

新竹市第四十一屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生物科

組 別：國小丙組

作品名稱：「毬」生法則-探討毬果的鱗片排列與開合

關 鍵 詞：毬果、生長螺線、溼度

編 號：

「毬」生法則-探討毬果的鱗片排列與開合

摘要

毬果有生命嗎？我們看見它充滿了生命力！本實驗主要探討二葉松與溼地松毬果，發現毬果從鱗片螺線的排列生長到開合的機制，都是為了保護種子，讓後代得以繁衍延續。

「毬」生法則如下：

- 一、毬果生長螺線同時存在逆時針與順時針兩種旋轉方式，旋轉圈數為費氏數 8 和 13，如此能使鱗片最有效的排列，以提高產生後代的機率。
- 二、溼度影響毬果的重量和鱗片開合的角度。我們依據觀察數據自製毬果溼度計。
- 三、毬果內部的水分運輸和感應主要在鱗片內側，不在果軸中心，如此能快速的使鱗片關閉。
- 四、毬果浸入溫度高的水中，鱗片閉合的速度較快；在越高濃度的水溶液中，鱗片閉合的速度越慢。
- 五、讓毬果鱗片較快張開的方式：吹風機熱風吹>日曬>火烤。

壹、研究動機

我們的校園有三棵二葉松，從教室走廊望去可以看見許多毬果，有一次下雨時，偶然看到樹上的毬果都是關閉的，和平常看到張開鱗片的毬果不同，上網查詢資料後才知道原來毬果鱗片會隨著天氣狀況開合，而毬果不只是大自然的溼度計，它螺旋狀的鱗片排列還藏著神奇密碼－費氏數列。小小的毬果帶著大自然造物的神奇力量，引發我們的好奇，於是開始進行相關實驗。

實驗與教材相關性：康軒版五上第二單元【植物世界面面觀】、
康軒版三上第一單元【植物的身體】

貳、研究目的

- 一、探討毬果的鱗片排列。
- 二、溼度變化對毬果的影響-毬果重量、鱗片開合角度的變化。
- 三、當毬果遇到水-不同部位浸水、不同水溫、不同水溶液中的變化。
- 四、讓毬果鱗片張開的方法。

參、研究設備及器材

一、實驗材料

(一) 毬果來源及編碼

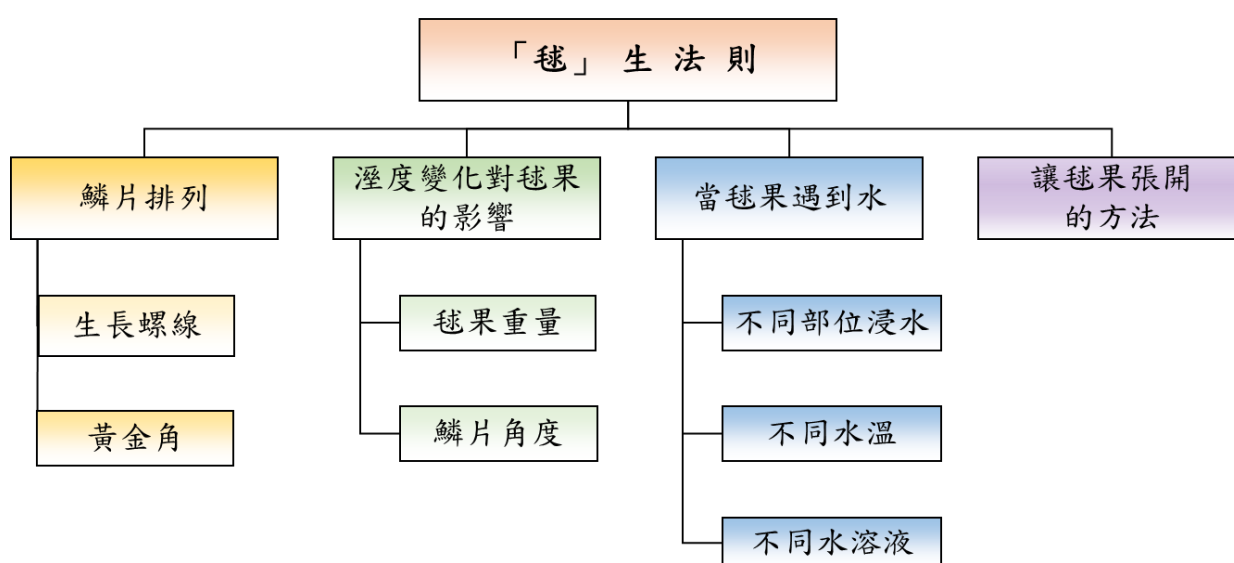
二葉松毬果：學校有三棵二葉松，我們撿拾、收集學校的二葉松落果，實驗期間也請工友先生將幫忙收集二葉松落果。毬果編碼以撿拾到或拿到的當天日期編號(如 0928 即代表我們在 9 月 28 日取得的毬果)，在風大或連續假期後，掉落的毬果數量多，我們則在日期碼之後加上 ABC 依序編號(如:0928A、0928B)。

溼地松毬果：科展同學的爸爸服務的學校有種植溼地松，實驗期間幫我們陸續將掉落的溼地松毬果帶回，實驗毬果以溼開頭，編碼方式同二葉松(如:溼 1021A)。

二、實驗設備

實驗一～四	溼度計、iPad、相機
實驗二	電子秤、數學角度附件、珠針
實驗三	溫度計、食鹽、檸檬酸、小蘇打粉
實驗四	吹風機、乾燥劑、酒精燈、烤箱

肆、研究架構



伍、研究方法、結果與討論

一、實驗一 毬果的鱗片排列

(一) 認識費氏數列

費氏數列是一位義大利人費波那契 Leonardo Fibonacci，為了描述兔子生長的數目，使用這個數列來表現，費氏數列是由後項等於前兩項之和的一串正整數組成，例如：1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89……這就是費氏數列，當中的組成數字稱為費氏數。自然界中到處可見費氏數列的蹤跡，**費氏數列也出現在松果上**，鱗片在整顆松果上順著兩組螺線排列：**一組呈順時針旋轉，另一組呈逆時針旋轉。**

實驗一我們以學校的二葉松毬果 100 顆和收集外校溼地松毬果 50 顆，觀察毬果生長螺線是否為順時針 13 圈、逆時針 8 圈或順時針 8 圈、逆時針 13 圈。

(二) 實驗方法與過程



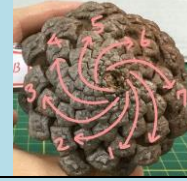
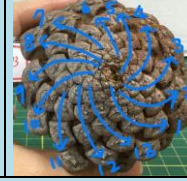


(三) 螺線排列方式








(四) 實驗結果

1. 二葉松生長螺線統計

排列方式	順時針 13	逆時針 8	順時針 8	逆時針 13	其他	合計
圖示					無	
數量	52		48		0	100

<表 1-1：二葉松生長螺線統計> 紀錄表見附錄 1

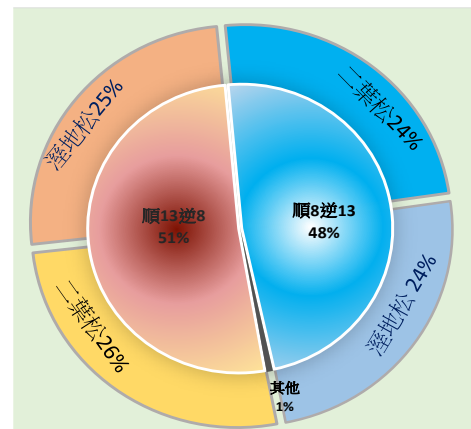
2. 溼地松生長螺線統計

排列方式	順時針 13	逆時針 8	順時針 8	逆時針 13	其他	合計
圖示						
數量	25		24		1	50

<表 1-2：溼地松生長螺線統計> 紀錄表見附錄 2

3. 兩種松果生長螺線統計<表 1-3：兩種松果生長螺線統計>

排列方式	順時針 13 逆時針 8	順時針 8 逆時針 13	其他	合計
二葉松	52	48	0	100
溼地松	25	24	1	50
合計	77	72	1	150

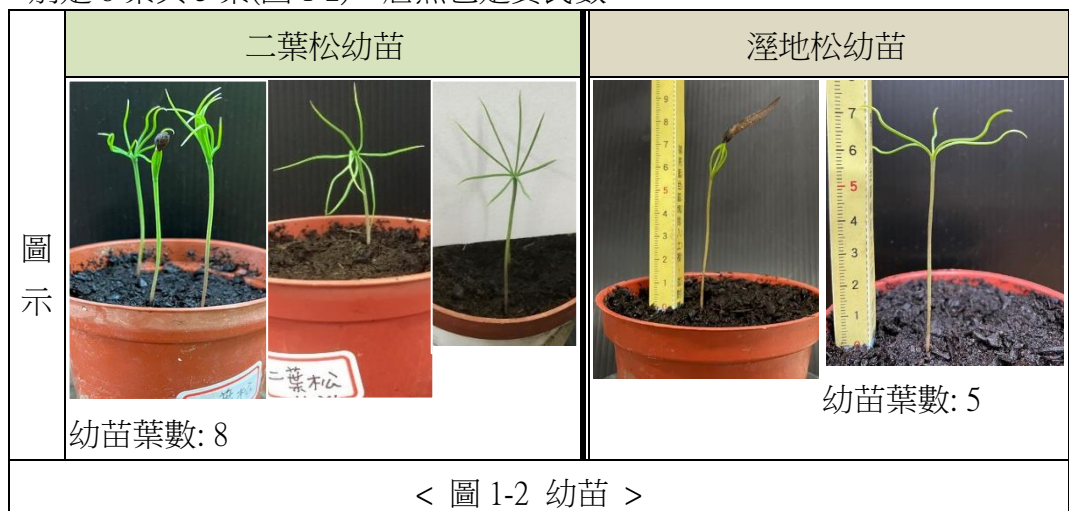


(五) 實驗討論與發現

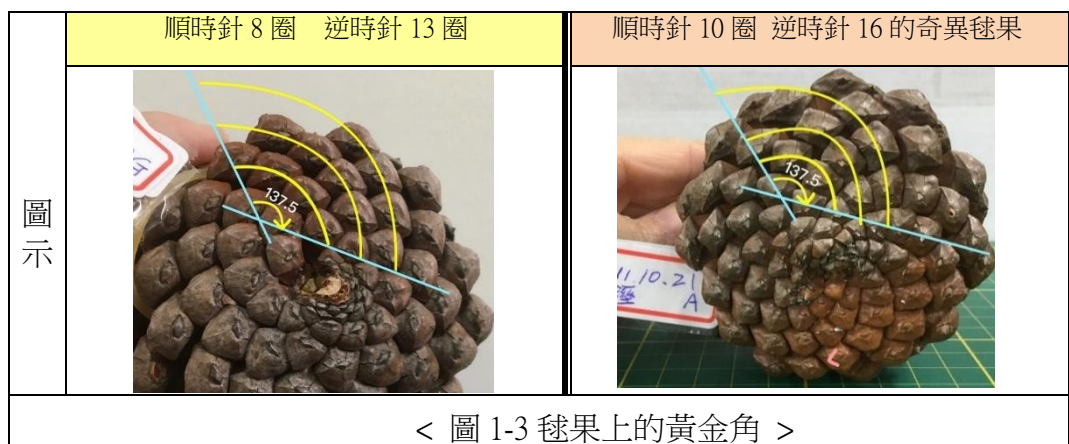
1. 從我們所觀察的二葉松與溼地松毬果發現：每顆毬果同時具有順時針與逆時針這兩種生長螺線，與毬果的大小、重量無關。
2. 在螺線生長方式中，順時針 13 圈、逆時針 8 圈、順時針 8 圈、逆時針 13 圈 的比約為 51 : 48，其中二葉松以順時針 13 圈的螺線生長方式略多於順時針 8 圈。
3. 生長螺線圈數中的 8、13，皆為費氏數。其中有一顆溼地松(如圖 1-1)的螺線排列為順時針 10 圈、逆時針 16 圈，和其他毬果不同，也異於其他松科植物的毬果生長螺線。
4. 這顆奇異毬果的生長螺線圈數為 10、16 雖然不是費氏數，但是將 10 和 16 除以 2 之後所得到的 5、8，又是費氏數了。



5. 學校的二葉松葉子數量為一束 2 葉，少部分是一束 3 葉，溼地松是一束 2 葉，其他松科葉子有的為 5 葉，2、3、5 也都是費氏數。我們將毬果取出種子種植，過了三週後長出幼苗，二葉松與溼地松的幼苗葉子的數量不同，分別是 8 葉與 5 葉(圖 1-2)，居然也是費氏數。



6. 為何許多植物的生長都與費氏數有關？在我們查詢資料後得知，以費氏數形成的螺旋狀排列，會繞著一條以 137.5° (黃金角)旋轉的螺線生長，如此能使植物種子或是花蕊獲得最密實最有效的排列。我們試著找出毬果上的黃金角，發現毬果上的螺線大致是依著 137.5° 的發散角弧線生長。



★「毬」生法則一：毬果鱗片的排列同時存在逆時針與順時針兩種旋轉方式，且螺線大致繞著 137.5 的黃金發散角度生長，如此能使鱗片最有效的排列，在有限空間讓種子填滿，可以提高繁衍後代的機率。

二、實驗二-1 溼度變化對毬果重量的影響

(一) 實驗方法與過程



毬果放置環境

- 自然教室(47顆)
- 百葉箱內(33顆)



毬果秤重並記錄

- 記錄當日溼度、氣溫與毬果重量

編號	溫度	26.0	24.0	26.0	26.6	24.1	
溼度	74	60	64	72	69		
0928A	8	10	26.12	25.52	25.4	25.8	25.7
0928B	8	12	28.73	28.87	28.7	29.1	29
0928C	7	11	20.28	19.95	19.7	20.1	20.1
0928D	7	11.5	24.72	24.14	24	24.3	24.2
0928E	8	13	23.98	23.38	23.2	23	23.5
1003A	8	10	16.43	16.43	16.4	16.6	16.5
1003B	7	10	18.62	17.94	17.9	18.1	18.1
1004A	6.5	8	19.15	18.6	18.5	18.8	18.7
1004B	6.5	10	19.67	19.2	19.1	19.3	19.3
1011A	7	11	22.11	21.97	21.9	22.3	22.1
1011B	7	12	21.33	21.05	20.9	21.3	21.1
1011C	8	11	20.33	20.04	19.9	20.2	20
1011D	7	10	16.53	16.21	16.1	16.9	16.3
1011E	7.5	10	18.57	18.26	18.1	18.4	18.3
1011F	7.5	12	22.95	22.48	22.2	22.6	22.5
1011G	6.8	11	20.52	20.04	19.9	20.2	20
1011H	7.5	11	18.58	18.38	18.2	18.5	18.4
1011I	8	11	22.37	22.14	22	22.3	22.2
1011J	6.5	9	20.6	20.38	20.3	20.5	20.4
1011K	6	8	15	14.82	14.7	15	14.8
1011L							16.8
1011M							

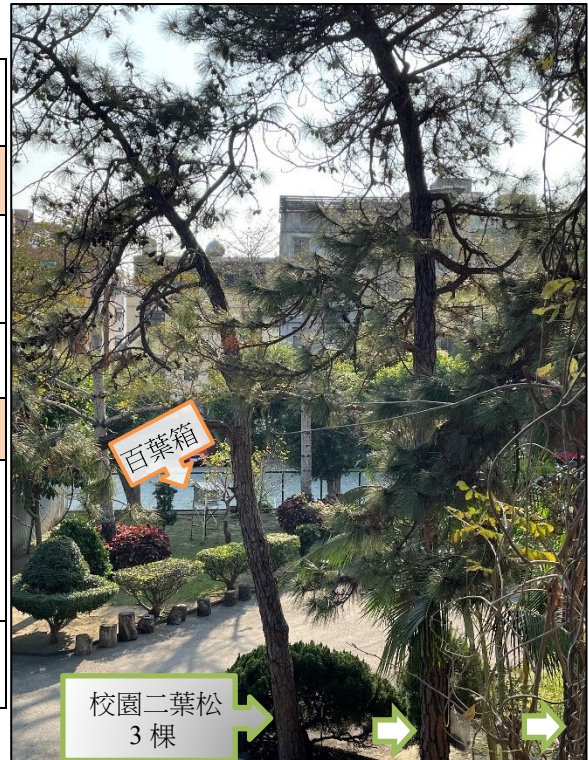
數據資料輸入電腦

- 自111年10月17日至112年02月16日
- 測量天數:約55日

(二) 實驗毬果的擺放

實驗 2-1 中將毬果擺放在不同環境，測量時紀錄當日的環境溼度、溫度與毬果重量。

環境	照片	毬果數量	
		二葉松	溼地松
自然教室		42	5
		教室內共 47 顆	
百葉箱		22	11
		百葉箱共 33 顆	



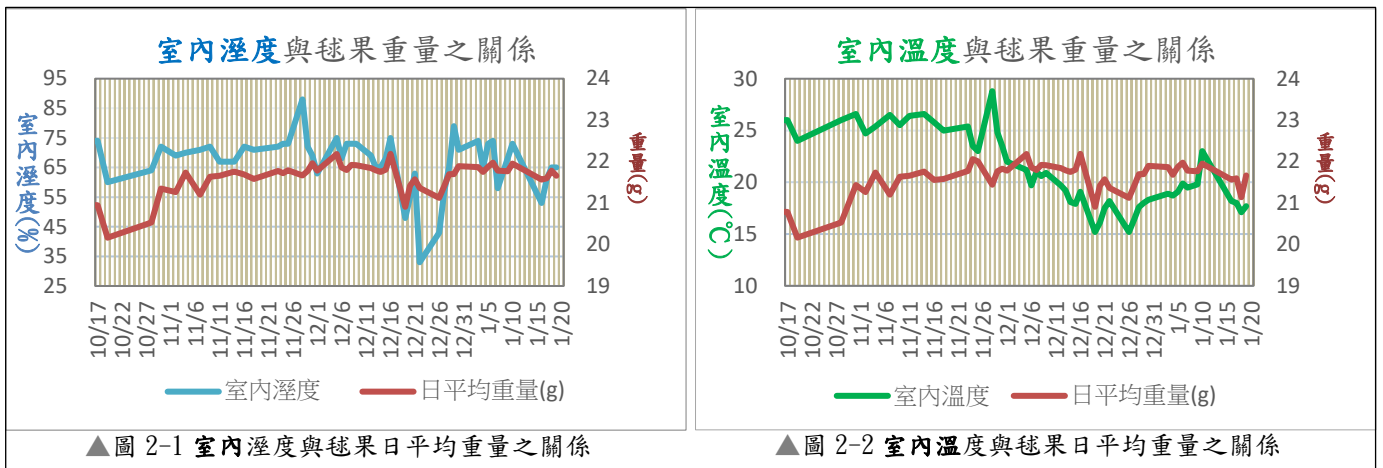
校園二葉松 3 棵

(三) 實驗資料數據

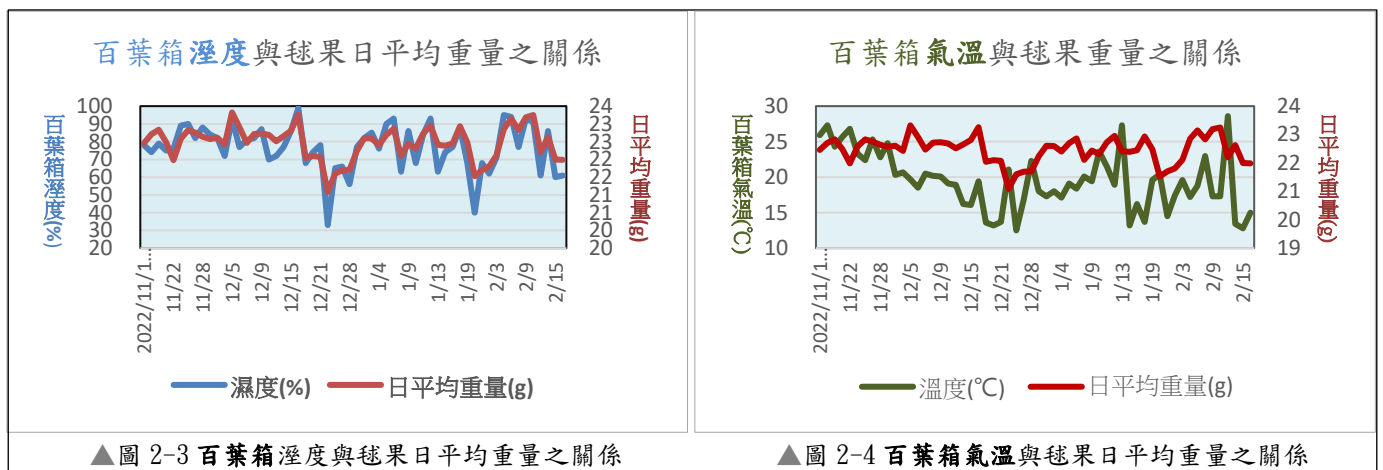
實驗 2-1 數據資料是將觀測日期當天，在相同擺放環境中的所有松果之平均重量與當日測得的環境溼度、溫度來分析。

(四) 實驗結果

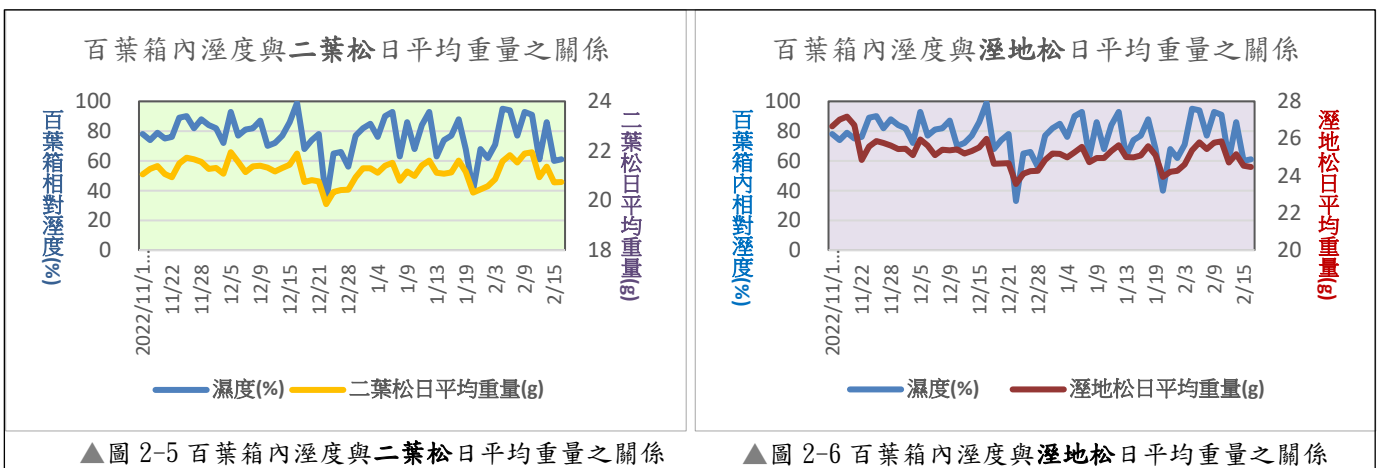
1. 室內溼度與氣溫對毬果重量的影響 (紀錄表見附錄 3)



2. 百葉箱內溼度與氣溫對毬果重量的影響 (紀錄表見附錄 4)

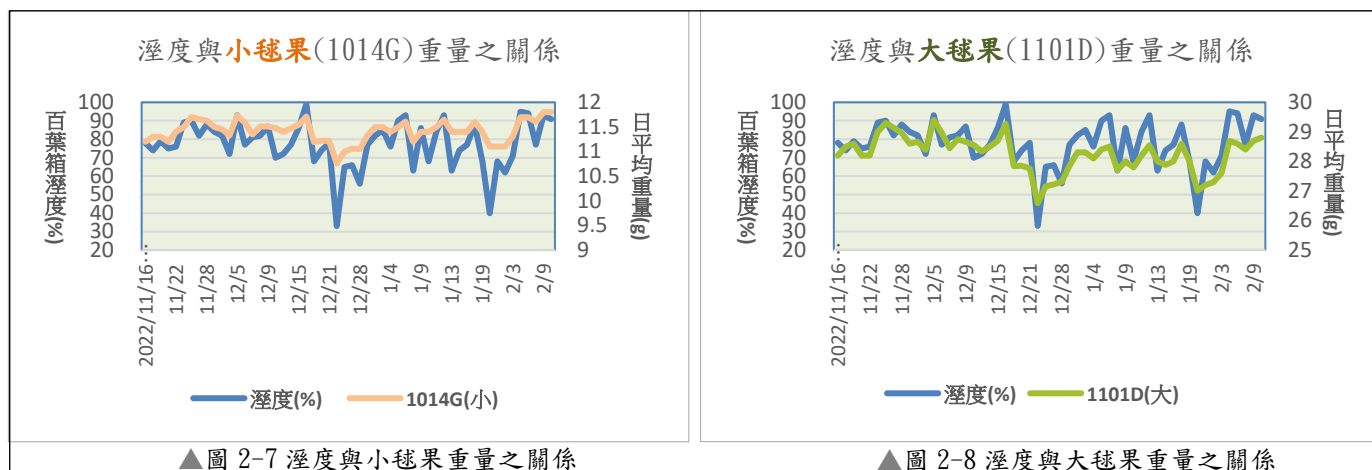


3. 百葉箱內二葉松與溼地松平均重量比較



4. 毬果的大小與溼度變化比較

毬果種類		毬果編號	毬果大小	寬(cm)	高(cm)	毬果平均重量(g)
百葉箱	二葉松	1014G	小	5	7.5	11.41
	二葉松	1101D	大	6.5	10	28.25



(五) 實驗討論與發現

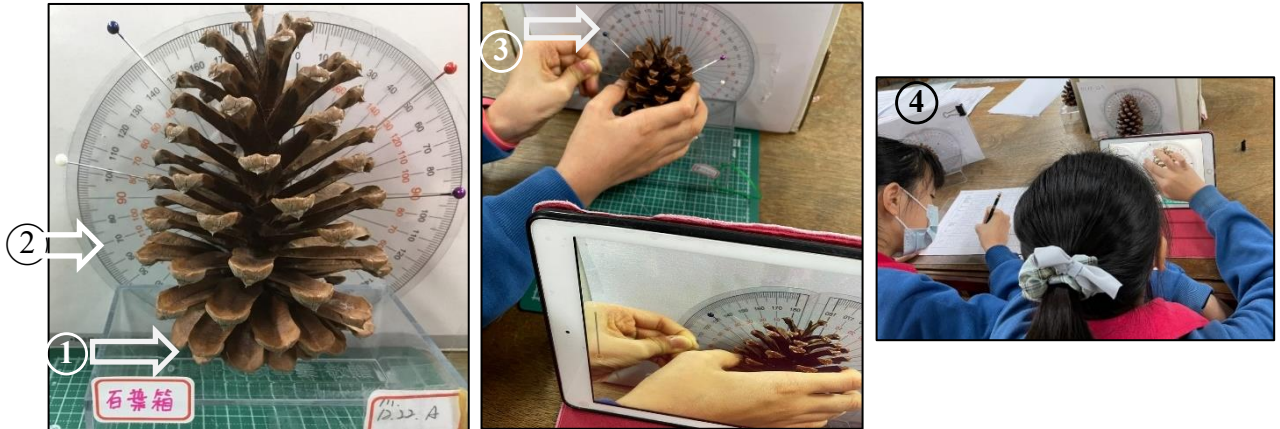
1. 我們一開始實驗時，是將毬果放在自然教室內測量室內溼度與毬果重量變化，後來發現教室有時會開冷氣或是放學後門窗關閉等環境因素的干擾較多，於是隨機挑選出一些毬果放在學校的百葉箱內進行測量。因毬果為陸續收集與進行實驗用，本實驗測量的室內毬果數量約為 47 顆，百葉箱內的毬果約為 33 顆，其中皆包含二葉松毬果與溼地松毬果。
2. 實驗結果發現，毬果的重量變化會隨著當日溼度變化而改變，當溼度增加時，毬果重量也會增加，表示毬果能吸收空氣中的水氣，反之，當溼度減少時，毬果重量減輕，表示毬果鱗片具蒸發的作用，防止毬果腐爛發霉。
3. 我們同時記錄氣溫變化對毬果重量的影響，在室內或是百葉箱中的毬果重量變化與氣溫沒有明顯的關聯。(圖 2-2、圖 2-4)
4. 不論是二葉松或溼地松毬果，毬果重量都會隨著溼度而有所變化。(圖 2-5、圖 2-6)
5. 同樣以二葉松毬果實驗，大毬果和小毬果重量均會隨著溼度而有變化，只是小顆的毬果重量變化較微小。(圖 2-7、圖 2-8)
6. 我們的實驗觀察到，毬果的重量變化會隨溼度而變化，有時候毬果重量的改變會慢一天才跟上溼度的增減。

三、實驗二-2 溼度變化對毬果鱗片開合的影響

(一) 實驗方法與過程

我們在室內與百葉箱分別放了二葉松與溼地松毬果，由 111/12/28 起至 112/02/16 觀測了 28 天，這四顆毬果在實驗前先做以下的步驟固定位置：

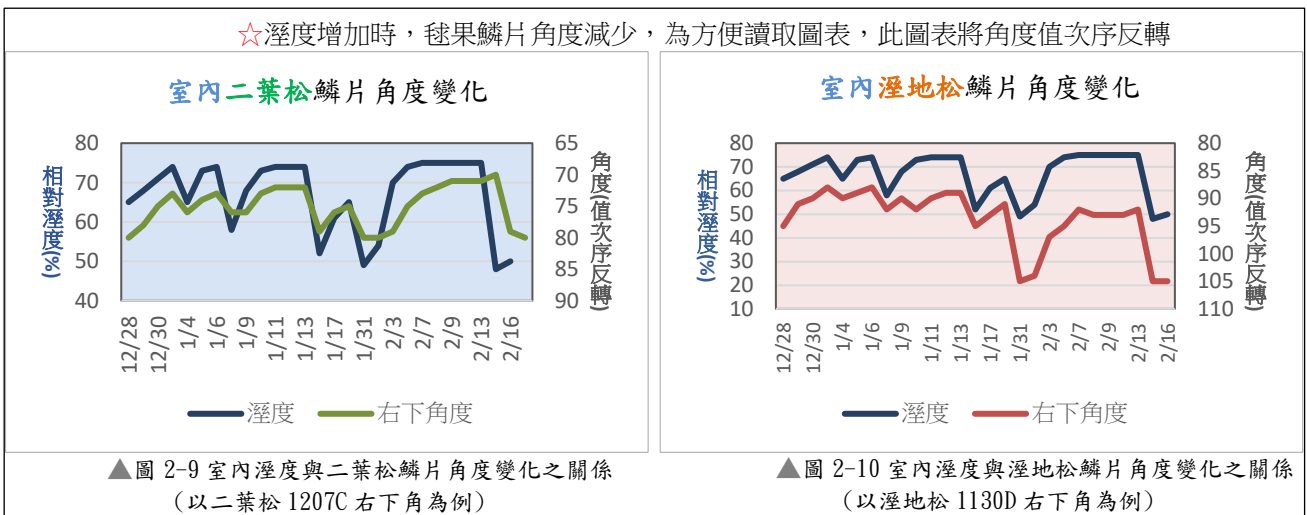
1. 將毬果底部以保麗龍膠黏合在塑膠盒上固定毬果。
2. 塑膠盒後方貼上數學量角器附件。
3. 在毬果左上、右上、左下及右下鱗脊的位置插上珠針。
4. 每次測量時將塑膠盒擺放在墊子上標記的位置，iPad 拍照時也須擺放在已標記好的位置、角度記錄。



(二) 實驗結果

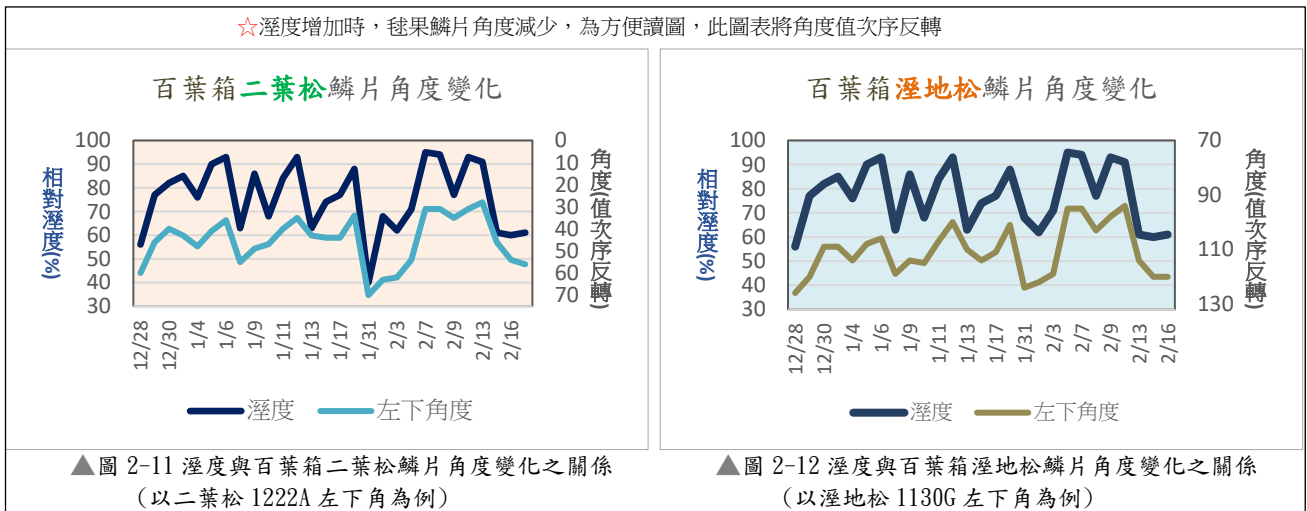
1. 室內毬果鱗片角度變化 (紀錄表見附錄 5)

☆ 溼度增加時，毬果鱗片角度減少，為方便讀取圖表，此圖表將角度值次序反轉







2. 百葉箱毬果鱗片角度變化 (紀錄表見附錄 6)

☆ 溼度增加時，毬果鱗片角度減少，為方便讀圖，此圖表將角度值次序反轉






3. 毬果鱗片開合角度範圍 (觀測期間:111/12/28-112/2/16 觀測日 28 天)




室內二葉松 (編號 1207C)				百葉箱二葉松 (編號 1222A)					
左上角度 移動範圍 3°			右上角度 移動範圍 9°		左上角度 移動範圍 18°			右上角度 移動範圍 29°	
最小	最大		最小	最大	最小	最大		最小	最大
23°	26°		34°	43°	10°	28°		21°	50°
左下角度 移動範圍 8°			右下角度 移動範圍 10°		左下角度 移動範圍 35°			右下角度 移動範圍 18°	
最小	最大		最小	最大	最小	最大		最小	最大
56°	64°		70°	80°	28°	63°		71°	89°
室內溼地松 (編號溼 1130D)				百葉箱溼地松 (編號 1130G)					
左上角度 移動範圍 11°			右上角度 移動範圍 13°		左上角度 移動範圍 26°			右上角度 移動範圍 30°	
最小	最大		最小	最大	最小	最大		最小	最大
34°	45°		55°	68°	33°	59°		9°	39°
左下角度 移動範圍 13°			右下角度 移動範圍 17°		左下角度 移動範圍 32°			右下角度 移動範圍 28°	
最小	最大		最小	最大	最小	最大		最小	最大
69°	82°		88°	105°	94°	126°		73°	101°

(三) 實驗討論與發現

1. 毬果上下左右的鱗片都會隨溼度而移動，當溼度高時鱗片收合(角度小)，溼度較低時鱗片會張開(角度大)。圖 2-11 鱗片角度以放在室內二葉松毬果右下角為例，圖 2-12 百葉箱內毬果以溼地松左下角為例。
2. 由上下左右四個角度的珠針移動範圍發現，兩種毬果左、右下方的角度變化都較上方角度大。
3. 溼地松毬果的鱗片角度變化比二葉松明顯，我們推測是因為溼地松質地較密實，有比較多的構造能參與反應，所以角度的變化比較明顯。
4. 放在教室內的毬果因室內溼度變化小，角度變化較百葉箱裡的毬果小。氣溫的變化對鱗片角度的開合沒有明顯的影響，實驗期間的平均室溫為 18.3°C，百葉箱的平均氣溫為 19.0°C，由於氣溫不高，氣溫對這個實驗的影響不大。
5. 我們依據觀測日的溼度和毬果的開合角度變化，嘗試做出一個毬果溼度計，以 1222A 二葉松右上角為例，製作步驟如下：
 - (1)由觀測期間紀錄訂出溼度狀況與毬果角度變化的範圍。因為我們測量期間的溼度最低為 40%，我們將毬果放置自製簡易乾燥箱中，取得溼度 40% 以下的角度。
 - (2)印出溼度狀況與對應角度，貼在毬果角度塑膠板後，進行實際測試。
 - (3)以 1222A 二葉松右上角為例的毬果溼度計設計：

溼度	潮 濕 95%-61%	舒 適 50% - 60 %	乾 燥 50% 以下
對 應 角 度	右上角度 21° - 39°	右上角度 40° - 46°	右上角度 47° -58°
1222A 右上	測量日 112/2/6 溼度 95% 潮 溼 角度 22°	測量日 112/2/15 溼度 60% 舒 適 右上角度 42°	測量日 112/1/30 溼度 40% 乾 燥 右上角度 47°
溼 度 與 對 應 角 度			

(4) 毬果溼度計實測：

1222A 二葉松 溼度計	
測量當日溼度狀況: 舒 適~潮 溼	測量當日溼度狀況: 潮 溼
	
1130G 溼地松 溼度計 (左上、右上角)	
測量溼度狀況(乾燥箱內測得): 乾 燥	測量當日溼度狀況: 潮 溼
	

★「毬」生法則二:溼度增加時,毬果重量增加,鱗片角度變小,為保護種子做好準備。當乾燥時毬果重量減輕,鱗片將水分蒸發,防止毬果腐爛,張開的鱗片利於種子去飛行。

四、實驗三-1 當毬果遇到水—不同部位浸水的變化

(一) 實驗方法

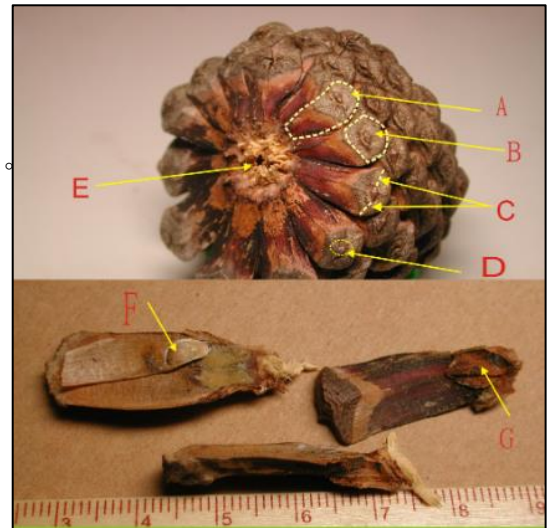
- 分別將毬果的底部、側邊和頂端放入水中觀察不同部位浸水的變化，因為上課中無法連續觀察，所以我們以縮時攝影擷取畫面搭配拍照的方式做記錄。

底部浸水實驗方法	側邊浸水實驗方法	頂端浸水實驗方法
		
將毬果底部浸入 2.5cm 的淺盤中。	將毬果側邊先浸入水深 2.5cm 的淺盤中，再調整至水深 5cm 。	先將毬果用橡皮筋綁在塑膠瓦楞板上，調整兩毬果到相同高度，再將毬果倒掛在水箱中逐漸加水實驗

2. 認識毬果構造名稱

實驗三-1 我們將毬果切開觀察，其內部的構造名稱圖示取自於網路：
[細看針葉樹(5) - 看台灣二葉松的毬果]。
《黑胡桃網路閣》。

A-果鱗 B-鱗背 C-鱗脊
D-鱗臍 F-種子 G-苞鱗



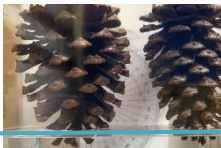
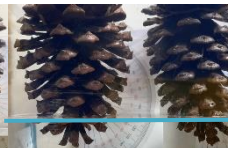
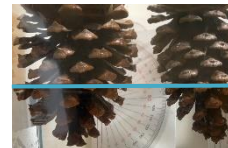
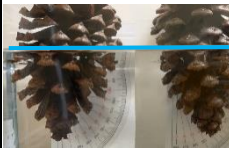

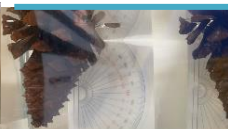

(二) 實驗結果

▼圖 3-1 毬果底部-浸入水深 2.5cm 的淺盤中				
時間	實驗開始 9:00	半小時 (9:30)	1 小時 (10:00)	1 小時半(11:24)
照片				
說明	左為溼地松 1121A 右為二葉松 1101E	毬果往原本傾斜，浸水較多的方向傾倒。	浸水約一小時後，毬果關閉的變化趨緩。	
時間	約 3 小時半(12:35)	約 4 小時(13:10)	約 7 小時(15:50)	實驗結束時觀察溼地松
照片				
說明	到了中午依然沒有明顯的變化。	我們推測當毬果傾倒後變成以側面浸水，鱗片閉合的速度變得緩慢，後來我們將毬果重新擺正繼續觀察，實驗結束時溼地松鱗片在水面上的部份依然是張開的。		






▼圖 3-2 毬果側邊-浸入水深 2.5cm、5cm 的淺盤中

時間	實驗開始 8:45	1 小時 15 分 10:00	3.5 小時 12:15 加水至 5cm	4 小時 12:45
照片				
說明	左為溼地松 1121A 右為二葉松 1101E 側邊浸入 2.5cm 高的水中。	半小時後觀察兩毬果幾乎無變化。至 12:15 有微幅的縮小，我們在 12:15 時增加水量至水深 5cm 高繼續實驗。		浸入水深 5cm 半小時後，觀察到兩毬果鱗片開始閉合了。
時間	約 4.5 小時 13:15 分	約 5.5 小時 14:15	約 7 小時 15:55	實驗備註:實驗前我們嘗試將毬果側面浸入更少量的水中 7 小時，鱗片至實驗結束都沒有閉合。  鱗片內側還是乾的 鱗背浸入水中的部分
照片				
說明	右邊的二葉松毬果鱗片已閉合。	左邊的溼地松鱗片閉合的速度比較慢。溼地松在水面上的鱗片還是打開著。		

▼圖 3-3 毬果頂端浸水(— 表示水位線)

時間	實驗開始 11/28 8:45	12:10	15:20	11/29 第二天 11:20
照片				
說明	左為溼地松 右為二葉松 8:45 頂端浸水	到中午都無明顯變化，12:10 增加水箱水量。	15:20 增加水箱水量。二葉松頂端合起。毬果在水中浸泡至隔日。	第二天 11:20 增加水量。溼地松頂端合起。
時間	11/29 13:20	11/30 第三天 9:20	11/30 12:10	11/30 16:20
照片				
說明	加水至八分滿時，兩顆毬果閉合的變化變得比較明顯。浸泡至隔日。	第三天 9:20 增加水量至九分滿水位。兩顆毬果浸泡在前日水中的部分已閉合。	第三天 12:10 增加水量至滿水位觀測到下午，毬果鱗片關閉的速度還是很緩慢。	

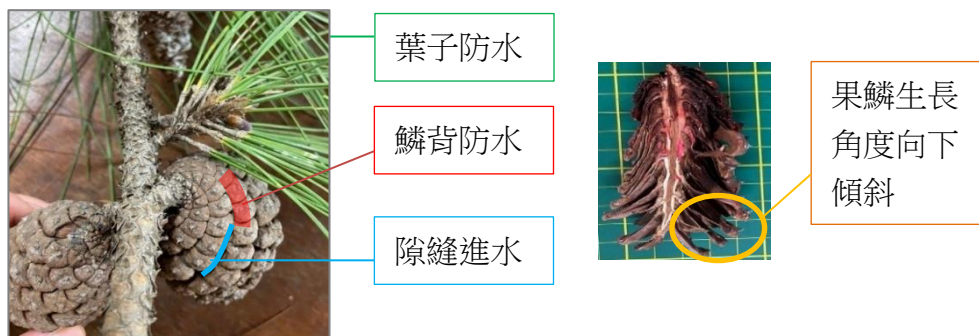
▼圖 3-4 毬果切一半浸水				
時間	實驗開始 14:50	15:10	15:35	16:40
照片				
說明	切一半的毬果底端浸入紅色色素水中。	經過 20 分鐘毬果已開始閉合。	毬果已有一半的鱗片合起來。	將毬果擺正觀察。

▼圖 3-5 毬果內部水分運輸觀察					
順序	取標記部位放大觀察	時間 先	→	後	
照片					
說明	在縮時影片中觀察水分運輸的順序。		<p>1. 水分由苞鱗的位置朝果軸移動。</p> <p>2. 水蓄積在(2)凹槽的位置後迅速往 3 的方向移動。</p> <p>3. 較多的水分往 3 的方向移動，同時間也有部分的水往 4 的方向擴散開來。</p> <p>5. 極少的水沿著果軸中心向上移動。</p>		

(三) 實驗討論與發現

1. 毬果底部浸水鱗片關閉的速度較側面及頂端浸水快。
2. 我們觀察到毬果鱗脊和鱗背的位置不會將水吸入毬果中心，加上溼地松材質比較厚實，所以當毬果以側邊浸水 2.5cm 高時，毬果閉合的速度緩慢。而當浸水的高度增加至 5cm 高時，當水浸到鱗片內側至苞鱗的位置時，才啟動毬果閉合的機制。
3. 毬果倒立以頂端浸入水中的實驗中發現，鱗片閉合反應相當緩慢，我們發現毬果水分運輸的管道主要是在鱗片內側苞鱗的位置，水分主要由底端向頂端做單向的移動，鱗片的閉合有一定的方向性，所以倒立以頂端浸水的方式使得毬果閉合鱗片的速度變得非常緩慢。
4. 為了觀察水分運輸的情形，我們將毬果切一半浸水觀察。一開始我們使用電動鋸齒鋸開乾的毬果，但是這樣不好操作又危險，後來改將毬果先浸在水中讓它縮小閉合後，再用花剪剪開，待毬果張開鱗片時進行實驗。
5. 由縮時影片放大觀察切一半的毬果水分運輸情況發現，毬果內部的水分運輸和感應主要是在鱗片內側苞鱗和毬軸白色纖維的位置，不在果軸中心。當毬果以底部浸水時，因為毬果底部平坦，水能快速的浸到鱗片內側而使鱗片迅速閉合；毬果以側面浸水時，水深要能浸到鱗片內側才能啟動閉合的機制。

6. 長在樹上的毬果在下雨的時候怎麼防止雨水入侵呢？我們觀察到二葉松的葉子具防水的功能，下雨天的時候雨水會順著葉子向下滴落，或停留在葉尖成水珠狀，像是為毬果撐雨傘；而毬果除了能感應到空氣中溼度的增加而縮小鱗片的角度，還能利用果鱗是向下傾斜的角度生長和鱗背防水的構造防雨，雨水滴落在鱗片隙縫到達內部苞鱗的位置時，鱗片就會迅速關閉。



★「毬」生法則三：毬果內部的水分運輸和感應主要是在鱗片內側和毬軸白色纖維的位置，不在果軸中心，如此能快速將鱗片關閉，保護種子。

五、實驗三-2 當毬果遇到水—在不同水溫、不同水溶液中果鱗的變化

(一) 實驗方法

1. 將毬果浸入水中的實驗之前，我們先測試毬果大小是否影響鱗片在水中的閉合速度，發現最大的毬果和最小毬果閉合的時間差異約在 10 分鐘內，為求實驗準確性，在後續的實驗中，我們挑選大小接近的毬果進行實驗。
2. 設定四杯水溫各為 50°C、30°C、18°C(自來水溫度)、10°C，水量為 500ml。因為水溫不易掌控為恆溫，本實驗以水溫由高→低 表示。
3. 實驗前先在 10°C 這個燒杯外側擦拭鏡片防霧溼紙巾，避免凝結的水霧干擾觀察，在每一顆毬果底下用橡皮筋綁上重物，固定毬果於水面下。
4. 調製五杯濃度為 5%、10%、20%、25%和 30%的鹽水溶液 500ml，將外觀大小接近的毬果放入水中觀察並記錄。
5. 調製三杯濃度為 5%、10%、20%的檸檬酸水溶液 500ml，將外觀大小接近的毬果放入水中觀察並記錄。
6. 調製三杯濃度為 5%、10%、15%的小蘇打水溶液 500ml，將外觀大小接近的毬果放入水中觀察並記錄。

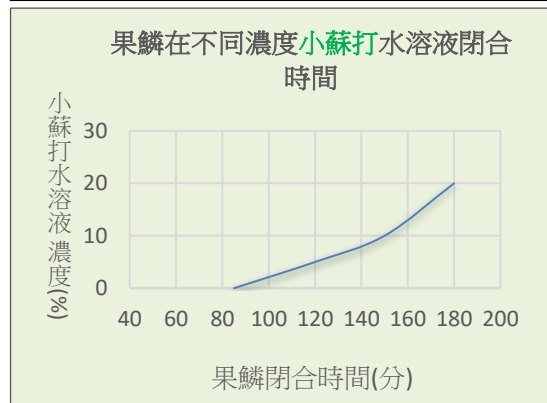
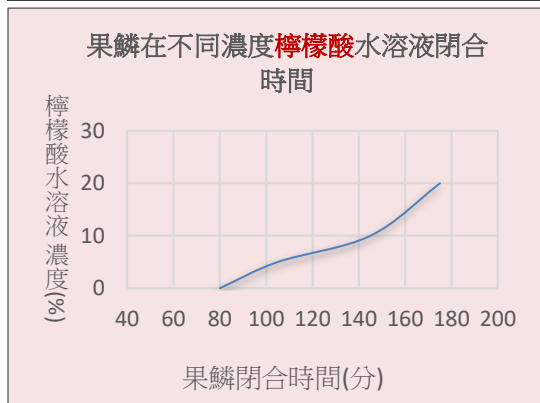
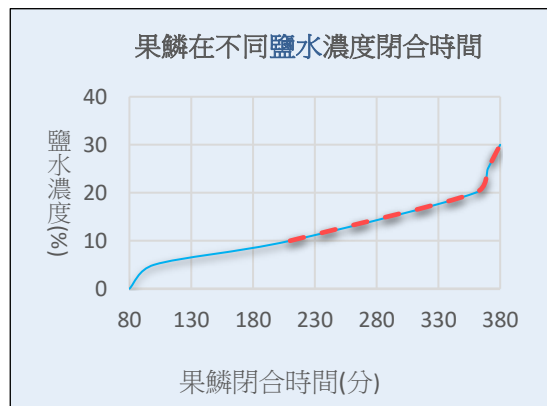
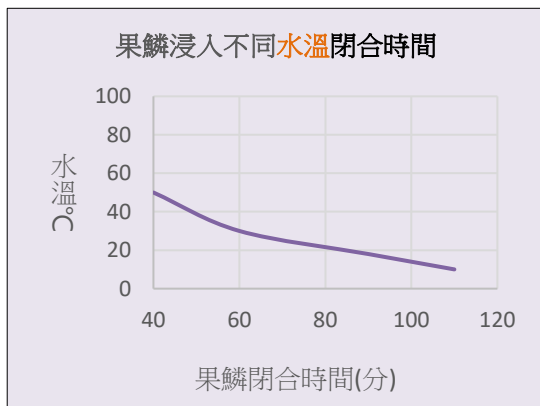
毬果浸水前		浸入水中	80 分鐘	90 分鐘
小:6*7cm	重 15.2g	最小的毬果放入水中鱗片一開始閉合的速度最快，後續速度變慢。		最大的毬果雖然一開始閉合速度較慢，之後鱗片閉合的速度變快。
中:6.5*8 cm	16.5g			
大:8*9.5cm	23.8g	浸入水中約 80 分鐘後，除了最大的毬果，其餘三毬果約在這個時間閉合。		
最大:8*12cm	32.8g			

▲圖 3-6 大小不同毬果在水中閉合速度

(二) 實驗結果

▼圖 3-7 毬果在不同水溫中的變化		▼圖 3-8 毬果在不同鹽水濃度中的變化						
水溫 高 → 低		濃度	水	5% (低)	10%	20%	25%	30% (高)
時間		時間						
8:25		8:30						
8:45		8:45						
9:05	40 分鐘 鱗片閉合	9:05	80 分鐘 鱗片閉合					
9:05		9:05						
9:25	60 分鐘 鱗片閉合	9:25	100 分鐘 鱗片閉合					
9:25		9:25						
9:55	90 分鐘 鱗片閉合	9:55	210 分鐘 鱗片閉合					
9:55		9:55						
10:15	110 分鐘 鱗片閉合	10:15	濃度 20% 以上的鱗片 浸泡約 6 小時 未完全閉合					
10:15		10:15						

▼圖 3-9 毬果在檸檬酸水溶液中的變化					▼圖 3-10 毬果在小蘇打水溶液中的變化				
濃度	水	5% (低)	10%	20% (高)	濃度	水	5% (低)	10%	15% (高)
時間	13:05				11:30				
	13:35				12:45				
	14:15 - 14:40				13:30				
	15:30				14:00				
	16:00				14:30				



(三) 實驗討論與發現

1. 毬果浸入到**溫度越高的水中**，**鱗片閉合的速度越快**，而浸在低溫的水中時，閉合的速度減緩許多。
2. **鹽水溶液的濃度越高**，毬果鱗片閉合的速度越慢，當鹽水濃度達 25%以上時，鱗片的閉合反應接近停止。我們查詢資料後，推測是因為鹽的分子比較大，使得水分在毬果內的運輸較慢甚至無法輸送。
3. 在檸檬酸水溶液中觀察毬果的閉合發現，在**濃度越高的檸檬酸水溶液中**，**毬果閉合速度越慢**，在不同檸檬酸水溶液中，毬果閉合的速度差距不大，推測與檸檬酸分子較小，較不影響毬果鱗片的水分輸送。
4. 在鹼性小蘇打水溶液也同樣發現，**濃度越高的**小蘇打水溶液中，**毬果閉合速度越慢**。實驗時我們觀察到，毬果在小蘇打水溶液中容易脫色，使得水溶液變成淺褐色，將實驗後的毬果陰乾，鱗片依然有張合的反應，但毬果的顏色變黑。
5. 當毬果浸入水中，**纖維輸水和毛細現象相似**，在水溫高時水分運輸作用快，**毬果鱗片較快合起**，在濃度高的水溶液中，**水分運輸慢**。
6. 我們原本猜測毬果在浸泡過高濃度的水溶液後，會影響其鱗片開合的反應，觀察實驗後放在教室自然陰乾的毬果，它們依然會張開，不禁讚嘆它們堅強的「毬」生意志！

★「毬」生法則四：毬果在濃度越高的水溶液中，鱗片縮合的速度越慢，經過鹽水、酸、鹼溶液浸泡後，鱗片依然會張開收合。

六、實驗四 讓毬果鱗片張開的方法

(一) 實驗方法

1. 先將毬果固定在塑膠盒上(火烤及烤箱的毬果除外)，等待保麗龍膠乾了之後，毬果連同塑膠盒同時放入水中浸泡，使每個毬果鱗片閉合。(我們在實驗前一天先將毬果黏在塑膠盒上，但隔日泡水實驗時發現受果鱗閉合時的力量拉扯，以至於部分實驗的毬果歪斜)
2. 毬果表面於室內陰乾至不會滴水後，再進行各種不同環境的實驗。
3. 毬果鱗片打開需要較長的時間，又因不同擺放環境而異，實驗記錄的時間是擷取開始實驗~毬果鱗片全張開的部分照片來表示。

(二) 實驗結果

環境	時間					
日曬	實驗開始	1hr	4hr	5hr	太陽下測得 最高溫度 50°C 溼度最小 22%	
戶外陰涼處	實驗開始	1hr	5hr	移至室內第2日	第3日	戶外陰涼處 最高溫 21.7°C 溼度最小 85%
吹風機熱風	實驗開始	吹熱風 1hr 後	1hr 後取出照相	室內 第2日	吹風機箱內 最高溫度 50°C 溼度最小 20% (實驗備註 1)	
吹風機冷風	實驗開始	吹冷風 1hr 後	室內 第2日	第3日	吹風機箱內 最高溫 21.5°C 溼度最小 67%	
乾燥箱	實驗開始	乾燥箱 1hr 後	乾燥箱內 第2日	第3日	乾燥箱內 溫度 18°C-19.4°C 溼度 21%-49% (實驗備註 2)	
火烤	實驗開始	火烤 1hr 後	火烤 1hr30min	第2日	石棉心網上方 溫度 70°C-95°C 環境溼度 70%	
烤箱	實驗開始	烤 1hr 後照相	烤 1hr30min	室內第2日	烤箱設定溫度 溫度 75°C 溼度 x	
室內	實驗開始	1hr 後	第2日	第3日	第4日	自然教室內 溫度 17-19°C 溼度 53%-84%

(三) 實驗討論

1. 觀察結果發現，毬果鱗片能最快張開的環境依序為：

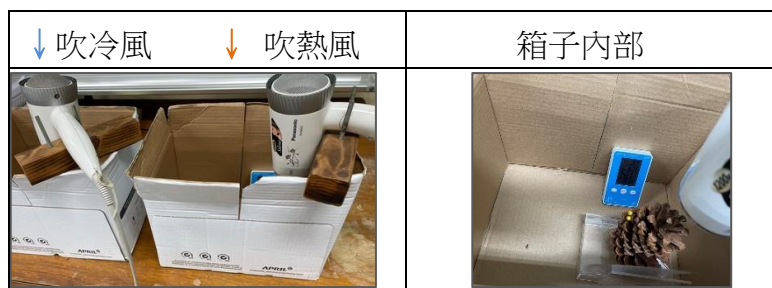
吹風機熱風(1hr) > 火烤(1hr) > 日曬 > 烤箱 > 乾燥箱 > 戶外陰涼處、吹風機冷風(1hr) > 室內。

2. 吹風機熱風所測得的溫度約為 50°C，雖然沒有火烤溫度及烤箱溫度高，但卻能讓毬果較快打開，我們推測**要使毬果鱗片快速打開的方式**，除了**乾燥、高溫**，還要加上**風吹**。
3. 火烤時要將毬果不時的翻面，有些地方被我們不小心烤焦了，鱗片仍然不打開，我們觀察到**毬果鱗片的張開是由底部開始進行**，並不是受熱較多的部位先打開。

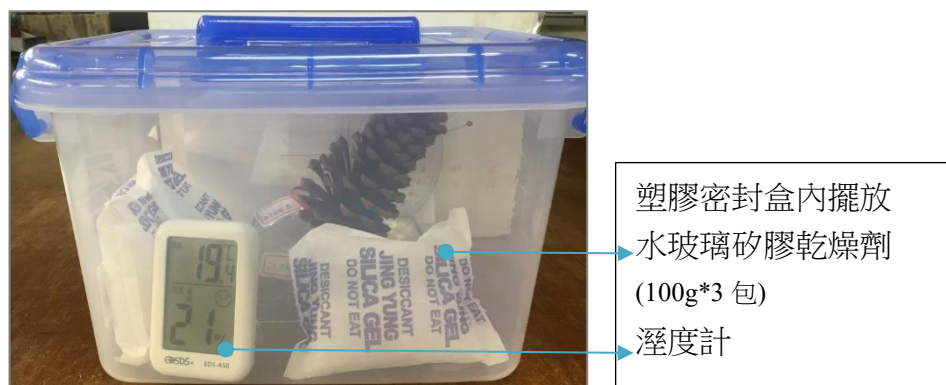
★「毬」生法則五：果鱗不怕風吹、日曬或火烤，這些反倒是毬果的生存助力，使它們在森林中扮演著先驅物種，如此生生不息。

(四) 實驗備註

1. 吹風機實驗中，我們準備兩台品牌、型號和出產年份相同的吹風機，將它們分別架在相同規格的紙箱上，以同距離吹向毬果頂端，吹風時間為 1 小時。吹風 1 小時後，放在教室內觀察記錄至毬果鱗片完全張開。



2. 簡易乾燥箱



陸、結論

一、【毬果的鱗片排列】

觀察二葉松毬果 100 顆，溼地松毬果 50 顆發現：

每顆毬果同時具有順時針與逆時針這兩種生長螺線，生長方式比較

順時針 13 圈、逆時針 8 圈、**順時針 8 圈、逆時針 13 圈**約為 77:72

螺線大致繞著 137.5 的黃金發散角度生長，如此能使鱗片最有效的排列，提高繁衍後代的機率。

二、【溼度變化對毬果的影響】

1. 溼度與毬果重量：溼度增加，毬果重量也會增加，表示毬果能吸收空氣中的水氣，當溼度減少時，毬果重量減輕，表示毬果鱗片具蒸散作用，防止毬果發霉。
2. 溼度與毬果鱗片開合：當溼度高時鱗片會閉合(角度小)，溼度較低時鱗片會張開(角度大)。依此觀察結果自製毬果溼度計。

三、【當毬果遇到水】

- 1.不同部位浸水：毬果鱗脊和鱗背的位置不會將水吸入毬果中心，當水浸到鱗片內側苞鱗的位置，才啟動毬果閉合的機制。水分由底端向頂端做單向的移動，鱗片的閉合有一定的方向性。
- 2.不同水溫：溫度越高的水中，鱗片閉合的速度越快。
- 3.不同水溶液中：水溶液的濃度越高，毬果鱗片閉合的速度越慢。經過鹽水、酸、鹼溶液浸泡後，鱗片依然會張開收合。

四、【讓毬果鱗片張開的方法】

使毬果鱗片快速打開的方式：

吹風機熱風>火烤>日曬>烤箱>乾燥箱>戶外陰涼處、吹風機冷風>室內
除了乾燥、高溫，還要加上風吹。

柒、參考資料































- 一、Journey of water in pine cones. (2015, May 6).Scientific Reports. Retrieved from www.nature.com/scientificreports (December 11, 2022).
- 二、NHK「科學觀察法」製作團隊(2020)。NHK 小學生自主學習科學方法-3 實踐想法的實驗。(李彥樺，譯)。新北市：小熊出版。
- 三、姜保真(2007年9月1日)。[生態中不可或缺之火]。《科學人》。2023年2月15日，取自 <https://sa.ylib.com/MagArticle.aspx?id=2997>
- 四、彭淑貞(2012年2月6日)。[細看針葉樹(5) - 看台灣二葉松的毬果]。《黑胡桃網路閣》。2022年12月15日，取自 <https://blackwalnut.npust.edu.tw/archives/1159>
- 五、鄭永銘(2020年5月13日)。[毬果鱗片的排列旋轉方向]。《跟著鄭大師玩科學》。2022年10月30日，取自 <https://www.masters.tw/248324/sacred-growth>































捌、附錄



















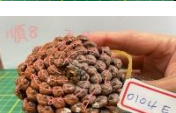











一、附錄 1: 二葉松生長螺線紀錄































編號	順時針圖	逆時針圖	順 13	順 8
0928A			✓	
0928B				✓
0928C			✓	
0928D			✓	
1003A			✓	
1003B				✓
1004A				✓
1004B				✓
1011B			✓	
1011C			✓	
1011D				✓
1011E			✓	
1011F				✓
1011G			✓	
小計			8	6

編號	順時針圖	逆時針圖	順 13	順 8
1011H				✓
1011I				✓
1011J				✓
1011K				✓
1011L				✓
1011M			✓	
1011O				✓
1011P			✓	
1011Q			✓	
1011R			✓	
1011S			✓	
1011T			✓	
1011U				✓
1011V			✓	
小計			7	7

編號	順時針圖	逆時針圖	順 13	順 8
1011W				✓
1011X				✓
1011Y			✓	
1011Z			✓	
1014A			✓	
1014B				✓
1014C			✓	
1014D				✓
1014E				✓
1014F			✓	
1014G			✓	
1014H			✓	
1014I				✓
1014J			✓	
1014K			✓	
小計			9	6

編號	順時針圖	逆時針圖	順 13	順 8
1018A			✓	
1018B			✓	
1019A				✓
1019B				✓
1020A				✓
1020B			✓	
1020C			✓	
1020D				✓
1101A			✓	
1101B				✓
1101C				✓
1101D			✓	
1101E			✓	
1101F				✓
1101G			✓	
小計			8	7

編號	順時針圖	逆時針圖	順 13	順 8
1101H			✓	
1101I				✓
1101J			✓	
1101K				✓
0103E			✓	
0104A			✓	
0104B				✓
0104C			✓	
0104D			✓	
0104E				✓
0104F				✓
0104G				✓
0109 室溫				✓
0109 藏				✓
0109 凍				✓
小計			6	9

編號	順時針圖	逆時針圖	順 13	順 8
0112A			✓	
0112B			✓	
0112C			✓	
0112D				✓
0112E			✓	
0113 右 B				✓
0113 中 A				✓
0113 左 C				✓
0130A				✓
0130B			✓	
0130C			✓	
0130D				✓
0130E			✓	
0130F				✓
0130G			✓	
小計			8	7

編號	順時針圖	逆時針圖	順 13	順 8
1011A				✓
0130H			✓	
0130I				✓
0130J			✓	
0130K				✓
0214B				✓
小計			2	4

編號	順時針圖	逆時針圖	順 13	順 8
0214C			✓	
0214D			✓	
0214E				✓
0214G			✓	
0215A				✓
0215B			✓	
小計			4	2
二葉松生長螺線 合計			52	48

二、附錄 2：溼地松生長螺線紀錄

編號	順時針圖	逆時針圖	順 13	順 8
溼 1021A			順 10 逆 16	
溼 1021B				✓
溼 1021C			✓	
溼 1021D			✓	
溼 1021E			✓	
溼 1031A				✓
溼 1031B				✓
小計			1	3

編號	順時針圖	逆時針圖	順 13	順 8
溼 1101B				✓
溼 1107A				✓
溼 1107B				✓
溼 1115			✓	
溼 1121B			✓	
溼 1121C			✓	
溼 1121D				✓
小計			3	4

編號	順時針圖	逆時針圖	順 13	順 8
溼 1125A				✓
溼 1125C				✓
溼 1130B			✓	
溼 1130C				✓
溼 1130F			✓	
溼 1201A				✓
溼 1201B			✓	
溼 1201C				✓
溼 1201D				✓
溼 1202A				✓
溼 1207A			✓	
溼 0103A				✓
溼 0103B			✓	
溼 0103C				✓
溼 0103D			✓	
小計			6	9

編號	順時針圖	逆時針圖	順 13	順 8
溼 0103F			✓	
溼 0118A			✓	
溼 0118C				✓
溼 0118D				✓
溼 0211B			✓	
溼 0211A				✓
溼 0211C			✓	
溼 0211D			✓	
溼 0211E			✓	
溼 0211F			✓	
溼 0214A			✓	
溼 0214B			✓	
溼 0214C				✓
溼 0220A				✓
溼 0220B			✓	
小計			10	5

編號	順時針圖	逆時針圖	順 13	順 8	編號	順時針圖	逆時針圖	順 13	順 8	
溼 0220C			✓		溼 0220F			✓		
溼 0220D				✓	溼 0220G				✓	
溼 0220E			✓		溼 0222A				✓	
小計			2	1	小計			1	2	
溼地松生長螺線 合計								其他 1	25	24

三、附錄 3：室內毬果日平均重量

室內 毬果	日期	10/17	10/19	10/28	10/30	11/2	11/4	11/7	11/9	11/11	11/14	11/16	11/18	11/23	11/24	11/25	11/28	11/29	11/30	12/1	12/5	12/6	12/7	12/8	12/9	12/12	12/13
	溫度	26.0	24.0	26.0	26.6	24.7	25.4	26.5	25.5	26.4	26.6	25.8	25.0	25.4	23.5	23.0	28.8	24.8	23.5	22.0	21.2	19.7	21.0	20.6	20.9	19.7	19.2
	溼度	74	60	64	72	69	70	71	72	67	67	72	71	72	73	73	88	72	69	63	75	68	73	73	73	69	65
日平均 重量(g)	20.95	20.16	20.59	21.35	21.26	21.67	21.41	21.54	21.57	21.67	21.61	21.63	21.77	21.72	21.79	21.66	21.78	21.96	21.78	21.98	21.86	21.80	21.92	21.91	21.84	21.79	

室內 毬果	日期	12/14	12/15	12/16	12/19	12/20	12/21	12/22	12/26	12/27	12/28	12/29	12/30	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/9	1/10	1/11	1/12	1/13	1/16	1/17	1/18	1/19
	溫度	18.1	17.9	19.1	15.2	16.1	17.5	18.2	15.2	16.4	17.6	18.9	18.3	18.9	18.7	19.1	19.9	19.5	19.8	23.0	20.6	20.6	21.6	18.2	18.0	17.1	17.7
	溼度	65	68	75	48	55	63	33	43	57	65	68	71	74	65	73	74	58	68	73	74	74	74	53	61	65	65
日平均 重量(g)	21.75	21.81	22.19	20.91	21.42	21.57	21.36	21.13	21.41	21.63	21.70	21.89	21.87	21.75	21.88	21.98	21.78	21.77	21.95	21.98	21.98	22.03	21.57	21.60	21.78	21.66	

四、附錄 4：百葉箱內毬果日平均重量

百 葉 箱	日期	11/16	11/17	11/18	11/21	11/22	11/23	11/24	11/25	11/28	11/29	11/30	12/1	12/5	12/6	12/7	12/8	12/9	12/12	12/13	12/14	12/15	12/16	12/19	12/20	12/21	12/22	12/26	12/27	12/28
	溫度	25.9	27.3	24.3	25.7	26.8	23.3	22.4	25.3	22.8	24.8	20.3	20.7	19.7	18.5	20.5	20.2	20.1	19.1	18.9	16.2	16.1	19.4	13.6	13.2	13.7	21.1	12.5	16.8	22.3
	溼度	78	74	79	75	76	89	90	82	88	84	82	72	93	77	81	82	87	70	72	77	86	99	68	74	78	33	65	66	56
日平均 重量(g)	22.46	22.71	22.84	22.49	21.98	22.59	22.83	22.76	22.64	22.58	22.61	22.42	23.32	22.91	22.47	22.72	22.72	22.69	22.51	22.65	22.81	23.26	22.05	22.10	22.07	21.09	21.60	21.69	21.71	

百 葉 箱	日期	12/29	12/30	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/9	1/10	1/11	1/12	1/13	1/16	1/17	1/18	1/19	1/30	1/31	2/1	2/3	2/6	2/7	2/8	2/9	2/10	2/13	2/14	2/15	2/16
	溫度	18.0	17.3	18.0	17.1	19.1	18.4	20.1	19.4	23.6	21.5	18.9	27.3	13.2	16.2	13.7	19.6	20.4	14.5	17.4	19.6	17.2	18.8	23.0	17.3	17.3	28.6	13.4	12.8	15.0
	溼度	77	82	85	76	90	93	63	86	68	84	93	63	74	77	88	68	40	68	62	71	95	94	77	93	91	61	86	60	61
日平均 重量(g)	22.24	22.60	22.59	22.41	22.69	22.87	22.11	22.44	22.32	22.72	22.96	22.41	22.39	22.45	22.93	22.48	21.52	21.70	21.80	22.11	22.85	23.15	22.83	23.19	23.25	22.20	22.63	22.00	21.99	

五、附錄 5：室內毬果鱗片角度變化紀錄表

室 內	日期	12/28	12/29	12/30	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/9	1/10	1/11	1/12	1/13	1/16	1/17	1/18	1/30	1/31	2/1	2/3	2/6	2/7	2/8	2/9	2/10	2/13	2/15	2/16	平均
	氣溫	17.6	18.9	18.3	19	18	19	19	20	20	23	21	21	22	18	18	17	15	15	15	17	18	18	18	18	18	20	16	15	18.3
	溼度	65	68	71	74	65	73	74	58	68	73	74	74	74	52	61	65	46	49	54	70	74	75	75	75	75	75	48	50	66.3
二 葉 松 1207 C	右上角	43	40	38	36	38	35	34	39	38	36	35	35	35	40	39	38	42	43	42	38	36	36	35	35	35	34	40	43	
	右下角	80	78	75	73	76	74	73	76	76	73	72	72	72	79	76	75	80	80	79	75	73	72	71	71	71	70	79	80	
	左上角	25	25	25	24	24	25	24	24	25	25	26	24	24	24	24	26	26	26	26	25	25	25	24	24	23	25	25		
	左下角	63	61	60	58	58	57	56	57	60	58	58	58	58	60	59	59	64	64	63	60	58	58	58	57	57	56	60	62	
溼 地 松 1130 D	右上角	59	60	59	58	59	57	57	60	58	55	58	58	58	62	61	59	x	66	65	59	58	55	56	56	56	55	68	66	
	右下角	95	91	90	88	90	89	88	92	90	92	90	89	89	95	93	91	x	105	104	97	95	92	93	93	93	92	105	105	
	左上角	44	42	40	39	41	39	38	42	40	39	40	40	39	41	41	41	x	45	45	40	39	37	36	36	36	34	42	43	
	左下角	79	78	76	75	77	75	74	77	76	74	75	75	75	77	77	77	x	82	81	76	75	73	72	72	72	69	80	80	

六、附錄 6：百葉箱毬果鱗片角度變化紀錄表

百葉箱	日期	12/28	12/29	12/30	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/9	1/10	1/11	1/12	1/13	1/16	1/17	1/18	1/30	1/31	2/1	2/3	2/6	2/7	2/8	2/9	2/10	2/13	2/15	2/16	平均
	氣溫	22.3	18	17	18	17	19	18	20	19	24	22	19	27	13	16	14	20	15	17	20	17	19	23	17	17	29	17	17	19.0
	溼度	56	77	82	85	76	90	93	63	86	68	84	93	63	74	77	88	40	68	62	71	95	94	77	93	91	61	60	61	76.0
二葉松 1222 A	右上角	50	48	35	35	37	33	32	38	34	38	32	30	38	37	37	32	47	42	42	38	22	23	30	24	21	40	42	43	
	右下角	89	89	80	81	82	79	80	81	81	81	77	77	80	82	81	78	86	84	84	81	71	71	74	72	71	79	81	84	
	左上角	24	15	15	18	20	15	13	25	20	19	16	12	18	18	18	12	32	28	28	24	10	11	15	11	10	22	25	25	
	左下角	60	46	40	43	48	41	36	55	49	47	40	35	43	44	44	34	70	63	62	54	31	31	35	31	28	46	54	56	
溼地松 1130 G	右上角	37	34	26	26	30	25	19	33	26	28	22	16	24	24	25	16	x	39	37	33	11	12	19	12	9	25	32	34	
	右下角	101	95	88	88	92	88	83	94	91	92	86	83	88	89	89	81	x	100	101	95	76	76	82	78	73	89	95	98	
	左上角	59	52	42	43	47	41	39	51	45	49	41	36	47	48	48	38	x	56	56	53	34	35	42	36	33	51	55	56	
	左下角	126	120	109	109	114	108	106	119	114	115	107	100	110	114	111	101	x	124	122	119	95	95	103	98	94	114	120	120	