保溫瓶的材質是否能保溫，這樣就不是我們要的實驗目的。 2.所以我們後來決定在玻璃瓶裡裝入高溫且糊狀的粥，外面包著不同比例的絨羽，看哪個比例的絨羽能將粥的溫度保存得最好，也就是有達到保暖的效果。

實驗四 - 2：不同密集度絨羽保暖實驗

	設計	結果思考與改進
1	我們將 0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 克的 70%絨羽放到上個實驗的紙筒中，實驗不同絨羽密度的保暖效果，我們試了幾次之後決定採用 0.5 克以下的重量來做實驗，這是因為我們以 0.5 當作基準，想要測試是不是密度較低，空氣含量較多的絨羽保暖效果會更好。	我們發現，重量是 0.4 公克的保暖效果最好，他可以保存的空氣含量較多，但又不至於密度太低，沒辦法保存熱空氣。所配合不同比例的絨羽保暖實驗，我們將方法改為跟上一個實驗相同，並將絨羽重量改為 0、1、1.2、1.4、1.6、1.8、2 公克。

實驗五：假設相同重量絨羽，不同密集度會影響到絨羽的吸熱效果。

	設計	結果思考與改進
1	我們先將 0.4 公克的絨羽分別放到六個保麗龍杯裡，再將紙卡裁成不同大小的圓形，在保麗龍杯中放到 1/6、2/6、3/6、4/6、5/6 還有 6/6 的位子，把羽絨用相同重量壓成不同的密度，比較他們的吸熱效果。 	1.在做實驗時，我們發現到了 40 分鐘時，絨羽的溫度就會開始忽高忽低，溫度變化也越來越小。 2.我們覺得，應該是我們在較空曠的環境裡做，羽絨一吸收到燈泡的熱被外界的冷空氣帶走，根本無法比較它的吸熱效果；我們也發現，燈泡的距離和角度也會影響到絨羽吸收熱的效果。 3.因此我們決定將燈泡從上往下照，讓每個裝著絨羽的杯子照到的光源都一樣，時間還是維持在每分鐘紀錄一次。最後，我們還改良成用錫箔帳棚做實驗。
2	先將 8 個燈座固定在架子上，然後把大量錫箔紙剪下，在燈座和架子周圍圍成一個大帳棚狀，將不同蓬鬆度的絨羽放入保力龍杯中，並把各個保麗龍杯圍成一個圓，平均擺放在錫箔帳棚內。  錫箔帳棚外觀	1.在做實驗時，我們發現五分鐘時保麗龍杯內的溫度急速上升，升到最後溫度高達 39-40 度，使得裡面的溫度計無法顯示出溫度。 2.我們覺得應該是因為加上錫箔紙，燈光全部聚集在同一點，環境溫度太高，所以實驗失敗。  錫箔帳棚內的裝置

【評語】 080303

本件作品為第 54 屆科展作品「羽」眾不同-羽毛特徵與功能探討的延伸，繼續深入探討羽毛結構與溫度的關係。本作品利用不同結構的羽毛，設計熱傳導、吸熱、隔熱等實驗，並得出絨羽含量比例與保暖效果的關係等結論。本作品實驗設計邏輯性佳，探討單一問題且深入，並具有應用性，實屬佳作。