

新竹市第四十三屆中小學科學展覽會

作品說明書

科別：生活與應用科學（二）

組別：國中組

作品名稱：空氣鳳梨的水之呼吸—利用 3D 列印技術探討空氣鳳梨鱗
片對於水氣收集之影響

關鍵詞：空氣鳳梨、GAB 模型、3D 列印

目錄

摘要.....	1
壹、 前言	2
貳、 設備及器材.....	4
參、 研究方法與過程	5
肆、 研究結果	9
伍、 討論	16
陸、 結論	18
柒、 參考文獻資料	19

摘要

空氣鳳梨不需要土壤就可以生長，它主要依賴葉片的氣孔來吸收空氣中的水分和養分。我們觀察到不同種類的空氣鳳梨葉面上鱗片的形狀、高度及密度等方面，有著不同的差異，因此我們決定探討這些鱗片的變化對於水氣吸收的影響。我們利用 Autodesk Fusion 軟體設計出各種形狀、密度都不一樣的空氣鳳梨鱗片模型，以 3D 列印機製作空氣鳳梨鱗片模板，並模擬不同空氣鳳梨鱗片模板收集水氣的情況；得到的數據利用 GAB 模型公式，算出吸水力、吸水效率及有效吸附表面積，結果發現基本單位構形為四邊形的模板，無論在哪一種傾斜度，都能有良好的有效集水表面積，但密集度須因應角度增加而增加；基本構形為六邊形的模板，在平面的情況下無論密集度為何，都能有效集水，我們將研究結果做出集水效力最佳的模板，希望能為乾燥環境增加水資源的方法盡一份心力。

壹、前言

一、研究動機

在一次偶然的情況下，我們在書中看見空氣鳳梨，當時我們想了解為什麼這種植物為什麼不需要在土壤或是水中，只需要定時澆水就可存活，我們便把它拿下並且拿去詢問老師，在老師的細心講解下，我們了解到空氣鳳梨是一種空氣植物，它們並不需依賴土壤或是水來成長。它可以從空氣中的水分中獲取所需的物質，這是因為它們表面覆蓋著許多微小的毛狀結構，這些結構能夠幫助吸收空氣中的水分和養分，我們認為這可以運用在土壤貧乏之地去收集水氣，因此我們對這種植物產生濃厚興趣。

二、研究目的

(一) 空氣鳳梨葉片觀察

1. 觀察空氣鳳梨鱗片形狀差異
2. 觀察空氣鳳梨鱗片圍繞氣孔形狀之差異

(二) 利用 GAB 模型探討不同 3D 列印鱗片模型比較集水力之差異

1. 探討不同鱗片模板放置不同角度對集水力之影響
2. 探討不同鱗片模板密集度不同對集水力之影響
3. 探討不同鱗片模板排列形狀不同對收集水力之影響
4. 空氣鳳梨和 3D 列印模板集水力的比較

三、文獻探討

(一) 空氣鳳梨的吸附力

在 2002 年 Luigi Brighigna 教授利用兩種空氣鳳梨，主要的實驗方法是利用 GC／MS 氣相色譜質譜儀來測定殘留在這兩種植物上的 PAHs 量，並且與儀器所記錄的雨量及懸浮微粒進行比較，結果顯示，空氣中的污染粒子的確會吸附在空氣鳳梨表面，甚至進到空氣鳳梨

內部，附著於空氣鳳梨的污染物也的確與儀器監測的結果形成正相關（彭士桓，2017）。在另一個文獻中，提到其葉片具有減少懸浮微粒的能力，顯示其具有空氣淨化效果；上述能力應與毛狀體結構有關，於是測量去毛後的吸附能力，得知毛狀體是影響吸附能力的關鍵。也有探討吸附微粒後植株與對照組的抗氧化能力，發現微粒會對空氣鳳梨造成氧化壓力並影響生理代謝（吳思儀、洪禎林，2023）。

（二）GAB 模型

Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) 模型是一種廣泛應用於描述材料水分吸附行為的理論模型，特別在食品科學、材料科學和環境工程領域中表現出顯著的應用價值。該模型由 Guggenheim、Anderson 和 de Boer 於 20 世紀中葉分別提出，並結合了 BET (Brunauer-Emmett-Teller) 模型的單層吸附理論與多層吸附特性，成為研究水分吸附等溫線的重要工具。

GAB 模型的核心方程式為：

$$m = \frac{m_0 C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)}$$

其中， m 為材料的含水量 (g 水/g 乾物質)， m_0 為單層吸附量， C 為與單層吸附熱相關的常數， K 為與多層吸附熱相關的常數， a_w 為水活度 (相對濕度) (Anderson, Robert B., 1946)。這方程式能夠準確描述水分吸附等溫線，尤其是在相對濕度範圍從 0.05 到 0.9 時具有優異的擬合效果，超越了 BET 模型的局限性 (BET 通常適用於相對濕度 < 0.5 的情況)。

貳、設備及器材

空氣鳳梨品種	數量	實驗器材	數量
棉花糖 (Tillandsia Cotton Candy)	1 株	昆蟲箱	1 個
霸王 (Tillandsia xerographa)	1 株	加濕器	1 台
白精靈 (Tillandsia ionantha White)	1 株	培養皿	11 個
維多利亞 (Tillandsia Victoria)	1 株	鑷子	1 個
血滴子 (Tillandsia espinosae)	1 株	量筒	1 個

實驗器材	數量	實驗器材	數量
溼度計	1 個	剪刀	1 把
風扇	1 台	膠帶	1 捲
吹風機	1 台	塑膠板	1 張
廚房紙巾	數張	泡棉膠	1 捲
黏土	1 包	解剖顯微鏡	1 台

紀錄設備	數量
手機	1 台
電腦	1 台
3D 列印機	1 台

參、研究方法與過程

一、觀察空氣鳳梨葉片

(一) 觀察空氣鳳梨鱗片形狀差異

1. 從不同種類的空氣鳳梨中取下 1 片葉子，將葉子置於解剖顯微鏡下用特定倍率 (40X) 觀察，並以手機拍照記錄。
2. 利用電腦將照片放大後，觀察不同種類空氣鳳梨鱗片形狀的樣式，用 Autodesk Fusion 軟體畫出相似的鱗片模型。

(二) 觀察空氣鳳梨鱗片圍繞氣孔形狀之差異

1. 從不同種類的空氣鳳梨中取下 1 片葉子，利用膠帶去除葉片上較密集的鱗片，在將葉子置於解剖顯微鏡下，用特定倍率 (40X) 觀察鱗片圍繞氣孔的形狀，並以手機拍照記錄。
2. 利用電腦將照片放大後，觀察不同種類空氣鳳梨鱗片圍繞氣孔形狀，用 Autodesk Fusion 軟體將已畫好的鱗片模型，以四邊形、五邊形及六邊形排列成基本單元。
3. 將以四邊形、五邊形及六邊形的基本單元，以 $3*3$ 、 $5*5$ 及 $7*7$ 的排列方式製作集水模板。
4. 將以上的模板利用 3D 列印機列印，仿空氣鳳梨鱗片的集水模板即製作完成(如圖八)。

二、利用不同 3D 列印鱗片模型比較集水力之差異

(一) 探討鱗片模型排列形狀不同對收集水力之影響

1. 利用不同形狀 (長方、五邊與六邊形) 所構成的基本單元 3D 列印模板，秤重並記錄初始重量。
2. 在加濕器內加入 30 毫升的水，並將加濕器及放在培養皿上的模型，置入密閉的觀察箱之中 (如圖一)，記錄箱內的濕度及溫度。

3. 將加濕器開啟並計時 20 分鐘，並關閉箱門，20 分鐘之後，用鑷子將模板分別拿出，用紙巾吸乾模板背面的水氣（如圖七）。
4. 使用電子秤測量模板重量，並加以記錄及計算重量前後的差異。
5. 利用模板前後重量差/模板重量，即得到每片模板集水力的數值。

(二) 探討鱗片模型密集度不同對集水力之影響

1. 將不同密集度的 3D 列印模板（3*3、5*5、7*7），秤重並記錄初始重量。
2. 在加濕器內加入 30 毫升的水，並將加濕器及放在培養皿上的模型，置入密閉的觀察箱之中（如圖一），記錄箱內的濕度及溫度。
3. 將加濕器開啟並計時 20 分鐘，並關閉箱門，20 分鐘之後，用鑷子將模板分別拿出，用紙巾吸乾模板背面的水氣（如圖七）。
4. 使用電子秤測量模板重量，並加以記錄及計算重量前後的差異。
5. 利用模板前後重量差/模板重量，即得到每片模板集水力的數值。

(三) 探討不同鱗片模型放置不同角度對集水力之影響

1. 將不同形狀及密集度的 3D 列印模板，秤重並記錄初始重量。
2. 再觀察箱中置入一塑膠板，使其與箱底呈現 45 度的夾角，靠放在箱壁上。
3. 在加濕器內加入 30 毫升的水，將加濕器及放在培養皿上的模型放在塑膠板上，置入密閉的觀察箱之中（如圖三），記錄箱內的濕度及溫度。
4. 將加濕器開啟並計時 20 分鐘，並關閉箱門，20 分鐘之後，用鑷子將模板分別拿出，用紙巾吸乾模板背面的水氣（如圖七）。
5. 使用電子秤測量模板重量，並加以記錄及計算重量前後的差異。
6. 利用模板前後重量差/模板重量，即得到每片模板集水力的數值。
7. 將置於培養皿中的模板，利用魔術黏土黏放在箱壁上（如圖五），重複步驟 3-6。

(四) 探討兩種空氣鳳梨的集水力

1. 取棉花糖（*Tillandsia Cotton Candy*）及白精靈（*Tillandsia ionantha White*）的葉片各一片，秤重並記錄初始重量。
2. 在加濕器內加入 30 毫升的水，並將加濕器及放在培養皿上的模型，置入密閉的

觀察箱之中（如圖一），記錄箱內的濕度及溫度。

3. 將加濕器開啟並計時 20 分鐘，並關閉箱門，20 分鐘之後，用鑷子將葉片分別拿出，使用電子秤測量葉子重量，並加以記錄及計算重量前後的差異。
5. 利用葉子前後重量差/葉片重量，即得到每片葉子集水力的數值。



圖一 觀察箱裝置設計圖



圖二 觀察箱內加濕器開啟運作圖



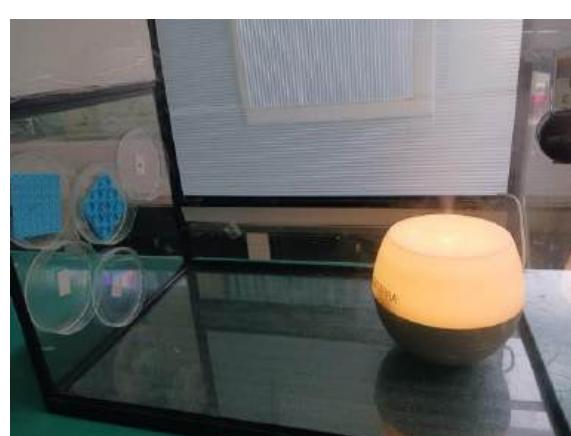
圖三 觀察箱內加入塑膠板裝置設計圖



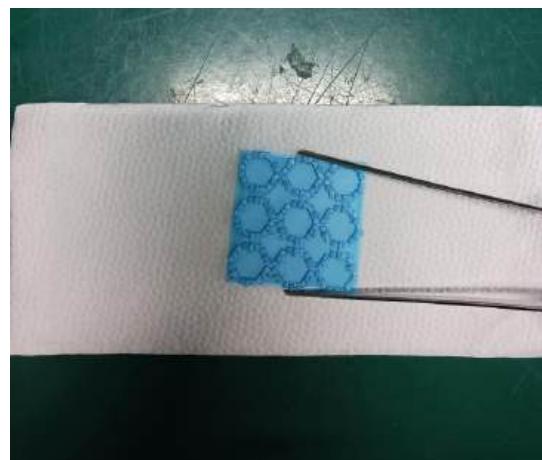
圖四 觀察箱內加入塑膠板加濕器運作圖



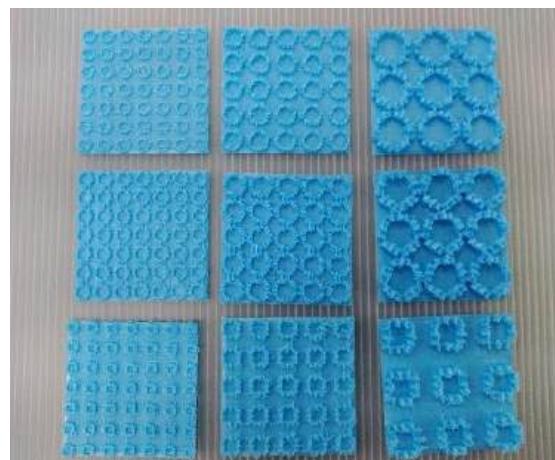
圖五 模板黏放於觀察箱裝置圖



圖六 模板黏放於觀察箱加濕器開啟運作圖



圖七 擦拭模板背面多餘水氣圖



圖八 3D 列印集水器模板

〈以上圖片皆自行拍攝〉

肆、研究結果

一、觀察空氣鳳梨鱗片形狀與氣孔形狀差異

(一) 棉花糖 (*Tillandsia Cotton Candy*) : 鱗片圍繞著圓形的凹洞生長，它的鱗片樣貌尖且細短。(如圖九、十)



圖九 棉花糖 (*Tillandsia Cotton Candy*) 鱗片形狀



圖十 棉花糖 (*Tillandsia Cotton Candy*) 鱗片圍繞氣孔形狀

(二) 白精靈 (*Tillandsia ionantha White*)：細毛沿著五邊形的凹洞生長，而鱗片和凹洞較少且長。(如圖十一、十二)



圖十一 白精靈 (*Tillandsia ionantha White*) 鱗片形狀



圖十二 白精靈 (*Tillandsia ionantha White*) 鱗片圍繞氣孔形狀

(三) 維多利亞 (*Tillandsia Victoria*)：鱗片沿著六邊形的凹洞生長，且分布較稀疏、毛較長。(如圖十三、十四)

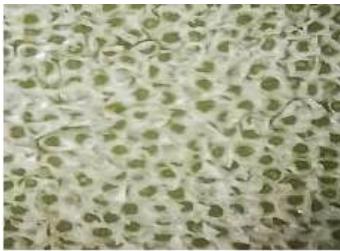


圖十三 維多利亞 (*Tillandsia Victoria*) 鱗片形狀

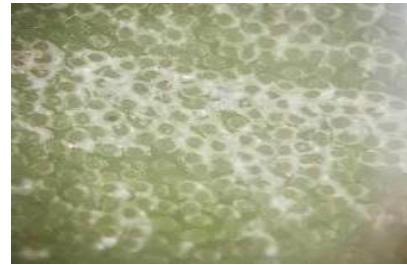


圖十四 維多利亞 (*Tillandsia Victoria*) 鱗片圍繞氣孔形狀

(四) 血滴子 (*Tillandsia espinosae*) : 鱗片沿著圓形的凹洞生長，鱗片密集且短。(如圖十五、十六)



圖十五 血滴子 (*Tillandsia espinosae*) 鱗片形狀



圖十六 血滴子 (*Tillandsia espinosae*) 鱗片圍繞氣孔形狀

(五) 霸王 (*Tillandsia xerographa*) : 鱗片沿著圓形的凹洞生長，密集且鱗片短。(如圖十七、十八)



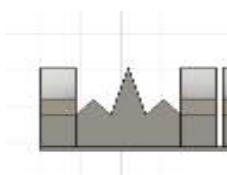
圖十七 霸王 (*Tillandsia xerographa*) 鱗片形狀



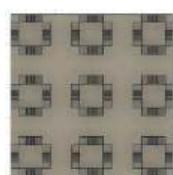
圖十八 霸王 (*Tillandsia xerographa*) 鱗片圍繞氣孔形狀

〈以上圖片皆自行拍攝〉

(六) 綜合以上觀察，我們利用 Autodesk Fusion 軟體模擬出空氣鳳梨鱗片的基本單元(如圖十九)，再利用這個基本單元去圍出四邊形、五邊形及六邊形等不同形狀的集水單元，接著將不同形狀的集水單元，在相近面積的模板上以 $3*3$ 、 $5*5$ 、 $7*7$ 來排列，總共做出 9 種模板(如圖二十～圖二十八)進行集水能力的測試。



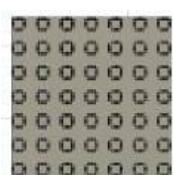
圖十九 鱗片基本單元圖



圖二十 四邊形 $3*3$ 模板



圖二十一 四邊形 $5*5$ 模板



圖二十二 四邊形 $7*7$ 模板



圖二十三 五邊形
3*3 模板



圖二十四 五邊形
5*5 模板



圖二十五 五邊形
7*7 模板



圖二十六 六邊形
3*3 模板



圖二十七 六邊形
5*5 模板



圖二十八 六邊形
7*7 模板

二、利用不同 3D 列印鱗片模型比較集水力之差異

(一) 以 GAB 模型推算不同模板的吸水力、吸水速率及有效集水表面積

1. 吸水力 ($m_{\text{increment}}$) 及吸水速率：以四邊形 3*3 模板放置於平面為例，平均初重為 4.4233g，平均末重為 4.464g，測量時間為 20 分鐘

$$m_{\text{increment}} = \frac{\text{吸附水重}}{\text{原始重量}} \quad \text{吸水速率} = \frac{m_{\text{increment}}}{20}$$

則四邊形 3*3 模板在 0 度平面上所測得的 $m_{\text{increment}} = 0.00435 \text{ g/g}$ ，集水速率 = 0.0002175 g/g-min。

2. m_0 的計算：我們因為受實驗設備的限制，無法固定箱內的濕度，找出單點的平衡集水量，因此我們在 20 分鐘內，固定將濕度由 42% 上升到 82%，將常數 C 設為 10，K 設為 0.9，和一般文獻所使用的值相同，藉此求出 m_0 的值。計算過程如下：

$$m = \frac{m_0 CK a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + CK a_w)}$$

$$m_{\text{increment}} = m(20) - m(0)$$

$$a_w = 0.42 \text{ (初始)} : m(0) = 1.38m_0$$

$$a_w = 0.82 \text{ (最終)} : m(20) = 3.686m_0$$

$$\text{增量} : m(20) - m(0) = 2.306m_0$$

$$\text{假設 } C = 10, K = 0.9.$$

$$m_0 = \frac{m_{\text{increment}}}{2.306}$$

則四邊形 3*3 模板在 0 度平面上，所計算出來的 $m_0 = 0.001886 \text{ g/g}$

3. 有效集水表面積：對於任意 m_0 ，表面積公式為

$$S = 3.55 \times 10^3 \cdot m_0$$

則四邊形 3*3 模板在 0 度平面上，所計算出來的有效集水表面積 = $6.69 \text{ m}^2/\text{g}$ ，利用以上推導步驟依序算出其他模板的集水力、集水速率及有效集水表面積，將其數據整理於表一。

表一 以 GAB 模型推算各種模板的集水力表

放置角度	形狀	條件	平均原始重量 (g)	平均吸附水重 (g)	集水力 (g/g)	集水速率 (g/g min)	有效集水表面積 (m^2/g)
0 度	四邊形	3x3	4.4423	0.0193	0.00435	0.0002175	6.69
	四邊形	5x5	3.2390	0.0223	0.00689	0.0003445	10.6
	四邊形	7x7	2.5507	0.0283	0.01111	0.0005555	17.11
	五邊形	3x3	5.3843	0.0213	0.00396	0.000198	6.1
	五邊形	5x5	3.9880	0.0177	0.00443	0.0002215	6.82
	五邊形	7x7	2.7150	0.0203	0.00749	0.0003745	11.53
	六邊形	3x3	4.2737	0.0377	0.00882	0.000441	13.58
	六邊形	5x5	3.0620	0.0323	0.01056	0.000528	16.26
	六邊形	7x7	2.1790	0.0140	0.00642	0.000321	9.88
45 度	四邊形	3x3	4.4460	0.0183	0.00412	0.000206	6.34
	四邊形	5x5	3.2447	0.0123	0.0038	0.00019	5.85
	四邊形	7x7	2.5540	0.0170	0.00666	0.000333	10.25
	五邊形	3x3	5.3950	0.0137	0.00253	0.0001265	3.89
	五邊形	5x5	3.9880	0.0113	0.00284	0.000142	4.37
	五邊形	7x7	2.7303	0.0103	0.00378	0.000189	5.82
	六邊形	3x3	4.2697	0.0120	0.00281	0.0001405	4.33
	六邊形	5x5	3.0607	0.0133	0.00436	0.000218	6.71
	六邊形	7x7	2.1757	0.0090	0.00414	0.000207	6.37
90 度	四邊形	3x3	4.4413	0.0110	0.00248	0.000124	3.82
	四邊形	5x5	3.2393	0.0093	0.00288	0.000144	4.43
	四邊形	7x7	2.5473	0.0113	0.00445	0.0002225	6.85
	五邊形	3x3	5.3823	0.0033	0.000619	0.00003095	0.95
	五邊形	5x5	3.9833	0.0060	0.001506	0.0000753	2.32
	五邊形	7x7	2.7113	0.0057	0.00209	0.0001045	3.22

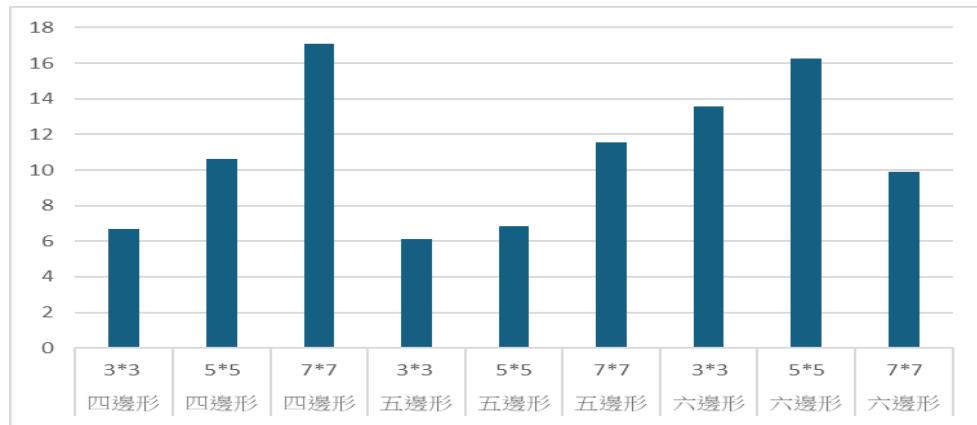
	六邊形	3x3	4.2700	0.0043	0.001015	0.00005075	1.56
	六邊形	5x5	3.0610	0.0050	0.001633	0.00008165	2.51
	六邊形	7x7	2.1790	0.0053	0.002447	0.00012235	3.77
0 度	棉花糖		0.1837	0.0050	0.02723	0.0013615	41.93
	白精靈		0.1480	0.0017	0.01126	0.000563	17.32

(二) 探討不同鱗片模板放置不同角度對集水力之影響

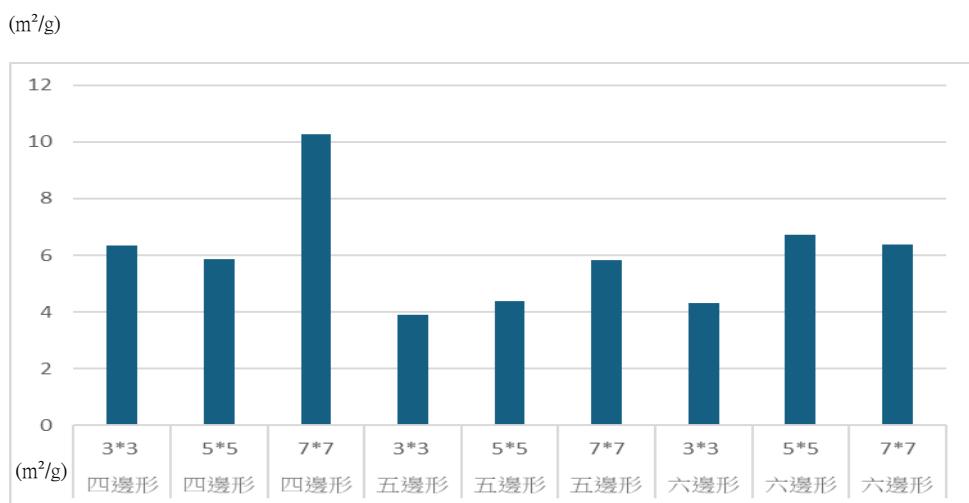
- 由表一的結果我們可以發現，在不同角度的放置下，無論是哪一種模板，以平放來得最佳，其次是 45 度角，最差的則是 90 度角。
- 三種不同放置角度下，若模板的基本單元密集度越高，則有效集水的表面積也會隨之增加。

(三) 探討不同鱗片模板密集度不同對集水力之影響

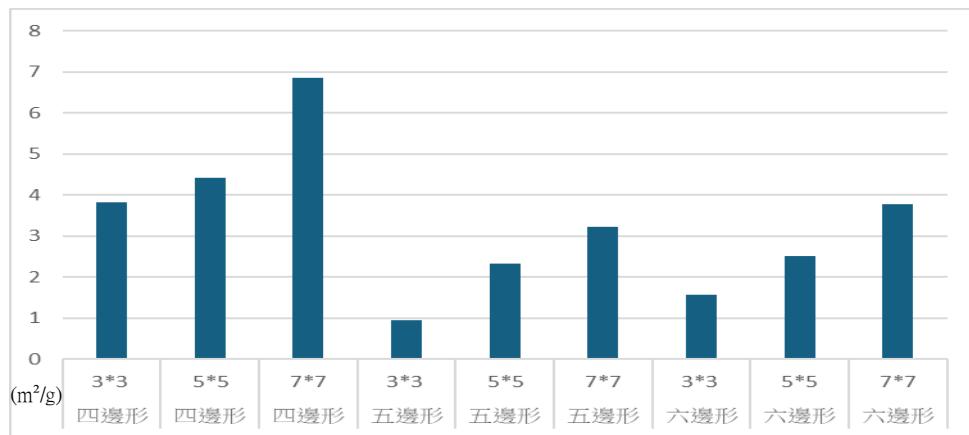
- 當鱗片模板放置角度為 0 度時，我們將其有效吸水表面積製作成長條圖，結果如圖二十九，當基本單位形狀為四邊形和五邊形時，皆是密集度為 7*7 的較佳，而在形狀為六邊形時，卻是 5*5 的較佳。
- 當鱗片模板放置角度為 45 度時，我們將其有效吸水表面積製作成長條圖，結果如圖三十，在形狀為四邊形和五邊形時，皆是密集度為 7*7 的較佳，且都較其他密集度的模板效果更加突出，但在形狀為六邊形時，卻是密集度 7*7 和 5*5 的差異卻不大。
- 當鱗片模板放置角度為 90 度，我們將其有效吸水表面積製作成長條圖，結果如圖三十一，無論鱗片排列形狀為何，皆是密集度 7*7 的較好。



圖二十九 不同模板在平面的有效吸水表面積長條圖



圖三十 不同模板在傾斜 45 度平面的有效吸水表面積長條圖



圖三十一 不同模板在傾斜 90 度有效吸水表面積長條圖

(四) 探討不同鱗片模板排列形狀不同對收集水力之影響

- 由圖二十九到圖三十一來看，我們可以發現，無論鱗片模板擺放何種角度，皆以基本單位四邊形 7*7 的模板的有效集水表面積為最大，表示基本單位四邊形 7*7

的模板，集水力最佳。

2. 但在水平擺放時，六邊形的模板有效集水表面積，和四邊形的模板的表現差不多，只有五邊形的集水表面積整體都遜於四邊形和六邊形。

(五) 空氣鳳梨和 3D 列印模板集水力的比較

1. 由表一來看，我們可以發現，空氣鳳梨棉花糖比白精靈收集到更多水氣，且這兩株植物的結果比所有模型的效率更佳，兩者的有效期水表面積都遠大於我們所設計出來的模板（棉花糖： $41.93\text{ m}^2/\text{g}$ ，白精靈： $17.32\text{ m}^2/\text{g}$ ）。
2. 用白精靈和我們所做的模板比較，可以發現四邊形密集度為 7*7 時，和白精靈的集水力最為相近，兩者有效集水表面積的差異為 $0.21\text{m}^2/\text{g}$ （四邊形 7*7： $17.11\text{ m}^2/\text{g}$ ，白精靈： $17.32\text{ m}^2/\text{g}$ ），較其他模板為佳。

伍、討論

一、觀察空氣鳳梨葉片

(一) 我們發現空氣鳳梨的鱗片因種類不同而長度也有所不同，且會出現長短參差不齊排列的情況，所以我們建立一個「山」的基本單元，藉以模仿此種結構；並試著調整 3D 列印模型的大小，使其達到機器所能列印的最小狀態。

(二) 空氣鳳梨鱗片包圍氣孔的方式，也因種類不同而有所不同，經我們觀察的結果，選取四邊形、五邊形及六邊形等排列方式，最為模板上最小的集水單元，探討是否會因其形狀不同而有不同的集水力差異。

二、利用不同 3D 列印鱗片模板比較集水力之差異

(一) 探討不同鱗片模板放置不同角度對集水力之影響

無論是哪一種模板，都是以平行地板放置為最佳，推測這是因為水分垂直落下，較容易被平放的模板收集，且不會受到地心引力的影響而導致水分的流失；「山」形的結構也不會出現互相遮蔽的情形，進而影響有效集水的表面積。

(二) 探討鱗片模型排列形狀及密集度不同對於集水力之影響

1. 排列形狀的影響：

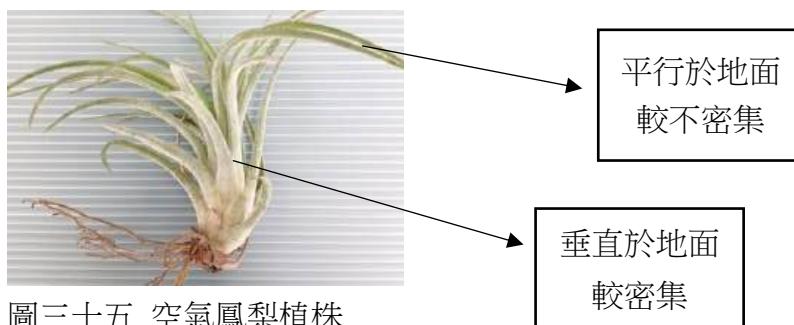
(1) 我們發現無論模板處在何種角度，四邊形的排列所得到的有效集水表面積，都優於其他兩種形狀，尤其是模板出現傾角時，形狀的影響更為明顯，在傾斜 90 度的狀態下，四邊形的最大有效集水面積，幾乎是其他形狀的兩倍（四邊形：6.85、五邊形：3.22、六邊形：3.77）。我們推測是因為四邊形構成的形狀，能夠在不同角度及不同密集度中，皆能使「山」形構造完整的暴露在水氣中，達到較好的集水效果，而其他形狀可能因為構造較複雜，模板形成傾角時，這些集水構造會相互遮蔽，導致無法完全暴露於空氣中，導致有效集水面積的縮小。

(2) 在平面擺放時，我們發現除了五邊形之外，四邊形及六邊形都有良好有效集水表面積，尤其是六邊形無論在何種密集度下，有效集水表面積都能接近或

超過 $10\text{m}^2/\text{g}$ ($3*3$: $13.58\text{ m}^2/\text{g}$ 、 $5*5$: $16.26\text{ m}^2/\text{g}$ 、 $7*7$: $9.88\text{ m}^2/\text{g}$)，代表六邊形的這種形狀，在模板平放時，無論密集度大小，皆能創造出最佳的集水效率。

2. 排列密度的影響：

我們發現當模板與地面的夾角愈大，基本單元的密集度影響有效集水表面積愈大，當角度來到 90 度時，無論何種形狀，集水有效表面積皆是 $3*3 > 5*5 > 7*7$ ，基本單元愈密集，有效的集水表面積愈大。我們推測因為在垂直的狀態，受到地心引力的影響，水分較不容易附著在模板上，但若基本單元較為密集，比較容易蓄積因地心引力下流的水分，我們和空氣鳳梨植栽(如圖三十五)對照後可發現，與地面垂直的葉片，鱗片排列較為密集，此空氣鳳梨鱗片的分布情形和我們的實驗結果相同。



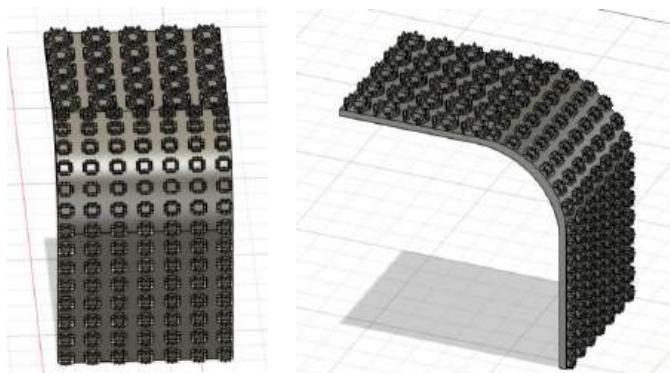
圖三十五 空氣鳳梨植株

三、空氣鳳梨和 3D 列印模板集水力的比較

我們從實驗結果可以發現，空氣鳳梨和模板的數據結果只能極為接近，但是無法比空氣鳳梨的結果好。我們推測是因為我們使用的 3D 列印材料為 PLA，所以模型表面較為光滑不易收集水氣，而空氣鳳梨葉片表面布滿鱗片較為粗糙，和我們使用的材質相差許多；即使如此，四邊形 $7*7$ 的模板有著和白精靈將近的有效集水表面積。若未來有機會可以找出更加親水的材質，必能製造出更貼近空氣鳳梨集水效力的模板，應用於乾燥區域用以收集空氣中的水資源。

陸、結論

- 一、空氣鳳梨靠著葉片吸收水分和養分，各種品種空氣鳳梨的葉子都有明顯差異，氣孔形狀大致有圓形、四邊形、五邊形和六邊形，葉片彎曲角度不同，鱗片和氣孔密集度也有所不同，若葉片與地面角度愈接近垂直，鱗片的密集度則愈大。
- 二、在高濕度的環境中，只要具有突起的細小構造，皆能從空氣中凝聚水氣，無論是何種形狀或密集度的模板，都能從空氣中收集水氣。
- 三、模板的集水單元面積與角度決定模板的集水力的大小；當模板角度與地面出現夾角時，集水單元面積不能太小，排列要密集，才可收集較多水分，當模板為平行地面時，收集水氣的效率最高。而模板基本集水形狀為四邊形時，有效集水表面積較為穩定，能在不同角度下提供良好的水氣凝結效果。
- 四、在我們所設計出來的模板中，以四邊形 7*7 的有效集水面積為最大，幾乎與空氣鳳梨白精靈相等，若未來能以更親水的材料製造集水模板，相信能製造出超越空氣鳳梨的集水力的模板。
- 五、綜合所有因素，我們認為可以將集水模板的基本單元在平面設計成六邊形，因為這種形狀在不同的疏密度下皆能有效集水；在斜面上設計基本單位為四邊形並且進行高密度的排列，將兩種模板加以組合，就能成為最大效率的集水裝置。未來更能將這個裝置與自動偵測系統結合，在不同的濕度下，利用不同型式的模板，自動調整不同角度，應用於降水稀少的區域，收集空氣中的水氣，多一個得到水源的途徑。最後成品模板如下圖：



圖三十六 最後成品模板正視及側視圖

柒、參考文獻資料

- 一、彭士桓(2017)。它才不是鳳梨！地表最強植物「空氣鳳梨」的歷史與應用。泛科學網站，2024年9月1日，取自：<https://pansci.asia/archives/129651>
- 二、吳思儀、洪禎林(2023)。中華民國第56屆中小學科學展覽會高級中等學校組植物學科。鳳言鳳語—空氣鳳梨毛狀體與吸收路徑探討，台灣科學教育館，取自：<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/052109.pdf>
- 三、Anderson, Robert B. (1946). Modifications of the Brunauer, Emmett and Teller Equation1. American Chemical Society, 68(4), 686 – 691.